

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

На правах рукописи



КРАВЧЕНКО Виталий Васильевич

ТРАНЗИСТОРНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ МОДУЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ
ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Специальность 05.09.12 - Полупроводниковые
преобразователи электроэнергии

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

КИЕВ - 1996



00753600 (L)

AB 35.047

~~Дисертаційний відомий звіт~~ б.

Робота виконана в відділі № 21 Інститута електродинаміки
НАН України, г. Київ

Научний керівитель - доктор технічних наук, професор
Комаров Николай Сергеевич

Офіційні опоненти: доктор технічних наук
Чехет Едуард Михайлович,

кандидат технічних наук
Марченко Николай Борисович

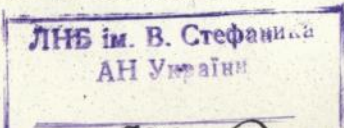
Ведущая організація - Інститут електросварки ім. Е.О.Патона
НАН України, г. Київ

Захист дисертації состоится 25 липня 1996 г. в 14 час. на за-
седанні спеціалізованого ученого совета Д 01.98.02 при Інсти-
туте електродинаміки НАН України по адресу:

252680, Київ-57, проспект Перемоги, 56, тел. 446-91-15.

С дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Інститута
електродинаміки НАН України.

Автореферат розослан 25 мая 1996 г.



Учений секретар
спеціалізованого ученого совета

В.С. Федий

В.С. Федий

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы и степень исследования тематики диссертации. Одной из важнейших народнохозяйственных задач является повышение конкурентоспособности отечественной продукции, что возможно только при значительном повышении ее качества и снижении производственных затрат. В значительной степени эти цели могут быть достигнуты за счет внедрения новых электротехнологических процессов, таких как процессы электрогальваники, ионно-плазменного нанесения покрытий, различные электротермические процессы.

Как правило, мощные устройства питания для электротехнологии строятся на основе тиристорных преобразователей. Однако низкая частота преобразования энергии в этих устройствах определяет большую металлоемкость оборудования. Кроме того, в ряде случаев при работе на нелинейную нестационарную нагрузку быстродействие таких преобразователей оказывается недостаточным, что не позволяет обеспечить нормальное протекание технологического процесса.

Это определяет актуальность исследований, направленных на создание импульсных транзисторных источников вторичного электропитания (ИВЭП), осуществляющих преобразование энергии на частотах порядка 10...20 кГц и выше. При разработке таких преобразователей следует ориентироваться на перспективный модульный принцип построения, при котором источник питания требуемой мощности набирается из требуемого числа одинаковых функционально и конструктивно законченных модулей, размещенных в стандартном шкафу. По входу модули соединяются параллельно, а по выходу - параллельно либо последовательно в зависимости от величины выходного напряжения.

Такой принцип имеет ряд преимуществ по сравнению с построением единичного преобразователя, рассчитанного на полную мощность. В частности, он позволяет обеспечить высокую надежность источника электропитания за счет введения незначительной резервной избыточности, осуществить равномерное токораспределение между параллельно включенными модулями за счет использования обратных связей по току и напряжению, обеспечить удобство обслуживания и ремонта и др.

При этом вопрос создания мощных устройств электропитания в первую очередь сводится к разработке высокоэффективного преобразовательного модуля, который, если не учитывать его системных функций, может рассматриваться как отдельный сетевой ИВЭП.

Для питания электротехнологического оборудования применяется,

как правило, трехфазная трехпроводная сеть переменного тока 380 В/50 Гц, т.е. диапазон рабочих напряжений преобразователя с учетом нестабильности сети составляет 400...600 В. Номенклатура выпускаемых транзисторов, рассчитанных на такие напряжения, достаточно ограничена. При этом существует закономерность ухудшения частотных и усилительных свойств транзисторов с ростом допустимых напряжений.

В этой ситуации одним из перспективных путей создания высокоэффективных преобразовательных модулей является использование последовательного соединения инверторных ячеек, что позволяет применять низковольтные транзисторы для работы в цепях с повышенным напряжением. В частности, высокочастотное преобразование энергии может быть эффективно реализовано посредством двух полумостовых инверторных ячеек, включенных по цепи питания последовательно. Регулирование величины выходного напряжения в таком преобразователе может быть реализовано несколькими способами, например:

- за счет фазимпульсной модуляции (ФИМ) выходных напряжений отдельных инверторов с последующим их суммированием на обмотках выходных трансформаторов;

- посредством синфазной ШИМ, когда оба инвертора работают в режиме ШИМ с синфазной коммутацией силовых транзисторов.

Возможность использования ФИМ, несмотря на некоторое упрощение организации цепей управления транзисторами, сдерживается возникающей неравномерностью распределения напряжения питания на последовательно включенных инверторных ячейках и неравномерностью нагрева силовых транзисторов. Электромагнитные процессы в такой схеме изучены весьма слабо, что не позволяет создавать эффективные устройства электропитания на основе такого принципа управления.

Схема, реализующая управление транзисторами посредством синфазной ШИМ, исследована значительно полнее. Известно, что неравномерность распределения напряжений на инверторах обусловлена неоднородностью параметров их элементов. Однако влияние некоторых конкретных параметров, например, индуктивностей рассеяния трансформаторов, изучено слабо, в то время как их разброс может приводить к значительной неравномерности токов через транзисторы. Кроме того, опасные режимы могут возникать в схеме при одновременности коммутации одноименных транзисторов инверторов. Вопрос о выработке мер защиты от этих явлений может быть решен только в результате анализа электромагнитных процессов в преобразователе.

Построение мощных устройств электропитания на основе модуль-

ного принципа предопределяет наличие в каждом модуле двух отрицательных обратных связей – по выходному напряжению и по току дросселя выходного фильтра, что диктуется необходимостью равномерного распределения тока нагрузки между модулями и защиты преобразователя от перегрузок по току. Вопрос об устойчивости таких систем и возможности возникновения недопустимых периодических режимов с учетом неидеальностей элементов преобразователя изучен недостаточно, хотя является важным и определяет фильтрующие свойства преобразователя и его динамические характеристики.

Указанные обстоятельства обуславливают актуальность исследований, направленных на изучение электромагнитных процессов в силовых схемах данных преобразователей, а также вопросов, связанных с повышением устойчивости ИВЭП при наличии обратных связей по выходному напряжению и току дросселя с учетом неидеальности элементов выходного фильтра.

Предмет и объект исследования. В диссертации исследуется распределение напряжений питания в транзисторных преобразователях с ШИМ и ШИМ, построенных на основе последовательного соединения полумостовых инверторных ячеек, а также условия возникновения периодических режимов в ИСН с ШИМ-2 с подчиненным регулированием.

Методы исследования. Для решения поставленных задач в работе применялись аналитические методы теории электрических цепей, методы математического и физического моделирования.

При математическом моделировании квазистационарных режимов в преобразователе использовался метод Эйлера (конечных приращений). Исследование условий возникновения вынужденных колебаний на основной субгармонике частоты модуляции производилось при помощи операторного метода с учетом положений теории авторегулирования.

Цель и основные задачи научного исследования. Целью работы является развитие теоретических основ построения модуля ИВЭП, допускающего параллельно-последовательное объединение по выходу с любым количеством аналогичных модулей; обеспечение равномерности распределения токов и напряжений в преобразовательном модуле, построенном на основе последовательного соединения инверторных ячеек, а также между модулями в источнике питания для электротехнологии.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- исследование распределения напряжений и токов нагрузки в преобразователе с ШИМ, построенном на основе последовательного по

входу соединения полумостовых инверторных ячеек и объединения выходов по переменному току;

- исследование распределения напряжений и токов нагрузки в преобразователе с ШИМ, построенном на основе последовательного по входу соединения полумостовых инверторных ячеек и объединения выходов по постоянному току;

- анализ периодических режимов в ИВЭП с подчиненным регулированием при наличии обратных связей по выходному напряжению и току дросселя фильтра.

Научная новизна исследований. В работе получены следующие новые результаты:

1. Показано, что в преобразователе с ФИМ, построенном на основе последовательного по входу соединения полумостовых инверторных ячеек, возникает неравномерность распределения напряжений на инверторах даже при идентичности параметров их элементов;

2. Установлено, что в преобразователе с ФИМ, построенном на основе последовательного соединения полумостовых инверторных ячеек, величина разброса питающих напряжений на инверторах определяется, главным образом, значениями индуктивности рассеяния выходных трансформаторов, частотой преобразования, величиной фазового угла и величиной приведенного значения сопротивления нагрузки;

3. Исследования показали, что в предложенной схеме преобразователя с ФИМ, содержащей цепи выравнивания напряжений на последовательно соединенных инверторных ячейках, обеспечивается ограничение неравномерности распределения напряжений на уровне, обеспечивающем безопасную работу силовых транзисторов, при этом токи через транзисторы не превышают допустимых значений;

4. Установлено, что в схеме преобразователя с синфазной ШИМ, построенного на основе последовательного по входу и параллельного по выходу соединения полумостовых инверторных ячеек, при объединении цепей перед общим дросселем фильтра, наблюдается существенное различие мгновенных значений токов через транзисторы инверторов при разбросе величин индуктивностей рассеяния трансформаторов инверторов или несинхронности коммутации соответствующих ключей;

5. На основании полученных аналитических выражений, описывающих границы возникновения колебаний на основной субгармонике частоты модуляции ($F_c/2$) в импульсном стабилизаторе напряжения (ИСН) с ШИМ-2 с обратными связями по выходному напряжению и току дросселя выходного фильтра, показано, что в случае модуляции заднего

фронта импульса введение токового контура при коэффициентах заполнения $\gamma < 0,5$ повышает границу возникновения колебаний на частоте $F_c/2$, а при $\gamma > 0,5$ снижает ее для произвольных значений внутреннего активного сопротивления конденсаторов выходного фильтра. Увеличение внутреннего сопротивления конденсаторов фильтра в рассматриваемой двухконтурной системе при $\gamma < 0,5$ повышает границу возникновения колебаний на $F_c/2$, а при $\gamma > 0,5$ снижает ее. В случае модуляции переднего фронта введение обратной связи по току, а также увеличение внутреннего сопротивления конденсаторов фильтра при $\gamma > 0,5$ повышают границу, а при $\gamma < 0,5$ снижают ее.

Теоретическая ценность работы. Решена научная задача исследования распределения напряжений на последовательно соединенных полумостовых инверторных ячейках в транзисторных преобразователях с ФИМ и ШИМ, а также задача анализа условий возникновения колебаний на основной субгармонике частоты модуляции в ИСН с ШИМ-2 с обратными связями по напряжению и току.

Практическая ценность работы. На основе проведенных исследований предложены меры, обеспечивающие ограничение разброса напряжений питания на инверторных ячейках в ИВЭП с ФИМ, предложенное схемотехническое решение защищено авторским свидетельством на изобретение.

Для ИВЭП с синфазной ШИМ предложены меры, позволяющие уменьшить влияние разброса индуктивностей рассеяния силовых трансформаторов и влияние несинхронности коммутации соответствующих ключей инверторов на распределение мгновенных значений токов нагрузки между инверторными ячейками.

Выработаны практические рекомендации по повышению устойчивости ИВЭП с ШИМ-2 при наличии обратных связей по выходному напряжению и току дросселя.

Конкретный личный вклад диссертанта в разработку научных результатов, которые выносятся на защиту.

1. Математическая модель и результаты анализа квазиустановившихся процессов в преобразователе с ФИМ, состоящем из двух соединенных последовательно полумостовых инверторных ячеек, без цепей выравнивания напряжений на инверторах и при наличии таких цепей.

2. Результаты исследований, позволяющие определить величину разброса напряжений питания на последовательно включенных инверторных ячейках в преобразователе с ФИМ в функции от параметров элементов схемы.

3. Математическая модель и результаты анализа квазиустановившихся процессов в преобразователе с синфазной ШИМ, состоящем из двух включенных последовательно полумостовых инверторных ячеек.

4. Аналитические выражения, описывающие границы возникновения вынужденных колебаний на основной субгармонике частоты модуляции для понижающего ИСЛ с ШИМ-2 при наличии обратных связей по выходному напряжению и току дросселя с учетом активных потерь в конденсаторах выходного фильтра, и результаты анализа влияния параметров элементов системы управления и параметров элементов выходного фильтра преобразователя на расположение указанных границ.

Реализация результатов работы. Результаты исследований были использованы при разработке ИВЭП повышенной мощности, предназначенных для применения в составе комплексов радиоэлектронной аппаратуры, а также электротехнологических установок в КВ "Горизонт" (г. Нижний Новгород), в НИИ "Квант" (г. Кишинев), в КВ "Луч" (г. Киев), в Национальном диспетчерском центре электроэнергетики Украины (г. Киев).

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на V Всесоюзной научно-технической конференции "Проблемы преобразовательной техники" (г. Чернигов, 1991 г.), на научных семинарах Института электродинамики АН Украины (г. Киев, 1989 - 1996 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 5 печатных работ, в том числе 1 авторское свидетельство СССР.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав и заключения, изложенных на 137 страницах машинописного текста, с 59 рисунками. Содержит список литературы из 166 наименований на 19 страницах и приложение на 42 страницах. Общий объем работы составляет 250 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во введении обосновывается актуальность темы, сформулированы цель работы и задачи исследований, изложена структура диссертации и короткое содержание ее глав.

Первая глава посвящена анализу тенденций развития преобразователей для электротехнологии.

Обоснована целесообразность применения транзисторных преобразователей, построенных по модульной структуре. Основными ее досто-

инствами являются: высокая надежность системы за счет введения незначительной резервной избыточности; простота осуществления равномерного распределения токов между параллельно включенными модулями за счет использования в каждом модуле обратной связи по току; возможность простыми средствами формирования безопасной траектории переключения силовых транзисторов; возможность при изменяющейся нагрузке оптимизировать КПД преобразователя за счет дополнительного включения или отключения ряда модулей; удобство обслуживания и ремонта, в том числе без отключения установки от сети; сокращение сроков разработки устройств электропитания, рассчитанных на различную мощность, за счет идентичности входящих в них модулей.

Рассмотрен вопрос об определении наиболее рациональной схемотехники построения модуля с учетом ограничений, накладываемых возможностями современной элементной базы. Показано, что при построении ИВЭП повышенной мощности, работающих от трехфазной сети 380 В / 50 Гц, целесообразно использовать последовательное соединение двух подмостковых инверторных ячеек, что позволяет применять транзисторы, рассчитанные на меньшие рабочие напряжения, а следовательно, обладающие лучшими частотными и усилительными свойствами.

Однако создание таких модулей затрудняется отсутствием сведений о распределении напряжений между инверторными ячейками при различных способах модуляции и токов между отдельными модулями как в стационарных, так и в переходных режимах.

Вторая глава посвящена исследованию квазистационарных процессов в силовых цепях ИВЭП с ФММ и состоит из двух разделов. Первый раздел содержит анализ схемы без цепей выравнивания напряжений на инверторных ячейках, а второй — при наличии таких цепей.

Исходная схема преобразователя приведена на рис. 1. Предполагается, что сигнал управления транзисторами первого (верхнего по схеме) инвертора отстает от сигнала управления второго (нижнего) на фазовый угол φ . Рабочий диапазон изменения фазовых углов принят равным $\varphi = 0 \dots -\pi$.

Анализ электромагнитных процессов проводился по математической модели, составленной для каждой стадии постоянства топологии схемы. Обобщенная схема замещения преобразователя приведена на рис. 2. При расчете использовался метод Эйлера (конечных приращений). Полученные результаты свидетельствуют, что квазистационарный режим характеризуется неравными напряжениями на инверторных ячейках даже при идентичности соответствующих параметров их элементов.

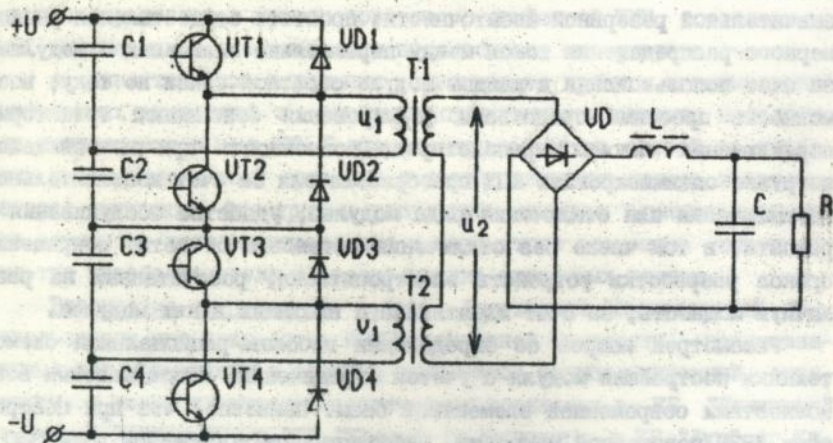


Рис. 1

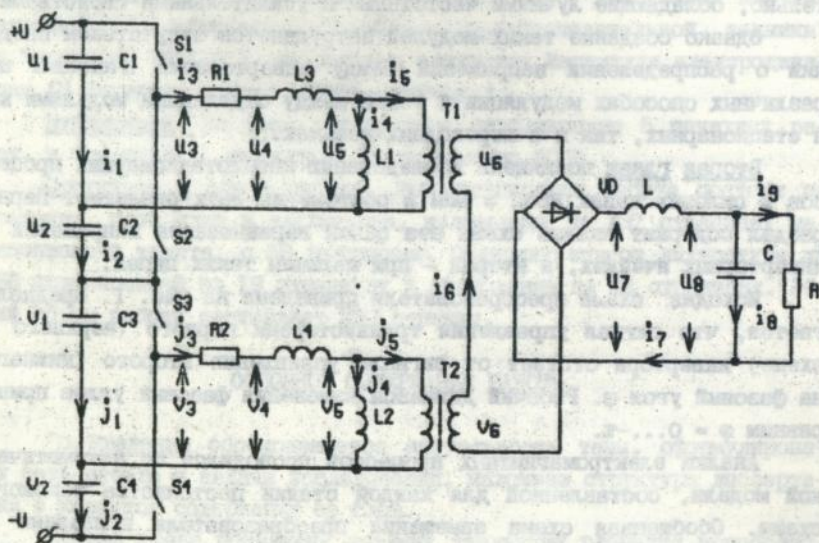


Рис. 2

II

Для этого режима было получено выражение, описывающее относительную величину разброса напряжений на последовательно включенных инверторных ячейках в схеме преобразователя с ФИМ:

$$\delta = \frac{8(\pi + \varphi)k^2 L_{\Sigma}}{RT\omega}$$

Здесь $\varphi = 0 \dots \pi$ - угол фазового сдвига между сигналами управления транзисторами первого и второго инверторов; k - коэффициент трансформации силовых трансформаторов; L_{Σ} - индуктивность рассеяния силовых трансформаторов; R - сопротивление нагрузки; T - период импульсного напряжения.

Из проведенного анализа следует, что при построении ИВЭП с ФИМ на основе последовательного по входу соединения подмостовых инверторных ячеек необходимо применять меры по принудительному выравниванию напряжений питания на инверторах, например, использовать выравнивающие цепи. Схема замещения такого преобразователя представлена на рис. 3.

Показано, что квазиустановившийся режим работы схемы характе-

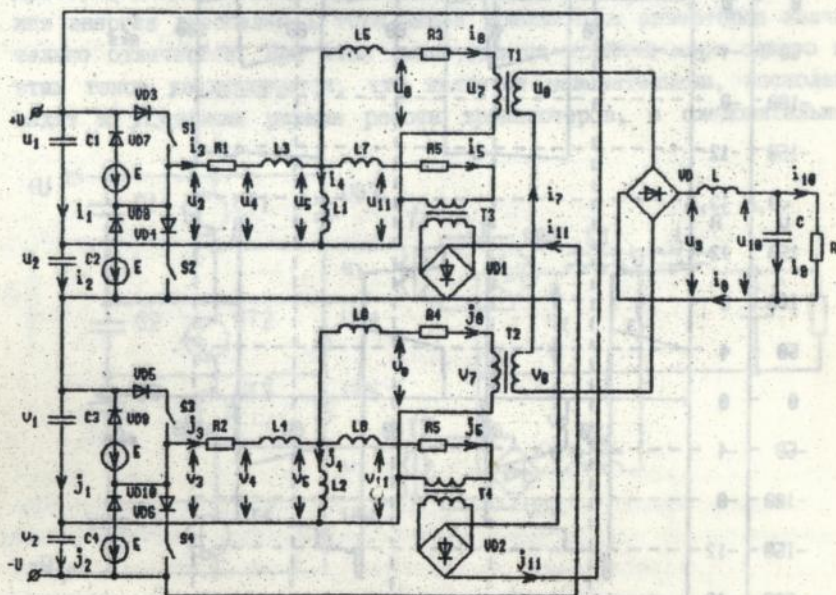


Рис. 3

ризуется разбросом питающих напряжений инверторов

$$\Delta U = U_{II} \frac{2 - k_{TR}}{2 + k_{TR}},$$

который определяется коэффициентом трансформации k_{TR} между первичными и дополнительными обмотками силовых трансформаторов. При этом k_{TR} должен удовлетворять условию $k_{TR} < 2$.

Полученные путем моделирования диаграммы напряжений на обмотках трансформаторов TV1.1 и TV2.1, а также токи в этих обмотках показаны на рис. 4.

Проведенное моделирование показало, что в рассмотренной схе-

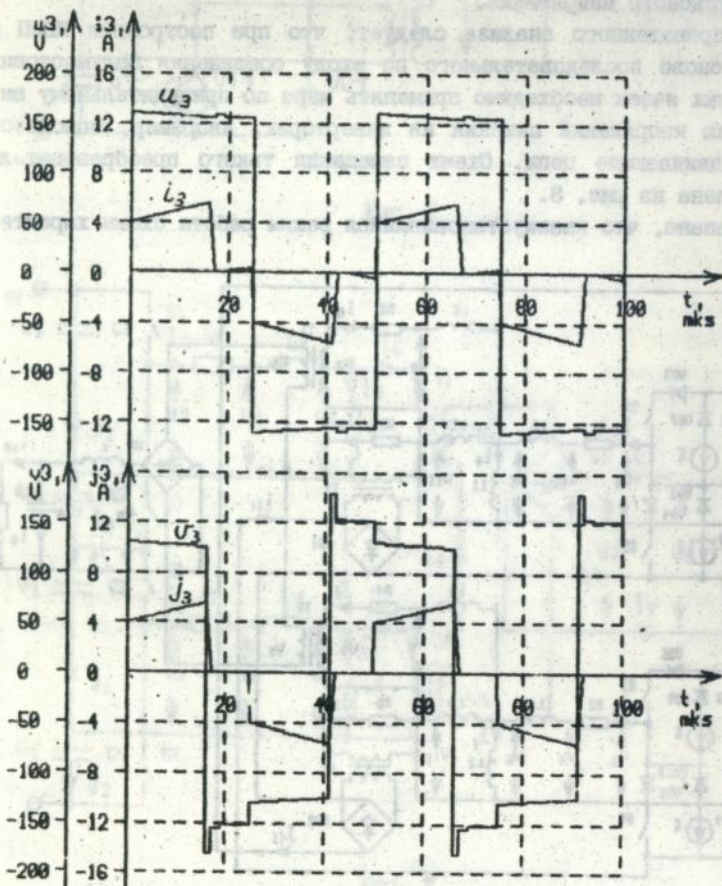


Рис. 4

ме преобразователя с выравнивающими обмотками обеспечивается решение поставленной задачи — ограничение неравномерности распределения напряжений на последовательно соединенных инверторах на уровне, обеспечивающем безопасную работу силовых транзисторов. Установлено, что выравнивание напряжений на инверторах происходит на стадиях отдачи энергии дросселем выходного фильтра за счет передачи энергии из одного инвертора в другой через выравнивающие цепи. При этом токи через транзисторы не превышают допустимых значений.

В третьей главе проведено исследование квазистационарных процессов в ИВЭП, построенном на основе последовательного по входу соединения полумостовых инверторных ячеек, транзисторы которых управляются посредством ШИМ. Схема рассматриваемого преобразователя приведена на рис. 5. Целью исследования являлось изучение влияния разброса параметров некоторых элементов преобразователя на распределение токов через транзисторы инверторов.

Рассмотрен случай, когда имеется разброс индуктивностей рассеяния трансформаторов инверторов. Предполагалось, что дроссели в цепях отдельных выпрямителей отсутствуют, имеется только общий дроссель L выходного фильтра. Установлено, что на этапах накопления энергии дросселем L токи через транзисторы инверторов значительно отличаются. При этом амплитуда по крайней мере одного из этих токов увеличивается, что является нежелательным, поскольку ведет к ухудшению режима работы транзисторов, а следовательно,

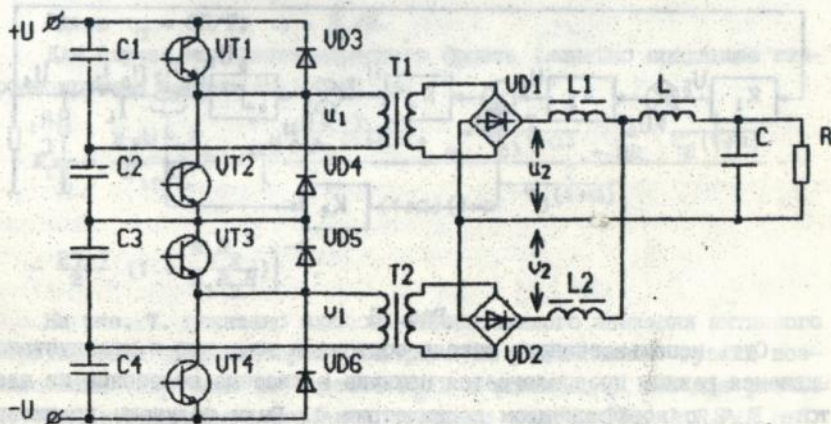


Рис. 5

снижению надежности преобразователя.

Для устранения этого явления в цепи выпрямителей каждого инвертора следует включить небольшие одинаковые индуктивности, номинал которых в несколько (2...5) раз превышает индуктивности рассеяния обмоток трансформаторов. Падения напряжений на них будут компенсировать напряжения на индуктивностях рассеяния, и скорости изменения токов выравниваются. Аналогичный эффект может быть достигнут, если вместо общего дросселя L использовать дроссели в цепи каждого выходного выпрямителя, т.е. производить параллельное объединение цепей по выходу после указанных дросселей.

Четвертая глава посвящена анализу одного из наиболее распространенных и наиболее опасных периодических режимов, возникающих при нарушении устойчивости — возникновению колебаний на основной субгармонике частоты модуляции в ИСН с ШИМ-2 с обратными связями по выходному напряжению и току дросселя фильтра с учетом внутреннего активного сопротивления конденсаторов выходного фильтра. Известные исследования данного вопроса с учетом неидеальности элементов выходного фильтра в основном касались одноконтурных систем либо двухконтурных систем с так называемым токовым регулированием, которые не относятся к классу систем с ШИМ-2.

Структурная схема ИСН с ШИМ-2 с обратными связями по напряжению и току приведена на рис. 6.

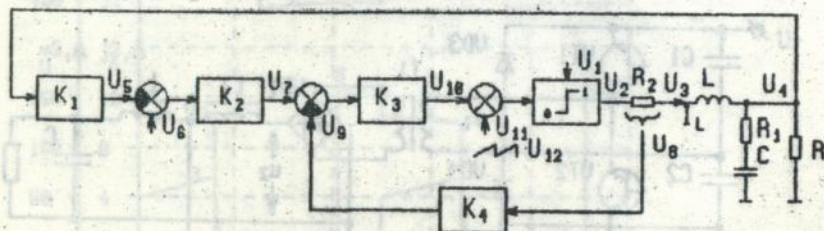


Рис. 6

Суть использованного метода состоит в том, что в квазустановившемся режиме предполагается наличие в системе колебаний на частоте $F_C/2$ с коэффициентом несимметрии δ . Были получены уравнения для координат системы, описывающие этот режим, и при $\delta \rightarrow 0$ найдены выражения для критических коэффициентов усиления, соответствующих

границе возникновения колебаний на частоте $F_C/2$.

Выражение для сигнала рассогласования:

$$U_{10}(t) = (U_6(t) - U_4(t)k_1)k_2 - (t)R_2k_4)k_3.$$

Условия переключения модулятора:

$$\begin{cases} U_{10}(T_1) = U_{12}T_1/T; \\ U_{10}(T_2) = U_{12}(T_2 - T)/T, \end{cases}$$

где U_{12} - амплитудное значение пилообразного синхронизирующего напряжения; T_1, T_2 - моменты коммутации.

Введя коэффициент несимметрии длительностей импульсов в соседних периодах δ , изменяющийся в пределах $0 \dots 1$, представим коммутационные моменты как

$$\begin{cases} T_1 = (1 + \delta)\gamma T; \\ T_2 = T + (1 - \delta)\gamma T, \end{cases} \quad \text{где } \gamma = \frac{T_1 + T_2 - T}{2T}.$$

Тогда при $\delta \rightarrow 0$ получим условие, характеризующее границу области параметров системы, за которой возникают вынужденные колебания на частоте $F_C/2$. Для модуляции заднего фронта (линейно нарастающее синхронизирующее напряжение) будем иметь:

$$K_{\Gamma P} = \frac{k_1 k_2 k_3 U_1}{U_{12} \tau_L} = \left(\frac{e^{-\frac{\gamma}{\tau_C(1+\alpha)}} + e^{-\frac{1+\gamma}{\tau_C(1+\alpha)}} - 2e^{-\frac{1}{\tau_C(1+\alpha)}}}{(1+\alpha)(1 - e^{-\frac{1}{\tau_C(1+\alpha)}})} + \frac{2\gamma - 1}{2} \left(1 + \frac{k_4 R_2}{k_1 k_2 R} \right)^{-1} \right).$$

Здесь $\tau_C = CR/T$; $\alpha = R_1/R$.

Для случая модуляции переднего фронта (линейно спадающее синхронизирующее напряжение) получим:

$$K_{\Gamma P} = \frac{k_1 k_2 k_3 U_1}{U_{12} \tau_L} = \left(\frac{e^{-\frac{1-\gamma}{\tau_C(1+\alpha)}} + e^{-\frac{2-\gamma}{\tau_C(1+\alpha)}} - 2e^{-\frac{1}{\tau_C(1+\alpha)}}}{(1+\alpha)(1 - e^{-\frac{1}{\tau_C(1+\alpha)}})} - \frac{2\gamma - 1}{2} \left(1 + \frac{k_4 R_2}{k_1 k_2 R} \right)^{-1} \right).$$

На рис. 7. показано влияние относительного значения активного сопротивления конденсаторов фильтра α на расположение границ возникновения колебаний на частоте $F_C/2$ в понижающем ИОН для разных значений коэффициента усиления токового контура $K_{\Gamma K} = k_4 R_2 / (k_1 k_2 R)$ при $\tau_C = 20$ для случая модуляции заднего фронта импульса. Аналогич-

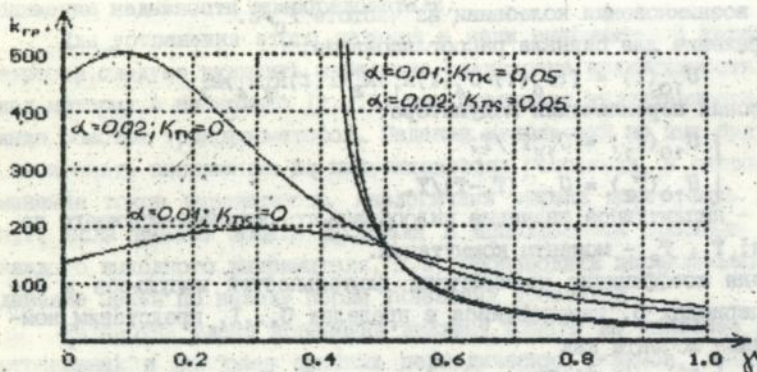


Рис. 7

ные кривые получены для других значений α , K_{TK} , τ_0 , а также для случая модуляции переднего фронта импульса.

Достоверность определения границ была подтверждена результатами моделирования процессов в структуре понижающего ИСР с ШИМ-2.

В пятой главе представлены результаты экспериментальных исследований квазистационарных процессов, выполненных на макетах преобразователей мощностью порядка 1 кВт с ФИМ и с ШИМ. Полученные данные свидетельствуют о достаточной для практического использования степени совпадения расчетных и экспериментальных результатов (10...20 %).

Описаны построения на основе рассмотренных преобразователей ИВЭП, переданные заказчикам для внедрения в промышленности. Это экспериментальный образец изделия "Экватор" с ФИМ, обеспечивающий программную установку выходных напряжений до 75 В при токе нагрузки до 12 А, и экспериментальный образец ИВЭП с ШИМ для систем гарантированного электропитания ответственных потребителей, обеспечивающий постоянное выходное напряжение 360 В при токе нагрузки до 3,5 А. Оба изделия характеризуются улучшенными массогабаритными показателями (не менее 100 Вт/дм³) и высоким КПД (более 90 %).

В приложении приведены программы моделирования квазистационарных процессов в ИВЭП с ФИМ и с ШИМ; программы расчета условий возникновения вынужденных колебаний на основной субгармонике частоты модуляции. Представлены документы, подтверждающие внедрение результатов работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Проведено моделирование квазистационарных процессов в преобразователе с ФИМ, построенном на основе последовательного по входу соединения полумостовых инверторных ячеек, в результате чего установлено, что неравномерность распределения напряжений на инверторах наблюдается даже при идентичности параметров их элементов.

2. Получено приближенное аналитическое выражение, определяющее величину разброса питающих напряжений на последовательно соединенных инверторах в источнике электропитания с ФИМ в зависимости от параметров элементов схемы и режима ее работы.

3. Установлено, что в преобразователе с ФИМ, содержащем два последовательно соединенных транзисторных полумостовых инвертора, наблюдается различие режимов работы транзисторов разных инверторов при переключениях.

4. Проведено моделирование квази стационарных процессов в преобразователе с ФИМ, содержащем цепи выравнивания напряжений на последовательно соединенных инверторных ячейках, в результате чего установлено, что предложенная схема позволяет ограничить неравномерность распределения напряжений на уровне, обеспечивающем безопасную работу силовых транзисторов, при этом токи через транзисторы не превышают допустимых значений.

5. Проведено моделирование квазистационарных процессов в преобразователе с синфазной ШИМ, построенном на основе последовательного по входу и параллельного по выходу соединения полумостовых инверторных ячеек, в результате чего установлено, что введение дросселей в цепи выходных выпрямителей каждого инвертора является эффективным средством улучшения токораспределения между инверторными ячейками.

6. Получены аналитические выражения, описывающие границы возникновения колебаний на основной субгармонике частоты модуляции в ИСН с ШИМ-2 с обратными связями по выходному напряжению и току дросселя фильтра в зависимости от параметров элементов фильтра и системы управления, что позволило определить область значений этих параметров, обеспечивающих устойчивость преобразователя.

7. В результате проведенных исследований разработаны модули сетевых ИВЭП, построенных по схемам с ФИМ и ШИМ. Установлено, что преобразователи с ШИМ обладают улучшенными характеристиками по отношению к преобразователям с ФИМ и являются предпочтительными при

построении модульных источников электропитания.

8. На основе разработанных преобразовательных модулей мощностью около 1,5 кВт могут быть созданы устройства электропитания на мощности порядка 10...50 кВт.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. КРАВЧЕНКО В.В. Условия возникновения вынужденных колебаний на основной субгармоничке частоты коммутации в понижающем импульсном стабилизаторе с ШИМ-2 и обратными связями по напряжению и току. // Техническая электродинамика. -1991. -№ 4. -С. 36-42.

2. КОМАРОВ Н.С., КРАВЧЕНКО В.В. Преобразователи для электротехнологии на основе последовательно-параллельного соединения ячеек. -Междуз. сб. тр.: Вопросы разработки и эксплуатации полупроводниковых преобразователей для подвижного состава. -Харьков, 1995. (Харьк. гос. акад. железнодорож. трансп., 1995). -С. 3-14.

3. КОМАРОВ Н.С., КРАВЧЕНКО В.В. Неравномерность распределения напряжений на последовательно соединенных инверторах в источнике электропитания с фазоимпульсной модуляцией. -Киев, 1993. (Препр./Ин-т электродинамики АН Украины; № 747).

4. А.с. № 1823108 (СССР), МКИ Н02М 3/337. Преобразователь постоянного напряжения / Н.С.Комаров, В.В.Кравченко, Ю.Д.Миронов. - Спубл. в Б.И., 1993, № 23.

5. КРАВЧЕНКО В.В. Выравнивание напряжений на последовательно включенных инверторах с фазоимпульсной модуляцией / Проблемы преобразовательной техники: Тез. докл. V Всесоюз. научн.-техн. конф. (Киев, сент. 1991 г.). -Киев: Ин-т электродинамики АН УССР. -1991. -Ч. I. -С. 198-200.

Личный вклад. Основные научные результаты опубликованы в двух работах, написанных автором самостоятельно, и трех работах, написанных в соавторстве. Из последних в [2] автором выполнено моделирование электромагнитных процессов в преобразователе с ШИМ; в [3] автором выполнено моделирование электромагнитных процессов в преобразователе с ФИМ и получены аналитические выражения, описывающие величину разброса напряжений на последовательно соединенных инверторах в функции от параметров элементов схемы и режима ее работы; в [4] автором выполнено обоснование предложенного схемотехнического решения преобразователя и описание работы схемы.

Kravchenko V.V. Transistorized converters for modular power supplies of electrotechnological plants.

The dissertation is presented for Ph. D degree in speciality 05.09.12 - "Semiconductor converters of electric energy". Institute of electrodynamics of Ukrainian National Academy of Sciences, Kiev, 1996.

5 scientific works are submitted which contain studies of voltage distribution in transistorized converters with phase-pulse modulation and width-pulse modulation built on the base of series junction of half-bridge inverter units, and also studies of conditions of appearance of subharmonic oscillations in power supplies with voltage and current feedbacks. Proposed recommendations on increasing of power supplies reliability has been implemented by working out of several devices on enterprises of Ukraine and CIS.

Кравченко В.В. Транзисторні перетворювачі для модульних джерел живлення електротехнологічних установок.

Дисертація у вигляді рукопису на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.12 - "Напівпровідникові перетворювачі електроенергії". Інститут електродинаміки Національної академії наук України, Київ, 1996.

Захищаються 5 наукових робіт, які включають дослідження розподілу напруг в транзисторних перетворювачах з фазоімпульсною і широтно-імпульсною модуляцією, побудованих на основі послідовного по входу з'єднання напівмостових інверторних ячеек, а також дослідження умов виникнення субгармонічних коливань в джерелах електроживлення із зворотними зв'язками по напрузі і струму. Запропоновано рекомендації по підвищенню надійності джерел електроживлення реалізовані при розробці кількох пристроїв на підприємствах України та СНД.

Ключові слова: транзисторний перетворювач електроенергії, напівмостова інверторна ячейка, розподіл напруг живлення, субгармонічні коливання, система підпорядкованого регулювання.

437009

Ав 35.047

Подписано к печати 21.05.1996 г. Формат 60x84/16.
Бумага офсетная. Усл.-печ. лист. 1,0. Уч.-изд. лист. 1,0.
Тираж 100. Заказ 213. Цена договорная

Полиграф. уч-к Института электродинамики НАН Украины
252057, Киев-57, проспект Победы, 56.