

КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

На правах рукописи

ЮЭ ГУАН (Китай)

УДК 621.314:681.322

**МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ УСТРОЙСТВА
УПРАВЛЕНИЯ СИЛОВЫМИ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМИ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ**

**Специальность 05.13.05 — Элементы и устройства
вычислительной техники и систем управления**

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

КИЕВ — 1993

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00815497 (Y)

КИЕВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

Де Гуан
(КИТАЙ)

УДК 621.314:681.322

МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ
СИЛОВЫМИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ

Специальность 05.13.05 - Элементы и устройства
вычислительной техники
и систем управления

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Киев - 1993

Работа выполнена в Киевском политехническом институте

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор Краснопрошина А.А.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Сенько В.И.
кандидат технических наук,
ст. науч.сотр. Денисюк С.П.

Ведущая организация: институт электродинамики
АН Украины (г. Киев)

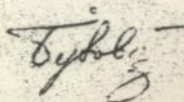
Защита состоится "18" октября 1993 г. в 14.30 часов
на заседании Специализированного Совета д 068.14.09 в Киевском
политехническом институте.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью
учреждения, просим направлять по адресу:
252056, г. Киев, проспект Победы, 37, КПИ, Ученому секретарю.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Киевского
политехнического института.

Автореферат разослан "15" сентября 1993 г.

Ученый секретарь
Специализированного Совета,
Д.Т.Н., профессор

 О.В. Бузовский

АННОТАЦИЯ

Целью диссертационной работы является разработка и исследование микропроцессорных устройств управления (МСУ) типовыми силовыми полупроводниковыми преобразователями (СПП), являющихся элементами систем управления и обеспечивающих минимальные аппаратные, программные и временные затраты при улучшении качества работы силовых полупроводниковых преобразователей.

Для достижения поставленной цели в работе решены следующие задачи:

- выполнено исследование динамических характеристик широтно-импульсной модуляции (ШИМ) в микропроцессорной реализации;
- разработаны алгоритмы синхронизации и распределения импульсов управления СПП с фазовым управлением;
- разработан алгоритм линеаризации статической характеристики СПП;
- разработаны алгоритмы низкочастотного управления одним СПП и алгоритмы синхронного управления группой СПП с улучшенными технико-экономическими показателями;
- разработан алгоритм управления автономными инверторами с ШИМ по синусоидальному закону и алгоритм одновременного управления несколькими типами СПП;
- исследованы динамические характеристики СПП с МСУ с замкнутым контуром управления

Автор защищает:

1. Рекомендации по выбору ШИМ для МСУ СПП и модель ШИМ-1.
2. Алгоритмы низкочастотного управления одним СПП и синхронного управления группой СПП, обеспечивающих условия равномерной подачи энергии.
3. Алгоритм работы МСУ автономного инвертора с ШИМ по синусоидальному закону, обеспечивающий широкий диапазон регулирования выходной частоты и низкое содержание высших гармоник в выходном напряжении.
4. Алгоритм одновременного управления несколькими типами СПП от одного МСУ.
5. Алгоритмы сокращающие используемые аппаратные, программные и временные затраты МСУ СПП при улучшении качества работы СПП.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Силовые полупроводниковые преобразовательные устройства (СПУ) предназначены для управления и преобразования электрических величин путем бесконтактной коммутации токов в силовых цепях. Они обладают высокими регулировочными характеристиками и электрическими показателями, имеют малые габариты и массу, просты и надежны в эксплуатации. В то же время СПУ, в частности СПУ с автономными инверторами, представляют собой сложные электрические устройства, сочетающие в себе элементы силовой и слаботочной электроники.

Использование микропроцессорных средств для реализации устройств управления СПП приводит к значительному повышению их технико-экономических показателей, таких как стоимость, надежность, потребляемая мощность, габаритные размеры. МСУ СПП позволяют реализовать более широкий набор функциональных возможностей, включающих кроме функции собственно управления, функции контроля, защиты, диагностики, обеспечения взаимодействия с вышестоящими вычислительными средствами и т.д.

Как показывает анализ, существующие МСУ разрабатывались эмпирически, исходя из опыта разработчиков, и не учитывали всех особенностей функционирования СПП, поэтому обобщение и выработка единого подхода к проектированию МСУ СПП для систем управления определяет актуальность работы.

Методы исследования. При анализе динамических показателей ШИМ использовались положения теории вероятности. При разработке алгоритмов низкочастотно-импульсного управления группой СПП использовались матрицы подачи энергии и матрицы отклонения. Гармонический анализ выходного напряжения автономного инвертора при разных законах ШИМ проводился на основе разложения кривой выходного напряжения в ряд Фурье на ЭВМ. Для исследования замкнутых МСУ СПП использовался метод корневого годографа и операторно-рекуррентный метод моделирования переходных процессов.

Научная новизна работы:

- выработаны рекомендации по выбору ШИМ для МСУ СПП, разработана модель ШИМ-1;

- предложены новые алгоритмы низкочастотного управления одним СПП и синхронного управления группой СПП, обеспечивающих равномерность подачи энергии в интервале регулирования;

- разработан новый алгоритм работы МСУ автономного инвертора с ШИМ по синусоидальному закону, обеспечивающий широкий диапазон регулирования выходной частоты, низкое содержание высших гармоник в выходном напряжении и минимальные аппаратные затраты;

- предложен алгоритм одновременного управления несколькими типами СПП с помощью одного микропроцессора.

Практическая ценность работы. Анализ особенностей применения ШИМ в МСУ показал, что применение ШИМ-1 значительно упрощает программное обеспечение, снижает вычислительные затраты, обеспечивает большую точность.

Разработаны алгоритмы и программная реализация низкочастотно-импульсного управления СПП и синхронного управления группой СПП, обеспечивающие равномерность подачи энергии с уменьшением искажения напряжения питающей сети и уровня высокочастотных электромагнитных помех.

Разработаны алгоритмы и программная реализация управления автономными инверторами обеспечивающие лучший гармонический состав и больший диапазон изменения выходной частоты по сравнению с существующим.

Разработаны новые алгоритмы, позволяющие сократить используемые аппаратные, программные и временные затраты МСУ СПП при улучшении качества работы СПП.

Апробация работы. Исследования, выполненные в диссертационной работе, являются составной частью научно-исследовательских работ, проведенных на кафедре автоматики и управления в технических системах Киевского политехнического института. Основные результаты диссертационной работы докладывались на конференциях профессорско-преподавательского состава Киевского политехнического института в 1990 - 1993 гг., и научных семинарах кафедры автоматики и управления в технических системах.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано две печатные работы.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения библиографии и приложений. Работа содержит 129 страниц машинописного текста, 81 рисунок на 54 страницах, список литературы, включающий 130 названий.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе приведен анализ особенностей и основных задач устройств управления (СУ) СПП, рассмотрены их структурные схемы, приведена классификация СУ СПП. Рассмотрены программное обеспечение и аппаратные средства МСУ, являющиеся общими для типовых схем СПП. Показано, что наиболее подходящей элементной базой МСУ СПП в настоящее время являются однокристалльные микро-ЭВМ (ОМЭВМ) среднего и высшего класса.

Вторая глава посвящена разработке МСУ СПП с фазовым и широтно-импульсным управлением, которое лежит в основе работы выпрямителей и регуляторов переменного и постоянного напряжения. При реализации такого управления широкое распространение получили ШИМ-1 и ШИМ-2 с использованием сигнала развертки $f(t)$ ШИМ-2А, при этом значение модулируемого параметра τ_n определяется моментом пересечения модулирующего сигнала $x(t)$ и сигнала $f(t)$. В некоторых случаях используют также ШИМ-2В (временной интервал τ_n определяется по среднему значению модулирующего сигнала $x(t)$ в текущем интервале дискретности) и ШИМ-3 (τ_n определяется средним значением модулирующего сигнала $x(t)$ в предыдущем интервале дискретности).

Для оценки динамической характеристики различных ШИМ с помощью теории вероятности можно получать более полные и точные данные чем известные результаты о среднем значении запаздывания для случайного скачка изменения модулирующего сигнала (среднее значение запаздывания для ШИМ-1 $\tau_{зсп} = T_0/2$; для ШИМ-2А с линейной формой развертки $\tau_{зсп} = T_0/6$; для ШИМ-2А с треугольной формой развертки $\tau_{зсп} = T_0/24$; для ШИМ-2В $\tau_{зсп} = 0$; для ШИМ-3 $\tau_{зсп} = T_0/2$, где T_0 - интервал дискретности СПП). Эти результаты показывают, что ШИМ-2А имеет более высокое быстродействие чем ШИМ-1. Однако, если в МСУ не использован аппаратный компаратор, то при ШИМ-2А дискретность временного интервала τ_n значительно больше чем при ШИМ-1, это приводит к снижению статической точности СПП. Временные затраты ШИМ-2А тоже значительно больше, чем для ШИМ-1.

Для замкнутой МСУ с ШИМ-2А, период регулирования T_p должен быть меньше, чем период дискретности СПП T_0 . Результаты моделирования показывают, что при замкнутом МСУ с ШИМ-2А при постоянном T_p ($T_p < T_0$), с уменьшением постоянной времени нагрузки T

($T < 2T_0$) увеличивается статическое отклонение параметра управления, а с увеличением постоянной времени нагрузки ($T \geq 2T_0$) наблюдается появление автоколебаний параметра управления. При ШИМ-1 эти недостатки отсутствуют.

При ШИМ-1, когда значение T_p кратно T_0 , а начало интервала регулирования T_p совпадает с началом интервала дискретности СПП, то изменение модулирующего сигнала возникает только в моментах начала T_p , при этом ШИМ-1 не вносит запаздывания по отношению к модулирующему сигналу. Однако попрежнему существует запаздывание выходного сигнала по отношению к заданным сигналам управления и сигналам обратной связи, присущее всем цифровым системам управления. При этом, если считать, что выходной сигнал СПП постоянен в интервале T_p (учитываем среднее значение выходного сигнала СПП), то СПП с ШИМ-1 можно рассматривать как фиксатор нулевого порядка с коэффициентом усиления K_2 , передаточная функция которого

$$H(s) = K_2 (1 - e^{-sT_p}) / s \quad (1)$$

Использование этой модели как будет показано в гл. 5 обеспечивает приемлемую для инженерных расчетов точность и значительно упрощает процесс проектирования замкнутых МСУ СПП.

В некоторых случаях, если не учитывать наличия автоколебаний, ШИМ-2А обеспечивает лучшие динамические характеристики, чем ШИМ-1. Хотя теоретически динамическую характеристику СПП с ШИМ-1 можно значительно улучшить выбором оптимального закона регулирования, однако на практике это не всегда возможно осуществить из-за нелинейности системы и нестабильности ее параметров и т. д.

На основе анализа характеристик и особенностей ШИМ для МСУ СПП, предложены рекомендации по выбору ШИМ, которые состоят в следующем.

1. Если значения модулирующего сигнала в текущем интервале дискретности для МСУ априорны, то необходимо использовать ШИМ-2В.

2. Если модулирующий сигнал $x(t)$ в текущем интервале изменяется случайно и монотонно, а частота основной гармоники $x(t)$ меньше $1/2T_0$, то в разомкнутом МСУ можно использовать ШИМ-2А. В противном случае, должно использоваться ШИМ-3.

3. Если нагрузка имеет малую постоянную времени ($T < 2T_0$), целесообразно использовать ШИМ-1, причем в замкнутом МСУ желательно использовать среднее значение сигнала обратной связи.

При $T > 2T_0$ также необходимо выполнить синтез сначала для МСУ с ШИМ-1, и если применение ШИМ-1 с интервалом дискретности T_0 не обеспечит требуемых динамических характеристик системы, то необходимо рассмотреть возможность уменьшения интервала дискретности СПП. Если применение этой меры невозможно, то целесообразно рассмотреть эффективность применения ШИМ-2А и если динамические характеристики СПП улучшились, то необходимо использовать ШИМ-2А.

Для многофазных СПП, когда синхронизация осуществляется от одной фазы сети и импульсы управления при постоянном модулирующем сигнале следуют через равные интервалы времени, требуется меньшее число узлов синхронизации и улучшается гармонический состав выходного напряжения. Реализация этого принципа синхронизации в МСУ осуществляется путем измерения длительности периода переменного напряжения, вычисления периода дискретности СПП и определения кодов временного сдвига. При этом обеспечивается инвариантность выходной величины СПП к изменению частоты питающей сети. В разработанном алгоритме для измерения частоты и формирования временного интервала, используется только один таймер.

Если относительное значение выходного параметра СПП $U_{\text{вых}}^*$ определяется нелинейной функцией - $U_{\text{вых}}^* = f(\alpha)$, где α - угол управления. Для линеаризации статической характеристики СПП, α следует определять по

$$\alpha = f^{-1}(U_y^*) \quad (2)$$

где U_y^* - относительная величина заданного выходного параметра.

Для нахождения α из соотношения (2), при малой разрядности L данных U_y^* ($L \leq 8$) лучше использовать табличный метод. В противном случае целесообразно использовать таблично-вычислительный метод. Когда в таблице хранятся коэффициенты линейных или параболических полиномов аппроксимирующей функции полученных применением метода интерполяции Чебышева при неравной длине отрезков разделения области $[0, U_{\text{умак}}^*]$, то обеспечивается меньшее время выполнения программы линеаризации примерно на 66% по сравнению с известным алгоритмом с равной или высшей точностью и при одном и том же объеме таблицы.

Относительное заданное значение выходного параметра определяется $U_y^* = U_y / U_{\text{вымак}}$. Если $U_{\text{вымак}}$ определяется по

измеряемым средним значениям напряжения сети, то при использовании алгоритма линеаризации обеспечивается инвариантность выходного параметра к изменению напряжения питающей сети с абсолютной устойчивостью.

Регуляторы на основе МСУ с ШИМ разделим на 2 класса: регуляторы без задержки выдачи управляющего воздействия (регуляторы БЗВУ) и регуляторы с задержкой выдачи управляющего воздействия на 1 такт (регуляторы СЗВУ). В регуляторах БЗВУ в 1-ом интервале код временного сдвига τ_i выдается в таймер и запуск таймера происходит после вычисления τ_i и слова управления s_i по значениям задающего сигнала g_i и сигнала обратной связи I_i , которые получены в начале интервала. При этом, если время определения τ_i , s_i велико по сравнению с интервалом дискретности СШ, то уменьшается диапазон регулирования выходного параметра СШ. Для повышения точности управления необходимо принять меры обеспечивающие постоянство времени Δt_3 .

В регуляторах СЗВУ в начале 1-го интервала выдается в таймер код τ_{i-1} выработанный в предыдущем интервале и таймер запускается, после этого МСУ выполняет выборки g_i, I_i и по их значениям вычисляет τ_i, s_i . При этом вычисление τ_i, s_i может занимать приблизительно один интервал дискретности СШ. Некоторые функции, например, компенсация нелинейности датчика и СШ, самонастройки и т. д., могут быть реализованы в реальном времени, кроме того, обеспечивается полный диапазон регулирования выходного параметра и не требуется мер для обеспечения постоянства времени Δt_3 .

В третьей главе представлены алгоритмы низкочастотно-импульсного управления (ИУ-НЧ) одним СШ и синхронного управления группой СШ для разных соотношений значений нагрузок и интервалов регулирования.

Для уменьшения уровня высокочастотных помех широко используют способы ИУ-НЧ. При ИУ-НЧ изменение выходных параметров СШ производится изменением числа полупериодов напряжения сети подключаемых к нагрузке. Для уменьшения пульсаций регулируемого параметра (например, температуры) необходимо увеличить равномерность подачи энергии на нагрузку в интервале регулирования T_p . При этом уменьшаются мгновенное и интегральное отклонения истинного значения энергии $W_n(t)$ от эталонного $W_0(t) - \xi_1(t)$ и ξ_2 . Теоретический анализ показал, что в МСУ одним СШ для любых значений заданного сигнала управления N ($0 \leq N \leq M$, где M - число кванта времени в интервале регулирования), при максимальной

2*

равномерности подачи энергии максимальное значение мгновенного отклонение ξ_1 , не выше 0.5. На основе этого вывода можно вывести условие для определения функции переключения $f(k)$:

$$f(k) = \begin{cases} f(k) = 1, & \text{при } \phi(k+1) \leq 0, \\ f(k) = 0, & \text{при } \phi(k+1) > 0, \\ \phi(1) = 0.5M - N, \\ \phi(k+1) = \phi(k) + f(k-1)M - N, \\ k = 0, 1, \dots, M-1. \end{cases} \quad (3)$$

где функция $\phi(k+1)$ - функция потенциала, $f(k) = 1$ и $f(k) = 0$ - соответственно посылки и отсутствие кванта энергии в нагрузку.

Среднее интегральное отклонение истинного значения энергии, поступившей на нагрузку от эталонного ξ_3 для алгоритма число-импульсного ИУ-НЧ (ЧСИУ-НЧ) с функцией потенциала при $M=8$ составляет 70% от ξ_3 известного алгоритма ЧСИУ-НЧ.

Эффективным приемом повышения качества использования электроэнергии преобразователями с ИУ-НЧ является введение групповых режимов работы нескольких СПП с обеспечением требуемого качества управления выходным параметром каждого из них.

Алгоритм синхронного управления группой СПП с ШИУ-НЧ с МСУ заключается в следующем: моменты окончания последнего кванта энергии для 1-го СПП согласовываются с моментами начала первого кванта $i+1$ -го СПП. Для каждого СПП кванты энергии могут находиться в одном или двух участках внутри интервала T_p . Перед началом интервала регулирования МСУ определяет три указателя для каждого СПП: указатель начала и конца первого участка A_{n1i} , A_{k1i} и указатель начала второго участка A_{n2i} . После их определения порядок выдачи квантов энергии для всех СПП в интервале T_p определен.

Для повышения равномерности подачи энергии используют синхронный ЧСИУ-НЧ. Алгоритм синхронного ЧСИУ-НЧ с использованием функций потенциала действует следующим образом.

После любых изменений сигналов управления СПП в группе перед началом интервала регулирования МСУ определяет целую часть среднего значения заданных сигналов для всех СПП в одном кванте времени q и остаток r

$$q = \text{Int} \left(\left(\sum_{i=1}^S N_i \right) / M \right), \quad r = \sum_{i=1}^S N_i - Mq, \quad (4) \quad \text{а}$$

где s - общее число СПП.

Чтобы общая энергия подавалась на нагрузки равномерно добавим еще один фиктивный регулятор с номером $s+1$ с заданным числом управления $N_{s+1} = r$. При $f_{s+1}(j) = 1$ общее число квантов энергии поступающих на нагрузки в j -том интервале $n_{jmax} = q+1$, при $f_{s+1}(j) = 0$, $n_{jmax} = q$. Функция $f_{s+1}(j)$ определяется также, как и в ЧСИУ-НЧ одним СПП при помощи функции потенциала.

Для каждого СПП имеется соответствующая функция потенциала $\Phi_i(j)$. В каждом кванте времени n_{jmax} - преобразователи, имеющие наименьшее значение соответствующей функции потенциала, подключаются к нагрузкам. При этом обеспечивается максимальная равномерность подачи суммарной энергии в целом и высокая равномерность подачи энергии для каждого СПП. Например, для $M=7$, $N_1=5$, $N_2=4$, $N_3=2$, $N_4=5$, при алгоритме на основе функции "подходящей дроби", интегральное отклонение истинной суммарной энергии поступившей на нагрузки от эталонного $\xi'_{2s} = 0.161$, а при разработанном алгоритме с функцией потенциала $\xi'_{2s} = 0.107$.

Синхронное управление группой СПП с однотипными нагрузками, но с различными интервалами регулирования используется в тех случаях, когда нагрузки СПП имеют разные инерционности, но значения кванта энергии для разных СПП одинаковые.

Целесообразно выбирать значения интервалов регулирования равные $T_{pi+1} = l_i T_{p1}$, где $1 < i \leq s$, $l_i = 2$, $t_i = 0, 1, 2, \dots$. Для СПП i с интервалом регулирования $T_{pi} > T_{p1}$, при заданном числе управления N_i , МСУ вычисляет целую часть среднего числа управления в каждом T_{p1} $P = \text{Int}(N_i M_i / M_1)$ и остаток $r_i = N_i - M_i P / M_1$. Число квантов энергии $N'_i(z)$ в z -вом интервале T_p определяется функцией потенциала

$$\left\{ \begin{array}{l} N'_i(z) = P_i + 1, f'_i(z) = 1, \text{ при } \Phi'_i(z+1) \leq 0 \\ N'_i(z) = P_i, f'_i(z) = 0, \text{ при } \Phi'_i(z+1) > 0 \\ \Phi'_i(1) = 0.5 M'_i - r_i \\ \Phi'_i(z+1) = \Phi'_i(z) + f'_i(z) M'_i - r_i \end{array} \right. \quad (5)$$

где $M'_i = M_i / M_1$.

После определения числа квантов энергии, находящихся в текущем T_{p1} для всех СПП i , переключающая функция $f(j)$ определяется алгоритмом синхронного управления группой СПП с одинаковыми нагрузками и равными интервалами регулирования T_{p1} .

Если интервал регулирования всех СПП в группе одинаков, а

их кванты энергии не равны, алгоритм позволяющий существенно уменьшить искажение суммарной энергии работает следующим образом. Перед началом каждого интервала регулирования, МСУ определяет эталонное значение суммарной подачи энергии в одном кванте времени q . СШП₁₁, имеющий максимальное значение кванта энергии, является ведущим и его переключаящая функция $f_{11}(j)$ определяется по формуле (3). Затем МСУ выбирает такие СШП_i ($i \neq 1$) для подключения к нагрузке, чтобы значение суммарной энергии всех СШП в текущем кванте времени было бы не более, чем $q + \Delta$ при обеспечении заданного числа кванта энергии в T_p для каждого СШП_i, где Δ - допустимое отклонение суммарной энергии в одном кванте времени, причем СШП_i ($i \neq 1$) с большим значением кванта энергии имеет высшей приоритет.

Алгоритм синхронного управления группой СШП с разными нагрузками и разными интервалами регулирования строится на основе двух предыдущих алгоритмов синхронного управления.

В четвертой главе разработаны алгоритмы управления одно и трехфазными автономными инверторами с ШИМ по синусоидальному закону.

В МСУ автономными инверторами (АИ) с ШИМ по синусоидальному закону, в качестве среднего значения выходного сигнала принимается значение синусоидальной функции в середине периода несущей частоты

$$U_{cp} \cong a \sin [(\alpha_i + \alpha_{i+1})/2] , \quad (6)$$

где α_i , α_{i+1} - углы, соответствующие началу i -го и $i+1$ -го периодов несущей частоты, a - амплитуда синусоидальной функции.

Если ширина импульсов выходного напряжения определяется с помощью выражения (6), то в зависимости от расположения импульсов в периоде несущей частоты, можно реализовать разные варианты ШИМ. Спектральный анализ кривых выходного напряжения АИ показывает, что ШИМ, аналогичные двухсторонним ШИМ-2А с треугольной формой развертки имеют лучший гармонический состав по сравнению с другими видами ШИМ.

В случае широкого диапазона регулирования выходной частоты АИ с целью уменьшения потерь на переключения силовых полупроводниковых приборов необходимо изменить количество периодов несущей в периоде ведущей частоты в зависимости от заданной выходной частоты. Для уменьшения объема таблицы в стираемой памяти программы (ШЗУ) целесообразно использовать только одну таблицу

для всех ξ_j , где ξ_j - количество периодов несущей на j -ом диапазоне, для этого необходимо соблюдать следующие соотношения

$$f_{0,j} = 2f_{0,j-1} \cdot \xi_j = \xi_{j-1}/2, \quad j=1,2,\dots,n, \quad (7)$$

где $f_{0,j}$ - эталонная частота в j -ом диапазоне. В этом случае таблица строится только для первой эталонной частоты $f_{0,1}$. В таблице хранятся коды значений синусоидальной функции в тактовых точках $k(1)$. Максимальное значение $k(1)$ соответствует длительности одного эталонного периода несущей частоты T_n .

Для первой эталонной частоты код ширины импульсов определяется как

$$\tau_{011} = [k(1) + k(1+1)]/2, \quad 1 = 0,1,\dots,\xi_{01}. \quad (8)$$

Для j -ой эталонной частоты код эталонной частоты равен

$$\tau_{01j} = k((2j+1)2^{j-2}), \quad (9)$$

где $j = 1 + \log_2(\xi_{01}/\xi)$.

Если заданная выходная частота f_z отличается от эталонной частоты и лежит в диапазоне $f_{z,j-1} - f_{z,j}$, соответствующем эталонной частоте f_{0j} , а глубина модуляции $\mu \neq 1$, то ширина импульсов определяется следующим соотношением

$$\tau_1 = \mu \tau_{01j} f_{0j}/f_z. \quad (10)$$

Для трехфазного АИ, ширина импульсов выходного напряжения каждой фазы определяется по номеру периода несущей частоты. Начальный номер периода несущей частоты для фазы А равен 0 (принимается начальное значение $1_A = 0$), для фазы В $1_B = 2\xi/3$, для фазы С $1_C = \xi/3$.

Пятая глава посвящена алгоритму управления несколькими типами СПИ и исследованию замкнутых МСУ СПИ. В качестве примера, приведен анализ и синтез однофазного регулятора БЗВУ и СЗВУ переменного тока с помощью Z-преобразования, корневого годографа и операторно-рекуррентного метода моделирования.

МСУ на базе одного микропроцессора с одним таймером для формирования временного сдвига может управлять несколькими типами СПИ, по одинаковым или разным законам управления. В этом случае

целесообразно использовать очередь FIFO.

Все задачи выполняемые МСУ СПП в соответствии с уровнями приоритетов можно подразделить на 4 вида.

Задачи первого вида должны быть выполнены в определенный момент времени и имеют наивысший приоритет. К задачам второго вида относится определение значений t_k и s_k , которые должны быть известны перед моментом их выдачи. Задачи третьего вида связаны с определением управляющих воздействий в интервале регулирования T_p . Задачи четвертого вида могут быть выполнены с временной задержкой и имеют самый низкий приоритет выполнения.

Если в процессе работы СПП возможно появление нескольких последовательных коротких временных интервалов и при этом задача второго вида не может быть выполнена в течении этих коротких интервалов, то она должна быть заранее определена с помощью очереди FIFO при условии, если в определенном интервале времени все задачи могут быть выполнены МСУ.

Длину L FIFO выбирают из условия

$$s+1 \geq L \geq \text{Int} \left(\sum_{j=1}^s T_{\min} / T_j \right) + 1 \quad (11)$$

где T_{\min} - минимальная длительность интервала дискретности из всех T_j . Если интервал дискретности всех СПП одинаковый, то $L=s+1$.

Поскольку выходный сигнал СПП чаще является дискретным и содержит высокочастотные гармоники для получения полной полезной информации целесообразно использовать преобразователь напряжения/частоту (ПНЧ). Если нужно определить действующее значение выходного напряжения СПП, сначала получают среднее значение выходного напряжения, а потом используя соотношение между средним и действующим значением выходного напряжения, вычисляют действующее значение напряжения.

Значение мощности определяется программным способом по формуле

$$P = \frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n u_i i_i \Delta t \quad (12)$$

что может быть реализовано с помощью аналоговой схемы умножения и ПНЧ.

Схема разработанного образца МСУ ПП показана на рис. 1. Образец состоит из платы, содержащей БИС ОМЭВМ и другие БИС, а также пульта клавиатуры и индикации. С помощью этого образца

реализованы различные разработанные алгоритмы, в частности, алгоритм управления несколькими СПП разными способами.

На рис. 2 приведены диаграммы результатов моделирования выходной величины регулятора однофазного переменного тока при разных законах регулирования для регулятора БЗВУ (рис. 2, а) и СЗВУ (рис. 2, б). Математическая модель и результаты моделирования переходных процессов СПП с МСУ при разных передаточных функциях цифрового регулятора с обычной и комбинированной структурой управления и при разных коэффициентах передачи прямой и дополнительной прямой связи подтверждены экспериментально с достаточной для инженерной практики точностью (5-10%).

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Проведены исследования динамических характеристик и особенности ШИМ для МСУ СПП. Выработаны рекомендации по выбору ШИМ для МСУ СПП. Показано, что в большинстве случаев применение ШИМ-1 более целесообразно чем ШИМ-2А. Разработана модель ШИМ-1.

2. Разработан алгоритм синхронизации для многофазных СПП, характеризующийся простотой аппаратной части и обеспечивающий лучший гармонический состав выходной величины и его инвариантность к изменению частоты питающей сети.

3. Разработаны:

- алгоритм линеаризации статической характеристики СПП, имеющий высокое быстродействие;

- алгоритм управления СПП и его программная реализация, обеспечивающие инвариантность выходной величины к изменению напряжения питающей сети;

- алгоритм низкочастотно импульсного управления одним СПП и его программная реализация, обеспечивающие максимальную равномерность подачи энергии на нагрузку;

- алгоритмы синхронного управления группой СПП при разных соотношениях значений нагрузок и интервалов регулирования, обеспечивающие высокую равномерность подачи суммарной энергии на нагрузки.

- алгоритмы управления АИ с ШИМ по синусоидальному закону и их программные реализации, обеспечивающие широкий диапазон регулирования выходной частоты при высоком быстродействии и малом объеме таблицы ППЗУ.

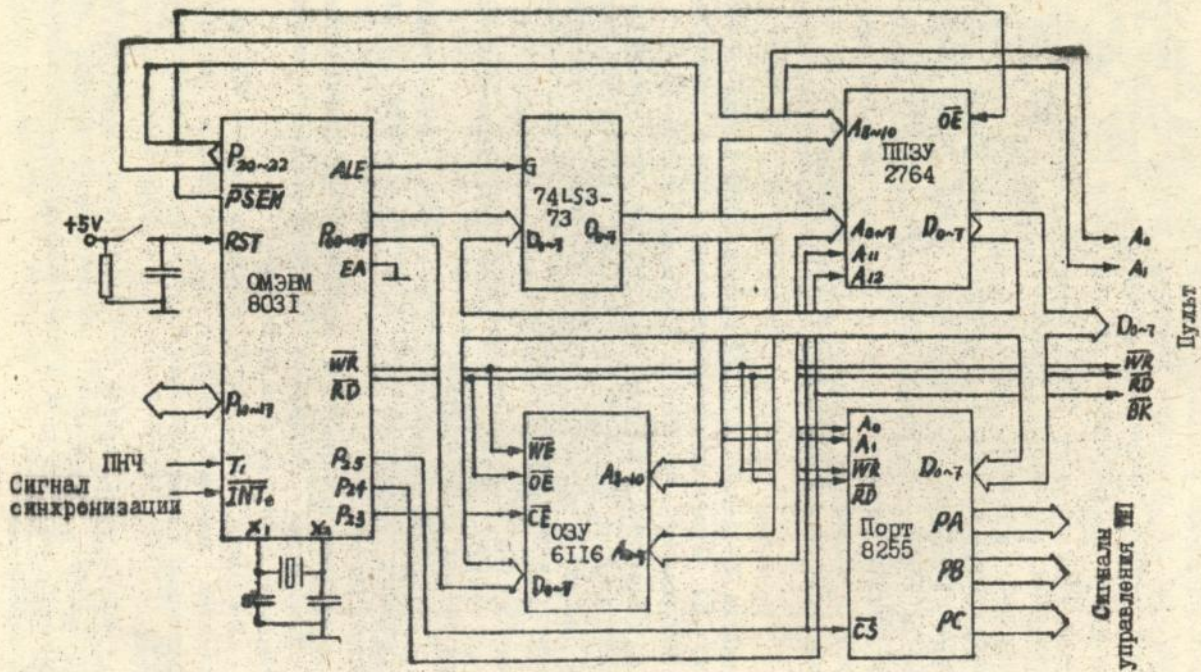
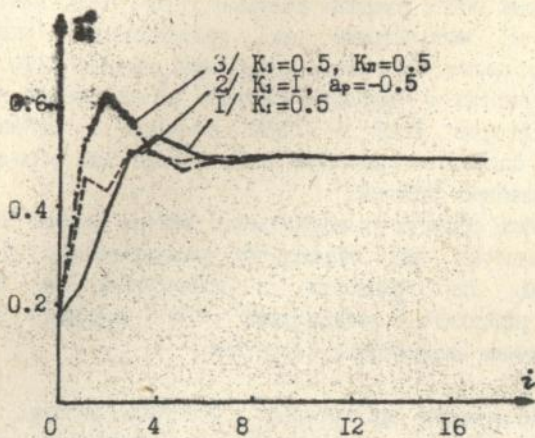
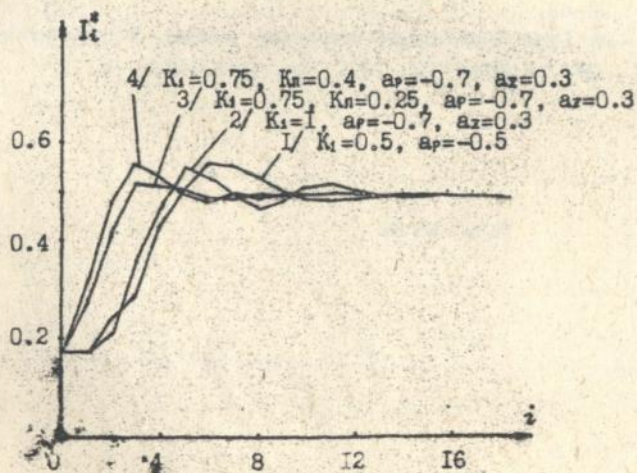


Рис. 1. Схема опытного образца МСУ III.



a)



b)

Рис. 2. Переходные процессы регуляторов переменного тока.

4. Предложена структура универсального МСУ для управления несколькими типами СШ с разными законами управления, для которого разделены задачи, выполняемые по приоритетам выполнения, показаны условия целесообразности применения очереди FIFO.

5. Анализ, синтез и экспериментальные исследования замкнутых цифровых регуляторов БЗВУ и СЗВУ показали эффективность использования операторно-рекуррентного метода для моделирования дискретной нелинейной системы.

6. Разработан образец универсального МСУ на основе ОМЭВМ 1816 ВЕ51, предназначенный для реализации разработанных алгоритмов управления СШ. По сравнению с известными он позволяет одновременно управлять несколькими СШ разными способами управления с малыми аппаратными затратами.

По теме диссертации опубликовано 2 печатные работы:

1. Юе Гуан Алгоритм импульсного низкочастотного управления тиристорными преобразователями - Техн. электродинамика, 1992, No.6, с. 39-43.

2. Юе Гуан Применение структур данных в преобразовательной технике - Деп. В УкрИНТЭИ, 1992, No. 1835-Ук92, 6с.

Соискатель

Юе Гуан

АВ 27.963