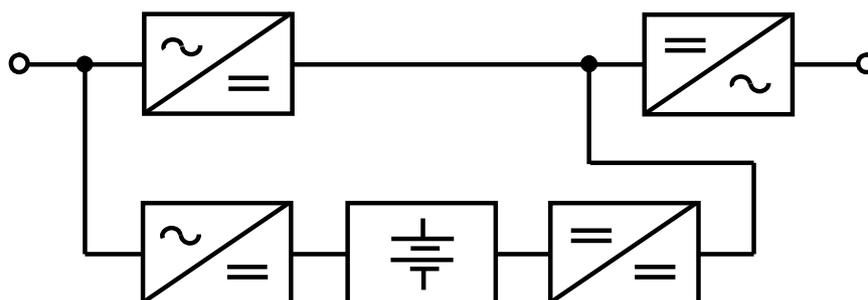


ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Б.И. Коновалов

ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ ЭВМ

Учебное пособие



2007

Федеральное агентство по образованию
**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)**

Кафедра промышленной электроники

Б.И. Коновалов

ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ ЭВМ

Учебное пособие

2007

Коновалов Б.И.

Электропитание ЭВМ: Учебное пособие. — Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2007. — 177 с.

Учебное пособие соответствует рабочей программе дисциплины «Электропитание ЭВМ» для студентов специальности 210106 «Промышленная электроника» (целевая подготовка «Эксплуатация и развитие компьютерной техники, сетей и систем») и магистерской программе 210116 «Электронные приборы и устройства сбора, обработки и отображения информации».

Содержит материал, раскрывающий название и взаимовлияние функциональных узлов источников вторичного электропитания, особенности их схемотехники, возможности обеспечения заданного качества выходной электроэнергии, возможности уменьшения влияния на питающую сеть.

Изложение материала базируется на том, что студенты усвоили такие дисциплины, как «Основы преобразовательной техники», «Энергетическая электроника», «Магнитные элементы электронных устройств».

Предназначено для студентов направления 210100 «Электроника и микроэлектроника» очной формы обучения.

© Коновалов Б.И., 2007

© ТУСУР, 2007

ОГЛАВЛЕНИЕ

1 Введение.....	4
2 Повышение надежности электроснабжения.....	18
2.1 Характеристика средств повышения надежности электроснабжения.....	18
2.2 Аккумуляторы и их характеристики	24
2.3 Источники бесперебойного питания с выходом на постоянном токе	37
2.4 Источники бесперебойного питания с выходом на переменном токе.....	44
3 Построение источников вторичного электропитания (ИВЭП).....	94
3.1 ИВЭП непрерывного действия	94
3.2 Стабилизаторы постоянного напряжения ключевого типа (<i>DC/DC</i> -преобразователи).....	111
3.3 ИВЭП с бестрансформаторным входом.....	130
3.4 Многоканальные ИВЭП	149
4 Обеспечение электромагнитной совместимости.....	157
5 Заключение.....	175
6 Литература	176

1 ВВЕДЕНИЕ

Электропитание радиоэлектронной и электронно-вычислительной, или просто электронной аппаратуры (ЭА) осуществляется средствами вторичного электропитания, которые подключаются к источникам первичного электропитания, преобразуют их переменное или постоянное напряжение в ряд выходных напряжений различных номиналов как постоянного, так и переменного тока с характеристиками, обеспечивающими нормальную работу ЭА в заданных режимах. Для выполнения этих задач в состав средств вторичного электропитания входят как сами источники питания, так и ряд дополнительных устройств, обеспечивающих их работу в составе комплекса ЭА.

Ниже на рис. 1.1 приведена структурная схема классификации средств вторичного электропитания, на которой показаны входящие составные части: системы вторичного электропитания;

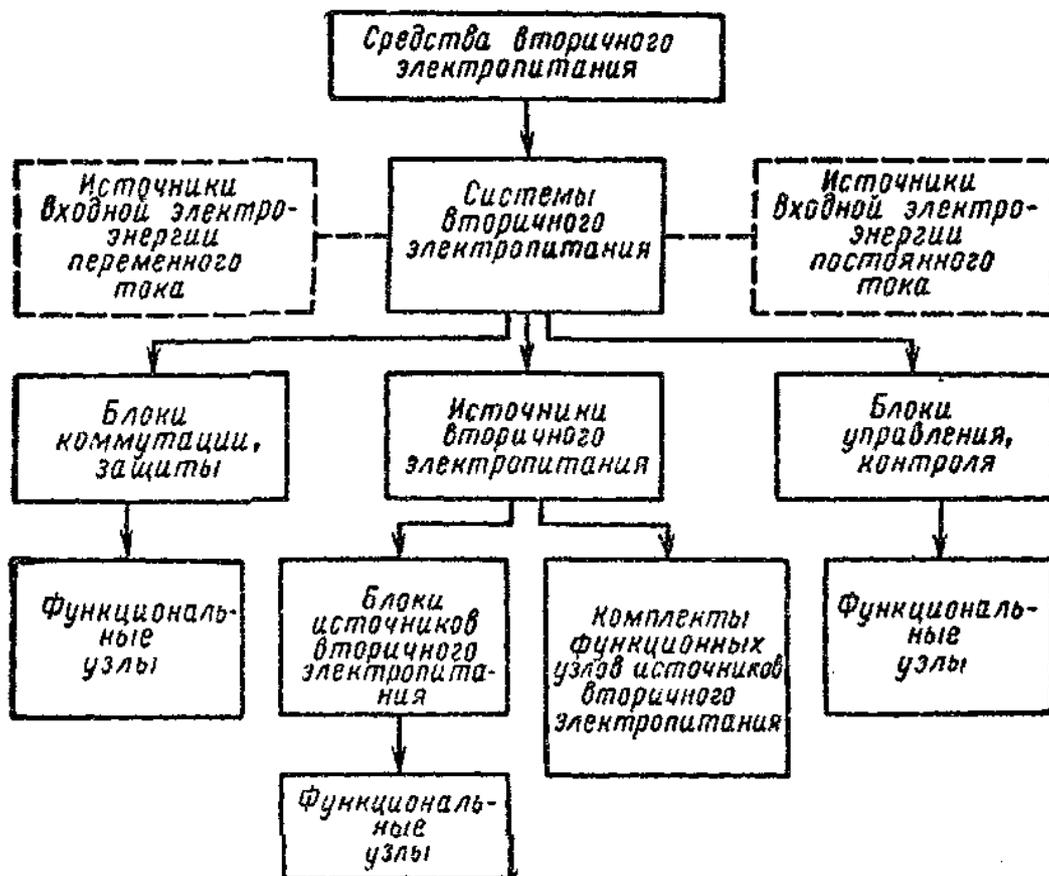


Рис. 1.1

источники вторичного электропитания; блоки управления, распределения и сигнализации и входящие в них функциональные узлы. Здесь также показаны (пунктирной линией) источники входной электроэнергии переменного и постоянного тока, которые хотя и не входят в состав средств вторичного электропитания, но их характеристики оказывают существенное влияние на структуру построения системы вторичного электропитания и расчет ее составных частей.

При классификации средств вторичного электропитания использованы термины, наиболее часто встречающиеся в научно-технической литературе.

Средства вторичного электропитания — составная часть любой электронной аппаратуры, которая входит в нее и, используя энергию от систем энергоснабжения промышленной частоты или автономных источников питания, формирует необходимые для работы комплекса ЭА питающие напряжения с требуемыми параметрами.

Система вторичного электропитания — совокупность функционально связанных источников вторичного электропитания, устройств управления, коммутации, распределения, защиты, контроля и сигнализации, предназначенная для подключения к системам или автономным источникам энергоснабжения и обеспечивающая по заданной программе электропитанием все цепи электронной аппаратуры.

Источники вторичного электропитания (ИВЭП) составляют основу всех средств и систем электропитания ЭА. Это устройства, предназначенные для преобразования входной электроэнергии переменного или постоянного тока и обеспечения электропитанием отдельных цепей электронной аппаратуры. Они могут состоять из блоков питания или комплекта функциональных узлов (субблоков); в свою очередь, в состав блока питания входит ряд функциональных узлов различного назначения.

Блок вторичного электропитания (блок питания) — источник вторичного электропитания, выполненный в виде единой конструкции.

Комплект функциональных узлов — источник вторичного электропитания, состоящий из двух и более функциональных узлов, встраиваемых непосредственно в электронную аппаратуру,

но не объединенных в единую конструкцию.

Функциональные узлы источников вторичного электропитания — устройства, выполняющие одну или несколько определенных электрических функций (выпрямление, фильтрацию, стабилизацию и др.) в составе ИВЭП или системы вторичного электропитания. Функциональные узлы ИВЭП характеризуются рядом признаков: условиями эксплуатации, выполняемыми функциями, входными и выходными параметрами, элементной базой.

Значительное влияние на структуру построения ИВЭП оказывают параметры источников первичного электропитания. В стационарных условиях такими источниками являются сети переменного одно- или трехфазного тока частотой 50 или 60 Гц. Причем в разных странах мира номинальные значения напряжений в таких сетях существенно отличаются, что можно видеть из данных табл. 1.1.

Таблица 1.1 — Частота и напряжение в сетях переменного тока, принятые в различных странах

Страна	Частота, Гц	Напряжение бытовой сети, В	Напряжение промышленной сети, В
Австралия	50	240	240/415, звезда
Бразилия	60	127/220	220/380, звезда 220, треугольник
Континентальная Европа	50	220	220/380, звезда
Израиль	50	230	230/400, звезда
Япония (запад)	50	100/200	200, треугольник
Япония (восток)	60	100/200	200, треугольник
Северная Америка	60	120/240	120/208, звезда
Великобритания	50	240	240/415, звезда
Россия	50	220	220/380, звезда

Кроме различных номиналов напряжений, ИВЭП должны быть рассчитаны на статические и динамические отклонения напряжения первичного источника. Статические отклонения напряжения обычно составляют значения от +10 % до –15 % от номинала, но могут достигать и величин от +15 % до –20 %. Еще больших значений достигают динамические (т.е. кратковремен-

ные, соизмеримые по длительности или меньшие периода переменного напряжения) отклонения напряжения, вызываемые коммутацией мощных устройств, подключенных к этой же сети.

На автономных объектах используются в качестве первичных источников либо генераторы переменного тока частотой 400 Гц и более, либо источники постоянного тока (наиболее часто химические источники тока или солнечные элементы). Напряжения источников постоянного тока также имеют отклонения от номинального значения. Например, напряжение химического источника зависит от величины отдаваемого тока и степени разряженности, а напряжение солнечного элемента — от величины тока и степени освещенности.

Основные функциональные блоки электронной аппаратуры требуют электроэнергию постоянного тока низкого напряжения. В соответствии с этим приведем ниже краткий исторический обзор построения структур ИВЭП, питающихся от сети переменного тока. Для пояснения будем использовать рис. 1.2.

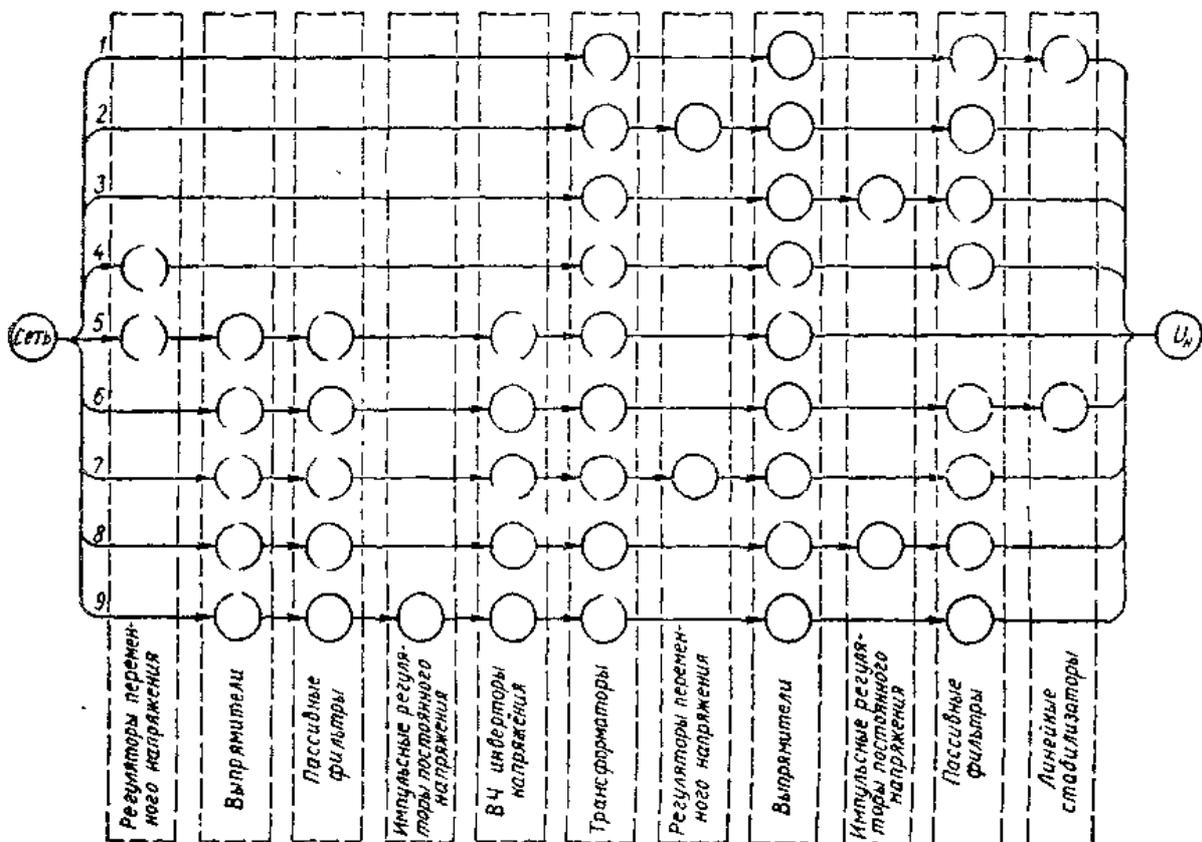


Рис. 1.2 — Структурные схемы сетевых источников питания

Простейшая структурная схема 1 состоит из трансформатора, работающего на частоте сети, выпрямителя, пассивного фильтра, осуществляющего предварительное сглаживание напряжения, и линейного стабилизатора, обеспечивающего требуемый уровень нестационарности и пульсаций выходного напряжения. Особенность структурной схемы 2 — переход от линейного стабилизатора, имеющего низкий КПД, к регулятору переменного напряжения, функции которого нередко совмещаются с функциями выпрямления напряжения. В качестве регулятора переменного напряжения чаще всего используют управляемые тиристорные выпрямители. Особенность структурной схемы 3 заключается в использовании для стабилизации напряжения импульсного регулятора. Эта структура позволяет существенно повысить КПД за счет использования обширного арсенала импульсных регуляторов, однако массогабаритные показатели таких источников остаются весьма низкими.

С появлением тиристорных, рассчитанных на амплитудное напряжение сети, нашла применение структурная схема 4 с регулирующим органом, включенным на стороне питающей сети, но в этой структуре осуществление трансформации и фильтрации напряжения на частоте сети требует применения громоздких трансформаторов и фильтров, что определяет низкие массогабаритные показатели. Частично улучшить их позволяет структурная схема 5, в которой выпрямленное стабилизированное напряжение трансформируется до требуемого уровня на повышенной частоте, для чего осуществляется инвертирование постоянного напряжения.

Возможность повышения частоты трансформации и снижения материалоемкости трансформатора определила применение структурной схемы 6, которая в отличие от схемы 1 содержит на входе трансформатора преобразователь частоты питающего напряжения. Структурные схемы 7—9 являются сетевыми источниками питания с бестрансформаторным входом, регулированием и трансформацией напряжения на повышенной частоте и различаются местом включения регулирующего элемента. Осуществление преобразований на повышенной частоте и замена линейного (активного) режима работы транзисторов режимом переключений определили получение высоких энергетических характери-

стик. Следует отметить, что рассмотренные структурные схемы не претендуют на полноту. Функции некоторых узлов, показанных на структурных схемах, могут быть совмещены. Например, импульсное регулирование и инвертирование напряжения успешно совмещаются с помощью широтно-импульсной модуляции в регулируемом инверторе. Совмещение функций выпрямления и регулирования с помощью управляемых выпрямителей наряду с рядом недостатков имеет несомненное достоинство по эффективности и простоте.

Наряду с очевидными достоинствами источники электропитания с бестрансформаторным входом на основе импульсных регуляторов обладают и определенными недостатками: усложнение схемы; снижение быстродействия и точности стабилизации по сравнению с линейными стабилизаторами за счет введения инерционных LC -фильтров, необходимых при импульсном регулировании постоянного напряжения; наличие высокочастотных помех, вызванных широким спектром импульсных сигналов.

Необходимо особо отметить, что в процессе создания источников с бестрансформаторным входом был решен в той или иной мере ряд специфических схемотехнических проблем, присущих этим источникам, среди которых следует в первую очередь назвать следующие: организация плавного запуска и ограничения зарядного тока конденсаторов входного фильтра; обеспечение номинального режима силовых транзисторов при включении и выключении; организация питания схемы управления; устранение сквозных токов и формирование желаемой траектории рабочей точки при переключении силовых транзисторов; устранение режима одностороннего насыщения магнитной системы силовых трансформаторов двухтактных инверторов.

Качество выходного напряжения ИВЭП характеризуется следующими параметрами: *пульсациями и точностью*.

Пульсации выходного напряжения отражают характер и значение переменной составляющей. Вид пульсации на выходе ИВЭП с бестрансформаторным входом представлен на рис. 1.3. Этот параметр задается в виде размаха переменной составляющей (от максимума до минимума пульсации). Чтобы охарактеризовать спектр гармоник переменной составляющей, указывают метод измерений той или иной составляющей. Если пульсации

измеряются осциллографом, то указывают полосу пропускания его усилителя. Пульсации задаются в виде трех основных компонент:

сетевая компонента — размах напряжения в полосе частот выпрямленного сетевого напряжения; например, для двухполупериодного выпрямления промышленной сети с частотой 50 Гц эта полоса равна 100 Гц;

ключевая компонента — размах напряжения на частоте работы силовых транзисторов преобразователя, которая обычно составляет десятки и сотни килогерц;

высокочастотная компонента — размах напряжения высокочастотных «выбросов» (пиков) выходного напряжения, измеряемых осциллографом с полосой до 50 МГц;

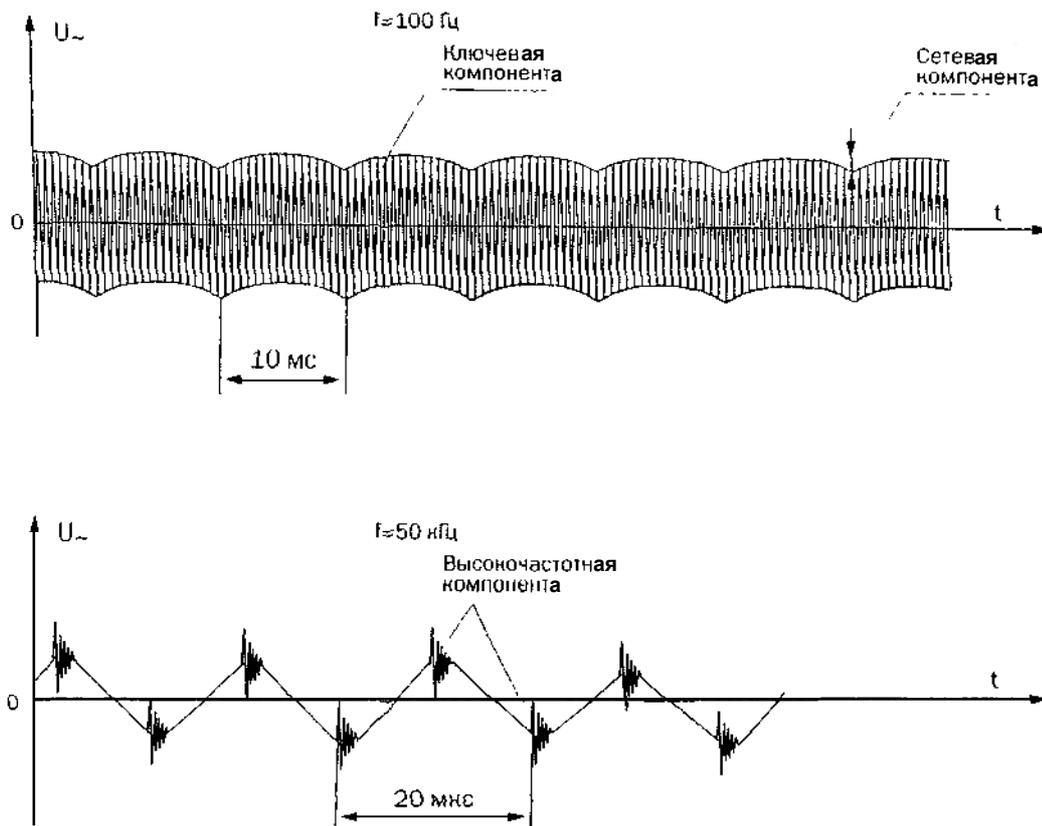


Рис. 1.3

Нестабильность выходного напряжения обычно указывают как суммарное значение неустойчивости, которое отражает максимальное изменение выходного напряжения $U_{\text{ВЫХ}}$ при воз-

действию на источник всей совокупности дестабилизирующих факторов. Единица этого параметра — проценты номинального значения выходного напряжения. Иногда приводят значения частных нестабильностей, которые показывают, как изменяется выходное напряжение ИВЭП при воздействии конкретного дестабилизирующего фактора. Основными составляющими общей суммарной нестабильности являются:

нестабильность по сети, т.е. характер изменения выходного напряжения ИВЭП в зависимости от изменений входного сетевого напряжения;

нестабильность по нагрузке, которая показывает, как изменяется выходное напряжение ИВЭП в зависимости от изменения тока нагрузки;

нестабильность по температуре, которая показывает, как изменяется выходное напряжение ИВЭП в зависимости от изменения окружающей температуры;

нестабильность временная, которая определяет дрейф выходного напряжения ИВЭП за определенный промежуток времени работы при отсутствии за это время изменений других дестабилизирующих факторов;

нестабильность динамическая, которая определяется кратковременным отклонением выходного напряжения ИВЭП при скачкообразном изменении тока нагрузки, например, от 50 до 100 % номинального значения тока.

Качество взаимодействия нагрузки с сетью переменного синусоидального тока оценивается *коэффициентом мощности*

$$k_M = k_n \cdot \cos \varphi,$$

где k_n — коэффициент искажения потребляемого из сети тока, который равен отношению действующего значения первой гармоники тока к действующему значению всей функции несинусоидального тока;

φ — угол сдвига первой гармоники потребляемого тока относительно входного синусоидального напряжения.

Оптимальным значением коэффициента мощности является единица. ИВЭП с бестрансформаторным входом имеют k_M не более 0,7. Для обеспечения k_M , близкого к оптимальному, используются специальные устройства силовой электроники, называе-

мые исходя из их функционального назначения корректорами коэффициента мощности.

Таким образом, современные низковольтные ИВЭП при уровне мощности порядка десятков ватт и более обычно строятся по структуре с бестрансформаторным входом. Но помимо одноканальных ИВЭП (как показано на рис. 1.2), в зависимости от конкретной области применения и ряда других специфических особенностей, структуры ИВЭП бывают значительно сложнее. Выделим наиболее распространенные структуры, опираясь на область применения (т.е. на объекты, для питания которых предназначены ИВЭП).

Портативные компьютеры

Чтобы называться портативными, такие компьютеры должны работать как от сети, так и от батарей, весить не более единиц кг и размещаться в небольшом переносном футляре. Кроме того, прибор должен потреблять мощность менее 100 Вт, что исключает потребность во внутреннем принудительном охлаждении с помощью вентилятора и позволяет работать от аккумуляторной батареи несколько часов.

Функциональная схема блока питания, соответствующего сформулированным требованиям, показана на рис. 1.4.

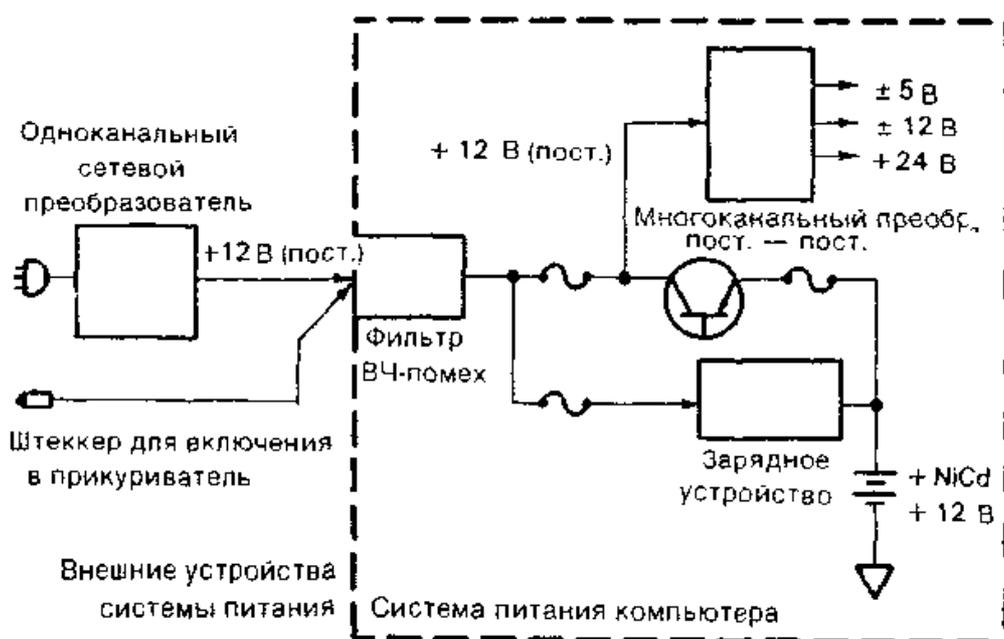


Рис. 1.4 — Функциональная схема питания портативного компьютера

Необходимо отметить, что эта система может получать питание как от внутренних батарей, так и от сети переменного тока. Кроме того, прибор допускает включение в 12 В бортовую сеть автомобиля.

Переменное напряжение сети преобразуется в постоянное напряжение 12 В с помощью простого однотранзисторного ключевого преобразователя. Это обычно преобразователь обратного типа с одним выходом, работающий при частоте переключения порядка 100 кГц с широтно-импульсным регулированием.

Такой сетевой преобразователь обычно komponуется в виде отдельного блока, чтобы сделать компьютер как можно легче и меньше при работе от батарей. Многоканальный преобразователь постоянного напряжения 12 В в постоянное, аккумуляторная батарея и зарядное устройство размещаются непосредственно в корпусе компьютера. Этот преобразователь обеспечивает стабильное напряжение питания логических цепей, дисководов и дисплея.

Персональный компьютер

Особенностью персональных компьютеров является то, что спроектированы они для эксплуатации в неспециализированных помещениях всевозможных учреждений и бытовых условиях. Это означает, что охлаждение должно быть бесшумным, компьютеры должны использовать имеющиеся в помещении стандартные розетки, быть транспортабельными и вписываться в интерьер.

Для системы питания ЭВМ этого типа используется многоканальный бестрансформаторный импульсный источник питания. Такие многоканальные источники питания могут иметь мощность от менее 100 Вт до величины порядка 750 Вт. Верхняя граница мощности определяется параметрами оборудования электрической сети. Например, в США для сети 120 В используются стандартные настенные розетки с допустимым током 15 А. Согласно эксплуатационным требованиям, максимальный ток, отбираемый от сети через розетку в длительном режиме, не должен превышать 80 % от 15 А, т.е. не должен быть более 12 А. Это соответствует полной мощности 1440 ВА. Из-за относительно низких коэффициента мощности входного выпрямителя с емкостным

фильтром (обычно 0,7) и КПД многоканальных источников (типичная величина 0,7—0,8) общий коэффициент использования потребляемой из сети мощности получается порядка 50 %, что и объясняет цифру 750 Вт (примерно половина от 1440 ВА).

В последние годы персональные компьютеры нашли широкое применение во многих областях деятельности. В результате в ряде случаев пользователи попали в такую зависимость от работы компьютеров, что не могут допустить перерыва их функционирования при перебоях в энергоснабжении. Поэтому часто необходимо дополнять компьютерные системы резервными источниками питания. В этих устройствах в качестве резервного источника энергии используются аккумуляторные батареи. Во время нормальной работы батареи поддерживаются в полностью заряженном состоянии с помощью электронного зарядного устройства, питаемого от сети переменного тока. Когда возникает перебой в энергоснабжении от сети, вступает в работу инвертор, преобразующий напряжение батареи в переменное напряжение сетевой частоты и заменяющий сеть в качестве источника энергии для компьютерной системы.

Встраиваемые вычислительные системы

Как следует из названия, эти устройства проектируются для установки непосредственно в блоки комплектно поставляемого промышленного (или иного, например военного) оборудования. Мощность, требуемая для питания устройств этого класса, обычно лежит в диапазоне 100—1000 Вт. Такие устройства могут питаться от однофазной сети в случае малых систем или от трехфазной промышленной сети. В отличие от персональных компьютеров эти системы обычно используют более эффективное принудительное охлаждение и поэтому могут рассеивать большую мощность.

Кроме основных функций преобразования и стабилизации, часто необходимо обеспечить возможность работы источников от резервных аккумуляторных батарей. Это требуется, когда компьютер управляет механизмами или другим оборудованием, которое должно оставаться работоспособным во время перебоев в энергоснабжении. Для обеспечения бесперебойной работы сетевого бестрансформаторного источника необходим преобразова-

тель постоянного напряжения в постоянное, повышающий напряжение батареи до уровня входного напряжения этого источника. Функциональная схема такой системы показана на рис. 1.5.

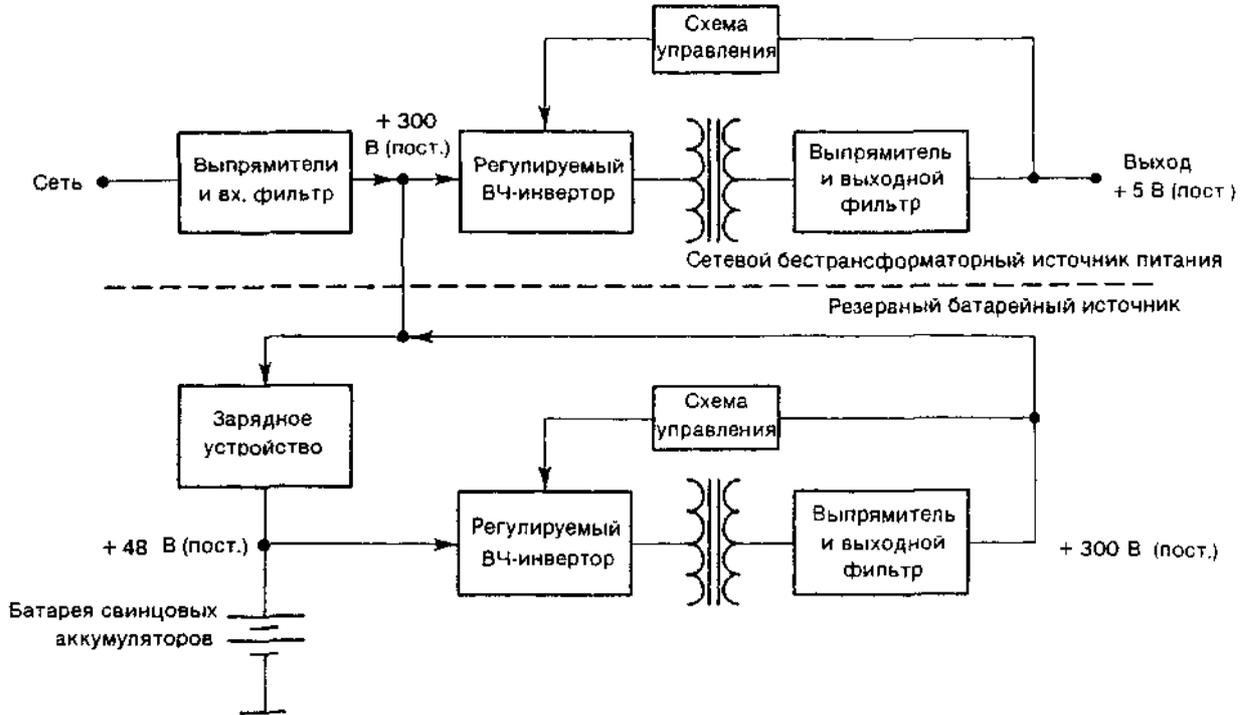


Рис. 1.5

Мощные электронные системы

В различных областях техники существуют разные границы, определяющие маломощные и мощные устройства. В построении систем электропитания границей мощных электронных систем будем ориентировочно считать уровень порядка единиц кВт.

Для электронных систем с потреблением мощности свыше 1 кВт разработаны высокоэффективные «распределенные системы электропитания». Функциональная схема такой системы питания показана на рис. 1.6. При таком подходе напряжение сети переменного тока выпрямляется и преобразуется в стабилизированное промежуточное напряжение постоянного тока, обычно лежащее в пределах 40—60 В. Общая шина с этим напряжением подводится к печатным платам функциональных узлов электронной аппаратуры. Питание этих функциональных узлов осуществляется с помощью преобразователей постоянного напряжения в постоянное, располагаемых прямо на этих платах или рядом с ними.

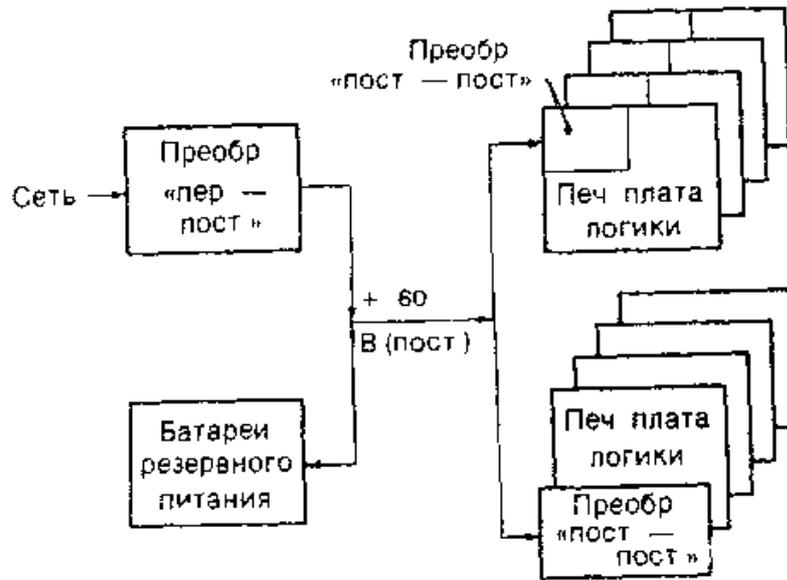


Рис. 1.6

В отличие от уровней мощности порядка единиц киловатт, характерных для многоканальных преобразователей централизованной системы питания, эти «распределенные» преобразователи обладают мощностью в десятки и сотни ватт. Преобразование небольших мощностей имеет несколько преимуществ по сравнению с централизованным мощным источником. Во-первых, можно работать на более высоких частотах, что уменьшает габариты реактивных компонентов преобразователей. Во-вторых, может быть использован модульный принцип конструирования с применением стандартных компонентов и их автоматизированной сборкой. Эти «элементарные источники» могут быть собраны непосредственно на системных платах или скомпонованы в герметизированные модули. Преимущество сборки на плате состоит в меньших стоимости и габаритах, так как для установки компонентов и их соединения используется сама печатная плата. Герметизированные модули, являясь универсальными блоками, проверка которых осуществляется заранее, могут размещаться в любом месте распределенной системы питания. В обоих случаях реализуются преимущества системы питания распределенной структуры.

Основная причина использования распределенной системы питания состоит в возможности передачи стабилизированной мощности конкретным нагрузкам. В этом случае мощность на каждый из блоков системы может подаваться независимо с целью

локализации неисправностей в системе и устранения поврежденных в подсистемах без отключения всей системы. Это свойство также облегчает создание надежных ЭВМ путем введения в систему избыточных функциональных блоков, наиболее часто выходящих из строя и снабженных индивидуальными источниками питания. Такие потенциально ненадежные функциональные блоки дублированы таким образом, что при отказе одного другие продолжают действовать и вся система функционирует нормально. Распределенные источники питания имеются у каждого из этих резервирующих друг друга блоков, так что выход из строя одного из источников питания также не приводит к отказу всей системы. Микропроцессорные контроллеры управляются работой отдельных частей распределенной системы питания и передают информацию о ее состоянии и отказах в главный компьютер.

Дополнительные преимущества такой структуры — более простые устройства распределения мощности и упрощение систем батарейного резервирования. Повышенное напряжение на распределенной общей шине (40—60 В постоянного тока вместо 5) на порядок снижает величину тока, что упрощает конструкцию шины, системной объединительной платы и устройств подачи напряжения к печатным платам. Система батарейного резервирования при промежуточном напряжении 40—60 В на общей шине упрощается. Вместо преобразования напряжения батареи до более высокого напряжения общей шины, как в случае бестрансформаторного сетевого источника питания, при перерыве в энергоснабжении батарея может быть непосредственно подключена к распределительной шине с таким напряжением. Такая конструкция может быть реализована с помощью управляемого полупроводникового ключа и реле вместо значительно более сложного и дорогого преобразователя, который требуется в системах энергоснабжения с централизованным общим блоком питания.

Распределенные системы питания сложнее традиционных «сосредоточенных» с точки зрения количества блоков и их взаимозависимости. Однако с повышением сложности одновременно повышается гибкость и расширяются функциональные возможности. Кроме того, эти системы оказываются дешевле сосредоточенных, когда требуется реализовать батарейное резервирование или большую надежность при сбоях в системе.

2 ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

2.1 Характеристика средств повышения надежности электроснабжения

Реально в сетях синусоидального переменного тока могут наблюдаться нарушения (сбои) электропитания, перечисленные ниже.

1. **Всплески напряжения (*Power Surges*)** — кратковременные повышения напряжения в сети на величину более 110 % от номинального значения на время более одного периода синусоиды. Помехи такого рода появляются в сети в моменты отключения большой нагрузки. Внешне визуально проявляются как мерцание ламп освещения.

2. **Высоковольтные выбросы (*High Voltage Spikes*)** — кратковременные импульсы напряжения величиной до 6000 В и длительностью до 10 мс. Появляются как результат удара молнии в линии электропередач, из-за статического электричества или из-за искрения переключателей. Внешних проявлений не имеют.

3. **Проседание напряжения (*Power Sags*)** — кратковременное снижение напряжения в сети до величины менее 80—85 % от номинального значения на время более одного периода синусоиды. Являются следствием включения мощной нагрузки, например моторов. Внешне проявляются как мерцание ламп освещения.

4. **Высокочастотный шум (*Electrical Line Noise*)** — радиочастотные помехи. Помехи электромагнитного или другого происхождения. Появляются вследствие работы мощных высокочастотных устройств, например передатчиков, а также из-за различных коммутационных устройств, реле и электромоторов.

5. **Выбег частоты (*Frequency Variations*)** — изменение частоты на 3 Гц и более от номинального значения (50 Гц). Появляются вследствие нестабильного источника энергии. Внешне могут и не проявляться.

6. **Подсадка напряжения (*Brownout*)** — падение напряжения на длительное время. Появляется в моменты включения энергоемкого оборудования, запуска мощных моторов и т.п. Проявляется как небольшое снижение яркости ламп освещения.

7. Пропадание напряжения (*Power Failure*) — отсутствие напряжения в электросети в течение более нескольких секунд. Нарушения в линии подачи электроэнергии.

Пропадание напряжения может быть вызвано совершенно тривиальными факторами. Так, электрики, обслуживающие офисное здание с большим числом компьютеров, порой не имеют представления, к каким последствиям может привести отключение питания. Например, при неполадках с освещением в одной из комнат электрик, по очереди включая и выключая автоматические выключатели на распределительном щите, ищет тот, через который в эту комнату подается напряжение. Разумеется, поиск происходит не по схеме (это долго, да и схемы у него, скорее всего, нет). Если нужный автомат-переключатель случайно не окажется первым, то за несколько минут такого поиска каждая электролампа и каждый компьютер на этом этаже подвергнутся кратковременному отключению напряжения. Осветительным лампам оно не повредит, но даже секундного отключения вполне достаточно для потери данных в компьютерах.

Особенно часто подобные случаи происходят весной и осенью, когда отключено центральное отопление. Если в помещении становится холодно, люди, естественно, включают электрические обогреватели. В случае перегруженной электросети дополнительное подключение мощных приборов может привести к срабатыванию автоматического предохранителя. И такие циклы включений и отключений могут повторяться по несколько раз в день.

В зависимости от длительности сбоев в электропитании бесперебойность электроснабжения обеспечивают следующие меры.

1. Выбор соответствующей емкости конденсатора входного фильтра в бестрансформаторных ИВЭП.

Пусть при наличии нормального напряжения в сети напряжение на конденсаторе фильтра составляло величину U_C . Этому напряжению соответствует запасенная в конденсаторе энергия

$$W_1 = \frac{CU_C^2}{2}.$$

При пропадании напряжения в сети конденсатор разряжается, и напряжение на нем падает. За счет обратной связи выходное

напряжение в ИВЭП может стабилизироваться до уменьшения напряжения на конденсаторе до минимальной величины $U_{C \min}$. Этому значению напряжения соответствует энергия

$$W_1 = \frac{CU_{C \min}^2}{2}.$$

За время паузы в электропитании длительностью Δt нагрузка мощностью P питается за счет энергии, отдаваемой конденсатором $W = W_1 - W_2$. Считая в идеализированном случае КПД ИВЭП равным 100 %, получим:

$$W_1 - W_2 = \Delta t \cdot P,$$

откуда величина емкости конденсатора, компенсирующая сбой в электропитании

$$C = \frac{2\Delta t \cdot P}{U_C^2 - U_{C \min}^2}.$$

С помощью этой меры технически целесообразно компенсировать сбои в электропитании длительностью до одного периода напряжения сети.

Так как запасаемая конденсатором энергия пропорциональна квадрату напряжения, то на низком напряжении конденсатор от сбоев питания практически не спасает.

2. Использование двухмашинного (двигатель-генератор) агрегата.

В таком агрегате электрический двигатель и электрический генератор имеют общий вал, а для компенсации сбоев питания используется кинетическая энергия вращающихся частей двигателя и генератора. Инерционность вращающихся масс позволяет питать нагрузку несколько секунд. Для увеличения кинетической энергии на общем валу может дополнительно устанавливаться маховик.

С помощью двухмашинного агрегата, кроме того, производится гальваническая развязка от питающей сети, а наличие обратной связи позволяет стабилизировать выходное напряжение.

3. Использование резервных источников-аккумуляторов.

Обычно с помощью аккумуляторов обеспечивается поддержание функционирования аппаратуры или оборудования до 10—50 минут. Нарращиванием емкости аккумуляторов это время

можно увеличить, но это технически не целесообразно.

Крупнейшая в мире система накопления электроэнергии на базе аккумуляторной батареи введена в действие в 2003 г. в Северной Америке на Аляске (город Фэрбенкс). Эта система, включающая 13 760 никель-кадмиевых элементов, способна питать в случае аварии энергосистему мощностью в 40 МВт в течение 6—7 минут или в 27 МВт в течение 15 минут. Размеры этой аккумуляторной батареи превышают площадь футбольного поля.

Аккумуляторы — это химические источники тока, вырабатывающие электроэнергию на постоянном токе. Поэтому для питания нагрузок переменного тока необходимо использовать инверторы, трансформаторы и т.д. Подробно вопросы использования аккумуляторов рассмотрены ниже в соответствующих подразделах.

4. Использование резервных автономных источников на базе двигателей внутреннего сгорания и синхронных генераторов переменного тока.

В качестве двигателей чаще всего используются дизельные, поэтому такие автономные источники обычно называются дизель-генераторами.

Время работы дизель-генераторов в пределах определенного ресурса ограничивается лишь запасом топлива.

Двигатели внутреннего сгорания развивают расчетную мощность только после прогрева, на который уходит порядка минуты и более. На время же пуска и прогрева двигателей обычно питание нагрузки осуществляется от аккумуляторов. Поясняющая это структура соединения элементов показана на рис. 2.1, а.

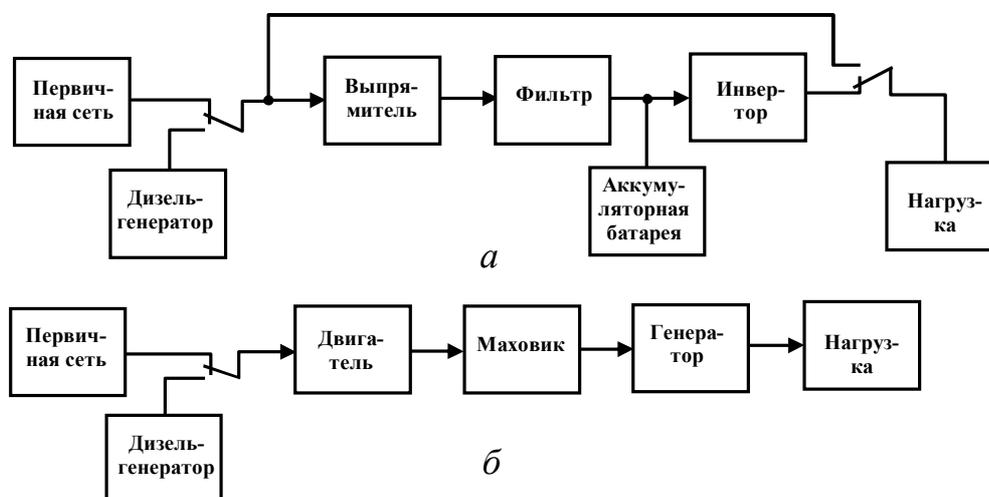


Рис. 2.1

На рис. 2.1, б показана структура, в которой во время запуска дизель-генератора питание нагрузки осуществляется за счет кинетической энергии вращающегося маховика.

Если в системе электропитания используются только ИВЭП с бестрансформаторным входом, то аккумуляторную батарею целесообразно подключать по схеме на рис. 2.2, что позволяет исключить из структуры такое достаточно сложное и дорогое устройство, как инвертор.

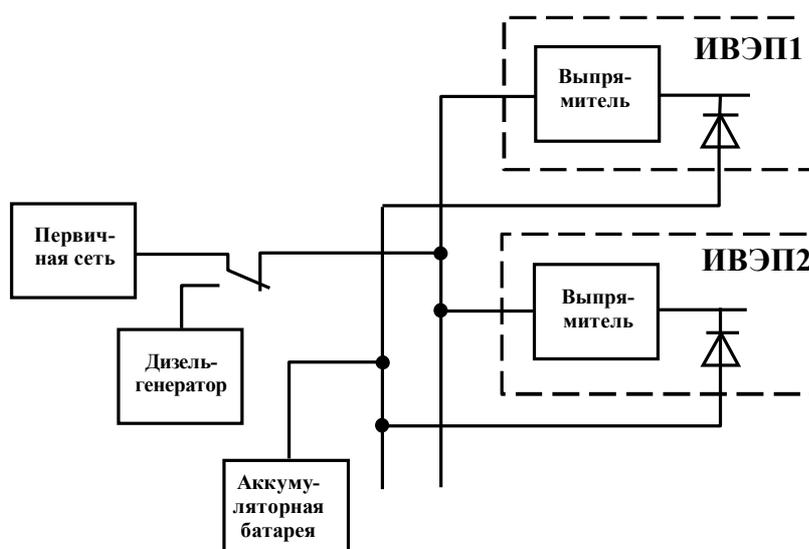


Рис. 2.2

Дизель-генераторы используются в системах электроснабжения достаточно мощных ответственных потребителей, например: операционные в больницах, телефонные станции, радио- и телепередатчики, диспетчерские в аэропортах и т.д. Помимо резервной электростанции, они могут подключаться не к одной, а к двум первичным сетям. Поясним это простейшим примером из электроснабжения.

На рис. 2.3 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.

Внутри кольцевой районной сети имеются понижающие подстанции, обслуживающие большой промышленный район.

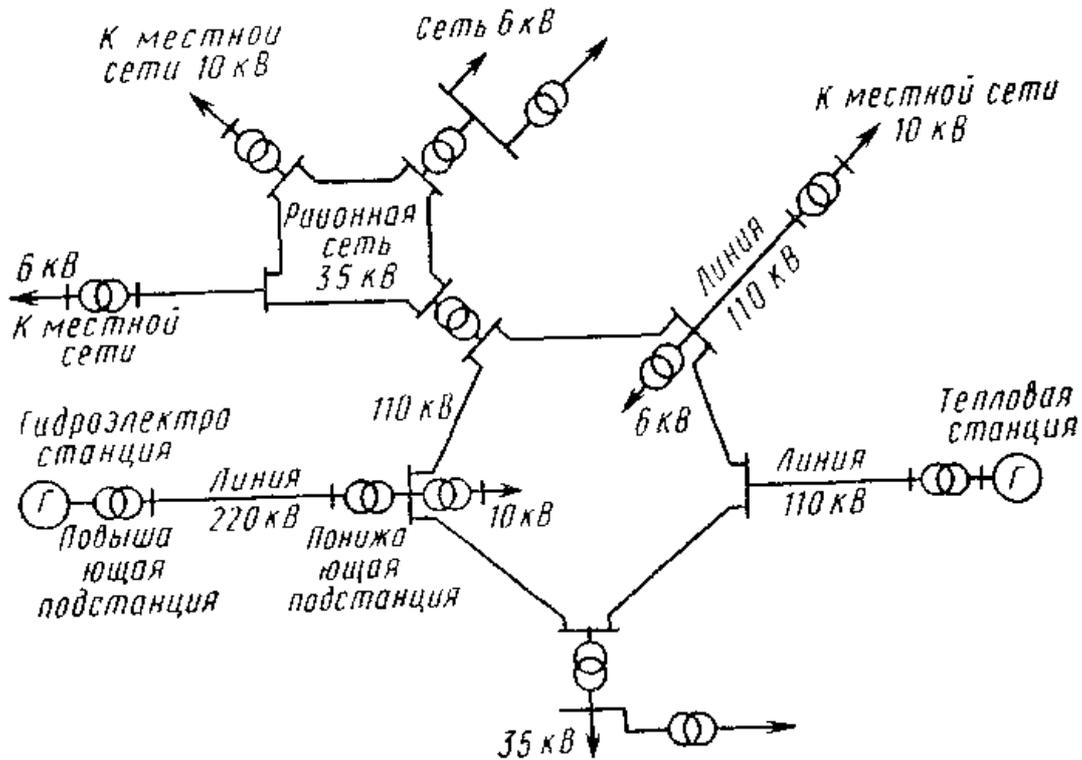


Рис. 2.3

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. Упомянутые здесь распределительные сети различных районных сетей 35 кВ и являются первой и второй первичными сетями при используемой выше терминологии. Условно первая первичная сеть является основной и от нее постоянно питается потребитель. При повреждении этой сети обеспечивается переключение на вторую сеть. Устройства, обеспечивающие подключение потребителя к исправной сети, получили название устройств автоматического включения резерва (АВР).

Схема устройства электромеханического АВР показана на рис. 2.4.

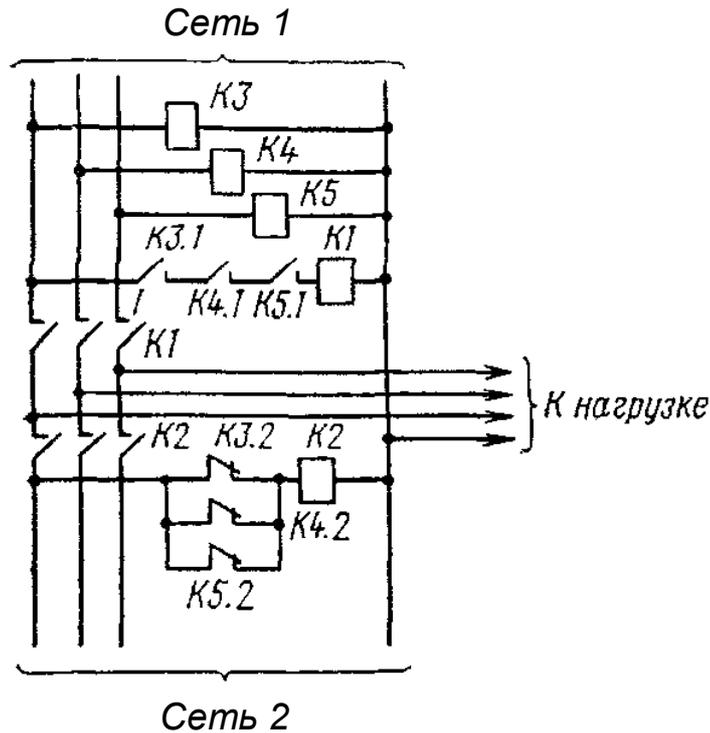


Рис. 2.4

В нормальных условиях нагрузка питается от *Сети 1* через замкнутые контакты контактора *K1*. Обмотка контактора *K2* при этом обесточена. При отключении любой из фаз *Сети 1* отпускает соответствующее реле контроля напряжения (*K3—K5*) и его нормально разомкнутые контакты отключают обмотку контактора *K1*, а его нормально замкнутые контакты (*K3.2—K5.2*) подают питание на обмотку контактора *K2* и его контакты подключают нагрузку к *Сети 2*. Суммарное время переключения нагрузки составляет 0,4—0,8 с.

2.2 Аккумуляторы и их характеристики

Аккумуляторами называются химические источники тока многократного действия. Они состоят из двух электродов (положительного и отрицательного), электролита и корпуса. При разрядке аккумулятора химическая энергия активных веществ, входящих в состав электродов и электролита, преобразуется в электрическую энергию, при этом активные вещества превращаются в продукты разряда. При заряде аккумулятора подводимая электрическая энергия расходуется на регенерацию продуктов разряда.

В зависимости от состава электролита аккумуляторы бывают кислотными и щелочными. Из кислотных выпускается единственный — свинцовый (по материалу электродов). Из щелочных можно отметить никель-железные, никель-кадмиевые, серебряно-цинковые, никель-цинковые, серебряно-кадмиевые аккумуляторы и др.

Напряжение одного аккумулятора (или элемента) составляет для кислотного — порядка 2 В, для щелочных — порядка 1 В. Для получения достаточно больших напряжений элементы соединяют между собой последовательно в батарее. Существует ряд общепринятых напряжений для аккумуляторных батарей: 2; 4; 6; 12; 24 В.

По конструктивному исполнению аккумуляторы подразделяются на дисковые (самые маломощные), цилиндрические и прямоугольные (относительно большой емкости).

Различают три режима эксплуатации аккумуляторов (каждый тип аккумуляторов ориентирован на конкретный режим): переключения, буферный и аварийный. В режиме переключения аккумуляторная батарея разряжается и заряжается поочередно. Такой режим характерен, например, для тяговых батарей электрокаров и электромобилей. В буферном режиме аккумуляторная батарея подключается параллельно другому источнику электроэнергии, при возрастании нагрузки батарея частично разряжается, при снижении нагрузки — вновь подзаряжается. В аварийном (резервном) режиме батарея постоянно поддерживается в состоянии готовности к работе (т.е. полностью заряжена), но подключается к цепи только в аварийной ситуации при отказе основного источника. Последний из названных режимов как раз и характерен для устройств, повышающих надежность электроснабжения ответственных потребителей.

Основными эксплуатационными параметрами аккумуляторов являются напряжение и емкость. Следует различать напряжение электрохимической системы, напряжение разомкнутой цепи, зарядное, разрядное и номинальное напряжения.

Напряжение электрохимической системы характеризует не столько реальный химический источник, сколько именно электрохимическую систему, лежащую в его основе. Это напряжение является величиной теоретической, равной разности стандартных

потенциалов электродных реакций, протекающих при разряде.

Напряжение разомкнутой цепи представляет собой разность бестоковых электродных потенциалов источника тока, измеренную при разомкнутой внешней цепи.

Разрядное напряжение (или напряжение источника тока) относится к характеристикам, наиболее важным для потребителей. Различается начальное напряжение, конечное и среднее за цикл разряда. В каждом случае имеется в виду напряжение при разряде определенным режимом, т.е. при определенных параметрах токовой нагрузки и окружающей температуры. Текущее значение разрядного напряжения можно получить из графиков, которые называются разрядными характеристиками.

Номинальное напряжение — условная округленная величина напряжения, близкая к начальному разрядному. Оно обычно указано на торговой этикетке и служит доступной потребителю характеристикой.

Зарядное напряжение характеризует напряжение между электродами (напряжение на выходе зарядного устройства) и задается в виде графиков (зарядных характеристик). По величине этого напряжения можно судить о степени заряженности аккумулятора.

Напряжение аккумулятора при прочих неизменных условиях зависит от величины разрядного тока. График этой зависимости называется вольт-амперной характеристикой. Типовая вольт-амперная характеристика представлена на рис. 2.5.

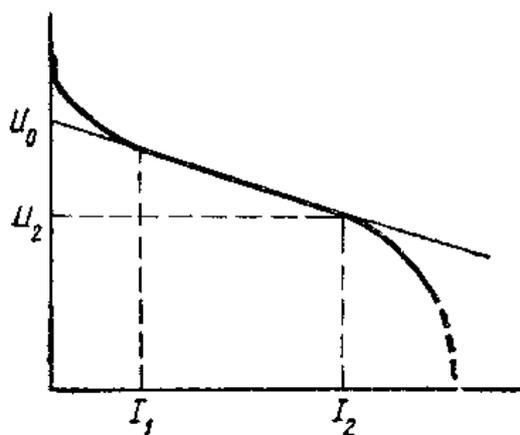


Рис. 2.5

Токи I_1 и I_2 на этой характеристике являются границами линейного участка. Экстраполяция прямолинейного участка кривой на ось ординат дает величину напряжения U_0 . Из вольт-амперной характеристики можно определить внутреннее сопротивление аккумулятора:

$$R_{\text{вн}} = \frac{U_0 - U_2}{I_2}.$$

Разрядной емкостью C называют количество электричества, которое источник тока отдает при заданном режиме разряда до достижения заданного конечного напряжения. Единицей измерения емкости аккумуляторов является ампер-час.

Существует понятие номинальной емкости $C_{\text{ном}}$, отнесенной к строго регламентированным условиям. Параметрами этих условий являются ток разряда, конечное напряжение и температура окружающей среды. Номинальная емкость гарантируется заводом-изготовителем и обычно входит в условное обозначение аккумулятора или батареи. Фактическая емкость должна быть несколько выше номинальной. Это запас, компенсирующий технологический разброс емкости образцов в партии.

Реальная емкость аккумулятора зависит от следующих факторов: параметров разрядного тока (непрерывный или прерывистый разряд, значение тока и его стабильность), температуры, продолжительности хранения до разряда и т.д.

Для расчетов применения аккумуляторов используется такой параметр, как скорость разряда, который оценивается временем отдачи номинальной емкости. Например, 20-часовой режим разряда означает, что ток разряда численно равен $1/20$ номинальной емкости аккумулятора, или $I_{20} = 0,05C_{\text{ном}}$ (в амперах).

Принято различать следующие режимы разряда: длительный при $I < 0,1C_{\text{ном}}$; средний при $0,1C_{\text{ном}} \leq I \leq 1C_{\text{ном}}$ и короткий при $I \geq 1C_{\text{ном}}$. Иногда выделяют сверхкороткий, или форсированный разряд при $I \geq 3C_{\text{ном}}$.

Емкость C_3 , сообщенная аккумулятору при заряде, всегда больше разрядной емкости C . Различие связано с протеканием при заряде побочных электродных реакций, на которые тратится часть

количества электричества. Эффективность зарядно-разрядного цикла оценивается коэффициентом отдачи по емкости k_C (%):

$$k_C = \frac{C}{C_3} \cdot 100.$$

Эксплуатационные свойства аккумуляторов во многом зависят от того, являются ли они открытыми, закрытыми или герметичными. Открытый аккумулятор, у которого электролит непосредственно контактирует с окружающим воздухом, при заряде выделяет в атмосферу брызги кислоты или щелочи, нуждается в частой корректировке плотности электролита. Все это создает неудобства при его эксплуатации. Закрытый аккумулятор имеет несъемную крышку с пробкой, возможность испарения или выделения брызг электролита в этом случае ограничена. Такие аккумуляторы транспортабельны и относительно удобны в эксплуатации. Герметичный аккумулятор не выделяет токсичных или коррозионно-активных веществ, допускает при разряде любые положения и не нуждается в контроле электролита. Аккумуляторы этого типа при эксплуатации наиболее совершенны. Особенности эксплуатации аккумуляторов связаны с необходимостью их периодического заряда, что требует специального оборудования и характеризуется различной степенью трудоемкости.

Различают следующие основные способы заряда аккумулятора или аккумуляторной батареи: заряд постоянным (т.е. неизменным) током, заряд при постоянном (неизменном) напряжении, комбинированные режимы заряда.

Заряд постоянным (стабилизированным) током сопровождается постепенным повышением напряжения за счет роста поляризационного сопротивления. В результате на определенной стадии заряда на электродах начинают протекать побочные реакции образования кислорода и водорода, сопровождающиеся повышением температуры электролита. При этом эффективность процесса заряда падает. Такие преимущества способа, как простота технического обеспечения и легкость контроля зарядной емкости по величине напряжения, не всегда компенсируют его недостатки (невысокий коэффициент использования электроэнергии, опасность перегрева электролита, пониженная разрядная

емкость). Эти недостатки можно снизить уменьшением зарядного тока, что, однако, увеличивает продолжительность заряда.

Заряд при постоянном напряжении позволяет на начальном этапе резко интенсифицировать процесс, поскольку зарядный ток сначала весьма велик. Стремятся выбрать такое напряжение, при котором можно было бы исключить протекание побочных реакций и тем самым избежать газовыделение. При этом достигается значительный рост отдачи по емкости. К концу заряда ток многократно снижается. Такой способ не лишен и недостатков: продолжительность заряда при $U = \text{const}$ заметно выше, чем при $I = \text{const}$; значение оптимального напряжения заряда изменяется под влиянием температуры и наработки в циклах.

Предложен ряд комбинированных режимов ускоренного заряда: ступенчатые, импульсные и др.

Простейший среди названных режимов — *ступенчатый заряд*. Он позволяет отчасти объединить преимущества двух первых способов, обеспечивая достаточную полноту зарядного процесса за относительно небольшой отрезок времени при высокой отдаче по емкости. Сначала заряд ведут при $U = \text{const}$ (примерно до сообщения половины емкости), а затем — при $I = \text{const}$.

Высокую скорость заряда в некоторых случаях обеспечивают *импульсные режимы*. В их основе лежит заряд повышенным током с одновременным или чередующимся наложением импульсного тока обратной полярности для снятия диффузионных ограничений электрохимических реакций.

Наиболее массово применяется простейший способ, т.е. при $I = \text{const}$. При этом величина зарядного тока принимается как одна десятая часть (в амперах) от номинальной емкости (в ампер-часах): $I = 0,1C_{\text{ном}}$.

Зарядные характеристики наиболее распространенных типов аккумуляторов приведены на рис. 2.6 и рис. 2.7.

Контроль окончания заряда осуществляется чаще всего по величине напряжения. Кроме того, используется измерение количества электричества, измерение температуры или давления (для герметичного исполнения).

Семейства разрядных характеристик для различных значений разрядного тока приведены на рис. 2.8—2.10.

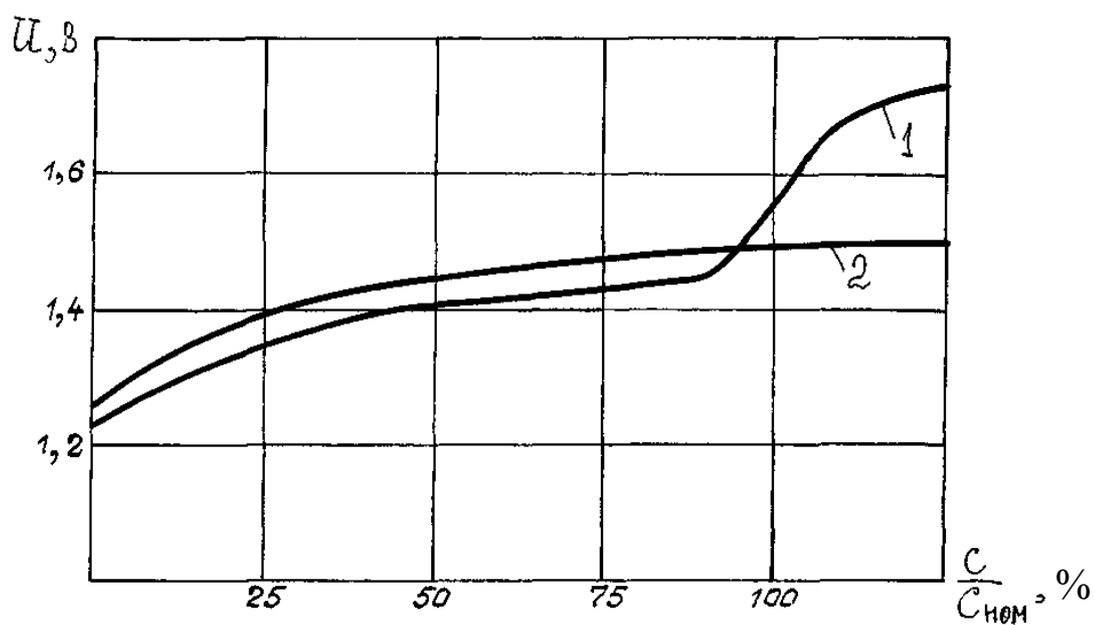


Рис. 2.6 — Зарядные характеристики негерметичного (1) и герметичного (2) никель-кадмиевого аккумуляторов

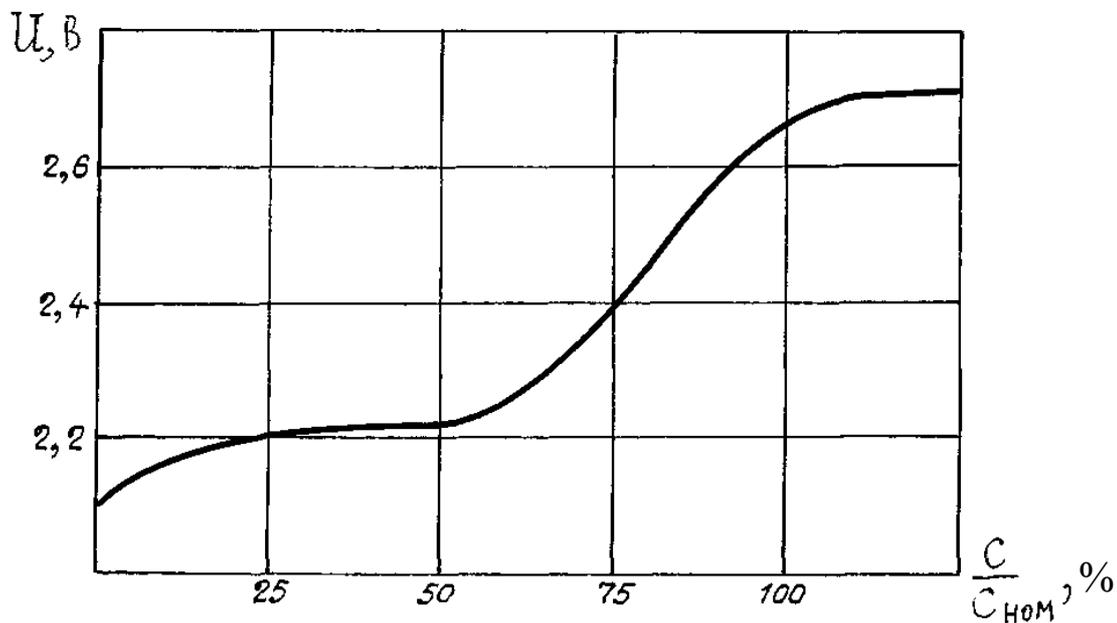


Рис. 2.7 — Зарядная характеристика свинцового аккумулятора

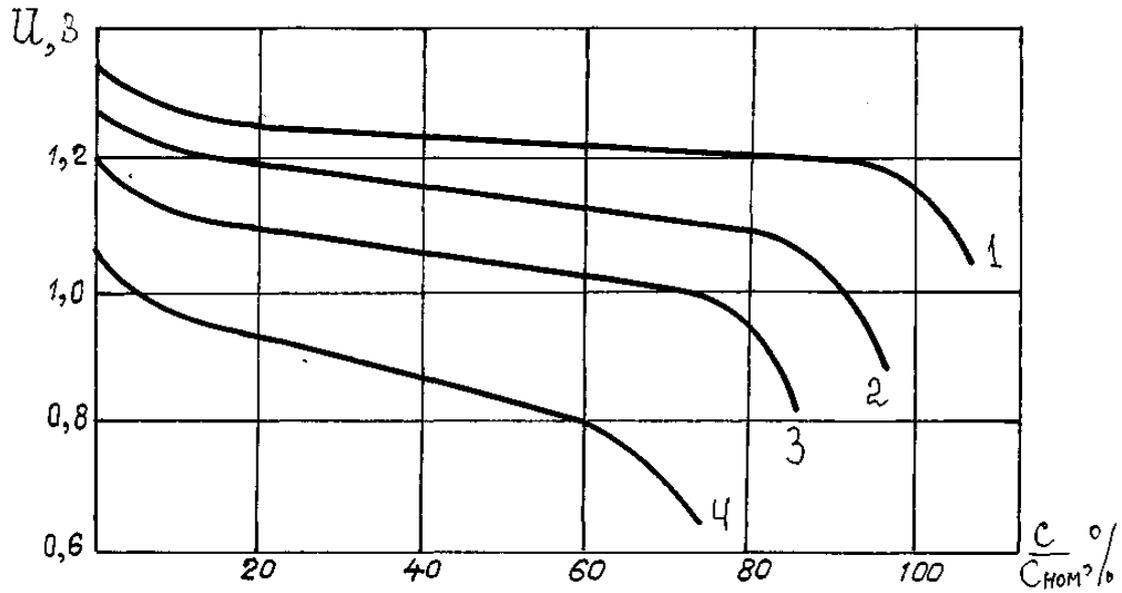


Рис. 2.8 — Разрядные характеристики негерметичного никель-кадмиевого аккумулятора при токах:
 1 — $0,1C_{НОМ}$; 2 — $0,5C_{НОМ}$; 3 — $1C_{НОМ}$; 4 — $2C_{НОМ}$

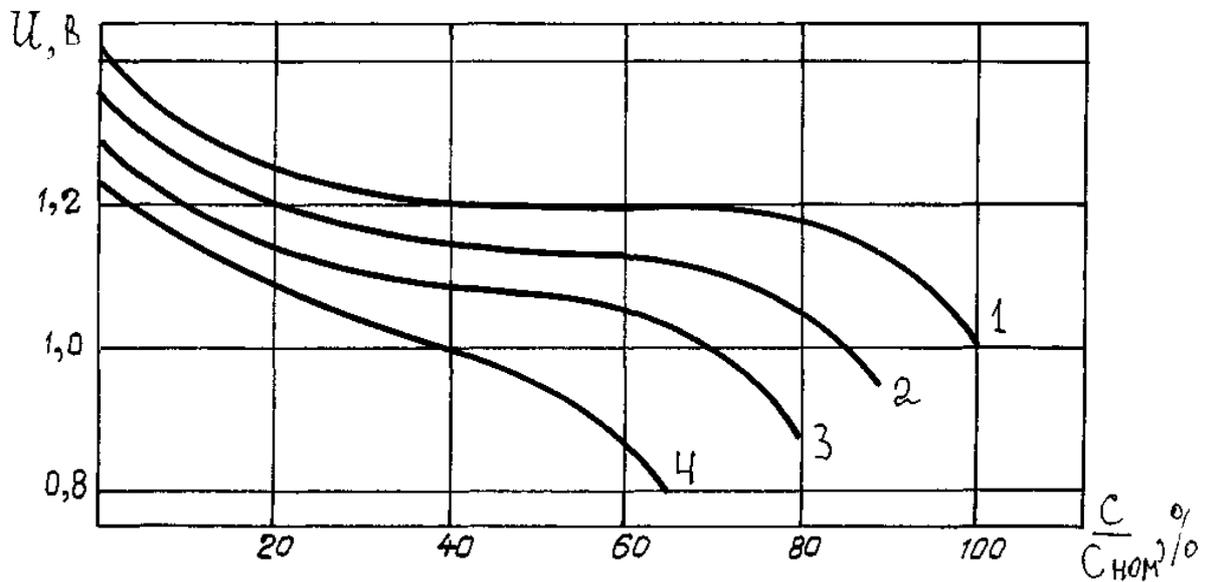


Рис. 2.9 — Разрядные характеристики герметичного никель-кадмиевого аккумулятора при токах:
 1 — $0,1C_{НОМ}$; 2 — $2C_{НОМ}$; 3 — $3C_{НОМ}$; 4 — $5C_{НОМ}$

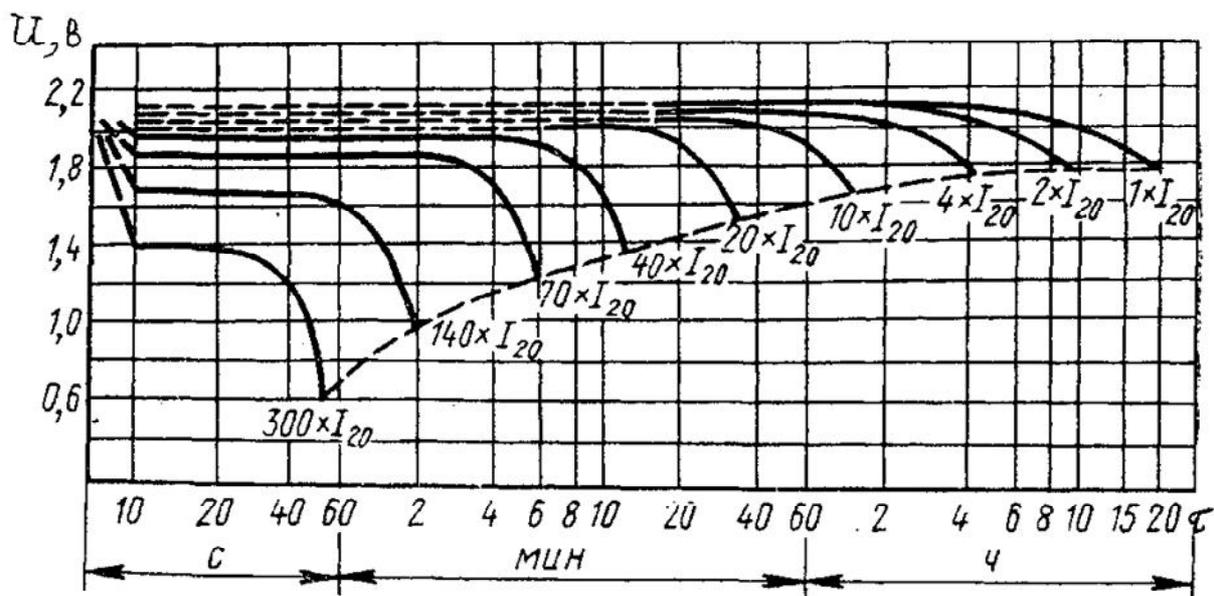


Рис. 2.10 — Разрядные характеристики герметичного свинцового аккумулятора ($I_{20} = 0,05C_{\text{ном}}$)

Аккумуляторы можно разряжать лишь до некоторого конечного значения напряжения U_k . При большем разряде в структуре аккумулятора произойдут необратимые изменения (разрушатся электроды) и он выйдет из строя. Например, на рис. 2.10 граница допустимого разрядного напряжения проведена штриховой кривой. На рис. 2.8 и 2.9 границей допустимого напряжения следует считать точки перегиба разрядных характеристик правее относительно линейных участков (когда начинается крутое падение разрядных кривых).

Разрядные характеристики свинцового и никель-кадмиевых аккумуляторов построены в несколько разных базисах. Но их легко взаимно пересчитать. Например, разрядная характеристика на рис. 2.10, соответствующая току $I = 4 \times I_{20}$. В долях от номинальной емкости это будет:

$$I = 4 \cdot 0,05C_{\text{ном}} = 0,2C_{\text{ном}}.$$

Этим током можно разряжать аккумулятор 4 часа. Определим, сколько электричества в процентах от номинальной емкости может отдать при этом аккумулятор:

$$\frac{4 \text{ часа} \times 4 I_{20}}{C_{\text{ном}}} \cdot 100\% = \frac{4 \cdot 4 \cdot 0,05C_{\text{ном}}}{C_{\text{ном}}} \cdot 100\% = 80\%.$$

В процессе эксплуатации электрические характеристики ак-

кумуляторов ухудшаются: падает среднее напряжение, уменьшается емкость, снижаются удельные характеристики и коэффициенты отдачи. Работоспособность источника тока, снижающаяся в период эксплуатации под влиянием необратимых процессов, оценивается сроком службы. В общем случае *сроком службы изделия* называют календарную продолжительность от начала эксплуатации до перехода в предельное состояние, т.е. в состояние непригодности к дальнейшему использованию. Сроку службы предшествует *срок сохраняемости*, т.е. период хранения до ввода в эксплуатацию.

Влияние фактора времени на характеристики аккумуляторов в период хранения существенно зависит от того, имеется ли прямой контакт электролита с электродами или нет. В первом случае характеристики ухудшаются значительно быстрее, чем во втором. Таким образом, последствия хранения источника тока в рабочем состоянии (залитым электролитом) могут оказаться соизмеримыми с последствиями эксплуатации. Поэтому срок службы источника тока целесообразно определять суммарной продолжительностью хранения в рабочем состоянии и эксплуатации.

Срок службы аккумуляторов выражается интервалом времени, в течение которого источник тока сохраняет характеристики, установленные нормативно-технической документацией (стандартом или техническими условиями).

Контрольным показателем исчерпания срока службы аккумулятора или аккумуляторной батареи обычно является емкость при разряде током номинального режима. Если, например, стандартом установлено, что емкость в пределах срока службы должна быть не менее $0,8C_{\text{ном}}$, то при $C < 0,8C_{\text{ном}}$ источник тока считается непригодным к эксплуатации.

Первая и основная причина, сокращающая срок службы аккумулятора, — протекание необратимых процессов, приводящих к искажению оптимальной структуры активных масс и т.п. Все эти процессы наблюдаются главным образом при циклировании, все они так или иначе сокращают рабочую поверхность электродов и снижают коэффициенты использования активных веществ. В результате непосредственной причиной исчерпания срока службы становится невозможность зарядить аккумулятор до требуемой емкости. При этом сообщаемая зарядная емкость затра-

чивается преимущественно на побочные электродные процессы, чаще всего — выделение водорода и кислорода.

Вторая причина, ограничивающая срок службы аккумулятора, — коррозионное и эрозионное разрушения электродов и других элементов конструкции под действием электролита, а также механических и тепловых нагрузок.

Третья причина — нарушение правил эксплуатации аккумуляторов.

Работоспособность аккумуляторов в период эксплуатации оценивают также величиной технического ресурса в циклах, т.е. числом зарядно-разрядных циклов, которое должен выдерживать аккумулятор (батарея) при эксплуатации или испытаниях, пока емкость не снизится до определенной доли от номинальной величины. Минимально допустимая емкость, ограничивающая технический ресурс конкретного источника тока, совпадает с емкостью, которая определяет его срок службы.

Для стабильного зарядно-разрядного режима ресурс в циклах может быть определен в реальных условиях эксплуатации. Однако более воспроизводимые результаты получаются в условиях стендовых испытаний, при которых режим заряда и разряда поддается строгому контролю.

Диапазон технического ресурса чрезвычайно широк — от пяти до тысяч циклов в зависимости от системы и конструкции аккумулятора, а также режима циклирования. Большую роль играет глубина разряда: при неполном разряде ресурс в циклах заметно увеличивается. Причины сокращения ресурса аккумулятора в циклах те же, что и лимитирующие срок его службы.

Одной из особенностей аккумуляторов является саморазряд — потеря емкости с течением времени при разомкнутой внешней цепи. Для компенсации саморазряда возможно даже хранение аккумуляторов в условиях непрерывного подзаряда.

В целом свойства аккумуляторов зависят как от электрохимической системы, так и от конструкции электродов. Учитывая это, многие производители выпускают в настоящее время отдельные группы аккумуляторов с одним профилирующим параметром: с повышенной удельной емкостью; с малым разрядным током; быстрозарядные; нормально работающие при повышенной или пониженной температуре, с увеличенным сроком служ-

бы и т.д., что позволяет выбирать тип аккумулятора для частных, но важных для пользователя условий работы.

Аккумуляторные батареи являются наиболее дорогостоящими компонентами источников бесперебойного питания (ИБП), предназначенных главным образом для питания компьютерной техники. К сожалению, эти наиболее дорогостоящие компоненты так долго, как собственно ИБП, работать не могут, и их в процессе эксплуатации ИБП приходится заменять.

Существует несколько градаций качества батарей, которые различаются сроком службы и, естественно, ценой. В соответствии с конвенцией EUROBAT по среднему сроку службы батареи разделены на четыре группы:

- 10+ — высоконадежные,
- 10 — высокоэффективные,
- 5—8 — общего назначения,
- 3—5 — стандартные коммерческие.

Учитывая исключительно жесткую конкуренцию на рынке ИБП малой мощности, производители стремятся снизить до минимума начальную стоимость своих моделей, поэтому часто комплектуют их самыми простыми батареями. Применительно к этой группе продуктов такой подход оправдан, поскольку упрощенные ИБП изымают из обращения вместе с защищаемыми ими персональными компьютерами. Впервые вступающие на этот рынок производители, пытаясь оттеснить конкурентов, часто используют в своих интересах неосведомленность покупателей о проблеме качества батарей и предлагают им сравнимые по остальным показателям модели за более низкую цену. Имеются случаи, когда партнеры крупной фирмы комплектуют ее проверенные временем и признанные рынком модели ИБП батареями, произведенными в развивающихся странах, где контроль за технологическим процессом ослаблен, а, значит, срок службы батарей меньше по сравнению с «кондиционными» изделиями. Поэтому, подбирая для себя ИБП, обязательно поинтересуйтесь качеством батареи и ее производителем, избегайте продукции неизвестных фирм. Следование этим рекомендациям сэкономит вам значительные средства при эксплуатации ИБП.

Все сказанное еще в большей степени относится к ИБП высокой мощности. Срок службы таких систем исчисляется многи-

ми годами. И все же за это время приходится несколько раз заменять батареи. Как это ни покажется странным, но расчеты, основанные на ценовых и качественных параметрах батарей, показывают, что в долгосрочной перспективе наиболее выгодны именно батареи высшего качества, несмотря на их первоначальную стоимость. Поэтому, имея возможность выбора, устанавливайте батареи только «высшей пробы». Гарантированный срок службы таких батарей приближается к 15 годам.

Не менее важный аспект долговечности мощных систем бесперебойного питания — условия эксплуатации аккумуляторных батарей. Чтобы исключить непредсказуемые, а следовательно, часто приводящие к аварии перерывы в подаче электропитания, все современные модели оснащены самыми совершенными схемами контроля за состоянием батарей. Не мешая выполнению основной функции ИБП, схемы мониторинга, как правило, контролируют следующие параметры батареи:

- зарядный и разрядный токи,
- возможность избыточного заряда,
- рабочую температуру,
- емкость.

Кроме того, с их помощью рассчитываются такие переменные, как реальное время автономной работы, конечное напряжение зарядки в зависимости от реальной температуры внутри батареи и др.

Аккумуляторы новых типов при тех же размерах, что и существующие аккумуляторы, обладают большей емкостью и мощностью. Это прежде всего литий-ионные аккумуляторы, которые впервые применены в мобильных компьютерах фирмы Toshiba, а также сверхтонкие литий-полимерные. Последние могут принимать вид гибких полосок толщиной около 1/8 дюйма и больше похожи на пластилиновые палочки, чем на твердые бруски аккумуляторов, к которым мы уже привыкли. Эти аккумуляторы обладают высокой плотностью энергии, а их пластичность позволяет размещать аккумулятор в корпусе ноутбука, заполняя аккумуляторной лентой свободные ниши и просветы между компонентами.

И, в заключение, о маркировке аккумуляторов и батарей. Единой системы маркировки нет даже в отдельно взятой стране.

Несколько примеров в маркировки аккумуляторных батарей отечественного производства:

6СТ45 — стартерная батарея (для автомобилей), составленная из 6 элементов номинальной емкостью 45 ампер-часов;

12НКГ5 — никель-кадмиевая герметичная батарея, составленная из 12 элементов номинальной емкостью 5 ампер-часов;

6Д0,2 — батарея, составленная из 6 дисковых элементов номинальной емкостью 0,2 ампер-часа.

По этим примерам прослеживается следующая тенденция: при наличии в маркировке цифр первое число соответствует количеству элементов в батарее, а второе — номинальной емкости в ампер-часах.

2.3 Источники бесперебойного питания с выходом на постоянном токе

Термин «источник бесперебойного питания» (ИБП), или «*Uninterruptible Power Supplies*» (UPS), получил в настоящее время наибольшее распространение. Но устройства подобного типа имеют еще и такие наименования, как «система гарантированного электропитания» (СГЭП), «агрегат бесперебойного питания» (АБП) и т.п.

ИБП с выходом на постоянном токе называются иногда «встраиваемые», т.к. они конструктивно располагаются в одном корпусе с ЭА и (или) с системой или источником электропитания.

Возможные структуры построения таких ИБП приведены на рис. 2.11—2.14.

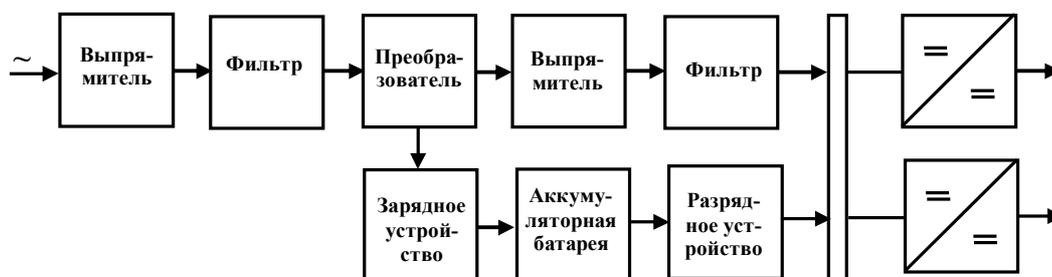


Рис. 2.11

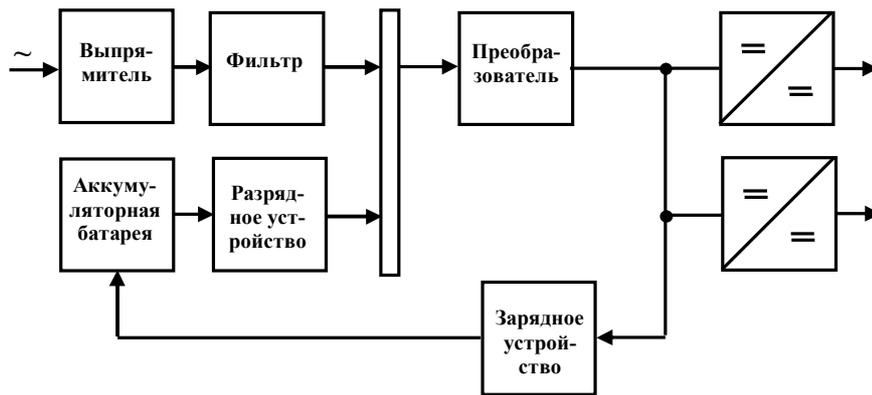


Рис. 2.12

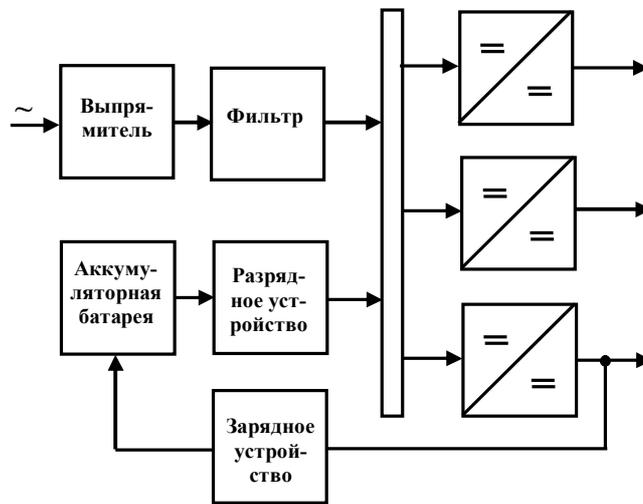


Рис. 2.13



Рис. 2.14

На приведенных рисунках узкие вытянутые вертикальные прямоугольники выделяют так называемую шину непрерываемо-го питания. Питание на эту шину поступает из сети переменного

тока, когда параметры сети находятся в заданных пределах. Кроме того, через зарядное устройство при этом заряжается (если требуется) аккумуляторная батарея. При пропадании напряжения в сети или уходе этого напряжения за рамки допустимых значений питание на шину поступает от аккумуляторной батареи через преобразователь, названный разрядным устройством. Прямоугольники, названные на рис. 2.11 и 2.12 «преобразователь», представляют собой звено повышенной частоты и содержат высокочастотный транзисторный инвертор и высокочастотный трансформатор.

По величине напряжения на шине можно представленные структуры разделить на ИБП с шиной непрерываемого питания на высоком напряжении (рис. 2.12—2.14) и с шиной непрерываемого питания на низком напряжении (рис. 2.11).

Назначение зарядного устройства — согласовать по уровню входное напряжение с необходимым для аккумуляторной батареи зарядным напряжением и обеспечить (стабилизировать) необходимую величину зарядного тока.

Назначение разрядного устройства — согласовать уровни напряжений аккумуляторной батареи и шины непрерываемого питания.

По типу стабилизируемого параметра зарядные устройства являются стабилизаторами тока (реализуется обратная связь по току), а разрядные — стабилизаторами напряжения (реализуется обратная связь по напряжению).

Схемотехнически зарядные и разрядные устройства выполняются либо на базе непосредственных преобразователей постоянного напряжения (понижающая, повышающая или инвертирующая схемы), либо на базе преобразовательных ячеек с промежуточным звеном переменного тока с высокочастотным трансформатором. Непосредственные преобразователи применяются, если согласуемые напряжения отличаются не более чем в два-три раза. Если уровни напряжений отличаются более существенно, то используются преобразовательные ячейки с трансформаторами.

Вспомним схемы и регулировочные характеристики непосредственных повышающего и инвертирующего преобразователей.

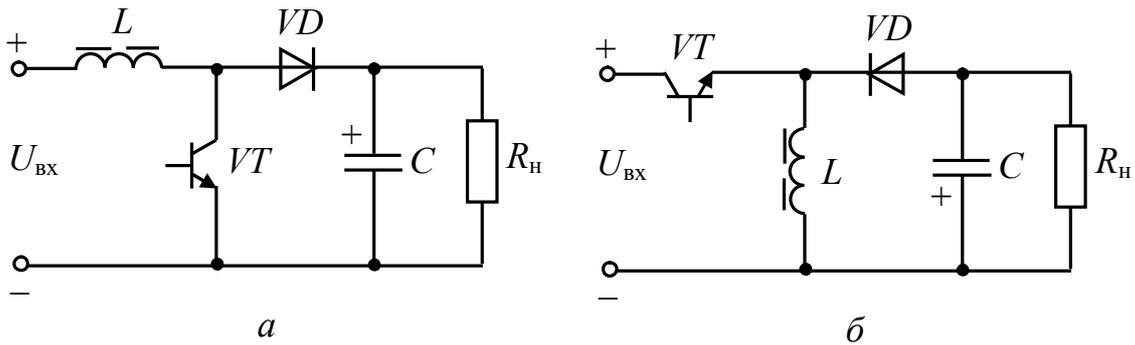


Рис. 2.15 — Схемы непосредственных преобразователей постоянного напряжения:
a — повышающего типа; *б* — инвертирующего типа

Регулировочные характеристики представлены на рис. 2.16 и 2.17 и рассчитаны по формулам:

для повышающей схемы

$$U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВХ}} \frac{(1-\rho)(1-\gamma)}{\rho + (1-\rho)(1-\gamma)^2};$$

для инвертирующей схемы

$$U_{\text{ВЫХ}} = -U_{\text{ВХ}} \frac{\gamma(1-\rho)(1-\gamma)}{\rho + (1-\rho)(1-\gamma)^2},$$

где γ — относительное время включенного состояния транзистора; $\rho = \frac{r}{R_H + r}$; r — активное сопротивление обмотки дросселя.

Батареи аккумуляторов состояются последовательным соединением элементов. При этом следует учитывать, что надежность батареи равна произведению надежностей каждого из элементов. Поэтому большое количество элементов обычно не используют, т.е. применяются батареи на небольшие напряжения (порядка десятков вольт). Вследствие этого, например, в структуре с шиной непрерываемого питания на низком напряжении, показанной на рис. 2.18, целесообразно в качестве зарядного и разрядного устройств использовать непосредственные преобразователи постоянного напряжения.

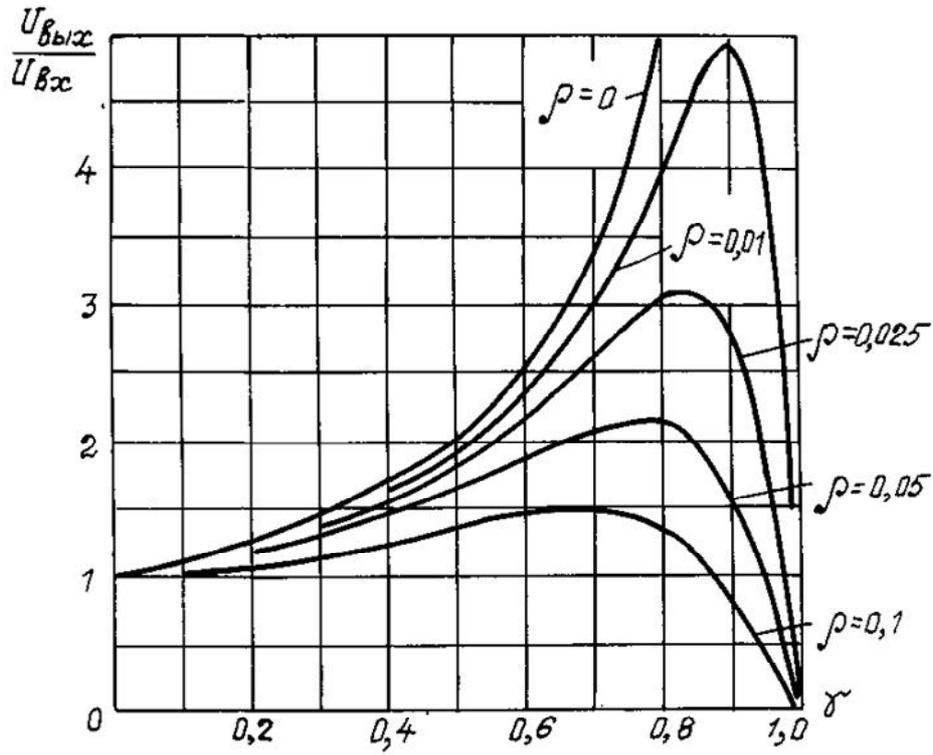


Рис. 2.16 — Регулировочные характеристики повышающего преобразователя

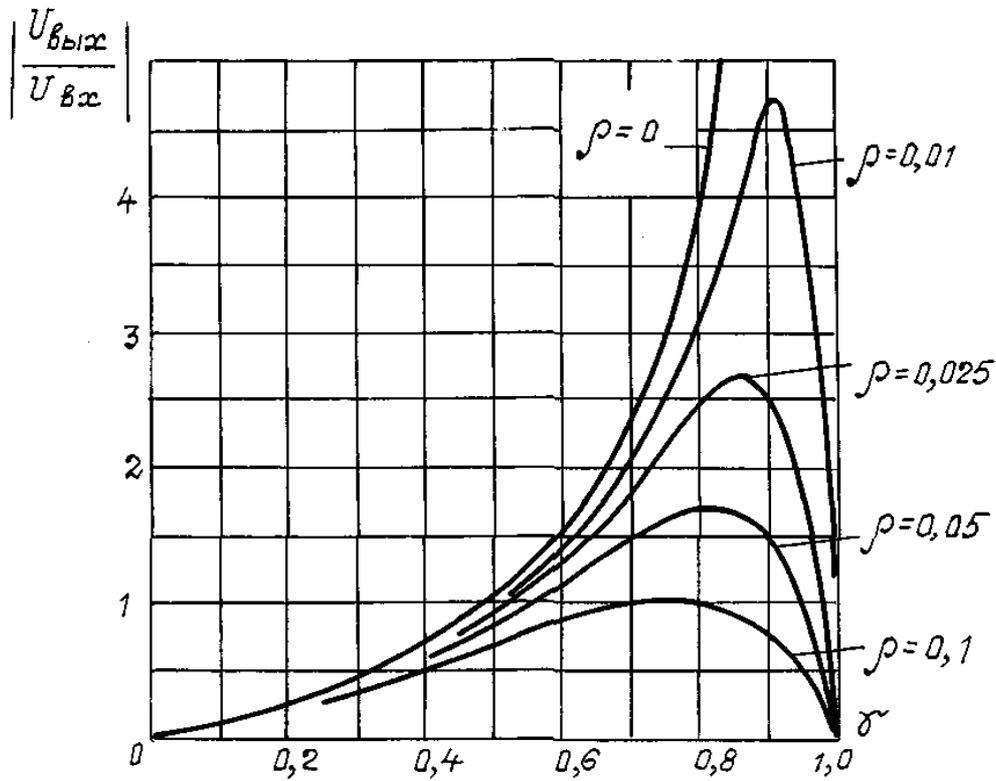


Рис. 2.17 — Регулировочные характеристики инвертирующего преобразователя



Рис. 2.18

Если, например, напряжение батареи в конце заряда меньше принятого напряжения на шине непрерываемого питания, то зарядное устройство должно быть непосредственным преобразователем понижающего типа, а разрядное — повышающего типа. Схема подключения батареи с непосредственными преобразователями к шине непрерываемого питания показана на рис. 2.19.

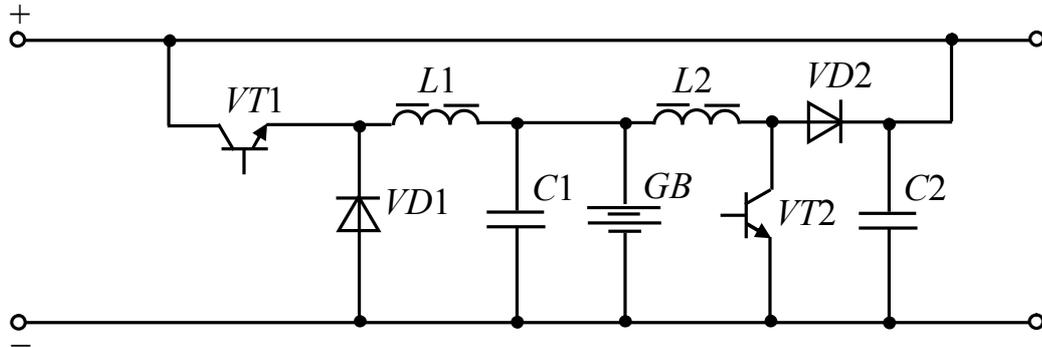


Рис. 2.19

Здесь на транзисторе $VT1$ реализовано зарядное устройство, а на транзисторе $VT2$ — разрядное. Одновременно эти устройства работать не могут, они работают только раздельно. Но тогда появляется возможность вместо двух дросселей использовать один, как показано на рис. 2.20. Остальные элементы остаются на месте и имеют те же позиционные обозначения, что и на исходной схеме.

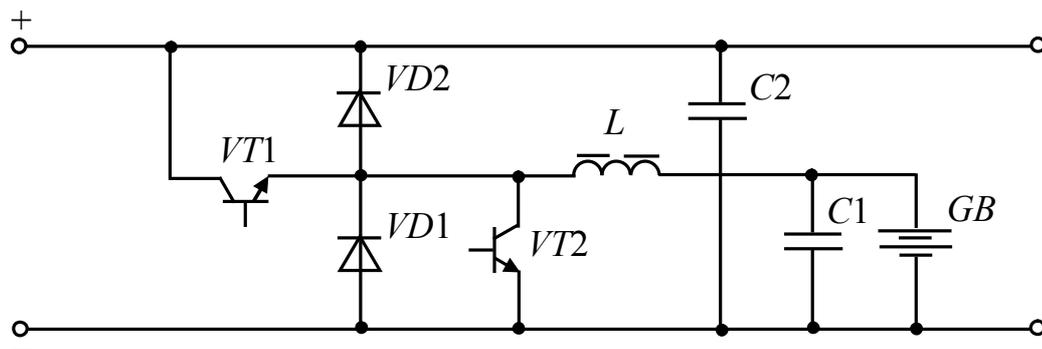


Рис. 2.20

Ниже приводятся соотношения напряжений для зарядных устройств, выполненных на непосредственных преобразователях.

а) Зарядное устройство на понижающем преобразователе. Если зарядное устройство питается стабилизированным напряжением $U_{\text{вх}}$, то оно должно быть больше напряжения на аккумуляторной батарее в конце заряда $U_{\text{АБконечн}}$:

$$U_{\text{вх}} \geq 1,2U_{\text{АБконечн}}.$$

Коэффициент запаса 1,2 необходим для того, чтобы не было режима $\gamma \rightarrow 1$. В противном случае через дроссель будет протекать постоянный (а не пульсирующий) ток и дроссель потеряет токоограничивающие свойства.

При изменении $U_{\text{вх}}$ от $U_{\text{вх min}}$ до $U_{\text{вх max}}$ соотношение будет следующее:

$$U_{\text{вх min}} \geq 1,2U_{\text{АБконечн}}.$$

б) Зарядное устройство на повышающем преобразователе. В начале заряда, когда напряжение на батарее $U_{\text{АБнач}}$ минимально (см. зарядные характеристики), напряжение на входе должно быть меньше этой величины:

$$U_{\text{вх max}} \geq 0,8U_{\text{АБнач}}.$$

Смысл коэффициента запаса 0,8 здесь тот же, что и в предыдущем случае.

Чтобы батарея могла полностью зарядиться, необходимо выполнение условия:

$$U_{\text{вых min}}^* > U_{\text{АБконечн}},$$

где $U_{\text{вых min}}^*$ — значение экстремума кривой на регулировочной характеристике (см. рис. 2.16) при минимальном значении входного напряжения.

С учетом того, что

$$U_{\text{вых}}^* = U_{\text{вх}} \frac{\sqrt{1-\rho}}{2\sqrt{\rho}},$$

последнее неравенство можно записать в следующем виде:

$$U_{\text{вх min}} = U_{\text{АБконечн}} \frac{2\sqrt{\rho}}{\sqrt{1-\rho}}.$$

2.4 Источники бесперебойного питания с выходом на переменном токе

ИБП с выходом на переменном токе предназначены для включения между розеткой сети переменного тока и вилкой шнура ЭА, например компьютера.

Все ИБП можно по топологии построения и своим возможностям разделить на три группы — *Off-line*, *On-line* и *Line-interactive*.

Off-line ИБП

К этому классу относятся простые, экономичные и сравнительно недорогие устройства, наиболее часто используемые в домашних условиях. Основной принцип действия — использование резервного питания в моменты, когда параметры сетевого напряжения перестают удовлетворять требованиям. Структурная схема *Off-line* ИБП представлена на рис. 2.21.



Рис. 2.21

В таких источниках питания напряжение на нагрузку подается через специальный автоматический переключатель прямо от сети до тех пор, пока входное напряжение находится в допустимых пределах, и только при выходе его параметров за пределы допустимого нагрузка подключается к выходу инвертора. Поскольку переключение требует пусть и небольшого, но времени, то важной характеристикой таких ИБП является время переключения в автономный режим. Обычно оно составляет от 3 до 15 мс, что вполне безопасно для большей части техники, но в некоторых случаях (файл-серверы, факс-серверы и пр.) даже оно может ока-

заться недопустимым.

К достоинствам этого типа ИБП можно отнести высокий КПД и невысокую стоимость. Поскольку большую часть времени такой прибор получает питание напрямую от сети, то инвертор не используется и дополнительная энергия расходуется только на подзарядку аккумулятора. Низкая цена — прямое следствие сравнительно простой схемы ИБП.

Однако такой блок бесперебойного питания сложно использовать в местах, где напряжение регулярно и в течение длительного времени оказывается ниже нормы. До тех пор пока оно не опустилось ниже границы включения ИБП, именно такое пониженное напряжение будет выдаваться и на выходе. Казалось бы, при первых же признаках снижения напряжения лучше переходить на резервное питание. Но с другой стороны, такой ИБП — это именно резервный источник, рассчитанный только на то, чтобы дать компьютеру нормально завершить работу, сохранив данные, и не рассчитанный на длительное питание нагрузки.

Наблюдались случаи, когда ИБП отключал питание компьютера из-за того, что его собственный аккумулятор уже разрядился, а напряжение сети было все еще ниже предела переключения ИБП на автономное питание. При этом рядом продолжали работать машины, питаемые напрямую от сети (без ИБП), и их блоки питания прекрасно справлялись с компенсацией потери питающего напряжения. В современных моделях для недопущения такой ситуации присутствует ручной переключатель, позволяющий перевести ИБП в режим простой передачи напряжения (*manual By-Pass*).

Вторым недостатком этого типа ИБП является время переключения в автономный режим при полном пропадании напряжения питания. И, наконец, в силу сравнительно простой схемы (преследующей в первую очередь цель снижения стоимости) и отсутствия таких элементов схемы, как фильтры и стабилизаторы, форма выходного сигнала этого типа обычно далека от синусоиды в автономном режиме и абсолютно повторяет форму входного напряжения при питании от сети. Для большей части компьютерной техники, имеющей импульсные блоки питания, это

вполне безопасно, но в случае иного построения блоков электропитание с такой формой сигнала может оказаться недопустимым и даже привести к выходу аппаратуры из строя.

***On-line* ИБП**

Блоки бесперебойного питания этого типа обеспечивают наиболее серьезную защиту от любого типа нарушений в электропитании. Входное напряжение в таких устройствах сначала выпрямляется и стабилизируется входным каскадом, а затем уже постоянное напряжение питает инвертор, на выходе которого и получается выходное напряжение. В случае если состояние питающей сети начинает выходить за допустимые пределы, к делу подключается батарея, которая берет на себя обеспечение энергией инвертора. Благодаря такому построению ИБП удастся добиться сразу нескольких положительных эффектов. Во-первых, начисто фильтруются сетевые импульсные помехи любого типа (от выбросов до радиочастотных помех). Во-вторых, нагрузка гальванически развязана от входной сети в обе стороны — это гарантия того, что во внешнюю сеть не попадут помехи, создаваемые самой нагрузкой. И в-третьих — время переключения в автономный режим просто отсутствует. Поскольку аккумулятор постоянно подключен к инвертору, то в случае переключения он продолжит генерировать выходное напряжение без скачков и фазовых сдвигов: ведь ему все равно, от чего брать питание — от выпрямителя-стабилизатора или от батареи, а у постоянного тока фазы нет. Последнее особенно важно при питании чувствительных к импульсным помехам устройств.

В силу того, что определяющим свойством для этого класса устройств становится не цена, а качество защиты, выходной сигнал у устройств этой группы обычно имеет форму идеальной синусоиды вне зависимости от режима работы — автономного или сетевого.

Примеры структур ИБП этого класса приведены на рис. 2.22. Здесь же указаны фирмы-изготовители ИБП.

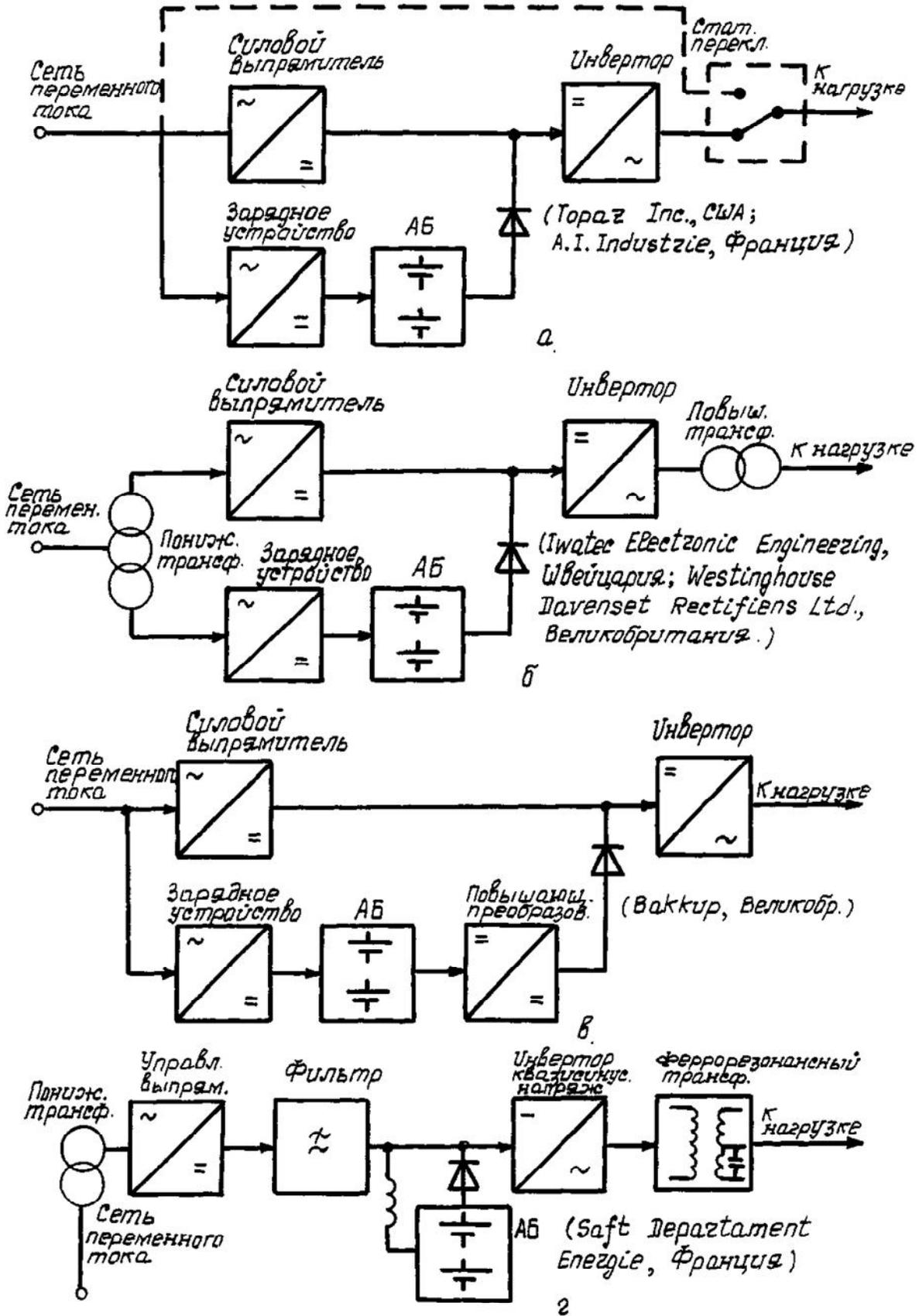


Рис. 2.22

***Line-interactive* ИБП (другое название — гибридные)**

Чтобы скомпенсировать недостатки Off-line ИБП фирмы-производители стали применять различные способы компенсации пониженного напряжения, уменьшения времени переключения в автономный режим и приближения формы напряжения к синусоиде.

Для компенсации пониженного напряжения чаще всего применяется специальный элемент схемы — бустер. Многие производители описывают его, как автотрансформатор с автоматическим регулятором коэффициента трансформации. Благодаря ему момент перевода в автономный режим ощутимо смещается в сторону более низких напряжений. В устройствах отдельных производителей напряжение переключения удалось довести до 150 В (для номинального значения 220 В). При этом выходное напряжение устойчиво остается на уровне 220 В.

Форма выходного напряжения в большинстве устройств, относящихся к классу линейно-интерактивных ИБП, чаще всего имеет форму, более или менее приближенную к синусоидальной. В наиболее продвинутых моделях оно имеет форму ступенчатой синусоиды, в более простых — трапецеидальную.

Благодаря использованию в схеме феррорезонансного трансформатора время переключения такого блока питания в автономный режим практически равно нулю, а благодаря мощным фильтрам на выход таких ИБП почти не проходят наружные помехи практически любого характера, что значительно расширяет круг применения таких устройств.

Главным недостатком этого типа ИБП является то, что их стабилизирующие напряжение узлы могут порождать устойчивые искажения выходного сигнала и непредсказуемые переходные процессы, когда внешнее напряжение находится на границе переключения.

К достоинствам этих устройств можно отнести более широкий, чем у Off-line, диапазон входных напряжений и ставшую уже стандартом возможность получить (пусть даже на короткий срок) рабочее выходное напряжение при полном отсутствии входного, чтобы выполнить срочные работы — сбросить информацию, отправить факс и т.д.

Примеры структур ИБП показаны на рис. 2.23.

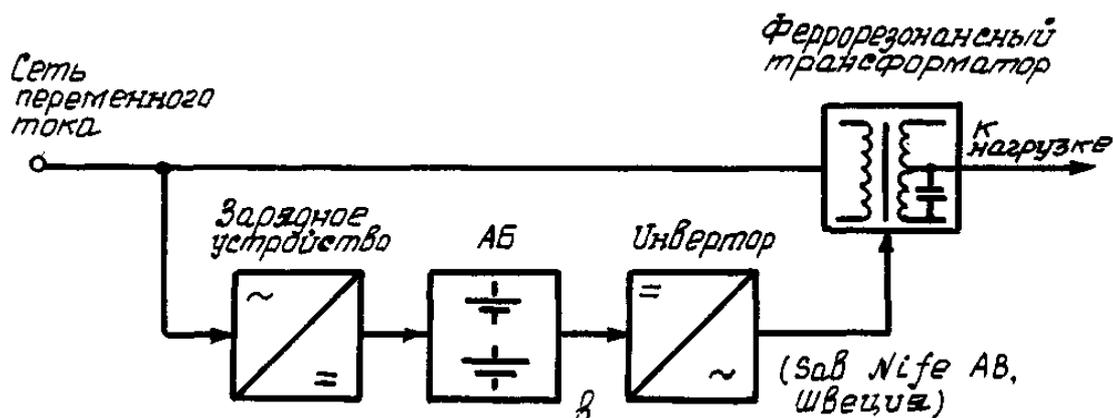
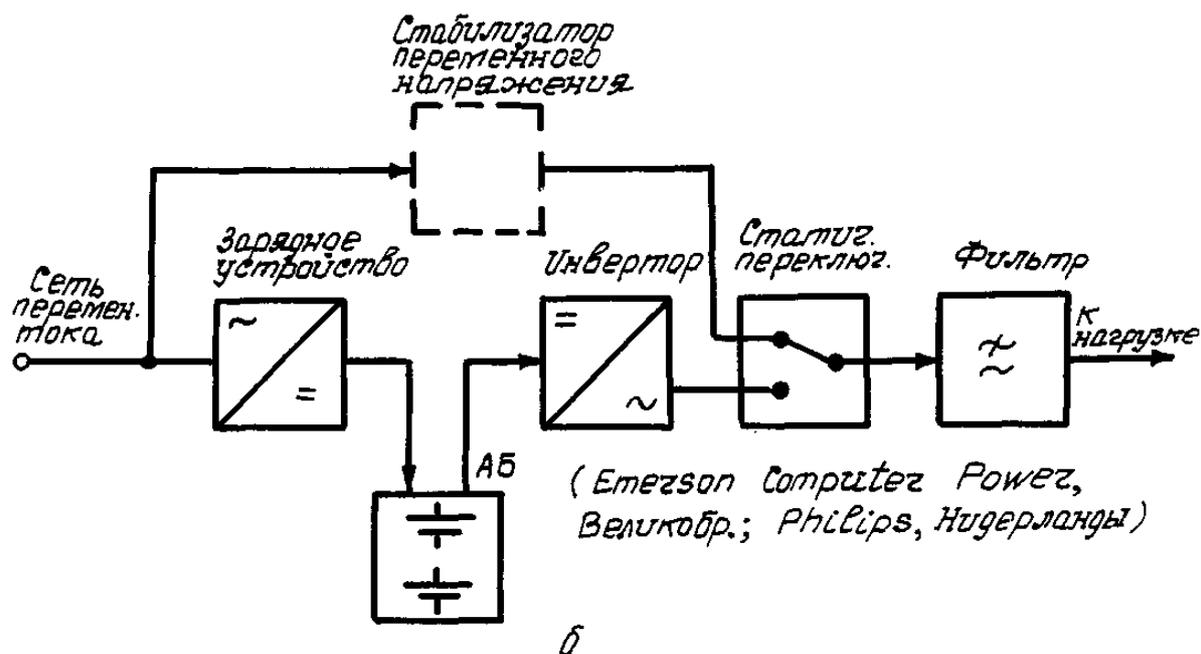


Рис. 2.23

Функциональная схема гибридного ИБП с автотрансформатором приведена на рис. 2.24. Источник имеет три режима работы. В первом режиме, когда входное напряжение находится в норме, переключатель $K1$ замкнут, переключатель $K2$ находится в нижнем положении, на выход и первичную обмотку трансформатора подается напряжение сети. С вторичной обмотки трансформатора $W3$ энергия подается на заряд аккумуляторной батареи через выпрямитель $VD1, VD2, VD4, VD7$ и зарядное устройство (преобразователь постоянного напряжения повышающего типа) на элементах $VT1, VD5, L$.

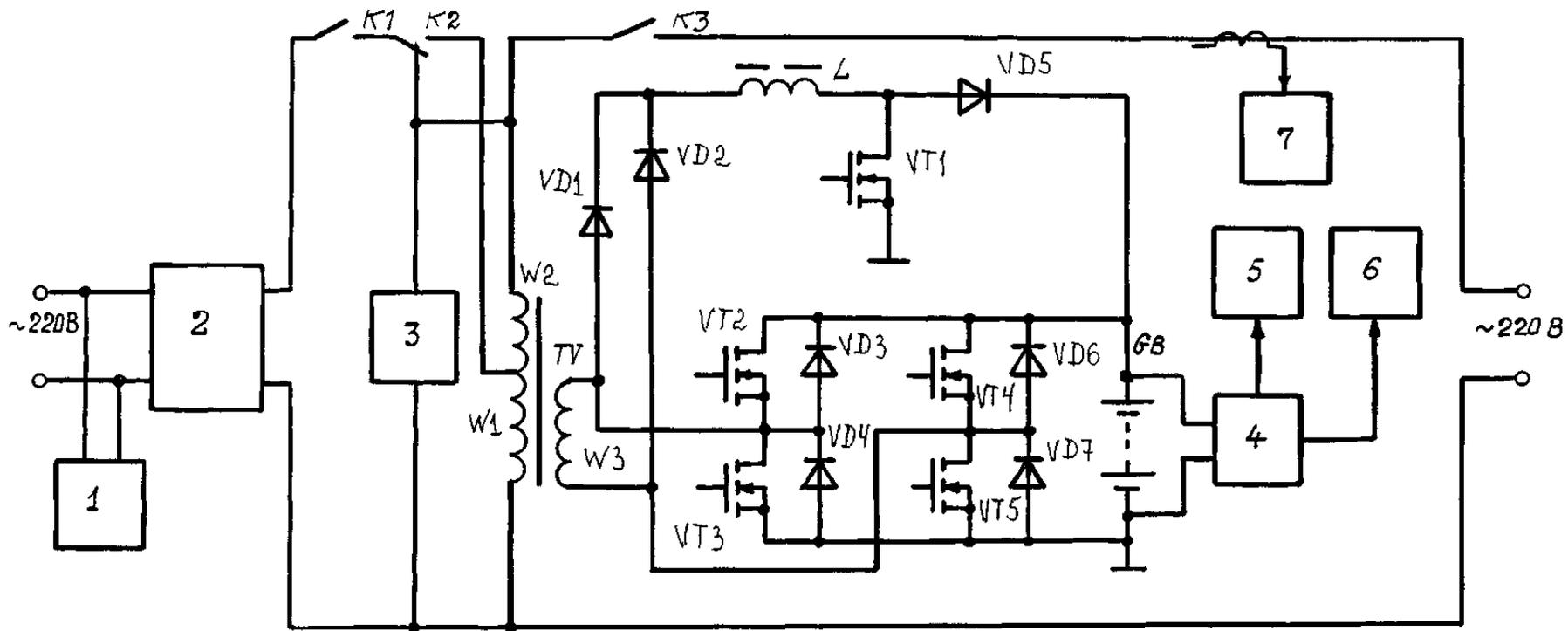


Рис. 2.24

1 — датчик напряжения сети; 2 — фильтр радиопомех с ограничителем перенапряжений; 3 — датчик напряжения нагрузки; 4 — блок питания собственных нужд; 5 — система управления инвертором и зарядным устройством; 6 — микроконтроллер системы управления; 7 — датчик тока нагрузки

Во втором режиме, когда напряжение сети становится ниже допустимой нормы (например имеет значение в пределах 0,75—0,85 от номинального значения) $K2$ переключается в верхнее положение и к сети подключается только часть первичной обмотки $W1$. На нагрузку же поступает сумма напряжений сети и части первичной обмотки $W2$ (то есть трансформатор включается по схеме повышающего автотрансформатора), что компенсирует просадку сетевого напряжения. ИБП не переходит на работу от батареи, что экономит ее ресурс. Такой режим работы получил наименование режима «*Smart Boost*». Батарея, при необходимости, продолжает заряжаться.

Третий режим наступает, если напряжение в сети становится меньше, чем 0,75 от номинального или вовсе пропадает. В этом случае переключатель $K1$ размыкается, а питание нагрузки осуществляется от батареи через инвертор и трансформатор прямоугольным переменным напряжением.

В связи с тем, что транзисторы инвертора работают в ключевом режиме, такая форма переменного напряжения является естественной. Прямоугольная форма напряжения приемлема для питания аппаратуры, имеющей источники питания с бестрансформаторным входом. Большое содержание высших гармоник в прямоугольном напряжении может вызвать помехи в работе оборудования, содержащего линейные блоки питания (структура «трансформатор — выпрямитель — линейный стабилизатор») или питающегося через понижающий трансформатор. Линейные блоки питания обычно устанавливаются в модемы, коммуникационное оборудование, офисные АТС, радиооборудование, измерительную и медицинскую аппаратуру и т.д. Для подобных устройств не следует использовать ИБП с несинусоидальным выходным напряжением.

В электротехнике качество переменного напряжения или приближение его формы к синусоидальной принято характеризовать коэффициентом гармоник k_r , %, определяемым как отношение действующего значения высших гармоник к действующему значению первой (основной) гармоники, т.е.:

$$k_r = 100 \sum_{n=n_{\min}}^{n=\infty} \sqrt{(U_{(n)}/U_{(1)})^2} = 100 \sqrt{(U/U_{(1)})^2 - 1},$$

где $U_{(n)}$ — действующее значение напряжения гармоники с номером n ;

$U_{(1)}$ — действующее значение напряжения первой гармоники;

U — действующее значение выходного напряжения;

n_{\min} — номер ближайшей к основной высшей гармоники.

Прямоугольное напряжение с одним импульсом в полупериоде, получаемое в результате широтно-импульсного регулирования, или по другому, однократной широтно-импульсной модуляции (ШИМ), содержит нечетные гармоники с номером n , амплитуды которых:

$$U_{(n)} = \frac{4U_A}{n\pi} \sin\left(\gamma n \frac{\pi}{2}\right),$$

где U_A — амплитуда прямоугольного напряжения.

На рис. 2.25 показаны зависимости k_r и амплитудных значений напряжений нечетных гармоник с первой по седьмую.

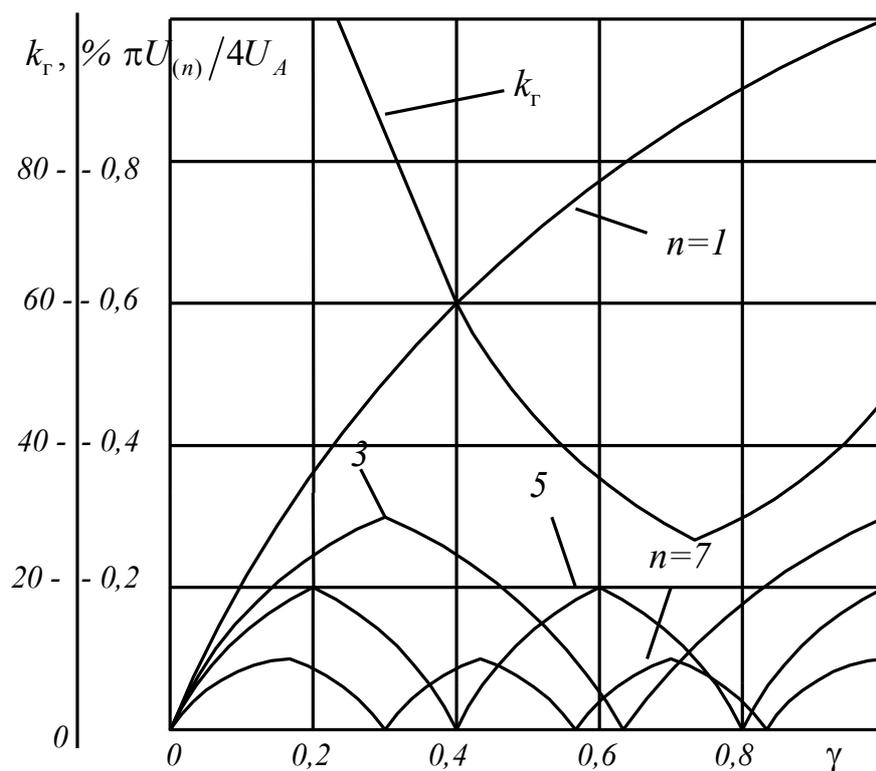


Рис. 2.25 — Характеристики напряжения при однородной ШИМ

Минимальное значение k_r соответствует длительности импульса $\gamma = 0,74$ (пауза $46,44^\circ$), при котором $k_r = 29\%$.

Но оказывается, что существенно меньшую реактивную мощность будут иметь элементы фильтра при равном качестве напряжения на выходе фильтра, если ввести в прямоугольное напряжение паузу 60° , когда $\gamma = 0,66$, а $k_r = 31,21\%$.

Это объясняется тем фактом, что коэффициент k_r не учитывает номера гармоник, а фильтровать, как известно, легче более высокочастотные гармоники. Из графиков на рис. 2.25 видно, что при $\gamma = 0,74$ сравнительно велико значение $U_{(3)}$, а при $\gamma = 0,66$ третья гармоника отсутствует.

Таким образом, для минимизации элементов фильтра крайне желательно исключать из кривой выходного напряжения инвертора низшие гармоники. Это можно реализовать, применяя многократную ШИМ (несколько импульсов на полупериоде выходного напряжения).

Многократная ШИМ разделяется на равномерную и неравномерную в зависимости от длительности импульсных интервалов. При равномерной ШИМ полупериод разделен на целое число импульсных интервалов равной длительности (каждый интервал содержит смежные импульсы и нулевую паузу или смежные импульсы прямой и обратной полярности). При неравномерной ШИМ такое разделение отсутствует.

Кривая выходного напряжения на рис. 2.26, а (многократная неравномерная двухполярная ШИМ – на полупериоде выходного напряжения импульсы имеют противоположную полярность) при $\alpha_1 = 23,37^\circ$ и $\alpha_2 = 33,18^\circ$ не содержит третьей и пятой гармоник.

В кривой выходного напряжения на рис. 2.26, б (многократная неравномерная однополярная ШИМ – на полупериоде выходного напряжения импульсы одной полярности чередуются с паузами) исключены гармоники с третьей по одиннадцатую при $\alpha_1 = 18,17^\circ$; $\alpha_2 = 26,63^\circ$; $\alpha_3 = 36,87^\circ$; $\alpha_4 = 52,9^\circ$; $\alpha_5 = 56,68^\circ$.

Однополярная ШИМ обладает большей эффективностью, так как при равном числе импульсов с двухполярной исключается большее число гармоник, а остающиеся высшие гармоники имеют меньшие амплитуды.

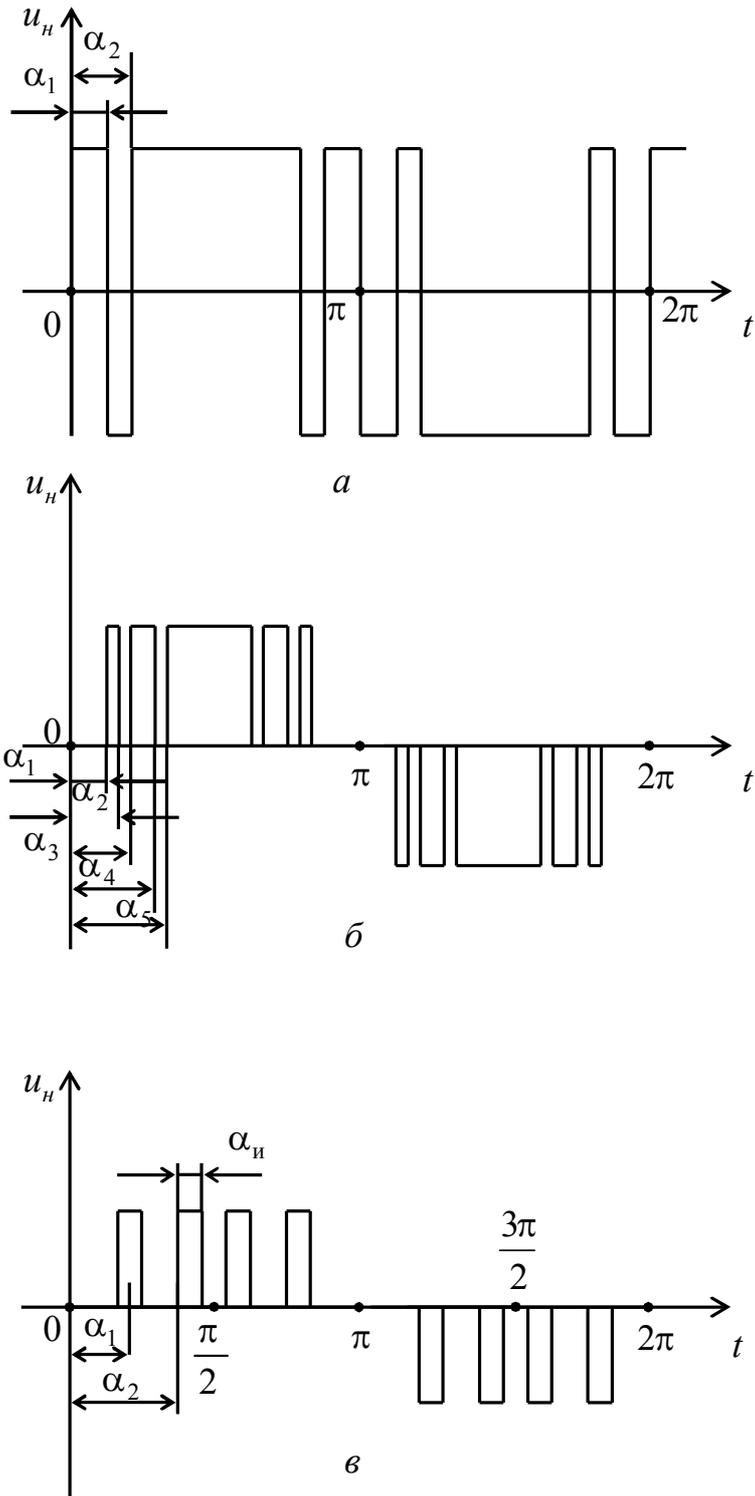


Рис. 2.26 — Многократная неравномерная ШИМ

Но хотя данный метод и обеспечивает легкую фильтрацию выходного напряжения инвертора, его реализация затруднена необходимостью поддержания относительно стабильных некратных

углов коммутации силовых транзисторов и стабильного постоянного напряжения на входе инвертора.

При равномерной ШИМ значительно упрощается система управления. Для иллюстрации рассмотрим принцип формирования напряжения при однополярной модуляции и использовании синусоидальной функции построения. Здесь в системе управления транзисторами инвертора используется эталонное синусоидальное (или аппроксимирующее синусоиду ступенчатое либо трапецеидальное) напряжение u_y , как показано на рис. 2.27. Это напряжение сравнивается с опорным пилообразным $u_{ГПН}$, и в моменты их равенства формируется сигнал на переключение транзисторов. Благодаря этому, длительность импульса выходного напряжения u данного интервала пропорциональна амплитуде эталонного напряжения на этом интервале.

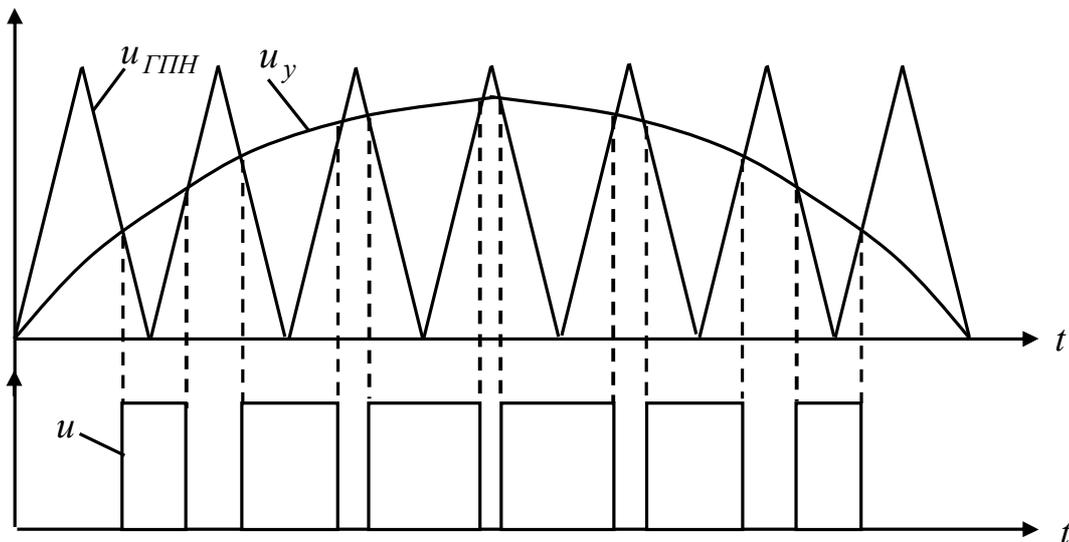


Рис. 2.27 — Многократная равномерная однополярная ШИМ с синусоидальной функцией построения

Следует отметить, что во всех случаях наиболее эффективной является однополярная ШИМ.

Рассмотрим принцип действия реального инвертора, упрощенная принципиальная схема силовой части которого приведена на рис. 2.28.

Инвертор формирует выходное напряжение по способу, показанному на рис. 2.27.

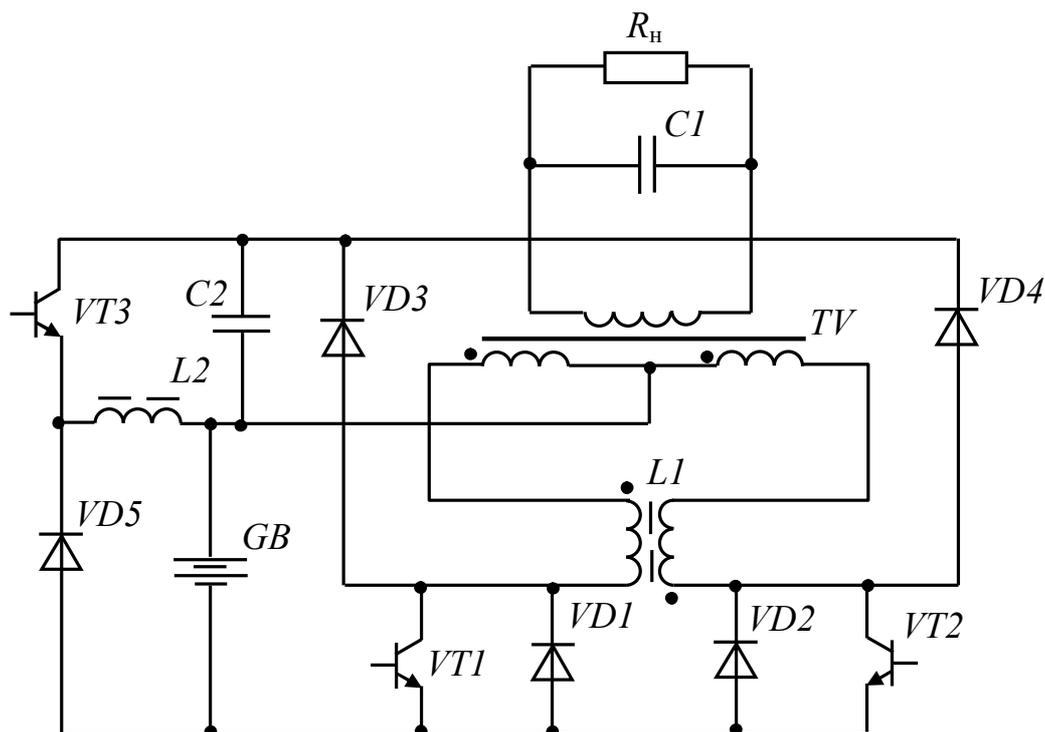


Рис. 2.28

Напряжение батареи 24 В, выходное напряжение 220 В. Выбор инвертора с выводом нулевой точки первичной обмотки трансформатора объясняется низким значением питающего напряжения. По этой же причине дроссель фильтра $L1$ расположен на стороне первичной обмотки трансформатора. Конденсатор фильтра установлен на высоком напряжении, т.е. на стороне вторичной обмотки трансформатора.

Одна полуволна выходной пятидесятигерцовой синусоиды формируется транзистором $VT1$ (при этом транзистор $VT2$ все время закрыт), другая — транзистором $VT2$ (при закрытом $VT1$).

На интервале формирования импульса напряжения u транзистор $VT1$ открыт, и нарастающий ток протекает по цепи: «плюс» GB — левая первичная полуобмотка трансформатора — левая обмотка дросселя $L1$ — транзистор $VT1$ — «минус» GB . При этом энергия передается в нагрузку, подзаряжается конденсатор фильтра $C1$, накапливается энергия в дросселе фильтра $L1$.

На интервале формирования паузы транзистор $VT1$ закрыт. За счет энергии, накопленной в $L1$, ток будет протекать по цепи: правая обмотка дросселя $L1$ (как и на интервале формирования

импульса ток втекает в зажим обмотки, отмеченный точкой), правая первичная полуобмотка трансформатора — батарея (навстречу э.д.с. батареи) — обратный диод инвертора $VD2$. Энергия дросселя $L1$ отдается в нагрузку и в источник питания, т.е. в батарею.

Для обеспечения нормальной работы транзисторов инвертора (т.е. выключения без бросков напряжения) необходимо локализовать энергию, запасаемую в индуктивностях рассеяния точечных элементов TV и $L1$. Эту задачу выполняет устройство рекуперации, выполненное на элементах $VD3—VD5$, $VT3$, $C2$, $L2$. Это устройство работает следующим образом. При очередном выключении транзистора $VT1$ энергия, запасенная в индуктивностях рассеяния TV и $L1$, передается через диод $VD3$ в рекуперационный конденсатор $C2$. Из конденсатора $C2$ энергия, в свою очередь, при открывании $VT3$ передается в дроссель $L2$, а при закрывании $VT3$ энергия через диод $VD5$ возвращается в батарею.

В наиболее совершенных ИБП классической топологии On-line при питании от сети электроэнергия подвергается двойному преобразованию — выпрямлению и инвертированию. Поэтому такие ИБП получили дополнительно наименование «источники с двойным преобразованием». Однако термин «с двойным преобразованием» в результате совершенствования ИБП оказался не всегда верным. Например, на рис. 2.29 приведена структура ИБП с тройным преобразованием. Здесь между выпрямителем и инвертором включен дополнительно стабилизированный преобразователь постоянного напряжения в постоянное.

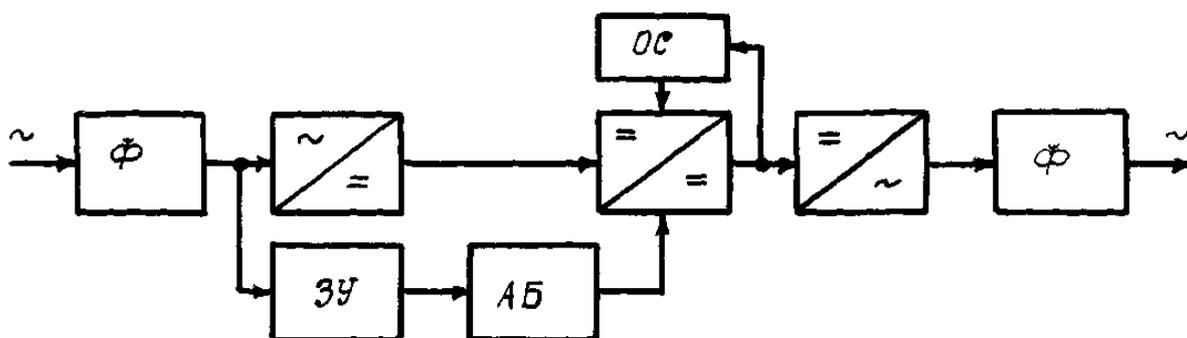


Рис. 2.29

В такой структуре формируется, как отмечалось выше, наилучшая форма выходного напряжения инвертора, которая позволяет минимизировать выходной фильтр. Кроме того, еще и отпадает необходимость в использовании трансформатора на частоте 50 Гц.

Еще один вариант предложила датская компания *Silcon*. Если сравнить возникающие помехи и искажения в электросети с волнением на поверхности водоема, то основную идею этого подхода можно сформулировать так: чтобы водная гладь была ровной и чистой, не нужно трогать всю «массу» воды — от поверхности до самого дна, достаточно успокоить лишь ее «верхний слой». Применительно к электропитанию эта идея стала основой дельта-преобразования, запатентованного компанией *Silcon*. Эта технология устраняет недостатки, присущие традиционной схеме двойного преобразования.

ИБП с дельта-преобразованием работает все время в режиме двойного преобразования, но при этом преобразуется не вся необходимая мощность, а только ее «зашумленная» и нестабильная часть. ИБП с дельта-преобразованием состоит из двух инверторов, собранных по специальной, четырехквadrантной схеме, и системы управления.

В идеальных условиях, когда параметры электросети соответствуют требованиям качества (напряжение и ток равны номиналу, а провалы, выбросы, помехи и шумы отсутствуют), электроэнергия из сети поступает к нагрузке без потерь, а не преобразуется дважды, как в ИБП с двойным преобразованием. В реальной ситуации, когда параметры сети не идеальны, работает схема двойного преобразования электроэнергии. Но, в отличие от классической схемы с двойным преобразованием, схема с дельта-преобразованием действует намного «умнее», так как преобразует не всю энергию, а только минимально необходимую ее часть. Так, например, при отклонении входного напряжения на 15 % двойному преобразованию подвергнется только 15 % электроэнергии. Если суммарные потери двойного преобразования принять равными 10 %, то в схеме с дельта-преобразованием потери энергии составят уже только 1,5 % ($0,15 \times 0,10 = 0,015$). При исчезновении напряжения в электросети инвертор переходит на пи-

тание от аккумуляторной батареи, и ИБП работает по схеме классического двойного преобразования.

Таким образом, ИБП с дельта-преобразованием работает в режиме on-line и имеет все присущие схеме двойного преобразования достоинства; но при этом он обладает высоким КПД (до 97 %) и небольшими потерями энергии.

Обычно ИБП рассчитаны на работу в автономном режиме (от батареи) при номинальной нагрузке в течении 7—10 минут. Если требуется увеличить время работы аппаратуры в автономном режиме, то можно выбрать более мощный ИБП. Здесь можно ориентироваться на максимальные значения, характерные для лучших моделей ИБП:

- 7—9 минут при нагрузке 100 %;
- 10—12 минут при нагрузке 75 %;
- 18—22 минуты при нагрузке 50 %.

Но если необходимо обеспечить существенно большее время автономной работы (до нескольких часов), например для телекоммуникационного оборудования, то нужен другой подход. Ошибкой являлся бы выбор ИБП, номинальная мощность которого многократно превышает максимальную мощность нагрузки в расчете обеспечить заданное время автономной работы.

Для увеличения времени автономной работы ИБП можно оборудовать блоками дополнительных аккумуляторов. К сожалению, не все ИБП поддерживают эту возможность, обычно производители предлагают такую опцию для ИБП мощностью от 700 В·А. Конструктивно ИБП с поддержкой внешних аккумуляторных батарей могут быть выполнены как в обычном настольном варианте, так и для монтажа в 19" стойку. Блоки батарей поставляются либо в корпусе, соответствующем ИБП по дизайну и типоразмеру, либо в виде бескорпусных модулей для монтажа в специальный конструктив. Напряжение дополнительных батарейных блоков всегда совпадает с напряжением основной батареи, а емкость кратна (1, 2, 3) емкости штатной батареи ИБП.

При проектировании системы с внешними батареями необходимо убедиться, что инвертор ИБП рассчитан на длительную работу с полной нагрузкой. Часто производитель, удешевляя конструкцию, устанавливает инвертор, рассчитанный на работу со

100 % нагрузкой в течение всего 10—15 минут (время автономии со штатной батареей).

При подключении двух и более дополнительных батарей к ИБП необходимо убедиться, что встроенное зарядное устройство способно обеспечить максимальным зарядным током все батареи. При необходимости нужно использовать специальные внешние зарядные устройства.

Увеличение времени автономной работы на батареях неизбежно увеличивает время, необходимое для полного заряда батарей после восстановления энергоснабжения. Вследствие этого при высокой вероятности повторных сбоев электропитания не удастся обеспечить требуемое по ТЗ время автономной работы, так как система будет переходить в автономный режим с не полностью заряженными батареями. Если в ТЗ на систему бесперебойного питания не гарантируется отсутствие повторных отключений в течение длительного времени, следует использовать в качестве источника энергии для автономной работы не батареи, а автономный электрогенератор.

Простое суммирование емкостей встроенной и внешних батарей для оценки времени автономной работы не дает корректного результата: разряд каждой батареи протекает по нелинейному закону, в управляющие схемы ИБП производители закладывают алгоритмы переключения батарейных модулей для оптимизации разряда. Динамика изменения прибавки времени автономной работы хорошо иллюстрируется на примере ИБП NP2000 фирмы *GE DE*. Характерным эффектом скачка, наблюдаемым у всех ИБП, является не двукратное, как можно ожидать, а почти трехкратное (для NP2000 с 8 до 22 минут) увеличение времени автономной работы при установке одной дополнительной батареи, емкость которой равна штатной. Дальнейшее увеличение числа батарей дает относительный прирост времени автономной работы примерно той же величины (14—18 минут), но точное значение прироста зависит от числа батарей и трудно предсказуемо.

Несмотря на это, зависимость времени автономной работы от числа батарей, начиная со второй дополнительно, можно считать линейной.

Важно учесть, что значения мощности, емкости аккумуляторов и времени автономной работы, указываемые производителем

лями в спецификациях, справедливы при температуре ИБП в пределах 20—25 °С. Именно такая температура является оптимальной для хранения и эксплуатации ИБП. Что делать, если нужно обеспечить работу ИБП при температуре выше 25 °С?

При подъеме рабочей температуры выше 25 °С должна быть снижена нагрузка на ИБП примерно на 20 % на каждые 10 °С превышения.

Топология систем бесперебойного питания. Система бесперебойного питания может иметь централизованную или распределенную топологию. Первая подразумевает установку единого ИБП, поддерживающего работу оборудования всего задания или, как минимум, этажа. Вторая состоит из нескольких ИБП (они могут быть разных типов и с разными мощностями), каждый из которых защищает отдельный элемент оборудования — чаще всего, компьютер.

Наиболее простой и распространенной является *распределенная система* бесперебойного питания. Она имеет следующие преимущества.

- Каждый элемент компьютерной системы предприятия питается от отдельного ИБП, специально подобранного по мощности и степени защиты. Это позволяет рациональнее расходовать средства на приобретение ИБП, выбирая для важных и находящихся в более жестких условиях эксплуатации элементов компьютерной системы более дорогие модели.

- Эксплуатация такой системы в простых компьютерных системах (например, нескольких ПК или небольшой локальной сети) очень проста. Каждый пользователь компьютера отвечает за работу своего ИБП, следит за его состоянием и может вовремя вызвать специалиста, если работа ИБП вызывает опасения.

- Систему просто наращивать: вы можете начать с покупки одного ИБП для защиты только файл-сервера, а затем постепенно докупать ИБП для защиты рабочих станций.

- Работоспособность системы бесперебойного питания можно обеспечить, временно заменяя вышедшие из строя ИБП, питающие важные элементы компьютерной системы, блоками, защищающими менее важные элементы.

- Маломощные ИБП, входящие в состав распределенной системы, не требуют квалифицированного персонала для их уста-

новки и могут быть подключены к обычной электрической сети.

Централизованные системы бесперебойного питания имеют следующие преимущества.

- Обычно применяемые в таких системах высококлассные ИБП (с двойным преобразованием) при прочих равных условиях обеспечивают наилучшую защиту оборудования.

- Используемые для построения системы мощные трехфазные ИБП защищают электрическую сеть от перегрузок, связанных с эксплуатацией компьютеров, и делают ее работу более безопасной.

- Включение в систему одного вместо нескольких ИБП того же класса часто обходится дешевле.

- Питание многих потребителей малой мощности от одного ИБП исключает проблему пусковых токов, т.к. несколько единиц оборудования никогда не запускается одновременно.

- Один ИБП проще контролировать и обслуживать, чем несколько.

- Для развертывания централизованной системы бесперебойного питания можно использовать существующую в здании электрическую проводку.

Централизованная система бесперебойного питания имеет и очевидные недостатки:

- для подключения системы необходимо иметь квалифицированный персонал или обратиться за помощью в специализированную фирму;

- сложнее и дороже менять конфигурацию системы, нужно заранее учитывать все ее будущие потребности и конфигурировать ее как единое целое;

- для простых компьютерных систем применение централизованной системы бесперебойного питания оказывается дороже.

Тем не менее, при некоторых условиях предпочтительнее использовать централизованную систему бесперебойного питания, а приведенные ниже задачи могут быть решены только с ее помощью.

- Применение генераторов для долговременной автономной работы.

- Построение системы питания повышенной надежности,

эффективно защищенной не только от случайных, но и от злонамеренных воздействий.

- Питание нескольких потребителей, существенно отличающихся по мощности, например, компьютерной системы, построенной на базе большой ЭВМ, или мощного коммуникационного центра.

- Сосредоточение в одном здании большого числа компьютеров — основных потребителей электроэнергии.

Практика показывает, что каждый банк по мере своего развития (если оно происходит) рано или поздно начинает использовать централизованную систему бесперебойного питания.

Для централизованных систем бесперебойного питания обычно выбирают трехфазные ИБП с двойным преобразованием, равномерно нагружающие сеть по фазам.

От ИБП питаются компьютерная система предприятия вместе с центром управления системой, системы связи и безопасности, а также аварийное освещение. В зависимости от профиля и особенностей данного предприятия может возникнуть необходимость подключения к ИБП и других потребителей электроэнергии.

Несмотря на исключительно высокую надежность мощных ИБП, применяемых в централизованных системах бесперебойного питания, нельзя исключать возможность выхода их из строя. Для решения задачи повышения надежности применяется *резервирование*.

Система с параллельным резервированием (рис. 2.30) включает два или более модулей ИБП, работающих на общую нагрузку. Система должна иметь определенный запас по выходной мощности.

При нормальном состоянии сети нагрузка равномерно распределяется между всеми модулями системы, а в случае выхода из строя одного из них или преднамеренного его отключения — между остальными модулями. Параллельная схема резервирования обеспечивает высокую степень защиты (99,99 %). При техническом обслуживании отдельных модулей нагрузка никогда не питается от «грязной» сети. Однако при необходимости ремонта общей шины питания или оборудования, расположенного между ИБП и нагрузкой, последнюю все-таки приходится отключать.

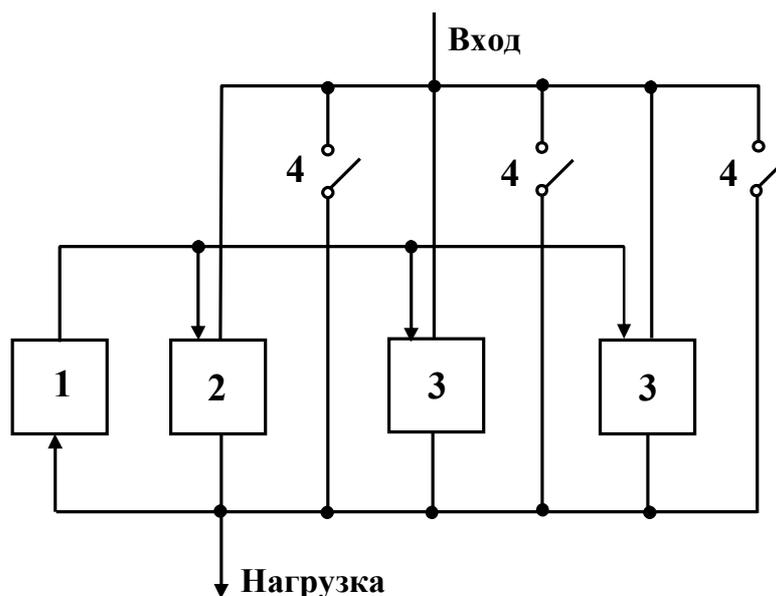


Рис. 2.30 — Упрощенная схема с параллельным резервированием:
 1 — блок синхронизации; 2 — ведущий ИБП;
 3 — ведомые ИБП; 4 — переключатели *bypass*

Несмотря на простоту параллельной схемы резервирования, ее конкретные реализации заметно различаются, прежде всего механизмом распределения нагрузки между модулями. В большинстве ИБП используются инверторы с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) и высокими динамическими характеристиками, но для параллельной работы их на общую нагрузку нужны дополнительные устройства синхронизации. Один из модулей системы выполняет функцию ведущего модуля, по выходному напряжению которого синхронизируются все остальные, ведомые модули. Однако слабое звено в такой схеме — это ведущий модуль. При появлении неисправности в нем или в цепях синхронизации нарушается функционирование всей системы.

Параллельную схему из двух модулей совсем не обязательно строить с номинальной мощностью каждого из них, равной мощности нагрузки. Например, для питания нагрузки 600 кВА можно использовать два модуля по 600 или три модуля по 300 кВА. Последний вариант системы обладает полуторной избыточностью по мощности, следовательно, ее общая стоимость лишь в 1,5 раза превышает стоимость отдельного модуля, что с экономической точки зрения является удачным решением.

Схемы с параллельным резервированием позволяют производить техническое обслуживание отдельных модулей ИБП без прерывания питания критической нагрузки. Однако для обслуживания системы в целом или ее переконфигурирования, а также для проведения регламентных работ с элементами шины питания все-таки приходится переводить ее в режим bypass или отключать нагрузку полностью.

Система с последовательным резервированием (рис. 2.31) включает один или несколько основных модулей и один резервный. Каждый основной модуль работает на собственную нагрузку. Резервный модуль используется в качестве первичного источника питания входов bypass основных модулей системы. Обычно применяются резервные ИБП типа off-line.

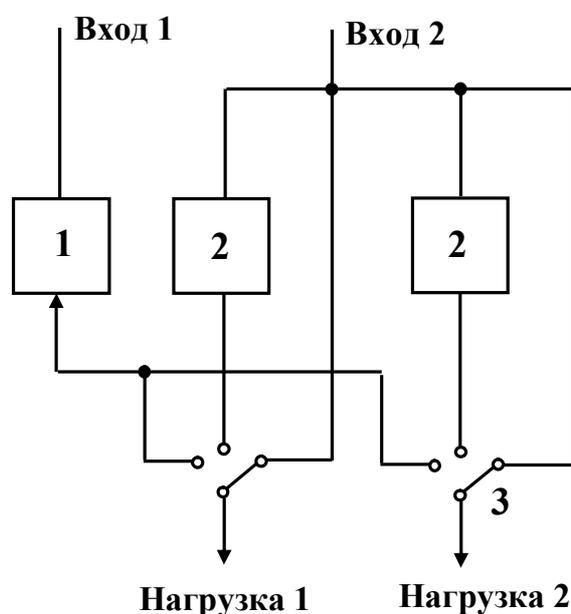


Рис. 2.31 — Простейшая схема с последовательным резервированием:

- 1 — резервный модуль;
- 2 — основные модули;
- 3 — переключатель

Такая схема резервирования позволяет обслуживать основные и резервные модули, не отключая нагрузку или не ослабляя ее защиту. При этом выходы основных модулей системы и резервного синхронизированы.

Если напряжение на входе одного из основных модулей пропадает, данный ИБП начинает работать в автономном режи-

ме. Если к моменту ее разряда питание не восстанавливается, автоматически включается цепь bypass, т. е. питание подается от резервного блока. Разумеется, в этом случае резервный блок питания становится недоступным для остальных основных модулей, и при вынужденном переходе в режим bypass второго основного модуля подключенный к нему сегмент нагрузки запитывается уже от незащищенного входа системы.

Последовательная схема резервирования хорошо подходит для модернизации уже работающих одномодульных систем путем подключения дополнительного, резервного модуля.

Еще одно преимущество этой схемы — возможность комбинировать в одной системе модули различных производителей, имеющих различную выходную мощность.

Однако этой конфигурации системы питания присущи и некоторые недостатки по сравнению с параллельной схемой — ей требуется большее число коммутационных устройств. Так, для схемы с четырьмя модулями (три основными и одним резервным) требуются три независимые линии bypass, имеющие отдельные защитные автоматы и, как следствие этого, теоретическое среднее время наработки на отказ системы с последовательным резервированием может оказаться ниже, чем у одномодульных ИБП или систем с параллельным резервированием.

Система с последовательным резервированием нуждается в дополнительной цепи коммутации источника питания входов bypass основных модулей (для систем, состоящих из трех и более модулей). И наконец, мощность каждого сегмента нагрузки ограничена номинальной мощностью соответствующего «основного» модуля ИБП.

Таким образом, применение схемы последовательного резервирования, с одной стороны, облегчает обслуживание модулей и переконфигурирование системы, а с другой — несколько снижает ее надежность. Наиболее эффективен вариант с двумя модулями (с одним основным и одним резервным). При увеличении числа основных модулей рекомендуется использовать другие схемы резервирования.

Сущность технологии резервирования *Power-Tie* (рис. 2.32) компании Liebert заключается в использовании двух независимых систем бесперебойного питания. Каждая из них должна иметь

мощность, достаточную для питания критической нагрузки полностью. Для повышения надежности систем рекомендуется подключать их к фидерам независимых трансформаторных подстанций. Нагрузка разбивается на два сегмента, каждый из которых соединен отдельной шиной со «своей» системой бесперебойного питания. Автоматический переключатель и устройство управления, установленные в непосредственной близости от нагрузки, переводят систему в один из следующих режимов:

- каждый ИБП питает свой сегмент нагрузки;
- оба ИБП подключаются параллельно и обеспечивают питание всей нагрузки в целом;
- вся нагрузка питается от одного ИБП.

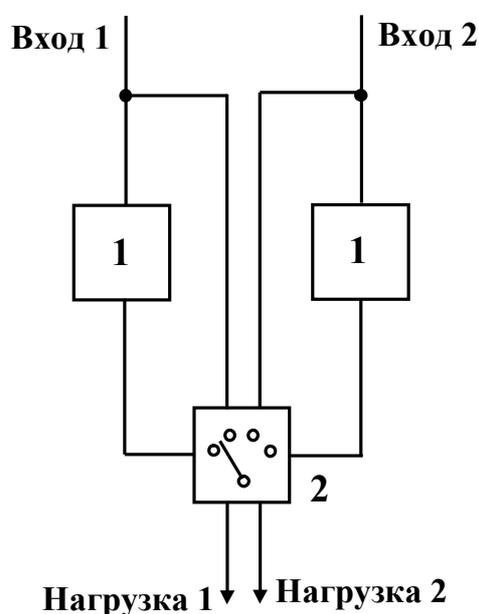


Рис. 2.32 — Конфигурация системы типа Power-Tie:
1 — блок ИБП; 2 — переключатель режимов работы

Преимуществом данной конфигурации является использование в схеме резервирования двойного выходного фидера, т.е. система может поддерживать две независимые выходные цепи питания. Таким образом, резервирование схемы питания, когда элементы управления приближены к нагрузке, максимально повышает надежность системы. Появляется возможность техниче-

ского обслуживания шины питания нагрузки без отключения ее.

Оборудование, имеющее дублированные электрические входы, может непосредственно подключаться к двойному фидеру данной системы. В то же время использование распределительных устройств с двойным входом позволяет также подключать нагрузку с единственным входом.

Основное преимущество технологии Power-Tie — отключение любого из ИБП или любого участка цепи без потери напряжения на выходе системы и без перевода нагрузки на питание в режиме bypass.

Схема с синхронизацией выхода *LBS* похожа на технологию Power-Tie. В ней используются две независимые системы бесперебойного питания с двумя независимыми выходными шинами. Системы обладают достаточной мощностью, чтобы питать всю нагрузку целиком, но в отличие от технологии Power-Tie в них отсутствуют силовые соединения на выходе модулей (рис. 2.33). Синхронизация модулей во всех режимах (включая запрещенный bypass и автономный режим работы ИБП) осуществляется с помощью дополнительной цепи синхронизации с точностью до трех градусов.

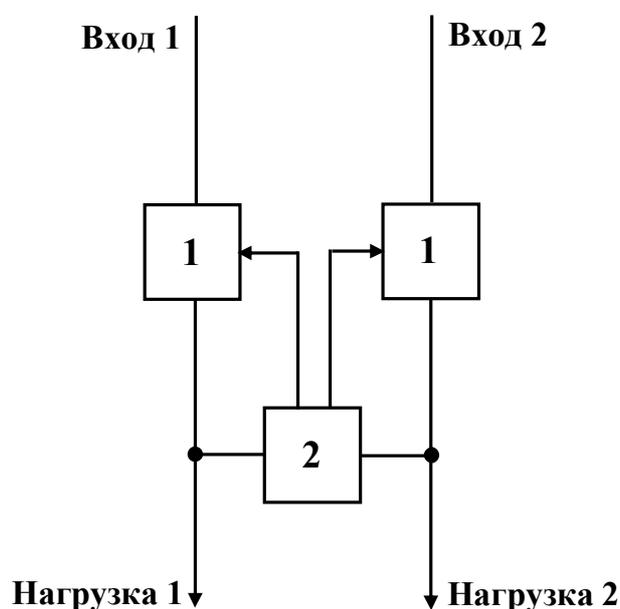


Рис. 2.33 — Конфигурация системы типа *LBS*:
1 — блок ИБП; 2 — блок синхронизации

Система LBS предназначена для питания нагрузки от двух электрически независимых синхронных фидеров. Нагрузка с дублированным электрическим входом подключается к ним непосредственно, а для подключения нагрузки с единственным входом требуются дополнительные быстродействующие статические переключатели. В отличие от остальных схем резервирования (кроме Power-Tie) данная система не имеет уязвимых участков.

Наличие дублирующей шины питания нагрузки делает систему LBS более эффективней и надежной по сравнению с одно-модульными системами и системами с параллельным или последовательным резервированием.

Отсутствие электрической связи между выходными фидерами обеспечивает полную независимость одной цепи питания от другой. Допускается даже подключение ИБП к независимым трансформаторным подстанциям.

При формировании системы LBS в каждый ИБП устанавливается интерфейсная карта синхронизации и монтируется небольшая настенная панель управления.

В нормальном режиме блок синхронизации минимально взаимодействует с ИБП и активизируется только при появлении фазового рассогласования между фидерами.

Системы с синхронизацией выхода (LBS) являются самой экономичной реализацией топологии с двойной шиной питания нагрузки.

Если же речь идет о повышении надежности собственно ИБП, то эту проблему решает только применение *модульной архитектуры*.

Главная особенность подобных устройств заключается в возможности заменять большинство неисправных модулей в «горячем» режиме, то есть без остановки системы. Единственный узел, который невозможно заменить, не отключая нагрузки, — это изоляционный модуль, содержащий только изолирующий трансформатор и разъемы и практически не подверженный сбоям.

В состав ИБП такого типа входит изолирующий модуль, электронный модуль и внешние батареи. С помощью модульной архитектуры достигается 100-процентная «живучесть» ИБП, что обеспечивает бесперебойную работу крупных, особо ответственных серверов и центров обработки данных.

«Младшим» в ряду модульных ИБП фирмы APC является *Matrix-UPS*. Все батареи в нем соединены параллельно, и отказ одной из них не приводит к отказу всей цепочки. Каждая батарея контролируется собственным процессором, обеспечено нулевое время переключения на питание от батарей.

Массив питания *Symmetra* — резервируемая, масштабируемая и администрируемая система защиты информационных систем и современных вычислительных центров является единой системой, состоящей из модульных компонентов. Модульная архитектура обеспечивает построение системы практически со 100-процентной («пять девяток») доступностью и широким ассортиментом способов управления и диагностических процедур. Дополнительные модули батарей по 4 кВА позволяют неограниченно наращивать время автономной работы и суммарную емкость системы.

Особенно интересно то, что *Symmetra* обеспечивает *избыточность*. Суть технологии избыточности для ИБП заключается в том, что все модули в массиве электропитания действуют параллельно и равномерно распределяют между собой нагрузку. При этом используется один избыточный модуль сверх того числа, которое необходимо для работы системы при полной нагрузке. Если вычислительная нагрузка равна 15 кВА, избыточность достигается с помощью пяти модулей электропитания. Если один модуль выйдет из строя или будет удален, остальные сразу же начнут поддерживать полную нагрузку. Какой именно модуль вышел из строя, не имеет значения, потому что все другие модули постоянно действуют и поддерживают нагрузку.

Только самые простые модели ИБП не оснащены какими-либо средствами управления. Функционирование всех других таких устройств — от «индивидуальных» до обслуживающих целые предприятия — контролируют с помощью различных схем, аппаратных блоков, программного обеспечения и методов доступа. Рассмотрим далее вопросы *управления ИБП*.

Зачем, собственно, нужно управлять системами питания, если они и так действуют автоматически? В случае сбоя в основном источнике электропитания они мгновенно переходят на резервный (от встроенной батареи), рассылают тревожное сообщение всем станциям сети, «тормозят» работу серверов, а когда за-

ряд батареи подходит к концу, отключают нагрузку.

Однако такой целиком автоматический режим работы ИБП не дает полного представления о причинах отказов и работе отдельных компонентов общей системы электропитания, не позволяет проводить нештатные мероприятия, например, незапланированные отключения питания. Кроме того, автоматические операции часто требуют некоей настройки, для чего нужны дополнительные средства.

Методы управления ИБП разной мощности заметно отличаются один от другого. Так, при эксплуатации маломощных ИБП вполне можно обойтись кнопками на передней панели или командами управляющей программы, запущенной на подключенном к ИБП компьютере. ИБП средней мощности, от которых питаются телекоммуникационная, сетевая аппаратура и серверы, установленные в специальных помещениях и стойках, контролируются по сети с консоли администратора (или специальной рабочей станции). Управление же мощными блоками ИБП, составляющими централизованную систему питания, может быть комбинированным. Обслуживающий персонал наблюдает за работой системы по индикаторам, расположенным на передних панелях блоков, с помощью выносных табло и с консоли.

В дополнение к перечисленным методам быстро развивается так называемое удаленное управление, когда состояние системы питания контролируется не из локальной сети предприятия, а из любой другой, причем линия связи может проходить и по магистральным каналам Интернет.

Начнем с управления индивидуальными ИБП. При разворачивании локальных сетей прежде всего стараются защитить от перебоев в питании файл-серверы.

Поэтому первые средства управления ИБП были рассчитаны на защиту файловых серверов, в большинстве случаев работающих под управлением ОС фирмы *Novell*. Получила распространение схема защиты, почти не меняющаяся уже в течение ряда лет. Микропроцессорная схема управления ИБП вырабатывает несколько сигналов, характеризующих внутреннее состояние аппаратуры, и выводит их на контакты выходного разъема, соединенного со стандартным последовательным портом сервера или рабочей станции специальным кабелем. Помимо соединения через

последовательный порт, применяется и соединение с помощью специальной карты расширения для компьютера, а также через порт «мыши» по стандарту IBM PS/2. На сервере запускается резидентная программа, которая следит за состоянием сигналов на линиях кабеля и передает результаты их обработки на консоль сервера либо по сети на рабочую станцию администратора сети.

Таким образом решается самая важная задача — обеспечение электропитанием сервера в течение времени, необходимого для его корректной остановки. Кроме этого, программа управления выполняет и дополнительные функции. Например, она рассылает сообщения всем зарегистрированным рабочим станциям с предложением сохранить файлы и закончить работу приложений в связи с возможным прекращением работы сервера. Такой способ взаимодействия ИБП с защищаемой аппаратурой до сих пор является самым экономичным, поскольку все необходимое для его реализации оборудование и ПО входит в основную поставку. Собственно, точно так же обеспечивается защита и отдельных рабочих станций сети. Разница лишь в том, что на них устанавливают упрощенные программы — с сохранением возможности взаимодействия с сетью.

В настоящее время при построении ЛВС редко ограничиваются одним сервером. На рынке появились серверы приложений, предназначенные, в частности, для сопряжения локальных и корпоративных сетей и Интернет, которые тоже требуют защиты от неисправностей в системе электропитания. Поэтому производители ИБП оснастили свои изделия приспособлениями расширяющими функции управления, с помощью которых одним ИБП обеспечивается защита нескольких сетевых устройств одновременно.

Строится такая многосерверная конфигурация, как и односерверная, но последовательные порты защищаемых серверов подключаются к выходному разъему ИБП через специальный адаптер. Это решение также можно считать экономичным, поскольку дополнительное оборудование сравнительно недорого, хотя его нужно заказывать отдельно.

Функции программ управления источниками питания постепенно усложнялись: к необходимым требованиям добавлялись новые, позволяющие наблюдать за состоянием силовой сети,

прогнозировать ее возможные неисправности, собирать статистические данные, проводить изменения некоторых внутренних параметров ИБП. Кроме того, непрерывная подача электроэнергии необходима и сетевой аппаратуре, в которой фактически отсутствует компьютер, а следовательно, и возможность установить управляющую программу. К ней относятся маршрутизаторы, коммутаторы, телекоммуникационные устройства, такие, как модемы или факсы.

Это повлекло за собой переход к следующему уровню управления системами питания — с использованием так называемого простого протокола сетевого управления (*Simple Network Management Protocol — SNMP*). С помощью SNMP-адаптера ИБП превращается в полноценное сетевое устройство. Оснащенный таким образом ИБП способен генерировать сигнал тревоги в случае аварии или посылать по запросу от программы администрирования сетью нужные сведения о состоянии находящейся под его контролем аппаратуры.

За работу всех компонентов ИБП, в том числе программы управления, «отвечает» встроенный микропроцессор. Поставляемые вместе с ИБП программы взаимодействуют с ОС рабочей станции и выполняют все необходимые функции контроля за состоянием сети электропитания. Более сложные программы — для защиты серверов способны выполнять те же функции, а кроме того, решать еще и сетевые задачи.

Ниже перечислены основные функции программ управления ИБП:

- *Автоматическая остановка серверов без участия пользователя.*
- *Выдача стандартных сообщений об аварии, совместимых с драйверами ОС.*
- *Выдача программируемых сообщений об аварии, текст которых пользователь может выбрать самостоятельно.*
- *Ведение системного журнала.*
- *Предварительное выключение ИБП с целью сохранить емкость его батареи для возможных повторных отключений электропитания.*
- *Автоматический перезапуск после восстановления пода-*

чи электроэнергии, даже в момент остановки сервера.

- *Остановка нескольких файл-серверов.*
- *Автоматическая остановка приложений с детальным выбором параметров самим пользователем.*

Чтобы гарантировать бесперебойную подачу электроэнергии, все современные ИБП не только следят за состоянием силовой сети, но и постоянно контролируют свои собственные компоненты. Это позволяет заранее выявить все предполагаемые причины неисправностей. Для учета особенностей конкретной силовой сети при контроле многие пороговые значения ее параметров устанавливаются по желанию пользователя. В частности, по своему усмотрению можно выбрать время предупреждения о приближающемся разряде батареи, в зависимости от реальной нагрузки рассчитать время автономной работы, общее время работы ИБП, число прерываний подачи электроэнергии и периодических проверок емкости батареи без отключения нагрузки и т.п.

Также возможно контролировать не только факты прерывания питания, но и параметры силовой сети в нормальных условиях, например амплитуду переменного напряжения и силу тока, а также температуру и влажность воздуха.

По мере усложнения информационных сетей появляется ряд задач, нетипичных для ИБП, но связанных с контролем за окружающей средой. Постепенно во многие ИБП были встроены модули, позволяющие следить не только за исправностью электропитания, но и за изменением других параметров. Так, стало возможным контролировать группы контактных датчиков, установленных на дверях аппаратных шкафов и комнат, датчики дыма. Одним из самых сложных и совершенных модулей такого типа является *SiteNet Integrator* фирмы *Liebert*. Он устанавливается в стойку вместе с серверами и блоками ИБП или выполняется в виде отдельного настольного блока. С его помощью можно контролировать множество параметров, используя протокол SNMP, управлять работой внешних устройств, например открывать по команде магнитные замки дверей.

Основные технические характеристики ИБП различных мощностей и областей применения приведены в табл. 2.1—2.3.

Таблица 2.1 — Основные характеристики ИБП для ПК и рабочих станций

Компания	Серия: модели	Топология	Мощность, ВА	Пороговое входное напряжение, В	Время заряда батареи, ч	Размеры, мм	Масса, кг	Особенности
<i>American Power Conversion</i>	Back-UPS: BK250I; K400I; BK600I	Off-line	250; 400; 600	196	6, 7, 10	168×119×361	5,4; 9,5; 11,3	Нижний порог регулируемый
	Back-UPS PRO: BP280I; P420I; BP650I	Линейно-интерактивная	280; 420; 650	167	От 4 до 6	168×119×368	8,8; 9,3; 11,3	Защита линии данных 10Base-T (RJ45). Контроль за состоянием батареи и ее «горячая» замена. Верхний порог входного напряжения равен 282 V
<i>Chloride</i>	Aladin 250; Aladin 400; Aladin 600	Off-line	250; 450; 600	Н/д	Н/д	175×86×265	6; 7,5; 8,5	Контроль за состоянием батареи
	Expert 400; Expert 600	Линейно-интерактивная	400; 600	180	Н/д	152×104×272	7,5; 8,5	Контроль за состоянием батареи
<i>Exide Electronics</i>	OneUPS Plus: 300; 420; 650	Off-line	300; 420; 650	166	Менее 6	153×87×332; 153×87×332; 168×120×363	5,6; 6,6; 8,6	Выбор номинального входного напряжения (220, 230, 240 V)
	NetUPS 450; NetUPS 700	Линейно-интерактивная	450; 700	Н/д	Менее 4	163×117×376	9,5; 11,3	«Холодный» старт

Окончание табл. 2.1

Компания	Серия: модели	Топология	Мощ- ность, ВА	Пороговое входное на- пряжение, В	Время за- ряда ба- тарей, ч	Размеры, мм	Масса, кг	Особенности
	Prestige 600 STD	On-line	600	140	8	252×143×400	12,9	Выбор номинального входного напряже- ния. Чистое синусои- дальное напряжение на выходе. Срок службы батарей 10 лет
<i>Merlin Gerin</i>	Pulsar: ES2; ES4	ВЧ Off-line	250; 450	187	4	285×45×290	4	«Холодный» старт. Контроль за состоя- нием батареи
	Pulsar: ESV3; ESV5	ВЧ линейно- интерактивная	250; 450	Н/д	4	285×45×290	4	«Холодный» старт. Контроль за состоя- нием батареи
<i>Tripp Lite</i>	OMNIPRO INT 280; OMNIPRO INT 450	Линейно- интерактивная	280; 450	155	От 4 до 6	240×130×160	6,2; 7,4	Контроль за состоя- нием и автоматиче- ское выключение батареи при отклю- чении нагрузки «Холодный» старт
	SMART INT 280; SMART INT 450	Линейно- интерактивная	280; 450	163	От 2 до 4	280×170×230	7,7; 9,1;	Четыре уровня кор- рекции входного на- пряжения

Примечание: Н/д — нет данных; ВЧ — высокочастотная.

Таблица 2.2 — Основные характеристики ИБП для серверных комнат

Компания	Серия: модели	Топология	Мощность, ВА	Пороговое входное напряжение, В	Время заряда батареи, ч	Компоновка	Размеры, мм	Масса, кг	Особенности
<i>American Power Conversion</i>	Back-UPS: BK1250I	Off-line	1250	196	7,5	Моноблочная	216×172×432	23,6	Регулируемый нижний порог входного напряжения
	Back-UPS PRO: BP1000I; BP1400I	Линейно-интерактивная	1000; 1400	175	2—4	То же	216×170×437	21,8; 26,3	Автоматическое самотестирование; «горячая» замена батареи, защита линий передачи данных
	Smart-UPS: SU1400I; SU1400RMI; SU3000I	То же	1400; 1400; 3000	176	1—2	Моноблочная, стоечная, моноблочная	216×170×439; 132×483×381; 432×196×546	24,1; 25; 54	Гнездо расширения SmartSlot; «горячая» замена батареи; защита линий передачи данных
	Smart-UPS XL: SUI000XLi; SU2200XU	-//-	1000; 2200	176	1,7	Модульная	216×170×439; 432×196×546	26,1; 55	Гнездо расширения SmartSlot; «горячая» замена батареи; защита линий передачи данных; дополнительные блоки батарей

Продолжение табл. 2.2

Компания	Серия: модели	Топология	Мощ- ность, ВА	Пороговое входное на- пряжение, В	Время за- ряда ба- тареи, ч	Компо- новка	Размеры, мм	Масса, кг	Особенности
	Matrix-UPS: MX3000W; MX5000W	-//-	3000; 5000	-25 %*	1,2; 2,7	То же	452×351×452	69,4; 86,6	Входное напряже- ние: 208, 230, 240 В; наборная батарея из элемен- тов SmartCell, включаемых параллельно; кон- троль параметров окружающей сре- ды
<i>Best Power</i>	Fortress LI1020D; LI1420D; LI1.7KJX; LI2KJ; LI3KN	-//-	1020; 1420 1700; 2000; 3000	-27 %*	3—12	Моно- блочная	275×135×440; 260×205×440; 440×205×510; 440×205×510; 440×205×590	20,4; 29,5; 55,3; 51,3; 70,3	Установка верхне- го и нижнего по- рогов; срок служ- бы батареи 3—5 лет
	Ferrups: QFE1,15; QFE1,4; QFE1,8; QFE2,1	-//-	1150; 1400; 1800; 2100	-38 %*	Н/д	Наполь- ная	385×390×515; 385×390×515; 540×390×585; 540×390×585	60; 70; 83; 89	Входное напряже- ние: 220, 230, 240 В; феррорезо- нансный транс- форматор; повы- шенная помехо- защищенность; среднее время на- работки на отказ 160 тыс. ч

Продолжение табл. 2.2

Компания	Серия: модели	Топология	Мощность, ВА	Пороговое входное напряжение, В	Время заряда батареи, ч	Компоновка	Размеры, мм	Масса, кг	Особенности
<i>Hewlett-Packard</i>	HP PowerWise: L900VA; L1250VA;	Линейно-интерактивная	900; 1250	187	4—5	Моноблочная	165×242×445	22	Внутренняя батарея; возможность установки в стойку
	HP PowerWise: 1000VA; 2100VA	On-line	1000; 2100	Нет	2—4	Моноблочная, модульная (2100)	203×230×529	22; 14+26	Входное напряжение: 208, 240 В; внешняя батарея; коррекция коэффициента мощности; возможность установки в стойку
<i>Liebert</i>	Select: 1400; 2000; 3000	Линейно-интерактивная	1400; 2000; 3000	163; 190 (3000)	Н/д	Моноблочная	175×260×450; 175×478×450; 175×478×450	25,5; 37,5; 47	Возможность установки в стойку; «холодный» старт
	UPStationGX: UGX1000RT; UGX1500RT; UGX2100RT	On-line	1000; 1500; 2100	180	Н/д	Модульная	483×178×534	32; 37,8; 44	«Горячая» замена внешних батарей; вертикальное и горизонтальное положение
<i>Merlin Gerin</i>	Pulsar: ESV13; ESV17; ESV20	Линейно-интерактивная	1250; 1650; 2000	170	4	Моноблочная	242×165×445; 368×190×475; 368×190×475	22; 50; 50	"Холодный" старт; высокочастотный преобразователь

Окончание табл. 2.2

Компания	Серия: модели	Топология	Мощность, ВА	Пороговое входное напряжение, В	Время заряда батареи, ч	Компоновка	Размеры, мм	Масса, кг	Особенности
	Pulsar: EX15; EX20; EX30; EX40	On-line	1500; 2000; 3000; 4000	184	3; 3; 2; 2	Модульная	220×145×400; 220×145×400; 448×174×548; 448×174×548	32; 32; 40; 45	Периодическое самотестирование; защита батареи от глубокого разряда
MINUTE-MAN	XRT 1000/2; XRT2000/2; XRT2001; XRT2002	Линейно-интерактивная	1000; 2000; 2000; 2000	169; 169; 176; 176	Н/д	То же	254×222×502	21 (1000/2); 32	Входной изолирующий трансформатор; входное напряжение: 240 В (XRT2001); 208 В (XRT2002); масса батарейного блока 123 кг (XRT1000/2 — 30 кг)
	PowerMind: PML1250/2; PML2000/2	То же	1250; 2000	170	2—4	Моноблочная	455×160×240; 485×190×370	Н/д	Выдерживает перегрузку 300 % в течение 0,1 с; «горячая» замена батареи; защита линий передачи данных

Таблица 2.3 — Основные характеристики ИБП для централизованных систем питания

Фирма	Серия: модели	Топология	Мощность, кВА	Число фаз на входе/выходе	Входное напряжение, В	Выходное напряжение, В	Допустимая перегрузка, % (продолжительность)	КПД, %	Акустический шум, дБ	Ширина, мм	Высота, мм	Глубина, мм	Масса, кг	Особенности
<i>American Power Conversion</i>	Simmetra	On-line	8,12,16	1/1	220, 230, 240	220, 230, 240	Н/д	90	Н/д	610	787, 965, 1143	686	Н/д	Три типоразмера шасси; «горячая» замена схемных и батарейных модулей; ручной и автоматический байпас; коэффициент мощности на входе более 0,98; четыре гнезда для плат управления
<i>Best Power</i>	S4000	То же	10, 15, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120	3/3	380, 400, 415	380, 400, 415	150	90	60	560, 560, 560, 825, 825, 825, 825	1470	835	310, 310, 335, 350, 480, 520, 810, 840, 870	12-импульсный выпрямитель; гальваническая развязка; внешний байпас; входные фильтры; параллельное включение (до восьми блоков)

Продолжение табл. 2.3

Фирма	Серия: модели	Топология	Мощность, кВА	Число фаз на входе/ выходе	Входное напряжение, В	Выходное напряжение, В	Допустимая перегрузка, % (продолжительность)	КПД, %	Акустический шум, дБ	Ширина, мм	Высота, мм	Глубина, мм	Масса, кг	Особенности
	3100	-//-	125, 150, 200, 250, 300, 350, 400	3/3	380, 400, 415	380, 400, 415	125 (10 мин), 115 (10 мин, модель 400)	92	63, (65 для модели 400)	1550	1820	875	1400, 1500, 1800, 2000, 2300, 2500, 2700	Ручной байпас; гальваническая развязка на входе; 12-импульсный выпрямитель; дополнительный входной фильтр; параллельное включение нескольких блоков (до шести блоков)
	UNITI/I: UT310, UT315, UT320, UT330	-//-	10, 15, 20, 30	3/3	380, 400, 415	380, 400, 415	250 (1 мин), 150 (10 мин) при работе от сети; 150 (1 мин), 125 (10 мин)	93, 93, 94,94	55	600, 600, 1000, 1000	1400	800	320, 389, 510, 582 (без батарей)	Встроенная батарея; инвертор с однократным преобразованием; среднее время наработки на отказ 150 тыс. ч (данные за

Продолжение табл. 2.3

Фирма	Серия: модели	Топология	Мощность, кВА	Число фаз на входе/ выходе	Входное напряжение, В	Выходное напряжение, В	Допустимая перегрузка, % (продолжительность)	КПД, %	Акустический шум, дБ	Ширина, мм	Высота, мм	Глубина, мм	Масса, кг	Особенности
														10 лет эксплуатации систем); исключительная перегрузочная способность; в «экономном» режиме КПД равен 95, 95, 96, 96 % соответственно
<i>Chloride</i>	Synthesis: 60/1, 80/1, 100/1, 120/1	On-line линейно-интерактивная	6, 8, 10, 12	1/1	230	230	Н/д	91, 92, 92, 92	48, 50, 50, 50	360, 450, 450, 450	770, 970, 970, 970	495, 625, 625, 625	91, 148, 150, 152	В линейно-интерактивном режиме КПД равен 97 %; коэффициент мощности на входе более 0,99

Продолжение табл. 2.3

Фирма	Серия: модели	Топология	Мощность, кВА	Число фаз на входе/ выходе	Входное напряжение, В	Выходное напряжение, В	Допустимая перегрузка, % (продолжительность)	КПД, %	Акустический шум, дБ	Ширина, мм	Высота, мм	Глубина, мм	Масса, кг	Особенности
	Synthesis: 60/3, 80/3, 100/3, 120/3, 150/3, 200/3	То же	6, 8,10, 12, 15, 20	3/1	400	230	Н/д	91, 92, 92, 92, 93, 93	48, 50, 50, 50, 52, 52	360, 450, 450, 450, 550, 550	770,970, 970, 970, 1070, 1070	495, 625, 625, 625, 650, 650	91, 148, 150, 152, 250, 255	В линейно-интерактивном режиме КПД равен 97 %; коэффициент мощности на входе составляет более 0,95; срок службы батареи увеличен на 30 %; увеличение выходной мощности на 10 % при повышении внутренней и внешней температуры
	EDP-70: 100, 150, 200, 300, 400, 500, 600	On-line	10, 15, 20, 30, 40, 50, 60	3/3	400±20% 400+ 10% (380, 410 по выбору)	380, 400, 415	125 (10 мин), 150 (1 мин)	90,5; 92; 92; 92,8; 92,8; 93,3; 93,3	52, 52, 52, 55, 55, 62, 62	700	1400	730	384, 392, 400, 450, 460, 530, 550	Срок службы батареи 5—15 лет; среднее время наработки на отказ 30 лет;

Продолжение табл. 2.3

Фирма	Серия: модели	Топология	Мощность, кВА	Число фаз на входе/ выходе	Входное напряжение, В	Выходное напряжение, В	Допустимая перегрузка, % (продолжительность)	КПД, %	Акустический шум, дБ	Ширина, мм	Высота, мм	Глубина, мм	Масса, кг	Особенности
														наличие контактов реле для внешней сигнализации; мягкий холодный старт; гальваническая развязка коммуникационных портов
<i>Exide Electronics</i>	Powerware Profile	-//-	8, 10, 12, 15	1/1 или 3/1	220, 230, 240 или 380, 400, 415	220, 230, 240	150 (30 с), 1000 % (20 мс) в режиме байпас	93	50	400	700	750	175, 175, 215, 215	В режиме оптимизации (автоматический байпас) КПД равен 99 %; среднее время наработки на отказ 20 лет; срок службы батарей 10 лет; напряжение на входе байпаса 220, 230, 240 В

Продолжение табл. 2.3

Фирма	Серия: модели	Топология	Мощность, кВА	Число фаз на входе/ выходе	Входное напряжение, В	Выходное напряжение, В	Допустимая перегрузка, % (продолжительность)	КПД, %	Акустический шум, дБ	Ширина, мм	Высота, мм	Глубина, мм	Масса, кг	Особенности
	Powerware Plus 18HV	-/-	12, 15, 18	1/1 или 3/1	220, 230, 240 или 380, 400, 415	220, 230, 240	Н/д	Н/д	60	216	714	727	82	Модульная конструкция; коэффициент мощности не менее 0,95; модели оптимизированы для работы от сети частотой 50 Гц; наращиваемые блоки батарей в отдельных корпусах
	Powerware Plus 36HV	-/-	24, 36	1/1 или 3/1	220,230, 240 или 380, 400,415	220, 230, 240	Н/д	Н/д	65	990	870	790'	590	То же
	Powerware Plus 40: 65; 130; 200; 250	-/-	30, 40; 50, 65; 100, 130; 200; 250	3/3	380, 400 415	380, 400 415	Н/д	91	65	864, 864, 864, 864, 1245, 1245, 1422, 1422	1867	800	790, 790, 909, 909, 1429, 1429, 1729, 1895	-/-

Окончание табл. 2.3

Фирма	Серия: модели	Топология	Мощность, кВА	Число фаз на входе/ выходе	Входное напряжение, В	Выходное напряжение, В	Допустимая перегрузка, % (продолжительность)	КПД, %	Акустический шум, дБ	Ширина, мм	Высота, мм	Глубина, мм	Масса, кг	Особенности
Liebert	AP400	-//-	7,5; 10; 15; 20	3/1	380—415	220—240	Н/д	Н/д	Н/д	480, 550, 550	1000, 1100, 1100	650, 850, 850	160, 245, 245	Пригодны для установки в офисе; подключение дополнительных блоков батарей
	AP4300	-//-	7,5; 10; 15; 20	3/3	323—477	380—415	Н/д	Н/д	Н/д	410, 410, 660, 660	1100	650	100, 100, 130, 130	Ручной байпас; низкий уровень шума
	7200	On-line	30, 40, 60	3/3	380, 400, 415	380, 400, 415	110 (60 с), 125 (10 мин), 150 (1 мин)	Н/д	56	710	1400	800	350, 450, 550	Возможность подключения дизель-генератора; наличие входного фильтра и гальванической развязки на входе и распределительного модуля на выходе

Для ознакомления с реальной схемотехникой на рис. 2.34 представлена в качестве примера принципиальная схема ИБП модели «Smart-UPS» фирмы APC мощностью 620 ВА.

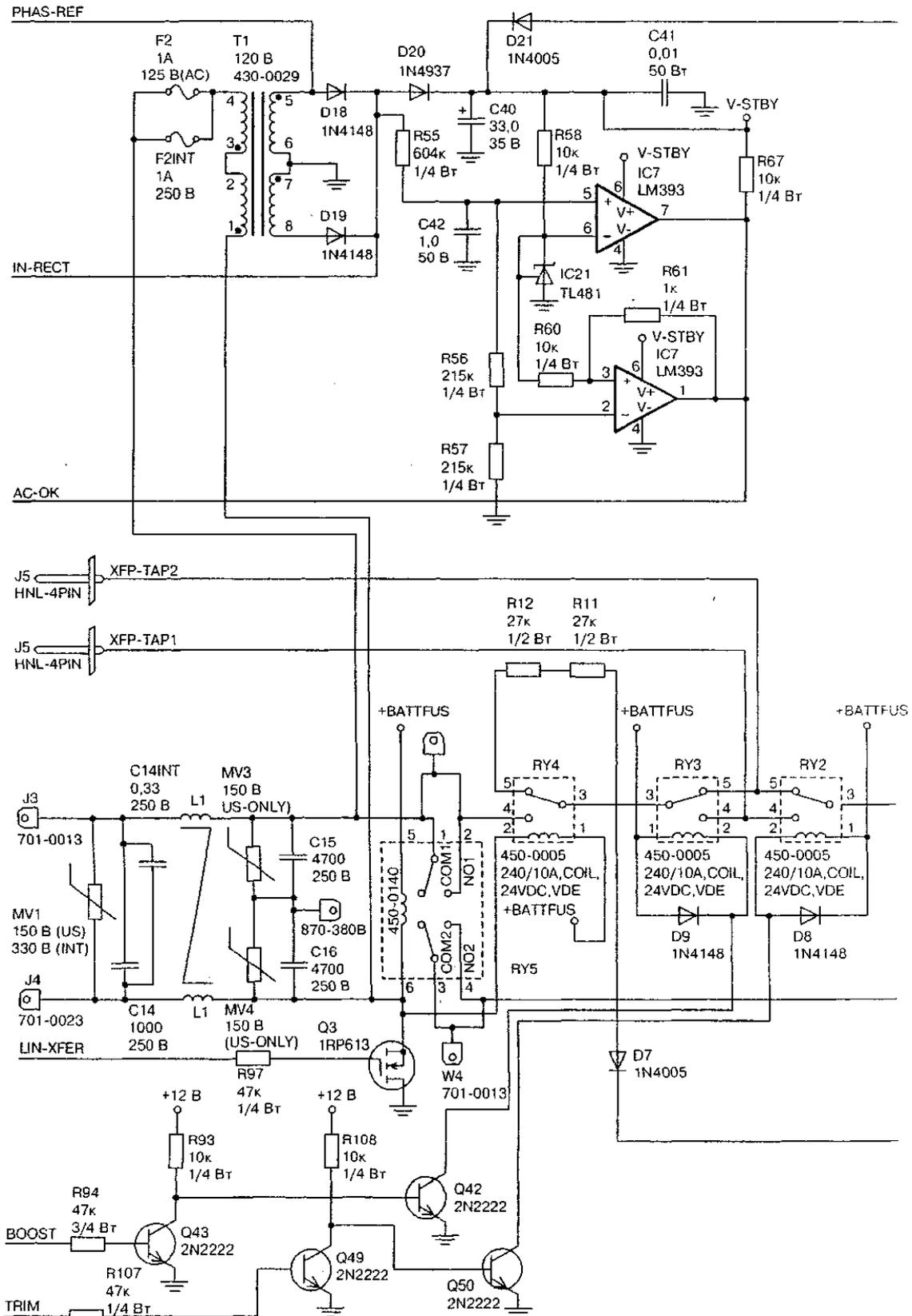


Рис. 2.34 — Принципиальная схема ИБП Smart-UPS (начало)

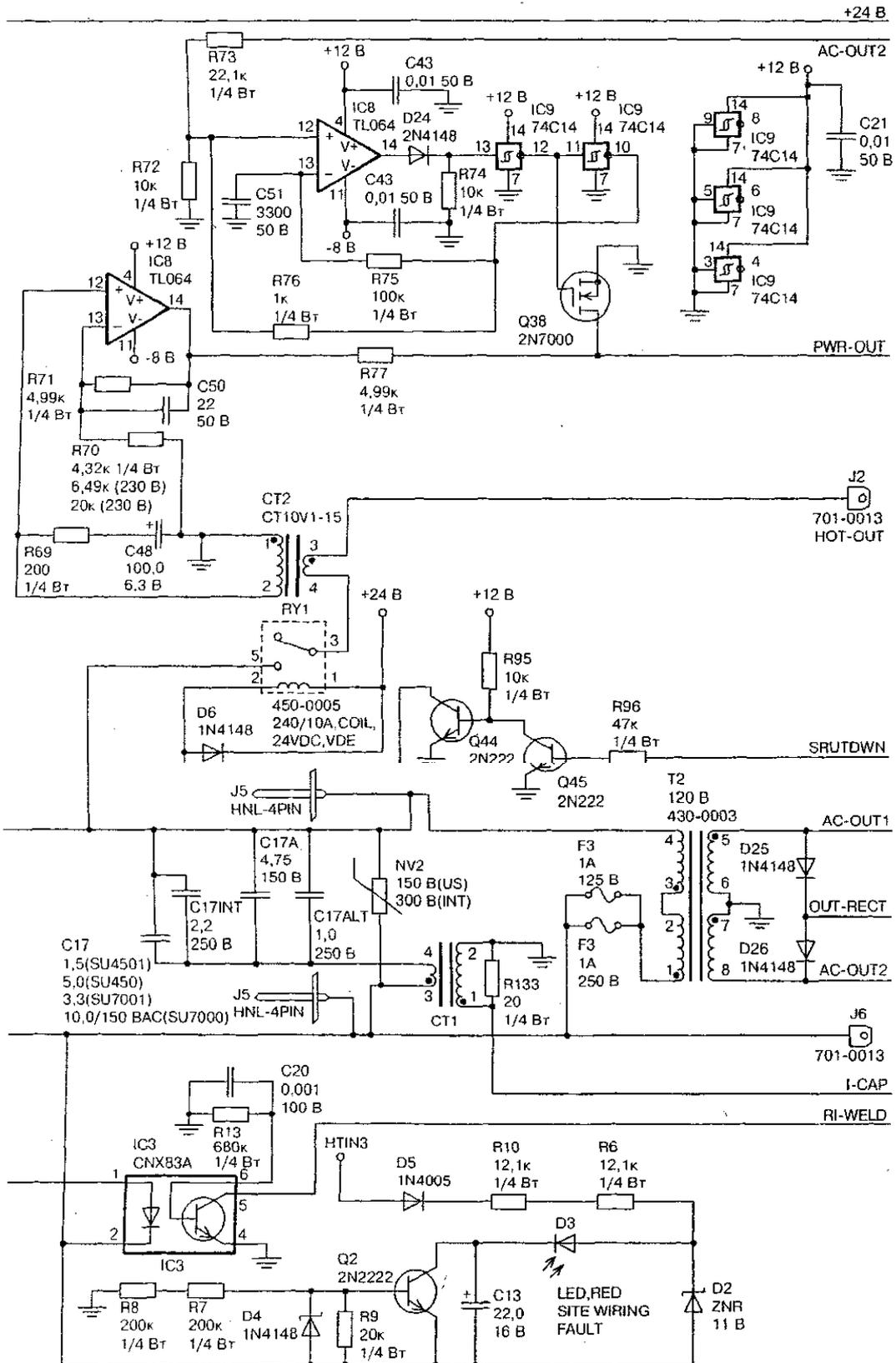


Рис. 2.34 — Принципиальная схема ИБП Smart-UPS (продолжение)

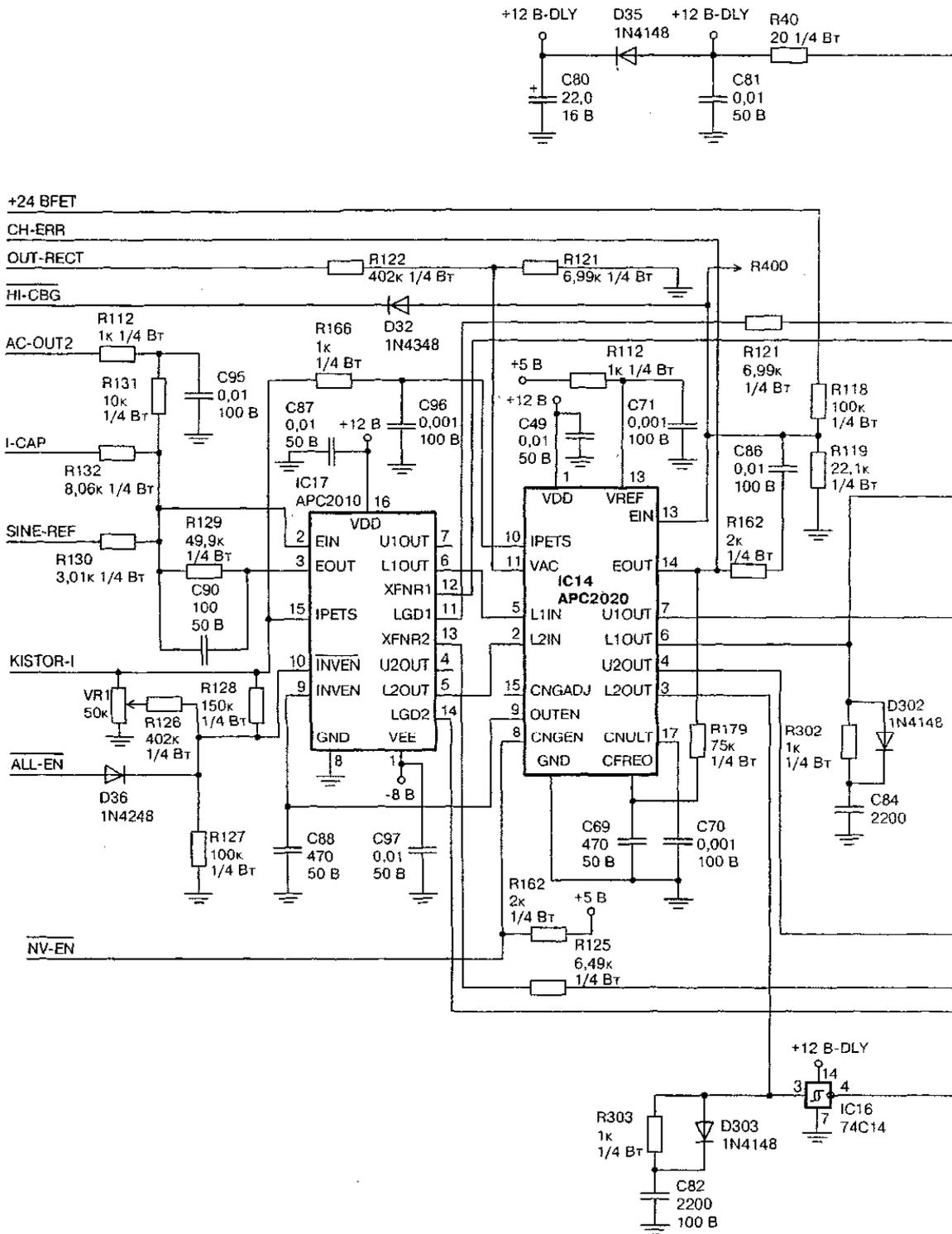


Рис. 2.34 — Принципиальная схема ИБП *Smart-UPS* (продолжение)

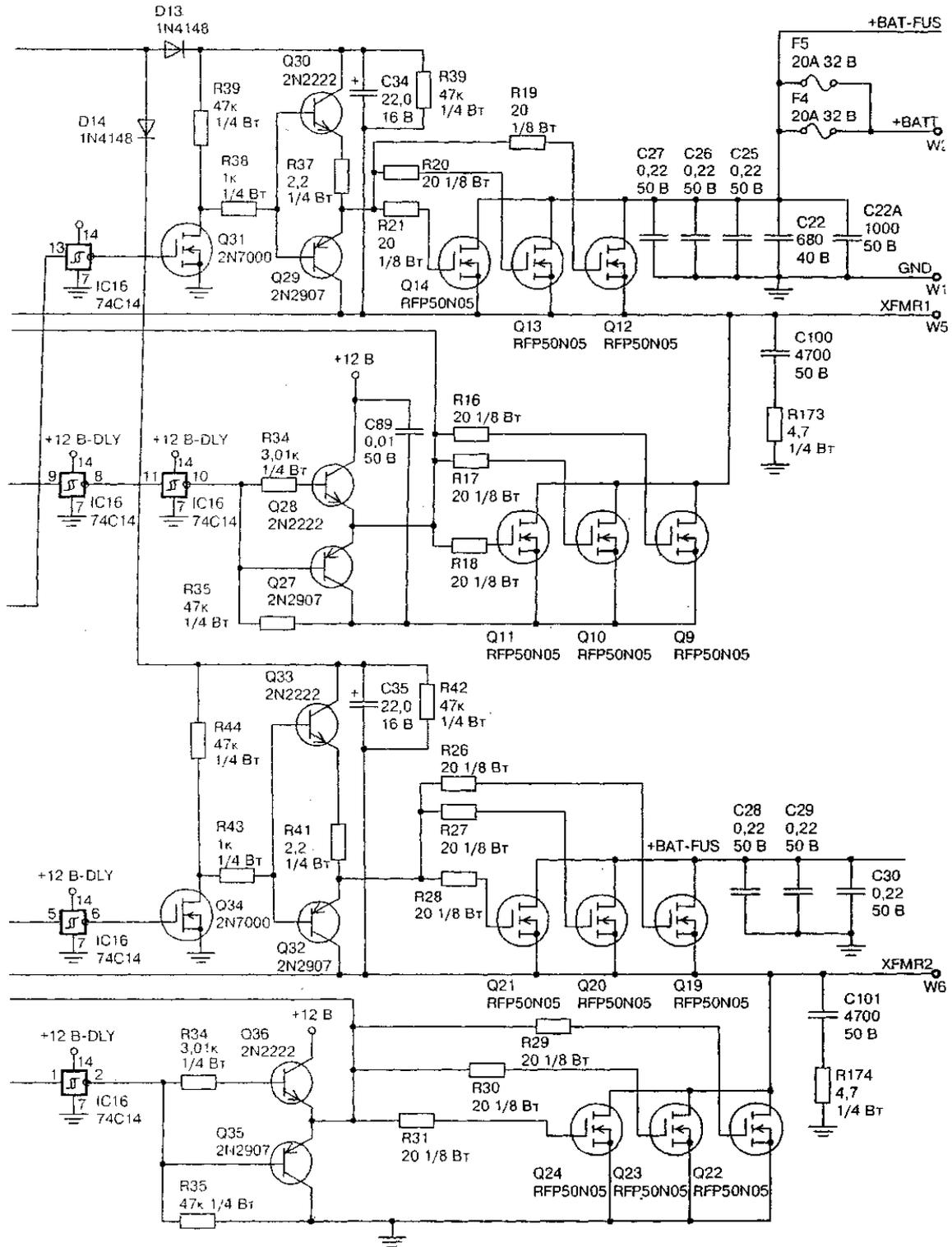


Рис. 2.34 — Принципиальная схема ИБП *Smart-UPS* (продолжение)

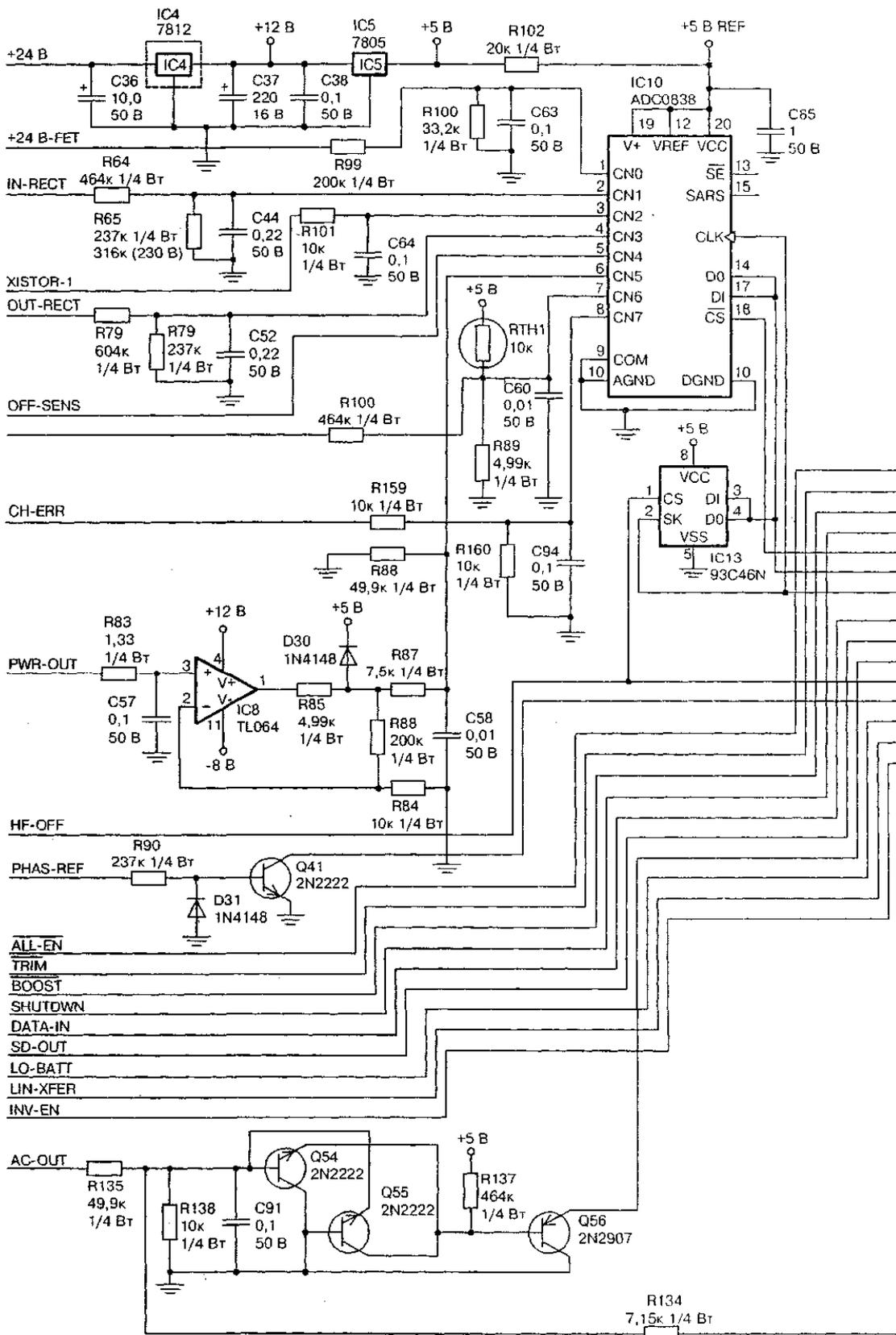


Рис. 2.34 — Принципиальная схема ИБП *Smart-UPS* (продолжение)

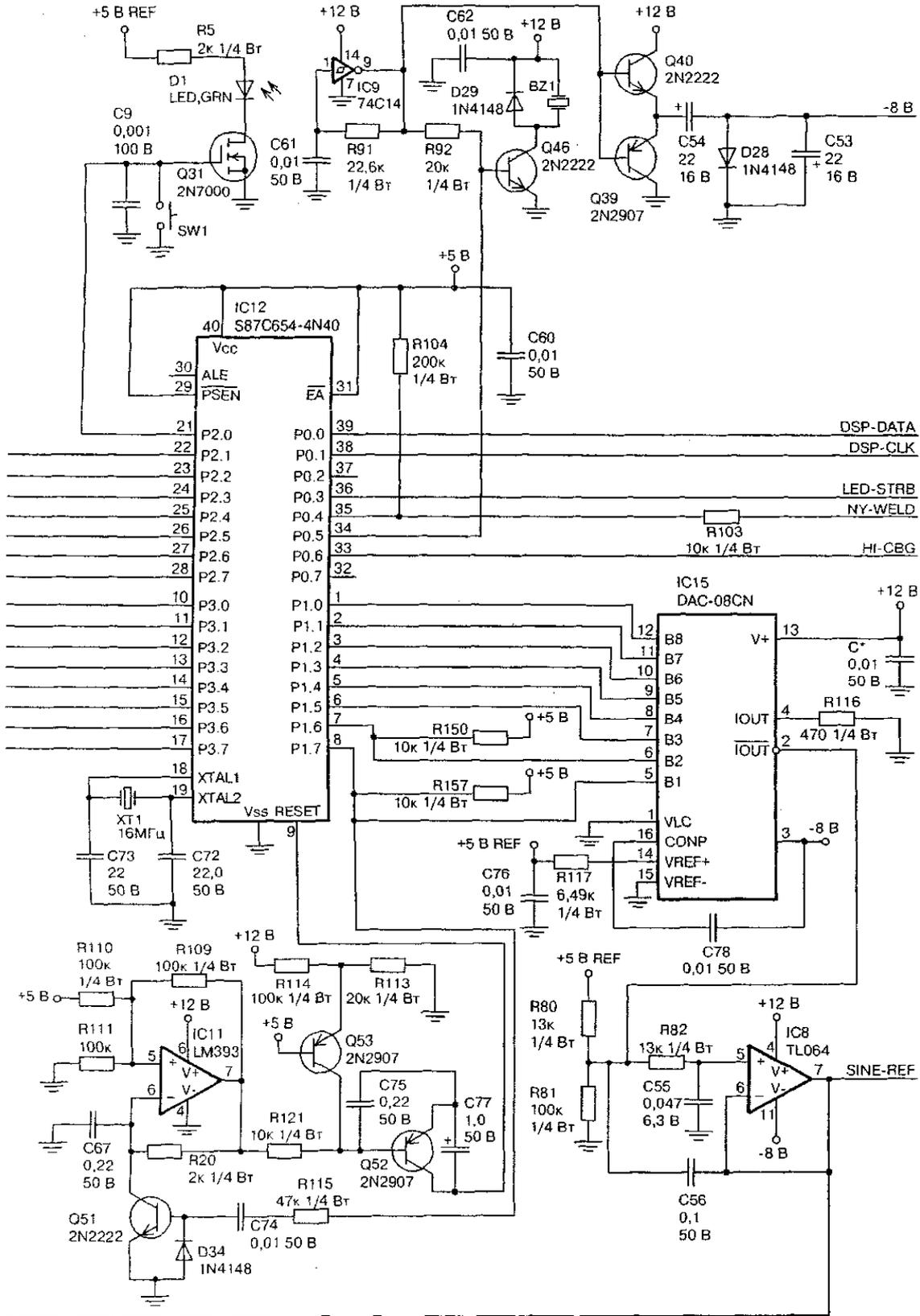


Рис. 2.34 — Принципиальная схема ИБП Smart-UPS (окончание)

3 ПОСТРОЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ (ИВЭП)

3.1 ИВЭП непрерывного действия

В ИВЭП с выходной мощностью до порядка десяти ватт широко используются отечественные интегральные стабилизаторы напряжения серии 142ЕН. Эти стабилизаторы выпускаются трех типов:

- 1) с регулируемым выходным напряжением;
- 2) с фиксированным выходным напряжением;
- 3) с двуполярным входным и выходным напряжением (выходное напряжение фиксированное, но при необходимости его можно подстраивать с помощью внешнего делителя напряжения).

Интегральные стабилизаторы характеризуются приводимой ниже системой параметров.

1. Параметры режимов эксплуатации:

- диапазон допустимого входного напряжения;
- минимальное падение напряжения на стабилизаторе;
- диапазон регулировки выходного напряжения (кроме стабилизаторов с фиксированным выходным напряжением, для них задается разброс уставки выходного напряжения);
- максимально допустимый ток нагрузки;
- максимально допустимая мощность рассеивания (отдельно с охладителем и без него).

2. Точностные параметры:

- нестабильность выходного напряжения при заданном измерении входного напряжения (нестабильность по напряжению)

$$k_U = \frac{|U_{\text{ВЫХ.1}} - U_{\text{ВЫХ.2}}|}{U_{\text{ВЫХ.1}} |U_{\text{ВХ.1}} - U_{\text{ВХ.2}}|} \cdot 100 \frac{\%}{\text{В}},$$

где $U_{\text{ВХ.1}}$, $U_{\text{ВХ.2}}$, $U_{\text{ВЫХ.1}}$, $U_{\text{ВЫХ.2}}$ — границы изменения входного и выходного напряжений;

- нестабильность выходного напряжения при заданном изменении тока нагрузки (нестабильность по току)

$$k_I = \frac{|U_{\text{ВЫХ.1}} - U_{\text{ВЫХ.2}}|}{U_{\text{ВЫХ.1}} |I_{\text{ВЫХ.1}} - I_{\text{ВЫХ.2}}|} \cdot 100 \frac{\%}{\text{А}};$$

– нестабильность по температуре

$$k_t = \frac{|U_{\text{ВЫХ.1}} - U_{\text{ВЫХ.2}}|}{U_{\text{ВЫХ.1}} |t_1 - t_2|} \cdot 100 \frac{\%}{\text{градус}},$$

где t_1, t_2 — границы изменения температуры корпуса микросхемы;

– коэффициент подавления пульсаций (сглаживания)

$$k_{\text{сг}} = 20 \lg \frac{U_{\text{ВХ.}\sim}}{U_{\text{ВЫХ.}\sim}} \text{ дБ},$$

где $U_{\text{ВХ.}\sim}, U_{\text{ВЫХ.}\sim}$ — амплитуды пульсаций входного и выходного напряжений.

Основные параметры микросхем интегральных стабилизаторов всех трех типов приведены в табл. 3.1—3.3.

Интегральные стабилизаторы напряжения с фиксированным выходным напряжением представляют собой функционально законченные микросхемы. Они отличаются большей мощностью по сравнению с двумя другими типами. Кроме того, они повышают надежность ЭА благодаря малому количеству выводов (три или четыре в зависимости от корпуса) и не требуют дополнительных внешних компонентов. Ниже рассмотрим схемы включения микросхем интегральных стабилизаторов.

Схема микросхем 142ЕН1,2 приведена на рис. 3.1.

Назначение выводов микросхемы:

4 — вход 1;

16 — вход 2;

13 — выход;

8 — общий;

6 — внутреннее опорное напряжение;

10 — для подключения датчика тока;

12 — обратная связь;

11, 14 — для подключения делителя напряжения;

2 — коррекция;

9 — для выключения.

На рис. 3.2 показана основная схема включения микросхем 142ЕН1,2.

Таблица 3.1 — Параметры интегральных стабилизаторов напряжения серии 142ЕН с регулируемым выходным напряжением

Условное обозначение	Выходное напряжение, В	Нестабильность по напряжению, $\frac{\%}{В}$	Нестабильность по току, $\frac{\%}{А}$	Минимальное падение напряжения, В	Максимальный выходной ток, А	Диапазон входного напряжения, В
142ЕН1А	3—12	0,3	11,1	4,5	0,15	от 9 до 20
142ЕН1Б	3—12	0,1	4,4	4,5	0,15	от 9 до 20
142ЕН1В	3—12	0,5	44,4	4,5	0,15	от 9 до 20
142ЕН1Г	3—12	0,5	22,2	4,5	0,15	от 9 до 20
142ЕН2А	12—30	0,3	11,1	4,5	0,15	не более 40
142ЕН2Б	12—30	0,1	4,4	4,5	0,15	не более 40
142ЕН2В	12—30	0,5	44,4	4,5	0,15	не более 40
142ЕН2Г	12—30	0,5	22,2	4,5	0,15	не более 40
142ЕН3А	3—30	0,05	0,25	3,0	1,0	от 9 до 45
142ЕН3Б	5—30	0,05	0,33	3,0	0,75	от 9,5 до 40
142ЕН4А	3—30	0,05	0,25	4,0	1,0	от 9 до 45
142ЕН4Б	5—30	0,05	0,33	4,0	0,75	от 9,5 до 40
142ЕН10	–3— –30	0,05	1,0	2,5	1,0	от –9 до –40
142ЕН11	–1,3— –37	0,02	0,33	3,5	1,5	от –5 до –41,5
142ЕН12	1,3—57	0,02	0,2	3,5	1,5	от 5 до 61,5
142ЕН13	–3— –22	0,1	10	3,0	0,1	от –9 до –25,5
142ЕН16	3—25	0,1	10	3,0	0,1	от 10 до 30

Таблица 3.2 — Параметры интегральных стабилизаторов напряжения серии 142ЕН с фиксированным выходным напряжением

Условное обозначение	Выходное напряжение, В	Нестабильность по напряжению, $\frac{\%}{В}$	Нестабильность по току, $\frac{\%}{А}$	Минимальное падение напряжения, В	Максимальный выходной ток, А	Диапазон входного напряжения, В
142ЕН5А	5±0,1	0,05	1,0	≈3	3	не более 15
142ЕН5Б	6±0,12	0,05	1,0	≈3	3	не более 15
142ЕН5В	5±0,18	0,05	1,0	≈3	2	не более 15
142ЕН5Г	6±0,21	0,05	1,0	≈3	2	не более 15
142ЕН8А	9±0,27	0,05	0,67	2,5	1,5	не более 35
142ЕН8Б	12±0,36	0,05	0,67	2,5	1,5	не более 35
142ЕН8В	15±0,45	0,05	0,67	2,5	1,5	не более 35
142ЕН8Г	9±0,36	0,1	1,5	2,5	1,5	не более 35
142ЕН8Д	12±0,48	0,1	1,5	2,5	1,5	не более 35
142ЕН8Е	15±0,60	0,1	1,5	2,5	1,5	не более 35
142ЕН9А	20±0,4	0,05	0,67	2,5	1,5	не более 40
142ЕН9Б	24±0,48	0,05	0,67	2,5	1,5	не более 40
142ЕН9В	27±0,54	0,05	0,67	2,5	1,5	не более 40
142ЕН9Г	20±0,6	0,1	1,5	2,5	1,5	не более 40
142ЕН9Д	24±0,72	0,1	1,5	2,5	1,5	не более 40
142ЕН9Е	27±0,81	0,1	1,5	2,5	1,5	не более 40

Таблица 3.3 — Параметры интегральных стабилизаторов напряжения серии 142ЕН с двуполярным выходным напряжением

Условное обозначение	Номинальное выходное напряжение, В	Диапазон выходного напряжения (обоих полярностей), В	Нестабильность по напряжению, % $\frac{\%}{В}$	Нестабильность по току, % $\frac{\%}{А}$	Минимальное падение напряжения, В	Максимальный выходной ток, А	Диапазон входного напряжения (обоих полярностей), В
142ЕН6А	$\pm 15 \pm 0,3$	5—25	0,0015	1,0	3,0	0,2	до 40
142ЕН6Б	$\pm 15 \pm 0,3$	5—25	0,005	1,0	3,0	0,2	до 40
142ЕН6В	$\pm 15 \pm 0,5$	5—20	0,0025	1,5	3,2	0,2	до 30
142ЕН6Г	$\pm 15 \pm 0,5$	5—20	0,0075	1,5	3,2	0,2	до 30
142ЕН6Д	$\pm 15 \pm 1,0$	5—25	0,005	1,0	3,0	0,2	до 40
142ЕН6Е	$\pm 15 \pm 1,0$	5—25	0,005	1,0	3,0	0,2	до 40
142ЕН15А	$\pm 15 \pm 0,5$	8—23	0,01	4,0	2,5	0,1	до 30
142ЕН15Б	$\pm 15 \pm 0,18$	8—23	0,01	4,0	2,5	0,2	до 30

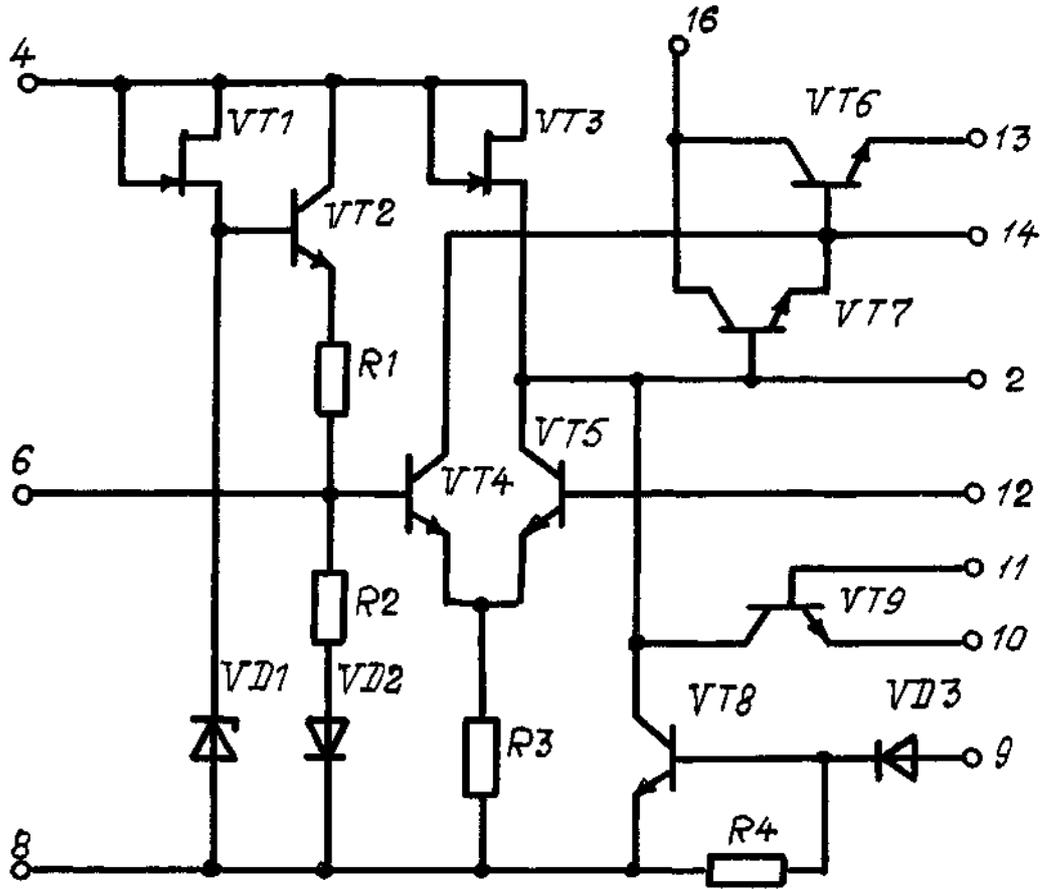


Рис. 3.1

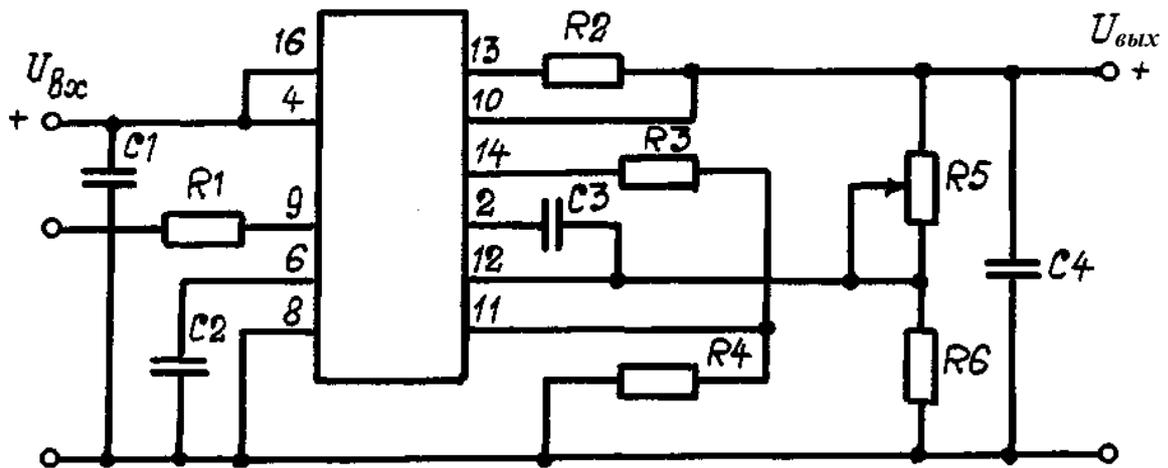


Рис. 3.2

Величина выходного напряжения устанавливается делителем напряжения $R5$, $R6$. Рекомендуемое значение сопротивлений резисторов: $R6 = 1,2 \text{ кОм}$; $R5 \leq 20 \text{ кОм}$. При этом ток делителя не должен быть менее $1,5 \text{ мА}$.

Датчик тока перегрузки $R2$ рассчитывается по соотношению:

$$R2 = \frac{U_{\text{эб}}}{I_{\text{кз}}},$$

где $U_{\text{эб}} = 0,7 \text{ В}$;

$I_{\text{кз}} < I_{\text{н max}}$ — значение величины тока при перегрузке (включая короткое замыкание), $I_{\text{н max}}$ — максимальный выходной ток стабилизатора.

Элементы $R3$, $R4$ образуют делитель, напряжение с которого поступает на базу транзистора токоограничения. Сопротивление резистора $R3 = 2 \text{ кОм}$, а сопротивление второго резистора делителя

$$R4 = \frac{U_{\text{вых}} + U_{\text{эб}}}{I_{\text{д}}},$$

где $U_{\text{вых}}$ — выходное напряжение стабилизатора;

$U_{\text{эб}} = 0,7 \text{ В}$;

$I_{\text{д}} = 0,3 \text{ мА}$ — ток делителя.

Все конденсаторы в схеме неполярные (керамические), величина емкостей $C1$, $C4$ — единицы микрофарад, $C2$ и $C3$ — сотни пикофарад.

Стабилизатор по схеме на рис. 3.2 является *стабилизатором с выходным напряжением положительной полярности* (регулирующий элемент расположен в рассечке положительной шины питания, а отрицательный зажим источника напрямую соединен с нагрузкой). С помощью дополнительного транзистора $VT2$, как показано на рис. 3.3, можно получить *стабилизатор с выходным напряжением отрицательной полярности* (регулирующий элемент включен в рассечке отрицательной шины питания).

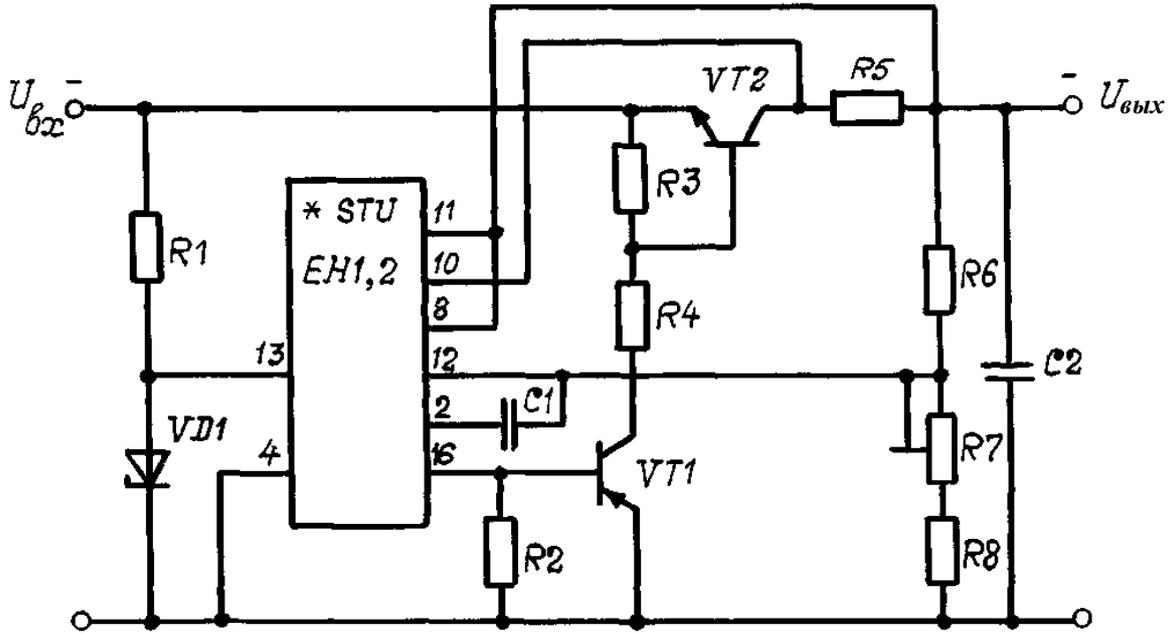


Рис. 3.3

Работает схема на рис. 3.3 следующим образом. При изменении тока нагрузки происходит изменение выходного напряжения, которое через делитель $R6, R7, R8$ передается на вывод 12 обратной связи микросхемы, усиливается и изменяет падение напряжения на резисторе $R2$. Транзистор $VT1$ усиливает изменение напряжения на резисторе $R2$ и передает в базовую цепь транзистора $VT2$. Ток транзистора $VT2$ изменяется таким образом, что компенсирует изменение напряжения на нагрузке.

Резистор $R1$ определяет рабочий ток через стабилитрон $VD1$:

$$R1 = \frac{U_{\text{вх min}} - U_{VD1}}{I_{VD1 \text{ min}} + I_{\text{рег max}}},$$

где U_{VD1} — напряжение стабилитрона $VD1$;

$I_{\text{рег max}}$ — максимальный ток регулирующего элемента микросхемы при токе нагрузки $I_{\text{вых max}}$.

Значения $I_{\text{рег max}}$, $R2$ и $R3$ находятся из выражения:

$$I_{\text{рег max}} = \frac{U_{\text{эб}VT1}}{R2} + \left(\frac{U_{\text{эб}VT2}}{R3} + \frac{I_{\text{ввых}}}{\beta_{VT2}} \right) \frac{1}{\beta_{VT1}},$$

где $U_{\text{эб}VT1}$ и $U_{\text{эб}VT2}$ — напряжения эмиттер-база транзисторов

$VT1$ и $VT2$ соответственно;

β_{VT1} и β_{VT2} — статические коэффициенты усиления транзисторов $VT1$ и $VT2$ соответственно.

Необходимо учитывать, что $I_{\text{рег max}} \geq 2$ мА. Ограничивающий резистор $R4$ выбирается с учетом того, что транзистор $VT1$ не должен переходить в область насыщения при токе нагрузки $I_{\text{вых max}}$:

$$R4 \leq \frac{U_{\text{вх min}} - (U_{\text{эк } VT1 \text{ min}} + U_{\text{эб } VT2})}{I_{\text{к } VT1 \text{ max}}},$$

где $U_{\text{эк } VT1 \text{ min}}$ — минимальное напряжение эмиттер-коллектор транзистора $VT1$, при котором он работает в активной области;

$I_{\text{к } VT1 \text{ max}}$ — максимальный ток транзистора $VT1$ при токе нагрузки $I_{\text{вых max}}$.

Напряжение U_{VD1} стабилитрона $VD1$ находится в пределах:

$$4 \text{ В} < U_{VD1} < 7 \text{ В}.$$

Минимальное выходное напряжение стабилизатора равно допустимому минимальному входному напряжению микросхемы, а максимальное выходное напряжение стабилизатора равно допустимому максимальному напряжению микросхемы.

Для упрочнения стабилизаторов, т.е. для увеличения выходного тока, в схему на рис. 3.2 добавляются мощные транзисторы, как показано на рис. 3.4 (остальная часть схемы остается прежней).

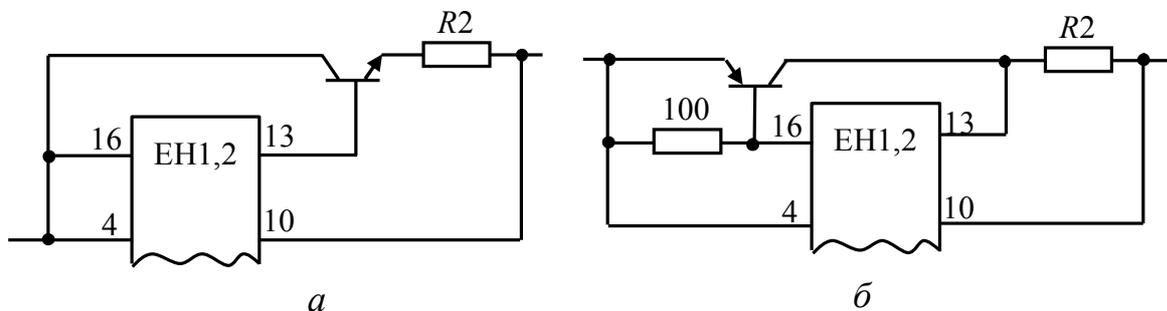


Рис. 3.4 — Схемы стабилизаторов с упрочнением:

а — дополнительным транзистором *n-p-n* типа;

б — дополнительным транзистором *p-n-p* типа

Повысить выходное напряжение стабилизатора сверх допустимого максимального выходного напряжения микросхемы $U_{\text{м max}}$ можно с помощью схемы на рис. 3.5 (остальная часть схемы соответствует рис. 3.2).

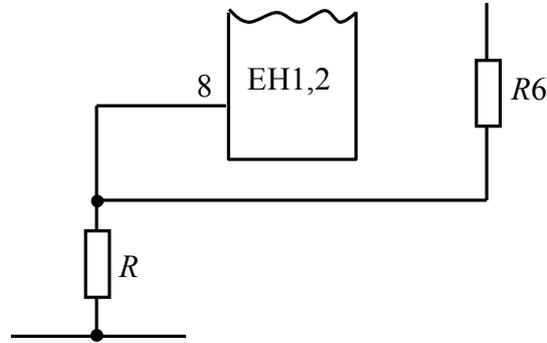


Рис. 3.5

Сопротивление дополнительного резистора

$$R = \frac{U_{\text{вх}} - U_{\text{м max}}}{I_{\text{пот}}},$$

где $I_{\text{пот}}$ — ток, потребляемый микросхемой (берется из справочных данных).

Для повышения стабильности выходного напряжения вывод 4 микросхемы можно питать от отдельного источника стабильного напряжения, либо поставить стабилитрон последовательно с резистором $R5$ (см. рис. 3.2).

Микросхемы 142ЕН3,4 более мощные, обладают большей стабильностью, требуют меньшее число внешних компонентов, имеют встроенную защиту от перегрева и перегрузок по току.

Основная схема включения микросхем 142ЕН3,4 приведена на рис. 3.6.

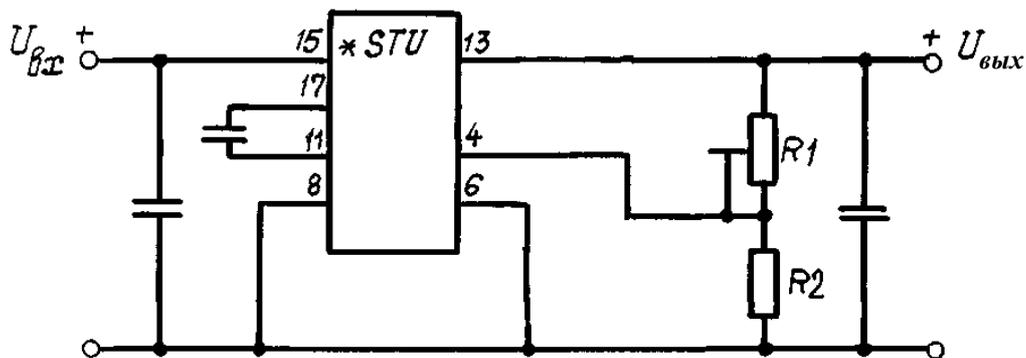


Рис. 3.6

Все конденсаторы — неполярные. Емкости их следующие: на входе — не менее 2,2 мкФ, на выходе — не менее 0,68 мкФ, в цепи коррекции между выводами 11 и 17 — не менее 0,01 мкФ.

Сопротивления резисторов $R1$ и $R2$ выбираются согласно формуле:

$$U_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{ос}}(R1 + R2)}{R2},$$

где $U_{\text{ос}} = (2,6 \pm 0,26)$ В — напряжение обратной связи, подаваемое на вывод 4.

Минимальный ток делителя ($1,5 \pm 0,225$) мА.

В стабилизаторе напряжения с увеличенным выходным током используется мощный внешний транзистор, как показано на рис. 3.7.

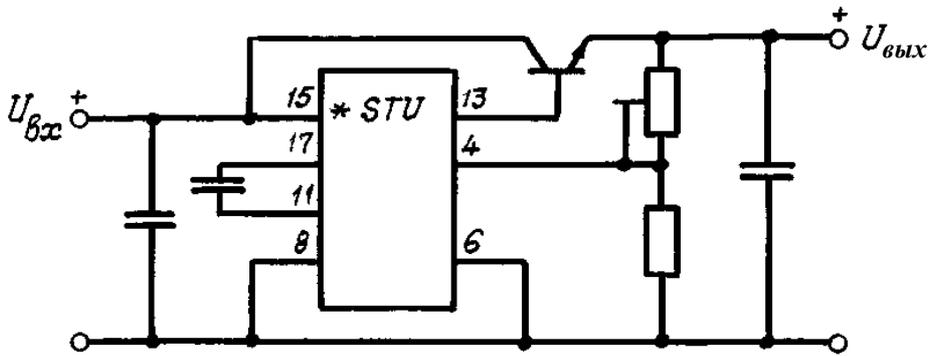


Рис. 3.7

Для повышения надежности рекомендуется использовать внутреннюю схему тепловой защиты согласно рис. 3.8.

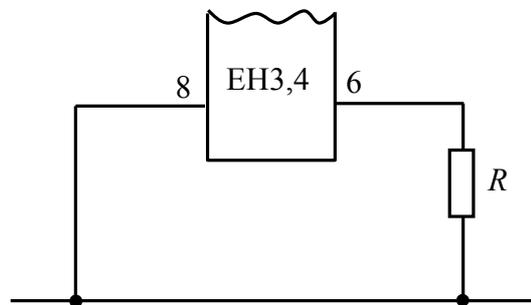


Рис. 3.8

Включенный в схему резистор служит для регулирования порога срабатывания тепловой защиты в диапазоне температуры

корпуса микросхемы от 65 до 100 °С. Значение сопротивления резистора рассчитывается по формуле:

$$R = \frac{k \cdot t_k - 6,65}{1 - 0,42k \cdot t_k},$$

где коэффициент $k = 0,037 \frac{1}{^\circ\text{C}}$;

t_k — температура корпуса, при которой необходимо срабатывание тепловой защиты.

В схеме на рис. 3.6 встроенная защита выключает микросхему при $t_k = 175 \text{ } ^\circ\text{C} \pm 10 \%$.

Схема включения микросхемы с внутренней схемой защиты от перегрузок по току приведена на рис. 3.9.

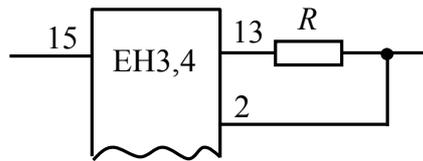


Рис. 3.9

Ограничивающий резистор R рассчитывается по формуле:

$$R = \frac{M - N - 0,023(U_{\text{ВХ}} - U_{\text{ВЫХ}})}{I_{\text{пор}}},$$

где $M = 1,25 \text{ В}$ и $N = 0,5 \text{ Ом} \cdot I_{\text{пор}}$ — величины, определяемые параметрами микросхемы;

$$I_{\text{пор}} = \frac{1,25 P_{\text{рас max}}}{U_{\text{ВХ}} - U_{\text{ВЫХ}}} \text{ — пороговый выходной ток, при котором}$$

срабатывает схема защиты;

$$I_{\text{пор}} \leq I_{\text{ВЫХ max}};$$

$P_{\text{рас max}}$ — максимальная мощность рассеяния микросхемы.

Допускается не включать резистор R (см. рис. 3.9), если тепловая защита обеспечивает $t_k < 100 \text{ } ^\circ\text{C}$ и при этом $U_{\text{ВХ}} < 20 \text{ В}$.

Основная схема включения микросхем с фиксированным выходным напряжением 142ЕН5 А...Г приведена на рис. 3.10.

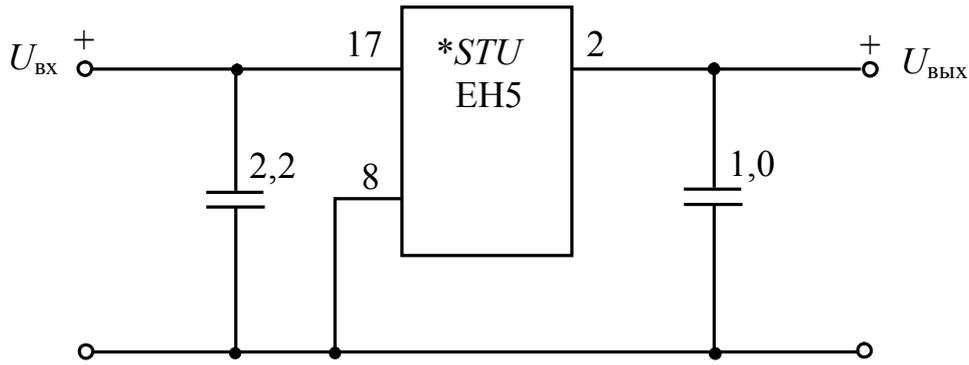


Рис. 3.10

Микросхемы имеют внутреннюю схему защиты от перегрузок по току. Датчик тока встроен в микросхему, поэтому внешнего резистора в качестве датчика не требуется.

Для увеличения выходного напряжения относительно паспортного значения используется схема на рис. 3.11.

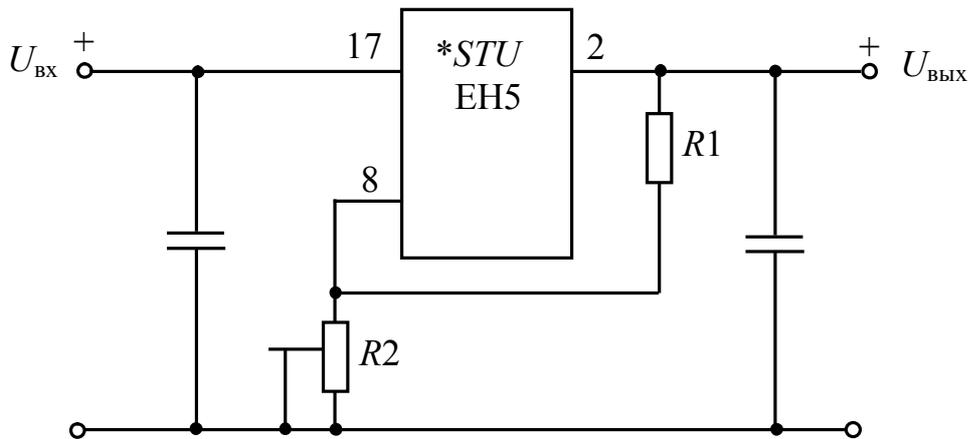


Рис. 3.11

В этой схеме сопротивление резистора $R2$ выбирается из соотношения

$$R2 = \frac{(U_{\text{ВЫХ1}} - U_{\text{ВЫХ}}) R1}{U_{\text{ВЫХ}} + 0,01 \text{А} \cdot R1},$$

где $U_{\text{ВЫХ1}}$ — выходное напряжение схемы (см. рис. 3.11);

$U_{\text{ВЫХ}}$ — выходное напряжение микросхемы;

$R1 = 300 \text{ Ом}$.

Если для микросхемы 142EH5 максимальное напряжение

15 В, то данной схемы входное напряжение можно увеличить до 20 В.

Хотя микросхемы 142ЕН5 обеспечивают самый большой выходной ток, этот параметр можно еще повысить с помощью внешних компонентов. Схема такого стабилизатора с шунтирующим транзистором приведена на рис. 3.12.

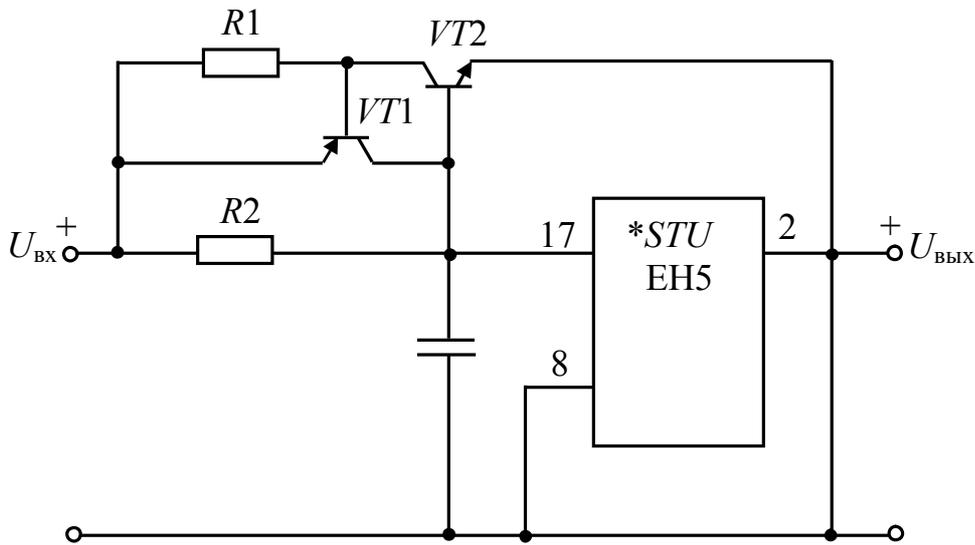


Рис. 3.12

Схема работает следующим образом. При малом значении тока нагрузки падение напряжения на резисторе $R2$ невелико и транзистор $VT2$ закрыт. При увеличении тока нагрузки увеличивается падение напряжения на резисторе $R2$ и транзистор $VT2$ открывается, причем ток в нагрузку поступает двумя путями: через микросхему и через шунтирующий транзистор $VT2$. При определенном значении тока падение напряжения на резисторе $R1$ открывает транзистор $VT1$, шунтируя переход эмиттер-база транзистора $VT2$. Благодаря этому ограничивается ток на заданном уровне даже при коротком замыкании в нагрузке, а микросхема отключается от коротко-замкнутой цепи собственной внутренней защитой.

Микросхемы двуполярных стабилизаторов 142ЕН6 А...Е имеют в каждом канале узел токовой защиты и общий узел защиты от перегрева кристалла. Допускается подключение нагрузки к одному из каналов или к двум каналам одновременно. При подключении нагрузки одновременно к двум каналам допускается

эксплуатация микросхем при несимметричном входном напряжении на каналах или же при несимметричной нагрузке каналов выходным током. Основная схема включения микросхем 142ЕН6 приведена на рис. 3.13.

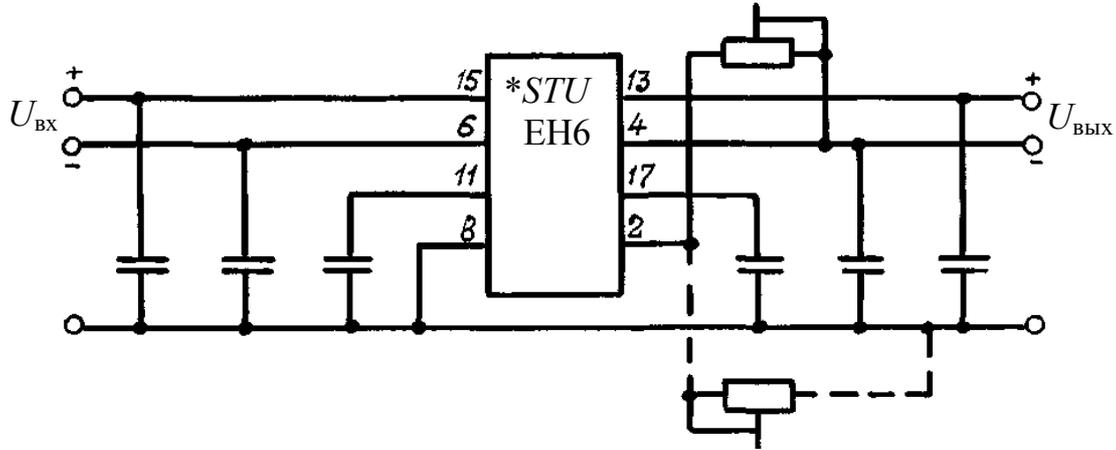


Рис. 3.13

Подключенный сплошными соединениями подстроечный резистор сопротивлением 6,8 кОм позволяет регулировать выходное напряжение вверх относительно номинального значения 15 В, а подключенный штрихом — вниз от номинального значения. Регулировка положительного и отрицательного каналов осуществляется симметрично. При отсутствии подстроечных резисторов (вывод 2 микросхемы не используется) стабилизатор работает в режиме фиксированного выходного напряжения 15 В.

Умощненная схема стабилизатора с шунтирующими транзисторами и ограничением тока приведена на рис. 3.14.

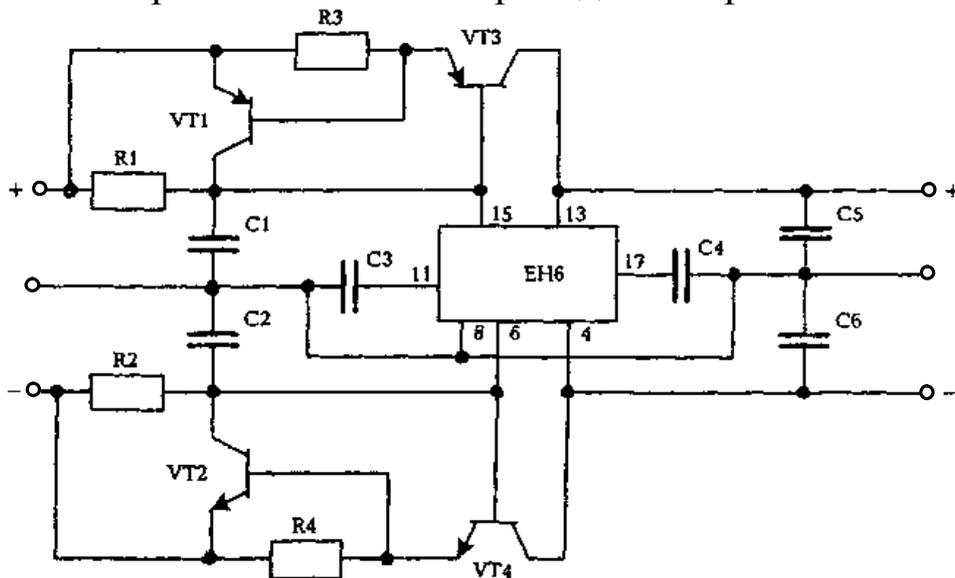


Рис. 3.14

Микросхема 142ЕН15 отличается по эксплуатационным свойствам от только что рассмотренной 142ЕН6 тем, что в каждом из каналов выходное напряжение регулируется независимо. основная схема включения микросхемы 142ЕН15 приведена на рис. 3.15, а усиленная схема стабилизатора с шунтирующими транзисторами — на рис. 3.16. При отсутствии подстроечных резисторов реализуется режим с фиксированным выходным напряжением.

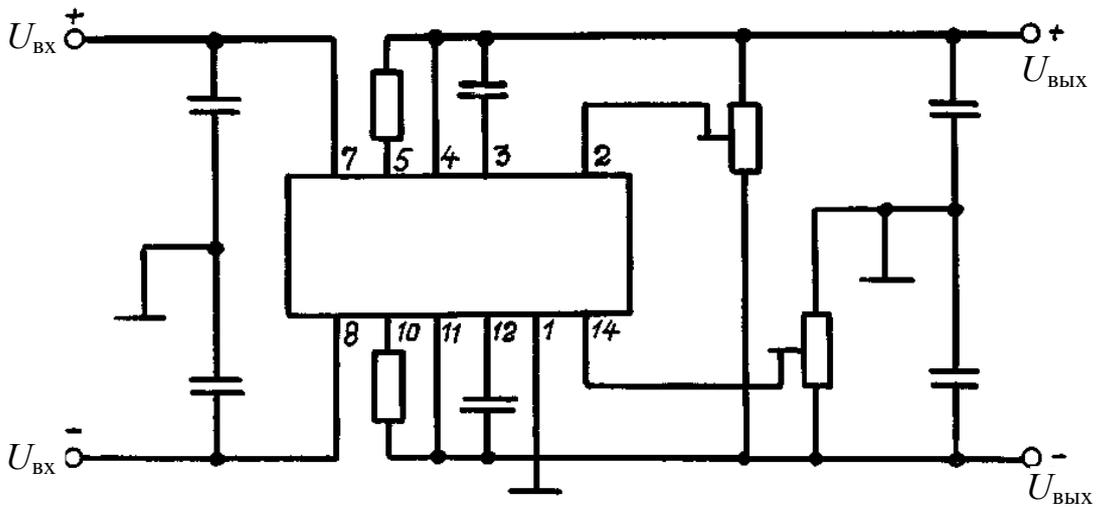


Рис. 3.15

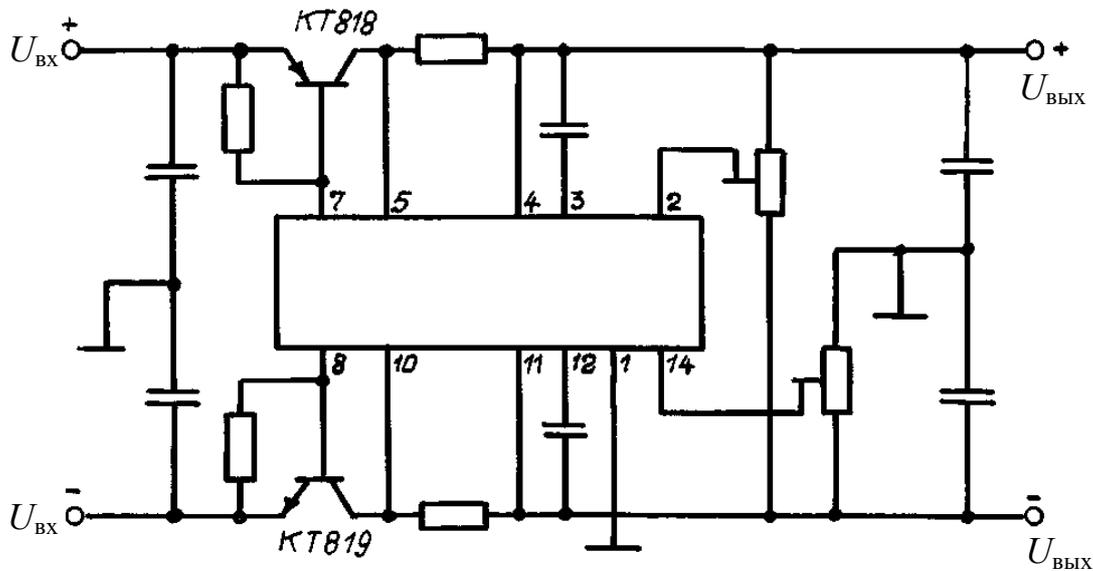


Рис. 3.16

На рис. 3.17—3.19 представлен внешний вид рассмотренных выше микросхем.

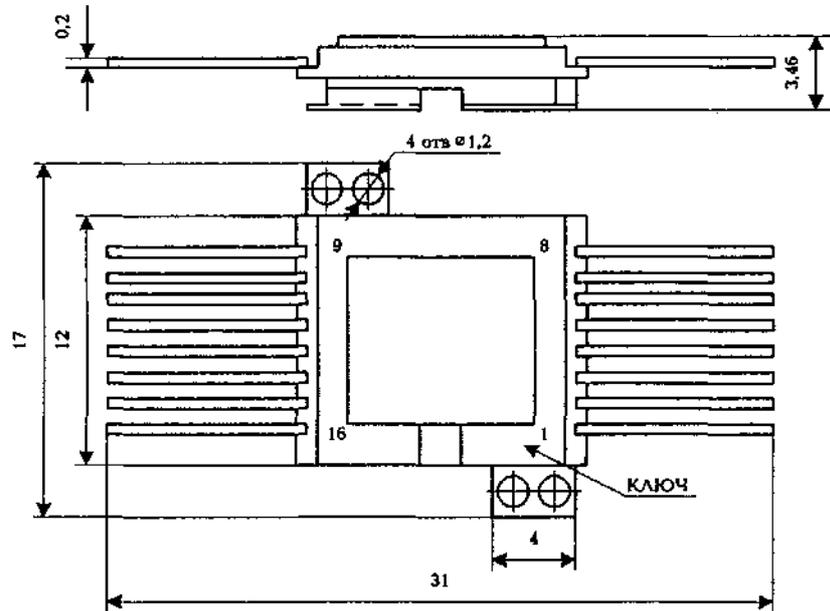


Рис. 3.17 — Общий вид микросхем 142ЕН1 и 142ЕН2

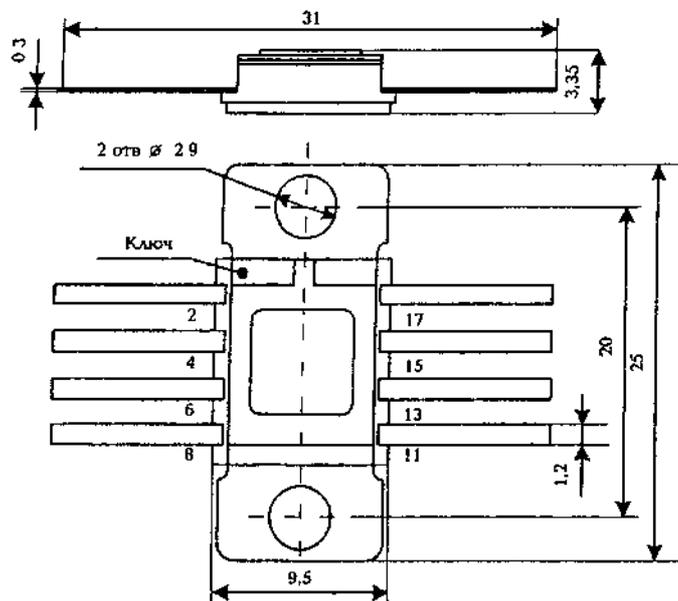


Рис. 3.18 — Общий вид микросхем 142ЕН3, 142ЕН4, 142ЕН6 и 142ЕН10

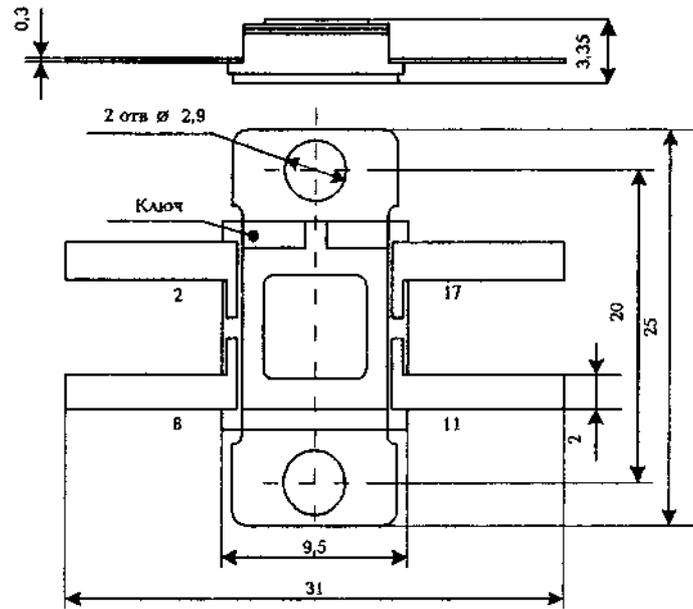


Рис. 3.19 — Общий вид микросхем 142ЕН5, 142ЕН8, 142ЕН9, 142ЕН11 и 142ЕН12

3.2 Стабилизаторы постоянного напряжения ключевого типа (*DC/DC*-преобразователи)

При мощности нагрузки от десяти (и даже единиц ватт) и выше в современной ЭА применяются стабилизаторы постоянного напряжения ключевого типа. При соизмеримых уровнях входного и выходного напряжения такие стабилизаторы выполняются без гальванической развязки на базе непосредственных преобразователей постоянного напряжения (понижающая, повышающая или инвертирующая схема), а при существенной разнице между уровнями этих напряжений — на базе однотактных преобразователей, содержащих высокочастотные трансформаторы. Причем такие ключевые стабилизаторы выпускаются серийно в виде функционально и конструктивно законченных сборок (модулей), требующих минимума дополнительных внешних элементов.

Схемотехника силовой цепи перечисленных преобразователей хорошо известна и является классической. Поэтому внимание фирм-производителей сосредоточено на таких вопросах, как надежность, электромагнитная совместимость, стабильность при импульсной нагрузке, повышение КПД, сервисные функции и т.п.

Рассмотрим в качестве примера основные характеристики DC/DC-преобразователей без гальванической развязки, разработанных и выпускаемых фирмой *Artesyn Technologies*.

Эти преобразователи предназначены для установки непосредственно рядом с нагрузкой (point-of-load — POL). Новейшие модели таких преобразователей могут обеспечить в нагрузке ток до 60 А при номинальных значениях выходного напряжения ниже 1,1 В. Преобразователи типа POL предоставляют разработчикам силовых электронных систем возможность преодолеть целый ряд проблем, традиционно возникающих при проектировании высокоскоростных цифровых систем, посредством установки индивидуальных DC/DC-преобразователей без гальванической развязки в непосредственной близости от нагрузки. Это позволяет минимизировать падение напряжения на проводниках связи с нагрузкой и ограничить распространение радиопомех, а также обеспечивает стабильность тока при импульсном потреблении.

Нарастающая тенденция применения преобразования электроэнергии непосредственно на плате стимулируется, главным образом, стремлением разработчиков приспособиться к различным номиналам питающих напряжений современных ИМС.

На функциональных схемах (рис. 3.20—3.24) представлено несколько вариантов применения преобразователей POL в системах электропитания.

Основные характеристики DC/DC-преобразователей типа POL представлены в табл. 3.4.

Изделия серии SIP20C позволяют реализовывать экономически эффективное решение по преобразованию напряжения промежуточной шины 5 В в номинальное напряжение 3,3 В и более низкие значения напряжений. Функция регулирования выходного напряжения в широком диапазоне обеспечивает максимальную гибкость и открывает путь для дальнейших усовершенствований изделий, использующих данные преобразователи. Например, значение номинального выходного напряжения 1,5 В может быть понижено до 1 В. Локальное преобразование напряжения устраняет необходимость в перекомпоновке (переработке) существующих систем электропитания в тех случаях, когда изменяются требования к значениям питающих напряжений отдельных компонентов схемы. Преобразователи серии SIP20C разработаны для

Таблица 3.4 — Основные характеристики DC/DC-преобразователей типа POL

Выходная мощность, Вт	Номинальное выходное напряжение, В	Ток нагрузки, А	Диапазон значений напряжения питающего сети, В	КПД, %	Габаритные размеры, мм	Модель	Вариант исполнения*
9	1,5 (диапазон регулирования 87—130 % от номинала)	6	4,5—5,5	75	63,5×13,97×5,84	SIP20C-05S1V5	-R
15	2,5 (диапазон регулирования 60—110 % от номинала)	6	4,5—5,5	82	63,5×13,97×5,84	SIP20C-05S2V5	-R
20	3,3 (диапазон регулирования 60—115 % от номинала)	6	4,5—5,5	90	63,5×13,97×5,84	SIP20C-05S3V3	-R
20	0,9 (диапазон регулирования 0,9—3,3 В)	6	4,5—5,5	89	Модель для горизонтального монтажа: 30,48×15,49×13,38 Модель для вертикального монтажа: 30,48×15,49×9,78	SIL06-05SADJ	-V -H
30	0,9 (диапазон регулирования 0,9—5 В)	6	10,2—13,8	91	Модель для горизонтального монтажа: 30,48×15,49×13,38 Модель для вертикального монтажа: 30,48×15,49×9,78	SIL06-12SADJ	-V -H

Продолжение табл. 3.4

Выходная мощность, Вт	Номинальное выходное напряжение, В	Ток нагрузки, А	Диапазон значений напряжения питающего сети, В	КПД, %	Габаритные размеры, мм	Модель	Вариант исполнения*
50	0,9 (диапазон регулирования 0,9—3,3 В)	15	4,5—5,5	89	Модель для горизонтального монтажа: 30,48×27,94×12,08 Модель для вертикального монтажа: 30,48×31,50×10,186	SIL15-05SADJ	-V -H
75	0,9 (диапазон регулирования 0,9—5 В)	15	10,2—13,8	91	Модель для горизонтального монтажа: 30,48×27,94×12,08 Модель для вертикального монтажа: 30,48×31,50×10,186	SIL15-12SADJ	-V -H
66	3,3/2,5	20	10,8—13,2	86/82	69,85×34,93×1/4,92	NXA66-12P3V3	
110	1,85—1,1	60	11—13,2	88/80	96,52×66,421×14,3	NXI110-12P1V8C	
150	2,5 (диапазон регулирования 2,5—5 В)	30	10,2—13,8	91	Модель для горизонтального монтажа: 60,96×31,75×11,94 Модель для вертикального монтажа: 60,96×35,31×12,8	SIL30-12SADJ	-V -H

Окончание табл. 3.4

Выходная мощность, Вт	Номинальное выходное напряжение, В	Ток нагрузки, А	Диапазон значений напряжения питающего сети, В	КПД, %	Габаритные размеры, мм	Модель	Вариант исполнения*
8-33	<p>Модели с фиксированным номиналом 0,8; 1,0; 1,2; 1,5; 1,8; 2,0; 2,5; 3,3 В</p> <p>Модель с возможностью регулирования выходного напряжения в диапазоне 0,8—3,6 В</p>	10	<p>3,0—5,5</p> <p>4,5—5,5</p>	84—96	<p>Модель для горизонтального монтажа: 50,8×12,70×8,03</p> <p>Модель для вертикального монтажа: 50,80×7,80×12,7</p>	<p>SIL10-05S0V8</p> <p>5IL10-05S1V0</p> <p>5IL10-05S1V2</p> <p>SIL10-05S1V5</p> <p>SIL10-05S1V8</p> <p>SIL10-05S2V0</p> <p>SIL10-05S2V5</p> <p>SIL10-05S3V3</p> <p>5IL10-05W3V3</p>	<p>-V</p> <p>-H</p>

* Варианты исполнения: -R — с отдельным входом дистанционного включения-выключения; -V — для вертикального монтажа на печатной плате; -H — для горизонтального монтажа на печатной плате.

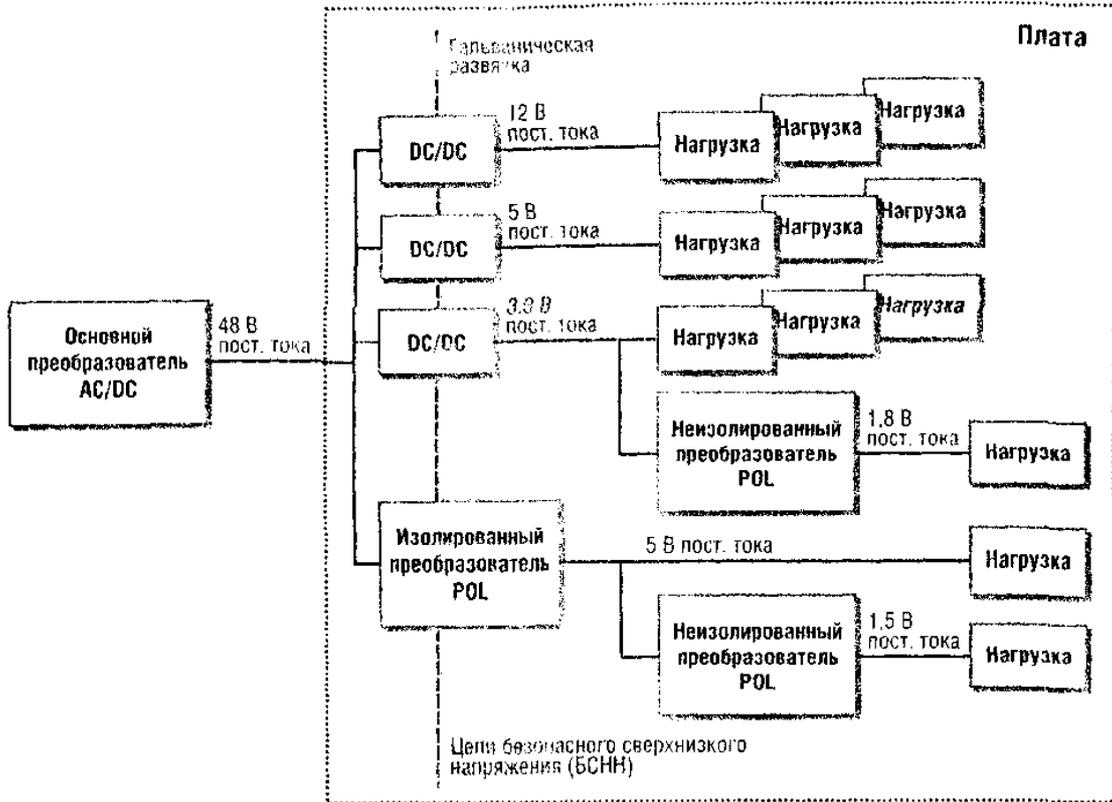


Рис. 3.20 — Распределенная система электропитания с однократным преобразованием

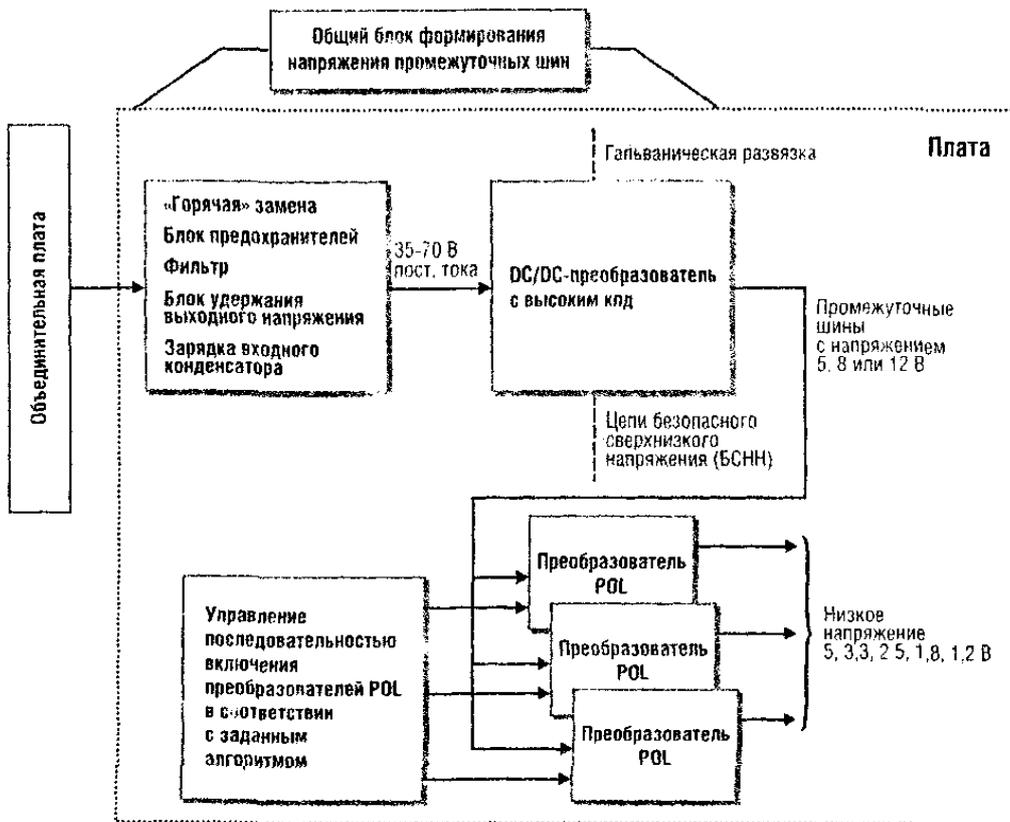


Рис. 3.21 — Распределенная система электропитания с двойным преобразованием

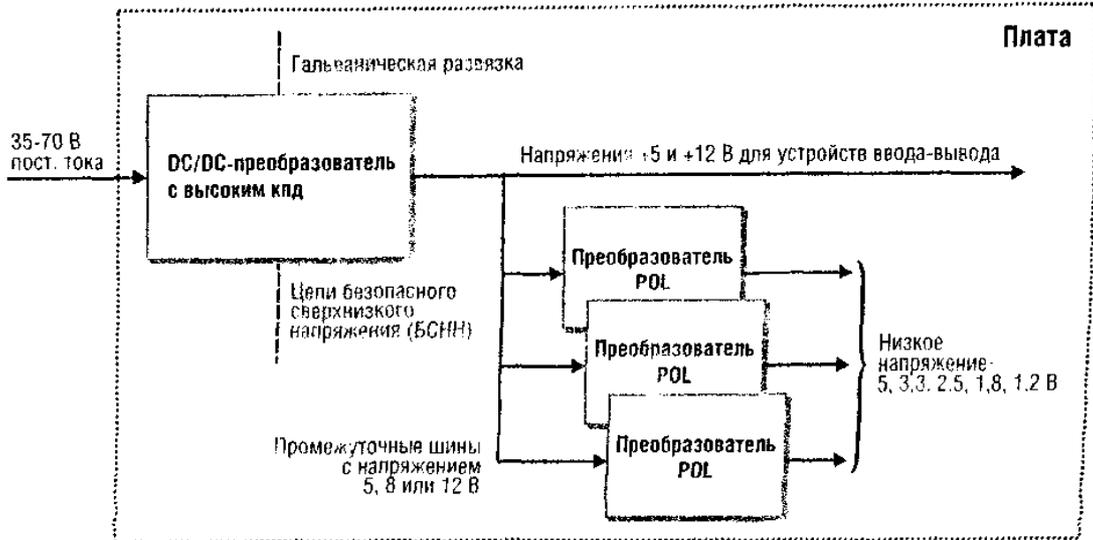


Рис. 3.22 — Распределенная система электропитания для современных средств связи

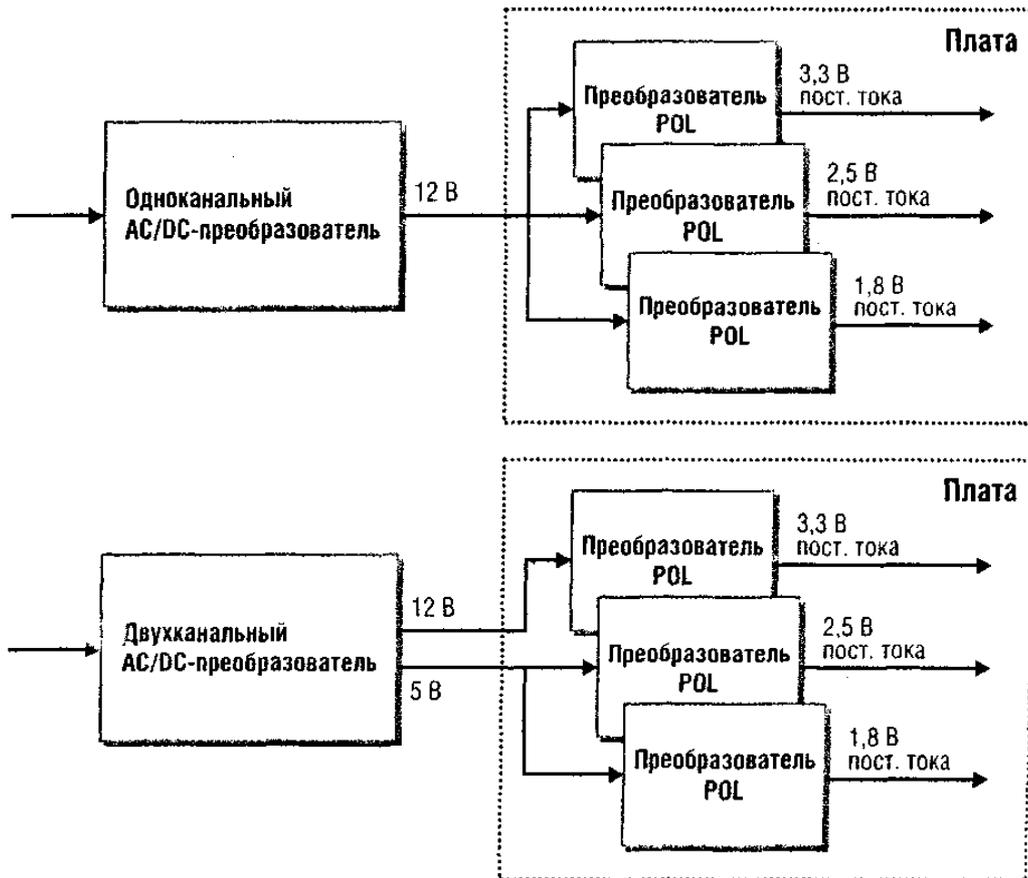


Рис. 3.23 — Система электропитания с формированием напряжений промежуточной шины AC/DC-преобразователем

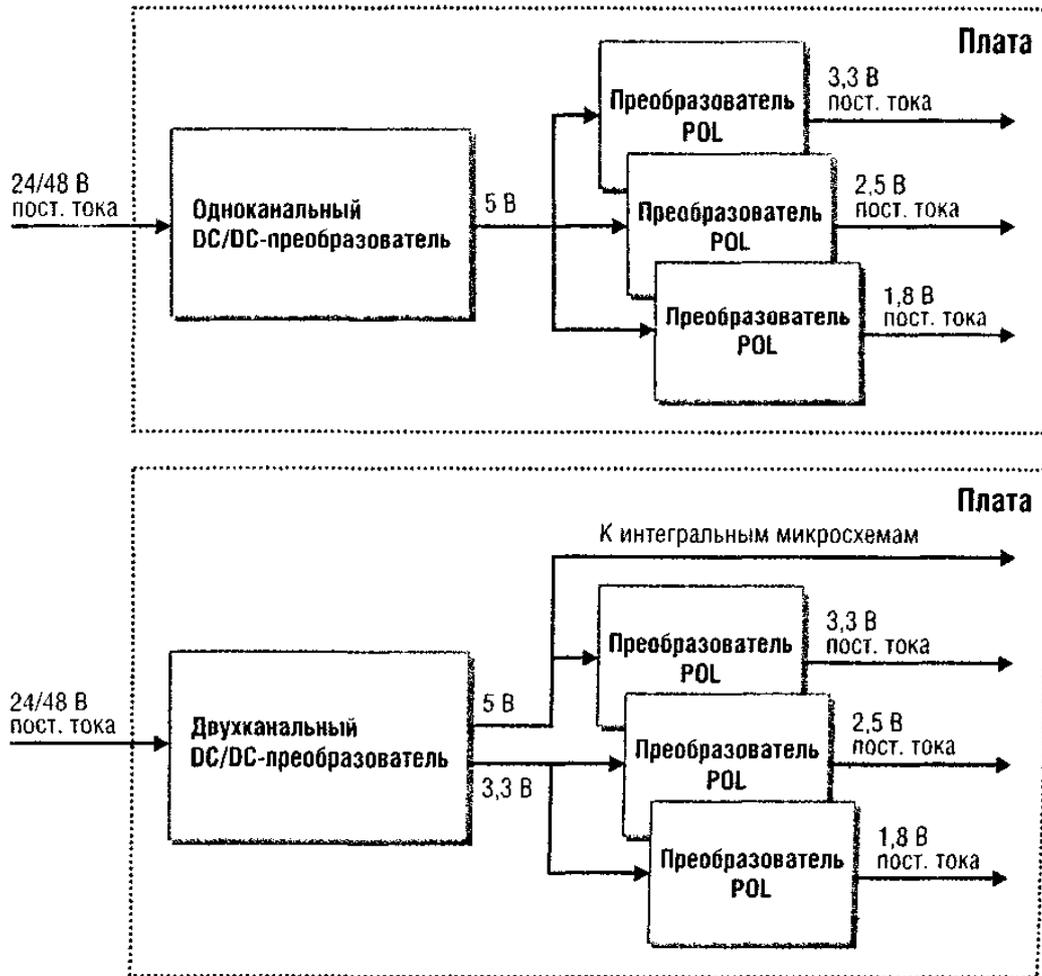


Рис. 3.24 — Система электропитания с формированием напряжений промежуточной шины DC/DC-преобразователем

применений в распределенных системах электропитания, а также для формирования питающих напряжений рабочих станций, компьютеров, коммуникационных процессоров. Использование режима синхронного выпрямления и современной технологии поверхностного монтажа обеспечивает изделиям серии S1P20C компактную конструкцию и значение КПД до 90 %.

С целью обеспечения соответствия специальным требованиям при работе изделий S1P20C в составе комплексов аппаратуры предусмотрены следующие сервисные функции:

- защита по току (при нагрузке менее 100 мОм устройство отключается);
- защита от перенапряжений по входу;
- защита от пониженного напряжения питающей сети;
- защита от перегрева;

- выносная обратная связь;
- регулирование выходного напряжения:
 - для модели S3V3 — 60—115 % от номинального напряжения,
 - для модели S2V5 — 60—110 % от номинального напряжения,
 - для модели S1V5 — 87—130 % от номинального напряжения.

DC/DC-преобразователи серий SIL06/SIL15 имеют конструкцию открытого типа и предназначены для применения в качестве регуляторов напряжения в условиях ограниченного монтажного пространства.

Основными особенностями преобразователей данных серий являются:

- широкий диапазон регулирования выходного напряжения 0,9—3,3/5 В;
- защита от перегрузки по току и короткого замыкания;
- возможность работы в режиме холостого хода;
- дистанционное включение/выключение;
- формирование сигнала статуса выходного напряжения;
- защита от пониженного входного напряжения;
- компактная конструкция для вертикального и горизонтального монтажа.

Упрощенная функциональная схема преобразователя представлена на рис. 3.25.

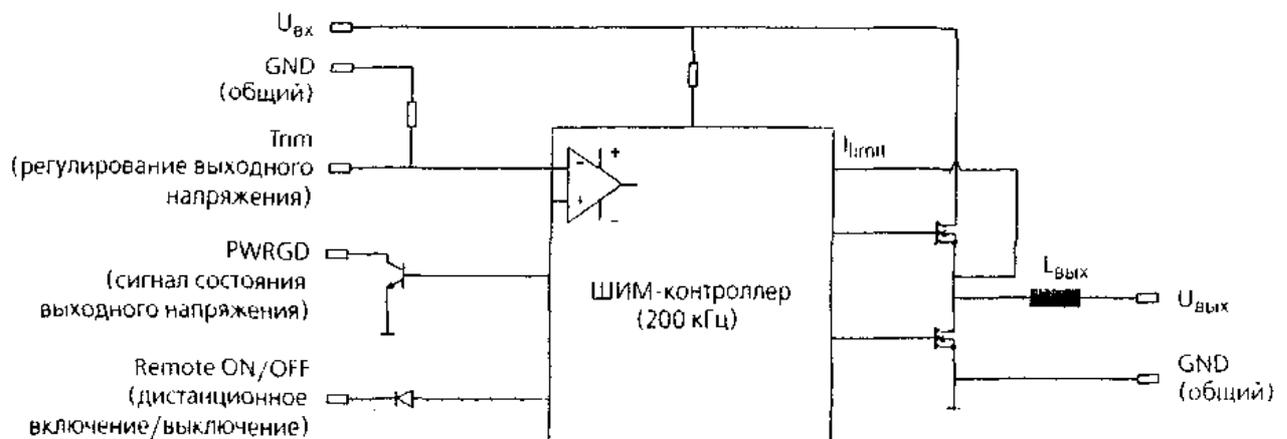


Рис. 3.25 — Упрощенная функциональная схема преобразователей серий SIL06/SIL15

Преобразователи серий SIL06/SIL15 представляют собой импульсные регуляторы с параллельным дросселем и последовательным ключевым элементом.

Устройство включается/выключается логическим сигналом, поступающим на вход Remote ON/OFF; регулирование выходного напряжения обеспечивается подключением внешнего резистора между входом Trim и GND («земля/общий»). Низкий уровень сигнала состояния выходного напряжения PWRGD (power good) формируется ШИМ-контроллером и выдается через схему с открытым коллектором в тех случаях, когда значение выходного напряжения выходит за пределы допуска. Высокий уровень сигнала PWRGD формируется в случае, когда напряжение на выходе преобразователя находится в пределах допуска.

Конструктивно преобразователи открытого типа выполнены с применением компонентов для поверхностного монтажа, причем силовые компоненты размещены на одной стороне печатной платы, а все маломощные управляющие компоненты — на другой. Рассеивание мощности силовыми компонентами организовано таким образом, чтобы обеспечить нормальный тепловой режим для управляющих компонентов.

Встроенная схема блокировки выключает преобразователь в случае, когда входное напряжение становится ниже минимального предела. Модели с диапазоном входных напряжений 4,5—5,5 В (5 В) блокируются при значениях входного напряжения между 4,2 и 4,4 В. Для моделей с диапазоном входных напряжений 10,2—13,8 В (12 В) блокировка происходит при значениях входного напряжения между 7,3 и 7,7 В.

Преобразователи серий SIL06/SIL15 имеют встроенные устройства защиты от перегрузки по току и короткого замыкания в нагрузке. Модуль непрерывно контролирует ток, протекающий через верхний транзистор выходного каскада (рис. 3.25). При увеличении тока преобразователь сохраняет работоспособность, но переходит в пульсирующий режим выключения и запуска: он периодически включается, чтобы определить наличие перегрузки, и выключается, если это подтверждается.

Срабатывание защиты в состоянии перегрузки по току зависит от значения сопротивления сток-исток в открытом состоянии верхнего транзистора выходного каскада, так как именно величина

на падения напряжения на этом транзисторе определяет точку выключения преобразователя.

Кроме того, если модуль работает в условиях повышенных температур окружающего воздуха, сопротивление сток-исток увеличивается, что вызывает срабатывание защиты от перегрузки по току и выключение преобразователей SIL06/SIL15. Это действует как встроенная защита от перегрева, предотвращая возможное повреждение модуля при высокой температуре окружающей среды.

Сервисная функция дистанционного включения/выключения предоставляет возможность внешним схемам устанавливать преобразователи SIL в режим низкого рассеивания мощности. Модуль включается, если вывод Remote ON/OFF не задействован или находится под напряжением, соответствующим высокому уровню логического сигнала. Подача на вход Remote ON/OFF напряжения, соответствующего низкому уровню логического сигнала, переводит модуль в дежурный режим. Для надежного включения модуля сигнал разблокирования выхода должен быть выше 2,4 В, а для блокирования выходного напряжения уровень сигнала должен быть ниже 0,8 В.

Модули серии NXA66 предназначены для применения в вычислительном оборудовании, которое требует преобразования напряжения непосредственно вблизи нагрузки. Эти преобразователи характеризуются высокими энергетическими, точностными, динамическими показателями, отвечающими требованиям таких современных высокопроизводительных применений, как рабочие станции, файловые серверы, настольные компьютеры, телекоммуникационное оборудование, платы сопряжения устройств, цифровые сигнальные процессоры и устройства обработки данных. Использование режима синхронного выпрямления и равномерного распределения тока нагрузки позволяет не только применять преобразователи автономно, но и включать их параллельно для достижения более высоких значений токов в нагрузке или для резервирования. Необходимость распределения тока нагрузки возникает и в статических режимах работы преобразователя, и во время импульсного потребления тока. Передовая технология токового распределения, используемая в NXA66, делает ненужным применение сложных конфигураций типа ведущий/ведомый.

Для подключения модуля применяются позолоченные краевые печатные контакты.

Основные достоинства преобразователя NXA66-12 P3V3C:

- допускается скачкообразное (до 30 А/мкс) изменение тока нагрузки от нулевого уровня до максимального значения, время восстановления значения выходного напряжения в пределах 250 мкс;
- программируемое значение выходного напряжения в пределах от 2,5 до 3,3 В;
- дистанционное включение/выключение;
- сигнал состояния выходного напряжения;
- дублированные выводы дифференциальной выносной обратной связи.

Преобразователь напряжения NXI110-12P1V8C разработан для применения в современных микропроцессорных системах и быстродействующих логических устройствах, где предъявляются особые требования к динамическим свойствам источников питания. Передовые схемотехнические решения, отбор компонентов и оптимизация их размещения, рациональная компоновка в соответствии с тепловыми режимами обеспечивают данному преобразователю высокие энергетические показатели, высокую надежность и отличные точностные характеристики, необходимые для применения в современных микропроцессорных системах. Реализованный в NXI110-12P1V8C способ многофазового преобразования энергии обеспечивает высокую эффективность применения этого конвертора даже без дополнительных сложных схемотехнических решений.

Встроенная активная схема обеспечивает токовое распределение как и в статическом режиме, так и в режиме импульсного потребления тока в нагрузке.

Основные достоинства преобразователя NXI110:

- КПД 84 % (типичное значение при входном напряжении 12 В, выходном напряжении 1,7 В и токе нагрузки 60 А);
- многофазовое преобразование энергии;
- вход для идентификации напряжения микропроцессором:
 - 5 разрядов,
 - установка в пределах от 1,1 до 1,85 В с шагом 25 мВ;
- вход дистанционного включения/выключения;

- сигнал состояния выходного напряжения;
- дифференциальная схема выносной обратной связи;
- схема токового распределения, не требующая применения конфигурации ведущий/ведомый;
- устойчивость к скачкообразному (до 50 А/мкс) изменению тока потребления от нулевого уровня до максимального значения;
- защита от перегрузки по току и короткого замыкания;
- защита от перенапряжения;
- среднее время безотказной работы более 2 000 000 ч.

Преобразователи POL серии SIL30 характеризуются предельными значениями отклонения напряжения питающей сети постоянного тока 10,2 В и 13,8 В. Основные сервисные функции и технические характеристики этих преобразователей:

- широкий диапазон регулирования выходного напряжения от 2,5 до 5 В;
- высокий показатель удельной мощности;
- выносная обратная связь;
- сигнал состояния выходного напряжения (открытый коллектор);
- дистанционное включение/выключение (активный уровень — высокий);
- защита от пониженного напряжения питающей сети (преобразователь выключается при значении входного напряжения в диапазоне 8—8,6 В);
- защита от перегрева;
- защита от перегрузки по току и короткого замыкания в нагрузке;
- прямоугольная форма характеристики токового ограничения в режиме параллельной работы;
- диапазон рабочих температур от 0 до + 80 °С с применением принудительного обдува и с учетом запаса выходной мощности;
- нестабильность по току не более 1 %;
- нестабильность по напряжению не более 0,2 %;
- среднее время безотказной работы более 129 390 ч.

Преобразователи SIL30 выполнены с применением двухфазной топологии с параллельным дросселем и последовательным ключевым элементом. Упрощенная функциональная схема преобразователя серии SIL30 представлена на рис. 3.26.

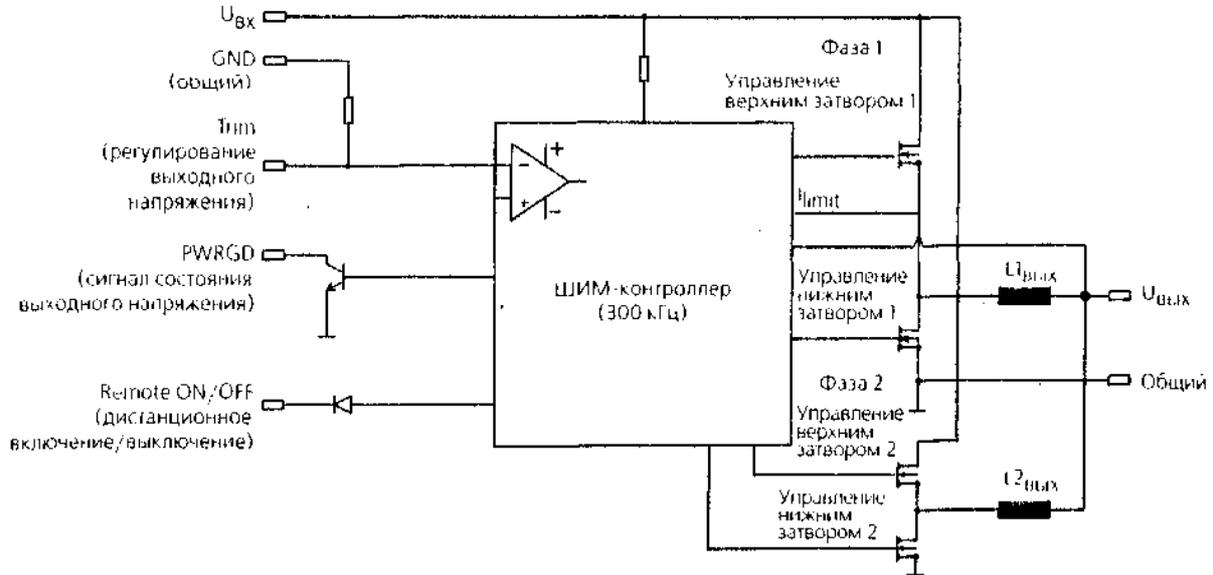


Рис. 3.26 — Упрощенная функциональная схема преобразователя серии SIL30

Набор сервисных функций у изделий SIL30 аналогичен набору сервисных функций преобразователей серий SIL06/SIL15: дистанционное включение/выключение, регулирование выходного напряжения, формирование сигнала состояния выходного напряжения. Посредством выносной обратной связи исключается падение напряжения (до 400 мВ) на соединительных линиях питания.

Параллельная работа модулей обеспечивается функцией токового распределения; конвертор распределяет ток в пределах $\pm 10\%$ от максимального значения тока нагрузки. Так как преобразователи типа SIL не имеют выходных конденсаторов, то для исключения негативного влияния индуктивного сопротивления питающей шины необходимо устанавливать в нагрузку фильтрующие конденсаторы.

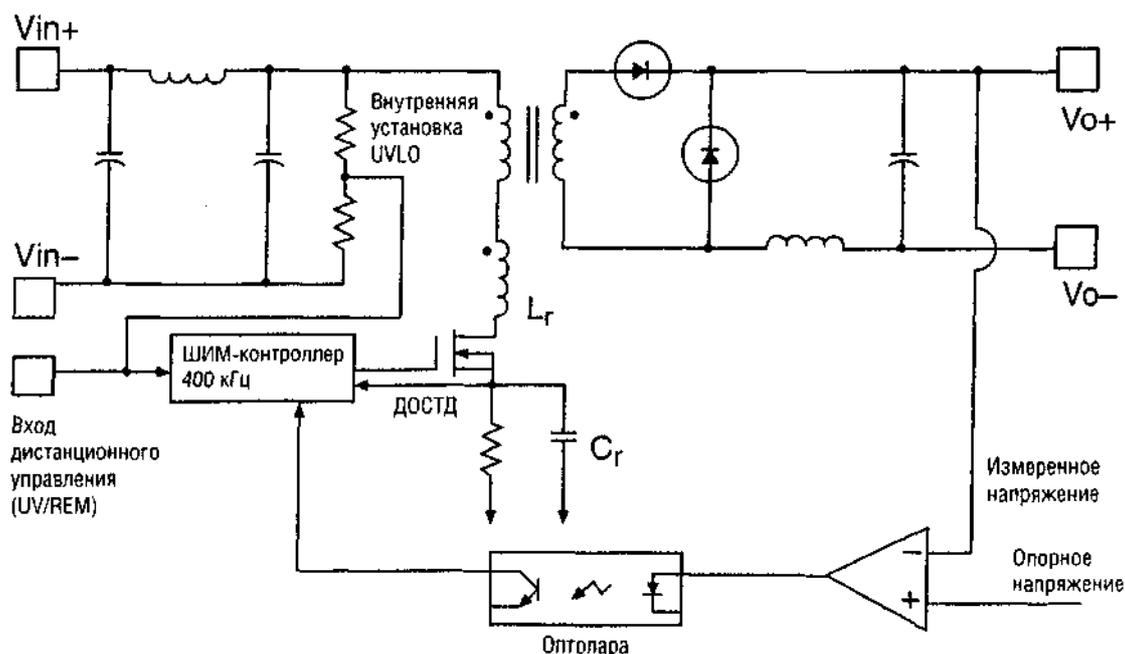
Номенклатура маломощных преобразователей с гальванической развязкой той же фирмы Artesyn Technologies представлена в табл. 3.5.

Таблица 3.5 — Преобразовательные модули класса DC/DC для поверхностного монтажа

Выходное напряжение, В		Ток нагрузки, А		Выходная мощность, Вт	Входное напряжение постоянного тока, В	Коэффициент полезного действия, %	Габаритные размеры (Д×Ш×В), мм	Тип преобразователя
Выход 1	Выход 2	Выход 1	Выход 2					
2,5		2,75		6,9	27—75	75	50,80×28,50×10,60	SXA10-48S2V5
3,3		2,75		9	27—75	79	50,80×28,50×10,60	SXA10-48S3V3
5		2		10	27—75	82,5	50,80×28,50×10,60	SXA10-48S05
12		0,833		10	27—75	84	50,80×28,50×10,60	SXA10-48S12
3,3		4		13,2	18—36	78	50,80×28,50×10,60	SXA15-24S3V3
5		3		15	18—36	82	50,80×28,50×10,60	SXA15-24S05
12		1,25		15	18—36	84	50,80×28,50×10,60	SXA15-24S12
18		6		15	33—75	83	48,39×35,31×8,51	SXE15-48S1V8 ⁽¹⁾
2,5		6		15	33—75	85	48,39×35,31×8,51	SXE15-48S2V5 ⁽¹⁾
3,3		4,5		15	33—75	86	48,39×35,31×8,51	SXE15-48S3V3 ⁽¹⁾
5		3		15	33—75	87	48,39×35,31×8,51	SXE15-48S05 ⁽¹⁾
5	3,3	3	4,5	15	33—75	87	48,39×35,31×8,51	SXE15-48D05-3V3
3,3	2,5	3,5	4,5	15	33—75	85	48,39×35,31×8,51	SXE15-48D3V3-2V5
1,8		6		10,8	33—75	83	48,39×35,31×8,51	SXN15-48S1V8 ⁽¹⁾
2,5		6		15	33—75	85	48,39×35,31×8,51	SXN15-48S2V5 ⁽¹⁾
3,3		4,5		15	33—75	86	48,39×35,31×8,51	SXN15-48S3V3 ⁽¹⁾
5		3		15	33—75	87	48,39×35,31×8,51	SXN15-48S05 ⁽¹⁾
5	3,3	3	4,5	15	33—75	87	48,39×35,31×8,51	SXN15-48005-3V3
3,3	2,5	3,5	4,5	15	33—75	85	48,39×35,31×8,51	SXN15-48D05-2V5

Примечание. Доступен сигнал дистанционного включения/выключения с активным низким значением логического уровня. Стандартный модуль выключается сигналом уровня логической единицы.

Упрощенная функциональная схема преобразователя SXA10 показана на рис. 3.27. В модулях серий SXA10/SXA15 использована однотактная прямоходовая структура преобразователя с незначительной модификацией для осуществления резонансного переключения. Дополнительная паразитная емкость C_r резонирует с индуктивностью рассеяния L_r силового трансформатора при отсечке силового транзистора и размагничивает магнитопровод трансформатора, что позволило отказаться от обмотки размагничивания.



Условные обозначения: UVLO — пороговое напряжение схемы защиты от падения входного напряжения ниже номинального; ДОСТД — сигнал дополнительной обратной связи по току дросселя.

Рис. 3.27 — Упрощенная функциональная схема преобразователя серии SXA10

Выходное напряжение преобразователя измеряется и сравнивается с постоянным опорным напряжением, сигнал ошибки передается через оптопару на ШИМ-контроллер. Рабочая частота интегрального ШИМ-контроллера с дополнительной обратной связью по току дросселя (ДОСТД) — 400 кГц. Токи оптопары излучатель/детектор и мощность рассеяния снижены приблизительно до 2 % от номинального значения для обеспечения более длительного срока службы.

Вход дистанционного управления UV/REM позволяет блокировать переключение преобразователя, а следовательно, устанавливать его в режим пониженного энергопотребления.

В изделиях серий SXA10/SXA15 предусмотрена блокировка функционирования при уменьшении входного напряжения ниже некоторого установленного значения.

По умолчанию значение уставки (UVLO) для блокировки преобразователей при понижении входного напряжения задано внутренним резистивным делителем напряжения. Устанавливая

резистор между выводами UV/REM и V_{in+} , можно уменьшить UVLO. Установка резистора между UV/REM и V_{in-} увеличивает значение UVLO.

Для регулирования выходного напряжения подключается внешний резистор по схеме на рис. 3.28. При повышении выходного напряжения необходимо привести значение тока нагрузки в соответствие с номинальным значением выходной мощности преобразователя.

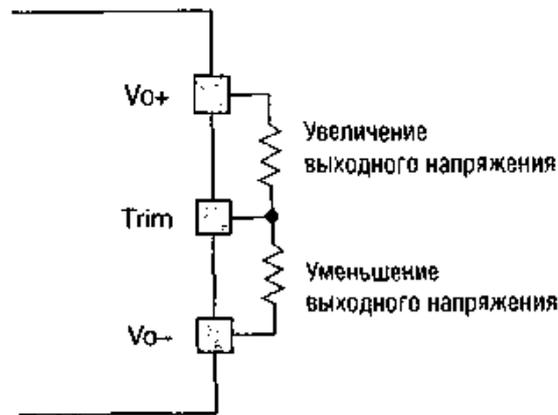


Рис. 3.28 — Схема подключения внешних резисторов для регулирования выходного напряжения

В модулях SXA10/SXA15 предусмотрены две ступени защиты от перегрузки. При перегрузке или коротком замыкании исключается рассеивание мощности на внутренних компонентах, что, в конечном счете, ведет к сохранению большого ресурса работы всего изделия. При нагрузке примерно 125 % от номинальной преобразователь попадает в «точку первого ограничения тока» и входит в режим фиксированной мощности. При большем значении тока нагрузки выходное напряжение должно снизиться. Положение «точки первого ограничения тока» зависит от температуры и от значения входного напряжения.

При более высокой перегрузке и низком выходном напряжении преобразователь переходит в пульсирующий режим выключения и запуска («hiccup mode»). «Точка второго ограничения» также зависит от температуры, и при повышенных температурах конвертор переходит в пульсирующий режим при более

низких токах нагрузки.

Преобразователи серии SXA10 гарантированно сохраняют номинальные значения параметров при условии, что температура окружающего воздуха не превышает 85 °С (для SXA15 — 70 °С) и компоновка печатной платы соответствует руководящим указаниям производителя конверторов. Это справедливо даже для использования только естественной конвекции и случаев долговременной перегрузки и короткого замыкания.

При увеличении температуры окружающего воздуха или монтажной платы до более высокого значения конвертор переходит в режим останова. Обычно это происходит в том случае, когда керамическое основание нагревается до температуры выше 140 °С. Гистерезис схемы защиты от перегрева составляет 25 °С, поэтому конвертор перезапустится только тогда, когда керамика охладится до 115 °С. При столь высоких температурах возможны изменения некоторых характеристик конвертора. Поэтому функция останова при перегреве может рассматриваться как «последняя линия обороны» на пути крупных аварий.

Очень важной характерной чертой преобразователей серий SXA10/SXA15 является высокая электрическая прочность гальванической изоляции между первичными и вторичными цепями. Это обеспечивает значительную конфигурационную гибкость для получения различных номиналов напряжений разных полярностей посредством последовательного и параллельного соединения данных модулей.

Любое количество модулей или их комбинаций может быть соединено последовательно (рис. 3.29), для того чтобы составить высокое напряжение или набор напряжений в соответствии с требованиями применения. Суммарное значение тока в этом случае ограничено наименьшим из значений тока модулей последовательной цепи. Основные параметры, такие как выходное напряжение, показатели нестабильности напряжения, пульсации будут представлены суммой соответствующих параметров отдельных модулей.

Если требуется получить выходную мощность (или ток нагрузки) большую, чем обеспечивается одним модулем, то можно соединить параллельно два или более модулей (рис. 3.30). Так как модули рассчитаны для надежной работы во всех рабочих режи-

мах, включая условия перегрузки, параллельное соединение может быть использовано даже в случае, когда значения полного сопротивления являются такими же, как для одного из конверторов в режиме продолжительного ограничения тока нагрузки.

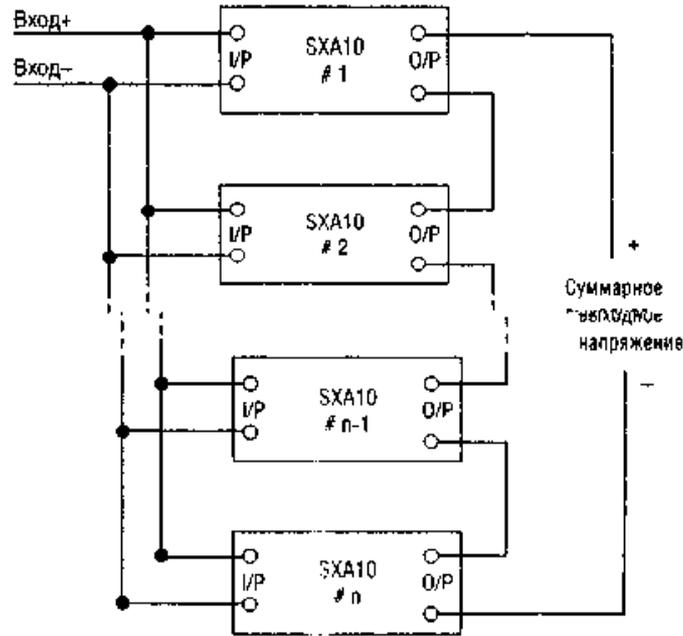


Рис. 3.29 — Последовательное соединение модулей серии SXA10

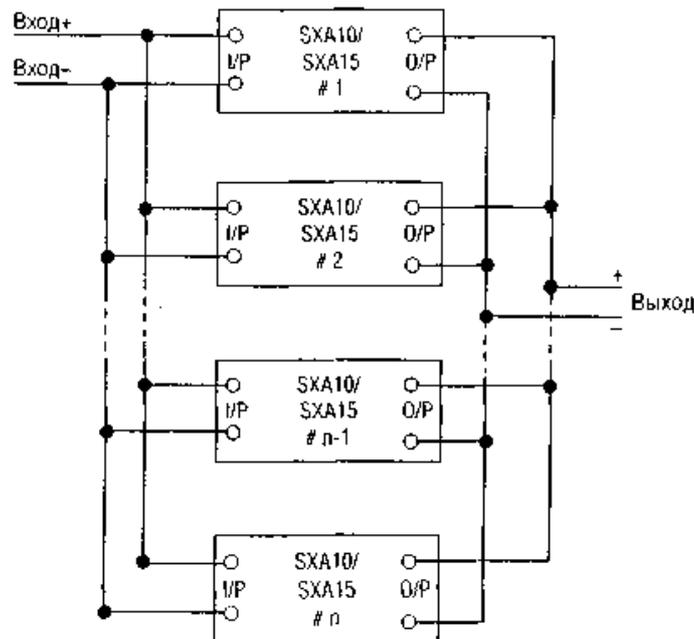


Рис. 3.30 — Схема параллельного соединения преобразователей серий SXA10/SXA15

Эксплуатационные свойства параллельного соединения конверторов могут быть улучшены путем использования дополнительных внешних компонентов, например:

- последовательных диодов на каждом выходе для развязки отдельных выходов с целью повышения общей надежности,
- последовательных выходных фильтров для сглаживания пульсаций и помех или для улучшения динамических свойств выходных характеристик.

3.3 ИВЭП с бестрансформаторным входом

Рассматриваемые в этом подразделе ИВЭП питаются от одно- либо трехфазных сетей переменного тока. Особенностью их является непосредственное выпрямление высокого низкочастотного переменного напряжения (без применения сетевого трансформатора) и наличие в структуре промежуточного звена повышенной частоты (на повышенной частоте и работает трансформатор). ИВЭП с бестрансформаторным входом используются при выходных мощностях от десятков ватт и выше.

Распространение получили две структуры построения: на основе регулируемого и нерегулируемого инверторов. Эти структуры представлены соответственно на рис. 3.31, *а*, *б*.

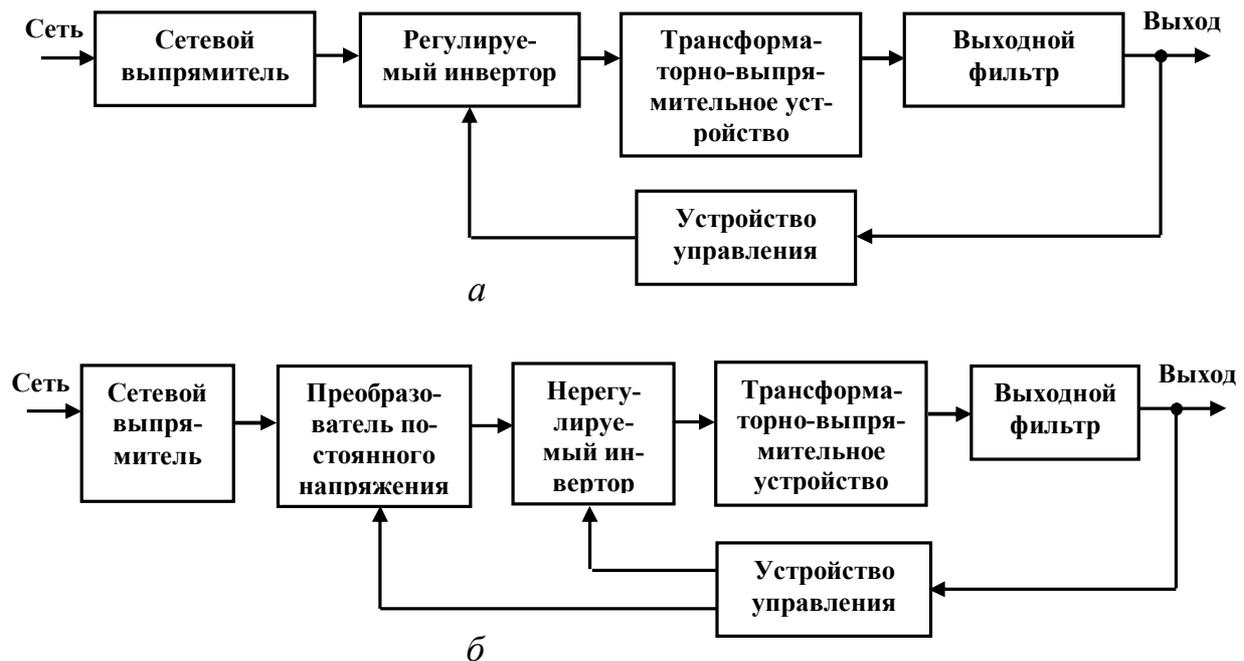


Рис. 3.31

Достоинство первой структуры — более простая схема за счет отсутствия непосредственного преобразователя постоянного напряжения. К достоинствам второй структуры можно отнести следующее. Во-первых, инвертор имеет меньшую расчетную мощность, т.к. работает на стабилизированном напряжении. Во-вторых, выходной фильтр (работающий на низком напряжении и больших токах) должен сглаживать минимум пульсаций, обусловленных лишь коммутационными паузами в работе нерегулируемого инвертора, а основные пульсации сглаживает фильтр преобразователя постоянного напряжения. Так как последний работает на повышенном напряжении, его масса и объем значительно меньше, чем у выходного фильтра в первой структуре при одних и тех же уровнях выходного напряжения и тока.

Сетевой выпрямитель выполняет функции выпрямления напряжения сети и сглаживания низкочастотных пульсаций, бесперебойность подачи энергии в нагрузку при кратковременных провалах напряжения сети ниже допустимого уровня и уменьшает уровень помех за счет применения помехоподавляющих фильтров.

Так как особых требований к сглаживанию низкочастотных пульсаций нет (их регулирующий элемент в структуре, работающий на повышенной частоте, воспринимает как нестабильность, т.е. изменение входного напряжения), а также учитывая высокий уровень выпрямленного напряжения, фильтр во входном выпрямителе выполняется всегда емкостным.

Важной задачей в ИВЭП с бестрансформаторным входом является выполнение функции ограничения тока заряда конденсатора входного выпрямителя при включении. Бросок зарядного тока конденсатора при подключении его непосредственно к сети через выпрямитель чрезвычайно велик — десятки и сотни ампер. Этот режим является недопустимым как по причине мгновенной перегрузки сети из-за ограниченной мощности первичного источника энергии, так и по причине опасности выхода из строя диодов выпрямителя и недопустимости протекания больших токов через обкладки самих электролитических конденсаторов.

Для ограничения уровня зарядного тока на период пуска источника в последовательную с конденсатором цепь включают ограничивающий ток элемент. Пример показан на рис. 3.32.

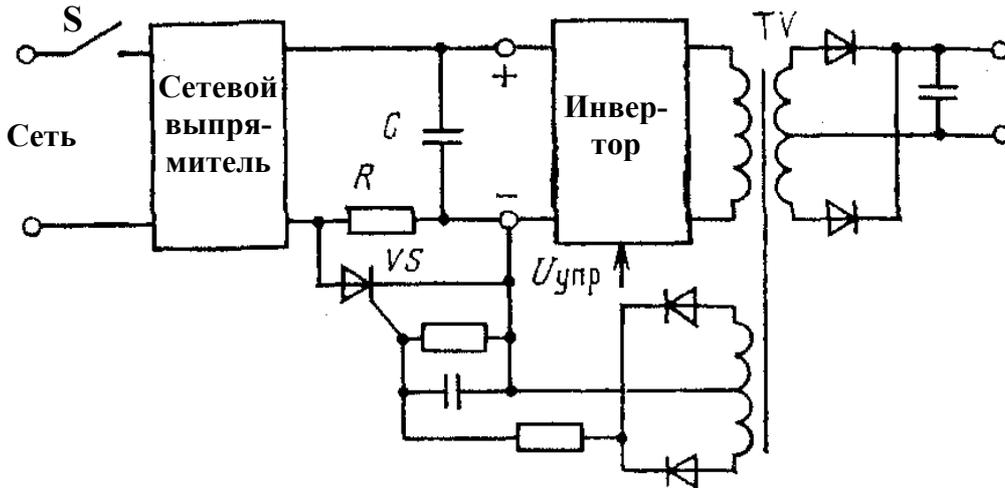


Рис. 3.32

В исходном состоянии тиристор VS выключен и при замыкании переключателя S происходит заряд конденсатора C через токоограничительный резистор R . Когда напряжение на конденсаторе достигнет заданного уровня, с устройства управления подается сигнал $U_{упр}$ на включение инвертора. При запуске инвертора с дополнительной обмотки трансформатора TV поступает напряжение на управляющий электрод тиристора. Он открывается, шунтирует резистор R и остается в этом состоянии до тех пор, пока работает инвертор. Потери на открытом тиристоре малы и практически не влияют на КПД ИВЭП. Вместо тиристора могут использоваться электромагнитное реле или транзистор.

Основное звено ИВЭП с бестрансформаторным входом — инвертор — выполняется обычно по двухтактной мостовой или полумостовой схеме, в также по схеме сдвоенных однотактных прямоходовых преобразователей.

Питание системы управления инвертором может осуществляться как от отдельного источника собственных нужд, выполненного на маломощном сетевом трансформаторе и линейном интегральном стабилизаторе, так и с выхода самого ИВЭП. Пример организации последнего варианта для полумостового инвертора показан на рис. 3.33.

Входное выпрямленное напряжение сети подается на делитель, содержащий резисторы $R4—R1$. Этот делитель является базовым для обоих силовых транзисторов $VT1$ и $VT2$. Под воздействием суммарного напряжения $U_{вх}$ на конденсаторах $C6, C7$ начи-

нает протекать ток по базовым цепям транзисторов, содержащим компоненты: положительный вывод конденсатора $C6$; резисторы $R4, R8$; переход база-эмиттер транзистора $VT1$; резисторы $R6, R9$; переход база-эмиттер транзистора $VT2$; общий провод отрицательной цепи; отрицательный вывод конденсатора $C7$. Этот ток приоткрывает оба транзистора, в результате чего через выводы $1, 2$ трансформатора $TV2$ начинают протекать токи взаимно противоположных направлений.

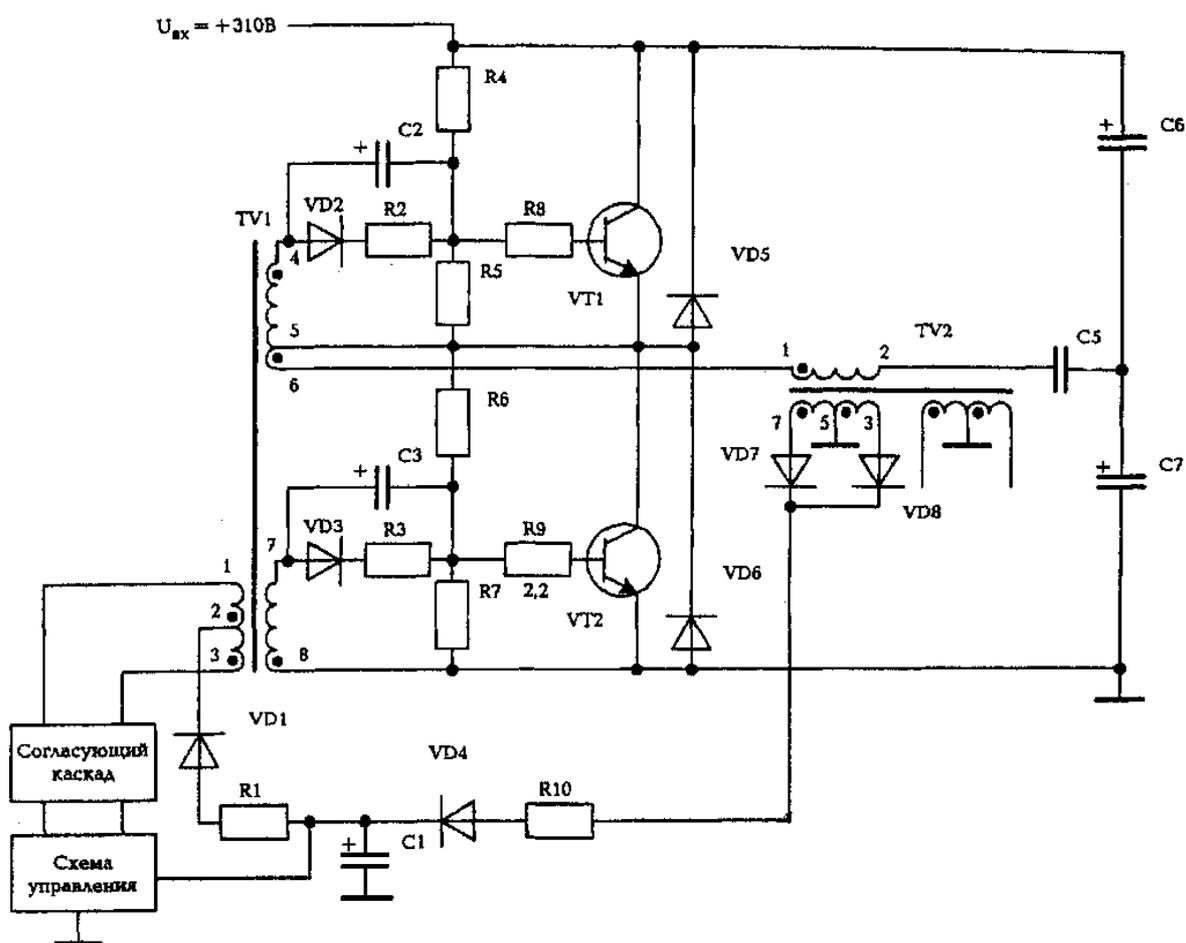


Рис. 3.33 — Схема питания с самовозбуждением ИВЭП типа GT-150W

Ток через транзистор $VT1$ протекает по цепи: положительный вывод конденсатора $C6$; шина $+310$ В; переход коллектор-эмиттер транзистора $VT1$; выводы $5, 6$ трансформатора $TV1$; выводы $1, 2$ трансформатора $TV2$; конденсатор $C5$; отрицательный вывод конденсатора $C6$.

Ток через транзистор $VT2$ протекает по цепи: положительный вывод конденсатора $C7$; конденсатор $C5$; выводы $2, 1$ транс-

форматора $TU2$; выводы 6, 5 трансформатора $TU1$; переход коллектор-эмиттер транзистора $VT2$; общий провод отрицательной цепи; отрицательный вывод конденсатора $C7$.

При равенстве токов, протекающих в противоположных направлениях через дополнительные (пусковые) витки 5, 6 трансформатора $TU1$, результирующий ток равен нулю и устройство не может запуститься. Такой режим существует только теоретически. В реальных устройствах всегда имеет место технологический разброс коэффициентов усиления по току транзисторов $VT1$, $VT2$, поэтому транзисторы приоткрыты в различной степени. В результате ток одного из транзисторов больше тока другого, результирующий ток через витки 5, 6 трансформатора $TU1$ отличен от нуля и протекает в одном из направлений.

Если транзистор $VT2$ приоткрыт в большей степени, чем $VT1$, то ток протекает от вывода 6 к выводу 5 трансформатора $TU1$. Если в большей степени приоткрыт транзистор $VT1$, то ток протекает от вывода 5 к выводу 6. Рассмотрим работу устройства для последнего случая.

При протекании тока через витки 5, 6 трансформатора $TU1$ появляется напряжение на всех обмотках этого трансформатора. Потенциал вывода 4 становится выше потенциала вывода 5. Под действием разности этих потенциалов в базу транзистора $VT1$ течет ток по цепи: вывод 4 трансформатора $TU1$; диод $VD2$; резистор $R2$; резистор $R8$; переход база-эмиттер транзистора $VT1$; вывод 5 трансформатора $TU1$. Этот ток дополнительно приоткрывает транзистор $VT1$.

В это же время потенциал вывода 7 трансформатора $TU1$ становится ниже потенциала вывода 8 и запирает транзистор $VT2$. Далее начинает проявляться действие положительной обратной связи. Оно заключается в том, что при увеличении тока через переход коллектор-эмиттер транзистора $VT1$ и витки 5, 6 трансформатора $TU1$ на витках 4, 5 возрастает напряжение, которое еще в большей степени приоткрывает транзистор $VT1$, создавая дополнительный ток в его базовой цепи. Этот процесс развивается лавинообразно в течение короткого времени и приводит к полному открыванию транзистора $VT1$ и запирающему $VT2$. Через открытый транзистор $VT1$ и первичную обмотку (выводы 1, 2) трансформатора $TU2$ начинает линейно нарастать ток, что приводит к появ-

лению импульса напряжения на всех обмотках этого трансформатора. Импульс напряжения с выводов 7, 5 заряжает накопительный конденсатор $C1$. Напряжение с конденсатора $C1$ подается на вход электропитания схемы управления и согласующий каскад.

Схема управления запускается и генерирует прямоугольные последовательности импульсов, которые подаются на согласующий каскад. Последний осуществляет переключение транзисторов $VT1$, $VT2$. На всех обмотках трансформатора $TV2$ появляются напряжения номинального уровня. При этом напряжения с обмоток 3, 5 и 7, 5 постоянно подзаряжают конденсатор $C1$, поддерживая неизменным уровень напряжения. Таким образом, контур обратной связи обеспечивает электропитание схемы управления в режиме самоподпитки и источник выходит на рабочий режим.

Некоторые исполнения ИВЭП рассчитаны на различные входные напряжения сети (как правило, 220 или 110 В). Для учета напряжения в источниках используется либо механический переключатель 220/110 В, либо схема автоматического распознавания номинала сетевого напряжения.

Переключатель 220/110 В (или 230/115 В) должен находиться в разомкнутом состоянии при напряжении 220 В (рис. 3.34, а). В этом случае выпрямление осуществляется мостовой схемой, которая подзаряжает оба конденсатора инвертора $C1$ и $C2$ одновременно. При напряжении сети 110 В переключатель должен находиться в замкнутом состоянии. Выпрямление в этом случае осуществляется по схеме удвоения напряжения и конденсаторы $C1$ и $C2$ подзаряжаются по очереди в разные полупериоды сетевого напряжения (рис. 3.34, б). В режиме удвоения напряжения диоды $VD3$, 4 не работают.

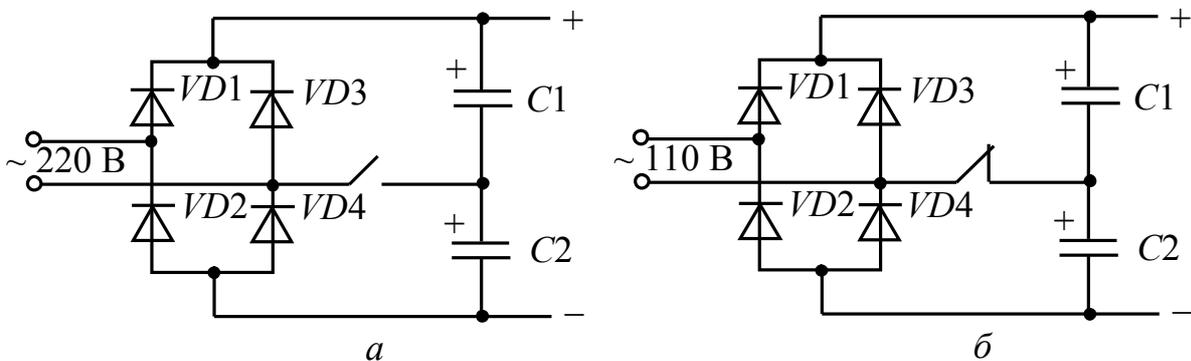


Рис. 3.34

Схема автоматического распознавания номинала сетевого напряжения показана на рис. 3.35 и работает следующим образом. Во входную цепь источника включено пороговое устройство, содержащее схему управления (транзисторы $VT1$, $VT2$; стабилитроны $VD3$, $VD4$) и исполнительный компонент (симистор $VS1$). Последний выполняет функции переключателя. Электропитание схемы осуществляется от выпрямителя (диод $VD2$) со сглаживающим фильтром (конденсатор $C3$).

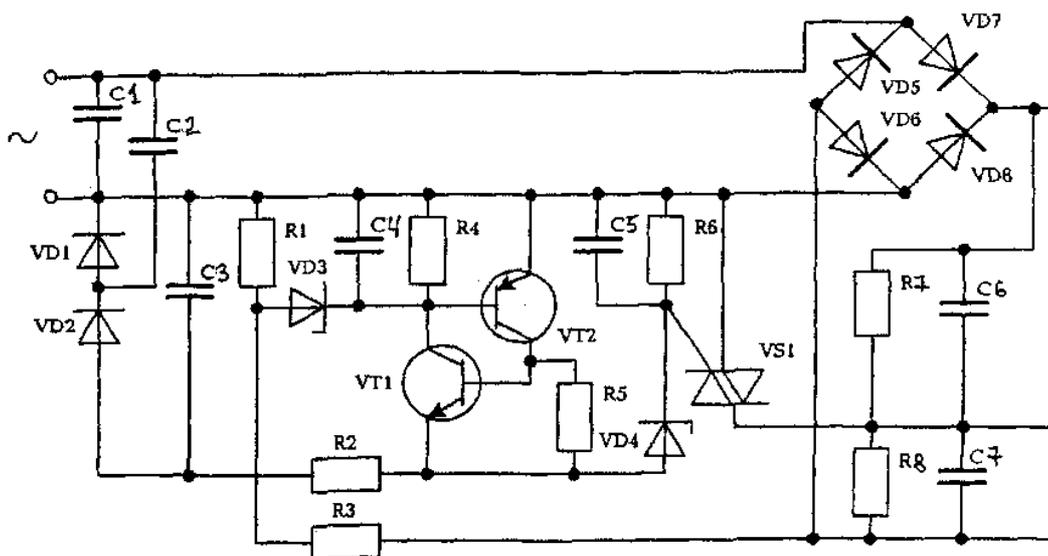


Рис. 3.35 — Схема автоматического распознавания номинала сетевого напряжения

Конденсаторы $C2$ и $C3$ образуют емкостный делитель, причем на емкости $C2$ гасится большая часть сетевого напряжения. Диод $VD1$ обеспечивает прохождение тока перезаряда емкости $C2$. Стабилитрон $VD3$ является первичным пороговым компонентом схемы.

При отрицательной полуволне сетевого напряжения ток может проходить от нижнего входного вывода через переход эмиттер-база транзистора $VT2$ к катоду стабилитрона $VD3$, далее через резистор $R3$ и диод $VD5$ к верхнему входному выводу. Пробивное напряжение стабилитрона $VD3$ выбирается таким, что при напряжении сети 110 В он находится в закрытом состоянии. При этом закрыты также транзисторы $VT2$ и $VT1$ триггерной схемы, а напряжение конденсатора $C3$ через резисторы $R6$ и $R2$ приложено к стабилитрону $VD4$.

У стабилитрона $VD4$ пробивное напряжение ниже по сравнению с напряжением на конденсаторе $C3$. Поэтому стабилитрон пробивается и ток проходит по цепи: положительный вывод конденсатора $C3$; управляющий переход симистора $VS1$; стабилитрон $VD4$; резистор $R2$; отрицательный вывод конденсатора $C3$. Симистор при этом открывается и соединяет среднюю точку конденсаторов полумостовой схемы инвертора с нулевым (нижним) выводом сети. Таким образом, выпрямление производится по схеме удвоения.

При напряжении сети 220 В стабилитрон $VD3$ открывается в первый отрицательный полупериод сетевого напряжения, и ток протекает по цепи: нулевой вывод сети; переход эмиттер-база транзистора $VT2$; стабилитрон $VD3$; резистор $R3$; диод $VD5$; фазный (верхний) вывод сети. Транзисторы $VT1$ и $VT2$ триггерной схемы переходят в режим насыщения и закорачивают стабилитрон $VD4$. Запасенная в конденсаторе $C3$ энергия рассеивается резистором $R2$, благодаря чему потенциалы анода и катода стабилитрона $VD4$ отличаются незначительно и он закрывается. Через управляющий переход симистора $VS1$ ток не проходит, и он остается в закрытом состоянии. При этом происходит двухполупериодное выпрямление сети диодами $VD5—VD8$.

Для управления двухтактными инверторами используются производимые разными фирмами микросхемы ШИМ-контроллеров, которые во многом аналогичны по внутренней схемотехнике и своим возможностям. Рассмотрим применение достаточно распространенной микросхемы TL494 фирмы *TEXAS INSTRUMENTS* (рис. 3.36 и табл. 3.6).

Таблица 3.6 — Назначение выводов микросхемы TL494

Номер вывода	Назначение
1	Неинвертирующий вход усилителя ошибки 1
2	Инвертирующий вход усилителя ошибки 1
3	Вход обратной связи ШИМ-компаратора
4	Вход управления «паузой»
5	Вход подключения конденсатора RC-генератора
6	Вход подключения резистора RC-генератора
7	Корпус
8	Вывод коллектора выходного транзистора 1
9	Вывод эмиттера выходного транзистора 1

Окончание табл. 3.6

Номер вывода	Назначение
10	Вывод эмиттера выходного транзистора 2
11	Вывод коллектора выходного транзистора 2
12	Напряжение питания микросхемы
13	Вход управления выходными каскадами
14	Выход источника опорного напряжения
15	Инвертирующий вход усилителя ошибки 2
16	Неинвертирующий вход усилителя ошибки 2

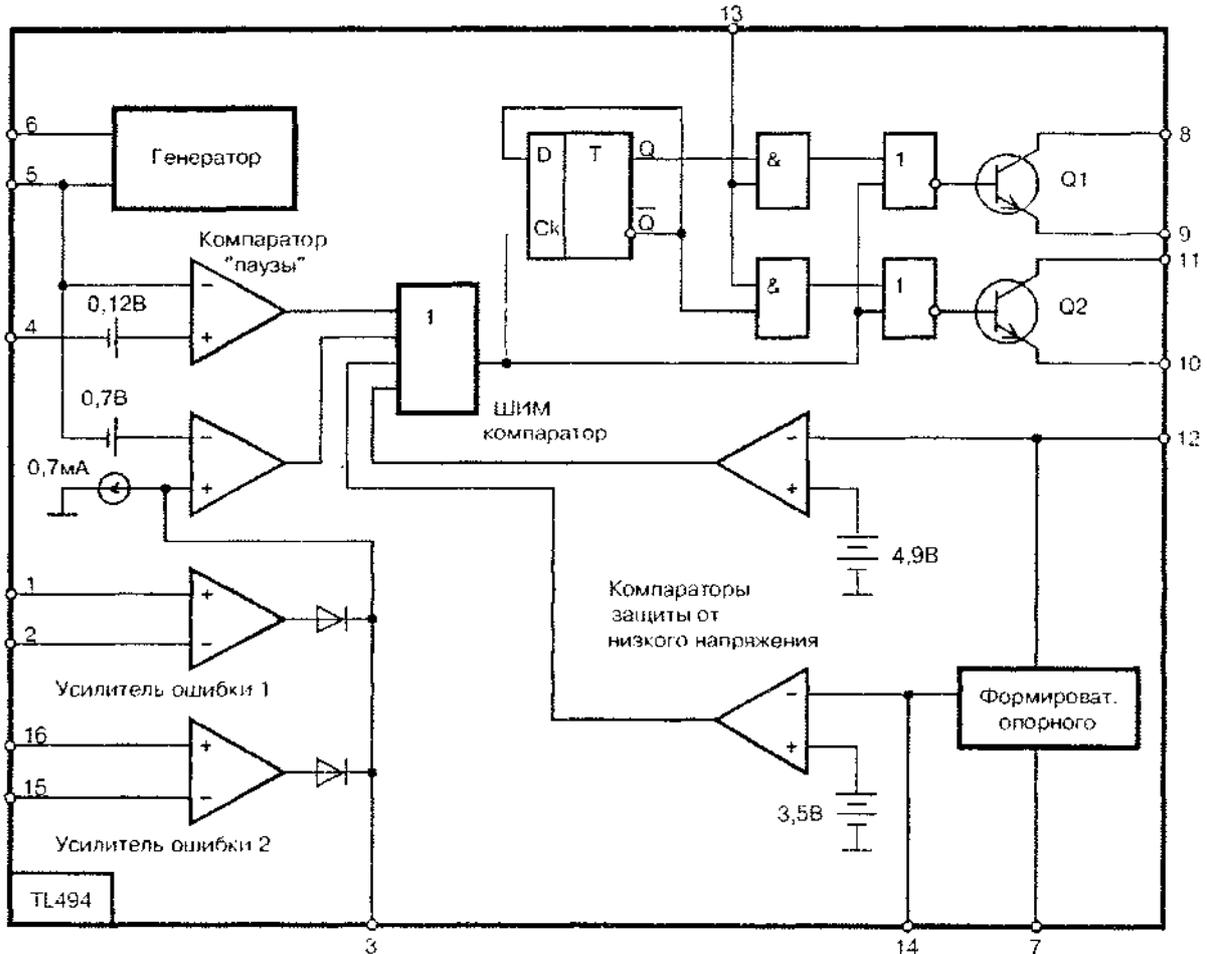


Рис. 3.36 — Структурная схема микросхемы TL494

Типовая схема включения микросхемы в ИВЭП с полумостовым инвертором приведена на рис. 3.37, временные диаграммы — на рис. 3.38.

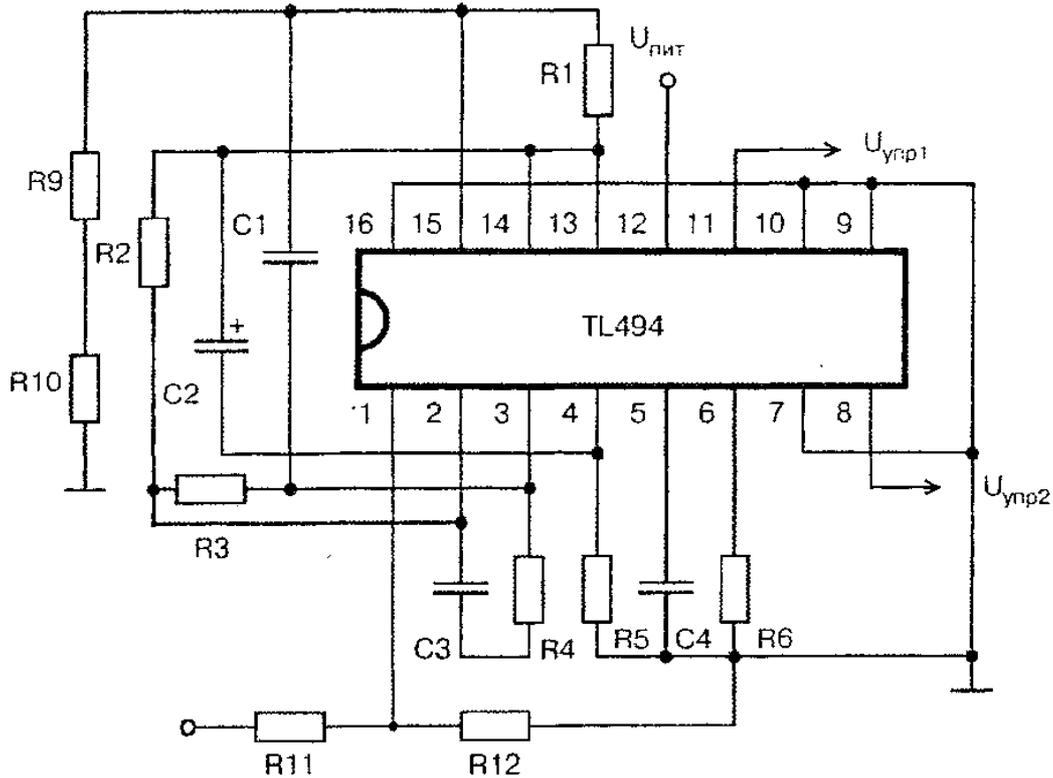


Рис. 3.37 — Типовая схема включения микросхемы TL494

На схеме конденсатор $C4$ и резистор $R6$ — элементы время-задающей цепи генератора, резисторы $R3$, $R4$, конденсатор $C2$ и конденсатор $C1$ образуют цепи коррекции усилителей ошибки 1 и 2 соответственно.

Для реализации двухтактного режима работы преобразователя вход управления выходными каскадами (вывод 13) соединен с источником эталонного напряжения (вывод 14). С выводов 8 и 9 микросхемы управляющие импульсы поступают в базовые цепи транзисторов преобразователей.

Опорное напряжение для усилителей ошибок формируется также от источника эталонного напряжения, для чего инвертирующие входы усилителей через резисторы $R1$, $R2$ соединены с выводом 14 микросхемы.

На неинвертирующий вход усилителя ошибки 1 (вывод 1) информация о выходном напряжении источника поступает с делителя $R11$, $R12$. С резистора $R9$ на инвертирующий вход усилителя ошибки 2 поступает информация о токе в нагрузке.

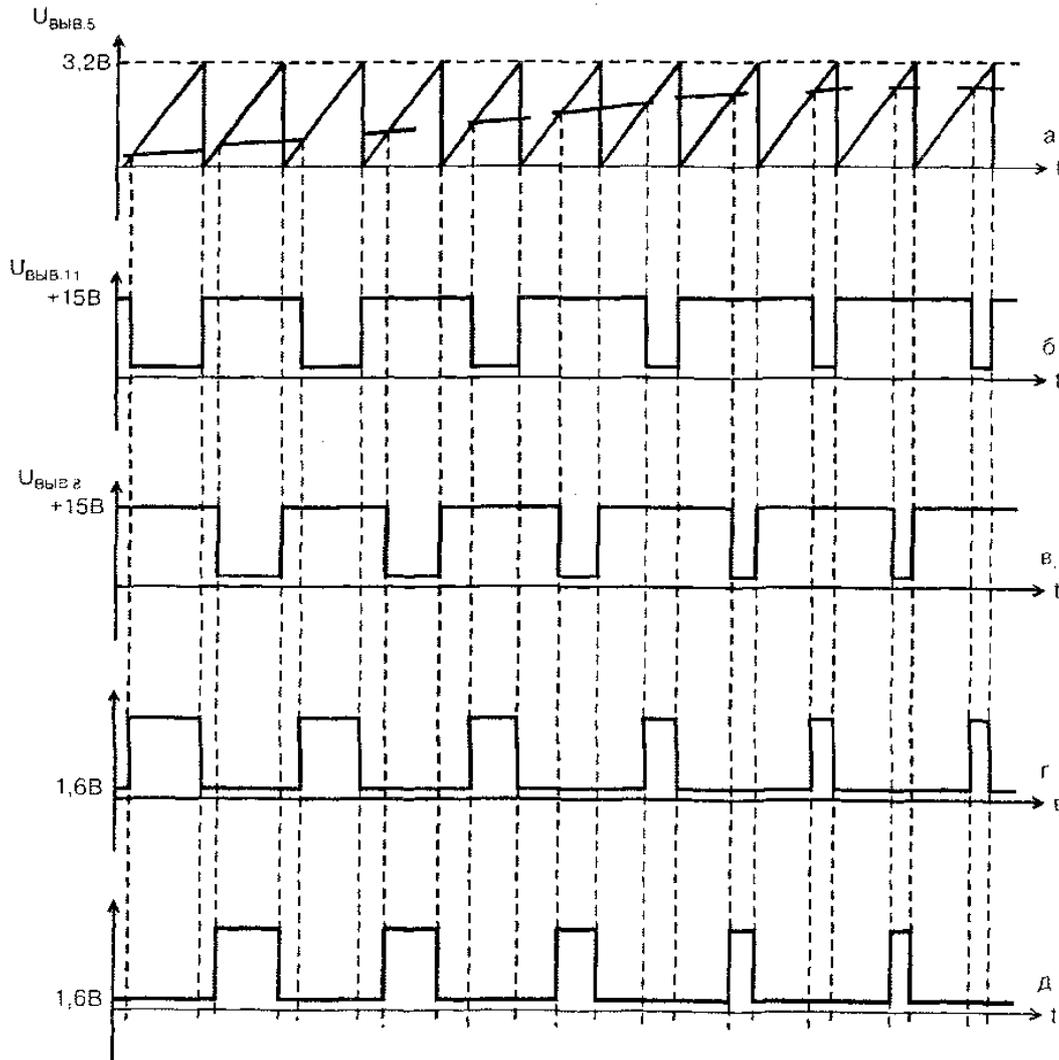


Рис. 3.38 — Временные диаграммы работы микросхемы TL494

Эпюры напряжения на временных диаграммах (рис. 3.38) показывают:

- a* — форму пилообразного напряжения на выводе 5 микросхемы;
- б, в* — выходные импульсы микросхемы;
- г, д* — импульсы, формируемые согласующим каскадом для управления силовыми транзисторами инвертора.

В момент включения источника питания конденсаторы выходного фильтра разряжены, сигнал обратной связи отсутствует. Источник питания фактически работает на короткозамкнутую нагрузку. Действие обратной связи приводит к тому, что мощность на коллекторных переходах может превысить допустимую. Поэтому для обеспечения постепенного «вхождения» преобразова-

теля в режим нормальной стабилизации, необходимо ограничивать ток транзисторов в момент пуска. Для этого реализован режим «медленного пуска».

Режим реализован последовательным соединением резистора $R5$ и конденсатора $C2$. Один из элементов цепи, как правило конденсатор, подключен к источнику эталонного напряжения микросхемы (вывод $I4$), средняя точка цепи подключена ко входу «пауза». После включения в сеть и запуска преобразователя формируется напряжение питания микросхемы. Из этого напряжения микросхемой формируется эталонное напряжение $+5$ В, являющееся источником для цепи «медленного запуска». В этот момент (включения) по цепи протекает зарядный ток, ко входу управления «паузой» прикладывается максимальное падение напряжения на резисторе $R5$, что соответствует появлению импульсов малой длительности для управления силовыми транзисторами. По мере заряда конденсатора $C2$ напряжение на выводе 4 уменьшается, длительность управляющих импульсов увеличивается, растет напряжение на выходе источника и соответственно происходит заряд конденсаторов фильтра. С ростом напряжения на выходе увеличивается напряжение обратной связи и ШИМ-формирователь переходит в режим стабилизации.

Серьезным недостатком бестрансформаторных ИВЭП (если не применяются специальные меры) является низкий коэффициент мощности ($0,5—0,7$) и высокий уровень гармоник потребляемого из сети тока (более 30%). Это определяется формой потребляемого из сети тока $i_{вх}$, как показано на рис. 3.39.

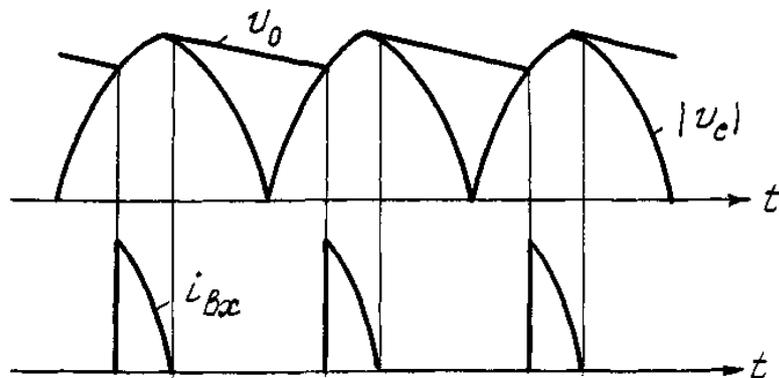


Рис. 3.39

Соответствующие диоды входного выпрямителя открыты лишь на интервале времени, когда мгновенное значение напряжения сети u_c больше напряжения на конденсаторе фильтра u_0 .

Низкое значение коэффициента мощности приводит к излишней нагрузке по току на соединительные провода и розетки, генерированию помех в питающую сеть.

Наилучшим решением по исправлению ситуации является активное формирование синусоидального потребляемого тока, совпадающего по фазе с питающим напряжением. Применение пассивных LC -фильтрующих цепей из-за нестабильности частоты сети, изменяющихся по величине токов и больших массы и габаритов не нашло широкого практического применения.

В принципе сформировать на входе бестрансформаторного выпрямителя синусоидальный ток можно с помощью одной из трех основных схем непосредственных преобразователей постоянного напряжения. Схема понижающего преобразователя не очень хорошо подходит для рассматриваемой цели, т.к. выходное напряжение в этой схеме большую часть полупериода входной частоты меньше мгновенного значения входного напряжения, т.е. большую часть полупериода не может влиять на процесс формирования потребляемого тока.

Схемы повышающего и инвертирующего преобразователей, у которых выходное напряжение может быть больше амплитуды выпрямленного (т.е. входного для преобразователей), могут влиять на процесс формирования потребляемого тока на всем интервале полупериода частоты сети. Схема инвертирующего преобразователя с транзистором в последовательной цепи легко обеспечивает ограничение потребляемого тока при перегрузках на выходе. Однако ей присущи и недостатки:

- максимальное напряжение на транзисторе равно сумме выходного и мгновенного входного напряжения, что при сети с номинальным напряжением 220 В составит порядка тысячи вольт;

- прерывистый входной ток (на интервалах закрытого состояния транзистора ток из сети не потребляется).

Схема повышающего преобразователя при использовании в качестве корректора коэффициента мощности обладает следующими преимуществами:

- транзистор имеет соединение эмиттера с общим проводом, что упрощает схему формирования сигнала управления;
- наличие дросселя в последовательной цепи обеспечивает непрерывность входного тока и облегчает задачу фильтрации высокочастотных составляющих;
- максимальное напряжение на транзисторе равно лишь выходному напряжению.

Таким образом, схема повышающего преобразователя наиболее подходит для использования в рассматриваемой области.

Недостатком же схемы является невозможность активного ограничения перегрузки по току, так как в последовательной цепи отсутствует управляемый ключевой элемент.

Рассмотрим принцип работы повышающего преобразователя в релейной схеме коррекции коэффициента мощности с постоянным гистерезисом, для чего используем схему и временные диаграммы на рис. 3.40.

При включении транзистора к дросселю прикладывается выпрямленное напряжение $u_{\text{ВХ}}$ и ток i_L начинает нарастать. Этот ток сравнивается компаратором с задающим сигналом i_3 , который формируется из входного напряжения:

$$i_3 = k u_{\text{ВХ}}.$$

При $i_L = i_3 + e$, где e — ширина гистерезиса компаратора, транзистор выключается и ток дросселя начинает спадать. Спадание тока продолжается до уровня $i_L = i_3 - e$. В этот момент вновь включается транзистор, и ток i_L начинает нарастать и т.д.

Таким образом, формируется ток через дроссель с огибающей в виде положительных синусоидальных полуволн, пропорциональных напряжению $u_{\text{ВХ}}$, а следовательно, на входе выпрямителя получается синусоидальный ток, совпадающий по фазе с напряжением сети.

В рассмотренной схеме с постоянным гистерезисом частота коммутации транзистора переменна в пределах полуволн напряжения сети. Для неизменности частоты можно применить компаратор с адаптивным гистерезисом.

Следует отметить, что рассмотренное устройство будет практически неработоспособным, если величина задающего сигнала i_3 не будет корректироваться в зависимости от величины нагрузки. На самом деле, если ток в цепи будет стабилизирован на

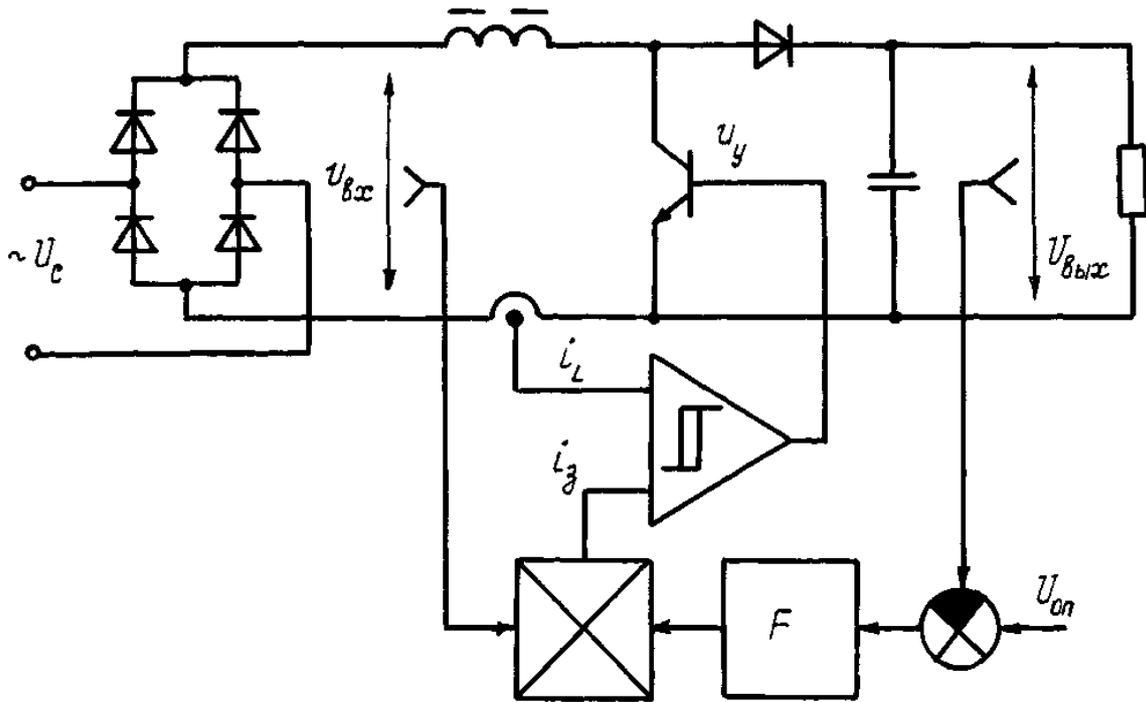
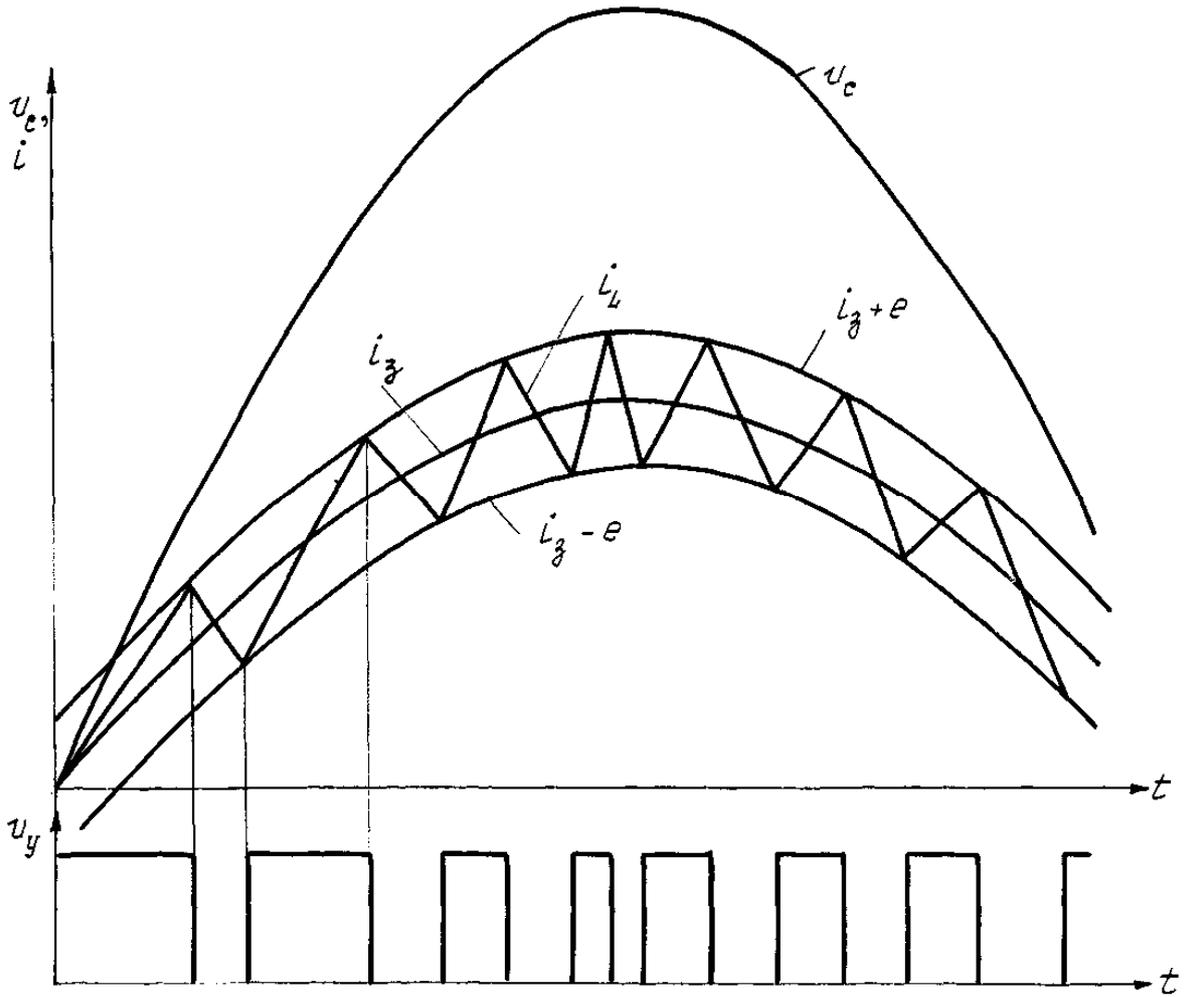


Рис. 3.40

каком-то уровне, а сопротивление будет изменяться, то будет в таком же диапазоне изменяться напряжение на нагрузке, т.е. выходное напряжение. В схеме на рис. 3.40 для коррекции величины i_3 введен функциональный преобразователь F , воздействующий на величину i_3 таким образом, чтобы выходное напряжение стабилизировалось на уровне, определенном эталонным опорным напряжением $U_{оп}$.

Рассмотрим в качестве примера основные характеристики бестрансформаторных источников питания, выпускаемых британской фирмой *Zicon Electronics*. Полуагрегатированная конструкция изделий (построение с использованием отдельных функциональных плат — входной и выходной) обеспечивает предельную гибкость. Смешивание и согласование входных и выходных плат во всевозможных конструктивных формах позволяет поддерживать широкий номенклатурный ряд изделий. Параметры входных и выходных плат представлены в табл. 3.7, 3.8.

Таблица 3.7 — Основные электрические параметры входных плат

Номинальное значение напряжения питающей сети, действующее значение, В	115		230		400	
	Автоматическое переключение диапазона		Универсальный вход			
Предельные значения отклонения напряжения питающей сети переменного тока, В	90—132	175—264	115/230	300—450	90—264	
КПД входного модуля, %	90	93	90/93	96	87—92	
Пределы изменения частоты питающей сети, Гц	44—66	44—66	44—66	44—66	44—66	
Полная входная мощность, ВА, при максимальной выходной мощности / Время поддержания выходного напряжения при номинальных входном напряжении и токе нагрузки, мс для модели с кодом	200	321/28	332/28	332/28	358/28	253/28
	300	482/18	498/18	498/18	537/18	380/18
	350	562/28	581/28	581/28	626/28	443/28
	550	884/18	914/18	914/18	984/18	696/18
	PL600					259/18
	750		1246/12		1342/12	949/12
	1K1		1800/12			
Среднее время наработки на отказ, ч, для температуры окружающей среды 20 °С, при номинальном значении выходной мощности	200	400 000	450 000	400 000	500 000	200 000
	300	450 000	500 000	450 000	550 000	150 000
	350	300 000	350 000	300 000	400 000	150 000
	550	350 000	400 000	350 000	450 000	170 000
	PL600					150 000
	750		300 000		350 000	150 000
	1K1		200 000		350 000	

Таблица 3.8 — Технические параметры выходных плат

Номинальное значение выходного напряжения постоянного тока, В		2	3,3	5	8	12	15	24	36	48	60
Пределы регулировки выходного напряжения, В	Минимум	1,6	2,6	4	7	11	13,8	22	33	44	55
	Максимум	2,4	4	6	9	14	17,5	29	42	57	70
Уставка защиты от превышения выходного напряжения, В	Минимум	2,4	4	6	9,6	14,4	18	29	43,2	57,6	72
	Максимум	2,7	4,5	6,8	10,8	16,2	20,3	32,4	48,6	64,8	81
Уставки постоянного тока перегрузки, А для модели с кодом	200 Мин.	65	50	36,5	25	19	15,5	9,5	6,5	4,8	3,8
	200 Макс.	75	57	42,5	29	22	17,5	11	7,5	5,5	4,4
	300 Мин.	97	73,5	55	37,5	28,5	23	14,3	9,5	7,2	5,7
	300 Макс.	113	85,5	63,5	43	33,3	26,6	16,6	11	8,3	6,7
	350 Мин.	111	84	65	44	32,4	26	16,2	10,8	8,1	6,5
	350 Макс.	129	98	75	50	37,6	30	18,8	12,5	9,4	7,5
	550 Мин.	176	132	104	69	48	38	24	16	12	9,5
	550 Макс.	204	153	120	79	55	44	28	18,5	14	11
	600 Мин.					56		27		13,5	11
	600 Макс.					60		30		15	12
	750 Мин.					65	52	32	22	16,2	13
	750 Макс.					75	60	38	25	18,8	15
	1К1 Мин.							48	32	24	19
	1К1 Макс.							56	37	28	22
Среднее время наработки на отказ, ч, при температуре окружающей среды +20°С, при номинальном значении выходной мощности	200	80	100	120	130	150	180	200	200	250	250
	300	120	150	200	220	250	280	300	300	350	350
	350	60	75	90	95	100	120	150	150	200	200
	550	80	100	120	130	150	180	200	200	250	250
	600					150		200		250	250
	750					100	120	150	150	200	200
	1К1							100	100	150	150
КПД, % (примечание)		70	78	86	87	90	91	92	93	94	95
Общая пульсация		<0,2% (действующее значение) <2% (двойная амплитуда)				<0,1% (действующее значение) <1% (двойная амплитуда)			<0,05% (действующее значение) <0,5% (двойная амплитуда)		
Динамическая нестабильность в течение 1 мс при изменении тока нагрузки на 10 %		<2 %				<1 %			<0,5 %		
Нестабильность при изменении нагрузки в диапазоне 0—100 %		<1 %									
Нестабильность при изменении напряжения сети во всем диапазоне		<0,5 %									

Примечание: для определения КПД устройства (ИВЭП) необходимо перемножить значения КПД входной и выходной плат и результат разделить на 100.

В качестве силовых ключей в инверторах (выполненных по полумостовой схеме) применяются биполярные транзисторы. Инверторы работают на частоте 50 кГц. Применен метод пропорционально-токового управления транзисторами. На входных платах установлены корректоры коэффициента мощности на базе повышающей схемы непосредственного преобразователя постоянного напряжения. Частота переключения корректора 70 кГц.

Для стабилизации выходного напряжения предусмотрено использование выносной обратной связи. Это можно пояснить следующим образом. Зачастую причиной повышенной неустойчивости напряжения на нагрузке являются провода, посредством которых осуществляется соединение нагрузок с ИВЭП. Значения параметров неустойчивости, указанные в табл. 3.8, измерены непосредственно на выходных контактах ИВЭП, а не на контактах прибора-потребителя. При небольших значениях тока нагрузки импеданс распределительной шины не имеет значения. Но, например, при 5 В и 200 А, используемых для питания логических схем, скачкообразное изменение тока нагрузки на 50 А может привести к выбросам, значительно превышающим предельные допустимые значения этих динамических параметров. Например, всего 1,5 метра провода большого сечения может внести индуктивность 5 мкГн, и это очень много. Предположим далее, что нагрузка изменится на 100 А, скажем, за 10 мкс, и, подставив эти значения в формулу $L(di/dt)$, получим падение напряжения в 50 В на этих относительно коротких проводах.

Провода, обеспечивающие подключение цепей выносной обратной связи, следует прокладывать параллельно и вплотную друг к другу. Еще лучше применять экранированные провода.

Ограничение пускового тока входных плат осуществляется термистором, который в установившемся режиме работы шунтируется контактами электромагнитного реле.

При компоновке из входных и выходных плат ИВЭП получают конструкции размерами от 360×250×150 мм до 360×250×900 мм.

Для обеспечения дополнительных режимов работы в составе комплексов радиоэлектронной аппаратуры и системах электропитания средств автоматизации технологических процессов ИВЭП фирмы *Zicon* могут комплектоваться дополнительными сервисными системами.

Для обеспечения модульного принципа резервирования с

целью повышения надежности системы вторичного электропитания и уменьшения номенклатуры используемых ИВЭП в системе применяется параллельное соединение ИВЭП. Оно предполагает соединение зажимов «PS» (Power Share — распределение мощности). Сигналы PS и PM (Power Monitor) формируются дополнительной платой. Эта плата сравнивает значения тока отдельного блока со значением системного тока, деленного на число блоков; если значение тока блока недостаточно высокое, значение его напряжения увеличивается до тех пор, пока значение его тока не достигнет средней величины. Для правильного функционирования схемы распределения энергии значения выходных напряжений каждого ИВЭП должны быть установлены в пределах $\pm 5\%$ относительно друг друга.

При параллельном соединении ИВЭП необходимо обеспечивать одинаковые температурные условия для функционирования соединяемых блоков и использовать радиальную схему разводки парами проводов от нагрузки. Ограничений на число параллельно соединяемых ИВЭП не существует.

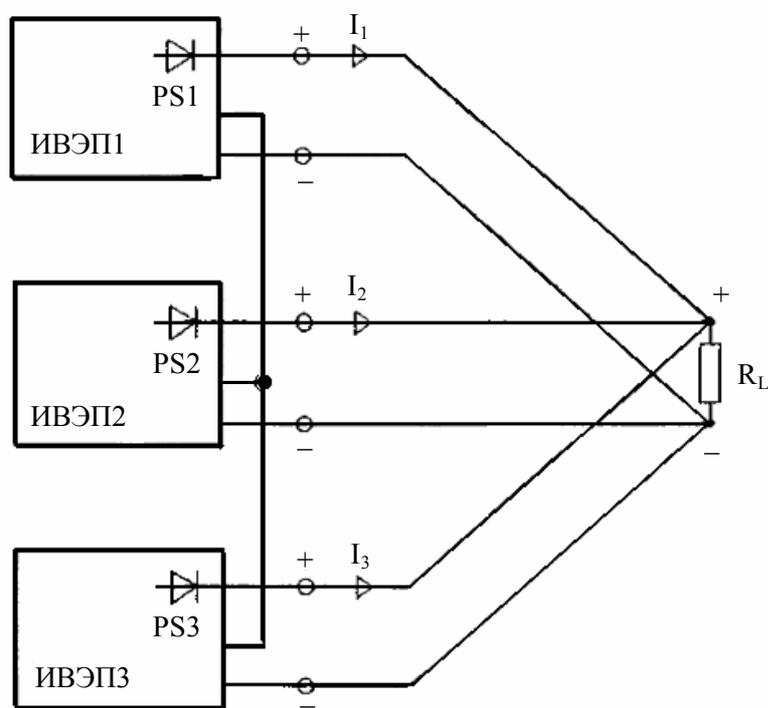


Рис. 3.41 — Схема параллельного соединения ИВЭП с блокирующими диодами для реализации «горячей» замены ИВЭП и «горячего» резервирования

Встроенные по схеме ИЛИ блокирующие диоды могут быть установлены по заказу для реализации режима «горячей замены» блоков питания, резервирования (рис. 3.41). Данная схема параллельного соединения является более надежной по сравнению со схемой простого соединения выходов. Но установка блокирующих диодов снижает значение КПД ИВЭП в целом.

3.4 Многоканальные ИВЭП

Для питания ЭА, требующей различных номиналов напряжений при сравнительно небольших мощностях (десятки и сотни ватт) широкое применение нашли многоканальные ИВЭП. Самый большой класс потребителей многоканальных ИВЭП — персональные компьютеры.

Многоканальные ИВЭП применяются в случаях, когда использование одноканальных нецелесообразно из-за избытка выходной мощности либо недоиспользования элементов по мощности. Часть функциональных элементов многоканальных ИВЭП являются централизованными. Это позволяет повысить плотность компоновки, уменьшить массу и габариты, повысить надежность.

На структуру построения многоканальных ИВЭП оказывает влияние совокупность требований, перечисленных ниже:

- обеспечение необходимых уровней стабильности напряжений каналов;
- обеспечение определенной очередности включения и выключения каналов;
- обеспечение ступенчатой или плавной независимой регулировки напряжений каналов;
- наличие защит в каналах.

В структуре на рис. 4.32, *а* можно обеспечить только стабилизацию напряжения в одном канале, с выхода которого снимается сигнал обратной связи. В двух других каналах осуществляется стабилизация только по напряжению сети. Сигнал обратной связи при такой структуре берется обычно с самого мощного канала. Из-за отсутствия управляемых силовых элементов в каждом из каналов здесь невозможно реализовать какую-либо очередность включения и выключения. При срабатывании защиты из-за перегрузки в каком-либо из каналов отключается целиком весь ИВЭП.

В структуре на рис. 3.42, *б* во втором канале установлен линейный стабилизатор ЛС, а третий канал либо стабилизирован только по напряжению сети (если отсутствуют показанные штрихом элементы), либо полностью стабилизируется с помощью ключевого стабилизатора КС. В такой структуре наличие управляемых силовых элементов в каналах позволяет реализовать большинство из отмеченных требований.

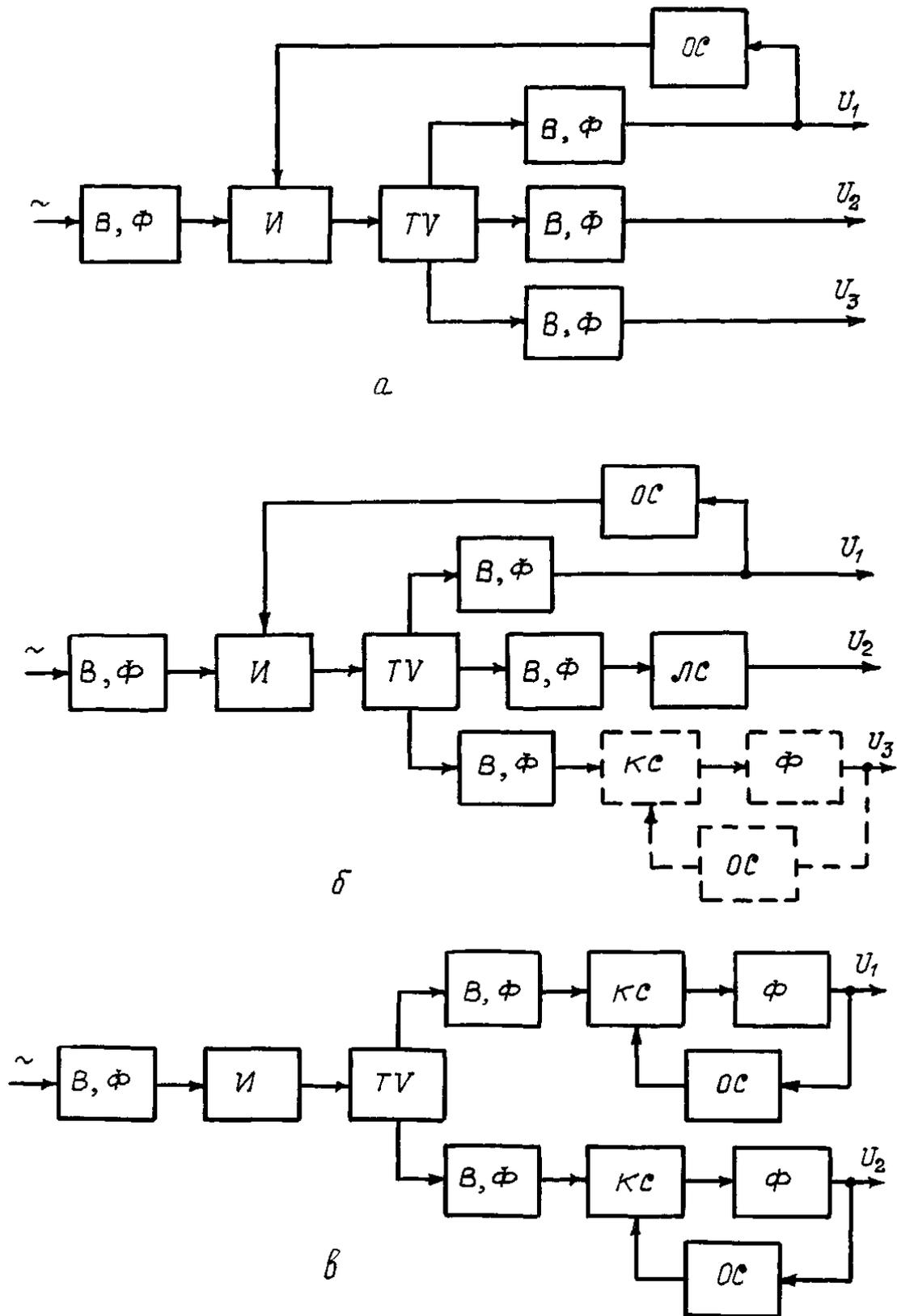


Рис. 3.42 — Структуры многоканальных ИВЭП

В структуре на рис. 3.42, в можно реализовать всю совокупность перечисленных требований независимо для каждого из каналов.

Для иллюстрации технических характеристик многоканальных ИВЭП используем данные табл. 3.9, относящиеся к выходным платам, которые выпускает уже упоминавшаяся фирма Zicon Electronics. Из представленных в табл. 3.9 выходных плат и входных (см. табл. 3.7) komponуются многоканальные ИВЭП.

Таблица 3.9 — Технические параметры выходных плат многоканальных устройств

Номинальное значение выходного напряжения канала ОР1, В		5	5	5	5	8
Номинальное значение выходного напряжения канала ОР2, В		–5	–5	–8	–5	–8
Номинальное значение выходного напряжения канала ОР3, В		–12	–15	–15	–12	–15
Номинальное значение выходного напряжения канала ОР4, В		12	15	15	12	15
Номинальное значение выходного напряжения канала ОР5, В		24	24	24	12	24
Диапазон регулировки выходного напряжения ОР1, В	Мин.	4,5	4,5	4,5	4,5	7,2
	Макс.	5,5	5,5	5,5	5,5	8,8
Уставка устройства защиты от превышения выходного напряжения канала ОР1, В	Мин.	6	6	6	6	9,6
	Макс.	6,8	6,8	6,8	6,8	10,8
Номинальные значения выходных токов, А		ОР1	ОР2	ОР3	ОР4	ОР5
		20	3	3	8	4
		25	4	4	10	5
		45	3	3	8	4
		55	4	4	10	5
		65	4	4	10	5
Общая пульсация и высокочастотная компонента с полосой 30 МГц		<0,2% (действующее значение), 2% (двойная амплитуда)				
Динамическая нестабильность при кратковременном изменении тока нагрузки на 25%	<1% (в течение 1 мс)	<1%	<1%	<1%	<1%	<1%
Нестабильность при изменении нагрузки в диапазоне 20—80%	<1%	<4%	<2%	<2%	<2%	<2%
Перекрестное влияние (при 10% изменении нагрузки канала ОР1)	–	<1%	<1%	<1%	<1%	<1%
Нестабильность при максимальном изменении напряжения сети, %	<0,5	<1	<1	<1	<1	<1

В рассматриваемых выходных платах полностью стабилизирован лишь первый (основной) канал. Остальные стабилизированы лишь по входному напряжению. Поэтому при установленном номинальном значении напряжения выходного канала ОР1 и нагруженных на 50 % всех каналах значения выходных напряжений дополнительных каналов будут установлены в пределах 2 % их номинальных значений. При регулировке напряжения канала ОР1 пропорционально будут изменяться и напряжения остальных каналов.

Выходные каналы ОР1, ОР5 и ОР4 имеют защиту от перегрузки, основанную на ограничении тока в первичной обмотке, поэтому эти выходные каналы могут запитывать виды аппаратуры с импульсной характеристикой потребляемого тока. Идеальны для запитки систем, имеющих в своём составе печатающие головки, моторы, лентопротяжные механизмы и т.п.

Выходные каналы ОР2 и ОР3 не предназначены для питания аппаратуры с импульсным видом потребляемого тока и поэтому нуждаются в дополнительных надёжных средствах защиты от перегрузок по току (применены элементы токовой защиты Poly-Switch — самовосстанавливающиеся предохранители). При отключении этих двух каналов остальные, естественно, продолжают функционировать.

Анализ данных табл. 3.9 показывает, что у стабилизированных только по сети выходных каналов нестабильность в 2—4 раза больше, чем у основного канала.

Перекрестная нестабильность отражает тот факт, что изменения тока нагрузки одного из выходов будут вызывать изменения напряжения других выходов. Так, при изменении нагрузки основного канала на каждые 10 % значения выходных напряжений дополнительных каналов будут изменяться на 1 %.

В качестве примера реальной схемотехники на рис. 3.43 приведена схема одного из источников питания персональных компьютеров.

В многоканальных ИВЭП, обеспечивающих высокую стабильность напряжений и в дополнительных каналах, требуются дополнительные линейные или ключевые стабилизаторы (в зависимости от выходной мощности). При низких значениях выходного напряжения мощность потерь на силовом транзисторе, даже

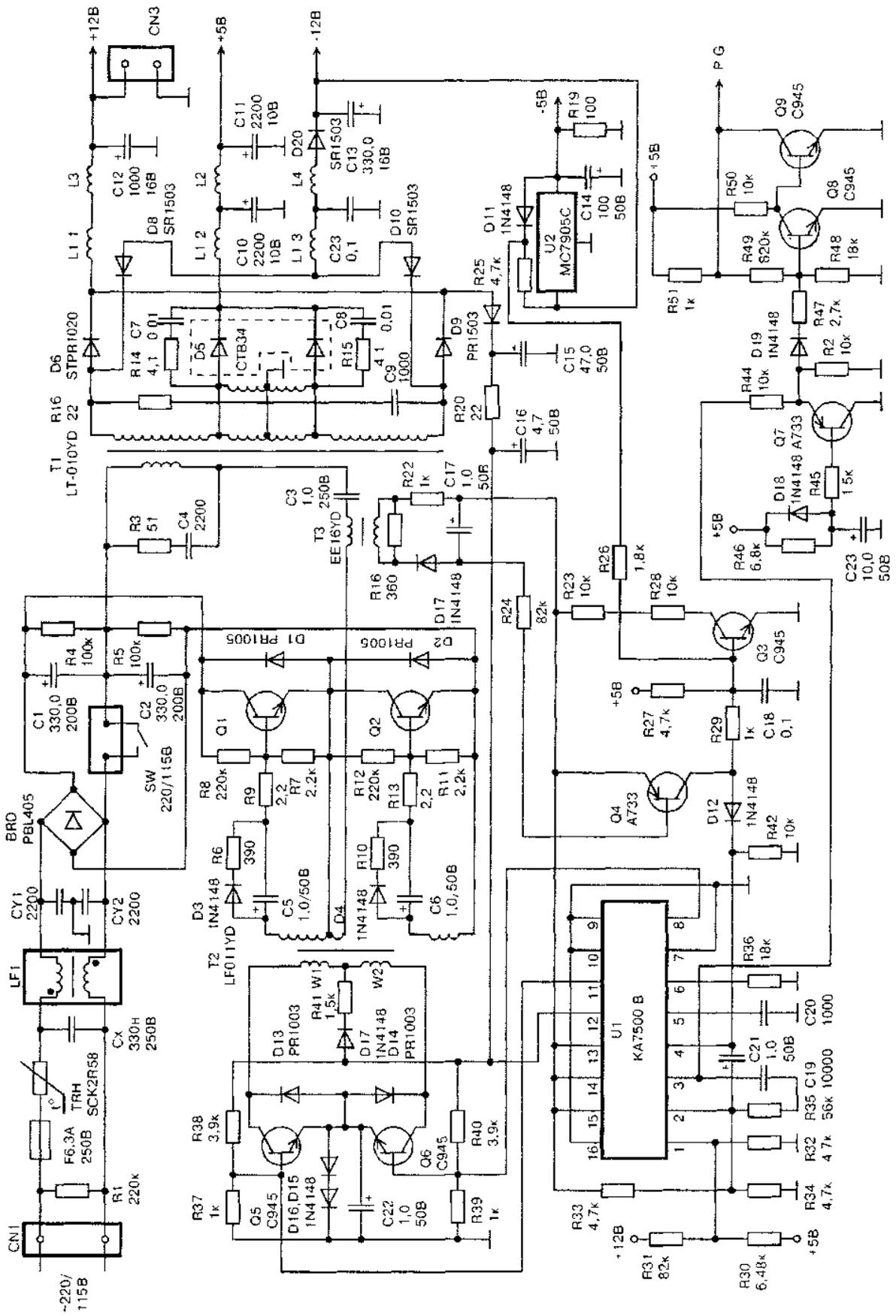


Рис. 3.43 — Принципиальная схема источника питания E 200S-U

работающем в ключевом режиме, становится соизмеримой с выходной мощностью. Поэтому в низковольтных дополнительных каналах перспективно применение магнитных усилителей, имеющих на высоких частотах незначительные потери (аналогично трансформаторам). Рассмотрим применение простейшего магнитного усилителя с внутренней обратной связью (магнитного усилителя с самонасыщением — МУС) для регулирования напряжения в нагрузке постоянного тока согласно схеме на рис. 3.44.

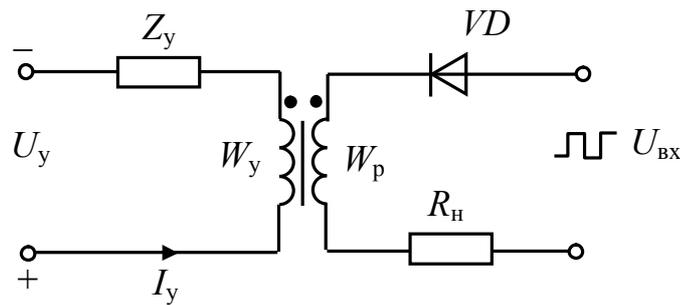


Рис. 3.44

Для пояснения используются кривая перемагничивания сердечника и временные диаграммы на рис. 3.45.

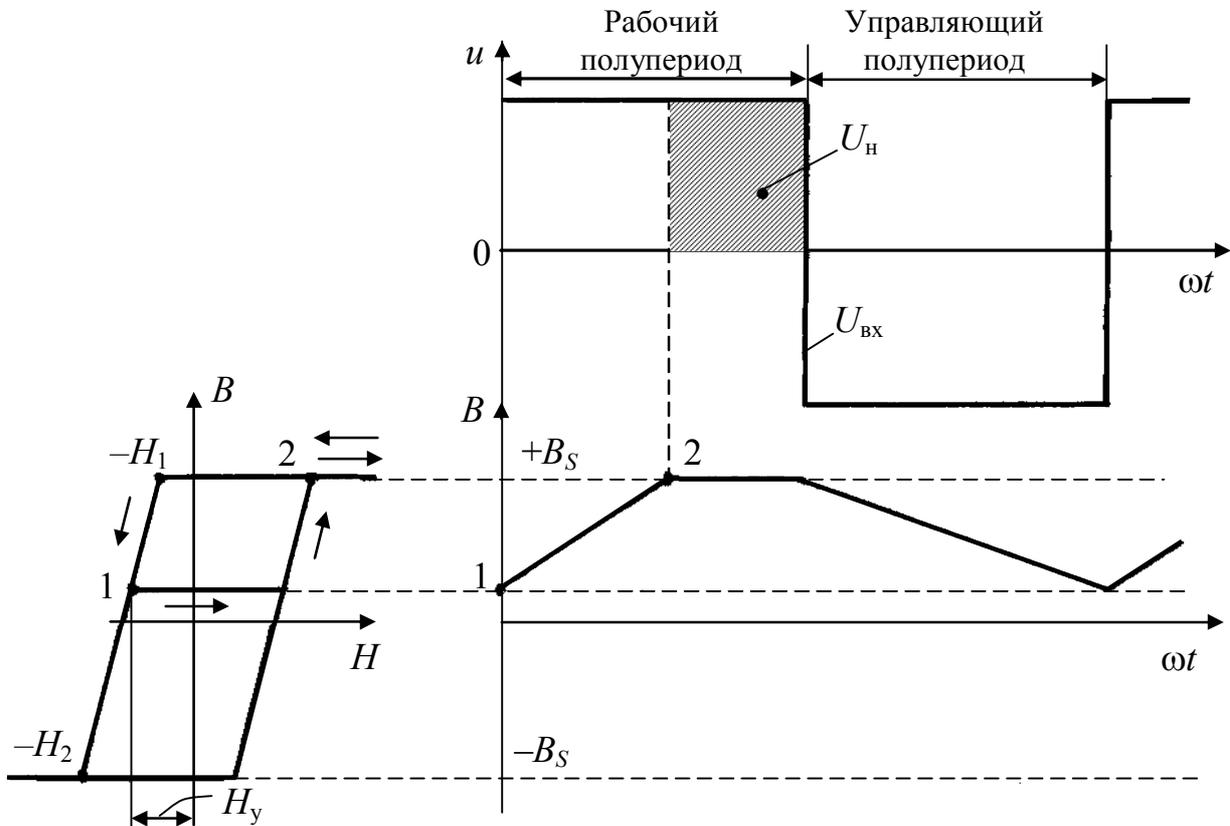


Рис. 3.45

Согласно алгоритму работы МУС различают полупериоды переменного прямоугольного напряжения рабочий и управляющий. В управляющий полупериод диод VD заперт и отрицательное напряжение $U_{вх}$ на рабочую обмотку W_p и нагрузку не поступает. Магнитное состояние сердечника полностью определяется напряженностью H_y :

$$H_y = \frac{I_y \cdot W_y}{l},$$

где l — длина средней силовой линии сердечника.

Выберем такую величину тока управления I_y , чтобы выполнялось неравенство:

$$|H_y| < H_y < |H_2|.$$

В управляющий полупериод под действием H_y рабочая точка займет положение 1 на кривой перемагничивания.

В рабочий полупериод открывается диод VD и сердечник перемагничивается к точке 2 (см. рис. 3.45). До достижения точки 2 по цепи протекает лишь ток намагничивания, которым можно пренебречь. В этом случае все входное напряжение прикладывается к обмотке W_p . В точке 2 сердечник насыщается, и входное напряжение всю оставшуюся часть рабочего полупериода прикладывается к нагрузке (заштрихованная площадка на диаграмме напряжений).

С наступлением управляющего полупериода диод запирается, напряжение на нагрузке становится равным нулю, а под действием H_y сердечник вновь размагничивается до точки 1 .

С увеличением I_y напряжение на нагрузке (заштрихованная площадка) будет уменьшаться и при $H_y = |H_2|$ наступит режим холостого хода. Режим максимальной отдачи будет при $H_y = |H_2|$.

Рассмотренная схема является однополупериодной, так как определяет процессы в цепи нагрузки лишь один полупериод входного напряжения. Совмещением двух таких схем получается двухполупериодный МУС, как показано на рис. 3.46.

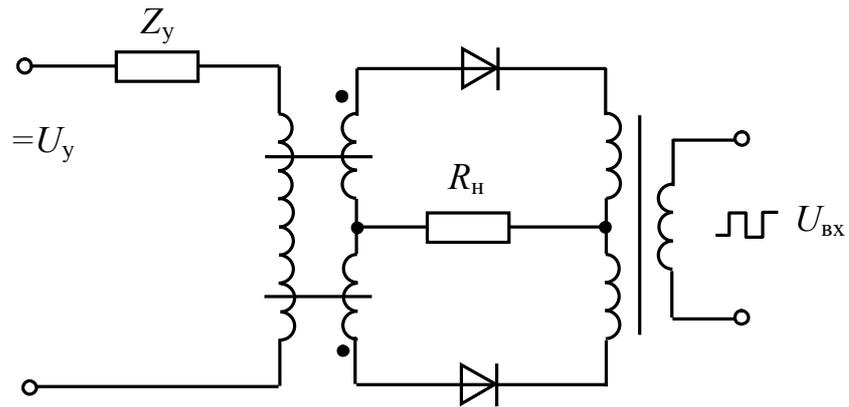


Рис. 4.46

Как следует из схемы, для двухполупериодного МУС выходной трансформатор инвертора должен иметь две полуобмотки.

4 ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

Под электромагнитной совместимостью (ЭМС) электронных устройств понимается обеспечение нормальной работы этих устройств при взаимных влияниях непреднамеренных электромагнитных помех. Электромагнитной помехой (ЭМП) называется нежелательное воздействие электромагнитной энергии, которое может ухудшить показатели качества функционирования электронных средств.

ЭМП разделяют на внешние и внутренние. К внешним помехам относят атмосферные, космические и промышленные.

Атмосферные и космические помехи являются следствием естественных процессов, происходящих в природе: грозовых разрядов, солнечной радиации, космических излучений, магнитных бурь и т.п. Наиболее существенные помехи могут возникать при грозовых разрядах, так как молния создает очень сильное электромагнитное поле, приводящее к значительному изменению напряжения в линиях электропередачи при нарушении их изоляции.

Для широкого класса аппаратуры особенно опасны промышленные помехи, которые создаются аппаратурой дуговой и контактной сварки, силовой пускорегулирующей аппаратурой, электрооборудованием, электромеханическими устройствами, медицинской аппаратурой и т.п.

К внешним относятся также помехи, образующиеся в результате электростатических разрядов между обслуживающим персоналом и корпусом аппаратуры. Электростатический разряд высокого напряжения возникает в сухой среде при синтетических покрытиях полов и искусственных материалах одежды обслуживающего персонала.

К внутренним помехам относятся помехи, образуемые самими электронными устройствами в силу принципа действия их элементов.

В зависимости от частоты ЭМП разделяют на радиопомехи (при частоте свыше 9 кГц) и промышленные низкочастотные помехи (частоты менее 9 кГц).

Если средой распространения ЭМП является пространство, окружающее данное устройство, такие помехи называются *помехами*

хами излучения. Уровень помех излучения определяется напряженностью поля помех и выражается в децибелах. За нуль децибел принимают 1 мкВ/м.

Если средой распространения ЭМП являются проводящие электрический ток предметы (провода, кабели, шасси и корпуса приборов, экраны, оплетки и оболочки проводов и кабелей, шины заземления), а также паразитные цепи, по которым возможно протекание электрического тока, такие помехи называются *помехами проводимости*, или *кондуктивными помехами*. Уровень кондуктивных помех определяется напряжением помех на зажимах сети, выраженным в децибелах, за нуль децибел принимают 1 мкВ.

ИВЭП как источник ЭМП создает на входных (сетевых) зажимах симметричное напряжение помехи и между каждым из сетевых проводов и корпусом прибора или землей — несимметричное напряжение помехи. Эти напряжения приводят к протеканию соответствующих токов ЭМП. Симметричные токи замыкаются через сопротивление сети, а несимметричные — через сопротивление заземления и паразитные емкостные связи.

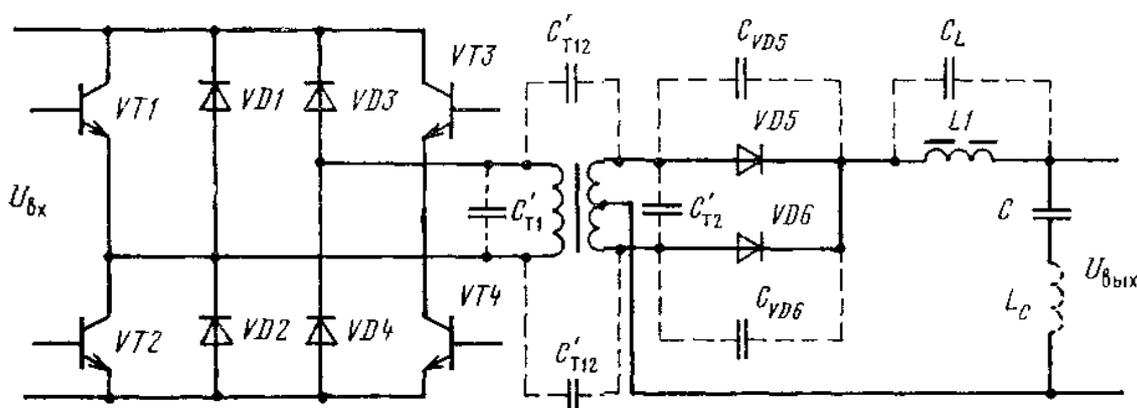
Главная причина генерации электромагнитных помех источниками электропитания импульсного типа — это *коммутационные процессы в силовых цепях, обусловленные ключевым характером работы активных элементов*, определяющим принцип работы ИВЭП. Образующиеся при этом перепады тока и напряжения приводят к появлению поля радиопомех, а также кондуктивных помех. Другими причинами ЭМП можно считать *высокочастотные колебания*, формируемые за счет энергии, запасенной в паразитных реактивных элементах цепи, образующих резонансные контуры.

Паразитные элементы — это не предусмотренные электрической схемой элементы, появившиеся в результате неидеальности практической реализации электрической схемы. Паразитные элементы возникают вследствие невозможности создания проводников и линий связи, не обладающих сопротивлением, индуктивностью и емкостью, и невозможности создания элементов схемы, обладающих только одним параметром: R , L или C .

Проводя расчет и вычерчивая электрическую схему, считаем, что элемент \square имеет только R , элемент \sim — только L , элемент \parallel — только C , а провод — не имеет ни сопро-

тивления, ни индуктивности, ни емкости и между двумя проводниками на схеме нет никакой связи. В реальной конструкции любой элемент обладает всеми тремя параметрами одновременно. Вопрос заключается в том, чтобы знать, когда можно пренебречь паразитными параметрами, а когда их необходимо учитывать. В реальной конструкции всегда возникают паразитные связи, значения которых зависят от взаимного расположения и размеров элементов и линий связи.

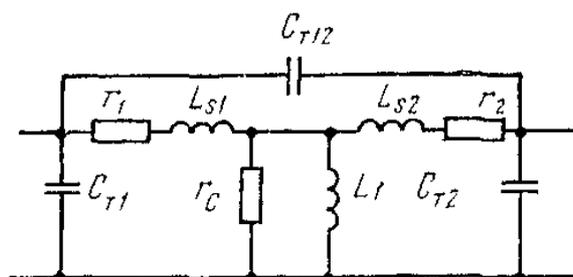
В качестве примера на рис. 4.1 приведена схема силовой цепи ИВЭП, где пунктиром показаны существенные паразитные параметры элементов.



C'_{T1} , C'_{T2} — межвитковые емкости первичной и вторичных обмоток трансформатора; C'_{T12} — межобмоточная емкость трансформатора; C_L — межвитковая емкость дросселя $L1$; L_C — индуктивность конденсатора C ; C_{VD5} , C_{VD6} — емкость диодов $VD5$, $VD6$.

Рис. 4.1

Далее подробнее представлены эквивалентные схемы трансформатора (рис. 4.2) и инвертора (рис. 4.3).



L_{S1} и L_{S2} , r_1 и r_2 — индуктивности рассеяния и активные сопротивления первичной и вторичной обмоток, L_1 — индуктивность первичной обмотки; r_c — сопротивление потерь в сердечнике

Рис. 4.2

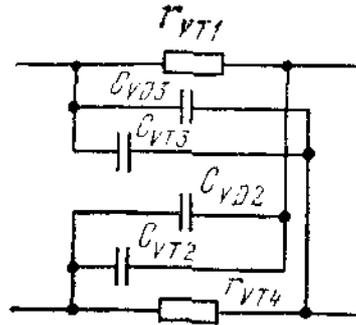


Рис. 4.3

Эквивалентная схема инвертора соответствует открытому состоянию транзисторов $VT1$, $VT4$ и закрытому $VT2$, $VT3$.

Ослабление ЭМП достигается либо снижением уровня напряжения генератора помех, либо увеличением сопротивления на пути их распространения. Это может быть реализовано как непосредственно в ИВЭП (внутренние средства ослабления помех), так и с помощью дополнительных внешних помехоподавляющих средств.

Внутренние средства ослабления помех разделяются на *электрические* и *конструктивные*. Электрические средства предполагают уменьшение уровня помех, создаваемых ИВЭП, посредством влияния на электромагнитные процессы. Конструктивные способы и средства снижения ЭМП устраняют или ослабляют паразитные емкости и индуктивные связи, создают шунтирующие цепи для тока помехи, снижают уровень помех излучения. Зачастую это деление условно, так как изменение конструкции влияет на электромагнитные процессы и наоборот.

Применение одних только внутренних мер оказывается недостаточным для обеспечения ЭМС ИВЭП с питаемой электронной аппаратурой и питающей сетью. Поэтому наряду с ними применяют дополнительно внешние средства ослабления ЭМП — экранирование и помехоподавляющие фильтры.

Внутренние средства подавления ЭМП — *электрические*.

Основными источниками ЭМП являются силовые транзисторы и диоды. Что касается транзисторов, то интенсивность помехообразования уменьшается с увеличением длительности фронтов импульсов напряжения и тока. Но затягивание фронтов приводит к увеличению потерь. Поэтому если с помощью известных мер сформирована траектория переключения транзистора, не

выходящая за пределы области безопасной работы, то здесь с позиций уменьшения помехообразования уже ничего не добиться. В этом плане предпочтителен резонансный режим работы транзисторов.

Интенсивные помехи дали бы сквозные токи и замагничивание трансформатора в двухтактных инверторах, но их не допускают по условиям обеспечения нормального функционирования.

Мощную помеху генерируют диоды выходного выпрямителя. При запираии этих диодов переходный процесс изменения тока носит характер ударного возбуждения. Для уменьшения этих помех необходимо изменить характер переходного процесса, сделать его апериодическим. Можно было бы включить последовательно с диодами резисторы. Но это привело бы к существенным потерям. Поэтому применяется другое решение — подключение параллельно диодам RC -цепочек.

Внутренние средства — конструктивные.

Для трансформаторов уменьшить межобмоточную емкость можно либо увеличением расстояния между первичной и вторичной обмотками, либо применением электростатического экрана. Первое практически не применяется, так как приводит к росту индуктивности рассеяния. Электростатический экран выполняется в виде незамкнутого витка медной фольги, располагаемого между первичной и вторичной обмотками в трансформаторах броневго типа. Этот экран необходимо подсоединять к заземляемому выводу вторичной обмотки трансформатора. Такое решение снижает межвитковую емкость примерно на порядок.

Один из главных путей тока несимметричной помехи создается через паразитную емкость между силовым транзистором и радиатором. Для уменьшения этой емкости и создания замкнутого контура тока помехи применяется слоистая экранирующая шайба (шайба-экран).

Шайба-экран и схема силовой цепи преобразователя при ее установке между транзистором и радиатором показаны на рис. 4.4.

Шайбу-экран следует подсоединять к эмиттеру транзистора. Путь тока помех через шайбу-экран показан на схеме стрелкой — основная часть помехи замкнется между эмиттером и коллектором транзистора.

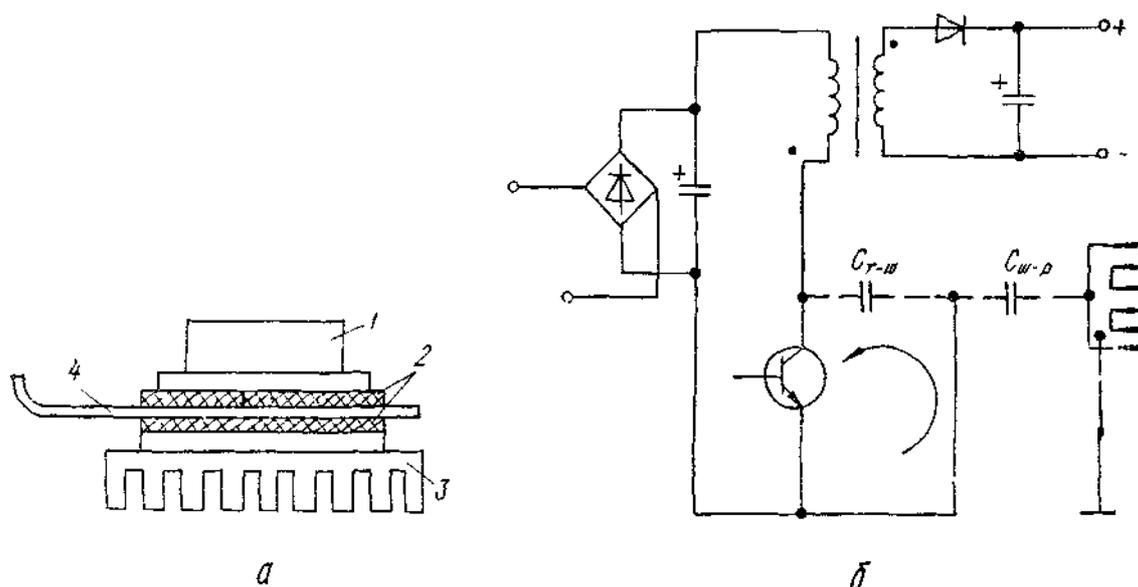


Рис. 4.4 — Установка «слоистой шайбы» между транзистором и радиатором:

a — конструкция (1 — транзистор; 2 — изолирующие шайбы; 3 — радиатор; 4 — металлическая шайба); *б* — эквивалентная электрическая схема ($C_{т-ш}$ — емкость между транзистором и шайбой; $C_{ш-р}$ — емкость между шайбой и радиатором)

Особенностью конденсаторов является то, что у конденсаторов меньшей емкости паразитные индуктивности меньше, чем у конденсаторов большей емкости одного и того же типа. Поэтому в выходных фильтрах целесообразно вместо одного конденсатора расчетной емкости применять параллельное соединение нескольких конденсаторов, набирая, таким образом, нужную емкость.

Значение паразитной индуктивности выходного фильтра зависит не только от собственной индуктивности, но и от индуктивности соединительных проводов.

На рис. 4.5 приведена конструкция электро монтажа конденсаторов фильтра на выходе ИВЭП, при которой исключаются паразитные индуктивности соединительных проводов. Здесь конструкция установки конденсаторов представляет собой проводник — шину, к которой крепятся конденсаторы и его выводы паяются фактически без дополнительных проводов.

Кроме того, обычно после основного выходного фильтра устанавливается еще как бы одно фильтрующее звено на элементах $L_{доп}$ и $C_{доп}$, как показано на рис. 4.6.

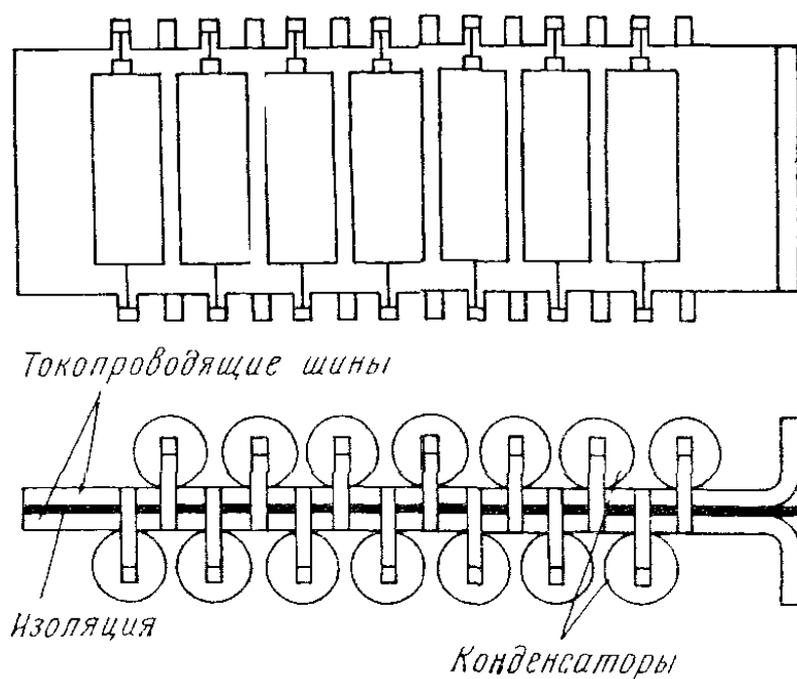


Рис. 4.5

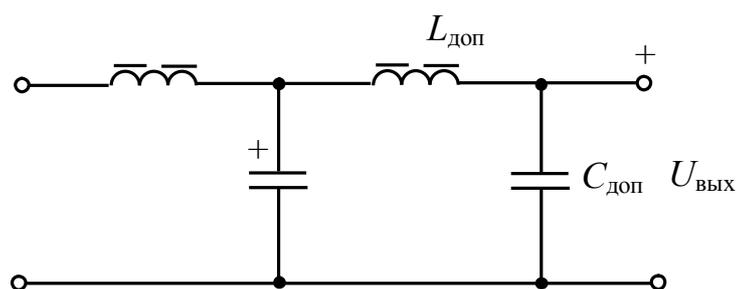


Рис. 4.6

Дроссель $L_{\text{доп}}$ имеет один-два витка, что практически исключает межвитковую емкость и позволяет «погасить» тот высокочастотный ток помехи, который «проскочил» через паразитную емкость основного дросселя. Дополнительный конденсатор (или несколько включенных параллельно) неполярный высокочастотный керамический, емкостью в единицы микрофарад.

Для взаимной компенсации магнитных потоков проводников с равными и противоположно направленными токами соединения выполняются бифилярными проводниками.

Монтаж узлов и элементов осуществляется наикратчайшими соединениями.

Цепи силовые и сигнальные разносятся, т.е. не помещаются в один жгут.

Сигнал обратной связи снимается с нагрузки экранированным проводом, причем экранирующая оплетка в качестве сигнального провода не используется, а заземляется (только в одной точке).

Рассмотрим далее основные вопросы, связанные с заземлением в электронной аппаратуре.

Общим термином «земля» обозначают различные по назначению и физическому исполнению системы проводящих поверхностей и электрических соединений. Их можно функционально подразделить на четыре основные группы. Первая — это проводящие системы, по отношению к которым производится отсчет напряжений сигналов и (или) питания, при этом потенциал самой системы принимается равным нулю. Примерами таких систем могут служить, например, так называемая «сигнальная земля» или так называемая «физическая земля» и т.п. Условно назовем такие системы земель *базовыми*. Вторая группа соединений предназначена для образования путей протекания обратных сигнальных и питающих токов. Примерами таких систем могут служить так называемая «общая шина» вторичного питания, «нейтраль» или «нулевой провод» первичного питания и т.п. Условно назовем такие системы соединений *возвратными*. Третья группа поверхностей и соединений служит для экранирования изделий и их частей, восприимчивых к помехам или излучающих помехи. Такие системы называются *экранирующими*. И, наконец, четвертая группа соединений предназначена для исключения возможности поражения обслуживающего персонала электрическим током. Такие системы соединений обычно называют *защитными*.

Перечисленные системы редко удается выполнить совершенно обособленными. Обычно совмещены базовая и возвратная система в цепях первичного и вторичного питания, а также экранирующая и защитные системы. Между тем совмещение систем обычно влечет за собой ухудшение свойств изделий, обуславливающих обеспечение электромагнитной совместимости. Так, например, основное требование к любой базовой системе земель — это эквипотенциальность всех точек системы. Но если система также и возвратная, то по ней протекают постоянные и импульсные токи. Вследствие падения напряжения от этих токов на активных и индуктивных сопротивлениях системы эквипотенциаль-

ность системы нарушается, и это является одной из основных причин снижения помехозащищенности изделий.

Уменьшить восприимчивость частей изделия к неэквипотенциальности системы земель можно с помощью снижения активного и индуктивного сопротивлений частей системы, продуманного выполнения топологии системы, а также путем применения гальванических развязок.

Топология функциональной системы земель может представлять собой сплошную поверхность, магистральную, радиальную или смешанную системы соединений.

Сплошная поверхность обладает относительно низкими значениями активного и индуктивного сопротивлений и обеспечивает наилучшую эквипотенциальность по сравнению с другими топологическими формами. Применение такая топология находит в многослойных платах печатного монтажа, а также для создания экранирующих конструкций изделий. Магистральная система соединений наиболее экономична, но менее других пригодна для построения возвратных систем, особенно если между частями изделий имеются информационные линии связи.

Кроме того возвратная система для информационных сигналов, как правило, является также возвратной системой и для токов вторичного питания. Как бы ни располагались элементы вдоль магистрали, всегда изменение токов потребления элементов, расположенных дальше от источника питания, приводит к появлению сигналов помех на входах приемников, расположенных ближе к источнику питания.

Радиальная система соединений имеет меньше общих участков для протекания обратных сигнальных и питающих токов. Но она менее экономична, так как требует в общем случае более длинных связей.

На практике чаще всего приходится иметь дело со смешанной системой соединений, сочетающей все три рассмотренных выше вида топологий. При этом следует по возможности избегать появления замкнутых контуров (петель) в системах земель или, по крайней мере, стремиться к тому, чтобы площадь контуров была минимальной, поскольку такого рода контуры обуславливают повышение восприимчивости изделий к помехам от импульсных магнитных полей.

Другое важное требование заключается в том, что обособленные системы земель должны соединяться между собой не более чем в одной точке, обычно именуемой опорным узлом. Обособленных систем может быть несколько: *земля* схемы управления изделий (т.е. возвратно-базовая система для информационных сигналов и вторичного питания), *корпус* изделия (т.е. защитно-экранирующая система) и *нейтраль* (т.е. возвратно-базовая система для первичного питания).

В тех случаях, когда группы устройств объединены в комплексы, опорных узлов может оказаться несколько. Тогда соединения опорных узлов между собой необходимо выполнять топологически в виде разветвленного дерева (без образования замкнутых контуров).

Перейдем к дополнительным *внешним средствам* подавления ЭМП и начнем с *экранирования*.

Экран (металлическая перегородка) служит для локализации электромагнитного поля ИВЭП и его узлов с целью ослабления уровня напряженности поля в окружающем пространстве.

Физический смысл экранирования *электрического поля* металлическим листом, соединенным с корпусом прибора заключается в *формировании короткого замыкания* на корпус для цепи, образованной паразитной емкостью между экранируемыми друг от друга узлами.

Для электромагнитной волны, падающей на металлическую поверхность, характерны *два вида потерь*. Волна *частично отражается от поверхности*, а ее неотраженная часть *преломляется* в среде экрана и по мере распространения *ослабляется*.

Эффективность экранирования зависит от частоты, конфигурации экрана, размещения внутри экрана источника излучения, вида ослабляемого поля, направления его распространения и поляризации. Наилучшим был бы многослойный экран, состоящий из разных металлов (алюминий, медь, свинец, сталь, цинк и т.д.). Но по практическим соображениям реально применяются двухслойные экраны из стали и меди. Толщина стального листа составляет 0,5—2 мм, на этот лист наносится тонкий слой меди со стороны источника помех. Помимо листовых материалов для экранирования применяются фольговые, сеточные материалы, токопроводящие краски, используется металлизация поверхностей.

В зависимости от назначения экраны представляют собой самостоятельную конструкцию (например, кожух экранируемой аппаратуры) или часть конструкции (например, экраны трансформаторов, дросселей, экранные перегородки между отсеками).

В любом из указанных случаев экраны представляют собой неоднородную конструкцию, так как в них имеются отверстия, обусловленные либо обеспечением требований, предъявляемых к экранам (например, перфорация необходима для обеспечения теплового режима ЭА или ее элементов), либо подводом соединительных проводов и т.п. Кроме того, экраны, изготавливаемые, как правило, из листовых материалов, имеют стыки и неравномерности в местах соединения листов. Утечка ЭМП через стыки, механические соединения и отверстия приводит к тому, что лишь 10—20 % значения эффективности экранирования обуславливается собственной эффективностью материала экрана, и основными факторами, определяющими эффективность, являются конструктивные.

Другим *внешним* помехоподавляющим *средством* являются *помехоподавляющие фильтры (ППФ)*.

По своему назначению *ППФ* — это *широкополосные фильтры нижних частот*, пропускающие в идеальном случае беспрепятственно постоянный ток или ток промышленной частоты и не пропускающие высокочастотные токи радиодиапазона. Между полосой пропускания и затухания находится широкий промежуточный диапазон, поэтому *ППФ* обычно выполняются по сравнительно простым схемам емкостных, индуктивных и индуктивно-емкостных пассивных фильтров. Особенностью *ППФ* является то, что они работают при большом сетевом напряжении и максимальном токе, потребляемом от сети.

Ввиду наличия двух различных путей распространения помех от ИВЭП (симметричного и несимметричного), *ППФ* должны содержать элементы, подавляющие помехи, распространяющиеся по каждому из этих путей.

На рис. 4.7 показаны разновидности *емкостных ППФ*. *ППФ*, состоящие только из несимметричных конденсаторов C_y (рис. 4.7, *a*), и по схеме на рис. 4.7, *б* подавляют как несимметричные, так и симметричные помехи (два последовательно включенных конденсатора C_y подавляют помехи, распространяющиеся по сим-

метричному пути). ППФ, состоящие только из симметричных конденсаторов C_x (рис. 4.7, б), подавляют лишь симметричные помехи.

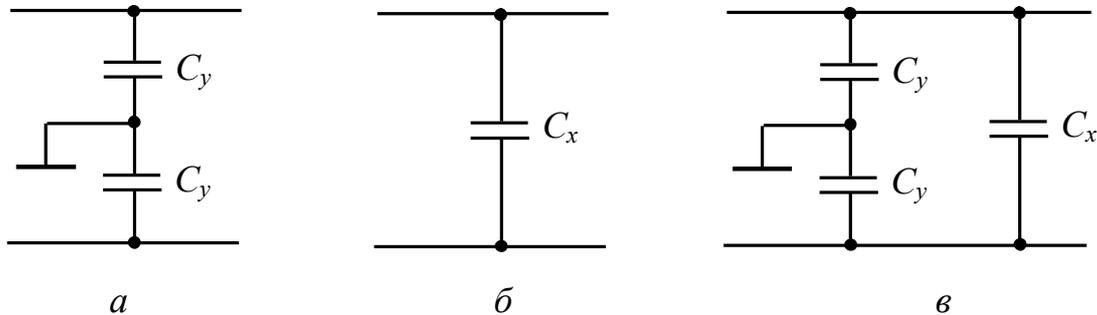


Рис. 4.7

Конденсаторы для подавления симметричной помехи C_x ограничений на значение емкости не имеют. Сложнее ослаблять несимметричные помехи, так как значения емкостей несимметричных конденсаторов C_y ограничены по соображениям техники безопасности. При допустимом значении тока утечки на уровне 0,5—4,5 мА в сети 220 В, 50 Гц значение C_y не должно превышать соответственно 6800—62 000 пФ при незаземленном корпусе.

Разновидности *индуктивных ППФ* показаны на рис. 4.8. ППФ, состоящие из двух дросселей, включенных в каждый из проводов (рис. 4.8, а), подавляют симметричные и несимметричные помехи. Для уменьшения падения сетевого напряжения на ППФ и увеличения его КПД применяют сдвоенные (режекторные) дроссели, обмотки которых подключаются, как показано на рис. 4.8, б. Конструктивно сдвоенные дроссели представляют собой две обмотки, намотанные с одинаковым количеством витков на общем магнитопроводе. ППФ по схеме, изображенной на рис. 4.8, б, подавляют помехи, когда токи помех проходят через обмотки дросселя в одном направлении (при этом индуктивность дросселя для симметричного тока помех определяется его индуктивностью рассеяния). При питании от сети переменного тока исключается подмагничивание рабочим током; при питании от сети постоянного тока исключается постоянное подмагничивание, становится возможным применение магнитопроводов из материала с высокой магнитной проницаемостью.

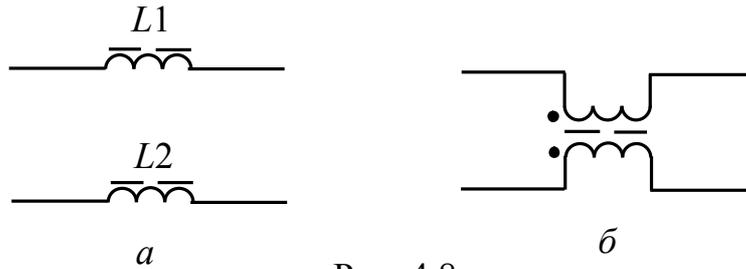
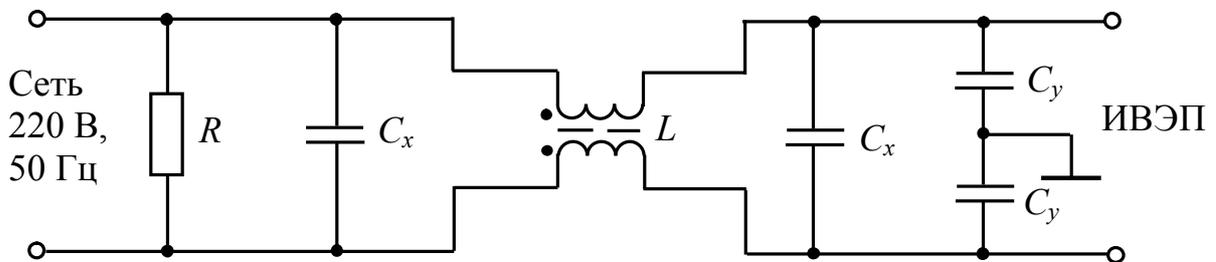


Рис. 4.8

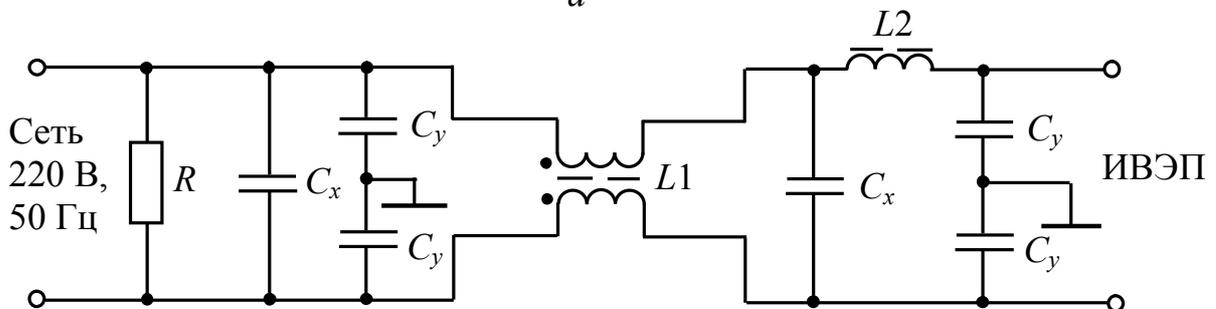
Эффективность ППФ в значительной степени зависит от сопротивления генератора помех z_i . Для несимметричной помехи это сопротивление велико (определяется паразитной емкостью, составляющей от единиц до сотен пикофард). Для симметричной помехи в ИВЭП с бестрансформаторным входом это сопротивление определяется значением полного сопротивления конденсатора входного фильтра (десятки микрофард) и сравнительно невелико.

Поэтому элементы фильтра, предназначенные для ослабления симметричных помех ($z_i < 150 \text{ Ом}$), начинаются (со стороны ИВЭП с бестрансформаторным входом) с дросселя, а для несимметричных ($z_i \gg 150 \text{ Ом}$) — с конденсаторов (рис. 4.9, б). Если же и для симметричной помехи выходное сопротивление велико (трансформаторный ИВЭП), то симметричные и несимметричные конденсаторы устанавливаются параллельно (рис. 4.9, а).



$$R = 1 \text{ МОм}, C_x = 0,22 \text{ мкФ}, C_y = 3300 \text{ пФ}, L = 10 \text{ мГн.}$$

а



$$R = 1 \text{ МОм}, C_x = 0,22 \text{ мкФ}, C_y = 2200 \text{ пФ}, L_1 = 15 \text{ мГн}, L_2 = 2,5 \text{ мГн.}$$

б

Рис. 4.9

При ослаблении помех от высокоомного источника не более, чем на 10—30 дБ достаточно применение только емкостных элементов.

Однозвенные индуктивные фильтры обеспечивают тот же уровень ослабления. Ослабление помех на 40—60 дБ может быть достигнуто в двух-, трехзвенных LC -фильтрах.

Схема фильтра, обеспечивающего в диапазоне частот 0,15—30 МГц затухание в пределах 40 дБ показана на рис. 4.9, а. Затухание до 60 дБ в этом же диапазоне обеспечивает более сложный ППФ, схема которого приведена на рис. 4.9, б.

Высокоомный резистор R на входе фильтров обеспечивает разряд конденсаторов при отключении от сети и предназначен для обеспечения безопасности обслуживающего персонала.

Для уменьшения количества дискретных элементов в ППФ выпускаются конденсаторные сборки, содержащие симметричный и несимметричные конденсаторы. Внешний вид и схема сборки типа К75-37 приведены на рис. 4.10.

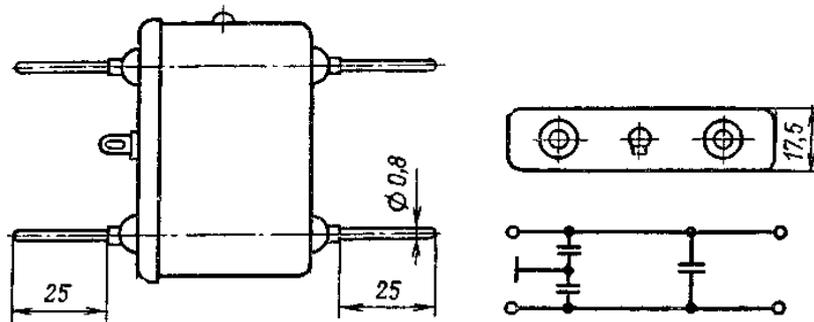
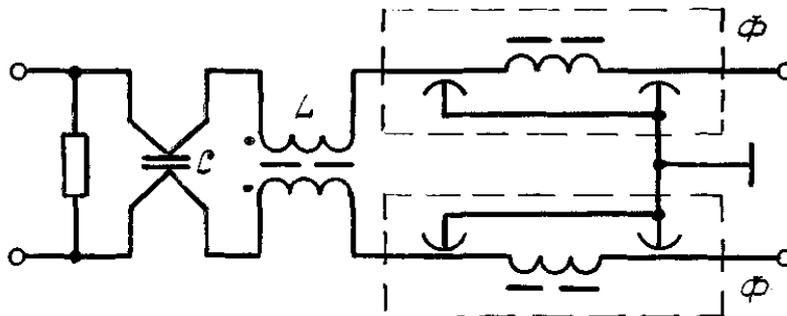


Рис. 4.10

Схема компактного ППФ с использованием специальных компонентов представлена на рис. 4.11



$C = 1,5 \text{ мкФ}$; $L = 24 \text{ мГн}$; Φ -Б14 в диапазоне частот 0,15—30 МГц
затухание 50 дБ

Рис. 4.11

В качестве симметричного конденсатора здесь используется четырехвыводной конденсатор типа К73-21, внешний вид которого показан на рис. 4.12.

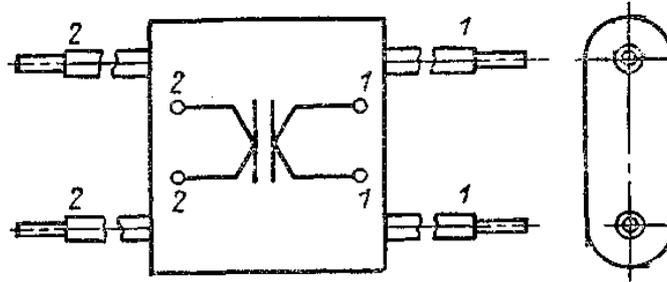


Рис. 4.12

Особенность четырехвыводной конструкции заключается в том, что индуктивность выводов не входит в эквивалентную паразитную индуктивность конденсатора.

Элементы Φ на схеме рис. 4.11 — керамические проходные фильтры (выпускаются такие фильтры типов Б7, Б14, Б23 — для цепей переменного тока и Б15 — для цепей постоянного тока).

Конструкция проходных фильтров изображена на рис. 4.13.

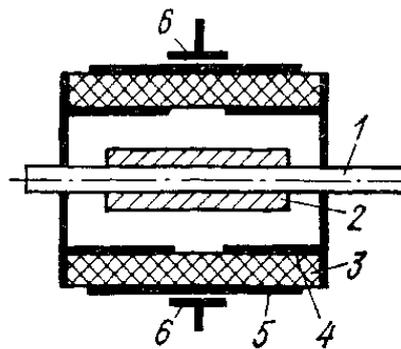


Рис. 4.13

Медный посеребренный отрезок провода 1 с надетым на него сердечником из ферромагнитного материала 2 помещен в керамическую трубку из сегнетокерамики 3 , образуя единый элемент. На внешнюю и внутреннюю поверхности керамической трубки нанесены серебряные электроды. Между внутренними электродами 4 имеется небольшой зазор. Наружный электрод 5 общий, соединенный с фланцем 6 . Такая конструкция реализует два цилиндрических конденсатора, которые с ферромагнитным

сердечником образуют П-образную схему фильтра. Эти элементы имеют размеры 1—2 см в длину, несколько миллиметров в диаметре.

При конструировании ППФ стремятся предельно уменьшать длину проводников от генератора помехи к ППФ. Фильтр целесообразно экранировать, используя в качестве экрана корпус; несимметричные конденсаторы, как правило, проходные должны устанавливаться на корпусе в месте выхода (входа) проводов к фильтру. Внутри фильтр должен быть разделен экранными перегородками на отдельные отсеки, как показано на рис. 4.14, корпус (экран) фильтра должен быть сплошным без щелей. Целесообразно подключение проводов осуществлять с помощью экранированных разъемов.

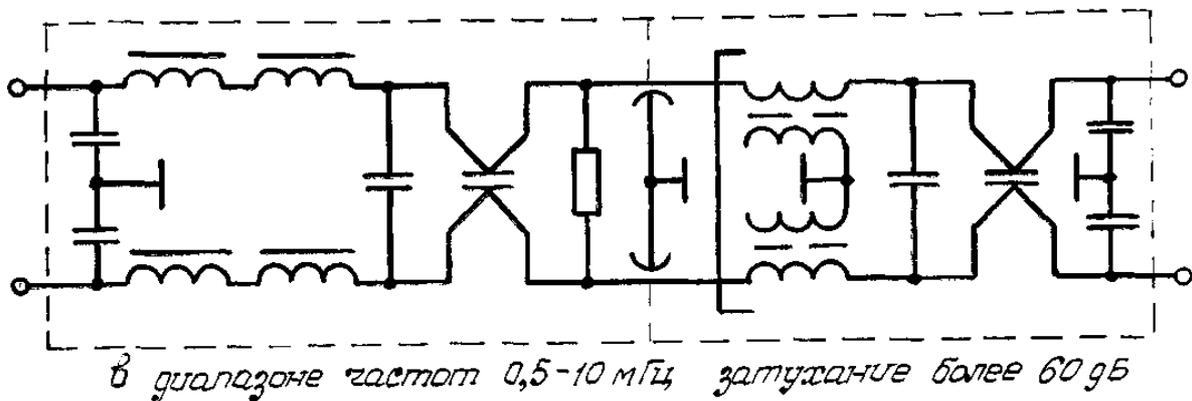


Рис. 4.14

Конструкция проходного конденсатора К72П-3 с фланцевым креплением к корпусу (экрану) фильтра приведена на рис. 4.15.

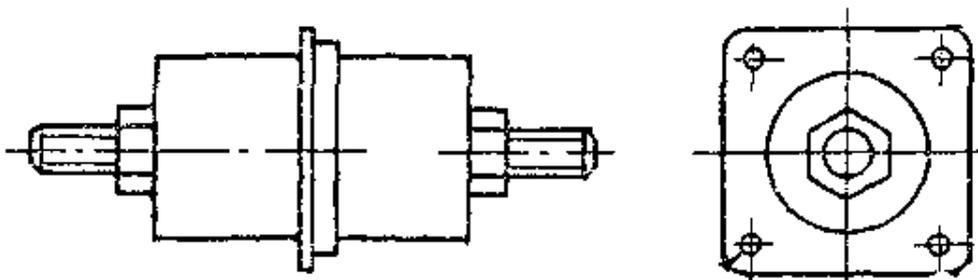
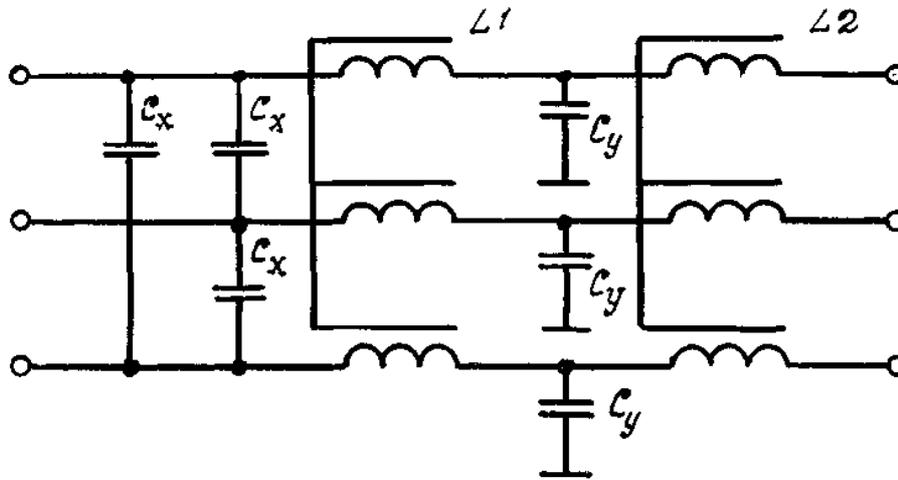


Рис. 4.15

Одной обкладкой проходного конденсатора является центральный проводник, а другой — корпус.

Пример схемы трехфазного ППФ приведен на рис. 4.16.



$C_x = C_y = 1,5 \text{ мкФ}$; $L1 = L2 = 8 \text{ мГн}$
в диапазоне частот от 0,1—10 МГц затухание около 40 дБ.

Рис. 4.16

В качестве индуктивных элементов в ППФ кроме одно- и двухобмоточных дросселей могут применяться и безвитковые дроссели. Такие дроссели представляют из себя соединительные провода, на которые надеты ферритовые трубки или кольца.

Имеет существенное значение размещение ППФ в конструкции ИВЭП. Примеры различных способов установки фильтра показаны на рис. 4.17.

В реальных условиях эксплуатации ЭА отдельно следует выделить такой вид ЭМП, как грозовые разряды. От грозовых разрядов в сетях переменного тока могут возникать кратковременные импульсы напряжения амплитудой до 4—6 кВ.

Простейшими подавителями (ограничителями) выбросов для защиты входных цепей ИВЭП от перенапряжения являются металл-оксидные *варисторы*, включенные параллельно проводникам электрической сети.

Варисторами называют резисторы объемного типа с резко нелинейными ВАХ. Их сопротивление уменьшается при увеличении приложенного напряжения. Характеристики варисторов симметричны при напряжениях и токах различных направлений, вследствие чего варисторы работоспособны в цепях как постоянного, так и переменного и импульсного токов.

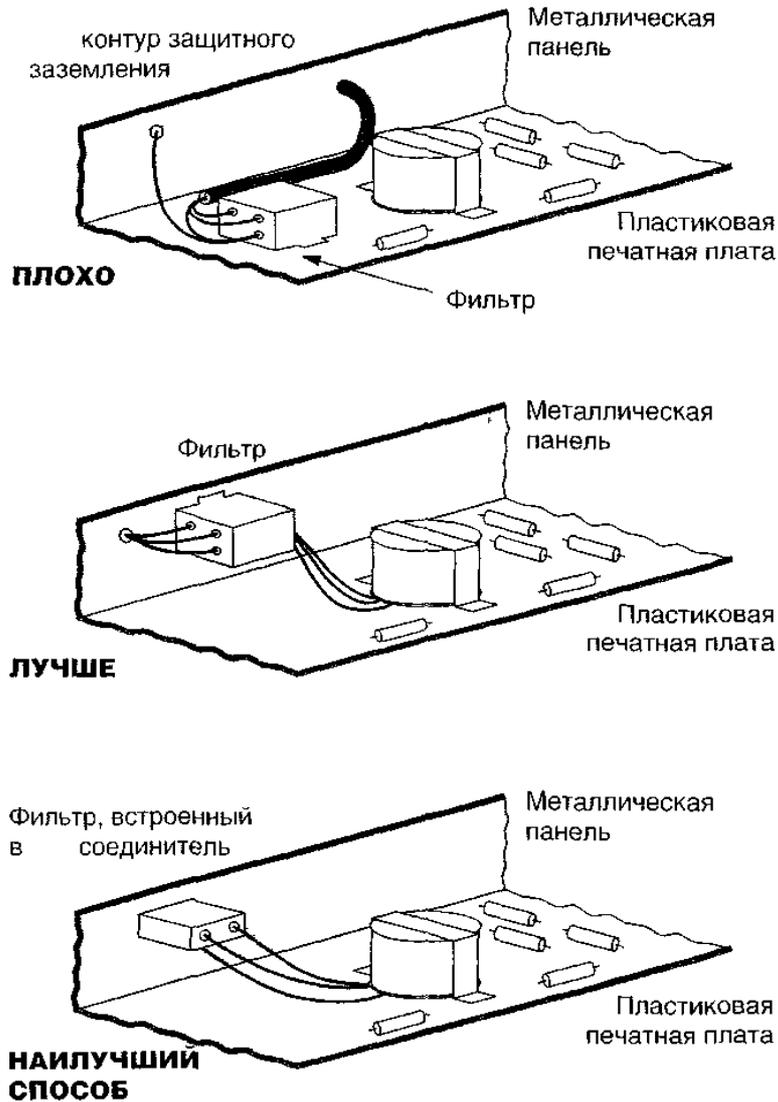


Рис. 4.17

В момент воздействия помехи сопротивление этих элементов резко уменьшается. При этом линия питания оказывается зашунтированной низкоомным сопротивлением варистора. Таким образом осуществляется ограничение напряжения линии на определенном уровне.

Понятно, что заблокированный «сгусток» электроэнергии не может исчезнуть бесследно — он превращается в тепло, рассеиваемое в теле варистора. Отсюда следует, что защитные элементы должны нормироваться не только по величине порогового напряжения, но и суммарной тепловой энергии, которую они способны рассеять.

5 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате рассмотрения различных устройств электропитания можно заключить, что при кажущейся на первый взгляд простоте функционального назначения ИВЭП реальные устройства имеют сложную схемотехнику. Определяется это параметрами входной электроэнергии, требованиями к качеству выходной электроэнергии, обеспечением сервисных возможностей, взаимным влиянием отдельных функциональных узлов и т.д.

Отличительной особенностью современных средств электропитания является применение ключевых методов преобразования параметров электроэнергии, что принципиально приводит к генерированию электромагнитных помех. С другой стороны, основные функциональные узлы электронной аппаратуры характеризуются исключительно низким уровнем мощности полезных сигналов. Это накладывает дополнительные сложности на схемотехническое и конструктивное выполнение ИВЭП.

Помимо самих ИВЭП, в состав средств вторичного электропитания для нормального взаимодействия с сетью переменного тока вводятся дополнительные устройства, такие как источники бесперебойного питания и корректоры коэффициента мощности.

Знание рассмотренных в учебном пособии вопросов позволит будущим специалистам правильно ориентироваться в выборе питающего оборудования при эксплуатации и модернизации электронных устройств различного назначения.

6 ЛИТЕРАТУРА

1. Андрющенко И.В. Резервирование в централизованных системах бесперебойного электропитания // Сети и системы связи. — 1998. — № 10. — С. 146—149.
2. Ахметов К. Защита информации, бесперебойное питание и решения APC // Компьютер-Пресс. — 1999. — № 8. — С. 41—44.
3. Березин О.К., Костиков В.Г., Шахнов В.А. Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры. — М.: Три Л, 2000. — 400 с.
4. Варламов В.Р. Современные источники питания: Справочник. — М.: ДМК Пресс, 2001. — 224 с.
5. Варыпаев В.Н., Дасоян М.А., Никольский В.А. Химические источники тока. — М.: Высшая школа, 1990. — 240 с.
6. Воробьев А.Ю. Электроснабжение компьютерных и телекоммуникационных систем. — М.: Эко-Трендз, 2002. — 280 с.
7. Жданкин В.К. Преобразователи напряжения для современных высокопроизводительных цифровых систем // Современные технологии автоматизации. — 2002. — № 4. — С. 40—50.
8. Жданкин В.К. DC/DC-преобразователи бескорпусного типа для поверхностного монтажа // Современные технологии автоматизации. — 2002. — № 1. — С. 60—74.
9. Жданкин В.К. Импульсные AC/DC-преобразователи фирмы Artesyn Technologies // Современные технологии автоматизации. — 2003. — № 1. — С. 14—27.
10. Жданкин В.К. Устройства силовой электроники фирмы Zicon Electronics // Современные технологии автоматизации. — 2000. — № 1. — С. 6—25.
11. Колосов В., Мухтарулин В. Устранение недопустимых воздействий на электронную аппаратуру из сетей электропитания // Современные технологии автоматизации. — 2001. — № 2. — С. 80—89.
12. Костиков В.Г., Парфенов Е.М., Шахнов В.А. Источники электропитания электронных средств. Схемотехника и конструирование. — М.: Горячая линия — Телеком, 2001. — 344 с.
13. Кучеров Д.П. Источники питания ПК и периферии. — СПб.: Наука и техника, 2002. — 384 с.
14. Лагутин А. Источники бесперебойного питания // РС

Magazine/ Russian Edition. — 2002. — № 1. — С. 39—41.

15. Майоров А.П. ИБП для централизованных систем питания // Сети и системы связи. — 1997. — № 7. — С. 100—108.

16. Майоров А.П. ИБП для серверных комнат // Сети и системы связи. — 1997. — № 4. — С. 116—123.

17. Майоров А.П. ИБП для ПК и рабочих станций // Сети и системы связи. — 1997. — № 1. — С. 118—126.

18. Майоров А.П. Управление ИБП // Сети и системы связи. — 1997. — № 12. — С. 142—148.

19. Подавление электромагнитных помех в цепях электропитания / Г.С. Векслер и др. — Киев: Техника, 1990. — 167.

20. Сольников Л. Новые модели ИБП // PC Magazine/ Russian Edition. — 2002. — № 7. — С. 42—43.

21. Тарасов Д. Оптимальный выбор ИБП // Современные технологии автоматизации. — 2005. — № 3. — С. 66—72.

22. Хруслов Л.Л. Магнитные ключи в многоканальных, сильноточных источниках питания // Электротехника. — 1999. — № 1. — С. 47—51.

23. Электронные приборы для защиты РЭА от электрических перегрузок: Справочник / В.П. Черепанов и др. — М.: Радио и связь, 1994. — 224 с.