

КИЕВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

ФАН КУОК ЗУНГ  
(Вьетнам)

УДК 621.314

**МНОГОУРОВНЕВЫЕ СИСТЕМЫ ШИРОТНО-  
ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ  
АСИНХРОННЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ**

Специальность 05.09.12 - "Полупроводниковые преобразователи  
электроэнергии"

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

Киев - 1994



00778825 (.)

Диссертация является

Работа выполнена на к

Киевского политехнического института

Научный руководитель - лауреат Государственной премии Украины,  
доктор технических наук, профессор  
Сенько В. И.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, старший научный  
сотрудник Чехет Э. М.  
кандидат технических наук, доцент  
Кулешов Ю. С.

Ведущее предприятие - Институт проблем энергосбережения НАН  
Украины

Защита диссертации состоится " 24 " октября 1994 г. в 15 часов на засе-  
дании специализированного Совета К 068.14.05 по присуждению ученых сте-  
пеней кандидата технических наук в Киевском политехническом институте  
(252056, г. Киев-56, просп. Победм 37).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан "21" - 09 1994 г.

Ученый секретарь

Специализированного Совета  
кандидат технических наук, профессор

Б. Н. Кондра

ЛНБ ім. В. Стефаника  
АН України

Актуальность темы. Современный этап развития научно-технического прогресса характеризуется усовершенствованием и созданием различных видов оборудования, приборов, механизмов и машин, реализация которых требует решения проблем электропитания их энергией соответствующего качества с обеспечением необходимых рабочих и динамических характеристик. Это служит основанием создания устройств преобразования параметров электрической энергии, совершенствование которых играет особую роль в развитии полупроводниковой преобразовательной техники.

Учитывая технические требования к источникам питания автономных нагрузок, в том числе асинхронных электроприводов, наиболее распространены структуры с преобразовательными устройствами постоянного тока в переменный - автономными инверторами напряжения (АИН). Среди них, достаточное внимание было уделено силовым схемам АИН с фиксированной нейтральной точкой (АИННТ), которые позволяют реализовать трехуровневую ШИМ фазного напряжения инвертора с улучшенным качеством. Наиболее перспективными способами управления инверторами напряжения являются широтно-импульсные. Алгоритмы ШИМ выходного напряжения остаются темой интенсивного исследования в течение последних десятилетий. Разнообразные методы, отличающиеся подходом и принципом, снова и снова обновляются и совершенствуются.

Несмотря на большое количество научных работ, посвященных исследованию и разработке новых алгоритмов трехуровневой ШИМ для АИННТ, вопросам анализа электромагнитных процессов в инверторах, особенностям построения систем управления и анализа спектрального состава кривых формируемого выходного напряжения АИННТ с ШИМ, следует отметить отсутствие сравнительных оценок современных методов трехуровневой ШИМ по уровню динамических потерь мощности в силовых ключах инвертора, определяемых числом коммутаций силовых транзисторов (тиристоров); отсутствие сравнительных оценок по уровню использования источников питания при обеспечении подавления высших гармонических составляющих в кривой выходного напряжения; отсутствие методики расчета и построения годографов  $\Psi$  и  $\Psi^*$ , дающей возможность разработки эффективных алгоритмов трехуровневой ШИМ; отсутствие решения

задачи повышения качества выходного напряжения преобразователя путем оптимального сочетания наиболее выгодных по качеству методов ШИМ в одном комбинированном алгоритме ШИМ, позволяющем регулировать частоту и амплитуду первой гармоники напряжения в широких диапазонах; недостаточную разработку вопросов, касающихся особенностей цифровой системы управления АИННТ, особенно в режимах широкодиапазонного регулирования параметров первой гармоники выходного напряжения инвертора, что является основным затруднением проектирования АИННТ с ШИМ для управления АД.

Отмеченные обстоятельства свидетельствуют об актуальности настоящей работы, направленной на разработку, исследование и реализацию методов трехуровневой ШИМ выходного напряжения инверторов с нейтральной точкой, используемых в качестве источников питания асинхронного электродвигателя.

Целью настоящей диссертационной работы является решение научной задачи разработки и исследования АИННТ с трехуровневой ШИМ, используемых в качестве источников питания асинхронного электропривода, обладающих улучшенными показателями эффективности, а также разработки методики анализа алгоритмов ШИМ и схемных решений цифровых систем управления АИННТ с ШИМ.

При достижении поставленной цели решены следующие задачи:

1. Анализ современных методов трехуровневой ШИМ, оценка уровня коммутационных потерь мощности в силовых ключах и уровня использования источников питания инвертора.

2. Разработка методики построения годографов векторов  $\vec{\Psi}$  и  $\vec{\Psi}^*$  для трехфазной сбалансированной нагрузки, питающейся от АИННТ с ШИМ.

3. Разработка новых алгоритмов трехуровневой ШИМ с аппроксимацией годографов  $\vec{\Psi}$  и  $\vec{\Psi}^*$  на основе анализа обобщенных пространственных векторов напряжения трехфазной цепи и их использования в формировании последовательностей импульсов.

4. Разработка комбинированного алгоритма ШИМ, позволяющего получить наилучшее качество выходного напряжения во всем диапазоне его регулирования.

5. Разработка схем цифровых систем управления АИННТ с ШИМ, в т. ч. микропроцессорного управления.

**Автор защищает:**

1. Методику расчета и построения годографов векторов  $\vec{\Psi}$  и  $\vec{\Psi}^*$ .
2. Алгоритмы трехуровневой ШИМ с двусторонней аппроксимацией годографов векторов  $\vec{\Psi}$  и  $\vec{\Psi}^*$ , обеспечивающие уменьшенное число коммутаций силовых ключей инвертора за период выходного напряжения.
3. Принципы построения цифровых систем управления АИННТ с ШИМ.

**Методы исследования.** При решении перечисленных задач были использованы методы гармонического анализа, метод первой гармоники, матричный аппарат, представление трехфазной системы напряжения с помощью обобщенного пространственного вектора напряжения. Для проведения численных расчетов и графических построений, а также при моделировании схем применяется ПЭВМ.

**Научная новизна.**

1. Разработана методика расчета и построения годографов векторов потокосцепления  $\vec{\Psi}$  и  $\vec{\Psi}^*$  для трехфазной нагрузки, питающейся от АИННТ с ШИМ.

2. Предложены новые алгоритмы трехуровневой ШИМ с симметричной аппроксимацией годографов векторов потокосцепления  $\vec{\Psi}$  и  $\vec{\Psi}^*$ , основанные на использовании обобщенных пространственных векторов напряжения, с уменьшенным числом коммутаций силовых ключей инвертора по сравнению с существующими алгоритмами трехуровневой ШИМ.

3. Предложен комбинированный алгоритм ШИМ, основанный на применении различных алгоритмов ШИМ для соответствующих поддиапазонов регулирования амплитуды первой гармоники выходного напряжения АИННТ, обеспечивающий лучшее качество последнего.

4. Разработаны цифровые системы управления АИННТ с ШИМ.

**Практическая ценность.** Разработанные алгоритмы трехуровневой ШИМ позволяют снизить число коммутаций силовых транзисторов (тиристоров) инвертора с нейтральной точкой и таким образом сократить динамические потери мощности в них, использование комбинированного алгоритма ШИМ существенно улучшает качество выходного напряжения во всем диапазоне его регулирования, а реализация предложенных алгоритмов ШИМ в цифровых

системах управления обеспечивает повышение технико-экономических показателей системы АИННТ-АД.

Реализация результатов работы в промышленности. Теоретические и практические результаты, полученные в работе, используются в учебных курсах КПИ при подготовке специалистов по электроприводу и электрическим машинам.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались на международной научно-технической конференции "Силовая электроника в решении проблемы ресурс- и энергосбережения", Алушта, октябрь 1993г, а также на научном семинаре НАН Украины "Научные основы электроэнергетики". Основное содержание работы опубликовано в 5 статьях.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы из 134 наименования и 8 приложений. Она содержит 100 страниц основного машинописного текста, иллюстрированного 61 рисунками и 15 таблицами.

Во введении обоснованы актуальность темы и сформулирована цель исследований, перечислены основные результаты работы, приведены положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрены современные алгоритмы трехуровневой ШИМ выходного напряжения трехфазных инверторов с нейтральной точкой, при этом уделено внимание качеству формируемого напряжения, уровню использования источника питания автономного инвертора и числу коммутаций силовых ключей инвертора для различных методов модуляции. Выполнено исследование алгоритмов ШИМ в автономных инверторах напряжения с использованием обобщенного вектора напряжения трехфазной цепи. Проанализировано влияние качества выходного напряжения инвертора с ШИМ на приближение векторов  $\vec{\Psi}$  и  $\vec{\Psi}^*$  и их годографов для современных методов модуляции, разработана методика расчета и построения годографов векторов  $\vec{\Psi}$  и  $\vec{\Psi}^*$ .

Во второй главе проведен анализ предложенных автором новых алгоритмов ШИМ для АИННТ с аппроксимацией векторов  $\vec{\Psi}$  и  $\vec{\Psi}^*$ , позволяющих снизить число коммутаций силовых ключей инвертора за период выходного напряжения. Проведено моделирование схемы АИННТ, работающей с предложенными алгоритмами ШИМ с помощью пакета программ PSpice.

Третья глава касается особенностей проектирования цифровых систем управления АИННТ с ШИМ. Рассмотрены основные узлы и функциональные схемы цифровых систем управления, реализующих одностороннюю и двустороннюю ШИМ, структурная схема и алгоритм работы микропроцессорной системы управления инвертором с ШИМ по предложенным алгоритмам.

В приложении приведены: программа расчета коэффициента качества напряжения, формируемого на выходе АИННТ с ШИМ, программы расчета и построения формы фазных и линейных напряжений, спектра выходного напряжения АИННТ с ШИМ, программы расчета и построения диаграмм коммутации силовых ключей инвертора, годографов векторов  $\vec{\Psi}$  и  $\vec{\Psi}^*$ , амплитуд высших гармоник в спектральном составе выходного напряжения, программа расчета длительностей импульсов для всех рассмотренных в работе алгоритмов ШИМ, текст задания для моделирования схемы.

#### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

На пути совершенствования схемы автономного инвертора напряжения (АИН) предложена новая схема АИН с фиксацией нейтральной точки (АИННТ) (рис.1.а,б). Такое усложнение силовой части по сравнению с традиционными мостовыми АИН позволяет не только повысить мощность, управляемую АИН, но и существенно снизить содержание высших гармоник в выходном напряжении инвертора и таким образом повысить качество последнего.

Улучшение формы выходного напряжения АИННТ осуществляется различными методами ШИМ. При этом важными характеристиками алгоритмов ШИМ являются степень использования источника питания АИННТ и число коммутаций силовых ключей за период формируемого напряжения, определяющее динамические потери мощности в силовых ключах АИННТ. На улучшение этих показателей направлены разработки новых алгоритмов трехуровневой ШИМ выходного напряжения инверторов.

Для оценки качества формы кривой выходного напряжения используется коэффициент гармонического искажения  $HD$ , определя-

емый по выражению:  $HD = \sqrt{\sum_{i=2}^n (U_i / i)^2} / U_1$ , где  $i$  - номер гармоники.

Для сравнения различных алгоритмов ШИМ удобнее определять  $HD$  в функции от коэффициента  $K_d$ , отражаемого эффективность

использования источника питания АИНТ:  $K_d = U_1 / U_d$ , где  $U_d = 2E$  - напряжение на входе инвертора.

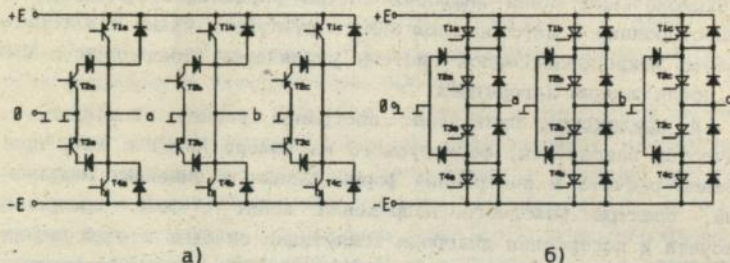


Рис. 1.

В работе разработаны методы трехуровневой ШИМ выходного напряжения АИНТ, основанные на выборе алгоритмов формирования обобщенного вектора напряжения  $\vec{V}(t)$ , являющегося пространственно-временной характеристикой трехфазной системы. Для этого анализируется изменение во времени вектора  $\vec{\Psi}$ , определяемого интегрированием обобщенного вектора напряжения по времени  $\vec{\Psi} = \int \vec{V}(t) dt$ . В асинхронном двигателе, являющемся одним из распространенных видов нагрузки трехфазной системы, вектор  $\vec{\Psi}$  будет определять вектор магнитного потока в первичной обмотке асинхронного двигателя при допущении, что падение напряжения на активном сопротивлении обмотки статора мало.

В случае идеальных выходных напряжений:

$$\vec{V}_a(t) = U_{\phi m} \sin(\omega t), \vec{V}_b(t) = U_{\phi m} \sin(\omega t - 2\pi/3), \vec{V}_c(t) = U_{\phi m} \sin(\omega t - 4\pi/3).$$

Обобщенный вектор напряжения, определяемый как  $\vec{V}(t) = \vec{V}_a(t) \cdot a^0 + \vec{V}_b(t) \cdot a^1 + \vec{V}_c(t) \cdot a^2$ , где  $a = e^{j2\pi/3}$ , принимает вид  $\vec{V}^*(t) = -j \frac{3}{2} U_{\phi m} \cdot e^{j\omega t}$ , а вектор  $\vec{\Psi}^*$  запишется в виде:  $\vec{\Psi}^*(t) = -(3U_{\phi m} / 2\omega) \cdot e^{j\omega t} + \vec{\Psi}_0^*$ , где  $\vec{\Psi}_0^*$  - начальное значение  $\vec{\Psi}^*$ .

Как видно из вышеизложенного, для идеальных фазных напряжений вектор  $\vec{\Psi}^*$  имеет постоянную амплитуду, а годограф вектора  $\vec{\Psi}^*$  представляет окружность с радиусом  $r_0 = 3U_{\phi m} / 2\omega$ .

Для трехфазного трехуровневого АИНТ характерно формирование дискретных значений напряжения в каждой фазе нагрузки, зависящих от состояния четырех силовых ключей в стойках инвер-

тора. В АИННТ в каждой его стойке возможны три состояния ( 1, 0, -1), формируемого в зависимости не только от состояния силовых ключей, но и от силовых схем инвертора. Учитывая три состояния для каждой стойки инвертора, получается число возможных подключений трехфазной нагрузки к источнику питания постоянного напряжения  $U_d$  равное  $3^3 = 27$ . Общее выражение для обобщенного вектора напряжения, формируемого инвертором с ШИМ запишется в виде:

$$\begin{aligned} \vec{V}_n(t) &= U_d \exp\left[(n-1)\frac{\pi}{6}j\right], & n &= 1, 3, \dots, 11, \\ \vec{V}_n(t) &= \frac{\sqrt{3}}{2} U_d \exp\left[(n-1)\frac{\pi}{6}j\right], & n &= 2, 4, \dots, 12, \\ \vec{V}_n(t) &= 0, & n &= 13, 14, 15, \\ \vec{V}_n(t) &= \frac{1}{2} U_d \exp\left[(n-16)\frac{\pi}{3}j\right], & n &= 16..27, \end{aligned}$$

Величина и направление текущего вектора  $\vec{V}_n$  остается постоянной, а интервал его существования равен величине текущего интервала  $\Delta t$ , между переключениями силовых ключей преобразователя. Значение вектора  $\vec{\Psi}$  в этом случае имеет вид:  $\vec{\Psi} = t \cdot \vec{V}_n + \vec{\Psi}_0$ , где  $\vec{\Psi}_0$  - значение  $\vec{\Psi}$  в начале интервала  $\Delta t$ . Откуда следует, что вектор  $\vec{\Psi}$  изменяется в направлении обобщенного вектора  $\vec{V}_n$ . Для ненулевых обобщенных векторов напряжения, возникающая при этом скорость перемещения  $\vec{\Psi}$  пропорциональна напряжению источника питания АИННТ, а в случае формирования нулевых векторов  $\vec{V}_{13} + \vec{V}_{15}$ , вектор  $\vec{\Psi}$  будет неподвижным.

Форма годографа вектора  $\vec{\Psi}$  за период формируемого напряжения будет зависеть от алгоритма переключения силовых ключей в фазах инвертора, который определяет последовательность создаваемых в нагрузке обобщенных векторов напряжения  $\vec{V}_n$ .

В работе приведена методика расчета и построения годографов векторов  $\vec{\Psi}$  и  $\vec{\Psi}^*$ , а также рассмотрены формы этих годографов для различных законов модуляции выходного напряжения инвертора. Из проведенного анализа годографов векторов  $\vec{\Psi}$ , формируемых различными алгоритмами ШИМ выходного напряжения инвертора, становится ясным, что степень приближения годографа вектора  $\vec{\Psi}$  к годографу идеального вектора  $\vec{\Psi}^*$ , формируемого

первыми гармониками напряжения в фазах инвертора, может служить оценкой качества напряжения с ШИМ. Поэтому разработка новых алгоритмов трехуровневой ШИМ напряжения в фазах инвертора с нейтральной точкой проводится с точки зрения минимума отклонения вектора  $\Psi$  от  $\Psi^*$ .

Задача разработки новых алгоритмов трехуровневой ШИМ заключалась в выборе последовательностей обобщенных векторов напряжения (из 24 ненулевых и 3 нулевых векторов) и расчете их композиций и длительностей формирования так, чтобы максимально приблизить годограф вектора  $\Psi$  к годографу вектора  $\Psi^*$ , достигнув при этом лучшего качества выходного напряжения АИННТ, а также повысив степень использования источника питания инвертора и снизив число коммутаций силовых ключей по сравнению с известными алгоритмами трехуровневой ШИМ.

В работе проводится анализ предложенных автором алгоритмов трехуровневой ШИМ с односторонней, односторонней оптимальной, двусторонней, двусторонней оптимальной (симметричной) аппроксимацией годографов  $\Psi$  и  $\Psi^*$ , примененных для улучшения качества напряжения на выходе АИННТ в диапазоне больших значений коэффициента  $K_d$ ; алгоритмов трехуровневой ШИМ двусторонней аппроксимацией "звезда" и "полшестигранник" - в диапазонах средних и малых значений  $K_d$ .

Выбор комбинации нулевых и ненулевых обобщенных векторов напряжения в формировании эффективных законов модуляции существенно влияет на качество формируемого выходного напряжения, оцениваемого коэффициентом  $HD$  в функции зависимости от  $K_d$ . Среди предложенных автором алгоритмов, наиболее перспективными являются алгоритм трехуровневой ШИМ с оптимальной (симметричной) двусторонней аппроксимацией  $\Psi$  и  $\Psi^*$ , алгоритм с двусторонней аппроксимацией  $\Psi$  и  $\Psi^*$  с использованием обобщенных векторов "звезда" и алгоритм с двусторонней аппроксимацией  $\Psi$  и  $\Psi^*$  с использованием обобщенных векторов "полшестигранник".

Принципы формирования импульсов напряжения в фазах инвертора на интервале  $[0.. \pi/3]$  и форма напряжения для трех вышеуказанных алгоритмов показаны на рис.2, а, б, в.

Величины интервалов для этих алгоритмов на каждом периоде несущего сигнала  $\Delta T$  в зависимости от фазового угла  $\theta$  и коэф-

коэффициента глубины модуляции  $M$  определяются в соответствии с данными таблицы. Форма годографа вектора  $\vec{\Psi}$  показаны на рис. 3, а, б, в.

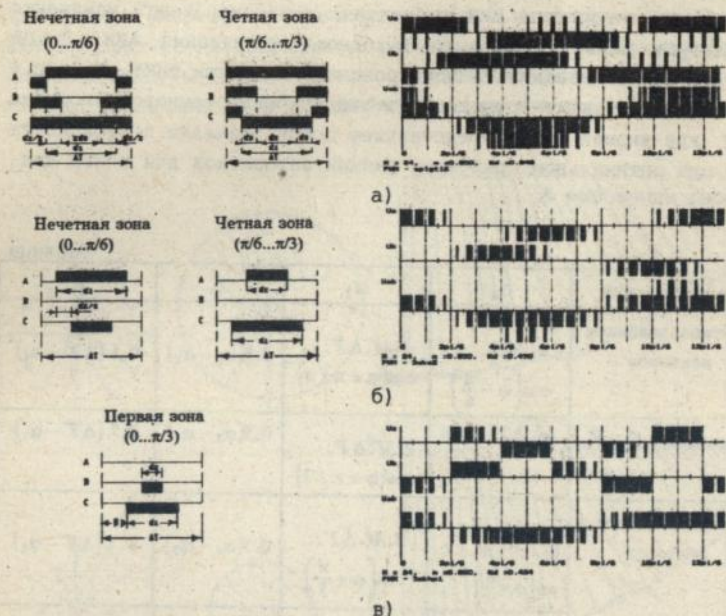


Рис. 2

Если провести сравнение с алгоритмами переключения силовых ключей в инверторах, работающих по синусоидальной трехуровневой ШИМ, то можно заметить, что число коммутаций силовых ключей в вышеуказанных алгоритмах удастся уменьшить на одну треть при выборе одинаковой частоты несущего сигнала.

На рис. 4 приведены зависимости коэффициента качества формируемого напряжения  $HD = f(K_d)$  для этих предложенных алгоритмов ШИМ (кривые 3, 6, 7) и известных алгоритмов синусоидальной ШИМ для указанного отношения частоты несущего сигнала к частоте первой гармоники формируемого напряжения.

Как видно из рис. 4, использование одного алгоритма ШИМ в системе АИННТ-АД не может обеспечить лучшее качество выходного

напряжения на всем диапазоне изменения выходного напряжения инвертора. Существенное улучшение качества формируемого напряжения на выходе инвертора может быть достигнуто применением различных алгоритмов ШИМ на различных поддиапазонах изменения амплитуды первой гармоники выходного напряжения АИН. Такой подход носит название "комбинированный алгоритм ШИМ". На рис. 4 приведен результат применения этого комбинированного алгоритма ШИМ, где жирная линия представляет собой значение коэффициента  $HD$  при оптимальном сочетании разных алгоритмов для всего диапазона изменения  $K_d$ .

Таблица

Алгоритмы ШИМ	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\beta$
с использованием векторов	$M \cdot \Delta T \cdot \cos\left(\varphi - \frac{\pi}{6}\right)$	$\sqrt{3}M \cdot \Delta T \cdot \cos\left(\varphi + \frac{\pi}{3}\right)$	$0.5(\alpha_1 - \alpha_2)$	$0.5(\Delta T - \alpha_1)$
напряжения $\vec{V}_1 + \vec{V}_{12}$	$M \cdot \Delta T \cdot \cos \varphi$	$2M \cdot \Delta T \cdot \cos\left(\varphi + \frac{\pi}{3}\right)$	$0.5(\alpha_1 - \alpha_2)$	$0.5(\Delta T - \alpha_1)$
с использованием векторов	$(2/\sqrt{3}) \cdot M \cdot \Delta T \cdot \cos\left(\varphi + \frac{\pi}{6}\right)$	$2M \cdot \Delta T \cdot \cos\left(\varphi + \frac{\pi}{3}\right)$	$0.5(\alpha_1 - \alpha_2)$	$0.5(\Delta T - \alpha_1)$
"звезда"	$(2/\sqrt{3}) \cdot M \cdot \Delta T \cdot \sin\left(\varphi + \frac{\pi}{6}\right)$	$(2/\sqrt{3}) \cdot M \cdot \Delta T \cdot \cos\left(\varphi + \frac{\pi}{3}\right)$	$0.5(\alpha_1 - \alpha_2)$	$0.5(\Delta T - \alpha_1)$
с использованием векторов "полустешигранник"	$M \cdot \Delta T \cdot \cos\left(\varphi - \frac{\pi}{6}\right)$	$M \cdot \Delta T \cdot \cos\left(\varphi + \frac{\pi}{6}\right)$	$\frac{1}{2} \cdot M \cdot \Delta T \cdot \sin \varphi$	$0.5\Delta T - M \cdot \Delta T \cdot (1 - M) \cdot \cos\left(\varphi - \frac{\pi}{6}\right)$

- Примечание: Для первых двух алгоритмов коэффициенты  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta$  рассчитываются по формулам в верхней строке таблицы для нечетных зон и в нижней строке таблицы для четных зон.

Рассмотренные в работе принципы построения цифровых систем управления позволили реализовать предложенные в работе алгоритмы трехуровневой ШИМ в полностью цифровых системах управле-

ния. В работе рассмотрена система управления АИННТ, позволяющая осуществить одностороннюю и двустороннюю трехуровневую ШИМ

Реализация некоторых алгоритмов ШИМ возможна только с применением микропроцессорной техники для выполнения необходимых алгебраических операций по расчету кодов длительности формируемых импульсов. В работе рассмотрена микропроцессорная система управления АИННТ с комбинированным алгоритмом ШИМ.

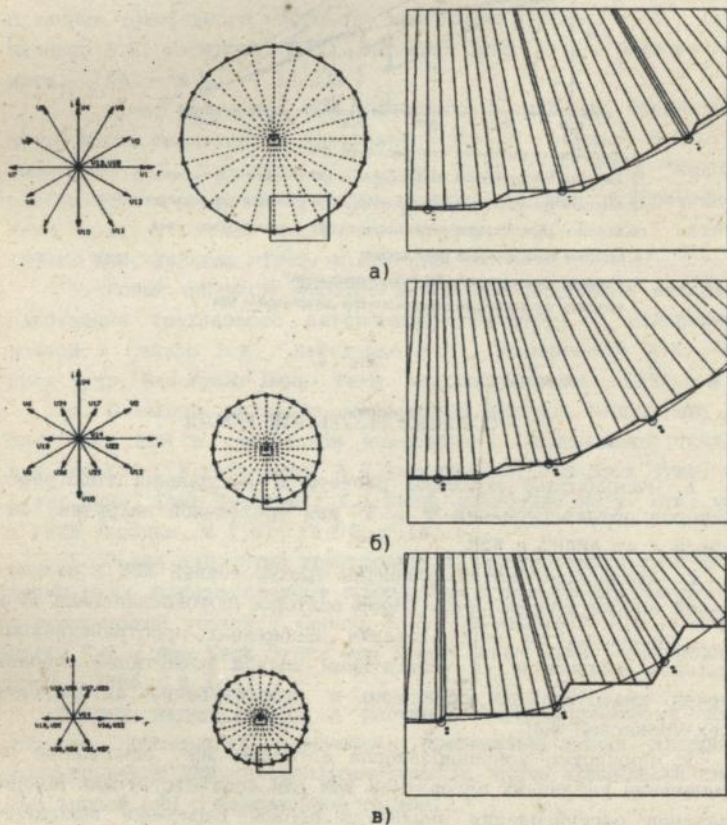
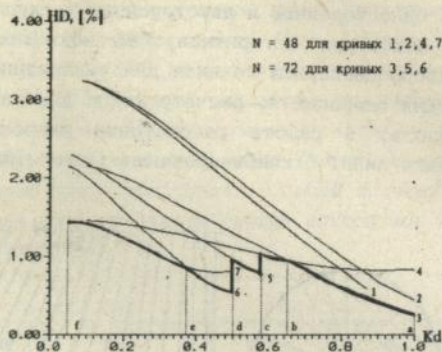


Рис. 3



1. Алгоритм трехуровневой синусоидальной ШИМ
2. Алгоритм трехуровневой синусоидальной ШИМ с третьей гармоникой
3. Алгоритм трехуровневой ШИМ с двусторонней симметричной аппроксимацией
4. Алгоритм двухуровневой синусоидальной ШИМ с третьей гармоникой
5. Алгоритм трехуровневой ШИМ "звезда"
6. Алгоритм трехуровневой ШИМ "полувестигранник"
7. Алгоритм трехуровневой синусоидальной двухполярной ШИМ

Рис. 4

#### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Разработана методика расчета и построения годографов векторов потокоцепления  $\vec{\Psi}$  и  $\vec{\Psi}^*$  для трехфазной нагрузки, питающейся от АИННТ с ШИМ.

2. Предложены новые алгоритмы трехуровневой ШИМ с симметричной аппроксимацией годографов векторов потокоцепления  $\vec{\Psi}$  и  $\vec{\Psi}^*$ , основанные на использовании обобщенных пространственных векторов напряжения, с уменьшенным числом коммутаций силовых ключей инвертора по сравнению с существующими алгоритмами трех-уровневой ШИМ.

3. Предложен комбинированный алгоритм ШИМ, основанный на применении различных алгоритмов ШИМ для соответствующих поддиапазонов регулирования амплитуды первой гармоники выходного напряжения АИННТ, обеспечивающий наилучшее качество последнего.

4. Предложены цифровые системы управления АИНТ, позволяющие регулировать параметры первой гармоники выходного напряжения с ШИМ в трех режимах: регулирование частоты первой гармоники выходного напряжения с ШИМ; регулирование амплитуды первой гармоники; регулирование частоты первой гармоники выходного напряжения с ШИМ с пропорциональным изменением ее амплитуды.

Всего по теме диссертации опубликовано 5 работ :

1. Алгоритмы широтно-импульсной модуляции выходного напряжения трехфазного мостового инвертора / Сенько В.И., Калиниченко А.П., Лебеденко С.А., Фан Куок Зунг- Техн. электродинамика.- 1993.- № 4.- С.20-23.

2. Новый алгоритм ШИМ выходного напряжения трехфазного автономного инвертора с нейтральной точкой / Сенько В.И., Калиниченко А.П., Лебеденко С.А., Фан Куок Зунг. Сб-к "Силовая электроника в решении проблемы ресурсо- и энергосбережения". Международная научно-техническая конференция, Алушта, октябрь 1993г. ХПИ -Харьков, 1993.-с.257-261.

3. Новый алгоритм широтно-импульсной модуляции выходного напряжения трехфазного автономного инвертора с нейтральной точкой / Сенько В.И., Лебеденко С.А., Калиниченко А.П., Фан Куок Зунг, Фам Куанг Винь- Техн. электродинамика.- 1994.- № 1.

4. О выборе нулевого обобщенного вектора напряжения для алгоритма ШИМ в трехфазном инверторе с нейтральной точкой/ В.И.Сенько, С.А.Лебеденко, А.П.Калиниченко, Фан Куок Зунг, Фам Куанг Винь, Сами Шаабане.- К.: Киев. политехи. ин-т. Рук. деп. в ГНТБ Украины, № 1362- Ук 94, с.14.

5. Новые алгоритмы трехуровневой широтно-импульсной модуляции и их комбинированное применение в трехфазных инверторах с нейтральной точкой / Сенько В.И., Калиниченко А.П., Лебеденко С.А., Фан Куок Зунг, Фам Куанг Винь- Техн. электродинамика.- 1994.- № 2.

Личный вклад автора в работах, опубликованных в соавторстве, состоит в следующем: предложены новые алгоритмы трехуровневой ШИМ, позволяющие снизить число коммутаций силовых ключей АИН с нейтральной точкой.

## АННОТАЦИЯ

Фан Куок Зунг. Многоуровневые системы широтно-импульсной модуляции для управления асинхронными двигателями.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.12 - Полупроводниковые преобразователи электроэнергии, Киевский политехн. ин-т., Киев, 1994.

Защищается 5 научных работ, которые содержат разработки и теоретические исследования автономного инвертора напряжения с нейтральной точкой, используемых в качестве источников питания асинхронного электропривода, обладающих улучшенными показателями эффективности. Установлено, что разработанные алгоритмы трехуровневой ШИМ позволяют снизить число коммутаций силовых транзисторов (тиристоров) и улучшить качество выходного напряжения инвертора с нейтральной точкой. Осуществлено внедрение результатов работы в учебный процесс кафедры ТОЭ КПИ и энергетики Вьетнама.

## ANNOTATION

Phan Quoc Zung. Multilevel Pulse-Width-Modulation Systems for AC Motor Control.

A dissertation submitted in candidacy for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 05.09.12 - Semiconductor Converters of Electrical Energy, Kiev Polytechnic Institute, Kiev, 1994.

There are submitted 5 scientific papers which contain the elaboration and theoretical research of neutral point clamped voltage source inverters - fed ac drives with improved performance indexes. It is established that worked out three-level PWM algorithms result in a reduced number of switching of power transistors (thyristors) and a better performance of neutral point clamped inverters. Results of the dissertation are used in teaching processes at the chair of Theoretical Bases of Electrical Engineering, Kiev Polytechnic Institute and in power engineering of Vietnam.

Ключові слова: широтно-імпульсна модуляція, автономний інвертор напруги з фіксованим нулем, апроксимація, алгоритм, годограф, спектр.

*Handwritten signature*

ЛНБ ім. В. Стефаника  
АН України

Подл. к печ. 16.09.84

Формат 60×84<sup>1/16</sup>

Бумага тип. № 3 . Способ печати офсетный. Услови. печ. л. 0.23

Услови. кр.-отт. 2.04 . Уч.-изд. л. 10

Тираж 100 . Зак. № 4-4515

Фирма «ВИПОЛ»  
252151, г. Киев, ул. Волинская, 60.





18 30.814  
**AB 30.814**