

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**
Филиал федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Самарский государственный университет путей сообщения» в г.Саратове
Филиал СамГУПС в г. Саратове

КУРС ЛЕКЦИЙ

**ПМ.01 Монтаж, ввод в действие и эксплуатация устройств
транспортного радиоэлектронного оборудования**

**МДК 01.01. Теоретические основы монтажа, ввода в действие и
эксплуатации устройств транспортного радиоэлектронного оборудования**

Тема 1.3 Электропитание устройств связи

для специальности

**11.02.06 Техническая эксплуатация транспортного радиоэлектронного
оборудования(по видам транспорта) (на железнодорожном транспорте)**

Саратов 2023

РАССМОТРЕНО

на заседании методического совета

Протокол №1 от 21.09.2023

СОГЛАСОВАНО

Протокол №1 от 31.08.2023

Председатель ЦМК 11.02.06 Техническая эксплуатация транспортного радиоэлектронного оборудования (по видам транспорта)

_____/Ю.А. Солдатенко/

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора по учебной работе

_____/С.П. Крижановский/

Автор (составитель)

Соболева А.Б. – преподаватель высшей квалификационной категории филиал СамГУПС в г. Саратове

Рецензент:

Глухова И.В.- преподаватель высшей квалификационной категории филиала СамГУПС в г. Саратове

§1. Основные сведения о средствах электропитания

Источником электрической энергии для предприятия связи обычно является энергосистема или электростанция.

Энергетической системой (энергосистемой) называется совокупность электростанций, подстанций и приемников электроэнергии, связанных между собой линиями электрической сети. Часть энергосистем, состоящая из генераторов, распределительных устройств, повышающих и понижающих подстанций, линий электрической сети и приемников электрической энергии, называется электрической системой. Часть электрической системы, состоящая из подстанций и линий различных напряжений, называется электрической сетью.

На рисунке 1 изображена примерная схема энергосистемы. Районная сеть 110 кВ получает электроэнергию от гидроэлектростанции через повышающую подстанцию, линию электропередачи 220 кВ и понижающую подстанцию. Эта сеть получает питание также через линию электропередачи 110 кВ и повышающую подстанцию от тепловой электростанции конденсационного типа, расположенной в районе добычи местного топлива (торфа, угля и т.д.).

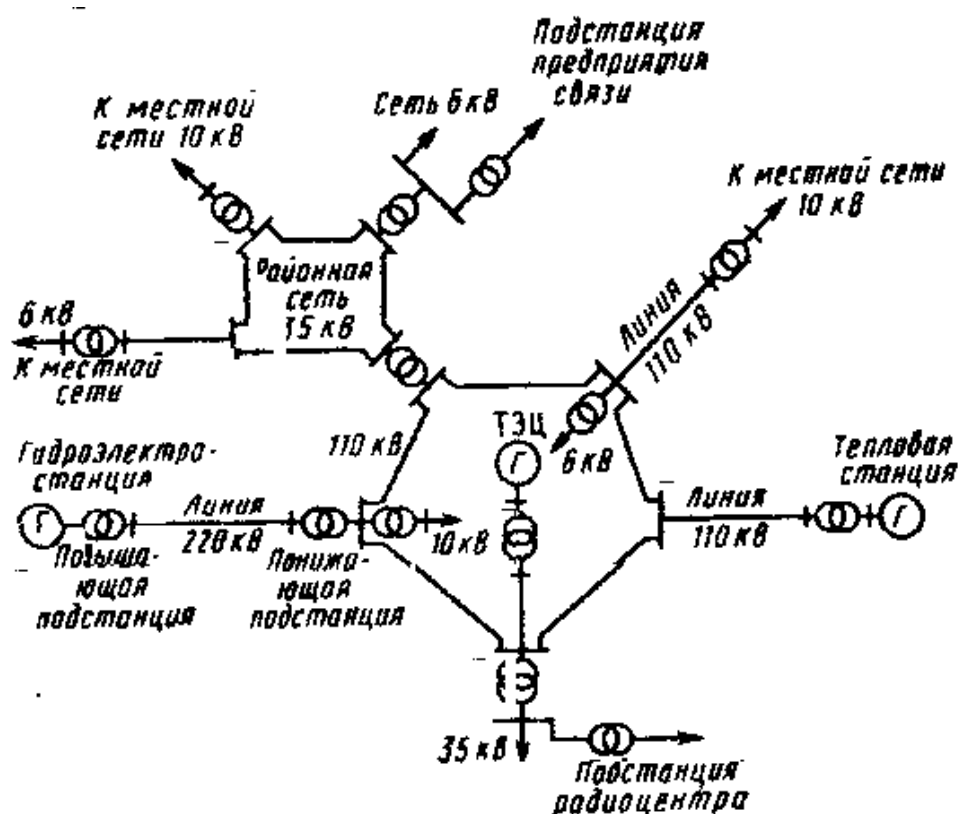


Рисунок 1- Схема энергетической системы

Внутри кольцевой районной сети имеются понижающие подстанции, обслуживающие большой промышленный район. В центре этого района имеется теплоцентраль (ТЭЦ), работающая на привозном топливе и снабжающая потребителей электрической и тепловой энергией. Для связи с сетью ТЭЦ имеет повышающую подстанцию.

От районной сети 110 кВ через понижающую подстанцию питается районная сеть 35 кВ, от которой, в свою очередь, через понизительную подстанцию питаются местные сети 10 кВ или 6 кВ с понижающими трансформаторами для распределительных сетей 380/220 В.

Предприятия связи могут получать электроэнергию как от местной сети 10 или 6 кВ, так и от районной сети 35 кВ.

Для резервирования электропитания на предприятиях связи применяются автоматизированные дизель-генераторные установки на различные мощности с двигателями внутреннего сгорания. Установки могут работать постоянно и запускаться в ход непосредственно у двигателя и ли дистанционно из другого помещения. Если установки применяются как резервные, то они включаются в ход автоматически в случае пропадания напряжения в местной электросети и останавливаются при появлении напряжения сети.

Подстанцией называется электроустановка, предназначенная для преобразования или распределения электрической энергии. В зависимости от назначения подстанции могут быть преобразовательными и распределительными.

Трансформаторные подстанции разделяются на главные понижающие подстанции (ГПП), центральные распределительные подстанции (ЦРП), распределительные пункты (РП), цеховые трансформаторные подстанции или трансформаторные пункты (ТП) и специальные подстанции, например преобразовательные (ПП). Подстанции ГПП потребляют электроэнергию от электростанции или энергосистемы и, понижая напряжение, распределяют электроэнергию между потребителями, но при неизменном напряжении (без трансформации). Распределительные пункты распределяют электроэнергию между потребителями без изменения напряжения. Трансформаторные пункты принимают электроэнергию высокого напряжения (6, 10, 35 кВ) от РТ (или ЦРП) распределяют её по напряжениям 500, 380, 220 В между отдельными предприятиями или нагрузками.

На предприятиях связи устанавливаются тепловые и комплексные трансформаторные подстанции как открытого, так и закрытого типа с одним и двумя силовыми трансформаторами.

Подстанция, полностью собранная в заводских условиях и состоящая из трансформаторов, комплексного распределительного устройства и вспомогательного оборудования, считается комплектной трансформаторной подстанцией (КТП). При наружной установке КТП помещается на бетонном основании высотой 1,5 м от уровня земли и состоит из двух частей – силового трансформатора и распределительного устройства. Подстанции для внутренней установки снабжаются воздушными автоматическими выключателями и разъединителями.

Разъединительное устройство (РУ) представляет собой электрическую установку, предназначенную для приёма и распределения электрической энергии; содержит коммутационные, измерительные и защитные аппараты, соединительные шины и вспомогательное оборудование. Распределительные устройства делятся на открытые и закрытые по тому же принципу, что и подстанции.

Комплектным РУ считается, если оно собрано на заводе и состоит из закрытых шкафов со встроенным в них аппаратами, шинами, и вспомогательным оборудованием. Комплектные РУ изготавливаются на стандартные напряжения, 3, 6, 10, 35 кВ для установки, как в закрытых помещениях, так и на открытом воздухе.

Распределительное устройство напряжением до 1000 В, оборудование которого смонтировано на панелях, установленных на общем каркасе, называется распределительным щитом.

Если по условиям эксплуатации какое-нибудь оборудование РУ должно быть отдельно от остального, то оно устанавливается в специальном помещении – камере. Камера, ограниченная со всех сторон стенами и перекрытиями и имеющая сплошные (не сетчатые) двери, называется закрытой. Открытой называется камера, имеющая проёмы, защищённые полностью или частично не сплошными (сетчатыми) ограждениями.

§2.Классификация конфигурации схем электропитания

Распределительные сети электрической энергии - назначение

Системы распределения электрической энергии или распределительные сети предназначены для

1. Доставки электрической энергии напряжением от 6 кВ до 10 кВ, потребителю.
2. Распределение электрической энергии по подстанциям 380 В -35 кВ.
3. Сбор мощностей теплофикационных и гидравлических подстанций мощностями до сотни мегаватт.

Стоит отметить, что в современных условиях при постоянном росте потребления электроэнергии, стало условным деление **электрических сетей** передачи и распределения электроэнергии по напряжению на системообразующие, системы передачи (протяженные) и системы распределения электроэнергии. Если раньше к системам распределения относились лишь сети напряжением до 35 кВ, то на сегодня к этой классификации можно отнести отдельные сети, 110 и даже 220 кВ.

Именно поэтому, на сегодня, к системам распределения электрической энергии относятся

1. Электрические сети напряжением от 6 до 150 кВ, иногда до 220 кВ.
2. Две или три уровня напряжения после трансформации: сети СН - среднего напряжения 110-150 кВ, которые питаются от сетей ВН (высокого напряжения) 330-750 кВ. Сети низкого напряжения (НН) от 6 до 35 кВ, которые питаются от сетей СН через трансформаторные подстанции СН\НН или напрямую. Через трансформацию ВН\НН.
3. Низшим уровнем напряжения распределительных сетей являются сети напряжением 220-660 В, получаемого при дополнительной трансформации 6-35 кВ\220-66- кВ.

Структура распределительной сети

Структура распределительной сети определяется назначением сети. Так сеть СН 110÷220 кВ, выполняются воздушными линиями электропередачи, включают электрические подстанции районного назначения и включают электростанции малой мощности. Сети низкого напряжения (НН) 380-35000В, выполняются кабельным и воздушным способами и предназначены для распределения и доставки электроэнергии отдельным предприятиям, городам, поселкам и более мелким населенным пунктам.

Конфигурация распределительных сетей

По конфигурации распределительные сети могут быть:

1. Разомкнутыми (радиальными и магистральными);
2. Замкнутыми.

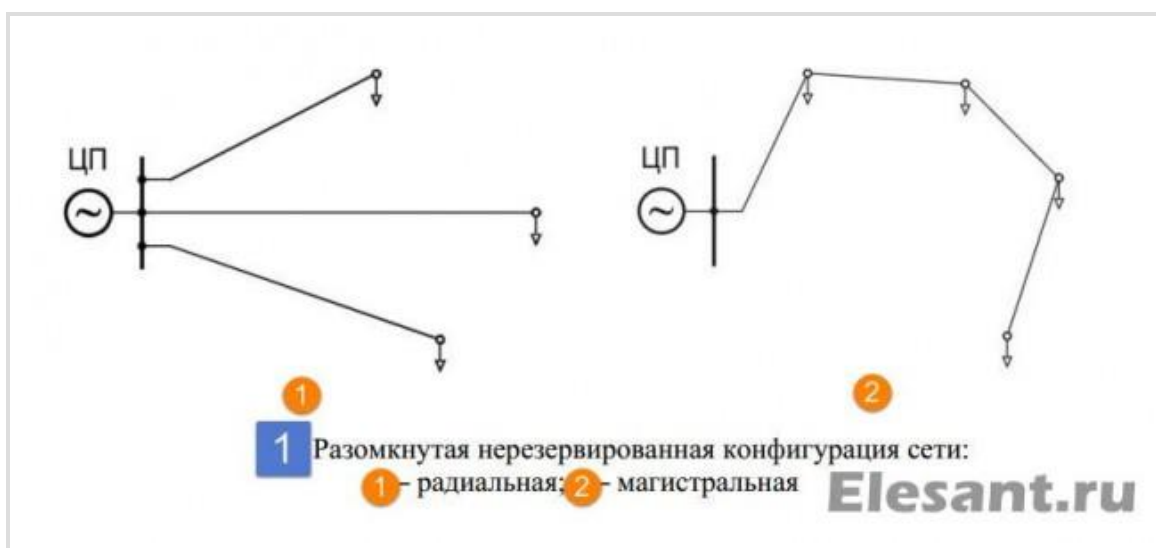


Рисунок 2- Конфигурация сети

По схеме мы видим, что радиальная схема больше по длине и на реализацию радиальной схемы требуется больше, проводников, коммутационного оборудования, опор, изоляторов и т.п. оборудования. Как следствие, радиальная схема РС дороже магистральной схемы. Но по той же схеме, мы видим, что при выходе из строя любого промежуточного участка магистральной сети, обесточит следующие участки сети, что говорит о её меньшей надежности.

Примечание: На самом деле, на практике применяются комбинированные схемы распределительных сетей, называемые резервные распределительные сети.

Резервированные распределительные сети

Для создания надежной системы обеспечения электроэнергией, распределительные сети среднего напряжения (СН) делают по резервным схемам, одновременно используя и радиальную и магистральную схемы.

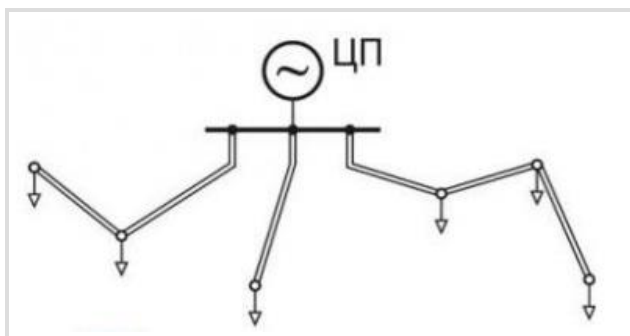


Рисунок 3- Радиально-магистральная резервированная конфигурация схемы сети

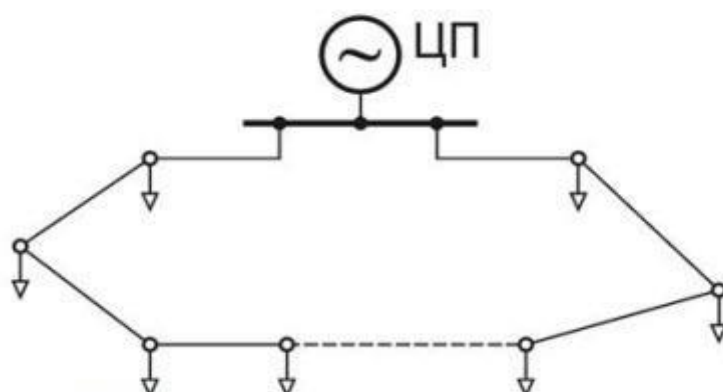


Рисунок 4- Замкнутая кольцевая конфигурация сети с одним центром питания

На рисунках мы видим реализации, радиально-магистральную схему резервной распределительной сети (рис 1.3) и кольцевую замкнутую схему сети с единым центром питания.

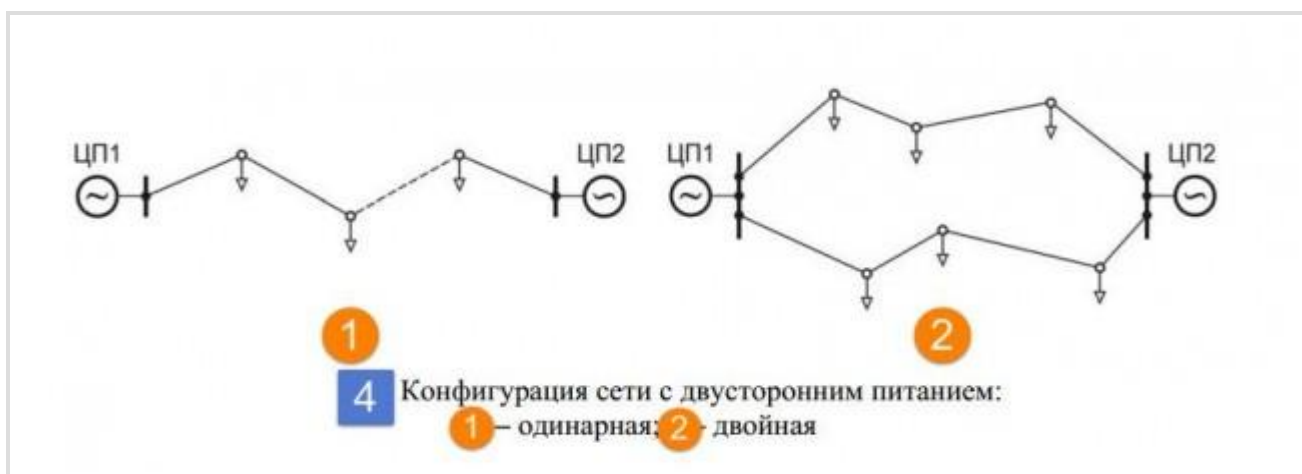


Рисунок 5- Кольцевая замкнутая схема сети

На следующем фото видим, одинарную и двойную конфигурации сети при двустороннем питании.

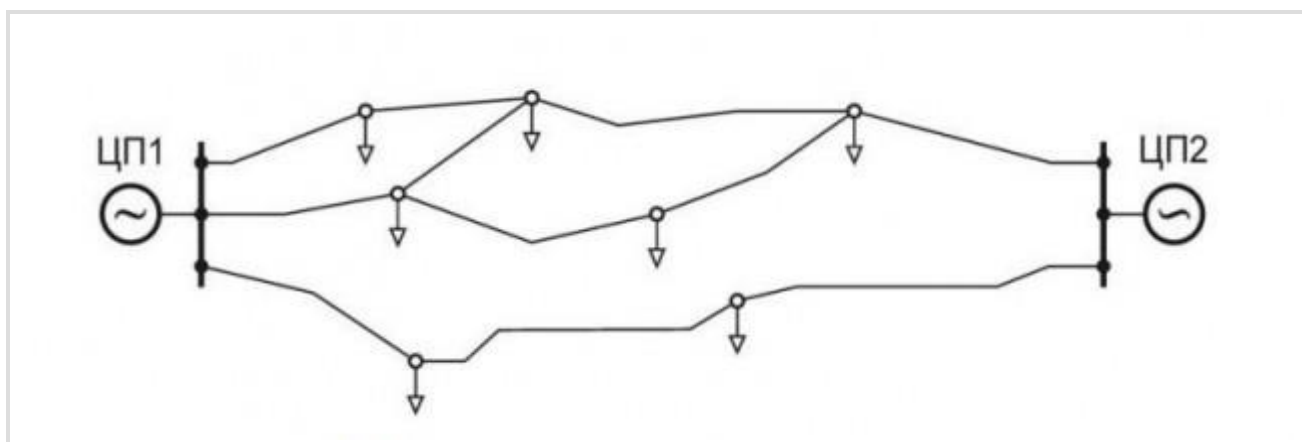


Рисунок 6- Сложно-замкнутая конфигурация сети

А это схема распределительной сети, выполненная по сложно-замкнутой конфигурации с двумя источниками питания (ЦП).

Примечание: ЦП – подстанция. Она принимает электрическую энергию, понижает высокое напряжение распределительной сети способом трансформации (понижающие подстанции) и распределяет электрическую энергию потребителям. Стоит отметить, что есть и повышающие подстанции.

Распределительные сети низкого напряжения (НН)

Распределительные сети низкого напряжения (НН) напряжением 380-10000 Вольт, являются самыми массовыми. В пределах одного сетевого предприятия может насчитываться ни одна сотня трансформаторных подстанций и пунктов. Именно по этому, в таких сетях используются недорогие трансформаторы без автоматики регулирования напряжения.

§3. ИВЭП, классификация и структурные схемы.

Классификация средств электропитания электронных устройств.

Все средства электропитания можно разделить на первичные и вторичные. К **первичным** обычно относят такие средства, которые преобразуют неэлектрическую энергию в электрическую, например, электромеханические генераторы, электрохимические источники – аккумуляторы или гальванические элементы, фотоэлектрические генераторы – солнечные батареи и фотоэлементы, термоэлектрические источники и др. Непосредственное использование первичных источников затруднено тем, что их выходное напряжение в большинстве случаев не поддаётся регулировке, а стабильность его недостаточно высока. Однако для питания электронной аппаратуры в большинстве случаев требуется высокостабильное напряжение с различными номинальными значениями – от единиц вольт до нескольких сотен вольт, а ряде случаев даже выше – до единиц и десятков киловольт.

По этой причине любое электронное устройство содержит **вторичный** источник электропитания, который подключается к одному из первичных источников.

Средства вторичного электропитания электронных устройств, называемые обычно **источниками вторичного электропитания (ИВЭП)** предназначены для формирования необходимых для работы электронных элементов напряжений с заданными характеристиками.

Обобщённая структура ИВЭП приведена на рис.7.

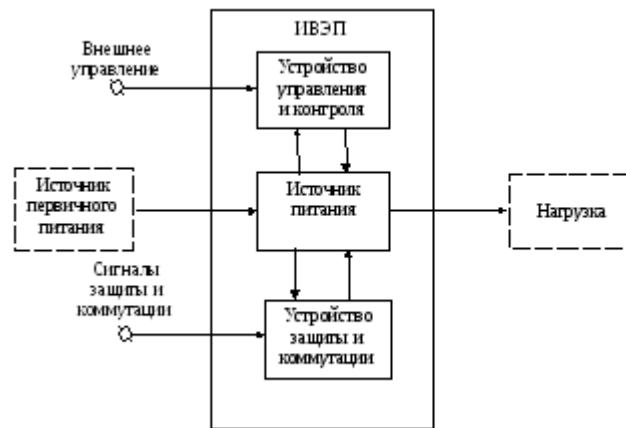


Рисунок 7-Обобщенная структурная схема ИВЭП

Как видно из приведённой на рис. 7 схемы, ИВЭП включается между первичным источником и нагрузкой, поэтому на него воздействуют различные факторы, связанные с изменением характеристик как первичного источника, так и нагрузки. Так, например, при увеличении или понижении напряжения первичного источника ИВЭП должен обеспечивать нормальное функционирование питаемой им электронной аппаратуры.

Устройство управления и контроля, входящее в состав ИВЭП, может быть использовано для изменения характеристик ИВЭП при различных сигналах внешнего или внутреннего управления: дистанционного включения или выключения, перевода в ждущий режим и др. В то же время *устройство защиты и коммутации* позволяет сохранить работоспособность ИВЭП при возникновении различных нестандартных режимов: короткого замыкания в нагрузке, её внезапного отключения, резкого повышения окружающей температуры и др. Эти дополнительные устройства могут быть обеспечены собственными источниками электропитания, включая резервные аккумуляторы или гальванические элементы.

Классификацию ИВЭП можно выполнить по различным признакам: принципу действия, назначению, количеству каналов выходного напряжения, виду используемых первичных источников и др. В зависимости от вида первичного источника электропитания ИВЭП можно разделить на две группы: *инверторные и конверторные*.

Инверторные ИВЭП используются для преобразования напряжения переменного тока в напряжение постоянного тока, т.е. они изменяют не только значение, но и род выходного напряжения. К *инверторным ИВЭП* относятся также преобразователи постоянного напряжения первичного источника в переменное напряжение, питающее нагрузку. Например, к инверторам можно отнести обычный выпрямитель, который преобразует переменное напряжение сети в постоянное выходное напряжение, а также электронный генератор, который преобразует напряжение аккумулятора или гальванического элемента в переменное выходное напряжение питающее электродвигатель.

Конверторные ИВЭП используются для преобразования одного напряжения в другое. Например, к конверторам постоянного напряжения можно отнести обычные электронные стабилизаторы постоянного напряжения, а к конверторам переменного напряжения можно

отнести трансформаторы. Заметим, что любой конвертор может содержать внутри себя инвертор и наоборот.

По принципу действия ИВЭП можно разделить на две группы: **трансформаторные и бестрансформаторные**. В трансформаторных ИВЭП напряжение переменного тока, например силовой сети, вначале изменяется по значению при помощи трансформатора, а затем выпрямляется и стабилизируется. В бестрансформаторных ИВЭП, наоборот, переменное напряжение сети вначале выпрямляется, а затем преобразуется в переменное напряжение более высокой частоты. Точнее эти источники называть несколько иначе: с *трансформаторным* и *бестрансформаторным* входом. Поскольку преобразователи в таких источниках обычно работают в импульсном режиме, то и ИВЭП такого типа часто называют импульсными.

По количеству различных выходных напряжений ИВЭП можно разделить на *одноканальные и многоканальные*. Если в каждом канале используется отдельный стабилизатор выходного напряжения, то говорят, что это многоканальный ИВЭП с индивидуальной стабилизацией. Если же для стабилизации всех выходных напряжений используется выходное напряжение только одного источника (который называется главным или ведущим), то такие источники называются ИВЭП с групповой стабилизацией.

По выходной мощности ИВЭП принято делить на микромощные (1 Вт), маломощные (от 1 до 100 Вт), средней мощности (от 100 Вт до 1 кВт) и мощные (> 1 кВт).

Основные характеристики ИВЭП. При проектировании или выборе ИВЭП необходимо знать их технические и эксплуатационные характеристики. Все характеристики ИВЭП можно разделить на три группы: входные, выходные и эксплуатационные.

К **входным** характеристикам ИВЭП относятся:

- значение и вид напряжения первичного источника питания, например, питающей силовой сети или аккумулятора;

$$\delta_{U_c} = \frac{\Delta U_c}{U_c} ;$$

- нестабильность питающего напряжения
- частоту питающего напряжения и её нестабильность;
- количество фаз источника переменного напряжения;
- допустимый коэффициент гармоник питающего напряжения.

К **выходным** характеристикам ИВЭП обычно относят:

- значения выходных напряжений;

$$\delta_{U_{\text{вых}}} = \frac{\Delta U_{\text{вых}}}{U_{\text{вых}}} ;$$

- нестабильность выходных напряжений
- ток нагрузки и выходную мощность по каждому каналу;

- наличие гальванической изоляции между входом и выходом;
- наличие защиты от перегрузки или повышения выходного напряжения.

К **эксплуатационным** характеристикам ИВЭП обычно относят:

- диапазон рабочих температур;
- допустимую относительную влажность;
- диапазон допустимых давлений окружающей атмосферы;
- допустимые механические нагрузки;
- коэффициент полезного действия ИВЭП;
- удельную мощность;
- надёжность.

Типовые структурные схемы ИВЭП. Структура ИВЭП зависит от типа первичного источника электрической энергии. Все используемые первичные источники можно разделить на две большие группы: источники переменного напряжения и источники постоянного напряжения. Источники переменного напряжения обычно вырабатывают напряжение гармонической формы с фиксированной частотой 50, 400 или 1000 Гц и фиксированными значениями 110, 127, 220 или 380 В. Источниками постоянного напряжения могут быть аккумуляторы или солнечные батареи. Аккумуляторные батареи обычно имеют также фиксированное напряжение из ряда: 6, 12, 24 или 48 В.

Структурные схемы ИВЭП, использующих электроэнергию, получаемую от сети переменного напряжения через силовой трансформатор, приведены на рис.2. Такие ИВЭП можно разделить на три группы: нерегулируемые, регулируемые и стабилизированные.

Схема нерегулируемого ИВЭП с трансформаторным входом приведена на рис. 2.а. Она состоит из силового сетевого трансформатора, нерегулируемого выпрямителя и фильтра пульсаций. Эта схема является простейшей и используется в тех случаях, когда требования к удельной мощности и качеству выходных напряжений невысокие.

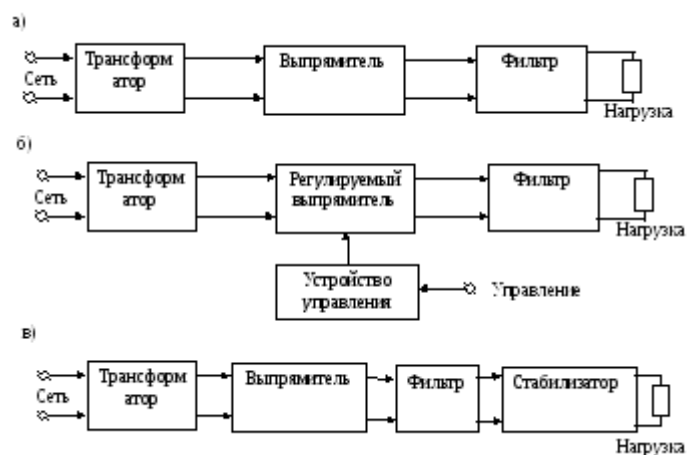


Рисунок 8- Структурные схемы ИВЭП с трансформаторным входом: с нерегулируемым выпрямителем (а); с регулируемым выпрямителем (б) и со стабилизатором (в).

Если требуется изменять выходное напряжение, то в схему вводится *регулируемый выпрямитель*, как показано на рис. 8.б. Для регулировки выходного напряжения наиболее часто используются тиристорные выпрямители. Основным недостатком такого ИВЭП является необходимость в периодической регулировке выходного напряжения при изменении напряжения сети, что выполняется оператором.

От этого недостатка свободен *ИВЭП со стабилизатором*, схема которого приведена на рис. 8.в. В эту схему после фильтра включается стабилизатор с непрерывным или импульсным регулированием выходного напряжения. Удельная мощность такого ИВЭП не велика по двум основным причинам: наличию силового трансформатора, работающего на частоте силовой сети, и необходимости использования стабилизатора.

Совершенствование ИВЭП с целью повышения их КПД и увеличения удельной мощности привело к созданию *импульсных ИВЭП*, в состав которых входят высокочастотные инверторы напряжения. Структурные схемы таких ИВЭП с одним выходным каналом приведены на рис. 9.

На рис.9.а приведена схема ИВЭП, содержащего нерегулируемый сетевой выпрямитель (НСВ) и конвертор выпрямленного напряжения сети. Конвертор состоит из регулируемого инвертора (РИ), работающего на повышенной частоте (обычно 20...100 кГц), трансформатора выпрямительного узла (ТВУ) и высокочастотного фильтра (ВФ). Для стабилизации выходного напряжения используется схема управления (СУ).

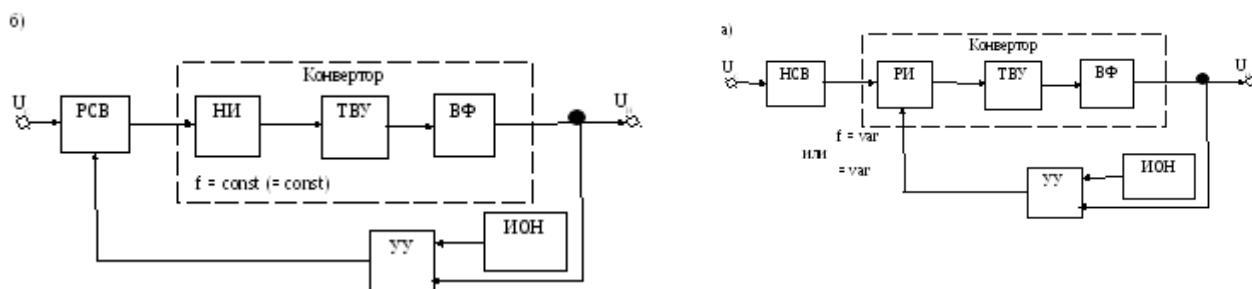


Рисунок 9- Структурные схемы импульсных ИВЭП с регулируемым инвертором (а) и регулируемым сетевым выпрямителем (б).

В схеме управления сравниваются выходное напряжение U_H ИВЭП и напряжение опорного источника ИОН. Разность этих напряжений, называемая сигналом ошибки, используется для регулировки частоты РИ ($f = \text{var}$) или скважности импульсов при их неизменной частоте ($\mathcal{V} = \text{var}$). Конвертор, выполненный на базе одноконтурного трансформаторного инвертора, называют трансформаторным одноконтурным конвертором (ТОК). Конвертор, выполненный на базе двухконтурного трансформаторного инвертора, называют трансформаторным двухконтурным конвертором (ТДК).

На рис. 9.б приведена схема ИВЭП с регулируемым сетевым выпрямителем (РСВ) и нерегулируемым инвертором (НИ). Остальные узлы в этой схеме имеют тоже назначение (и те же обозначения), что и в на рис. 9.а. Отличительной особенностью этой структурной схемы является использование нерегулируемого инвертора НИ. Стабилизация выходного напряжения в этой схеме обеспечивается за счет регулирования напряжения на входе

конвертора с помощью РСВ, который обычно выполняется на тиристорах с фазовым регулированием.

Для схемы, приведённой на рис. 9.а, характерным является то, что инвертор должен быть рассчитан на работу с выпрямленным напряжением сети, которое имеет максимальное значение около 300 В для однофазной сети и около 530 В для трёхфазной сети 220/380 В. Кроме того, изменение частоты или скважности импульсов инвертора РИ приводит к ухудшению фильтрации выходного напряжения. В результате увеличиваются массогабаритные показатели фильтра ВФ, так как его параметры рассчитываются исходя из минимального коэффициента заполнения импульсов (скважности) $\mathcal{U}_{\min}$ при условии непрерывности тока в нагрузке.

Положительным свойством схемы рис. 9.а является совмещение функций преобразования напряжения и стабилизации выходного напряжения U_H . Это позволяет упростить схему УУ, так как уменьшается число управляемых ключей. Кроме того, наличие паузы позволяет устранить сквозные токи в ключах инвертора.

Достоинством схемы приведённой на рис. 9.б, является возможность обеспечения работы инвертора, при пониженном напряжении (обычно его снижают в 1,5...2 раза), поэтому питание инвертора производится напряжением 130...200 В. Это существенно облегчает работу транзисторных ключей инвертора. Другим достоинством этой схемы является то, что инвертор может работать с максимальным коэффициентом заполнения $\mathcal{U}_{\max}$ импульсов и, следовательно, упрощается фильтрация выходного напряжения. КПД и удельная мощность обеих схем отличаются незначительно.

§4. Системы передачи и распределения электрической энергии

Передача мощности от удаленных электростанций на первых этапах развития межсистемных межсистемной связи выполняются в виде неразветвленной электропередачи напряжением (330) 500 ÷ 1150 кВ (рисунок 10). Мощные КЭС или ГЭС имеют блочную схему. К каждому трансформатору присоединяют от одного до трех генераторов, отдающих энергию на шины 500-150 кВ. Далее энергия передается по длинной линии, через понижающую подстанцию в приемную систему, часть нагрузки которой обеспечивается собственными генерирующими станциями (рис. 10)

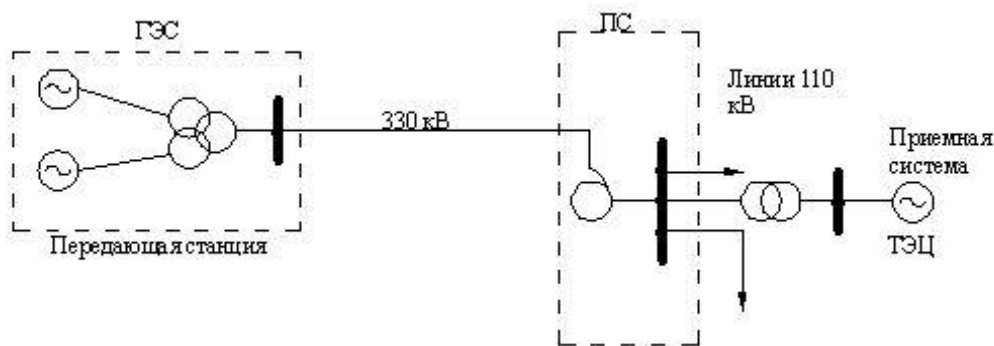


Рисунок 10- Неразветвленная схема передачи электроэнергии

Если на станции несколько блоков и связующая линия многоцепная, то электропередачи могут выполняться на основе блочной или связной схем. В блочной схеме (рисунок 11)

дальняя передача мощности осуществляется по отдельным поперечно не связанным электропередам (блокам) на общую группу шин (подстанций) приемной системы, соединенных между собой связями 110-220 кВ.

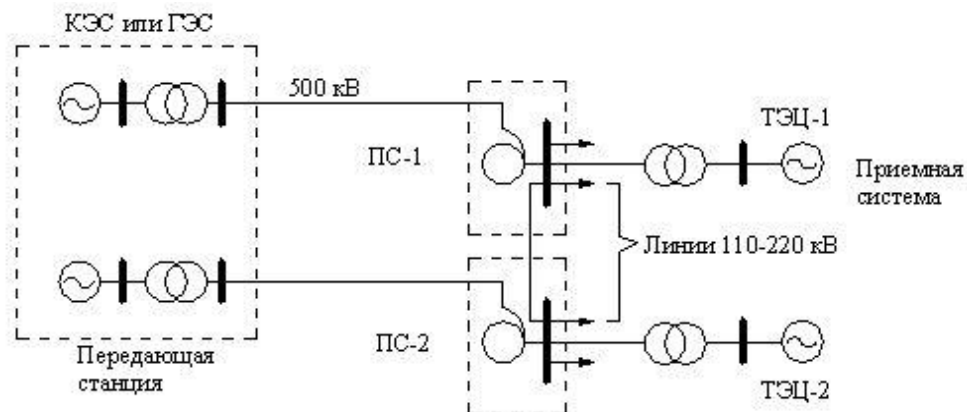


Рисунок 11- Блочная схема передачи электроэнергии

Эти связи и станции приемной системы должны удовлетворять потребность мощности в случае выхода из строя какого-либо блока. При отключении цепи (блока) авария локализуется на одной из станций, однако приемная система полностью лишается соответствующей части мощности передающей станции. В связанной схеме (рисунок 12) обеспечивающей большую надежность электроснабжения, многоцепная дальняя ЛЭП имеет вдоль своей трассы несколько соединений – переключательных пунктов (ПП) – между отдельными цепями, делящими длинную линию на короткие участки (250-350 км). Сооружение ПП сопровождается возрастанием количества применяемых дорогостоящих выключателей. Отключение отдельной линии участка сети между переключательными пунктами незначительно увеличивает суммарное сопротивление, что позволяет сохранить передачу заданной мощности по передаче мощности или пропускной способности электропередачи.

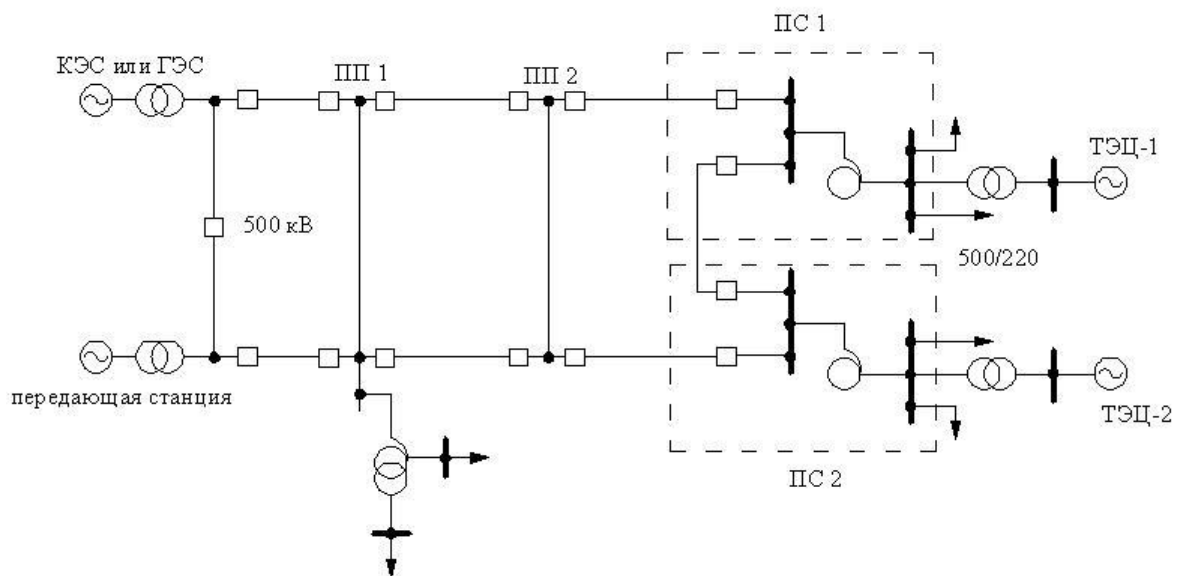


Рисунок 12- Связная схема передачи электроэнергии

На рисунке 13 изображена упрощенная схема компенсированной ЛЭП 500 кВ повышенной пропускной способности.

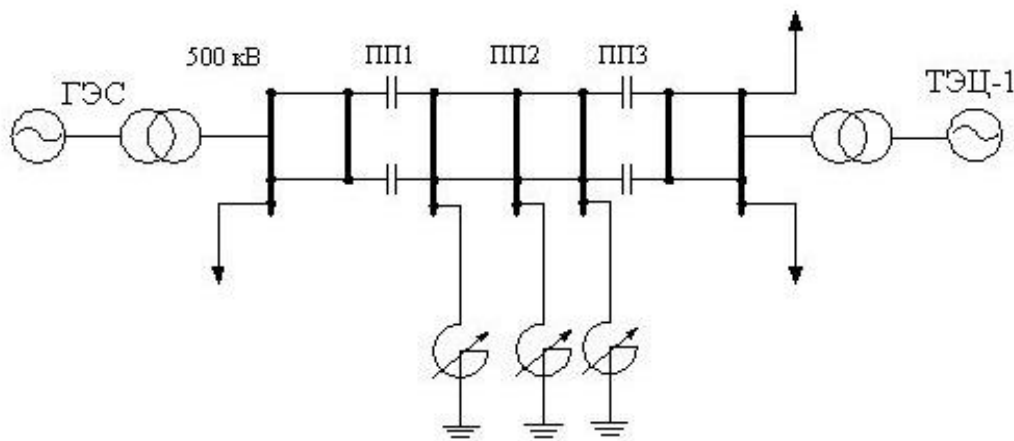
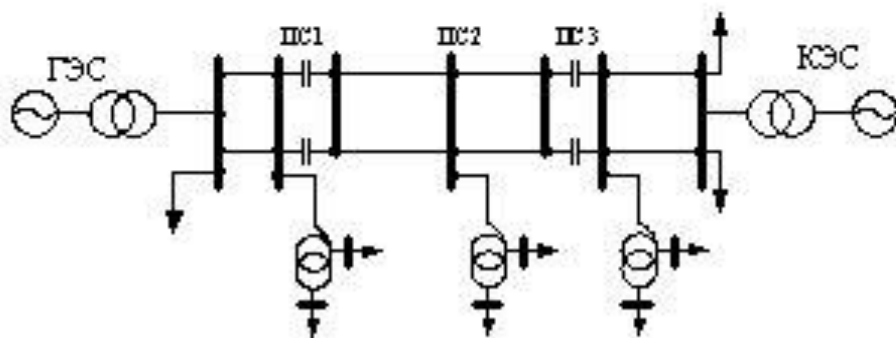


Рисунок 13- Принципиальная схема компенсированной электропередачи

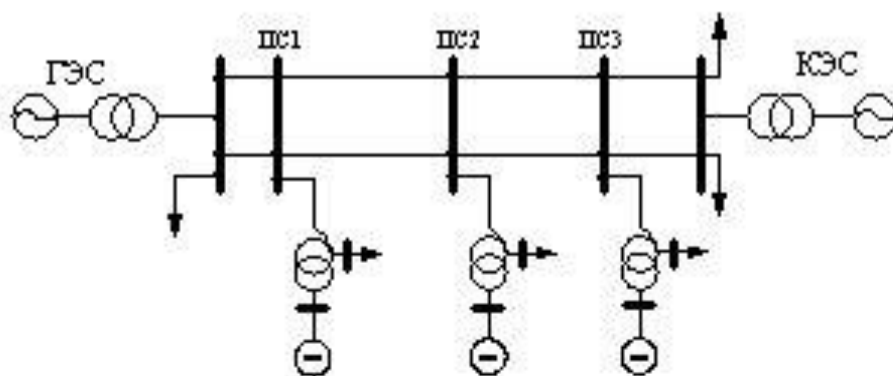
По длинной компенсированной линии при максимальной нагрузке экономически нецелесообразно передавать реактивную мощность. Для ее регулирования на приемной подстанции и в некоторых случаях на промежуточных подстанциях или ПП устанавливают источники реактивной мощности (компенсирующие устройства)-синхронные, статические тиристорные компенсаторы.

Указанные мероприятия по повышению пропускной способности электропередачи являются достаточно долгими. Опыт, показал, что при возникновении новых промышленных районов более целесообразным является сооружение линии электропередачи с промежуточными подстанциями, включенными вдоль нее. Подстанции могут совмещаться с переключательными пунктами линии или создаваться вновь (рисунок 14, а). Такая электропередача обладает большой устойчивостью, не требует установки реакторов и т.п. стоимость ЛЭП снижается.

На рисунке 5 изображены упрощенные схемы электропередачи 500 кВ с включенными вдоль линии промежуточными подстанциями ПС1-ПС3. Для повышения устойчивости электропередачи в линию включают последовательно конденсаторы (УПК) (рис. 14,а) или компенсаторы (синхронные или статические) на промежуточных подстанциях (рисунок 14, б)



а) Схема применения УПК



б) Схема со статическими или синхронными компенсаторами

Рисунок 14- Принципиальная схема дальней электропередачи переменного тока 500 кВ с промежуточными подстанциями

Наряду с отмеченными, применяют устройства автоматического регулирования: автоматическое регулирование возбуждения генераторов и синхронных компенсаторов, быстродействующее регулирование мощности турбин, регулирование напряжения по концам электропередачи, быстродействующие выключатели и релейную защиту и др., что способствует повышению устойчивости и пропускной способности электропередачи.

Рассмотренные схемы линий электропередачи (рис. 1-5) позволяют доставить электроэнергию потребителям от двух генерирующих источников и называются электропередачами с двусторонним питанием. По мере развития передающей сети в промежуточных пунктах магистральной сети наряду с понижающими подстанциями подключается отдельная линия электропередачи, имеющая генерирующие источники, с оборотом или выдачей мощности (рис.15). В итоге формируется узловая система с тремя центрами питания и более высокой устойчивостью и пропускной способностью. В дальнейшем магистральные системообразующие сети, присоединены к двум-трем центрам питания, усложняются и преобразуются в замкнутые многоконтурные передающие сети с сосредоточенными нагрузками (рис. 16). Замкнутые сети обеспечивают наибольшую надежность, поскольку авария (отключение) на каком-либо участке сети имеет последствия (например, ограничение потребляемой мощности) только для потребителей, непосредственно подключенных к этому участку.

В системах передачи электроэнергии с сосредоточенными нагрузками непрерывность электроснабжения не может быть нарушена отдельной аварией, т.к. электроснабжение подстанций ПС1-ПС4 (центров питания распределительных сетей 6-220 кВ)

осуществляется по двум и более линиям от нескольких независимых источников. Однако в замкнутых сетях более сложна, чем в разомкнутых релейная защита и автоматика.

Внутрисистемные передачи электроэнергии, осуществляемые магистральными одно-двухцепными воздушными линиями 220-330 кВ, обеспечивают связь отдельно расположенных электростанций и центров питания 6-220 кВ распределительных сетей.

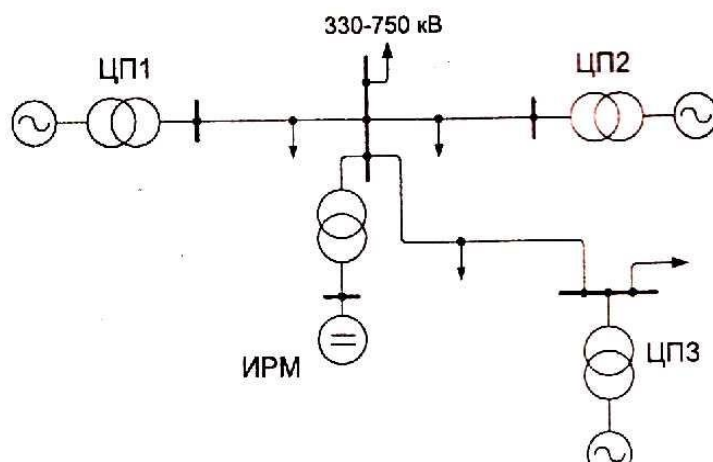


Рисунок 15- Узловая схема сети электропередач 330-750 кВ с тремя центрами питания

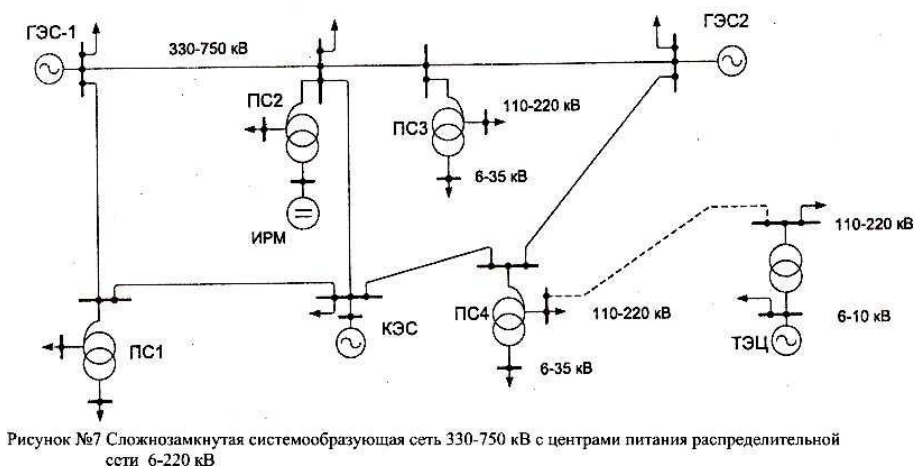


Рисунок №7 Сложнозамкнутая системообразующая сеть 330-750 кВ с центрами питания распределительной сети 6-220 кВ

§5. Устройство и принцип действия трансформаторов и эл. реакторов

Назначение трансформатора. Трансформатором называется статический электромагнитный аппарат, преобразующий переменный ток одного напряжения в переменный ток другого напряжения той же частоты.

Трансформаторы позволяют значительно повысить напряжение, вырабатываемое источниками переменного тока, установленными на электрических станциях, и осуществить передачу электроэнергии на дальние расстояния при высоких напряжениях (110, 220, 500, 750 и 1150 кВ). Благодаря этому сильно уменьшаются потери энергии в проводах и обеспечивается возможность значительного уменьшения площади сечения проводов линий электропередачи.

В местах потребления электроэнергии высокое напряжение, подаваемое от высоковольтных линий электропередачи, снова понижается трансформаторами до сравнительно небольших значений (127, 220, 380 и 660 В), при которых работают электрические потребители, установленные на фабриках, заводах, в депо и жилых домах. На э. п. с. переменного тока трансформаторы применяют для уменьшения напряжения, подаваемого из контактной сети к тяговым двигателям и вспомогательным цепям.

Кроме трансформаторов, применяемых в системах передачи и распределения электроэнергии, промышленностью выпускаются трансформаторы: тяговые (для э. п. с), для выпрямительных установок, лабораторные с регулированием напряжения, для питания радиоаппаратуры и др. Все эти трансформаторы называют силовыми.

Трансформаторы используют также для включения электроизмерительных приборов в цепи высокого напряжения (их называют измерительными), для электросварки и других целей. Транс-

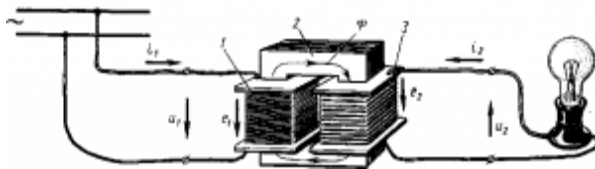


Рисунок 17-Схема включения однофазного трансформатора

форматоры бывают однофазные и трехфазные, двух- и многообмоточные.

Принцип действия трансформатора. Действие трансформатора основано на явлении электромагнитной индукции. Простейший трансформатор состоит из стального магнитопровода 2 (рис. 17) и двух расположенных на нем обмоток 1 и 3. Обмотки выполнены из изолированного провода и электрически не связаны. К одной из обмоток подается электрическая энергия от источника переменного тока. Эту обмотку называют *первичной*. К другой обмотке, называемой *вторичной*, подключают потребители (непосредственно или через выпрямитель).

При подключении трансформатора к источнику переменного тока (электрической сети) в витках его первичной обмотки протекает переменный ток i_1 , образуя переменный магнитный поток Φ . Этот поток проходит по магнитопроводу трансформатора и, пронизывая витки первичной и вторичной обмоток, индуцирует в них переменные э. д. с. e_1 и e_2 . Если к вторичной обмотке присоединен какой-либо приемник, то под действием э. д. с. e_2 по ее цепи проходит ток i_2 .

Э. д. с, индуцированная в каждом витке первичной и вторичной обмоток трансформатора, согласно закону электромагнитной индукции зависит от магнитного потока, пронизывающего виток, и скорости его изменения. Магнитный поток каждого трансформатора является определенной величиной, зависящей от напряжения и частоты изменения переменного тока в источнике, к которому подключен трансформатор.

Постоянна также и скорость изменения магнитного потока, она определяется частотой изменения переменного тока. Следовательно, в каждом витке первичной и вторичной обмоток индуцируется одинаковая э. д. с. В результате этого *отношение действующих значений э. д. с. E_1 и E_2 , индуцированных в первичной и вторичной обмотках трансформатора, будет равно отношению чисел витков ω_1 и ω_2 этих обмоток, т. е.*

$$E_1/E_2 = \omega_1/\omega_2.$$

Отношение э. д. с. $E_{вн}$ обмотки высшего напряжения к э. д. с. $E_{нн}$ обмотки низшего напряжения (или отношение чисел их витков) называется *коэффициентом трансформации*,

$$n = E_{вн} / E_{нн} = \omega_{вн} / \omega_{нн}.$$

Коэффициент трансформации всегда больше единицы. Если пренебречь падениями напряжения в первичной и вторичной обмотках трансформатора (в трансформаторах средней и большой мощности они не превышают обычно 2—5 % номинальных значений напряжений U_1 и U_2), то можно считать, что *отношение напряжения U_1 первичной обмотки к напряжению U_2 вторичной обмотки приблизительно равно отношению чисел их витков, т. е.*

$$U_1/U_2 \approx \omega_1/\omega_2$$

Таким образом, подбирая требуемое соотношение между числами витков первичной и вторичной обмоток, можно увеличивать или уменьшать напряжение на приемнике, подключенном к вторичной обмотке. Если необходимо на вторичной обмотке получить напряжение большее, чем подается на первичную, то применяют повышающие трансформаторы, у которых число витков во вторичной обмотке больше, чем в первичной.

В понижающих трансформаторах, наоборот, число витков вторичной обмотки меньше, чем в первичной.

Трансформатор не может осуществить преобразование напряжения постоянного тока. При подключении его первичной обмотки к сети постоянного тока в трансформаторе создается постоянный по величине и направлению магнитный поток, который не может индуцировать э. д. с. в первичной и вторичной обмотках. Поэтому не будет происходить передачи электрической энергии из первичной обмотки во вторичную.

При подключении первичной обмотки трансформатора к сети переменного тока через эту обмотку проходит некоторый ток, называемый *током холостого хода*. При включении нагрузки по вторичной обмотке трансформатора начинает проходить ток, при этом увеличивается и ток, проходящий по первичной обмотке. Чем больше нагрузка трансформатора, т. е. электрическая мощность и ток i_2 , отдаваемые его вторичной

обмоткой подключенным к ней приемникам, тем больше электрическая мощность и ток i_1 , поступающие из сети в первичную обмотку.

Ввиду того что потери мощности в трансформаторе обычно малы, можно приближенно принять, что мощности в первичной и вторичной обмотках одинаковы. В этом случае можно считать, что токи в обмотках трансформатора приблизительно обратно пропорциональны напряжениям: $I_1/I_2 \approx U_2/U_1$ или что токи в обмотках трансформатора обратно пропорциональны числам витков первичной и вторичной обмоток: $I_1/I_2 \approx N_2/N_1$. Это означает, что в повышающем трансформаторе ток во вторичной обмотке меньше, чем в первичной (во столько раз, во сколько напряжение U_2 больше напряжения U_1), а в понижающем ток во вторичной обмотке больше, чем в первичной. Поэтому в трансформаторах обмотки высшего напряжения выполняются из более тонких проводов, чем обмотки низшего напряжения.

§6. Режимы работы трансформаторов и электрических реакторов

Режим холостого хода. При разомкнутой вторичной обмотке трансформатор работает в режиме холостого хода. Ток холостого хода i_0 , проходящий по первичной обмотке, имеет две составляющие: активную i_{0a} и реактивную i_{0p} . При этом

$$\dot{I} = \dot{I}_{0a} + \dot{I}_{0p}$$

Реактивная составляющая называется намагничивающим током, этот ток создает магнитный поток в магнитопроводе трансформатора. Активная составляющая обеспечивает поступление в трансформатор электрической энергии, необходимой для компенсации потерь энергии в стали магнитопровода. Она невелика, поэтому ток холостого хода практически можно считать равным намагничивающему току: $I_0 \approx I_{0p}$. При проектировании трансформаторов магнитное сопротивление магнитопровода стремятся сделать малым, чтобы ток холостого хода для мощных трансформаторов составлял 3—4%, а трансформаторов средней мощности — 8—10% номинального тока.

Э. д. с, индуцированные в первичной и вторичной обмотках, согласно закону электромагнитной индукции пропорциональны скорости изменения магнитного потока. Следовательно, они пропорциональны максимальному значению магнитного потока Φ_m и частоте его изменения. В каждом витке первичной и вторичной обмоток индуцируется э. д. с, действующее значение которой $E_B = 4,44 f \Phi_m$, где $4,44 = 2\sqrt{2}$ — постоянная.

Соответственно:

$$E_1 = 4,44 f \omega_1 \Phi_m; E_2 = 4,44 f \omega_2 \Phi_m$$

При холостом ходе э. д. с. E_1 практически равна питающему напряжению U_1 , так как падение напряжения в первичной обмотке, создаваемое небольшим током холостого хода, мало. Если изменяется напряжение U_1 , то будут меняться э. д. с. E_1 , магнитный поток Φ и ток холостого хода I_0 . Зависимость э. д. с. E_1 от тока холостого хода называется *характеристикой холостого хода* (рис. 221, а). При малых напряжениях U_1 и э. д. с. E_1 магнитный поток трансформатора мал, и для его создания требуется небольшой ток холостого хода. В этом случае магнитная система трансформатора не насыщена и ток I_0 возрастает пропорционально U_1 (так же как и ток возбуждения в генераторе

постоянного тока). При дальнейшем увеличении напряжения U_1 магнитная цепь трансформатора насыщается и ток I_0 начинает расти быстрее, чем э. д. с. E_1 . Значительное увеличение напряжения U_1 выше номинального недопустимо, так как при этом резко увеличивается ток холостого хода.

Нагрузочный режим. При подключении нагрузки Z_H к вторичной обмотке трансформатора (рис. 18) он начинает отдавать нагрузке некоторую мощность. Соответственно увеличивается и мощность, получаемая первичной обмоткой из питающей сети. Следовательно, при увеличении тока i_2 во вторичной обмотке возрастает и ток i_1 в первичной обмотке.

Магнитный поток трансформатора определяется значением питающего напряжения U_1 и практически не зависит от нагрузки. Поэтому результирующая м. д. с, создаваемая при нагрузке то-

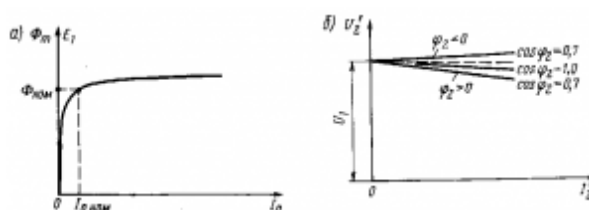


Рисунок 18- Характеристики силовых и выпрямительных трансформаторов: а — холостого хода; б— внешние ($\varphi_2 > 0$ — активно-индуктивная нагрузка, ($\varphi_2 < 0$ — активно-емкостная)

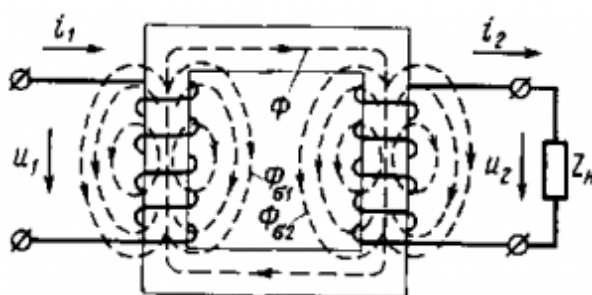


Рисунок 19- Схема магнитных потоков в трансформаторе при нагрузке

ками i_1 , и i_2 , должна оставаться такой же, как и при холостом ходе:

$$F_1 + F_2 = F_0$$

где

$F_1 = I_1 \omega_1$ — м. д. с. первичной обмотки при нагрузке;
 $F_2 = I_2 \omega_2$ — м. д. с. вторичной обмотки при нагрузке;
 $F_0 = I_0 \omega_0$ — м. д. с. первичной обмотки при холостом ходе.

Уравнение (78) называется уравнением равновесия магнитодвижущих сил трансформатора. Если поделить обе его части на ω_1 , то получим: $\dot{I}_1 = \dot{I}_0 - \dot{I}_2 \omega_2 / \omega_1$, откуда следует, что наличие тока I_2 во вторичной обмотке трансформатора вызывает автоматически увеличение тока I_1 , в первичной обмотке. Обычно в трансформаторах большой и средней мощности ток I_0 составляет

несколько процентов от номинального значения тока I_0 . Поэтому при нагрузках, близких к номинальной, можно считать, что $\dot{I}_1 \approx \dot{I}_2 \omega_2 / \omega_1$

Токи i_1 и i_2 , проходя по обмоткам трансформатора, создают в них падения напряжения — активные и реактивные (индуктивные). Активные падения напряжения возникают в результате прохождения токов i_1 и i_2 по активным сопротивлениям R_1 и R_2 обмоток. Реактивные падения напряжения обуславливаются действием потоков рассеяния $\Phi_{\sigma 1}$ и $\Phi_{\sigma 2}$, создаваемых токами i_1 и i_2 . В отличие от основного потока Φ , который замыкается по сердечнику и сцеплен одновременно с обеими обмотками, потоки $\Phi_{\sigma 1}$ и $\Phi_{\sigma 2}$ сцеплены каждый только со своей собственной обмоткой и индуцируют в них э. д. с. самоиндукции e_{L1} и e_{L2} . Эти э. д. с, как было показано в § 51, создают индуктивные сопротивления X_1 и X_2 обмоток, в которых при прохождении токов i_1 и i_2 возникают падения напряжения.

Для определения изменения вторичного напряжения трансформатора при нагрузке напряжения U_2 обычно приводят к первичному, умножая его на коэффициент трансформации п. т. е. $U'_2 = U_2 n$. Точно так же приводят к первичной обмотке ток I_2 , умножая его на $1/n$, т. е. $I'_2 = I_2 / n$. Величины U'_2 и I'_2 называются приведенными вторичным напряжением и вторичным током.

Изменение вторичного напряжения можно определить по внешней характеристике трансформатора (см. рис. 20,б), которая представляет собой графическую зависимость приведенного вторичного напряжения U'_2 от приведенного вторичного тока I'_2 . При холостом ходе приведенное вторичное напряжение U'_2 будет равно

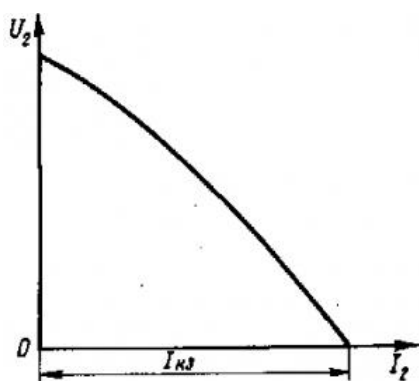


Рисунок 20- Внешняя характеристика сварочного трансформатора

первичному U_1 , при нагрузке же из-за падений напряжений в сопротивлениях R_1 , R_2 , X_1 и X_2 первичной и вторичной обмоток оно будет меньше U_1 . В трансформаторах средней и большой мощности реактивное падение напряжения обычно в несколько раз превышает активное. Поэтому и активно-индуктивная нагрузка вызывает большее изменение напряжения, чем активная (изменение напряжения возрастает с уменьшением $\cos \varphi_2$ в цепи нагрузки). В трансформаторах малой мощности, наоборот, активное падение напряжения обычно больше реактивного и изменение напряжения уменьшается с увеличением $\cos \varphi_2$.

Обычно изменение напряжения ΔU при работе трансформатора под нагрузкой определяют при номинальном значении первичного напряжения $U_{1ном}$ и выражают в процентах:

$$\Delta u \% = [(U_{1ном} - U_2 n) / U_{1ном}] 100$$

Величину $u\%$ иногда называют относительной потерей напряжения в трансформаторе. В силовых и выпрямительных трансформаторах изменение напряжения при номинальном токе обычно составляет 2—6% (в зависимости от $\cos\varphi_2$).

Короткое замыкание. В паспорте трансформатора указывают не изменение напряжения, которое различно для разных $\cos\varphi_2$, а результирующее падение напряжения в его обмотках при номинальном нагрузочном токе. Это падение напряжения называют напряжением короткого замыкания, и его можно определить опытным путем, если питать трансформатор с замкнутой накоротко вторичной обмоткой пониженным напряжением U_K (опыт короткого замыкания). В этом случае напряжение U_K будет равно такому напряжению U_1 , при котором по обмоткам замкнутого накоротко трансформатора протекают номинальные токи.

Напряжение короткого замыкания является весьма важным эксплуатационным показателем, его выражают в процентах от $U_{\text{ном}}$:

$$u_k\% = (U_k / U_{\text{ном}}) 100$$

Для трансформаторов средней мощности $u_k\% = 5-7\%$, для мощных трансформаторов 6—12%.

Если короткое замыкание происходит в процессе эксплуатации трансформатора при номинальном напряжении, то в обеих обмотках возникают большие токи, превышающие номинальное значение в 10—20 раз, при этом повышается температура обмоток и на них действуют большие электромагнитные силы. Такое замыкание является аварийным и требует специальной защиты, которая должна отключить трансформатор в течение долей секунды. Установившийся ток короткого замыкания трансформатора в общем случае

$$I_k = I_{\text{ном}} (100 / u_k\%)$$

где $I_{\text{ном}}$ — номинальный ток первичной обмотки.

Для ограничения токов короткого замыкания мощные трансформаторы выполняют с повышенными значениями $u_k\%$, т. е. с повышенным внутренним индуктивным сопротивлением обмоток.

Характеристики сварочных трансформаторов. В некоторых случаях желательно, чтобы трансформатор имел крутопадающую внешнюю характеристику (рис. 21). Такую характеристику должны, например, иметь сварочные трансформаторы, так как она обеспечивает устойчивое горение электрической дуги. Кроме того, при электросварке режим короткого замыкания является нормальным рабочим режимом и при крутопадающей характеристике ток $I_{\text{кз}} \approx I_{\text{ном}}$.

Для получения крутопадающей характеристики последовательно с вторичной обмоткой трансформатора включают реактор с большим индуктивным сопротивлением (рис. 21, а). В некоторых конструкциях сварочных трансформаторов магнитопровод добавочного реактора совмещают с магнитопроводом трансформатора (рис. 21, б). Регулирование тока I_2 электрической дуги осуществляется в таких трансформаторах двумя способами: ступенчатое — путем изменения числа витков вторичной обмотки и плавное — путем изменения воздушного зазора d . При изменении воздушного зазора изменяется индуктивность реактора и, следовательно, наклон внешней характеристики трансформатора.

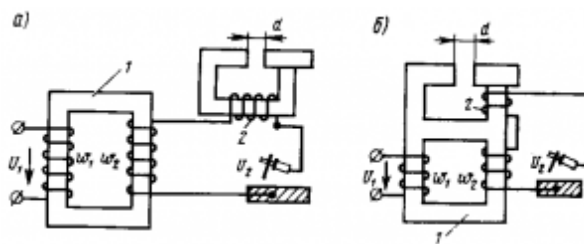


Рисунок 21- Принципиальные схемы сварочных трансформаторов: а —с внешней индуктивностью (реактором), б – с реактором на общем сердечнике; 1 — трансформатор; 2 — реактор

§7. Устройство и принцип действия трехфазных трансформаторов

Трехфазный ток можно трансформировать тремя совершенно отдельными однофазными трансформаторами. В этом случае обмотки всех трех фаз магнитно не связаны друг с другом: каждая фаза имеет свою магнитную цепь. Но тот же трехфазный ток можно трансформировать и одним трехфазным трансформатором, у которого обмотки всех трех фаз магнитно связаны между собою, так как имеют общую магнитную цепь.

Чтобы уяснить себе **принцип действия и устройства трехфазного трансформатора**, представим себе три однофазных трансформатора, приставленных один к другому так, что три стержня их образуют один общий центральный стержень (рис. 22). На каждом из остальных трех стержней наложены первичные и вторичные обмотки (на рис. 22 вторичные обмотки не изображены).

Предположим, что первичные катушки всех стержней трансформатора совершенно одинаковы и намотаны в одном направлении (на рис. 1 первичные катушки намотаны по часовой стрелке, если смотреть на них сверху). Соединим все верхние концы катушек в нейтраль О, а нижние концы катушек подведем к трем зажимам трехфазной сети.

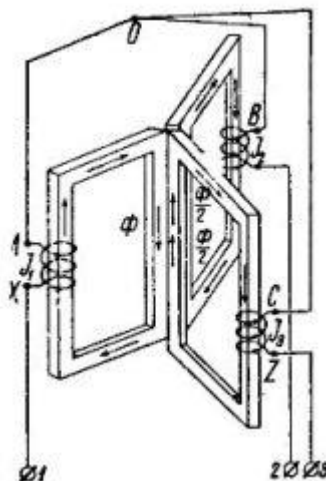


Рисунок 22- Трехфазный трансформатор

Токи в катушках трансформатора создадут переменные во времени магнитные потоки, которые будут замыкаться каждый в своей магнитной цепи. В центральном составном стержне магнитные потоки сложатся и в сумме дадут ноль, ибо эти потоки создаются симметричными трехфазными токами, относительно которых мы знаем, что сумма мгновенных значений их равна нулю в любой момент времени.

Например, если бы в катушке АХ ток I_1 был наибольший и проходил в указанном на рис. 22 направлении, то магнитный поток был бы равен наибольшему своему значению Φ и был направлен в центральном составном стержне сверху вниз. В двух других катушках ВУ и СЗ токи I_2 и I_3 в тот же момент времени равны половине наибольшего тока и имеют обратное направление по отношению к току в катушке АХ (таково свойство трехфазных

токов). По этой причине в стержнях катушек ВУ и СЗ магнитные потоки будут равны половине наибольшего потока и в центральном составном стержне будут иметь обратное направление по отношению к потоку катушки АХ. Сумма потоков в рассматриваемый момент равна нулю. То же самое имеет место и для любого другого момента.

Отсутствие потока в центральном стержне не означает отсутствия потоков в остальных стержнях. Если бы мы уничтожили центральный стержень, а верхние и нижние ярма соединили в общие ярма (см. рис. 23), то поток катушки АХ нашел бы себе путь через сердечники катушек ВУ и СЗ, причем магнитодвижущие силы этих катушек сложились бы с магнитодвижущей силой катушки АХ. В таком случае мы получили бы трехфазный трансформатор с общей магнитной цепью всех трех фаз.

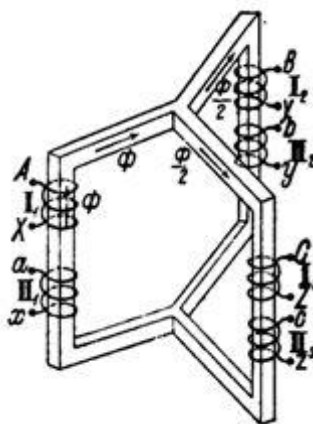


Рисунок 23- Обозначения обмоток

Так как токи в катушках смещены по фазе на $1/3$ периода, то и создаваемые ими магнитные потоки также смещены во времени на $1/3$ периода, т. е. наибольшие значения магнитных потоков в стержнях катушек следуют друг за другом через $1/3$ периода.

Следствием сдвига по фазе магнитных потоков в сердечниках на $1/3$ периода является такой же сдвиг по фазе и электродвижущих сил, индуцируемых как в первичных, так и во вторичных катушках, наложенных на стержнях. Электродвижущие силы первичных катушек почти уравнивают приложенное трехфазное напряжение. Электродвижущие силы вторичных катушек при правильном соединении концов катушек дают трехфазное вторичное напряжение, которое подается во вторичную цепь.

В отношении конструкции магнитной цепи трехфазные трансформаторы, как и однофазные, разделяются на стержневые рис. 23. и броневого.



Стержневые трехфазные трансформаторы подразделяются на:

- а) трансформаторы с симметричной магнитной цепью и
- б) трансформаторы с несимметричной магнитной цепью.

На рис. 24 схематически изображен стержневой трансформатор с симметричной магнитной цепью, а на рис. 25 изображен стержневой трансформатор с несимметричной магнитной цепью. Как видно из рис. 24 из трех железных стержней 1, 2 и 3, схваченных сверху и

снизу железными накладками-ярмами. На каждом стержне находятся первичная I и вторичная II катушки одной фазы трансформатора.

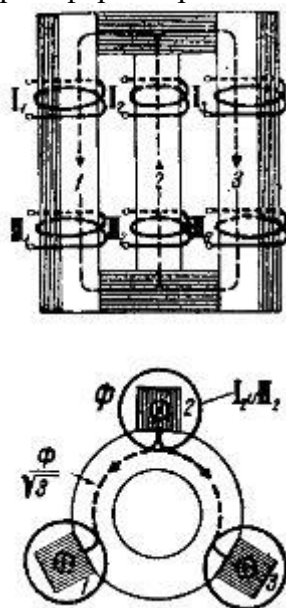


Рисунок 24 – Стержневой трансформатор

У первого трансформатора стержни расположены по вершинам углов равностороннего треугольника; у второго трансформатора стержни расположены в одной плоскости.

Расположение стержней по вершинам углов равностороннего треугольника дает равные магнитные сопротивления для магнитных потоков всех трех фаз, так как пути прохождения этих потоков одинаковы. В самом деле, магнитные потоки трех фаз проходят каждый в отдельности через один вертикальный стержень полностью и через два других стержня по половине.

На рис. 24 пунктиром изображены пути замыкания магнитного потока фазы стержня 2. Легко видеть, что для потоков фаз стержней 1 и 3 пути замыкания их магнитных потоков совершенно одинаковы. Это значит, что у рассматриваемого трансформатора магнитные сопротивления для потоков равны между собою.

Действительно магнитные потоки крайних фаз проходят по несколько более длинным путям, чем поток средней фазы. Кроме того, поток крайних фаз, выйдя из своих стержней, проходит в одной половине ярма полностью, и только в другой половине (после ответвления в средний стержень) проходит его половина. Поток же средней фазы по выходе из вертикального стержня тотчас же разветвляется на две половины, и потому в обеих частях ярма проходит лишь половина потока средней фазы.

Таким образом потоки крайних фаз насыщают ярмо в большей степени, чем поток средней фазы, а потому магнитное сопротивление для потоков крайних фаз больше, чем для потока средней фазы.

Следствием неравенства магнитных сопротивлений для потоков разных фаз трехфазного трансформатора является неравенство токов холостой работы в отдельных фазах при одном и том же фазном напряжении.

Однако при небольшой насыщенности железа ярма и хорошей сборке железа стержней это неравенство токов незначительно. Так как конструкция трансформаторов с несимметричной магнитной цепью значительно проще, чем трансформатора с симметричной магнитной цепью, то первые трансформаторы и нашли себе преимущественное применение.

Трансформаторы с симметричной магнитной цепью встречаются редко.

Рассматривая рис. 3 и 4 и предполагая, что во всех трех фазах проходят токи, легко видеть, что все фазы магнитно связаны друг с другом. Это значит, что магнитодвижущие

силы отдельных фаз влияют друг на друга, чего мы не имеем, когда трехфазный ток трансформируется тремя однофазными трансформаторами.

Вторую группу трехфазных трансформаторов составляют броневые трансформаторы. Броневой трансформатор можно рассматривать как бы состоящим из трех однофазных броневых трансформаторов, приставленных один к другому своими ярами.

На рис. 25 схематически изображен броневой трехфазный трансформатор с вертикально расположенным внутренним стержнем. Легко видеть из рисунка, что плоскостями АВ и CD он может быть разбит на три однофазных броневых трансформатора, магнитные потоки которых могут замыкаться каждый по своей магнитной цепи. Пути прохождения магнитных потоков на рис. 5 указаны пунктирными линиями.

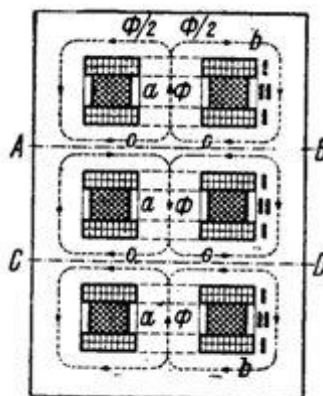


Рисунок 25- Броневой трансформатор

Как видно из рисунка, в средних вертикальных стержнях а, на которых наложены первичная I и вторичная II обмотки одной фазы, проходит полный поток, тогда как в ярах b-b и боковых стенках проходит по половине потока. При одной и той же индукции сечения ярма и боковых стенок должны быть вдвое меньше сечения среднего стержня а.

Что касается магнитного потока в промежуточных частях с-с, то его величина, как мы увидим далее, зависит от способа включения средней фазы.

Главным преимуществом броневых трансформаторов перед стержневыми трансформаторами являются короткие пути замыкания магнитных потоков, а следовательно, небольшие токи холостой работы.

К недостаткам броневых трансформаторов можно отнести, во-первых, малую доступность обмоток для ремонта, в виду того, что они окружены железом, и, во-вторых, худшие условия охлаждения обмотки — по той же причине.

У стержневых трансформаторов обмотки почти целиком открыты и потому более доступны для осмотра и ремонта, а также и для охлаждающей среды.

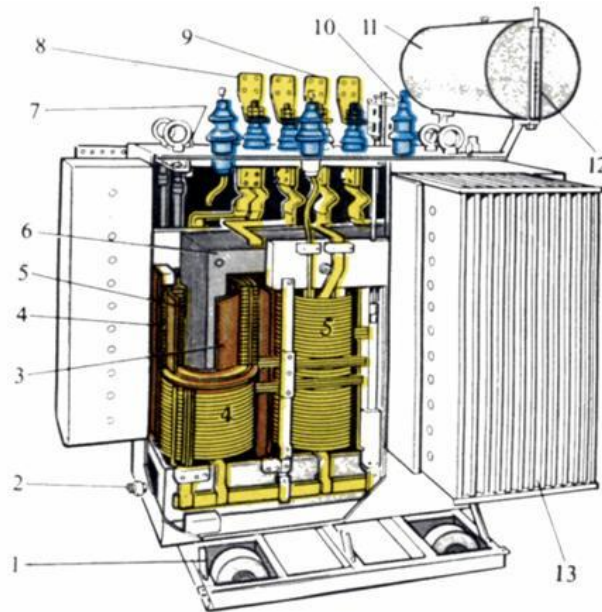


Рисунок 26-Трехфазный масляный трансформатор

1 - катки, 2 - спускной кран для масла, 3 - изолирующий цилиндр, 4 - обмотка высшего напряжения, 5 - обмотка низшего напряжения, 6 - сердечник, 7 - термометр, 8 - выводы низшего напряжения, 9 - выводы высшего напряжения, 10 - расширитель для масла, 11 - газовые реле, 12 - указатель уровня масла, 13 - радиаторы.

§8. Трансформаторы тока и напряжения

В цепи учета устанавливают трансформаторы тока (ТТ) класса точности не ниже 0,5 номинальная мощность которых подбирается в соответствии с параметрами сети. Назначение этого устройства – обеспечение контроля потребления электроэнергии. Типы трансформаторов тока: ТПЛ, ТОЛ 10, ТПОЛ, Т-0,66, ТФЗМ и другие.

Конструкция трансформаторов тока обладает следующими особенностями.

1. Первичная обмотка выполняется в виде толстой шины (количество витков минимизировано). Такая конструкция позволяет оптимизировать коэффициент трансформации и улучшить работу трансформатора.
2. Провод вторичной обмотки наматывается на основу, изготовленную из магнитного материала с большой площадью поперечного сечения. Ток вторичной обмотки обычно равен 5А (иногда – 1А).

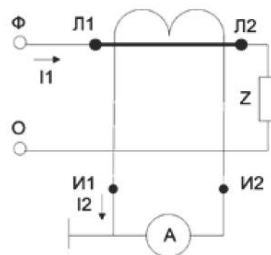


Рис.1. Подключение измерительного трансформатора тока

Л1, Л2 – контактные зажимы первичной обмотки;
И1, И2 – контактные зажимы вторичной обмотки;
Ф – фазный провод;
О – нулевой провод;
А – амперметр;
Z – суммарная нагрузка силовой цепи;
I1, I2 – соответственно первичный и вторичный токи.

Рисунок 27- Подключение измерительного трансформатора тока

Следует выделить три основных вида.

1. Сухие трансформаторы: у них первичная обмотка имеет физическую связь со вторичной. Значение вторичного тока непосредственно зависит от коэффициента трансформации.
2. Тороидальные: устанавливаются на шину или кабель и потому не имеют первичной обмотки. Первичный ток протекает по проводнику в середине корпуса. Такие трансформаторы с раздвоенным ядром (могут открываться без отключения первичной цепи) могут выполнять защитную функцию (от КЗ сети).
3. Высоковольтные (масляные или газовые): могут быть с первичной обмоткой или без нее (шинного типа). Кроме измерительной могут иметь дополнительную вторичную обмотку – для обеспечения работы релейной защиты.

Поверка ТТ выполняется в соответствии ГОСТ 8.217-2003. Нормативный документ предусматривает следующие операции:

- проведение внешнего осмотра (проверяется целостность корпуса, наличие и правильность нанесения маркировок, паспортные данные);
- размагничивание: существует несколько способов, один из которых предписывает плавное увеличение тока (в течение 2 мин.) на первичной обмотке от 0 до 100% от номинального значения при полной номинальной нагрузке и затем – плавное снижение до нуля;
- проверка соответствия полярности клемм первичной и вторичной обмоток (по схеме поверки);
- определение токовых и угловых погрешностей: выполняется с помощью эталонного трансформатора тока, магазина нагрузок и прибора сравнения (компаратора).

Результаты поверки оформляются протоколом и свидетельством. В определенных случаях предусматривается пломбирование.

Трансформаторы напряжения

Устройство трансформаторов тока и напряжения во многом сходно: вокруг стального сердечника, набранного из листовой стали, наматываются первичные и вторичные обмотки. Трансформаторы напряжения (ТН) бывают одно- и трехфазными. Их назначение – снижение напряжения до необходимого уровня. В измерительной трехфазной сети устанавливают группу однофазных (на каждую фазу) или трансформатор, в корпусе которого собраны три первичной обмотки и три вторичной. Выходное напряжение трехфазных измерительных ТН – 100 В. Номинальное напряжение первичной обмотки зависит от параметров сети (35 кВ, 10 кВ, 6 кВ).

Трансформаторы напряжения, кроме измерительных, используются для:

- подключения измерительных приборов и другого оборудования для обеспечения его безопасной эксплуатации;
- для расширения пределов измерения подключенных приборов;
- для обеспечения работы противопожарной автоматики и релейной защиты.

Трансформаторы тока и напряжения, схемы включения которых ничем не отличаются от понижающих трансформаторов, являются измерительными, если расположены перед счетчиками и имеют класс точности не менее 0,5 (для коммерческого учета).

Некоторые типы трансформаторов напряжения

1. КНФ-110: масляный трансформатор, состоящий из двух каскадов на общем магнитопроводе.
2. НОМ-35 или ЗНОМ-35: конструкция таких трансформаторов герметична, внутри корпуса – масло, уровень которого находится на 25-30 мм ниже крышки. Маслорасширителем они не снабжены.
3. НТМИ-6: трансформатор с изолированной нейтралью. Активная его часть состоит из однофазных трансформаторов, помещенных в общий корпус. Внутри корпуса – масло, для доливки которого на крышке находится специальная пробка. Кроме того, на крышке находятся клеммы первичной и вторичных обмоток. Дополнительная вторичная обмотка служит для подключения сигнализации и защиты. Сработка происходит при замыкании любой из фаз первичных обмоток на землю.
4. НАМИ-10: изготавливаются на напряжение первичной обмотки 10 и 6 кВ, на вторичной – 100 В.
5. НТМК-6(10): конструкция с трехстержневым магнитопроводом. На стержнях находятся обмотки высокого и низкого напряжения, соединенных «звездой», при этом нулевая точка имеет свой вывод. Обмотка разомкнутого треугольника не предусмотрена. Предназначен НТМК-6(10) только для цепей учета электроэнергии.

Поверка трансформаторов напряжения

Поверка ТН выполняется в соответствии с Методикой ГОСТ 8.216-211 ГСИ. Процедура предусматривает:

- внешний осмотр, при котором проверяется исправность выводов, наличие и соответствие маркировки, целостность изоляции, наличие таблички с маркировкой;
- определение погрешностей: выполняется с помощью эталонного трансформатора напряжения, магазина нагрузок и компаратора.

Результаты поверки оформляются протоколом и свидетельством. На корпусе (в предназначенном для этого месте) устанавливают пломбу.

В заключение – видеоролик на тему «Трансформаторы тока и напряжения: назначение», где будет рассказано о конструкции НТМИ-10.

§9. Классификация и параметры выпрямителей

Устройство, предназначенное для преобразования энергии источника переменного тока в постоянный ток называется выпрямителем. Выпрямитель может быть представлен в виде структурной схемы, представленной на рис. 28

Охарактеризуем основные элементы схемы:

- а) **силовой трансформатор** служит для согласования входного и выходного напряжения выпрямителя и электрического разделения отдельных цепей выпрямителя (т.е. разделяет питающую сеть и сеть нагрузки);
- б) **блок вентиля** обеспечивает одностороннее протекание тока в цепи нагрузки, в результате чего переменное напряжение преобразуется в пульсирующее;
- в) **сглаживающий фильтр** предназначен для уменьшения пульсации напряжения на нагрузке до требуемого значения;

г) **стабилизатор напряжения**, служащий для стабилизации среднего значения выпрямленного напряжения при колебаниях напряжения питающей сети или при изменении тока нагрузки.

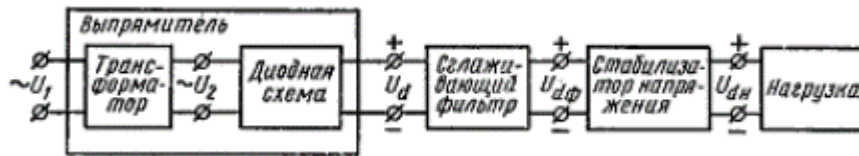


Рисунок 28 – Структурная схема выпрямителя

Соотношения между параметрами в выпрямительном устройстве во многом зависят от схемы выпрямления. Под **схемой выпрямления** понимают схему соединения обмоток трансформатора и порядок присоединения вентилей ко вторичным обмоткам трансформатора.

Схемы выпрямления (выпрямители) классифицируют по следующим основным признакам:

1. По числу фаз источника питания переменного напряжения различают выпрямители однофазного тока и выпрямители трехфазного тока.
2. По способу подключения вентилей ко вторичной обмотке трансформатора – нулевые схемы, с использованием нулевой (средней) точки вторичной обмотки трансформатора и мостовые схемы, в которых нулевая точка изолирована или вторичные обмотки трансформатора соединены в треугольник.

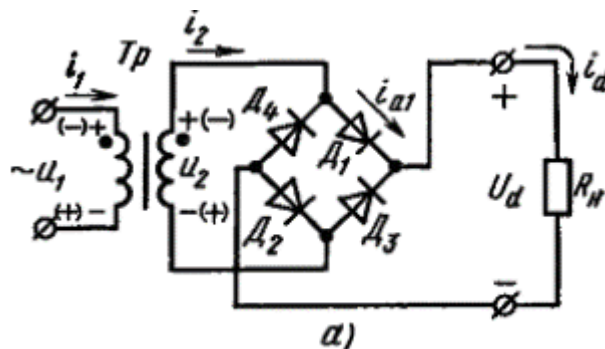


Рисунок 29-Схема однофазного мостового выпрямителя

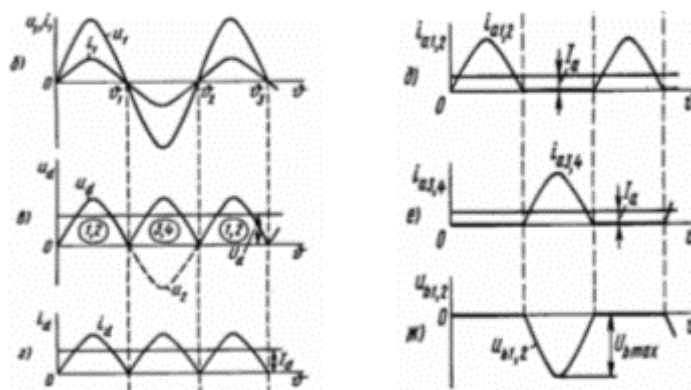


Рисунок 30-Временные диаграммы напряжений и токов мостового выпрямителя

При положительной полярности напряжения на вторичной обмотке трансформатора (полярность указана без скобок) на интервале $0 - \nu 1$ ($0 - \pi$), ток проводят диоды Д1 и Д2. Падение напряжения на диодах на интервале проводимости близко к нулю (вентили идеальные), поэтому к нагрузке прикладывается положительная полуволна напряжения вторичной обмотки трансформатора, создавая на ней напряжение $u_d = u_2$. На интервале $\nu 1$

– $\pi - 2\pi$) изменится полярность напряжений u_1 и u_2 на обратную, что приведет к отпиранию диодов Д3 и Д4. При этом напряжение u_2 будет подключено к нагрузке с той же полярностью, что и на предыдущем интервале. Следовательно, выходное напряжение u_d при чисто активной нагрузке мостового выпрямителя имеет вид однополярных полуволн напряжения ($u_d = u_2$).

3. По потребляемой нагрузкой мощности выпрямители делятся на маломощные (единицы кВт), средней мощности (десятки кВт) и большой мощности ($P_{пот} > 100$ кВт).

4. Независимо от мощности выпрямителя все схемы делятся на **однотактные или однополупериодные и двухтактные (двухполупериодные)**.

Однотактные – это схемы, у которых ток протекает по вторичным обмоткам трансформатора один раз за период (полупериод или его часть). Все нулевые схемы являются однотактными.

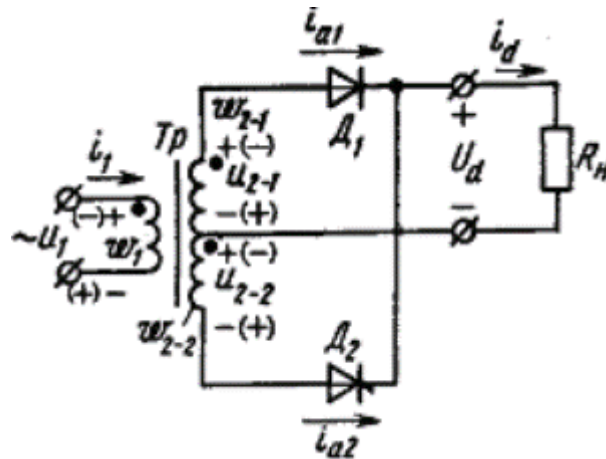


Рисунок 31- Схема однофазного двухполупериодного выпрямителя с выводом нулевой точки трансформатора

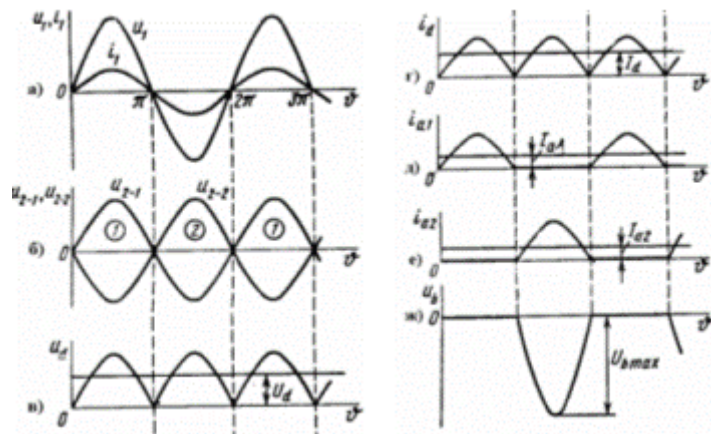


Рисунок 32-Временные диаграммы однофазного выпрямителя с нулевым выводом при активной нагрузке

Двухполупериодное выпрямление в схеме достигается выполнением трансформатора с двумя вторичными обмотками. Обмотки соединены последовательно и имеют общую нулевую (среднюю) точку. Свободные концы вторичных обмоток трансформатора присоединены к анодам вентилей Д1 и Д2, а связанные между собой катоды вентилей образуют положительный полюс выпрямителя. Отрицательным полюсом выпрямителя является общая (нулевая) точка соединения вторичных обмоток. Таким образом трансформатор служит в этой схеме как для согласования величины питающего напряжения и напряжения на нагрузке, так и для создания средней (нулевой) точки. Очевидно, что напряжения на выводах вторичных обмотках трансформатора u_1 и u_2 (или

ЭДС e_1 и e_2) одинаковы по величине и сдвинуты относительно нулевой точки на 180° , т.е. находятся в противофазе.

В каждый момент времени проводит ток тот диод, потенциал анода которого положителен. Поэтому на интервале $0 - \pi$ открыт диод Д1 и к сопротивлению нагрузки R_n (R_d) приложено фазное напряжение вторичной обмотки трансформатора $u_d = u_2 - 1$. Диод Д2 в интервале $0 - \pi$ закрыт, так как к нему приложено отрицательное напряжение. В конце интервала напряжения и токи в схеме равны нулю.

На следующем интервале работы схемы $\pi - 2\pi$ напряжения на первичной и вторичной обмотках изменяют свою полярность на обратную, поэтому диод Д2 будет открыт, а диод Д1 – закрыт. Далее процессы в схеме выпрямления повторяются. Кривая выпрямленного напряжения u_d состоит из однополярных полуволн фазного напряжения вторичной обмотки трансформатора. Форма тока нагрузки при чисто активной нагрузке повторяет форму напряжения. Диоды Д1 и Д2 проводят ток поочередно в течение полупериода.

5. По назначению:

а) **маломощные выпрямители**, как правило однофазные, используют в системах управления, для питания отдельных узлов электронной аппаратуры, в измерительной технике и др.;

б) **выпрямители средней и большой мощности** служат источниками питания промышленных установок.

6. **Схемы выпрямления делятся на простые и сложные.** К простым схемам относятся **однофазные и трехфазные, нулевые и мостовые схемы.** В сложных (или составных схемах) несколько простых схем соединяются последовательно или параллельно.



7. **По виду (характеру) нагрузки.** Для однофазных схем выпрямления характерны значительные пульсации выпрямленного напряжения. Для уменьшения пульсаций напряжения на нагрузке используют сглаживающие фильтры, выполняемые на основе реактивных элементов дросселей (L) и конденсаторов (C). Характер входной цепи сглаживающего фильтра совместно с нагрузкой определяют вид нагрузки выпрямителя. Различают работу выпрямителя на активную нагрузку ($R - НГ$), активно-индуктивную нагрузку ($RL - НГ$), активную нагрузку и емкостный фильтр ($RC - НГ$).

Общим для всех выпрямителей является их применение преимущественно при $RL - НГ$. Это объясняется тем, что маломощные выпрямители чаще всего работают LC – фильтром, а мощные выпрямители - с L – фильтром.

7. **По способу управления** различают неуправляемые и управляемые выпрямители.

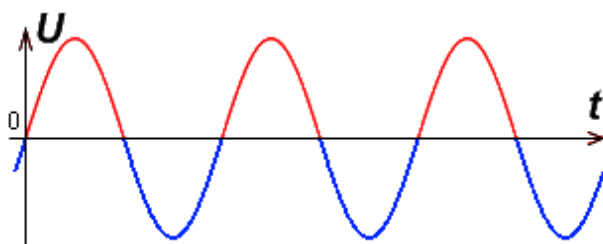
к.т.н. Коляда Л. И.

§10. Схемы выпрямления однофазного переменного тока

Выпрямитель электрического тока – электронная схема, предназначенная для преобразования переменного электрического тока в постоянный (одно полярный) электрический ток.

В полупроводниковой аппаратуре выпрямители выполняются на полупроводниковых диодах. В более старой и высоковольтной аппаратуре выпрямители выполняются на электровакуумных приборах – кенотронах. Раньше широко использовались – селеновые выпрямители.

Для начала вспомним, что собой представляет переменный электрический ток. Это гармонический сигнал, меняющий свою амплитуду и полярность по синусоидальному закону.



В переменном электрическом токе можно условно выделить положительные и отрицательные полупериоды. Всё то, что больше нулевого значения относится к положительным полупериодам (положительная полуволна – красным цветом), а всё, что меньше (ниже) нулевого значения – к отрицательным полупериодам (отрицательная полуволна – синим цветом).

Выпрямитель, в зависимости от его конструкции «отсекает», или «переворачивает» одну из полувольт переменного тока, делая направление тока односторонним.

Схемы построения выпрямителей сетевого напряжения можно поделить на однофазные и трёхфазные, однополупериодные и двухполупериодные.

Для удобства мы будем считать, что выпрямляемый переменный электрический ток поступает с вторичной обмотки трансформатора. Это соответствует истине и потому, что даже электрический ток в домашние розетки квартир домов приходит с трансформатора понижающей подстанции. Кроме того, поскольку сила тока – величина, напрямую зависящая от нагрузки, то при рассмотрении схем выпрямления мы будем оперировать не понятием силы тока, а понятием – напряжение, амплитуда которого напрямую не зависит от нагрузки.

На рисунке изображена схема и временная диаграмма выпрямления переменного тока однофазным однополупериодным выпрямителем.



Рисунок 33- Однополупериодный выпрямитель при прямом включении

Из рисунка видно, что диод отсекает отрицательную полуволну. Если мы перевернём диод, поменяв его выводы – анод и катод местами, то на выходе окажется, что отсечена не отрицательная, а положительная полуволна.



Рисунок 34- Однополупериодный выпрямитель при обратном включении

Среднее значение напряжения на выходе однополупериодного выпрямителя соответствует значению:

$$U_{\text{ср}} = U_{\text{max}} / \pi = 0,318 U_{\text{max}}$$

где: π - константа равная 3,14.

Однополупериодные выпрямители используются в качестве выпрямителей сетевого напряжения в схемах, потребляющих слабый ток, а также в качестве выпрямителей импульсных источников питания. Они абсолютно не годятся в качестве выпрямителей сетевого напряжения синусоидальной формы для устройств, потребляющих большой ток.

Наиболее распространёнными являются однофазные двухполупериодные выпрямители. Существуют две схемы таких выпрямителей – мостовая схема и балансная.

Рассмотрим мостовую схему однофазного двухполупериодного выпрямителя и его работу.

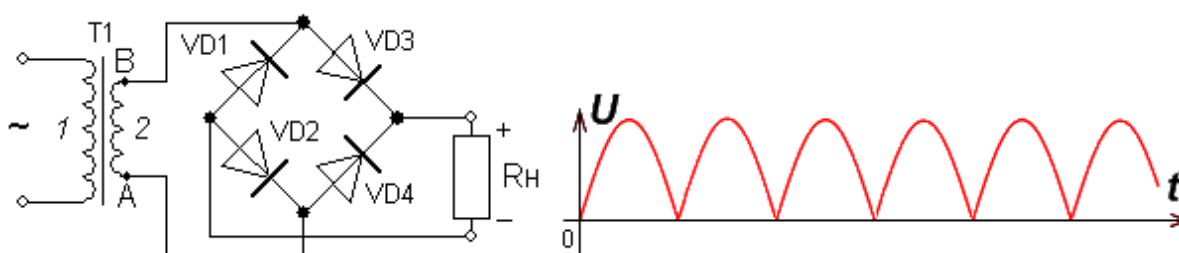


Рисунок 35- Однофазный двухполупериодный выпрямитель

Если ток вторичной обмотки трансформатора течёт по направлению от точки «А» к точке «В», то далее от точки «В» ток течёт через диод VD3 (диод VD1 его не пропускает), нагрузку $R_{\text{н}}$, диод VD2 и возвращается в обмотку трансформатора через точку «А».

Когда направление тока вторичной обмотки трансформатора меняется на противоположное, то вышедший из точки «А», ток течёт через диод VD4, нагрузку $R_{\text{н}}$, диод VD1 и возвращается в обмотку трансформатора через точку «В».

Таким образом, практически отсутствует промежуток времени, когда напряжение на выходе выпрямителя равно нулю.

Рассмотрим балансную схему однофазного двухполупериодного выпрямителя.

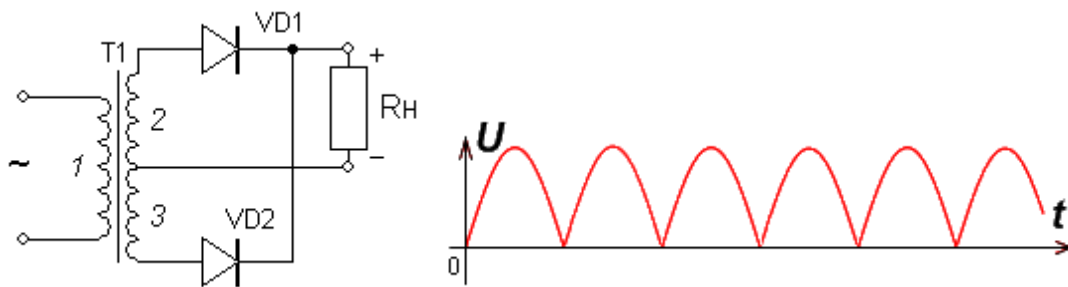


Рисунок 36- Однофазный двухполупериодный выпрямитель

По своей сути это два однополупериодных выпрямителя, подключенных параллельно в противофазе, при этом начало второй обмотки соединено с концом первой вторичной обмотки. Если в мостовой схеме во время действия обоих полупериодов сетевого напряжения используется одна вторичная обмотка трансформатора, то в балансной схеме две вторичных обмотки (2 и 3) используются поочередно.

Среднее значение напряжения на выходе двухполупериодного выпрямителя соответствует значению:

$$U_{cp} = 2 \cdot U_{max} / \pi = 0,636 U_{max}$$

где: π - константа равная 3,14.

Представляет интерес сочетание мостовой и балансной схемы выпрямления, в результате которого, получается двухполярный мостовой выпрямитель, у которого один провод является общим для двух выходных напряжений (для первого выходного напряжения, он отрицательный, а для второго - положительный):

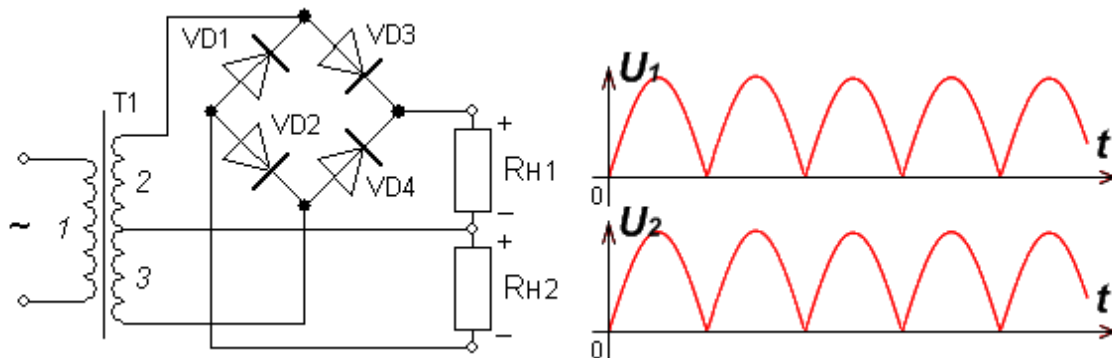
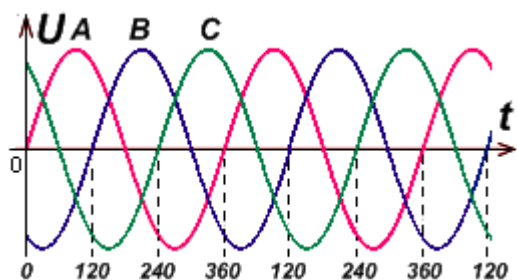


Рисунок 37- Однофазный двухполупериодный выпрямитель

§11. Схемы выпрямления трехфазного тока

Трёхфазные выпрямители обладают лучшей характеристикой выпрямления переменного тока – меньшим коэффициентом пульсаций выходного напряжения по сравнению с однофазными выпрямителями. Связано это с тем, что в трёхфазном электрическом токе синусоиды разных фаз «перекрывают» друг друга. После выпрямления такого напряжения, сложения амплитуд различных фаз не происходит, а выделяется максимальная амплитуда из значений всех трёх фаз входного напряжения.



На следующем рисунке представлена схема трёхфазного однополупериодного выпрямителя и его выходное напряжение (красным цветом), образованное на «вершинах» трёхфазного напряжения.

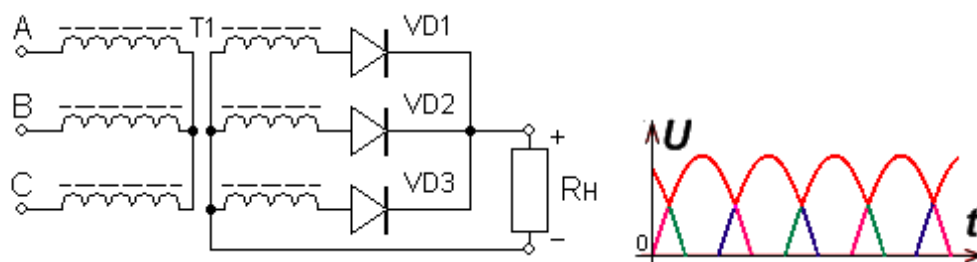


Рисунок 38- Трёхфазный однополупериодный выпрямитель

За счёт «перекрывания» фаз напряжения, выходное напряжение трёхфазного однополупериодного выпрямителя имеет меньшую глубину пульсации. Вторичные обмотки трансформатора могут быть использованы только по схеме подключения «звезда», с «нулевым» выводом от трансформатора.

На следующем рисунке представлена схема трёхфазного двухполупериодного мостового выпрямителя (схема Ларионова) и его выходное напряжение (красным цветом).

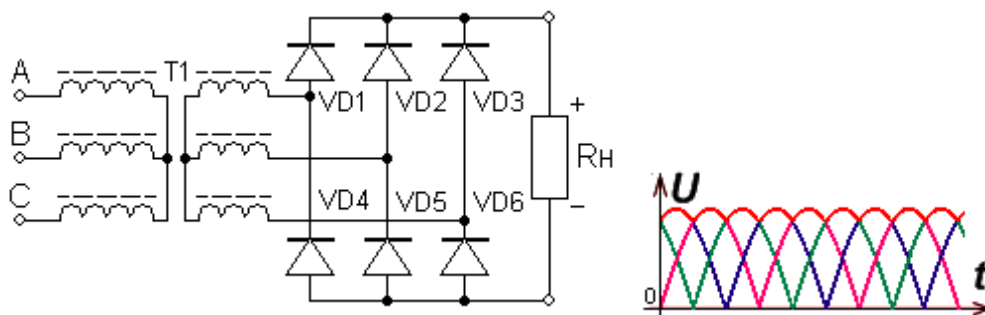


Рисунок 38- Трёхфазный двухполупериодный выпрямитель

За счёт использования положительной и перевернутой отрицательной полуволны трёхфазного напряжения, выходное напряжение (выделено красным цветом), образованное на вершинах синусоид, имеет самую маленькую глубину пульсаций выходного напряжения по сравнению со всеми остальными схемами выпрямления. Вторичные обмотки трансформатора могут быть использованы как по схеме подключения «звезда», без «нулевого» вывода от трансформатора, так и «треугольник».

При конструировании блоков питания для выбора выпрямительных диодов используют следующие параметры, которые всегда указаны в справочниках:

- максимальное обратное напряжение диода – $U_{обр}$;
- максимальный ток диода – I_{max} ;
- прямое падение напряжения на диоде – $U_{пр}$.

Необходимо выбирать все эти перечисленные параметры с запасом, для исключения выхода диодов из строя.

Максимальное обратное напряжение диода $U_{обр}$ должно быть в два раза больше реального выходного напряжения трансформатора. В противном случае возможен обратный пробой **p-n**, который может привести к выходу из строя не только диодов выпрямителя, но и других элементов схем питания и нагрузки.

Значение максимального тока I_{max} выбираемых диодов должно превышать реальный ток выпрямителя в 1,5 – 2 раза. Невыполнение этого условия, также приводит к выходу из строя сначала диодов, а потом других элементов схем.

Прямое падение напряжения на диоде – $U_{пр}$, это то напряжение, которое падает на кристалле **p-n** перехода диода. Если по пути прохождения тока стоят два диода, значит это падение происходит на двух **p-n** переходах. Другими словами, напряжение, подаваемое на вход выпрямителя, на выходе уменьшается на значение падения напряжения.

Схемы выпрямителей предназначены для преобразования переменного - изменяющего полярность напряжения в однополярное - не изменяющее полярность. Но этого недостаточно для превращения переменного напряжения в постоянное. Для того, чтобы оно преобразовалось в постоянное необходимо применение сглаживающих фильтров питания, устраняющих резкие перепады выходного напряжения от нуля до максимального значения.

§12. Управляемые одно- и трехфазные схемы выпрямления на тиристорах

В большинстве практических случаев выпрямители средней и большой мощности применяются не только для выпрямления переменного тока в постоянный, но должны позволять плавно регулировать среднее значение выпрямленного напряжения U_{fj} . Это обусловливается необходимостью стабилизации напряжения на нагрузке при изменении напряжения питающей сети или тока нагрузки, а также для регулирования напряжения для управления частотой вращения двигателей постоянного тока, при зарядке аккумуляторных батарей и т.п. При использовании в выпрямителях неуправляемых вентилей среднее значение выпрямленного напряжения и, как это видно из (11), (22) и табл. 1, пропорционально напряжению U_2 ф. Регулирование величины $i^{\wedge}$ в этом случае сводится к изменению напряжения U_2 на вторичной стороне трансформатора с помощью отпаяк, что не всегда удобно и сложно. Более широкое применение для регулирования напряжения на нагрузке получил способ, основанный на управлении во времени моментом отпирания вентилей выпрямителя за интервал проводимости. Он базируется на использовании в схеме выпрямителя управляемых вентилей— тириستоров, в связи с чем такой выпрямитель

называют

управляемым.

Однофазные управляемые выпрямители выполняются по схеме и нулевым выводом трансформатора и мостовой схеме. Принцип действия таких выпрямителей рассмотрим на примере схемы с нулевым выводом, а для мостовой схемы укажем лишь ее особенности. Однофазная нулевая схема управляемого выпрямителя изображена на рис. 21,э. Она отличается от схемы неуправляемого, выпрямителя (см. рис. 16 б) тем, что диоды VI и V2 заменены тиристорами VC1 и VC2. Аноды тиристоров присоединены к выводам вторичной обмотки а и б, а управляющие электроды связаны с системой управления СУ, которая формирует синхронно с напряжением их управляющие импульсы u_{y1} и u_{y2} и позволяет изменять их фазу относительно напряжений u_{2a} и u_{2b} источника питания. Пусть на входе выпрямителя действует положительная полуволна напряжения (рис. 21,б), чему соответствуют полярности напряжений на обмотках трансформатора, указанные на рис. 21,а без скобок. При использовании в схеме неуправляемых вентилей диод VI открылся бы в момент времени t_0 (рис. 21,в), которое является для него моментом естественного отпирания. Тиристор, как отмечалось в § 2, отпирается при наличии положительного напряжения на аноде и отпирающего импульса на управляющем электроде. На интервале t_0-t_1 тиристоры VC1, VC2 будут закрыты и к ним прикладывается напряжение вторичных обмоток трансформатора $u_{2в}$ и $u_{2н'}$ на тиристор VC1 - в прямом направлении, а на тиристор VC2 — в обратном. Напряжение на выходе выпрямителя $u_d = 0$.

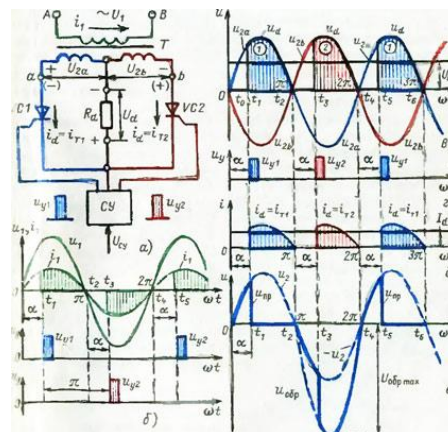


Рисунок 39- Однофазный управляемый выпрямитель с нулевой точкой: схема включения элементов; б и в — временные диаграммы напряжений и токов при активной нагрузке

В момент времени t_1 от системы управления СУ выпрямителя поступает на управляющий электрод тиристора VC1 отпирающий импульс u_{y1} . В результате этот вентиль откроется с некоторой задержкой по отношению к началу положительной волны напряжения U_{1a} и подключит нагрузку R_d на напряжение u_d и вторичной обмотки трансформатора.

Угол задержки, отсчитываемый от момента естественного отпирания вентиля, выраженный в градусах, называется углом управления или регулирования и обозначается буквой α . В момент отпирания тиристора VC1 напряжение u_d на нагрузке R_d скачком возрастает и далее изменяется по кривой напряжения $u_{2в}$. В момент t_2 напряжение $u_{2в}$ меняет знак, тиристор VC1 запирается, в интервале t_2-t_3 оба вентиля будут закрыты и ток i_d в нагрузке не протекает. К тиристорам VC1 прикладывается обратное напряжение, а к VC2 — прямое напряжение, равное $u_{2б}$. В момент t_3 подается отпирающий импульс u_{y2} на тиристор VC2, он вступает в работу и остается открытым до момента t_4 . Далее через интервал, равный углу α , вновь вступит в работу тиристор VC1 и т.д.

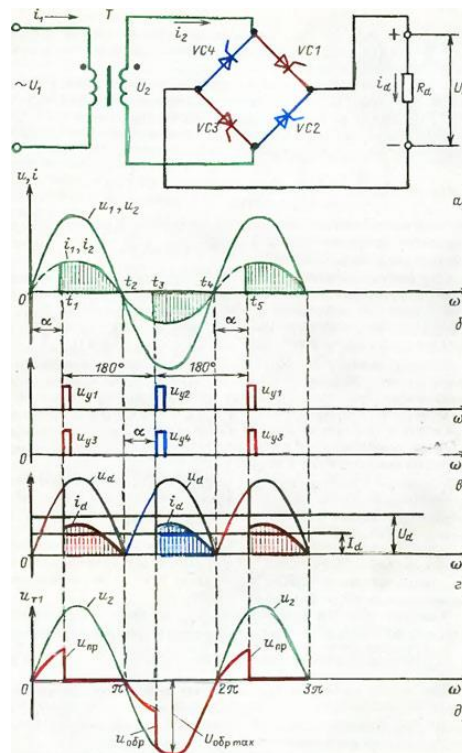


Рисунок 40- Однофазный мостовой управляемый выпрямитель: а.— схема включения элементов; б — д - временные диаграммы напряжений и токов

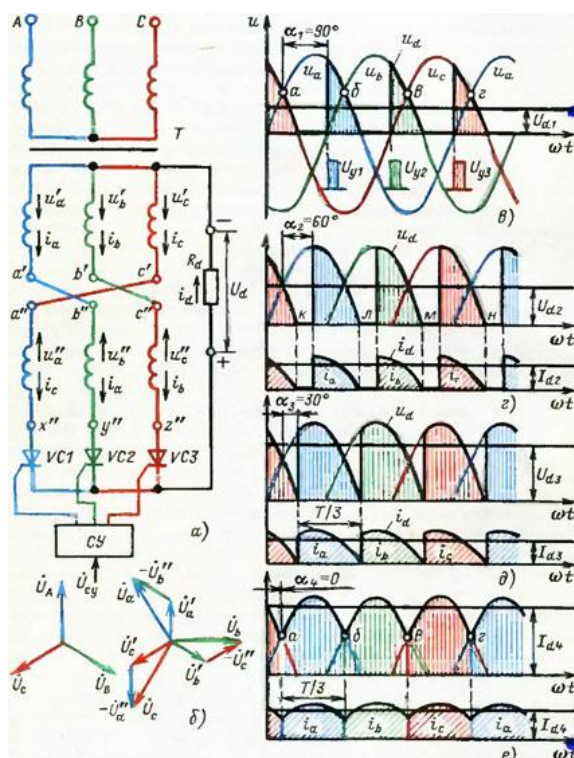


Рисунок 40- Трехфазный мостовой управляемый выпрямитель

§13.Сглаживающие фильтры, классификация, принцип работы и назначение

§14. Работа выпрямительной схемы на емкостную нагрузку

Для того, чтобы обеспечить постоянное протекание тока через нагрузку, на выходе выпрямителя используется конденсатор большой емкости. Кроме того, емкостный

характер нагрузки проявляется, если выпрямитель работает на LC фильтр, начинающийся с ёмкости. В результате характеристики вторичного источника питания, в качестве которого используется выпрямитель, изменяются. Рассмотрим схему простейшего выпрямителя с емкостной нагрузкой, которая приведена на рисунке 41.

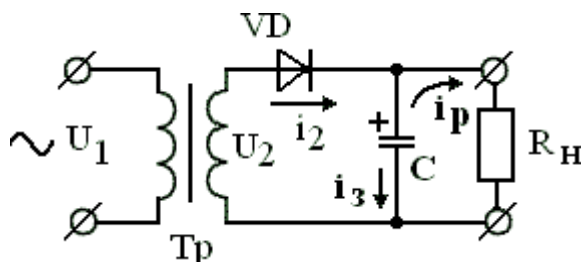


Рисунок 41-Принципиальная схема простейшего выпрямителя с ёмкостной нагрузкой

При правильно рассчитанном выпрямителе конденсатор C заряжается через малое сопротивление диода и вторичной обмотки трансформатора r_2 , а разряжается через достаточно большое сопротивление нагрузки R_H . Поэтому на выходе выпрямителя обеспечивается постоянный ток i_p . Временные диаграммы напряжений и токов в выпрямителе с емкостной нагрузкой показаны на рисунке 42.

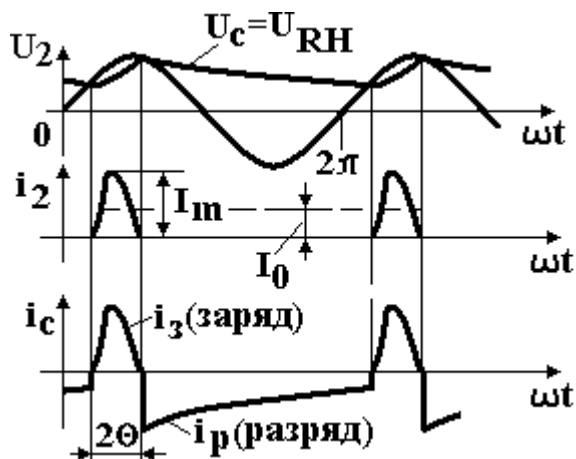


Рисунок 42 -Временные диаграммы напряжений и токов в выпрямителе с емкостной нагрузкой

Постоянная цепи заряда $\tau_3 = r_2 C$ много меньше постоянной цепи разряда $\tau_p = R_H C$, поэтому время заряда (угол 2θ) много меньше времени разряда конденсатора фильтра на нагрузку. Это называется отсечкой тока диода $2\theta < \pi$. При увеличении R_H разряд конденсатора C уменьшается и точка пересечения напряжения на вторичной обмотке U_2 и на конденсаторе U_C сдвигается, угол отсечки 2θ уменьшается. Одновременно уменьшаются пульсации напряжения на нагрузке.

При токе нагрузки равном нулю конденсатор не разряжается и $U_C = U_{m2}$. Обратное напряжение, приложенное к выпрямительному диоду при этом тоже достигает максимальной величины $U_{обр} = 2U_{m2}$. Из-за описанных явлений внешняя характеристика выпрямителя с емкостной нагрузкой нелинейна и выходное сопротивление зависит от тока нагрузки. Его можно определить только в рабочей точке по приращениям напряжения и тока, как это показано на рисунке 3.

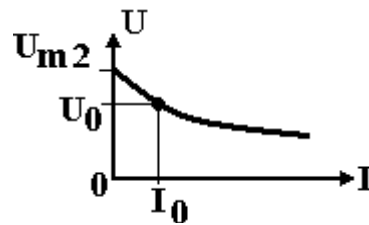


Рисунок 43 -Внешняя характеристика выпрямителя с ёмкостной нагрузкой

Схема однотактового однофазного выпрямителя создает высокий уровень пульсаций напряжения на нагрузке. При этом частота основной гармонической составляющей пульсации совпадает с частотой сети переменного тока. Трансформатор в данной схеме плохо используется. По нему протекает постоянная составляющая тока нагрузки, поэтому приходится увеличивать габариты трансформаторов. Однако простота однотактных схем делает их более привлекательными перед двухтактными для реализации вторичного источника питания с высоким напряжением и малым током. В качестве примера рассмотрим схему удвоения напряжения вторичной обмотки. Она состоит из двух однотактных выпрямителей, каждый из которых использует свою полуволну переменного тока сети. Принципиальная схема описанного устройства приведена на рисунке 44.

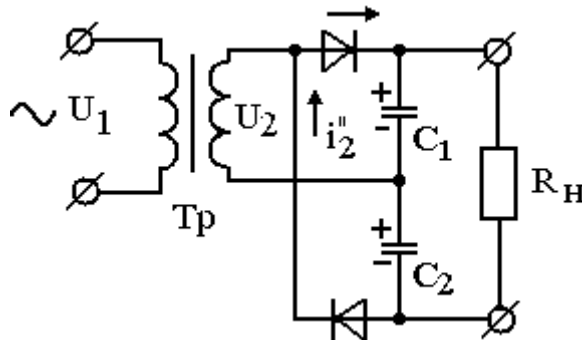


Рисунок 44- Схема удвоения напряжения

Временные диаграммы тока и напряжения на элементах схемы показаны на рисунке 45

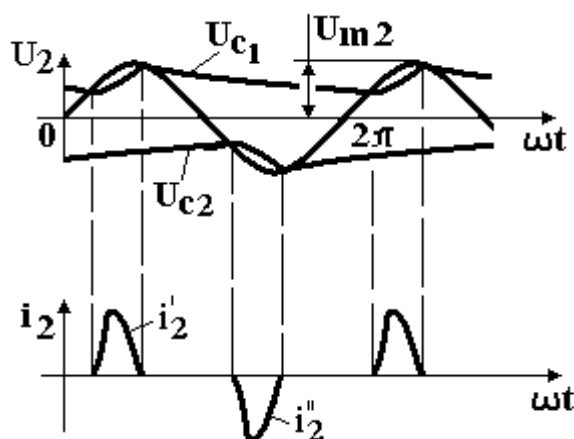


Рисунок 45- Временные диаграммы напряжений и токов удвоителя напряжения

Напряжение на нагрузке складывается из напряжений на конденсаторах C_1 и C_2 . Если ток потребления мал, а значит малы и пульсации, то постоянную составляющую на выходе схемы можно определить следующим образом:

$$U_0 \cong U_{m2} + U_{m2} = 2 \cdot U_{m2}$$

При сложении компенсируются все нечётные гармоники пульсаций, в том числе и основная частота переменного тока ($p=2$). Недостатком схемы является отсутствие общей точки между трансформатором и нагрузкой, что неудобно с точки зрения электробезопасности. Ещё одна схема удвоения напряжения приведена на рисунке 46. Она называется несимметричной, так как в ней большинство элементов подключено к корпусу, который может быть заземлен.

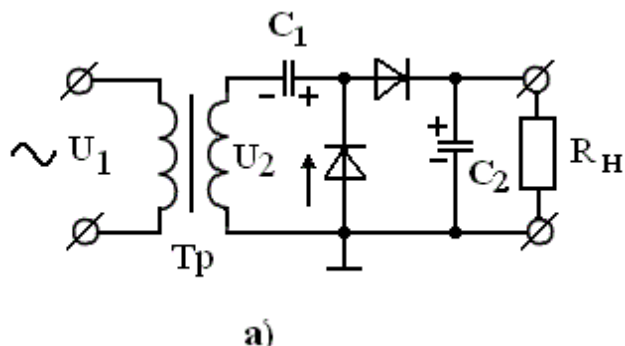


Рисунок 46-Несимметричная схема удвоения напряжения

В этой схеме в первый полупериод входного колебания заряжается конденсатор C_1 через диод $VD1$. В течение второго полупериода сумма напряжения конденсатора и вторичной обмотки заряжают конденсатор C_2 . Здесь частота первой гармоники пульсаций равна частоте сети переменного тока. При этом получилась регулярная структура, которую можно соединять последовательно друг за другом. В качестве примера на рисунке 7 приведена схема умножителя напряжения, напряжение на выходе которого в шесть раз больше напряжения на вторичной обмотке трансформатора.

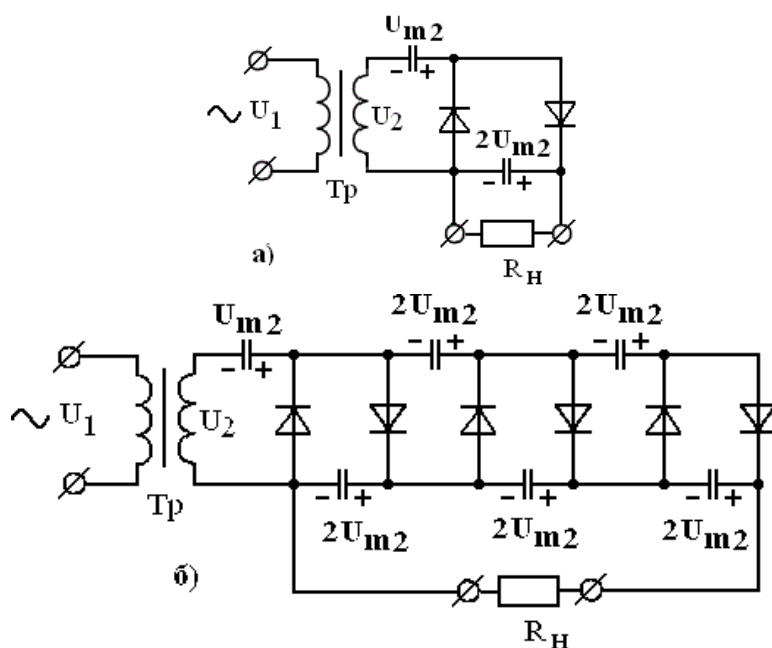


Рисунок 47- Несимметричная схема удвоения напряжения (а) и умножитель напряжения на шесть (б)

В умножителе напряжения нагрузку можно подключить и к верхней группе конденсаторов – получим умножитель на пять. Умножители выпускают в виде неразборного блока. Число конденсаторов равно коэффициенту умножения. Выходное сопротивление исчисляется килоомами.

§15. Работа выпрямительной схемы на индуктивную нагрузку

Включение пассивного сглаживающего фильтра на выходе выпрямителя существенно влияет на физические процессы в самом выпрямителе. Индуктивный характер имеет место при работе выпрямителя на фильтр, начинающийся с индуктивности или на обмотку реле, контактора, обмотки возбуждения электрических машин и др. Схема простейшего выпрямителя с индуктивным характером нагрузки приведена на рисунке 48. В этих схемах, как правило, выполняется условие $\omega L \gg R_H$ т.е. индуктивное сопротивление дросселя на частоте пульсаций больше сопротивления нагрузки. Известно, что ток в индуктивности отстаёт от напряжения на $\pi/2$ и процесс нарастания и спада тока заканчивается в пределах одного периода.

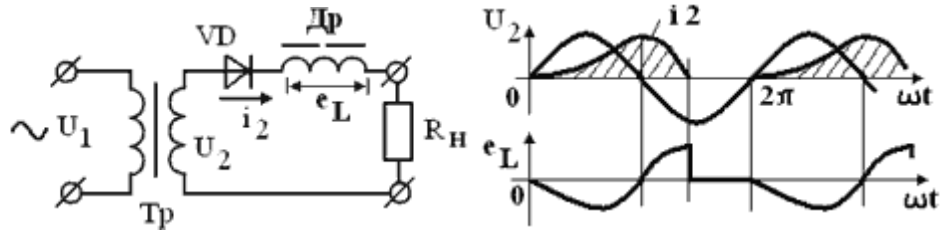


Рисунок 48- Однофазный, однотоковый выпрямитель с индуктивным характером нагрузки

Ток в цепи (i_2) несинусоidalен, так как кроме ЭДС вторичной обмотки в ней действует ЭДС индукции дросселя $e_L = -L \frac{di_2}{dt}$. При увеличении тока происходит накопление энергии в магнитном поле дросселя, а при уменьшении тока — освобождение этой энергии. Таким образом, результатом включения индуктивности является “затягивание” тока вентилля. Угол протекания тока зависит от постоянной времени $\omega\tau = \omega L/R$, где $R = R_H + r_d + r_2$, r_d — сопротивление диода, r_2 — омическое сопротивление вторичной обмотки трансформатора. Зависимость угла протекания тока от постоянной времени индуктивной нагрузки приведена на рисунке 2.

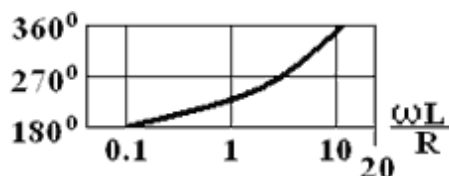


Рисунок 49- Зависимость угла протекания тока от постоянной времени индуктивной нагрузки

По данному рисунку видно, что для того, чтобы через нагрузку постоянно протекал ток, необходимо чтобы выполнялось условие $\omega L/R \geq 10$. Выполнить это соотношение сложно т.к. возрастают потери в самом дросселе и в результате существенно снижается общий КПД. Поэтому при индуктивном характере нагрузки обычно применяют многофазные схемы $p \geq 2$, где легко обеспечивается непрерывность тока за период пульсаций.

В качестве примера возьмём трёхфазный однотоковый выпрямитель, схема которого приведена на рисунке 50. На этой схеме L_S — индуктивность рассеяния вторичной обмотки трансформатора; r — сопротивление потерь ($r = r_2 + r_1/n^2$), которое обычно много меньше R_H ; γ — угол перекрытия фаз. Поскольку $\omega L \ll R_H$ ток в нагрузке неизменный, а ток через вентиль имеет форму прямоугольного импульса. Переход тока с вентилля на вентиль из-за индуктивности рассеяния не может произойти мгновенно. Её

ЭДС самоиндукции $e_{L_s} = -L_s \frac{di_{L_s}}{dt}$ препятствует изменению тока — в одной фазе он снижается, а в другой нарастает. В результате ток одновременно течёт по двум фазам. Это явление называется перекрытием токов фаз. Оно существенно влияет на качественные и количественные соотношения всех выпрямления.

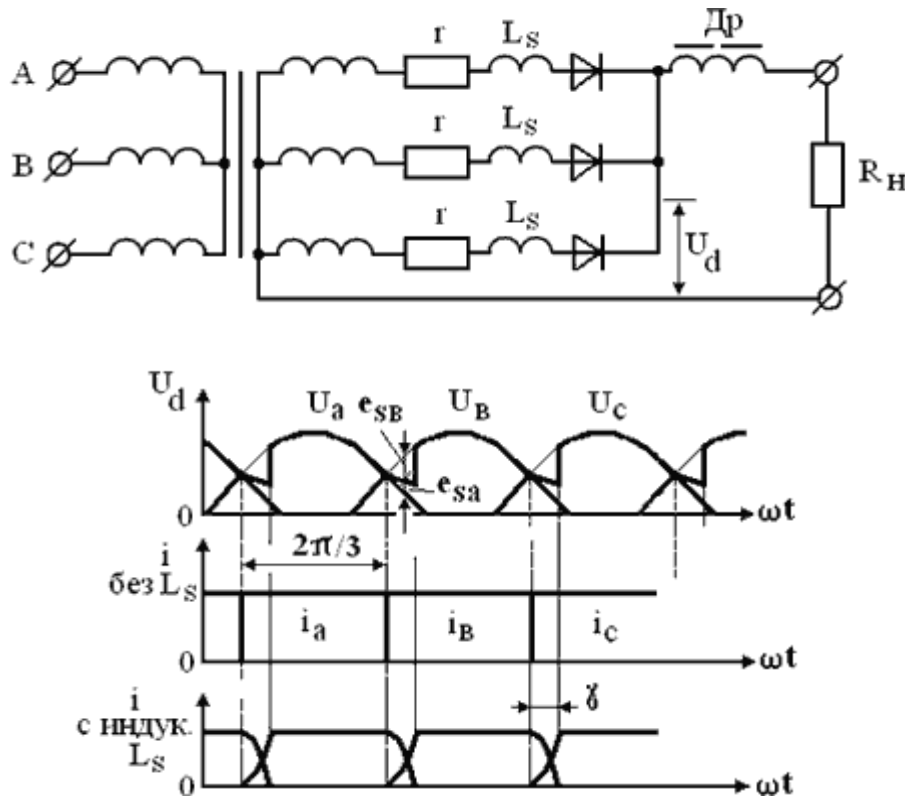


Рисунок 50- Схема и временные диаграммы тока и напряжений трехфазного однотактного выпрямителя

В однотактной однофазной схеме нет перехода тока с одного вентиля на другой, поэтому L_s в ней на физические процессы практически не влияет. В трёхфазной схеме переход тока (переключение фаз) происходит за конечное время. Если пренебречь сопротивлением вентилей и трехфазного трансформатора, то затягивания тока не будет — переключение мгновенное. Из-за перекрытия фаз постоянная составляющая U_0 уменьшается на величину площади треугольника в напряжении U_d .

В итоге наличие сопротивления обмоток r и индуктивности рассеяния L_s приводит к более резкому падению внешней характеристики выпрямителя (т.е. повышению $R_{\text{вых}}$). Результирующая внешняя характеристика выпрямителя с индуктивной нагрузкой показана на рисунке 51.

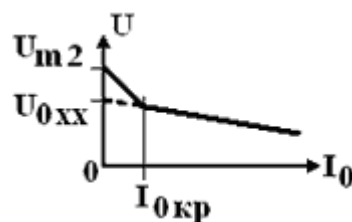


Рисунок 51- Внешняя характеристика выпрямителя с индуктивной нагрузкой

Здесь, при токе нагрузки меньше некоторой величины $I_{0кр}$ соотношение $\omega L \gg R_H$ перестает выполняться. Ток дросселя становится прерывистым, он разряжается полностью и напряжение возрастает.

По выпрямителям с индуктивной нагрузкой можно сделать следующие выводы:

1. Индуктивная составляющая сопротивления и нагрузки должна быть соизмерима с R_H (иначе КПД будет низким).
2. Форма кривой тока вентилей приближается к прямоугольной.
3. Длительность работы каждой фазы не зависит от индуктивности в цепи нагрузки, а определяется числом фаз выпрямления (пульсностью) и индуктивностью рассеяния трансформатора.
4. Наличие индуктивности рассеяния приводит к перекрытию токов фаз, при этом U_0 снижается, а пульсации на входе сглаживающего фильтра возрастают.

§16. Работа выпрямительной схемы на встречную э.д.с.

На рис. 52, а приводится схема однофазного однополупериодного выпрямителя, нагруженного аккумуляторной батареей с ЭДС E_0 и переменным резистором R , который предназначен для регулировки зарядного тока.

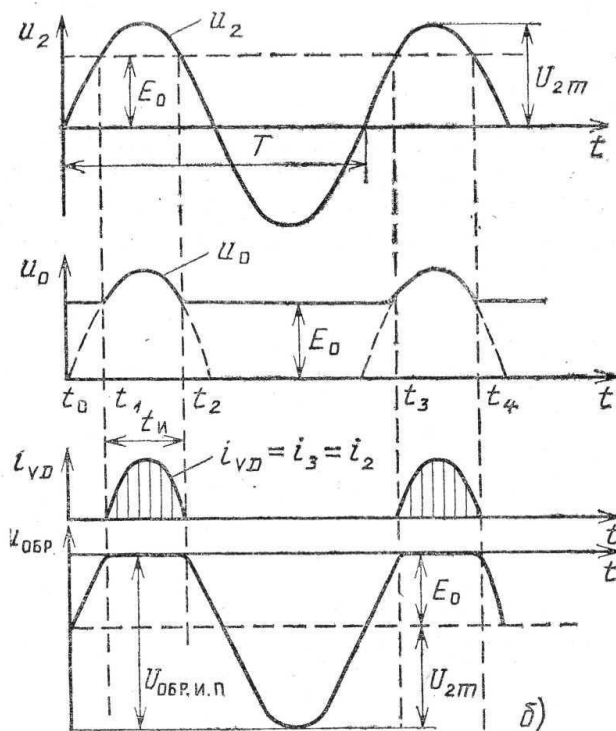
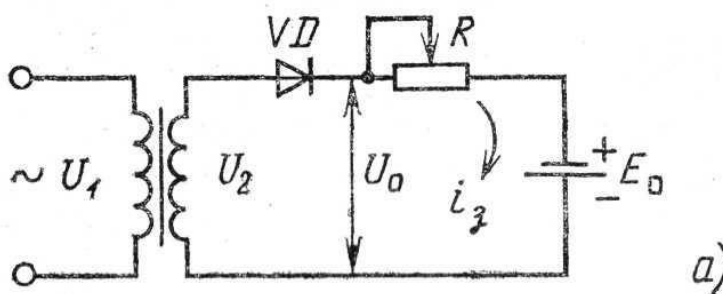


Рисунок 52- Однополупериодная схема выпрямления, работающая на встречную ЭДС (а), диаграммы напряжений и токов в схеме (б)

Если пренебречь внутренним сопротивлением аккумулятора, то напряжение на его зажимах равно ЭДС E_0 . Потенциал анода VD определяется напряжением на вторичной обмотке трансформатора u_2 а потенциал катода — положительным электродом аккумулятора; на рис. 3, б показаны график u_2 и значение ЭДС аккумулятора E_0 .

В интервале времени от t_0 до t_1 анод диода обладает положительным потенциалом, однако он ниже потенциала его катода и поэтому диод VD закрыт.

В интервале времени от t_1 до t_2 потенциал анода VD становится выше потенциала катода, т. е. выполняется условие открытия диода ($u_2 > E_0$), следовательно, диод VD открывается и по вторичной обмотке трансформатора, диоду и резистору RP протекает ток заряда аккумулятора. В интервале времени от t_2 до t_3 вновь ЭДС аккумулятора E_0 становится больше u_2 , диод запирается и схема работает так же, как и в интервале $t_0 - t_1$, и т. д. В результате на выходе выпрямителя появится напряжение u_0 , график которого является огибающей графиков u_2 и E_0 (рис. 3, б — сплошная линия на графике u_0 ; при этом необходимо заметить, что отключенному аккумулятору на этом же графике соответствует штриховая линия, т.е. положительная полусинусоида u_2 как в выпрямителе, работающем на активную нагрузку).

Влияние встречной ЭДС на работу выпрямителя. аналогично воздействию заряженного конденсатора. Разница между режимом работы на встречную ЭДС и режимом работы на нагрузку с емкостной реакцией заключается в том, что в последнем случае напряжение на выходе выпрямителя u_0 не может оставаться постоянным, как это имеет место при работе выпрямителя на встречную ЭДС.

§17. Электрический расчет схем выпрямления

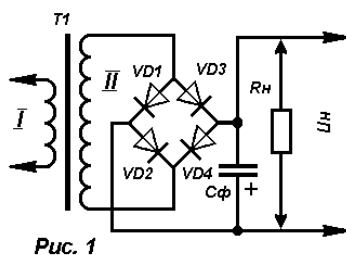


Рисунок 53- Схема примера расчета

Поскольку в преобладающем большинстве конструкций блоков питания используется двухполупериодный выпрямитель, диоды которого включены по мостовой схеме (рис. 1), о выборе его элементов здесь и пойдет разговор. Рассчитать выпрямитель - значит правильно выбрать выпрямительные диоды и конденсатор фильтра, а также определить необходимое переменное напряжение, снимаемое для выпрямления с вторичной обмотки сетевого трансформатора. Исходными данными для расчета выпрямителя служат: требуемое напряжение на нагрузке (U_n) и потребляемый ею максимальный ток (I_n).

Расчет ведут в таком порядке:

1. Определяют переменное напряжение, которое должно быть на вторичной обмотке сетевого трансформатора:

$$U_2 = B U_n,$$

где: U_n - постоянное напряжение на нагрузке, В;
 B - коэффициент, зависящий от тока нагрузки, который определяют по таблице 1.

Коэффициент	Ток нагрузки, А					
	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
В	0,8	1,0	1,9	1,4	1,5	1,7
С	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,8

2. По току нагрузки определяют максимальный ток, текущий через каждый диод выпрямительного моста:

$$I_d = 0,5 C I_n,$$

где: I_d - ток через диод, А;
 I_n - максимальный ток нагрузки, А;
 C - коэффициент, зависящий от тока нагрузки (определяют по табл. 1).

3. Подсчитывают обратное напряжение, которое будет приложено к каждому диоду выпрямителя:

$$U_{обр} = 1,5 U_n,$$

где: $U_{обр}$ - обратное напряжение, В;
 U_n - напряжение на нагрузке, В.

4. Выбирают диоды, у которых значения выпрямленного тока и допустимого обратного напряжения равны или превышают расчетные.

5. Определяют емкость конденсатора фильтра:

$$C_f = 3200 I_n / U_n K_n,$$

где: C_f - емкость конденсатора фильтра, мкФ;
 I_n - максимальный ток нагрузки, А;
 U_n - напряжение на нагрузке, В;
 K_n - коэффициент пульсации выпрямленного напряжения (отношение амплитудного значения переменной составляющей частотой 100 Гц на выходе выпрямителя к среднему значению выпрямленного напряжения).

Для различных нагрузок коэффициент пульсаций не должен превышать определенного значения, иначе в динамической головке или громкоговорителе будет прослушиваться фон переменного тока. Для питания портативных приемников и магнитофонов, например,

допустим коэффициент пульсации выпрямленного напряжения в пределах $10^{-3} \dots 10^{-2}$, усилителей ВЧ и ПЧ - $10^{-4} \dots 10^{-3}$, предварительных каскадов усилителей НЧ и микрофонных усилителей - $10^{-5} \dots 10^{-4}$. Если выходное напряжение выпрямителя будет дополнительно стабилизироваться транзисторным стабилизатором напряжения, то расчетная емкость конденсатора фильтра может быть уменьшена в 5...10 раз.

§18. Электрический расчет схем ВУ с сглаживающим фильтром

Режим работы выпрямителя в значительной степени определяется типом фильтра, включенного на его выходе. В маломощных выпрямителях, питающихся от однофазной сети переменного тока, применяются простейшие емкостные фильтры, в выпрямителях средней и большой мощности — Г-образные LCLC, RCRC и П-образные CLCCLC и CRCCRC фильтры.

Основным параметром сглаживающих фильтров является *коэффициент сглаживания* $q(q)$, который определяется как отношение коэффициента пульсаций на входе фильтра к коэффициенту пульсаций на его выходе (на нагрузке).

Емкостный фильтр является наиболее простым из всех видов сглаживающих фильтров. Он состоит из конденсатора, включаемого параллельно нагрузке. Анализ работы данного фильтра проведен при описании однофазного однополупериодного выпрямителя. Коэффициент пульсаций напряжения на выходе выпрямителя с емкостным фильтром может быть найден по формуле:

$$K_{\text{п}} \approx 12 \cdot m \cdot f \cdot R_{\text{н}} \cdot C K_{\text{п}} \approx 12 \cdot m \cdot f \cdot R_{\text{н}} \cdot C,$$

где m зависит от схемы выпрямителя:

$m=1$ для однофазного однополупериодного выпрямителя,

$m=2$ для однофазного двухполупериодного и мостового выпрямителей),

f — частота входного переменного напряжения.

Из приведенной формулы видно, что коэффициент пульсаций на выходе выпрямителя с емкостным фильтром обратно пропорционален емкости применяемого конденсатора и величине сопротивления нагрузки. Поэтому применение такого фильтра рационально только при достаточно больших значениях этих величин. По мере совершенствования технологии изготовления конденсаторов большой емкости рассматриваемый тип фильтра вследствие своей простоты и эффективности находит все большее применение.

Индуктивно-емкостные фильтры (Г-образные LCLC и П-образные CLCCLC) широко применяются при повышенных токах нагрузки, поскольку падение напряжения на них можно сделать сравнительно небольшим. Коэффициент полезного действия у таких фильтров достаточно высокий. К недостаткам индуктивно-емкостных фильтров относятся: большие габаритные размеры и масса, повышенный уровень электромагнитного излучения от элементов фильтра, сравнительно высокая стоимость и трудоемкость изготовления.

Для эффективного сглаживания пульсаций таким фильтром необходимо выполнение следующих условий: $X_C = 1/\omega C \ll R_{\text{н}}$, $X_L = \omega L \gg X_C$. При их выполнении, пренебрегая потерями в дросселе, для коэффициента сглаживания можно записать:

$$q = (m\omega)^2 LC - 1 \approx (m\omega)^2 LC,$$

где m зависит от схемы выпрямителя:

$m=1$ для однофазного однополупериодного выпрямителя,

$m=2$ для однофазного двухполупериодного и мостового выпрямителей).

Во избежание резонансных явлений в фильтре необходимо выбирать $q > 3q > 3$. Кроме этого, одним из основных условий является обеспечение явно выраженной индуктивной реакции фильтра на выпрямитель, необходимой для большей стабильности внешней характеристики выпрямителя. При индуктивной реакции фильтра меньше действующие значения токов в вентильях и обмотках трансформатора (а следовательно, меньше и требуемая габаритная мощность трансформатора). Для обеспечения индуктивной реакции необходимо, чтобы:

$$L \geq 2U_n(m^2-1)m\omega I_n = 2R_n(m^2-1)m\omega L \geq 2U_n(m^2-1)m\omega I_n = 2R_n(m^2-1)m\omega$$

П-образный CLCCLC фильтр отличается от описанного Г-образного LCLC фильтра наличием еще одной емкости, включаемой на входе фильтра конденсатор C0C0, (показан пунктиром). Расчет таких фильтров производят в два этапа, сначала рассчитывают емкость конденсатора C0C0, исходя из допустимой величины пульсации напряжения на нем, затем по приведенным выше формулам рассчитывают Г-образное звено. Наибольший коэффициент сглаживания в П-образном фильтре достигается при $C_0=C_1C_0=C_1$.

При выборе конденсаторов фильтра необходимо следить за тем, чтобы они были рассчитаны на напряжение на 15...20% превышающее напряжение холостого хода выпрямителя при максимальном напряжении сети (чтобы учесть перенапряжения, возникающие при включении выпрямителя). Необходимо также, чтобы амплитуда переменной составляющей напряжения на них не превышала предельно допустимого значения.

Резистивно-емкостные фильтры целесообразно применять при малых токах нагрузки (менее 10...15 мА) и небольших требуемых коэффициентах сглаживания. Достоинства этих фильтров — малые габариты и масса, низкая стоимость. Недостаток — сравнительно большое падение напряжения на фильтре (что снижает КПД устройства выпрямления в целом).

Простейший Г-образный RCRC фильтр состоит из балластного резистора ($R_{\phi}R_{\phi}$) и конденсатора (C_1). Коэффициент сглаживания такого фильтра вычисляется по формуле:

$$q = m\omega C R_n R_{\phi} R_n + R_{\phi} q = m\omega C R_n R_{\phi} R_n + R_{\phi},$$

где m зависит от схемы выпрямителя:

($m=1$ для однофазного однополупериодного выпрямителя,

$m=2$ для однофазного двухполупериодного и мостового выпрямителей).

Сопротивление фильтра ($R_{\phi}R_{\phi}$) выбирают из условия допустимого падения напряжения на фильтре или исходя из заданного КПД (h) по формуле $R_{\phi} = R_n(1-h)/h$ $R_{\phi} = R_n(1-h)/h$. Оптимальным считается КПД порядка 0,6...0,8.

Расчет П-образного резистивно-емкостного фильтра (его схема включает дополнительный конденсатор C0C0, показанный на рис. 3.4-14 пунктиром) производится, как и в случае П-образного CLCCLC фильтра, в два этапа после разделения этого фильтра на емкостный (C0C0) и Г-образный LC1LC1 фильтр.

Комбинированные фильтры применяются при необходимости получения больших коэффициентов сглаживания на выходе выпрямителя. Они представляют собой последовательное включение нескольких фильтров. При этом могут использоваться как однотипные, так и разнотипные звенья. При каскадном включении LCLC фильтров можно считать, что суммарный коэффициент сглаживания ($q_{\Sigma}q_{\Sigma}$) равен произведению коэффициентов сглаживания составляющих фильтр звеньев: $q_{\Sigma} = q_1 \cdot q_2 \cdot q_3 \dots q_{\Sigma} = q_1 \cdot q_2 \cdot q_3 \dots$. Для нахождения оптимального числа звеньев (попт) такого фильтра при заданном $q_{\Sigma}q_{\Sigma}$ можно воспользоваться формулой:

$$\text{попт} = \lceil \ln 1/q_{\Sigma} \rceil / \ln 2 \text{ попт} = \lceil \ln 1/q_{\Sigma} \rceil / \ln 2.$$

Высокий коэффициент сглаживания и хороший КПД могут также обеспечить разнообразные фильтры на транзисторах.

§19. Область применения, классификация стабилизаторов в устройствах связи.

Стабилитроном называется полупроводниковый диод, вольт-амперная характеристика которого имеет область резкой зависимости тока от напряжения на обратном участке вольт-амперной характеристики.

ВАХ стабилитрона имеет вид, представленный на рисунке 54

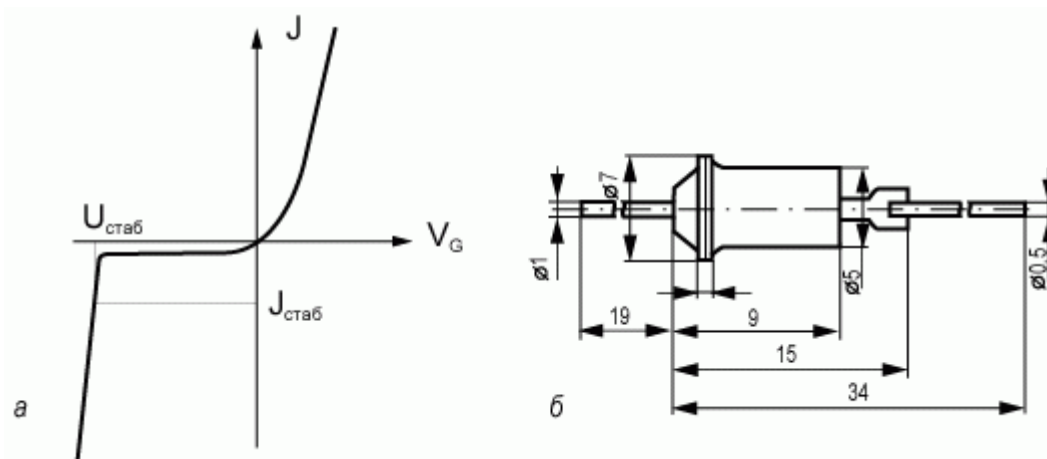


Рисунок 54- Вольт-амперная характеристика (а) и конструкция корпуса (б) стабилитрона

При достижении напряжения на стабилитроне, называемого напряжением стабилизации $U_{\text{стаб}}$, ток через стабилитрон резко возрастает. Дифференциальное сопротивление $R_{\text{диф}}$ идеального стабилитрона на этом участке ВАХ стремится к 0, в реальных приборах величина $R_{\text{диф}}$ составляет значение: $R_{\text{диф}} \approx 2 \div 50 \text{ Ом}$.

Основное назначение стабилитрона - стабилизация напряжения на нагрузке, при изменяющемся напряжении во внешней цепи. В связи с этим последовательно со стабилитроном включают нагрузочное сопротивление, демпфирующее изменение внешнего напряжения. Поэтому стабилитрон называют также опорным диодом.

Напряжение стабилизации $U_{\text{стаб}}$ зависит от физического механизма, обуславливающего резкую зависимость тока от напряжения. Различают два физических механизма, ответственных за такую зависимость тока от напряжения, - лавинный и туннельный пробой p-n перехода.

Для стабилитронов с туннельным механизмом пробоя напряжение стабилизации $U_{\text{стаб}}$ невелико и составляет величину менее 5 вольт: $U_{\text{стаб}} < 5 \text{ В}$. Для стабилитронов с лавинным механизмом пробоя напряжение стабилизации обычно имеет большие значения и составляет величину более 8 вольт: $U_{\text{стаб}} > 8 \text{ В}$.

§20. Схемы и принцип работы стабилизаторов постоянного тока

Стабилизаторы тока, в отличие от стабилизаторов напряжения, стабилизируют ток. При этом напряжение на нагрузке будет зависеть от ее сопротивления. Стабилизаторы тока требуются для питания электронных приборов, таких как светодиоды или газоразрядные лампы, они могут применяться в паяльных станциях или термостабилизаторах для задания рабочей температуры. Кроме того, стабилизаторы тока требуются для заряда аккумуляторов различного типа. Стабилизаторы тока широко применяются в составе интегральных микросхем для задания тока усилительных и преобразовательных каскадов. Там они обычно называются генераторами тока.

Особенностью стабилизаторов тока является их большое выходное сопротивление. Это позволяет исключить влияние входного напряжения и сопротивления нагрузки на величину выходного тока. Конечно в простейшем случае в качестве генератора тока может служить источник напряжения и резистор. Такая схема часто применяется для питания индикаторного светодиода. Подобная схема приведена на рисунке 55.

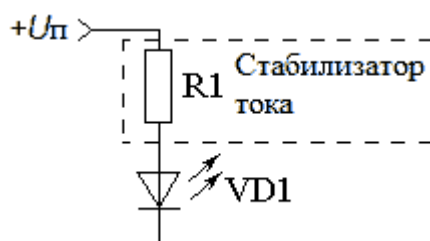


Рисунок 55- Схема стабилизатора тока на резисторе

В качестве недостатка данной схемы можно назвать необходимость применения высокого напряжения источника питания. Только в этом случае удастся применить достаточно высокоомный резистор и добиться приемлемой стабильности тока. При этом на резисторе выделяется мощность $P = I^2 \times R$, что при больших токах может оказаться неприемлемым.

Намного лучше зарекомендовали себя стабилизаторы тока на транзисторах. Здесь мы пользуемся тем, что выходное сопротивление транзистора очень велико. Это прекрасно видно по выходным характеристикам транзистора. Для иллюстрации на рисунке 56 показано как определить выходное сопротивление транзистора по его выходным характеристикам.

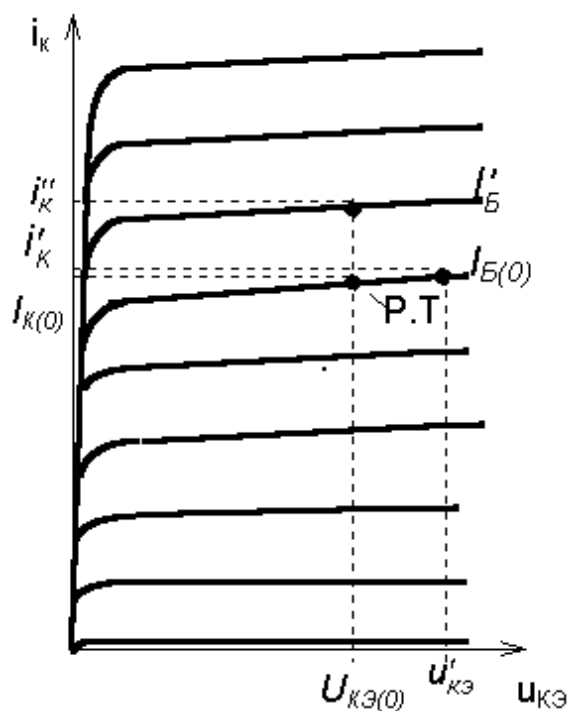


Рисунок 56- Определение выходного сопротивления транзистора по его выходным характеристикам

При этом падение напряжения можно задать небольшим, что позволяет получить небольшие потери при высокой стабильности выходного тока. Это позволяет использовать данную схему для питания светодиодов подсветки или для заряда маломощных аккумуляторов. Схема стабилизатора тока на биполярном транзисторе приведена на рисунке 57.

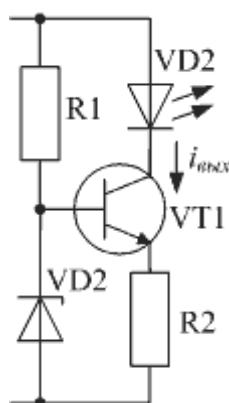


Рисунок 57- Схема стабилизатора тока на транзисторе

В этой схеме напряжение на базе транзистора задается стабилитроном VD1, резистор R2 служит датчиком тока. Именно его сопротивление определяет выходной ток стабилизатора. При возрастании тока падение напряжения на нем возрастает. Оно прикладывается к эмиттеру транзистора. В результате напряжение база-эмиттер, определяемое как разность постоянного напряжения на базе и напряжения на эмиттере уменьшается и ток возвращается к заданному значению.

Подобным образом работают генераторы тока, наиболее известным из которых является схема "токового зеркала". В ней вместо стабилитрона используется эмиттерный переход биполярного транзистора, а в качестве резистора R2 используется внутреннее сопротивление эмиттера транзистора. Схема токового зеркала приведена на рисунке 58.

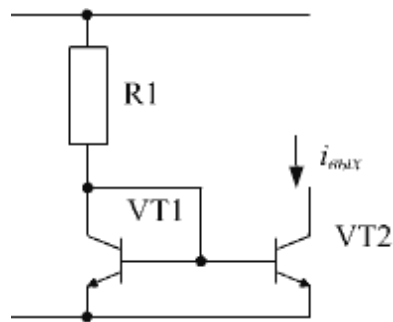


Рисунок 58- Схема "токового зеркала"

Стабилизаторы тока, работающие по принципу работы схемы, показанной на рисунке 3, собранные на полевых транзисторах еще проще. В них вместо стабилизатора напряжения можно использовать потенциал земли. Схема стабилизатора тока, выполненная на полевом транзисторе приведена на рисунке 59.

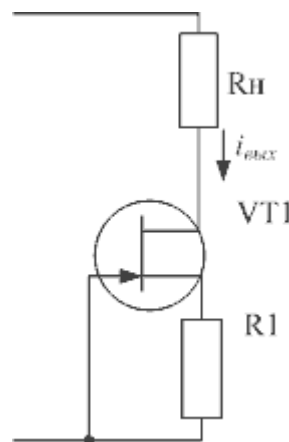


Рисунок 59- Схема стабилизатора тока на полевом транзисторе

Все рассмотренные схемы совмещают элемент регулирования и схему сравнения. Подобная ситуация наблюдалась при разработке компенсационных стабилизаторов напряжения. Стабилизаторы тока отличаются от стабилизаторов напряжения тем, что сигнал в цепь обратной связи поступает от датчика тока, включенного в цепь тока нагрузки. Поэтому для реализации стабилизаторов тока применяют такие распространенные микросхемы как 142ЕН5 (LM7805) или LM317. На рисунке 60 приведена схема стабилизатора тока на микросхеме LM317.

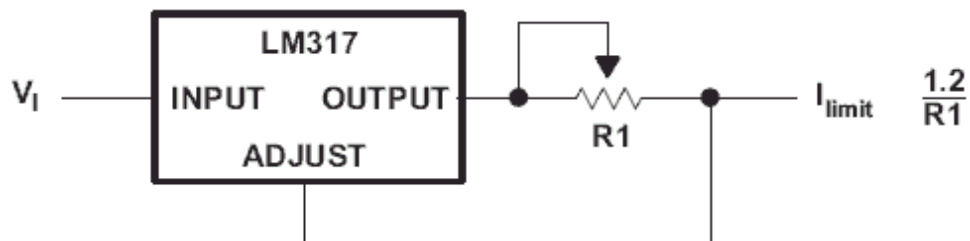


Рисунок 60- Схема стабилизатора тока на микросхеме LM317

Датчиком тока является резистор R1 и на нём стабилизатор поддерживает неизменным напряжение а, следовательно, ток в нагрузке. Сопротивление датчика тока много меньше сопротивления нагрузки. Падение напряжения на датчике соответствует выходному напряжению компенсационного стабилизатора. Схема, приведенная на рисунке 6 прекрасно подходит как для питания осветительных светодиодов, так и для зарядных устройств аккумуляторов.

В качестве стабилизаторов тока отлично подойдут и импульсные стабилизаторы. Они обеспечивают больший к.п.д. по сравнению с компенсационными стабилизаторами. Именно эти схемы обычно применяются в качестве драйверов внутри светодиодных ламп.

§21.Схемы и принцип работы стабилизаторов переменного тока

Простейшим из параметрических однофазных стабилизаторов является ферромагнитный стабилизатор, в котором в качестве регулирующего элемента применяется дроссель с насыщающимся сердечником. Схема подобного стабилизатора похожа на схему параметрического стабилизатора на стабилитроне и приведена на рисунке 61.

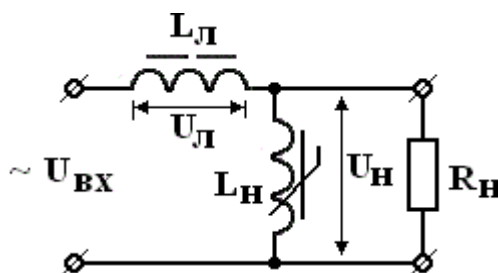


Рисунок 61- Схема ферромагнитного однофазного стабилизатора напряжения

В данной схеме переменное напряжение ограничивается на насыщающемся дросселе L_n . В качестве балластного резистора, на котором падает лишнее напряжение, служит реактивное сопротивление индуктивности L_d . Амплитудная характеристика этого вида стабилизатора переменного напряжения, повторяющая вольтамперную характеристику дросселя в режиме насыщения, приведена на рисунке 2.

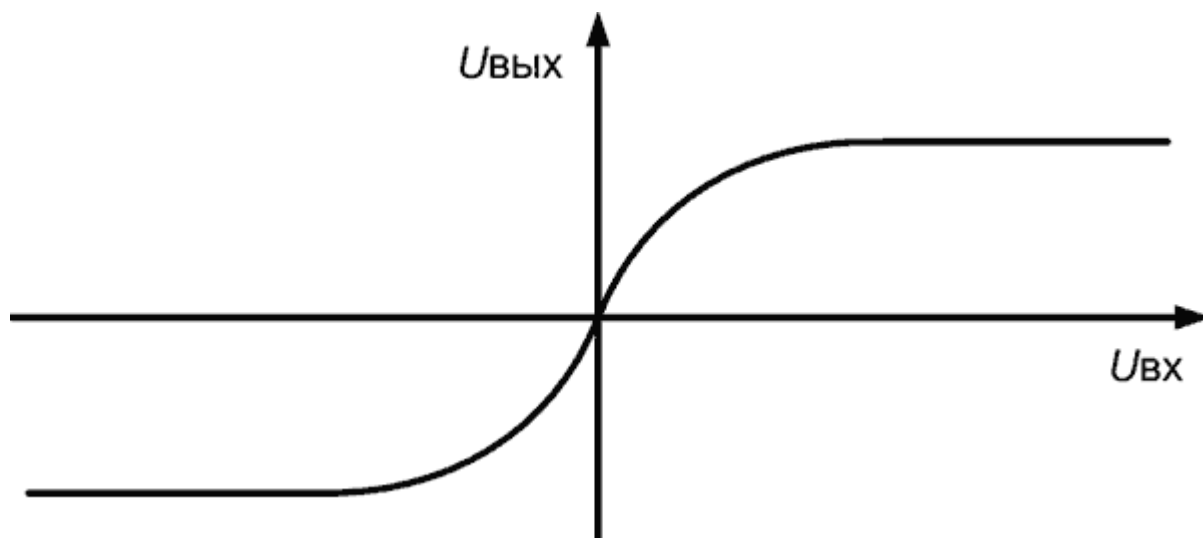


Рисунок 62- Амплитудная характеристика ферромагнитного однофазного стабилизатора напряжения переменного тока

Из графика, приведенного на этом рисунке видно, что коэффициент стабилизации ферромагнитного стабилизатора достаточно низкий (особенно на начальном участке при небольших входных напряжениях). Кроме того, из-за нелинейного характера изменения тока дросселя L_n форма напряжения на выходе стабилизатора искажается. Оно ограничивается с двух сторон и приближается по форме к прямоугольному. Поэтому в выходном спектре появляются четные гармоники входного напряжения. Учитывая, что при насыщении сердечника возрастают потери, то к.п.д. ферромагнитного стабилизатора

находится в пределах от 40 до 60%. Из-за индуктивного характера элементов стабилизатора его коэффициент мощности достаточно низок (0,3 ... 0,5).

Для уменьшения коэффициента гармоник выходного напряжения можно применить параллельный контур. Для этого параллельно дросселю L_n подключают конденсатор. Такая схема получила название феррорезонансные стабилизаторы. В качестве примера феррорезонансного стабилизатора можно назвать модель Украина-2 или иностранные стабилизаторы серии SOLA, KONZEPT. Схема феррорезонансного стабилизатора приведена на рисунке 3.

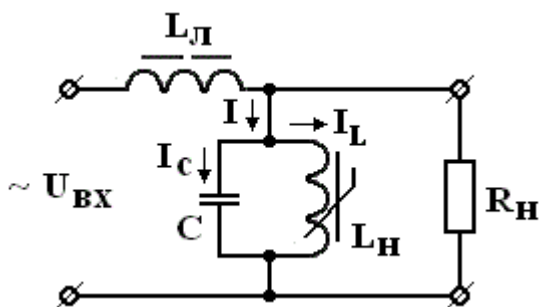


Рисунок 63- Схема феррорезонансного однофазного стабилизатора напряжения

Применение конденсатора приводит к компенсации индуктивной составляющей входного тока, что позволяет увеличить коэффициент мощности. В феррорезонансных стабилизаторах переменного напряжения он находится в пределах 0,8 ... 1. Кроме того, емкость конденсатора C и индуктивность дросселя с насыщающимся сердечником образуют параллельный контур, который подавляет высокочастотные составляющие выходного тока. В результате коэффициент нелинейных искажений не превышает 4%.

Вольтамперная характеристика нелинейного контура в феррорезонансном стабилизаторе переменного напряжения приведена на рисунке 2.

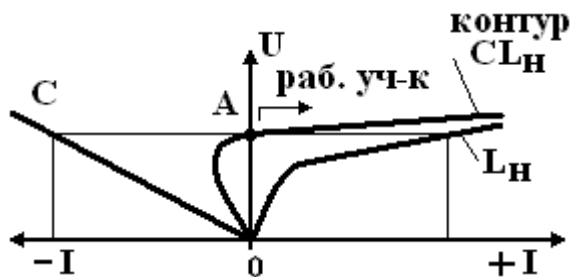


Рисунок 64- Вольтамперная характеристика нелинейного контура

При увеличении входного напряжения от нуля, увеличивается ток через конденсатор C и через нелинейный дроссель L_n . В момент их равенства ток, потребляемый контуром, равен нулю (точка "А") — это точка резонанса. Выше точки А характер входного сопротивления контура становится индуктивным — этот участок характеристики контура используется в качестве рабочего участка стабилизатора. Угол наклона её меньше, чем у отдельного дросселя насыщения, в результате стабильность выходного напряжения будет выше, чем у ферромагнитного стабилизатора.

Феррорезонансные стабилизаторы чувствительны к изменению частоты, так при $\delta f = 1 \dots 2\%$ изменение выходного напряжения достигает $\delta U_{\text{вых}} = 1 \dots 2\%$, но они имеют простую схему, надёжны, КПД достигает 90%, устойчивы к промышленным помехам и перегрузкам по току, обладают высокой механической прочностью. Коэффициент стабилизации по напряжению находится в пределах 15 ... 30.

В промышленных вариантах бытовых однофазных стабилизаторов напряжения часто индуктивность дросселя $L_{\text{Л}}$ делят на две части, как это показано на рисунке 65.

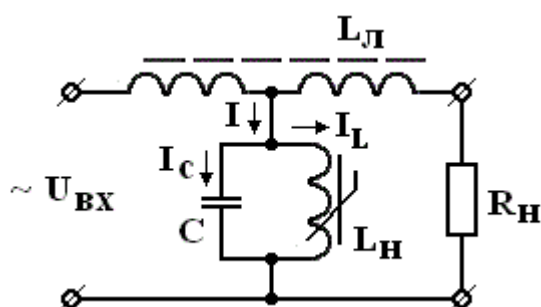


Рисунок 65- Улучшенная схема феррорезонансного стабилизатора

Это позволяет улучшить форму выходного напряжения. Конструкция одного из распространенных бытовых стабилизаторов напряжения приведена на рисунке 4.

§22.Транзисторные преобразователи напряжения

При использовании в качестве первичных источников питания таких источников постоянного тока, как аккумуляторы, солнечные батареи и т.п., транзисторный преобразователь является основным функциональным узлом преобразования входного напряжения постоянного тока одного номинала в ряд постоянных напряжений различных номиналов и полярностей, гальванически не связанных друг с другом и с первичным источником. Транзисторный преобразователь применяется также в источниках питания с бестрансформаторным входом, работающих от сети переменного тока промышленной частоты. Такие источники питания в настоящее время полностью вытеснили громоздкие трансформаторные устройства из бытовой радиоаппаратуры, персональных компьютеров и других приборов различного назначения.

Транзисторные преобразователи выполняются по одноконтной или двухконтной схеме. Одноконтные преобразователи выполняются по схеме релаксационного автогенератора с трансформаторной обратной связью (рис. 66, а), преобразующего постоянное напряжение питания $U_{\text{сс}}$ в прямоугольные импульсы; выходное напряжение U_o , получаемое на вторичной обмотке трансформатора Т, выпрямляется и после фильтрации подается на стабилизатор и далее потребителю.

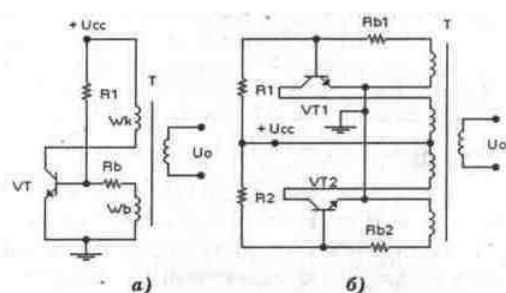


Рисунок 66- Преобразователь напряжения

Двухконтный преобразователь выполняется, как правило, на двух

транзисторах, к коллекторам которых подключена первичная обмотка трансформатора. Источник питания $U_{св}$ подключается к эмиттерам транзисторов и среднему выводу первичной обмотки трансформатора Т (рис. 66, б). Трансформатор содержит также две обмотки, подключаемые к базам транзисторов и обеспечивающие режим автогенерации за счет положительной обратной связи.

В двухтактных автогенераторных преобразователях используются трансформаторы в режиме насыщения или ненасыщения. В преобразователях с силовым трансформатором в режиме насыщения переключение транзисторов осуществляется за счет смены полярности напряжения на обмотках трансформатора в момент насыщения сердечника. В этих преобразователях цепь обратной связи (базовые обмотки, обмотка W_b на рис. 66, а) находится на общем магнитопроводе трансформатора питания. Частота преобразования определяется параметрами трансформатора и напряжением на его первичной обмотке. Основным недостатком таких преобразователей является резкое увеличение тока через открытый транзистор в момент его насыщения, что вызывает дополнительные потери мощности в транзисторах.

В преобразователях с ненасыщающимся трансформатором переключение транзистора осуществляется за счет введения в цепь обратной связи дополнительных элементов, которые переключают транзистор до насыщения трансформатора. В качестве таких переключающих элементов могут использоваться маломощный переключающий трансформатор, дроссель насыщения или RC-цепи (параллельно резисторам R_b , R_{b1} , R_{b2} подключаются конденсаторы).

Двухтактные преобразователи ввиду их простоты и высокой надежности широко используются в источниках питания с выходной мощностью до нескольких десятков ватт. В более мощных преобразователях дополнительно используются двухтактные или мостовые усилители на транзисторах большой мощности. В качестве задающего генератора, который управляет переключением силовых транзисторов усилителя мощности, используются двухтактные преобразователи с самовозбуждением, автогенераторы на операционных усилителях или логических элементах с внешними RC-цепями, задающими частоту преобразователя до 200 кГц и выше.

Достоинством преобразователей с усилителем мощности является отсутствие влияния изменения нагрузки и напряжения питания на частоту преобразования; в них также просто организуется управление силовыми транзисторами.

На практике получили также распространение преобразователи с дополнительным стабилизатором напряжения на входе. При этом в зависимости от выходной мощности применяются различные типы стабилизаторов. Преобразователи с входным непрерывным стабилизатором используются при выходной мощности от долей до

единиц ватт, КПД такого преобразователя не выше 0,5. Преобразователи с входным импульсным стабилизатором используются при выходной мощности от единиц до сотен ватт; они имеют более высокий КПД — до 0,6...0,8.

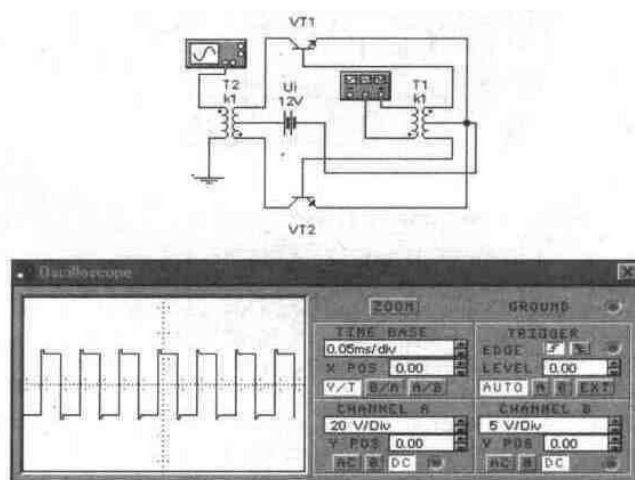


Рис. 12.23. Транзисторный преобразователь с независимым возбуждением (а) и осциллограмма его выходного сигнала (б)

Рисунок 67- Транзисторный преобразователь

Схема преобразователя с услителем мощности (преобразователь с независимым возбуждением) приведена на рис. 67, а. Преобразователь содержит два транзистора VT1, VT2, выходной T1 и входной T2 трансформаторы, между средними точками обмоток которых включен источник преобразуемого постоянного напряжения U_i . В качестве задающего генератора использован функциональный генератор в режиме синусоидального сигнала напряжением 3 В. Выходной сигнал этого преобразователя показан на рис. 67, б.

§23.Тиристорные преобразователи напряжения

Описываемое устройство предназначено для преобразования постоянного напряжения 12 В в переменное от 200 до 500 В и может отдать в нагрузку мощность до 500 Вт. Схема преобразователя представлена на рис. 4.40. Частота выходного переменного напряжения определяется частотой импульсов автогенератора, выполненного на транзисторах VT1 и VT2. Этими импульсами через трансформатор T1 управляют тиристорные ключи VD1 и VD2, которые попеременно подключают к источнику постоянного напряжения то одну, то другую половины первичной обмотки трансформатора T2. К выводам 4-5 трансформатора T2 подключается нагрузка. Качество работы преобразователя напряжения во многом зависит от правильного подбора емкости конденсатора C4. Конденсатор подобран правильно, если при колебаниях питающего напряжения в пределах $\pm 10\%$ обеспечено четкое попеременное закрывание ключей.

Применение разделительных конденсаторов C2 и C3 повышает стабильность работы преобразователя. Резистор R3 предохраняет источник питания от короткого замыкания в моменты переключения ключей. Частота выходного напряжения устройства при указанных данных равна 200 Гц. Если предусмотреть возможность изменения частоты автогенератора (например, вместо автогенератора собрать регулируемый по частоте мультивибратор с усилителем мощности), то на выходе преобразователя можно получить напряжение с частотой 50...400 Гц, что позволит использовать его для плавного регулирования скорости вращения синхронных электродвигателей мощностью до 500 Вт.

Изменяя соответствующим образом число витков вторичной обмотки трансформатора T2, можно получить на выходе преобразователя напряжения различной величины. Трансформатор T1 намотан на сердечнике Ш 16x10 и имеет обмотки: I — 2x40 витков ПЭВ-2-0,8, II - 2x10 витков ПЭВ-2-0,2 и III - 2x20 витков ПЭВ-2-0,2. Трансформатор T2 намотан на сердечнике Ш50x60 и имеет обмотки: I — 2x40 витков ПЭВ-2-3,0 и II — 800 витков ПЭВ-2-0,92.

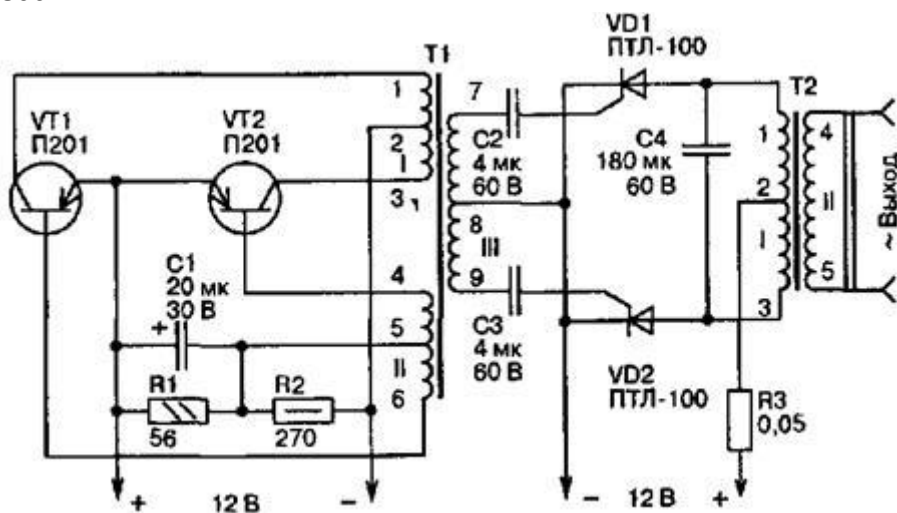


Рисунок 68- Транзисторный преобразователь

При таких данных выходное напряжение преобразователя составляет 400 В

Лавинные тиристоры ПТЛ-100 относятся к достаточно редким приборам, но в данной схеме допускается применение и более распространенных типов мощных тиристоров. Эти тиристоры также должны быть рассчитаны на коммутацию токов не менее 100 А.

В качестве замены можно предложить такие тиристоры на ток 100 А: Т151-100 или более старый TWO (оба этих тиристора не относятся к классу лавинных), а вот из лавинных тириستоров доступны только более мощные. Это ТЛ171-250, ТЛП1-320 или ТЛ2-160, ТЛ2-200, ТЛ2-250. Есть еще высокочастотные тиристоры, в том числе и на 100 А, например, ТБШ-100, ТЧ100, ТЧИ100. Все эти мощные тиристоры, невзирая на их название, могут работать на частотах до 500 Гц.

§24. Инверторы, принцип работы

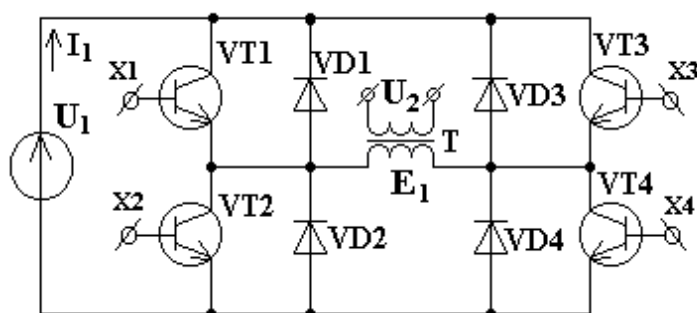


Рисунок 69- Мостовая схема инвертора напряжения

Мостовая схема инвертора напряжения применяется на больших мощностях при повышенном уровне напряжения источника питания. Сигналы управления $X_1...X_4$ поступают таким образом, что в каждом полупериоде два транзистора включены, а два других выключены.

Существует два алгоритма управления ключевыми элементами инвертора напряжения: симметричный и несимметричный. На рисунке приведены временные зависимости токов и напряжений для этих двух алгоритмов. Рассмотрим принцип действия инвертора при *симметричном управлении*.

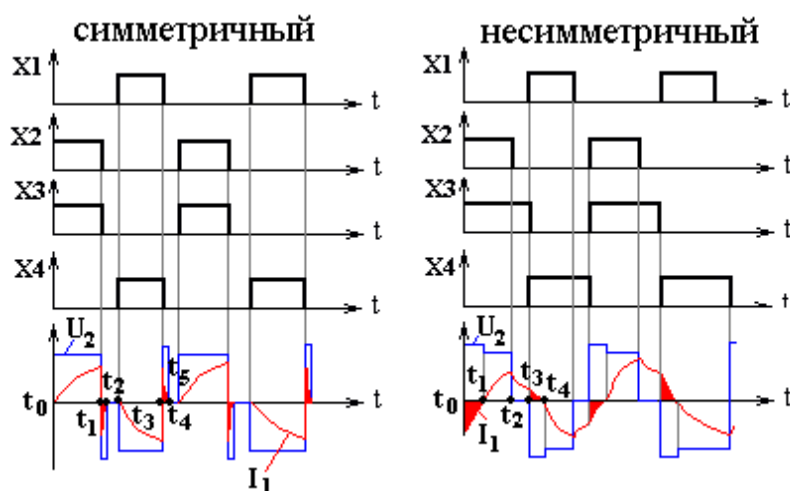


Рисунок 70 –Временные диаграммы

При подаче управляющих импульсов X_1 , X_4 на транзисторы VT_1 , VT_4 на интервале времени $[t_3; t_4]$ ток протекает по контуру: “+” U_1 ; коллектор- эмиттер VT_1 ; обмотка трансформатора (Т) в первичной цепи; коллектор- эмиттер VT_4 ; “-” U_1 . На этом же интервале накапливается реактивная энергия в цепи намагничивания трансформатора Т, происходит плавное нарастание тока в первичной цепи по экспоненциальному закону.

На интервале $[t_4; t_5]$ осуществляется рекуперация энергии в источник U_1 через обратные диоды по контуру: “+” ЭДС (E_1); VD_3 ; противоположное направление по отношению к U_1 ; VD_2 ; “-” E_1 . Тока источника спадает до нуля.

В плече моста инвертора напряжения достаточно управлять одним ключом для осуществления стабилизации напряжения на выходе инвертора (U_2), другой ключ можно удерживать в открытом состоянии, что исключает воздействие инвертора на входной источник. Рассмотрим принцип действия инвертора при *несимметричном алгоритме управления*.

На интервале времени $[t_0; t_2]$ за период работы второго и третьего ключей в цепи намагничивания трансформатора Т накопилась реактивная энергия. На интервале $[t_2; t_3]$ происходит рекуперация энергии в нагрузку по контуру: “+” ЭДС (E_1); VD_1 ; коллектор-эмиттер VT_3 ; “-” E_1 . Если на данном интервале ток I_1 не снизился до нуля (т.е. ток не поменял свой знак), то на интервале $[t_3; t_4]$ энергия передается в источник по контуру: “+” ЭДС (E_1); VD_1 ; противоположное направление по отношению к U_1 ; VD_4 ; “-” E_1 , при этом образуется “полочка” в форме напряжения U_2 .

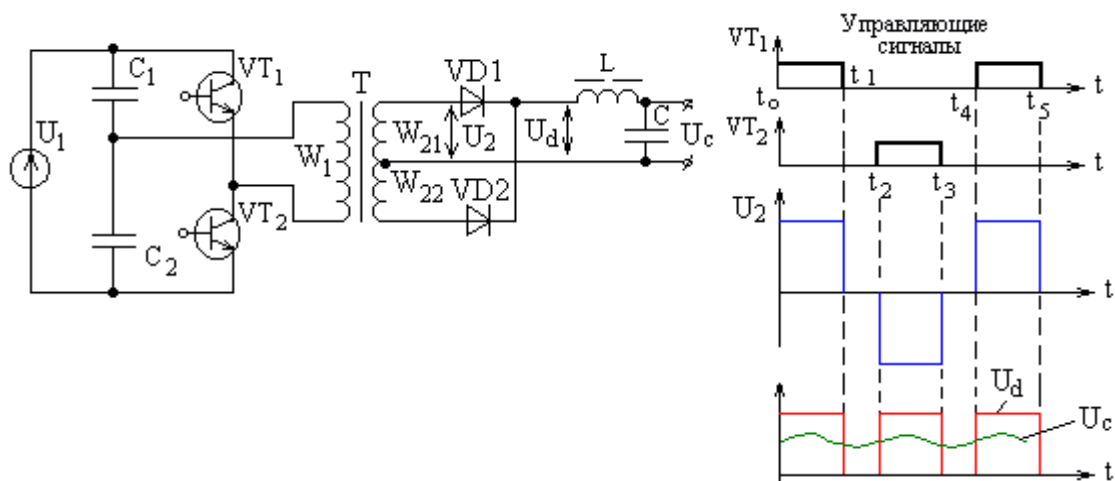


Рисунок 71- Полумостовой транзисторный инвертор напряжения

Принцип работы схемы заключается в поочередном подключении транзисторами VT_1 , VT_2 первичной обмотки трансформатора к конденсаторам C_1 и C_2 . На интервале времени $[t_2; t_3]$ происходит заряд конденсатора C_1 по цепи: “+”; U_1 ; C_1 ; обмотка трансформатора первичной цепи W_1 ; коллектор- эмиттер VT_2 ; “-” U_1 . На этом же интервале происходит разряд конденсатора C_2 по цепи: “+” C_2 ; обмотка трансформатора первичной цепи W_1 ; коллектор- эмиттер VT_2 ; “-” U_1 .

К достоинствам схемы инвертора можно отнести: малые потери в силовой цепи за счет коммутации одного ключа на каждом такте работы схемы. За счет конденсаторов поддерживается баланс токов в схеме за период работы, что исключает возникновение асимметричного режима намагничивания трансформатора. Кроме того, в этой схеме

малый уровень обратного напряжения на ключах, поэтому схема может использоваться при высоких входных напряжениях.

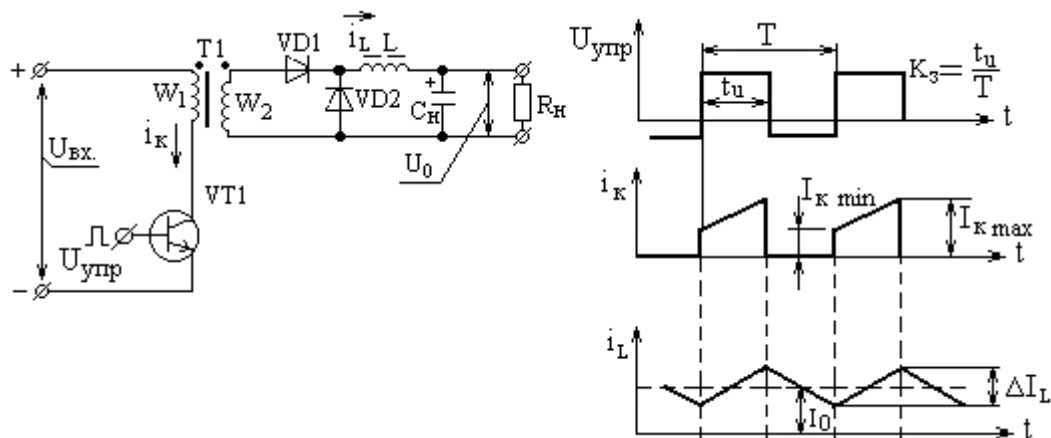


Рисунок 72-Однотактный транзисторный инвертор напряжения с прямым включением выпрямительного диода

При подаче управляющего сигнала ($U_{упр}$) на базу транзистора $VT1$ в первичной цепи трансформатора появляется ток. Контур его протекания: “+” U_{BX} ; обмотка трансформатора в первичной цепи; коллектор- эмиттер $VT1$;

”–“ U_1 . На интервале импульса происходит передача энергии в нагрузку через выпрямительный диод $VD1$ и накопление реактивной энергии в дросселе сглаживающего фильтра L . На интервале паузы $(1-K_3)T$ осуществляется разряд дросселя L через обратный диод $VD2$ в нагрузку, конденсатор C дополнительно сглаживает пульсации.

К достоинствам схемы относятся: простота силовой цепи и системы управления, дешевизна конструкции. отсутствие режима сквозных токов.

Недостатки: ограничения на максимальное значение коэффициента заполнения импульсов K_3 , большие габариты сглаживающего фильтра, одностороннее намагничивание сердечника трансформатора. В таком виде схема неработоспособна – требуются цепи восстановления магнитного состояния сердечника (размагничивания).

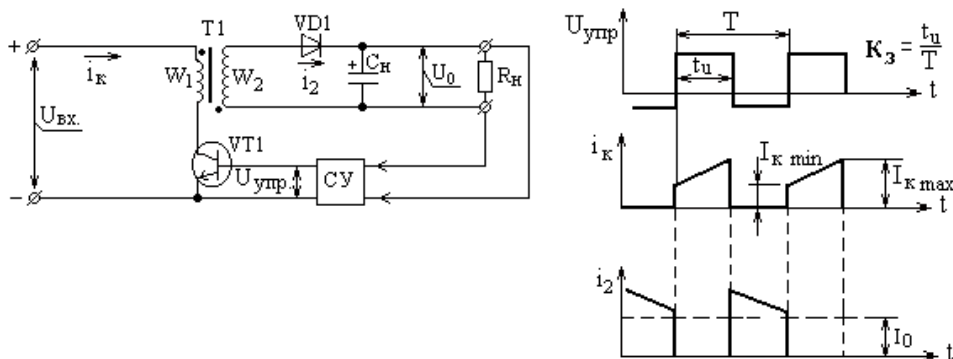


Рисунок 73-Однотактный транзисторный инвертор с обратным включением выпрямительного диода

При подаче управляющего сигнала на базу транзистора VT1 происходит накопление реактивной энергии в цепи намагничивания трансформатора T1. Ток в цепи намагничивания трансформатора протекает по контуру: “+” U_{BX} ; обмотка трансформатора первичной цепи; коллектор- эмиттер VT1;”–“ U_1 . При этом выпрямительный диод VD1 закрыт, конденсатор фильтра разряжается в нагрузку. На интервале паузы происходит передача энергии намагничивания в нагрузку через выпрямительный диод VD1.

К достоинствам схемы относятся: простота силовой цепи и системы управления, дешевизна конструкции, отсутствие режима сквозных токов.

Недостатки: ограничения на максимальное значение коэффициента заполнения импульсов K_3 , большие габариты сглаживающего фильтра, одностороннее намагничивание сердечника трансформатора.

§25. Назначение и основные параметры ИБП

Источники бесперебойного питания типа Off-Line стандартом определяются как пассивные, резервного действия (UPS-PSO). В нормальном режиме функционирования штатным питанием нагрузки является отфильтрованное напряжение первичной сети при допустимых отклонениях входного напряжения и частоты. В случае, когда параметры входного напряжения выходят за значения настроенных диапазонов, включается инвертор источника бесперебойного питания, обеспечивающий непрерывность питания нагрузки. Инвертор питается от аккумуляторов.

Это наиболее простые ИБП (рисунок 74), а значит, и самые дешевые. Источник бесперебойного питания состоит из двух параллельных ветвей:

- фильтр-нагрузка;
- выпрямитель-батарея-инвертор-нагрузка.

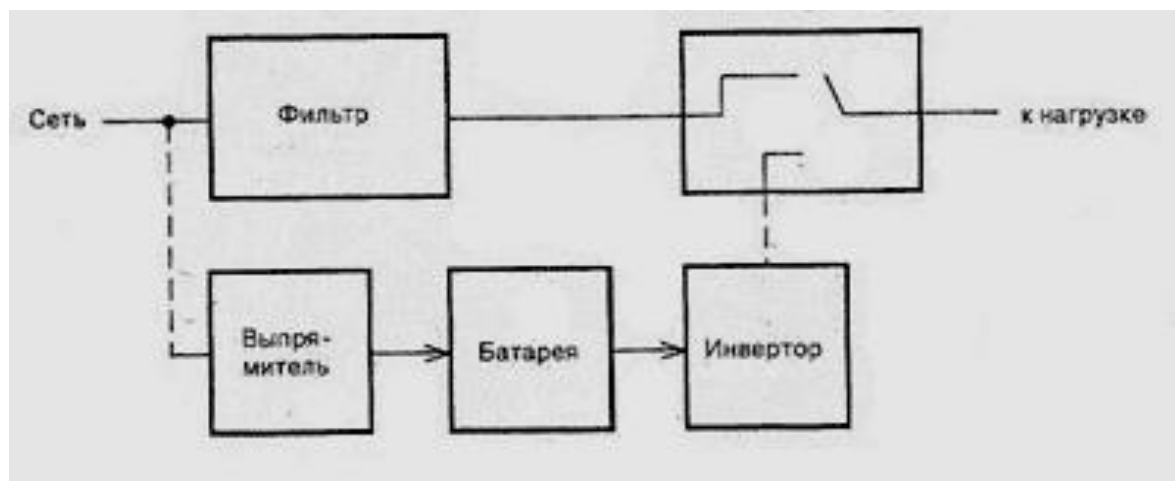


Рисунок 74- Схем источника бесперебойного питания Stand-By типа

При нормальных характеристиках сети, напряжение в нагрузку поступает через фильтр, фильтрующий всевозможные помехи. Это, обычно, фильтр-ограничитель (surge suppressor), хотя может быть и фильтр-стабилизатор (line conditioner) либо их сочетание, а также статический переключатель.

Одновременно через выпрямитель подзаряжаются и аккумуляторы аккумуляторной батареи. При пропадании, завышении либо понижении входного напряжения, питание нагрузки электронным переключателем переключается на батарейное через инвертор (инвертор преобразует постоянное напряжение в переменное). Переключатель обеспечивает время переключения от 2 до 15 мс. Отметим, что пропадание электроэнергии в ходе этого времени не оказывает сколь-нибудь заметного влияния на компьютерные системы, которые спокойно переносят отключение питания на 10-20мс. Учитывая, что почти у всей современной аппаратуры блоки питания импульсные, переключение совершается незаметно для пользователя. Источники бесперебойного питания такого типа могут поддержать работу персонального компьютера в ходе 5-10 мин.

Основные недостатки ИБП Off-Line

Главными недостатками ИБП off-line считают:

- плохая работа источников питания этого типа в сетях с низким качеством электрической сети: плохая защита от провалов напряжения (sags), превышений допустимого значения напряжения, изменений частоты и формы входного напряжения;
- невозможность своевременного восстановления емкости аккумуляторов при частых переключениях на батарейное питание;
- несинусоидальное выходное напряжение при питании от аккумуляторной батареи.

Итак, основное рекомендуемое использование источников бесперебойного питания off-line типа - устройство защиты нагрузки с импульсным блоком питания с редкими отклонениями в питающей сети.

Источники бесперебойного питания типа Line-Interactive

В источниках бесперебойного питания линейно-интерактивного типа (Line-Interactive, иногда Ferroresonant) сочетаются преимущества типа On-line с надежностью и эффективностью резервных (standby). В источниках бесперебойного питания этого типа в отличие от технологии Off-line в прямую цепь включен ступенчатый автоматический регулятор напряжения (booster), построенный на основе автотрансформатора (трансформатор с переключающимися обмотками). В некоторых моделях применяется сетевой стабилизатор напряжения.

Инвертор связан с нагрузкой. При работе он питает нагрузку параллельно стабилизированному (conditioned) переменному напряжению сети. Нагрузка подключается полностью лишь в том случае, когда входное напряжение электросети пропадает.

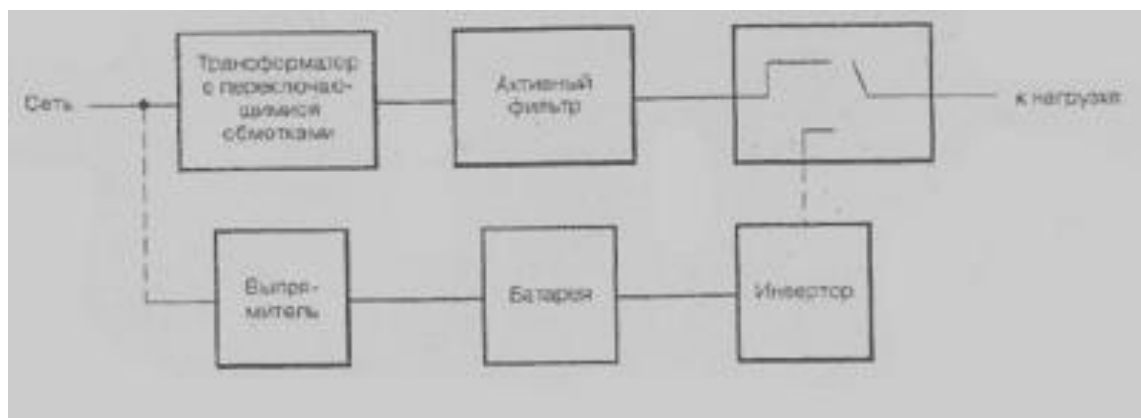


Рисунок 75- Схем источника бесперебойного питания Line-Interactive типа

Из-за такого взаимодействия ("interaction") со входным сетевым напряжением данная архитектура и получила свое название. В определенном диапазоне изменения сетевого напряжения, выходное напряжение поддерживается в заданных границах за счет переключения обмоток трансформатора либо стабилизатором. Инвертор как правило работает при низком напряжении, регулирует выходное напряжение и подзарядку аккумуляторов до тех пор, пока не потребуется его включение для полного питания нагрузки при перебоях в электросети. Линейно-интерактивные источники бесперебойного питания нашли наиболее широкое применение в системах защиты компьютерных сетей.

Трансформатор, сделанный по специальной так называемой ferro-технологии, сглаживает скачки напряжения, при этом источник бесперебойного питания реже переключается на работу от аккумуляторной батареи, и следовательно повышается срок службы батареи. Обычно, эти источники бесперебойного питания оборудованы совершенными фильтрами, обеспечивающими защиту от помех различного происхождения. Типовое время переключения в режим питания от аккумуляторов или обратно составляет 2 мс.

Конструктивно трансформатор не имеет несколько дополнительных отводов во вторичной обмотке (это может быть автотрансформатор с единственной обмоткой), переключением отводов трансформатора при изменениях входного напряжения управляет контроллер (микропроцессор), поддерживая напряжение на выходе в требуемом диапазоне. Итак, Line-Interactive источник бесперебойного питания работает по принципу управляемого ЛАТРа и действительно реже переключается на батарейное питание при скачках входного напряжения. В этой схеме зарядное устройство конструктивно совмещено с преобразователем.

Одним из преимуществ ИБП такого типа является широкий диапазон допустимых входных напряжений.

В некоторых линейно-интерактивных моделях есть шунтовая цепь между входом первичной электросети и нагрузкой, такие ИБП называются шунтовыми линейно-интерактивными ИБП (UPS-LIB, Reversible + Bypass). В шунтовом режиме питаемая нагрузка не защищается. При работе с источниками на основе ferro-технологий нужно иметь в виду:

- высокое выходное сопротивление источников может угрожать безопасной работе приборов, препятствуя срабатыванию сетевых предохранителей;

- возможна нестабильная работа (паразитные колебания) при использовании источников для питания приборов с корректорами коэффициента мощности.

Источники бесперебойного питания On-Line типа

Технология On-Line позволяет реализовать самый надежный тип источника бесперебойного питания. С выпрямителя (рисунок 76) напряжение сети поступает на преобразователь постоянного напряжения высокого уровня в низкое ПН1, а далее - на преобразователь постоянного напряжения в переменное выходное напряжение (ПН2). Преобразователь ПН2 - инвертор, питание на который поступает как от аккумуляторов, так и от сети через выпрямитель-преобразователь напряжения ПН1, подключенных параллельно:

- при нормальном входном переменном напряжении инвертор ПН2 питается от выпрямителя;
- при отклонениях в питающей электросети от нормы, входное напряжение для ПН2 снимается с аккумуляторной батареи.

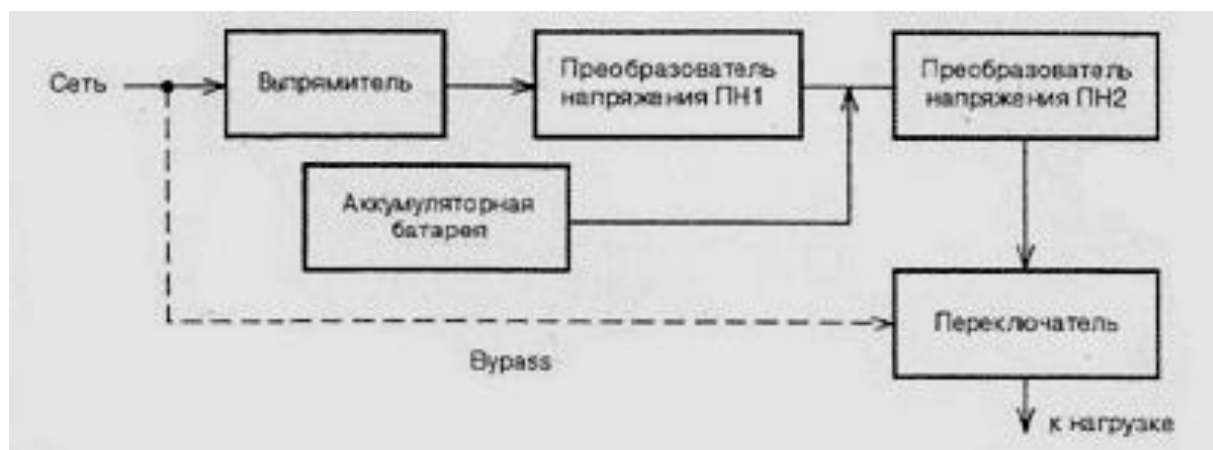


Рисунок 76- Схем источника бесперебойного питания On-Line типа

В большинстве систем источников бесперебойного питания мощностью до 5 кВА вместо непрерывно подключенного аккумулятора, подключен резервный преобразователь постоянного тока (DC-DC converter), включающийся при сбоях сети и дублирующий шину постоянного тока от низковольтного аккумулятора.

Вывод: даже в случаи незначительных отклонениях параметров входного напряжения от нормы On-Line устройства обеспечивают на выходе номинальное напряжение в области $\pm 1-3\%$. Присутствие обходной цепи (bypass) позволяет подключать нагрузку прямо к силовой сети. Качество питания и надежность поставки электроэнергии, предоставляемое устройствами с архитектурой такого типа, существенно выше, чем у предыдущих.

Недостатки источников бесперебойного питания On-line типа: невысокий, по сравнению с ранее рассмотренными типами, КПД (85-90%) из-за двойного преобразования (по отношению к Standby и Line-Interactive) и высокая цена. Однако, уровень защиты нагрузки и стабильность выходных параметров ИБП - разумный компромисс между безопасностью, КПД и ценой устройства. Потери в ИБП мощностью в 4000ВА не превышают 380Вт и могут быть несоизмеримыми с той задачей, которую решает подобный источник питания.

§26. Принципы построения ИБП

Сейчас имеется несколько новых модификаций источников бесперебойного питания:

- by-pass;
- triple-conversion;
- ferrups.

Первая модификация (by-pass) как и на рисунке 3 представляет собой дополнительный канал передачи электроэнергии в нагрузку, его наличие позволяет обеспечить высокую надежность устройства. Переключение в режим On-line производится автоматически при отклонении параметров выходной сети от нормы либо же в аварийных условиях работы. Таким образом, этот режим способствует увеличению надежности устройства. Вторая модификация (triple-conversion) содержит корректор коэффициента мощности. В третьей модификации (ferrups) применен феррорезонансный трансформатор, обеспечивающий высокие показатели надежности и широкий диапазон входных напряжений.

Новые подходы в построении источников бесперебойного питания основываются на использовании систем с резервируемым питанием, которые обладают более высокой надежностью выходной сети, так что неисправность одного из элементов не ведет к выходу из строя всей системы. Обычно, это модульные системы, сконструированные или по принципу повышения мощности нагрузки, или для повышения надежности системы, или используя оба принципа совместно. Простейшая система имеет в структуре источника бесперебойного питания вспомогательный модуль, "изолированный в горячем дежурном режиме". Имеется несколько вариантов технических решений таких бесперебойников.

Первый вариант заключается в применении автоматического переключателя (рисунок 77). Входы одного либо более источников питания подключены к единой сети, а с нагрузкой соединяются через автоматический переключатель. Информация о состоянии работы установок, управляющие команды поступают по каналу связи объединяющему ИБП.

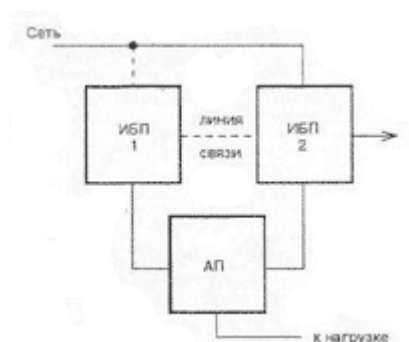


Рисунок 77- Параллельная схема с использованием автоматического переключателя

Второй вариант содержит "распределитель нагрузки" (рисунок 78), равномерно распределяющий нагрузку между отдельными источниками системы.

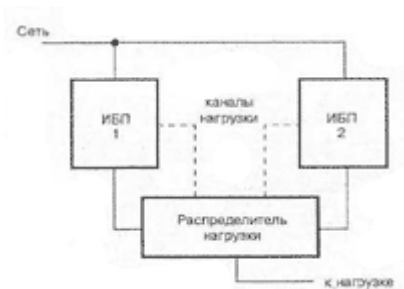


Рисунок 78- Параллельная схема с использованием автоматического переключателя

Третий вариант осуществления параллельной структуры (рисунок 79) использует принцип двухуровневой системы. В этом способе один из модулей "ведущий" управляет распределением нагрузки между другими "ведомыми" модулями.

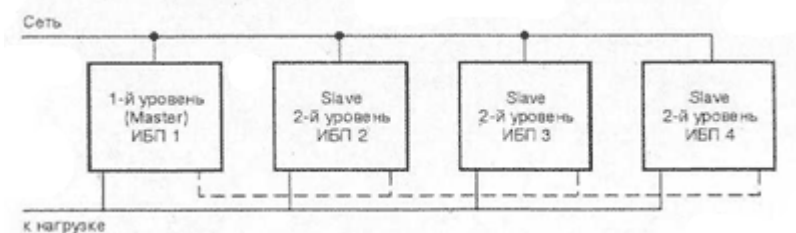


Рисунок 79- Параллельная схема на основе двухуровневой системы Master-Slave

Четвертый вариант, с резервируемой параллельной архитектурой, выглядит наиболее перспективным. В такой схеме (рисунок 80) резервируются не только модули, но и связи между ними, причем при необходимости любой модуль может выполнять функции ведущего. Лишь для такой схемы характерно наращивание мощности, отсутствие шунтовых цепей, при этом гарантируется непрерывная защита нагрузки при помощи ИБП.

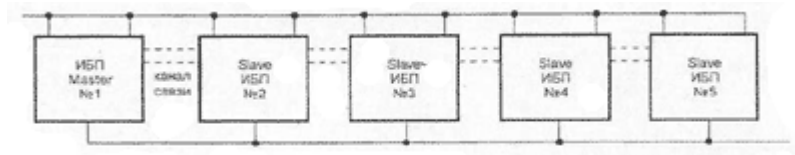


Рисунок 80-Схема резервируемой параллельной системы

Основные технические характеристики источников бесперебойного питания

Форма питающего напряжения

Важное значение для нагрузки имеет именно эта характеристика источника бесперебойного питания. В режиме работы ИБП от аккумуляторных батарей на нагрузку может поступать выходное переменное напряжение близкое к прямоугольной форме (меандр), из-за сглаживающих свойств фильтров, аппроксимированная синусоида и чистая синусоида. Самая близкая к синусоиде форма выходного напряжения получается применением широтно-импульсной модуляции. Получение синусоиды в качестве питающего напряжения характерно лишь для ИБП On-line и некоторых источников питания Line-Interactive.

Мощность

Полная либо выходная мощность (output power). Обозначается буквой S, единица измерения - VA или Вольт-Амперы. Является геометрической суммой активной и реактивной мощностей. Параметр рассчитывается как произведение действующих (среднеквадратических) значений тока и напряжения. Её значение указывается изготовителем источника питания.

Активная потребляемая нагрузкой мощность. Обозначается буквой P, единица измерения - ватт (Вт). В случае отсутствия реактивной составляющей в сети, совпадает с полной мощностью. Определяется как произведение полной мощности на косинус угла ϕ , где ϕ - угол сдвига фаз векторов линейных напряжения и тока, т.е. $P = S \cdot \cos(\phi)$. Типичное значение $\cos(\phi)$ для персональных компьютеров около 0,6-0,7. Эта величина именуется коэффициентом мощности. Очевидно, что для выбора требуемой мощности для источника бесперебойного питания, надо мощность нагрузки в ваттах разделить на величину $\cos(\phi)$.

Реактивная - обозначается буквой Q и рассчитывается как произведение полной мощности S на синус угла ϕ ($Q = S \cdot \sin(\phi)$). Единица измерения - вольт-ампер реактивный (вар). Характеризует потери в питающих проводах за счет нагружающего их реактивного тока. При $\cos(\phi) = 1$ потери отсутствуют, вся мощность вырабатываемая источником питания поступает в нагрузку. Достигают этого за счет использования пассивных компенсирующих устройств или же активной коррекцией коэффициента мощности.

Диапазон входного питающего напряжения

Диапазон входного питающего напряжения (input voltage) - определяет пределы допустимых значений напряжения в сети, при которых источник бесперебойного питания еще способен поддерживать напряжение на выходе, не переключаясь на питание от аккумуляторов. Для некоторых моделей этот диапазон зависит от нагрузки. К примеру, при 100% нагрузке диапазон входных напряжений может составлять 15-20% от номинального, при 50% нагрузке - этот диапазон составляет 20-27% от номинального, а при 30% нагрузке - 40% номинального. От этого параметра зависит срок службы аккумуляторов, чем шире диапазон, тем дольше прослужат аккумуляторы при прочих равных условиях.

Частота входного напряжения

Частота входного напряжения (input frequency) - характеризует диапазон отклонения частоты электросети. При нормальных условиях эксплуатации отклонение частоты от номинального значения как правило не превосходит 1 Гц.

Коэффициент искажения формы выходного напряжения

Коэффициент искажения формы выходного напряжения (total harmonic distortion - THD) характеризует отклонение формы выходного напряжения от синусоиды, измеряется в процентах. Маленькие значения коэффициента соответствуют форме выходного напряжения, приближающейся к синусоидальной.

Время переключения режимов

Время переключения режимов (transfer time) характеризует инерционность источника бесперебойного питания, для разных источников составляет приблизительно до 2-15 мс.

Допустимая нагрузка

Допустимая нагрузка (over load) характеризует устойчивость источника бесперебойного питания при перегрузках по мощности, измеряется в процентах по отношению к номинальной мощности. Определяет устойчивость ИБП к нестационарным перегрузкам.

Время автономной работы

Время автономной работы определяется емкостью аккумуляторной батареи и размером нагрузки. Для типовых источников бесперебойного питания небольшой мощности, питающих персональные компьютеры, оно составляет 5-10 мин. Это время рассчитано на то, чтобы пользователь мог закрыть все работающие приложения с сохранением информации и выключить ПК в нормальном режиме.

Крест-фактор

Крест-фактор (crest factor) - отношение пикового значения потребляемого тока к среднедействующему. Величина зависит от формы питающего напряжения.

Срок службы аккумуляторной батареи

Срок службы аккумуляторных батарей составляет 4-5 лет, но реальный сильно зависит от условий эксплуатации: частоты переключений в автономный режим, условий зарядки, окружающей среды.

Наличие холодного старта

Наличие холодного старта - это возможность включения источника бесперебойного питания при отсутствии напряжения в питающей сети. Такая функция полезна, когда необходимо срочно выполнить какие либо действия независимо от наличия напряжения в электросети.

§27.Первичные химические источники тока

Принцип работы

Окислительно-восстановительная реакция, протекающая между веществами, обладающими свойствами окислителя и восстановителя, сопровождаются выделением электронов, движение которых образует электрический ток. Однако, чтобы использовать его энергию, необходимо создать условия для прохождения электронов через внешнюю цепь, в противном случае она при простом смешивании окислителя и восстановителя выделяется во внешнюю среду теплом.

Поэтому все химические источники тока имеют два электрода:

- анод, на котором происходит окисление;
- катод, осуществляющий восстановление вещества.

Электроды на расстоянии помещены в сосуд с электролитом — веществом, проводящим электрический ток за счет процессов диссоциации среды на ионы.

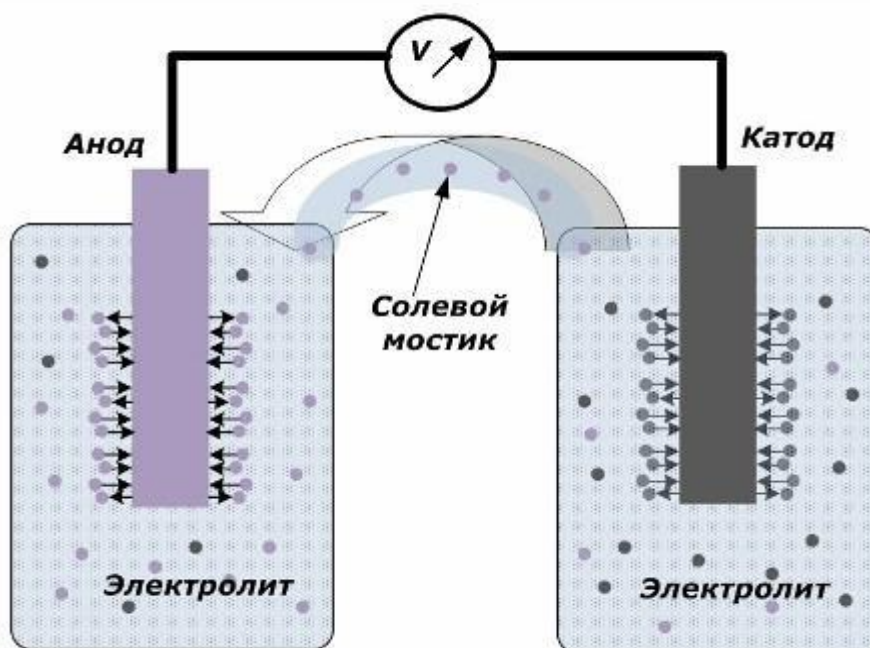


Рисунок 81-Принцип преобразования химической энергии в электрическую

На рисунке показано, что электроды размещены в отдельных сосудах, соединенных солевым мостиком, через который создается движение ионов по внутренней цепи. Когда внешняя и внутренняя цепь разомкнуты, то на электродах протекают два процесса: переход ионов из металла электрода в электролит и переход ионов из электролита в кристаллическую решетку электродов.

Скорости протекания этих процессов одинаковы и на каждом электроде накапливаются потенциалы напряжения противоположных знаков. Если их соединить через солевой мостик и приложить нагрузку, то возникнет электрическая цепь. По внутреннему контуру электрический ток создается движением ионов между электродами через электролит и солевой мостик. По внешней цепи возникает движение электронов по направлению от анода на катод.

Практически все окислительно-восстановительные реакции сопровождаются выработкой электроэнергии. Но ее величина зависит от многих факторов, включающих объемы и массы используемых химических веществ, примененных материалов для изготовления электродов, типа электролита, концентрации ионов, конструкции.

Наибольшее применение в современных химических источниках тока нашли:

- для материала анода (восстановителя) — цинк (Zn), свинец (Pb), кадмий (Cd) и некоторые другие металлы;
- для материала катода (окислителя) — оксид свинца PbO_2 , оксид марганца MnO_2 , гидроксооксид никеля $NiOOH$ и другие;
- электролиты на основе растворов кислот, щелочей или соли.

Способы классификации

Одна часть химических источников тока может повторно использоваться, а другая нет. Этот принцип взят за основу их классификации.



Рисунок 82-Классификация химических элементов

Электродвижущая сила гальванических элементов, в зависимости от конструкции, достигает $1,2 \div 1,5$ вольт. Для получения больших значений их объединяют в батареи, соединяя последовательно. При параллельном подключении батарей увеличивается ток и мощность.

Принято считать, что первичные химические источники тока не поддерживают повторную зарядку, хотя более точно это положение можно сформулировать по-другому: ее проведение экономически не целесообразно.

Резервные первичные химические источники тока хранятся в состоянии, когда электролит изолирован от электродов. Это исключает протекание окислительно-восстановительной реакции и обеспечивает готовность к вводу в работу. Они не используются повторно. Срок хранения резервных химических источников тока ограничен в $10 \div 15$ лет.

Аккумуляторы успешно перезаряжаются приложением внешней электрической энергии. Благодаря этой возможности их называют вторичными источниками тока. Они способны выдерживать сотни и тысячи циклов заряда-разряда. ЭДС аккумулятора может быть в пределах $1,0 \div 1,5$ вольт. Их тоже объединяют в батареи.

Электрохимические генераторы работают по принципу гальванических элементов, но у них для проведения электрохимической реакции вещества поступают извне, а все выделяющиеся продукты удаляются из электролита. Это позволяет организовать непрерывный процесс.

Основные рабочие характеристики химических источников тока

1. Величина напряжения на разомкнутых клеммах

В зависимости от конструкции единичный источник может создавать только определенную разность потенциалов. Для использования в электрических устройствах их объединяют в батареи.

2. Удельная емкость

За определенное время (в часах) один химический источник тока может выработать ограниченное количество тока (в амперах), которые относят к единице веса либо объема.

3. Удельная мощность

Характеризует способность единицы веса или объема химического источника тока вырабатывать мощность, образованную произведением напряжения на силу тока.

4. Продолжительность эксплуатации

Еще этот параметр называют сроком годности.

5. Значение токов саморазряда

Эти побочные процессы электрохимических реакций приводят к расходу активной массы элементов, вызывают коррозию, снижают удельную емкость.

6. Цена на изделие

Зависит от конструкции, применяемых материалов и ряда других факторов.

Лучшими химическими источниками тока считаются те, у которых высокие значения первых четырех параметров, а саморазряд и стоимость низкие.

Принципы заряда аккумуляторов

Среди вторичных химических источников тока большую популярность набирают [литий ионные модели](#), которые стали массово применяться для питания электронных устройств. У них материалом положительного электрода используется LiMO_2 (M Co, Ni, Mn), а отрицательного — графит.

При заряде ионы лития от приложенной внешней энергии выделяются из металла катода, проходят через электролит и проникают в пространство между слоями графита, накапливаясь там.

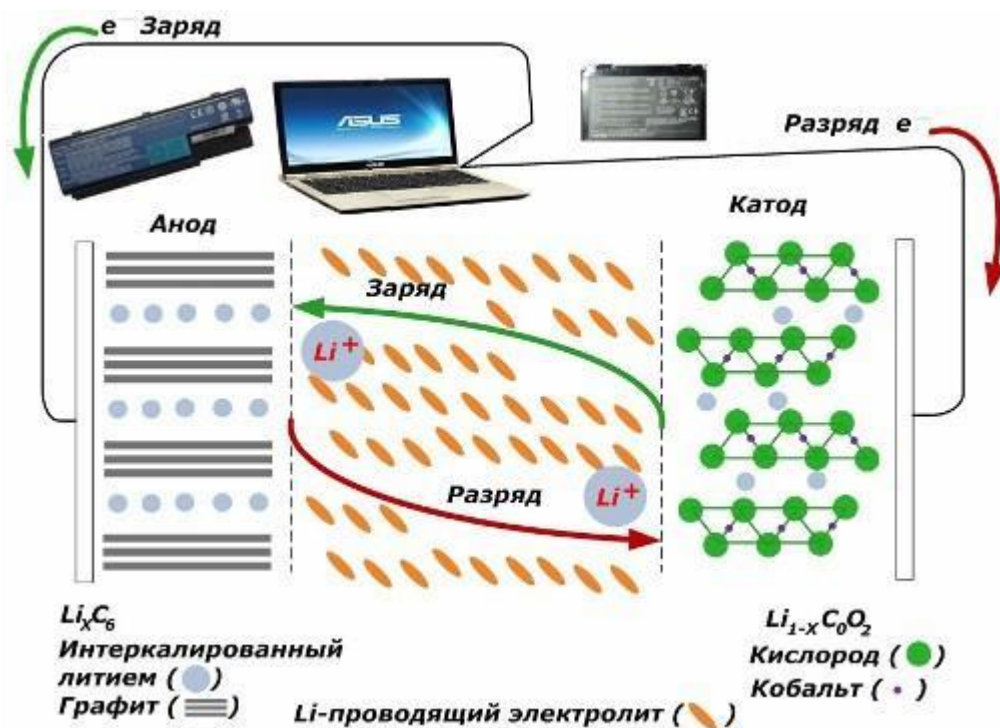


Рисунок 83- Заряд аккумулятора

Когда энергия [зарядного устройства](#) отсутствует, а к электродам подключена нагрузка, то ионы лития в электролите двигаются в противоположную сторону.

Если заряд и разряд не проводятся, то энергия в аккумуляторе не расходуется, а сохраняется. Но ее количество ограничивается свойствами применяемых материалов. К примеру, у литий-ионных аккумуляторов значение удельной электроемкости составляет $130 \div 150$ мАч/г. Оно лимитировано свойствами материала анода. Для графита емкость выше примерно в два раза.

Ученые сейчас ищут способы повышения емкости аккумулятора, изучают возможности использования химической реакции, проходящей между литием и кислородом воздуха. Для этого разрабатываются конструкции с воздушным, не расходуемым катодом, используемые в отдельных аккумуляторах. Этот метод может до 10 раз увеличить плотность энергии.

Эксплуатация химических источников тока требует знания [основ электротехники](#), электрохимии, материаловедения и физики твердых тел.

§28. Гальванические элементы

Гальванический элемент — это химический источник электрического тока, в котором происходит непосредственное преобразование химической энергии в электрическую. Поэтому он является первичным источником питания. Существуют солевые (сухие), щелочные и литиевые элементы. Гальванические элементы часто называют батарейками, однако это название неверно, т.к. батареей является соединение нескольких одинаковых устройств. Например, при последовательном соединении трех гальванических элементов образуется широко используемая 4,5 вольтовая батарея.

Принцип действия гальванического элемента основан на взаимодействии двух металлов через электролит, приводящем к возникновению в замкнутой цепи электрического тока. Напряжение зависит от использованных металлов. Некоторые из этих химических источников тока приведены в таблице 3.

Тип источников тока	Катод	Электролит	Анод	Напряжение, В
Марганцево-цинковый	MnO_2	KOH	Zn	1,56
Марганцево-оловянный	MnO_2	KOH	Sn	1,65
Марганцево-магниевый	MnO_2	MgBr_2	Mg	2,00
Свинцово-цинковый	PbO_2	H_2SO_4	Zn	2,55
Свинцово-кадмиевый	PbO_2	H_2SO_4	Cd	2,42
Свинцово-хлорный	PbO_2	HClO_4	Pb	1,92
Ртутно-цинковый	HgO	KOH	Zn	1,36
Ртутно-кадмиевый	HgO_2	KOH	Cd	1,92
Окисно-ртутно-оловянный	HgO_2	KOH	Sn	1,30
Хром-цинковый	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	H_2SO_4	Zn	1,8—1,9

В продаже в основном представлены Марганцево-цинковые элементы, которые называют солевыми. Производители батареек обычно не указывают их химический состав. Это самые дешевые гальванические элементы, которые можно применять только в устройствах с низким потреблением, таких как часы, электронные термометры или пульты дистанционного управления. На рисунке 84 приведены внешний вид и внутреннее устройство солевого элемента питания.



Рисунок 84- Внешний вид и устройство "сухого" гальванического элемента

Не менее распространенным элементом питания являются щелочные марганцевые батарейки. В продаже их называют алкалиновыми, не утруждая себя переводом названия на русский язык. Внутреннее устройство алкалинового гальванического элемента показано на рисунке 85.

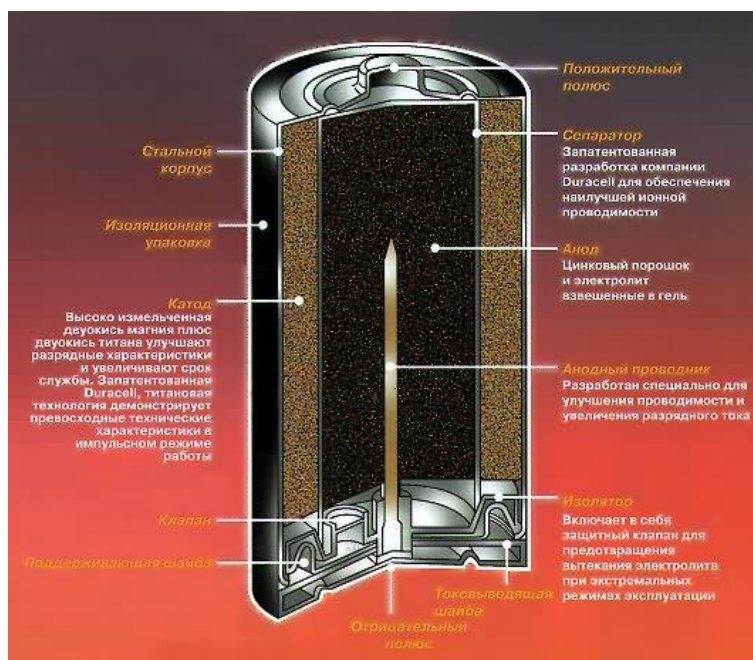


Рисунок 85 - Внутреннее устройство алкалинового гальванического элемента

Эти химические источники тока обладают большей емкостью (2...3 А/ч) и они могут обеспечивать больший ток в течение длительного времени. Больший ток стал возможным, т.к. цинк используется не в виде стакана, а в виде порошка, обладающего большей площадью соприкосновения с электролитом. В качестве электролита применяется гидроксид калия. Именно благодаря способности данного вида гальванических элементов в течение длительного времени отдавать значительный ток (до 1 А), наиболее распространен в настоящее время.

Еще одним достаточно распространенным видом гальванических элементов являются литиевые батарейки. Благодаря использованию щелочного металла они обладают высокой разностью потенциалов. Напряжение литиевых элементов равно 3 В. Однако на рынке представлены и 1,5 В литиевые батарейки. Эти элементы питания обладают наивысшей емкостью на единицу массы и длительным временем хранения. Применяются в основном для питания часов на материнских платах компьютеров и фототехнике. В качестве недостатка можно назвать высокую стоимость. Внешний вид литиевых батареек приведен на рисунке 86.



Рисунок 86- Внешний вид литиевых элементов питания

Следует отметить, что практически все гальванические элементы способны подзаряжаться от сетевых источников питания. Исключение составляют литиевые батарейки, которые при попытке подзаряда могут взорваться.

Наиболее распространенные виды корпусов гальванических элементов приведены в таблице 4.

Тип	Номенклатура IEC JIS	Советское	Размеры, мм	Напряжение, В	Обиходное название
AAA	R03	286	44,5 × Ø10,5	1,2—1,6	«мизинчиковая», «микропальчиковая»
AA	R6	316	50,5 × Ø14,5	1,2—1,6	«пальчиковая»
C	R14	343	50,0 × Ø26,2	1,2—1,6	«средняя»
D	R20	373	61,5 × Ø34,2	1,2—1,6	«большая»
—	6F22	Крона	48,5 × 26,5 × 17,5	9	«крона»
—	3R12	3336	67 × 62 × 22	4,5	«плоская»

Для крепления батареек внутри корпуса радиоэлектронных устройств в настоящее время предлагаются готовые батарейные отсеки. Применение их позволяет значительно упростить разработку корпуса радиоэлектронного устройства и удешевить его производство. Внешний вид некоторых из них приведен на рисунке 87.



Рисунок 87- Внешний вид отсеков для крепления гальванических элементов питания

График типовой зависимости выходного напряжения от технологии производства элемента питания приведен на рисунке 88.

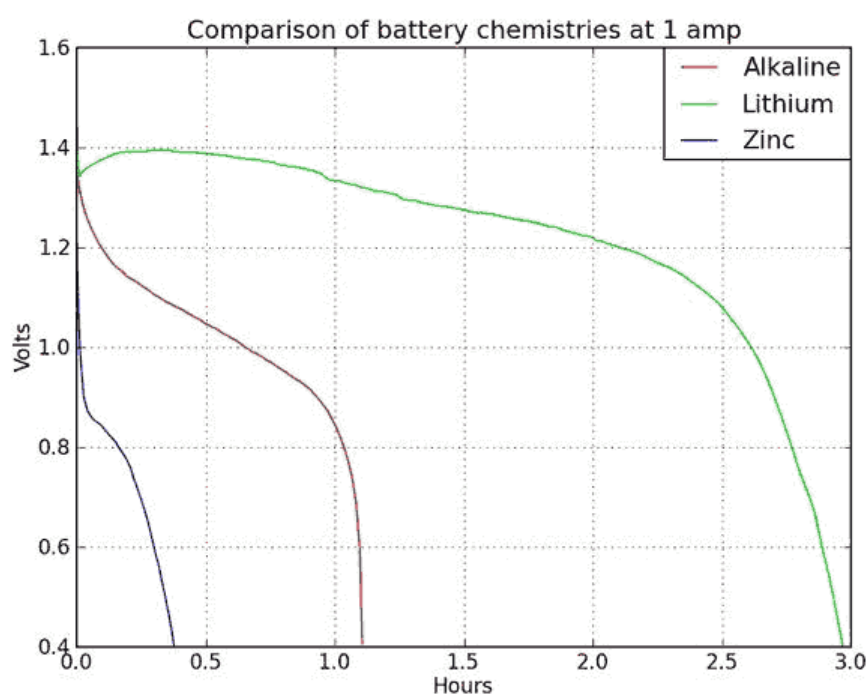


Рисунок 88- График времени работы элемента питания в зависимости от технологии производства при токе разряда 1 А

Результаты тестов батареек различных фирм, проведенные на сайте <http://www.batteryshowdown.com/> приведены на рисунке 89.

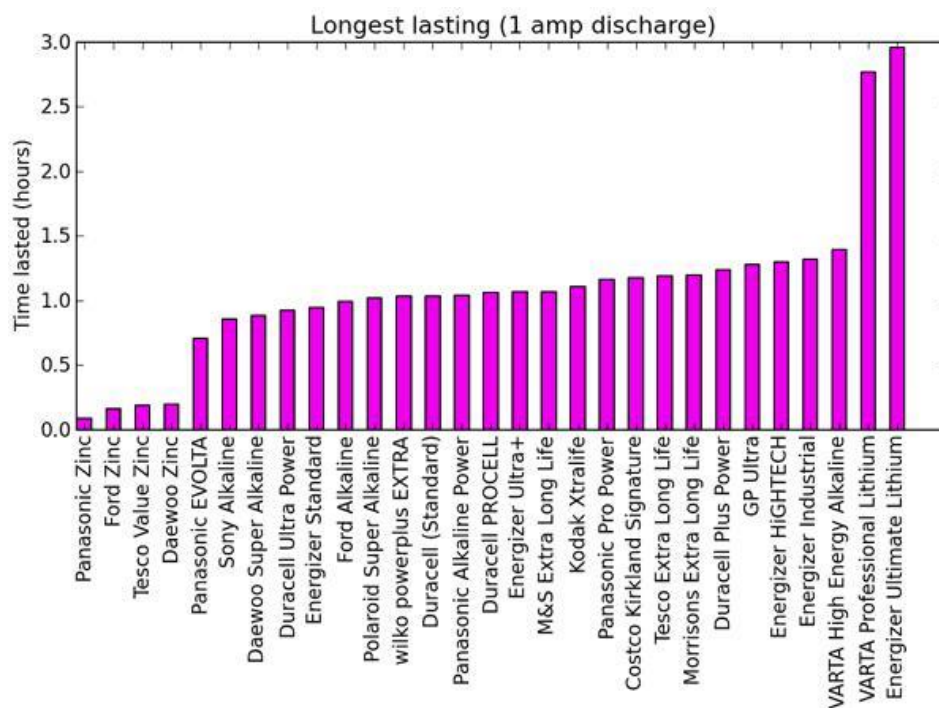


Рисунок 89- График времени работы батареек различных фирм при токе разряда 1 А

И, наконец, давайте сделаем выводы где какой тип батареек имеет смысл применять, так как при приобретении батареек мы всегда стараемся получить максимум полезного эффекта при минимуме затрат.

1. Не стоит покупать батарейки в киосках или на рынке. Обычно они там достаточно долго лежат и поэтому за счет саморазряда практически теряют свою емкость. Это может быть даже опасно для аппаратуры, т.к. при использовании дешевых гальванических элементов (батареек) из них может протечь электролит. Это приведет к выходу аппаратуры из строя! Покупать лучше в магазинах с хорошим оборотом товара.
2. щелочные (алкалиновые) батарейки следует применять в устройствах, потребляющих достаточно большой ток, таких как фонарики, плееры или фотоаппараты. В малопотребляющих устройствах их срок работы не отличается от солевых батареек.
3. Солевые («обычные», угольно-цинковые гальванические элементы), будут отлично работать в часах, ИК пультах и прочих устройствах, рассчитанных на работу от одного комплекта батарей в течении года и более. При этом они не могут работать на морозе.
4. Самые экономически выгодные батарейки на сегодня — пальчиковые АА. Как мизинчиковые (ААА), так и большие (R20), при одной и той же емкости стоят дороже. Ёмкость современных батареек R20 почти такая же как и пальчиковых батареек АА, и это при в три раза больших размерах!
5. Не стоит обращать внимание на раскрученные бренды. Гальванические элементы фирм Duracell и Energizer стоят в полтора-два раза дороже батареек остальных фирм и при этом работают примерно столько-же

§29. Принцип действия кислотных и щелочных аккумуляторов

В настоящее время выпускаются следующие типы электрических аккумуляторов: свинцово-кислотные, щелочные железо-никелевые, кадмий-никелевые и серебряно-

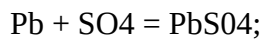
цинковые аккумуляторы.

Наиболее массовыми типами аккумуляторов являются свинцово-кислотные автомобильные батареи и тяговые щелочные железо-никелевые аккумуляторы. Серебряно-цинковые аккумуляторы находят ограниченное применение из-за дороговизны и дефицитности исходных материалов и сравнительно малого срока службы.

Кислотные аккумуляторы представляют собой сосуд, заполненный электролитом соответствующей плотности, т. е. раствором серной кислоты H_2SO_4 в дистиллированной воде, в который погружен блок пластин из чистого свинца Pb и блок пластин из перекиси свинца PbO_2 (рис. 90). Вследствие постоянно происходящей диссоциации молекул кислоты в электролите заряженного аккумулятора имеются ионы водорода H^+ (катионы) и ионы кислотного остатка SO_4^{2-} (анионы). Если пластины аккумулятора замкнуть на некоторое сопротивление, то через него потечет ток. Отрицательно заряженные ионы SO_4^{2-} будут стремиться к пластинам из чистого свинца, заряженным положительно. Ионы водорода, имеющие положительный заряд, будут стремиться к отрицательным пластинам, содержащим двуокись свинца. Пластины из свинца принято называть отрицательными, а из двуокиси свинца – положительными.

При разрядке кислотного аккумулятора происходят следующие химические реакции:

у отрицательной пластины



у положительной пластины

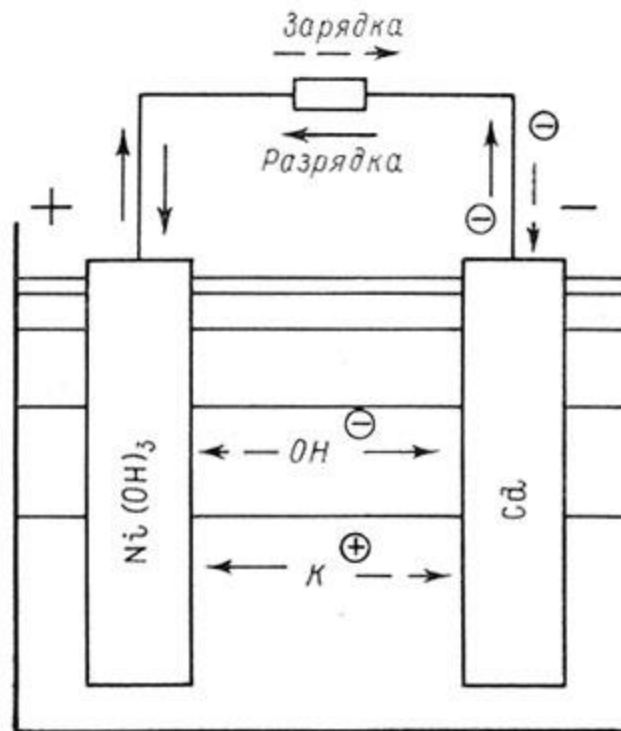


Рисунок 90- Устройство и принцип действия кислотного аккумулятора.

Из рассмотренных химических реакций видно, что при разрядке кислотных аккумуляторов на всех пластинах выделяется сернокислый свинец $PbSO_4$ и уменьшается концентрация электролита (вследствие диссоциации кислоты и выделения воды).

Серноокислый свинец обладает двумя недостатками. Во-первых, при интенсивном образовании серноокислого свинца возможно коробление или выпучивание пластин, а также «высыпание» из пластин активной массы, так как объем серноокислого свинца больше объема исходных продуктов, из которых он образуется. Во-вторых, серноокислый свинец по истечении некоторого времени кристаллизуется в нерастворимое вещество. Часть пластины, которая оказалась покрытой кристаллизовавшимся серноокислым свинцом, не участвует в химических реакциях. Вследствие этого снижается полезная емкость аккумулятора. Такое явление носит название сульфатации кислотных аккумуляторов. Для того чтобы избежать явления сульфатации, кислотные аккумуляторы не следует хранить в незаряженном состоянии, нельзя допускать недозарядку аккумуляторов. При коротком замыкании в результате бурной химической реакции и интенсивного выделения серноокислого свинца происходит коробление пластин кислотного аккумулятора.

Зарядка аккумуляторов производится от внешнего источника электроэнергии, генератора постоянного тока или выпрямителя. При зарядке к отрицательным пластинам направляются ионы водорода, а к положительным — ионы кислотного остатка. В результате возникают следующие химические реакции:

у отрицательной пластины

$$\text{PbSO}_4 + \text{H}_2 = \text{Pb} + \text{H}_2\text{SO}_4;$$

у положительной пластины

$$\text{PbSO}_4 + 2 \text{H}_2\text{O} + \text{SO}_4 = \text{PbO}_2 + 2 \text{H}_2 + 2 \text{H}_2\text{SO}_4.$$

Следовательно, при зарядке аккумуляторов происходит разложение серноокислого свинца на исходные продукты, а также восстановление концентрации электролита. Очевидно, что окончанием зарядки аккумуляторов можно считать такой момент, когда весь серноокислый свинец разложился и концентрация электролита восстановилась до нормальной. При дальнейшей зарядке потребляемая аккумулятором электрическая энергия будет расходоваться на разложение воды, имеющейся в электролите. Вода разлагается на водород и кислород. Кислород, как наиболее активный газ, производит окисление металлов, имеющих в аккумуляторе. Водород выделяется в атмосферу. Поэтому на поверхности электролита появляются пузырьки, создающие впечатление «кипения» электролита. В смеси с воздухом водород образует взрывчатый гремучий газ, который должен быть немедленно удален из аккумуляторного помещения. ЭДС не включенного на разрядку кислотного аккумулятора, принимается в среднем равной 2,1 В независимо от размеров аккумулятора. Напряжение, создаваемое аккумулятором на зажимах, определяется уравнениями:

при разрядке

$$U = E - I_r r;$$

при зарядке

$$U = E + I_{зар} r$$

где E — ЭДС аккумулятора;

$I_r, I_{зар}$ — соответственно ток разрядки и зарядки аккумулятора;

r — внутреннее сопротивление аккумулятора.

Кислотные аккумуляторы имеют небольшое внутреннее сопротивление, поэтому напряжение на зажимах аккумулятора незначительно снижается даже при больших токах нагрузки. В среднем сопротивление кислотного аккумулятора составляет 0,005 Ом и является величиной, зависящей от плотности электролита, а также от габаритов

аккумуляторов (чем больше габариты, тем меньше сопротивление). С уменьшением плотности электролита, т. е. с увеличением степени разряда, ЭДС кислотных аккумуляторов уменьшается, а внутреннее сопротивление увеличивается. Вследствие этого напряжение аккумулятора в начале разрядки понижается незначительно, а к концу падает быстро.

В настоящее время применяются в основном две разновидности щелочных аккумуляторов: кадмиево-никелевые и железо-никелевые. Электролитом их является раствор едкого калия КОН в дистиллированной воде (плотность электролита 1,19—1,21). В качестве активной массы положительных пластин служит гидрат окиси никеля Ni(OH)_3 , а активной массы отрицательных – губчатый кадмий (рис. 91).

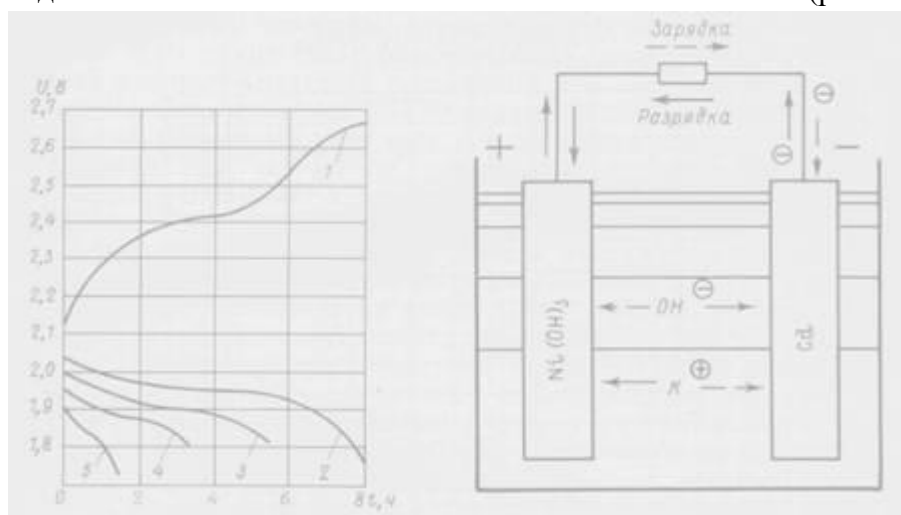


Рисунок 91- Устройство и принцип действия щелочного кадмиево-никелевого аккумулятора

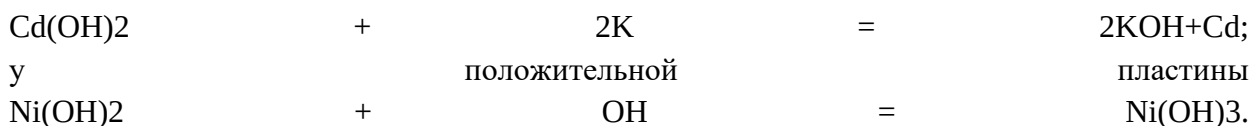
При разрядке аккумулятора анионы щелочного остатка OH^- стремятся к пластинам из чистого кадмия. Избыточные электроны кислотного остатка направляются во внешнюю цепь и к пластинам из гидрата окиси никеля, где они нейтрализуются катионами калия. Таким путем создается разрядный ток аккумулятора. При разрядке щелочного аккумулятора происходят следующие химические реакции:

$$\begin{array}{lcl} \text{у} & \text{отрицательной} & \text{пластины} \\ \text{Cd} & + & 2\text{OH}^- = \text{Cd(OH)}_2; \\ \text{у} & \text{положительной} & \text{пластины} \\ \text{Ni(OH)}_3 & + & \text{K}^+ = \text{Ni(OH)}_2 + \text{KOH}. \end{array}$$

Из данных реакций видно, что при разрядке щелочного аккумулятора кадмий переходит в гидроокись кадмия Cd(OH)_2 , а трехатомный гидрат окиси никеля Ni(OH)_3 – в двухатомную гидроокись никеля Ni(OH)_2 . Эти вещества не обладают отрицательными свойствами, поэтому щелочные аккумуляторы не требуют тщательного ухода в эксплуатации, могут быть длительно незаряженными, мало разрушаются при коротких замыканиях.

При зарядке щелочных аккумуляторов катионы калия движутся к отрицательным пластинам, а анионы щелочного остатка – к положительным. При зарядке происходят следующие химические реакции:

$$\begin{array}{lcl} \text{у} & \text{отрицательной} & \text{пластины} \end{array}$$



При разрядке, и при зарядке щелочных аккумуляторов плотность электролита остается постоянной, так как диссоциация едкого калия на ионы К и ОН компенсируется образованием КОН.

После переработки всех веществ, участвующих в химических реакциях, при зарядке щелочных аккумуляторов происходит разложение воды электролита и «кипение» аккумулятора.

§30. Общие принципы распределения электрической энергии

Электроэнергетической системой называется электрическая часть энергосистемы и питающиеся от нее приемники электрической энергии, объединенные общностью процесса производства, передачи, распределения и потребления электрической энергии. В настоящее время в составе 6 объединенных энергосистем работает параллельно 74 районных систем.

Электроэнергетической сетью называется совокупность электроустановок для передачи и распределения электрической энергии, состоящая из подстанций, распределительных устройств, токопроводов, воздушных и кабельных линий электропередачи, работающих на определенной территории.

Подстанцией называется электроустановка, служащая для преобразования и распределения электроэнергии и состоящая из трансформаторов или других преобразователей энергии, распределительных устройств до и выше 1000 В, аккумуляторной батареи устройств управления и вспомогательных сооружений.

Распределительным устройством называется электроустановка, служащая для приема и распределения электроэнергии и содержащая коммутационные аппараты, сборные и соединительные шины, вспомогательные устройства (компрессорные, аккумуляторные и др.), а также устройства защиты, автоматики и измерительные приборы.

Линией электропередачи (ЛЭП) любого напряжения (воздушной или кабельной) называется электроустановка, предназначенная для передачи электрической энергии на одном и том же напряжении без трансформации.

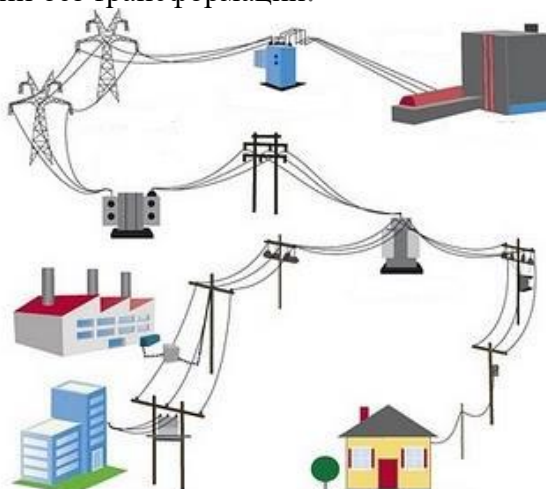


Рисунок 92- Передача и распределение электрической энергии

По ряду признаков электрические сети подразделяются на большое количество разновидностей, для которых применяются различные методы расчета, монтажа и эксплуатации.

Электрические сети делятся:

<http://electricalschool.info/main/elsnabg/> 1. По напряжению:

а) до 1 кВ;

б) выше 1 кВ.

2. По уровню номинального напряжения:

а) сети низкого (напряжения (до 1 кВ);

б) сети среднего напряжения (выше 1 кВ и до 35 кВ включительно);

в) сети высокого напряжения (110 ... 220 кВ);

г) сети сверхвысокого напряжения (330 ... 750 кВ);

д) сети ультравысокого напряжения (выше 1000 кВ)

3. По степени подвижности:

а) передвижные (допускают многократное изменение трассы, свертывание и развертывание) - сети до 1 кВ;

б) стационарные сети (имеют неизменяемую трассу и конструкцию):

- временные - для питания объектов, работающих непродолжительно (несколько лет);
- постоянные - большинство электрических сетей, работающих в течение десятилетий.

4. По назначению:

<http://electricalschool.info/main/elsnabg/> а) сети до 1 кВ: осветительные; силовые; смешанные; специальные (сети управления и сигнализации).

б) сети выше 1 кВ: местные, обслуживающие небольшие районы, радиусом действия 15... 30 км, напряжением до 35 кВ включительно; районные, охватывающие большие районы и связывающие электростанции электрической системы между собой и с центрами нагрузок, напряжением 110 кВ и выше.

5. По роду тока и числу проводов:

а) линии постоянного тока: однопроводные, двухпроводные, трехпроводные (+, -, 0);

б) линии переменного тока: однофазные (одно- и двухпроводные), трехфазные (трех- и четырехпроводные), неполнофазные (две фазы и нуль).

6. По режиму работы нейтрали: с эффективно заземленной нейтралью (сети выше 1 кВ), с глухозаземленной нейтралью (сети до и выше 1 кВ), с изолированной нейтралью (сети до и выше 1 кВ).

7. По схеме электрических соединений:

а) разомкнутые (нерезервированные):

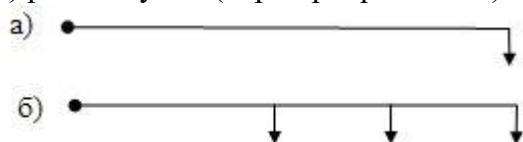


Рисунок 93- Схемы разомкнутых сетей: а) радиальные (нагрузка только на конце линии); б) магистральные (нагрузка присоединена к линии в разных местах). б) замкнутые (резервированные).

б) замкнутые:

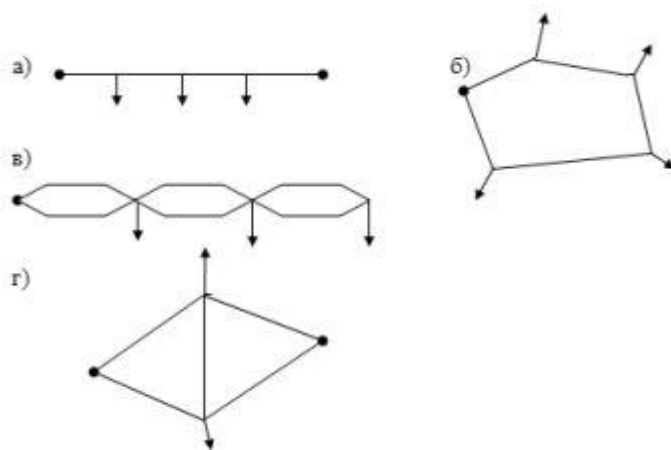


Рисунок 94- Схемы замкнутых сетей: а) сеть с двухсторонним питанием; б) кольцевая сеть; в) двойная магистральная линия; г) сложнозамкнутая сеть (для питания ответственных потребителей по двум и более направлениям).

8. По конструкции: электропроводки (силовые и осветительные), токопроводы - для передачи электроэнергии в больших количествах на небольшие расстояния, воздушные линии - для передачи электроэнергии на большие расстояния, кабельные линии - для передачи электроэнергии на далекие расстояния в случаях, когда сооружение ВЛ невозможно.

К электрическим сетям предъявляются следующие требования: надежность, живучесть и экономичность.

Надежность - основное техническое требование, под которым понимается свойство сети выполнять свое назначение в пределах заданного времени и условий работы, обеспечивая электроприемники электроэнергией в необходимом количестве и надлежащего качества.

Необходимое количество электроэнергии определяется мощностью и режимом работы электроприемников. Качество электроэнергии зависит от параметров сети и определяется ГОСТ 13109-97, в которых приведены допустимые отклонения напряжения на зажимах электроприемников: электродвигатели -5% ... +10%; лампы рабочего освещения промышленных предприятий и общественных зданий, прожекторы наружного освещения -2,5%...+5%; лампы освещения жилых зданий, аварийного и наружного освещения, прочие электроприемники $\pm 5\%$.

Надежность обеспечивается:

1. применением схемы сети, учитывающей ответственность электроприемников;
2. выбором соответствующих марок проводов и кабелей;
3. тщательным расчетом сечений проводов и кабелей по нагреву, допустимой потере напряжения и механической прочности и расчетом устройств регулирования напряжения;
4. соблюдением технологии электромонтажных работ;
5. своевременным и качественным выполнением правил технической эксплуатации.

Живучесть электрической сети - это свойство выполнять свое назначение в условиях разрушающих воздействий в том числе и в боевой обстановке при воздействиях средств поражения противника.

Живучесть достигается:

1. использованием конструкций, которые наименее подвержены разрушению при воздействии поражающих факторов оружия противника;
2. специальной защитой сети от поражающих факторов;
3. четкой организацией ремонтно-восстановительных работ. Живучесть - основное тактическое требование.

Экономичность — это минимум затрат на сооружение и эксплуатацию сети при условии выполнения требований надежности и живучести.

Экономичность обеспечивается:

1. применением типовых серийно выпускаемых и стандартных конструкций;
2. унификацией материалов и оборудования;
3. применением недефицитных и недорогих материалов;
4. возможностью дальнейшего развития, расширения и усовершенствования в процессе эксплуатации.

И. И. Мещеряков

Передача и распределение электрической энергии



Рисунок 95- Распределение электрической энергии из старого диафильма

§31. Устройства ввода и коммутации цепей переменного тока

Щиты переменного тока типов ЩПТ и ЩПТА. Щиты предназначены для совместной работы с выпрямителями типов ВСС, ВУ и ВУК.. Их устанавливают в один ряд с выпрямительными устройствами. Щиты обеспечивают питание потребителей, контроль и напряжения постоянного тока электр' питающих установок, сбор сигналов о повреждениях, возникающих в оборудовании электропитающих установок, а также автоматическое включение или переключение аварийного освещения узла связи. ЩПТА осуществляют также передачу сигнала на запуск автоматизированных дизельных электростанций при отключении источников электроэнергии а автоматическое отделение потребителей гарантированного от потребителей негарантированного питания.

Функциональная схема щита ЩПТА показана на рис. IV.23, а основные технические данные щитов ЩПТ и ЩПТА приведены в табл. IV. 10. На щитах ЩПТА секции шин гарантированного и негарантированного питания соединены через контакторы типа КТ7323/160 А, а на ЩПТ - перемычками, так как на ЩПТ отсутствует панель автоматики. При необходимости щит ЩПТ-4/200 может быть доукомплектован панелью автоматики.

При наличии двух вводов от внешних источников электроэнергии последние следует подключать к щитам через коммутирующее устройство АВР. Конструктивно все щиты выполнены в виде шкафов, устанавливаемых прислонно или

Внизу на задней стенке шкафа располагаются гребенки и зажимы, а под ними - металлическая конструкция крепления кабельных воронок, предназначенных для ввода внешних линий переменного тока. Провода сигнализации подключают к панели сигнализации, расположенной в верхней части щита на бокоа - ЩПТА-4/200; б - ЩПТА-380/600

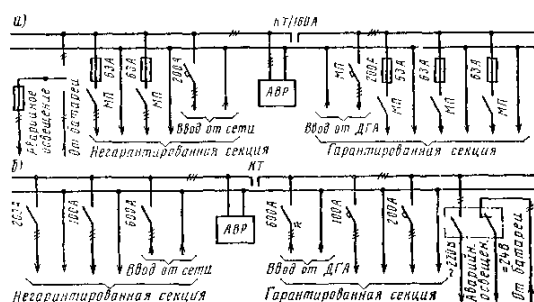


Рисунок 96-Панель распределения переменного тока типа ПРПТ-65. Панель

предназначена для ввода и коммутации линий силовых вводов и распределения переменного тока частотой 50 Гц (чертеж 22188.00) или 60 Гц (чертеж 22188.00.01) по нагрузкам. Она дает возможность коммутации линий трехфазных силовых вводов при линейном напряжении 220 или 380 В и максимальном токе нагрузки 50 А; двух от трансформаторной подстанции и одной от резервной электростанции. Распределение переменного тока 220/380 В осуществляется по четырем отходящим линиям при токе до 10-15 А в каждой. Схема панели обеспечивает автоматическое подключение силовых вводов от внешних источников электроснабжения, а также резервной электростанции к нагрузкам в зависимости от наличия на вводах напряжения. Автоматическое переключение силовых вводов происходит с преимуществом включения основной линии перед резервной и резервной перед дизельной электростанцией.

Панель ПРПТ-65 имеет оптическую и акустическую сигнализацию наличия и понижения напряжения в каждой из фаз питающих линий. Сигнальные цепи выведены для включения во внешнюю сеть сигнализации. Для питания сигнальных цепей необходим постоянный ток напряжением 24 В.

Через панель автоматически подается напряжение в сеть аварийного освещения при пропадании напряжения в обеих линиях переменного тока. Для этого к панели подают напряжение 24 или 220 В от батарей узла связи.

Для учета электроэнергии в основной и резервной линиях установлены измерительные трансформаторы тока ТК-20 (50/5 А, 50 Гц или 50/5 А, 60 Гц), к которым подключаются счетчики, установленные вне панели. Счетчики в комплект панели не входят. Подключение внешних проводов производят на вводные панели, находящиеся в верхней части шкафа.

Сопротивление изоляции токоведущих частей относительно корпуса

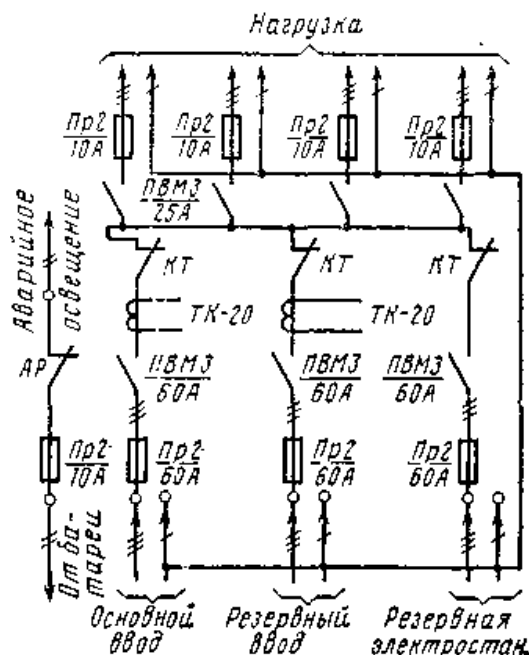


Рисунок 97- Функциональная схема панели ПРПТ-65:

Коммутирующие устройства типа КУ предназначены для совместной работы с зарядно-буферными выпрямителями типа ВСП. Схема коммутирующих устройств обеспечивает: параллельное включение на нагрузку двух групп аккумуляторной батареи и одного или двух буферных выпрямителей; включение нагрузки на один или два буферных выпрямителя, работающих с одной (любой) группой аккумуляторных батарей, в то время как вторая группа батарей может быть поставлена на заряд от третьего выпрямителя ВСП (при умощнении) или второго выпрямителя, если умощнение не применяется, переключенного в режим заряда; параллельное включение на нагрузку обеих групп аккумуляторной батареи без буферных выпрямителей; автоматическую коммутацию дополнительных секций аккумуляторной батареи. При разряде батареи на нагрузку в аварийном

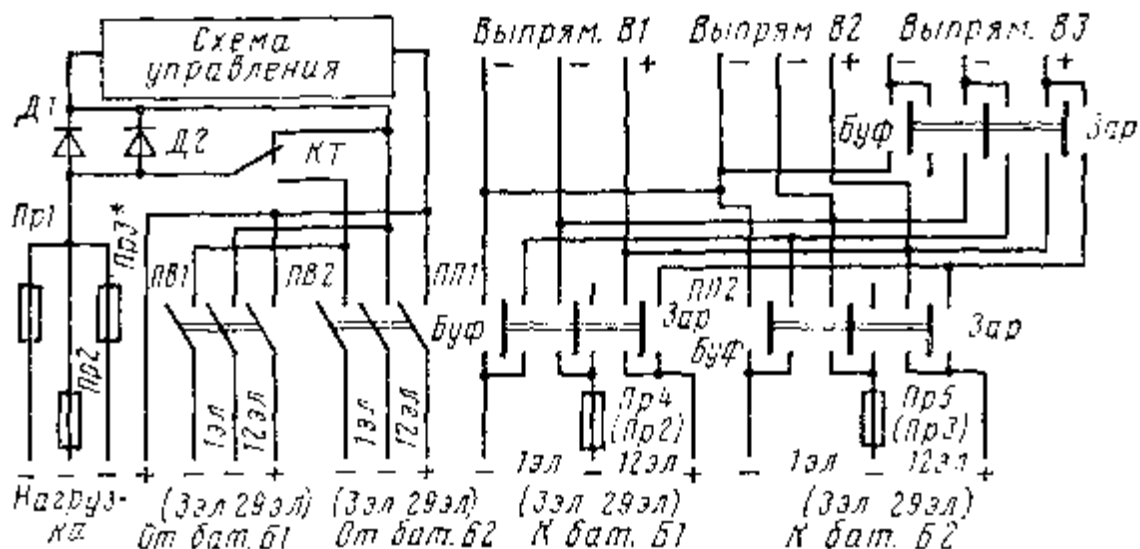


Рисунок 98- Функциональная схема КУ 24/20, КУ 24/60, КУ 60/40 (в скобках цифры относятся к КУ 60/40; предохранитель Пр3 в схеме КУ 24/60 не устанавливается)

§32. Построение схемы электропитания устройств связи

Предприятия многоканальной электросвязи питаются напряжением как постоянного, так и переменного тока. Существуют следующие градации напряжения:

- 1 Электропитание аппаратуры линейно- аппаратного цеха (ЛАЦ) узла связи, а также пунктов регенерации (промежуточных, оконечных и узловых) кабельных и воздушных магистралей связи должно осуществляться напряжением $-24\text{В} \pm 3\%, \pm 10\%$ постоянного тока.
- 2 Питание накальных цепей ламповой аппаратуры осуществляется напряжением $-21,2\text{В} \pm 3\%$.
- 3 Питание анодных цепей аппаратуры дальней связи должны питаться напряжением $+206\text{В} \pm 3\%$.
- 4 Питание радиорелейных линий связи обеспечивается напряжением $-24\text{В} \pm 3\%, \pm 10\%$.

При внедрении волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) переходят к уровням напряжения питания : $\pm 48\text{ В}$, $\pm 400\text{ В}$ и структура системы питания приближается к системе электропитания автоматической электросвязи. Дистанционное питание при этом ликвидируется. В ГОСТе 5237-83 оговариваются требования по качеству питающих напряжений, основные из них: действующее напряжение пульсации в полосе до 300 Гц лежит в диапазоне от 100 до 250 мВ, в полосе частот от 300 Гц до 20 кГц пульсации лежат в диапазоне от 5 до 25 мВ. Существуют также требования к динамическим показателям : напряжение питания может отклоняться от установившегося значения в пределах до $+20\%$ за время 0,4 с., при отклонении $+40\%$ от установившегося значения за время не более 5 мс.

Требования к системе электропитания

Система электропитания должна

- быть эффективной с точки зрения преобразования энергии (высокий к.п.д и коэффициент мощности). Для этого источники электропитания строятся с бестрансформаторным входом по импульсной технологии (высокая частота преобразования);
- обеспечивать гарантированную и бесперебойную подачу электроэнергии. Для этого используются резервные источники энергии (аккумуляторные батареи, дизель-генераторные установки, солнечные установки и т.д., а также обеспечивать два ввода);
- быть надежной. Это достигается применением различных способов защиты системы питания (предохранительная, контакторная, быстродействующая - электронная). Кроме того, используется резервное оборудование (преобразователи) при параллельной их работе. Внедряется микропроцессорное управление режимами работы системы питания. Для обеспечения области безопасной работы ключевых элементов преобразователей используется режим “мягкой коммутации” и т.д..
- предусматриваться возможность модернизации отдельных блоков в течение 5...10 лет без замены основного оборудования;
- быть по мере возможности не обслуживаемой. Для этого вводятся компьютерные технологии: в блоке управления имеет место интерфейс и микроконтроллер с выходом на дисплей пользователя.

Структурная схема электроустановки

Электрическая установка – это комплекс сооружений на территории предприятия связи и в производственных помещениях, обеспечивающий функционирование предприятия связи, как в нормальных так и в аварийных режимах его работы.

Электроустановка включает в себя следующее оборудование:

- дизель- генераторные установки (ДГУ);
- трансформаторные подстанции (ТП);
- электропитающие установки (ЭПУ);
- система вентиляции и кондиционирования воздуха;
- электросети освещения.

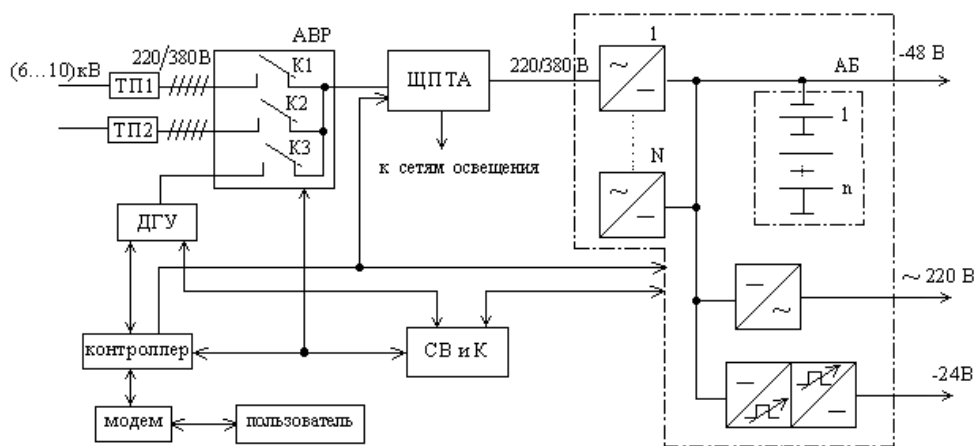
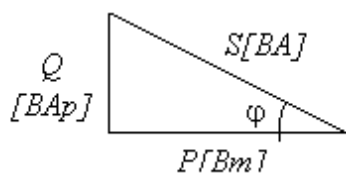


Рисунок 99- Структурная схема электроустановки ЭПУ – это комплекс оборудования, предназначенного для распределения и резервирования электрической энергии, а также ее регулирование и преобразование для удовлетворения требований по качеству питающих напряжений. ЭПУ включает в себя конверторы напряжения, аккумуляторные батареи, инверторы и токораспределительную сеть (ТРС).

Система питания должна предусматривать два ввода (фидера) от двух независимых трансформаторных подстанций. Трансформаторная подстанция бывает открытого и закрытого типа. Она обеспечивает понижение напряжения от (5...10) кВ до 220/380В.

На трансформаторной подстанции находятся масляные выключатели, которые позволяют размыкать высоковольтные линии электропередачи без снятия нагрузки. Размыкание происходит при прохождении тока через ноль, что позволяет уменьшить уровень перенапряжения. Кожух масляного выключателя заполняется маслом, что позволяет гасить искру. Кроме того, на ТП устанавливаются разъединители, которые представляют собой рубильники с изоляторами. Трансформаторы ТП устанавливаются на изолированных опорах. Вторичные цепи трансформаторов ТП должны быть включены по схеме звезда с нулевым проводом.

АВР - автоматический ввод резерва, осуществляет переключение на резервный фидер в случае пропадания напряжения на основном фидере. При выходе из строя обоих фидеров осуществляется подключение дизель-генераторной установки автоматически или ручным способом при помощи размыкателя. Существуют два способа запуска ДГУ: сжатым воздухом или с помощью электрического стартера. Запуск дизеля должен произойти за (1...3) минуты. Разрешается запускать его с помощью стартера до 3-х раз (по 5...6 с). Это обусловлено возможностью выхода из строя стартерных аккумуляторов. Мощность ДГУ лежит в пределах от 8кВт до 1500кВт. В системах электропитания чаще всего используется два ДГУ, один – основной, другой – резервный.



ЩПТА – щит переменного тока автоматизированный, обеспечивает ввод и распределение по потребителям токоведущих шин. На передней панели ЩПТА расположены измерительные приборы (вольтметр, амперметр, ваттметр, измеритель $\cos \varphi$) для контроля коэффициента мощности $\cos \varphi$ и полной мощности S .

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + Z^2},$$

где, S – полная мощность, P – активная мощность; Q – реактивная мощность, Z – составляющая мощности, учитывающая не синусоидальное потребление тока из сети. Полный коэффициент мощности нагрузки χ определяется из выражения:

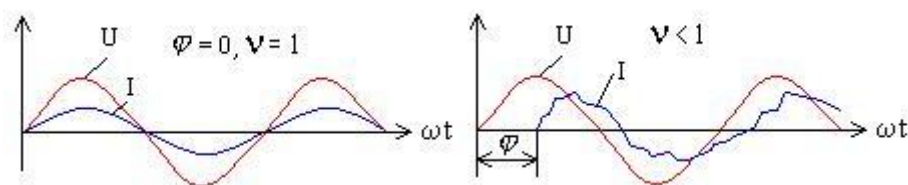
$$\chi = v \cdot \cos \varphi,$$

где v – коэффициент, учитывающий не синусоидальность потребляемого тока и

равен
$$v = \frac{I_{1(1)}}{\sqrt{I_{1(1)}^2 + I_{1(2)}^2 + \dots + I_{1(n)}^2}}$$

φ – учитывает фазовый сдвиг первой гармоники тока по отношению к напряжению сети.

Для обеспечения минимальной оплаты за энергопотребление необходимо, чтобы $\chi = 1$, при этом также исключается влияние на источник электроэнергии.



Расчет за электрическую энергию осуществляется по показателям, снимаемым с

ЩПТА по одно-, двух- или трех-ставочным тарифам в зависимости от мощности потребления и категории предприятия. Одноставочный тариф учитывает только показания ваттметра (P), т.е. расчет производится за 1 кВт электроэнергии по показаниям счетчика. Двухставочный тариф учитывает помимо P расходы за полную мощность S . Трехставочный тариф учитывает три составляющие мощности P, S и Q .



Блок выпрямительного устройства -

преобразует напряжение переменного тока в напряжение постоянного тока и допускает параллельную работу для увеличения тока нагрузки. Существует два режима работы выпрямительного устройства:

- режим стабилизации напряжения для питания аппаратуры связи и подзарядки аккумуляторных батарей;
- режим стабилизации тока для заряда аккумуляторных батарей после аварии.



Инвертор напряжения -

преобразует напряжение постоянного тока в напряжение переменного тока прямоугольной или синусоидальной формы и обеспечивает его стабилизацию.



Конвертор напряжения (или преобразователь постоянного напряжения)

– это преобразователь постоянного напряжения одного уровня в постоянное напряжение другого уровня. Конвертор напряжения включает в себя инвертор напряжения и выпрямитель. Промежуточным звеном является - высокочастотный трансформатор. Конвертор напряжения может выполнять одну из двух функций в системе электропитания:

- формировать дополнительные градации напряжения;
- обеспечивать вольтодобавку к напряжению аккумуляторной батареи при ее саморазряде в аварийном режиме работы системы электропитания.

Аккумуляторная батарея (АБ) – химический источник постоянного тока. Используется в качестве резервного источника энергии в аварийном режиме работы системы электропитания до момента запуска ДГУ.

Контроллер следит за скоростью вращения генератора ДГУ, уровнем напряжения, наличием воздуха, топлива и воды, масла, за давлением масла, которое используется для смазки ДГУ, за повышением температуры воды и т.д. Контроллер также обеспечивает выравнивание токов на выходе выпрямителей для повышения надежности системы, и переход из режима стабилизации тока в режим стабилизации напряжения по информации поступающей от устройств контроля состояния АБ.

Система вентиляции и кондиционирования воздуха (СВ и К) обеспечивает нормальное функционирование (что также повышает надежность системы) преобразователей напряжения, ДГУ, аккумуляторных батарей. СВ и К регулирует процессом охлаждения или подогрева отдельных устройств. При зарядке аккумуляторной батареи происходит выделение газов в окружающую среду, поэтому необходимо производить очистку воздуха для обеспечения нормальной жизнедеятельности персонала. СВ и К обеспечивает циркуляцию воздуха и очистку от вредных примесей.

Модем предназначен для передачи на обработку, информации о состоянии системы электропитания в сервисный центр обслуживания по телефонным каналам.

Режимы работы системы электропитания

Нормальный режим: электропитание аппаратура связи получает по цепи: основной фидер, замкнутый контакт (К1), АВР, ЩПТА, выпрямители и ответвления на конвертор напряжения, инвертор напряжения и аккумуляторную батарею. Если нестабильность сети выходит за нормы допустимые для питающего оборудования или аппаратура связи предъявляет высокие требования к питающим напряжениям переменного тока, то инвертор напряжения включается и в нормальном режиме работы. В этом режиме происходит подзаряд АБ от выпрямителя.

Аварийный режим: до момента запуска ДГУ питание основного оборудования осуществляется от АБ постоянным током. Аппаратура, питающаяся переменным током подключается к инвертору напряжения. При пропадании питания от одного из фидеров сразу же происходит запуск ДГУ. После окончания его запуска питание аппаратуры связи протекает по тому же пути, как и в нормальном режиме (только вместо К1 или К2 замыкается К3). После запуска ДГУ происходит отключение АБ.

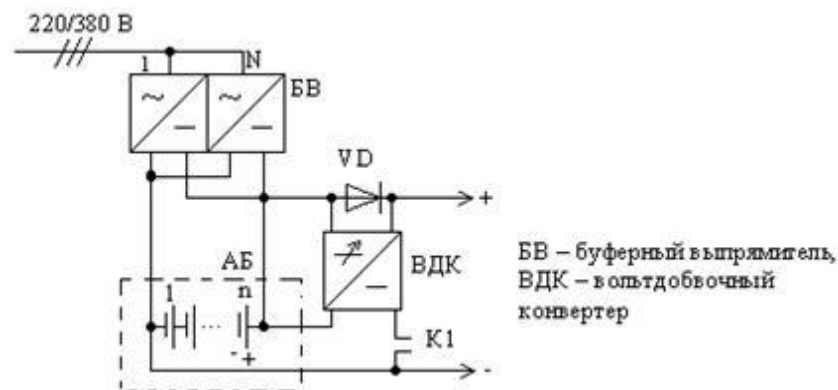
После аварийный режим: Происходит восстановление элементов АБ в режиме стабилизации тока при подключении одного из фидеров.

Модификации системы электропитания в цепи постоянного тока

На предприятиях связи используются три модификации системы электропитания на стороне постоянного тока:

- 1) Буферная система электропитания.
- 2) С отделенной от нагрузки АБ.
- 3) Безаккумуляторная система электропитания.

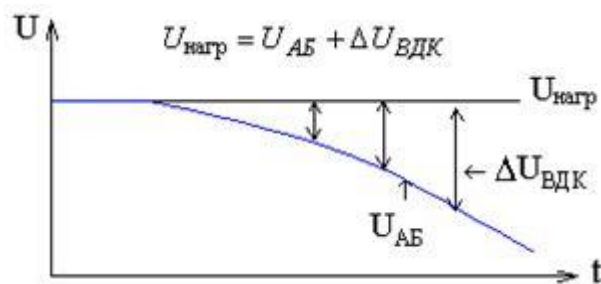
Буферная система электропитания



Преимуществом буферных систем электропитания является: использование сглаживающих свойств АБ, что значительно уменьшает габаритные размеры сглаживающих фильтров, установленных на выходе БВ.

Недостатком данной системы является воздействие импульсной нагрузки на АБ, что снижает срок службы и, особенно, герметичных аккумуляторов.

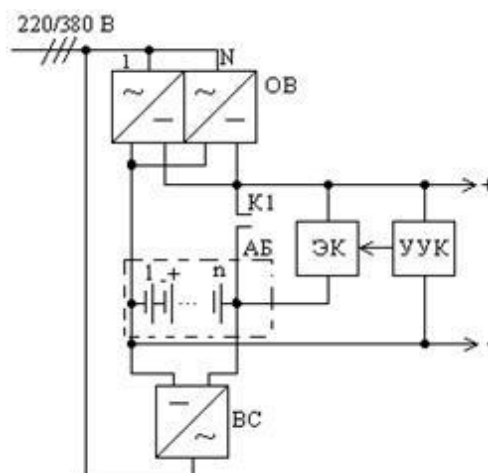
Диод (VD), установленный во внешнюю цепь необходим для обеспечения непрерывного протекания тока в момент срабатывания контактора K1. Недостатком использования VD является увеличение потерь в схеме конвертора напряжения. Существуют схемы подключения конвертора напряжения без использования диода, но с двумя контакторами. В такой схеме имеет место более высокий КПД, но при этом снижается надежность системы.



При саморазряде АБ ВДК добавляет недостающую долю напряжения для обеспечения стабилизации напряжения в нагрузке.

В нормальном режиме работы контактор K1 разомкнут, элементы АБ поддерживают нормальное состояние от БВ, одновременно обеспечивается питание основного оборудования от выпрямителя. В аварийном режиме замыкается контактор K1 и выход ВДК соединяется последовательно с АБ, вход ВДК при этом подключается к выходу АБ.

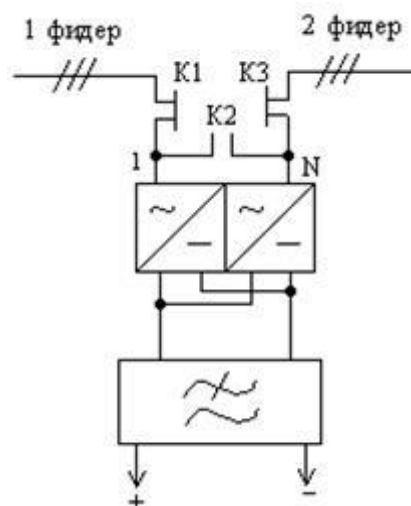
С отделенной от нагрузки АБ



Достоинством данной системы электропитания является отсутствие влияния импульсной нагрузки на работу АБ. К недостаткам можно отнести: низкий КПД основного выпрямителя (ОВ) за счет больших габаритных размеров сглаживающих фильтров и дополнительного выпрямителя- выпрямителя содержания (ВС) элементов АБ.

В нормальном режиме работы системы электропитание аппаратуры обеспечивается за счет ОВ, элементы АБ подзаряжаются от ВС. Устройство управления ключом (УУК) контролирует напряжение в нагрузке. При снижении его ниже допустимой нормы срабатывает электронный ключ (тиристорный или транзисторный) и подготавливается замыкание контактора К1. Преимуществом данной системы является содержание элементов АБ от отдельного выпрямителя, что предоставляет возможность перехода в режим стабилизации по току не только в после аварийном режиме , но и при работе системы на нагрузку.

Безаккумуляторная система электропитания



Данная система электропитания требует наличие не менее трех независимых источников энергии, один из которых дизель- генератор. В этой системе всегда работает парное число выпрямителей (при этом улучшается форма потребляемого тока) и они должны быть загружены не более чем на 50%.

Преимуществом данной системы является простота схемы построения, дешевизна системы.

При выходе из строя одного из фидеров замыкается K2 и выпрямители подключаются к другому фидеру.

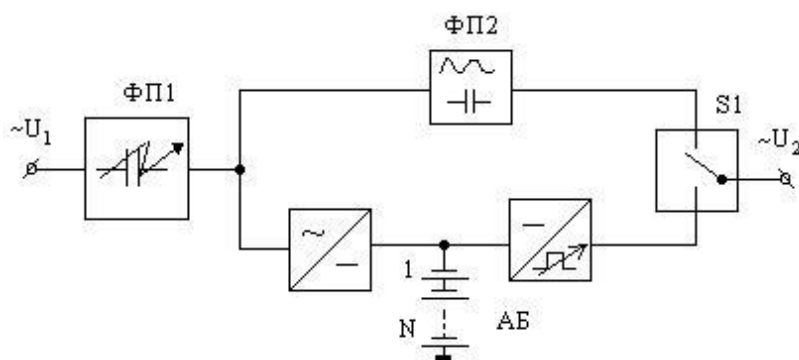
Модификации систем питания в цепи переменного тока

(АБП – агрегаты бесперебойного питания)

Существуют следующие модификации систем электропитания в цепи переменного тока:

- 1) С переключателем (off line).
- 2) Линейно – интерактивная (line interactive).
- 3) С гальванической развязкой цепей (on line).
- 4) С дельта – преобразованием (on line).

С переключателем (off line)



Преимуществом данной структуры

является: низкая стоимость, простота конструкции. К недостаткам можно отнести: низкое качество питающих напряжений из- за отсутствия стабилизаторов напряжения в цепи переменного тока.

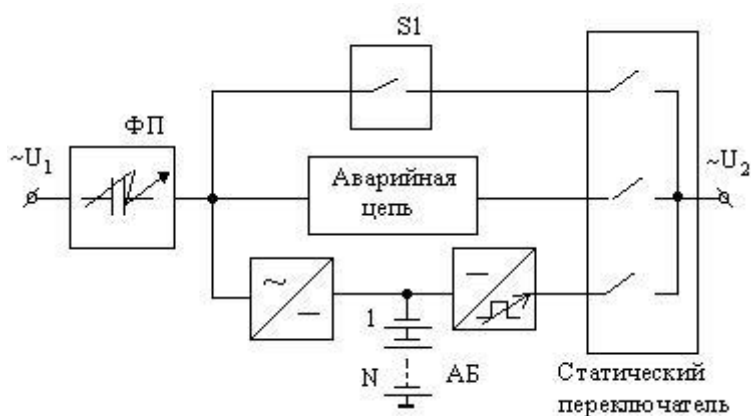
В нормальном режиме работы питание осуществляется через фильтры помех ФП1 и ФП2. ФП1 защищает от высоких “бросков” напряжения, возникающих при воздействии молний и переходных процессов при “коротких замыканиях”. ФП2 улучшает гармонический состав напряжения (обеспечивает фильтрацию высокочастотных помех). В нормальном режиме АБ подзаряжается от выпрямителя. При прекращении подачи электроэнергии от основного источника напряжения переменного тока U_1 аппаратура получает питание от резервного источника энергии - АБ через инвертор напряжения. Переключатель S1 в этом режиме переходит в нижнее положение.

Эта система не предусматривает отключение АБ при достижении минимально допустимого уровня напряжения на элементе АБ, т.е. не предусматривает защиту АБ от глубокого разряда.

Линейно – интерактивная (line interactive)

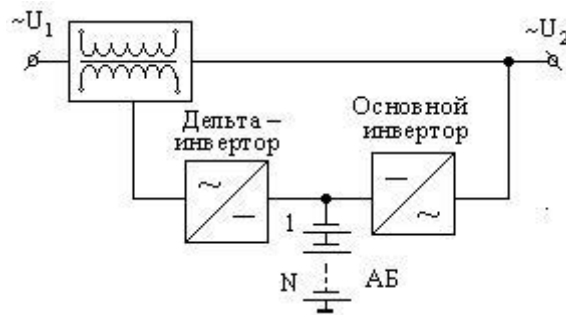
В нормальном режиме работы аппаратуры получает питание через помехоподавляющий фильтр (ФП), устройство коррекции (УК), ключ S1 находится в разомкнутом положении. УК представляет собой автотрансформатор с отводами, которые переключаются механическими контактами, либо электронными ключами, регулируя тем самым выходное напряжение. УК выполняется иногда в виде феррорезонансного стабилизатора. Аварийный режим совпадает со структурой off line.

С гальванической развязкой цепей (on line)



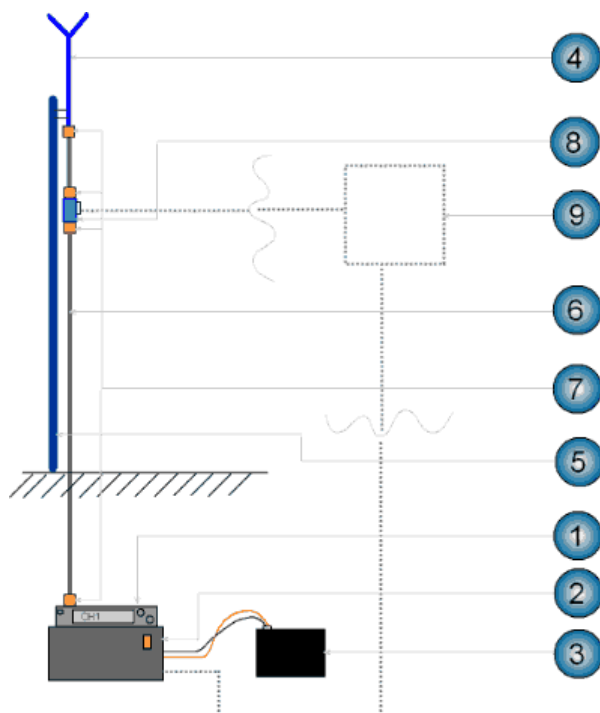
В нормальном режиме аппарата получает питание через фильтр помех, выпрямитель, инвертор напряжения и статический переключатель. В данной структуре повышено качество питающего напряжения за счет стабилизации методом широтно-импульсного преобразования в звене инвертора напряжения. Аварийная цепь обеспечивает резервирование основной цепи. Дополнительная цепь, коммутируемая ключом S1 в случае выхода из строя преобразователей или при глубоком разряде АБ, называется обходным путем, т.е. байпасом. Статический переключатель включает в себя электронные ключи (выполненные на транзисторах или паре встречно-параллельных тириستоров, а также контакторов).

С дельта – преобразованием (on line)



При понижении питающего напряжения U_1 дельта-инвертор работает как выпрямитель, основной инвертор напряжения выполняет функции инвертора. При повышении напряжения U_1 наоборот, блок основного инвертора напряжения работает как выпрямитель, а блок дельта-инвертора как инвертор. Т.е. преобразователи в структуре являются обратимыми устройствами и они оказывают воздействие на входной трансформатор. Достоинством данной системы является высокое качество питающих напряжения, высокий к.п.д. системы.

§33. Источники электропитания стационарных радиостанций



1. Радиостанция
2. Блок питания
3. Резервная аккумуляторная батарея
4. Стационарная антенна
5. Антенная мачта
6. Кабель коаксиальный
7. Разъемы
8. Грозоразрядник
9. Заземляющий контур

Рисунок 100- Типовой состав стационарной радиостанции

1. Стационарная (базовая) радиостанция

В качестве базовой радиостанции может выступать любая радиостанция с нужным частотным диапазоном. При выборе данной позиции обратите внимание на необходимое количество каналов, нужный вид модуляции, выходную мощность передатчика радиостанции.

2. Блок питания для радиостанции

Данное устройство используется для электропитания радиостанции. Бывают различные типы блоков питания: импульсные и трансформаторные, с регулированием выходного напряжения и без регулирования. При выборе источника питания обратите внимание на максимальный ток нагрузки, который выдерживает блок. Также для питания радиостанций рекомендуем использовать трансформаторные источники, так как импульсные могут создавать помехи в цепях приема радиостанции.

3. Аккумуляторная батарея для резервного питания

Аккумуляторная батарея используется для бесперебойного питания базовой радиостанции в случае сбоев в электросети 220В. Аккумуляторная батарея может использоваться как внешний элемент, так и устанавливаться в корпус источника питания. Зачастую у блоков предусмотрена возможность зарядки аккумуляторных батарей. При выборе аккумуляторных батарей обращайте внимание на его емкость и выходное напряжение. Аккумуляторная батарея является необязательным элементом, но наши специалисты рекомендуют их все же использовать, так как в случае отсутствия питания 220 В перестанет работать стационарная радиостанция, а от ее работоспособности зачастую зависит работа всей системы радиосвязи.

4. Стационарная антенна для радиостанции

Стационарные (базовые) антенны отличаются по диапазону рабочих частот, бывают с круговой диаграммой направленности (всестороннее излучение) или направленные (основное излучение происходит только в одном направлении). При выборе антенны обращайте внимание на частоты, коэффициент усиления антенны, максимальную подводимую мощность к базовой антенне радиостанции.

5. Мачта для установки стационарной антенны

Мачты для установки антенны бывают различных типов: составные, телескопические, с подъемным механизмом. Также мачты различны по длине в развернутом состоянии. При выборе мачты обратите внимание что к ним нужны дополнительные аксессуары: подпятник, трос для растяжек, тальрепы, коуши, зажимы для троса и т.д. Типовой полный состав мачты смотрите по ссылке ниже.

6. Кабель коаксиальный радиочастотный для радиостанции

Кабель используется для подключения антенны стационарной к радиостанции. Обратите внимание на то, что чем выше частота на которой Вы будете работать и больше длина кабеля, тем выше потери полезного сигнала в коаксиальном кабеле. Следовательно для высоких частот (например 400 МГц) лучше использовать кабель с малыми потерями. Для подключения к радиостанциям используется кабель с сопротивлением в 50 Ом.

7. Разъемы для подключения стационарной радиостанции

Разъемы высокочастотные используются для соединения элементов системы стационарной радиостанции. При выборе обратите внимание на тип разъема антенны, радиостанции и грозозащитника (если используется).

8. Грозоразрядник (молниезащита)

Грозоразрядники применяются для защиты оборудования стационара во время удара молнии в антенну. Если Вы ставите стационарную антенну и она является самой высокой точкой на устанавливаемой поверхности, то мы рекомендуем использовать грозоразрядник (грозозащиту). Краткое описание работы молниезащиты: в случае попадания грозового разряда в стационарную антенну данный элемент отводит повышенное напряжение на заземляющий контур.

9. Контур заземления

Контур заземления используется для отвода повышенного напряжения от стационарной радиостанции в случае удара грозы и для отвода помех в сети электропитания

§34. Источники электропитания возимых и переносных портативных РС

Энергопотребление современных электронных устройств снижается, и для их питания требуются менее мощные, чем раньше, источники питания. В предлагаемом материале делается краткий обзор маломощных (до 20 Вт) бюджетных источников питания в различных корпусах: для монтажа на шасси, на печатную плату или в виде отдельного блока. Современные импульсные источники питания имеют универсальный вход и комплекс защит от короткого замыкания, перегрузки, перенапряжения, перегрева. Источники питания с универсальным входом 85...264 В можно использовать в сетях переменного тока с номинальными напряжениями 110, 115, 220 или 230 В и частотой 50/60 Гц. Эти же источники, как правило, допускают работу в сетях постоянного тока. Это свойство обеспечивает гибкость применения источников питания в приборах различного назначения. Кроме того, наличие универсального входа означает, что эти источники питания не боятся «провалов» входного напряжения. Внешний вид различных серий бюджетных источников питания и варианты моделей приведены в таблице. Для маломощных источников питания достаточно конвекционного охлаждения. Модели с одним выходом могут работать без нагрузки. Это упрощает разработчику задачу организации питания

Источники питания до 20 Вт для монтажа на шасси Источники питания для монтажа на шасси выпускаются либо в открытом исполнении, либо в металлическом перфорированном корпусе. В популярной серии открытых источников питания PS компании Mean Well имеются модули серий PS05 и PS15 мощностью 5 и 15 Вт соответственно. Источники питания соответствуют международным стандартам электробезопасности и электромагнитной совместимости и получили знак CE (разрешение на продажу в Европе). Среди особенностей источников питания PS05 и PS15 можно отметить низкий ток утечки (менее 0,5 мА) и высокую надежность, которая достигнута применением высококачественных компонентов и современного техпроцесса, включающего прогон при 100% нагрузке. Источники питания серий PS05 и PS15 предназначены для широкого круга приложений, включая системы телекоммуникации, промышленную автоматику, измерительную технику, приборы управления, системы безопасности и т.п. Источники питания серий NES и RS (см. таблицу) представляют собой семейство компактных модульных источников питания в

металлическом корпусе. Они имеют широкий диапазон рабочих температур от -20 до $+70^{\circ}\text{C}$ и предназначены для применения в электронной технике и оборудовании, имеющем ограничения по габаритам. Основание металлического корпуса является частью теплоотвода. Наличие в корпусе отверстий с метрической резьбой позволяет монтировать его как на шасси (непосредственно), так и на DIN-рейку (с помощью приспособлений). Серия RS более компактная и предназначена для более тяжелых условий эксплуатации. Серия NES имеет чуть большие габариты и предназначена для более бюджетных приложений. Во всех преобразователях есть возможность регулировки выходного напряжения с помощью потенциометра (в пределах $\pm 10\%$ от номинального значения). Габаритные размеры источников питания RS15 составляют всего $62,5 \times 51 \times 28$ мм, что на 20% меньше размеров модулей NES15 и составляет всего 26% от размера популярной серии S15 первого поколения. RS15 изготовлены по бессвинцовой технологии, все электролитические конденсаторы в источнике питания рассчитаны на 105°C . Кроме того, источники серии способны выдержать скачок входного напряжения до 300 В (в течение 5 секунд) и вибрацию в 5 G, что дает возможность применения приборов в достаточно жестких условиях эксплуатации. Новые источники питания Mean Well серии RS15 разработаны для применения в электронной технике и оборудовании, автоматике, измерительном оборудовании, небольших светодиодных таблах, и в других устройствах, имеющих ограничения по габаритам. Источники питания для монтажа на печатную плату. Источники питания, монтируемые на печатную плату, имеют выводы для монтажа в отверстия и предназначены для одноплатных и переносных приборов. Это, например, модульные источники питания серий NFM и PM мощностью 520 Вт компании Mean Well и серии KAM мощностью 730 Вт компании Chinfa. Их характеристики приведены в таблице. Серии NFM и PM построены на одной элементной и схемотехнической базе и отличаются конструктивным исполнением. Источники питания серии NFM реализованы в виде открытой печатной платы, а источники серии PM заключены в пластиковый корпус. Модули NFM и PM отличаются миниатюрными размерами, имеют изоляцию вход-выход 4 кВ переменного тока, широкий температурный диапазон ($-20 \dots +70^{\circ}\text{C}$), сертифицированы на соответствие международным стандартам. Выходное напряжение источников питания NFM можно регулировать в пределах $\pm 10\%$ от номинального значения. Собственное энергопотребление при работе без нагрузки составляет менее 0,5 Вт (для моделей 5, 10, 15 Вт) и менее 0,75 Вт (для 20 Вт моделей).

Список используемых источников

- 1.О связи [Текст]: Федеральный закон от 07.07.2003 г. №126-ФЗ // Собрание Законодательства Российской Федерации. – 2003. - №28, (14 июля 2003 года) - Ст. 2895
- 2.ГОСТ Р 54720-2011 Национальный стандарт Российской Федерации. Железнодорожная электросвязь. Правила подвески самонесущего волоконно-оптического кабеля на опорах контактной сети железной дороги и линий электропередачи напряжением выше 1000 В .Дата введения - 2012-07-01
- 3.Шмытинский, В.В., Многоканальные системы передачи: Учебник для техникумов и колледжей ж.-д. транспорта. / В.В.Шмытинский, В.П. Глушко — М.: Маршрут, 2002. — 558 с.
4. <http://www.informaticspoint.ru/forpois-345-2.html>
5. http://www.snip-info.ru/Rd_45_120-2000.htm