

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

На правах рукописи

ЛЯЛЬКО Олег Владимирович

ТРАНСФОРМАТОРНО-КЛЮЧЕВЫЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СТРУКТУРЫ РЕГУЛЯТОРОВ
НАПРЯЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ
ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Специальность 05.09.03 - Электротехнические комплексы
и системы, включая их управление и регулирование

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00825904 (S)

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

На правах рукописи

ЛЯЛКО Олег Владимирович

ТРАНСФОРМАТОРНО-КЛЕЧЕВЫЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СТРУКТУРЫ РЕГУЛЯТОРОВ
НАПРЯЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ
ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Специальность 05.09.03 - Электротехнические комплексы
и системы, включая их управление и регулирование

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

86 26 836

Работа выполнена в Институте электродинамики АН Украины.
Научный руководитель - доктор технических наук,
с.н.с. К.А.ЛИПКОВСКИЙ.

Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор Э.Н.ГРЕЧКО

- кандидат технических наук,
доцент Ю.Е.КУЛЕШОВ

Ведущая организация - НПО "Киевский институт автоматки".

Защита состоится "11" МАРТА 1993 г. в 14 час. на за-
седании специализированного Совета К.016.63.01 Института проблем
энергосбережения АН Украины (252070, г.Киев-70, ул.Покровская,11)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института
проблем энергосбережения АН Украины.

Автореферат разослан "10" февраля 1993 г.

Ученый секретарь
специализированного Совета,
кандидат технических наук

Натуш Н.В.РАЩУН

ЛНБ ім. В. С. ...
АН України

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Для современных промышленных предприятий возможность использования передовых ресурсо- и энергосберегающих технологий неразрывно связана с необходимостью внедрения новых высокоэффективных автоматизированных комплексов технологического оборудования, позволяющих с максимально возможной скоростью осуществлять требуемый производственный процесс. Важной составной частью большинства технологических комплексов является система преобразования электрической энергии, включающая в себя преобразователи различного функционального назначения, технический уровень которых в значительной мере определяет эффективность работы энергоприемников и в конечном результате влияет на качество выпускаемой продукции. Наряду с технологическими и особенно электротехнологическими комплексами задача повышения качества процессов преобразования параметров электрической энергии и совершенствование систем, реализующих эти процессы, является актуальной при разработке комплексов для испытаний электротехнического и радиоэлектронного оборудования, а также во многих других случаях.

Одним из наиболее распространенных видов функционального преобразования электрической энергии является регулирование напряжения, что довольно часто требуется при работе энергоприемников как технологических, так и испытательных комплексов. Из всех устройств, реализующих данное функциональное преобразование, последнее время широко используются регуляторы напряжения, силовые исполнительные органы которых выполнены на основе трансформаторно-ключевых исполнительных структур (ТКИС) дискретного действия. Применение ТКИС позволяет получить высокое качество выходной энергии таких регуляторов при малых потерях и практическом отсутствии влияния на питающую сеть.

В то же время в регуляторах переменного напряжения (РПН) на основе ТКИС в процессе переключения тиристоров, которые чаще всего используются в качестве ключевых элементов, при естественной их коммутации возможно возникновение контуров короткого замыкания регулировочных обмоток трансформирующего элемента и, как следствие, аварийных режимов, ведущих к ухудшению качества процесса регулирования напряжения в системах преобразования электрической энергии и даже к выходу из строя силового исполнительного органа. Известные варианты схемных решений ТКИС с естественной коммутацией, опти-

мальные по ряду основных критериев, не являются совершенными в этом плане, а существующие средства управления и защиты часто бывают малоэффективными. Применение же узлов искусственной коммутации для обеспечения безаварийного переключения регулировочных обмоток ввиду сложности таких узлов, дополнительных аппаратурных затрат, увеличения стоимости, массы и габаритов регулятора, не всегда является оправданным.

Все это свидетельствует о необходимости проведения цикла исследований по созданию принципов построения ТКИС с естественной коммутацией тиристоров, использование которых позволяет реализовать схемные решения силовых исполнительных органов РПН, обеспечивающих при высоких технических показателях безаварийные режимы переключения регулировочных обмоток трансформирующего элемента, а значит простоту и надежность процесса регулирования напряжения в системах преобразования электрической энергии испытательных и технологических комплексов. Именно этим вопросам и посвящена диссертационная работа.

Исследования по диссертационной работе велись в соответствии с темами "Блок" (по постановлению N 520 от 19.12.79 г. и распоряжению N 1317 от 23.07.81 г. Президиума АН Украины), "Исток" (по постановлению Президиума АН Украины N 535 от 25.11.83 г.), "Сноп" (по постановлению Президиума АН Украины N 402 от 11/24.12.87 г.), которые выполнялись в рамках координационных планов НИР АН Украины на 1981 - 1985 гг. по проблеме 1.9.6.2. "Преобразование и передача электромагнитной энергии" и на 1986 - 1990 гг. по проблеме 1.9.2.2 "Преобразование, передача и распределение электромагнитной энергии", являющихся составной частью работ АН Украины по комплексной проблеме "Научные основы электроэнергетики".

Целью диссертационной работы является создание принципов построения ТКИС с естественной коммутацией, реализующих безаварийные режимы переключения обмоток трансформатора, и разработка на их основе средств регулирования напряжения систем преобразования электрической энергии испытательных и технологических комплексов.

Поставленная цель потребовала решения следующих задач:

- разработки основных положений топологии ТКИС;
- исследования возможностей построения электрической цепи, содержащей обобщенную ТКЛЗ, и разработки на ее основе схемных решений силовых исполнительных органов с улучшенными основными показателями для РПН систем преобразования электрической энергии;

- выявления общих закономерностей построения и совершенствования ТКИС РПН систем преобразования электрической энергии, обеспечивающих безаварийные режимы переключения обмоток трансформатора;
- исследования режимов переключения в тиристорных ТКИС РПН систем преобразования электрической энергии;
- исследования особенностей построения тиристорных силовых исполнительных органов для РПН систем преобразования электрической энергии и разработки средств защиты ТКИС от токов короткого замыкания в контурах переключаемых обмоток трансформатора;
- практической реализации средств регулирования напряжения систем преобразования электрической энергии с использованием результатов, полученных в работе, их опытной проверки и внедрения в комплексах испытательного и технологического оборудования.

Методы исследования. Для решения сформулированных задач были использованы законы теории электрических цепей, элементы теории множеств, геометрические основы теории комбинаторных систем. Достоверность основных научных положений, выводов и рекомендаций подтверждена экспериментально в лабораторных и промышленных условиях.

Научная новизна. Разработаны основные положения топологии силовых исполнительных органов РПН систем преобразования электрической энергии, базирующиеся на использовании трансформаторно-ключевых обобщенных итеративных структур в двумерном и трехмерном пространстве координатной решетки; впервые созданы трансформаторный и автотрансформаторный варианты обобщенной электрической цепи силовых исполнительных органов РПН систем преобразования электрической энергии, содержащие модели двумерных и трехмерных трансформаторно-ключевых обобщенных итеративных структур, и показана возможность синтеза ТКИС на их основе; предложена совокупность приемов и правил, позволяющих на базе указанных моделей синтезировать оригинальные ТКИС; впервые разработаны принципы построения высокоэффективных ТКИС с естественной коммутацией тиристоров, реализующих рациональные безаварийные режимы переключения регулировочных обмоток трансформатора, для РПН систем преобразования электрической энергии; обоснована необходимость топологического преобразования общего узла коммутации и предложены варианты построения средств защиты тиристорных ТКИС, обеспечивающих оптимальные безаварийные режимы переключения обмоток трансформатора.

Практическая ценность. Использование новых научных положений, обоснованных в диссертационной работе, позволило: существенно

упростить синтез силовых исполнительных органов РПН и реализовать ряд оригинальных схемных решений ТКИС с улучшенными технико-экономическими показателями; проводить сравнительную оценку синтезированных ТКИС по основным критериям качества с рекомендациями по использованию наиболее эффективных из них в РПН систем преобразования электрической энергии; разработать ТКИС широкодиапазонных РПН систем преобразования электрической энергии с улучшенными удельными массо-габаритными показателями силового автотрансформатора; разработать базовые варианты ТКИС РПН систем преобразования электрической энергии, в которых осуществляются рациональные безаварийные режимы переключения регулировочных обмоток трансформатора; разработать простые и эффективные средства защиты тиристорных ТКИС, обеспечивающие оптимальные безаварийные режимы переключения регулировочных обмоток трансформатора; реализовать и внедрить в системах преобразования электрической энергии испытательных и технологических комплексов высокоэффективные регуляторы напряжения на основе разработанных ТКИС.

Автор выносит на защиту:

- основные положения топологии ТКИС;
- трансформаторный и автотрансформаторный варианты обобщенной электрической цепи силовых исполнительных органов РПН систем преобразования электрической энергии, содержащие модели двумерных и трехмерных трансформаторно-ключевых обобщенных итеративных структур;
- совокупность приемов и правил, позволяющих на базе указанных моделей синтезировать ТКИС для РПН систем преобразования электрической энергии;
- новые типы ТКИС с естественной коммутацией тиристоров, реализующих безаварийные режимы переключения регулировочных обмоток трансформатора;
- разработки высокоэффективных регуляторов напряжения систем преобразования электрической энергии испытательных и технологических комплексов.

Внедрение результатов работы. Научные результаты и рекомендации диссертационной работы положены в основу разработок, выполненных при участии автора в течение 1984 - 1991 г.г. Ряд оригинальных схемных решений ТКИС был использован при построении различных вариантов регуляторов переменного и выпрямленного напряжения в однофазном и трехфазном исполнении. Указанные регуляторы систем преоб-

разования электрической энергии были внедрены в испытательных и технологических комплексах ВНИИТ "Электромаш" (г. Харьков), СКТЕ ДонТИ (г. Донецк), ПО ХКЗ (г. Херсон), п/я А-7240, п/я Г-4367.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на III-й, IV-й и V-й Всесоюзных научно-технических конференциях "Проблемы преобразовательной техники" (Київ. 1983 г., 1987 г., 1991 г.); на III-м Всесоюзном научно-техническом совещании "Проблемы электромагнитной совместимости силовых полупроводниковых преобразователей" (Таллинн, 1986 г.); на III-й польско-советской научно-технической конференции "Комплексная автоматизация промышленности" (Вроцлав, 1988 г.).

Публикации. По результатам проведенных исследований опубликовано 9 печатных работ. Приоритет ряда схемных решений трансформаторно-ключевых исполнительных структур защищен 24 авторскими свидетельствами СССР.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, изложенных на 129 страницах машинописного текста с 106 рисунками на 55 страницах и 13 таблицами на 11 страницах, списка литературы из 164 наименований и приложений. Общий объем работы составляет 226 страниц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность проводимых исследований, сформулированы цель и задачи диссертации, приведены основные положения, выносимые на защиту, дана информация о структуре работы.

В первой главе показана роль системы преобразования электрической энергии в испытательных и технологических комплексах и ее влияние на основные технико-экономические характеристики испытательного и технологического процесса. Рассмотрена одна из наиболее часто используемых технологических и испытательных операций - регулирование переменного и выпрямленного напряжения и определен ряд специфических требований к преобразователям, реализующим указанные функции. Приведена краткая характеристика технических средств регулирования напряжения, среди которых наиболее полно удовлетворяют данные требования дискретные регуляторы на основе ТКИС. Показано, что построение ТКИС однофазных регуляторов напряжения эффективно и просто может осуществляться в случае однократного преобразования электрической энергии при наличии одного трансформирующего элемен-

та, вторичная обмотка которого выполнена с отводами или в виде регулировочных секций с ключами в цепи силового тока.

Установлено, что из всех случаев использования ТКИС в качестве силового исполнительного органа системы преобразования электрической энергии только в многоуровневых выпрямителях в процессе переключения регулировочных обмоток, под которым подразумевается изменение коэффициента трансформации трансформирующего элемента путем коммутации тиристоров в фиксированные моменты времени не чаще одного раза за полупериод сетевого напряжения, не возникает аварийные контуры короткого замыкания. Для ТКИС РПН с естественной коммутацией процесс преобразования электрической энергии сопряжен с возникновением контуров короткого замыкания регулировочных обмоток, величина тока в которых в первом приближении определяется выражением

$$I_{к.з.} = \left[\sqrt{2} U_{к.мах} \sin \omega t - \Sigma U_g \right] / Z_{кон.} \quad (1)$$

где $U_{к.мах}$ - действующее значение максимального коммутируемого напряжения регулировочной обмотки (группы обмоток), ΣU_g - сумма мгновенных значений падения напряжения на полупроводниковых элементах, а $Z_{кон.}$ - сопротивление резисторов, обмоток и т.п. в контуре короткого замыкания. При фиксированном моменте времени подачи сигналов управления, который обычно опережает момент перехода напряжения через ноль на время необходимое для выключения тиристоров, уменьшение $I_{к.з.}$ в первую очередь может быть достигнуто за счет минимизации величины $U_{к.мах}$. Определенное влияние на $I_{к.з.}$ оказывают и показатели ΣU_g , $Z_{кон.}$, однако их увеличение связано с ростом потерь в силовом исполнительном органе.

В работе предложено в комплекс основных параметров ТКИС, с последней их оптимизацией, ввести показатель $U_{к.мах}$ и показатель максимального суммарного коммутируемого напряжения регулировочных обмоток во всех возможных контурах короткого замыкания $\Sigma U_{к.мах}$ или их относительные значения $U_{к.мах}^*$, $\Sigma U_{к.мах}^*$, определяемые по отношению к диапазону регулирования. Учитывая дискретный характер функционирования ТКИС, рациональными предложено считать режимы переключения, обеспечивающие равномерное изменение величины выходного напряжения со ступень регулирования E , при которых $U_{к.мах} = \Sigma U_{к.мах} = E$. В свою очередь минимизация E также положительно сказывается на протекании указанных процессов, что особенно проявляется при увеличении числа дискретных уровней выходного напряжения в заданном диапазоне регулирования. Однако это приводит к значительно-

му росту числа используемых ключей в ТКИС, а значит усложнению силового исполнительного органа. В случаях, когда $U_{к.мах}$ уменьшается до некоторого граничного значения, при котором отсутствуют условия для возникновения $1_{к.з.}$. т.е.

$$\sqrt{2} U_{к.мах} \sin \omega t - \Sigma U_{г} \leq 0, \quad (2)$$

процессы переключения протекают наиболее благоприятно и трактуются как оптимальные.

Показано, что ряд трудностей в разработке силовых исполнительных органов с естественной коммутацией тиристоров, где одновременно были бы удовлетворены противоречивые требования по обеспечению высокой эффективности использования ключей и рациональному (в том числе и оптимальному) протеканию процессов переключения регулировочных обмоток, обусловил необходимость создания принципов построения таких ТКИС.

Вторая глава посвящена изложению принципов построения ТКИС РПН систем преобразования электрической энергии на основе трансформаторно-ключевых обобщенных итеративных структур.

Приведены основные положения топологии силовых исполнительных органов, каждый из которых может быть представлен в виде определенного набора трансформаторно-ключевых ячеек, состоящих из пары ключей переменного тока и регулировочной обмотки и образующих элементарные функциональные преобразователи переменного напряжения. Определены способы подключения нагрузки к ячейке и условия ее функционирования для заданного вида преобразования. Соединение выводов ячеек по отношению друг к другу может производиться тремя способами, из которых наиболее общим является параллельно-каскадный способ, образующий трансформаторно-ключевую обобщенную итеративную структуру. Расположение выводов таких обобщенных структур осуществляется строго упорядоченно в узлах как двухмерной (рис.1), так и трехмерной координатной решетки, где v - ключ, w - регулировочная обмотка и x - узел с соответствующими индексами. Это позволяет формальным образом определять местонахождение любого элемента или вывода обобщенной структуры в декартовой системе координат, чем обеспечивается унификация, простота и эффективность ее использования при синтезе конкретных вариантов ТКИС. С учетом условий функционирования трансформаторно-ключевой обобщенной итеративной структуры накладываются ограничения на возможные состояния ключей.

Обобщенная электрическая цепь силового исполнительного органа

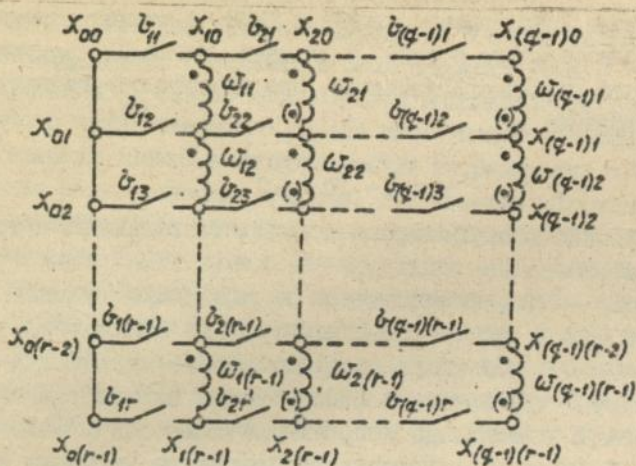


Рис. 1

РН системы преобразования электрической энергии, содержащая двухмерную трансформаторно-ключевую обобщенную итеративную структуру $S_{\text{ТКОИС}}$, может быть представлена как объединение цепей

$$S = S_{\text{ТКОИС}} U S_{\text{У}} U S_{\text{З}} \dots \quad (3)$$

каждую из которых можно представить в виде бинарных отношений для пар узлов координатной решетки и соответствующих им элементов, где $S_{\text{У}}$ - цепь сетевого источника питания, $S_{\text{З}}$ - цепь нагрузки. Необходимость использования нерегулируемой обмотки с возможностью ее реверсирования по отношению к группе регулировочных обмоток послужила причиной разработки универсальной модели трансформаторно-ключевой обобщенной итеративной структуры $S_{\text{ТКОИС}}^*$. В этом случае для трансформаторного варианта обобщенной электрической цепи $S_{\text{тр}}^*$ однозначно определены узлы подключения сетевого источника питания и нагрузки, в то время как для ее автотрансформаторного варианта $S_{\text{атр}}^*$ существует несколько способов подключения сетевого источника питания, соответствующий выбор которых позволяет в значительной степени влиять на установленную мощность автотрансформатора в ТКИС широкодиапазонных РН.

Предложенные трансформаторный и автотрансформаторный варианты обобщенной электрической цепи, содержащие модель двухмерной трансформаторно-ключевой обобщенной итеративной структуры, являются базовыми при синтезе конкретных двухмерных ТКИС. Синтез таких ТКИС, с учетом разработанных правил, наиболее рационально проводится при

помощи матриц используемых ключей M_U^T и матриц используемых обмоток M_W^T , которые содержат упорядоченные в двумерной координатной решетке ключи или регулировочные обмотки. Возможность реализации известных вариантов ТКИС, а также синтез новых схемных решений, подтвердили правильность предложенных принципов построения силовых исполнительных органов РПН.

Анализ исследуемых ТКИС показал, что обладая высокой эффективностью использования ключей двумерные силовые исполнительные органы по показателям $U_{к.маж}$, $\Sigma_{к.маж}$ существенно уступают их оптимальным значениям. Данное обстоятельство ограничивает возможность применения двумерных ТКИС с естественной коммутацией в РПН систем преобразования электрической энергии.

В третьей главе рассмотрены ТКИС РПН систем преобразования электрической энергии, реализующие рациональные режимы переключения регулировочных обмоток.

Установлено, что рациональные режимы переключения секционированных регулировочных обмоток возможны в случаях введения в двумерные ТКИС перекрывающих цепей, в качестве которых обычно используются дополнительные ключи. Упорядоченное построение перекрывающих цепей, охватывающих все возможные варианты схемных решений, необходимо проводить в рамках обобщенной электрической цепи, содержащей трехмерную трансформаторно-ключевую обобщенную итеративную структуру. С учетом использования нерегулируемой обмотки в работе предложена модель трехмерной трансформаторно-ключевой обобщенной итеративной структуры в виде

$$S_{\text{ТКОИС}}^{**} = \left[\bigcup_{k=1}^p S_{\text{ТКОИС } k}^* \right] US_U^* \quad (4)$$

где $S_{\text{ТКОИС } k}^*$ - модель двумерной трансформаторно-ключевой обобщенной итеративной структуры, расположенной в каждом из p горизонтальных слоев координатной решетки; S_U^* - объединение цепей, содержащих только дополнительные ключи, которые расположены между соответствующими узлами указанных слоев. На базе предложенной модели разработаны трансформаторный и автотрансформаторный варианты обобщенной электрической цепи. Построение различных вариантов трехмерных ТКИС проводится при помощи матриц используемых ключей, матриц используемых обмоток, а также матриц используемых дополнительных ключей для каждого из слоев координатной решетки.

Разработаны три базовых варианта трехмерных ТКИС, пример реализации одного из которых приведен на рис.2 в рамках координат-

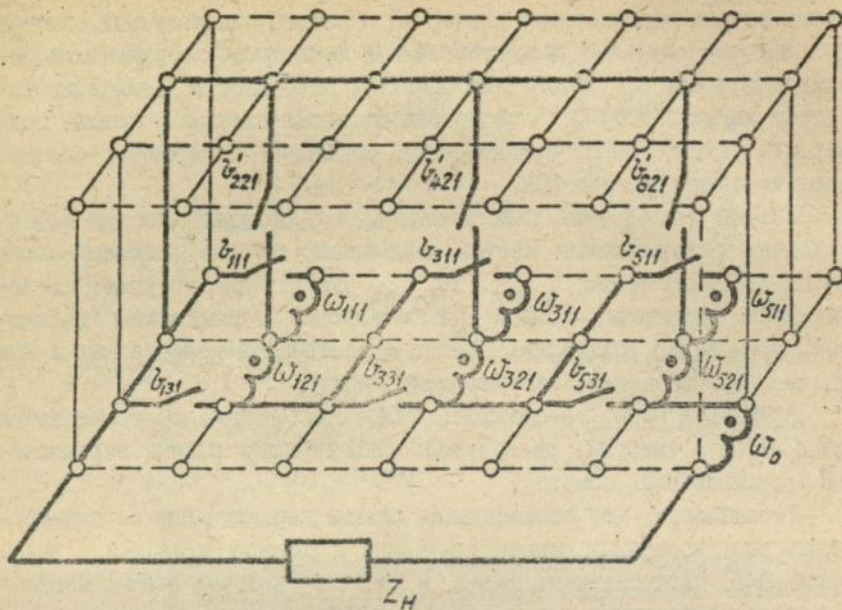


Рис.2

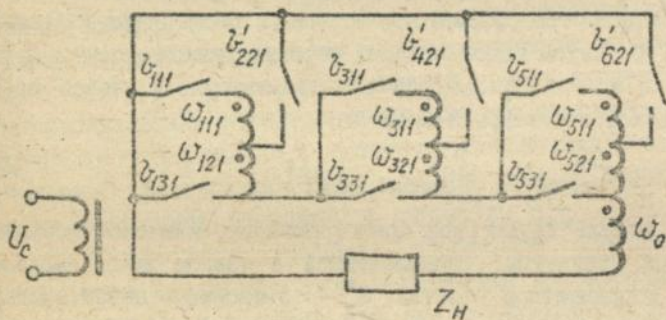


Рис.3

ной решетки размерностью $q=7$, $r=4$, $p=2$. На рис.3 показано обычное изображение данной схемы без учета системы координат. При числе используемых ключей $N=9$ указанный силовой исполнительный орган реализует $J=15$ дискретных уровней выходного напряжения и обеспечивает помимо удовлетворительной эффективности использования ключей, рациональные режимы переключения регулировочных обмоток трансфор-

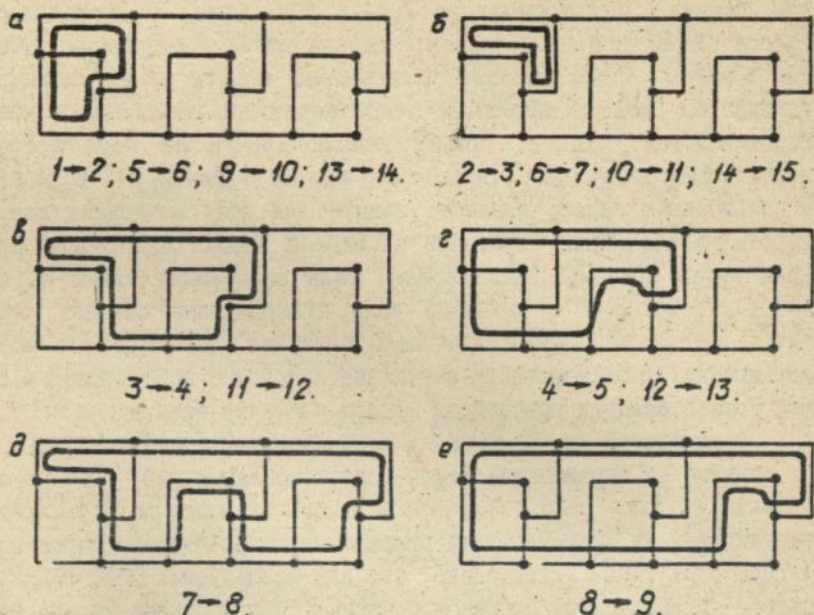


Рис. 4

матора с оптимальными основными показателями качества ТКИС, где $U_{к.мах} = \sum U_{к.мах} = E$, $U_{к.мах}^* = \sum U_{к.мах}^* = 1/(J-1)$. На рис. 4 графически изображены контуры короткого замыкания, возникающие в рассматриваемой ТКИС при переходе от одного уровня напряжения к другому, с указанием их нумерации. В каждом из приведенных контуров величина максимального коммутируемого напряжения с учетом того, что величина ЭДС регулировочных обмоток w_{321} , w_{521} соответственно в три и в семь раз превышает ЭДС остальных регулировочных обмоток, равна напряжению ступени регулирования E .

Для любого из базовых вариантов трехмерных ТКИС РПН в переходных состояниях характерным является возникновение только одного контура короткого замыкания с единым для всех переходов топологическим узлом коммутации ключей, что позволяет минимизировать затраты при построении элементов защиты от токов короткого замыкания.

В четвертой главе рассмотрены вопросы практической реализации регуляторов напряжения систем преобразования электрической энергии на основе ТКИС.

Показано, что в случае разработки конкретного схемного реше-

ния силового исполнительного органа РПН наряду с необходимостью выбора элементной базы важное значение имеет организация ТКИС таким образом, чтобы наиболее рационально ввести в них минимальное количество средств защиты от токов короткого замыкания в контуре переключаемых обмоток. Прямая замена ключей на пары встречно-параллельно включенных тиристоров еще не гарантирует возможность использования общего элемента защиты для всех возможных контуров короткого замыкания. Введение элементов защиты необходимо проводить путем преобразования общего узла коммутации схемы на общие катодный, анодный и выходной узлы. Разработаны схемные решения ТКИС, содержащие любое количество каскадов тиристоров, в которых ограничение тока короткого замыкания в контуре переключаемых обмоток осуществляется при помощи одного элемента защиты.

Рассмотрены варианты построения элементов защиты ТКИС РПН и их влияние на ограничение токов короткого замыкания. С целью определения условий работы элементов защиты в контуре переключаемых регулировочных обмоток были проанализированы режимы переключения тиристорных ТКИС. Установлено, что для исследуемых ТКИС РПН при их работе на любые виды нагрузок возникновение контуров короткого замыкания переключаемых обмоток возможно в пределах временных интервалов от момента подачи управляющих сигналов до момента перехода напряжения через ноль. Анализ переходных состояний ТКИС проводился при помощи схем замещения контура короткого замыкания. Реализация оптимальных безаварийных режимов переключения в силовых исполнительных органах, учитывая влияние показателя ΣU_g (1), наиболее эффективно была получена в случаях использования диодов в качестве элементов защиты, а также в случаях увеличения количества тиристоров в контуре переключаемых обмоток путем наращивания каскадов ТКИС. Однако с целью уменьшения потерь в силовом исполнительном органе количество последовательно включенных полупроводниковых элементов в цепи тока нагрузки строго регламентировано. Представленные в работе осциллограммы подтверждают возможность оптимальных безаварийных переключений в предложенных вариантах ТКИС РПН систем преобразования электрической энергии и применение в качестве эффективных средств защиты полупроводниковых диодов и тиристоров.

Приведено описание ряда разработанных регуляторов напряжения систем преобразования электрической энергии на основе ТКИС с естественной коммутацией тиристоров, используемых в комплексах технологического и испытательного оборудования. Наиболее характерным

примером разработки является программный регулятор переменного напряжения ПРИН, предназначенный для работы в составе автоматизированного контрольно-испытательного комплекса качества продукции. Регулятор осуществляет в широком диапазоне изменение напряжения по заданной программе без возникновения токов короткого замыкания в контурах переключаемых обмоток и при наличии 17 пар тиристоров обеспечивает реализацию 93 дискретных уровней выходного напряжения. Система управления ПРИН выполнена с использованием однокристалльной микро-ЭВМ КР1816ВЕ48. Функциональные возможности такого регулятора существенно расширены за счет введения в его состав блока сопряжения с персональной ЭВМ.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

Основные результаты исследований по созданию принципов построения ТКИС с естественной коммутацией, реализующих безаварийные режимы переключения обмоток трансформатора, для регуляторов напряжения систем преобразования электрической энергии испытательных и технологических комплексов состоят в следующем.

1. Показана необходимость введения в комплекс основных показателей ТКИС величин максимального и максимального суммарного коммутируемого напряжения регулировочных обмоток, а также их относительных значений. Определено, что данные показатели оказывают существенное влияние на величину тока короткого замыкания в возможных контурах переключаемых обмоток и тем самым характеризуют качество процесса естественной коммутации.

2. Выделена элементарная трансформаторно-ключевая ячейка силового исполнительного органа регулятора переменного напряжения системы преобразования электрической энергии и предложены способы комплексирования ячеек, из которых наиболее общим является параллельно-каскадный способ, образующий трансформаторно-ключевую обобщенную итеративную структуру. Показана необходимость и достаточность упорядоченного расположения трансформаторно-ключевых обобщенных итеративных структур в узлах двухмерной и трехмерной координатной решетки и определены условия функционирования ключей.

3. Разработаны трансформаторный и автотрансформаторный варианты обобщенной электрической цепи, включающей в себя модель двухмерной трансформаторно-ключевой обобщенной итеративной структуры, представленной в виде матриц используемых ключей.

зуемых обмоток, на основе которых существенно упрощается синтез силовых исполнительных органов регуляторов переменного напряжения систем преобразования электрической энергии.

4. При использовании предложенных методик на основе обобщенной электрической цепи синтезирован ряд оригинальных схемных решений силовых исполнительных органов, проведен их анализ по основным показателям качества ТКИС и даны рекомендации по применению наиболее эффективных схем в регуляторах переменного напряжения систем преобразования электрической энергии.

5. Разработаны ТКИС широкодиапазонных регуляторов переменного напряжения систем преобразования электрической энергии и даны рекомендации по уменьшению установленной мощности автотрансформатора, величина которой в значительной степени определяется выбором узлов координатной решетки для подключения сетевого источника питания.

6. При разработке ТКИС, в которых реализуется рациональные безаварийные режимы переключения обмоток, для регуляторов переменного напряжения систем преобразования электрической энергии предложено использование трансформаторного и автотрансформаторного вариантов обобщенной электрической цепи, содержащей модель трехмерной трансформаторно-ключевой обобщенной итеративной структуры. Разработаны базовые варианты таких ТКИС и определены условия комплексования ключей в каскадах координатной решетки.

7. Обоснована необходимость топологического преобразования общего узла коммутации тиристорных ТКИС и приведены варианты построения и введения в силовой исполнительный орган средств защиты от токов короткого замыкания в контурах переключаемых обмоток. Разработаны тиристорные ТКИС, для которых при любом числе используемых тиристоров и требуемом количестве реализуемых уровней выходного напряжения необходим только один общий элемент защиты.

8. Исследованы режимы переключения тиристорных ТКИС с естественной коммутацией, используемых в регуляторах переменного напряжения систем преобразования электрической энергии, при работе на любые виды нагрузок и определены условия оптимального протекания указанных процессов без возникновения токов короткого замыкания в контурах переключаемых обмоток. Предложено дополнительно введенные диоды, а также тиристоры силового исполнительного органа использовать в качестве элементов защиты ТКИС.

9. На основе предложенных ТКИС разработаны высокоэффективные

средства регулирования напряжения систем преобразования электрической энергии, которые внедрены в составе комплексов испытательного и технологического оборудования.

ОСНОВНОЕ СОДЕЙСТВИЕ ДИССЕРТАЦИИ СТРАЖЕНО
В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

1. Лялько О.В. Повышение эффективности использования электромагнитного элемента в трансформаторно-ключевых исполнительных структурах программных регуляторов переменного напряжения // Тез. докл. III Всесоюз. науч.-техн. конф. Проблемы преобразовательной техники, окт. 1983 г. - Киев: Изд. Ин-та электродинамики АН УССР, 1983. - Ч. V. - С. 91-94.
2. Лялько О.В. Рациональное построение силового коммутатора в многоуровневых преобразователях выпрямленного напряжения с переменным в процессе регулирования гармоническим составом // Тез. докл. III Всесоюз. науч.-техн. сов. Проблемы электромагнитной совместимости силовых полупроводниковых преобразователей, - Таллинн: Изд. АН ЭССР, 1986. - Ч. 3. - С. 40-41.
3. Лялько О.В. Построение исполнительных структур преобразователей различного функционального назначения на основе трансформаторно-ключевых ячеек // Тез. докл. IV Всесоюз. науч.-техн. конф. Проблемы преобразовательной техники, сент. 1987 г. - Киев: Изд. Ин-та электродинамики АН УССР, 1987. - Ч. IV. - С. 133-140.
4. Лялько О.В. Повышение эффективности использования трансформаторно-ключевых исполнительных структур с безаварийными алгоритмами работы // Тез. докл. V Всесоюз. науч.-техн. конф. Проблемы преобразовательной техники, сент. 1991 г. - Киев: Изд. Ин-та электродинамики АН УССР, 1991. - Ч. I. - С. 235-237.
5. Липковский К.А., Лялько О.В., Непогодьеv С.В. Программный регулятор напряжения со стабилизацией заданного уровня // Методы и средства повышения эффективности устройств преобразовательной техники: Сб. науч. тр. - Киев: Наук. думка, 1981. - С. 55-61.
6. Липковский К.А., Лялько О.В. Широкодиапазонные дискретные регуляторы переменного напряжения на основе трансформаторно-ключевых исполнительных структур // Силовые полупроводниковые преобразователи и электрооборудование для энергосберегающих технологий: Сб. науч. тр. - Киев: Наук. думка, 1988. - С. 91-96.
7. Липковский К.А., Лялько О.В., Бирчук В. П., Уваров Д. В. Трансфор-

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

- маторно-ключевые дискретные преобразователи с плавным регулированием выходного напряжения для автоматизированных контрольно-испытательных стендов // Комплексная автоматизация промышленности. III польско-советская научно-техническая конференция, 11-14 октября 1988 г. - Вроцлав. - С.333-336.
8. А.с. 1095152 СССР, МКИ G05F 1/14. Регулятор переменного напряжения / К.А.Липковский, О.В.Лялько, С.В.Непогодьев, Ю.В.Сидоренко. - Оpubл. 30.05.84, Бвл. N 20.
 9. А.с. 1095153 СССР, МКИ G05F 1/14. Регулятор переменного напряжения / К.А.Липковский, О.В.Лялько, С.В.Непогодьев, В.Ф.Назаренко. - Оpubл. 30.05.84, Бвл. N 20.
 10. А.с. 1121658 СССР, МКИ G05F 1/14. Многоступенчатый регулятор выпрямленного напряжения / К.А.Липковский, О.В.Лялько, С.В.Непогодьев, В.Ф.Назаренко. - Оpubл.30.10.84, Бвл. N 40.
 11. А.с. 1285448 СССР, МКИ G05F 1/22. Многоступенчатый регулируемый преобразователь переменного напряжения в переменное / К.А.Липковский, О.В.Лялько, С.В.Непогодьев, В.Ф.Назаренко. - Оpubл. 23.01.87, Бвл. N 3.
 12. А.с. 1374371 СССР, МКИ H02M 5/257. Трансформаторно-ключевой преобразователь переменного напряжения в переменное / К.А.Липковский, О.В.Лялько, Л.А.Рутманис. - Оpubл. 15.02.88, Бвл. N 6.
 13. А.с. 1437842 СССР, МКИ G05F 1/22. Преобразователь переменного напряжения в переменное / К.А.Липковский, О.В.Лялько, Д.В.Уваров - Оpubл. 15.11.88, Бвл. N 42.
 14. А.с. 1603354 СССР, МКИ G05F 1/14. Регулятор переменного напряжения / К.А.Липковский, О.В.Лялько, Д.В.Уваров. - Оpubл. 30.10.90, Бвл. N 40.
 15. А.с. 1676027, МКИ H02M 5/257. Регулируемый преобразователь переменного напряжения в переменное / К.А.Липковский, О.В.Лялько, В.Д.Бирук, Д.В.Уваров. - Оpubл. 07.09.91, Бвл. N 33.
 16. А.с. 1704141 СССР, МКИ G05F 1/20. Трансформаторно-ключевой регулятор переменного напряжения / К.А.Липковский, О.В.Лялько. - Оpubл. 07.01.92, Бвл. N 1.

В работах, выполненных в соавторстве, автор разработал трансформаторно-ключевую обобщенную итеративную структуру на основе которой предложены варианты схемных решений ТКМС (6), предложил варианты построения силовых исполнительных органов (5,7). В авторских свидетельствах личный вклад указан в материалах заявок.

Соискатель *Липковский*

Подписано к печати 28.01.93.

Формат 60x84/16.

Бумага офсетная N 2. Усл.-печ. л. 1.0

Уч.-изд. лист 1.0

Усл.-кр. отт. 1.0

Тираж 110. Заказ N 5

Бесплатно

Институт проблем энергосбережения АН Украины

252070, Киев-70, ул.Покровская,11.

Полиграфический участок

Института проблем энергосбережения АН Украины

252070, Киев-70, ул.Покровская,11

AB 26.836

AB 26.836