

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Невинномысский технологический институт (филиал)**

Методические указания для проведения практических занятий  
по дисциплине «Преобразовательная техника в электроприводе»

Направление подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника  
Профиль подготовки – Электропривод и автоматика  
Квалификация выпускника – бакалавр

Невинномысск 2019

## Содержание

Практическое занятие № 1. Управляемые выпрямители. Динамические свойства вентильного преобразователя (ВП).

Практическое занятие № 2. Системы импульсно - фазового управления (СИФУ) тиристорами.

Практическое занятие № 3. Реверсивные вентильные преобразователи (РВП) напряжения.

Практическое занятие № 4. Широтно-импульсные преобразователи (ШИП) постоянного тока.

Практическое занятие № 5-6. Преобразователи частоты для управления асинхронными двигателями. Принцип работы автономного инвертора.

Практическое занятие № 7. Инверторы напряжения и инверторы тока.

Практическое занятие № 8-9. Преобразователи частоты с непосредственной связью (ПЧН).

Вопросы для контроля

Список литературы

## Практическое занятие № 1. Управляемые выпрямители. Динамические свойства вентильного преобразователя (ВП).

Структурная и обобщенная схемы ВП. Основные характеристики ВП. Свойства собственно вентильного преобразователя. Схемы соединений преобразователей (мостовые, нулевые). Динамические свойства ВП.

### Методические указания

В обобщенном виде схема т-фазного вентильного преобразователя (ВП) представлена на рис.1

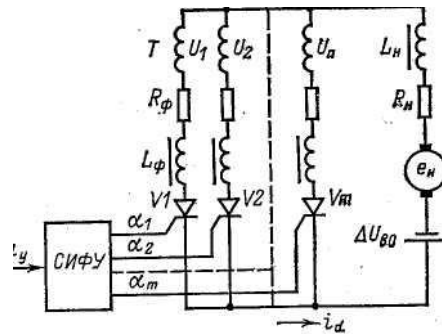
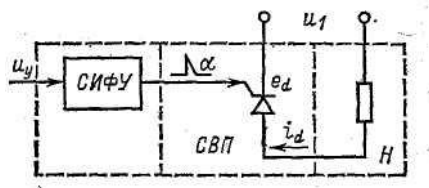


Рисунок 1- Обобщенная схема ВП

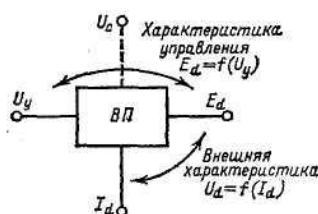
В общем случае цепь нагрузки состоит из ЭДС двигателя, индуктивности и активного сопротивления нагрузки, сглаживающего реактора, токонесущих проводов.

В упрощенном виде структурная схема вентильного преобразователя представлена на рис.2 тремя основными элементами: собственно вентильным преобразователем СВП, цепью нагрузки Н, системой импульсно – фазового управления СИФУ.



Основными характеристиками ВП являются (рис. 3.): характеристика управления  $E_d = f(U_y)$  и внешняя характеристика  $U_d = f(I_d)$ .

Рисунок 2- Структурная схема ВП



### Рисунок 3 –Функциональные связи в ВП

Свойства СВП определяются законом изменения выходной координаты  $E_d$  при отсутствии тока нагрузки  $I_d$  в зависимости от входной величины, которой является угол управления  $\alpha$ .

Динамические свойства СВП определяются рядом специфических особенностей: дискретностью подачи управляющих воздействий, интенсивность изменения которых определяется не только числом фаз преобразователя, но и темпом их изменения; неполной управляемостью вентилей (включение в момент подачи импульса, а выключение только при спаде тока до определенного значения).

Так как предельная наибольшая частота системы, в которую включен ВП, ограничена, то становится важной оценка динамических возможностей преобразователя как импульсного звена.

Неполная управляемость вентилей проявляется при скорости изменения управляющего сигнала больше критической, когда ЭДС СВП не определяется законом изменения угла управления, а представляет собой отрезок синусоиды ЭДС, соответствующей вентиллю, который был открыт последним.

#### **Вопросы для самоконтроля:**

- 1 Объясните назначение элементов обобщенной схемы ВП.
- 2 Какими характеристиками описывается ВП?
- 3 Что относится к динамическим свойствам СВП?
- 4 Начертите схему соединений преобразователей (мостовую) и поясните принцип работы.

### **Практическое занятие № 2. Системы импульсно - фазового управления (СИФУ) тиристорами**

Основные требования, предъявляемые к СИФУ. Вертикальный принцип построения СИФУ. Структурная и принципиальная схемы полупроводникового СИФУ. Характеристики СИФУ. Достоинства и недостатки СИФУ.

#### **Методические указания**

В выпрямителях в качестве управляемых ключей используются тиристоры. Для открывания тиристора необходимо выполнение двух условий:

- потенциал анода должен превышать потенциал катода;
- на управляющий электрод необходимо подать открывающий (управляющий) импульс.

Момент появления положительного напряжения между анодом и катодом тиристора называется моментом естественного открывания. Подача

открывающего импульса может быть задержана относительно момента естественного открывания на угол открывания. Вследствие этого задерживается начало прохождения тока через вступающий в работу тиристор и регулируется напряжение выпрямителя.

Для управления тиристорами выпрямителя используется система импульсно-фазового управления (СИФУ), выполняющая следующие функции:

- определение моментов времени, в которые должны открываться те или иные конкретные тиристоры; эти моменты времени задаются сигналом управления, который поступает с выхода САУ на вход СИФУ;
- формирование открывающих импульсов, передаваемых в нужные моменты времени на управляющие электроды тиристоров и имеющих требуемые амплитуду, мощность и длительность.

По способу получения сдвига открывающих импульсов относительно точки естественного открывания различают горизонтальный, вертикальный и интегрирующий принципы управления. При горизонтальном управлении управляющее переменное синусоидальное напряжение  $u_y$  сдвигается по фазе (по горизонтали) по отношению к напряжению  $u_1$ , питающему выпрямитель. В момент времени  $\omega t = \alpha$  из управляющего напряжения формируются прямоугольные отпирающие импульсы  $U_{GT}$ . Горизонтальное управление в электроприводах практически не применяется, что обусловлено ограниченным диапазоном регулирования угла  $\alpha$  (около  $120^\circ$ ).

При вертикальном управлении момент подачи открывающихся импульсов определяется при равенстве управляющего напряжения  $u_y$  (постоянного по форме) с переменным опорным напряжением  $u_{пил}$ , (по вертикали). В момент равенства напряжений формируются прямоугольные импульсы  $U_{GT}$ .

При интегрирующем управлении момент подачи открывающих импульсов определяется при равенстве переменного управляющего напряжения  $u_y$  с постоянным опорным напряжением  $U_{оп}$ . В момент равенства напряжений формируются прямоугольные импульсы  $U_{GT}$ .

#### **Вопросы для самоконтроля:**

1. Назовите принципы управления тиристорами.
2. Нарисуйте структурную схему вертикальной СИФУ.
3. Поясните принцип действия вертикальной СИФУ.

### **Практическое занятие № 3. Реверсивные вентильные преобразователи (РВП) напряжения**

Общие сведения. Схема встречно – параллельного включения преобразователя. Схема перекрестного включения преобразователя. Обобщенная перекрестная схема замещения  $m$ -фазного преобразователя. Методы управления вентильными комплектами реверсивного РВП.

### **Методические указания**

Максимальное быстродействие реверсивного электропривода достигается при использовании реверсивного выпрямителя, обеспечивающего возможность прохождения тока в якоре в обоих направлениях.

Реверсивный выпрямитель образуется соединением по соответствующей схеме двух нереверсивных, называемых комплектами тиристоров. Комплекты в большинстве применений включаются по перекрестным или встречно-параллельным схемам, питаются от общей сети (или трансформатора) и имеют общие элементы системы управления тиристорами (СУТ).

Для управления комплектами тиристоров применяют два принципа (совместное и раздельное управление), которые оказывают влияние на построение силовой схемы реверсивного выпрямителя. В мощных выпрямителях с совместным управлением используют преимущественно перекрестную схему, в выпрямителях средней и малой мощности с раздельным управлением — в основном встречно-параллельную схему включения комплектов.

### **Вопросы для самоконтроля:**

1. Приведите выражение характеристики управляемого выпрямителя для режима непрерывного тока.
2. Чем обусловлено возникновение режима прерывистого тока?
3. Нарисуйте внешние характеристики выпрямителя: для режима непрерывного тока; для режима прерывистого тока.
4. Назовите принципы управления комплектами вентилей реверсивного выпрямителя.
5. Каковы назначение и функции логического переключающего устройства?
6. Сопоставьте достоинства и недостатки совместного и раздельного управления.
7. Каковы особенности регулирования скорости вниз и вверх от номинальной?

## **Практическое занятие № 4. Широтно-импульсные преобразователи (ШИП) постоянного тока**

Общие сведения. Функциональная схема ШИП. Формирование широтно-модулированных сигналов посредством прямоугольных импульсов. Схема реверсивного ШИП. Блок-схема нереверсивного ШИП. Характеристики ШИП.

### **Методические указания**

Для электроприводов малой мощности (до десятка киловатт) широкое распространение получают полупроводниковые импульсные

преобразователи, питающиеся через выпрямитель от сети переменного тока и работающие с широтно-импульсным регулированием (ШИР), когда амплитуда и частота импульсов постоянны, а длительность их меняется. В настоящее время широко применяются широтно - импульсные преобразователи (ШИП). По сравнению с управляемыми ВП ШИП отличаются более высокими динамическими показателями при высоком диапазоне регулирования скорости—порядка  $D = (2000-6000) : 1$ , лучшее использование двигателей по току, меньшее влияние на питающую сеть.

Для системы с ШИП (рис.1) среднее напряжение на нагрузке  $U_{ср}$  определяется следующим образом:

$$U_{ср} = U_{п} \gamma,$$

где  $U_{п}$  – напряжение питания;  $\gamma = \tau / T_{к}$  –скважность импульсов;  $T_{к}$ – период коммутации;  $\tau$  – длительность рабочей части  $T_{к}$ .

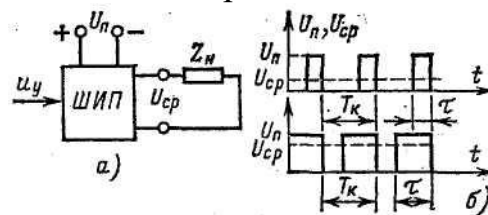


Рисунок 1 – Функциональная схема (а) и диаграммы напряжений (б) ШИП при разных  $\gamma$ .

На рис. 2 изображена блок-схема ШИП, который состоит из следующих основных элементов: усилителя постоянного тока УПТ (при невысоких требованиях к жесткости механических характеристик и  $D$  до  $200 : 1$  может быть исключен из схемы), широтно-импульсного модулятора ШИМ, усилителей импульсов УИ-1 — УИ-4 (в общем случае л), СВП в виде импульсного усилителя мощности ИУМ (с рабочими и коммутирующими вентилями) и устройства токоограничения УТО.

ШИМ формирует необходимые по длительности импульсы в зависимости от уровня сигнала управления  $u_{у}$ .

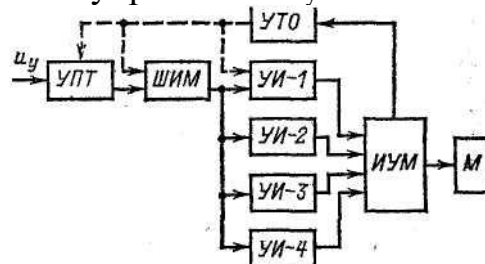


Рисунок 2 – Схема ШИП

### Вопросы для самоконтроля:

- 1 Назначение ШИП.
- 2 Перечислите основные элементы ШИП.
- 3 какие способы получения модулированных импульсов знаете?
- 4 Начертите функциональную схему и поясните диаграммы напряжений ШИП.

## **Практическое занятие № 5. Преобразователи частоты для управления асинхронными двигателями. Принцип работы автономного инвертора**

Общие сведения. Электромеханический преобразователь частоты. Функциональная схема преобразователя частоты с промежуточным звеном постоянного тока. Схема мостового инвертора и диаграммы выходных напряжений при различных углах проводимости тиристоров.

Студент должен:

### **Методические указания**

В частотно-управляемом асинхронном ЭП применяются различные инверторы, отличающиеся видами коммутации тиристоров, схемами их соединения, способами регулирования напряжения на АД и др.

В зависимости от способа коммутации тока тиристоров инверторы делятся на ведомые сети и автономные. В инверторах, ведомых сетью (их еще называют зависимыми инверторами), коммутация тока с тиристора на тиристор обеспечивается напряжением источника питания.

В автономных (независимых) инверторах для коммутации тока используются дополнительные элементы - тиристоры, диоды, конденсаторы и катушки индуктивности (дрессели).

Автономные инверторы делятся на инверторы напряжения и тока.

Регулирование выходного напряжения ПЧ может осуществляться несколькими способами. В ПЧ с непосредственной связью оно осуществляется так же, как и в управляемых выпрямителях. Такое управление получило название фазового.

В ПЧ со звеном постоянного тока регулирование напряжения на нагрузке (статоре АД) производится двумя способами - или с помощью специального регулятора напряжения, или самим инвертором.

Первый способ, в свою очередь, может быть реализован двумя путями - за счет использования управляемого выпрямителя (фазовое управление) или неуправляемого выпрямителя и размещаемого между ним и инвертором широтно-импульсного преобразователя (ШИП) (амплитудное регулирование напряжения). К достоинствам этого способа следует отнести широкий диапазон регулирования напряжения и возможность использования для любого типа инвертора.

Второй способ связан с совмещением функций регулирования частоты и напряжения в самом инверторе. Оно реализуется с помощью соответствующих алгоритмов управления тиристорами и предусматривает использование широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

Частотное управление является весьма экономичным, так как обеспечивает регулирование скорости АД без больших потерь мощности в



роторной цепи, ухудшающих КПД ЭП и приводящих к необходимости превышения мощности АД.

Частотное регулирование скорости может осуществляться плавно, в широком диапазоне, в обе стороны от естественной характеристики, т. е. АД может иметь скорость как больше, так и меньше номинальной. При этом регулировочные характеристики имеют высокую жесткость, а АД сохраняет большую перегрузочную способность.

Реализуемый диапазон регулирования скорости в разомкнутых системах составляет 5... 10, а в замкнутых системах (при использовании обратных связей) его значение может достигать 1000 и более.

### **Вопросы для самоконтроля:**

1 На какие группы подразделяются тиристорные преобразователи частоты?

2 Перечислите достоинства преобразователей с промежуточным звеном постоянного тока.

3 Поясните функциональную схему преобразователя частоты с промежуточным звеном постоянного тока.

4 Принцип действия мостового инвертора.

## **Практическое занятие № 6. Инверторы напряжения и инверторы тока**

Общие сведения. Условные схемы однофазных инверторов напряжения и тока. Диаграммы однофазных инверторов напряжения и тока. Внешние характеристики идеализированных инверторов напряжения и тока. Способы принудительной коммутации тиристоров в автономных инверторах. Схемы автономных инверторов. Методы регулирования напряжения на выходе преобразователя частоты.

### **Методические указания**

При активно-индуктивной нагрузке электромагнитные процессы в инверторе имеют более сложный характер. Для их анализа оказывается полезным разделение всех автономных инверторов на автономные инверторы напряжения (АИН) и автономные инверторы тока (АИТ). Пояснить эти понятия можно на примере однофазных мостовых схем (рис.1, а, б), имеющих активно-индуктивную нагрузку.

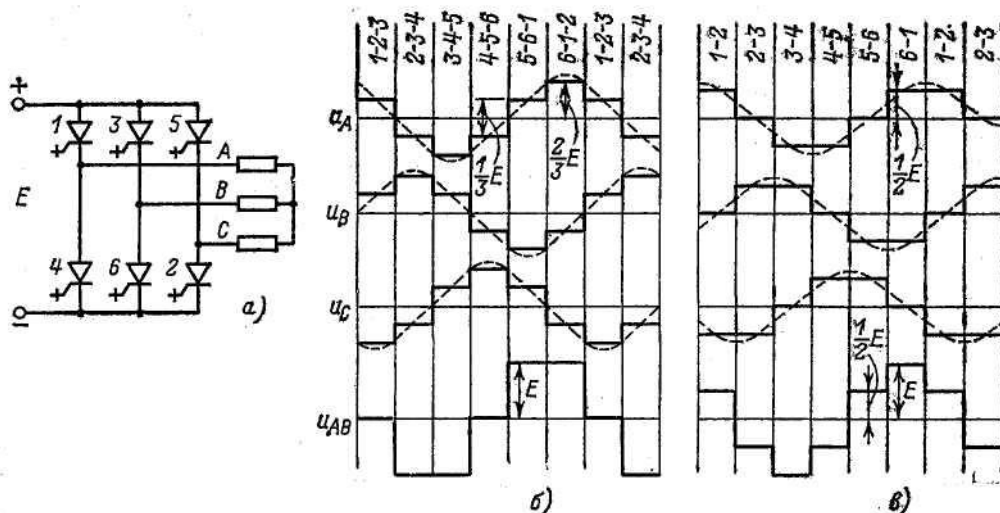


Рисунок 1 – Условная схема мостового инвертора (а) и диаграммы выходных напряжений при углах проводимости тиристоров 180градусов (б) и 120градусов (в).

Инвертор напряжения должен быть выполнен на полностью управляемых вентилях VI — V4, способных включаться и выключаться в заданный момент времени при подаче на них управляющего сигнала. Попарное периодическое включение и отключение вентилях VI, V3 и V2, V4 приводит к тому, что напряжение на нагрузке  $u_n$  имеет прямоугольную форму с амплитудой, равной напряжению источника питания. Кривая тока в нагрузке будет состоять из отрезков экспоненты (рис. 2, в). Пусть произошла коммутация в схеме таким образом, что вентили VI и V3 выключились, а вентили V2 и V4 открылись. Ток в нагрузке индуктивного характера имеет направление, встречное по отношению к направлению проводимости включенных вентилях. Для обеспечения цепи протекания этого тока в схемы введены диоды VD1—VD4, включенные встречно-параллельно тиристорам VI — V4. Диоды оказываются открытыми, когда ток и напряжение нагрузки имеют противоположные знаки. При этом ток, потребляемый от источника  $i_d$ , меняет свое направление и протекает навстречу напряжению E. Если источник имеет одностороннюю проводимость (выпрямитель), его необходимо шунтировать конденсатором, который будет заряжаться, когда ток протекает от инвертора к источнику, и разряжаться, когда ток потребляется от источника. Этот конденсатор должен иметь достаточную емкость для того, чтобы пульсации напряжения источника питания были незначительны.

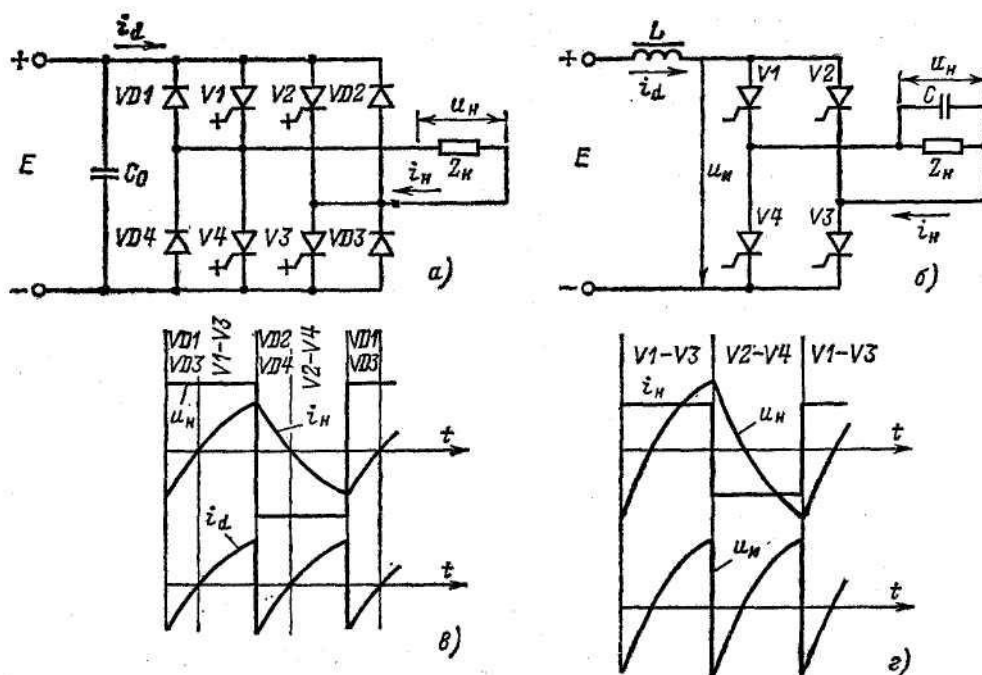


Рисунок 2 – Условные схемы однофазных инверторов напряжения (а) и тока (б) и их рабочие диаграммы (в и г) соответственно.

Инвертор тока (рис. 2, б) может быть выполнен на приборах с неполной управляемостью. В этом случае параллельно нагрузке необходимо включить конденсатор, который будет обеспечивать выключение пары тиристоров при включении другой пары и поддерживать на выключаемых тиристорах отрицательное напряжение в течение времени, необходимого для восстановления ими управляющих свойств. В соответствии со способом подключения коммутирующего конденсатора такой инвертор называют параллельным. На вход АИТ подключается достаточно большая индуктивность с тем, чтобы пульсации тока, потребляемого от источника, были невелики. При этом ток в нагрузке, если конденсатор также считать элементом нагрузки, имеет прямоугольную форму. Напряжение: на нагрузке и его форма определяются нагрузкой и ее характером. Напряжение: на входе инвертора  $u_H$  имеет форму, показанную на рис. 2, г. Те интервалы времени, когда напряжение  $u_H$  отрицательно, соответствуют времени закрытого состояния тиристоров.

Таким образом, основная особенность АИН заключается в том, что напряжение на нагрузке не зависит от нее, а определяется лишь очередностью коммутации управляемых вентилях в инверторе. Это достигается введением в схему обратных диодов, предназначенных для пропуска индуктивного тока нагрузки, и включением параллельно источнику конденсатора  $C_0$ , на который этот ток замыкается.

В АИТ, наоборот, очередность коммутации тиристоров определяет форму тока, а форма напряжения зависит от нагрузки. Это обусловлено включением на вход инвертора реактора с достаточно большой индуктивностью.

**Вопросы для самоконтроля:**

- 1 Поясните понятие АИН.
- 2 Поясните понятие АИТ.
- 3 Назначение конденсатора в условных схемах АИН и АИТ.
- 4 В каких инверторах форма напряжения зависит от нагрузки.
- 5 Особенности АИН и АИТ.

**Практическое занятие № 7. Преобразователи частоты с непосредственной связью (ПЧН)**

Принцип работы ПЧН. Трехфазная и трехфазная мостовая схемы ПЧН. Принципы управления ПЧН. Принципы построения систем управления ПЧН. Достоинства и недостатки ПЧН. Типы промышленных преобразователей частоты. Выбор трансформатора для тиристорного электропривода. Выбор сглаживающего дросселя.

**Методические указания**

В настоящее время большое распространение получили статические ПЧ, названные так потому, что в них используются не имеющие движущихся частей элементы и устройства, такие как полупроводниковые приборы, реакторы, конденсаторы и др. Развитие статических ПЧ особенно ускорило в связи с массовым производством тиристоров и силовых транзисторов. Использование статических ПЧ позволило повысить технико-экономические показатели регулируемого частотного ЭП: увеличить его КПД и быстродействие, устранить шум и упростить обслуживание. Статические ПЧ могут быть без звена постоянного тока с непосредственной связью питающей сети и нагрузки и с промежуточным звеном постоянного тока.

ПЧ без звена постоянного тока с непосредственной связью питающей сети и нагрузки может обеспечивать регулирование частоты на статоре АД только в сторону ее уменьшения по сравнению с сетевой.

Важной особенностью ПЧ со звеном постоянного тока является возможность обеспечения с их помощью плавного регулирования частоты напряжения на статоре АД как ниже, так и выше сетевой, в силу чего такие ПЧ получили наибольшее распространение.

**Вопросы для самоконтроля:**

- 1 Поясните принцип работы ПЧН.
- 2 Перечислите принципы управления ПЧН.
- 3 Преимущество согласованного управления.
- 4 В чем заключается отличительная особенность отдельного управления вентилями с контролем тока нагрузки?
- 5 Принципы построения систем управления ПЧН.
- 6 Достоинства ПЧН.

## Вопросы для контроля

- 1 Управляемые выпрямители. Динамические свойства вентильного преобразователя.
  - 2 Системы импульсно - фазового управления тиристорами
  - 3 Реверсивные вентильные преобразователи напряжения
  - 4 Широтно-импульсные преобразователи постоянного тока
  - 5 Преобразователи частоты для управления асинхронными двигателями.
- Принцип работы автономного инвертора
- 6 Инверторы напряжения и инверторы тока
  - 7 Преобразователи частоты с непосредственной связью
  - 8 Выбор трансформатора для тиристорного привода
  - 9 Выбор сглаживающего дросселя

## Список литературы

)

### Перечень основной литературы:

- 1 Белоус, А. И. Полупроводниковая силовая электроника / А.И. Белоус, С.А. Ефименко, А.С. Турцевич. - Москва : Техносфера, 2013. - 228 с. : ил., схем., табл. - (Мир электроники). - <http://biblioclub.ru/>. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-94836-367-7

### Перечень дополнительной литературы:

- 1 Автоматизированный электропривод, силовые полупроводниковые приборы, преобразовательная техника : Актуальные проблемы и задачи / под общ. ред. Н. Ф. Ильинского, И. А. Тельмана, М. Г. Юнькова. - М. : Энергоатомиздат, 1983. - 472 с. - Библиогр.: в тексте