

**ДЕПАРТАМЕНТ СМОЛЕНСКОЙ ОБЛАСТИ ПО ОБРАЗОВАНИЮ,
НАУКЕ**

Областное государственное бюджетное профессиональное образовательное
учреждение
«Смоленская академия профессионального образования»

Конспект лекций

по программе учебной дисциплины

Источники питания

основной профессиональной образовательной программы

по специальности СПО

12.02.07 Монтаж, техническое обслуживание и ремонт медицинской техники

Смоленск

2018 год

Организация-разработчик: областное государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение «Смоленская академия профессионального образования» (ОГБПОУ СмолАПО)

Разработчик: Дробнова Н.В., преподаватель ОГБПОУ СмолАПО

Рассмотрено на заседании кафедры Машиностроения, теплоэнергетики, полиграфии
Протокол № 04 от 11.01.2018 г.

Рассмотрено научно-методическим советом ОГБПОУ СмолАПО
Протокол № 04 от 19.01.2018 г.

ВВЕДЕНИЕ

Иметь представление:

- о роли и месте знаний по дисциплине при освоении основной профессиональной образовательной программы по специальности и в сфере профессиональной деятельности техника;

Знать:

- цели и задачи дисциплины;
- достижения и перспективы развития источников питания технических средств защиты информации

Значение, цели и задачи дисциплины, межпредметные связи. Роль русских, советских и зарубежных ученых в развитии источников питания. Краткая история развития техники источников питания. Современное состояние и перспективы развития экономичных источников электропитания технических средств защиты информации.

Широкое и разнообразное использование электрической энергии объясняется тем, что она имеет большие преимущества перед другими видами энергии. Электрическая энергия достаточно просто получается, передается на различные расстояния и преобразуется. Она может храниться в аккумуляторах и использоваться весьма экономично (с высоким КПД).

Велика роль электротехнических устройств в развитии и совершенствовании компьютерной техники. Электронная вычислительная машина, электронные схемы ее периферийных и вспомогательных устройств – очень сложная единая нелинейная электрическая цепь, реализующая функции преобразования информации.

Поэтому в современных условиях постоянно возрастают требования к подготовке техника связанные с мобильностью и динамичностью научно-технического прогресса, с новым положением науки в обществе, с умением научно учитывать взаимосвязь факторов политического и экономического характера. В подготовке техника важное место занимает курс «Источники электропитания».

Основным источником электрической энергии являются энергосистемы или местные электрические станции, вырабатывающие переменный ток с частотой 50 Гц. Однако для непосредственного питания компьютерной аппаратуры требуется, в основном, постоянный ток. В то же время величина напряжения питания различных типов аппаратуры различна.

Электропитание аппаратуры осуществляется от электроустановок — комплекса сооружений, обеспечивающих электроснабжение, электроосвещение, электропитание аппаратуры, а также работу различных установок хозяйственного назначения как при нормальных условиях внешнего электроснабжения, так и в аварийных режимах.

Электроустановка содержит трансформаторную подстанцию и электропитающую установку (ЭПУ). Трансформаторная подстанция состоит из силового трансформатора и распределительного устройства. Электропитающая установка предназначена для преобразования, регулирования, распределения и обеспечения бесперебойности подачи электроэнергии переменного и постоянного тока с различными номиналами напряжений для питания аппаратуры. Электропитающая установка содержит устройства преобразования, регулирования, распределения, коммутации и резервирования электрической энергии.

Совокупность функционально связанных источников электропитания, устройств управления, коммутации, распределения, защиты, контроля и сигнализации, предназначенных для подключения к системам или источникам электроснабжения и обеспечивающих по заданной программе электропитанием цепи аппаратуры, называется системой вторичного электропитания этой аппаратуры.

Важную роль в развитии учения об электромагнитных явлениях сыграл английский ученый М. Фарадей, сформулировавший в 1831 г. закон электромагнитной индукции. Основываясь на этом законе, русский ученый П. Н. Яблочков изобрел трансформатор, который до настоящего времени является самым распространенным элементом в источниках вторичного электропитания. В 1833 г. русский академик Э. Х. Ленц установил закон, описывающий связь между направлениями индукционных токов и их электродинамическими взаимодействиями.

В разработке многофазных систем принимали участие ученые и инженеры — итальянец Г. Феррарис, серб Н. Тесла, русский М. О. Доливо-Добровольский. Наиболее выдающихся результатов добился М. О. Доливо-Добровольский, который сумел придать своим исследованиям практический характер и поэтому по праву считается основоположником трехфазной техники. В 1889 г. он построил первый трехфазный асинхронный двигатель, сохранивший до настоящего времени ведущее положение в системе промышленного электропривода, первый трехфазный трансформатор, а в 1891 г. осуществил первую в мире трехфазную линию электропередачи Лауфен — Франкфурт (Германия) протяженностью 170 км, напряжением 15 кВ и КПД более 75%. Эта линия убедительно продемонстрировала преимущества трехфазных систем и положила начало современной электрификации.

Одним из наиболее распространенных и важных элементов энергосистем и электроустановок является трансформатор. Вырабатываемая на электростанциях электроэнергия подвергается пяти- или шестикратной трансформации, следовательно, мощность установленных трансформаторов в 7—8 раз превышает установленную мощность генераторов на электростанциях.

Важнейшей закономерностью техники является объективная обусловленность того или иного изобретения. История создания и развития трансформаторов подтверждает характерную закономерность научно-технического прогресса, в соответствии с которой для успешного решения большой научно-технической проблемы всегда существуют объективные социально-экономические предпосылки. В последней четверти 19 века стало ясно, что наиболее эффективный путь решения проблемы экономичной передачи больших количеств электроэнергии на дальние расстояния —

повышение напряжения линий электропередач. Поэтому со всей остротой была поставлена задача создания высокоэкономичных трансформаторов. Возможность ее решения была обусловлена успехами научных исследований в области электротехники, большим опытом инженерных и конструкторских разработок различных электротехнических устройств, достижениями в создании электроизоляционных средств и др.

Конец XIX века знаменуется открытием эффекта термоэлектронной эмиссии и эффекта односторонней проводимости контакта металлического проводника с кристаллами сульфидов некоторых металлов, которые послужили основой для создания электронных вакуумных и полупроводниковых приборов. В 1904 г. была создана первая электронная лампа — вакуумный диод, а в 1906 г. — вакуумный триод. В 1927 г. началось промышленное производство полупроводниковых купроксных вентилях, а годом позже — селеновых, на базе которых были созданы первые полупроводниковые выпрямительные устройства. Замена селеновых вентилях германиевыми, а затем и кремниевыми позволила значительно повысить КПД выпрямителей, снизить их массу и габариты.

Советской школе физиков под руководством академика А. Ф. Иоффе принадлежит основополагающая роль в разработке теории полупроводников и их техническом применении. Исследования были начаты в конце 20-х годов. Введено было понятие дырочной проводимости, указано влияние примесей температуры на механизм проводимости, повышение электропроводности в сильных электрических полях, разработана теория выпрямления.

В начале текущего века отечественные ученые В. Ф. Миткевич (1901 г.), А. Н. Ларионов (1923 г.) создали некоторые эффективные схемы выпрямления.

Теоретический фундамент отечественной электротехники и преобразовательной техники заложен трудами советских ученых — академиков И. Е. Тамма, А. Ф. Иоффе, Л. Р. Неймана, В. Ф. Миткевича, К. И. Шенфера, М. П. Костенко и других.

Открытый в 1948 г. эффект транзистора явился основой для создания управляемых полупроводниковых приборов: транзисторов и тиристоров. С применением транзисторов и тиристоров были разработаны принципиально новые статические преобразователи электрической энергии.

В ряде практических случаев от выпрямителей требуется не только преобразовать переменный ток в постоянный, но и обеспечить возможность плавного регулирования выпрямленного напряжения. Наиболее экономичный способ регулирования достигается применением в выпрямителях управляемых полупроводниковых вентилях (тиристоров). Применение тиристоров в схемах

управляемых выпрямителей позволило значительно улучшить их технико-экономические показатели.

В качестве основного источника электрической энергии для переносной и передвижной аппаратуры связи широко применяются химические источники тока: аккумуляторы, гальванические элементы, источники тока на основе топливных элементов и электрохимических генераторов. Достигнуты успехи в исследовании физических источников тока — устройств, преобразующих солнечную, тепловую, электромагнитную, радиационного излучения энергии в электрическую, созданы термогенераторы, фотоэлектрические батареи, образцы атомных батарей. Для преобразования напряжения постоянного тока в переменное служат статические преобразователи постоянного напряжения, называемые инверторами. Если необходимо преобразовать напряжение постоянного тока одной величины в напряжение постоянного тока другой величины, на выходе инвертора включают выпрямитель. Такой преобразователь называют иногда конвертором.

Для стабилизации выходного напряжения устройств электропитания применяются различные типы стабилизаторов и регуляторов. В ряде практических устройств функции регулирования и преобразования совмещаются в более сложных функциональных узлах — регулируемых инверторах или регулируемых выпрямителях.

Средства электропитания, непрерывно совершенствуются: снижается стоимость, уменьшаются размеры, масса, улучшаются энергетические и качественные показатели, повышается надежность. Основными направлениями улучшения технико-экономических показателей устройств электропитания являются: использование новейших электротехнических материалов и перспективной элементной базы с применением интегрально-гибридной технологии, мощных высоковольтных, высокочастотных и полевых транзисторов, силовых диодов Шоттки, силовых интегральных схем, бескорпусных транзисторов и т. д.; поиски новых эффективных схемотехнических решений; повышение частоты преобразования электрической энергии; разработка новых методов анализа и проектирования электротехнических систем с использованием широких возможностей средств вычислительной техники.

При построении теории электрических цепей в качестве математических моделей используются системы алгебраических уравнений (для исследования установившихся процессов) и системы дифференциальных уравнений (для исследования переходных процессов). В теории электромагнитного поля для модельного представления процессов используются дифференциальные уравнения в частных производных.

При изучении курса источники электропитания необходимо использовать знания, полученные из курсов высшей математики, электротехники, теории линейных электрических цепей, теории нелинейных электрических цепей, электронных и квантовых приборов и др.

РАЗДЕЛ 1

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИСТОЧНИКАХ ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

Тема 1.1

Классификация и принципы построения источников вторичного электропитания.

Иметь представление:

- о справочной технической литературе по источникам питания радиоаппаратуры;

Знать:

- правила составления структурных схем источников питания;
- классификацию источников питания;
- основные характеристики источников питания;
- принципы подбора элементов источников питания технических средств защиты информации по заданным параметрам, используя справочную литературу;

Первичные и вторичные источники питания радиоаппаратуры. Обобщенная структура источника вторичного электропитания. Классификация источников вторичного электропитания. Основные характеристики ИП: входные, выходные, эксплуатационные. Основные элементы источников вторичного электропитания: полупроводниковые диоды, стабилитроны, тиристоры, транзисторы, интегральные микросхемы, конденсаторы, трансформаторы и дроссели; их основные параметры, графическое и буквенное обозначение, маркировка, типы, выбор по справочникам. Основные требования к элементам, применяемым в источниках питания. Выбор стандартных трансформаторов и дросселей.

1. Классификация и принципиальные схемы источников электропитания

В основе работы любого электронного устройства лежат различные преобразования электрической энергии, поэтому для обеспечения нормального функционирования таких устройств прежде всего необходимы источники энергии. Для этой цели в большинстве случаев используют источники постоянного напряжения, которые называют *источниками питания*.

На начальном этапе развития радиоэлектроники в качестве источников питания преимущественно использовались *гальванические батареи*, основными недостатками которых, особенно при постоянных напряжениях в сотни вольт, являются их громоздкость и малый срок службы. Поэтому вскоре были разработаны более совершенные устройства, в которых осуществляется преобразование переменного напряжения в постоянное. Удобство таких источников питания связано с тем, что в них применяют низкочастотное переменное напряжение. Однако развитие транзисторной электроники, особенно маломощных переносных устройств, для питания которых нужны низковольтные маломощные источники, снова вызвало интерес к гальваническим батареям. Это привело к тому, что сейчас используют оба типа источников питания, в переносной аппаратуре — малогабаритные гальванические батареи и аккумуляторы, а в стационарной аппаратуре — источники питания, в которых происходит преобразование переменного напряжения промышленной частоты в постоянное.

Неотъемлемой частью как усилительных устройств, так и любых других электронных узлов и систем являются вторичные источники электропитания (ВИЭП), обеспечивающие их электрической энергией требуемого вида и качества. Эта электрическая энергия вырабатывается в первичных источниках электропитания, к числу которых относятся электростанции, электромашинные генераторы, аккумуляторы, гальванические, солнечные и атомные батареи и др. Параметры первичных источников электроэнергии не всегда удовлетворяют требованиям, предъявляемым к ним разнообразной электронной аппаратурой. Поэтому между самым первичным источником и электронной системой обычно включается специальное преобразующее устройство, называемое ВИЭП. Таким образом, назначение ВИЭП состоит в передаче энергии электронным устройствам с необходимым преобразованием и минимальными потерями.

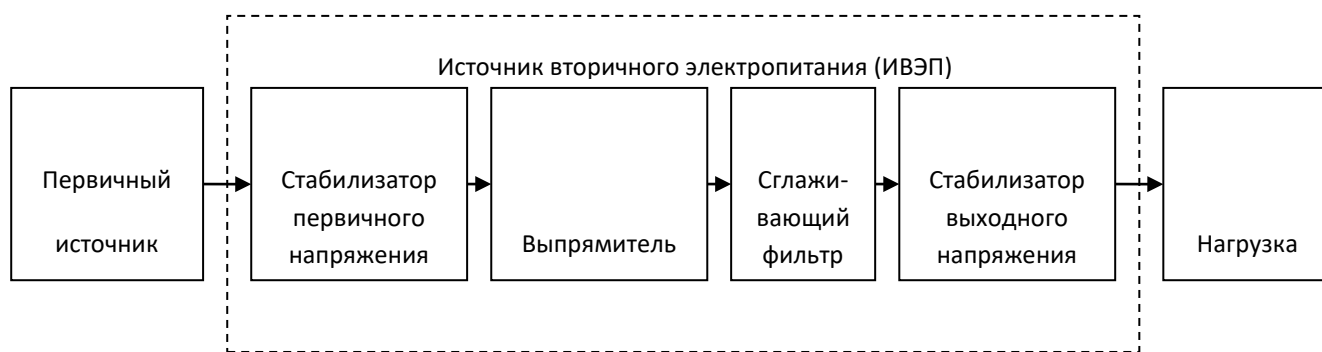
Классификация источников питания обозначена в ГОСТ 19157-73. По величине выходной мощности ВИЭП подразделяют на маломощные (до 100 Вт), средней мощности (от 100 до 1000В) и высокой мощности (свыше 1000В).

По величине коэффициента пульсации различают системы и источники: с малыми пульсациями – до 0,1%, со средними пульсациями – от 0,1 до 1,0% и с большими пульсациями – свыше 1,0%.

Наиболее широко используются ВИЭП, преобразующие переменное напряжение промышленных и специальных сетей электропитания в постоянное. По числу фаз первичной сети все ВИЭП разделяются на однофазные и многофазные (обычно, трехфазные). Частота переменного напряжения определяется видом первичного источника.

В настоящее время **источниками питания** называют устройства, предназначенные для снабжения электронной аппаратуры электрической энергией и представляющие собой комплекс приборов и аппаратов, которые вырабатывают электрическую энергию и преобразуют ее к виду, необходимому для нормальной работы каждого узла электронной аппаратуры.

В общем случае структурная схема источника питания имеет вид, представленный на рисунке.



Структурная схема источника питания

Ее первым элементом является **первичный источник электрической энергии**, в котором неэлектрическая энергия (механическая, тепловая, химическая и др.) преобразуется в электрическую. К этим источникам относятся электромашинные генераторы, термогенераторы, солнечные батареи, гальванические элементы, электрические аккумуляторы, атомные источники энергии и т. д. Наиболее часто для стационарной электронной аппаратуры первичным источником энергии служит электрическая сеть промышленного предприятия, летательного аппарата или корабля.

Довольно редко удастся осуществить питание электронных устройств непосредственно от первичного источника электроэнергии. В большинстве случаев электрическое напряжение, вырабатываемое в первичном источнике, по характеру, величине, частоте или стабильности оказывается непригодным для питания электронных устройств. Поэтому необходим *источник вторичного электропитания* (ИВЭП), в котором осуществляется преобразование электрической энергии. Если первичный источник энергии создает переменное напряжение, основными узлами ИВЭП являются: ***выпрямитель, сглаживающий фильтр, стабилизаторы входного и выходного напряжений***. С помощью ***выпрямителя*** переменное напряжение первичного источника преобразуется в пульсирующее постоянное напряжение. ***Фильтр*** сглаживает пульсации на выходе выпрямителя. ***Стабилизатор входного напряжения*** уменьшает изменения величины (иногда и формы) переменного напряжения первичного источника и тем улучшает работу выпрямителя и следующих за ним узлов ИВЭП. ***Стабилизатор выходного (постоянного) напряжения*** поддерживает выпрямленное напряжение на фиксированном, заранее заданном уровне при отклонениях условий работы источника питания от номинальных. Если первичный источник энергии создает постоянное напряжение, величина которого отличается от требуемой для питания электронной аппаратуры, первым узлом ИВЭП служит ***преобразователь постоянного напряжения в переменное***. Остальные узлы остаются прежними.

Любая электронная схема для своего нормального функционирования требует источника электрической энергии, как правило, в виде источника постоянных напряжений (токов) с заданными параметрами:

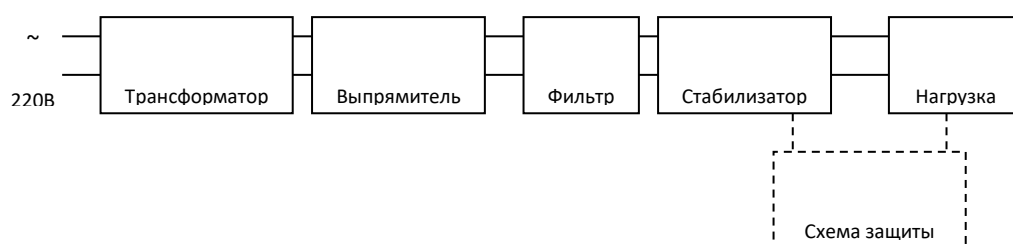
- ***напряжением***, характеризующимся номинальной величиной напряжения, допустимыми отклонениями номинального напряжения в сторону его увеличения и/или уменьшения, величиной пульсаций;
- ***током***, характеризующимся величиной номинального тока и величиной максимально допустимого тока;
- ***мощностью*** (номинальной и максимально допустимой) и коэффициентом полезного действия, который всегда стремятся сделать максимальным.

Источники электропитания используют для своей работы энергию производимую электрическими станциями и передаваемую по промышленным сетям

стандартном виде — частота переменного тока 50 Гц, напряжение 380/220Вольт. В силу того, что рассматриваемые источники не производят электрическую энергию, а всего лишь преобразуют ее форму, их часто называют *вторичными*.

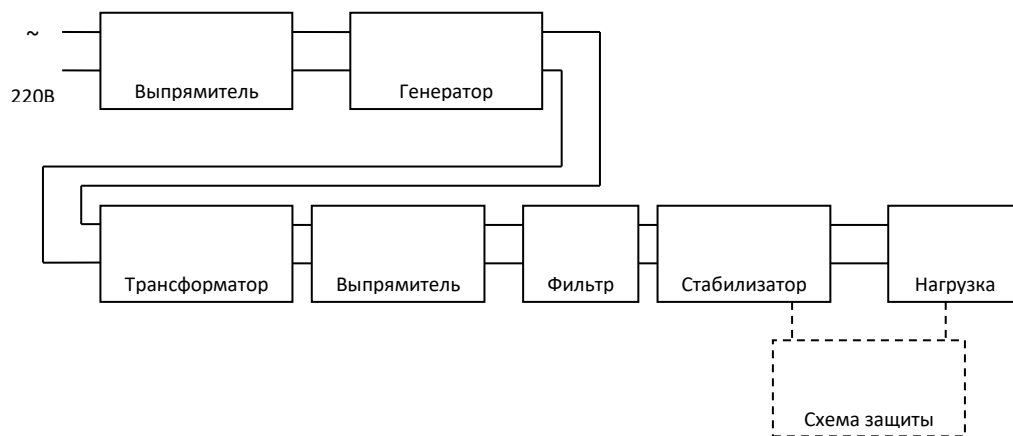
Реализация основной функции источника питания требует:

- уменьшения (или увеличения) амплитуды переменного напряжения с помощью входного трансформатора. **При этом должна быть реализована гальваническая развязка (разделение) цепей питаемого устройства и силовых цепей** для обеспечения безопасности как самого устройства, так и обслуживающего персонала;
- преобразования переменного напряжения в постоянное (выпрямление и фильтрация);
- поддержания постоянной величины питающих напряжений при изменении амплитуды входного напряжения, величины нагрузки, температуры (стабилизация выходных напряжений);
- защиты электронных схем питаемого устройства и/или источника питания при аварийном изменении величин входных/выходных напряжений (токов).



Обобщенная схема источника питания без преобразования частоты

По этой схеме источники электропитания строили не один десяток лет. Пока габариты электронных устройств были значительными, а цена меди была невысока, эта схема всех устраивала. Однако наращивание массового выпуска электронных устройств (особенно бытовых, а к ним относятся и персональные компьютеры) заставило разработчиков изменить отношение к классической схеме источника питания. Прежде всего, подумали об уменьшении потребления меди в трансформаторе. Радикальным решением здесь оказалось использование промежуточного, преобразования частоты — повышения частоты входного напряжения перед его трансформацией, что естественно приводит к уменьшению числа витков практически пропорционально росту рабочей частоты трансформатора. Функциональная схема в таком случае приобретает следующий вид.



Обобщенная схема источника питания с преобразованием частоты

На первый взгляд сложность источника питания, а значит и стоимость возросли. Но лишняя пара мощных транзисторов генератора и нескольких диодов вполне окупаются выигрышем в габаритах трансформатора и его стоимости.

Следующий шаг в развитии источников питания связан с основной идеей построения стабилизатора напряжения. В классической схеме стабилизатор использует аналоговый (непрерывный) регулирующий элемент, рассеивающий на себе достаточно большую мощность. При этом КПД всего источника питания оказывается невысоким. Стремление к повышению КПД побудило разработчиков использовать ключевые (дискретные) регулирующие элементы в импульсных источниках питания.

Последний шаг совершенствования источников питания связан с использованием транзисторов высокочастотного генератора в качестве регулирующих элементов, что позволило еще уменьшить габариты и стоимость источников.

2. Основные характеристики источников питания

Основными электрическими параметрами ИВЭП РЭА являются:

1. Номинальное значение постоянного выходного напряжения $U_{ном}$ и пределы его регулировки. $U_{ном}$ называют условное, устанавливаемое в технической документации значение постоянного напряжения на выходе ИВЭП, относительно которого устанавливают и определяют его отклонения.
2. Номинальное значение тока нагрузки I_n и допустимые пределы его изменения.
3. Максимальная выходная мощность ИВЭП. Ее определяют выражением:

$$P_{max} \approx U_{ном} I_{n max} \quad (1)$$

4. Нестабильность выходного напряжения. На величину выходного напряжения ИВЭП влияют три основных фактора: входное напряжение, ток нагрузки и температура окружающей среды. Поэтому нестабильность выходного напряжения оценивают тремя коэффициентами нестабильности:

коэффициентом нестабильности по напряжению

$$\delta U_{\text{вых}} [\%] = \frac{(\Delta U_{\text{вых}})_U}{U_{\text{ном}}}, (2.1)$$

который определяют при $I_n = \text{const}$ и $T = \text{const}$;

коэффициентом нестабильности по току

$$\delta U_{\text{вых}} [\%] = \frac{(\Delta U_{\text{вых}})_I}{U_{\text{ном}}}, (2.2)$$

который определяют при $U_{\text{вх}} = \text{const}$ и $T = \text{const}$;

температурным коэффициентом напряжения

$$\alpha_n [\%/^{\circ}\text{C}] = \frac{\Delta U_{\text{вых}} / U_{\text{ном}}}{\Delta T_c} \cdot 100, (2.3)$$

который определяют при $U_{\text{вх}} = \text{const}$, $I_n = \text{const}$, а $\Delta T_c = T_{\text{смах}} - T_{\text{смин}}$, где $T_{\text{смах}}$ — максимальная, а $T_{\text{смин}}$ — минимальная температура окружающей среды.

На выходе вторичных источников питания никогда не бывает идеального постоянного напряжения. Кроме постоянной это напряжение всегда содержит и переменную составляющую. Последнюю называют *напряжением пульсации*, а параметром, характеризующим отклонение выходного напряжения реального источника питания от постоянного, служит коэффициент пульсации.

Используют два определения этого коэффициента.

Коэффициентом пульсации напряжения по амплитудному значению

называют отношение амплитуды напряжения пульсации к номинальному значению постоянной составляющей напряжения:

$$K_{\text{па}} = \frac{\Delta U}{U_0} = \frac{U_{\text{max}} - U_{\text{min}}}{U_0}, (3)$$

который используют, когда имеется возможность визуально наблюдать форму выходного напряжения источника питания.

Коэффициентом пульсации по действующему значению называют отношение действующего значения напряжения пульсации к номинальному значению постоянной составляющей напряжения

$$K_n = \frac{U_{\text{пульс}}}{U_0}, (4)$$

При сложной форме выходного напряжения сначала находят (экспериментально или расчетным путем) действующее значение всего

выходного напряжения $U_{общ}$, постоянную составляющую U_0 , а затем определяют действующее значение напряжения пульсации

$$U_{пульс} = \sqrt{U_{общ}^2 - U_0^2}.$$

5. Выходное (внутреннее) сопротивление источника питания $R_{вых}$. Это сопротивление определяет изменение выходного напряжения $\Delta U_{вых}$ при изменении тока нагрузки ΔI_n . Его находят из внешней характеристики ИВЭП, $U_{вых}(I_n)$ которая на рабочем участке близка к прямой. Поэтому наклон внешней характеристики ИВЭП, равный отношению $\Delta U_{вых}/\Delta I_n$, и принимают равным выходному (внутреннему) сопротивлению ИВЭП.
6. Коэффициент полезного действия ИВЭП. Он оценивается отношением выходной мощности постоянного тока к суммарной мощности, отбираемой от первичного источника электрической энергии.

Кроме основных электрических параметров каждый ИВЭП характеризуется рядом конструкторско-экономических и эксплуатационных показателей, к которым в первую очередь относятся: габариты, масса, стоимость и надежность.

Помимо основных устройств источники питания содержат измерительные приборы и ряд вспомогательных устройств: включения, выключения регулировки режима работы; защиты от различного рода электрических перегрузок; механической и электрической блокировок. Следует отметить, что структурная схема, показанная на рисунках соответствует «одноканальному» источнику питания. В настоящее время многие источники питания строят по «многоканальной» схеме, причем разветвление каналов может происходить и после первичного источника питания, и после выпрямителя, а выходные напряжения могут отличаться не только по номинальной величине, но и по величине пульсаций, и по стабильности выходного напряжения. Поэтому общая структурная схема источников питания может быть значительно сложнее схемы, показанной на рисунке.

РАЗДЕЛ 2

ВЫПРЯМИТЕЛИ И СГЛАЖИВАЮЩИЕ ФИЛЬТРЫ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ И СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

Тема 2.1

Схемы выпрямителей переменного тока

Знать:

- виды и назначение выпрямителей, области применения в сфере защиты информации;
- основные электрические схемы выпрямителей;
- основные параметры и характеристики выпрямителей;
- влияние нагрузки на работу выпрямителей;
- типовые структурные схемы ИП.

Уметь:

- измерять электрические параметры и характеристики выпрямителей;
- определять характер нагрузки и ее влияние на работу выпрямителя;
- пояснять принцип действия схемы выпрямителя, используя временные диаграммы.

Типовые структурные схемы ИП в технических средствах защиты информации. Общие сведения о выпрямительных устройствах. Структурная схема выпрямителя. Классификация выпрямителей. Принцип действия, основные параметры и характеристик и выпрямителей. Основные схемы выпрямления. Работа выпрямителя на индуктивную и емкостную нагрузки. Временные диаграммы напряжений и токов, поясняющих работу различных выпрямителей. Способы регулирования напряжения в выпрямителях.

1. Назначение, принцип действия, показатели качества и классификация выпрямителей

Для преобразования переменного тока в постоянный применяются полупроводниковые выпрямительные устройства, т. е. статические преобразователи, в которых постоянный ток получается из переменного с помощью электрических полупроводниковых вентилей. Выпрямительные устройства или выпрямители являются самыми распространенными функциональными блоками систем вторичного электропитания.

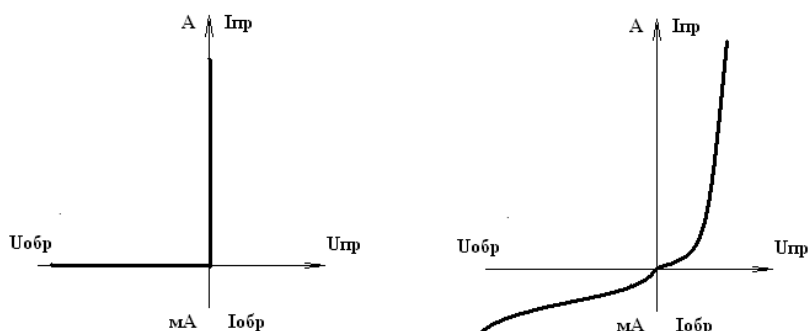
В общем случае **выпрямительное устройство (ВУ)** имеет три функциональных элемента: **входной трансформатор Tr** , один или несколько **вентилей V** и **сглаживающий фильтр (СФ)**. В то же время, если напряжение переменного тока согласуется с напряжением на входе потребителей постоянного тока, то выпрямительное устройство может не иметь трансформатора. Функции сглаживающих фильтров могут выполнять электронные стабилизирующие устройства, которые входят в состав системы вторичного электропитания. Единственным элементом, без которого выпрямитель не может решать поставленную перед ним задачу — преобразовывать переменный ток в постоянный, — является электрический вентиль. Под **электрическим вентиляем** понимается функциональный элемент, обладающий свойством односторонней проводимости, которое связано с его способностью скачкообразно изменять величину сопротивления протеканию электрического тока в зависимости от знака приложенного напряжения. Когда прикладывается «прямое» напряжение, сопротивление близко к нулю, а при «обратном» напряжении оно становится очень большим.

В начале 30-х годов началось промышленное производство первых полупроводниковых выпрямителей, в которых функции вентилей выполняли селеновые диоды. До разработки полупроводниковых вентилей в выпрямителях применялись ионные вентили: газотроны, тиратроны, игнитроны и др.

Поворотным пунктом в развитии полупроводниковых выпрямителей послужило создание в середине 50-х годов силовых германиевых и кремниевых диодов, а затем и управляемых кремниевых вентилей—**тириستоров**. Силовые полупроводниковые вентили по сравнению с ионными имеют ряд преимуществ: более высокий КПД, постоянная готовность к работе, большой срок службы и высокая надежность, малые масса и габариты. Поэтому промышленное производство ВУ, используемых в системах электропитания устройств, с ионными вентилями прекратилось.

Большой вклад в развитие полупроводниковой выпрямительной техники внесли советские ученые—академики А. Ф. Иоффе, В. П. Вологдин, А. Н. Ларионов и др.

Основным функциональным элементом полупроводникового устройства является **полупроводниковый вентиль**. Благодаря односторонней проводимости р-п-перехода полупроводникового вентиля его вольт-амперная характеристика имеет две ветви: прямого и обратного тока. Вольт-амперные характеристики идеального и реального вентиля изображены на рис. 4.1.



Статические вольт-амперные характеристики идеального (слева) и реального (справа) полупроводниковых вентилях

У идеального вентиля сопротивление прямому току равно нулю, а обратному — бесконечности.

В настоящее время промышленность выпускает три типа полупроводниковых силовых вентилях: селеновые, германиевые и кремниевые, а также управляемые кремниевые вентиля — тиристоры.

Селеновые вентиля на алюминиевой основе изготавливаются серий А, Г и Я. У селенового вентиля серии А алюминиевая пластина является анодом, а сплав олова и кадмия — катодом. У селеновых вентилях серии Г запирающий слой так же, как и у серии А, образуется между алюминиевым основанием и слоем селена, а анодом служит висмутированная алюминиевая фольга. Селеновые вентиля серии Я отличаются от вентилях серии А тем, что между слоем висмута, нанесенного на алюминий, и селеном помещается тонкий слой теллура для снижения переходного сопротивления селен — алюминий. Из селеновых вентилях изготавливаются выпрямительные столбики, которые в зависимости от вида схемы соединения вентилях обозначаются буквами русского алфавита Д, Е, Ж, М, С, Т. Селеновые вентиля по величине допустимого обратного напряжения, ограниченного пределами 20-45В, подразделяются на шесть классов.

Германиевые вентиля с водяным охлаждением типов ВГВ-200, ВГВ-500 и ВГВ-1000 допускают прямые токи 200, 500 и 1000А и при максимально до-

пустимом обратном напряжении от 50 до 150В имеют обратный ток от 20 до 30мА. Германиевые вентили выгодно отличаются от селеновых тем, что имеют меньшие габариты и массу, допускают обратные напряжения до нескольких сотен вольт, обладают малыми потерями (их КПД - до 0,98), а срок службы составляет многие десятки тысяч часов. Недостатком германиевых вентиляей является их чувствительность к перегрузкам, повышенной температуре и обратным напряжениям.

Кремниевые вентили с воздушным охлаждением серий В и ВЛ допускают прямой ток до 800А, а с водяным охлаждением серий ВВ и ВЛВ—до 1250А. При допустимых значениях обратного напряжения от 100 до 1500В их обратный ток ограничен пределами 1-5мА. В зависимости от величины падения прямого напряжения на р-п-переходе силовые кремниевые вентили делятся на шесть групп, а в зависимости от допустимого значения обратного напряжения— на 14 классов. Достоинством кремниевых вентиляей является их способность сохранять работоспособность в широком диапазоне температур от -40 до +140° С Кремниевые вентили типов Д203 и Д226 допускают токи от 0,1 до 10А при предельных обратных напряжениях до 600В.

Принцип действия выпрямителя будем рассматривать на примере простейшей схемы, изображенной на рис. 4.2, в которую входят однофазный двухобмоточный **трансформатор** *Tr*, один **вентиль** *В* и **активная нагрузка** *R_н*. Для облегчения понимания физической сущности протекающих в выпрямителе процессов и упрощения расчетов исследуется такая его модель, в которой трансформатор и вентиль считаются идеальными, т. е. падение напряжения в них равно нулю; обратный ток вентиля и намагничивающий ток трансформатора также считаются равными нулю.

Напряжения первичной u_1 и вторичной u_2 обмоток трансформатора изменяются во времени по синусоидальному закону:

$$u = U_m \sin \omega t, \quad (1)$$

где ω — круговая частота переменного тока сети (рад/с).

Ток в цепи нагрузки, включенной последовательно с вентилем В, протекает лишь в те моменты времени, когда к вентилю приложено прямое напряжение. Каждые полпериода ($\omega t = \pi$) напряжение вторичной обмотки u_2 меняет свой знак. Поэтому в течение одной половины периода к вентилю прикладывается прямое напряжение, а в течение следующего полупериода — обратное. Через вентиль и нагрузку ток протекает лишь, в одном (прямом) направлении, т. е. ток в нагрузке получается постоянный по направлению, но

пульсирующий. Графики токов и напряжений на обмотке трансформатора и на нагрузке изображены на рис. 4.3:

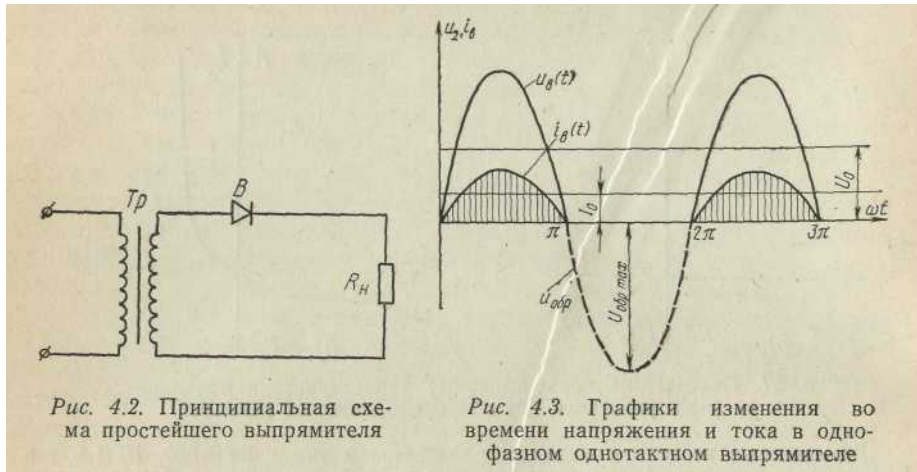


Рис. 4.2. Принципиальная схема простейшего выпрямителя

Рис. 4.3. Графики изменения во времени напряжения и тока в однофазном однопериодном выпрямителе

$$u_2 = \begin{cases} u_{np} \text{ при } 0 < t < \frac{T}{2}; \\ u_{обр} \text{ при } \frac{T}{2} < t < T; \end{cases} \quad i_n = \begin{cases} i_{np} \text{ при } 0 < t < \frac{T}{2}; \\ 0 \text{ при } \frac{T}{2} < t < T; \end{cases}$$

Выпрямленное напряжение (напряжение на нагрузке) равно:

$u_с = u_n = i_{np} R_n$ при $0 < t < \frac{T}{2}$ и т. д. (падение напряжения в обмотке трансформатора и в вентиле считается равным нулю). Выпрямленное напряжение совпадает на графике с теми полуволнами напряжения u_2 , которые соответствуют по знаку прямому напряжению вентиля.

Среднее за период значение выпрямленного (пульсирующего) напряжения, т. е. постоянная его составляющая,

$$U_0 = \frac{1}{T} \int_0^T u_2(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} U_{2m} \sin \omega t dt = \frac{1}{\pi} U_{2m} \quad (2)$$

так как при $T/2 < t < T$ $u_с = 0$.

При синусоидальной форме напряжения u_2 его действующее значение U_2 связано с амплитудным U_{2m} коэффициентом $\sqrt{2}$, т. е. $U_{2m} = \sqrt{2} U_2$. Соответственно

$$U_0 = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_2 = 0,45 U_2. \quad (3)$$

Максимальное значение обратного напряжения, прикладываемого к вентилю, равно амплитудному значению u_2 :

$$U_{обрт} = U_{2m} = \pi U_0. \quad (4)$$

Степень выполнения цели функционирования и функциональных требований, предъявляемых к выпрямительным устройствам, характеризуется совокупностью показателей качества этих устройств. Качество преобразования переменного тока в постоянный характеризуется отношением среднего значения (постоянной составляющей) выпрямленного напряжения к действующему значению переменного напряжения: U_0/U_2 . Чем больше величина этого отношения, тем выше качество схемы выпрямления.

Важным функциональным требованием является снижение переменной составляющей выпрямленного напряжения при получении постоянной составляющей. Выполнение этого требования характеризуется коэффициентом пульсаций K_n равным отношению амплитудного значения переменной составляющей выпрямленного напряжения к его постоянной составляющей:

$$K_n = U_{перм}/U_0 \text{ или } K_n\% = (U_{перм}/U_0) \cdot 100, \quad (5)$$

Относительную величину переменной составляющей можно также характеризовать коэффициентом пульсации по первой гармонике:

$$K_{n1} = U_{m1}/U_0, \quad (6)$$

где U_{m1} - амплитуда первой гармонической составляющей выпрямительного напряжения.

К выпрямителям предъявляется требование, касающееся режима работы клапанов: обратное напряжение, прикладываемое к закрытым клапанам, не должно намного превышать выпрямленное напряжение. Выполнение этого требования характеризуется отношением максимального значения обратного напряжения к среднему значению выпрямленного: $U_{обрт}/U_0$.

В процессе преобразования переменного тока в постоянный потери мощности должны быть минимальными. Степень выполнения этого требования можно характеризовать коэффициентом использования трансформатора ВУ по мощности, который равен отношению мощности постоянной составляющей выпрямленного тока к габаритной (типовой) мощности трансформатора:

$$K_{и.м} = P_{ср}/P_m, \quad (7)$$

где $P_{ср} = U_0 I_0$ и

$$P_m = \frac{1}{2}(m_1 P_1 + m_2 P_2), \quad (8)$$

P_1 и P_2 - расчетные мощности фазных первичных и вторичных обмоток трансформатора; m_1 и m_2 — число первичных и вторичных фазных обмоток трансформатора.

Если выпрямительное устройство не имеет силового трансформатора, для оценки степени выполнения требования касающегося преобразования мощности, применяется коэффициент преобразования мощности $K_{п.м}$, равный отношению мощности постоянной составляющей $P_{ср}$ к среднему значению мощности выпрямленного тока $P_{в.ср}$:

$$K_{п.м} = P_{ср} / P_{в.ср}, \quad (9)$$

$$\text{где } P_{ср} = \frac{1}{T} \int_0^T u_s(t) i_s(t) dt.$$

Кроме показателей качества, характеризующих степень выполнения цели функционирования и функциональных требований, предъявляемых к ВУ, при сравнительной оценке различных схем выпрямления используется еще один показатель, не выражающийся числом. Этот показатель фиксирует наличие или отсутствие постоянного подмагничивания сердечника трансформатора за счет магнитодвижущей силы постоянной составляющей выпрямленного тока. Известно, что ток, протекающий в первичной обмотке трансформатора, имеет две составляющие: намагничивающую и размагничивающую: $i_l = i_{нм} + i_{рм}$, где $i_{нм} = i_x$ — намагничивающая составляющая равна току холостого хода, а размагничивающая составляющая определяется в зависимости от магнитного состояния сердечника. При отсутствии постоянного подмагничивания размагничивающая составляющая равна приведенному значению тока вторичной обмотки со знаком минус: $i_{рм} = -i_2(\varpi_2/\varpi_1)$

При постоянном подмагничивании стержня двухобмоточного трансформатора

$$i_{рм} = -(i_2 - I_0)(\varpi_2/\varpi_1), \quad (10)$$

так как составляющая магнитодвижущей силы, соответствующая постоянной составляющей магнитного потока, в процессе трансформации тока не участвует.

Постоянное подмагничивание приводит также к уменьшению величины магнитной проницаемости сердечника трансформатора, что в свою очередь вызывает увеличение намагничивающей составляющей тока и соответствующее увеличение потерь мощности в стали $P_{ст}$. Следовательно,

качество ВУ снижается при постоянном подмагничивании сердечника его трансформатора.

Для классификации выпрямителей применяются как общие признаки классификации систем и источников электропитания, перечисленные в ГОСТ 19167—73, так и признаки классификации схем выпрямления. По напряжению системы и источники подразделяются на низкого напряжения — до 100 В, среднего — от 100 до 1000 В и высокого — свыше 1000 В. По величине коэффициента пульсаций различают системы и источники: с малыми пульсациями — до 0,1%, со средними пульсациями — от 0,1 до 1,0% и с большими пульсациями — свыше 1,0%.

Схемы выпрямления классифицируются по фазности выпрямителя, определяемой числом вторичных фазных обмоток трансформатора $m=m_2$ и тактности выпрямителя, равной числу импульсов выпрямленного тока, протекающего через каждую фазную обмотку трансформатора за время, равное одному периоду T , т. е. числу пульсаций выпрямленного тока в фазе за T . Иногда вместо тактности для классификации выпрямителей используется форма выпрямленного напряжения. Если за период T выпрямляется одна полуволна переменного напряжения, то схема выпрямления - однополупериодная, а если выпрямляются обе полуволны - двухполупериодная.

2. Выпрямители

Выпрямителем называют устройство, с помощью которого осуществляется преобразование переменного напряжения промышленной частоты в пульсирующее постоянное напряжение. Основными звеньями выпрямителя являются *трансформатор и вентиль*.

Трансформатор служит для преобразования стандартного переменного напряжения сети в переменное напряжение такой величины, которая необходима для получения на выходе источника питания заданного постоянного напряжения. Трансформатор необходим также для гальванической развязки входа источника питания и сети.

Вентилем называют прибор, обладающий несимметричной характеристикой проводимости — малым сопротивлением для прямого тока и

большим сопротивлением для обратного тока. С помощью вентиля осуществляется преобразование переменного напряжения в пульсирующее.

Выпрямители классифицируют по числу фаз первичной и вторичной обмоток трансформатора; схеме соединения вентиля и форме выпрямленного напряжения. В настоящее время в электронных устройствах наиболее распространены однофазные схемы выпрямителей: однополупериодные, двухполупериодные (с нулевым выводом), мостовые и трехфазные: с нулевым выводом, мостовая (схема Ларионова).

Если выходная мощность источника питания не превышает 500 Вт, обычно используют однофазные схемы, при $P_{\text{вых}} > 0,5 \text{ кВт}$ — трехфазные.

Однофазный однополупериодный выпрямитель.

Наиболее простая выпрямительная схема однополупериодная (а).

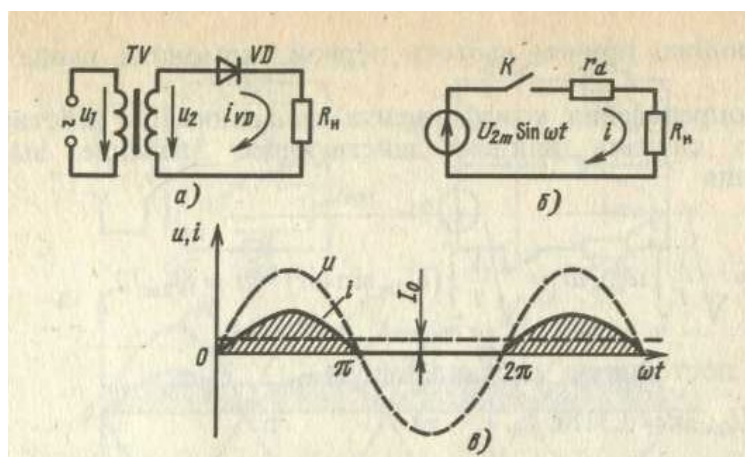


Схема однополупериодного выпрямителя (а), его эквивалентная схема (б) и график выходного напряжения и тока (в)

Она состоит из простого трансформатора и вентиля, в качестве которого в настоящее время чаще других используют полупроводниковый кремниевый диод. Первичная обмотка трансформатора присоединяется к сети. Напряжение вторичной обмотки трансформатора является входным напряжением выпрямителя и непосредственно прикладывается к диоду и нагрузке, которые по отношению к входному напряжению включены последовательно. В зависимости от требуемой величины выпрямленного напряжения трансформатор может быть как повышающим, так и понижающим.

Диод проводит в течение половины периода входного напряжения, когда на его аноде наблюдается положительный относительно катода потенциал. На этом отрезке времени через нагрузку протекает ток i , форма которого повторяет форму входного напряжения выпрямителя. В течение следующего полупериода входного напряжения диод закрыт и ток через нагрузку равен нулю. Таким

образом, диод в однополупериодной схеме действует как ключ, управляемый входным напряжением выпрямителя: он замкнут в течение положительного полупериода и разомкнут в течение отрицательного (б). Выходной ток определяется выражением

$$i = I_m \sin \omega t \Big|_0^{\pi}.$$

Форма напряжения на нагрузке повторяет форму выходного тока (в), и это напряжение с помощью преобразования Фурье может быть представлено следующим рядом:

$$u_{\text{вых}} = \frac{U_{2m}}{\pi} + \frac{U_{2m}}{2} \sin \omega t - \frac{2U_{2m}}{3\pi} \cos 2\omega t - \frac{2U_{2m}}{15\pi} \cos 4\omega t. \quad (5)$$

Как видно из (5), выходное напряжение однополупериодного выпрямителя содержит постоянную и ряд гармонических составляющих, причем частота первой гармоники равна частоте сети.

Для определения коэффициента пульсации по действующему значению сначала найдем действующее значение выходного напряжения

$$U_{\text{общ}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u_{\text{вых}}^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (U_{2m} \sin \omega t)^2 dt} = \frac{U_{2m}}{2},$$

а затем постоянную составляющую

$$U_0 = \frac{U_{2m}}{\pi} = 0,318 U_{2m}.$$

Тогда действующее значение напряжения пульсации

$$U_{\text{пульс}} = \sqrt{U_{\text{общ}}^2 - U_0^2} = \sqrt{\left(\frac{U_{2m}}{2}\right)^2 - \left(\frac{U_{2m}}{\pi}\right)^2} = 0,386 U_{2m},$$

откуда коэффициент пульсации по действующему значению

$$K_n = 1,21. \quad (6)$$

Величина коэффициента пульсации в однополупериодном выпрямителе оказывается большой, что является существенным недостатком этой схемы. Кроме того, ток во вторичной обмотке трансформатора проходит только в одном направлении, создавая постоянное подмагничивание, что увеличивает размеры и массу трансформатора.

Найдем теперь коэффициент полезного действия как отношение выходной мощности постоянного тока к суммарной мощности на входе выпрямителя. Входная мощность

$$P_{ex}=I^2(r_d+R_n), (7)$$

а выходная мощность

$$P_{вых} = I_0^2 R_n, (8)$$

где I —действующее значение входного тока.

Так как в однополупериодном выпрямителе $I=0,5I_m$, $I_0 = I_m/\pi$, то КПД

$$\eta = \frac{P_{вых}}{P_{ex}} = \frac{I_0^2 R_n}{I^2 (r_d + R_n)} = \frac{0,406}{1 + \frac{r_d}{R_n}}, (9)$$

а его максимальное значение оказывается равным только 40,6%.

Однофазный двухполупериодный выпрямитель.

Стремление повысить эффективность выпрямителя привело к созданию двух-полупериодной схемы (а),

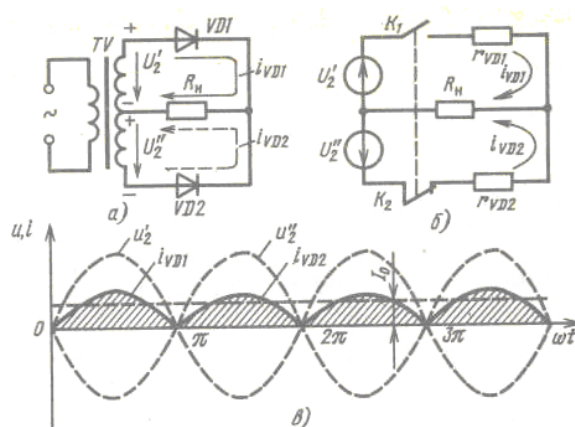


Схема двухполупериодного выпрямителя (а), его эквивалентная схема (б), графики выходного напряжения и тока (в)

которая отличается от одно-полупериодной наличием двух диодов и более сложным трансформатором, вторичная обмотка которого имеет отвод от средней точки. В результате этого ток в нагрузке проходит в течение обоих полупериодов входного напряжения. В течение одного полупериода, когда на аноде диода VD1 будет положительное по отношению к катоду напряжение, через нагрузку будет проходить ток диода VD1, а диод VD2 будет закрыт и его ток равен нулю. Когда полярность входного напряжения выпрямителя изменится, диод VD1 закроется, а диод VD2 откроется и через нагрузку начнет проходить ток диода VD2. Таким образом, и в двухполупериодном выпрямителе диоды действуют как ключи, синхронно переключаясь под действием входного напряжения (б). Поэтому за один период переменного напряжения на входе выпрямителя в нагрузке появляются два импульса тока (в). Ток нагрузки является суммой двух токов — диодов VD1 и VD2: $i=i_{d1}+i_{d2}$.

Форма напряжения на нагрузке, как и в однополупериодном выпрямителе, повторяет форму выходного тока. Это напряжение с помощью преобразования Фурье представляется таким рядом:

$$u_{\text{вых}} = \frac{2U_{2m}}{\pi} - \frac{4U_{2m}}{3\pi} \cos 2\omega t - \frac{4U_{2m}}{15\pi} \cos 4\omega t - \dots \quad (10)$$

где опять будет постоянная и ряд гармонических составляющих, но в отличие от однополупериодной схемы здесь первой будет гармоника, соответствующая двойной частоте сети.

Коэффициент пульсации по действующему значению можно определить так же, как в однополупериодном выпрямителе. Но в двухполупериодном

$$U_{\text{общ}} = \frac{U_{2m}}{\sqrt{2}}, \text{ а } U_0 = \frac{2U_{2m}}{\pi},$$

поэтому действующее значение напряжения пульсации

$$U_{\text{пульс}} = \sqrt{U_{\text{общ}}^2 - U_0^2} = \sqrt{\left(\frac{U_{2m}}{\sqrt{2}}\right)^2 - \left(\frac{2U_{2m}}{\pi}\right)^2} = 0,307U_{2m}$$

откуда коэффициент пульсации по действующему значению

$$K_n = 0,48 = 48\%, \quad (11)$$

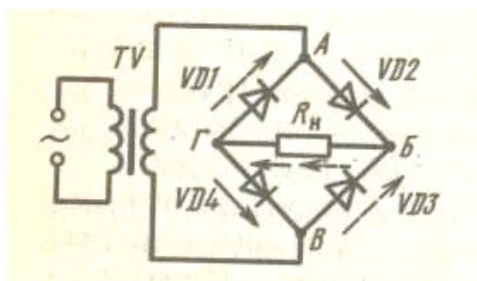
что значительно меньше, чем в однополупериодном.

Лучше используется и трансформатор. В двухполупериодной схеме ток во вторичной обмотке каждый полупериод протекает в противоположных направлениях, что теоретически устраняет подмагничивание.

Изменится и величина КПД. В двухполупериодном выпрямителе действующее значение тока на входе $I = 0,707I_m$, $I_0 = 2I_m/\pi = 0,605I_m$, поэтому

$$\eta = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}} = \frac{I_0^2 R_n}{I^2 (r_d + R_n)} = \frac{0,812}{1 + \frac{r_d}{R_n}} \quad (12)$$

а максимальное значение КПД равно 81,2%.



Принципиальная схема
мостового выпрямителя

Однофазная мостовая схема.

В однофазном мостовом выпрямителе входное переменное напряжение подводится к одной диагонали моста, а выпрямленное

напряжение снимается с другой. Пусть в некоторый момент времени переменное напряжение на вторичной обмотке трансформатора таково, что потенциал точки А выше потенциала точки В. Тогда от точки А (« + » источника напряжения) ток пойдет через диод VD2 к точке Б, далее через нагрузку к точке Г и через диод VD4 к точке В (« — » источника напряжения).

В течение следующего полупериода, когда потенциал точки В окажется выше потенциала точки А, ток пойдет через диод VD3, нагрузку и диод VD1. Для первого полупериода направление тока показано сплошными стрелками, для второго полупериода — штриховыми. Так же, как в простой двухполупериодной схеме, ток через нагрузку в мостовой схеме проходит дважды за период, причем каждый раз в одном и том же направлении.

К достоинствам мостовой схемы следует отнести то, что в ней используется простой трансформатор, и то, что она удобна для выпрямления как низкого, высокого напряжения. Ее основные недостатки - сложность и то, что в течение полупериода ток проходит через два диода, что увеличивает выходное сопротивление выпрямителя. Однако применение в качестве вентилей полупроводниковых диодов, которые, как известно, имеют малое прямое сопротивление и небольшие размеры, позволило устранить основные недостатки мостовых схем и привело к их широкому использованию.

Коэффициент пульсаций выходного напряжения в мостовой схеме тот же, что и в обычной двухполупериодной, так же как и величина максимального значения КПД.

Тема 2.2

Простейшие сглаживающие фильтры в технических средствах защиты информации

Знать:

- типы сглаживающих фильтров, области применения в сфере защиты информации;
- принцип сглаживания;
- основные схемы сглаживающих фильтров

Уметь:

- исследовать работу сглаживающих фильтров;
- определять параметры и характеристики сглаживающих фильтров;
- анализировать результаты измерений и расчетов

Назначение, общая характеристика, основные параметры сглаживающих фильтров в технических средствах защиты информации. Разновидности

сглаживающих фильтров: емкостные, индуктивные, индуктивно-емкостные, резистивно-емкостные, многозвенные, резонансные фильтры-пробки и режекторные фильтры.

1.1. Классификация, показатели качества и схемы сглаживающих фильтров

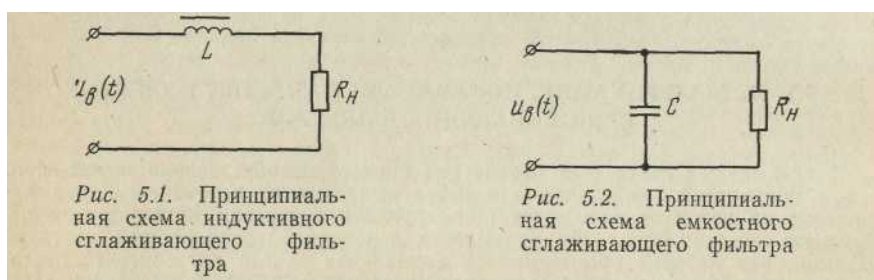
В предыдущей теме был рассмотрен процесс преобразования переменного тока в постоянный и показано, что после выпрямления переменного тока напряжение на нагрузке получается пульсирующим, имеющим постоянную и переменную составляющие. Для уменьшения переменной составляющей до такой величины, при которой обеспечивается нормальная работа потребителей постоянного тока, предназначаются **сглаживающие фильтры** (СФ). В идеальном сглаживающем фильтре падение напряжения постоянного тока равно 0, а падение напряжения переменного тока близко к бесконечно большой величине. Эффект сглаживания получается путем подавления переменной составляющей с помощью реактивного сопротивления большой величины либо путем ее шунтирования реактивным сопротивлением очень малой величины. Реактивным сопротивлением обладают энергоемкие реактивные элементы: индуктивные катушки и конденсаторы. Сглаживающие фильтры, в состав которых входят только реактивные элементы типа L, C и резисторы, называются **пассивными**. Если же кроме реактивных элементов сглаживающие фильтры имеют еще и усилительные типа транзисторов, то они носят название **активных или транзисторных**. Настоящая тема посвящена рассмотрению пассивных сглаживающих фильтров их классификации и количественной оценке показателей качества функционирования. Анализируются переходные процессы, возникающие в выпрямительных; устройствах со сглаживающими фильтрами при коммутациях напряжения на входе или нагрузки на выходе.

В общем случае индуктивность катушки L зависит от протекающего по ее обмотке тока. В сглаживающих фильтрах применяются специальные сглаживающие катушки индуктивности, магнитопровод которых имеет воздушный (немагнитный) зазор. Индуктивность такой катушки практически не зависит от тока, и поэтому пассивные сглаживающие фильтры рассматриваются как линейные четырехполюсники с постоянными параметрами, т. е. постоянной индуктивностью катушки и емкостью конденсатора.

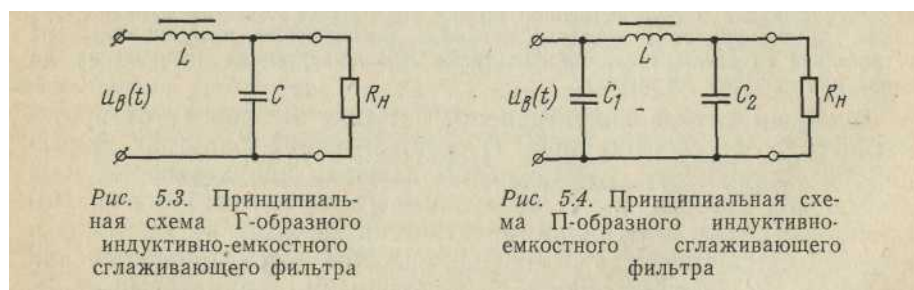
Для классификации пассивных СФ применяются различные признаки. Известно, что в четырехполюсниках, которые содержат индуктивность и емкость, могут возникать резонансные явления. Пассивные сглаживающие фильтры, у которых индуктивность катушки L и емкость конденсатора C

выбираются из условия получения такой величины собственной частоты фильтра $1/\sqrt{LC}$, которая ниже частоты пульсаций выпрямленного напряжения ω_n , называются **нерезонансными**. Если же одним из элементов пассивного СФ является LC-контур, собственная частота которого равна или кратна частоте пульсаций выпрямленного напряжения, то фильтр носит название **резонансного**.

По числу фильтрующих элементов, входящих в состав нерезонансных сглаживающих фильтров, последние подразделяются на **однозвенные** и **многозвенные**. В свою очередь однозвенные классифицируются по типу фильтрующих элементов следующим образом: **индуктивные сглаживающие фильтры** (рис. 5.1), у которых последовательно нагрузке включается катушка, имеющая такую индуктивность L , при которой справедливо неравенство $\omega_n L \gg R_H$, где R_H — сопротивление нагрузки;



емкостные сглаживающие фильтры (рис. 5.2), у которых параллельно нагрузке включается конденсатор, имеющий такую емкость C , при которой выполняется неравенство $\frac{1}{\omega_n C} \ll R_H$; **Г-образные индуктивно-емкостные сглаживающие фильтры** (рис. 5.3), у которых катушка индуктивности включается последовательно нагрузке, а конденсатор — параллельно.



Многозвенные сглаживающие фильтры получаются последовательным включением однозвенных. Примером простейшего двухзвенного СФ является **П-образный CLC-фильтр**, который состоит из последовательно соединенных емкостного и Г-образного индуктивно-емкостного фильтров (рис. 5.4).

Основным показателем качества сглаживающих фильтров служит коэффициент сглаживания пульсаций, характеризующий степень выполнения

их функциональной задачи: уменьшение пульсаций выпрямленного напряжения. Коэффициент сглаживания пульсаций равен отношению коэффициентов пульсаций выпрямленного напряжения на входе фильтра $K_{n.вх}$ и на его выходе, т. е. на нагрузке $K_{n.н}$

$$K_{сн} = K_{n.вх}/K_{n.н}, (1)$$

Функциональная задача СФ уточняется функциональными требованиями, отражающими свойства идеальных сглаживающих фильтров: **падение напряжения переменного тока в СФ** должно быть очень большим, а **падение напряжения постоянного тока** — близким к нулю. Степень выполнения первого функционального требования характеризуется показателем качества, называемым **коэффициент фильтрации** и определяемым как отношение амплитуд первых гармоник переменной составляющей выпрямленного напряжения на входе $U_{m1вх}$ и на выходе фильтра, т. е. на его нагрузке $U_{m1н}$:

$$K_{\phi} = \frac{U_{m1вх}}{U_{m1н}}. (2)$$

Степень выполнения функционального требования, касающегося минимального воздействия на постоянную составляющую выпрямленного напряжения, характеризуется **коэффициентом передачи сглаживающего фильтра**. Коэффициент передачи $K_{пер}$ равен отношению постоянных составляющих выпрямленного напряжения на выходе фильтра (на нагрузке $:U_{0н}$) и на его входе $U_{0вх}$:

$$K_{пер} = \frac{U_{0н}}{U_{0вх}} = \frac{U_{0н}}{U_{0н} + \Delta U_0}, (3)$$

где ΔU_0 - величина падения напряжения постоянного тока в СФ. Рассмотрим произведение коэффициентов фильтрации K_{ϕ} и передачи $K_{пер}$ сглаживающего фильтра:

$$K_{\phi} K_{пер} = \frac{U_{m1вх}}{U_{m1н}} \frac{U_{0н}}{U_{0н} + \Delta U_0} = \frac{U_{m1вх}}{U_{0вх}} \bigg/ \frac{U_{m1н}}{U_{0н}},$$

где $U_{m1вх}/U_{0вх}=K_{n1вх}$, $U_{m1н}/U_{0н}=K_{n1н}$ — коэффициенты пульсации по первой гармонике на входе СФ и на нагрузке. Следовательно, произведение коэффициента фильтрации переменного тока на коэффициент передачи постоянного тока получается равным коэффициенту сглаживания пульсаций СФ:

$$K_{\phi} K_{пер} = K_{с.н}. (4)$$

Для идеального сглаживающего фильтра $K_{пер}=1$. Соответственно будут равны коэффициенты сглаживания пульсаций и фильтрации, т. е. коэффициент

сглаживания пульсаций может определяться как отношение амплитудных значений первых гармоник переменной составляющей на входе фильтра и на нагрузке:

$$K_{c.n} = U_{m1ex} / U_{m1n}, \quad (5)$$

Гармонический состав переменной составляющей выпрямленного напряжения зависит от характера нагрузки: при индуктивной нагрузке импульсы выпрямленного тока имеют форму, близкую к **прямоугольной**, и длительность T/m , а при емкостной — их длительность меньше T/m и форма **заостренная**. При проектировании сглаживающих фильтров их расчет производится для двух предельных режимов: режима работы на индуктивность, при котором $\omega_n L \gg R_n$, где ω_n — частота пульсаций выпрямленного напряжения, и режима работы на емкость, при котором $1/\omega_n C \ll R_n$. В первом режиме пренебрегают влиянием активного сопротивления сглаживающего фильтра на переменную составляющую и влиянием сопротивления индуктивной катушки на постоянную составляющую. Во втором — импульсы выпрямленного тока, а поэтому и коэффициент сглаживания пульсаций зависит от величины угла отсечки θ , который характеризует длительность импульсов.

1.2. Расчет фильтров с индуктивной и емкостной реакцией нагрузки

В тех случаях, когда сглаживающий фильтр начинается с катушки, индуктивность которой достаточно велика, т. е. выполняется условие $\omega_n L \gg R_n$, рассматривается режим работы на индуктивность и расчет фильтра сводится к выбору индуктивности катушки из условия получения заданного коэффициента сглаживания пульсаций:

$K_{c.n} = U_{m1ex} / U_{m1n}$, где $U_{m1ex} = I_{m1} \sqrt{R_n^2 + X_L^2}$ и $U_{m1n} = I_{m1} R_n$, т.е. $K_{c.n} = \sqrt{R_n^2 + X_L^2} / R_n$ или при $m\omega L \gg R_n$

$$K_{c.n} = \frac{m\omega L}{R_n}, \quad (6)$$

Используя (6), можно определить индуктивность катушки при известных значениях частоты пульсаций, ω_n и сопротивления нагрузки R_n . **Индуктивные сглаживающие фильтры выгодно применять в выпрямительных устройствах, у которых большие токи нагрузки (малое сопротивление нагрузки R_n).**

Величина индуктивности катушки на входе фильтра при его расчете в режиме работы на индуктивность должна обеспечивать индуктивный характер нагрузки и при наличии емкости на его выходе, т. е. у Г-образного LC-фильтра $\omega_n L \gg R_n$ при $R_n \gg R_L$ и $R_n \gg 1/\omega_n C$. Кроме проверки условия режима работы на индуктивность необходимо также исключить возможность возникновения резонансных явлений на частоте пульсаций, т. е. обеспечить выполнение условия $\omega_0 \leq 0,5\omega_n$, где $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$, и $\omega_0 = m\omega_n$ или $m\omega L \geq 4/m\omega C$ или $m\omega L > 1/m\omega C$.

Для Г-образного LC-фильтра с учетом приведенных условий коэффициент сглаживания пульсаций $K_{c.n} = U_{m1ex} U_{m1n} = I_{m1}(Z_L + Z_{RC})/I_{m1}Z_{RC}$, где Z_L - полное сопротивление катушки индуктивности; Z_{RC} - полное сопротивление параллельно соединенных конденсатора и резистора.

$$\text{При } R_n \gg 1/m\omega C, Z_{RC} = \left(R_n \frac{1}{m\omega C} \right) / \left(R_n + \frac{1}{m\omega C} \right) \approx \frac{1}{m\omega C}.$$

При $R_n \gg R_L$, $Z_L = m\omega L$. Соответственно

$$K_{c.n} = \left(m\omega L - \frac{1}{m\omega C} \right) / \frac{1}{m\omega C} = (m\omega)^2 LC - 1, \quad (7)$$

где $LC = 1/\omega_0^2$, т.е.

$$K_{c.n} = (\omega_n/\omega_0)^2 - 1. \quad (8)$$

Из (8) следует, что коэффициент сглаживания пульсаций у Г-образного LC-фильтра зависит от отношения частоты пульсаций $\omega_n = m\omega$ к собственной частоте фильтра ω_0 ; у многофазных выпрямляющих устройств коэффициент сглаживания пульсаций Г-образного LC-фильтра возрастает.

С помощью (7) при заданном значении $K_{c.n}$ можно определить произведение индуктивности катушки L на емкость конденсатора C . Значения входящих в это произведение индуктивности и емкости находятся из соотношения $m\omega L \gg R_n \gg 1/m\omega C$. **Коэффициент сглаживания пульсаций для Г-образного LC-фильтра оказался не зависимым от нагрузки R_n . Поэтому этот фильтр является достаточно универсальным и находит самое широкое применение при $K_{c.n} = 40 \div 50$.**

В тех случаях, когда ток нагрузки не превосходит 10 мА, а коэффициент сглаживания пульсаций 20, в Г-образном фильтре катушку можно заменить резистором. Для Г-образного RC-фильтра $K_{c.n} = U_{m1ex} U_{m1n} = I_{m1}(R_\phi + Z_{RC})/I_{m1}Z_{RC}$, где R_ϕ - сопротивление резистора фильтра. При $R_n \gg X_C$, $Z_{RC} \approx X_C$ получается $K_{c.n} = \sqrt{R_\phi^2 + X_C^2} / X_C \approx R_\phi / X_C$, где $X_C = 1/m\omega C$ и соответственно

$$K_{c.n} = m\omega CR_{\phi} \cdot (9)$$

У Г-образного RC-фильтра $K_{c.n}$ также не зависит от нагрузки R_n .

Режим работы на емкость имеет место у емкостного фильтра при условии, что $R_n \gg 1/\omega_n C$. Коэффициент сглаживания пульсаций для емкостного фильтра в общем случае зависит от угла отсечки тока вентиля выпрямителя. Однако для ориентировочных расчетов можно рассматривать такую модель СФ, при которой импульс тока разряда конденсатора фильтра на нагрузку R_n имеет прямоугольную форму, а его амплитуда равна среднему значению выпрямленного тока. Изменение напряжения на конденсаторе за период пульсаций T/m , которое можно считать равным двум амплитудам переменной составляющей выпрямленного напряжения, определяется при указанных допущениях по формуле

$$\Delta U_C = \frac{1}{C} \int_0^{T/m} I_0 dt = \frac{I_0}{C} \frac{T}{m} = \frac{I_0}{Cmf}.$$

Соответственно при $I_0 = U_0/R_n$ амплитуда переменной составляющей $U_{mпер} = U_0/2mfCR_n$. Определяя коэффициент пульсаций как отношение амплитуды переменной составляющей к постоянной составляющей выпрямленного напряжения U_0 , находим

$$K_n = \frac{1}{2mfCR_y} \cdot (10)$$

Соотношение (10) используется для определения величины емкости C_{ϕ} сглаживающего фильтра при заданном значении допустимого коэффициента пульсации выпрямленного напряжения на нагрузке $K_{n.дон}$:

$$C_{\phi} = 1/2mfR_n K_{n.дон}, (11)$$

Если частота f измеряется в Герцах, а сопротивление R_n — в Омах, то емкость в микроФарадах вычисляется по формуле $C_{\phi} = 10^6/2mfR_n K_{n.дон}$. Если же учитывать, что в режиме работы на емкость коэффициент сглаживания пульсаций зависит от величины угла отсечки выпрямленного тока, то получаем [11]

$$K_{c.п} = K_{п.вх} (R_{вх} C/A) 10^4, (12)$$

где $K_{п.вх}$ — допустимое значение коэффициента пульсаций на конденсаторе; $R_{вх}$ — внутреннее сопротивление выпрямителя, равное сумме сопротивления трансформатора, приведенного к его вторичной обмотке, и прямого сопротивления вентиля, Ом; C — емкость сглаживающего

конденсатора, мкФ; A — постоянная, однозначно связанная с величиной угла отсечки:

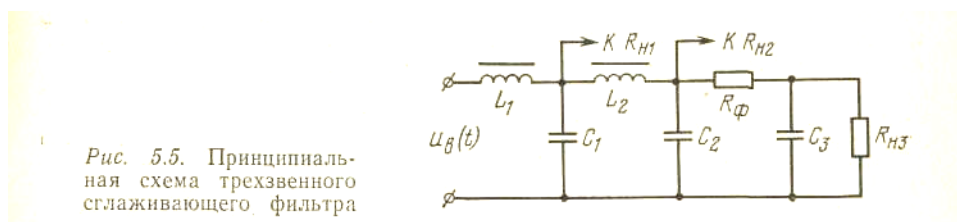
$$A = -\frac{(\sin m_n \theta \cos \theta - m_n \cos m_n \theta \sin \theta) \cdot 10^6}{f \pi^2 m_n (m_n - 1) \cos \theta} = \frac{(\sin m_n \theta - m_n \cos m_n \theta \operatorname{tg} \theta) \cdot 10^6}{\pi^2 f m_n (m_n^2 - 1)}, \quad (13)$$

Где θ — угол отсечки выпрямленного тока; f — частота тока питающей сети; m_n — число импульсов выпрямленного тока за один период изменения напряжения питающей сети (при однотактной схеме выпрямления $m_n=1$, а при двухтактной $m_n=2$),

Емкостные сглаживающие фильтры выгодно применять в тех выпрямительных устройствах, у которых велико сопротивление нагрузки, т. е. при малом токе нагрузки.

1.3. Многозвенные и резонансные сглаживающие фильтры

Различные потребители выпрямленного тока неодинаково чувствительны к его пульсациям. Для отдельного и поэтапного сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения с учетом различия требований, предъявляемых отдельными потребителями к качеству процесса выпрямления, в выпрямительных устройствах используются многозвенные сглаживающие фильтры.



На рис. 5.5 изображена принципиальная схема трехзвенного сглаживающего фильтра. Первым его звеном служит Г-образный LC-фильтр, состоящий из катушки с индуктивностью L_1 и конденсатора с емкостью C_1 . Его действие характеризуется коэффициентом сглаживания пульсаций $K_{с.н1}=[(m\omega)^2 L_1 C_1 - 1]$. Дополнительное подавление переменной составляющей выпрямленного напряжения после первого звена осуществляется также Г-образным LC-фильтром, катушка которого имеет индуктивность L_2 , а конденсатор — емкость C_2 . Коэффициент сглаживания пульсаций этого фильтра $K_{с.н2}=[(m\omega)^2 L_2 C_2 - 1]$. Через обмотку катушки второго фильтрующего звена протекает меньший постоянный ток, чем через обмотку катушки первого

звена, так как часть выпрямленного тока ответвляется к потребителю $R_{н1}$. Вторая катушка работает с меньшим подмагничиванием, а поэтому имеет меньшие габариты, чем первая.

Если первые два звена сглаживающего фильтра еще недостаточно подавляют переменную составляющую выпрямленного напряжения, то используется третье звено в виде Г-образного RC-фильтра, для которого коэффициент сглаживания пульсаций $K_{c.n3}=m\omega C_3 R_\phi$. Выходное сопротивление каждого из звеньев сглаживающего фильтра определяется емкостью соответствующего конденсатора: $R_{вх1}\approx 1/m\omega C_1$, $R_{вх2}\approx 1/m\omega C_2$ и $R_{вх3}\approx 1/m\omega C_3$. Выходное сопротивление звена всегда меньше входного сопротивления следующего за ним звена, которое равно либо сопротивлению катушки $m\omega L$, либо сопротивлению резистора R_ϕ . Поэтому можно пренебречь влиянием всех последующих звеньев на работу предшествующих и определять коэффициент сглаживания пульсаций для многозвенного фильтра как произведение коэффициентов сглаживания пульсаций каждого из n звеньев в отдельности:

$$K_{c.n} = \prod_{i=1}^n K_{c.ni} \cdot (14)$$

Согласно (14) коэффициент сглаживания П-образного CLC-фильтра $K_{c.n}=(K_{н.вх}R_{вн}C_1\cdot 10^4/A) [(m\omega)^2 LC_2-1]$.

На практике встречаются ситуации, при которых переменная составляющая выпрямленного напряжения мало отличается от своей первой гармоники (гармоники выше первой очень малы) или потребители выпрямленного тока чувствительны к одной из гармоник. В таких случаях выгодно применять **резонансные сглаживающие фильтры**, которые представляют собой Г-образные фильтры, имеющие в качестве одного из фильтрующих элементов резонансный LC-контур. Собственная частота такого контура выбирается равной частоте подавляемой гармоники переменной составляющей выпрямленного напряжения.

Когда вместо катушки Г-образного LC-фильтра включается параллельный LC-контур (рис. 5.6), получается резонансный фильтр «пробка». Сопротивление параллельного LC-контура постоянному току равно сопротивлению катушки R_L , т. е. достаточно мало. В то же время при совпадении частоты пульсаций ω_n с собственной частотой контура $\omega_0 = 1/\sqrt{L_k C_k}$ сопротивление контура переменному току на этой частоте становится очень большим.

С помощью параллельного LC-контура осуществляется практически полное подавление первой гармоники переменной составляющей выпрямленного напряжения. Определяем выражение коэффициента сглаживания первой гармоники с помощью резонансного фильтра-пробки:

$$K_{c.n} = \frac{U_{m1ex}}{U_{m1вх}} = \frac{I_{m1}\sqrt{R_x^2 + X_c^2}}{I_{m1}X_c} = \sqrt{\left(\frac{R_x}{X_c}\right)^2 + 1} \approx \frac{R_x}{X_c}, \quad (15)$$

Из (15) следует, что величина коэффициента сглаживания первой гармонической составляющей выпрямленного напряжения с помощью резонансного фильтра-пробки тем больше, чем больше величина сопротивления параллельного LC-контура на частоте первой гармоники.

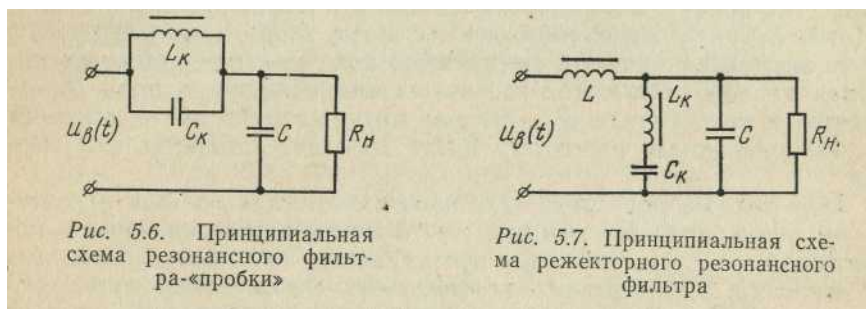


Рис. 5.6. Принципиальная схема резонансного фильтра-«пробки»

Рис. 5.7. Принципиальная схема режекторного резонансного фильтра

Когда последовательный LC-контур включается параллельно конденсатору C и нагрузке R_H , получается режекторный резонансный фильтр (рис. 5.7). Сопротивление переменному току R_K последовательного LC-контура при совпадении его собственной частоты ω_0 с частотой переменного тока, равное сумме активных составляющих сопротивлений катушки L_K и конденсатора C_K имеет очень малую величину. Соответственно, если частота пульсаций выпрямленного напряжения ω_H будет равна собственной частоте контура $\omega_0 = 1/\sqrt{L_K C_K}$, на конденсаторе C и сопротивлении нагрузки R_H , которые шунтируются последовательным LC-контуром, падение напряжения первой гармонической составляющей будет иметь также малую величину.

Находим выражение коэффициента сглаживания первой гармоники выпрямленного напряжения с помощью резонансного режекторного фильтра

$$K_{c.n} = I_{m1}\sqrt{X_L^2 + R_K^2}/I_{m1}R_K \approx X_L/R_K, \quad (16)$$

где $X_L = \omega_H L_\phi$, т. е. $K_{c.n} = m\omega L_\phi/R_K$. Из (16) следует, что чем меньше сопротивление R_K последовательного LC-контура на частоте первой гармоники переменной составляющей выпрямленного напряжения, тем больше коэффициент сглаживания первой гармоники резонансным режекторным фильтром (резонансным шунтом).

Эффективность работы резонансных сглаживающих фильтров, характеризуемая величиной коэффициента сглаживания пульсаций, зависит от точности совпадения частоты пульсаций выпрямленного напряжения $\omega_{\text{п}}$ с собственной частотой LC-контура — ω_0 . Обеспечение условия $\omega_0 = \omega_{\text{п}} = m\omega$ возможно лишь при высокой стабильности частоты сети $\omega = 2\pi f$. Если в сети, питающей выпрямительное устройство, не может быть обеспечена высокая стабильность частоты, применение резонансных сглаживающих фильтров нецелесообразно.

Пассивные сглаживающие фильтры широко используются в выпрямительных устройствах, которые устанавливаются в системах электропитания технических средств защиты информации. В зависимости от назначения этой аппаратуры изменяются требования к качеству выпрямленного напряжения, т. е. к допустимой величине и характеру его пульсаций. Для большинства типов средств защиты информации качество выпрямленного напряжения можно характеризовать величиной коэффициента пульсаций $K_{\text{п}}$. В этих случаях сглаживающие фильтры рассчитываются на подавление до требуемой величины основной гармонической составляющей пульсирующего выпрямленного напряжения.

2. Нестабилизированные источники питания

Для нормальной работы большинства электронных устройств необходимо напряжение питания, как можно более близкое к постоянному, так как пульсации напряжения питания резко ухудшают, а иногда и просто нарушают их работу. Так, для задающих каскадов радиопередатчиков допустим коэффициент пульсации выпрямленного напряжения не более 0,0001%, для усилителей высокой частоты — не более 0,1%, для электроннолучевых трубок — не более 0,5%. Такие значения коэффициента пульсации могут быть обеспечены только с помощью сглаживающих фильтров, которые включают между выпрямителем и нагрузкой.

Основными параметрами сглаживающих фильтров являются: коэффициент сглаживания $K_{\text{с}}$ — отношение коэффициентов пульсации на входе и выходе фильтра и падение постоянного напряжения на фильтре.

$$K = K_{\text{п}}/K' (1)$$

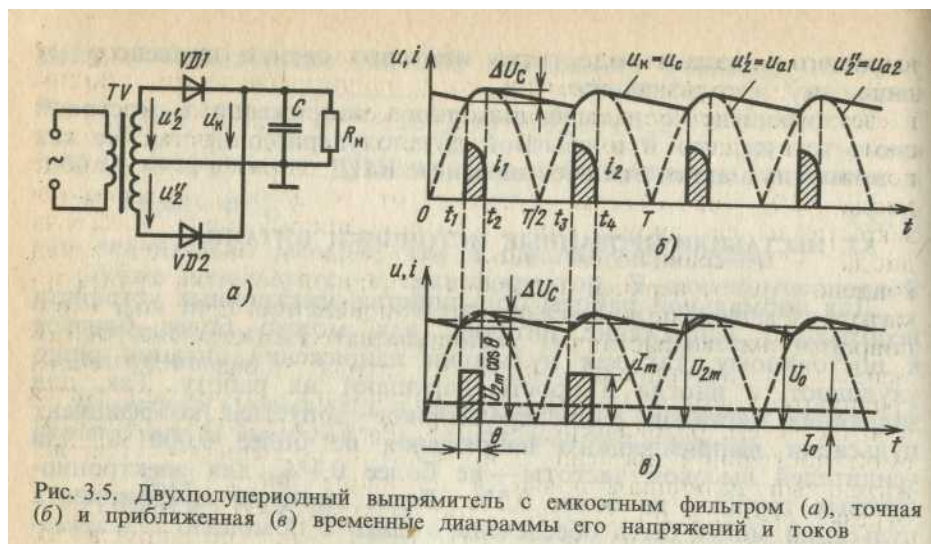
Последнее важно из-за того, что через фильтр проходит весь ток нагрузки и чем меньше падение напряжения на нем, тем меньшая мощность бесполезно теряется в фильтре, а это повышает КПД источника питания.

Наиболее совершенными являются фильтры, в которых применяют реактивные элементы с малыми потерями. Простейшие сглаживающие фильтры состоят из одного конденсатора или одного дросселя, более совершенные фильтры представляют собой комбинации нескольких дросселей и конденсаторов.

В большинстве вторичных источников питания происходит совместная работа выпрямителя и фильтра. При этом фильтр необходимо рассматривать как часть нагрузки выпрямителя, так как он может существенно влиять на работу выпрямителя. Различают три основных режима работы выпрямителя: на нагрузку с емкостной и индуктивной реакцией и работу на противоЭДС. Нагрузка с емкостной реакцией характерна для сравнительно высоковольтных выпрямителей и выпрямителей малой мощности, с индуктивной реакцией — для низковольтных выпрямителей и выпрямителей большой мощности. Примером работы выпрямителя на противоЭДС может служить зарядка аккумуляторов или питание двигателей постоянного тока.

Работой выпрямителя на нагрузку с емкостной реакцией

называют такой режим, когда входное сопротивление фильтра имеет емкостный характер. В простейшем фильтре такого вида используют один конденсатор, который включают параллельно нагрузке. Его фильтрующие свойства основываются на способности конденсатора накапливать электрическую энергию на тех отрезках времени, когда диоды выпрямителя открыты, и возвращать накопленную энергию в нагрузку, когда диоды закрыты. Если $X_C \ll R_H$, то уже за первый период напряжения сети конденсатор зарядится до амплитудного значения входного напряжения выпрямителя и в схеме установится стационарное состояние, при котором конденсатор будет периодически «подзаряжаться» через диоды, а затем разряжаться через нагрузку. Введение простейшего емкостного фильтра приводит к тому, что в выпрямителе начинают действовать как бы два источника энергии. В те моменты времени, когда диоды открыты, источником энергии является сеть, в остальное время — конденсатор. Это приводит к резкому возрастанию постоянного напряжения на нагрузке и одновременно к уменьшению пульсаций. Выходное напряжение и коэффициент пульсации связаны с постоянной времени цепи разряда конденсатора.



Рассмотрим работу выпрямителя с простым емкостным фильтром на примере двухполупериодной схемы (рис. 3.5, а). Временные диаграммы напряжения на выходе такого выпрямителя (рис. 3.5, б) показывают, что наличие конденсатора изменяет работу диодов. Действительно, напряжение на конденсаторе C приводит к тому, что потенциал на катодах диодов становится положительным по отношению к «земле», а так как диоды открыты только в те моменты времени, когда потенциал анода выше потенциала катода, через оба диода будет проходить ток лишь на тех отрезках времени, когда напряжение между анодом и «землей» будет больше напряжения между катодом и «землей» соответствующего диода. В результате этого, несмотря на положительное по отношению к «земле» напряжение на аноде диода $VD1$, на отрезке времени от 0 до t_1 оказываются закрытыми оба диода. При $t=t_1$ потенциалы анода и катода диода $VD1$ сравниваются, диод откроется и начнется заряд конденсатора от верхней половины вторичной обмотки трансформатора. Увеличение напряжения на конденсаторе приводит к одновременному возрастанию потенциала катода диода $VD1$. В момент $t=t_2$ потенциалы анода и катода диода $VD1$ снова сравниваются, диод $VD1$ закроется, заряд конденсатора закончится и начнется его разряд через нагрузку R_n со скоростью, определяемой постоянной времени τ . С момента времени $t=T/2$ положительный потенциал появится на аноде диода $VD2$, но на отрезке времени от $T/2$ до t_3 оба диода будут закрыты, так как потенциал катода диода $VD2$ будет выше потенциала его анода. Диод $VD2$ откроется в момент $t=t_3$, когда сравниваются потенциалы анода и катода диода $VD2$. Снова начнется заряд конденсатора, но теперь уже от нижней половины вторичной обмотки трансформатора. Диод $VD2$ будет открыт до момента времени $t=t_4$, когда сравниваются потенциалы анода и катода диода $VD2$, после чего конденсатор снова начнет разряжаться через нагрузку R_n . В следующий период описанные процессы повторяются.

Для упрощения анализа заменим реальную форму напряжения пилообразной (рис. 3.5, в). Тогда постоянная составляющая выходного напряжения определяется очевидным выражением

$$U_0 = U_{2m} - \Delta U_C / 2,$$

в котором величину ΔU_C можно определить из соображений стационарности процесса заряда и разряда конденсатора.

Заряд, который получает конденсатор за время $t_2 - t_1$,

$$Q_{\text{зар}} = C \Delta U_C$$

Заряд, который теряет конденсатор за время $t_3 - t_2$,

$$Q_{\text{разр}} = I_0(t_3 - t_2)$$

Так как емкость конденсатора обычно выбирают достаточно большой, отрезок времени, на котором происходит разряд конденсатора, оказывается близким к половине периода входного напряжения выпрямителя. Поэтому $Q_{\text{разр}} \approx I_0 T / 2$. Условие стационарности ($Q_{\text{зар}} = Q_{\text{разр}}$) Дает уравнение:

$$I_0 T / 2 = \Delta U_C C,$$

из которого находим

$$\Delta U_C = \frac{I_0 T}{2C} = U_0 \frac{T}{2R_H C} = \frac{U_0}{2} \frac{T}{\tau}, \quad (2)$$

а окончательное выражение для U_0 принимает вид

$$U_0 = U_{2m} / (1 - T / \tau). \quad (3)$$

В рассматриваемом случае действующее значение выходного напряжения

$$U = \sqrt{\frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} (U_{2m} - \frac{2\Delta U_C}{T} t)^2 dt} = \sqrt{U_0^2 + \Delta U_C^2 / 12} = \sqrt{U_0^2 + U_{\approx}^2},$$

откуда действующее значение напряжения пульсации на выходе простого емкостного фильтра

$$U_{\text{пульс}} = U_{\approx} = \Delta U_C / 2\sqrt{3} \quad (4)$$

Подставляя в (4) выражение (2), получаем

$$K_{\Pi} = 0,14 T / \tau \quad (5)$$

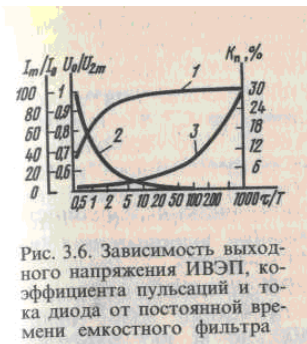


Рис. 3.6. Зависимость выходного напряжения ИВЭП, коэффициента пульсаций и тока диода от постоянной времени емкостного фильтра

Выражения (3) и (5) можно использовать для построения важных зависимостей $U_0/U_{2m}=f_1(\tau/T)$ (кривая 1 на рис. 3.6) и $K_p=f_2(\tau/T)$ (кривая 2), которые достаточно полно характеризуют емкостный фильтр. Из рис. 3.6 следует, что чем больше постоянная времени разряда конденсатора $\tau=R_n C$, тем лучше характеристики простого емкостного фильтра — больше напряжение на

выходе и меньше пульсации. Так как сопротивление нагрузки обычно бывает задано, то для увеличения τ можно увеличивать только емкость C конденсатора. Однако увеличение емкости выше некоторого предела недопустимо: чем больше емкость конденсатора, тем медленнее он разряжается и тем меньше отрезок времени, в течение которого он заряжается, т. е. при увеличении емкости конденсатора фильтра сокращается время, за которое передается энергия из сети в конденсатор, а это ведет к возрастанию тока заряда, который проходит через диод. Действительно, если обозначить отрезок времени, в течение которого проводит диод, через θ , измерять его в относительных единицах (градусах от периода T , равного 360°) и называть **углом отсечки**, то, как следует из рис. 3.5, в,

$$\Delta U_c = U_{2m} - U_{2m} \cos \theta, \text{ откуда}$$

$$\cos \theta = 1 - \Delta U_c / U_{2m}$$

Используя (2) и (3), получаем

$$\cos \theta = 1 - 2/(1 + 4\tau/T),$$

а

$$\theta = \arccos [1 - 2/(1 + 4\tau/T)].$$

Учитывая, что $I_m \theta = I_0 \pi$, окончательно имеем

$$\frac{I_m}{I_0} = \frac{\pi}{\arccos \left[1 - \frac{2}{1 + 4\tau/T} \right]}. \quad (6)$$

Последнее выражение и кривая 3 на рис. 3.6 показывают, что при чрезмерном увеличении емкости конденсатора фильтра ток через диоды выпрямителя может оказаться столь большим, что они выйдут из строя.

Выбор диодов выпрямителя с простым емкостным фильтром проводят по максимально допустимому току и обратному напряжению. Как видно из рис. 3.5, а, во время отрицательного полупериода напряжение между электродами одного из диодов имеет обратную полярность и равно сумме напряжений на

вторичной обмотке трансформатора и нагрузке. В выпрямителях с емкостным фильтром максимальное значение обратного напряжения равно $2U_{2m}$. Поэтому при выборе диодов нужно, чтобы $U_{обр} \approx 2U_{2m}$ не превышало допустимое обратное напряжение того типа диода, который используется в анализируемом выпрямителе.

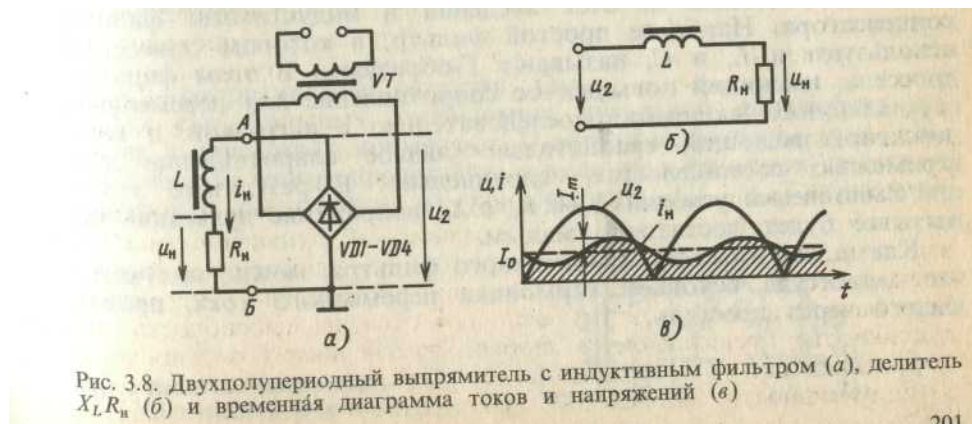
Работой выпрямителя на нагрузку с индуктивной реакцией

называют такой режим, когда входное сопротивление фильтра имеет индуктивный характер. В простейшем фильтре используют один дроссель, который включают последовательно с нагрузкой. Его фильтрующие свойства основываются на способности индуктивности препятствовать любым изменениям тока, проходящего через нее. Это связано с тем, что при возрастании тока в индуктивности происходит накопление магнитной энергии, когда ток начинает падать, энергия, накопленная в индуктивности, возвращается в ту цепь, к которой она подключена. Так как в рассматриваемом фильтре через дроссель проходит весь ток нагрузки, то при уменьшении его колебаний одновременно уменьшаются колебания напряжения на нагрузке.

Включение дросселя в схему фильтра приводит к появлению ЭДС самоиндукции, которая влияет на работу не только фильтра, но и выпрямителя. Наиболее значительные ЭДС самоиндукции возникают в однополупериодных выпрямителях, где не только меняется работа вентиля, но и возникают столь значительные напряжения, которые часто приводят к электрическим пробоям. В однополупериодной схеме вентиль оказывается в проводящем состоянии в течение времени, большем половины периода, причем длительность этого отрезка времени зависит от величины индуктивности дросселя. В двухполупериодных и многофазных схемах не происходит таких резких изменений токов, а значит, не возникают большие ЭДС самоиндукции, следовательно, мало меняется работа вентиля и не возникают напряжения, опасные для пробоя. Поэтому дроссели в фильтрах применяют только в двухполупериодных и многофазных схемах.

Рассмотрим работу выпрямителя на нагрузку с индуктивной реакцией на *примере мостовой схемы, в которой в качестве сглаживающего фильтра используют дроссель* (рис. 3.8, а). В таком выпрямителе ток через нагрузку проходит непрерывно. В течение одного полупериода ток проходит через нечетную группу диодов (VD1, VD3), а затем через четную группу (VD2, VD4). Возникающая при этом ЭДС самоиндукции незначительна и мало влияет на работу диодов, вследствие чего форма напряжения на выходе выпрямителя

практически остается той же, что и в выпрямителе, работающем на чисто омическую нагрузку (рис. 3.8, в).



При анализе фильтра в таком источнике питания рассматривают делитель, состоящий из X_L и R_H (рис. 3.8,б), на который подается напряжение u_2 с выхода мостовой схемы, а снимается напряжение u_H . Для представления напряжения u_2 на входе фильтра воспользуемся выражением (10 см. Раздел 2.1).

$$u_{\text{вых}} = \frac{2U_{2m}}{\pi} - \frac{4U_{2m}}{3\pi} \cos 2\omega t - \frac{4U_{2m}}{15\pi} \cos 4\omega t - \dots$$

Как видно из (10), амплитуда второй гармоники составляет всего 20% от амплитуды первой, а амплитуда третьей гармоники лишь 8,6%. Это позволяет пренебречь всеми гармониками, кроме первой, и считать, что на входе исследуемого делителя действует напряжение, состоящее только из двух слагаемых:

$$u_2 = \frac{2U_{2m}}{\pi} - \frac{4U_{2m}}{3\pi} \cos 2\omega t = U_0 - U_m \cos 2\omega t$$

Если пренебречь омическим сопротивлением дросселя, то постоянная составляющая напряжения не будет теряться при прохождении через фильтр и $U_{H0} = U_0 = 2U_{2m}/\pi$.

Амплитуда переменного напряжения на нагрузке определяется выражением

$$U_{Hm} = \frac{U_m}{Z} R_H = \frac{4U_{2m}}{3\pi} \frac{R_H}{Z}$$

где

$$Z = \sqrt{R_H^2 + (2\omega L)^2}$$

Тогда коэффициент сглаживания простого индуктивного фильтра

$$K_c = \frac{U_m}{U_{mH}} = \frac{Z}{R_H} = \sqrt{1 + \frac{(2\omega L)^2}{R_H^2}}, \quad (7)$$

При использовании индуктивного фильтра выпрямленное напряжение стремится к $2U_{2m}/\pi$, что ниже, чем у выпрямителя, работающего на емкостную нагрузку. Для получения такого же выпрямленного напряжения можно увеличить напряжение на вторичной обмотке трансформатора, что нежелательно, так как это приводит к возрастанию обратного напряжения на диодах. **Поэтому более рационально увеличивать выходное напряжение источника питания за счет введения в индуктивный фильтр конденсатора. Наиболее простой фильтр, в котором совместно используют и L , и C , называют Г-образным.** В этом фильтре дроссель, имеющий повышенное сопротивление для переменных составляющих, включают последовательно с нагрузкой, а конденсатор, имеющий сравнительно низкое сопротивление для переменных составляющих,— параллельно. В результате этого при выполнении условий $X_C \ll R_H \ll X_L$ напряжение пульсаций на нагрузке будет достаточно малым.

Как и для простого индуктивного фильтра, можно получить, что амплитуда основной гармоники переменного тока, проходящего через дроссель,

$$I_m = \frac{4\dot{U}_{2m}/3\pi}{j(X_L - X_C)}, \quad (8)$$

а амплитуда переменного напряжения на выходе фильтра

$$\dot{U}_{m\text{вых}} = I_m(-jX_C)$$

Тогда коэффициент сглаживания Г-образного фильтра

$$K_c = \frac{K_n}{K_n'} = \frac{|jX_L - jX_C|}{|-jX_C|} = (2\omega)^2 LC - 1, \quad (9)$$

Г-образный фильтр представляет собой последовательный контур, в котором возможно возникновение колебательного процесса. Если частота напряжения сети окажется близкой к собственной (резонансной) частоте такого контура ω_p , то амплитуда переменного тока I_m , проходящего через дроссель, может оказаться больше постоянной составляющей того же тока I_0 , а это приведет к тому, что напряжение на выходе источника питания будет иметь другую полярность, что совершенно недопустимо. Поэтому параметры Г-образного фильтра обязательно подбирают так, чтобы всегда $I_m \leq I_0$. Значение индуктивности дросселя фильтра, при которой выполняется равенство $I_m = I_0$, называют критической. Так как

$$I_0 = U_0 / R_H = 2U_{2m} / \pi R_H,$$

а с учетом того, что $X_L \gg X_C$, $I_m = 4U_{2m} / 3\pi X_L$, условием для определения критического значения индуктивности дросселя будет

$$2U_{2m} / \pi R_H = 4U_{2m} / 3\pi X_L$$

из которого следует, что

$$L_{кр} = R_H / 3\pi F$$

где F — частота входного напряжения.

При питании выпрямителя от сети переменного тока с частотой 50 Гц для определения индуктивности дросселя пользуются соотношением

$$L_{кр} = 1,2 \cdot 10^3 R_H, \quad (10)$$

где R_H — сопротивление нагрузки, Ом.

Для еще большего уменьшения пульсаций напряжения на выходе выпрямителя применяют П-образные фильтры (рис. 3.9). Такой фильтр можно представить в виде двух фильтров: простого емкостного, состоящего из конденсатора $C1$, и Г-образного (дроссель L и конденсатор $C2$).

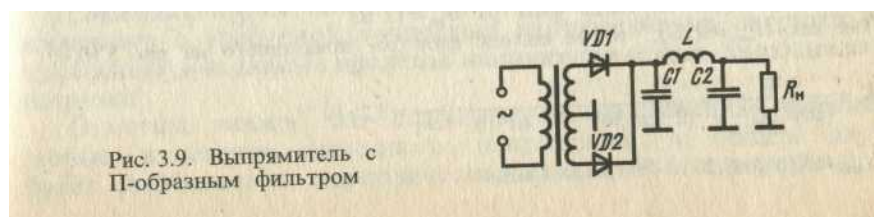


Рис. 3.9. Выпрямитель с П-образным фильтром

Напряжение пульсаций на выходе П-образного фильтра

$$U_{\text{вых}} = K_C U_{\approx} = \Delta U_{C1} / 2\sqrt{3} [(2\omega)^2 LC_2 - 1]. \quad (11)$$

В источниках питания малой мощности для уменьшения размеров и массы фильтра вместо дросселя часто применяют резисторы. Резистивно-емкостные фильтры строят по тем же схемам, что и индуктивно-емкостные фильтры. Это Г- и П-образные фильтры. Рассчитывают такие фильтры так же, как индуктивно-емкостные, только при этом необходимо учитывать, что в RC-фильтрах происходит значительное падение постоянного напряжения.

Данные фильтры позволяют получить пульсации выходного напряжения, значительно меньшие, чем в простых емкостном и индуктивном фильтрах. В случае необходимости дальнейшего уменьшения пульсаций выходного напряжения используют каскадное включение нескольких сглаживающих фильтров. Коэффициент сглаживания такого многозвенного фильтра определяется как произведение коэффициентов сглаживания отдельных звеньев

$$(K_c)_{\text{общ}} = K_{c1} K_{c2} \dots K_{c\text{сп}}. \quad (3.24)$$

Заметим, что использование многозвенных фильтров часто оказывается значительно более эффективным, чем однозвенных. Это наглядно иллюстрируется таким примером. Имеется два конденсатора емкостью 20 мкФ и два дросселя индуктивностью 10 Гн, которые необходимо использовать в качестве элементов сглаживающего фильтра в двухполупериодном выпрямителе, питающемся от сети переменного тока с частотой 50 Гц. Рассчитаем величину напряжения пульсации для следующих случаев:

а) два дросселя включены последовательно, а два конденсатора параллельно (рис. 3.10, а);

б) дроссели и конденсаторы используются как два звена Г-образного фильтра (рис. 3.10, б).

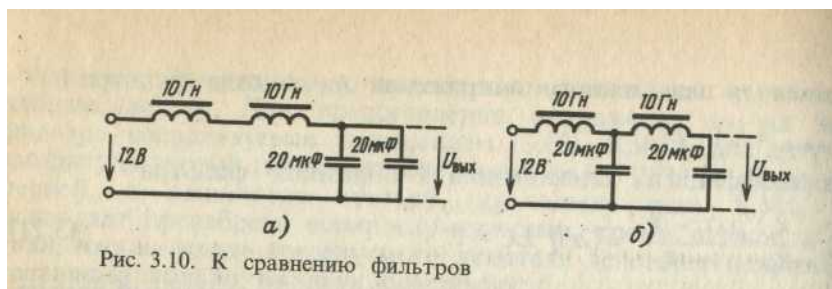


Рис. 3.10. К сравнению фильтров

Действующее значение напряжения на входе фильтра $U_{\text{вх}} = 12 \text{ В}$.

Так как $U_{\text{вых}} = K_c U_{\text{вх}}$, то на выходе фильтра, показанного на рис. 3.10, а,

$$K_c = \frac{1}{(2\omega)^2 LC - 1} = \frac{1}{(2 \cdot 2\pi \cdot 50)^2 \cdot 20 \cdot 40 \cdot 10^{-6} - 1} = 3,2 \cdot 10^{-3},$$

$$U_{\text{вых}} = K_c U_{\text{вх}} = 3,2 \cdot 10^{-3} \cdot 12 = 38,4 \text{ мВ},$$

а на выходе фильтра, показанного на рис. 3.10, б,

$$K_{c1} = K_{c2} = \frac{1}{(2\omega)^2 LC - 1} = \frac{1}{(2 \cdot 2\pi \cdot 50)^2 \cdot 10 \cdot 20 \cdot 10^{-6} - 1} = 6,4 \cdot 10^{-3},$$

$$U_{\text{вых}} = K_{c1} K_{c2} U_{\text{вх}} = (6,4 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 12 = 0,49 \text{ мВ}$$

В заключение заметим, что нестабилизированные источники питания не позволяют получить постоянное выходное напряжение, мало зависящее от различного рода дестабилизирующих факторов, таких, например, как колебания напряжения сети, температуры, нагрузки и др. Поэтому они применяются только в тех случаях, когда к напряжению питания не предъявляются строгие требования постоянства. Во всех остальных случаях используют стабилизированные источники питания.

Тема 2.3

Транзисторные фильтры в технических средствах защиты информации

Знать:

- основной принцип сглаживания
- основные расчетные соотношения
- схемы электрические принципиальные в соответствии с требованиями ГОСТ, ЕСКД, норм компьютерной графики.

Преимущества и недостатки транзисторных фильтров. Назначение, принцип действия, схемы транзисторных фильтров. Подбор транзистора для схем транзисторных фильтров по выходным характеристикам. Схема транзисторного фильтра с нагрузкой в цепи эмиттера. Схема транзисторного фильтра с нагрузкой в цепи коллектора. Принцип работы схем, назначение элементов.

По сравнению с пассивными транзисторные сглаживающие фильтры имеют ряд преимуществ: выше качественные и удельные показатели; малая зависимость коэффициента сглаживания от изменения нагрузки; широкополосность по частотному диапазону; малая вероятность возникновения опасных режимов при переходных процессах; отсутствие сильных магнитных полей, свойственных реакторам; простота унификации. В отличие от стабилизаторов постоянного напряжения, транзисторные фильтры снижают только пульсации входного напряжения, но не компенсируют медленных изменений этого напряжения. На транзисторе фильтра, работающем в активном режиме, рассеивается значительная мощность, поэтому КПД транзисторных сглаживающих фильтров (ТСФ) обычно несколько меньше, чем пассивных фильтров.

Признаком классификации транзисторных сглаживающих фильтров служит способ включения транзистора по отношению к нагрузке. Если нагрузка включается последовательно с транзистором в цепь его коллектора, то такой ТСФ называется **фильтром типа ФК** (рис. 7.22, а).

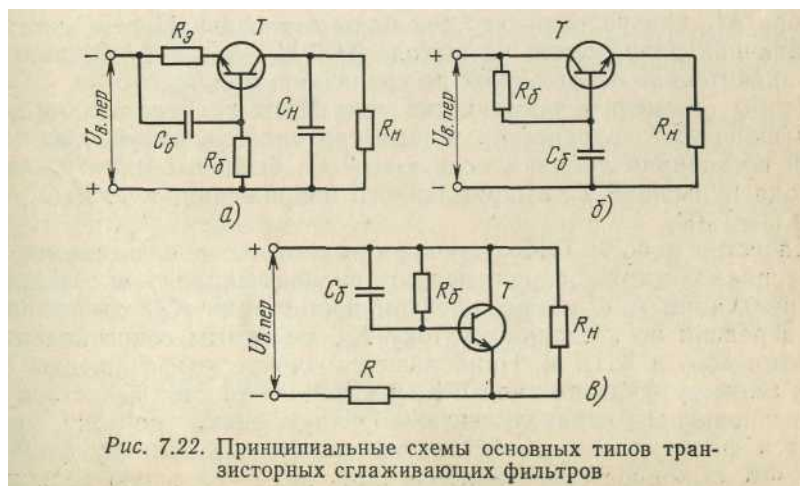


Рис. 7.22. Принципиальные схемы основных типов транзисторных сглаживающих фильтров

Если нагрузка включается последовательно с транзистором в цепь его эмиттера, то такой фильтр **называется фильтром типа ФЭ** (рис. 7.22, б). Если же нагрузка включается параллельно переходу коллектор—эмиттер транзистора, то ТСФ называется **фильтром типа ФШ** (рис. 7.22, в).

Принцип действия ТСФ типов ФК и ФЭ основан на том, что ток коллектора I_K (или эмиттера I_E) при постоянном значении тока базы очень мало зависит от величины приложенного к переходу коллектор—эмиттер напряжения U_K .

На рис. 7.23 приведены графики зависимости $I_K = f(U_K)$ при $I_B = \text{const}$.

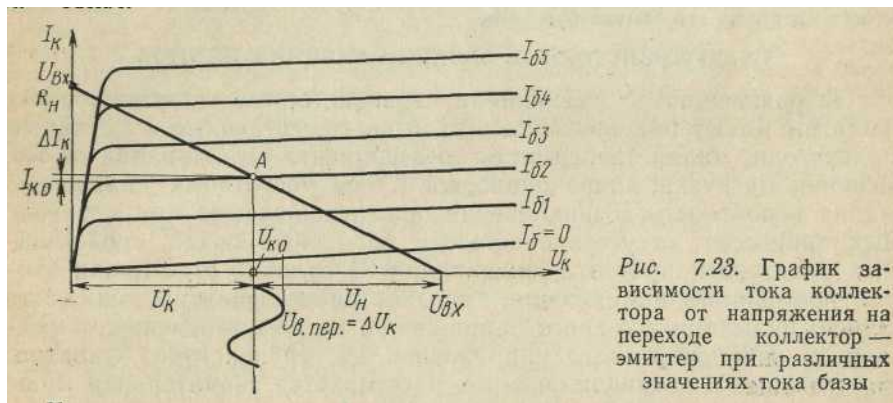


Рис. 7.23. График зависимости тока коллектора от напряжения на переходе коллектор — эмиттер при различных значениях тока базы

Если провести на графике нагрузочную прямую ($U_K = U_{BX}$ при $I_K = 0$ и $I_K = U_{BX}/R_H$ при $U_K = 0$) и выбрать на ней рабочую точку $A\{U_{K0}I_{K0}\}$, то сопротивление транзистора переменной составляющей тока в точке A $R_D = \Delta U_K / \Delta I_K$ будет много больше его сопротивления постоянному току $R_C = U_{K0} / I_{K0}$, т. е. $R_D \gg R_C$. Соответственно переменная составляющая выпрямленного напряжения $U_{в.пер}$ на входе фильтра вызывает небольшие изменения тока коллектора ΔI_K при условии, что ток базы $I_B = \text{const}$. Переменная составляющая напряжения на выходе ТСФ $U_{в.пер} = \Delta I_K R_H$ получается значительно ослабленной по сравнению с $U_{в.пер}$.

Чтобы обеспечить постоянство тока базы транзистора, в цепь базы включают конденсатор и резистор такой величины, при которой постоянная времени цепи $\tau_6 = R_6 C_6$ была бы много больше периода пульсаций $T_{п}$ выпрямленного напряжения, т. е. $R_6 C_6 \gg T_{п}$ или $C_6 \gg T_{п} / R_6$.

Качество работы ТСФ оценивается теми же показателями, что и пассивных сглаживающих фильтров: коэффициентом сглаживания пульсаций $K_{с.п}$, коэффициентом фильтрации $K_{ф}$, коэффициентом передачи по постоянному току K_0 , выходным сопротивлением фильтра $Z_{вых}$ и КПД η . Наибольшее значение коэффициенты $K_{с.п}$ и $K_{ф}$ имеют у фильтра типа ФК, у которого за счет резистора R_3 , обеспечивающего отрицательную обратную связь по току, повышаются фильтрующие свойства транзистора. Однако у фильтра типа ФК выходное сопротивление $Z_{вых}$ имеет большую величину.

Это связано с тем, что цепь коллектора транзистора обладает значительной величиной дифференциального сопротивления, и поэтому изменение тока нагрузки $I_{в}$ приводит к изменению напряжения на выходе фильтра, т. е. на нагрузке R_H . Фильтры типа ФК применяются лишь в тех случаях, когда ток нагрузки остается постоянным. Для снижения значения выходного сопротивления $Z_{вых}$ на выходе фильтра ФК ставится конденсатор C_H .

Наиболее широкое распространение получил фильтр типа ФЭ, имеющий малое выходное сопротивление $Z_{вых}$ за счет малого дифференциального сопротивления цепи эмиттера r_3 . Для оценки $Z_{вых}$ применяется формула

$$Z_{\text{вых}} = r_э + (1 - \alpha)r_б - j(1 - \alpha)x_c$$

где $r_э$ и $r_б$ - дифференциальные сопротивления эмиттера и базы; α — коэффициент усиления транзистора по току в схеме с общей базой; x_c — реактивное сопротивление конденсатора на частоте пульсаций. Модуль $Z_{\text{вых}}$ имеет порядок десятых долей ома. Коэффициент фильтрации ТСФ типа ФЭ

$$K_\phi = \frac{R_б r_к}{R_б + r_к} \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{r_б}{1 + \frac{r_к}{r_б}}\right)^2 + x_c^2}}$$

где $r_к$ — дифференциальное сопротивление цепи коллектора транзистора.

В фильтре типа ФЭ в цепи эмиттера нет резистора $R_э$, что снижает потери мощности, а поэтому по сравнению с фильтром типа ФК он имеет больший КПД. Значение КПД оценивается с помощью соотношения

$$\eta = U_{\text{вых.ср}} / (U_{\text{вых.ср}} + U_{\text{к.э}})$$

где $U_{\text{к.э}}$ — падение напряжения на переходе коллектор—эмиттер транзистора; $U_{\text{вых.ср}}$ — среднее значение выпрямленного напряжения на выходе фильтра.

Принцип действия ТСФ типа ФШ (рис. 7.22в) основан на компенсации переменной составляющей входного напряжения за счет падения напряжения U_R на резисторе R при протекании по нему тока эмиттера транзистора. Для повышения показателей качества ТСФ в них применяются составные транзисторы, многозвенные RC-цепочки в цепи базы, а также токостабилизирующие двухполюсники. За счет схемных усложнений величина коэффициента фильтрации K_ϕ у ТСФ получается порядка нескольких тысяч при относительно небольших габаритах и массе.

Тема 2.4

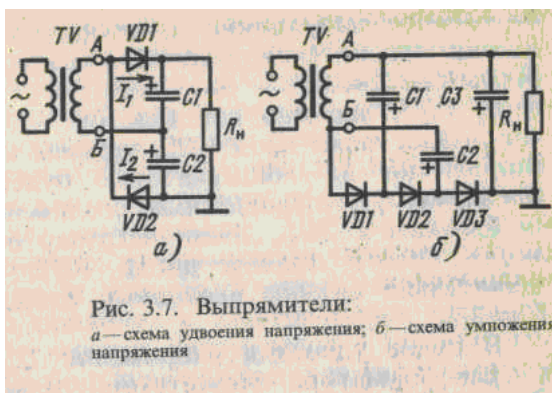
Умножители напряжения в технических средствах защиты информации

Знать :

- основные схемы умножителей
- основные расчетные соотношения
- схемы электрические принципиальные умножителей в соответствии с требованиями ГОСТ, ЕСКД, норм компьютерной графики.

Назначение, применение умножителей напряжения в схемах технических средств защиты информации; принцип действия умножителей напряжения. Однополупериодный и двухполупериодный (схема Латура) удвоитель напряжения. Утроитель напряжения. Учетверитель напряжения. Умножители напряжения в радиоаппаратуре и технических средствах защиты информации.

Применение конденсаторов, способных накапливать и в течение некоторого времени сохранять электрический заряд, позволяет создавать схемы выпрямителей с умножением напряжения—схемы, выходное напряжение которых на холостом ходу в два или более раз превышает амплитудное значение напряжения на вторичной обмотке трансформатора.



Простейшей схемой такого вида является схема удвоения (рис. 3.7. а). Пусть в некоторый момент времени переменное напряжение на вторичной обмотке трансформатора таково, что потенциал точки А выше потенциала точки Б. Тогда открытым окажется диод VD1, от точки А ток пойдет через диод VD1, заряжая конденсатор C1. В следующий полупериод ток пойдет через диод VD2, заряжая конденсатор C2. Полярность напряжений на конденсаторах будет такой, что напряжение снимаемое с последовательно соединенных конденсаторов, окажется близким к $2U_{2m}$. Если нагрузку подключить между катодом диода VD1 и анодом диода VD2, а ее сопротивление будет значительно больше выходного сопротивления выпрямителя, то $U_n \approx 2U_{2m}$.

В схеме удвоения напряжения $U_{обр} \approx 2U_{2m}$, подмагничивание в трансформаторе отсутствует, частота пульсаций вдвое выше частоты сети, но такая схема принципиально может работать только в маломощных источниках питания при большом сопротивлении нагрузки, так как в противном случае конденсаторы C1 и C2 будут каждый в течение соответствующего полупериода разряжаться.

При необходимости большего увеличения выходного напряжения используют схемы умножения напряжения на три, четыре и т. д. (рис.3.7, б), в которых каждый последующий конденсатор заряжается до более высокого напряжения, чем предыдущий. Если в начальный момент времени напряжение вторичной обмотки трансформатора направлено от точки А к точке Б, то в первый полупериод зарядится конденсатор C1 до напряжения, равного амплитуде переменного напряжения вторичной обмотки трансформатора. В следующий полупериод будет происходить заряд

конденсатора C2, ток его заряда будет проходить по цепи: точка А, конденсатор C1, диод VD2, конденсатор C2, точка Б. При этом конденсатор C2 зарядится до напряжения $U_{C2} = U_{2m} + U_{C1} \approx 2U_{2m}$, так как при заряде конденсатора C2 вторичная обмотка трансформатора и конденсатор C1 включены последовательно. В следующий полупериод произойдет заряд конденсатора C3. Ток заряда конденсатора C3 проходит по цепи: точка Б, конденсатор C2, диод VD3, конденсатор C3, точка А. Конденсатор C3 зарядится до напряжения $U_{C3} = U_{2m} + U_{C2} \approx 3U_{2m}$ и т.д. Итак, на каждом последующем конденсаторе напряжение оказывается кратным U_{2m} , а его кратность соответствует номеру конденсатора.

РАЗДЕЛ 3

СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ И ТОКА РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ И СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

Тема 3.1

Классификация стабилизаторов напряжения и тока, основные параметры и характеристики.

Параметрические стабилизаторы постоянного тока в технических средствах защиты информации

Знать:

- назначение стабилизаторов, их основные параметры и характеристики
- классификацию стабилизаторов напряжения и тока, принцип работы
- структурные схемы стабилизаторов
- принцип работы параметрического стабилизатора напряжения
- электрические принципиальные в соответствии с требованиями ГОСТ, ЕСКД, норм компьютерной графики.

Основные сведения о стабилизаторах напряжения и тока в технических средствах защиты информации. Назначение стабилизаторов. Классификация по роду тока, по элементной базе, по принципу построения схем. Структурные схемы параметрических и компенсационных стабилизаторов. Использование стабилитронов, стабилиторов, транзисторов, интегральных микросхем в схемах стабилизации. Параметрические стабилизаторы напряжения и тока: электрические схемы на стабилитронах, биполярных и полевых транзисторах. Принцип работы, назначение элементов. Параметрический стабилизатор напряжения со стабилизатором тока.

1. Назначение стабилизаторов

Стабилизаторами напряжения (тока) называются устройства, автоматически поддерживающие напряжение (ток) на стороне потребителя с заданной степенью точности.

Основными дестабилизирующими факторами, вызывающими изменение напряжения (тока) потребителя, являются: **колебания питающих напряжений; изменения потребляемой нагрузкой мощности; колебания частоты, тока сети; изменения температуры окружающей среды** и др.

Изменения питающих напряжений возникают из-за нестабильности напряжения питающей сети. Большая часть потребителей питается от промышленной сети переменного тока, имеющей частоту 50 Гц. Колебания напряжения такой сети могут достигать - 15 ... +5% от номинального значения. При питании устройств от маломощных энергетических сетей или от автономных источников колебания напряжения могут достигать - 20 ... +10 %, а иногда и более.

Изменение мощности, потребляемой аппаратурой, вызывает изменение тока потребителя. Изменение тока приводит к изменению падения напряжения на внутреннем сопротивлении источника и сопротивлении соединительных проводов. Чем больше внутреннее сопротивление источника и сопротивление соединительных проводов, тем большими будут изменения напряжения при изменении тока нагрузки.

Колебания частоты тока сети могут принести к изменению выходного напряжения и к изменению пульсации в источниках постоянного тока.

Изменение температуры окружающей среды может вызвать изменение выходного напряжения (тока) из-за изменения параметров элементов, используемых в устройствах электропитания.

Назначением стабилизаторов напряжения (тока) является уменьшение влияния всех дестабилизирующих факторов.

2. Классификация стабилизаторов

В настоящее время известны два основных способа, позволяющих обеспечить режим стабилизации напряжения или тока электропитания: **параметрический и компенсационный**.

При параметрическом способе режим электропитания стабилизируется за счет применения элемента с нелинейной вольт-амперной характеристикой, имеющей пологий участок, в пределах которого стабилизируемый параметр (напряжение или ток) изменяется незначительно при воздействии дестабилизирующего фактора. При параметрическом способе стабилизации дестабилизирующий фактор (изменение входного напряжения или тока нагрузки) непосредственно воздействует на нелинейный элемент, а изменение выходного напряжения (или тока) относительно заданного значения не контролируется и определяется только параметрами нелинейного элемента (степенью нелинейности его вольт-амперной характеристики). На рис. 8.1 изображены вольт-амперные характеристики нелинейных элементов, используемых для стабилизации напряжения и тока.

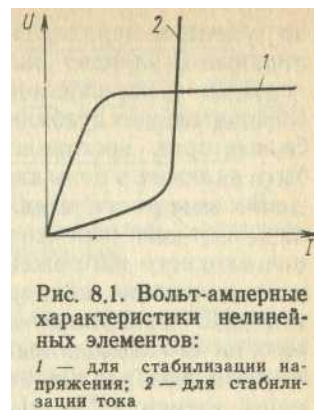


Рис. 8.1. Вольт-амперные характеристики нелинейных элементов:
1 — для стабилизации напряжения; 2 — для стабилизации тока

Параметрическим стабилизатором напряжения (тока) называется устройство, у которого стабилизирующие свойства определяются характеристикой нелинейного элемента и отсутствует элемент, измеряющий отклонение выходного напряжения (тока) от заданного значения.

При компенсационном способе режим электропитания стабилизируется за счет измерения отклонения выходного напряжения (тока) от заданного значения, сравнения его с эталонной величиной, и воздействия полученного сигнала рассогласования на регулирующий элемент. Регулирующий элемент при этом изменяет свое сопротивление таким образом, что компенсирует произошедшее отклонение выходной величины. При компенсационном способе стабилизации имеется отрицательная обратная связь между выходом стабилизирующего устройства и регулирующим элементом. Для улучшения качества стабилизации в цепь обратной связи включают усилитель сигнала рассогласования. Наличие цепи обратной связи превращает стабилизирующее устройство в замкнутую систему автоматического регулирования. При компенсационном способе стабилизации действием стабилизирующего устройства управляет отклонение стабилизируемой величины от ее заданного значения, информация о котором по цепи обратной связи поступает на регулирующий элемент.

Компенсационным стабилизатором напряжения (тока) называется устройство, в котором имеются: элемент, измеряющий величину отклонения выходного напряжения (тока) от заданного значения, и элемент,

вырабатывающий опорное напряжение. Полученный в результате сравнения этих напряжений сигнал рассогласования управляет работой регулирующего элемента, изменение состояния которого приводит к компенсации происшедшего отклонения. Таким образом, действием компенсационного стабилизатора управляет отклонение выходной стабилизируемой величины от заданного значения.

Стабилизаторы напряжения (тока), широко применяемые в источниках электропитания и средств защиты информации, классифицируются по следующим основным признакам:

1. **По роду напряжения (тока):** постоянного; переменного.
2. **По способу стабилизации:** параметрические; компенсационные.
3. **По роду стабилизируемой величины:** напряжения; тока.

Наиболее широкое применение в настоящее время находят компенсационные стабилизаторы постоянного напряжения (тока) на полупроводниковых приборах, которые, в свою очередь, можно классифицировать по следующим признакам:

1. **По способу включения регулирующего элемента и нагрузки:**, с последовательным включением; с параллельным включением.
2. **По режиму работы регулирующего элемента:** с непрерывным регулированием; с импульсным регулированием.

В последние годы интенсивное развитие получили стабилизаторы постоянного напряжения с импульсным регулированием благодаря присущим им положительным свойствам (высокий КПД, малые массы и габариты и т. д.).

3. Основные параметры стабилизаторов

Основными параметрами стабилизаторов постоянного напряжения являются: **коэффициент стабилизации напряжения** - отношение относительного изменения напряжения на входе стабилизатора к относительному изменению напряжения на его выходе:

$$K_{ст} = \frac{\Delta U_{вх} / U_{вх}}{\Delta U_{вых} / U_{вых}}; (1)$$

выходное сопротивление, характеризующее изменение выходного напряжения при изменении тока нагрузки:

$$R_{вых} = |\Delta U_{вых} / \Delta I_n|; (2)$$

коэффициент полезного действия

$$\eta = U_{\text{вых}} I_H / U_{\text{вх}} I_{\text{вх}} \cdot (3)$$

4. Параметрические стабилизаторы постоянного напряжения

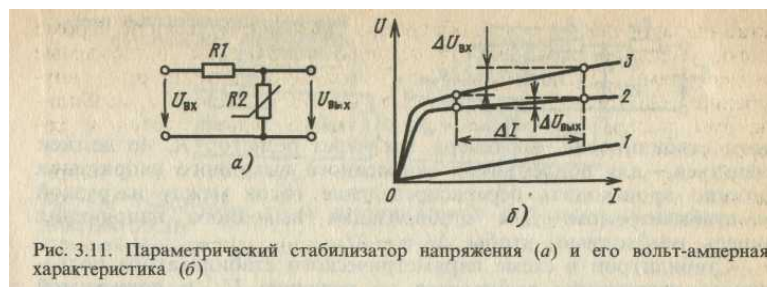


Рис. 3.11. Параметрический стабилизатор напряжения (а) и его вольт-амперная характеристика (б)

Параметрические стабилизаторы постоянного напряжения (рис. 3.11, а) представляют собой последовательное соединение линейного и нелинейного резисторов. Входное нестабилизированное напряжение подается на оба резистора, а выходное стабилизированное напряжение снимается с нелинейного. Непременным условием, при выполнении которого возможна стабилизация напряжения, является наличие на вольт-амперной характеристике нелинейного резистора участка с малой зависимостью напряжения от тока. Действительно, если последовательно включены два таких резистора, то вольт-амперная характеристика всей схемы может быть легко построена путем сложения ординат вольт-амперных характеристик линейного 1 и нелинейного 2 резисторов (рис. 3.11,б). Из общей вольт-амперной характеристики 3 следует, что при изменении входного напряжения на величину $\Delta U_{\text{вх}}$ выходное напряжение $\Delta U_{\text{вых}}$ изменяется в меньших пределах ($\Delta U_{\text{вых}} < \Delta U_{\text{вх}}$).

Принципиальная схема простейшего параметрического стабилизатора постоянного напряжения, состоящая из стабилитрона и резистора R_r , называемого гасящим, показана на рис. 3.12, а. Рабочим для такой схемы является режим, когда входное напряжение $U_{\text{вх}}$ больше напряжения стабилизации $U_{\text{ст}}$ и когда на резисторе создается существенное падение напряжения. В таком режиме эквивалентная схема рассматриваемого стабилизатора имеет вид, представленный на рис. 3.12,б. (Напряжение стабилизации $U_{\text{ст}}$ и динамическое сопротивление стабилитрона $r_d = \Delta U / \Delta I$ находят из вольт-амперной характеристики стабилитрона, рис. 3.12, в).

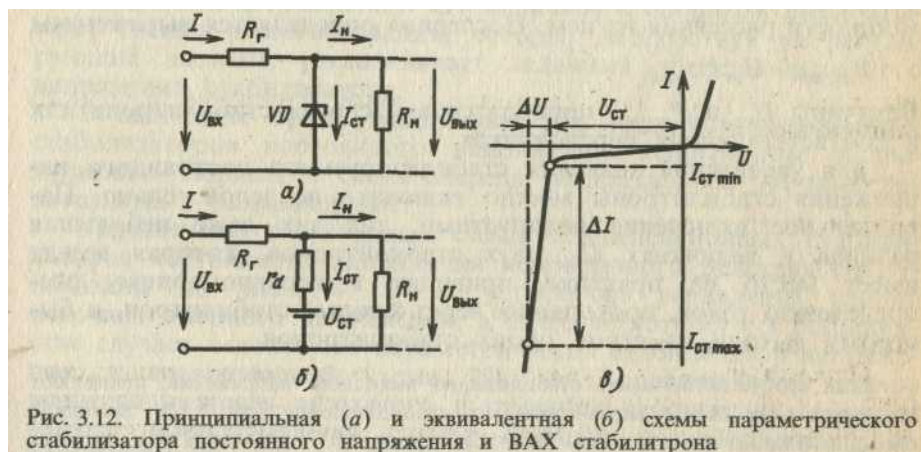


Рис. 3.12. Принципиальная (а) и эквивалентная (б) схемы параметрического стабилизатора постоянного напряжения и ВАХ стабилитрона

При фиксированной величине сопротивления нагрузки и изменении входного напряжения меняется ток стабилитрона, за счет чего происходит перераспределение напряжения между резистором R_r и нагрузкой. Если изменение входного напряжения приводит к изменению тока стабилитрона от $I_{стmin}$ до $I_{стmax}$, то

$$\Delta U_{вых} (1 + R_r / r_d) = \Delta U_{вх},$$

а коэффициент стабилизации анализируемого стабилизатора (с учетом того, что $R_r / r_d \gg 1$)

$$K_{ст} \approx \frac{U_{вых} R_r}{U_{вх} r_d} \quad (4)$$

При неизменности входного напряжения ($U_{вх} = \text{const}$) и изменении сопротивления нагрузки снова будет происходить изменение тока стабилитрона, но теперь ток через резистор R_r не должен меняться — для поддержания неизменного выходного напряжения должно происходить перераспределение токов между нагрузкой и стабилитроном. Для стабилизации выходного напряжения теперь необходимо, чтобы $\Delta I_n = -\Delta I_{ст}$.

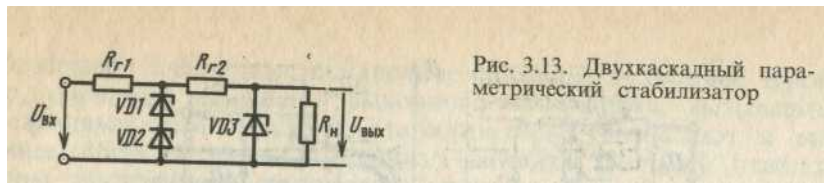
Стабилитрон в схеме параметрического стабилизатора постоянного напряжения выбирается по величине $U_{ст}$ и допустимой мощности рассеяния на нем. Последняя определяется выражением

$$P_{ст.доп} = U_{ст} I_{стmax}.$$

Величины $U_{ст}$ и $P_{ст.доп}$ приводятся в паспорте стабилитрона или в соответствующих справочниках.

Для увеличения значения стабилизируемого постоянного напряжения стабилитроны можно включать последовательно. Параллельное включение недопустимо, так как даже небольшая разница в величинах $U_{ст}$ двух стабилитронов, которая всегда имеет место на практике, приводит к

неравномерному распределению токов, проходящих через каждый стабилитрон, и быстрому выходу из строя обоих стабилитронов.



Если требуется повысить стабилизацию выходного напряжения, применяют многокаскадные схемы параметрических стабилизаторов (рис. 3.13). Выходной каскад стабилизатора, состоящий из стабилитрона VD3 и резистора R_{r2} , питается от предварительного стабилизатора, собранного на стабилитронах VD1, VD2 и резисторе R_{r1} . Коэффициент стабилизации такого стабилизатора равен произведению коэффициентов стабилизации первого и второго каскадов $K_{ст} = K_{ст1} \cdot K_{ст2}$, но такое включение стабилитронов позволяет уменьшить колебания выходного напряжения только при изменении входного напряжения, но не при изменениях сопротивления нагрузки. Стабильность выходного напряжения при изменениях тока нагрузки остается такой же, как в однокаскадных схемах.

Достоинства параметрических стабилизаторов постоянного напряжения заключаются в простоте схемы.

Их основными недостатками являются: низкий КПД, невозможность регулировать выходное напряжение, небольшой коэффициент стабилизации и то, что такие стабилизаторы способны работать только при малых токах нагрузки.

Большую стабильность, большой диапазон стабилизируемых напряжений при больших изменениях тока нагрузки обеспечивают компенсационные стабилизаторы постоянного напряжения, которые к тому же позволяют регулировать величину выходного напряжения.

РАЗДЕЛ 3

СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПЯЖЕНИЯ И ТОКА РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ И СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

Тема 3.1

Классификация стабилизаторов напряжения и тока, основные параметры и характеристики.

Параметрические стабилизаторы постоянного тока в технических средствах защиты информации

Знать:

- назначение стабилизаторов, их основные параметры и характеристики
- классификацию стабилизаторов напряжения и тока, принцип работы
- структурные схемы стабилизаторов
- принцип работы параметрического стабилизатора напряжения
- электрические принципиальные в соответствии с требованиями ГОСТ, ЕСКД, норм компьютерной графики.

Основные сведения о стабилизаторах напряжениях и тока в технических средствах защиты информации. Назначение стабилизаторов. Классификация по роду тока, по элементной базе, по принципу построения схем. Структурные схемы параметрических и компенсационных стабилизаторов. Использование стабилитронов, стабилиторов, транзисторов, интегральных микросхем в схемах стабилизации. Параметрические стабилизаторы напряжения и тока: электрические схемы на стабилитронах, биполярных и полевых транзисторах. Принцип работы, назначение элементов. Параметрический стабилизатор напряжения со стабилизатором тока.

2. Назначение стабилизаторов

Стабилизаторами напряжения (тока) называются устройства, автоматически поддерживающие напряжение (ток) на стороне потребителя с заданной степенью точности.

Основными дестабилизирующими факторами, вызывающими изменение напряжения (тока) потребителя, являются: **колебания питающих напряжений; изменения потребляемой нагрузкой мощности; колебания частоты, тока сети; изменения температуры окружающей среды** и др.

Изменения питающих напряжений возникают из-за нестабильности напряжения питающей сети. Большая часть потребителей питается от промышленной сети переменного тока, имеющей частоту 50 Гц. Колебания напряжения такой сети могут достигать - 15 ... +5% от номинального значения. При питании устройств от маломощных энергетических сетей или от автономных источников колебания напряжения могут достигать - 20 ... +10 %, а иногда и более.

Изменение мощности, потребляемой аппаратурой, вызывает изменение тока потребителя. Изменение тока приводит к изменению падения напряжения на внутреннем сопротивлении источника и сопротивлении соединительных проводов. Чем больше внутреннее сопротивление источника и сопротивление соединительных проводов, тем большими будут изменения напряжения при изменении тока нагрузки.

Колебания частоты тока сети могут принести к изменению выходного напряжения и к изменению пульсации в источниках постоянного тока.

Изменение температуры окружающей среды может вызвать изменение выходного напряжения (тока) из-за изменения параметров элементов, используемых в устройствах электропитания.

Назначением стабилизаторов напряжения (тока) является уменьшение влияния всех дестабилизирующих факторов.

2. Классификация стабилизаторов

В настоящее время известны два основных способа, позволяющих обеспечить режим стабилизации напряжения или тока электропитания: **параметрический и компенсационный**.



При параметрическом способе режим электропитания стабилизируется за счет применения элемента с нелинейной вольт-амперной характеристикой, имеющей пологий участок, в пределах которого стабилизируемый параметр (напряжение или ток) изменяется незначительно при воздействии дестабилизирующего фактора. При параметрическом способе стабилизации дестабилизирующий фактор (изменение входного напряжения или тока нагрузки) непосредственно воздействует на нелинейный элемент, а изменение выходного напряжения (или тока) относительно заданного значения не контролируется и определяется только параметрами нелинейного элемента (степенью нелинейности его вольт-амперной характеристики). На рис. 8.1 изображены вольт-амперные характеристики нелинейных элементов, используемых для стабилизации напряжения и тока.

Параметрическим стабилизатором напряжения (тока) называется устройство, у которого стабилизирующие свойства определяются характеристикой нелинейного элемента и отсутствует элемент, измеряющий отклонение выходного напряжения (тока) от заданного значения.

При компенсационном способе режим электропитания стабилизируется за счет измерения отклонения выходного напряжения (тока) от заданного значения, сравнения его с эталонной величиной, и воздействия полученного сигнала рассогласования на регулирующий элемент. Регулирующий элемент при этом изменяет свое сопротивление таким образом, что компенсирует произошедшее отклонение выходной величины. При компенсационном способе стабилизации имеется отрицательная обратная связь между выходом стабилизирующего устройства и регулирующим элементом. Для улучшения качества стабилизации в цепь обратной связи включают усилитель сигнала рассогласования. Наличие цепи обратной связи превращает стабилизирующее устройство в замкнутую систему автоматического регулирования. При компенсационном способе стабилизации действием стабилизирующего устройства управляет отклонение стабилизируемой величины от ее заданного значения, информация о котором по цепи обратной связи поступает на регулирующий элемент.

Компенсационным стабилизатором напряжения (тока) называется устройство, в котором имеются: элемент, измеряющий величину отклонения выходного напряжения (тока) от заданного значения, и элемент,

вырабатывающий опорное напряжение. Полученный в результате сравнения этих напряжений сигнал рассогласования управляет работой регулирующего элемента, изменение состояния которого приводит к компенсации происшедшего отклонения. Таким образом, действием компенсационного стабилизатора управляет отклонение выходной стабилизируемой величины от заданного значения.

Стабилизаторы напряжения (тока), широко применяемые в источниках электропитания и средств защиты информации, классифицируются по следующим основным признакам:

4. **По роду напряжения (тока):** постоянного; переменного.
5. **По способу стабилизации:** параметрические; компенсационные.
6. **По роду стабилизируемой величины:** напряжения; тока.

Наиболее широкое применение в настоящее время находят компенсационные стабилизаторы постоянного напряжения (тока) на полупроводниковых приборах, которые, в свою очередь, можно классифицировать по следующим признакам:

5. **По способу включения регулирующего элемента и нагрузки:;** с последовательным включением; с параллельным включением.
6. **По режиму работы регулирующего элемента:** с непрерывным регулированием; с импульсным регулированием.

В последние годы интенсивное развитие получили стабилизаторы постоянного напряжения с импульсным регулированием благодаря присущим им положительным свойствам (высокий КПД, малые массы и габариты и т. д.).

7. Основные параметры стабилизаторов

Основными параметрами стабилизаторов постоянного напряжения являются: **коэффициент стабилизации напряжения** - отношение относительного изменения напряжения на входе стабилизатора к относительному изменению напряжения на его выходе:

$$K_{ст} = \frac{\Delta U_{вх} / U_{вх}}{\Delta U_{вых} / U_{вых}}; (1)$$

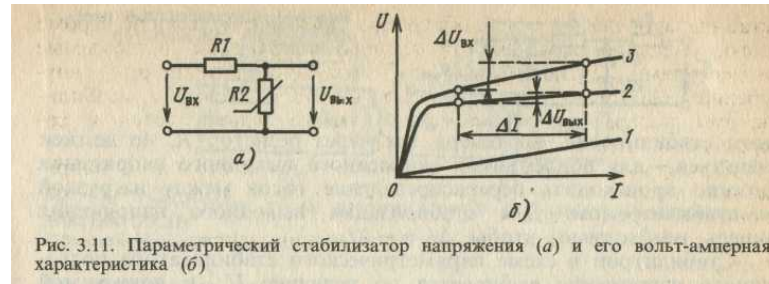
выходное сопротивление, характеризующее изменение выходного напряжения при изменении тока нагрузки:

$$R_{вых} = |\Delta U_{вых} / \Delta I_n|; (2)$$

коэффициент полезного действия

$$\eta = U_{\text{вых}} I_H / U_{\text{вх}} I_{\text{вх}} \cdot (3)$$

8. Параметрические стабилизаторы постоянного напряжения



Параметрические стабилизаторы постоянного напряжения (рис. 3.11, а) представляют собой последовательное соединение линейного и нелинейного резисторов. Входное нестабилизированное напряжение подается на оба резистора, а выходное стабилизированное напряжение снимается с нелинейного. Непременным условием, при выполнении которого возможна стабилизация напряжения, является наличие на вольт-амперной характеристике нелинейного резистора участка с малой зависимостью напряжения от тока. Действительно, если последовательно включены два таких резистора, то вольт-амперная характеристика всей схемы может быть легко построена путем сложения ординат вольт-амперных характеристик линейного 1 и нелинейного 2 резисторов (рис. 3.11,б). Из общей вольт-амперной характеристики 3 следует, что при изменении входного напряжения на величину $\Delta U_{\text{вх}}$ выходное напряжение $\Delta U_{\text{вых}}$ изменяется в меньших пределах ($\Delta U_{\text{вых}} < \Delta U_{\text{вх}}$).

Принципиальная схема простейшего параметрического стабилизатора постоянного напряжения, состоящая из стабилитрона и резистора R_r , называемого гасящим, показана на рис. 3.12, а. Рабочим для такой схемы является режим, когда входное напряжение $U_{\text{вх}}$ больше напряжения стабилизации $U_{\text{ст}}$ и когда на резисторе создается существенное падение напряжения. В таком режиме эквивалентная схема рассматриваемого стабилизатора имеет вид, представленный на рис. 3.12,б. (Напряжение стабилизации $U_{\text{ст}}$ и динамическое сопротивление стабилитрона $r_d = \Delta U / \Delta I$ находят из вольт-амперной характеристики стабилитрона, рис. 3.12, в).

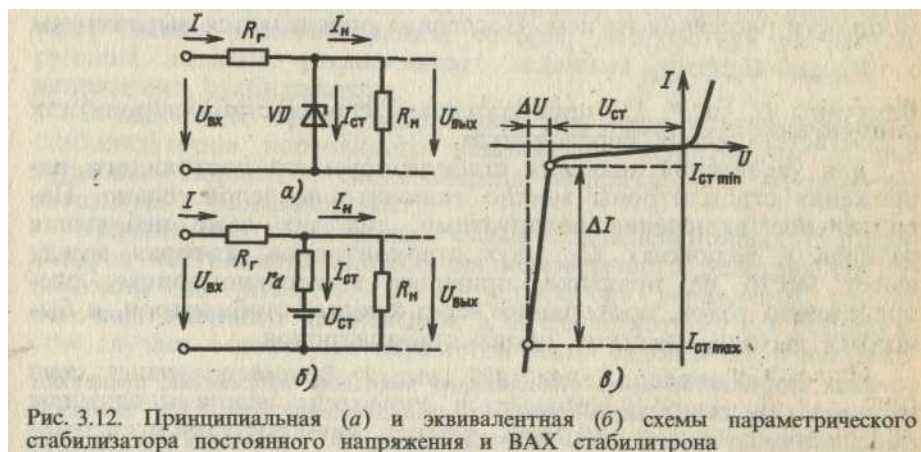


Рис. 3.12. Принципиальная (а) и эквивалентная (б) схемы параметрического стабилизатора постоянного напряжения и ВАХ стабилитрона

При фиксированной величине сопротивления нагрузки и изменении входного напряжения меняется ток стабилитрона, за счет чего происходит перераспределение напряжения между резистором R_r и нагрузкой. Если изменение входного напряжения приводит к изменению тока стабилитрона от $I_{ст\min}$ до $I_{ст\max}$, то

$$\Delta U_{вых} (1 + R_r / r_d) = \Delta U_{вх},$$

а коэффициент стабилизации анализируемого стабилизатора (с учетом того, что $R_r / r_d \gg 1$)

$$K_{ст} \approx \frac{U_{вых} R_r}{U_{вх} r_d} \quad (4)$$

При неизменности входного напряжения ($U_{вх} = \text{const}$) и изменении сопротивления нагрузки снова будет происходить изменение тока стабилитрона, но теперь ток через резистор R_r не должен меняться — для поддержания неизменного выходного напряжения должно происходить перераспределение токов между нагрузкой и стабилитроном. Для стабилизации выходного напряжения теперь необходимо, чтобы $\Delta I_n = -\Delta I_{ст}$.

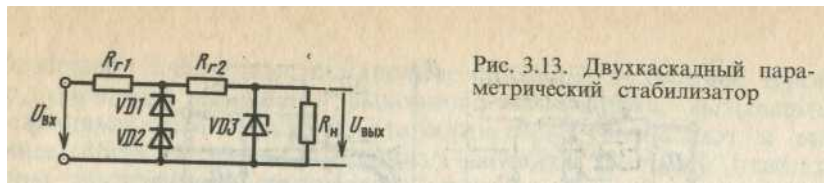
Стабилитрон в схеме параметрического стабилизатора постоянного напряжения выбирается по величине $U_{ст}$ и допустимой мощности рассеяния на нем. Последняя определяется выражением

$$P_{ст.доп} = U_{ст} I_{ст\max}.$$

Величины $U_{ст}$ и $P_{ст.доп}$ приводятся в паспорте стабилитрона или в соответствующих справочниках.

Для увеличения значения стабилизируемого постоянного напряжения стабилитроны можно включать последовательно. Параллельное включение недопустимо, так как даже небольшая разница в величинах $U_{ст}$ двух стабилитронов, которая всегда имеет место на практике, приводит к

неравномерному распределению токов, проходящих через каждый стабилитрон, и быстрому выходу из строя обоих стабилитронов.



Если требуется повысить стабилизацию выходного напряжения, применяют многокаскадные схемы параметрических стабилизаторов (рис. 3.13). Выходной каскад стабилизатора, состоящий из стабилитрона VD3 и резистора R_{r2} , питается от предварительного стабилизатора, собранного на стабилитронах VD1, VD2 и резисторе R_{r1} . Коэффициент стабилизации такого стабилизатора равен произведению коэффициентов стабилизации первого и второго каскадов $K_{ст} = K_{ст1} \cdot K_{ст2}$, но такое включение стабилитронов позволяет уменьшить колебания выходного напряжения только при изменении входного напряжения, но не при изменениях сопротивления нагрузки. Стабильность выходного напряжения при изменениях тока нагрузки остается такой же, как в однокаскадных схемах.

Достоинства параметрических стабилизаторов постоянного напряжения заключаются в простоте схемы.

Их основными недостатками являются: низкий КПД, невозможность регулировать выходное напряжение, небольшой коэффициент стабилизации и то, что такие стабилизаторы способны работать только при малых токах нагрузки.

Большую стабильность, большой диапазон стабилизируемых напряжений при больших изменениях тока нагрузки обеспечивают компенсационные стабилизаторы постоянного напряжения, которые к тому же позволяют регулировать величину выходного напряжения.

Раздел 4 ИМПУЛЬСНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ И СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

Тема 4.2 Принципы построения импульсных блоков питания. Импульсные источники питания на транзисторах.

Студент должен

Знать:

- основную идею работы импульсного стабилизатора
- основные достоинства и недостатки импульсных блоков питания
- основные типы ИБП
- физические основы работы транзистора в электрических схемах
- основные режимы работы биполярных и полевых транзисторов
- общую структурную схему импульсного блока питания

Принцип построения ИБП. Основные достоинства и недостатки ИБП. Принцип работы ИБП. ИБП с трансформатором. ИБП с емкостным накопителем энергии. Схемы включения транзистора. Ключевой и активный режимы работы транзистора. Основы работы трансформаторов. Автоколебательный блокинг-генератор. Однотактные преобразователи напряжения с прямым и обратным включением выпрямительного диода. Области применения, принципы работы. Двухтактные преобразователи с самовозбуждением. Двухтактные преобразователи с независимым возбуждением. Схемы усилителей мощности. Простейший импульсный блок питания на транзисторе, применяемый в средствах защиты информации.

1. Сверхэкономичный стабилизатор напряжения

Этот компенсационный стабилизатор (рис. 1.1), предназначенный для питания малогабаритной радиоаппаратуры, очень прост. Его отличает малое собственное потребление тока — всего 20...30 мкА. Выходное сопротивление стабилизатора — 0,5... 1 Ом, коэффициент стабилизации — более 50, максимальный ток нагрузки — 50 мА. Хорошую экономичность удалось получить благодаря применению в регулирующем элементе полевого транзистора VT2 и работе транзистора VT3 в режиме микротока, с этой же целью в источнике образцового напряжения традиционный стабилитрон заменен эмиттерным переходом транзистора VT4. Если стабилизатор предполагается использовать с током нагрузки более 20 мА, транзистор VT1 необходимо снабдить радиатором или заменить более мощным (например, КТ602Б). Если же наоборот, ток нагрузки не будет более 5 мА, тогда транзистор VT1 следует

подобрать с обратным током коллектора менее 1 мкА.

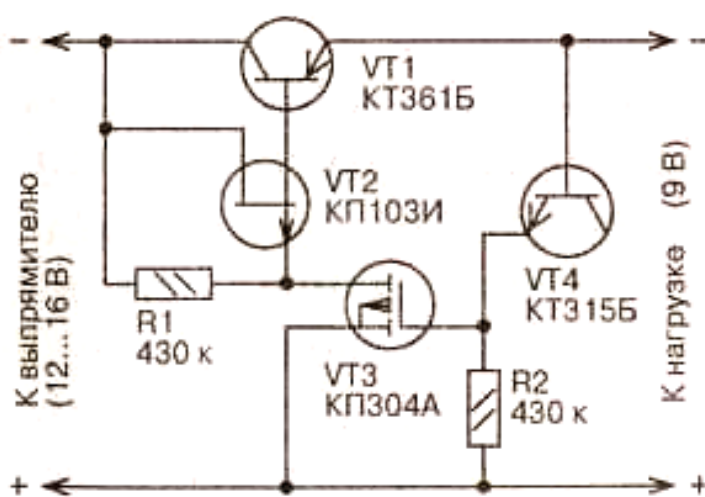
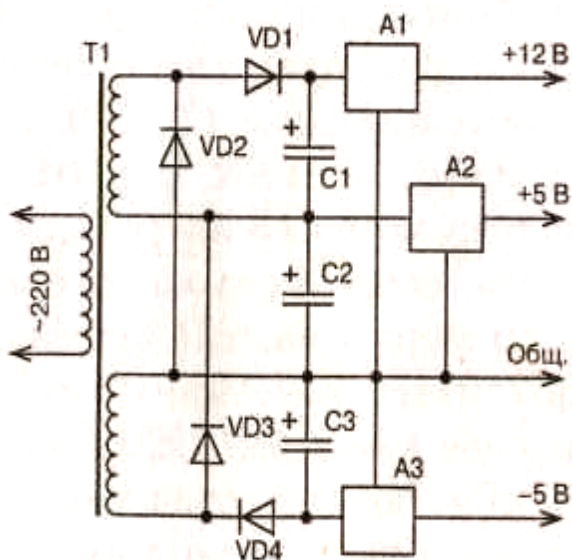


Рис. 1.1.

В стабилизаторе вместо КТ103И можно использовать транзисторы КТ103К...КТ103М; вместо КТ304А — любой из серии КТ301; вместо КТ315Б — любой из серий КТ315 и КТ316.

Налаживание заключается в подборке

транзистора VT4 до получения на выходе требуемого выходного напряжения. Подробное описание стабилизатора приводится в [1].



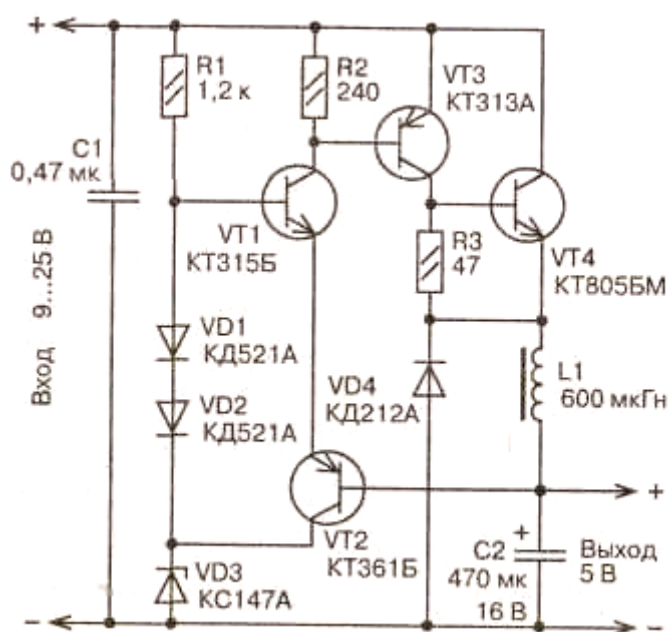
2. Источник питания для компьютера

Этот источник питания (рис. 3.12) построен на трансформаторе с двумя

одинаковыми вторичными обмотками на 7,5 В и обеспечивает три постоянных напряжения, широко используемых в микропроцессорной технике: +5 В с большим током нагрузки, а также +12 В и -5 В с малыми токами нагрузки.

Особенность устройства — наличие диодов VD2 и VD3, обеспечивающих двухполупериодную зарядку конденсатора C2. Диоды DV1 и DV4 выполняют функции однополупериодных выпрямителей, причем первый из них работает в режиме удвоения напряжения, благодаря последовательному (относительно общего провода) включению конденсаторов C1 и C2. Стабилизаторы напряжения показаны условно и могут быть выполнены по любой известной схеме.

3. Простой импульсный стабилизатор напряжения



Предлагаемый импульсный стабилизатор напряжения от аналоговых устройств отличается простотой, хорошей повторяемостью и отсутствием регулировочных элементов.

Схема стабилизатора приведена на рисунке. При включении питания напряжение на конденсаторе C2 равно нулю и через резистор R1 и эмиттерные переходы транзисторов VT1 и VT2 начинает протекать ток. Транзисторы VT1 и VT2, а вслед за

ними и транзисторы VT3 и VT4 открываются. Конденсатор C2 начинает заряжаться током, протекающим через дроссель L1.

Когда напряжение на конденсаторе превысит напряжение стабилизации стабилитрона VD3, транзисторы VT1 и VT2 закрываются, в результате чего закрываются и транзисторы VT3, VT4. Диод VD4 обеспечивает путь тока дросселя L1, когда транзистор VT4 закрыт. Когда напряжение на конденсаторе C2 станет меньше напряжения стабилизации стабилитрона VD3, процесс повторяется.

С указанными на схеме элементами выходное напряжение стабилизатора составляет около 5 В, а максимальный ток нагрузки — 0,5...0,7 А. Уровень пульсации при выходном токе 0,7 А — около 0,1 В и от нагрузки мало зависит:

в большей степени он зависит от сопротивления резисторов R1 и R2. КПД стабилизатора — примерно 80...85%. Входное напряжение устройства ограничено предельно допустимыми напряжениями транзисторов VT1...VT4 и для указанных приборов не должно превышать 25 В.

Если потребуется стабилизатор на другое выходное напряжение, следует установить стабилитрон с напряжением стабилизации, равным требуемому выходному. Другие элементы устройства при этом не изменяются, необходимо лишь следить, чтобы рабочий ток стабилитрона, протекающий через резистор R1, не был меньше минимально допустимого для этого прибора. В противном случае сопротивление резисторов R1 и R2 следует уменьшить до получения нужного тока так, чтобы их соотношение осталось неизменным.

Дроссель L1 намотан на кольцевом магнитопроводе K20x12x6 из феррита М2000НМ с зазором 0,25 мм и содержит 60 витков провода ПЭВ-2-0,6. Возможно применение промышленных дросселей Д-0,3 (если ток нагрузки не превышает 0,3 А) индуктивностью не менее 100 мкГн. На месте транзистора VT3 можно установить любой высокочастотный транзистор с максимальным током коллектора не менее 300 мА, а на месте VT4 — любой из серий КТ802, КТ805. Диод КД212Д (VD4) заменим любым с допустимой рабочей частотой не менее 100 кГц, например, из серий КД212, КД213, КД2997...КД2999. Емкость конденсатора С1 (обязательно керамического) может быть в пределах 0,33...1 мкФ.

Правильно собранный стабилизатор налаживания не требует. С помощью осциллографа, подключенного к эмиттеру транзистора VT4, проверяют наличие прямоугольных импульсов частотой 20...80 кГц. Если частота следования импульсов выше 80 кГц (при слишком высокой частоте начинает разогреваться транзистор VT4), следует увеличить число витков дросселя L1.

Тема 4.4 Импульсные блоки питания в радиоаппаратуре различного назначения

Студент должен

Знать:

- основную структуру импульсного источника питания
- назначение основных элементов схем ИБП
- принцип работы блоков питания современных электротехнических устройств.

Структурная схема ИБП. Основные тенденции в развитии схемотехники БП. Выпрямители БП. Модули питания. Цепи стабилизации. Цепи защиты от короткого замыкания. Принцип работы. Назначение элементов схемы.

Особенности схемы. Импульсные блоки питания в средствах защиты информации (рассмотреть на примерах действующих устройств)

Контроль и защита источников электропитания средств защиты информации.

План:

1. Описание принципа работы источника питания АТХ
 - 1) Общие сведения
 - 2) Технические характеристики
2. Описание структурной схемы
 - 1) Структурная схема
 - 2) Входной фильтр
 - 3) Низкочастотный выпрямитель и сглаживающий фильтр
 - 4) Преобразователь напряжения
 - 5) Каскад управления
 - 6) Формирователь сигнала (Напряжение питания в норме) Power Good.
 - 7) Цепи защиты и контроля
 - 8) ШИМ-контроллер
 - 9) Усилители ошибки
 - 10) Выходной каскад
 - 11) Импульсный трансформатор
 - 12) Выпрямители импульсного напряжения
3. Описание импульсной принципиальной схемы
 - 1) Входная цепь
 - 2) Преобразователь
 - 3) Цепи управления и защиты
 - 4) Выходные выпрямители
4. Типичные неисправности блока питания
 - 1) Перегорает сетевой предохранитель F.
 - 2) Выходные напряжения модуля питания отсутствуют.
 - 3) Выходные напряжения питания выше или ниже нормы.
 - 4) Отсутствует сигнал P.G.
 - 5) Отсутствует дистанционное включение источника питания.
 - 6) Отсутствует напряжение +5В В_ SB.

1. Описания принципа работы источника питания АТХ.

При подаче напряжения на источник питания от сети, в нём происходит выпрямление переменного напряжения сети, затем преобразование постоянного напряжения в импульсное. Благодаря тому, что источник питания имеет импульсный трансформатор значительно стало легче контролировать выходные напряжения. После того как импульсное напряжение выпрямляется получается постоянное напряжение. Постоянное напряжение подаётся к потребителям т. е. к модулям памяти, материнскую плату, процессору, жёсткому диску, CD ROM, флопику и т.д.

Главное назначение блоков питания – преобразование электрической энергии, поступающей из электрической сети переменного тока, в энергию пригодную для питания узлов компьютера. Блок питания преобразует сетевое переменное напряжение 220 В., 50 Гц (120 В, 60 Гц) в постоянные напряжения +5 и 12 В. Как правило, для питания цифровых схем (системной платы, плат адаптеров и дисковых носителей) используется напряжение +3,3 или +5 В, а для двигателей (дисководов и различных вентиляторов) - +12 В. Компьютер работает надёжно в тех случаях, если значения напряжения в этих цепях не выходят за установленные пределы.

Общие сведения.

Источник питания АТХ состоит из следующих элементов:

1. Выпрямителя напряжения сети;
2. Элементов цепи запуска преобразователя, стабилизации и защиты;
3. Формирователя сигнала P.G.;
4. Выпрямителей импульсного напряжения.

Источник питания функционально содержит элементы цепей формирования вспомогательного сигнала P.G., цепь управления дистанционным включением PS ON, в составе имеются вспомогательный автогенератор с выходным выпрямителем +5В SB, дополнительный выпрямитель +3,3 В, а также другие элементы присущие источнику питания АТХ.

Технические характеристики.

Входное напряжение 90...135В (180...265В).

Потребляемая мощность250 Вт.

Выходные напряжения.....+12, +5, -5, -
12,+3.3 В.

Потребляемый ток от сети 220 В.....1,13 А.

Частота48...63

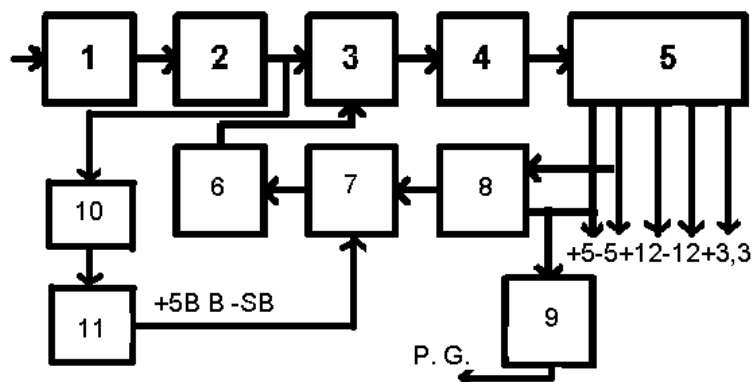
Гц

Диапазон рабочих температур.....0...40С

КПД, не менее.....65%

2. Описание структурной схемы.

Структурная схема.



1. Сетевой фильтр.
2. Низкочастотный выпрямитель, сглаживающий фильтр.
3. Преобразователь.
4. Импульсный трансформатор.
5. Высокочастотный выпрямитель.
6. Схема управления.
7. ШИМ-контроллер.
8. Узел защиты и контроля.
9. Формирователь сигнала питания в норме (P.G.).
10. Вспомогательный преобразователь напряжения.
11. Выпрямитель +5В.

Для понимания функционирования и структуры источника питания системного модуля приводятся структурная схема источника формата АТХ, и поясняется его работа.

В источнике питания формата АТХ напряжение питания через внешний размыкатель сети, расположенный в корпусе системного блока, поступает сетевой фильтр и низкочастотный выпрямитель. Далее выпрямленное напряжение, величиной порядка 300 В., полумостовым преобразователем преобразуется в импульсное. Развязка между первичной сетью и потребителями осуществляется импульсным трансформатором. Вторичные обмотки импульсного трансформатора подключены к высокочастотным выпрямителям ± 12 В. и ± 5 В. и соответствующим сглаживающим фильтрам.

Сигнал Power Good (питание в норме), подаваемый на системную плату через 0,1...0,5 с после появления питающих напряжений +5 В., выполняет начальную установку процессора. Выход из строя силовой части источника питания предотвращается узлом защиты и блокировки. При отсутствии аварийных режимов работы эти цепи формируют сигналы, разрешающие функционирование ШИМ-контроллера, который управляет полумостовым преобразователем посредством согласующего каскада. В аварийных режимах работы осуществляется сброс сигнала Power Good.

Длительность открытого состояния ключей преобразователя определяет величину напряжения выходных источников. Поддержание выходных напряжений постоянному значению в контроллере обеспечивается системой управления с обратной связью, при этом в качестве ошибки используется отклонение выходного напряжения от источника +5 В.

Входной фильтр.

Интенсивность помех существенно зависит от быстродействия транзисторов и диодов силовой части, а также длины выводов и элементов и ёмкости монтажа. Наличие помех оказывает неблагоприятное действие и на работу самого блока питания, проявляющееся в ухудшении характеристик стабилизации источника.

При анализе схемотехнике импульсных источников питания принято различать синфазную и дифференциальную составляющие помехи. Синфазное напряжение измеряется относительно корпуса устройства с каждым из полюсов шин питания источника. Дифференциальная составляющая, измеряющая между полюсами шин питания (первичной, нагрузочной), ещё её определяют как разность синфазных составляющих помехи между шинами соответствующей цепи. Наилучшим средством снижения уровня помех считается устранение их в местах возникновения, следовательно, место включения фильтра строго определено – на входе источника питания. При разработки фильтра источников питания наибольшее внимание уделяют подавлению именно синфазной и дифференциальной составляющих помех в сети.

Низкочастотный выпрямитель, сглаживающий фильтр.

Питание преобразователя блока питания осуществляется постоянным напряжением, которое вырабатывается низкочастотным выпрямителем. Схема низкочастотного выпрямителя собрана по мостовой схеме и обеспечивает необходимое качество выпрямленного напряжения. Последующее сглаживание

пульсаций выпрямленного напряжения осуществляется фильтром. Возможность питания от сети с напряжением 115 В. реализуется введением схем выпрямителя переключателя питающего напряжения. Замкнутые состояния переключателя соответствует низкому напряжению питающей сети (~115 В.) . В этом случае выпрямитель работает по схеме удвоения напряжения. Одной из функции выпрямителя является ограничение тока зарядки входного конденсатора низкочастотного фильтра, выполненного элементами, входящими в состав выпрямительного устройства блока питания. Необходимость их применения вызвана тем, что режим запуска преобразователя близок к режиму короткого замыкания. Зарядный ток конденсаторов при этом может достигать 10-100 ампер. Здесь существует две опасности, одна из которых – выход из строя диодов низкочастотного фильтра, а вторая износ электролитических конденсаторов, при прохождении через них больших зарядных токов.

Преобразователь напряжения.

В источнике питания персонального компьютера высокочастотный преобразователь выполнен по схеме двухтактного преобразователя полумостового типа. Активными элементами схемы являются транзисторные ключи с включёнными в обратном направлении диодами. Цепи управления преобразователя базы транзисторов подключены к вторичной обмотке согласующего трансформатора, а выход преобразователя нагружен на первичную обмотку импульсного трансформатора. Для уменьшения времени переключения ключевых транзисторов (силовых, в цепь базы включают форсирующую резисторно-конденсаторную цепь). Диоды, включённые параллельно переходу коллектор-эмиттер, силовых транзисторов защищают, их от пробоя обратного напряжения. Транзисторы силовых ключей выбираются с малым временем рассасывания основных носителей перехода база-эмиттер. Большим рабочим напряжением коллектор-эмиттер, большим рабочим и импульсными токами.

Каскад управления.

Управление транзисторами полумостового преобразователя осуществляется каскадом управления на транзисторах. Кроме этой функции схема управления осуществляет согласование и гальваническую развязку мощных силовых каскадов от маломощных цепей управления.

Формирователь сигнала (Напряжение питания в норме)Power Good.

Блок питания не только вырабатывает необходимое для работы узлов компьютера напряжения, но и приостанавливает функционирование системы до тех пор, пока величина этого напряжения не достигнет значения, достаточного для нормальной работы. Иными словами, блок питания не позволит компьютеру работать при «нештатном» уровне напряжения питания. В каждом блоке питания перед получением разрешения на запуск системы выполняется внутренняя проверка и тестирование выходного напряжения. После этого на системную плату посылается специальный сигнал POWER_GOOD (питание в норме). Если такой сигнал не поступил, компьютер работать не будет. Уровень напряжения сигнала POWER_GOOD – около +5 В.(нормальной считается величина от +3 В. до +6 В.). Он вырабатывается блоком питания после выполнения внутренних проверок и выхода на номинальный режим и обычно появляется через 0,1 – 0,5 секунд после включения компьютера. Сигнал подаётся на системную плату, где микросхемой тактового генератора формируется сигнал начальной установки процессора. При отсутствии сигнала POWER_GOOD микросхема тактового генератора постоянно подаёт на процессор сигнал сброса, не позволяя компьютеру работать при «нештатном» не позволяя компьютеру работать при «нештатном» или нестабильном напряжении питания. Когда сигнал POWER_GOOD подаётся на генератор, сигнал сброса отключается и начинается выполнение программы, записанной по адресу: FFFF:0000 (обычно в ROM BIOS). Если выходные напряжения блока питания не соответствуют номинальным (например, при снижении напряжения сети), сигнал POWER_GOOD отключается и процессор автоматически перезапускается. При восстановлении выходных напряжений снова формируется сигнал POWER_GOOD и компьютер начинает работать так, будто его только включили. Благодаря быстрому отключению сигнала POWER_GOOD компьютер «не замечает» неполадок в системе питания, поскольку останавливает работу раньше, чем могут появиться ошибки чётности и другие проблемы, связанные с неустойчивостью напряжений питания. Иногда сигнал POWER_GOOD используется для сброса в ручную. Он подаётся на микросхему тактового генератора. Эта микросхема управляет формированием тактовых импульсов и вырабатывает сигнал начальной перегрузки. Если сигнальную цепь POWER_GOOD заземлить каким-либо переключателем, то генерация тактовых сигналов прекращается и процессор останавливается. В блоке питания формата AT сигнал POWER_GOOD поступает через восьмой

контакт 20-контактного разъёма блока питания. В правильно спроектированном блоке питания выдача сигнала POWER_GOOD задерживается до стабилизации напряжений во всех цепях после включения компьютера. В плохо спроектированных блоках питания (которые устанавливаются во многих дешёвых моделях) задержка сигнала POWER_GOOD составляет 0,1 – 0,5 секунд. В некоторых компьютерах ранняя подача сигнала POWER_GOOD приводит к искажению содержимого CMOS-памяти. В некоторых дешёвых блоках питания схемы формирования POWER_GOOD нет вообще и эта цепь просто подключена к источнику напряжения питания +5 В.. Одни системные платы более чувствительны к неправильной подаче сигнала POWER_GOOD, чем другие. Проблемы, связанные с запуском, часто возникают именно из-за недостаточной задержки этого сигнала. Иногда бывает так, что после замены системной платы компьютер перестаёт нормально запускаться. В такой ситуации довольно трудно разобраться, особенно неопытному пользователю, которому кажется причина кроется в новой плате. Но не торопитесь списывать её в неисправные – часто оказывается, что виноват блок питания: либо он не обеспечивает достаточной мощности для питания новой системной платы, либо не подведён или неправильно вырабатывается сигнал POWER_GOOD. В такой ситуации лучше заменить блок питания.

Цепи защиты и контроля.

Защита источников питания проявляется в критических режимах работы, а так же в тех случаях, когда действие обратной связи может привести к предельным режимам работам элементов схемы, предупреждая тем самым выход из строя силовых и дорогостоящих элементов схемы. К ним относятся транзисторы полумостового преобразователя и выходные выпрямители. В результате действия цепей защиты снимаются выходные управляющие сигналы с ШИМ-контроллера, транзисторы преобразователя находятся в выключенном состоянии, выходное вторичное напряжение отсутствует. Исключая внутренние цепи защиты ШИМ-контроллера рассмотрим действия внешних элементов схем защиты, встречающихся в типовых схемах преобразователей.

Следует различать такие цепи:

- от короткого замыкания в нагрузке;
- от чрезмерного тока в транзисторах полумостового преобразователя;
- защиту от превышения напряжения.

ШИМ-контроллер.

Выполняет следующие функции: исключение «сквозного» тока. Дополнительной мерой исключения явления «сквозного» тока в полумостовом преобразователе является фиксированное смещение компаратора «паузы» 0,12 В.. При напряжении пилообразного напряжения меньшем 0,12 В. и нулевом потенциале на выводе 4 на выходе компаратора будет сохраняться нулевой уровень, этот интервал соответствует максимальной длительности интервала «пауза», величина которой в этом случае не будет превосходить 4% от периода пилообразного напряжения. Максимальная длительность паузы соответствует напряжению на выводе 4 микросхемы.

Режим «медленного пуска».

Кроме того, с помощью входа управления «паузой» довольно просто организуется режим «медленного пуска» преобразователя. Наличие этого режима позволяет плавно запустить преобразователь в первый момент включения в электрическую сеть. Следует помнить, что режим запуска является очень тяжёлым режимом работы преобразователя, все фильтровые конденсаторы разряжены, в связи с этим режим пуска близок к режиму короткого замыкания. Транзисторы преобразователя до момента окончательного заряда конденсаторов фильтров выпрямителей должны работать в критическом режиме максимальных токов. Обеспечить комфортную работу транзисторов во время запуска преобразователя до окончания заряда конденсаторов фильтров позволяет использование режима «медленного запуска». При этом длительность выходных каскадов плавно увеличивается до номинального режима работы выходных транзисторов преобразователя.

Усилители ошибки.

Главное назначение усилителей ошибки – измерение отклонение выходного напряжения и тока нагрузки с целью поддержания напряжения на выходе источника питания на постоянном уровне. В режиме стабилизации модуляция длительности величины выходных управляющих импульсов осуществляется сигналами усилителей ошибок, входное напряжение которых может изменяться в пределах от 0,5 до 3,5 В.. Оба усилителя могут работать в одинаковых режимах. Входы усилителя соединены с не инвертирующим входом ШИМ-компаратора. Такая архитектура микросхемы (с управлением по цепи обратной связи) позволяет поддерживать напряжение на выходе источника питания с минимальным отклонением. В двухтактном режиме вход управления выходными каскадами (вывод 13) подключается к источнику опорного напряжения (вывод 14), который в рабочем режиме формирует

напряжение +5 В. с максимальным током нагрузки 10 мА. Назначение этого источника – питание внешних по отношению к микросхеме цепей.

Выходной каскад.

На выходе компаратора «паузы» формируется импульс расположенной полярности, если времязадающий конденсатор C_t разряжен. Импульс поступает на синхронизирующий вход D-триггера и на выходы элементов ИЛИ-НЕ выходного драйвера, закрывая выходные транзисторы. В двухтактной режиме, когда вход управления выходными каскадами (вывод 14), транзисторы выходного каскада управляются противофазно. В этом случае частота переключения каждого транзистора равна половине частоты генератора, а ток, протекающий через каждый выходной транзистор, не превышает величины 200 мА.

Импульсный трансформатор.

На импульсный трансформатор поступают высокочастотные импульсы. Когда на обмотку трансформатора поступают импульсы трансформатор накапливает энергию и когда на первичной обмотке импульсы доходят нулевого потенциала тогда происходит перекачка энергии во вторичные цепи.

Выпрямители импульсного напряжения.

Выпрямители импульсного напряжения вторичных источников питания используют типовую двухполупериодную схему выпрямления со средней точкой, обеспечивающую необходимый коэффициент пульсаций.

Стабилизатор напряжения 3,3В выполнен на регулирующем транзисторе Q10 и шунтовом стабилизаторе параллельного типа IC7. Выходное напряжение в небольших пределах устанавливается потенциометром VR3.

Для снижения уровня помех, излучаемых импульсными выпрямителями в электрическую сеть, параллельно вторичным обмоткам трансформатора T4 включён резистивно-емкостной фильтр R6, C9.

Схема терморегулирования.

Схема терморегулирования предназначена для поддержания температурного режима в нутри корпуса ПК. Температура внутри корпуса поддерживается постоянным регулированием скорости вращения вентилятора, максимальная скорость вращения которого составляет при температуре +40С.

3 Описание электрической принципиальной схемы.

Входная цепь.

Входная цепь состоит из сетевого предохранителя F101, ограничительного резистора TR101, входного фильтра синфазных и дифференциальных помех, образованного дросселем L101, и конденсаторами C101...C104. Напряжение первичной электросети через заградительный фильтр L101, C101...C104 поступает на двухполупериодный выпрямитель BD101. Конденсаторы C105, C106 и резисторы R102, R103 – элементы выходного фильтра.

Преобразователь.

Нагрузкой фильтра является полумостовой регулируемый автогенераторный преобразователь, в состав которого входят:

- Трансформатор T102
- Переключающие транзисторы Q101, Q102
- Элементы C109, R105 (характеризуют ключевые свойства Q101);
- Элементы C110, R112 (свойства переходного режима транзистора Q102).

Резисторы R109, R110 предназначены для уменьшения пускового тока Q101, Q102, соответственно, а D102, D103 – защищают транзисторы Q101, Q102 при переходных процессах в преобразователе. Транзисторы Q101, Q102 открываются попеременно. Моменты переключения ключей транзисторов Q101, Q102 определяется параметрами положительной обратной связи, образованной индуктивно связанными обмотками трансформатора T101. В результате в цепях:

$+U_{DB101} \rightarrow Q101 \text{ (к-э)} \rightarrow T101 \rightarrow T102 \rightarrow C107 \rightarrow C106 \rightarrow U_{BD101}$

$+U_{DB101} \rightarrow C105 \rightarrow C107 \rightarrow T102 \rightarrow T101 \rightarrow Q102 \text{ (к-э)} \rightarrow U_{BD101}$

циркулируют импульсные токи. Конденсатор C107 ограничивает нежелательное подмагничивание сердечника T102, а конденсатор C108, R104 образуют демпфирующую цепь. Делители напряжения R106, R107, R108, R111 определяют режим транзисторов Q101, Q102.

Цепи управления и защиты.

Длительность выходных импульсов образуется в результате совместной работы генератора пилообразного напряжения, усилителей ошибки 1 и 2, а также ШИМ-формирователя. На выходах в точках 8 и 11 создаются импульсные последовательности, поступающие на транзисторы Q202, Q201 каскада управления. Эффективное управление преобразователем на Q101, Q102 осуществляется транзисторами Q201, Q202, работающих в тяжёлом ключевом режиме. С помощью диодов D202, D205 осуществляется их защита в режиме «сквозных токов». Удержание выключенного состояния транзисторов осуществляется цепью D203, D204, C204. При подачи питания на микросхему (вывод 12 IC1) включается задающий генератор. Пилообразное напряжение задающего генератора поступает на компаратор широтно-импульсного модулятора, устанавливая его в единичное состояние. При этом образуется передний фронт управляющих преобразователем сигналов. Второй вход компаратора подключён к выходу усилителя ошибки 1. Выходные напряжения +5 В. и +12 В., сложившись на сумматоре резистивного типа R222, R223, R225, R226, R227, R228, поступают на усилитель ошибки 1 (вывод 1 IC1). На второй вход этого усилителя приходит опорное напряжение через делитель R209, R212. Задний фронт импульса формируется выходным сигналом усилителя ошибки на интервалах, превышающих «пилу». Регулирование длительности выходных импульсов осуществляется изменением момента пересечения пилы и выходного усилителя ошибки. Защита от чрезмерного тока реализована на с помощью цепи R202, R203, D206, C202, при подключённой к выводу 16 IC201. Узел, организованный на R223, R234, Q203, D207, R213, R224, C209 – защита от коротких замыканий в нагрузке каналов -5 В. и -12 В. Если одно из рассматриваемых напряжений резко уменьшается, то транзистор Q203 закрывается, и по цепи R213, D207, R214 начинает протекать ток большей величины. Увеличение падения напряжения на R214 вызовет срабатывания компаратора «мёртвой зоны», уменьшающих длительность выходных импульсов, а соответственно, и уменьшающего выходное напряжение.

Схема формирования сигнала «питание в норме» P.G.

Схема формирования сигнала «питание в норме» P.G. организована на триггере Шмидта, Q205, Q208. При аварийной работе источника питания сигнал сбрасывается ключом на транзисторе Q204, подключённом к выходу усилителя ошибки 1 через резистор R231. В закрытом состоянии ключа Q204 осуществляется заряд конденсатора C210 через резистор R229 от источника питания +5 В. Спустя некоторый период времени напряжения заряда будет достаточно, чтобы через делитель R238, R239 установить триггер Q205, Q206 в состояние, при котором на выходе P.G. высокий уровень напряжения. Диод

D208 ускоряет разряд конденсатора задержки C210 сигнала P.G. при перезапусках источника питания.

Выходные выпрямители.

Во вторичных цепях трансформатора T102 используются двухполупериодные схемы выпрямления со средней точкой. Элементы R241, C211, R243, C213 и R242, C213 – демпфирующие цепи, уменьшающие импульсные помехи, создаваемые источником при работе. Сглаживание пульсаций на выходе выпрямителей обеспечивается элементами L201...L205, C214...C218. Резисторы R244...R247 являются нагрузочными для холостого хода.

4. Типичные неисправности блока питания.

Перегорает сетевой предохранитель F.

В этом случае необходимо проверить состояние выключателя SW1, исправность элементов заградительного фильтра и сетевого выпрямителя (BL1, BL2, BL3, CY1, CY2, TH1, C1...C4, BD1, C5, C6, R2, R3), а так же проверить исправность транзисторов Q1, Q2.

Выходные напряжения модуля питания отсутствуют.

Проверяется наличие напряжения 310В между последовательно соединёнными конденсаторами C5, C6. При его отсутствии проверяется исправность элементов сетевого выпрямителя. Проверить исправность элементов цепи дистанционного включения.

Далее проверить напряжение питания микросхемы IC1 между выводами 12 и корпусом. При его отсутствии проверить исправность транзисторов Q1, Q2, элементов тракта запускающих импульсов (IC1, Q4, Q5, D8... D11, R64, D7, R15, R16, R17, R18). При наличии напряжения питания +25В проверить исправность цепей защиты: ZD3, ZD2, D18, Q9. В случае исправности перечисленных выше элементов заменить IC2.2. Проверить исправность выходных выпрямителей и отсутствие короткого замыкания в их нагрузке.

Выходные напряжения питания выше или ниже нормы.

Проверить исправность цепей обратных связей резисторов R21, R50, R53, VR2, R49, исправность цепи (медленного запуска) C18, R24, а также Q7, Q8, в случае их исправности заменить микросхему IC1.

Отсутствует сигнал P.G.

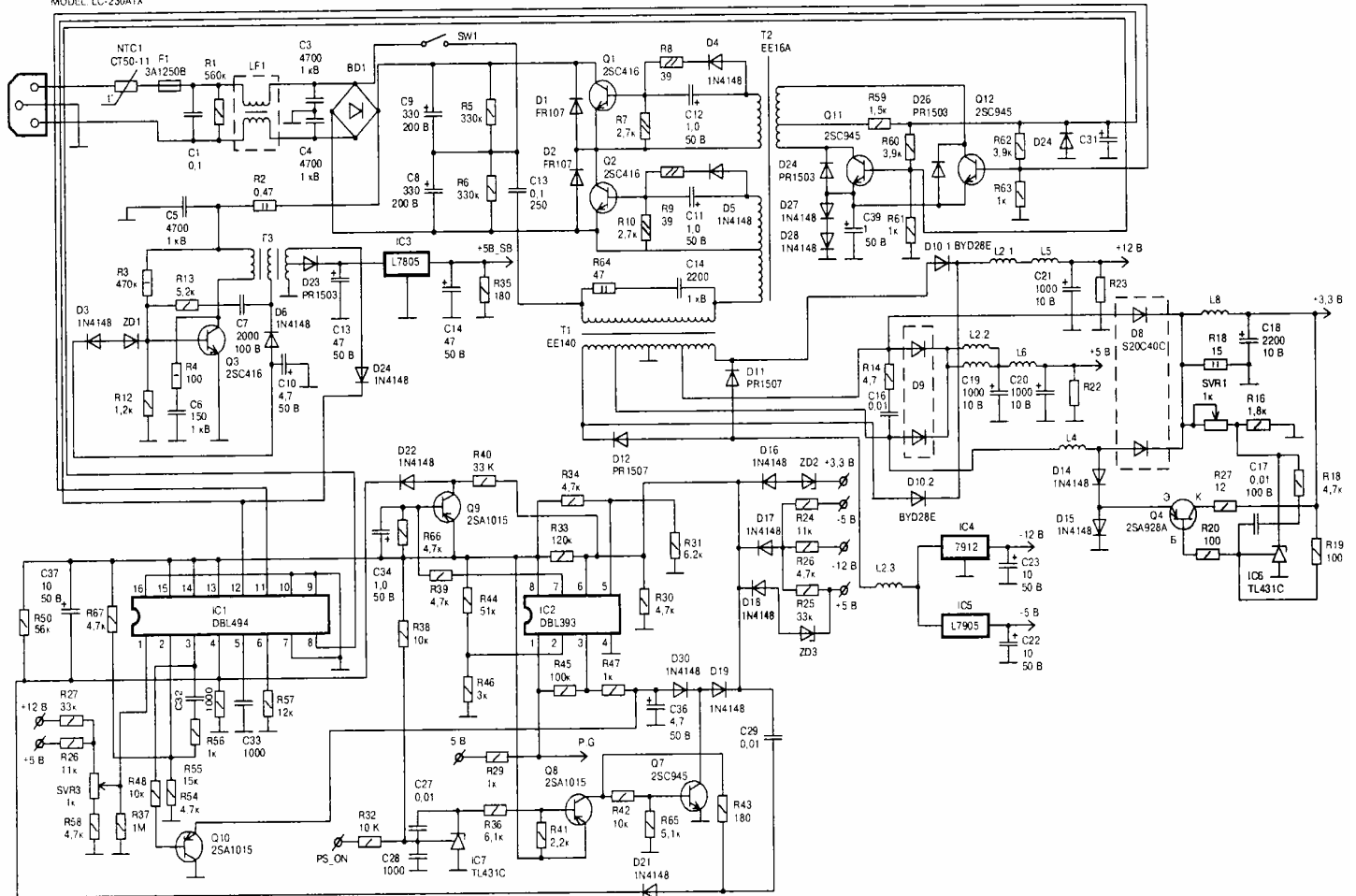
Следует проверить элементы C19, R27, Q7, D17, а также микросхему IC1.

Отсутствует дистанционное включение источника питания.

Проверить наличие наличие на контакте PS-ON потенциала корпуса (нуля), исправность элементов Q7, Q8, D14, D15, R41,.В случае их исправности заменить IC1.

Отсутствует напряжение +5В В_ SB.

Проверить исправность транзистора Q3, стабилитрона ZD1, конденсатора C12.



Тема 4.5 Гальванические и нетрадиционные источники питания радиоаппаратуры

План:

1. Принцип работы гальванических элементов
2. Характеристики гальванических элементов
3. Марганцово-цинковые и оксидно-ртутные элементы
4. Кислотные аккумуляторы
5. Щелочные аккумуляторы
6. Нетрадиционные источники электропитания

Иметь представление:

- о физических основах работы гальванических и нетрадиционных источниках питания

Знать:

- гальванические и нетрадиционные источники питания, области применения и особенности

Гальванические и нетрадиционные источники питания радиоаппаратуры: область применения, типы и характеристики. Физические основы работы нетрадиционных источников питания. Гальванические батареи. Аккумуляторы. Классификация, параметры, применение. Термоэлектрические и фотоэлектрические элементы: область применения, основные характеристики. Использование нетрадиционных источников питания в средствах защиты информации.

ХИМИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА

1. Принцип работы гальванических элементов

Если отсутствует электрическая сеть, то для питания радиоустановок применяют гальванические элементы и аккумуляторы, называемые иначе химическими источниками тока. Рассмотрим принцип их работы на примере первого простейшего элемента — элемента Вольта (рис. 7.1). Он состоит из медной (Cu) и цинковой (Zn) пластинок, опущенных в раствор серной кислоты (H_2SO_4). Вследствие химической реакции, происходящей между цинком и серной кислотой, на цинке образуется избышек электронов. Цинк заряжается отрицательно и является отрицательным полюсом. Раствор и медная пластинка, погруженная в раствор, заряжаются положительно. В результате возбуждается ЭДС, равная примерно одному вольту, которая сохраняется все время, пока цепь не замкнута.

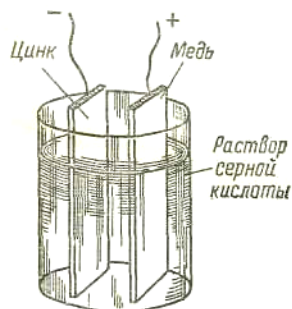


Рис. 7.1. Простейший гальванический элемент Вольта

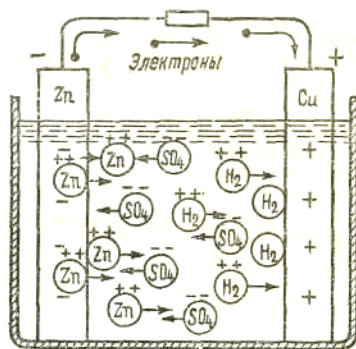


Рис. 7.2. Ионы в электролите элемента Вольта

Если замкнуть цепь, пойдет ток и внутри элемента усиленно начнет выделяться водород, покрывающий поверхность пластинок слоем пузырьков. Этот слой уменьшает напряжение на полюсах элемента. Такое явление носит название поляризации.

Чем больше ток, тем сильнее поляризация и тем быстрее уменьшается напряжение элемента.

Для устранения поляризации в элемент вводят вещества, способные поглощать водород и называемые деполяризаторами. Чтобы напряжение на полюсах оставалось постоянным, деполяризатор должен быстро поглощать водород, образующийся при работе элемента. Поглощая водород, деполяризатор постепенно приходит в негодность. Но обычно раньше этого портится электролит и под действием электролита разъедается цинк. Вообще электрическая энергия получается в элементе за счет расхода цинка, электролита и деполяризатора; поэтому каждый элемент обладает определенным запасом энергии и может работать лишь ограниченное время.

2. Характеристики гальванических элементов.

Гальванические элементы характеризуются разными параметрами и прежде всего электродвижущей силой, внутренним сопротивлением, максимальным допустимым разрядным током и емкостью.

Электродвижущая сила обуславливается типом элемента, т.е. материалом его электродов, веществом электролита и деполяризатора. Она совершенно не зависит от размеров элемента (размеров его электродов), количества электролита и количества деполяризатора.

Внутреннее сопротивление элемента зависит не только от его типа, но и от его размеров, а также от того, как долго работал элемент. Чем больше размеры элемента, тем меньше его внутреннее сопротивление. По мере работы элемента внутреннее сопротивление растет. Оно особенно резко возрастает у истощившихся элементов. Внутреннее сопротивление у элементов в начале их работы обычно бывает от единиц ом до десятых долей ома. Когда элемент присоединен к замкнутой цепи, напряжение на его зажимах всегда несколько меньше ЭДС и снижается при увеличении тока, так как возрастает потеря части ЭДС на внутреннем сопротивлении элемента. Иногда для элементов указывают напряжение при максимальном разрядном токе в начале работы элемента (начальное напряжение).

Каждый элемент можно разряжать током до определенного значения. Чрезмерно большой ток вызовет ускоренную поляризацию и напряжение быстро станет недопустимо низким. Подобное же явление, но в еще большей степени происходит при коротком замыкании элемента. Не следует испытывать элемент «на искру», соединяя друг с другом провода, идущие от полюсов. У большинства элементов максимальный допустимый разрядный ток составляет доли ампера. Чем больше размеры элемента, тем больше этот ток. Превышение тока приводит к быстрому истощению элемента.

Емкостью элемента называют количество электричества, которое он способен отдать при разряде током не выше максимального допустимого. Обычно емкость элементов измеряют в ампер-часах (а-ч), т.е. произведением разрядного тока в амперах и числа часов работы элемента. Элемент считают разряженным, если его напряжение уменьшилось примерно на 50 % по сравнению с первоначальным значением.

Время работы элемента можно определить, разделив емкость в ампер-часах на разрядный ток в амперах. При этом ток не должен превышать максимального допустимого значения.

Емкость элемента зависит от количества цинка, электролита и деполяризатора. Чем больше размеры элемента, тем больше количество входящих в его состав веществ и тем больше емкость. Кроме того, емкость зависит от разрядного тока, а также от перерывов во время разряда и их

длительности. Нормальная емкость элемента соответствует максимальному допустимому разрядному току при непрерывном разряде. Если ток меньше максимального и если разряд происходит с перерывами, то емкость увеличивается, а при токе выше максимального емкость снижается, так как часть деполяризатора не участвует в реакциях. Емкость также уменьшается с понижением температуры. Поэтому расчет времени работы элемента по его номинальной емкости и разрядному току является приближенным.

3. Марганцово-цинковые и оксидно-ртутные элементы

Широкое распространение получили марганцово-цинковые (МЦ) сухие элементы с деполяризатором из диоксида марганца.

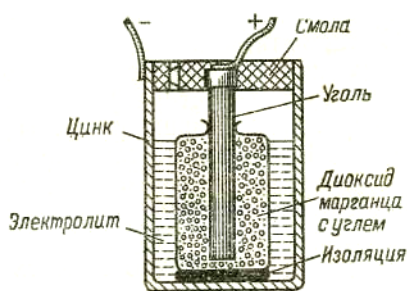


Рис. 7.3. Устройство сухого элемента

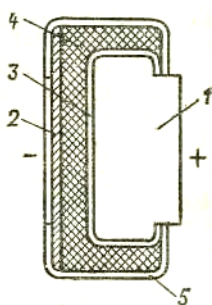


Рис. 7.4. Устройство сухого галетного элемента

1 — деполяризатор — положительный электрод; 2 — цинк — отрицательный электрод; 3 — бумага; 4 — картон, пропитанный электролитом; 5 — полихлорвиниловая пленка

Сухой элемент **стаканчикового типа** (рис. 7.3) имеет цинковый сосуд прямоугольной или цилиндрической формы, являющийся отрицательным электродом. Внутри него помещен положительный электрод в виде угольной

палочки или пластинки, которая находится в мешке, наполненном смесью диоксида марганца с порошком угля или графита. Уголь или графит добавляют для уменьшения сопротивления. Угольный стержень и мешок с деполяризующей массой называют **агломератом**. В качестве электролита используется паста, составленная из нашатыря (NH_4Cl), крахмала и некоторых других веществ. У стаканчиковых элементов центральный вывод является положительным полюсом.

Рабочее напряжение сухого элемента несколько ниже, чем его ЭДС, равная 1,5 В, и составляет примерно 1,3 или 1,4 В. При длительном разряде напряжение постепенно уменьшается, так как деполяризатор не успевает поглощать весь выделяемый водород, и к концу разряда оно достигает 0,7 В.

Другая конструкция сухого элемента, так называемого **галетного типа**, показана на рис. 7.4. В нем положительным электродом является деполяризующая масса (угольного электрода нет). Галетные элементы имеют значительно лучшие характеристики, нежели стаканчиковые.

В каждом элементе, имеющем электролит, даже при разомкнутой внешней цепи происходит так называемый саморазряд, в результате которого разъедается цинковый электрод, а также истощаются электролит и деполяризатор. Поэтому сухой элемент при хранении постепенно приходит в негодность и электролит у него высыхает.

Когда сухие элементы полностью разрядятся, их агломераты еще работоспособны и могут быть использованы для устройства самодельных **наливных элементов**.

Такие элементы имеют агломерат и электрод из листового цинка в растворе нашатыря, находящемся в стеклянном или керамическом или пластмассовом стаканчике. При отсутствии нашатыря можно с несколько худшими результатами применить раствор обычной поваренной соли с небольшой добавкой сахара.

Помимо сухих элементов типа МЦ, широко применяются элементы с марганцово-воздушной деполяризацией (МВЦ). Они устроены аналогично элементам МЦ, но у них положительный электрод сделан так, что к диоксиду марганца по особым каналам поступает наружный атмосферный воздух. Кислород воздуха возмещает потерю кислорода диоксидом марганца при деполяризации. Поэтому деполяризация может происходить значительно дольше и емкость элемента увеличивается.

В последние годы выпускаются еще сухие герметичные МЦ-элементы со щелочным электролитом (КОН). Они бывают цилиндрические, дисковые и галетные. Емкость у них в три-пять раз больше, чем у элементов с электролитом из нашатыря. Кроме того, они допускают несколько циклов подзаряда током с отдачей 10 % емкости. У таких элементов центральный электрод цинковый и является минусом, т. е. полярность выводов противоположна полярности выводов обычных МЦ-элементов. Элементы со щелочным электролитом применяются для длительной работы, например, в электронных часах. В обозначениях таких элементов впереди ставится буква А.

Промышленность выпускает МЦ-элементы и батареи различных типов. Их основные данные приводятся в справочниках.

У всех элементов начальное напряжение составляет примерно 1,3—1,5 В, а конечное напряжение равно 0,7—1 В. Хранение сухих элементов или батарей в бездействующем состоянии перед их использованием не должно продолжаться более срока, указанного на них; в противном случае

сохранение работоспособности не гарантируется. Однако и при хранении в течение указанного срока происходит некоторое снижение емкости, но не больше, чем на одну треть.

В последнее время выпускаются еще **малогабаритные оксидно-ртутные** (ртутно-цинковые) герметичные элементы, имеющие более высокие качества, нежели элементы типа МЦ. Устройство оксидно-ртутных элементов показано на рис. 7.5. Элемент имеет стальной корпус, состоящий из двух половин, отделенных друг от друга герметизирующей изоляционной прокладкой из резины.



В одну половину корпуса впрессована активная масса из оксида ртути (HgO) с графитом, являющаяся положительным электродом. Отрицательным электродом служит цинковый порошок, впрессованный в другую половину корпуса. Щелочной электролит (KOH) пропитывает пористую прокладку, разделяющую электроды. Эти элементы выпускаются разных размеров и разной емкости (от десятых долей ампер-часа до нескольких ампер-часов). ЭДС у них составляет примерно 1,35 В. Срок хранения этих элементов 2,5 года. Саморазряд не превышает 1 % в год. **По сравнению с МЦ-элементами ртутно-цинковые элементы имеют большую емкость, меньшее внутреннее сопротивление, но более высокую стоимость.** Они широко применяются в электронных часах, кардиостимуляторах, фотоэкспонетрах, измерительных приборах. У самых малогабаритных элементов размеры составляют всего лишь несколько миллиметров, а масса — десятые доли грамма.

Важной особенностью оксидно-ртутных элементов является стабильность напряжения при разряде. Только в самом конце разряда напряжение резко падает до нуля.

4. Кислотные аккумуляторы

По сравнению с гальваническими элементами аккумуляторы обладают более постоянным напряжением и могут давать большие разрядные токи.

Недостатком аккумуляторов является необходимость периодического заряда их от какого-либо источника постоянного тока. Поэтому для питания радиоустановок аккумуляторы применяются только в случае, когда имеется возможность их заряжать. Срок службы аккумуляторов значительно выше, чем гальванических элементов. При правильном уходе аккумуляторы могут исправно работать несколько лет и допускают до нескольких сотен циклов заряд-разряд.

Простейший кислотный (свинцовый) аккумулятор состоит из двух свинцовых пластин, опущенных в раствор серной кислоты. В таком виде он не дает никакой разности потенциалов. Чтобы в аккумуляторе возникла ЭДС, его нужно зарядить, т. е. пропустить через него постоянный ток от какого-либо источника. Во время заряда в аккумуляторе происходит химическое разложение серной кислоты, причем на катоде выделяется водород, а на аноде — кислород. Последний окисляет поверхность анодной пластины, и она покрывается коричневым слоем диоксида свинца; катодная пластина остается чисто свинцовой. В результате получается элемент с двумя разнородными пластинами в растворе кислоты. Если теперь отсоединить заряжающий источник, то окажется, что аккумулятор обладает некоторой ЭДС и при включении на внешнюю цепь может дать ток.

Во время разряда аккумулятора направление тока противоположно направлению зарядного тока и химические процессы при разряде происходят в обратном порядке: на положительной пластине выделяется водород, а на отрицательной — кислород. Вследствие этого через некоторое время обе пластины становятся одинаковыми и ЭДС аккумулятора уменьшается до нуля. Если аккумулятор снова зарядить, то он опять будет давать ток, пока не разрядится.

При заряде аккумулятор накапливает энергию, а при разряде отдает ее. Само слово «аккумулятор» означает накопитель. Однако электрическая энергия накапливается в аккумуляторе не непосредственно. Энергия зарядного тока расходуется на создание новых химических веществ, а при разряде они разлагаются и почти полностью отдают энергию, затраченную на их образование. В нормальном режиме работы аккумулятор отдает около 75% энергии, полученной при заряде.

Свинцовый аккумулятор имеет ЭДС примерно 2 В. Внутреннее сопротивление у него очень невелико, рабочее напряжение можно считать равным ЭДС. К концу заряда ЭДС аккумулятора увеличивается до 2,7 В, но при разряде сначала быстро снижается до 2 В, а затем остается почти

постоянной. Лишь в конце разряда ЭДС довольно быстро уменьшается до 1,8 В. Ниже этого напряжения разряжать аккумулятор не следует.

Аккумулятор из двух свинцовых пластин мало пригоден для практического использования. Он обладает слишком небольшой емкостью и может давать ток весьма непродолжительное время, так как диоксида свинца при заряде получается мало.

Пластины современных аккумуляторов изготавливаются решетчатыми (рис.

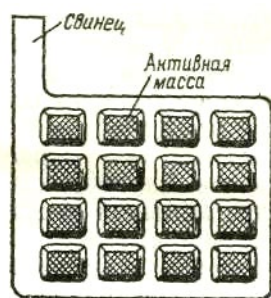


Рис. 7.8. Пластина кислотного аккумулятора

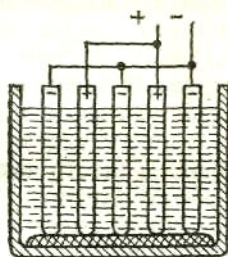


Рис. 7.9. Принцип устройства многопластинчатого аккумулятора

7.8) и заполняются активной массой, состоящей из диоксида свинца для положительных пластин и губчатого (мелко раздробленного) свинца — для отрицательных.

Применение пластин с активной массой значительно

повышает емкость аккумулятора. Кроме того, для увеличения емкости в аккумуляторе устанавливают не две пластины, а большее их количество (например, пять, семь или девять). Число отрицательных пластин бывает на одну больше, чем положительных. Каждую положительную пластину размещают между двумя отрицательными (рис. 7.9). Поэтому поверхность пластин используется с обеих сторон; только у крайних пластин в работе участвует лишь одна поверхность. Чтобы не допустить короткого замыкания пластин, между ними помещают пористые изоляционные прокладки-сепараторы. Сосуды аккумуляторов делаются чаще всего из кислотоупорной пластмассы.

Электролит готовится из химически чистой серной кислоты и дистиллированной или снеговой воды. Недостаточно чистая кислота или вода, содержащая примеси, могут испортить аккумулятор. У электролита плотность должна быть 1,25—3,26 при температурах выше нуля и 1,30—1,35 при температурах ниже нуля. Если температура выше 30°, то плотность электролита снижают до 1,20—1,21. Для измерения плотности электролита служит **ареометр**, представляющий собой запаянную стеклянную трубку, в нижней части которой помещен груз, а выше расположена бумажная шкала с делениями, соответствующими различным плотностям. Чем меньше плотность раствора, тем глубже опускается ареометр в раствор. Отсчет плотности ведется по уровню раствора.

При приготовлении электролита кислоту тонкой струей наливают в дистиллированную, дождевую или снеговую воду, непрерывно размешивая раствор чистой стеклянной палочкой. Нельзя наливать воду в кислоту, так как при этом происходит сильное нагревание и даже кипение с разбрызгиванием кислоты, которая может испортить одежду и вызвать ожоги. Во время работы с кислотой необходимо иметь под руками раствор щелочи, например соды. Если кислота попала на тело или одежду, этим раствором нужно сейчас же смочить место, на которое попала кислота, и тем самым нейтрализовать ее. Электролит наливают в аккумулятор так, чтобы уровень электролита был несколько выше пластин. Плотность электролита, заливаемого в новый аккумулятор, должна быть 1,12. В крышке аккумулятора сделаны отверстия для наливания электролита, закрытые пробками. В пробках имеются небольшие отверстия для выхода газов. После заливки электролита в новый аккумулятор его оставляют на шесть часов, чтобы активная масса пропиталась электролитом.

При заряде положительный полюс аккумулятора соединяется с положительным полюсом заряжающего источника, напряжение которого должно быть несколько выше, чем ЭДС аккумулятора. Для установления нужного тока применяется реостат, который включается в один из проводов, идущих к аккумулятору. Для того чтобы контролировать ток, иногда включают еще амперметр. Зарядный ток (в ампер-часах) не должен превышать 7ю емкости аккумулятора (в ампер-часах). Например, максимальный зарядный ток для аккумулятора емкостью в 40 А-ч равен 4 А. Нормальный заряд аккумулятора обычно длится 12 часов. При большем токе аккумулятор перегревается и происходит разрушение активной массы его пластин. Если заряд вести меньшим током, что вполне допустимо и даже желательно, то продолжительность заряда соответственно увеличивается. Когда заряжается новый, еще не работавший аккумулятор, то заряд осуществляют более продолжительное время, повторяя его несколько раз и разряжая аккумулятор в промежутках между такими зарядами. Правила заряда подробно указаны в инструкции, прилагаемой к аккумулятору.

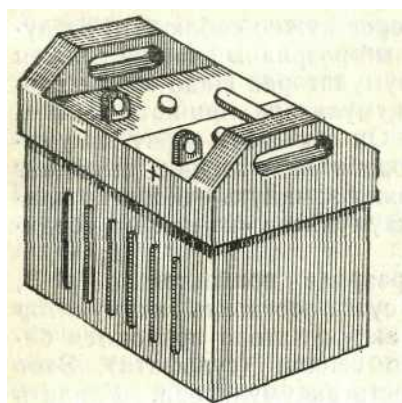
Когда аккумулятор совершенно разряжен, то в начале заряда его ЭДС равна 1,8 В, а в конце заряда она повышается, как известно, до 2,7 В. В конце заряда происходит бурное выделение пузырьков газа в электролите, который как бы «кипит». Если имеется вольтметр, то конец заряда можно определить и по возрастанию ЭДС аккумулятора до 2,7 В. Обычно аккумулятору дают «покипеть» час-два, после чего заряд считают окончанным.

Необходимо помнить, что из аккумулятора выделяются водород и кислород, смесь которых представляет собой так называемый гремучий газ, легко взрывающийся от искры или пламени. Поэтому к аккумулятору нельзя подносить зажженные предметы.

При разряде аккумуляторов нужно соблюдать следующие правила. Максимальный разрядный ток не должен превышать $1/10$ емкости аккумулятора. Надо остерегаться короткого замыкания аккумулятора, при котором возникает очень большой ток. Он вызывает порчу аккумулятора: его пластины коробятся и из них выпадает активная масса, которая может замкнуть накоротко пластины. Нельзя пробовать аккумулятор «на искру», соединяя его полюсы накоротко.

Как только ЭДС при разряде понизится до 1,8 В, нужно не позднее чем через сутки поставить аккумулятор на заряд, иначе пластины аккумулятора покроются белым налетом сернокислого свинца (сульфата). Этот налет сильно снижает емкость аккумулятора. Удалить сульфат с пластин очень трудно.

Аккумулятор постепенно разряжается, даже находясь в бездействующем состоянии. Каждые сутки за счет саморазряда теряется примерно 1 % емкости. Такой саморазряд увеличивается, если в электролите и в пластинах имеются вредные примеси. Кроме того, аккумулятор может разряжаться через плохую изоляцию между своими выводами. Необходимо тщательно вытирать сосуды и следить за изоляцией между выводами. Быстрый само-



разряд происходит также при коротком замыкании между пластинами аккумулятора. Чтобы не допустить полного саморазряда, необходимо аккумулятор заряжать раз в месяц, даже если он не разрядился полностью или совсем не работал. Вообще не рекомендуется оставлять на длительное время заряженный аккумулятор без работы. Лучше его разрядить, вылить кислоту и несколько раз промыть водой.

При снижении уровня электролита вследствие испарения воды нужно доливать дистиллированную воду, а не кислоту. Все выступающие наружу свинцовые выводы от пластин и зажимы надо смазывать вазелином, предварительно удаляя с них оксидный слой. Нельзя допускать загрязнения аккумулятора и попадания в него пыли. Свинцовые аккумуляторы боятся сильных сотрясений и толчков. Во время заряда из аккумуляторов выде-

ляются вредные для дыхания пары, поэтому аккумуляторы не следует заряжать в жилом помещении. Промышленностью выпускаются кислотные аккумуляторы многих типов на различные емкости И батареи на различные напряжения, состоящие из нескольких аккумуляторов, соединенных последовательно. Внешний вид кислотного аккумулятора показан на рис. 7.10.

5. Щелочные аккумуляторы

По сравнению с кислотными аккумуляторами **щелочные аккумуляторы обладают следующими достоинствами**: они значительно легче, не боятся толчков и сотрясений, не портятся от коротких замыканий, а также от больших зарядных и разрядных токов, могут длительное время оставаться в разряженном состоянии. Но щелочные аккумуляторы дороже свинцовых и имеют меньшую ЭДС. Они отдают при разряде не более 65 % энергии, полученной во время заряда. Электролитом в щелочных аккумуляторах служит раствор щелочи (едкого кали или едкого натра) с небольшой добавкой едкого лития, который несколько увеличивает емкость. Для этих аккумуляторов применяются железные никелированные сосуды. Пластины представляют собой железные рамки с коробочками из тонкого листового железа, имеющего много отверстий. Эти коробочки наполнены активной массой, состоящей для положительных пластин из гидрата оксида никеля и графита, а для отрицательных пластин — из кадмия и железа. Аккумуляторы с такими пластинами называются **кадмиево-никелевыми**. Кроме того, применяются еще **железо-никелевые** аккумуляторы, у которых активная масса имеет несколько иной состав и не содержит кадмия. Свойства аккумуляторов обоих типов примерно одинаковы.

Положительные пластины обычно соединяются с сосудом аккумулятора, а отрицательные пластины изолируются от него. В каждом аккумуляторе количество положительных пластин на одну больше, чем отрицательных. На рис. 7.11 показан внешний вид одного из щелочных аккумуляторов.



Рис. 7.11. Внешний вид щелочного аккумулятора

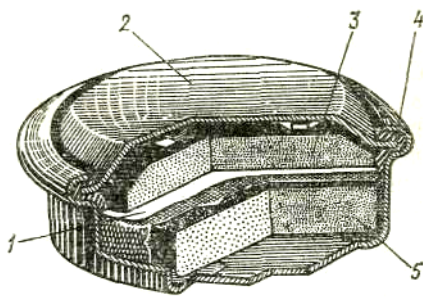


Рис. 7.12. Устройство герметичного кадмиево-никелевого аккумулятора:
1 — сепаратор; 2 — корпус; 3 — отрицательный электрод; 4 — герметизирующая прокладка; 5 — положительный электрод

ЭДС щелочных аккумуляторов ниже, чем кислотных, и менее постоянна. Рабочим значением можно считать 1,2 В. В начале разряда ЭДС достигает 1,4 В, а когда напряжение падает до 1 В, разряд следует считать законченным и надо поставить аккумулятор на заряд. Нормальный заряд щелочных аккумуляторов продолжается

шесть часов, причем ток должен составлять $1/4$ емкости аккумулятора.

Номинальный разрядный ток принимается равным $1/8$ емкости. При необходимости допускается ускоренный заряд.

«Кипение» электролита у щелочных аккумуляторов происходит в течение всего заряда и поэтому не может служить признаком его окончания. Последнее определяется главным образом по продолжительности заряда и по значению ЭДС каждого элемента. Необходимо иметь в виду, что лучше перезарядить щелочной аккумулятор, чем недозарядить его.

Во время заряда и в течение двух-трех часов после него пробки должны быть вынуты из аккумулятора. Электролит у щелочных аккумуляторов имеет неприятную особенность: он образует мелкие кристаллы, которые покрывают внутри все стенки сосуда и «выползают» наружу, загрязняя выводы от пластин. Для устранения этого явления нужно добавить в каждый элемент несколько капель вазелинового масла, а также смазывать вазелином все части на верхней крышке. Желательно менять электролит один раз в шесть месяцев. Срок службы щелочных аккумуляторов составляет не более 1000 циклов заряд-разряд.

В процессе работы при низких или высоких температурах щелочные аккумуляторы заметно снижают емкость. Чтобы уменьшить такую потерю емкости, при температуре выше $+20^{\circ}$ следует в качестве электролита применять раствор едкого натра плотностью 1,16—1,18. Заряд в жаркую погоду рекомендуется осуществлять вечером и ночью. Зимой при температуре ниже -15° нужно применять едкий кали плотностью 1,3. При температуре от -15 до $+20^{\circ}$ применяют раствор едкого кали плотностью 1,18—1,20. Следует помнить, что едкая щелочь, как и кислота, может

испортить одежду и вызвать ожоги. Для нейтрализации щелочи под руками нужно иметь раствор борной кислоты или уксус.

Для питания переносной малогабаритной радиоаппаратуры выпускаются герметичные щелочные (кадмиево-никелевые) аккумуляторы малого размера двух типов: дисковые и цилиндрические. Дисковые аккумуляторы по внешнему виду похожи на герметичные малогабаритные сухие элементы (рис. 7.12). Они имеют стальной никелированный корпус, состоящий из двух частей, между которыми находится герметизирующая резиновая прокладка. Находящиеся внутри корпуса положительный и отрицательный электроды отделены друг от друга сепаратором. Самый маленький дисковый аккумулятор имеет диаметр 11,6 мм, высоту 5,5 мм и массу 2 г.

Цилиндрические малогабаритные аккумуляторы отличаются от дисковых формой корпуса и наличием нескольких положительных и отрицательных пластин, для крепления которых в корпусе имеются кольцевые канавки.

У всех герметичных аккумуляторов напряжение в начале разряда составляет 1,3 В, в конце разряда—1 В. Заряд их рекомендуется проводить в течение 15 ч током, составляющим 0,1 емкости. Эти аккумуляторы могут работать при температуре от -10° до $+50^{\circ}$ °С. Если рабочая температура ниже нуля, то емкость значительно снижается. При -10° емкость вдвое меньше, чем при $+20^{\circ}$ °С.

После 500 циклов заряд-разряд емкость снижается на 50 %. Саморазряд при хранении заряженных аккумуляторов довольно велик. За тридцать суток хранения емкость уменьшается на 40 %.

Помимо одиночных аккумуляторных элементов, выпущены также батареи из нескольких дисковых или цилиндрических аккумуляторов, помещенных в пластмассовый корпус.

Многие десятки лет единственными применяемыми типами аккумуляторов, были кислотные и щелочные (кадмиево-никелевые или железо-никелевые) аккумуляторы. В последнее время стали выпускаться **серебряно-цинковые** щелочные аккумуляторы.

По сравнению со старыми типами эти новые типы аккумуляторов имеют значительно большую емкость, малые объем и массу, очень малый саморазряд, малое внутреннее сопротивление. Они допускают число циклов заряд-разряд до 500. Отдача по емкости у них до 100 % по энергии — до 85 %.

Положительные пластины серебряно-цинкового аккумулятора делаются из серебра и оксида серебра. Отрицательные пластины спрессованы из порошка цинка и оксида цинка. Пластины находятся в сосуде из пластмассы. Электролитом является раствор едкого кали плотностью 1,4. Рабочее напряжение 1,5 В, а в самом начале разряда оно достигает 2 В. В конце разряда напряжение начинает резко снижаться и тогда аккумулятор следует ставить на заряд. Напряжение в течение всего разряда стабильно, и поэтому аккумулятор этого типа можно использовать в качестве источника эталонного напряжения.

Серебряно-цинковые аккумуляторы допускают разряд очень большими токами. В течение 15 мин аккумулятор можно разрядить почти до полного использования емкости. Номинальная рабочая температура составляет от — 30° до +70 °С. Недостатком этих аккумуляторов является высокая стоимость.

Литература

Перечень рекомендуемых учебных изданий, Интернет-ресурсов, дополнительной литературы:

Основные источники:

1.Васильков А.В. Источники электропитания: учебн. пособие для спо / А.В. Васильков, И.А. Васильков. - М.: ФОРУМ, 2012

Дополнительные источники:

1.Ситников А.В.Электротехнические основы источников питания: учебник для студ. СПО - М.: Академия, 2014. – 237с

2.Хрусталева З.А. Источники питания аудиоаппаратуры: учебник для студ. СПО. – М.: Академия, 2009. – 240с

3.Браун М. Источники питания – Киев: Издательство МК «Пресс», 2007.

4.Галкин В.И. Промышленная электроника и микроэлектроника. Учеб.пособие для студентов средних проф. учеб. Заведений / В.И. Галкин, Е.В. Пелевин. – М.: Высшая школа, 2006.

5.Мэк Р. Импульсные источники питания. Теоретические основы проектирования и руководство по практическому применению/Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2008.

6. Источники вторичного электропитания / под редакцией Ю.И. Конева – М.: «Радио и связь», 2007.

7. Левизон С.В. Защита в источниках электропитания РЭА. – М.: «Радио и связь», 2004.

8. Отечественные журналы:

«Радио»

«Схемотехника»

«Ремонт и сервис»

Электронные ресурсы:

<http://window.edu.ru/window/library/>