Харьковский государственный политехнический университет

на правах рукописи

УДК 621.314.632

МОХАМЕД МАЛЕК

(Сирия)

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВУХЗВЕННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ С УЧЕТОМ НЕИДЕАЛЬНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОЙ ЦЕПИ.

Специальность 05.09.12 - "Полупроводниковые преобразователи электроэнергии".

Автореферат

Диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Харьков - 1995

Диссертация является рукописью.

Работа выполнена на кафедре "Промышленная электроника" Национального технического университета Украины (КПИ).

Научный руководитель - кандидат технических наук, доцент Ромашко В.Я

Официальные оппоненты: доктор технических наук, доцент Панасенко Н.В.

кандидат технических наук, старший научный сотрудник Новский В.А.

Ведущая организация: Научно-исследовательский институт Харьковского электромеханического завода (НИИХЭМЗ).

Защита диссертации состоится "08" 02 1996 г. в 14 30 часов на заседании специализированного Совета К 02.09.14 по присуждению ученых степеней кандидата технических наук в Харьковском государственном политехническом университете.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направить по адресу:310002, г.Харьков, ГСП, ул.Фрунзе 21

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан "30" 12 1995 г.

Ученный секретарь
Специализированного совета
кандидат технических наук, профессор. Гончаров Ю.П.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы:

В настоящее время в промышленности и сельском хозяйстве все шире применяются механизмы и приспособления, использующие электрическую энергию, что позволяет существенно увеличить производительность труда, снизить расходы и в конечном итоге себестоимость продукции.

Сравнительно редко параметры первичного источника энергии (т.е. преобразователя неэлектрической энергии в электрическую) полностью удовлетворяют потребителя по напряжению, характеру тока, частоте или стабильности. Поэтому очень часто возникает необходимость преобразования параметров электрической энергии.

Полупроводниковые преобразовательные устройства обладают высокими регулированными характеристиками и энергетическими показателями, имеют небольшие массо-габаритные показатели, высокий КПД, просты и надежны в эксплуатации, обеспечивают бесконтактную коммутацию токов в силовых цепях. Разработка новых полупроводниковых преобразователей во многом определяется успехами в разработке новых типов силовых полупроводниковых приборов, которые используются в силовых цепях в качестве управляемых ключей . Особенностью силовых полупроводниковых приборов является то, что они могут управлять большими потоками энергии, передаваемыми в нагрузку. В то же время управляемые ключи построенные на базе силовых полупроводниковых приборов отличаются от идеальных ключей прежде всего тем, что они обладают конечным сопротивлением как во включенном, так и в выключенном состоянии. При средних и больших значениях питающего напряжения это не имеет существенного значения. Однако при понижении питающего напряжения (различные автономные установки) , а также при построении преобразовательных систем, использующих последовательное включение преобразовательных модулей, приходится учитывать неидеальность элементов силовой цепи преобразователя. Параметры современных силовых полупроводниковых приборов не всегда удовлетворяют требования, предъявляемые силовой схемой преобразователя. В связи с этим получили достаточно широкое распространение комбинированные силовые ключи, в которых используется параллельное, либо последовательное соединение различных типов силовых полупроводниковых приборов, а также целый ряд вспомогательных элементов. В этом случае также параметры силового управ-

ляемого ключа не могут считаться идеальными.

Отмеченные обстоятельства свидетельствуют об актуальности исследования влияния неидеальности элементов силовой цепи преобразователей на их основные параметры и характеристики.

Целью настоящей диссертационной работы является исследование влияния неидеальности элементов силовой цепи на основные параметры и характеристики двухзвенных преобразователей частоты с суммированием напряжений в общем контуре, а также выработка рекомендаций по ослаблению влияния неидеальности элементов на основные интегральные характеристики выходного напряжения преобразователя.

Методы исследования. При решении поставленной задачи использовались: кусочно - припасовочный метод совместно с методами анализа дискретно-линейных цепей - для расчета переходного и установившегося тока в нагрузке преобразователя при идеальных и реальных параметрах элементов силовой цепи, модифицированный метод отдельных составляющих - для определения основных параметров интегральных характеристик переменных ступенчатых напряжений. Количественный анализ полученных результатов проводился с использованием компьютера. Достоверность основных теоретических положений и выводов диссертации подтверждена экспериментально в лабораторных условиях.

Автор защищает:

1. Целесообразность учета пороговых напряжений вентелей инверторных ячеек при определении основных интегральных характеристик преобразователей с суммированием напряжений в общем контуре.

2. Возможность рассмотрения выходного напряжения реального преобразователя в виде суммы выходного напряжения идеального преобразователя и искажающего напряжения, которое синхронизировано с током нагрузки и изменяется с ним в противофазе.

3. Формулы и графики для определения основных интегральных характеристик преобразователя.

4. Способ компенсации искажений выходного напряжения преобразователей с суммированием напряжений в общем контуре.

Научная новизна.

1. Обоснована целесообразность учета неидеальности элементов силовой цепи двухзвенного преобразователя частоты с суммированием в общем контуре, при определении его основных интегральных характеристик.

2. Показано, что основное влияние на искажение выходного нап-

ряжения преобразователя оказывают пороговые напряжения вентелей, используемых в инверторных ячейках.

3.Показано, что выходное напряжение реального преобразователя может быть представлено в виде суммы выходного напряжения идеального преобразователя и некоторого искажающего напряжения, которое синхронизировано с током нагрузки преобразователя и изменяется в противофазе с ним.

4.Получены в замкнутой форме аналитические выражения для определения средних и действующих значений напряжения, а также коэффициента гармоник выходного напряжения преобразователей с суммированием в общем контуре.

5.Предложен способ компенсации искажений выходного напряжения преобразователя, вызванных наличием пороговых напряжений вентельных элементов силовой цепи.

Практическая ценность.

Научные результаты, полученые в диссертационной работе позволяют при проектировании подобных преобразователей учитывать неидеальность элементов его силовой цепи.
Разработанная машинная программа позволяет снизить трудоемкость расчета и осуществить обоснованный выбор элементов преобразователя.

Апробация работы.

Научные результаты и основные положения диссертационной работы докладывались на семинаре научного совета АН Украины по комплексной проблеме "Научные основы электроэнергетики", на кафедре промышленной електроники Харьковского государственного политехнического университета, а также научном семинаре кафедры электроники Университета г.Латакия (Сирия).

Структура и объем работы.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы из 108 наименований, приложения. Диссертация содержит 104 страниц основного машинописного текста, иллюстрированного 69 рисунками и 7 таблицами. Общий объем 190 станиц.

Во введении:

Сформулирована научная проблема, цель работы, и задачи исследования, отмечается актуальность решаемых задач, основные положения выносимые на защиту, публикации, структура и объем работы, определены методы и средства исследования, другие обязательные сведения.

В первой главе рассмотрены основные типы существующих преобразователей частоты переменного тока и основные способы улучшения гармонического состава выходного напряжения. Показано, что для получения переменного напряжения повышенной частоты, при мощностях в единицы, десятки киловатт целесообразно использовать двухзвенные преобразователи с амплитудной модуляцией выходного напряжения, а сам преобразователь строить по схеме с суммированием выходных напряжений в общем контуре. Проанализированы основные типы силовых управляемых ключей, используемых в инверторных ячейках и обоснована целесообразность учета неидеальности элементов силовой цепи при определении основных интегральных характеристик преобразователей, особенно при пониженных напряжениях питания.

Во второй главе проанализирована эквивалентная схема преобразователя учитывающая неидеальность элементов силовой цепи. Показано, что наибольшее влияние на искажение формы выходного напряжения реальных преобразователей оказывают пороговые напряжения силовых ключей, используемых в инверторе. Рассмотрен характер искажений возникающих при различных алгоритмах управления инверторных ячеек. Показано, что в общем случае выходное напряжение реального преобразователя может быть представлено в виде суммы напряжений идеального преобразователя и некоторого искажающего напряжения, синхронизированного с током нагрузки. Проанализированы различные типы силовых управляемых ключей с точки зрения влияния их пороговых напряжений на искажающее напряжение.

В третьей главе проведен анализ выходного напряжения преобразователей с суммированием выходных напряжений в общем контуре при отсутствии и наличии искажений. Получены аналитические выражения, позволяющие определить среднее на полупериоде и действующие значение выходного напряжения, его коэффициент гармоник и ряд других интегральных характеристик. По результатам машинных расчетов построены и проанализированы графики зависимости основных интегральных характеристик от относительной величины порогового напряжения силовых ключей. Даны практические рекомендации.

В четвертой главе рассмотрен способ компенсации искажений выходного напряжения, возникающих в результате наличия пороговых напряжений вентельных элементов силовой цепи. Обсуждена возможность появления постоянной составляющей выходного напряжения при разбросе параметров элементов силовой цепи и дана оценка ее веле-

чины. Приведены результаты экспериментальных исследований и даны рекомендации по практической разработке подобных преобразователей.

В приложении приведены распечатки машинной программы и результатов расчета основных интегральных характеристик преобразователей при различных видах искажающего напряжения, а также осцилограммы, полученные при экспериментальных исследованиях..

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

При построении инверторных ячеек в качестве силовых управляемых ключей могут использоваться различные типы силовых полупроводниковых приборов, и их комбинации, а также ряд вспомогательных элементов.

Если напряжение питания преобразователя достаточно низкое, а в преобразователе используется последовательное включение инверторных ячеек потери напряжения на элементах силовой цепи преобразователя становятся существенными. Они начинают оказывать влияние на форму выходного напряжения преобразователя и его основные параметры и характеристики.

В работе проанализирована эквивалентная схема двухзвенного преобразователя частоты, в котором учтены: внутреннее сопротивление источника постоянного напряжения, параметры силового трансформатора и вентелей. В качестве инверторных ячеек в рассматриваемых преобразователях обычно используются инверторы напряжения Рис.1.а. При работе таких инверторов на активно-индуктивную нагрузку осуществляется обмен реактивной энергией между источником постоянного напряжения и нагрузкой. Показано, что когда энергия отбирается от источника постоянного напряжения, напряжение на нагрузке меньше, чем ЭДС источника питания на величину ΔE, а когда энергия возвращается в источник, напряжение на нагрузке больше напряжения источника на ΔE, где ΔE, учитывает падение напряжения на элементах силовой цепи преобразователя.

Более детальный анализ всех факторов вызывающих дополнительное падение напряжения ΔE, позволил сделать заключение, что основной вклад здесь вносят пороговые напряжения силовых ключей, используемых в инверторных ячейках. Эти пороговые напряжения показаны на эквивалентной схеме ключа (Рис.1.б) в виде дополнительных источников ЭДС $E = U_{пор}$.

В работе отмечено, что при протекании тока нагрузки через силовой ключ, в моменты прохождения этого тока через нуль, напряжение на силовом ключе дискретно изменяется на величину $2U_{пор}$

2-5-5392

Рис.1.в. Поскольку в мостовых инверторах ток нагрузки последовательно протекает через два силовых ключа, суммарное дискретное изменение напряжения на ключах составляет величину $\Delta E = 4\ U_{пор}$. Если остальные параметры эквивалентной схемы преобразователя (активное сопротивление вентелей и трансформатора, индуктивности рассеяния) зависят от выбранного типа вентиля и трансформатора, и при проектировании можно обеспечить их требуемую величину, то пороговые напряжения очень мало зависят от типа вентеля и режима его работы. Пороговое напряжение вентеля составляет величину порядка 1В, и не зависит от режима работы преобразователя.

При понижении напряжения питания влияние пороговых напряжений становится все более заметным. Поэтому при дальнейшем анализе учитывались только пороговые напряжения силовых ключей инвертора.

В работе показано, что выходное напряжение реального инвертора при различных алгоритмах управления с учетом влияния пороговых напряжений, является искаженным и отличается от выходного напряжения инвертора, построенного на идеальных ключах (Рис.2.а,б).

Во всех рассмотренных случаях выходное напряжение реального инвертора может быть представлено в виде суммы выходного напряжения идеального инвертора и некоторого искажающего напряжения, которое имеет прямоугольную форму с амплитудой $\Delta E = 2\ U_{пор}$ и изменятся в противофазе с током нагрузки.

В работе анализируется установившейся и переходной режим в активно-индуктивной нагрузке автономного инвертора напряжения с учетом пороговых напряжений вентельных элементов.

Получено аналитическое выражение которые позволяют рассчитать длительность интервала возврата реактивной энергии из нагрузки в источник питания

$$\tau_1 = -\tau \ln\left(\frac{E+\Delta E}{2E} + \frac{E-\Delta E}{2E} \cdot \exp(-(T/(2\tau)))\right) ;$$

где $\tau = L/R$,

E - величина напряжения на выходе инвертора при идеальных элементах силовой цепи;

$\Delta E = 2\ U_{пор}$.

Приведены графики зависимости относительной длительности этого интервала от относительной величины постоянной времени цепи нагрузки.

Показано, что при наличии искажений интервал возврата реак-

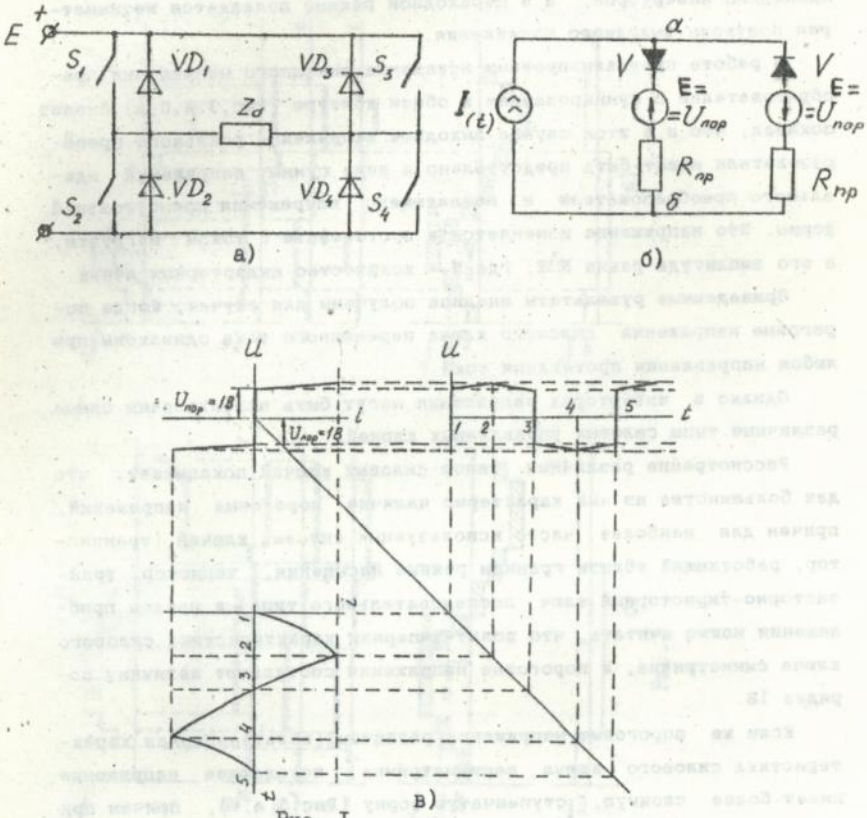
E
S1
VD1
VD3
S3
Zd
VD2
VD4
S2
S4
а)
a
V
E=
=Uпор
Rпр
б
I(t)
б)
U
Uпор=18
t
1
2
3
4
5
в)

Рис. I

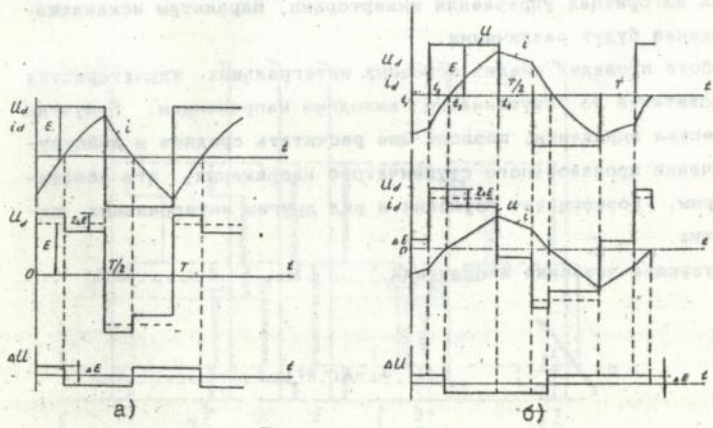
Ud
id
E
i
t
T/2
T
0
ΔU
ΔE
а)
б)

Рис. 2

2*

тивной энергии в установившемся режиме уменьшается по сравнению с идеальным инвертором, а в переходном режиме появляется несимметрия полуволн выходного напряжения.

В работе проанализированы искажения выходного напряжения преобразователей с суммированием в общем контуре (Рис.3.а,б,в). Анализ показал, что и в этом случае выходное напряжение реального преобразователя может быть представлено в виде суммы напряжений идеального преобразователя и искажающего напряжения прямоугольной формы. Это напряжение изменяется в противофазе с током нагрузки, а его амплитуда равна $N\Delta E$, где N - количество инверторных ячеек.

Приведенные рузельтаты анализа получены для случая, когда пороговые напряжения силового ключа переменного тока одинаковы при любом направлении протекания тока.

Однако в инверторах напряжения могут быть использованы самые различные типы силовых управляемых ключей.

Рассмотрение различных типов силовых ключей показывает, что для большинства из них характерно наличие пороговых напряжений, причем для наиболее часто используемых силовых ключей (транзистор, работающий вблизи границы режима насыщения, тиристор, транзисторно-тиристорный ключ последовательного типа) в первом приближении можно считать, что вольт-амперная характеристика силового ключа симметрична, а пороговые напряжения составляют величину порядка 1В.

Если же пороговые напряжения различны (вольт-амперная характеристика силового ключа несимметрична) искажающее напряжение имеет более сложную, ступенчатую форму (Рис.5.а,б), причем при различных алгоритмах управления инверторами, параметры искажающего напряжения будут различными.

В работе проведен анализ основных интегральных характеристик преобразователей со ступенчатым выходным напряжением. Получены аналитические выражения, позволяющие расчитать среднее и действующее значение произвольного ступенчатого напряжения, его коэффициент формы, коэффициент гармоник и ряд других интегральных характеристик.

Действующее значение напряжения.

$$U=\sqrt{\frac{A_1}{T}}; \qquad A_1=A_1\cdot R^2;$$

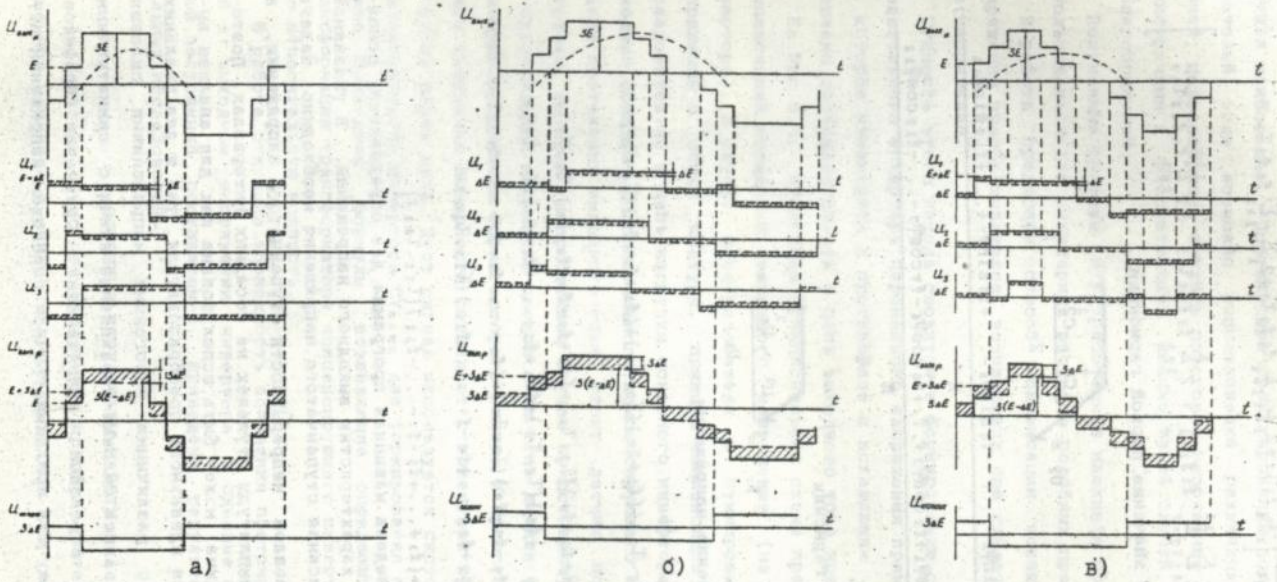

Рис.3

$$A_1 = \frac{-2}{R^2}\left[\sum_{i=1}^{12} f_i^2\tau_i + 2\sum_{i=1}^{5}\sum_{j>i}^{6} f_i f_j \tau_j + 2\sum_{i=7}^{10}\sum_{j>i}^{11} f_i f_j \tau_j - \right.$$

$$\left. - 2\sum_{i=1}^{6}\sum_{j=7}^{11} f_i f_j \tau_j + 2\sum_{i=1}^{6} f_i f_{12}\tau_{12} - 2\sum_{i=7}^{11} f_i f_{12}\tau_{12}\right]$$

Действующее значение первой гармоники

$$U_1 = \sqrt{\frac{C_1^2 + C_2^2}{2}} ;$$

$$C_1 = 2\,\frac{-f_1\sin\varphi_1 - \ldots - f_6\sin\varphi_6 - \ldots + f_7\sin\varphi_7 + \ldots + f_{12}\sin\varphi_{12}}{\pi} ;$$

$$C_2 = 2\,\frac{f_1\cos\varphi_1 + f_2\cos\varphi_2 + \ldots + f_6\cos\varphi_6 - f_7\cos\varphi_7 - \ldots - f_{12}\cos\varphi_{12}}{\pi} ;$$

где $\varphi = \omega\tau$

Коэффициент гармоник

$$K_{г.} = \frac{\sqrt{U^2 - U_1^2}}{U_1}$$

Среднее значение напряжения

$$U_{ср} = \frac{2}{T}\Big[f_1(\tau_2-\tau_1) + (f_1+f_2)(\tau_3-\tau_2) + (f_1+f_2+f_3)(\tau_4-\tau_3) +$$

$$+ (f_1+f_2+f_3+f_4)(\tau_5-\tau_4) + (f_1+f_2+f_3+f_4+f_5)(\tau_6-\tau_5) +$$

$$+ (f_1+f_2+\ldots+f_6)(\tau_7-\tau_6) + (f_1+f_2+\ldots+f_6-f_7)(\tau_8-\tau_7) +$$

$$+ (f_1+f_2+\ldots+f_6-f_7-f_8)(\tau_9-\tau_8) + (f_1+\ldots+f_6-f_7-\ldots-f_9)(\tau_{10}-\tau_9) +$$

$$+ (f_1+f_2+\ldots+f_6-f_7-\ldots-f_{10})(\tau_{11}-\tau_{10}) +$$

$$+ (f_1+\ldots+f_6-f_7-\ldots-f_{11})(\tau_{12}-\tau_{11})\Big].$$

В работе приведена машинная программа для определения основных интегральных характеристик выходного напряжения. В указанной программе для описания ступенчатого напряжения необходимо задать дительности интервалов непрерывности ступенчатого напряжения, а также изменение амплитуды ступенек на соседних интервалах. Поэтому данная программа может быть использована как для анализа выходного напряжения идеального преобразователя, так и для реальных преобразователей с различными пороговыми напряжениями силовых ключей. Рассматривались силовые управляемые ключи с симметричным и несимметричным пороговым напряжением. Сравнение графиков (Рис.4) показывает, что при симметричном пороговом напряжении ис-

кажения будут максимальными и их влияние на интегральные характеристики наибольшее. Поэтому при проектировании подобных преобразователей, если возможно использование различных типов силовых ключей, целесообразно считать пороговое напряжение силовых ключей симметричным и рассматривать именно такой случай, как наиболее неблагоприятный.

Полученные графики и разработанная машинная программа могут использоваться для инженерных расчетов подобных преобразователей.

В работе предложен способ компенсации искажений выходного напряжения преобраховательеа, возникающих при симметричном пороговом напряжении.

Сущность этого метода сводится к формированию с помощью дополнительного инвертора переменного напряжения прямоугольной формы, которое изменяется в противофазе с искажающим напряжением и включено последовательнов в цепь выходного тока преобразователя.

На Рис.6.б. приведена функциональная схема преобразователя с компенсацией искажений выходного напряжения (на примере одного инвертора). В случае преобразователя с суммированием выходных напряжений в общем контуре, принцип компенсации не изменяется. Последовательно в цепь нагрузки основного инвертора $И_{осн}$ включена выходная обмотка дополнительного компенсирующего инвертора $И_{ком}$. В цепи протекания выходного тока стоит датчик полярности тока нагрузки, который в простейшем случае представляет собой встречно-параллельное включение диодов. На этих диодах формируется переменное напряжение форма которого близка к прямоугольной, а моменты изменения полярности совпадают с моментами прохождения тока нагрузки через нуль. Этот сигнал используется системой управления компенсирующего инвертора. $СУ_{комп}$ для формирования сигналов управления. Приведены формулы позволяющие определить коэффициент трансформации трансформатора компенсирующего инвертора, а также его относительную мощность.

В работе отмечена возможность появления постоянной составляющей в выходном напряжении инвертора и сделана оценка величины этой постоянной составляющей, приведены результаты экспериментальных исследований.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ.

1. Показано, что при построении преобразователей частоты повышенной мощности с синусоидальным выходным напряжением целесооб-

симметричное пороговое напряжение

несимметричное пороговое напряжение

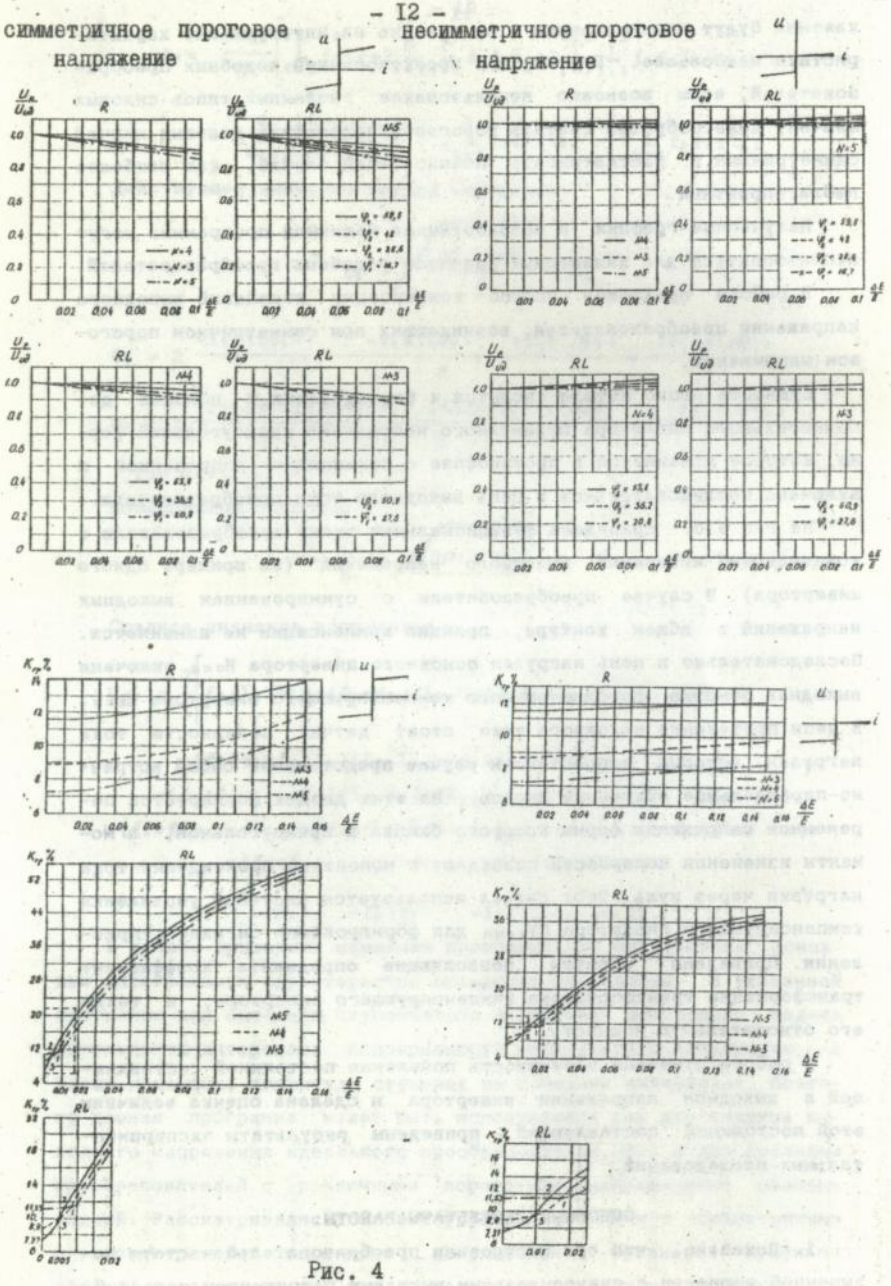

Рис. 4

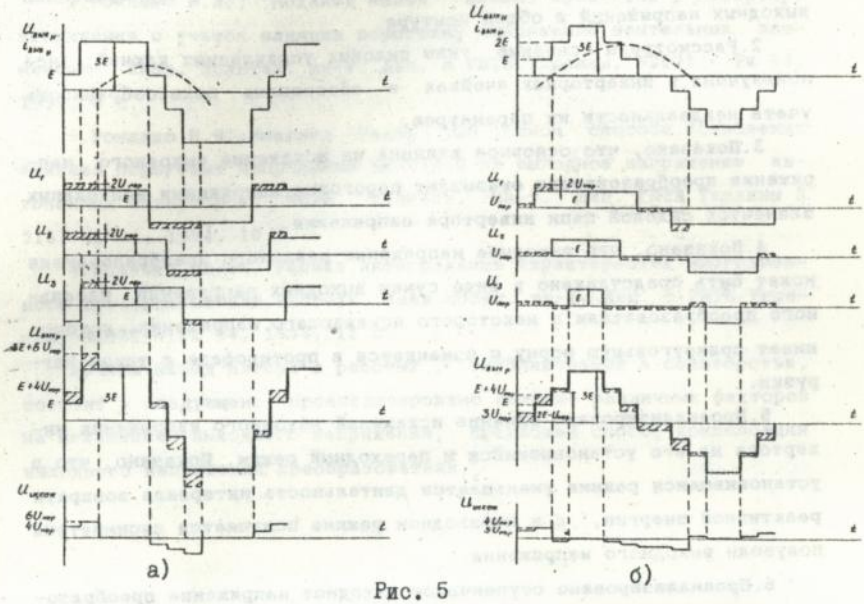

Рис. 5

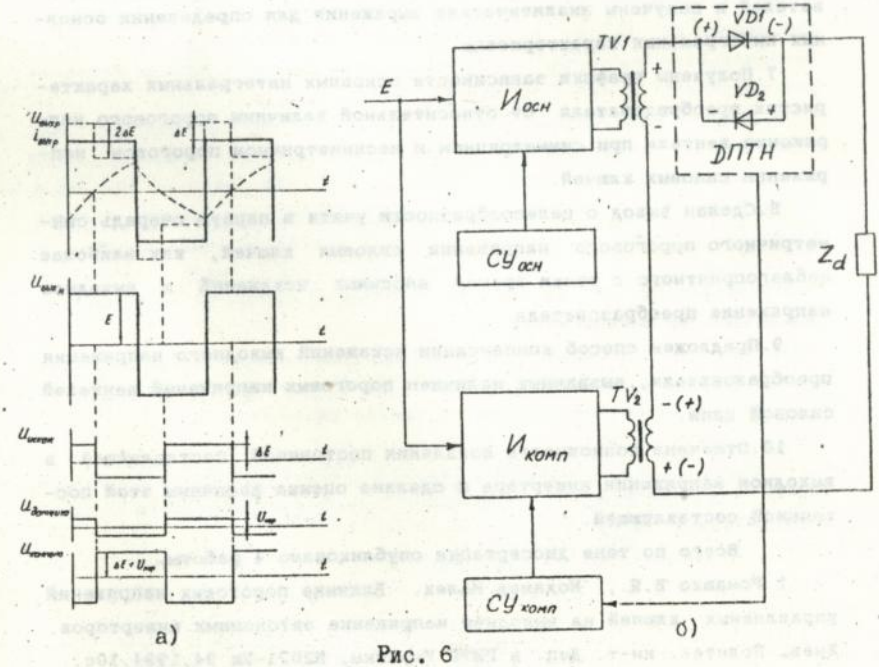

Рис. 6

разно использовать двухзвенные преобразователи с суммированием выходных напряжений в общем контуре.

2.Рассмотрены основные типы силовых управляемых ключей, используемых в инверторных ячейках и обоснована целесообразность учета неидеальности их параметров.

3.Показано, что основное влияние на искажение выходного напряжения преобразователя оказывают пороговые напряжения вентельных элементов силовой цепи инвертора напряжения.

4.Показано, что выходное напряжение реального преобразователя может быть представлено в виде суммы выходных напряжений идеального преобразователя и некоторого искажающего напряжения, которое имеет прямоугольную форму и изменяется в противофазе с током нагрузки.

5.Проанализировано влияние искажений выходного напряжения инвертора на его установившийся и переходный режим. Показано, что в установившемся режиме уменьшается длительность интервала возврата реактивной энергии, а в переходном режиме появляется несимметрия полуволн выходного напряжения.

6.Проанализировано ступенчатое выходное напряжение преобразователей и получены аналитические выражения для определения основных интегральных характеристик.

7.Получены графики зависимости основных интегральных характеристик преобразователя от относительной величины порогового напряжения вентеля при симметричном и несимметричном пороговом напряжении силовых ключей.

8.Сделан вывод о целесообразности учета в первую очередь симметричного порогового напряжения силовых ключей, как наиболее неблагоприятного с точки зрения вносимых искажений в выходное напряжение преобразователя.

9.Предложен способ компенсации искажений выходного напряжения преобразователя, вызванных наличием пороговых напряжений вентелей силовой цепи.

10.Отмечена возможность появления постоянной составляющей в выходном напряжении инвертора и сделана оценка величины этой постоянной составляющей.

Всего по теме диссертации опубликовано 4 работы.

1.Ромашко В.Я., Мохамед Малек. Влияние пороговых напряжений управляемых ключей на выходное напряжение автономных инверторов. Киев. Политех. ин-т. Деп. в ГНТБ Украины, N2021-Ук 94,1994,10с.

2.Ромашко В.Я., Мохамед Малек. Анализ процессов в инверторе напряжения с учетом влияния пороговых напряжений вентельных элементов. Киев. политех. ин-т. Деп. в ГНТБ Украины, N2071 - Ук 94, 1994, 8 с.

3.Ромашко В.Я.,Мохамед Малек. Об одном способе ослабления влияния пороговых напряжений вентелей на выходное напряжение автономных инверторов. Киев, политех. ин-т. Деп. ГНТБ Украины N 2167-4к 94, 1994, 10 с.

4.Мохамед Малек. Расчет интегральных характеристик многозвенного преобразователя частоты. Киев.полит. ин-т. Деп. в ГНТБ Украины, N2072 - Ук 94, 1994, 11 с.

Личный вклад автора в работых , опубликованых в соавторстве, состоит в следующем: проанализировано влияние различных факторов на искажения выходного напряжения, предложен способ компенсации выходного напряжения преобразователя.

АНОТАЦИЯ

Мохамед Малек. Интегральные характеристики двухзвенных преобразователей частоты с учетом неидеальности элементов силовой цепи.

Диссертация в виде рукописи на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.12. Полупроводниковые преобразователи электроэнергии. Харьковский государственный политехнический Университет, Харьков, 1995г.

В данной диссертации рассматриваются теоретические и экспериментальные исследования автономных инверторов напряжения и преобразователей на их основе при пониженных напряжениях питания, с учетом неидеальности элементов силовой цепи. Показано, что в таких инверторах и преобразователях необходимо учитывать влияние пороговых напряжений силовых ключей инвертора на основные интегральные характеристики преобразователя. Предложен способ компенсации искажений выходного напряжения. Результаты работы описаны в 4 научных публикациях и внедрены в учебный процесс кафедры Промышленной электроники Национального технического университета Украины (КПИ).

ANNOTATION

Mohamed Malek. Integral characteristics of two-link frequency converters in the case of non-ideal components of power circuit.

The dissertation given as manuscript submitted in candidacy for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 05.09.12 - Semiconductor Converters of Electrical Energy, Harkov National polytechnical University, Harkov, 1995.

In this dissertation are considered the theoretical and experimental investigations of autonomous voltage inverters and changers based on these inverters in the case of low input voltage value and non-ideal characteristics of power circuit elements. Analysed that such factor as threshold voltage value of inverter power key had influence for main integral characteristics of converters. Proposed method of compansation the errors in output voltage.

The results of researches are described in 4 articles and used in teaching processes at the chair of Industrial Electronics - National Technical University of Ukrain (KPI).

Ключові слова: автономний інвертор напруги; силовий керований ключ; порогова напруга; коефіцієнт гармонік; компенсація спотворень вихідної напруги.

Підп. до друку 25.12.95 Формат 60×84 1/16. Папір друк. № 2 . Друк офсетний. Умовн. друк. арк. 0,93
Умовн. фарбо-відб. 1,0 Облік.-вид. арк. 1,0
Тираж 100 . Зам. № 5-5392 .

Фірма «ВІПОЛ».
252151, Київ, вул. Волинська, 60.