

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Факультет «Электроника и автоматика»  
Кафедра «Электроника и микроэлектроника»

МАТЕРИАЛЫ ЛЕКЦИЙ

по предмету «Электронные промышленные устройства»

Сфера знаний:	500 000	–	Инженерные, обрабатывающие и строительные отрасли
Сфера образования:	520 000	–	Инженерия и инженерное дело
Направление обра- зования:	5521700	–	Электроника и микроэлектроника

Составитель: Мочалов А.И.

Ташкент-2014

## Содержание

<b>Лекция 1. Классификация электронных промышленных устройств. Задачи курса «Электронные промышленные устройства» .....</b>	<b>4</b>
<b>Лекция 2. Системы автоматического регулирования (САР) на базе микропроцессорных систем (МП) .....</b>	<b>9</b>
<b>Лекция 3. Информация. Датчики – источники информации. Основные виды датчиков, принципы их действия, основные требования к современным датчикам .....</b>	<b>11</b>
<b>Лекция 4. Виды электрических сигналов и их параметры. Спектры сигналов. Преимущества передачи информации в виде импульсных сигналов .....</b>	<b>14</b>
<b>Лекция 5. Модуляция сигналов. Виды модуляции импульсных сигналов. Дискретизация и квантование. Кодирование информации. Основные виды кодов .....</b>	<b>19</b>
<b>Лекция 6. Общие характеристики, параметры и обозначения цифровых интегральных микросхем .....</b>	<b>25</b>
<b>Лекция 7. Принципы построения ЦАП .....</b>	<b>29</b>
<b>Лекция 8. Цифровые измерительные приборы. Цифровой вольтметр с время-импульсным преобразованием для измерения напряжения сигнала .....</b>	<b>31</b>
<b>Лекция 9. Применение импульсных устройств в схемах управления промышленной автоматики (автоматизация измерения и контроля уровня) и в счетных схемах (реле времени со счетчиком импульсов)</b>	<b>33</b>
<b>Лекция 10. Устройства защиты и противоаварийной автоматики сети переменного тока и электрифицированного транспорта .....</b>	<b>37</b>
<b>Лекция 11. Структурная схема и принцип работы радиопередающих и радиоприёмных устройств .....</b>	<b>39</b>
<b>Лекция 12 Структурные схемы и принцип работы телевизионных передающих и приемных устройств. Использование телевизионных устройств в промышленности .....</b>	<b>43</b>
<b>Лекция 13. Вентильные преобразовательные устройства: выпрямители, инверторы и регуляторы напряжения. Преобразовательное устройство как автоматический регулятор в автоматических системах .....</b>	<b>47</b>
<b>Лекция 14. Системы управления вентильными преобразователями и требования к ним. Схема одного канала системы управления на ИМС при вертикальном способе управления .....</b>	<b>50</b>
<b>Лекция 15. Автоматизированный электропривод постоянного тока. Регулирование скорости вращения ДПТ (разгон, работа на номинальной скорости и торможение) .....</b>	<b>56</b>
<b>Лекция 16. Структурная схема электропривода постоянного тока для регулирования и стабилизации скорости ДПТ .....</b>	<b>61</b>

<b>Лекция 17. Автоматизированный электропривод переменного тока. Способы регулирования величины напряжения и частоты на выходе вентильного преобразователя частоты .....</b>	<b>63</b>
<b>Список литературы .....</b>	<b>67</b>

## Лекция 1

### Классификация электронных промышленных устройств. Задачи курса «Электронные промышленные устройства».

#### План

1. Общие понятия об электронике и промышленной электронике. Области применения промышленной электроники. Её связь с электротехникой и энергетикой.
2. Понятие об электронных промышленных устройствах и их применении. Импульсные методы обработки информации.
3. Роль электронных промышленных устройств в системах автоматического регулирования объектов и процессов.

#### Ключевые слова

Электроника, информационная электроника, промышленная электроника, преобразователи электрической энергии, электронные промышленные устройства, автоматическое регулирование, система автоматического регулирования, автоматизированный электропривод.

**Электроника охватывает обширный раздел науки и техники, связанный с изучением и использованием различных физических явлений, а также разработкой и применением приборов и устройств, основанных на протекании электрического тока в вакууме, газе и твердом теле.** Такими приборами являются *полупроводниковые* (протекание тока в твердом теле), *электронные* (протекание тока в вакууме) и *ионные* (протекание тока в газе) приборы. Главное место среди них в настоящее время занимают полупроводниковые приборы. Общим свойством всех названных приборов является то, что они являются существенно *нелинейными элементами*, нелинейность их вольт-амперных характеристик, как правило, является признаком, определяющим важнейшие их свойства.

**Промышленная электроника — это часть электроники, занимающаяся применением полупроводниковых, электронных и ионных приборов в промышленности.** Несмотря на различие областей применения и многообразие режимов работы промышленных электронных устройств, они строятся на основе общих принципов и состоят из ограниченного числа функциональных узлов. Общие принципы построения этих функциональных узлов — электронных схем — и рассматривает промышленная электроника.

В свою очередь, в промышленную электронику, обеспечивающую разнообразные виды техники электронными устройствами измерения, контроля, управления и защиты, а также электронными системами преобразования электрической энергии, входят:

1) *информационная электроника*, к которой относятся электронные системы и устройства, связанные с измерением, контролем и управлением промышленными объектами и технологическими процессами, а также с передачей, обработкой и отображением информации. Усилители сигналов, генераторы напряжений различной формы, логические схемы, счетчики, индикаторные устройства и дисплеи вычислительных машин — все это устройства информационной электроники. Характерными чертами современной информационной электроники являются сложность и многообразие решаемых задач, высокое быстродействие и надежность. Информационная электроника в настоящее время неразрывно связана с применением интегральных микросхем, развитие и совершенствование которых в главной мере определяет уровень развития этой отрасли электронной техники;

2) *энергетическая электроника (преобразовательная техника)*, связанная с преобразованием вида электрического тока для целей электропривода, электрической тяги, электротермии, электротехнологии, электроэнергетики и т. д. Почти половина производимой электроэнергии потребляется в виде постоянного тока или тока нестандартной частоты. Большая часть преобразований электрической энергии в настоящее время выполняется полупроводниковыми преобразователями. Основными видами преобразователей являются выпрямители (преобразование переменного тока в постоянный), инверторы (преобразование постоянного тока в переменный), преобразователи частоты, регулируемые преобразователи постоянного и переменного напряжений.

Развитие электроэнергетики и электротехники тесно связано с электроникой. Сложность процессов в энергосистемах, высокая скорость их протекания потребовали широкого внедрения для расчета режимов и управления процессами электронных вычислительных машин (ЭВМ), связанных с системой сложными электронными устройствами и снабженных развитыми устройствами для отображения информации. Основные процессы производства автоматизируются на основе современных устройств информационной электроники, в которых в последние годы широко применяются интегральные микросхемы и микропроцессоры. Не менее тесно связана с энергетикой и электромеханикой энергетическая электроника. Полупроводниковые преобразователи электрической энергии являются одними из основных нагрузочных элементов сетей, их работа во многом определяет режимы работы сетей. Вентильные преобразователи используются для питания электроприводов и электротехнологических установок, для возбуждения синхронных электрических машин и в схемах частотного пуска гидрогенераторов. На основе полупроводниковых вентильных преобразователей созданы линии электропередач постоянного тока большой мощности и вставки постоянного тока.

Таким образом, электронные устройства являются важными и весьма сложными компонентами энергетических и электромеханических установок и систем, и для их создания необходимо привлекать специалистов в области промышленной электроники, автоматики и вычислительной техники. Однако инженеры, специализирующиеся в области электроэнергетики и электротехники,

не могут уклониться от решения вопросов, связанных с электроникой. Во-первых, они должны уметь четко сформулировать задачу для разработчика электронных схем и представлять те трудности, с которыми может столкнуться разработчик. Не полно заданные требования могут привести к созданию неработоспособного устройства, а неоправданное завышение требований — к повышению стоимости и снижению надежности электронного оборудования. Для того чтобы говорить с разработчиком электронной аппаратуры на одном языке, надо отчетливо представлять себе, что может выполнить электроника и какой ценой и какими способами это достигается. Последнее необходимо также для квалифицированного выбора оборудования, выпускаемого промышленностью. Во-вторых, возникает необходимость грамотной эксплуатации электронных устройств. В-третьих, инженеры-электрики принимают активное участие в работах по монтажу и наладке оборудования, в том числе электроники. В-четвертых, проектирование ряда энергетических установок, в том числе линий передач постоянного тока, требует совместной работы специалистов по энергетике и преобразовательной технике.

Все это требует больших знаний в области промышленной электроники. Основу этих знаний закладывает изучение курса «Электронные промышленные устройства». В нем изложены сведения о современных функциональных узлах схемах информационной и энергетической электроники. Курс поможет принятию грамотных решений в инженерной практике. Для сохранения и постоянного повышения своей инженерной квалификации инженер должен регулярно следить за научной литературой. Особенно это касается такой бурно изменяющейся области, как промышленная электроника. Инженер должен сознавать ограниченность своих знаний и не пытаться принимать решений в той области, где его компетенция ограничена. Поэтому одной из задач курса является подготовка к чтению специальной литературы в области схемотехнической электроники.

Многие важнейшие проблемы науки и техники возникают на стыках наук. Электроника, электротехника и энергетика ныне соприкасаются очень близко, требуют совместной работы ученых и инженеров, больших знаний в смежных областях.

Электронная техника непрерывно развивается, каждую задачу можно решить на основе различных схемных вариантов: можно построить схему на дискретных компонентах, можно выполнить ее на интегральных микросхемах, применить микропроцессорный комплект, провести обработку информации в цифровом или аналоговом виде. Какое решение выбрать? В конечном счете, все решает экономический анализ, и принятие неверного решения (скажем, отказ от использования микросхем) может не помешать решению локальной технической задачи, но в итоге окажется убыточным для народного хозяйства: увеличится стоимость оборудования, или возрастет стоимость его эксплуатации, или уменьшится срок службы. Почти каждый инженер на своем месте воздействует на техническую политику в своей области и при разработке и отстаивании технических решений должен выступать не только как специалист, но и как гражданин.

**Функционально и конструктивно законченные средства получения, обработки, использования информации для управления объектами и процессами, отображения состояния объекта и связи его с другими управляющими средствами, а также преобразователи электрической энергии называют электронными промышленными устройствами.**

Промышленная электроника постоянно развивается. Это определяется в первую очередь непрерывным совершенствованием ее элементной базы. Элементная база промышленной электроники прошла несколько этапов развития.

Начало развития промышленной электроники было положено созданием электровакуумных и газоразрядных приборов. Низкая надежность, сложность эксплуатации, большая потребляемая мощность, громоздкость реализации явились в последующем тормозящими факторами расширения областей применений электроники. Электровакуумные приборы в настоящее время находят ограниченное применение в промышленной электронике, а газоразрядные приборы используются преимущественно в виде элементов индикации.

Дальнейшему развитию информационной электроники способствовало создание в 1948 г. транзистора, а энергетической электроники — разработка и последующее совершенствование силовых полупроводниковых приборов (диодов, тиристоров и транзисторов).

Применение транзисторов позволило на определенном этапе значительно повысить надежность, уменьшить потребление мощности, габариты, а также затраты на производство и эксплуатацию электронной аппаратуры. Однако общая тенденция улучшения указанных показателей в условиях возрастающей сложности электронной аппаратуры, связанной с усложнением возлагаемых на нее задач, вызвала необходимость перехода от аппаратуры на дискретных компонентах к ее интегральному исполнению. Начиная с 70-х годов прошлого столетия все большая часть электронной аппаратуры стала производиться на интегральных микросхемах. Современный этап развития информационной электроники характеризуется широким использованием компонентов микроэлектроники, включая большие и сверхбольшие интегральные схемы, микропроцессоры и микроконтроллеры.

В информационной электронике импульсный принцип построения систем, по сравнению с аналоговым, занимает доминирующее положение. На базе импульсной техники выполняются системы управления и регулирования, устройства измерения и отображения информации. На ней основана цифровая вычислительная техника.

В отличие от аналоговых систем, в которых сигналы изменяются непрерывно во времени (например, напряжение изменяется пропорционально регулируемой температуре), в импульсных системах используются сигналы (напряжение, ток) импульсной формы.

Преобладающее применение импульсных систем обусловлено существенно меньшим потреблением тока (большим к. п. д.), высокой точностью, меньшей критичностью к изменению температуры, большей помехоустойчивостью. Немаловажную роль играют также относительная простота средств представ-

ления информации в импульсной форме и наличие эффективных способов ее обработки (преобразования).

Развитие энергетической электроники стимулируется всевозрастающим требованием повышения удельного веса электроэнергии, потребляемой на постоянном токе и на переменном токе нестандартной частоты, а также непрерывным совершенствованием элементной базы (увеличением единичной мощности силовых полупроводниковых приборов, улучшением их динамических показателей, появлением приборов новых типов). Все это позволяет создавать более эффективные условия генерирования, передачи и распределения электроэнергии, повышать электровооруженность труда, а также использовать более производительную технологию в различных отраслях промышленности.

Устройства энергетической электроники находят широкое применение в электроприводе. Рассмотрим систему регулируемого электропривода, в которой требуемое движение рабочего органа достигается благодаря регулированию соответствующих выходных величин – скорости вращения, момента и угла поворота вала двигателя.

Регулируемый электропривод обычно строится по системе «управляемый преобразователь – двигатель», в которой для обеспечения заданного качества регулирования используют различные обратные связи. Структурная схема регулируемой замкнутой (с обратной связью) системы электропривода показана на рис. 1.1.

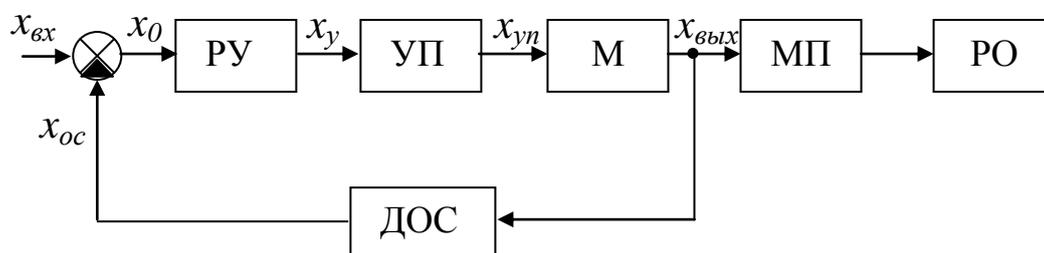


Рис. 1.1. Структурная схема регулируемого электропривода

Двигатель  $M$ , приводящий в движение рабочий орган  $PO$  производственного предприятия, получает питание от управляемого преобразователя  $УП$ , выходная величина  $x_{уп}$  которого (обычно напряжение или частота) может изменяться в широких пределах.

Для регулирования какой-либо выходной величины (координаты)  $x_{вых}$  электропривода по требуемому закону вводится обратная связь, осуществляющая соединение выхода системы с её входом. Обычно такая связь реализуется с помощью датчика обратной связи  $ДОС$ , выходной сигнал которого  $x_{ос}$  подаётся на вход регулирующего устройства (схемы управления) электропривода  $РУ$  вместе с входным задающим сигналом  $x_{вх}$  системы. В  $РУ$  сопоставляются заданное  $x_{вх}$  и текущее  $x_{ос}$  значения регулируемой величины  $x_{вых}$  и вырабатыва-

ется необходимый закон изменения сигнала  $x_y$ . Этот сигнал поступает на вход  $УП$ , с помощью которого и осуществляется управление двигателем  $M$  с целью регулирования координаты  $x_{вых}$ . На практике может регулироваться не одна, а несколько координат электропривода, в этом случае используется несколько обратных связей.

Электронные промышленные устройства – дисциплина, завершающая общую схемотехническую подготовку бакалавров специальности.

**Целью преподавания** является подготовка бакалавров, способных проектировать узлы электронных устройств обработки информации с заданными функциональными и технико-экономическими показателями на современной элементной базе (цифровые и линейные интегральные микросхемы малой, средней, большой степени интеграции, микропроцессоры).

**Задачей преподавания** дисциплины является формирование навыков подхода бакалавров к построению и проектированию устройств информационной и энергетической электроники.

Изучение курса основывается на знании следующих дисциплин:

«Электронные цепи и микросхемотехника», «Микропроцессорные системы», «Цифровая схемотехника», «Выпрямители и стабилизаторы», «Регуляторы напряжения и инверторы».

### **Контрольные вопросы**

1. Что называется электроникой?
2. Что называется промышленной электроникой?
3. Какие задачи решаются средствами промышленной электроники?
4. Какие составные части входят в промышленную электронику?
5. Назовите характерные функциональные узлы и области применения информационной электроники.
6. Назовите характерные устройства и области применения энергетической электроники.
7. Что входит в понятие элементной базы промышленной электроники?
8. Что называют электронными промышленными устройствами?
9. Какую роль играют электронные промышленные устройства в системах автоматического регулирования объектов и процессов?

### **Лекция 2.**

#### **Системы автоматического регулирования (САР) на базе микропроцессорных систем (МП).**

#### **План**

1. Понятие об управлении и контроле состояния объекта регулирования.
2. Микропроцессорная система управления и контроля.

### Ключевые слова

Система автоматического регулирования. Управление и контроль. Микропроцессор. Цифровой код. Микропроцессорная система. Микроконтроллер.

Основные процессы производства автоматизируются на основе современных устройств информационной электроники, в которых в последние годы широко применяются интегральные микросхемы и микропроцессоры.

Ниже рассматривается обобщенная структурная схема электронного устройства управления и контроля состояния объекта с применением микроконтроллера, которая представлена на рисунке 2.3.

Контролируемые параметры объекта (температура, давление, влажность и т.д.) преобразуются датчиками в аналоговые электрические сигналы. При необходимости эти сигналы усиливаются, а затем преобразуются с помощью УВХ и АЦП в цифровой код. Цифровой код поступает на микроконтроллер, где осуществляется основная обработка информации в реальном масштабе времени и формируется цифровой сигнал управляющего воздействия. Полученный сигнал преобразуется с помощью ЦАП в аналоговую форму и приводит в действие исполнительный механизм (ИМ), который в свою очередь воздействует непосредственно на объект.

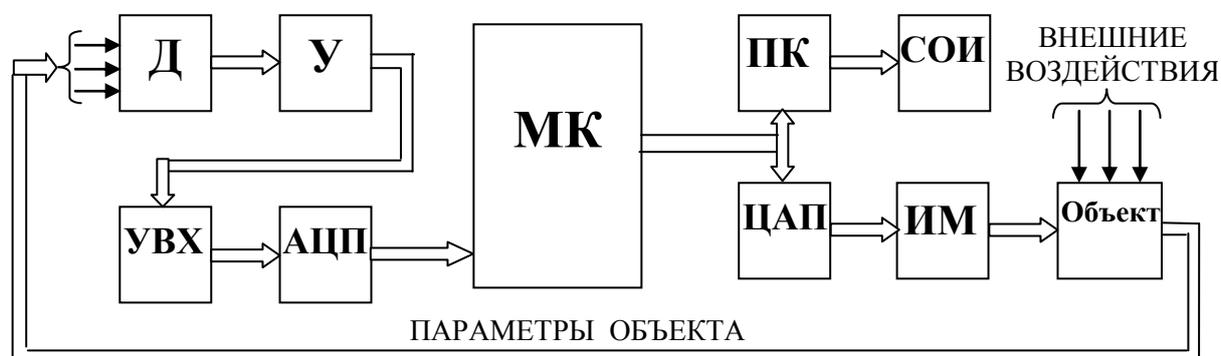


Рис. 2.3. Структурная схема электронного устройства управления и контроля состояния объекта

- Д – датчик;
- У – усилитель;
- УВХ – устройство выборки-хранения;
- АЦП – аналого-цифровой преобразователь;
- МК – микроконтроллер;
- ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь;
- ПК – преобразователь кодов;
- СОИ – средства отображения информации;
- ИМ – исполнительный механизм.

Помимо этого, цифровой код, сформированный микроконтроллером, преобразуется с помощью преобразователя кода и поступает на средство отображения, где выдается информация о текущем состоянии объекта в форме, удобной для восприятия оператором.

### Контрольные вопросы

1. Какие функциональные узлы входят в электронное устройство управления и контроля?
2. Принцип действия электронного устройства управления контролем.
3. Для чего предназначены датчики?
4. Для чего предназначены усилители?
5. Для чего предназначены устройства выборки-хранения и аналого-цифровые преобразователи?
6. Для чего предназначены устройства выборки-хранения и цифро-аналоговые преобразователи?
7. Для чего предназначены микроконтроллеры?
8. Для чего предназначены преобразователи кодов и средства отображения информации?

### Лекция 3.

**Информация. Датчики – источники информации. Основные виды датчиков, принципы их действия, основные требования к современным датчикам.**

#### План

1. Основные сведения об информации.
2. Понятие о датчиках. Классификация датчиков. Требования, предъявляемые к датчикам.

#### Ключевые слова

Информация. Свойства информации. Носители информации. Датчики.

**Информация** – это знания или сведения о ком-либо или о чем-либо.

**Информация** – это сведения, которые можно собирать, хранить, передавать, обрабатывать, использовать. Термин информация происходит от латинского слова *informatio*, что означает сведения, разъяснения, изложение.

**В технике под информацией понимают сообщения, передаваемые в форме знаков или сигналов (в этом случае есть источник сообщений, получатель (приемник) сообщений, канал связи). В промышленной электронике информация передается с помощью электрических сигналов в форме напряжения или тока. В электронных промышленных устройствах для обработки информации широко применяются импульсные и цифровые методы.**

**Информация** – это отражение внешнего мира с помощью знаков или сигналов. Информационная ценность сообщения заключается в новых сведениях, которые в нем содержатся (в уменьшении незнания).

**Свойства информации:**

1. полнота — свойство информации исчерпывающе (для данного потребителя) характеризовать отображаемый объект или процесс;
2. актуальность— способность информации соответствовать нуждам потребителя в нужный момент времени;
3. достоверность — свойство информации не иметь скрытых ошибок. Достоверная информация со временем может стать недостоверной, если устареет и перестанет отражать истинное положение дел;
4. доступность — свойство информации, характеризующее возможность ее получения данным потребителем;
5. релевантность — способность информации соответствовать нуждам (запросам) потребителя;
6. защищенность — свойство, характеризующее невозможность несанкционированного использования или изменения информации;
7. эргономичность — свойство, характеризующее удобство формы или объема информации с точки зрения данного потребителя.

Информацию следует считать особым видом ресурса, при этом имеется в виду толкование "ресурса" как запаса неких знаний материальных предметов или энергетических, структурных или каких-либо других характеристик предмета. В отличие от ресурсов, связанных с материальными предметами, информационные ресурсы являются неистощимыми и предполагают существенно иные методы воспроизведения и обновления, чем материальные ресурсы. С этой точки зрения можно рассмотреть такие свойства информации: запоминаемость; передаваемость; воспроизводимость; преобразуемость; стираемость. Информация всегда связана с **материальным носителем**. **Носителем информации** может быть: любой материальный предмет (бумага, камень и т.д.); волны различной природы: акустическая (звук), электромагнитная (свет, радиоволна) и т.д.; вещество в различном состоянии: концентрация молекул в жидком растворе, температура и т.д.

**Классификация датчиков, основные требования к ним**

Автоматизация различных технологических процессов, эффективное управление различными агрегатами, машинами, механизмами требуют многочисленных измерений разнообразных физических величин.

**Датчики** (в литературе часто называемые также измерительными преобразователями), или по-другому, **сенсоры** являются элементами многих систем автоматизации - с их помощью получают информацию о параметрах контролируемой системы или устройства.

**Датчик** – это элемент измерительного, сигнального, регулирующего или управляющего устройства, преобразующий контролируемую величину (температуру, давление, частоту, силу света, электрическое напряжение, ток и

т.д.) в сигнал, удобный для измерения, передачи, хранения, обработки, регистрации, а иногда и для воздействия им на управляемые процессы. Или проще, **датчик** – это устройство, преобразующее входное воздействие любой физической величины в сигнал, удобный для дальнейшего использования.

Используемые датчики весьма разнообразны и могут быть **классифицированы по различным признакам:**

**В зависимости от вида входной (измеряемой) величины** различают: датчики механических перемещений (линейных и угловых), пневматические, электрические, расходомеры, датчики скорости, ускорения, усилия, температуры, давления и др.

В настоящее время существует приблизительно следующее распределение доли измерений различных физических величин в промышленности: температура – 50%, расход (массовый и объемный) – 15%, давление – 10%, уровень – 5%, количество (масса, объем) – 5%, время – 4%, электрические и магнитные величины – менее 4%.

**По виду выходной величины, в которую преобразуется входная величина,** различают *неэлектрические* и *электрические*.

Большинство датчиков являются электрическими. Это обусловлено следующими достоинствами электрических измерений:

- электрические величины удобно передавать на расстояние, причем передача осуществляется с высокой скоростью;
- электрические величины универсальны в том смысле, что любые другие величины могут быть преобразованы в электрические и наоборот;
- они точно преобразуются в цифровой код и позволяют достигнуть высокой точности, чувствительности и быстродействия средств измерений.

**По принципу действия** датчики можно разделить на два класса: *генераторные* и *параметрические* (датчики-модуляторы). Генераторные датчики осуществляют непосредственное преобразование входной величины в электрический сигнал. Параметрические датчики входную величину преобразуют в изменение какого-либо электрического параметра (R, L или C) датчика.

**По принципу действия** датчики также можно разделить на омические, реостатные, фотоэлектрические (оптико-электронные), индуктивные, емкостные и др.

**По виду вырабатываемого сигнала** различают три класса датчиков:

- аналоговые датчики, т. е. датчики, вырабатывающие аналоговый сигнал, пропорционально изменению входной величины;
- цифровые датчики, генерирующие последовательность импульсов или двоичное слово;
- бинарные (двоичные) датчики, которые вырабатывают сигнал только двух уровней: "включено/выключено" (иначе говоря, 0 или 1); получили широкое распространение благодаря своей простоте.

**Требования, предъявляемые к датчикам:**

- однозначная зависимость выходной величины от входной;
- стабильность характеристик во времени;
- высокая чувствительность;

- малые размеры и масса;
- отсутствие обратного воздействия на контролируемый процесс и на контролируемый параметр;
- работа при различных условиях эксплуатации;
- различные варианты монтажа.

### **Контрольные вопросы**

1. Что называется информацией?
2. Что понимают под информацией в технике?
3. С помощью чего передаётся информация в промышленной электронике?
4. Какие методы обработки информации применяются в электронных промышленных устройствах?
5. Какими свойствами характеризуется информация?
6. Что является носителем информации? Приведите примеры носителей информации.
7. Что называется датчиком?
8. По каким признакам классифицируются датчики?
9. Как подразделяются датчики в зависимости от вида входной (измеряемой) величины?
10. Как подразделяются датчики в зависимости от вида выходной величины?
11. Как подразделяются датчики по принципу действия?
12. Как подразделяются датчики по виду обрабатываемого сигнала?
13. Какие требования предъявляются к датчикам?

### **Лекция 4.**

#### **Виды электрических сигналов и их параметры. Спектры сигналов. Преимущества передачи информации в виде импульсных сигналов.**

#### **План**

1. Виды электрических сигналов. Их параметры и характеристики.
2. Дискретизация и квантование
3. Спектр сигнала.

#### **Ключевые слова**

Электрический сигнал. Аналоговый сигнал. Дискретный сигнал. Цифровой сигнал. Дискретизация. Квантование. Спектр сигнала. Модуляция. Импульсная модуляция.

#### **Виды электрических сигналов и их параметры. Спектры сигналов. Преимущества передачи информации в виде импульсных сигналов.**

Передача информации на большие расстояния реализуется в основном с помощью электрических и оптических сигналов. Объясняется это тем, что сигналы данного вида можно передавать на огромные расстояния (теоретически на любые расстояния в пределах Вселенной) с очень большой скоростью (около  $3 \times 10^8$  м/с). В этом курсе рассматриваются вопросы качественного и количественного анализа только электрических сигналов. Связь представляет собой процесс передачи сообщений от источника к получателю. Сообщением называют совокупность сведений о состоянии какого-либо материального объекта. Источник и получатель сообщений разделены некоторой средой, в которой источник образует возмущения, отображающие сообщение и воспринимаемые получателем. Физическая реальность, изменения которой в пространстве и во времени отображают передаваемое сообщение, называется сигналом. Например, при разговоре источником сообщений является голосовой аппарат человека, в качестве сигнала выступает изменяющееся в пространстве и во времени воздушное давление - акустические волны; получателем служит человеческое ухо. В современном обществе для передачи различного рода сообщений широко используются электрические сигналы - электромагнитные колебания, изменения параметров которых отображают передаваемые сообщения. Электрические сигналы имеют ряд преимуществ перед сигналами другой физической природы - они могут передаваться на весьма большие расстояния, их форму можно преобразовывать сравнительно простыми техническими средствами, скорость их распространения близка к скорости света. При передаче сигналы искажаются вследствие несовершенства (неидеальности характеристик) технических устройств; кроме того, на сигналы накладываются помехи, являющиеся сторонними возмущениями различного происхождения и мешающие точному воспроизведению сообщения у получателя. Системы передачи сигналов должны быть построены так, чтобы, несмотря на искажения и помехи, сообщение восстанавливалось с заданной точностью. Для изучения систем передачи необходимо знать различные способы представления электрических сигналов и методы их анализа.

### **Аналоговые, дискретные и цифровые сигналы**

Аналоговым сигналом в системах передачи называется непрерывный электрический или оптический сигналы  $F_n(t)$ , параметры которого (амплитуда, частота или фаза) изменяются по закону непрерывной функции времени источника информации, например, речевого сообщения, подвижного или неподвижного изображения и т. д. Непрерывные сигналы могут принимать любые значения (бесконечное множество) в некоторых пределах (рисунок 1.1).

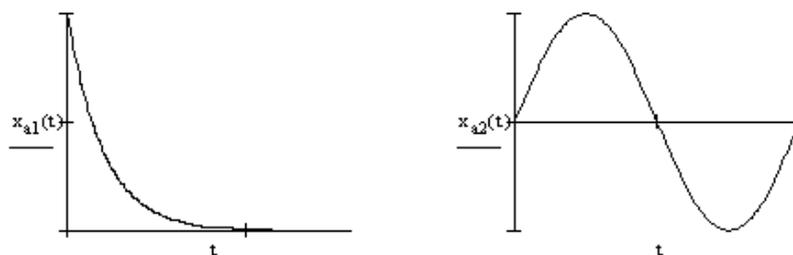


Рисунок 1.1 - Аналоговый непрерывный сигнал.

Дискретные сигналы - состоят из отдельных элементов, принимающих конечное число различных значений. Аналоговые дискретные сигналы  $F_d(t)$  можно получить из непрерывных  $F_n(t)$ , используя дискретизацию по времени (через интервал  $T_d$ ), квантование по амплитуде или по времени и по амплитуде одновременно (рисунок 1.2 а, б, в). Цифровой сигнал  $F_c(t)$  формируется в виде группы импульсов в двоичной системе счисления, соответствующих амплитуде квантованного по уровню и дискретного по времени аналогового сигнала (рисунок 1.2, г), при этом наличие электрического импульса соответствует "1" в двоичной системе счисления, а отсутствие - "0". Основным преимуществом цифровых сигналов является высокая помехозащищенность, так как при наличии шумов и искажений при их передаче достаточно зарегистрировать на приеме наличие или отсутствие импульсов. Преобразование непрерывного сигнала в цифровой может осуществляться при помощи импульсно-кодовой модуляции, дельта - модуляции, дифференциальной импульсно-кодовой модуляции (ИКМ, ДМ, ДИКМ) и их модификаций. Таким образом, для получения цифрового сигнала принципиально необходимо произвести три основные операции над непрерывным сигналом: дискретизацию по времени, квантование по уровню и кодирование.

Аналоговый сигнал  $f(t)$  называется **периодическим**, если существует действительное число  $T$ , такое, что  $f(t+T)=f(t)$  для любых  $t$ . При этом  $T$  называется периодом сигнала.

**Дискретные сигналы** отличаются от аналоговых тем, что их значения известны лишь в дискретные моменты времени.

Процесс преобразования аналогового сигнала в дискретный называется **временной дискретизацией**. Процесс восстановления аналогового сигнала из дискретного называется **временной экстраполяцией**.

**Цифровые сигналы** представляют собой дискретные сигналы, которые в дискретные моменты времени могут принимать лишь конечный ряд дискретных значений – уровней квантования. Процесс преобразования дискретного сигнала в цифровой называется **квантованием по уровню**. Каждый из уровней квантования кодируется числом. Обычно для этих целей используется двоичное кодирование, так, что квантованные отсчеты  $x_d(nT)$  кодируются двоичными числами с  $n$  разрядами. Число уровней квантования  $N$  и наименьшее число двоичных разрядов  $m$ , с помощью которых можно закодировать все эти уровни, связаны соотношением

$$m = \text{int}(\log_2 N), \quad (1.20)$$

где  $\text{int}(x)$  – наименьшее целое число, не меньшее  $x$ .

**Спектр сигнала** - в радиотехнике это результат разложения сигнала на более простые в базисе ортогональных функций. В качестве разложения обычно используется преобразование Фурье. В радиотехнике в качестве базисных функций используют синусоидальные функции. Кроме гармонического ряда Фурье применяются и другие виды разложений: по функциям Уолша, Бесселя, Хаара, Лежандра, полиномам Чебышева и др. В цифровой обработке сигналов

для анализа применяются дискретные преобразования: Фурье, Хартли, вейвлетные и др.

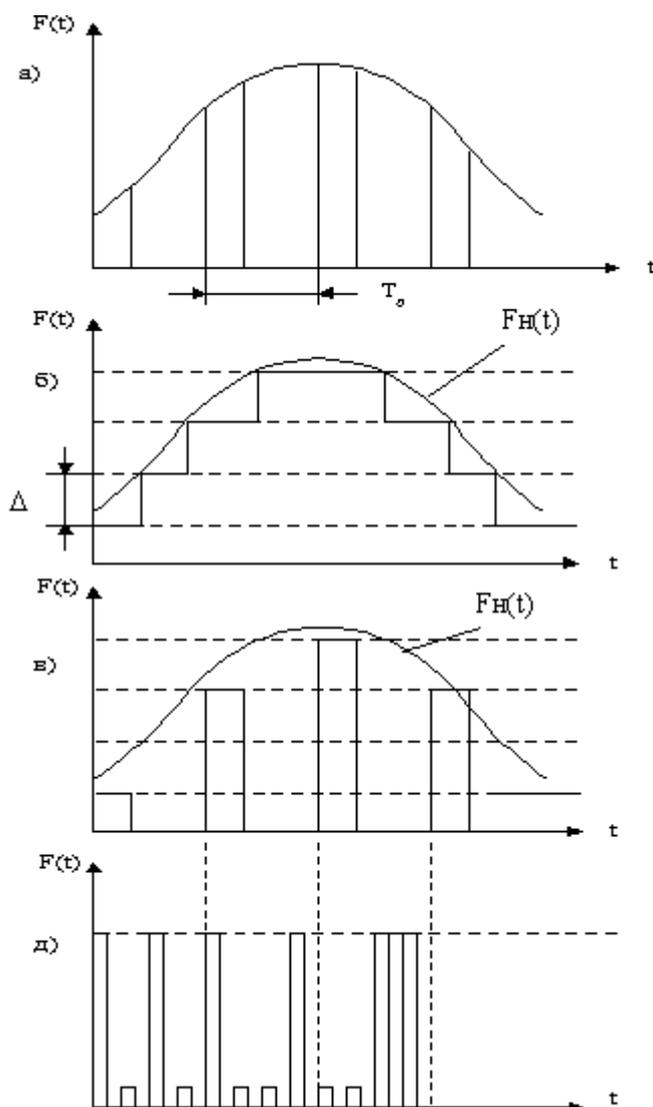


Рисунок 1.2 - Дискретные сигналы:

- а) - дискретный по времени; б) - дискретный по уровню; в) - дискретный по времени и по уровню;  
г) - цифровой двоичный сигнал.

Спектр периодического сигнала является дискретным и представляет набор гармонических колебаний, в сумме составляющий исходный сигнал. Разложение сигнала в спектр позволяет при известной реакции системы на какой-либо простой сигнал, например, на синусоидальное колебание с определённой частотой, определить реакцию системы на любой сложный сигнал, разложив его в ряд по синусоидальным колебаниям.

На практике спектр измеряют при помощи специальных приборов – анализаторов спектра. Если под сигналом  $s(t)$  понимать электрическое напряжение на резисторе сопротивлением 1 Ом, то спектр этого сигнала  $S(\omega)$  можно записать следующим образом:

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} s(t)e^{-i\omega t} dt,$$

где  $\omega$  - угловая частота равная  $2\pi f$ .

Спектр сигнала является величиной комплексной и представляется в виде:  $S(\omega) = A(\omega)e^{-i\varphi(\omega)}$ , где  $A(\omega)$  - амплитудно-частотная характеристика сигнала,  $\varphi(\omega)$  - фазо-частотная характеристика сигнала. Энергия сигнала, выделяемая на резисторе, будет равна

$$\int_{-T/2}^{T/2} |s(t)|^2 dt,$$

средняя мощность -

$$\frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} |s(t)|^2 dt.$$

Достоинство импульсно-цифровых технологий заключается не в их качестве, а в том, что можно надежно передавать и копировать, сохранять и воспроизводить исходное состояние сигнала (не объективной реальности, она гораздо шире всех возможных систем, а именно начального сигнала), поэтому они интенсивно завоевывают информационное пространство.

Увеличение объема измерительной информации, передаваемой по каналам связи, приводит к все более широкому применению импульсной модуляции, которая имеет целый ряд преимуществ перед модуляцией гармонических колебаний. Импульсная модуляция используется в измерительно-информационных системах (ИИС) с временным разделением каналов, в которых в паузах между импульсами, несущими информацию об одной измеряемой величине, размещается информация о других измеряемых величинах. Последовательность импульсов позволяет модулировать несколько параметров сигнала, т. е. более эффективно использовать канал связи. Применение импульсных сигналов дает возможность существенно увеличить мощность в импульсе при небольшой средней мощности и тем самым повысить помехоустойчивость передачи информации.

Наиболее часто используются импульсы прямоугольной формы, которые легко формируются на основе современной электронной базы.

### Контрольные вопросы

1. Какие сигналы называются аналоговыми, дискретными и цифровыми?
2. Что называется количеством информации?
3. Перечислите единицы измерения информации.
4. Что называется спектром сигнала?
5. В чем состоит преимущество передачи сигналов импульсными методами?

**Лекция 5.**  
**Модуляция сигналов. Виды модуляции импульсных сигналов.**  
**Дискретизация и квантование. Кодирование информации.**  
**Основные виды кодов**

**План**

1. Понятие о модуляции. Виды модуляции.
2. Преобразование аналогового сигнала в цифровой вид. Импульсная модуляция. Квантование по уровню.
3. Понятие о кодировании. Разновидности кодов.

**Ключевые слова**

Модуляция. Дискретизация. Квантование. Код. Кодирование.

**Модуляция** (лат. *modulatio* - мерность, размерность) — процесс изменения одного или нескольких параметров высокочастотного модулируемого колебания по закону информационного низкочастотного сообщения (сигнала). В результате спектр управляющего сигнала переносится в область высоких частот. Передаваемая информация заложена в управляющем сигнале. Роль переносчика информации выполняет высокочастотное колебание, называемое несущим. В качестве несущего могут быть использованы колебания различной формы (прямоугольные, треугольные и т. д.), однако чаще всего применяются гармонические колебания. В зависимости от того, какой из параметров несущего колебания изменяется, различают вид модуляции (амплитудная, частотная, фазовая и др.). Модуляция дискретным сигналом называется цифровой модуляцией или манипуляцией.

Преобразование непрерывного сигнала в цифровой может осуществляться при помощи импульсно-кодовой модуляции, дельта-модуляции, дифференциальной импульсно-кодовой модуляции (ИКМ, ДМ, ДИКМ) и их модификаций. Таким образом, для получения цифрового сигнала принципиально необходимо произвести три основные операции над непрерывным сигналом: дискретизацию по времени, квантование по уровню и кодирование.

Любой дискретный или цифровой сигнал - это последовательность импульсов, следующих через равные промежутки времени. Амплитуда (высота) этих импульсов пропорциональна значениям  $A(t)$  в отсчетных точках. Для цифрового сигнала характерно то, что отсчетные значения представлены в форме чисел, то есть в виде кодовых групп, состоящих из импульсов с двумя значениями амплитуд 1 и 0.

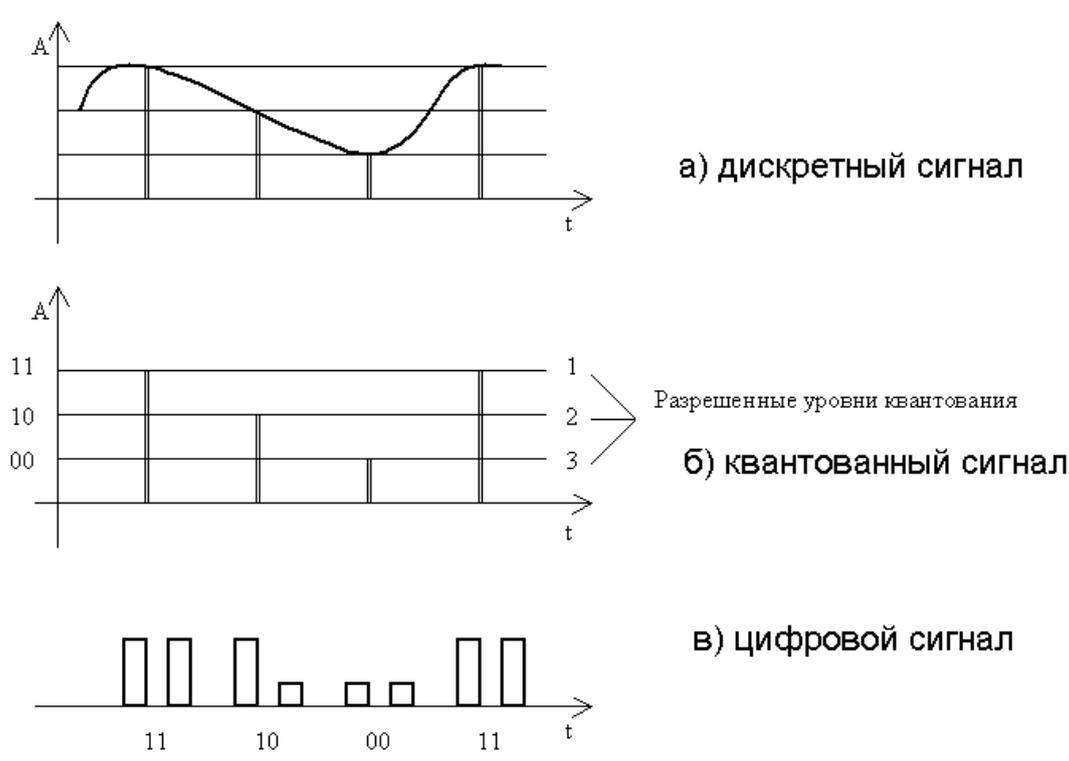
Изобразим такой цифровой сигнал во временной области - максимальный уровень - третий можно передать кодовой группой вида 11, средний уровень - вида 10, минимальный уровень - вида 00.

Преобразование непрерывного аналогового сигнала в дискретный может быть осуществлено в соответствии с теоремой отсчетов, доказанной В.А. Ко-

тельниковым в 1933 г.: любой непрерывный сигнал с ограниченной частотой  $F_{\text{МАКС}}$  спектром, может быть полностью представлен в виде своих дискретных во времени отсчетов, взятых через интервал времени  $T_d = 1/2 F_{\text{макс}}$ , называемой периодом дискретизации. Технически операция дискретизации по времени осуществляется при помощи ключевых схем путем получения сигналов с амплитудно-импульсной модуляцией (АИМ).

Операция квантования по уровню позволяет преобразовать бесконечное множество отсчётных значений аналогового сигнала в конечное множество разрешённых уровней, перенумеровать эти уровни и передавать информацию об амплитуде отсчёта в виде двоичной кодовой комбинации с ИКМ. Для уменьшения числа разрешённых уровней квантования применяется нелинейная операция сжатия динамического диапазона сигнала.

Операция кодирования заключается в преобразовании номера "разрешённого" уровня в кодовую комбинацию двоичной системы счисления, состоящую из  $m$  символов вида "0" и "1", где величина  $m$  называется разрядностью кода. В цифровых системах преобразования с ИКМ нашли применение натуральный двоичный код и его модификация - симметричный двоичный код. Двоичные коды по времени их появления разделяются на параллельные, если сигналы кодовой группы появляются одновременно, и последовательные, если сигналы кодовой группы появляются последовательно во времени, разряд за разрядом.



Виды кодов

После того, как непрерывное сообщение с помощью квантования преобразовано в дискретное сообщение, его необходимо передать по каналу связи. При этом передача должна осуществляться без искажений или с минимальными ис-

кажениями.

Преобразование дискретного сообщения в дискретный сигнал, осуществляемое по определённому правилу, называется кодированием.

Код - это совокупность условных сигналов, обозначающих дискретные сообщения.

Для практического осуществления передачи команды нужно передавать видео- или радио - импульсы, отличающиеся друг от друга так, чтобы на приёмном конце их можно было различить и направить к своим объектам. Двоичный код, содержащий 0 и 1, значительно увеличивает надёжность передачи, хотя длина кодового слова при этом увеличивается по сравнению с десятичным кодом.

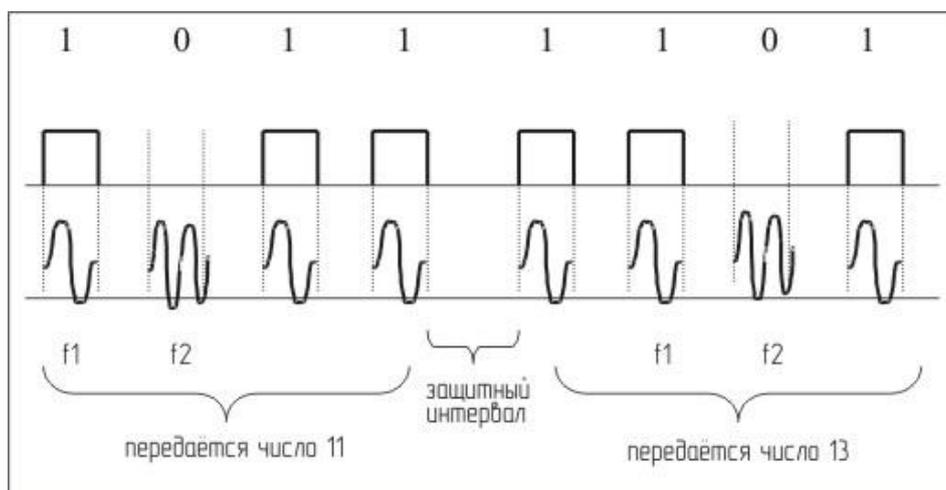


Рис.3.12. Передача кодовых комбинаций 1011 и 1101.

Схемная реализация операций с двоичными кодами выполняется с помощью устройств релейного действия, обладающих двумя устойчивыми состояниями, соответствующими 0 и 1, это: электромеханические реле, триггеры, магнитные элементы с прямоугольной петлёй гистерезиса и др.

Наибольшее распространение получил двоично-десятичный код, где каждый разряд десятичного числа записывается в виде комбинации двоичного кода, например: число 9 соответствует 1001, число 3 соответствует 0011, тогда 399 соответствует

0011

1001

1001.

#### Существуют другие виды кодов:

а) *единично - десятичный*, когда каждому десятичному числу присваивается определённое количество единиц (до 10). Кодовая комбинация при этом получается длиной, например число 234:

б) *число - импульсный код (единичный код)*. Кодовые комбинации, как и в предыдущем случае, отличаются друг от друга количеством единиц:

в) *код Морзе*, впервые применённый в 1844 г. В нем каждый символ представляется набором точек и тире:

- - передаётся как единица одним импульсом;
- передаётся 3-мя единицами без интервалов;
- интервал означает 0, например, сигнал SOS:

Цифры при этом получаются длинные, например, число 5: 101 <-> 101 <-> 101, т.е. 10101010101 .

г) *Пятиразрядный код Бодо*, в котором цифры передаются так же, как буквы:

А и 1 -> 10000

Б и 6 -> 00110

В и 13 -> 01101

Г и 10 -> 01010

д) *международный телеграфный код* (аналогичен коду Бодо):

А -> 00011 как 3 и т.д.

Б -> 11001

В -> 10011

Г -> 11010

е) *код Грея*. В нём меньше преобразований, в сложных схемах при этом производится меньше коммутаций, ток изменяется реже, следовательно, возможно меньше помех.

Таблица 3.2

десятичный	двоичный	код Грея
0	0000	0000
1	0001	0001
2	0010	0011
3	0011	0010
4	0100	0110
5	0101	0111
6	0110	0101

числа меняются в 2-х разрядах
в 3-х разрядах
число меняется только в одном разряде

Рассмотренные коды являются непомехозащищенными, т.к. одна комбинация от другой отличается всего в одном разряде:

2 -> 0010

3 -> 0011 .

Если помеха исказит первую комбинацию, то будет принят сигнал, например, 0011 вместо 0010, и не ясно, принята искажённой 1-я кодовая комбинация, то ли 2-я кодовая комбинация пришла неискажённой, определить это трудно. Для преодоления подобных трудностей применяют **помехозащищенные или корректирующие коды**. Они делятся на 2 группы:

1) коды с обнаружением ошибок,

2) коды с обнаружением и исправлением ошибок.

Эти коды позволяют обнаружить ошибки в кодовых комбинациях.

## Код с проверкой на чётность

Такой код образуется путём добавления к передаваемой комбинации символов одного контрольного символа (0 или 1) так, чтобы общее число единиц в передаваемой комбинации было чётным:



На приёмном конце производится проверка на чётность. В принятых комбинациях подсчитывается количество единиц, и если оно чётное, считают, что искажений не было. Тогда последний (контрольный) символ отбрасывают и записывают начальную комбинацию. Такой код может обнаружить ошибки, кратные 3, 5 и т.д., но чётное количество ошибок обнаружить не может, и тогда передача сигнала может происходить с сильными искажениями. По такому же принципу может быть построен код с проверкой на нечётность. Проверка кодов осуществляется счётчиками, выполняемыми на триггерах. В принципе место расположения контрольных символов не имеет значения: их можно записывать и после информационных символов, и перед ними, и чередуя информационные символы с контрольными. Однако произвольное расположение контрольных символов затрудняет проверку принятого кода. Широкое распространение получил *код Хемминга*, позволяющий обнаружить и исправить ошибки. Контрольные символы в нём размещают на местах, кратных  $2^p$ , т.е.  $2^0, 2^1, 2^2, 2^3, 2^4$  и т.д., а именно в позициях 1, 2, 4, 8, 16... Какой из символов должен стоять на контрольной позиции (0 или 1), определяют с помощью проверки на чётность. Рассмотрим пример кодовой комбинации, содержащей 4 информационных символа 1101. Для ее защиты необходимо расставить контрольные символы в позициях 1, 2, 4. Обозначим информационные символы И<sub>1</sub>, И<sub>2</sub>, И<sub>3</sub>, И<sub>4</sub>, а контрольные символы К<sub>1</sub>, К<sub>2</sub>, К<sub>3</sub>. Тогда кодовая комбинация будет иметь вид:

$$K_1 K_2 I_4 K_3 I_3 I_2 I_1 \text{ или } 1010101 \quad (3.4)$$

На приёмном конце для проверки правильности принятой кодовой комбинации используют метод проверки на чётность. Если сигнал прошёл без искажений, то сумма единиц в принятой кодовой комбинации даст 0, т.к. в соответствии с функцией неравнозначности:

$$1 \oplus 1 = 0 \quad 1 \oplus 0 = 1 \quad 0 \oplus 0 = 0 \quad 0 \oplus 1 = 1. \quad (3.5)$$

Число проверок равняется числу контрольных символов. В каждой проверке участвует только один контрольный символ. Суммируются символы, стоящие в позициях 1, 3, 5, 7, затем - 2, 3, 6, 7, далее - 4, 5, 6, 7.

В соответствии с (3.4) и (3.5) это:

$$\begin{aligned}
 K_1 + I_4 + I_3 + I_1 &= 0 \\
 K_2 + I_4 + I_2 + I_1 &= 0 \\
 K_3 + I_3 + I_2 + I_1 &= 0
 \end{aligned}
 \tag{3.6}$$

Если сигнал прошёл с искажениями, то при проверке сумма единиц даст 1. По результату суммирования каждой из проверок составляется двоичное число, которое указывает место искажения. Например, 1-я и 2-я проверки показали наличие искажения, т.е. в результате суммирования получили единицы, а суммирование по 3-й проверке дало 0. Начиная с последней проверки, записываем двоичное число 011. Это соответствует 3 (011 $\Rightarrow$ 3) и означает, что в 3-м символе кодовой комбинации, включая контрольные символы, возникло искажение, значит, этот символ нужно инвертировать, т.е. исправить на противоположный: 0 на 1, или 1 на 0. После этого контрольные символы, стоящие на заранее известных местах, отбрасывают.

Функциональные узлы, используемые для преобразования кодовых комбинаций, называются кодопреобразователями. Это сложные устройства, состоящие из большого числа логических элементов И, ИЛИ, НЕ, ИЛИ-НЕ, И-НЕ и др., выполненные на интегральных микросхемах. К кодопреобразователям можно также отнести шифраторы, дешифраторы, счётчики.

Количеством информации называют числовую характеристику сигнала, отражающую ту степень неопределенности (неполноту знаний), которая исчезает после получения сообщения в виде данного сигнала. Эту меру неопределенности в теории информации называют энтропией.

**Пример.** Человек бросает монету и наблюдает, какой стороной она упадет. Обе стороны монеты равноправны, поэтому одинаково вероятно, что выпадет одна или другая сторона. Такой ситуации приписывается начальная неопределенность, характеризуемая двумя возможностями. После того, как монета упадет, достигается полная ясность, и неопределенность исчезает (становится равной нулю). Приведенный пример относится к группе событий, применительно к которым может быть поставлен вопрос типа «да-нет». Количество информации, которое можно получить при ответе на вопрос типа «да-нет», называется битом (англ. bit — сокращенное от binary digit— двоичная единица). Бит — минимальная единица количества информации, ибо получить информацию меньшую, чем 1 бит, невозможно. При получении информации в 1 бит неопределенность уменьшается в 2 раза. Таким образом, каждое бросание монеты дает нам информацию в 1 бит. В качестве других моделей получения такого же количества информации могут выступать электрическая лампочка, двухпозиционный выключатель, магнитный сердечник, диод и т. п. Включенное состояние этих объектов обычно обозначают цифрой 1, а выключенное — цифрой 0.

Связь между количеством информации и числом состояний системы устанавливается формулой Хартли:  $i = \log_2 N$ , где  $i$  — количество информации в битах;  $N$  — число возможных состояний. Ту же формулу можно представить иначе:  $N = 2^i$ .

Группа из 8 битов информации называется байтом. Если бит — минимальная единица информации, то байт ее основная единица. Существуют производные единицы информации: килобайт (кбайт, Кб), мегабайт (Мбайт, Мб) и гига-

байт (Гбайт, Гб). 1 кб = 1024 байта = 2<sup>10</sup> (1024) байтов. 1 Мб = 1024 кбайта = 2<sup>20</sup> (1024 x 1024) байтов. 1 Гб = 1024 Мбайта = 2<sup>30</sup> (1024 x 1024 x 1024) байтов. Эти единицы чаще всего используют для указания объема памяти ЭВМ.

### Контрольные вопросы

1. Что называется модуляцией?
2. Перечислите виды модуляции. Чем они различаются?
3. Какие операции необходимо произвести над непрерывным сигналом для получения цифрового сигнала?
4. Что называется дискретизацией сигнала по времени? Что называется квантованием сигнала по уровню?
5. Что называется количеством информации? Назовите единицы измерения информации.
6. Что называется кодом? Перечислите виды кодов.

### Лекция 6.

#### Общие характеристики, параметры и обозначения цифровых интегральных микросхем.

#### План

1. Понятие об интегральных микросхемах различной степени интеграции.
2. Система обозначений интегральных микросхем.
3. Назначение и применение цифровых микросхем.

#### Ключевые слова

Микросхема. Цифровая интегральная микросхема. Полупроводниковая микросхема. Плёночная микросхема. Гибридная микросхема. Большая интегральная схема. Серия микросхем. Логическая операция. Логическая функция. Микропроцессор. Микропроцессорный комплект.

*Интегральная микросхема* — микроэлектронное изделие, выполняющее определенную функцию преобразования, обработки сигнала и (или) накопления информации и имеющее высокую плотность упаковки электрически соединенных элементов (или элементов и компонентов) и (или) кристаллов, которое с точки зрения требований к испытаниям, приемке, поставке и эксплуатации рассматривается как единое целое.

*Цифровая интегральная микросхема* — микросхема, предназначенная для преобразования и обработки сигналов, изменяющихся по закону дискретной функции.

В зависимости от технологии изготовления интегральные микросхемы могут быть полупроводниковыми, пленочными или гибридными.

*Полупроводниковая микросхема* — микросхема, все элементы и межэлементные соединения которой выполнены в объеме и на поверхности полупроводника.

*Пленочная микросхема* — микросхема, все элементы и межэлементные соединения которой выполнены только в виде пленок проводящих и диэлектрических материалов. Вариантами пленочных являются тонкопленочные и толстопленочные микросхемы.

*Гибридная микросхема* — микросхема, содержащая кроме элементов простые и сложные компоненты (например, кристаллы микросхемы полупроводниковых микросхем). Одним из видов гибридной микросхемы является многокристальная микросхема.

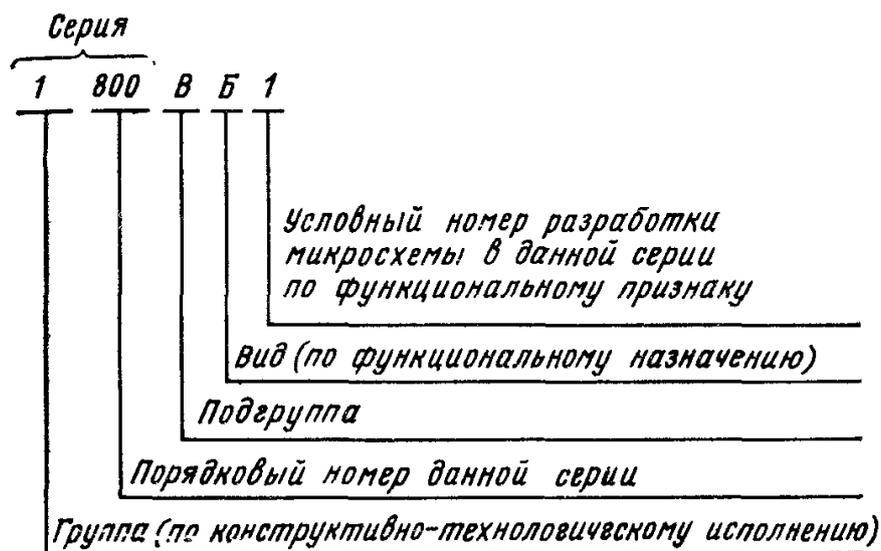
С помощью *цифровых микросхем* преобразуются и обрабатываются сигналы, изменяющиеся по закону дискретной функции. Частным случаем цифровых микросхем является логическая микросхема, выполняющая операции с двоичным кодом, которые описываются логической алгеброй.

Микропроцессор — программно-управляемое устройство, осуществляющее процесс обработки цифровой информации и управления им. Это устройство изготовлено на основе одной или нескольких больших интегральных схем (БИС). Микропроцессорной названа микросхема, выполняющая функцию МП или его части. Совокупность этих и других микросхем, совместимых по архитектуре, конструктивному исполнению и электрическим параметрам, названа микропроцессорным комплектом (МПК).

Микросхемы разрабатываются и выпускаются предприятиями-изготовителями в виде серий. Все многообразие выпускаемых серий микросхем согласно принятой системе условных обозначений по конструктивно-технологическому исполнению делится на три группы — полупроводниковые, гибридные, прочие. Указанным группам микросхем в системе условных обозначений присвоены следующие цифры: 1, 5, 7 — полупроводниковые (обозначение 7 присвоено бескорпусным); 2, 4, 8 — гибридные; 3 — прочие микросхемы.

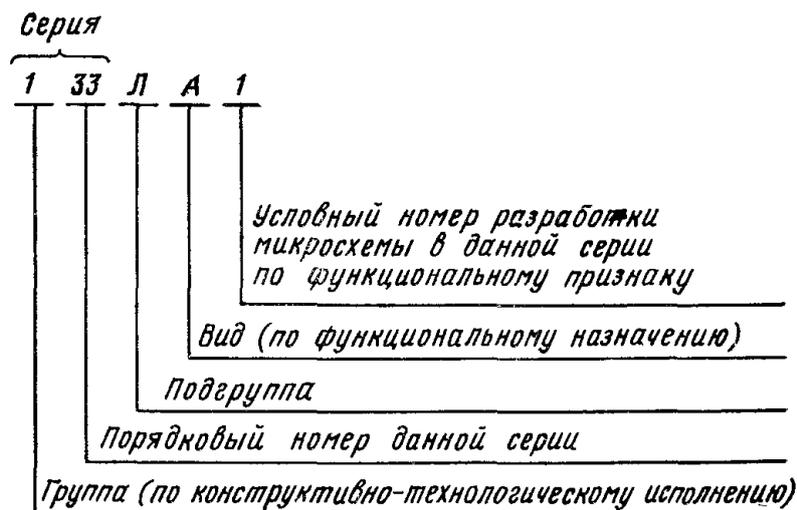
По характеру выполняемых функций в РЭА микросхемы подразделяются на подгруппы (генераторы, модуляторы, триггеры, усилители и др.) и виды (преобразователи частоты, фазы, длительности, напряжения и др.). По принятой системе обозначение микросхемы должно состоять из четырех элементов. Первый элемент — цифра, соответствующая конструктивно-технологической группе. Второй элемент — две-три цифры, присвоенные данной серии как порядковый номер разработки. Таким образом, первые два элемента составляют три-четыре цифры, определяющие полный номер серии микросхемы. Третий элемент — две буквы, соответствующие подгруппе и виду. Четвертый элемент — порядковый номер разработки микросхемы в данной серии, в которой может быть несколько одинаковых по функциональному признаку микросхем. Он может состоять как из одной цифры, так и из нескольких.

Приведем пример условного обозначения полупроводниковой микросхемы — схемы синхронизации МПК с порядковым номером серии 800 и номером разработки микросхемы в данной серии по функциональному признаку 1.



Полное обозначение микросхемы 1800ВБ1.

Пример условного обозначения полупроводниковой микросхемы: ЛЭ И—НЕ с порядковым номером серии 33 и номером разработки микросхемы в данной серии по функциональному признаку 1. Полное обозначение микросхемы 133ЛА1.



В последнее время при четырехзначном номере серии первую цифру порядкового номера серии (или вторую цифру номера серии) устанавливают в зависимости от функционального назначения микросхем, входящих в серию. Так, цифра 0 определяет, что данная серия микросхем предназначена для комплектации бытовой РЭА. Цифра 1 присваивается микросхемам аналоговым, цифра 4 — микросхемам ОУ, цифра 5 — сериям цифровых микросхем; цифра 6 — серии микросхем памяти, как оперативной, так и постоянной, цифра 8 — сериям МП.

Для микросхем, используемых в устройствах широкого применения, в начале обозначения ставится буква К: К133ЛА1. Микросхемам, различающимся только конструктивным исполнением, присваивают, как правило, единое цифровое обозначение серии. Для характеристики материала и типа корпуса перед цифровым обозначением серии могут быть добавлены следующие буквы: Р — пластмассовый корпус типа ДИП; А — пластмассовый пленарный корпус; М — металлокерамический корпус типа ДИП; Е — металло-полимерный корпус ти-

па ДИП; С — стеклокерамический корпус типа ДИП; И — стеклокерамический пленарный корпус; Н — керамический «безвыводной» корпус. В условных обозначениях микросхем, выпускаемых в бескорпусном варианте, перед номером серии добавляют букву Б.

### **Цифровые интегральные микросхемы. Назначение и применение**

Цифровые микросхемы представляют собой электронные устройства, позволяющие строить практически все узлы и блоки ЭВМ, в которых обрабатываемая информация представлена в виде двоичных чисел. Переменные величины и функции от них, которые могут принимать только два значения 0 и 1, называются соответственно логическими переменными и логическими функциями. Свойства логических функций изучает алгебра логики, а устройства, реализующие логические функции, называются логическими или цифровыми. В основе цифровых микросхем, выпускаемых многомиллионными сериями, находятся простейшие комбинационные цифровые элементы, потенциальные, импульсные, импульсно-потенциальные. Наиболее широкое распространение получили потенциальные логические элементы (ЛЭ). Для них характерно наличие связи по постоянному току между входами и выходами схем. Схемотехническая реализация потенциальных цифровых микросхем осуществляется на основе ряда типовых базовых ЛЭ.

Простейшей логической функцией является функция НЕ (логическое отрицание или инверсия), которая записывается как  $Y(X) = \bar{X}$ . В электронных схемах отрицание реализуется с помощью ключевого элемента НЕ, построенного на усилительном приборе. Сигналы на выходе ключа инвертируются в зависимости от значений входных сигналов. По виду реализуемой логической функции базовые ЛЭ могут быть разделены на простейшие элементы одноступенчатой (И, ИЛИ, НЕ, И—НЕ, ИЛИ—НЕ) и двухступенчатой (И—ИЛИ, И—ИЛИ—НЕ) логики. Следует отметить, что все потенциальные цифровые элементы могут работать в двух логических режимах. Если за «1» принят высокий уровень сигнала, имеет место «положительная логика» работы элемента ИЛИ—НЕ. Если за «1» принят низкий уровень сигнала, получаем «отрицательную логику» работы элемента И—НЕ [1]. Как правило, паспортное обозначение ЛЭ соответствует функции, реализуемой для «положительной логики». Существуют цифровые ключи с тремя выходными состояниями (тристабильные). Выходной каскад такой схемы переводится в третье состояние «Разомкнуто», если по специальному входу управления подана команда.

На основе цифровых элементов одно- и двухступенчатой логики могут быть построены сложные функциональные узлы: комбинаторные схемы (например, сумматоры, мультиплексоры) и схемы с памятью (триггеры, счетчики, регистры). Все современные серии цифровых микросхем, как правило, включают различные типы триггеров, представляющих устройство с двумя устойчивыми состояниями, содержащее запоминающий бистабильный элемент (собственно триггер) и схему управления. Наиболее широкое распространение получили триггеры типов RS, D, T и JK.

## Контрольные вопросы

1. Что называется интегральной микросхемой?
2. Что называется цифровой интегральной микросхемой?
3. Что называется полупроводниковой микросхемой?
4. Что называется плёночной микросхемой?
5. Что называется гибридной микросхемой?
6. Что называется микропроцессором?
7. Как подразделяются по конструктивно-технологическому признаку?
8. Какие функции реализуются с помощью цифровых микросхем?
9. Чем отличаются интегральные триггеры от комбинационных логических элементов и схем?

## Лекция 7.

### Принципы построения ЦАП.

#### План

1. Понятие о цифро-аналоговом преобразователе.
2. Общие типы цифро-аналоговых преобразователей.
3. Наиболее широко распространенные методы цифро-аналогового преобразования.

#### Ключевые слова

Цифро-аналоговый преобразователь. Методы цифро-аналогового преобразования. ЦАП с двоично-взвешенными резисторами.

Цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) — устройство, предназначенное для преобразования цифрового (обычно двоичного) кода в аналоговый сигнал (ток, напряжение или заряд).

ЦАП применяется всегда, когда надо преобразовать сигнал из цифрового представления в аналоговое, например, в проигрывателях компакт-дисков (Audio CD).

В электронных устройствах управления и контроля ЦАП используются для преобразования цифрового кода, после обработки его с помощью микропроцессоров и микроконтроллеров, в аналоговые сигналы управления, воздействующие на контролируемый объект.

В некоторых схемах аналого-цифровых преобразователей ЦАП являются их составной частью, вырабатывая аналоговый сигнал обратной связи, который сравнивается в ходе преобразования с измеряемым (эталонным) сигналом.

Существуют следующие наиболее общие типы электронных ЦАП:

- широтно-импульсный модулятор,
- ЦАП передискретизации,
- взвешивающий ЦАП (ЦАП с взвешенными резисторами),

- цепная R-2R схема (ЦАП с резисторной сеткой R-2R),
- сегментный ЦАП,
- гибридные ЦАП.

Существуют два наиболее широко распространенных метода цифроаналогового преобразования: с использованием взвешенных резисторов (рис. 2, а) и многорезисторной цепочки резисторов (рис. 2, б).

Как показано на рис. 3, ЦАП с двоично-взвешенными резисторами состоит из следующих компонентов: а) n ключей, по одному на каждый разряд, управляемых входным сигналом, б) цепочки взвешенных резисторов, в) источника опорного напряжения  $U_{оп}$  и г) суммирующего элемента (обычно операционный усилитель), с помощью которого суммируются токи, протекающие через цепочку резисторов, чтобы получить аналоговый сигнал, пропорциональный цифровому сигналу на входе.

Регистр, который предполагается внешним по отношению к ЦАП, вырабатывает двоичное число N, состоящее из n двоичных разрядов:

$$N = a_{n-1} 2^{n-1} + a_{n-2} 2^{n-2} + \dots + a_1 2^1 + a_0 2^0 = \sum_{i=0}^{n-1} a_i 2^i. \quad (1)$$

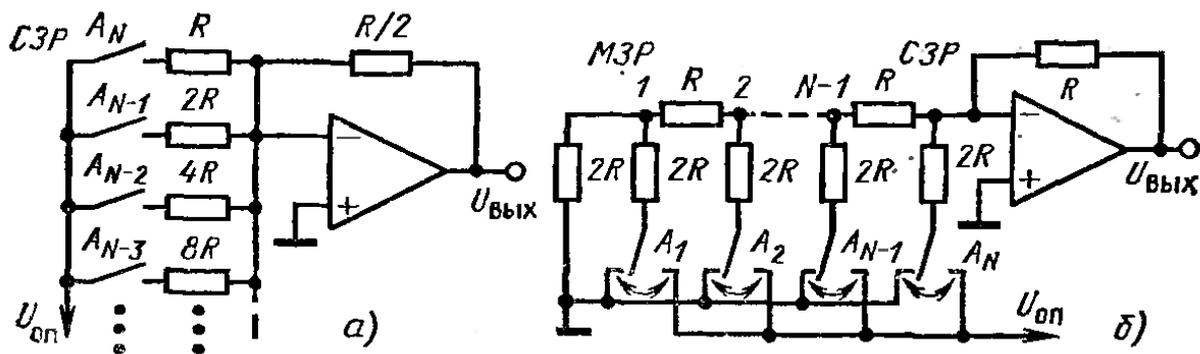


Рис. 2 Базовые схемы ЦАП

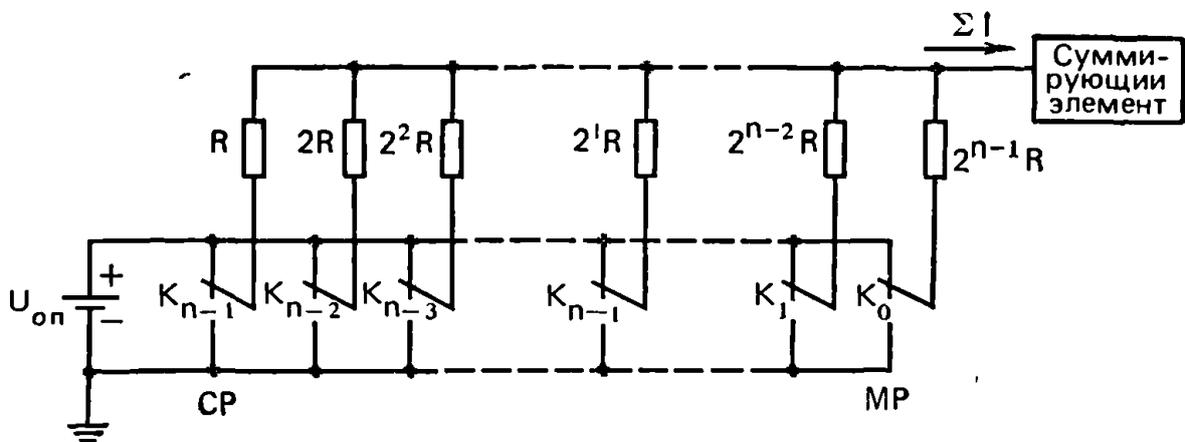


Рис. 3 ЦАП с двоично-взвешенными резисторами

Каждый  $i$ -й разряд управляет ключом  $K_i$ , который подключается к источнику опорного напряжения  $U_{оп}$ , когда  $a_i=1$ , или к земле, когда  $a_i = 0$ . Предполагается, что внутреннее сопротивление источника опорного напряжения  $R_{оп}$  равно нулю. Сопротивления резисторов, соединенных с ключами, таковы, что обеспечивается пропорциональность протекающего в них тока двоичному весу соответствующего входного разряда. Так, сопротивление резистора в старшем разряде имеет значение  $R$ , сопротивление следующего резистора  $2R$  и так далее, вплоть до сопротивления резистора в младшем разряде, значение которого  $2^{n-1}R$ . Следовательно, ток, протекающий на входе суммирующего элемента, будет

$$I = \frac{a_{n-1} U_{оп}}{R} + \frac{a_{n-2} U_{оп}}{2R} + \dots + \frac{a_1 U_{оп}}{2^{n-2}R} + \frac{a_0 U_{оп}}{2^{n-1}R}.$$

Это уравнение может быть переписано как

$$\begin{aligned} I &= \frac{U_{оп}}{2^{n-1}R} (a_{n-1} 2^{n-1} + a_{n-2} 2^{n-2} + \dots + a_1 2^1 + a_0 2^0) = \\ &= \frac{U_{оп}}{2^{n-1}R} \sum_{i=0}^{n-1} a_i 2^i, \end{aligned} \quad (2)$$

т. е. выходное напряжение ЦАП пропорционально числу, отображающему те ключи, которые подключены к источнику  $U_{оп}$  (т. е.  $a_i=1$ ). Максимальный выходной ток будет протекать, когда все коэффициенты  $a_i$  будут равны 1:

$$I_{max} = U_{оп} \cdot (2^n - 1) / (R \cdot 2^{n-1}). \quad (3)$$

Таким образом, выходное напряжение ЦАП пропорционально сумме напряжений со своими весами, обусловленных лишь теми ключами, которые подключены к источнику  $U_{оп}$ .

### Контрольные вопросы

1. Для чего предназначены ЦАП?
2. Перечислите основные виды ЦАП.
3. Изложите принцип действия ЦАП с двоично-взвешенными резисторами.

### Лекция 8.

#### Цифровые измерительные приборы. Цифровой вольтметр с время-импульсным преобразованием для измерения напряжения сигнала.

#### План

1. Общие сведения о цифровых измерительных приборах. Цифровые вольтметры.
2. Время-импульсный вольтметр.

#### Ключевые слова

Цифровой прибор. Цифровой вольтметр. Время-импульсный вольтметр.

Цифровые вольтметры (ЦВ) широко распространены в технике измерения постоянных и переменных напряжений. Это объясняется многими достоинствами: высокая точность, широкий диапазон измерений, высокая чувствительность, цифровой отсчет, автоматический выбор предела измерения и полярности измеримого сигнала, возможность ввода информации в ЭВМ.

Дальнейшее развитие ЦВ, расширение их возможностей и улучшение характеристик достигается применением микропроцессоров (МП), встраиваемых непосредственно в измерительный прибор.

Классифицируют ЦВ по назначению (постоянного напряжения, универсальные, импульсные), по схемному решению (с жесткой логикой работы и с микропроцессорным управлением), по методу аналого-цифрового преобразования (время-импульсные, поразрядного уравнивания, частотно-импульсные).

Учитывая, что ЦВ переменных напряжений представляют собой сочетание ЦВ постоянного напряжения и входного измерительного преобразователя переменного напряжения в постоянное напряжение (эти преобразователи обычно находятся во входном устройстве), рассмотрим принцип действия приборов постоянного напряжения.

Структурная схема и временные диаграммы время-импульсного вольтметра приведены на рис 8.1.

Генератор линейно-изменяющего напряжения (ГЛИН)  $G_2$ , устройство сравнения УС, одновибраторы  $G_3$  и  $G_4$  и триггер  $T$  образуют преобразователь входного напряжения (обозначен пунктиром)  $u_{вх}$  в интервал времени  $\Delta t$ , в течение которого от генератора прямоугольных импульсов  $G_1$  частотой  $f_0$  через логический элемент И на счетчик Сч проходит  $N$  импульсов. Очевидно, что число  $N$  пропорционально  $\Delta t$ , а значит и  $u_{вх}$ . Фронт сигнала 2 делителя частоты ДЧ (частота его выходных сигналов в  $K$  раз меньше  $f_0$ ) устанавливает триггер  $T$  через одновибратор  $G_3$  в состояние 1, сбрасывает Сч в нулевое состояние и запускает  $G_2$ . Срез сигнала 2 дает команду на запись кода из Сч в регистр цифрового отсчетного устройства ЦОУ. Когда  $u_0$  становится больше  $u_{вх}$ , фронт сигнала 4 через одновибратор  $G_4$  возвращает триггер  $T$  в исходное состояние. Из рис.8.1,б видно, что

$$N = \Delta t / T_0 = \Delta t f_0; \Delta t = U_{вх} / S, \quad (8.1)$$

где  $S$  — крутизна  $u_0(t)$ ;

$$N = (f_0 / S) U_{вх}; U_{вх} = SN / f_0. \quad (8.2)$$

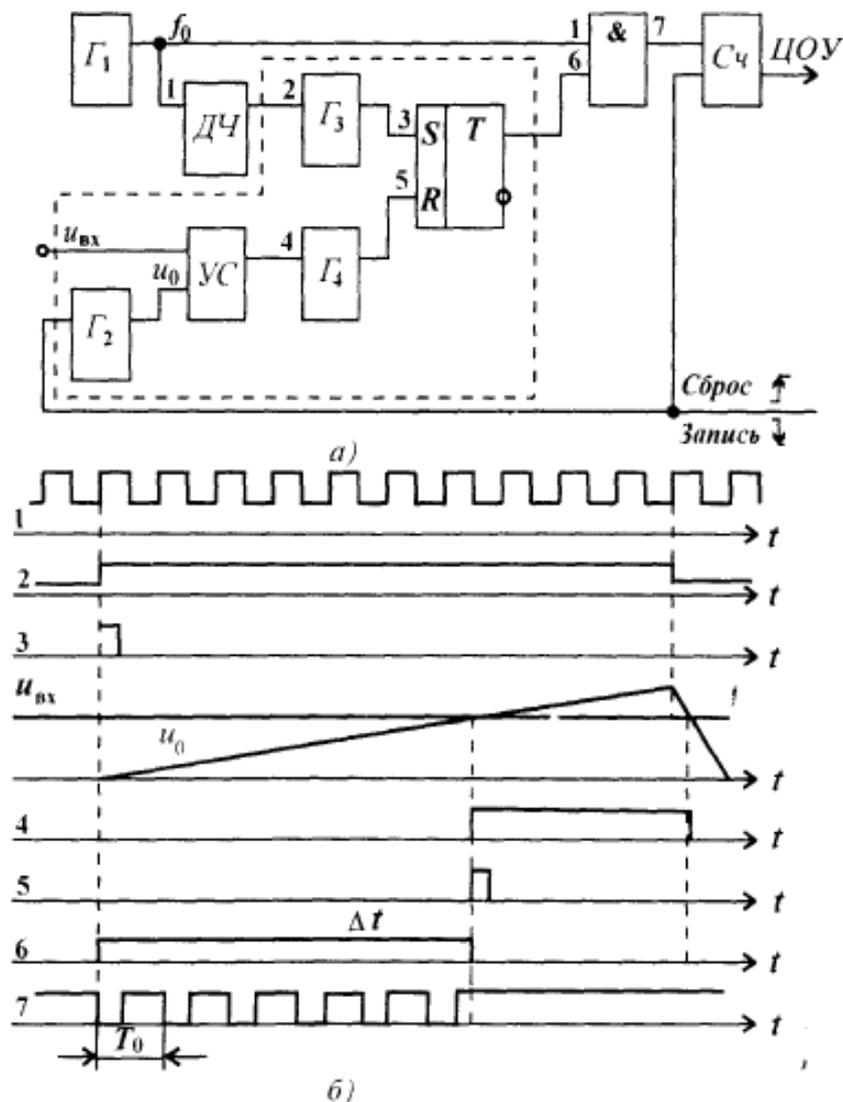


Рис 8.1 Структурная схема время-импульсного вольтметра (а) и его временные диаграммы (б)

### Контрольные вопросы

1. Какие достоинства у цифровых вольтметров?
2. Как классифицируют цифровые вольтметры?
3. Принцип действия время-импульсного цифрового вольтметра.

### Лекция 9.

**Применение импульсных устройств в схемах управления промышленной автоматикой (автоматизация измерения и контроля уровня) и в счетных схемах (реле времени со счетчиком импульсов).**

### План

1. Понятие о сигнализаторах уровня жидкости.
2. Принцип действия сигнализатора уровня жидкости.

### 3. Реле времени.

#### **Ключевые слова**

Промышленная автоматика. Сигнализатор уровня жидкости. Реле времени.

#### **Сигнализаторы уровня жидкости**

Сигнализаторы уровня являются наиболее распространёнными устройствами автоматике. Принцип действия этих устройств весьма разнообразен и определяется как физическими свойствами среды, так и поставленными задачами. В промышленности для измерения и сигнализации уровня различных жидкостей в ёмкостях используют различные способы. Измерители и сигнализаторы уровня могут быть радарного типа, часто применяются поплавковые датчики - при всплытии поплавок срабатывает контактный или бесконтактный сигнализатор. Достаточно распространены ёмкостные сигнализаторы, представляющие собой контрольные электроды, покрытые изолирующим слоем, например, фторопластом. Когда жидкость покрывает электроды, подключенные к генератору, увеличивается электрическая ёмкость электрода относительно стенок резервуара или рядом расположенного вспомогательного электрода, изменение которой измеряет вторичный прибор. Для сигнализации уровня электропроводных неагрессивных жидкостей чаще всего применяют контрольные электроды, представляющие собой прут из нержавеющей стали или иного материала, не подверженного окислению, закреплённый на специальном изоляторе - зонде, который имеет крепёжные элементы.

Обычно уровень переменного напряжения на контрольных электродах составляет около 6 В, а электронная схема срабатывает при сопротивлении в цепи контрольного электрода ниже 3 кОм. Схема сигнализатора должна иметь симметричный вход для обеих полуволин контрольного напряжения. Напряжение, выделенное на измерительном резисторе, выпрямляется и поступает на вход порогового элемента, имеющего гистерезисную характеристику, на выходе которого подключается реле или бесконтактный коммутационный элемент.

Сигнализаторы уровня чаще всего применяются как составная часть системы автоматике, контролирующей ёмкость. Выходы сигнализаторов подключают к управляющей схеме или к устройствам дистанционной световой и звуковой сигнализации. В схеме, изображённой на рис. 9.1, используются чувствительные реле постоянного тока, имеющие гистерезис характеристики тока срабатывания и отпускания, что предотвращает хаотичное срабатывание в момент касания водой контрольного электрода. Диодные мосты позволяют подавать на электроды переменный ток. Электролитические конденсаторы предотвращают ложное срабатывание реле при волнении поверхности воды, обеспечивая небольшую задержку на включение и отключение реле. Выходы реле подключают к дистанционным световым и звуковым оповещателям или

устройствам автоматического наполнения ёмкости. Промышленные схемы сигнализаторов уровня обычно содержат три независимых канала контроля, которые чаще всего используются для управления насосами по двум рабочим уровням - верхнему и нижнему, а третий канал используется для контроля аварийного уровня - нижнего или верхнего в зависимости от назначения ёмкости и алгоритма работы управляющего устройства.

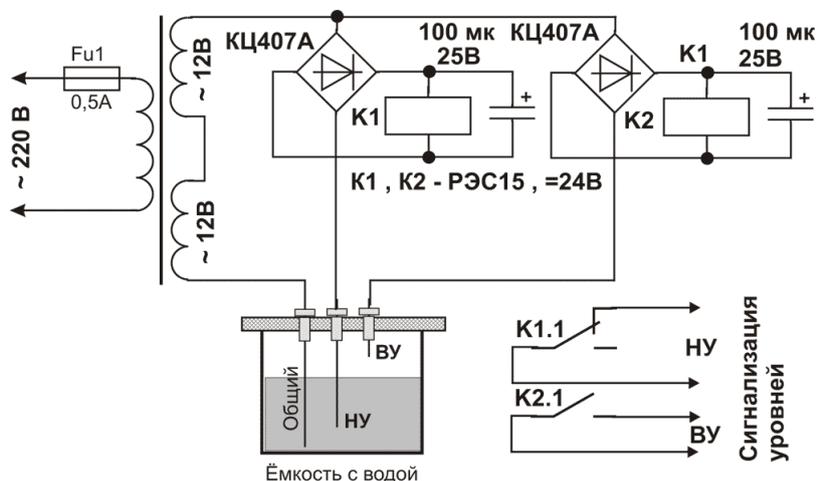


Рис. 9.1

### Реле времени

Реле времени широко применяются в быту и промышленной автоматике для получения задержки включения или отключения различных устройств, в схемах сигнализации, в различных бытовых приборах для ограничения времени работы этих устройств, если забыли их выключить. Данные устройства можно использовать для автоматического отключения дежурного освещения, включения охранной сигнализации через некоторое время, после того, как Вы покинули охраняемый объект, в качестве таймера автоматического отключения электрооборудования и т.д. Как правило, в схемах реле времени используют специализированные микросхемы - счётчики с предустановкой коэффициента деления и встроенным задающим генератором, что позволяет изменять параметры устройства в очень широких пределах. При отсутствии специализированных микросхем реле времени легко собрать на очень широко распространённых КМОП элементах. Для получения коротких выдержек в несколько секунд иногда используют зарядные RC цепи, которые подключаются к пороговым элементам с высоким входным сопротивлением - КМОП триггерам Шмитта, компараторам, интегральным таймерам NE555N, операционным усилителям, полевым транзисторам и другим элементам, но такие схемы сложно настраивать, а стабильность их выдержки невысока.

Реле времени (рис. 9.2) собрано на специализированной микросхеме КР512ПС10, очень широко применяемой в подобных устройствах. Точное время задержки срабатывания устанавливается подбором R1, C1. Для дискретного изменения времени задержки в широких пределах используются входы предустановки коэффициента деления M1 ... M5, назначение которых пока-

зано в таблице. Установкой перемычек на плате можно задать время от нескольких секунд до нескольких суток. Перемычка S1 позволяет получить различный режим работы: если замкнуть площадки 1, 2, реле времени будет периодически включаться и выключаться через заданное время, причем время включенного состояния равно времени выключенного состояния. Если замкнуть площадки 2, 3 - реле времени отсчитает заданный интервал и включит выходное реле, которое останется в этом состоянии сколь угодно долго, пока не будет выключено и заново включено напряжение питания. Более удобна микросхема MC14536BCP или CD4536B, которая имеет широкий диапазон напряжения питания - до 18 В, вместо +6 В у КР512ПС10, что позволяет легко встраивать узлы задержки времени в различные устройства автоматики на КМОП микросхемах.

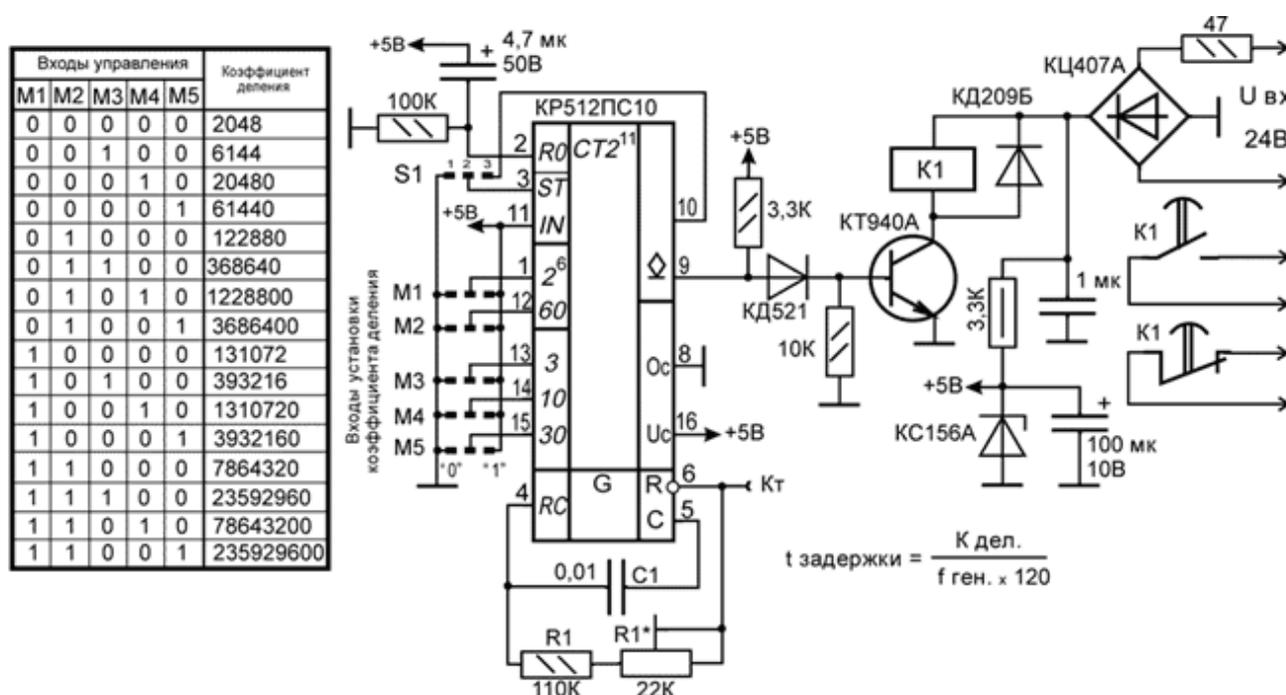


Рис. 9.2

### Контрольные вопросы

1. Какие способы применяются для измерения и сигнализации уровня жидкостей?
2. Принцип действия сигнализатора уровня жидкости.
3. Для чего предназначены реле времени?
4. Принцип действия реле времени.

## Лекция 10.

### Устройства защиты и противоаварийной автоматики сети переменного тока и электрифицированного транспорта.

#### План

1. Общие сведения об авариях в силовых электронных устройствах.
2. Применение устройств защиты и аварийной автоматики.

#### Ключевые слова

Авария. Устройство защиты. Противоаварийная автоматика.

Аварии, возникающие при эксплуатации силовых электронных устройств, в самом общем виде можно разделить на две группы: внутренние и внешние. Внутренние аварии обусловлены, как правило, отказом или изменением параметров одного или нескольких элементов устройства, а внешние — отклонением сверх допустимых значений параметров электроэнергии, питающей устройство. Для предотвращения развития аварийных процессов в силовых электронных устройствах предусматриваются различные виды защит. Последние отличаются функциональным назначением и схемотехническим исполнением.

Основой многих вторичных источников питания является выпрямитель. Внутренние аварии выпрямителя чаще всего бывают связаны с повреждением тиристоров или нарушениями работы системы управления (СУ). Аварии, вызванные выходом из строя тиристоров по причине электрического или теплового пробоя, являются, как правило, наиболее тяжелыми, так как сопровождаются протеканием в схеме больших аварийных токов. Так, пробой одного из тиристоров трехфазного мостового выпрямителя приводит к возникновению короткого замыкания (КЗ) между двумя соответствующими фазами, рассматриваемого обычно как режим внутреннего КЗ. Максимальные значения аварийных токов в элементах схемы выпрямителя при этом зависят также от момента возникновения КЗ (т. е. фазы соответствующей ЭДС). В наиболее неблагоприятном случае значение аварийных токов в цепях неповрежденных тиристоров достигает двойной амплитуды установившегося тока, которая появляется при КЗ на выходе согласующего трансформатора. Это значение определяется внутренним сопротивлением питающей сети и параметрами согласующего трансформатора.

При возникновении внешних или внутренних КЗ, а также при токовых перегрузках элементы выпрямителей подвергаются повышенным тепловым и электродинамическим воздействиям. Для предотвращения выхода из строя оставшихся в работе полупроводниковых элементов применяются различные защитные средства.

Следует отметить, что ряд внутренних аварий (например, нарушение нормальной работы СУ, потеря управляемости тиристором и др.) не вызывает значительных изменений токов в элементах силовых цепей, но приводит к ухудшению выходных параметров (недопустимым отклонениям выходного напря-

жения, повышенным уровням пульсаций и др.). Если потребитель критичен к этим изменениям, то возникает необходимость его защиты при авариях такого рода. К внешним авариям также относится появление на входе сетевых перенапряжений, способных нарушить нормальную работу схемы или привести к выходу из строя ее элементов. Для исключения этого необходимо предусматривать защиту от входных перенапряжений.

Основными требованиями к защитным средствам силовых электронных устройств в целом и - выпрямителей в частности являются требования по обеспечению надежности, селективности и быстродействия. Если первые два требования характерны для большинства электротехнических устройств, то требование по быстродействию обусловлено спецификой силовых полупроводниковых приборов, которые обладают низкой перегрузочной способностью. Кроме того, выход из строя этих приборов происходит при превышении допустимых мгновенных значений токов и напряжений, приводящем к нарушению внутренней их структуры.

Наиболее простым способом защиты полупроводниковых приборов является использование предохранителей, выполненных на основе плавких вставок. Это специальные типы предохранителей, отличающихся высоким быстродействием. Такие быстродействующие предохранители обычно предназначены для защиты от токов КЗ, но не перегрузки. Особенностью использования предохранителей является необходимость согласования тепловых эквивалентов плавких вставок и полупроводниковых приборов. Обычно для эффективной защиты необходимо недогружать полупроводниковые приборы по току. Некоторые типы предохранителей, предназначенные для защиты силовых диодов и тиристоров, имеют средства сигнализации в виде микропереключателей, срабатывающих при перегорании плавкой вставки. Основным недостатком защитных устройств, выполненных на основе предохранителей, является необходимость в замене перегоревших вставок, что снижает степень автоматизации работ при обслуживании. В то же время предохранители являются практически единственным эффективным защитным устройством полупроводниковых приборов при их параллельном соединении. Обычно количество параллельно включаемых приборов выбирается с запасом, обеспечивающим нормальную работу электронного устройства при выходе из строя одного из группы параллельно включенных приборов.

Для защиты выпрямителей широко применяются быстродействующие автоматические выключатели, обеспечивающие многократное действие и возможность дистанционного управления. Автоматические выключатели (автоматы) обычно устанавливаются на входе выпрямителей в цепях, по которым в схему поступает напряжение питающей сети. Отключение автоматов при аварийных токах происходит за счет действия их защитных электромагнитных устройств, срабатывающих при достижении аварийным током установленного значения. Время отключения современных быстродействующих автоматов составляет единицы миллисекунд. Отключение автомата при токах перегрузки производится за счет срабатывания встроенных в автомат тепловых защитных устройств. Очевидно, что параметры защитного автомата должны выбираться

из условия обеспечения защиты неповрежденных полупроводниковых приборов при возникновении аварий. Для повышения эффективности защиты в мощных выпрямителях иногда используют сочетание автоматических выключателей и короткозамыкателей. Последние представляют собой устройства, создающие «глухое» КЗ металлическими контактами обычно на входе выпрямителя. Они обладают более высоким быстродействием по сравнению с коммутационными автоматами и при срабатывании шунтируют тиристорные цепи так, что аварийный ток начинает протекать через контакты короткозамыкателя минуя цепи тиристоров. Затем происходит срабатывание автомата, отключающего поврежденный выпрямитель от сети.

В управляемых выпрямителях, выполняемых на тиристорах или других управляемых полупроводниковых приборах, возможно использование других способов защиты, реализуемых посредством электронных устройств. Основными из них являются: блокирование управляющих импульсов тиристоров; перевод выпрямителя в инверторный режим путем сдвига управляющих импульсов в тиристорах; принудительное прерывание аварийных токов с помощью коммутирующей емкости. Электронные защиты наиболее эффективны при внешних авариях, когда все элементы схемы к моменту возникновения аварии работают нормально. Обычно в преобразователях используют как электронные, так и электромеханические устройства защиты, что позволяет осуществить защиту в обширной области различных аварийных режимов, возникающих при эксплуатации. Контроль возникновения аварий осуществляется датчиками соответствующих параметров.

### **Контрольные вопросы**

1. На какие группы разделяются аварии, возникающие при эксплуатации силовых электронных устройств? Чем они обусловлены?
2. С чем связаны внутренние аварии выпрямителя?
3. Что относится к внешним авариям выпрямителя?
4. Перечислите основные требования к защитным средствам силовых электронных устройств.
5. Какие средства применяются для защиты силовых электронных устройств?

### **Лекция 11.**

#### **Структурная схема и принцип работы радиопередающих и радиоприёмных устройств.**

#### **План**

1. Структурная схема и принцип работы радиопередающего устройства.
2. Структурная схема и принцип работы приёмника прямого усиления.
3. Структурная схема и принцип работы супергетеродинного приемника.

#### **Ключевые слова**

Радиопредающее устройство, радиоприёмное устройство, приёмник прямого усиления, супергетеродинный приёмник, модулятор, задающий генератор, синтезатор частот, генератор несущей частоты, гетеродин, преобразователь частоты, демодулятор, детектор, усилитель высоких частот, усилитель низких частот, усилитель мощности

Под радиопередающим устройством (РПДУ) понимают комплекс оборудования, предназначенный для формирования и излучения радиосигналов. Основными узлами РПДУ являются генератор несущей частоты и модулятор. В современных системах связи РПДУ содержит и другое оборудование: источники питания, системы синхронизации, автоматического управления, контроля и сигнализации, защиты и т.д.

Обобщенная структурная схема радиопередающего устройства с амплитудной либо фазовой модуляцией сигналов приведена на рисунке 11.1.

Первичный сигнал, подлежащий передаче, поступает на входную цепь. Входная цепь обеспечивает согласование этого сигнала с РПДУ.

Генератор несущей частоты формирует колебания несущей частоты, которые и являются переносчиками сообщения. В современных системах связи генератор несущей частоты выполняют в виде синтезатора частот. Синтезатор частот - устройство, предназначенное для формирования в заданном диапазоне частот высоко стабильных колебаний, определяемых стабильностью параметров задающего генератора.

Модулятор - узел, в котором на параметры несущего колебания накладывается передаваемое сообщение.



Рис. 11.1 Обобщенная структурная схема радиопередающего устройства

Усилитель мощности предназначен для увеличения уровня радиосигнала до величины, определяемой мощностью излучаемого сигнала в системе связи. Необходимое согласование РПДУ с антенной обеспечивает выходная цепь.

Под радиоприемным устройством (РПМУ) понимается комплекс технических средств, предназначенных для выделения радиосигналов с определенными свойствами из множества электромагнитных колебаний, присутствующих в месте приема. Мощность полезного сигнала может составлять ничтожную долю от суммарной мощности электромагнитных колебаний в месте приема. РПМУ предназначено для выделения полезного радиосигнала из смеси принятых сигналов и восстановления передаваемого сообщения.

Основные характеристики РПМУ во многом определяются структурой его построения. В настоящее время используется несколько принципов построения РпМУ. Рассмотрим две наиболее часто встречающиеся технологии приема радиосигналов.

Схема приемника прямого усиления приведена на рисунке 7.6. На вход приемника поступает вся совокупность сигналов, наведенных в антенне в месте приема. Наряду с полезными сигналами в приемной антенне наводятся электромагнитные колебания других радиостанций и иных источников радиоизлучения.

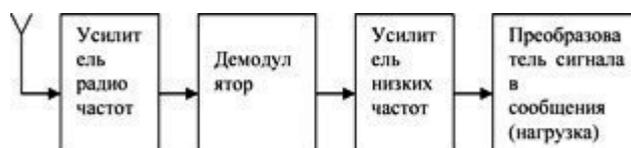


Рис. 7.6 Структурная схема приемника прямого усиления

Усилитель радиочастот из смеси наведенных в антенне сигналов выбирает и усиливает только те колебания, частота которых соответствует несущей частоте полезного сигнала. Затем выделенный и усиленный до необходимого уровня полезный радиосигнал поступает на демодулятор. Демодулятор выполняет операции, обратные операциям модуляции в передатчике, в итоге на выходе демодулятора формируется сигнал, соответствующий передаваемому сообщению. В большинстве случаев этот сигнал слаб и поэтому усиливается до необходимой величины в усилителе низких частот. Нагрузкой усилителя низких частот является преобразователь сигнала в сообщения.

Схема приемника очень проста, но с ростом частоты принимаемого сигнала становится все труднее обеспечить хорошую избирательность и чувствительность принимаемых сигналов, особенно при перестройке несущей частоты.

Более универсальной является техника приема с преобразованием частоты принимаемых сигналов. Обобщенная структурная схема супергетеродинного приемника приведена на рисунке 11.2



Рис. 11.2 Структурная схема супергетеродинного приемника

Отличительной особенностью супергетеродинного приема является преобразование (перенос) спектра принимаемого сигнала из области несущей частоты в область промежуточной частоты с помощью местного малоомощного генератора (гетеродина). Достоинством такой технологии приема является то, что при изменении несущей частоты принимаемого сигнала нет необходимости изменять параметры настройки многокаскадного усилителя радиочастот, достаточно изменить частоту гетеродина. Технически это гораздо проще, чем добиваться одинакового изменения параметров в каскадах со сложными характеристиками. В конечном итоге это дает возможность строить приемники радиосигналов с хорошими показателями чувствительности и избирательности, так как основное усиление сигнала осуществляется в постоянном диапазоне частот.

На вход усилителя радиочастот (УРЧ) поступает вся совокупность сигналов и помех, наведенных в антенне в месте приема. Усилитель радиочастот выполняет предварительную селекцию (отбор) сигналов с частотой, равной частоте полезного (принимаемого) сигнала. Основное усиление сигнал получает в усилителе промежуточной частоты (УПЧ), на вход которого поступают продукты преобразования, получаемые в преобразователе частоты при смешивании принимаемого сигнала с выхода УРЧ и колебаний гетеродина. Преобразователем частоты называют устройство, с помощью которого переносится спектр принимаемого сигнала, расположенный в районе частоты несущего колебания, называемый радиочастотой, в область несущих колебаний с другим значением частоты, называемой промежуточной частотой.

Последующие узлы приемника: демодулятор, усилитель низких частот, нагрузка выполняют те же операции, что и подобные каскады приемника прямого усиления.

Основными характеристиками радиоприемных устройств являются чувствительность, избирательность, помехоустойчивость.

Преимущества цифровых методов обработки информации (передача, хранение, преобразование) способствовали широкому распространению цифровых систем связи. Достоинством представления сигналов в цифровом виде является также ее универсальность, то есть независимость от природы передаваемых сообщений. Современные системы связи способны передавать не только дискретные сообщения, но и непрерывные (как по времени, так и по уровню). Для преобразования непрерывных сигналов в цифровые служат специальные устройства - аналого-цифровые преобразователи (АЦП).

### **Контрольные вопросы**

1. Что называется радиопередающим устройством?
2. Назовите основные функциональные узлы радиопередающего устройства и их назначение.
3. Что называется радиоприёмным устройством?
4. Назовите основные функциональные узлы радиоприёмного устройства и их назначение.

## **Лекция 12.**

### **Структурные схемы и принцип работы телевизионных передающих и приемных устройств. Использование телевизионных устройств в промышленности.**

#### **План**

1. Структурная схема и принцип действия телевизионной системы.
2. Применение промышленных телевизионных установок.

#### **Ключевые слова**

Телевидение, телевизионная система, передающая часть ТВ системы, приёмная часть ТВ системы, развёртка, строчная развёртка, кадровая развёртка, сигнал изображения, видеосигнал, полный ТВ сигнал

ТВ система (рисунок 12.1) состоит из двух частей: передающей и приемной, соединенных линией связи. В передающей части системы изображение наблюдаемого объекта с помощью объектива 2 проецируется на передающую трубку 3, находящуюся в передающей ТВ камере 1. Передающая трубка в процессе развертки формирует видеосигнал, который после предварительного усиления в усилителе ТВ камеры 5 поступает в ТВ канал 7. Для ТВ развертки на отклоняющую систему 4 передающей трубки подаются электрические сигналы пилообразной формы строчной частоты и частоты полей. Эти сигналы вырабатываются в блоке разверток 6 передающей камеры. В ТВ канале происходит дальнейшее усиление видеосигнала, коррекция его искажений и формирование полного ТВ сигнала, для чего в видеосигнал замешиваются гасящие и СИ строк и полей. Эти импульсы заводятся в ТВ канал от специального генератора импульсов - синхрогенератора 9. Синхрогенератор вырабатывает импульсы, необходимые для работы всей ТВ системы и обеспечивает строгое соотношение частот между ними. Вырабатываемые синхрогенератором СИ обеспечивают синхронность и синфазность разверток приемной и передающей трубок. Поскольку блок разверток передающей трубки находится непосредственно в передающей камере, то КСИ и ССИ отдельно подводятся к соответствующим генераторам блока разверток непосредственно от синхрогенератора. Необходимая для синхронизации блока разверток приемной трубки смесь синхроимпульсов передается вместе с видеосигналом.

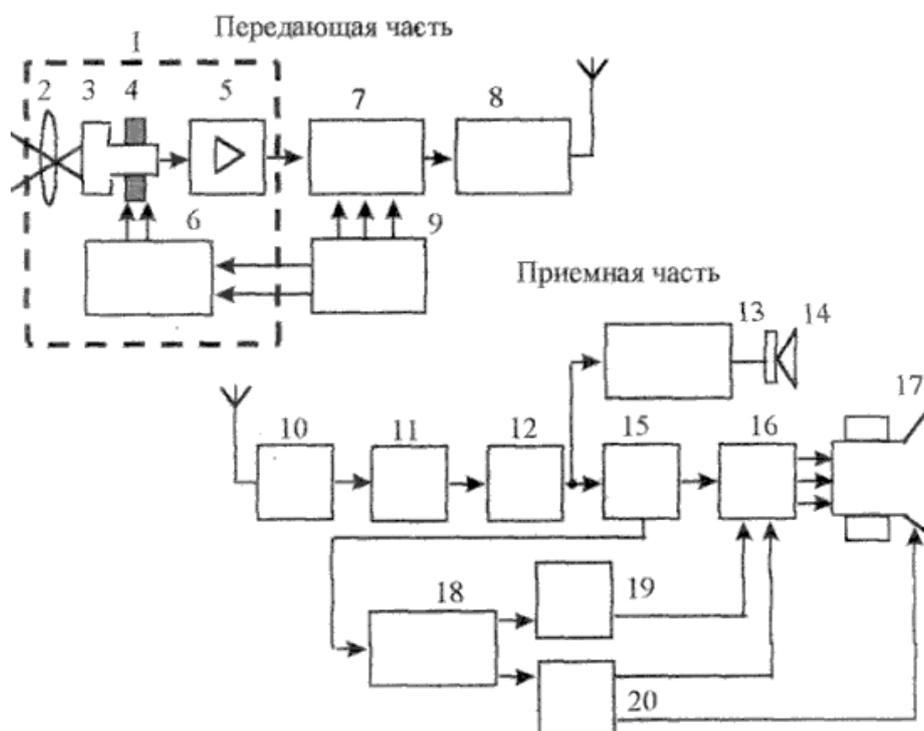


Рисунок 12.1 - Структурная схема ТВ системы

Сформированный и усиленный полный ТВ сигнал поступает на модулятор радиопередатчика 8, где модулирует его несущую частоту, а затем в виде высокочастотных колебаний поступает в передающую антенну.

Принятые приемной антенной радиосигналы непосредственно поступают в ТВ приемник. Современные ТВ приемники строятся только по супергетеродинной схеме. В телевизорах применяется совместное усиление высокочастотным трактом сигналов изображения и звукового сопровождения с последующим их разделением и дополнительным усилением. В зависимости от точки разделения сигналов усилительный тракт ТВ приемника строится по одному из двух вариантов, называемых одноканальным и двухканальным.

Одноканальная схема предполагает общее усиление на промежуточной частоте ТВ сигнала и сигнала звукового сопровождения (см. рисунок 12.1). Поэтому в высокочастотной части телевизора 10 осуществляется выбор соответствующего канала, предварительное усиление радиосигналов и их частотное преобразование в промежуточные частоты изображения (38 МГц) и звукового сопровождения (31,5 МГц). Оба сигнала после преобразования усиливаются одним многокаскадным услителем промежуточной частоты 11, который имеет достаточно широкую полосу пропускания а затем детектируются амплитудным детектором 12. Видеодетектор представляет собой нелинейный элемент и выполняет функцию простейшего преобразователя. Поэтому на его входе, кроме видеоспектра, образуется также сигнал частоты биений между промежуточными несущими частотами изображения и звука. Разностный сигнал с частотой  $f_{ПЧ.И} - f_{ПЧ.ЗВ} = 38 - 31,5$  МГц модулирован по частоте и амплитуде. Полезная информация, соответствующая сигналу звукового сопровождения, определяется ЧМ сигнала разностной частоты.

Основное преимущество одноканальной схемы ТВ приемника состоит не только в отсутствии необходимости иметь отдельные гетеродины и смесители для сигналов изображения и звука, но и в том, что отсутствует нестабильность настройки сигнала звукового сопровождения, связанная с изменением частоты гетеродина в блоке 10. В данном случае отклонение частоты генератора высокочастотного блока телевизора от номинала приводит к равному изменению промежуточных частот видеосигнала и сигнала звука, а разностная частота, равная 6,5 МГц, остается неизменной. На разностную частоту настроены усилитель промежуточной частоты звука, амплитудный ограничитель и частотный детектор, входящие в канал звукового сопровождения 13. Кроме того, в блок 13 входит и усилитель низкой частоты, с выхода которого усиленный сигнал звуковой частоты подается на акустическую систему 14.

Усиленный видеоуслителем 15 полный ТВ сигнал подается на блок цветности 16, в котором формируются видеосигналы основных цветов, подводимые к цветному кинескопу 17.

С выхода видеоусилителя сигнал поступает также в канал синхронизации 18, в котором обеспечивается отделение синхроимпульсов от видеосигнала и разделение ССИ и КСИ. Далее эти импульсы синхронизируют задающие генераторы блоков кадровой 19 и строчной 20 разверток электронных лучей кинескопа соответственно. Формируемые генераторами разверток отклоняющие токи подаются на отклоняющую систему кинескопа. Кроме того, выходной каскад генератора строчной развертки одновременно служит источником высокого напряжения для питания кинескопа, которое получается путем выпрямления импульсов строчной частоты, образуемых в обмотке автотрансформатора этого каскада. В современных ТВ приемниках используются автоматические регулировки ряда параметров, например, яркости, размера раstra. Блоки 10, 11 приемника, как правило, охвачены схемой автоматической регулировки усиления (АРУ), обеспечивающей поддержание выходного уровня видеосигнала как при переходе приема с одной программы на другую, так и при изменении условий распространения радиоволн и других факторов, влияющих на величину видеосигнала.

В промышленности широко применяются методы и средства, используемые в прикладном телевидении. Это касается как задач наблюдения за различными объектами, так и измерений всевозможных величин.

Прикладные (промышленные) телевизионные установки (ПТУ) используются в космических исследованиях. Нельзя себе представить этих исследований без использования прикладного (космического) телевидения. Наблюдение и контроль за поведением и самочувствием космонавтов в летательных аппаратах, визуальное исследование ландшафтов далеких планет, управление самодвижущимися аппаратами, посланными с Земли на эти планеты, возможно только при помощи телевидения. Огромные успехи науки о космосе не могли бы быть достигнуты без использования специальных телевизионных устройств.

Атомные исследования. Научная и технологическая работа с радиоактивными веществами часто ставит под угрозу здоровье и жизнь экспери-

ментаторов и технологов. Использование специальных телевизионных установок в этих случаях делает указанную работу безопасной. Телевидение позволяет на расстоянии наблюдать, например, за процессами в атомном реакторе. В комплекте со специальными работами объемные и цветные установки как бы удлиняют руки человека, дают возможность при визуальном контроле производить разнообразные манипуляции с радиоактивными материалами, оставаясь на безопасном от них расстоянии. Контроль промышленной продукции. На многих заводах и фабриках используются промышленные телевизионные автоматы, осуществляющие контроль различных параметров изготавливаемых изделий: размеров, конфигурации, наличия дефектов в структуре (например, раковин внутри стального листа) и др. Важным обстоятельством является в этих устройствах бесконтактный метод контроля. Это значит, что при измерении, например, толщины изделия (проволоки, металлического листа) нет необходимости прислонять к нему какой-либо измерительный инструмент, задерживать или приостанавливать производственный процесс. Передающая камера телевизионного автомата «смотрит» на изделие, а образующийся при этом видеосигнал служит для управления, сигнализации и автоматической регулировки.

Диспетчеризация производства. Диспетчер (с англ.) – контролер, распорядитель; диспетчеризация – система централизованного контроля и управления (на транспорте, производстве), осуществляемая диспетчером. Диспетчерские телевизионные установки позволяют диспетчеру осуществлять оперативный визуальный контроль производства. Так, например, не выходя из своего служебного помещения, диспетчер на экране видеопросмотровых устройств может наблюдать работу сборочных конвейеров, сортировку вагонов на железнодорожной станции и пр.

Учебное телевидение. Телевидение стало широко применяться для учебных целей. Например, в медицинских клиниках осуществляется показ на большом телевизионном цветном экране сложных хирургических операций для большой аудитории молодых врачей и студентов-медиков.

### **Контрольные вопросы**

1. Из каких частей состоит телевизионная система?
2. Какие функциональные блоки входят в передающую часть ТВ системы?
3. Принцип действия передающей ТВ системы?
4. Какие функциональные блоки входят в приёмную часть ТВ системы?
5. Принцип действия приёмной части ТВ системы?
6. Где применяются прикладные ТВ установки?

### **Лекция 13.**

**Вентильные преобразовательные устройства: выпрямители, инверторы и регуляторы напряжения. Преобразовательное устройство как автоматический регулятор в автоматических системах.**

## План

1. Общие сведения о вентильных преобразователях.
2. Структурная схема управляемого выпрямителя.
3. Понятие об импульсном преобразователе постоянного напряжения.
4. Структурная схема инвертора.

## Ключевые слова

Вентильный преобразователь, управляемый выпрямитель, импульсный преобразователь постоянного напряжения, инвертор.

Значительная часть производимой электроэнергии потребляется в виде постоянного тока или тока нестандартной частоты. Преобразование электрической энергии в настоящее время выполняется полупроводниковыми преобразователями. Основными видами преобразователей являются выпрямители (преобразование переменного тока в постоянный), инверторы (преобразование постоянного тока в переменный), преобразователи частоты, регулируемые преобразователи постоянного и переменного напряжений.

Полупроводниковые преобразователи электрической энергии являются одним из основных нагрузочных элементов сетей, их работа во многом определяет режимы работы сетей. Вентильные преобразователи используются для питания электроприводов и электротехнологических установок, для возбуждения синхронных электрических машин и в схемах частотного пуска гидрогенераторов.

**Структурная схема управляемого выпрямителя представлена на рис. 13.1, а.** Основными функциональными узлами данного устройства являются: управляемый выпрямитель  $УВп$ , обеспечивающий выпрямление переменного тока и управление током заряда; регулятор  $P$ , вырабатывающий импульсы управления тиристорами, фаза которых изменяется по определенному закону в зависимости от напряжения сети, напряжения батареи, тока нагрузки и режима заряда; режимное устройство  $ПУ$ , переключающее режим заряда.

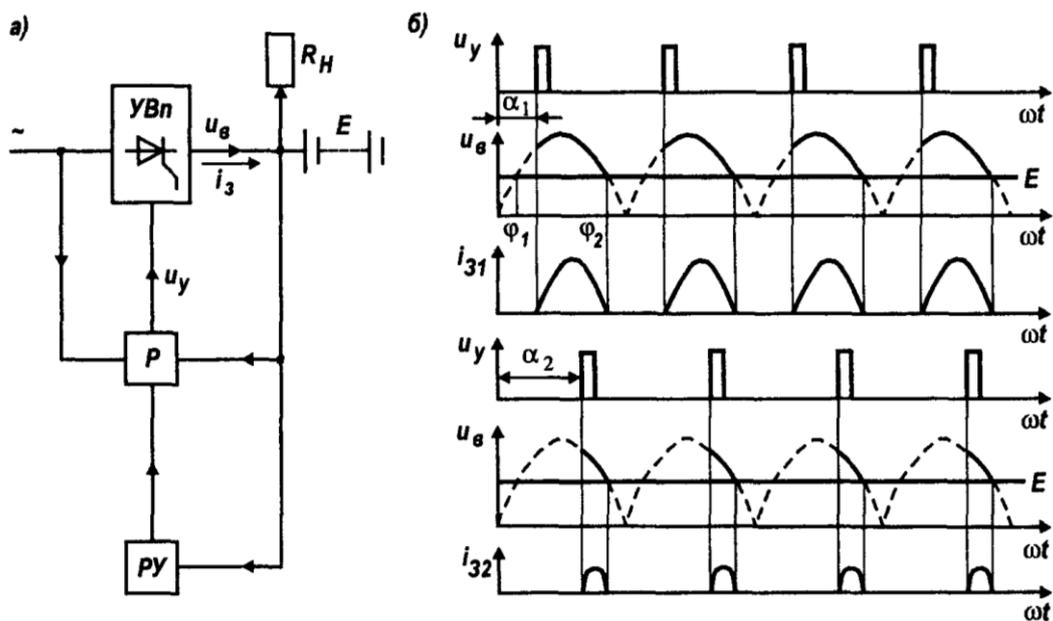


Рис. 13.1. Структурная схема управляемого выпрямителя (а) и диаграммы управления однофазным выпрямленным током (б): УВп – управляемый выпрямитель, Р – регулятор, РУ – режимное устройство

Регулирующим элементом в управляемых выпрямителях является тиристор, который открывается импульсом тока, подаваемым на управляющий электрод, и запирается в результате снижения до нуля мгновенного значения выпрямленного тока при переходе через нуль переменного напряжения питания. Смещением управляющего импульса относительно нулевой фазы напряжения сети изменяется момент отпирания тиристора, а тем самым и угол отсечки выпрямленного тока и его среднее значение. В закрытом состоянии тиристора все напряжение питания приложено между его анодом и катодом, ток утечки (в нагрузке) близок к нулю. В открытом состоянии тиристора от источника питания через батарею протекает ток заряда, при этом падение напряжения на тиристоре составляет доли вольта и потери энергии незначительны.

Регулятор  $P$  содержит устройства ручного и автоматического изменения фазы управляющих импульсов. Элементы ручного регулирования служат для установки требуемого тока заряда батареи, а элементы автоматического регулирования — для поддержания стабильности установленного тока или изменения его в зависимости от тока нагрузки и напряжения батареи.

Регулятор  $P$  может базироваться на принципе горизонтального или вертикального управления. Принцип горизонтального управления осуществляется сдвигом синусоидального напряжения по фазе, а затем формированием из него импульса управления тиристором. Принцип вертикального управления заключается в том, что управляющий импульс формируется в момент равенства постоянного напряжения управления  $U$  и переменного напряжения  $u_0$  пилообразной формы, синхронизированного с переменным напряжением, подаваемым на аноды тиристорov. Изменяя напряжение  $U$ , т. е. сдвигая по вертикали момент равенства напряжений  $U$  и  $u_0$ , можно регулировать фазу управляющего импуль-

са относительно момента подачи положительной полуволны напряжения на анод тиристора.

Режимное устройство  $PY$  автоматически переключает режим работы управляемого выпрямителя  $VBn$  в зависимости от напряжения батареи.  $PY$  может переключать токи импульсного подзаряда батареи или включать ускоренный ее заряд.

Принцип управления током при двухполупериодном выпрямлении ясен из диаграмм, приведенных на рис. 13.1, б. Однофазное напряжение на выходе управляемого выпрямителя  $u_e$  показано сплошными линиями над прямой  $E$ , изображающей э.д.с. аккумуляторной батареи, а полуволны напряжения на выходе неуправляемого выпрямителя – штриховой линией.

Ток заряда протекает в ту часть полупериода, когда напряжение  $u_b$  больше  $E$  (это относится к схемам без фильтрующего дросселя). Регулированием угла сдвига  $\alpha$  управляющего импульса  $u_y$  достигается изменение тока заряда  $i_3$  батареи ( $\alpha_1 < \alpha_2$  и  $i_{31} > i_{32}$ ).

В трехфазном управляемом выпрямителе имеются три тиристора, каждый из которых выпрямляет напряжение одной из трех фаз. В остальном принцип действия выпрямителя такой же.

Схемы регуляторов–стабилизаторов и инвертора представлены на рис. 13.2–13.4. Управляемые выпрямители и регуляторы постоянного напряжения используются в электроприводе постоянного тока. Инверторы используются в приводе переменного тока и частотном управлении двигателем.

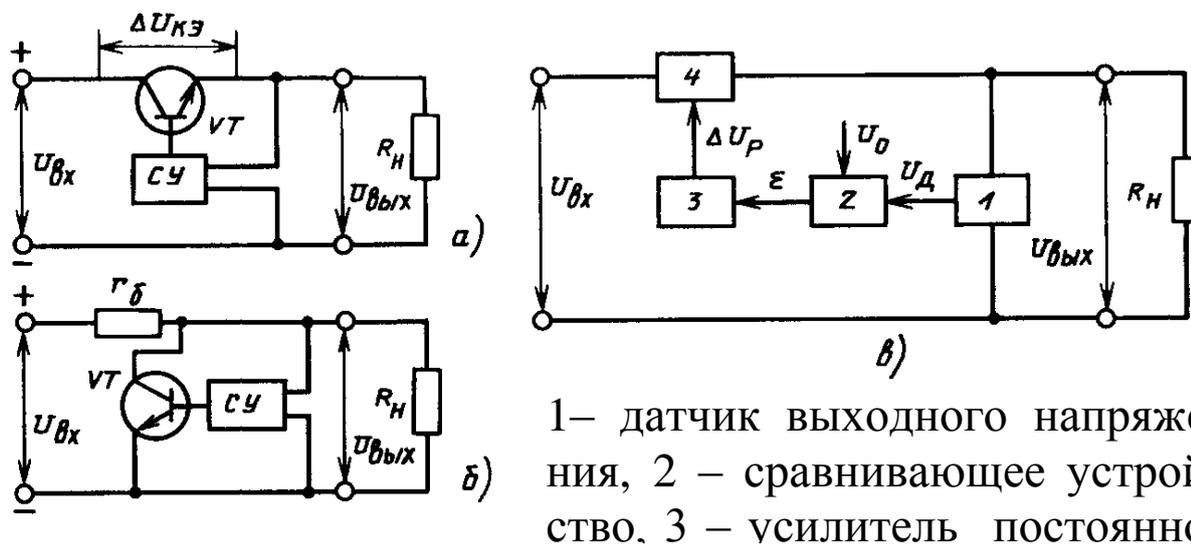


Рис.13.2. Схемы стабилизаторов с непрерывным регулированием:

$a$  – последовательное включение регулирующего элемента;  $б$  – параллельное включение регулирующего элемента;  $в$  – структурная схема системы управления СУ

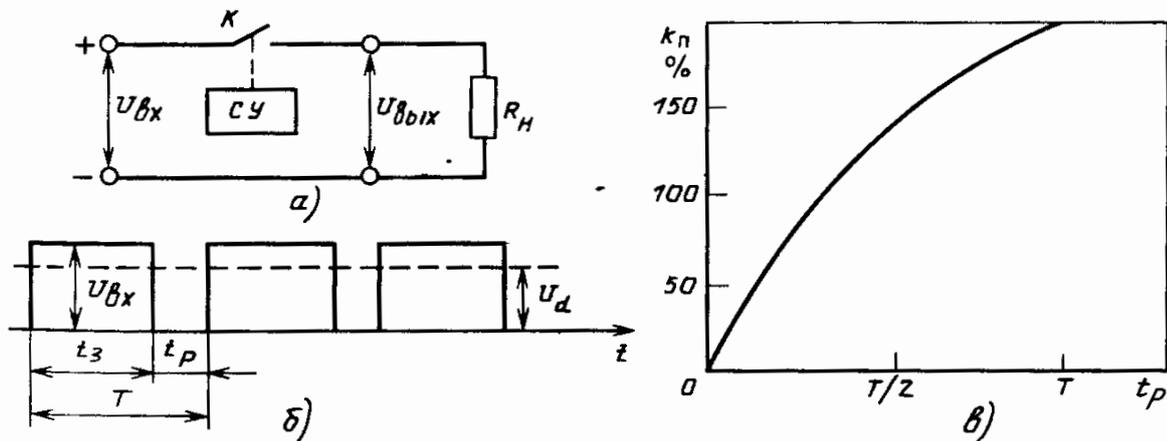


Рис.13.3. Импульсный регулятор:  
 а – эквивалентная схема, б – диаграмма выходного напряжения на нагрузке,  
 в – зависимость коэффициента пульсаций от времени разомкнутого со-  
 стояния ключа

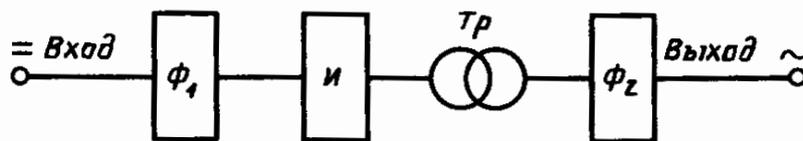


Рис. 13.4. Структурная схема инвертора

### Контрольные вопросы

1. Назовите вентильные преобразовательные устройства, применяемые в системах автоматического регулирования.
2. Приведите примеры использования вентильных преобразовательных устройств в системах автоматического регулирования.

### Лекция 14.

**Системы управления вентильными преобразователями и требования к ним. Схема одного канала системы управления на ИМС при вертикальном способе управления.**

#### План

1. Общие сведения о системах управления вентильными преобразователями.
2. Принципы построения систем управления. Горизонтальный и вертикальный способы.
3. Многоканальные и одноканальные системы управления.

## Ключевые слова

Вентильный преобразователь, система управления, горизонтальный принцип, вертикальный принцип, многоканальные системы управления, одно-канальные системы управления.

Система управления (СУ), обеспечивающая подачу отпирающих импульсов на тиристоры преобразователя любого типа, совместно с преобразователем решает комплекс задач, связанных с формированием и регулированием его выходного напряжения.

В ведомых сетью преобразователях с естественной коммутацией (управляемых выпрямителях, ведомых инверторах, реверсивных преобразователях, непосредственных преобразователях частоты) существует общность в реализации систем управления. Она обуславливается идентичностью управляющего воздействия СУ на силовую схему, которое проявляется в изменении момента подачи отпирающих импульсов на тиристоры по отношению к синусоидально изменяющейся кривой напряжения сети (т. е. угла управления  $\alpha$ ).

Поэтому, несмотря на то, что приводимый ниже материал относится к управляемым выпрямителям, его почти целиком можно отнести и к остальным преобразователям данного класса.

В силу того что СУ рассматриваемых преобразователей осуществляют регулирование фазы управляющих импульсов, их часто называют системами импульсно-фазового управления (СИФУ).

Общими требованиями, предъявляемыми к системе управления преобразователем, являются:

- 1) надежное отпирание тиристоров силовой схемы во всех режимах ее работы;
- 2) плавное (в необходимом диапазоне) регулирование угла  $\alpha$  подачи управляющих импульсов на тиристоры;
- 3) высокая помехоустойчивость и надежность.

Системы управления выполняют по синхронному и асинхронному принципам.

Синхронный принцип импульсно-фазового управления преобразователями является наиболее распространенным. Его характеризует такая функциональная связь узлов СУ, предназначенных для получения управляющих импульсов, при которой синхронизация управляющих импульсов осуществляется напряжением сети переменного тока.

Сущность синхронного принципа построения СУ и функциональное назначение ее узлов покажем на примере выполнения канала управления одним тиристором преобразователя (рис. 14.1). В схему канала входят генератор опорного напряжения  $ГОН$ , нуль-орган  $НО$  и усилитель-формирователь  $УФ$  отпирающих импульсов.

Генератор опорного (развертывающего) напряжения  $ГОН$  формирует изменяющееся во времени напряжение  $u_0$  синусоидальной, треугольной, пило-

образной и других форм. С помощью *НО* опорное напряжение генератора сравнивается с управляющим напряжением  $u_{y\alpha}$  преобразователя. Когда опорное напряжение (в процессе его увеличения или уменьшения) достигает напряжения  $u_{y\alpha}$ , на выходе *НО* возникает импульс, который после предварительного усиления и формирования подается в управляющую цепь тиристора преобразователя.

Изменяющееся во времени опорное напряжение создается с участием напряжения сети переменного тока (одной или нескольких её фаз), в связи с чем опорное напряжение и формируемый импульс синхронизированы во времени с напряжением сети переменного тока. Путем изменения величины напряжения  $u_{y\alpha}$  осуществляются сдвиг во времени выходного импульса и регулирование угла  $\alpha$ , а следовательно, и выходного напряжения преобразователя.

Управляющее напряжение  $u_{y\alpha}$  может представлять собой разность (или быть пропорциональным ей) некоторого напряжения уставки напряжения, характеризующего регулируемый параметр (напряжение  $U_d$ , ток  $I_d$ , частоту вращения якоря двигателя  $n$  и т. д.). В этом случае система будет охвачена отрицательной обратной связью по регулируемому параметру, что обеспечит его стабилизацию. Если в качестве управляющего напряжения использовать переменный сигнал, например синусоидальной формы низкой частоты, то будет осуществляться модуляция угла  $\alpha$  по синусоидальному закону, что требуется для формирования кривой выходного напряжения непосредственных преобразователей частоты.

Генератор опорного напряжения совместно с нуль-органом представляют фазосдвигающее устройство *ФСУ*, являющееся важнейшим в синхронной системе управления (рис. 14.1). Поскольку работа *ФСУ* основана на сравнении двух напряжений (опорного и управляющего), его принцип действия называется вертикальным.

Синхронные системы управления многофазными преобразователями могут быть выполнены по многоканальному и одноканальному способам.

В многоканальной системе управления (рис. 14.2) регулирование угла  $\alpha$  осуществляется от общего управляющего напряжения при выполнении каждого канала по типу рис. 14.1.

Количество каналов равно числу тиристорov в схеме преобразователя (так, в СУ трехфазного мостового управляемого выпрямителя число каналов равно шести). При соответствующей синхронизации фазосдвигающих устройств от сети переменного тока (фазировки) система формирует для тиристорov в фазах  $a$ ,  $b$ ,  $c$  управляющие импульсы, симметричные относительно точек естественного отпирания (см. рис. 6.15, в), что требуется для работы схемы.

Многоканальный способ управления получил широкое распространение благодаря простоте выполнения СУ, унификации ее узлов, а также применимости для различного типа преобразователей. Вместе с тем в таких системах предъявляются повышенные требования к идентичности регулировочных характеристик фазосдвигающих устройств  $\alpha = F(u_{y\alpha})$  отдельных каналов во всем диапазоне изменения управляющего напряжения. Различие регулировочных

характеристик приводит к отличию углов  $\alpha$  по каналам управления тиристорами, асимметрии управляющих импульсов, что создает, например, в управляемых выпрямителях дополнительные низкочастотные пульсации выпрямленного напряжения.

В одноканальной системе управления регулирование фазового сдвига управляющих импульсов производится по одному каналу с помощью общего фазосдвигающего устройства, импульсы которого затем распределяются по цепям формирования запускающих импульсов для каждого из тиристор преобразователя. Благодаря применению общего фазосдвигающего устройства одноканальная система способна обеспечить самые высокие требования в отношении симметрии управляющих импульсов. Однако из-за усложнения системы управления, особенно для реверсивных преобразователей и непосредственных преобразователей частоты (НПЧ), одноканальный способ построения СУ менее распространен.

На систему управления возлагаются часто достаточно сложные задачи по формированию и управлению выходным напряжением вентильного преобразователя. СУ может обеспечивать стабилизацию выходного напряжения, его изменение по необходимому закону, реверс выходного напряжения, требуемую логику включения и отключения и т. д. Способы решения задач зависят от конкретных требований в отношении управления выходным напряжением преобразователя.

В рассмотренных синхронных системах управления момент получения управляющего импульса (т. е. угол управления  $\alpha$ ) отсчитывается от некоторой точки напряжения питающей сети (например, от момента его перехода через нуль). Такая синхронизация от напряжения питающей сети осуществляется посредством генератора опорного напряжения. Начало отсчета угла  $\alpha$  либо совпадает с моментом синхронизации, либо сдвинуто относительно него на некоторый постоянный фазовый угол.

В асинхронных системах управления связь во времени управляющих импульсов с соответствующими точками напряжения питающей сети играет вспомогательную роль, например служит для ограничения минимальных и максимальных значений углов управления  $\alpha$ . Сами же управляющие импульсы получают без синхронизации узлов системы управления напряжением сети переменного тока. Фазосдвигающее устройство, принципиально необходимое для синхронных систем, здесь отсутствует.

*Требуемый угол  $\alpha$  управления тиристорами в асинхронных системах создается как результат регулирования интервалов между импульсами (частоты их следования) в замкнутой системе с преобразователем или его нагрузкой.*

Принцип построения асинхронной системы управления для трехфазного мостового управляемого выпрямителя иллюстрирует функциональная схема **рис. 14.3**. Необходимые для этой схемы шесть выходных каналов управляющих импульсов с фазовым сдвигом между ними в соседних каналах в  $60^\circ$  получают от распределителя импульсов РИ, запускаемого от ведущего генератора ВГ регулируемой частоты. Изменение частоты ВГ осуществляется напряжением регулятора  $P_f$  под действием напряжения уставки и напряжения датчика  $D$  регу-

лируемого параметра (напряжения или тока преобразователя, частоты вращения якоря двигателя и т. д.). Сигналом датчика в схеме создается отрицательная обратная связь по регулируемому параметру.

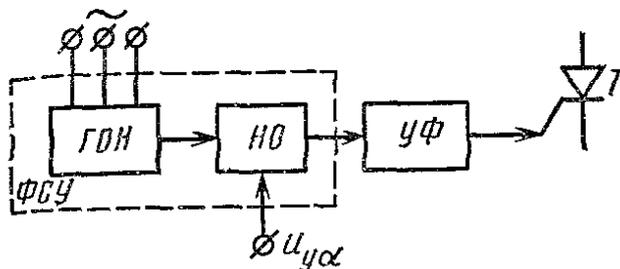


Рис. 14.1. Структурная схема канала управления тиристором преобразователя при синхронном принципе построения СУ

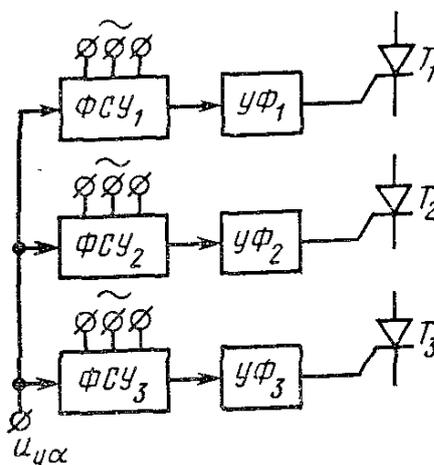


Рис. 14.2. Структурная схема многоканальной системы управления преобразователем

Благодаря наличию отрицательной обратной связи в схеме автоматически создаются углы управления  $\alpha$ , обеспечивающие в соответствии с уставкой требуемые значения регулируемого параметра преобразователя или его нагрузки.

Асинхронные системы управления преобразователями применяют при существенных искажениях напряжения питающей сети, в частности при значительной несимметрии трехфазных напряжений по величине и фазе. Использование в таких условиях синхронной системы невозможно ввиду получающейся недопустимой асимметрии в углах  $\alpha$  по каналам управления тиристорами. Наиболее распространены асинхронные СУ в преобразователях, потребляющих мощность, соизмеримую с мощностью питающей сети.

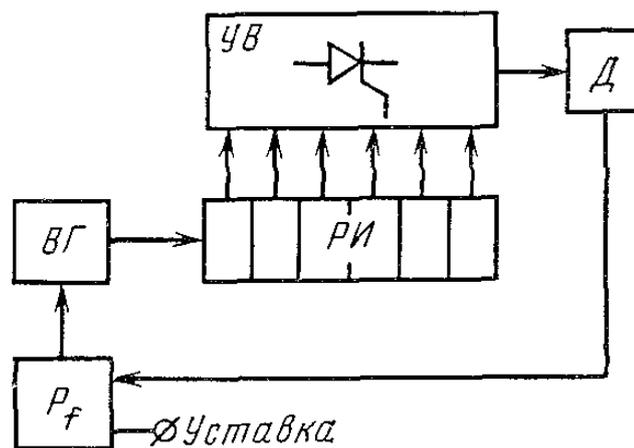


Рис. 14.3. Функциональная схема асинхронной системы управления преобразователями

### Контрольные вопросы

1. Для чего предназначены системы управления вентильными преобразователями
2. Назовите способы управления вентильными преобразователями. Раскройте их особенности.
3. Объясните принцип работы системы управления по временным диаграммам.
4. Структурная схема многоканальной системы управления.
5. Структурная схема одноканальной системы управления.

### Лекция 15.

#### Автоматизированный электропривод постоянного тока. Регулирование скорости вращения ДПТ (разгон, работа на номинальной скорости и торможение).

#### План

1. Общие понятия об автоматизированном электроприводе постоянного тока.
2. Регулирование скорости вращения двигателя постоянного тока с помощью управляемого выпрямителя.

#### Ключевые слова

Автоматизированный электропривод, двигатель постоянного тока, управляемый выпрямитель, регулирование скорости двигателя постоянного тока.

Автоматизированный электропривод постоянного тока – это совокупность устройств, обеспечивающих разгон, торможение и регулирование скорости двигателя постоянного тока в соответствии с потребностями рабочего механизма.

Для изменения скорости двигателя постоянного тока используется система УВ-ДПТ. Основные операции в работе УВ-ДПТ следующие: разгон, работа на постоянной скорости и торможение. Иногда требуется изменить направление вращения двигателя, т.е. осуществить реверс (рис.1).

Регулирование скорости ДПТ возможно:

$$U_{\text{я}} = \text{var}, I_{\text{ОВ}}(\Phi_{\text{В}}) = \text{const} \Rightarrow n = \text{var};$$

$$U_{\text{я}} = \text{const}, I_{\text{ОВ}}(\Phi_{\text{В}}) = \text{var} \Rightarrow n = \text{var},$$

где:  $U_{\text{я}}$  – напряжение на якоре двигателя,

$I_{\text{ОВ}}$  – ток обмотки возбуждения,

$\Phi_{\text{В}}$  – поток возбуждения двигателя,

$n$  – скорость вращения двигателя.

Лучшие эксплуатационные характеристики получаются при регулировании скорости по изменению напряжения якоря:  $n=f(U_{\text{я}})$ . Поэтому рассмотрим регулирование скорости ДПТ первым способом, т.е. работу нереверсивного привода для ДПТ при независимом возбуждении:  $U_{\text{я}}=\text{var}, I_{\text{ОВ}}=\text{const}$ . (рис.3).

При вращении ДПТ на его зажимах возникает противо-ЭДС

$$E_{\text{д}} = C_{\text{Е}} \Phi_{\text{В}} n, \quad (1)$$

где:  $C_{\text{Е}}$  – конструктивный коэффициент двигателя.

Приложенное к ДПТ выпрямленное напряжение должно быть:

$$U_{\text{д}\alpha} = E_{\text{д}} + I_{\text{д}} R_{\text{я}}, \quad (2)$$

где  $R_{\text{я}}$  – активное сопротивление якоря ДПТ.

Отсюда:

$$I_{\text{д}} = \frac{U_{\text{д}\alpha} - C_{\text{Е}} \Phi_{\text{В}} n}{R_{\text{я}}}$$

$$n = \frac{U_{\text{д}\alpha} - I_{\text{д}} R_{\text{я}}}{C_{\text{Е}} \Phi_{\text{В}}} \quad (3).$$

Эти выражения показывают, что, изменяя величину выпрямленного напряжения подводимое к якору, можно изменять скорость вращения  $n$  двигателя. Кроме того, для вращения двигателя должно быть выполнено условие:

$$U_{\text{д}\alpha} > E_{\text{д}}$$

Для питания цепи двигателя постоянного тока в зависимости от режима его работы, потребляемой мощности, допустимой пульсации тока, напряжения на нагрузке, степени использования по мощности и других факторов служат однофазные и трехфазные выпрямители. Схемы трехфазных управляемых выпрямителей, работающих на двигатель, изображены на рис 3, а, б, а их расчетная схема на рис. 3, в.

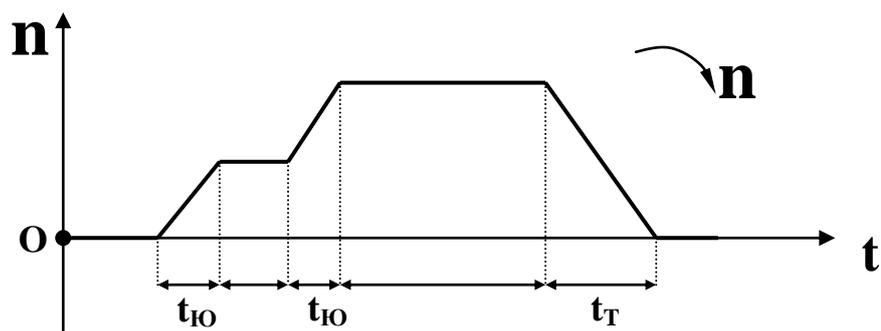
Во всех электроприводах в любых случаях разгон нужно производить постепенным увеличением  $U_{\text{д}\alpha}$ . Структурная схема системы УВ-ДПТ имеет вид (рис. 5, б). Рассмотрим *торможение* двигателя в системе УВ-ДПТ. Допустим, в момент времени  $t = t_1$  двигатель вращается со скоростью  $n = n_1$  с энергией  $w = w_1$ , запасённой в маховых массах привода. При торможении:  $n_1 = 0, w_1 = 0$ .

В зависимости от способа сведения к нулю энергии привода  $w_1$  различают три способа торможения:

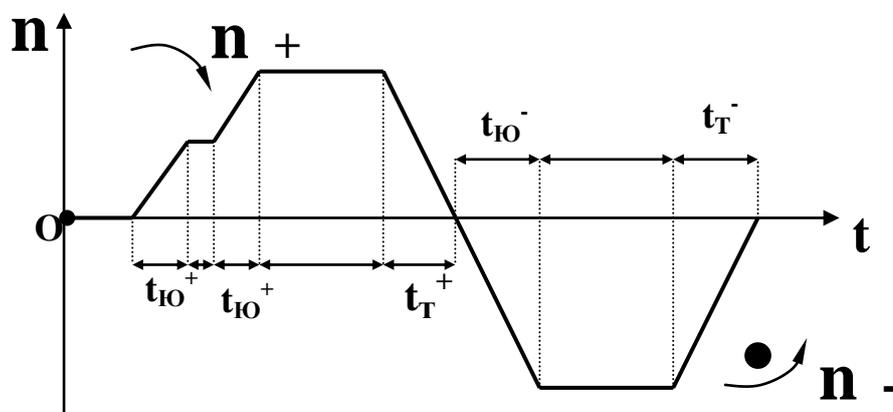
- 1) на выбеге (снятие  $U_d$  и свободное торможение с трением);
- 2) динамическое (торможение с принудительным превращением энергии  $w_1$  в тепло);
- 3) рекуперативное (принудительное возвращение энергии  $w_1$  в питающую сеть).

### **Контрольные вопросы**

1. Что называется электроприводом?
2. Какие способы применяются регулирования скорости двигателя постоянного тока?
3. Какие режимы работы двигателя необходимо учитывать в процессе регулирования скорости двигателя постоянного тока?
4. Что называется управляемым выпрямителем?
5. Каким образом производится регулирования скорости двигателя постоянного тока с помощью управляемого выпрямителя?



а)



б)

Рис. 1 Диаграммы процесса регулирования неререверсивного (а) и реверсивного (б) электропривода

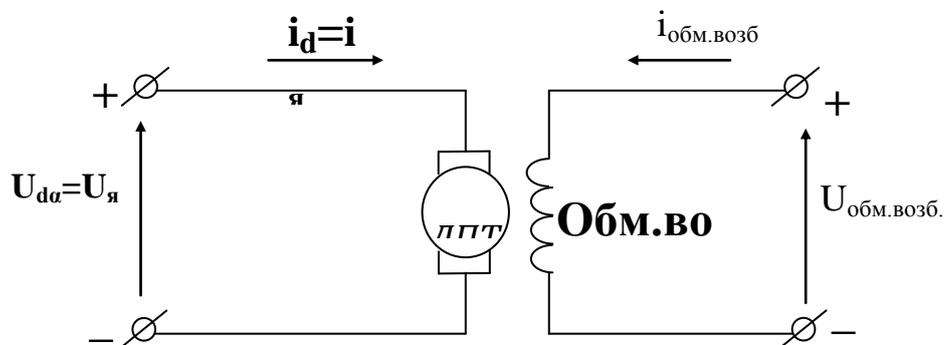


Рис. 2 Схема регулирования скоростью вращения ДПТ

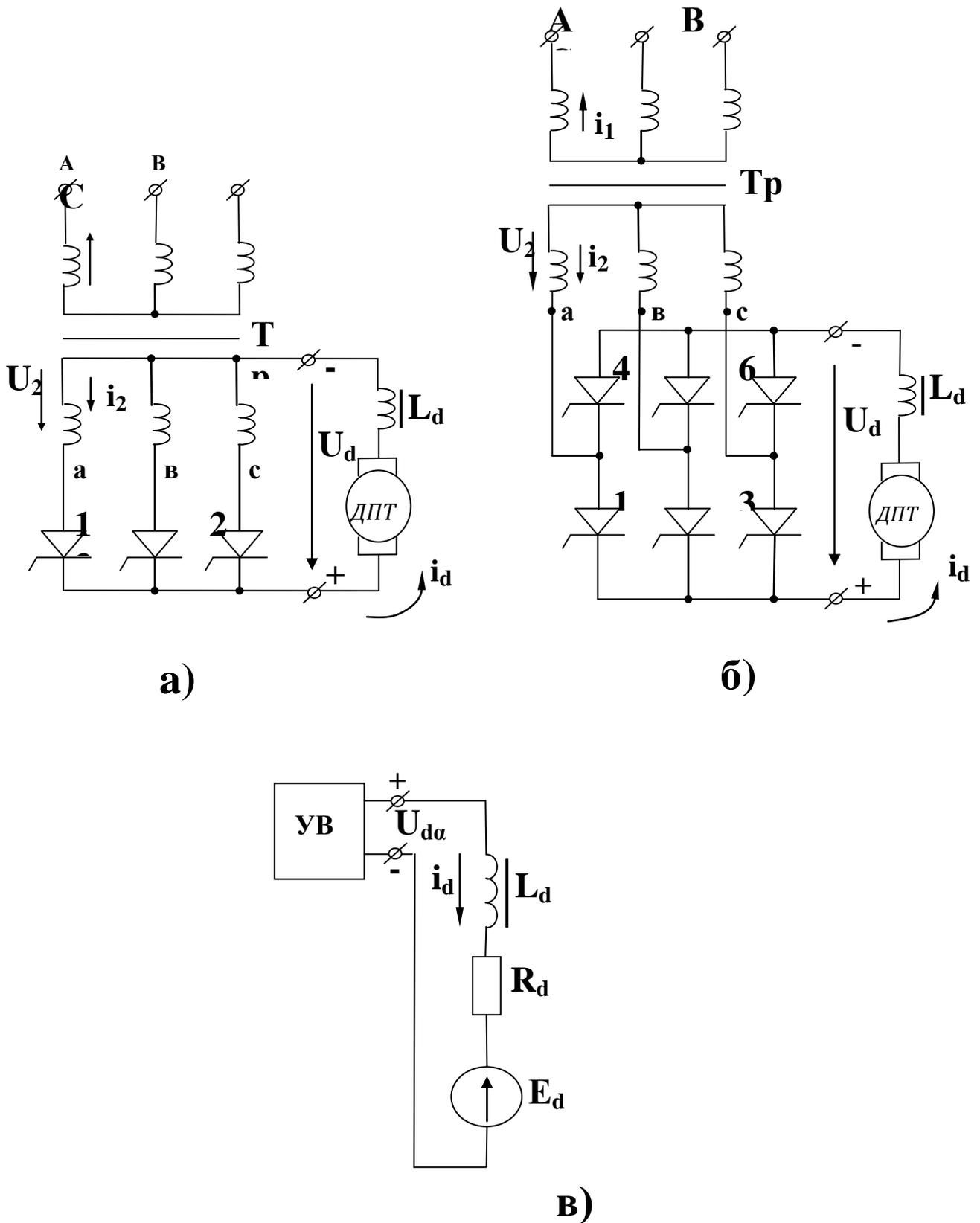


Рис.3 Трехфазные управляемые выпрямители (а,б) работающие на ДПТ, и их эквивалентная (в) схема

## Лекция 16.

### Структурная схема электропривода постоянного тока для регулирования и стабилизации скорости ДПТ.

#### План

1. Общие сведения о регулировании скорости двигателя.
2. Структурная схема и временные диаграммы работы управляемого выпрямителя на двигатель постоянного тока.

#### Ключевые слова

Электропривод постоянного тока, рекуперативное торможение, управляемый выпрямитель, зависимый инвертор, система управляемый выпрямитель - двигатель постоянного тока.

**Электропривод, электрический привод**, совокупность устройств для преобразования электрической энергии в механическую и регулирования потока преобразованной энергии по определённому закону. Э. является наиболее распространённым типом привода.

Во всех электроприводах в любых случаях разгон нужно производить постепенным увеличением  $U_{da}$ , причем скорость подъема определяется  $\tau_{эл.мех}$ . Поэтому в системе УВ-ДПТ разгон двигателя должен производиться по диаграмме (рис. 16.1,а).

Структурная схема системы УВ-ДПТ имеет вид (рис. 16.1, б).

Рассмотрим *торможение* двигателя в системе УВ-ДПТ. Допустим, в момент времени  $t = t_1$  двигатель вращается со скоростью  $n = n_1$  с энергией  $w = w_1$ , записанной в маховых массах привода. При торможении:  $n_1 = 0$ ,  $w_1 = 0$ .

В зависимости от способа сведения к нулю энергии привода  $w_1$  различают три способа торможения:

- 1) на выбеге (снятие  $U_d$  и свободное торможение с трением);
- 2) динамическое (торможение с принудительным превращением энергии  $w_1$  в тепло);
- 3) рекуперативное (принудительное возвращение энергии  $w_1$  в питающую сеть).

**При рекуперативном торможении двигателя одно и то же устройство преобразователя (ВБ), работающего на ДПТ, будет работать в двух режимах: в режиме управляемого выпрямителя (УВ) и в режиме зависимого инвертора (ЗИ). При торможении двигателя УВ надо перевести в режим ЗИ, т.е. надо осуществить переключение ДПТ по отношению к вентильному блоку при помощи контактора П (рис. 16.2):**

Положение 1. УВ–двигательный режим (управляемый выпрямитель)

Положение 2. ЗИ – генераторный режим (зависимый инвертор).

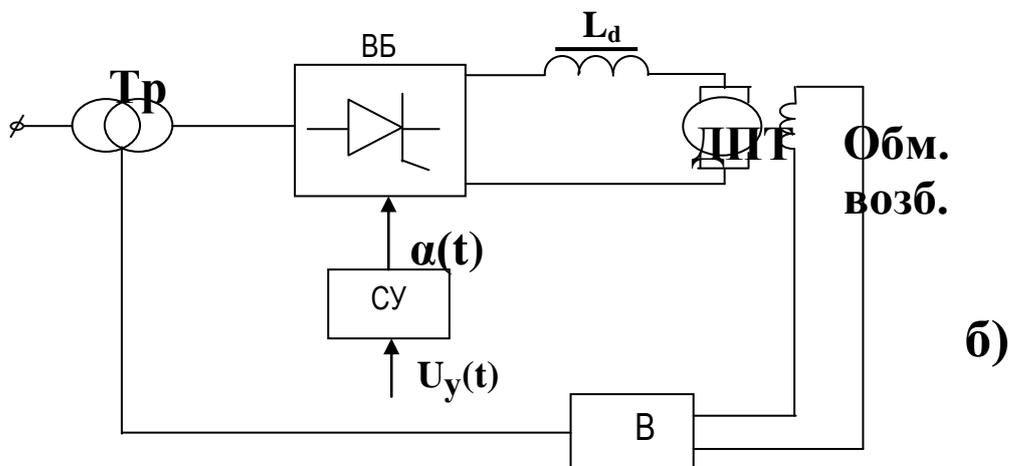
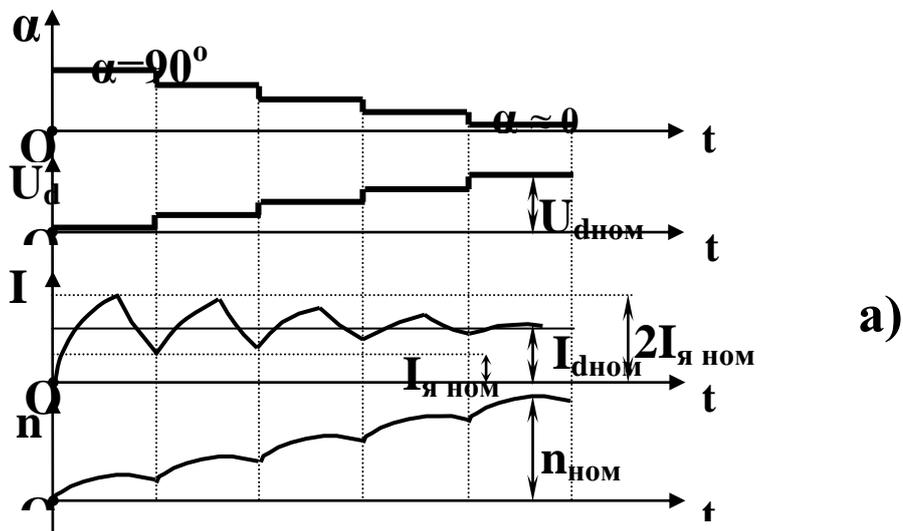


Рис. 16.1 Диаграммы (а) разгона двигателя в системе УВ-ДПТ и структурная схема (б) системы

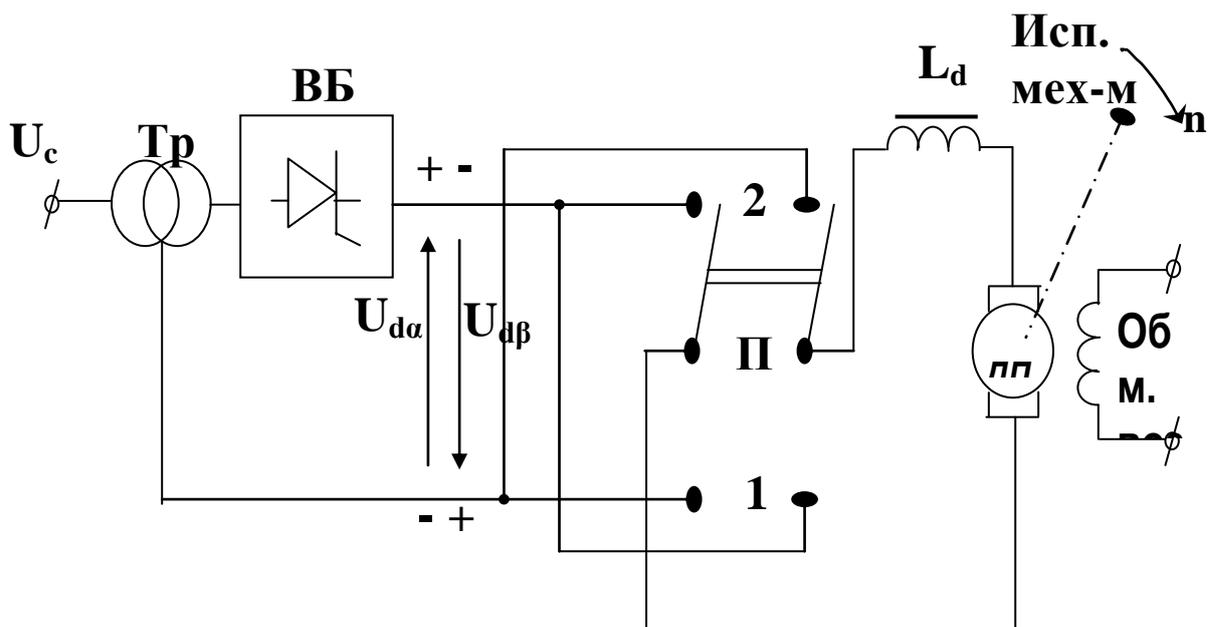


Рис. 16.2 Схема вентильного преобразователя работающего на ДПТ

Чтобы в этой системе обеспечить рекуперативное торможение, необходимо:

1) переключить ДПТ по отношению к вентильному блоку (П в 2).

2) установить необходимый начальный угол опережения  $\beta$  для ЗИ, т.е.  $\alpha_{\text{кон}} = \alpha_{\text{нач}}$ .

3) изменять величину угла  $\beta$  до тех пор, пока скорость  $n=0$ .

Если после останова двигателя вернуться к углам управления  $\alpha$ , но контактор П не переключать, то вентильный блок начнет работать в режиме УВ, создавая на ДПТ напряжение, полярность которого противоположна первоначальному значению напряжения. Это приводит к изменению направления вращения двигателя (реверс).

### **Контрольные вопросы**

1. Что называется электроприводом?
2. Что называется управляемым выпрямителем?
3. Что называется рекуперативным торможением?
4. Каким образом используются управляемые выпрямители для регулирования электропривода постоянного тока?
5. Принцип действия системы управляемый выпрямитель - двигатель постоянного тока.

### **Лекция 17.**

#### **Автоматизированный электропривод переменного тока. Способы регулирования величины напряжения и частоты на выходе вентильного преобразователя частоты.**

#### **План**

1. Общие сведения о регулировании скорости двигателя переменного тока.
2. Тиристорный регулятор переменного напряжения.

#### **Ключевые слова**

Электропривод переменного тока, регулирование скорости двигателя переменного тока, регулятор переменного напряжения.

Для регулирования напряжения на нагрузке, питающейся от однофазного напряжения, применяется тиристорный регулятор напряжения, представляющий два встречно-параллельно включенных тиристора (рис.2).

В зависимости от способа регулирования регулятором возможны два способа: широтно-импульсный и фазовый.

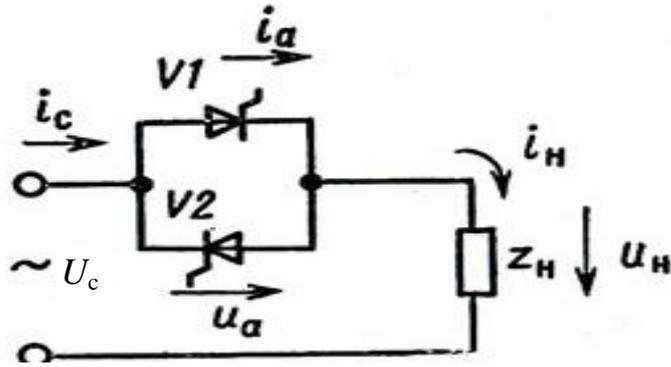


Рис. 2 Силовая схема однофазного тиристорного регулятора переменного напряжения

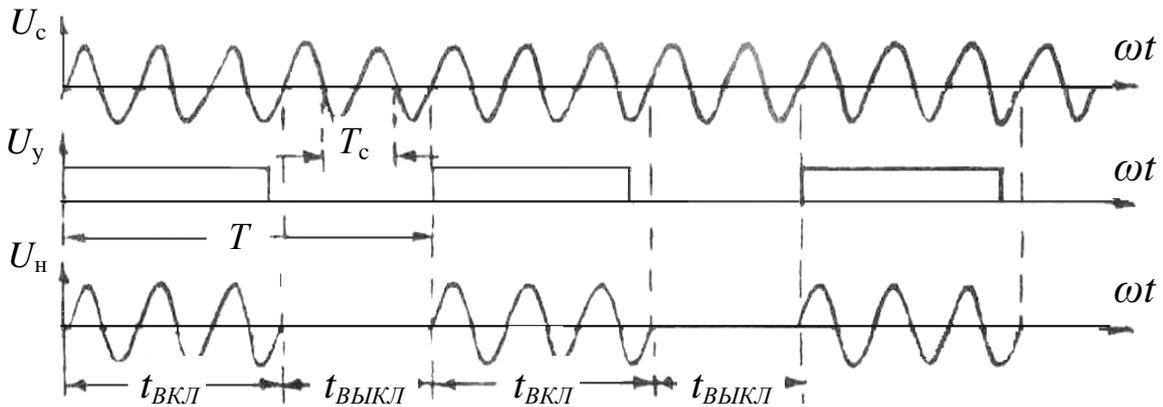


Рис. 3 Временные диаграммы широтно-импульсного метода регуля

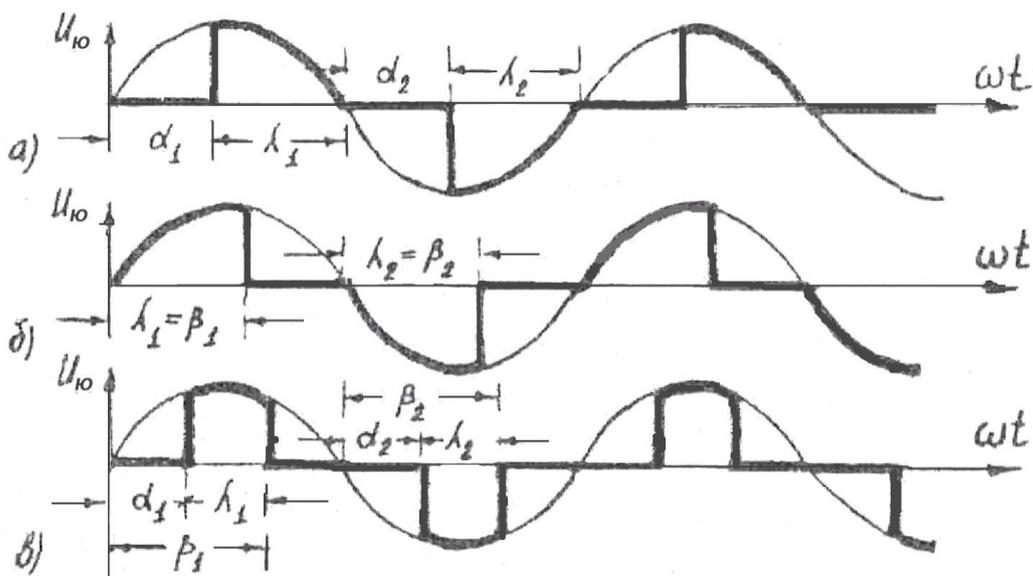


Рис. 4 Временные диаграммы фазового метода регулирования

При широтно-импульсном регулировании на пониженной частоте оба тиристора находятся во включенном ( $t_{\text{вкл}}$ ) и выключенном ( $t_{\text{выкл}}$ ) состоянии в течении интервалов, больших, чем период ( $T_C$ ) питающего напряжения, т.е. регулятор работает в режима “включено-выключено” (рис.3). При подаче управляющих импульсов ( $U_y$ ) на тиристоры с появлением на них прямого анодного напряжения они пропускают обе полуволны напряжения в нагрузку и выполняют роль ключа, проводящего ток в двух направлениях. При снятии управляющих импульсов с тиристоров они выключаются: ключ разомкнут, напряжение  $U_H$  и ток  $i_H$  в нагрузке равны нулю. При резком включении и отключении нагрузки регулятор может выполнять функцию бесконтактного пускателя, предназначенного для подключения различных потребителей: двигателей, электротермических установок и т.д., к сети. При периодическом включении и отключении ключа периодом  $T$ , появится возможность регулирования мощности в нагрузке за счет изменения длительности включенного состояния тиристоров  $t_{\text{вкл}}$  относительно периода повторения циклов  $T$ :

$$\gamma = t_{\text{вкл}}/T.$$

Средняя за периода  $T$  мощность в нагрузке  $P_H = P_{H\text{max}} \cdot \gamma$ , где  $P_H$  - мощность в нагрузке при отсутствии регулирования. Этот фазовый метод регулирования базируется на управлении действующим значением переменного напряжения на нагрузке, путем изменения угла проводимости ( $\lambda$ ) тиристора в полупериоде сетевого напряжения (это соответствует изменению длительности протекания тока нагрузки в течении полупериода сетевого напряжения).

Метод может быть реализован либо изменением угла включения ( $\alpha$ ) силовых тиристорov в полупериоде сетевого напряжения, либо изменением угла выключения ( $\beta$ ) тиристорov, либо там и другим одновременно (двухстороннее фазовое регулирование). Отсчет углов  $\alpha$ ,  $\beta$  ведется от точки перехода через нуль сетевого напряжения.

Если продолжительность протекания тока нагрузки в одном полупериоде сетевого напряжения равна продолжительности протекания тока нагрузки в следующем полупериоде сетевого напряжения, то такое регулирование называется симметричным. При этом:

$$\lambda_1 = \lambda_2 ; \alpha_1 = \alpha_2 ; \beta_1 = \beta_2 ;$$

где:  $\lambda_1, \lambda_2$  ;  $\alpha_1, \alpha_2$  ;  $\beta_1, \beta_2$  -соответственно, углы проводимости, включения, выключения тиристорov в схеме на рис.2, в положительном и отрицательном полупериодах сетевого напряжения.

На рис.4 а,б,в приведены формы напряжения (жирными линиями) на активной нагрузке однофазного регулятора для случаев когда изменяется либо  $\alpha$  (рис.4,а), либо  $\beta$  (рис.4,б), либо  $\alpha$  и  $\beta$  одновременно (рис.4,в). При несимметричном фазовом регулировании  $\lambda_1 \neq \lambda_2$ .

Система управления, в которой формируется управляющий сигнал имеющий форму импульса определенной длительности и фазу которого можно регулировать, называют импульсно-фазовыми.

В зависимости от принципа изменения фазы управляющего импульса, системы фазового управления бывают: горизонтальные, вертикальные и цифровые.

Рассмотрим систему управления, построенную по вертикальному принципу.

При вертикальном управлении управляющий импульс формируется в результате сравнения на нелинейном элементе величин переменного (синусоидального, пилообразного, треугольного) и постоянного напряжений. В момент, когда эти напряжения становятся равными и их разность изменяет полярность, происходит формирование импульса. Фазу импульса можно регулировать, изменяя величину постоянного напряжения. В качестве нелинейного элемента обычно применяют транзистор.

Таким образом, фазосдвигающее устройство при вертикальном управлении состоит из генератора переменного напряжения и узла сравнения.

На рис. 5 представлены структурная схема вертикальной системы управления однофазным регулятором переменного напряжения и временные диаграммы её работы.

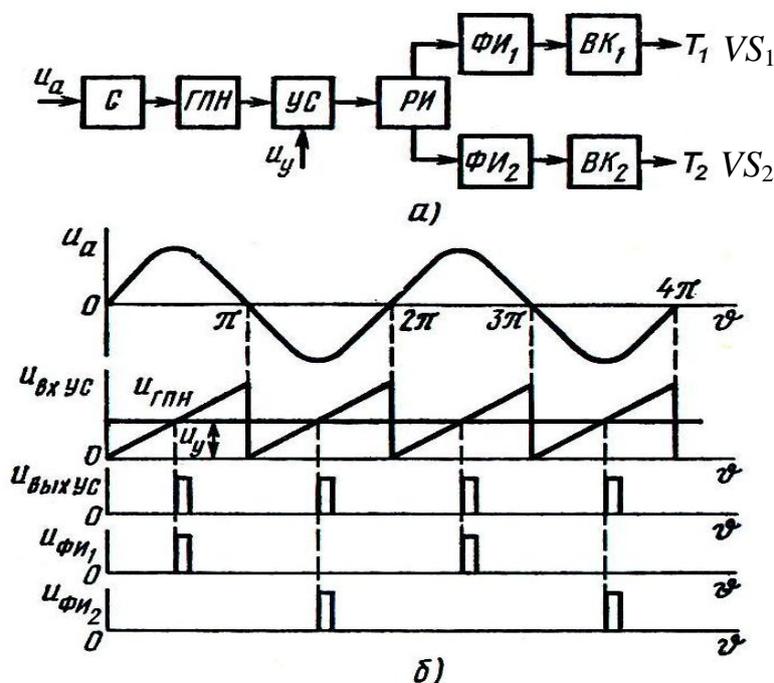


Рис. 5 Структурная схема (а) вертикальной системы управления и временные диаграммы (б) её работы

Система работает следующим образом. Генератор переменного напряжения ГПН запускается при поступлении с синхронизатора С напряжения в момент появления на тиристорах прямого напряжения, т. е. в точках естественной коммутации. С выхода ГПН напряжение пилообразной формы поступает на устройство сравнения УС, где оно сравнивается с напряжением управления  $U_y$ . В момент сравнения пилообразного и управляющего напряжений устройство сравнения вырабатывает импульс, который через распределитель импульсов РИ поступает на формирователи импульсов ФИ<sub>1</sub>, ФИ<sub>2</sub> и дальше через выходные каскады ВК<sub>1</sub>, ВК<sub>2</sub> на тиристоры VS<sub>1</sub>, VS<sub>2</sub> силовой схемы регулятора переменного напряжения.

Рассмотрим работу регулятора переменного напряжения (рис.2) с фазовым управлением при активной нагрузке ( $R_H$ ). При положительном полупериоде напряжения сети  $U_C$  тиристор  $VS2$  оказывается под обратным напряжением, а тиристор  $VS1$  находится под прямым напряжением. До момента подачи на вход тиристора  $VS1$  управляющего импульса последний закрыт и напряжение на нагрузке  $U_H$  и ток нагрузки  $i_H$  при этом будут равны нулю. При  $\alpha = \omega t$ , на тиристор  $VS1$  поступает отпирающий импульс и он включается (рис. 6,а). К нагрузке прикладывается напряжение  $U_H$ . Ток в нагрузке  $i_H$ , если нагрузка активная, повторяет форму напряжения. В момент  $\omega t = \pi$  полярность напряжения сети меняется, ток нагрузки спадает к нулю и тиристор  $VS1$  запирается. До отпираания  $VS2$ , т.е. до момента  $\omega t = \pi + \alpha$ , напряжение и ток в нагрузке отсутствуют. При подаче в момент  $\omega t = \pi + \alpha$  управляющего импульса на  $VS2$ , он отпирается, напряжение на нагрузке  $U_H$  вновь становится равным напряжению сети  $U_H = U_C$ . В момент  $\omega t = 2\pi$  происходит запираение  $VS2$ . При активной нагрузке длительность проводящего состояния тиристорov определяется, как  $\lambda = \pi - \alpha$ . Мощность в активной нагрузке можно определить через действующее значение напряжения на нагрузке  $U_H$ :

$$P_H = U_H^2 / R_H \quad ,$$

где

$$U_H = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} (\sqrt{2} U_C \sin \omega t)^2 d\omega t} = U_C \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}} \quad .$$

Таким образом, изменяя угол регулирования  $\alpha$ , можно менять величину выходной мощности.

### Контрольные вопросы

1. Что называется электроприводом переменного тока?
2. Как можно регулировать скорость двигателя переменного тока?
3. Что называется регулятором переменного напряжения?
4. Принцип работы регулятора переменного напряжения.
5. Как осуществляется управление регулятором переменного напряжения?

## Список литературы

### Основные литературные источники.

- Электронные промышленные устройства: Учебник /Васильев В.И. и др.–М.: Высш.шк., 1988.
- Горбачев Г.Н., Чаплыгин Е.Е. Промышленная электроника.–М.: Энергоатомиздат, 1988.
- Гальперин М.В. Практическая схемотехника в промышленной автоматике.–М.:Энергоатомиздат,1987.
- Интегральные микросхемы в устройствах автоматики и защиты тяговых сетей /В.Я.Овласюк и др.–М.:Транспорт, 1985.
- Руденко В.С. и др. Основы преобразовательной техники.–М.:Высш.шк.,1980.
- Мирский Г.Я. Микропроцессоры в измерительных приборах.–М.:Радио и связь, 1984.
- Калабеков Б.А. Микропроцессоры и их применение в системах передачи и обработки сигналов: Учеб. пособие для вузов. – М: Радио и связь, 1986.
- Андреев Д.В. Программирование микроконтроллеров MCS – 51: Учебное пособие. – Ульяновск: УлГТУ, 2000.

### Дополнительные литературные источники.

- Вениаминов В.Н. и др. Микросхемы и их применение: Справ. пособие. – М: Радио и связь, 1989.
- Цифровые и аналоговые интегральные микросхемы: Справочник / С.В. Якубовский и др.; Под.ред. С.В. Якубовского. – М: Радио и связь, 1986.
- Микросхемы и их применение: Справ.пособие/В.А. Батушев, В.Н.Вениаминов и др.-М.:Радио и связь, 1983.
- [www.acceltech.com](http://www.acceltech.com) веб – сайт фирмы Accel Technologies Inc. – разработчики ACCEL EDA.
- EWB (<http://www.Interactive.com>)

### Электронные литературные источники.

- [www.ziyo.net](http://www.ziyo.net)
- <http://www.interactive.com> (EWB)
- [www.acceltech.com](http://www.acceltech.com) веб – сайт фирмы Accel Technologies Inc. – разработчики ACCEL EDA.
- EWB (<http://www.Interactive.com>)

### Зарубежные источники

1. P.P.K. Chetty. Switch-mode power design. TAB Books Inc., 1986.
2. Introduction to power supplies - National Semiconductor, 2004.

3. Miller, Rex. Electronics The Easy Way, 4th ed. Barron's Educational Series, 2002 p. 88-89.

4.[http://electronic-components.globalspec.com/LearnMore/  
Electrical\\_Electronic\\_Components/Power\\_Supplies\\_Conditioners/  
Programmable\\_Power\\_Supplies](http://electronic-components.globalspec.com/LearnMore/Electrical_Electronic_Components/Power_Supplies_Conditioners/Programmable_Power_Supplies)

5.[http://electronic-components.globalspec.com/LearnMore/ Electrical-  
cal\\_Electronic\\_Components/Power\\_Supplies\\_Conditioners/Voltage\\_Multipliers](http://electronic-components.globalspec.com/LearnMore/Electrical_Electronic_Components/Power_Supplies_Conditioners/Voltage_Multipliers)