Задание Основы электроники 45 группа 18.05.2020

Уважаемая 45 группа у вас закончился предмет «Электротехника»
Прошу сдать дифференцированный зачет (и долги тоже)

Учебник:

Основы электротехники (Кузнецов М.И.) rateli.ru

Учебники | Электротехника Таблица 1.1 **booksite.ru**›fulltext/sindeev/text.pdf

1. Прочитать и записать конспект. Тема 3.3
2. Прочитать и записать конспект. Тема 4.1
3. Сделать задание и результат прислать на электронную почту

На следующем занятии дифференцированный зачет

Тема 3.3. Микропроцессоры и микро ЭВМ в автоматизации производственных процессов.

Микропроцессорные системы

Применение микропроцессорных систем практически во всех электрических устройствах - важнейшая черта технической инфраструктуры современного общества. Электроэнергетика, промышленность, транспорт, системы связи существенно зависят от компьютерных систем управления. Микропроцессорные системы встраиваются в измерительные приборы, электрические аппараты, осветительные установки и д.р.
Всё это обязывает электрика знать хотя бы основы работы микропроцессорной техники.
Микропроцессорные системы предназначены для автоматизации обработки информации и управления различными процессами.
Понятие «Микропроцессорная система» очень широко и объединяет такие понятия как «Электронно-вычислительная машина (ЭВМ)», «управляющая ЭВМ», «Компьютер» и т.п.
Микропроцессорная система включает в себя **аппаратное обеспечение** или по-английски – hardware и **программное обеспечение** (ПО) - software.
Цифровая информация
Микропроцессорная система работает с **цифровой информацией**, которая представляет собой последовательность цифровых кодов.
В основе любой микропроцессорной системы лежит **микропроцессор**, который способен воспринимать только двоичные числа (составленные из 0 и 1). Двоичные числа записываются посредством двоичной системы счисления. Например, в повседневной жизни мы пользуемся десятичной системой счисления, в которой для записи чисел используются десять символов или цифр 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9. Соответственно в двоичной системе таких символов (или цифр) всего два – 0 и 1.
Необходимо понимать, что система счисления – это всего лишь правила записи чисел, и выбор типа системы определятся удобством применения. Выбор двоичной системы обусловлен её простотой, а значит надёжностью работы цифровых устройств и лёгкостью их технической реализации.

Рассмотрим единицы измерения цифровой информации:
Бит (от английского "BInary digiT" - двоичная цифра) принимает только два значения: 0 или 1. Можно закодировать логическое значение «да»» или «нет», состояние «включено» или «выключено», состояние «открыто» или «закрыто» и т.п.
Группа из восьми бит называется байтом, например 10010111. Один байт позволяет кодировать 256 значений: 00000000 – 0, 11111111 - 255.
Бит – наименьшая единица представления информации.
Байт - наименьшая единица обработки информации. Байт — часть машинного слова, состоящая обычно из 8 бит и используемая как единица количества информации при её хранении, передаче и обработке на ЭВМ. Байт служит для представления букв, слогов и специальных символов (занимающих обычно все 8 бит) или десятичных цифр (по 2 цифры в 1 байт).
Два взаимосвязанных байта называется словом, 4 байта – двойное слово, 8 байт – учетверённое слово.
Почти вся информация, которая нас окружает, является аналоговой. Поэтому, прежде чем информация попадёт на обработку в процессор, она подвергается преобразованию посредством АЦП (аналого-цифровой преобразователь). Кроме того, информация кодируется в определённом формате и может быть числовой, логической, текстовой (символьной), графической, видео и д.р.
Например, для кодирования текстовой информации используется таблица кодов ASCII (от англ. American Standard Code for Information Interchange - Американский стандартный код для обмена информацией). Запись одного символа осуществляется одним байтом, который может принимать 256 значений. Графическая информация разбивается на точки (пиксели) и производится кодирование цвета и положение каждой точки по горизонтали и вертикали.
Кроме двоичной и десятичной системы в МС используют шестнадцатеричную систему, в которой для записи чисел используются символы 0...9 и A...F. Её применение обуславливается тем, что один байт описывается двухразрядным шестнадцатеричным числом, что значительно сокращает запись цифрового кода и делает его более читаемым (11111111 – FF).

Таблица 1 – Запись чисел в различных системах счисления

10	2	16
0	0	0
1	1	1
2	10	2
3	11	3
4	100	4
5	101	5
6	110	6
7	111	7
8	1000	8
9	1001	9
10	1010	A
11	1011	B
12	1100	C
13	1101	D
14	1110	E
15	1111	F
16	10000	10

Для определения значения числа (например, значения числа 100 для разных систем счисления может составлять 42, 10010, 25616), в конце числа добавляют латинскую букву, обозначающую систему счисления: для двоичных чисел букву b, для шестнадцатеричных - h, для десятичных – d. Число без дополнительного обозначения считается десятичным.
Перевод чисел из одной системы в другую и основные арифметические и логические операции над числами позволяет производить инженерный калькулятор (стандартное приложение операционной системы Windows).

Структура микропроцессорной системы

Основу микропроцессорной системы составляет **микропроцессор** (процессор), который выполняет функции обработки информации и управления. Остальные устройства, входящие в состав микропроцессорной системы, обслуживают процессор, помогая ему в работе.

Обязательными устройствами для создания микропроцессорной системы являются **порты ввода/вывода** и отчасти **память**. Порты ввода/вывода связывают процессор с внешним миром, обеспечивая ввод информации для обработки и вывод результатов обработки, либо управляющих воздействий. К портам ввода подключают кнопки (клавиатуру), различные датчики; к портам вывода - устройства, которые допускают электрическое управление: индикаторы, дисплеи, контакторы, электроклапаны, электродвигатели и т.д.
Память нужна в первую очередь для хранения программы (либо набора программ), необходимой для работы процессора. **Программа** - это последовательность команд, понятных процессору, написанная человеком (чаще программистом).
Структура микропроцессорной системы представлена на рисунке 1. В упрощённом виде процессор состоит из арифметически-логического устройства (АЛУ), осуществляющего обработку цифровой информации и устройства управления (УУ).
Память обычно включает постоянно-запоминающее устройство (ПЗУ), являющееся энергонезависимым и предназначенное для долговременного хранения информации (например, программ), и оперативно-запоминающее устройство (ОЗУ), предназначенное для временного хранения данных.

Рисунок 1 – Структура микропроцессорной системы

Процессор, порты и память взаимодействуют между собой посредством шин. Шина – это набор проводников, объединённых по функциональному признаку. Единый набор системных шин называют **внутрисистемная магистраль**, в которой выделяют:

- шину данных DB (Data Bus), по которой производится обмен данными между ЦП, памятью и портами;
- шину адреса AB (Address Bus), используемой для адресации процессором ячеек памяти и портов;
- шину управления CB (Control Bus), набор линий, передающих различные управляющие сигналы от процессора на внешние устройства и обратно.

Микропроцессоры

Микропроцессор - программно-управляемое устройство, предназначенное для обработки цифровой информации и управления процессом этой обработки, выполненное в виде одной (или нескольких) интегральной схемы с высокой степенью интеграции электронных элементов.
Микропроцессор характеризуется большим числом параметров, поскольку он одновременно является сложным программно-управляемым устройством и электронным прибором (микросхемой). Поэтому для микропроцессора важны, как тип корпуса, так и **система команд процессора**. Возможности микропроцессора определяются понятием архитектуры микропроцессора.
Приставка «микро» в названии процессора означает, что выполняется он по микронной технологии.

Рисунок 2 – Внешний вид микропроцессора Intel Pentium 4

В ходе работы микропроцессор считывает команды программы из памяти или порта ввода и исполняет их. Что означает каждая команда, определяется системой команд процессора. Система команд заложена в архитектуре микропроцессора и выполнение кода команды выражается в проведении внутренними элементами процессора определённых микроопераций.

Архитектура микропроцессора - это его логическая организация; она определяет возможности микропроцессора по аппаратной и программной реализации функций, необходимых для построения микропроцессорной системы.

Основные характеристики микропроцессоров:

1) **Тактовая частота** (единица измерения МГц или ГГц) – количество тактовых импульсов за 1 секунду. Тактовые импульсы вырабатывает тактовый генератор, который чаще всего находится внутри процессора. Т.к. все операции (инструкции) выполняются по тактам, то от значения тактовой частоты зависит производительность работы (количество выполняемых операций в единицу времени). Частотой процессора можно варьировать в определённых пределах.

2) **Разрядность процессора** (8, 16, 32, 64 бит и т.д.) – определяет число байтов данных, обрабатываемых за один такт. Разрядность процессора определяется разрядностью его внутренних регистров. Процессор может быть 8-разрядным, 16-разрядным, 32-разрядным, 64-разрядным и т.д., т.е. данные обрабатываются порциями по 1, 2, 4, 8 байт. Понятно, что чем больше разрядность, тем выше производительность работы.

Внутренняя архитектура микропроцессора

Упрощенная внутренняя архитектура типового 8-разрядного микропроцессора показана на рисунке 3. В структуре микропроцессора можно выделить три основных части:

1) **Регистры** для временного хранения команд, данных и адресов;

2) **Арифметико-логическое устройство (АЛУ)**, которое реализует арифметические и ло-гические операции;

3) **Схема управления и синхронизации** - обеспечивает выборку команд, организует функционирование АЛУ, обеспечивает доступ ко всем регистрам микропроцессора, воспринимает и генерирует внешние управляющие сигналы.

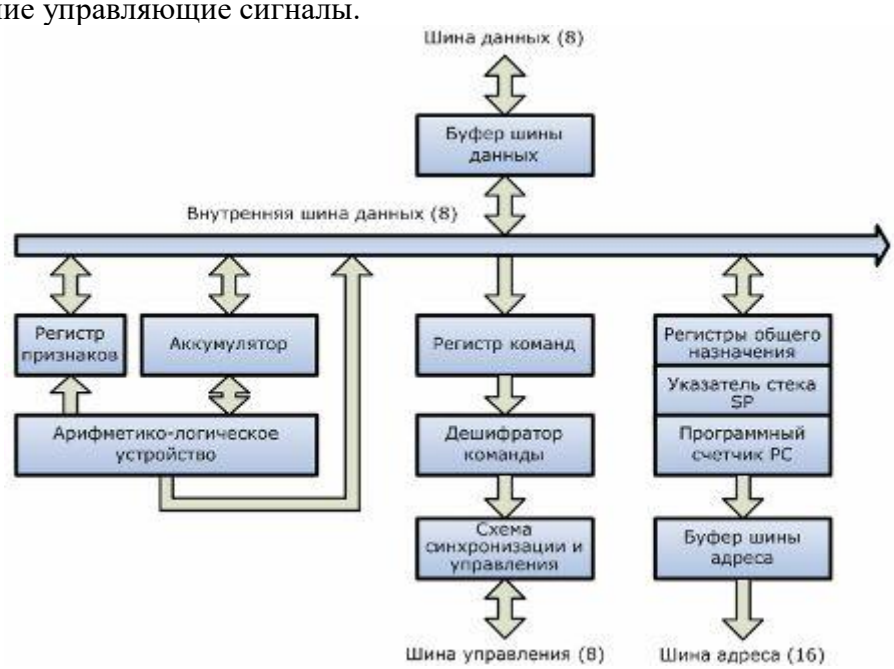


Рисунок 3 - Упрощенная внутренняя архитектура 8-разрядного микропроцессора

Как видно из схемы, основу процессора составляют регистры, которые делятся на специальные (имеющие определенное назначение) и регистры общего назначения.

Программный счетчик (PC) - регистр, содержащий адрес следующего командного байта. Процессор должен знать, какая команда будет выполняться следующей.

Аккумулятор – регистр, используемый в подавляющем большинстве команд логической и арифметической отработки; он одновременно является и источником одного из байт данных, которые требуются для операции АЛУ, и местом, куда помещается результат операции АЛУ.

Регистр признаков (или регистр флагов) содержит информацию о внутреннем состоянии микропроцессора, в частности о результате последней операции АЛУ. Регистр флагов не является регистром в обычном смысле, а представляет собой просто набор триггер-защелок (флаг поднят или опущен. Обычно имеются флаж¬ки нуля, переполнения, отрицательного результата и переноса.

Указатель стека (SP) - следит за положением стека, т. е. содержит адрес последней его использованной ячейки. **Стек** – способ организации хранения данных.

Регистр команды содержит текущий командный байт, который декодируется дешифратором команды.
Линии внешних шин изолированы от линий внутренней шины с помощью буферов, а основные внутренние элементы связаны быстродействующей внутренней шиной данных.
Для повышения производительности многопроцессорной системы функции центрального процессора могут распределяться между несколькими процессорами. В помощь центральному процессору в компьютер часто вводят **сопроцессоры**, ориентированные на эффективное исполнение каких-либо специфических функций. Широко распространены **математические и графические**, сопроцессоры **ввода-вывода**, разгружающие центральный процессор от несложных, но многочисленных операций взаимодействия с внешними устройствами.
На современном этапе основным направлением повышения производительности является разработка **многоядерных процессоров**, т.е. объединение в одном корпусе двух и более процессоров, с целью выполнения нескольких операций параллельно (одновременно).
Лидирующими компаниями по разработке и изготовлению процессоров являются Intel и AMD.

Алгоритм работы микропроцессорной системы

Алгоритм — точное предписание, однозначно задающее процесс преобразования исходной информации в последовательность операций, позволяющих решать совокупность задач определённого класса и получать искомый результат.
Главным управляющим элементом всей микропроцессорной системы является **процессор**. Именно он, за исключением нескольких особых случаев, управляет всеми остальными устройствами. Остальные же устройства, такие, как ОЗУ, ПЗУ и порты ввода/вывода являются ведомыми.
Сразу после включения процессор начинает читать цифровые коды из той области памяти, которая отведена для хранения программ. Чтение происходит последовательно ячейка за ячейкой, начиная с самой первой. В ячейке записаны данные, адреса и команды. Команда - это одно из элементарных действий, которое способен выполнить микропроцессор. Вся работа микропроцессора сводится к последовательному чтению и выполнению команд.
Рассмотрим последовательность действий микропроцессор во время выполнения команд программы:
1) Перед выполнением очередной команды микропроцессор содержит ее адрес в программном счетчике PC.
2) МП обращается к памяти по адресу, содержащемуся в PC, и считывает из памяти первый байт очередной команды в регистр команд.
3) Дешифратор команд декодирует (расшифровывает) код команды.
4) В соответствии с полученной от дешифратора информацией устройство управления вырабатывает упорядоченную во времени последовательность микроопераций, реализующих предписания команды, в том числе:
- извлекает операнды из регистров и памяти;
- выполняет над ними предписанные кодом команды арифметические, логические или другие операции;
- в зависимости от длины команды модифицирует содержимое PC;
- передает управление очередной команде, адрес которой снова находится в программном счетчике PC.
Совокупность команд микропроцессора можно разделить на три группы:
1) **Команды перемещения данных**
Перемещение происходит между памятью, процессором, портами ввода/вывода (каждый порт имеет свой собственный адрес), между регистрами процессора.
2) **Команды преобразования данных**
Любые данные (текст, рисунок, видеоролик и т.д.) представляют собой числа, а с числами можно выполнять только арифметические и логические операции. Поэтому к командам этой группы относятся сложение, вычитание, сравнение, логические операции и т.п.
3) **Команда передачи управления**
Очень редко программа состоит из одной последовательной команд. Подавляющее число алгоритмов требуют разветвления программы. Для того, чтобы программа имела возможность менять алгоритм своей работы в зависимости от какого-либо условия, и служат команды передачи управления.
Данные команды обеспечивают протекание выполнения программы по разным путям и организуют циклы.

Внешние устройства
К внешним, относятся все устройства, находящиеся вне процессора (кроме оперативной памяти) и подключаемые через порты ввода/вывода. Внешние устройства можно подразделить на три группы:
1) устройства для связи человек-ЭВМ (клавиатура, монитор, принтер и т.д.);
2) устройства для связи с объектами управления (датчики, исполнительные механизмы, АЦП и ЦАП);
3) внешние запоминающие устройтсва большой ёмкости (жёсткий диск, дисководы).
Внешние устройства подключаются к микропроцессорной системе физически - с помощью разъёмов, и логически - с помощью портов (контроллеров).
Для взаимодействия процессора и внешних устройств применяется система (механизм) прерываний.
Система прерываний
Это специальный механизм, который позволяет в любой момент, по внешнему сигналу заставить процессор приостановить выполнение основной программы, выполнить операции, связанные с вызывающим прерывание событием, а затем вернуться к выполнению основной программы.
У любого микропроцессора имеется хотя бы один вход запроса на прерывание INT (от слова Interrupt - прерывание).
Рассмотрим пример взаимодействия процессора персонального компьютера с клавиатурой (рисунок 4).
Клавиатура - устройство для ввода символьной информации и команд управления. Для подключения клавиатуры в компьютере имеется специальный порт клавиатуры (микросхема).

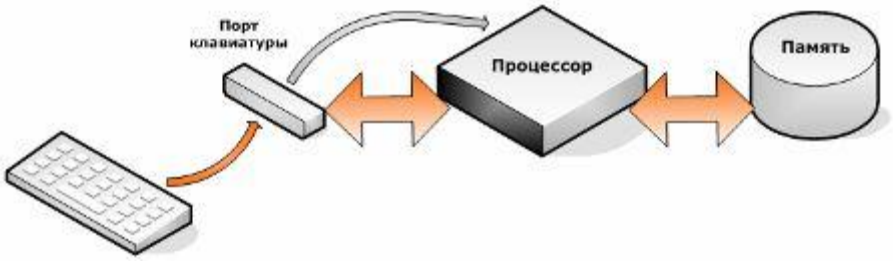


Рисунок 4 – Работа процессора с клавиатурой

Алгоритм работы:
1) При нажатии клавиши контроллер клавиатуры формирует цифровой код. Этот сигнал поступает в микросхему порта клавиатуры.
2) Порт клавиатуры посылает процессору сигнал прерывания. Каждое внешнее устройство имеет свой номер прерывания, по которому процессор его и распознаёт.
3) Получив прерывание от клавиатуры, процессор прерывает выполнение программы (например, редактор Microsoft Office Word) и загружает из памяти программу обработки кодов с клавиатуры. Такая программа называет драйвер.
4) Эта программа направляет процессор к порту клавиатуры, и цифровой код загружается в регистр процессора.
5) Цифровой код сохраняется в памяти, и процессор переходит к выполнению другой задачи. Благодаря высокой скорости работы, процессор выполняет одновременно большое количество процессов.

ЭВМ и микропроцессорные средства автоматизации

В последнее время в управлении технологическим процессами широкое применение нашли средства вычислительной техники, что обусловлено прежде всего двумя причинами:

- появлением средств вычислительной техники, характеризуемых большими функциональными возможностями, наличием устройств связи с объектом и различными формами и средствами представления информации и вместе с тем невысокой стоимостью;

— возможностью реализации как аппаратным, так и программным путем более сложных схем управления с адаптацией к изменяющимся характеристикам объекта, что позволяет значительно повысить качество систем.

Вычислительная техника является эффективным средством оптимального управления, которое обеспечивает наивыгоднейшее значение определенного критерия, характеризующего эффективность управления при заданных ограничениях

Технической основой современных систем управления и цифрового регулирования являются ЭВМ и микропроцессоры. Независимо от типа, ЭВМ могут быть представлены одной укрупненной структурной схемой

Устройство ввода-вывода вводит дискретную информацию, необходимую для работы вычислительной машины, т.е. программу и исходные данные, в том числе информацию о ходе технологического процесса, и выводит результаты вычислений на периферийное устройство. Арифметико-логическое устройство осуществляет арифметические и логические операции. Запоминающее устройство хранит программы, исходные данные, промежуточные и окончательные результаты. Устройство управления организует процесс выполнения программ и координирует взаимодействие всех устройств ЭВМ во время ее работыемой

Развитие технологии производства больших интегральных схем (БИС) с повышенным уровнем интеграции и увеличение объема их производства привели к созданию принципиально новых средств вычислительной техники — микро-ЭВМ

Центральным блоком микро-ЭВМ является микропроцессор — программно-управляемое устройство для обработки данных, выполненное на одной или нескольких больших интегральных схемах (БИС).

Когда микропроцессор выполнен на одной БИС, имеем однокристальный процессор, если же из комплекса БИС — процессор модульного исполнения.

Рис. 6.22. **Укрупненная структура ЭВМ**

Типичная схема микропроцессора представлена на рис. 6.23.
Схема включает арифметическое устройство, устройство управления, счетчик команд, накопитель и регистр общего назначения, которые объединены системой шин (адресной, информационной и управления).

Счетчик команд и накопитель в микропроцессоре автоматически реализуют адресацию результата операции. Регистр общего назначения — это внутренние ячейки памяти, которые служат для хранения промежуточных результатов работы микропроцессора. В современных системах управления микропроцессоры применяются как средства управления в составе программируемых контроллеров — устройств

Рис. 6.23. **Структура микропроцессора**

Основные достоинства программируемого контроллера — это возможность простого ввода любой необходимой программы функционирования с помощью встроенного или автономного (подключаемого) портативного устройства программирования, высокая надежность, быстродействие, малые габариты. Программируемые контроллеры могут функционировать как в автономном режиме, так и в составе иерархической системы управления технологическим процессом. В состав контроллеров кроме микропроцессоров и устройства программирования входят устройство ввода-вывода и блок питания. В некоторых типах контроллеров предусмотрена возможность их подключения к ЭВМ

В программируемых контроллерах запоминающее устройство может позволять как считывать, так и записывать информацию. Первые применяются для управления процессами, где не требуется частая смена программы. Такие контроллеры обладают большой надежностью, но процесс смены программы в них весьма трудоемок. Вторые контроллеры получили большее распространение вследствие простоты перепрограммирования

Пример включения программируемого контроллера в контур управления приведен на рис. 6.24

Рис. 6.24. **Структура системы управления с программируемым контроллером**

Информация о значениях выходных параметров, полученная первичными измерительными преобразователями, преобразуется на устройстве ввода в цифровую форму и поступает на микропроцессор, который определяет величины отклонений регулируемых параметров от заданных значений и преобразует их в соответствии с заданными законами регулирования. Сигналы воздействий поступают на устройство вывода, где преобразуются в аналоговую форму и передаются на исполнительные устройства, осуществляющие регулирующие воздействия на объект

При необходимости информации о значениях регулируемых параметров может отображаться на дисплее или других устройствах. Кроме того, возможно осуществление связи с ЭВМ, например, для контроля за работой системы или для других целей

Основные характерные функции, возлагаемые на микро-ЭВМ и программируемые контроллеры, следующие:

— замена жесткой логики (релейных систем) на программную, что делает систему более гибкой, легко приспосабливающейся к изменениям технологической схемы процесса

— управление локальными системами регулирования

— непосредственное цифровое регулирование (в качестве цифрового регулятора);

— автоматизация работы приборов и процессов измерений, экспресс- обработка результатов измерений, обеспечение возможности использования прибора в составе измерительной системы

Системы со средствами вычислительной техники в контуре управления относятся к так называемым дискретным системам, которые функционируют в дискретном пространстве и определяются дискретными состояниями

Структурная схема системы автоматического управления с цифровым вычислительным устройством (цифровым регулятором) представлена на рис. 6.25. В такой системе, в отличие от непрерывной, управляющее устройство оперирует с дискретными числовыми последовательностями, получаемыми путем квантования по времени непрерывной функции (рис. 6.26)

Обычно в цифровых системах квантование производится с постоянным интегралом времени (интервалом дискретности *T).* Преобразование непрерывного сигнала в числовую последовательность осуществляется в аналого-цифровом преобразователе (АЦП).

Рис. 6.25. **Структурная схема системы автоматического управления с цифровым вычислительным устройством**

В вычислительном устройстве (ВУ) производится определение текущего значения управляющего воздействия, которое в дальнейшем преобразуется из числовой последовательности в непрерывный сигнал с помощью цифро-аналогового преобразователя (ЦЛП)

Для управления технологическими процессами часто используются хорошо исследованные линейные законы регулирования: П, И, ПИ, ПД, ПИД, реализуемые в дискретной форме в вычислительном устройстве

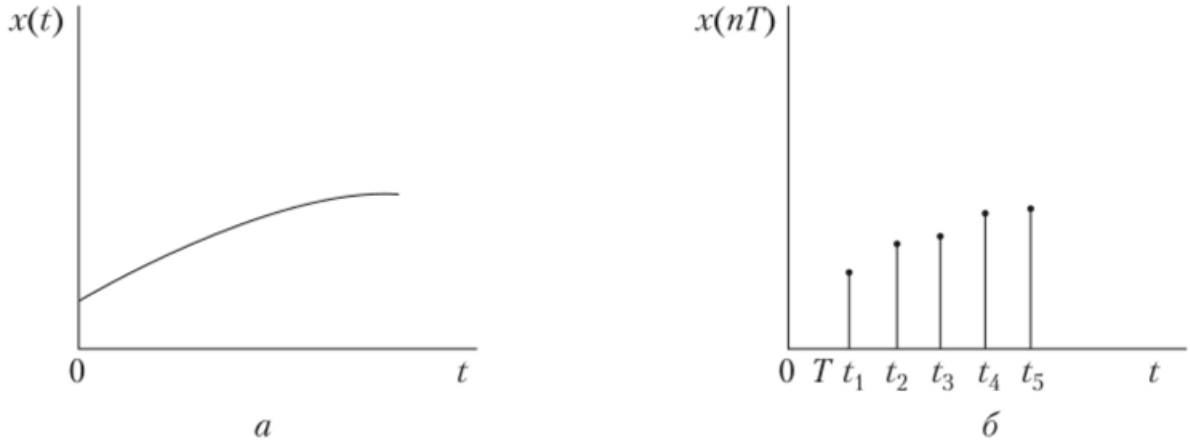


Рис. 6.26. Графики непрерывной функции *(а)* и дискретной последовательности *(б)*

При расчете цифровых регуляторов, реализующих типовые линейные законы регулирования, определяют параметры настройки, рассмотренные ранее для непрерывных систем регулирования, а также рассчитывают интервал дискретности *T*

Чтобы дискретная система обладала свойствами, близкими к свойствам непрерывной системы, интервал дискретности выбирается достаточно малым

Обычно в качестве цифрового регулятора используют управляющий вычислительный комплекс (УВК), который одновременно обслуживает несколько контуров управления. При этом УВК работает по принципу поэтапного управления, с кратковременным поочередным подключением к каждому из обслуживаемых контуров

Вычислительное устройство в определенные моменты времени рассчитывает и выдает каждому контуру соответствующие управляющие воздействия. Так как исполнительное устройство относительно медленно реагирует на изменение входного сигнала, то в течение цикла обегания эти изменения хранятся в буферном запоминающем устройстве

Тема 4.1. Выпрямительные устройства

Выпрямитель (электрического тока) — преобразователь электрической энергии; механическое, электровакуумное, полупроводниковое или другое устройство, предназначенное для преобразования входного электрического тока переменного направления в ток постоянного направления[1] (то есть однонаправленный ток), в частном случае — в постоянный выходной электрический ток.

Большинство выпрямителей создаёт не постоянный, а пульсирующий ток, для сглаживания пульсаций применяют фильтры.

Устройство, выполняющее обратную функцию — преобразование постоянного тока в переменный ток называется инвертором.

Из-за принципа обратимости электрических машин выпрямитель и инвертор являются двумя разновидностями одной и той же электрической машины (справедливо только для инвертора на базе электрической машины).

Классификация

Выпрямители классифицируют по следующим признакам:

- по виду переключателя выпрямляемого тока
  - механические синхронные с щёточноколлекторным коммутатором тока[2];
  - механические синхронные с контактным переключателем (выпрямителем) тока;
  - с электронной управляемой коммутацией тока (например, тиристорные);
  - электронные синхронные (например, транзисторные) — как разновидность выпрямителей с управляемой коммутацией;
  - с электронной пассивной коммутацией тока (например, диодные);
- по мощности
  - силовые выпрямители[3];
  - выпрямители сигналов[4];
- по степени использования полупериодов переменного напряжения
  - однополупериодные — пропускают в нагрузку только одну полуволну;
  - двухполупериодные — пропускают в нагрузку обе полуволны;
  - неполноволновые — не полностью используют синусоидальные полуволны;
  - полноволновые — полностью используют синусоидальные полуволны;
- по схеме выпрямления — мостовые, с умножением напряжения, трансформаторные, с гальванической развязкой, бестрансформаторные и пр.;
- по количеству используемых фаз — однофазные, двухфазные, трёхфазные и многофазные;
- по типу электронного вентиля — полупроводниковые диодные, полупроводниковые тиристорные, ламповые диодные (кенотронные), газотронные, игнитронные, электрохимические и пр.;
- по управляемости — неуправляемые (диодные), управляемые (тиристорные);

- по количеству каналов — одноканальные, многоканальные;
- по величине выпрямленного напряжения — низковольтные (до 100 В), средневольтовые (от 100 до 1000 В), высоковольтные (свыше 1000 В);
- по назначению — сварочный, для питания микроэлектронной схемы, для питания ламповых анодных цепей, для гальваники и пр.;
- по степени полноты мостов — полномостовые, полумостовые, четвертьмостовые;
- по наличию устройств стабилизации — стабилизированные, нестабилизированные;
- по управлению выходными параметрами — регулируемые, нерегулируемые;
- по индикации выходных параметров — без индикации, с индикацией (аналоговой, цифровой);
- по способу соединения — параллельные, последовательные, параллельно-последовательные;
- по способу объединения — раздельные, объединённые звёздами, объединённые кольцами;
- по частоте выпрямляемого тока — низкочастотные, среднечастотные, высокочастотные.

Применение

Выпрямление электрического тока

Выпрямители обычно используются там, где нужно преобразовать переменный ток в постоянный ток. Применение выпрямителей для преобразования переменного тока в постоянный вызвало понятие **среднего значения тока по модулю** (то есть без учёта знака ординаты) за период.
При **двухполупериодном выпрямлении** среднее значение по модулю определяется как среднеарифметическое значение всех ординат обеих полуволн за целый период без учёта их знаков (то есть полагая все ординаты за период положительными, что и имеет место при двухполупериодном идеальном выпрямлении).

Приёмниками электроэнергии с нелинейными характеристиками являются в первую очередь всевозможные преобразовательные установки переменного тока в постоянный, использующие различные вентили.

Сюда относятся выпрямительные установки для:

- железнодорожной тяги
- городского электротранспорта
- электролиза (производство алюминия, хлора, едкого натра и др., электрохимическое осаждение металлов)
- питания приводов прокатных станов
- возбуждения генераторов электростанций

В качестве вентилей до последнего времени использовались в основном ртутные выпрямители (неуправляемые и управляемые). В настоящее время широкое применение находят преимущественно кремниевые полупроводниковые выпрямители. Внедряются тиристорные выпрямители.

Обычно выпрямительные установки выполняются большой мощности и присоединяются через специальные трансформаторы к питающей сети на напряжении 6 — 10 кВ. Выпрямительные установки небольшой мощности выполняются по трехфазной схеме с нулевым выводом.

Блоки питания аппаратуры[править | править код]

Применение выпрямителей в блоках питания радио- и электроаппаратуры обусловлено тем, что обычно в системах электроснабжения зданий или транспортных средств (самолётов, поездов) применяется переменный ток, и выходной ток любого электромагнитного трансформатора, применённого для гальванической развязки цепей или для понижения напряжения, всегда переменный, тогда как в большинстве случаев электронные схемы и электродвигатели целевой аппаратуры рассчитаны на питание постоянным током.

- Блоки питания промышленной и бытовой радио- и электроаппаратуры (в том числе так называемые адаптеры (англ. *AC-DC adaptor*)).

- Блоки питания бортовой радиоэлектронной аппаратуры транспортных средств.

Выпрямители электросиловых установок

- Выпрямители питания главных двигателей постоянного тока автономных транспортных средств и буровых станков.

Как правило, на автономных транспортных средствах (автомобилях, тракторах, тепловозах, теплоходах, атомоходах, самолётах) для получения электроэнергии применяют генераторы переменного тока, так как они имеют большую мощность при меньших габаритах и весе, чем генераторы постоянного тока. Но для приводов движителей транспорта обычно применяются двигатели постоянного тока, так как они позволяют простым переключением полюсов питающего тока управлять направлением движения, и имеют требуемую тяговую характеристику (большой крутящий момент при низкой частоте вращения ротора). Это позволяет отказаться от сложных, тяжёлых и ненадёжных коробок переключения передач. Также применяется и для привода бурильных станков буровых вышек.

- Преобразователи бортового электроснабжения постоянного тока автономных транспортных средств: автотракторной, железнодорожной, водной, авиационной и другой техники.

Генерация электроэнергии на транспортном средстве обычно производится генератором переменного тока, но для питания бортовой аппаратуры необходим постоянный ток. Например, в легковых автомобилях бортовая сеть постоянного тока получает питание от полупроводникового выпрямителя, встроенного в генератор переменного тока.

Сварочные аппараты

В сварочных аппаратах постоянного тока применяются чаще всего мостовые схемы на мощных кремниевых выпрямительных диодах — вентилях, с целью получения постоянного сварочного тока. Он отличается от переменного тем, что при использовании его сильнее нагревается область дуги около положительного её полюса, что позволяет либо осуществлять щадящую сварку свариваемых деталей преимущественно плавящимся сварочным электродом, либо экономить электроды, осуществляя резку металла электродуговой сваркой. В ряде случаев, с использованием специальных сварочных электродов, электрическая дуговая сварка переменным током вообще невозможна.

Вентильные блоки преобразовательных подстанций систем энергоснабжения

- Для питания главных двигателей постоянного тока прокатных станов, кранов и другой техники

Энергоснабжение заводов осуществляется электросетью переменного тока, но для приводов прокатных станов и других агрегатов выгоднее использовать двигатели постоянного тока по той же причине, что и для двигателей транспортных средств.

- Для гальванических ванн (электролизёров) для получения цветных металлов и стали, нанесения металлических покрытий и гальванопластики.
- Установки электростатической очистки промышленных газов (электростатический фильтр)
- Установки очистки и обессоливания воды
- Для электроснабжения контактных сетей электротранспорта постоянного тока (трамвай, троллейбус, электровоз, метро)
- Для несинхронной связи энергосистем переменного тока
- Для дальней передачи электроэнергии постоянным током

Выпрямители высокочастотных колебаний

В составе ректенн:

- в перспективных моделях солнечных батарей (КПД более 80%);
- в перспективных системах сбора энергии окружающих шумовых электромагнитных сигналов;
- в перспективных системах беспроводной передачи электроэнергии.

Детектирование высокочастотного сигнала

Баллистический выпрямитель

Баллистический выпрямитель может найти применение для детектирования очень высокочастотных сигналов (до 50 ГГц).

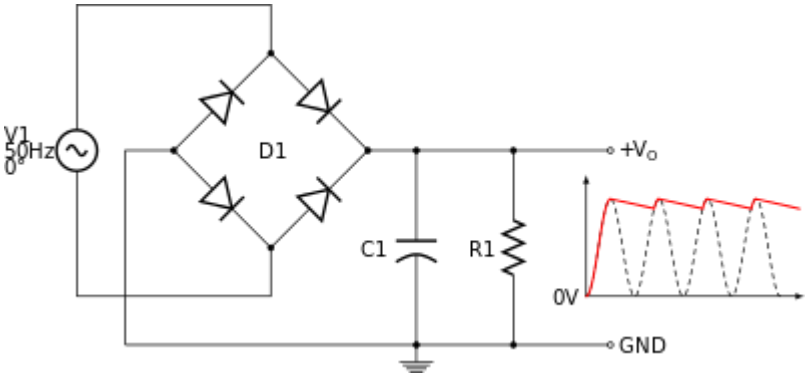
Характеристики

- Номинальное выходное напряжение постоянного тока и допустимый диапазон его изменения;
- Номинальный ток нагрузки;
- Диапазон эффективного входного напряжения переменного тока (например, 220 В ± 10 %);
- Допустимая выходная пульсация, её амплитудно-частотные характеристики;
- Нагрузочная характеристика.
- Эквивалентное внутреннее комплексное (в первом приближении активное) сопротивление.
- Коэффициент использования габаритной мощности трансформатора.

Типовые схемы

Двухполупериодный выпрямитель

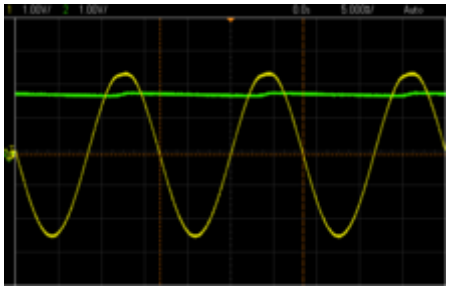
Может строиться по *мостовой* или *полумостовой* схеме (когда, например, в случае выпрямления однофазного тока, используется специальный трансформатор с выводом от средней точки вторичной обмотки и вдвое меньшим количеством выпрямляющих ток элементов; такая схема ныне применяется редко, так как более металлоёмка и имеет большее эквивалентное активное внутреннее сопротивление, то есть большие потери на нагрев обмоток трансформатора).



Двухполупериодный выпрямитель с сглаживающим ёмкостным фильтром

При построении двухполупериодного выпрямителя со сглаживающим конденсатором следует всегда помнить, что переменное напряжение всегда измеряется в «действующем» значении, которое в 1,41 раза меньше его максимальной амплитуды, а выпрямленное напряжение на конденсаторе, в отсутствие нагрузки, будет всегда равно амплитудному. Это означает, что, например, при измеренном напряжении однофазного переменного тока 12 вольт до мостового однофазного выпрямителя со сглаживающим конденсатором, на конденсаторе, (в отсутствие нагрузки), будет напряжение до 17 вольт. Под нагрузкой выпрямленное напряжение будет ниже (но не ниже величины средневыпрямленного[*уточнить*] напряжения переменного тока, если внутреннее сопротивление трансформатора — источника переменного тока — принять равным нулю) и зависеть от ёмкости сглаживающего конденсатора.

Соответственно, выбор величины переменного напряжения вторичной обмотки трансформатора, должен строиться исходя из максимальной допустимой величины подаваемого напряжения, а ёмкость сглаживающего конденсатора — должна быть достаточно большой, чтобы напряжение под нагрузкой не снизилось меньше минимально допустимого. На практике также учитывается неизбежное падение напряжения под нагрузкой — на сопротивлении проводов, обмотке трансформатора, диодах выпрямительного моста, а также возможное отклонение от номинального величины питающего трансформатор напряжения электрической сети.

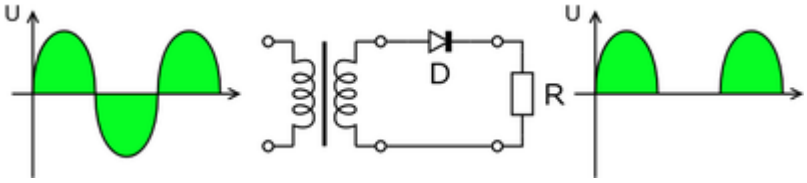


Входное переменное напряжение (жёлтого цвета) и постоянное выходное напряжение однополупериодного выпрямителя с фильтрующей ёмкостью.

Следует отметить, что в выпрямителях с сглаживающим конденсатором диоды открываются не на весь полупериод напряжения, а на короткие промежутки времени, когда мгновенное значение переменного напряжения превышает постоянное напряжение на фильтрующем конденсаторе (т. е. в моменты вблизи максимумов синусоиды). Поэтому протекающий через диоды (и обмотку трансформатора) ток представляет собой короткие мощные импульсы сложной формы, амплитуда которых значительно превышает средний ток, потребляемый нагрузкой выпрямителя. Этот факт следует учитывать при расчёте трасформатора (вариант расчёта для работы *не* на активную нагрузку, а на выпрямитель с ёмкостным фильтром), и принимать меры для подавления возникающих импульсных помех.

Однофазные выпрямители

Однополупериодный выпрямитель (четвертьмост)



Однополупериодный выпрямитель: график напряжения по времени до выпрямления — одна из возможных схем выпрямителя — и график напряжения по времени после выпрямления

Простейшая схема однополупериодного выпрямителя состоит только из одного выпрямляющего ток элемента (диода). На выходе — пульсирующий постоянный ток. На промышленных частотах (50—60 Гц) не имеет широкого применения, так как для питания аппаратуры требуются сглаживающие фильтры с большими величинами ёмкости и индуктивности, что приводит к увеличению габаритно-весовых характеристик выпрямителя. Однако схема однополупериодного выпрямления нашла очень широкое распространение в импульсных блоках питания с частотой переменного напряжения свыше 10 кГц, широко применяющихся в современной бытовой и промышленной аппаратуре. Объясняется это тем, что при более высоких частотах пульсаций выпрямленного напряжения, для получения требуемых характеристик (заданного или допустимого коэффициента пульсаций), необходимы сглаживающие элементы с меньшими значениями ёмкости (индуктивности). Вес и размеры источников питания уменьшаются с повышением частоты входного переменного напряжения.

Однополупериодный выпрямитель или четверть мост является простейшим выпрямителем и включает в себя один вентиль (диод или тиристор).

Допущения: нагрузка чисто активная, вентиль — идеальный электрический ключ.

Напряжение со вторичной обмотки трансформатора проходит через вентиль на нагрузку только в положительные полупериоды переменного напряжения. В отрицательные полупериоды вентиль закрыт, всё падение напряжения происходит на вентиле, а напряжение на нагрузке $U_н$ равно нулю. Среднее значение переменного напряжения по отношению к подведенному действующему составит:

$U_S=0{,}45U_2$

Эта величина вдвое меньше, чем в полномостовом. Важно отметить, что среднеквадратичное (устар. эффективное, действующее) значение напряжения на выходе однополупериодного выпрямителя будет в $\sqrt{2}$ меньше подведенного действующего, а потребляемая нагрузкой мощность в 2 раза меньше (для синусоидальной формы сигнала).

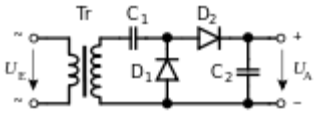
Недостатки:

- Большая величина пульсаций
- Сильная нагрузка на вентиль (требуется диод с большим средним выпрямленным током)

- Низкий коэффициент использования габаритной мощности трансформатора (около 0,45) (не путать с КПД, который зависит от потерь в меди и потерь в стали и в однополупериодном выпрямителе почти такой же, как и в двухполупериодном)
- Протекающий через обмотку трансформатора ток имеет постоянную составляющую, что ухудшает магнитные свойства сердечника вследствие его подмагничивания.

Преимущества:

- Экономия на количестве вентилей
- Снижение падения напряжения и потерь мощности на выпрямителе (в мостовой схеме ток нагрузки протекает через *два* последовательно соединённых вентиля, в однополупериодной — через один).



Полумост

Схема Гренашера

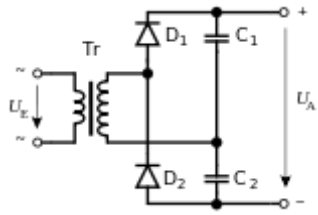
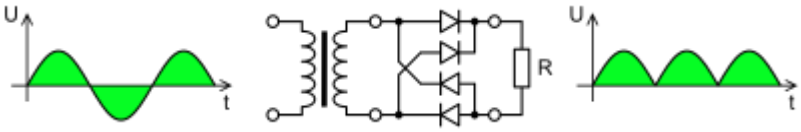


Схема Латура — Делона

На двух диодах и двух конденсаторах, широко известный как «с удвоением напряжения» или «удвоитель Латура — Делона — Гренашера».

Известна также схема с удвоением тока: параллельно единственной вторичной обмотке трансформатора включаются два последовательно соединённых дросселя, средняя точка соединения между которыми используется как средняя точка в «двухполупериодном выпрямителе со средней точкой». [11]

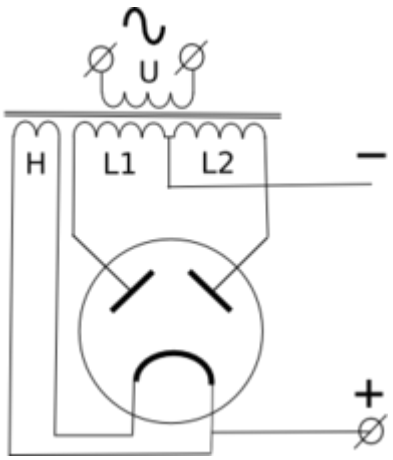
Полный мост (Гретца)



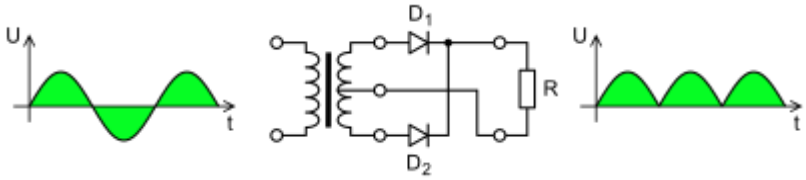
На четырёх диодах, широко известный как «двухполупериодный», изобретён немецким физиком Лео Гретцем.

Двухфазные выпрямители со сдвигом фаз 180°

Два четвертьмоста параллельно («двухполупериодный со средней точкой»)



Выпрямитель Миткевича «два четвертьмоста параллельно» на двуханодной лампе. Здесь вторичная обмотка Н служит для накала катода лампы.



Выпрямитель Миткевича «два четвертьмоста параллельно» на твёрдотельных диодах.

Два полных моста параллельно

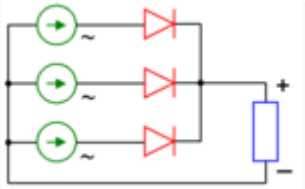
Позволяет применять диоды со средним током почти вдвое меньшим, чем в однофазном полномостовом.

Трёхфазный выпрямитель

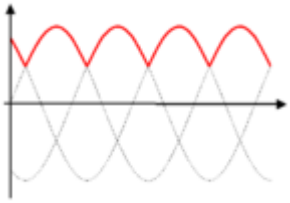
Наиболее распространены трёхфазные выпрямители по схеме Миткевича В. Ф. (на трёх диодах, предложена им в 1901 г.) и по схеме Ларионова А. Н. (на шести диодах, предложена в 1923 г.).

Выпрямитель по схеме Миткевича является четвертьмостовым параллельным, по схеме Ларионова — полумостовым параллельным

Три четвертьмоста параллельно (схема Миткевича)



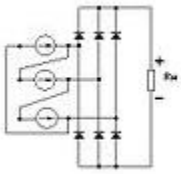
Три четвертьмоста параллельно (Миткевича В. Ф.)

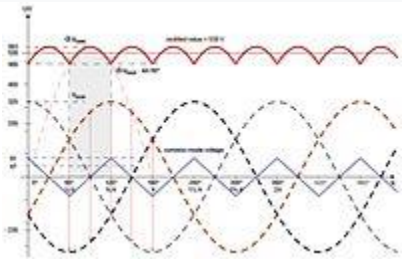


Вид ЭДС на входе (точками) и на выходе (сплошной)

Три полумоста параллельно, объединённые кольцом/треугольником («треугольник-Ларионов»)

Схема моста Ларионова с источником 3-х фазного напряжения в виде треугольника.





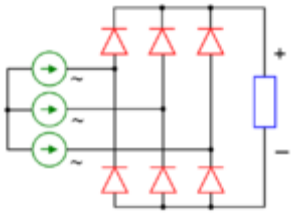
Вид ЭДС на входе (точками) и на выходе (сплошной).

В некоторой электротехнической литературе иногда не различают схемы «треугольник-Ларионов» и «звезда-Ларионов», которые имеют разные значения среднего выпрямленного напряжения, максимального тока, эквивалентного активного внутреннего сопротивления и др.

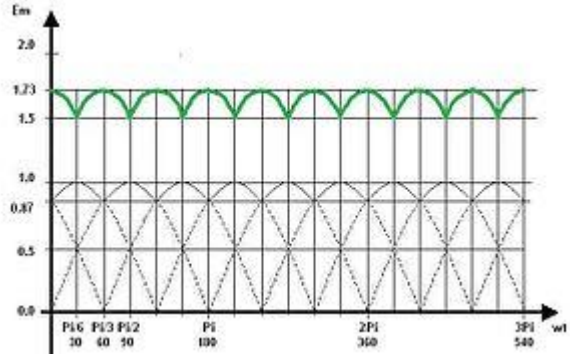
В выпрямителе «треугольник-Ларионов» омические потери в медной обмотке трансформатора больше, чем в выпрямителе по схеме «звезда-Ларионов», поэтому на практике чаще применяется схема «звезда-Ларионов».

Кроме этого, выпрямители Ларионова А. Н. часто называют мостовыми, на самом деле они являются полумостовыми параллельными.

Три полумоста параллельно, объединённые звездой («звезда-Ларионов»)

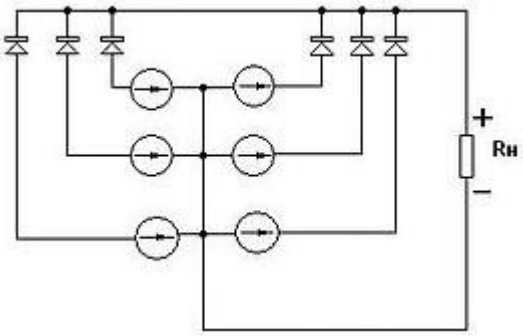


Три полумоста параллельно, объединённые звездой («звезда-Ларионов»)



Выпрямитель звезда-Ларионов (шестипульсный) применяется в генераторах электроснабжения бортовой сети почти на всех средствах транспорта (автотракторных, водных, подводных, воздушных и др.). В электроприводе тепловозов и дизель-электроходов почти вся мощность проходит через выпрямитель звезда-Ларионов.

Три двухфазных двухчетвертьмостовых параллельных выпрямителей Миткевича параллельно (6 диодов)



В литературе иногда называют «шестифазный»

Является почти аналогом выпрямителя «три полных моста параллельно» и имеет почти такие же свойства, как и выпрямитель «три полных моста параллельно», но эквивалентное внутреннее активное сопротивление почти вдвое больше, число диодов вдвое меньше, средний ток через один диод почти вдвое больший.

Три двухфазных двухчетвертьмостовых параллельных выпрямителей Миткевича последовательно (6 диодов)

Является почти аналогом выпрямителя «три полных моста последовательно» и имеет почти такие же свойства, но эквивалентное внутреннее активное сопротивление почти вдвое больше, число диодов вдвое меньше, средний ток через один диод почти вдвое больше.

Три полных моста параллельно (12 диодов)

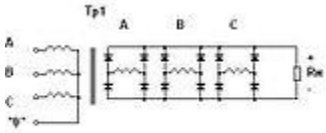
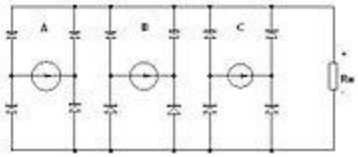


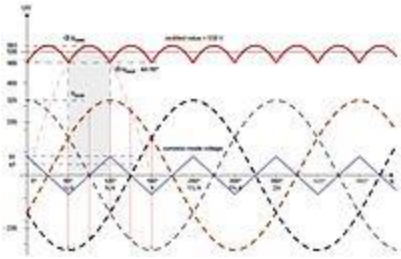
Схема подключения выпрямителя с тремя полными мостами к обмоткам трёхфазного трансформатора.



Расчетная схема выпрямителя с тремя полными мостами.

Менее известны полномостовые трёхфазные выпрямители по схеме «три параллельных моста» (на двенадцати диодах), «три последовательных моста» (на двенадцати диодах), и др., которые по многим параметрам превосходят выпрямитель Ларионова А. Н.

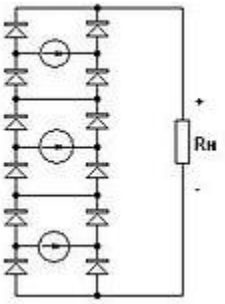
По схемам выпрямителей можно видеть, что выпрямитель Миткевича В. Ф. является «недостроенным» выпрямителем Ларионова А. Н., а выпрямитель Ларионова А. Н. является «недостроенным» выпрямителем «три параллельных моста».



Вид ЭДС на входе (точками) и на выходе (сплошной).

Относительная амплитуда пульсаций равна .

Три полных моста последовательно (12 диодов)



Двенадцатипульсовый статический выпрямитель

Двенадцатипульсовое выпрямительное устройство ВУ-6Б в техотсеке Ту-154

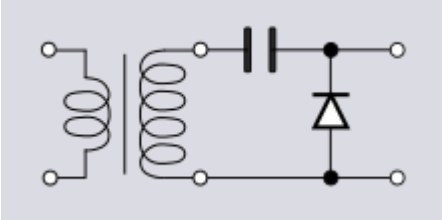
Представляет собой параллельное (или иногда последовательное) включение двух выпрямителей Ларионова со сдвигом фаз входных трёхфазных токов. При этом вдвое увеличивается число выпрямленных полупериодов по сравнению с обычным выпрямителем Ларионова, из-за чего уменьшается относительная амплитуда пульсаций выпрямленного напряжения и вдвое увеличивается частота пульсаций выпрямленного напряжения, что также облегчает сглаживание выпрямленного напряжения. Практически такая схема довольно популярна, применяется как в мощных выпрямителях тяговых подстанций электрического

транспорта, где важно обеспечить питание коллекторных тяговых электродвигателей с минимальными пульсациями, так и в выпрямительных устройствах летательных аппаратов, где важна электромагнитная совместимость.

Выпрямители с умножением напряжения

Выпрямители с умножением напряжения применяются в тех случаях, когда по каким-то причинам входное переменное напряжение должно быть ниже, чем выходное постоянное. К примеру, в отечественных телевизорах, начиная с некоторых моделей от последних серий УЛПЦТ и вплоть до 4УСЦТ применялся умножитель высокого напряжения в цепи анода кинескопа.

Выпрямитель Вилларда



Выпрямитель Вилларда

Предложен Виллардом в 1901 году[16]. Состоит из конденсатора, включенного последовательно с обмоткой, и диода, включенного параллельно нагрузке. Во время отрицательного полупериода ток течёт по цепи: «источник переменного тока — конденсатор — диод», конденсатор заряжается. Во время положительного полупериода заряженный конденсатор включается последовательно с трансформатором, напряжения на них складываются.

Особенность данного выпрямителя в том, что в качестве сглаживающего фильтра обязательно должен использоваться дроссель, так как конденсатор во время отрицательного полупериода будет разряжаться.

Выпрямитель Грейнахера

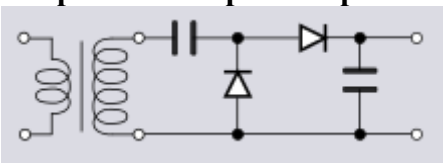


Схема Грейнахера

Предложен Грейнахером в 1913 году (опубликован в 1914). Этот выпрямитель содержит 2 диода. Принцип действия тот же, что и у выпрямителя Вилларда, но в качестве сглаживающего фильтра можно использовать конденсатор. Такая схема часто используется в качестве амплитудного детектора в радиоприёмниках.

Мостовой удвоитель напряжения

Мостовой удвоитель напряжения напоминает мост Гретца, но в отличие от него в одном из плеч моста вместо диодов установлены конденсаторы. За счёт этого во время каждой полуволны во входную цепь подключается то один, то другой конденсатор, а напряжение на выходе выпрямителя складывается из напряжений на двух конденсаторах.

Умножитель Кокрофта — Уолтона

Умножитель Кокрофта — Уолтона позволяет увеличивать выходное напряжение в несколько раз. Применяется в схемах, где необходимо получать очень высокое напряжение.

Недостатки

Существуют недостатки умножителей напряжения перед обычными выпрямителями:

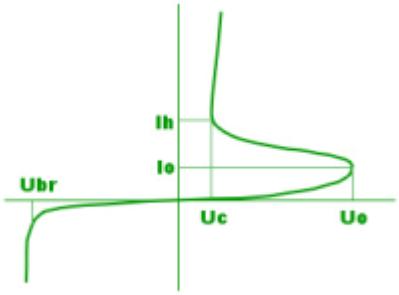
- более высокий уровень пульсаций;
- обычно большее внутреннее сопротивление, сильно зависящее от ёмкости применённых в них конденсаторов.

Эти особенности определили сферу применения умножителей напряжения — чаще всего в устройствах небольшой мощности, нетребовательных к качеству питания.

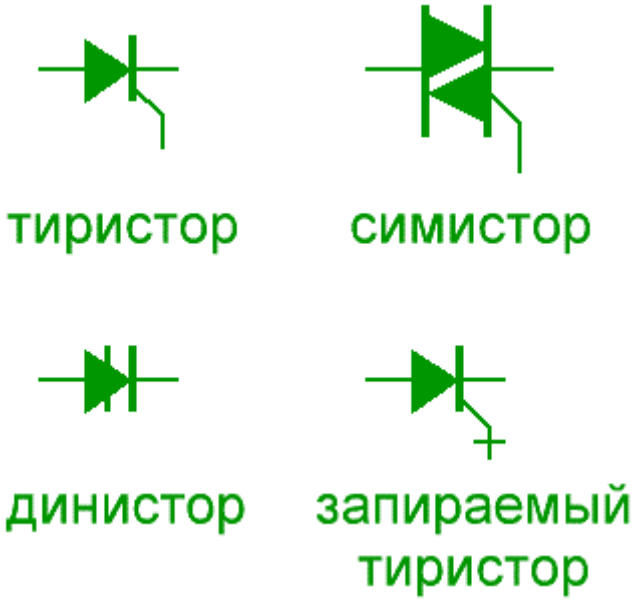
Управляемые выпрямители - устройство, схемы, принцип работы

Для регулировки выходного напряжения в цепях переменного тока с выпрямлением применяют управляемые выпрямители. Наряду с другими способами управления выходным напряжением после выпрямителя, такими как ЛАТР или реостат, управляемый выпрямитель позволяет добиться

большего КПД при высокой надежности схемы, чего нельзя сказать ни о регулировании при помощи ЛАТРа, ни о реостатном регулировании.
Использование управляемых вентилей более прогрессивно и гораздо менее громоздко. Лучше всего на роль управляемых вентилей подходят тиристоры.

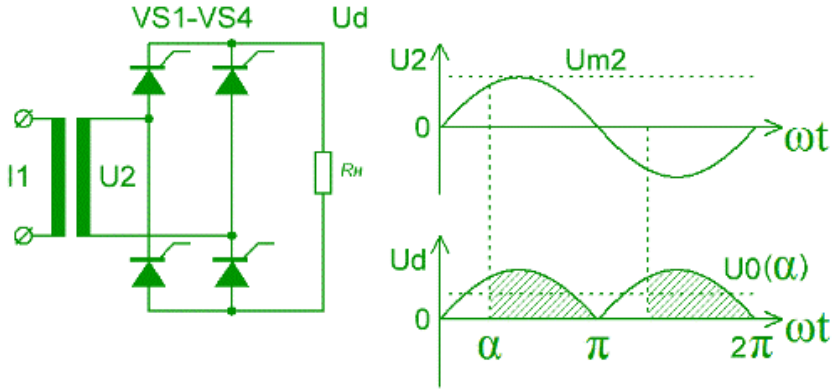


В исходном состоянии тиристор заперт, а возможных устойчивых состояний у него два: закрытое и открытое (проводящее). Если напряжение источника выше нижней рабочей точки тиристора, то при подаче на управляющий электрод импульса тока, тиристор перейдет в проводящее состояние, а следующие импульсы, подаваемые на управляющий электрод никак не отразятся на анодном токе, то есть цепь управления отвечает только за открывание тиристора, но не за его запирание. Можно утверждать, что тиристоры обладают значительным коэффициентом усиления по мощности.
Для выключения тиристора необходимо снизить его анодный ток, чтобы он стал меньше тока удержания, что достигается путем понижения напряжения питания или увеличением сопротивления нагрузки.
Тиристоры в открытом состоянии способны проводить токи до нескольких сотен ампер, но при этом тиристоры довольно инерционны. Время включения тиристора составляет от 100 нс до 10 мкс, а время выключения в десять раз больше — от 1 мкс до 100 мкс.
Чтобы тиристор работал надежно, скорость нарастания анодного напряжения не должна превышать 10 — 500 в/мкс, в зависимости от модели компонента, иначе может произойти ложное включение за счет действия емкостного тока через p-n переходы.
Чтобы избежать ложных включений, управляющий электрод тиристора всегда шунтируют резистором, сопротивление которого обычно лежит в диапазоне от 51 до 1500 Ом.



Помимо тиристоров для регулирования выходного напряжения в выпрямителях используют и другие полупроводниковые приборы: симисторы, динисторы и запираемые тиристоры. Динисторы включаются по напряжению, приложенному к аноду, и имеют они два электрода, как диоды. Симисторы отличаются возможностью включения управляющими импульсами хоть относительно анода, хоть — относительно катода, однако все эти приборы, как и тиристоры, выключаются снижением анодного тока до значения ниже тока удержания. Что касается запираемых тиристоров, то они могут запираться подачей на управляющий электрод тока обратной полярности, однако коэффициент усиления при выключении в десять раз ниже, чем при включении.

Тиристоры, симисторы, динисторы, управляемые тиристоры, - все эти приборы используются в источниках питания и в схемах автоматики для регулирования и стабилизации напряжения и мощности, а также для целей защиты.

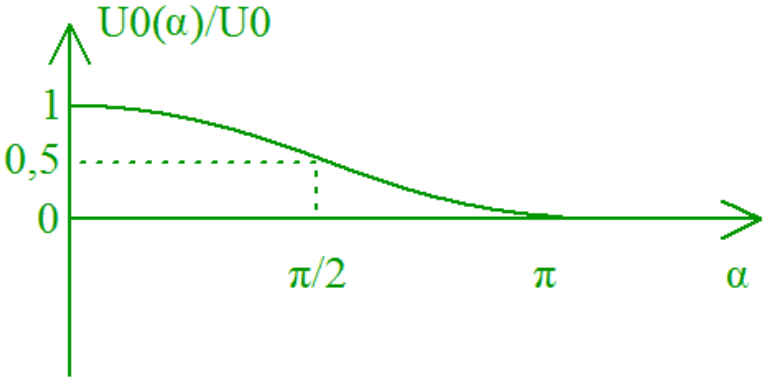


Как правило, в схемы управляемого выпрямления вместо диодов ставят именно тиристоры. В однофазных мостах точка включения диода и точка включения тиристора отличаются, имеет место разность фаз между ними, которую можно отразить рассмотрев угол.

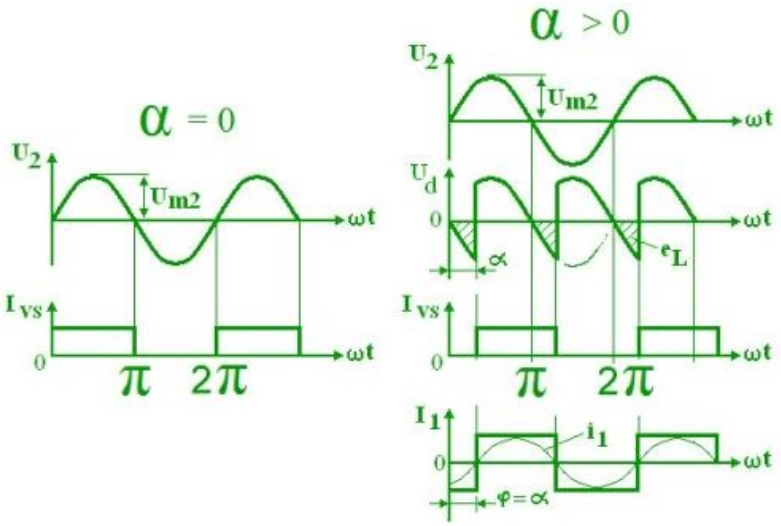
Постоянная составляющая напряжения на нагрузке нелинейно связана с этим углом, поскольку напряжение питания изначально синусоидальное. Постоянная составляющая напряжения на нагрузке, подключенной после регулируемого выпрямителя может быть найдена по формуле:

$$U_0(\alpha) = \frac{2U_{m2}}{\pi} * \left(\frac{1 + Cos(\alpha)}{2} \right)$$

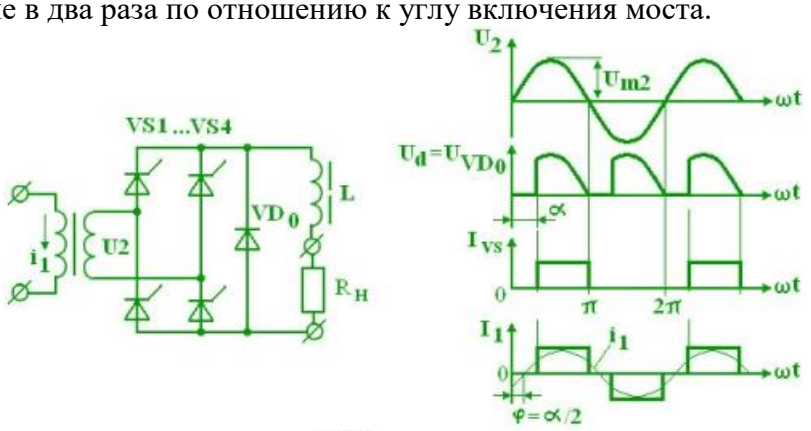
Регулировочная характеристика тиристорного управляемого выпрямителя показывает зависимость выходного напряжения на нагрузке от фазы (от угла) включения моста:

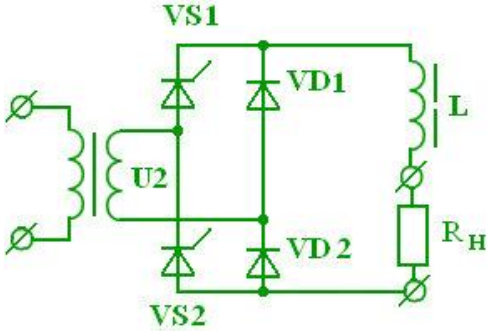


На нагрузке индуктивного характера ток через тиристоры будет иметь прямоугольную форму, и при угле больше нуля будет происходить затягивание тока в связи с действием ЭДС самоиндукции от индуктивности нагрузки.

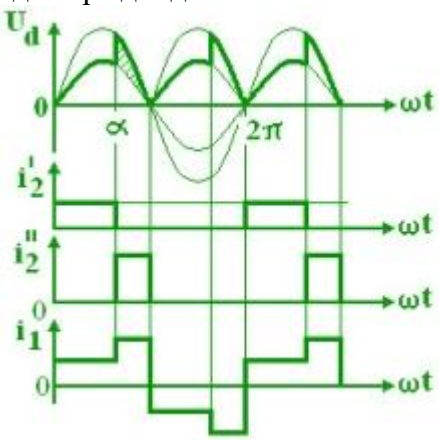


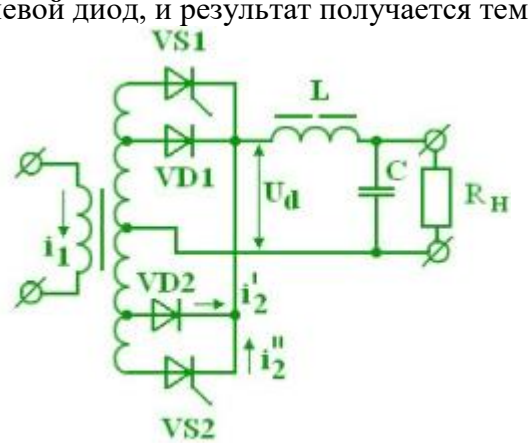
При этом основная гармоника сетевого тока будет сдвинута относительно напряжения на некоторый угол. Чтобы исключить затягивание применяют нулевой диод, через который ток может замыкаться и давать сдвиг меньше в два раза по отношению к углу включения моста.





Чтобы сократить количество полупроводников, прибегают к схеме несимметричного управляемого выпрямителя, где пара диодов заменяет собой нулевой диод, и результат получается тем же.





Схемы с вольтодобавкой также допускают применение тиристоров. Такие схемы позволяют достичь большего КПД. Минимальное напряжение дают диоды, а повышенное подается через тиристоры. В случае наивысшего потребления диоды все время закрыты, а угол включения тиристоров все время 0. Недостаток схемы — потребность в дополнительной обмотке трансформатора.

Сглаживающие фильтры и стабилизаторы напряжения

Сглаживающие фильтры предназначены для уменьшения пульсаций выпрямленного напряжения. Сглаживание пульсаций оценивают коэффициентом сглаживания q.

Основными элементами сглаживающих фильтров являются конденсаторы, катушки индуктивности и транзисторы, сопротивление которых различно для постоянного и переменного токов.

В зависимости от типа фильтрующего элемента различают емкостные, индуктивные и электронные фильтры. По количеству фильтрующих звеньев фильтры делятся на однозвенные и многозвенные.

Емкостной фильтр представляет собой конденсатор большой емкости, который включается параллельно нагрузочному резистору Rн. Конденсатор обладает большим сопротивлением постоянному току и малым сопротивлением переменному току. Рассмотрим работу фильтра на примере схемы однополупериодного выпрямителя (рис. 1, а).

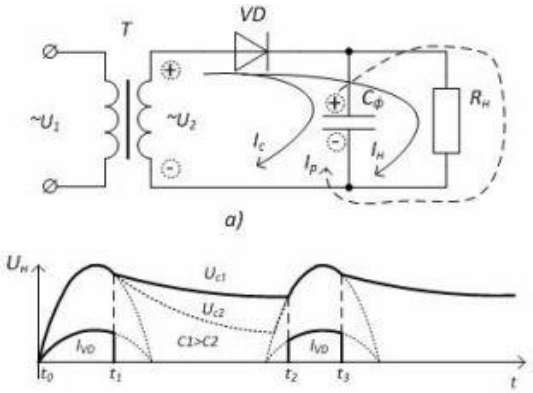


Рисунок 1 - Однофазный однополупериодный выпрямитель с емкостным фильтром: а) схема б) временные диаграммы работы

При протекании положительной полуволны во временном промежутке t0 – t1 (рис. 2.63, б) протекает ток нагрузки (ток диода) и ток заряда конденсатора. Конденсатор заряжается и в момент времени t1 напряжение на конденсаторе превышает спадающее напряжение вторичной обмотки – диод закрывается и во временной промежуток t1 – t2 ток в нагрузке обеспечивается разрядом конденсатора. Т.о. ток в нагрузке протекает постоянно, что значительно уменьшает пульсации выпрямленного напряжения.

Чем больше емкость конденсатора Сф, тем меньше пульсаций. Это определяется време-нем разряда конденсатора - постоянной времени разряда $\tau = C_ф R_н$. При $\tau > 10$ коэффициент сглаживания определяется по формуле $q = 2\pi f_c m C_ф R_н$, где fc – частота сети, m – число полупериодов выпрямленного напряжения.

Емкостный фильтр целесообразно применять с высокоомным нагрузочным резистором RH при небольших мощностях нагрузки.

Индуктивный фильтр (дроссель) включается последовательно с Rн (рис. 3, а). Индуктивность обладает малым сопротивлением постоянному току и большим переменному. Сглаживание пульсаций основывается на явлении самоиндукции, которая изначально препятствует нарастанию тока, а затем поддерживает его при уменьшении (рис. 2, б).

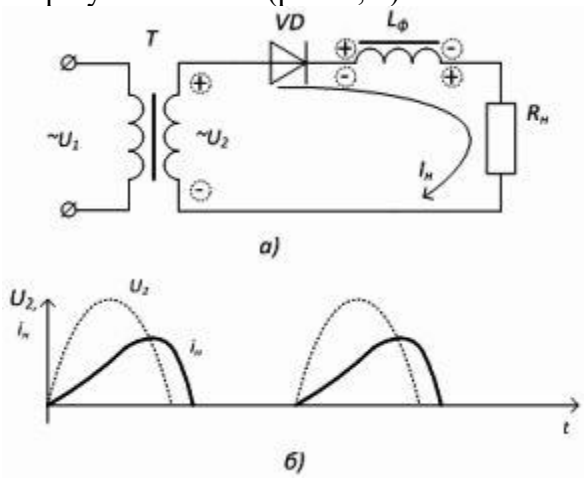


Рисунок 2 - Однофазный однополупериодный выпрямитель с индуктивным фильтром: а) схема, б) временные диаграммы работы

Индуктивные фильтры применяют в выпрямителях средней и большой мощностей, т. е. в выпрямителях, работающих с большими токами нагрузки.

Коэффициент сглаживания определяется по формуле: $q = 2\pi f_c m L_ф / R_н$

Работа емкостного и индуктивного фильтра основана на том, что во время протекания тока, потребляемого из сети, конденсатор и катушка индуктивности запасают энергию, а когда тока от сети нет, либо он уменьшается, элементы отдают накопленную энергию, поддерживая ток (напряжение) в нагрузке.

Многозвенные фильтры используют сглаживающие свойства и конденсаторов и катушек индуктивности. В маломощных выпрямителях, у которых сопротивление нагрузочного резистора составляет несколько кОм, вместо дросселя Lф включают резистор Rф, что существенно уменьшает массу и габариты фильтра.

На рисунке 3 представлены типы многозвенных LC- и RC- фильтров.

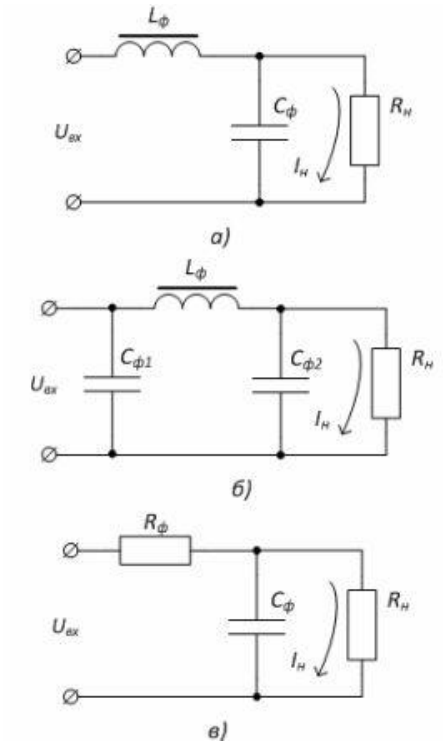


Рисунок 3 – Многозвенные фильтры: а) Г - образный LC, б) П- образный LC, в) RC - фильтр

Стабилизаторы предназначены для стабилизации постоянного напряжения (тока) на нагрузке при колебаниях сетевого напряжения и изменении потребляемого нагрузкой тока.

Стабилизаторы подразделяются на стабилизаторы напряжения и тока, а также на параметрические и компенсационные. Стабильность выходного напряжения оценивают коэффициентом стабилизации Кст.

Параметрический стабилизатор основан на использовании элемента с нелинейной характеристикой - полупроводникового стабилитрона. Напряжение на стабилитроне почти постоянно при значительном изменении обратного тока через прибор.

Схема параметрического стабилизатора приведена на рисунке 4. Входное напряжение UBX распределяется между ограничивающим резистором Rогр и параллельно включенными стабилитроном VD и резистором нагрузки Rн.

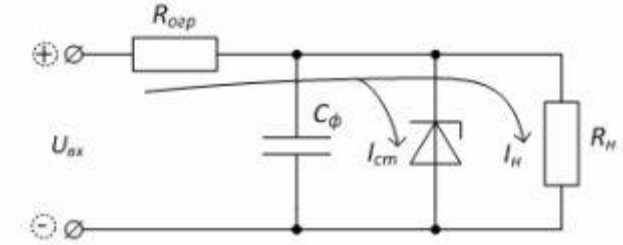


Рисунок 4 – Параметрический стабилизатор

При увеличении входного напряжения ток через стабилитрон увеличится, значит, увеличится ток через ограничивающий резистор, и на нём будет происходить большее падение напряжения, а напряжение нагрузки останется неизменным.

Параметрический стабилизатор имеет Кст порядка 20 - 50. Недостатками такого типа стабилизаторов являются малые токи стабилизации и низкий КПД.

Параметрические стабилизаторы применяют в качестве вспомогательных опорных источников напряжения, а также когда ток нагрузки невелик - не более сотен миллиампер.

Компенсационный стабилизатор использует в качестве ограничивающего резистора переменное сопротивление транзистора. С ростом входного напряжения возрастает и сопротивление транзистора, соответственно с уменьшением напряжения уменьшается сопротивление. При этом напряжение на нагрузке остается неизменным.

Схема стабилизатора на транзисторах представлена на рисунке 5. Принцип регулирования выходного напряжения URн основан на изменении проводимости регулирующего транзистора VT1.

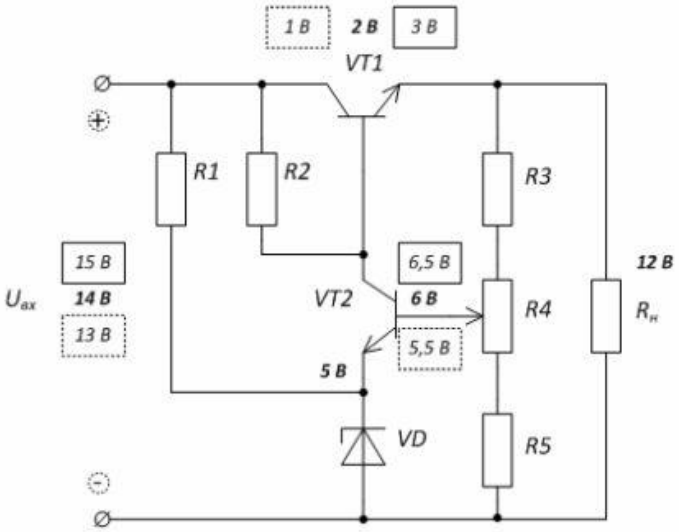


Рисунок 5 – Схема компенсационного стабилизатора напряжения

На транзисторе VT2 собрана схема сравнения напряжений и усилитель постоянного тока. В цепь его базы включена измерительная цепь R3, R4, R5, в цепь эмиттера - источник опорного напряжения R1VD.

Например, при увеличении входного напряжения, выходное также возрастёт, что приведёт к росту напряжения на базе транзистора VT2, в тоже время потенциал эмиттера VT2 останется прежним. Это приведёт к увеличению тока базы, а значит и тока коллектора транзистора VT2 – потенциал базы транзистора VT1 уменьшится, транзистор подзакроется и на нём будет происходить большее падение напряжения, а выходное напряжение останется неизменным.

На сегодняшний день стабилизаторы выпускают в виде интегральных схем. Типовая схема включения интегрального стабилизатора изображена на рисунке 6.

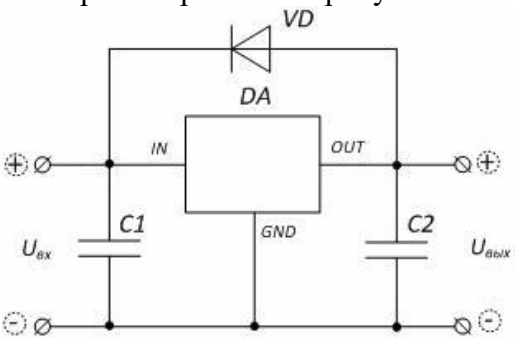


Рисунок 6 – Типовая схема включения интегрального стабилизатора напряжения

Обозначение выводов микросхемы стабилизатора: "IN" – вход, "OUT" – выход, "GND" -общий (корпус). Если стабилизатор регулируемый, то имеется вывод "ADJ" - регулировка.

Выбор стабилизатора производится исходя из значения выходного напряжения, максимального тока нагрузки и диапазона изменения входного напряжения.

Стабилизаторы напряжения и тока: классификация и основные параметры

Зачастую сглаживающих фильтров недостаточно для надёжного энергоснабжения телекоммуникационных и мобильных систем. Чтобы минимизировать влияние отрицательных факторов таких как колебания напряжений или частоты сети, применяются устройства под названием стабилизатор.

Для начала рассмотрим что же такое стабилизатор – это прибор, который предназначен для автоматического поддержания напряжения или тока на нагрузке с определённой точностью и уменьшения влияния дестабилизирующих факторов.

Выделим следующие дестабилизирующие факторы, которые отрицательно влияют на изменение напряжения или тока на нагрузке:

1. колебания напряжения питания;
2. частота тока питающей сети;
3. температура окружающей среды;
4. изменение потребляемой мощности на нагрузке.

На рисунке 1 представлена структурная схема работы устройства. На вход поступает дестабилизированное напряжение, с выхода получаем стабилизированное.

Рисунок 1 — структурная схема работы стабилизатора

Главным предназначением стабилизатора является ослабление выше перечисленных факторов.

Классификация

Стабилизирующие устройства можно разделить в зависимости от вида напряжения или тока протекающего через него на стабилизаторы переменного и постоянного тока или напряжения. И также их можно подразделить по типу: параметрические и компенсационные.

Параметрические стабилизаторы строятся на основе таких нелинейных элементов, как транзисторы, стабилитроны и стабисторы и т. п. Это обусловлено тем, что благодаря их характеристикам (вольт-амперных, ампер-вольтовых, ом-градусных, вебер-амперных, вольт-секундных и др.) ток или напряжения могут быть стабилизированы на определённом уровне. Более подробно будут рассмотрены в следующих статьях.

Компенсационные стабилизаторы – это устройство, которое выполнено в виде системы автоматического регулирования, или другим словом содержит цепь отрицательной обратной связи. За счёт изменения параметров регулирующего элемента посредством воздействия на него сигнала обратной связи и происходит стабилизация напряжения. Схема и принцип действия более подробно будут рассмотрены в следующих статьях.

Стабилизация тока или напряжения происходит при помощи регулирующего элемента (РЭ), который, в свою очередь, может быть расположен относительно нагрузки последовательно или параллельно. Следовательно стабилизаторы можно подразделить на схемы с последовательным включением регулирующего элемента и на схемы с параллельным включением регулирующего элемента. Пример схем с вариантом включения РЭ представлен на рисунке 2.

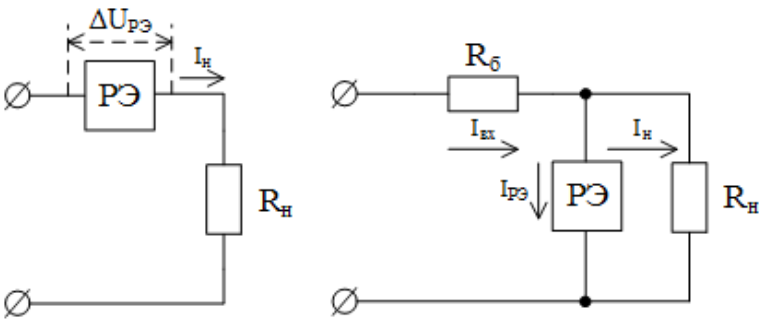


Рисунок 2 — Последовательное и параллельное включение регулирующего элемента

При последовательном соединении регулирующего элемента с нагрузкой, регулирование напряжения на выходе происходит за счёт изменения сопротивления в регулирующем элементе. Выходное напряжение при таком соединении будет равно $U_{вых}=U_{вх}+\Delta U_{рэ}$.
При параллельном соединении регулирующего элемента с нагрузкой, регулировка напряжения на выходе достигается за счёт изменения тока, протекающего через регулирующий элемент. В свою очередь, стабилизация напряжения на выходе осуществляется за счёт изменения напряжения на балластном резисторе $R_б$. Ток на балластном резисторе можно найти исходя из первого закона Кирхгофа: сумма сходящихся токов в одном узле равна нулю. Следовательно ток на $R_б$ будет равен $I_б=I_{рэ}+I_н$. Главное преимущество параллельного соединения заключается в устойчивости к перегрузкам по току и выдерживание короткого замыкания в цепи нагрузки.
Для определения какой следует применить стабилизатор стоит исходить из требований, предъявляемых к качеству питающих напряжений.

Основные параметры

Основные параметры, по которым оцениваются рассматриваемые устройства следующие: качественные, массогабаритные и энергетические. По данным параметрам можно судить о массе и удельном объёме устройства.

Качественные параметры стабилизаторов постоянного напряжения:

Коэффициент стабилизации по входному напряжению – это отношение номинального и относительного изменения напряжения на входе и выходе устройства при неизменном токе нагрузки.

$$К_{ст} = \frac{U_{вых} \times \Delta U_{вх}}{U_{вх} \times \Delta U_{вых}}, \text{при } I_н = const$$

где $U_{вх}$, $U_{вых}$ – номинальное значение напряжения на входе и на выходе;
$\Delta U_{вх}$, $\Delta U_{вых}$ – относительно изменение напряжения на входе и на выходе.
Внутреннее сопротивление стабилизатора – это отношение изменения выходного напряжения к изменению тока нагрузки при неизменном входном напряжении.

$$r_i = \frac{\Delta U_{вых}}{\Delta I_н}, \text{при } U_{вх} = const$$

Качество стабилизации – это отношение изменения напряжения на выходе к номинальному значению на выходе. Измеряется в процентах.

$$\delta_{\%} = \frac{100 \times \Delta U_{вых}}{U_{вых}}$$

Коэффициент сглаживания пульсаций – это отношение амплитуд пульсаций и номинальных напряжения на входе и выходе устройства.

$$К_с = \frac{U_{вх\sim} \times U_{вых}}{U_{вых\sim} \times U_{вх}}$$

Температурный коэффициент – это отношения изменения напряжения на выходе устройства от изменения температуры окружающей среды при неизменном входном напряжении и тока нагрузки.

$$\gamma = \frac{\Delta U_{\text{вых}}}{\Delta t_{\text{окр}}}, \text{при } U_{\text{вх}} = const, I_{\text{н}} = const$$

Качественные параметры стабилизаторов постоянного тока:

Коэффициент стабилизации тока по входному напряжению – это отношение номинальных и относительных изменений напряжения на входе и тока на выходе устройства при неизменном сопротивлении нагрузки.

$$\text{К}_{\text{ст.т}} = \frac{\Delta U_{\text{вх}} \times I_{\text{н}}}{\Delta I_{\text{н}} \times U_{\text{вх}}}, \text{при } R_{\text{н}} = const$$

Где $U_{вх}$, $I_н$ – номинальное значение входного напряжения и тока нагрузки;
$\Delta U_{вх}$, $\Delta I_н$ – относительно изменение входного напряжения и тока нагрузки.
Коэффициент стабилизации при изменении сопротивления нагрузки – это отношение номинального значения сопротивления и тока нагрузки к их изменению, при постоянном входном напряжении.

$$\text{К}_{R_{\text{Н}}} = \frac{\Delta R_{\text{Н}} \times I_{\text{н}}}{R_{\text{Н}} \times \Delta I_{\text{н}}} = \frac{r_i}{R_{\text{Н}}}, \text{при } U_{\text{вх}} = const$$

Где $R_н$, $\Delta R_н$ – номинальное сопротивление нагрузки и его изменение;
r_i – внутреннее сопротивление
Коэффициент пульсаций по току – это отношение амплитуды пульсаций тока к номинальному значению тока на выходе устройства.

$$\text{К}_{i\sim} = \frac{I_{\text{н}\sim}}{I_{\text{вх}}}$$

Где Iн~ — амплитуда пульсаций тока в нагрузке

Качество стабилизации – это отношение изменения тока на выходе к номинальному значению на выходе. Измеряется в процентах.

$$\delta_{\%} = \frac{100 \times \Delta I_{\text{вых}}}{I_{\text{вых}}}$$

Температурный коэффициент – это отношения изменения тока на выходе устройства от изменения температуры окружающей среды.

$$\gamma = \frac{\Delta I_{\text{н}}}{\Delta t_{\text{окр}}}$$

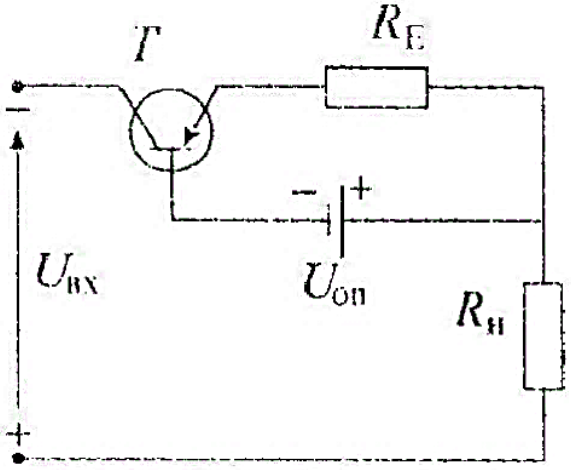
Массогабаритные параметры характеризуются следующими параметрами: удельный объём $P_{вых}/V_{ст}$, Вт/дм3, и удельная массам устройства $P_{вых}/G_{ст}$, Вт/кг, где $V_{ст}$ это объём, а $G_{ст}$ это масса устройства.
К *энергетическим параметрам* можно отнести нижеперечисленное.
Коэффициент полезного действия – это отношение активной мощности, на выходе к потребляемой мощности от сети.

$$\eta = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}}$$

Не стоит забывать про мощность, которая рассеивается на регулирующем элементе, это тоже немаловажный параметр.

Компенсационный стабилизатор тока

Принципиальная схема простейшего компенсационного стабилизатора тока, которая очень распространена во всяких схемах, приведена ниже:

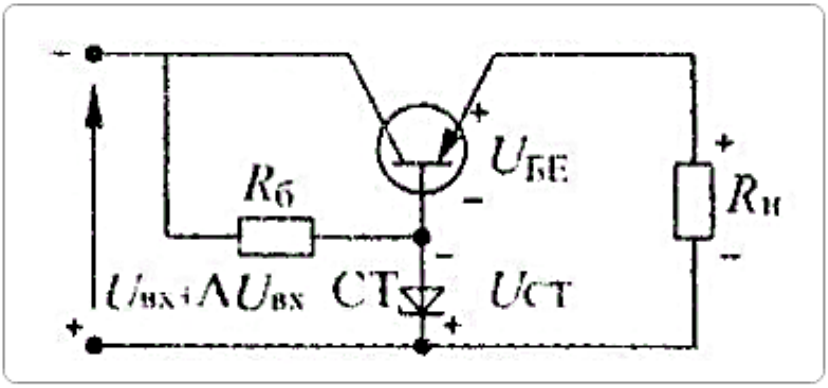


От схемы параметрического стабилизатора ее отличает то, что стабилизирующим элементом тут является совокупность транзистора Т, резистора R_E и источника опорного напряжения $U_{оп}$.

Схема функционирует следующим образом: при подаче внешнего напряжения $U_{вх}$ в цепи устанавливается заданный ток. На R_E падает напряжение, которое вместе с $U_{оп}$ обеспечивает между базой и эмиттером условия для этого тока. Когда же по каким-либо причинам ток в нагрузке пытается измениться (например, увеличиться из-за увеличения питающего напряжения $U_{вх}$), то увеличивается и падение на R_E. Увеличение этого падения, поданное на базу положительным знаком, приведет к уменьшению общего тока, который мог бы увеличиться. Иначе говоря, подача положительного напряжения на базу относительно эмиттера увеличивает сопротивление транзистора. И на этом падение будет увеличиваться (при практически не увеличенном токе), чем и будет компенсироваться прирост питающего напряжения.

Компенсационный стабилизатор напряжения

Наиболее распространенная, но и самая простая схема стабилизатора напряжения приведена ниже:



Роль источника опорного напряжения в ней играет цепочка $R_б$ -$C_т$, что представляет собой уже знакомый нам параметрический стабилизатор напряжения с кремниевым стабилитроном $C_т$ (одновременно на этой схеме показано условное обозначение кремневого стабилитрона). Напряжение $U_{ст}$ изменяется мало. Ее выбирают несколько большей, чем $U_н$ таким образом, чтобы обеспечить управляющее напряжение $U_{БЕ}=U_{ст} — U_н$

Напряжение $U_н$ на нагрузке равняется разнице $U_{вх}— U_{БЕ}$. Если $U_{вх}$ например, увеличивается должен увеличиться общий ток, который увеличит $U_н$. Однако наименьшее увеличение $U_н$ уменьшит $U_{БЕ,}$ транзистор уменьшит свой ток, что и компенсирует возможное повышение $U_н$.