

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ
им. проф. М. А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»
(СПбГУТ)

П. Ю. Виноградов, О. В. Воробьев, И. В. Копылова,
В. В. Маракулин, Б. Г. Шамсиев

ИСТОЧНИКИ ГАРАНТИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

**Учебно-методическое пособие
по выполнению лабораторных работ**

СПб ГУТ)))

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2018

УДК 621.311(076)
ББК 32.88-4я73
И 91

Рецензент
доцент кафедры фотоники и линий связи СПбГУТ
Б. К. Никитин

*Рекомендовано к печати
редакционно-издательским советом СПбГУТ*

- И91 Источники гарантированного электропитания : учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ / П. Ю. Виноградов, О. В. Воробьев, И. В. Копылова, В. В. Маракулин, Б. Г. Шамсиев ; СПбГУТ. – СПб., 2018. – 36 с.
Даны методические рекомендации к лабораторным занятиям.
Написано в соответствии с программой дисциплины «Источники гарантированного электропитания».
Предназначено для бакалавров, обучающихся по направлению подготовки очной формы обучения: 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника».

**УДК 621.311(076)
ББК 32.88-4я73**

- © Виноградов П. Ю., Воробьев О. В.,
Копылова И. В., Маракулин В. В., Шамсиев Б. Г., 2018
© Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», 2018

ВВЕДЕНИЕ

Невозможно представить себе нашу сегодняшнюю жизнь без электричества. Универсальность в применении, низкая стоимость, простота транспортировки потребителю сделали электроэнергию неотъемлемым атрибутом окружающего мира. Использование электроэнергии стало настолько обыденным, что мы уже не обращаем внимания на свою зависимость от электричества. Только личное столкновение с перебоями в сети электропитания или их последствиями (застрявший между этажами лифт, потеря информации в компьютере, недосмотренный телесериал) заставляет нас на время вспомнить об этом.

Упрощенно процесс производства и транспортировки электроэнергии выглядит следующим образом: на электростанциях механическая, тепловая, атомная или другая энергия превращается в электрическую, по линиям электропередач передается к потребителям и непосредственно перед источниками ее потребления преобразуется в нужный стандарт.

В России стандарт бытового электропитания следующий: действующее напряжение 220 В +10, –15 %, частота 50 Гц \pm 2 %, коэффициент несинусоидальности: длительно до 8 % и кратковременно – до 12 % (ГОСТ-13109-97). Таким образом, напряжение в сети должно менять свое значение по синусоиде с периодом 1/49–1/51 с., находиться в пределах 198–242 В и отличаться по форме от идеальной синусоиды не более чем на 8 %.

Все электроприборы рассчитаны на работу от сети, удовлетворяющей требованиям стандарта, и любой пользователь должен обеспечить соблюдение условий их эксплуатации. В противном случае продавцы и производители электроприборов не будут нести ответственность за качество их работы. О возмещении косвенного ущерба, вызванного неправильным функционированием электрооборудования, речи вовсе быть не может (достаточно почитать в любом гарантийном соглашении пункт об ограничении ответственности производителя).

К сожалению, по различным причинам характеристики электрической сети, питающей ваше оборудование, не являются стабильными. Все отклонения величины или формы подаваемого напряжения от требований стандарта принято называть искажениями либо помехами.

К счастью, в настоящее время существует оборудование и подходы, позволяющие спроектировать и создать автономные локальные системы бесперебойного энергоснабжения, обеспечивающие независимость потребителей электроэнергии от помех в обычной энергосети. В зависимости от класса оборудования и конфигурации такие системы в состоянии нейтрализовать либо все, либо только определенный набор помех. На Западе это оборудование обозначается аббревиатурой UPS (Uninterruptible Power System или Supply). В России нет устойчивого

названия, в литературе встречаются такие названия, как АБП, БИП, ББП, ИПБ, ИБП и др. В дальнейшем мы будем придерживаться термина ИБП (источник бесперебойного питания) и СБП (система бесперебойного питания).

Современный уровень технологии и качества используемого в этих системах оборудования позволяет затрачивать на их закупку и эксплуатацию суммы, несравнимые с потерями, которых они позволяют избежать. Применение таких систем с финансовой точки зрения подобно страховке, с той разницей, что при правильном построении системы страховой случай никогда не наступает.

1. ПРОБЛЕМЫ В ЭЛЕКТРОПИТАНИИ ОБЪЕКТОВ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

На сегодняшний день мы полностью зависимы от электропитания. И необходимо чтобы электроэнергия, вырабатываемая источниками питания, была качественной и непрерывной, потому что это играет решающую роль для компаний, для безопасности людей для хранения и обработки данных и для коммуникации. В табл. приведены различные нарушения (с описанием и влиянием) в электросети, которые постоянно подвергают опасности электронное оборудование.

Таблица 1

Нарушение	Причина	Влияние
 <p data-bbox="212 1429 472 1503">Снижение уровня напряжения</p>	<p data-bbox="624 1193 1032 1473">Кратковременное понижение уровня напряжения. Это наиболее распространенная ситуация (около 87 %). Причины этого вызваны активацией мощных электрических устройств</p>	<p data-bbox="1061 1193 1468 1391">Снижение уровня напряжения приводит к неожиданным катастрофическим системным отказам, а также к потере и повреждению данных</p>
 <p data-bbox="212 1841 523 1872">Перепад напряжения</p>	<p data-bbox="624 1606 1032 1720">Перепад напряжения или кратковременный переходный процесс</p>	<p data-bbox="1061 1606 1468 1845">Это может влиять на работу электронных устройств через сети питания, повредить или полностью уничтожить компоненты и (или) вызвать постоянную перезагрузку ПК</p>

 <p>Повышенное напряжение</p>	<p>Кратковременное увеличение напряжения, обычно длительностью десятки мс, вызванное отключением мощного двигательного оборудования</p>	<p>Является причиной раннего отказа компьютеров и других устройств и компонентов, требующих точного поддержания величины питающего напряжения</p>
 <p>EMI / шум RFI</p>	<p>Шум и электромагнитные помехи в электросети. Они порождаются различными факторами и явлениями</p>	<p>Ошибки и проблемы в ПК. Это может также приводить к неправильному функционированию различных электрических устройств</p>
 <p>Изменение частоты</p>	<p>Изменение частоты может происходить при работе от источника ограниченной мощности или из-за изменения скорости вращения вала турбины при изменении напора поступающей воды</p>	<p>Эти изменения вызывают ошибки с магнитными носителями (диски, ленты и т. д.), различные виды других проблем</p>

2. СПОСОБЫ ПОСТРОЕНИЯ УСТРОЙСТВ И СИСТЕМ, УЛУЧШАЮЩИХ КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

Обеспечение надежного электроснабжения – проблема многоуровневая. Далеко не все сбои вызваны плохой работой энергетических компаний. На счет прямых поставщиков в полном объеме можно отнести лишь «выбег» частоты, который в России встречается крайне редко из-за довольно строгого соблюдения ГОСТа. Все другие нарушения электроснабжения обычно вызваны совсем другими причинами. Однако их последствия одинаково малоприятны, а некоторые просто фатальны. Особенно, срывы напряжения или частое и продолжительное полное исчезновение

напряжения. Устранить влияние данных сбоев можно несколькими способами, перечисленными ниже.

1. Сетевой фильтр
2. Стабилизатор напряжения и другие средства защиты
3. Источник бесперебойного питания

С последствиями большинства сбоев вполне справятся современные стабилизаторы, выполненные по феррорезонансной технологии. Но они не в состоянии предотвратить последствия пропадания напряжения. Источники бесперебойного питания разных типов (ИБП, или UPS – эта английская аббревиатура часто используется в нашей литературе) могут помочь справиться и с этой проблемой. Есть и более незначительный, но при этом и более дорогостоящий вариант – приобрести автономный дизель-генератор. Но все же наилучшим по соотношению цены и качества является приобретение партии источников бесперебойного питания.

Сетевые фильтры – техника, совершенно необходимая для снабжения стабильности работы сложных электронных приборов. Если вы посмотрите на этикетку, расположенную на блоке питания компьютера, рядом с кабелем подачи электроэнергии принтера или монитора, то сможете найти на ней характеристики входного напряжения. Как правило, производитель указывает значения порядка 100–240 В при частоте 50–60 Гц.

Почему же указан диапазон, если номинал напряжения в электросети составляет 220 В при частоте в 50 Гц? Потому что текущие значения параметров электропитания отличаются от параметров, предусмотренных ГОСТом. Электростанции питают огромное количество потребителей электричества, в результате каждое подключение/отключение больших нагрузок (к примеру, производственных мощностей находящейся недалеко от вашего дома фабрики) может вызывать скачки напряжения как вверх, скажем до 250 В, так и вниз, например до 200 В. При сбоях электрооборудования на самой подстанции может меняться частота напряжения, что не менее губительно для чувствительной компьютерной техники.

Сетевые фильтры – это способ избежать повреждения техники из-за помех в электросети. Такие устройства призваны демпфировать помехи, перед тем как подать напряжение на компьютер. Фильтры оборудованы встроенной схемой, поглощающей скачки напряжения и искажения частоты, а для более значительных помех у них имеется предохранитель, который вовсе отключает фильтр. Все это очень важно, поскольку в случае небольших искажений электропитания техника будет совершать ошибки и быстрее срабатывать, а при серьезных помехах может выйти из строя.

Основные свойства сетевых фильтров

Хотя в основе сетевых фильтров лежит достаточно простая схема автоматической компенсации, они тем не менее обладают рядом отличий, объясняющих разницу в цене и возможностях.

Первое, что отличает сетевые фильтры, – количество розеток для подключения техники. Чем больше розеток, тем больше устройств вы сможете подключить – компьютер, монитор, принтер, стереосистему, зарядное устройство для телефона и т. п. Поэтому сегодня фильтры выпускаются с количеством розеток от одной до восьми.

Следует помнить, что подключение к фильтру большого количества техники чревато отключением всех устройств в случае перегрузки. И это объясняется наличием второго параметра – максимальной мощности нагрузки (измеряется в кВт или В·А).

Третье – это возможность защиты телефонной линии. В связи с постоянными изменениями нагрузки на общую телефонную сеть, напряжение в телефонной линии также может изменяться и искажаться. В некоторых фильтрах предусмотрена схема демпфирования указанных искажений для телефонной линии, что позволяет обеспечить бесперебойную работу модема или факса.

Кроме того, сетевые фильтры характеризуются способностью фильтровать помехи в компьютерной сети. Последние возникают при использовании слишком длинных кабелей между сетевыми устройствами или при плохом качестве самих устройств. Если же концентраторы сети используются в здании с нестабильным электропитанием без фильтров, скачки напряжения в компьютерной сети тоже становятся более вероятными.

Сетевые фильтры имеют также максимальный поглощаемый импульсный выброс. Данный параметр измеряется в джоулях (Дж), и чем он больше, тем более серьезные краткосрочные отклонения в параметрах электропитания может компенсировать фильтр.

Можно обратить внимание и на длину провода (сетевой фильтр часто выполняет функции удлинителя, позволяющего подключить всю компьютерную периферию).

Стабилизаторы напряжения – предназначены для защиты оборудования от нестабильной подачи электроэнергии, высоковольтных импульсов, сбоев в сети, высокочастотных помех.

Они делятся на три основных вида: электромеханические, электронные, феррорезонансные (как правило, выпускаются только в трехфазном исполнении).

В зависимости от конструкции и применения можно выделить стабилизаторы напряжения трехфазные (380/220 В) и однофазные (220 В).

Принцип работы

1. Электромеханический стабилизатор.

Он имеет блок управления, который отслеживает напряжение на входе стабилизатора и при его понижении с помощью механического привода перемещает «бегунок» вниз по схеме регулируемого автотрансформатора. При достижении 220 В на выходе, блок управления останавливает «бегунок».

нок». При повышении напряжения на входе блок управления с помощью механического привода перемещает «бегунок» вверх по схеме.

2. Электронный стабилизатор.

Принцип его действия основан на переключении обмоток автотрансформатора, в зависимости от входного напряжения, которое отслеживает блок управления.

3. Феррорезонансный стабилизатор.

В основе его принципа работы является использование резонанса. Выходное напряжение изменяется плавно (без ступеней), с достаточно большой точностью. Плюс ко всему этому он имеет достаточно высокое быстродействие и надежность.

Основное назначение источника бесперебойного питания (ИБП) защита компьютерной техники

2.1. Системы бесперебойного питания

Под бесперебойным питанием подразумевается электропитание нагрузки без ухудшения показателей качества электроэнергии в случаях исчезновения или просадок напряжения на входных выводах цепей питания системы бесперебойного питания (СБП).

Развитие средств телекоммуникаций тесно связано с повышением требований к качеству и бесперебойности их электропитания. Современное цифровое оборудование (АТС, серверы в системе WWW и т. д.) более критично, чем аналоговое, к пропаданию напряжения в электросетях, к влиянию электромагнитных помех и других внешних воздействий. Все эти проблемы решают современные системы бесперебойного (гарантированного) электропитания, которые позволяют:

1) обеспечить бесперебойное электроснабжение особо важных нагрузок объекта или всего объекта;

2) своевременно отключить нагрузки от аварийной сети;

3) провести подготовительные мероприятия по переводу питания на резервный источник (ИБП, ДГУ, стойка питания, в зависимости от уровня защиты) как в автоматическом режиме, так и в ручном, и осуществить переключение. Это исключает возможность скачкообразного изменения потребления, тем самым обеспечивается надежная защита основного оборудования;

4) использовать уровень защиты и автоматизации различной сложности: от всего объекта до конечной нагрузки.

На рис. 1 представлена типовая структурная схема электроснабжения предприятия связи. Данная схема позволяет сохранить снабжение электроэнергией объекта (или любой части объекта), тем самым сохранить денежные средства, которые пришлось бы потратить на восстановление вышедшего из строя оборудования.

Типовая схема содержит:

1) вводы фидеров питания 0,4 кВ от трансформаторных подстанций (ТП). Количество подключаемых вводов определяется заказчиком, исходя из специальных норм или требований технического задания по их резервированию;

2) собственная электростанция (СЭ). Чаще всего в качестве СЭ используется дизель-генераторная установка (ДГУ). Используется в случаях, если не возможно подключить объект связи к требуемому количеству ТП или при повышенных требованиях к резервированию вводов фидеров питания, предусматривающих использование автономного источника энерго-снабжения;

3) система автоматического ввода резервного электропитания (АВР). Служит для коммутации вводов фидеров питания от ТП и от СЭ по определенному заказчиком алгоритму;

4) система гарантированного электропитания 24-48-60 В потребителей постоянного тока;

5) система гарантированного электропитания 220/380 В потребителей переменного тока (ИБП);

б) система мониторинга и контроля.

Собственные электрические станции (СЭ) могут иметь двойное назначение. В тех случаях, когда электроснабжение объекта связи может быть осуществлено от внешних электросетей или электростанций, СЭ осуществляют резервное электроснабжение. При этом мощность СЭ ограничивается необходимым минимумом нагрузки предприятия связи. На особо ответственных предприятиях связи СЭ должны обеспечивать продолжительную автономную работу предприятия связи. При отсутствии электроснабжения от внешних сетей или электростанций, СЭ является единственным источником электроснабжения и рассчитывается на продолжительную работу с обеспечением всех нагрузок (как технических, так и хозяйственных нужд предприятия). СЭ оборудуются первичными двигателями внутреннего сгорания, газовыми турбинами или иными первичными двигателями. В качестве электрогенераторов используются различные генераторы переменного и постоянного тока

ШВР – *шкаф вводно-распределительный* обеспечивает: подачу переменного тока к выпрямительным устройствам, местным потребителям; контроль напряжения постоянного тока; сбор информации о повреждениях, возникающих на оборудовании ЭПУ; защиту от перегрузок по напряжению и токов короткого замыкания в токоведущих шинах ТРС, а также автоматическое включение и переключение аварийного освещения предприятия связи. Иногда на ШВР возлагают функции АВР, т. е. осуществляет подачу сигнала на запуск автоматизированных дизельных электростанций при отключении внешних источников электроэнергии и автоматическое отделение потребителей гарантированного питания, подключаемых к

дизельной электростанции от потребителей негарантированного питания, питаемых от внешних источников электроэнергии.

Система вентиляции и кондиционирования воздуха (СВ и К) создает и автоматически поддерживает в закрытых помещениях параметры на определенном уровне с целью обеспечения оптимальных метеорологических условий, наиболее приятных для самочувствия людей и нормального функционирования СЭП. Кондиционирование воздуха осуществляется комплексом технических средств забора воздуха, подготовки (придания необходимой кондиции), перемещения и его распределения, а также средства хладо- и теплоснабжения, автоматики, дистанционного управления и контроля. СВ и К обслуживаются, как правило, комплексными автоматизированными системами управления. Автоматизированная система кондиционирования поддерживает заданное состояние воздуха в помещении независимо от колебаний параметров окружающей среды.

Система мониторинга и управления (СМ и У) осуществляет удаленный контроль и управление состоянием СЭП. Такая возможность связи с системой управления минимизирует затраты на персонал, издержки на эксплуатацию и обслуживание. Наличие полной информации в сочетании с избирательным доступом к ней повышает скорость и эффективность при устранении повреждений в СЭП. В памяти контроллера в течение нескольких дней сохраняются данные о сбоях и измеренные значения параметров, что позволяет проверять долгосрочное поведение определенных величин. Это позволяет считывать и анализировать нужные данные с помощью локальной консоли оператора или из удаленного центра управления. Запись, хранение и передача системной информации создает основу для статистического анализа и планирования с оптимизацией издержек. Кроме того, это позволяет своевременно обнаруживать неисправности.

На интерфейс поступает текущая информация о работе системы: напряжение нагрузки; ток нагрузки; ток батареи; текущее состояние выпрямительных устройств; состояние системы питания переменного тока; информация с датчика температуры выпрямительных устройств; информация с датчика температуры батареи и т. д. Контроллер выполняет следующие управляющие функции:

- заряд батареи с управлением по току;
- заряд батареи с управлением по времени;
- контроль контакта отключения батареи при ее «глубоком» разряде;
- регулировку уровня напряжения «плавающего заряда» в зависимости от температуры;
- отключение батареи в зависимости от температуры;
- дистанционное управление выпрямительными устройствами и т. д.

Кроме того, контроллер обеспечивает аналоговую сигнализацию о сбоях для удаленного оборудования через плавающие переключательные контакты, а также цифровую сигнализацию через модем: контроль напря-

жения нагрузки; контроль батарейного напряжения; контроль предохранителей; контроль выпрямителей; контроль мощности переменного тока.

Электропитающей установкой (ЭПУ) называется часть СЭП, предназначенная для преобразования, регулирования, распределения и обеспечения бесперебойности подачи различных напряжений переменного и постоянного тока, необходимых для нормального функционирования предприятия связи. ЭПУ включает в себя следующие элементы: выпрямительные устройства (ВУ), инверторы (И) и конверторы (К) напряжения, аккумуляторную батарею (АБ), токораспределительные сети (ТРС), связывающие оборудование ЭПУ между собой, а также с аппаратурой связи и с нагрузками аварийного освещения, и систему заземления с защитными устройствами.

Выпрямительное устройство (ВУ) – это статический преобразователь напряжения переменного тока в напряжение постоянного тока. Промышленность выпускает ВУ общего применения, которые предназначены как для заряда и подзаряда аккумуляторных батарей, так и для электропитания аппаратуры связи и осветительных установок. Величина тока нагрузки определяется типом и количеством ($n_{ВУ}$) параллельно работающих выпрямительных блоков.

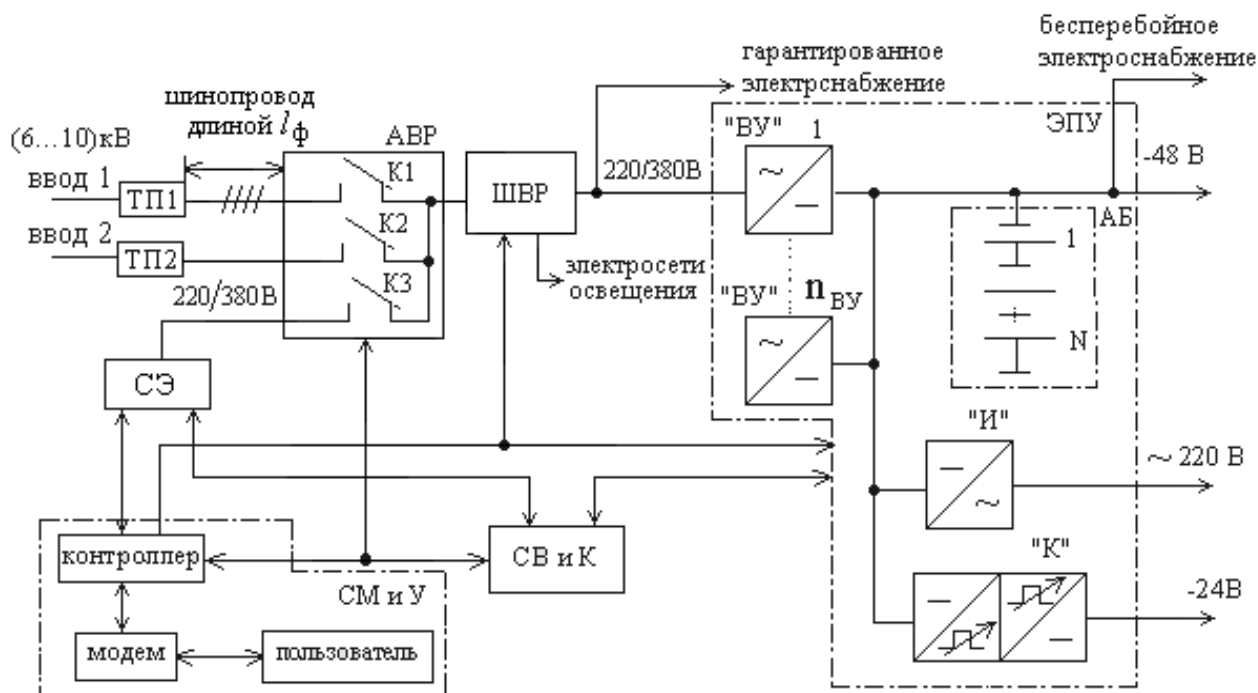


Рис. 1. Типовая структурная схема электроснабжения предприятия связи

2.2. Описание функционирования системы бесперебойного электропитания в различных режимах

Система бесперебойного электропитания (СБЭ) в нормальных условиях, т. е., при сохранении основного энергопитания здания по городским линиям (рис. 2), оборудование СБЭ функционирует в следующем режиме.

Контактор в блоке управления и коммутации нагрузки ДГУ находится в положении «Mains» (штатное состояние), т. е. основная сеть. Энергоснабжение потребителей группы «В» осуществляется через этот контактор напрямую от основной сети. ИБП (или параллельный комплекс ИБП) запитан также от основной сети через контактор БУ КН ДГУ. Работая в режиме двойного преобразования энергии, ИБП обеспечивает стабильно высокие показатели качества электроэнергии на выходе. Аккумуляторные батареи находятся в режиме поддерживающего заряда, тем самым обеспечивается их максимальный ресурс при отключении внешнего питания ИБП.

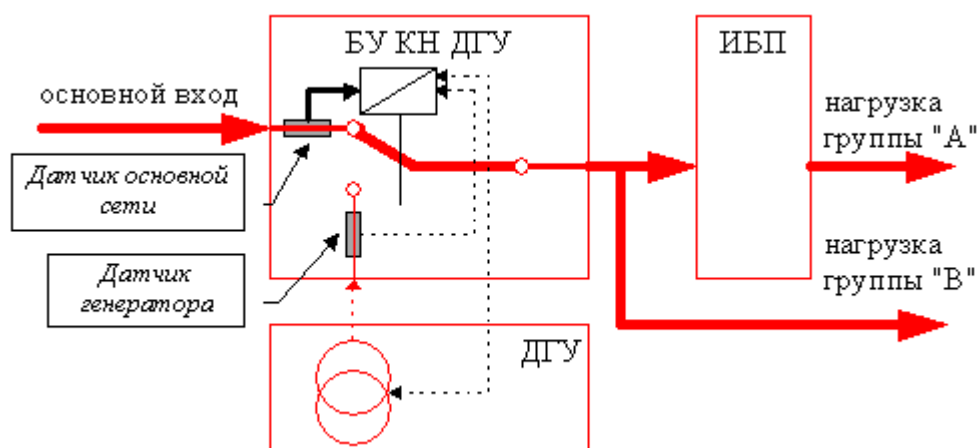


Рис. 2. Схема энергоснабжения нагрузки в нормальном режиме работы СБЭ

При возникновении аварийной ситуации (отключение энергоснабжения по городским сетям) пропадает питание на входе основных ИБП, которые переходят в режим работы от аккумуляторных батарей. Перерыва в энергоснабжении потребителей группы «А» не происходит, поскольку схема двойного преобразования («on-line») гарантирует бесперебойность работы инвертора (рис. 3).

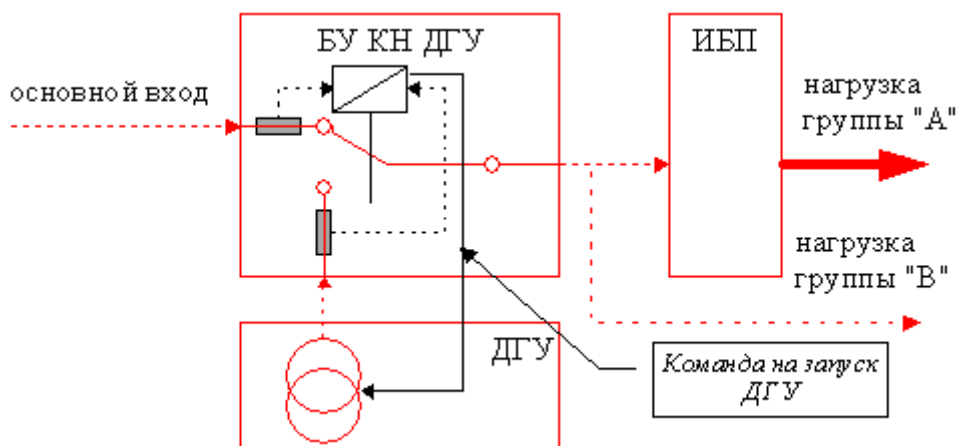


Рис. 3. Схема энергоснабжения нагрузки в аварийном режиме работы СГЭ на этапе запуска Собственной электростанции

По команде от датчика наличия входной сети, встроенного в БУ КН ДГУ, начинается отсчет времени (длительность интервала программируется), после окончания которого блок управления дает команду на запуск ДГУ. Если первая попытка запуска была неудачной, блок автоматики повторяет команду на запуск. После выхода ДГУ на рабочий режим (частота и на-пряжение в пределах допуска), блок управления обеспечивает переключение контактором нагрузки на выход генератора (рис. 4). Блок управления **ИБП** использует алгоритм «мягкого старта», с помощью которого увеличение потребления по входу при возобновлении питания **ИБП** происходит не скачкообразно, а постепенно (длительность этого интервала увеличения нагрузки до максимального значения составляет не менее 10 с). Эта функция **ИБП** позволяет не перегружать генератор при подключении нагрузки большой мощности и сохранять Показатели Качества Электроэнергии (ПКЭ) на его выходе в пределах номинальных значений.

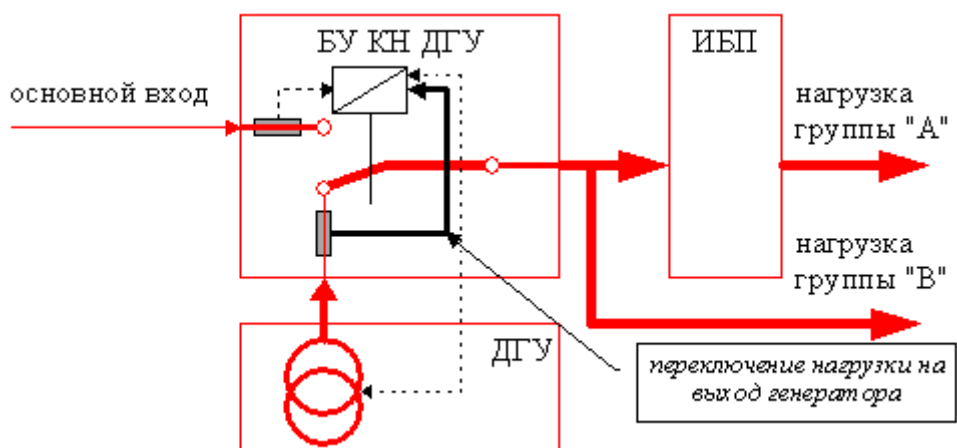


Рис. 4. Схема энергоснабжения нагрузки в аварийном режиме работы СГЭ при запущенном ДГУ

В автономном режиме СГЭ может функционировать в течение длительного промежутка времени, определяемого количеством топлива в топливном баке ДГУ и удельным расходом топлива (величина этого параметра зависит от нагрузки). Если энергоснабжение по городским сетям не восстанавливается по окончании ресурса топлива в штатном топливном баке, то блок автоматики ДГУ останавливает генератор, не вырабатывая минимальный резерв топлива, необходимый для гарантированного запуска ДГУ в дальнейшем. В этом случае дежурный персонал Заказчика должен принять решение о прекращении работы оборудования и отключении ИБП, либо о продолжении работы до исчерпания ресурса аккумуляторных батарей и автоматического отключения ИБП. Время автономной работы ИБП является функцией от величины текущей потребляемой мощности, поэтому уменьшение энергопотребления путем отключения менее ответственной нагрузки (рабочих станций) позволяет существенно продлить время автономной работы.

Каскадная структура построения СГЭ обеспечивает дополнительный ресурс автономной работы для наиболее ответственного оборудования (серверные комплексы, активное сетевое оборудование, а также системы связи). Поэтому даже при отключении центрального ИБП (или параллельного комплекса ИБП) файловые структуры на серверах не нарушаются, поскольку специальное программное обеспечение связи с ИБП инициирует процесс закрытия серверов в автоматическом режиме при отключении центрального ИБП.

При устранении аварии энергоснабжения здания до исчерпания ресурса топлива ДГУ блок управления ДГУ по команде от датчика состояния входной сети переключает контактором нагрузку на основной вход (рис. 5). После этого (через 120 с после отключения нагрузки от генератора) происходит автоматическое глушение двигателя. Этот промежуток времени, в течение которого ДГУ работает без нагрузки, позволяет быстро охладить генератор и двигатель, что гарантирует более надежный запуск ДГУ при следующих авариях.

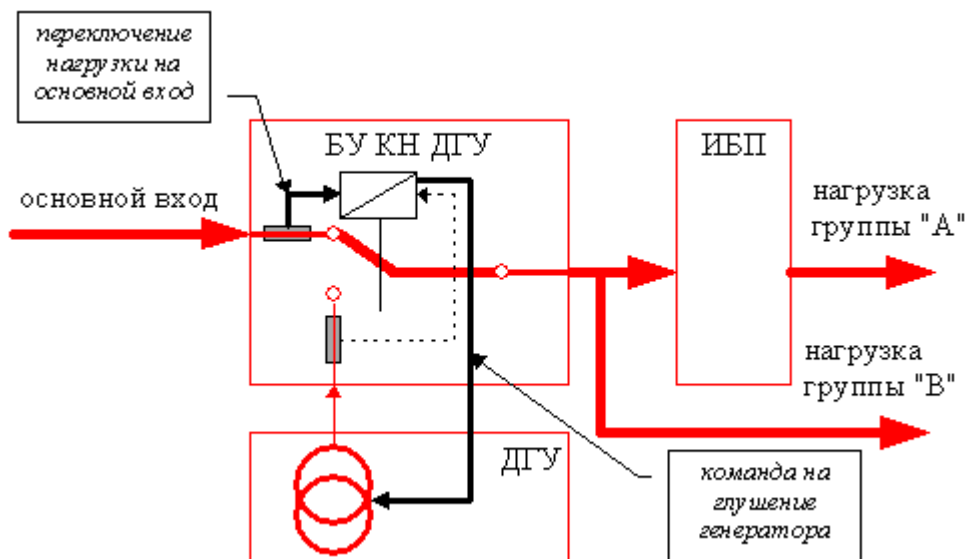


Рис. 5. Схема энергоснабжения нагрузки при устранении аварии

Поскольку энергоснабжение ответственных потребителей (группы «А») осуществляется через ИБП, искажения и помехи, вызываемые переключениями контактора ДГУ, не оказывают влияния на сеть электропитания защищенного оборудования (рис. 6).

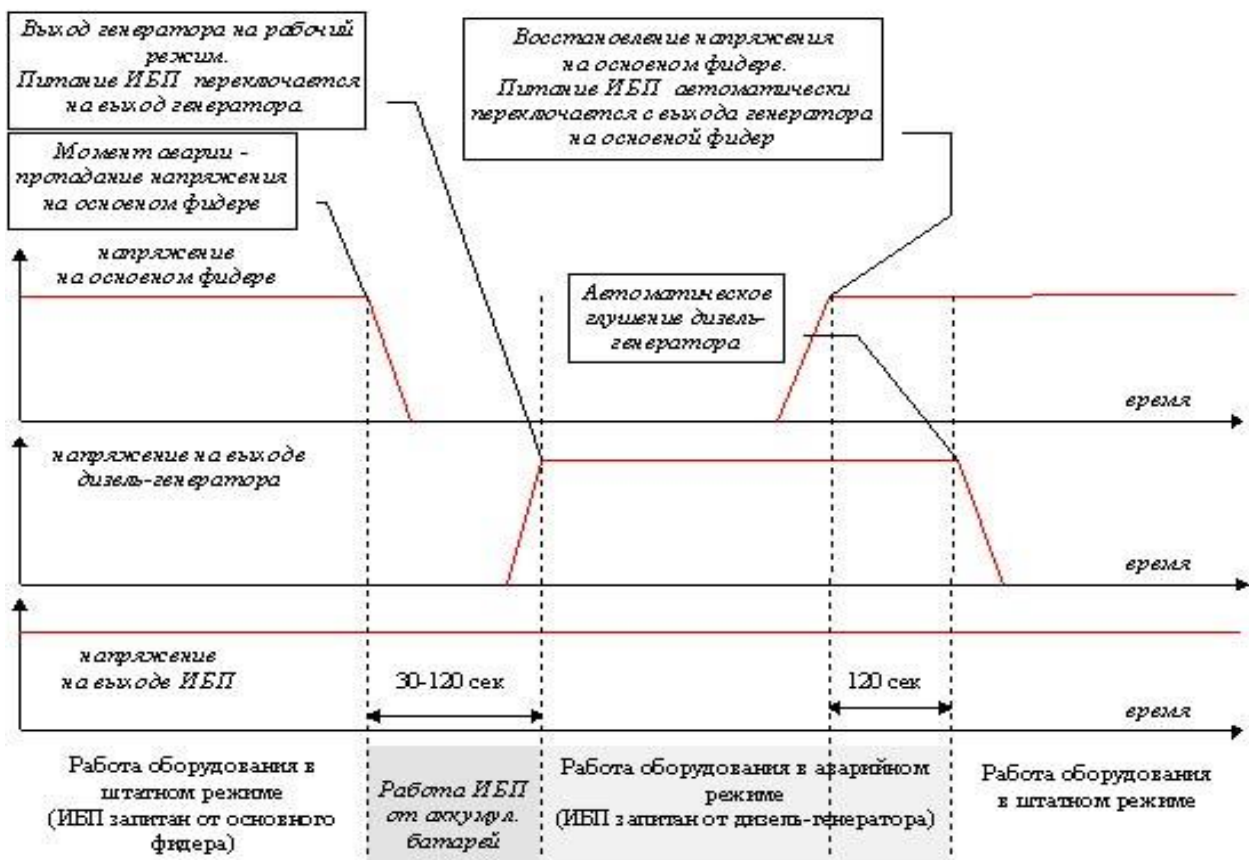


Рис. 6. Алгоритм работы системы в аварийной ситуации

2.3. Обеспечение надежности работы СБЭ. Специальные требования к оборудованию СГЭ

В рассматриваемом проекте СГЭ повышение надежности достигается за счет использования каскадной структуры СГЭ и параллельного комплекса ИБП на базовом уровне защиты. Сущность и преимущества каскадной схемы были рассмотрены выше.

Построение параллельного комплекса ИБП, являются современным решением в секторе мощных ИБП в мире и заключаются в следующем:

- возможно объединение до 6 аппаратов одной модели, таким образом, что общая выходная мощность комплекса может достигать 3000 кВА (6 блоков по 500 кВА каждый);

- построение параллельного комплекса может производиться как по централизованному принципу (с выделением статического переключателя обходной цепи в виде объединительного блока), так и по децентрализованному (модульному) принципу «без объединительного блока» (рис. 7). Как правило, фирмы-производители мощных ИБП реализуют только одну из этих схем параллельного комплекса;

- централизованная структура обладает более высокой надежностью (при обеспечении условия избыточности), однако требует установки объединительного блока в соответствии с прогнозируемым значением суммарной выходной мощности комплекса. Модульная структура позволяет наращивать комплекс постепенно, добавляя новые блоки к уже установленным (при этом практически не требуется модификация оборудования или его замена);

- управление комплексом как централизованной, так и модульной структуры производится по принципу распределенной логики, т. е. без центрального управляющего звена. Таким образом, микропроцессорные блоки синхронизации работы параллельного комплекса в каждом ИБП полностью равноправны и отключение либо выход из строя одного из ИБП не приводит к потере работоспособности комплекса в целом.

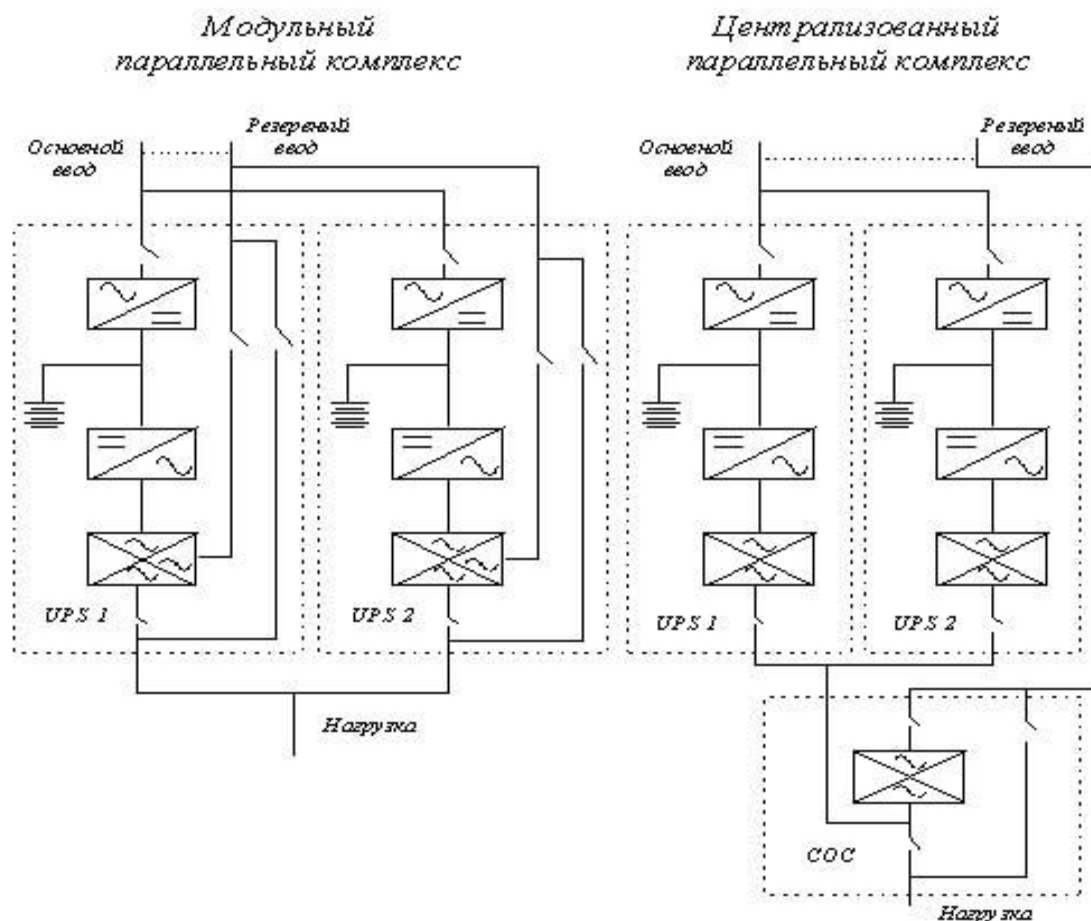


Рис. 7. Модульная и централизованная схемы построения СГЭ

Объединение нескольких блоков ИБП в параллельный комплекс, как правило, имеет целью решение следующих задач:

- после установки одного блока СГЭ определенной мощности увеличивается количество технических систем, требующих защищенного питания. Как следствие, необходимо увеличить мощность СГЭ, что достигается подключением еще одного блока ИБП такой же мощности. Все ИБП в таком комплексе работают параллельно на общую нагрузку, увеличивая выходную мощность;

- по техническим условиям эксплуатации оборудования необходимо гарантировать его энергоснабжение даже в случае отказа одного из блоков ИБП. В таком случае необходимо построить параллельный комплекс по схеме с горячим аппаратным резервированием (избыточностью). Такая схема позволяет также производить техническое обслуживание и ремонт любого блока ИБП не только без отключения нагрузки, но и с сохранением стабильно высоких показателей качества электроэнергии на выходе комплекса (функциональные схемы на рис. 8).

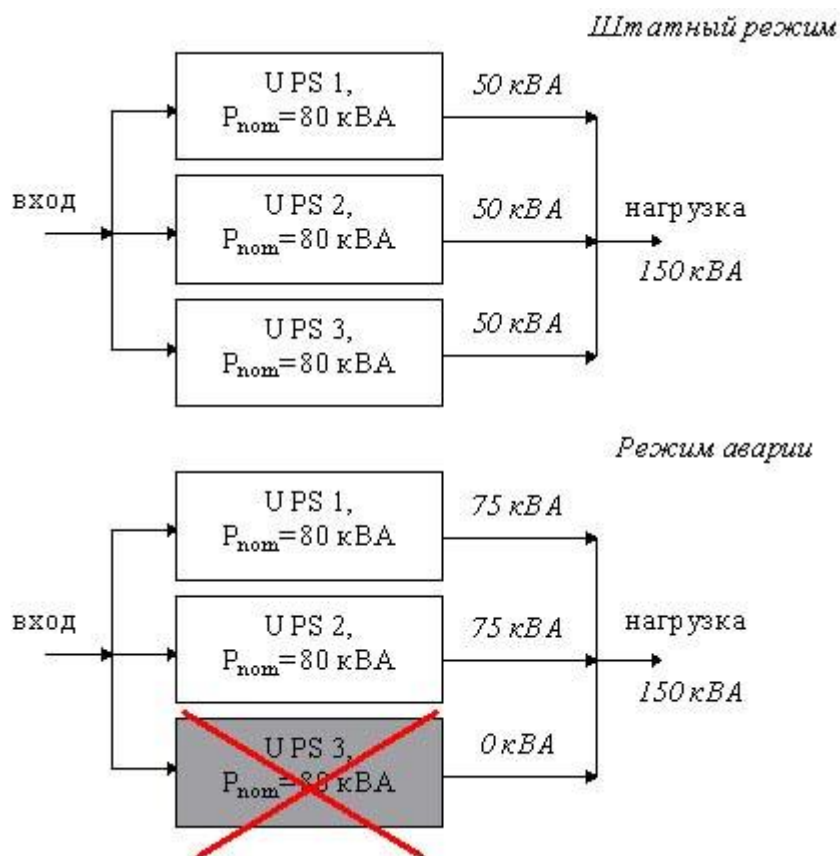


Рис. 8. Функционирование параллельных комплексов ИБП

Сравнение статистических характеристик надежности параллельных комплексов, построенных по централизованному и модульному принципу, показывает следующее:

- наличие резервного ввода (с такой же надежностью, что и основной ввод) существенно повышает надежность комплекса в целом. Однако необходимо иметь в виду, что при подключении нагрузки к резервному вводу ее питание производится от нестабилизированной сети;
- модульная система при прочих равных условиях обладает меньшим уровнем надежности. Положительным свойством такой системы является, как отмечалось выше, ее меньшая стоимость и гибкость наращивания.

Есть различные типы статических систем ИБП на рынке, таких как: Off-Line, Line-Interactive, On-Line, Двойное преобразование, цифровой On-LineIn-Line и т. д. Большинство из этих имен преимущественно связаны с потребностями маркетинговых решений чем используемая технология. В целом существует три типа систем:

- ИБП резервного типа – Passive Standby UPS (ранее назывался Off-Line UPS);
- ИБП линейно-интерактивного типа – Line-Interactive UPS;
- ИБП с двойным преобразованием энергии – Double-Conversion UPS (ранее назывался On-Line UPS).

На рис. 9 и 10 изображены типовая и гибридная структуры ИБП резервного типа.

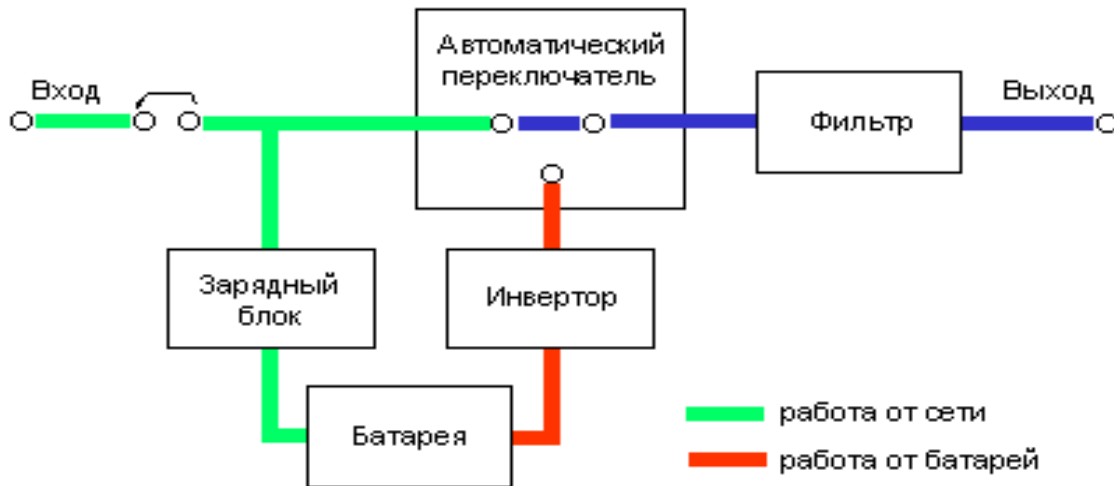


Рис. 9. Типовая схема ИБП резервного типа

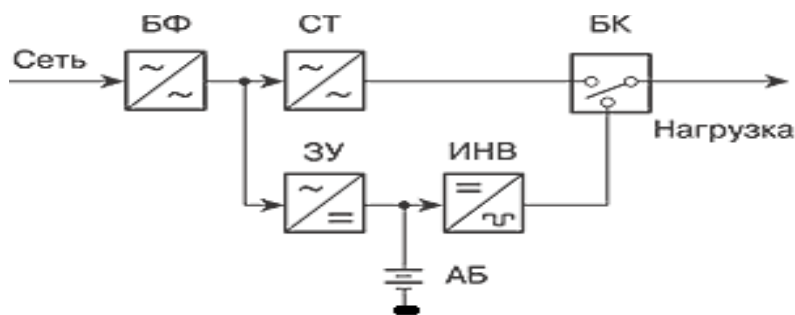


Рис. 10. Гибридная структура ИБП резервного типа

В настоящее время наибольшее распространение получил гибридный вариант, который содержит входной фильтр (ВФ), зарядное устройство (ЗУ), инвертор (ИНВ), аккумуляторную батарею (АБ), блок коммутации (БК), регулирующий стабилизатор (СТ). В наиболее простых и дешевых моделях ИБП резервного типа стабилизатор отсутствует.

Принцип работы этого типа ИБП заключается в питании нагрузки от питающей сети и быстром переключении на внутреннюю резервную схему при отключении питания или отклонении напряжения за допустимый диапазон. Время переключения обычно составляет величину порядка 4...12 мс, что вполне достаточно для большинства электроприемников низкой категории электроснабжения.

При наличии сетевого напряжения соответствующего качества нагрузка подключается коммутатором к сети через высокочастотный входной фильтр ВФ и стабилизатор СТ. В качестве последнего могут быть использованы феррорезонансный трансформатор или автотрансформатор с переключаемыми отводами обмотки [3] (рис. 11), выполняющий функции дискретного регулятора (корректора) напряжения. Данная функция обеспечивает расширение диапазона входного напряжения, при котором не происходит переключение в аккумуляторный режим.

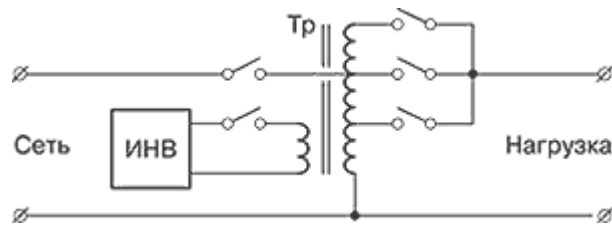


Рис. 11. Подключение нагрузки к сети через автотрансформатор с переключаемыми отводами обмотки

При отклонении входного напряжения от более допустимого или пропадании сети происходит переключение нагрузки на инвертор, выходное напряжение которого имеет прямоугольную форму с регулируемыми паузами между положительными и отрицательными импульсами (рис. 12). Это обеспечивает стабилизацию действующего значения основной гармоники выходного напряжения (50 Гц) при изменении напряжения аккумуляторной батареи. Таким образом, ИБП резервного типа представляют собой комбинацию стабилизатора и инвертора, коммутируемых с помощью автомата ввода резерва (АВР).

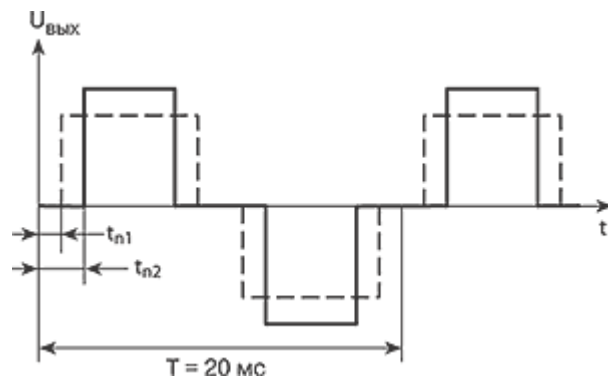


Рис. 12. Форма выходного напряжения инвертора ИБП резервного типа

Достоинства ИБП резервного типа:

- простота и дешевизна;
- высокий КПД в сетевом режиме.

Недостатки:

- конечное время переключения нагрузки с сети на инвертор и наоборот;
- несинусоидальное выходное напряжение в автономном режиме;
- ИБП не защищает нагрузку от недопустимых отклонений частоты и формы напряжения сети;
- возможно возникновение нежелательных переходных процессов выходного напряжения при переключениях с сети на инвертор и наоборот;
- нелинейная нагрузка с высоким крест-фактором вызывает искажения входного тока от синусоидальной формы и снижает входной коэффициент мощности.

Наиболее распространенный диапазон мощностей ИБП резервного типа: 250–1500 ВА.

В табл. 2 приведены основные технические характеристики некоторых наиболее известных ИБП резервного типа.

Таблица 2

Технические характеристики резервных ИБП

Модель	ЛИК	Back-UPS AVR	SmartLine / Smart-Vision	BackPro / BNT
Производитель	Тэнси-Техно	APC	NeuHaus / N-Power	Powerman / Powercom
Мощность, кВА	0,5; 1,0; 1,5	0,5	0,3; 0,45; 0,7; 1,0; 1,5	0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,4
Диапазон Входного напряжения, В	220 –27 %, +23 %	220 ±27 %	220 –23 %, +30%	220 ±25 %
Точность выходного напряжения, В	220 ±7 %	220 –10 %, +6 %	220 –14,5 %, +10 %	220 ±10 %

На рис. 12 приведена структура линейно-интерактивного ИБП. Здесь, в отличие от резервных ИБП, присутствует двунаправленный преобразователь напряжения (ДПН), выполняющий функцию как инвертора, так и зарядного устройства. При наличии сети ДПН работает как выпрямитель и осуществляет заряд АБ. Благодаря двунаправленному действию и синусоидальной форме напряжения, формируемого в режиме инвертора, ДПН взаимодействует с сетевым источником, т. е. имеет интерактивное включение.

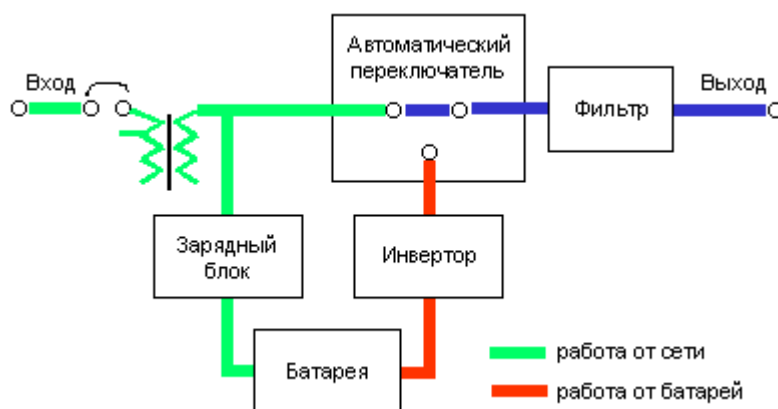


Рис. 12. Структура линейно-интерактивного ИБП

Как и для резервных ИБП, в данном случае в качестве стабилизирующего узла для расширения диапазона входного напряжения без перехода на автономный режим обычно используется дискретный корректор напряжения. В сетевом режиме ИБП возможна дополнительная стабилизация

выходного напряжения путем добавки или вычитания выходного напряжения ДПН. Такой принцип стабилизации получил название «Дельта-преобразование» и используется многими производителями ИБП [4].

Достоинства ИБП линейно-интерактивного типа (в отличие от резервных ИБП):

- синусоидальная форма выходного напряжения в автономном режиме;
- совмещение функций ЗУ и ИНВ в одном узле.

Основные недостатки, присущие резервным ИБП, распространяются и на ИБП линейно-интерактивного типа. Необходимо отметить, что блок коммутации является наиболее ответственным местом данных ИБП, поскольку именно от его работы зависит обеспечение надежности всего ИБП. Это связано с тем, что при переходе ИБП в автономный режим этот блок должен обеспечивать четкое рассоединение инвертора и сетевого источника, обладающего малым внутренним сопротивлением. В противном случае инвертор оказывается замкнутым накоротко и выходит из строя.

Наиболее распространенный диапазон мощностей ИБП линейно-интерактивного типа: 500–3000 ВА. В табл. 3 приведены основные технические характеристики некоторых моделей ИБП линейно-интерактивного типа.

Таблица 3

Технические характеристики линейно-интерактивных ИБП

Модель	Smart-UPS	PSI	PW5125	RealSmart / PC KIN
Производитель	APC	Liebert	Invensys	Powerman / Powercom
Мощность, кВА	0,42; 0,62; 0,7; 1,0; 1,4; 2,2	0,7; 1,0; 1,4; 2,2	1,0; 1,5; 2,2	0,7; 1,0; 1,5; 2,2
Диапазон Входного напряжения, В	220 –28 %, +23 %	220 –25 %, +24 %	220 –30 %, +20 %	220 –30 %, +25 %
Точность выходного напряжения, В	220 ±10 %	220 –15 %, +12 %	220 –10 %, +6 %	220 ±10 %

Эти устройства постоянно питают нагрузку и не имеют времени переключения. Наряду с резервированием электроснабжения они предназначены для обеспечения КЭ при его нарушениях в питающей сети и фильтрации помех, приходящих из питающей сети.

Топология ИБП с двойным преобразованием энергии в общем виде приведена на рис. 13. По этой топологии инвертор включен последовательно в цепи «сетевой источник – нагрузка». При наличии сетевого напряжения в допустимых пределах (величина, частота, искажение синус-

соидальной формы) питание нагрузки происходит по цепи «выпрямитель – инвертор», где происходит преобразование напряжения переменного тока в постоянный и наоборот, т. е. двойное преобразование энергии. В режиме перегрузки или выхода из строя какого-либо узла двойного преобразования нагрузка переключается напрямую к сети через блок коммутации цепи автоматического шунтирования (BYPASS). При пропадании сети или ее недопустимых отклонениях ИБП мгновенно переходит в автономный режим питания нагрузки энергией аккумуляторной батареи. В сетевом режиме выпрямитель выполняет также функцию зарядного устройства батареи. Выпрямитель может являться управляемым (на тиристорах или IGBT транзисторах) или неуправляемым (на диодах). Инверторы ИБП с двойным преобразованием энергии выполняются на IGBT транзисторах, коммутируемых с частотой 10–50 кГц, и формирующих с помощью выходного фильтра синусоидальное напряжение 50 Гц.

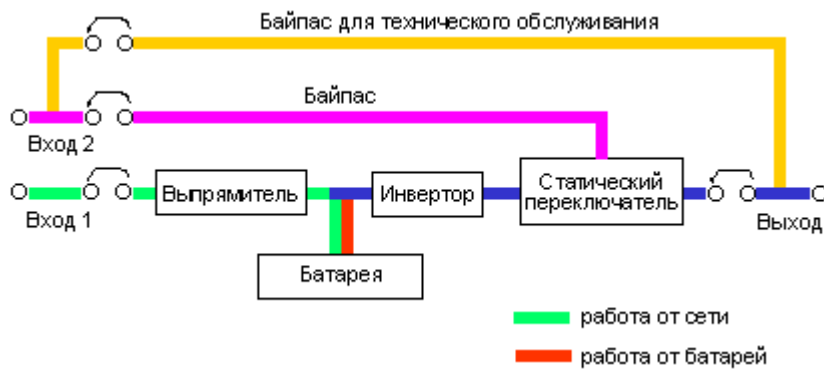


Рис. 13. Топология ИБП с двойным преобразованием энергии

По рассмотренной топологии выполняются ИБП средней и большой мощности (более 30 кВА), имеющие номинальные значения напряжения батареи в пределах 360–384 В. ИБП меньшей мощности используют определенные разновидности основной топологии двойного преобразования – за счет дополнительных силовых блоков преобразования (рис. 14, 15).

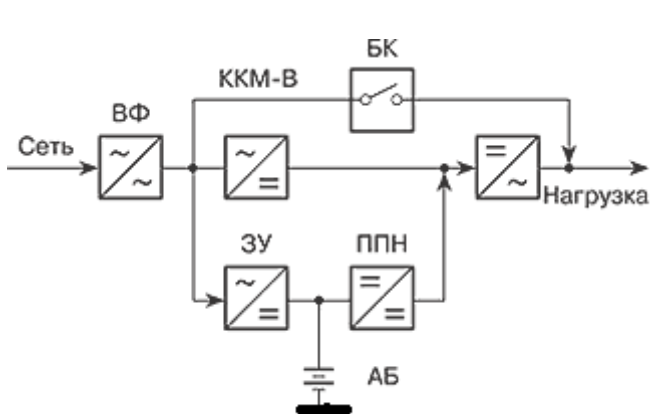


Рис. 14. Структура ИБП с двойным преобразова-

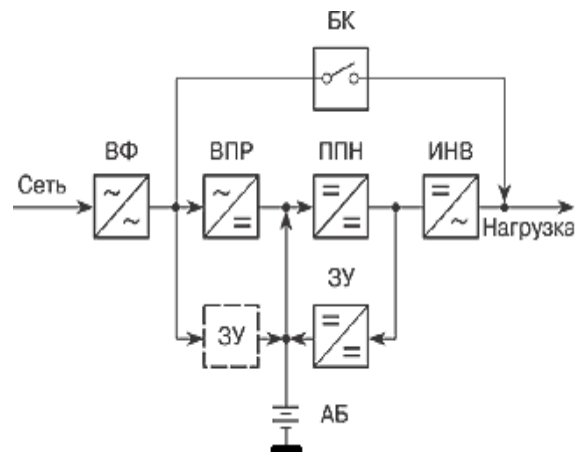


Рис. 15. Структура ИБП с двойным преобра-

нием и корректором коэффициента мощности для однофазных ИБП малой мощности

зованием и корректором коэффициента мощности для одно- и трехфазных ИБП средней мощности

Структура, представленная на рис. 14, применяется для построения однофазных ИБП и содержит блок корректора коэффициента мощности, совмещенный с неуправляемым выпрямителем (ККМ-В), блок зарядного устройства (ЗУ), преобразователь постоянного напряжения (ППН). Функциональное назначение этих блоков следующее:

- ККМ-В обеспечивает преобразование напряжения сети переменного тока в стабильное напряжение постоянного тока. Этим достигается практически синусоидальная форма тока, потребляемого из сети, что позволяет иметь входной коэффициент мощности близким к единице;
- ЗУ формирует необходимую величину напряжения заряда аккумуляторной батареи, номинальное значение напряжения которой выбирается, в зависимости от мощности ИБП, от 36 до 96 В;
- ППН обеспечивает согласование напряжения батареи с высоковольтным напряжением питания инвертора и рассчитан на максимальную мощность нагрузки.

Структура, представленная на рис. 15, используется как для однофазных, так и для трехфазных ИБП мощностью 6–30 кВА. Здесь ППН выполняет как функцию ККМ, так и функцию стабилизатора напряжения питания инвертора. Номинальное значение напряжения батареи выбирается в пределах 120–288 В. Вход ЗУ может питаться как сетевым напряжением, так и стабильным постоянным напряжением с выхода ППН.

Основные достоинства ИБП с двойным преобразованием энергии:

- обеспечение высокой точности стабилизации синусоидального выходного напряжения в сетевом и автономном режимах;
- обеспечение стабильной частоты выходного напряжения при отклонениях частоты сети;
- отсутствие переходных процессов при переключениях с сетевого режима на автономный и наоборот;
- возможность исключить влияние нелинейной нагрузки с высоким крест-фактором на форму входного тока;
- повышение надежности системы по обеспечению бесперебойного питания нагрузки за счет автоматического шунтирования.

В табл. 4–6 приведены основные технические характеристики ряда моделей ИБП с двойным преобразованием энергии.

Таблица 4

Технические характеристики трехфазных ИБП (рис. 15)

Модель	HL	UPS 7200	Borri 4000
Производитель	Astrid	Liebert	Invensys
Мощность, кВА	20, 25, 32, 40, 60, 80, 100, 125	30, 40, 60	20, 30, 40, 60, 80, 100, 120
Диапазон входного напряжения, В	380 ±10 %	380 –15 %, +10 %	380 –10 %, +15 %
Точность выходного напряжения, В	380 ±1 %	380 ±1 %	380 ±1 %
Коэффициент мощности по входу	0,83	0,8	0,83
Коэффициент мощности по выходу	0,8	0,8	0,8

Таблица 5

Технические характеристики однофазных ИБП малой мощности (рис.14)

Модель	ДПК	UPStation GXT		PW9120	ULTimate
Производитель	Тэнси-Техно	Liebert		Invensys	Powercom
Мощность, кВА	1,0; 3,0	0,7; 1,0; 1,5	2,0; 3,0	0,7; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0	0,7; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0
Диапазон входного напряжения, В	220 –27 %, +25 %	220 ±27 %	220 –20 %, +27 %	220 –27 %, +25 %	220 –27 %, +25 %
Точность выходного напряжения, В	220 ±3 %	220 ±3 %	220 ±3 %	220 ±3 %	220 ±2 %
Коэффициент Мощности по входу	0,95	0,95	0,95	0,97	0,98
Коэффициент Мощности по выходу	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7

Таблица 6

Технические характеристики однофазных ИБП средней мощности

Модель	ДПК	UPStation GXT	PW9150	ONLine
Производитель	Тэнси-Техно	Liebert	Invensys	Powercom
Мощность, кВА	6,0; 10,0	6,0; 10,0	8,0; 10,0; 12,0	7,5; 10,0; 15,0
Диапазон входного напряжения, В	220 –15 %, +25 %	220 –15 %, +25 %	220 –20 %, +25 %	220 ±25 %
Точность выходного напряжения, В	220 ±3 %	220 ±3 %	220 ±2 %	220 ±1 %
Коэффициент Мощности по входу	0,98	0,98	0,98	н/д
Коэффициент Мощности по выходу	0,7	0,7	0,7	0,8

3. КАЧЕСТВО ПОТРЕБЛЯЕМОЙ МОЩНОСТИ

3.1. Нормирование гармоник высшего порядка

Трудности расчета гармоник

Теоретически, зная характеристики всех элементов системы, можно определить уровень гармоник в любой ее точке. На практике такой подход трудно реализовать из-за невозможности точного описания поведения элементов системы на частотах высших гармоник, недостаточно достоверной информации об узловых сопротивлениях системы на этих частотах и проблемах, связанных со случайным характером и особенностями суммирования гармоник от различных источников.

Национальные стандарты на уровни гармоник

Ниже описан ряд национальных стандартов, иллюстрирующих разницу в подходах к ограничению гармоник, принятых в различных странах. Все рассмотренные стандарты устанавливают нормы на коэффициент искажения синусоидальности, многие из них содержат нормы и на отдельные гармоники напряжения. Последние выражаются в различных видах: процентного отношения различных гармоник; пределов, покрывающих весь частотный диапазон для четных и нечетных гармоник; абсолютных или относительных (и процентах) норм для каждой гармоники; комбинаций перечисленных способов. Нормируемые уровни обычно зависят от класса напряжения, иногда они различаются для питающих и распределительных систем. Нормы установлены для коэффициента искажения синусоидальности напряжения и для уровней четных и нечетных гармоник, вносимых потребителем.

Нормы на гармоники тока устанавливаются несколькими стандартами. Они определяют уровни гармоник тока, которые могут генерироваться или потребляться отдельным потребителем. В стандартах (для питающих сетей напряжением 66 кВ и выше) они выражены в виде абсолютных или относительных значений (по отношению к максимальной нагрузке).

Так как основным источником гармонических искажений являются статические преобразователи, стандарты обычно устанавливают определенную процедуру для оценки допустимости присоединения к конкретной точке сети рассматриваемого типа преобразователя. Эта процедура может быть основана на принципе «первым пришел – первым обслужен», либо на принципе распределения тем или другим образом между потребителями общего допустимого уровня искажений. Последний принцип используется там, где распределение осуществляется пропорционально максимальной мощности и с учетом мощности КЗ в узле.

Мощность и тип преобразователя, который разрешается подключить к сети, определяются либо с помощью таблиц и графиков, либо расчетным путем на основании требований стандарта.

Для того чтобы управлять уровнем гармоник, необходимо производить их измерения. Обычно в стандартах приводят детальную процедуру проведения измерений и спецификацию для средств измерения.

Нормирование показателей, характеризующих несинусоидальные режимы

Несинусоидальность напряжения и тока обуславливает дополнительные потери и нагрев, а также ускоренное старение изоляции электрооборудования и, кроме того, отрицательно сказывается на функционировании электрооборудования.

3.2. Стандарты, регламентирующие гармонические искажения

Вопросы гармонических искажений в электрических сетях регламентируются различными стандартами и нормами:

- стандартами обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) распределительных сетей;
- нормативными требованиями к оборудованию, порождающему гармоники;
- рекомендациями энергоснабжающих компаний, применимыми к электроустановкам.

В настоящее время действует тройная система стандартов и норм, направленная на быстрое ослабление влияния гармоник и основанная на перечисленных далее документах.

Стандарты, регламентирующие ЭМС распределительных сетей и изделий

Эти стандарты устанавливают необходимую совместимость распределительных сетей и электрооборудование:

- гармоники, порождаемые каким-либо устройством, не должны создавать в распределительной сети возмущения выше определенного уровня;
- каждое устройство должно сохранять работоспособность при наличии в питающей сети возмущений определенного уровня;
- стандарт МЭК 61000-2-2 для низковольтных систем энергоснабжения общего применения;
- стандарт МЭК 61000-2-4 для промышленных электроустановок низкого и высокого напряжения.

Стандарты, регламентирующие качество электрической энергии, обеспечиваемой распределительными сетями

- стандарт EN 50160 устанавливает характеристики электроэнергии, подаваемой распределительными сетями общего назначения;

- стандарт IEEE 519 представляет общий подход энергоснабжающих компаний и потребителей к ограничению влияния нелинейных нагрузок. Энергоснабжающие компании стимулируют принятие превентивных мер, призванных повысить качество электроэнергии, снизить рост температуры и уменьшить влияние на коэффициенты мощности. Они намерены в будущем штрафовать потребителей, являющихся основными источниками гармоник в питающей сети.

Стандарты, устанавливающие требования к оборудованию

- стандарт МЭК 61000-3-2 или EN 61000-3-2 для низковольтного оборудования с номинальным током менее 16 А;

- стандарт МЭК 61000-3-12 или EN 61000-3-4 для низковольтного оборудования с номинальным током более 16 и менее 75 А.

Максимально допустимые уровни гармоник

Проведенные международные исследования позволили собрать данные и оценить типичное содержание гармоник в распределительных электрических сетях (табл. 7 и 8).

EN 50160. Качество питающего напряжения. Стандарт для коммунальных (общественных) электроснабжающих сетей. Применяется для сетей низкого напряжения = *LV* (до 1000 В) и среднего = *MV* напряжения (1–35 кВ).

Таблица 7

№ п/п	Параметр	Характеристики питающего напряжения по EN 50160
1	Частота	Среднее значение измеренное в интервале 10 с, +/-1 % (49,5–50,5 Гц) в течение 99,5 % недели -6 %/+4 % (47–52 Гц) в течение 100 % недели
2	Амплитуда	+/-10 % в течение 95 % недели (среднеквадратичное значение 10 мин измерений)
3	Импульсы напряжения	5 % нормально, 10 % нечасто для сетей низкого напряжения Длительная доза фликера < 1 в течение 95 % недели 4 % нормально, 6 % нечасто для сетей среднего напряжения Длительная доза фликера < 1 в течение 95 % недели
4	Просадки–провалы напряжения	Большинство: продолжительность < 1 с, глубина < 60 %. Местные просадки из-за переключения нагрузки для сетей низкого напряжения 10–50 %, для сетей среднего напряжения 10–15 %

5	Короткие прерывания подачи напряжения	Менее 3 мин. Десятки–сотни раз в год. Длительность 70 % из них – менее 1 с
6	Длинные прерывания подачи напряжения	Более 3 мин. Меньше 10–50 раз в год
7	Повышения напряжения промышленной частоты	Для сетей низкого напряжения менее 1,5 кВ. Для сетей среднего напряжения: 1,7 номинала для сетей с глухозаземленной нейтралью, или 2 номинала для незаземленных сетей или сетей с нейтралью, заземленной через дугогасящий реактор
8	Динамическое перенапряжение	Для сетей низкого напряжения: в общем менее 6 кВ, иногда выше. Длительность импульса микросекунды–миллисекунды. Для сетей среднего напряжения – не определено.
9	Дисбаланс питающего напряжения	Для сетей низкого и среднего напряжения: до 2 % в течение в течение 95 % недели (среднеквадратичное значение 10 мин измерений); в некоторых местах подключения до 3 %
10	Напряжение гармоник	Для сетей среднего и низкого напряжения табл. е
11	Напряжение между гармониками	Не определено

Таблица 8

Нечетные гармоники				Четные гармоники	
Некратные 3		Кратные 3		Порядок h	Относительное напряжение, %
Порядок h	Относительное напряжение, %	Порядок h	Относительное напряжение, %		
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,5	6–24	0,5
13	3	21	0,5		
17	2				
19	1,5				
23	1,5				
25	1,5				

3.3. Коэффициент мощности

Первичная электрическая цепь переменного тока достаточно чувствительна к характеру нагрузки, подключаемой к ней. Оптимальной нагрузкой является активное линейное сопротивление – R_n . В этом случае (рис. 16, а)

при синусоидальной форме питающего напряжения $u(\omega t) = U_m \sin(\omega t)$ ток, протекающий в такой цепи будет также описываться синусоидальной функцией:

$$i(\omega t) = \frac{U_m}{R} \sin(\omega t) = I_m \sin(\omega t).$$

При этом мгновенная мощность, потребляемая от сети:

$$p(\omega t) = i(\omega t) \cdot u(\omega t) = U_m \cdot I_m \cdot \sin^2(\omega t).$$

Учитывая, что $U_m = \sqrt{2} \cdot U$; $I_m = \sqrt{2} \cdot I$, где U и I – действующие значения токов и напряжений в сети, а $\sin^2(\omega t) = (1 - \cos 2\omega t) / 2$, получим

$$p(\omega t) = U \cdot I - U \cdot I \cdot \cos(2\omega t).$$

Таким образом, мощность, потребляемая из сети и выделяемая в нагрузке, пульсирует с удвоенной частотой (рис. 16, б).

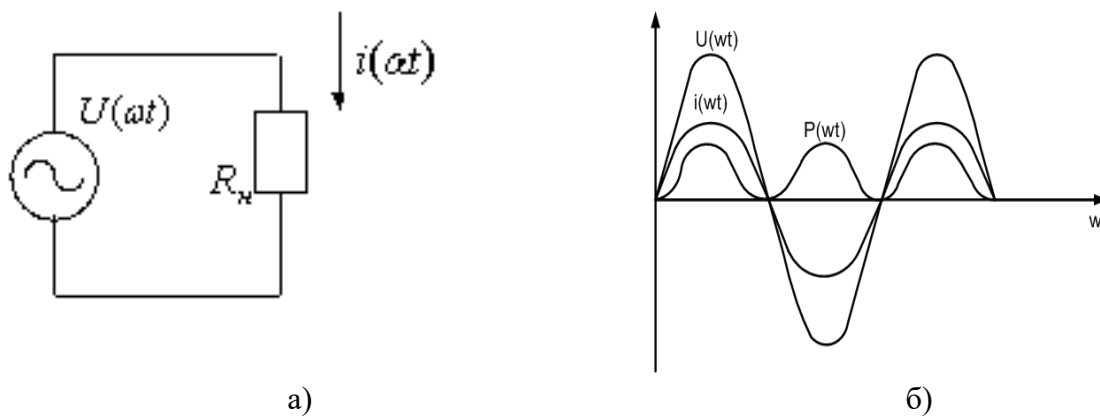


Рис. 16. Источник с активной нагрузкой (а), формы тока, напряжения и мощности (б)

Средняя мощность P , которая определяет энергию, необратимо преобразуемую в нагрузке в тепловую (или в какую-то иную форму) в единицу времени:

$$P = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u(\omega t) \cdot i(\omega t) d\omega t = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} [U \cdot I - U \cdot I \cdot \cos(2\omega t)] d\omega t = U \cdot I.$$

На практике нагрузка может иметь не только комплексный характер, но и быть нелинейной.

На рис. 17 показаны варианты возможных форм тока, потребляемого некоторыми нагрузками (в частности, вторичными импульсными источниками питания) из сети и соответствующие им коэффициенты мощности.

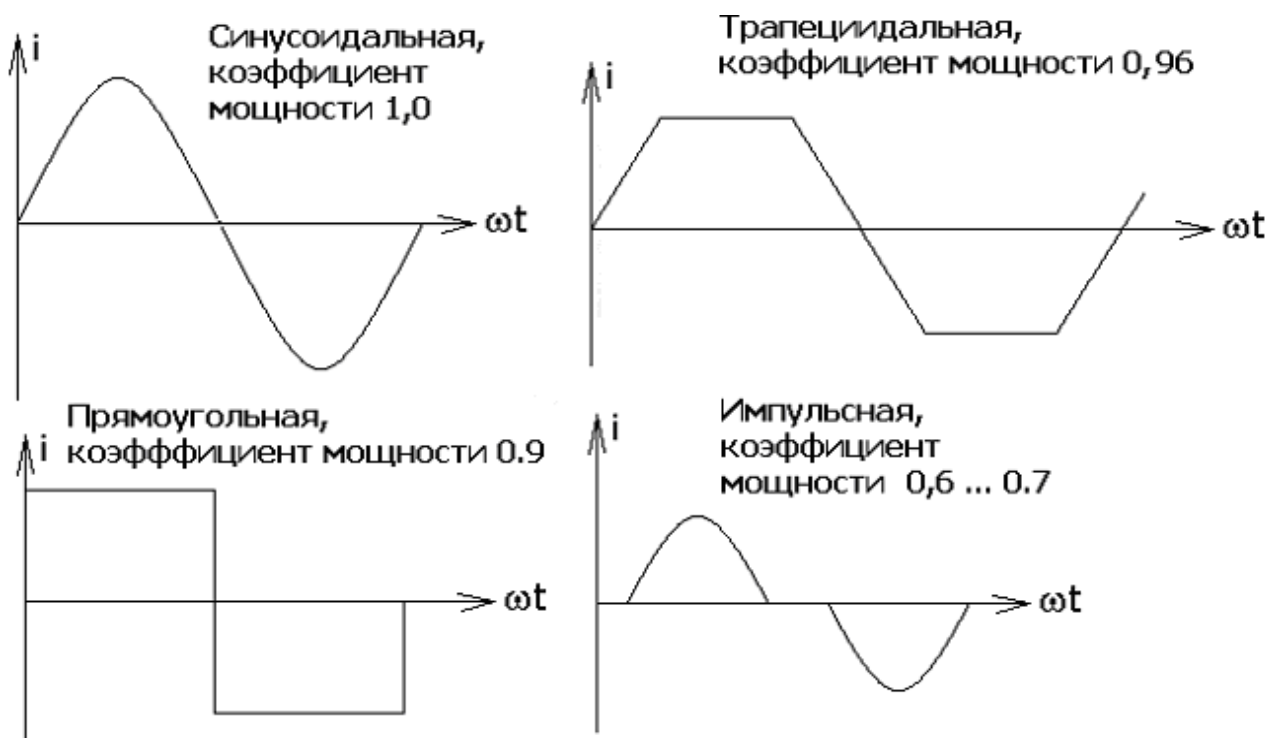


Рис. 17. Варианты форм токов сети

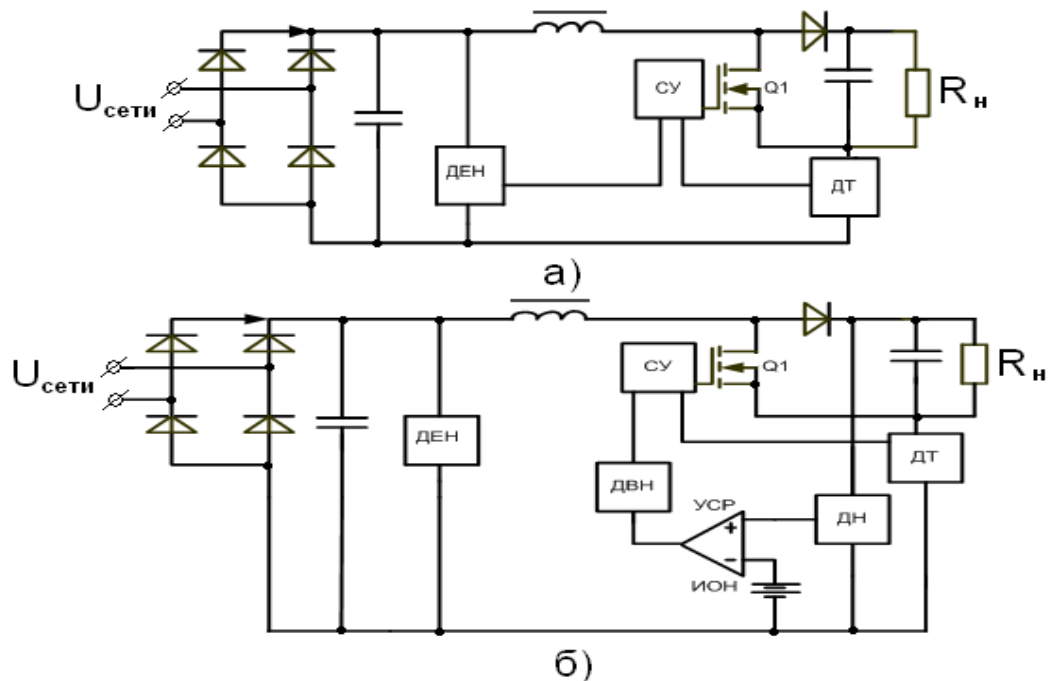
Низкий коэффициент мощности порождает еще ряд серьезных проблем в системе электропитания. При большом количестве электронной аппаратуры и нерациональном ее подключении к питающей трехфазной сети возможен перекос фаз. При этом часть электронной аппаратуры будет работать при повышенном напряжении, а другая – при пониженном. И в том и в другом случае аппаратура будет плохо работать и даже может выйти из строя. Для устранения перекоса фаз в трехфазную сеть вводят «нулевой» провод, который выравнивает напряжение во всех фазах. При импульсном характере потребляемого тока и большом числе его гармонических составляющих возможна перегрузка «нулевого» провода, так как сечение этого провода в 2...2,5 раза меньше, чем у фазных проводов. При этом, по технике безопасности запрещается защищать «нулевой» провод плавкими предохранителями или автоматами защиты сети. Очевидно, что при неблагоприятных условиях возможно перегорание нулевого провода и возникновение перекоса фаз.

Импульсные источники электропитания состоят из входного мостового выпрямителя с емкостным фильтром и высокочастотного преобразователя напряжения. Обладая высокими значениями КПД, хорошими массогабаритными показателями, такие источники, к сожалению, имеют низкий коэффициент мощности – 0,5...0,7.

3.2 Устройство и принцип работы активного корректора коэффициента мощности

Возможность создания дешевого и экономичного корректора коэффи-

циента мощности обеспечена высоким уровнем современного развития ключевых регуляторов. Идея состоит в использовании способности этих регуляторов обеспечивать во входной цепи требуемую форму тока, определяющего коэффициент мощности. Для этого применяют импульсный повышающий регулятор, состоящий из индуктивности, ключа Q1, диода и конденсатора нагрузки (рис. 18).



ДЕН - делитель выпрямленного напряжения

ДН - делитель напряжения

ДТ - датчик тока

ДВН - датчик выходного напряжения

СУ - система управления

ИОН - источник опорного напряжения

УСР - усилитель рассогласования

Рис. 18. Упрощенная (а) и типовая (б) схемы ККМ

На рис. 19 представлены формы токов и напряжений в ККМ при разных нагрузках.

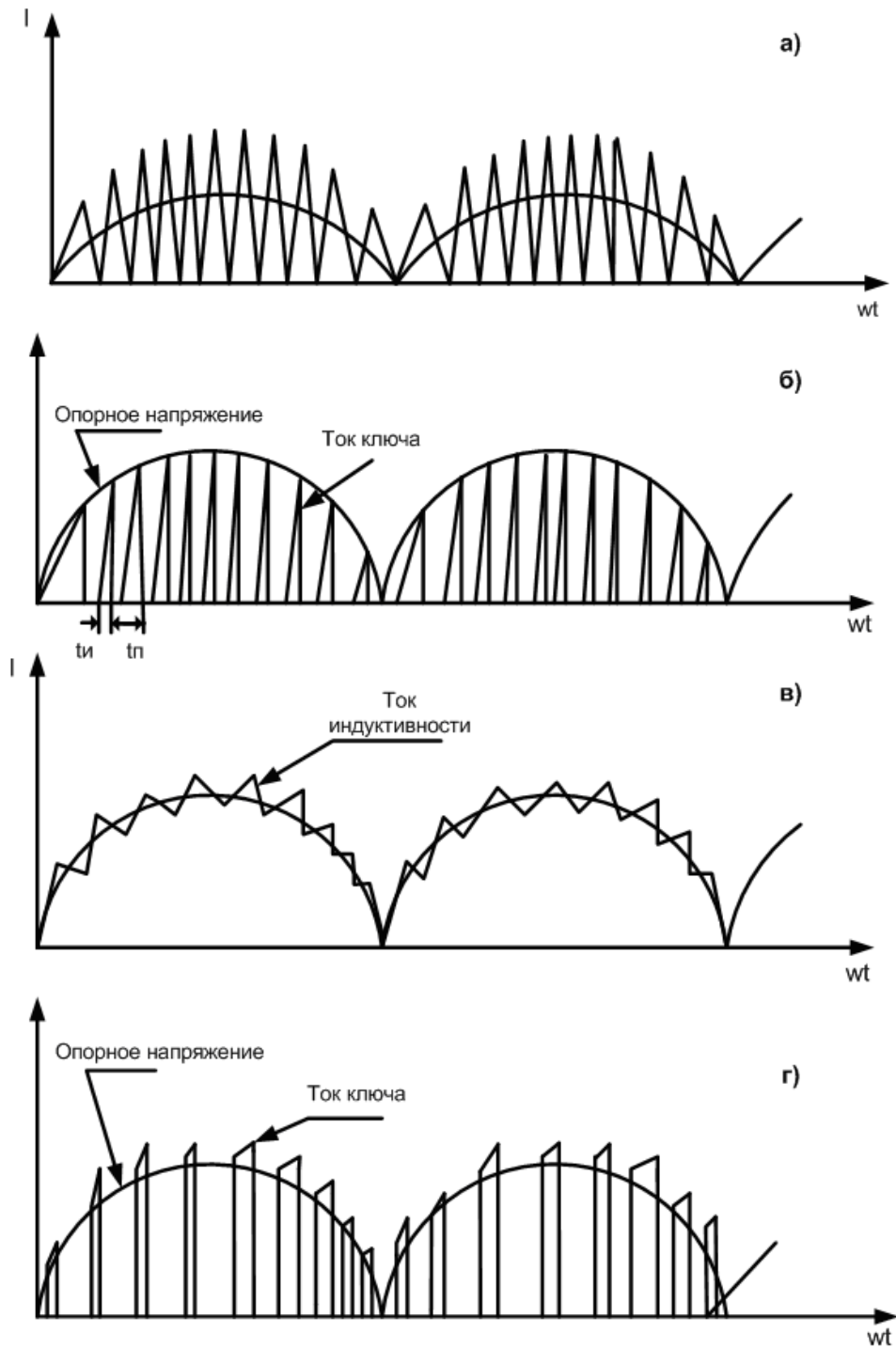


Рис. 19. Формы токов и напряжений в ККМ при разных нагрузках

Как видно из схемы, получение коэффициента мощности, близкого к единице, достигается за счет исключения из выпрямителя емкости фильтра, которая обычно устанавливается в импульсных источниках питания для сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения. Вместо этой емкости в схему вводится высокочастотный импульсный стабилизатор повышающего типа, с небольшой индуктивностью L на входе, работающий в

граничном режиме прерывистого тока в индуктивности. Схема повышающего импульсного стабилизатора состоит из индуктивности L , ключевого транзистора, диода VD и емкости C_{ϕ} сглаживающего фильтра. В соответствии с принципом действия повышающего стабилизатора напряжения при включении транзистора T через индуктивность L начинает протекать ток, который нарастает по линейному закону. При выключении транзистора T ток в индуктивности L начинает спадать по линейному закону, заряжая через диод VD , емкость фильтра C_{ϕ} .

Включение и выключение ключевого транзистора T выполняется устройством управления, которое состоит из датчика выпрямленного напряжения ДВН, датчика тока ДТ в индуктивности L и схемы формирования импульсов управления СУ. Процесс формирования импульсов управления иллюстрируется временными диаграммами, приведенными на рис. 19, б. Как видно из этих диаграмм, включение транзистора T происходит в момент времени, когда напряжение на выходе датчика тока ДТ становится равным нулю (т. е. при нулевом токе в индуктивности L). Выключение транзистора T происходит в момент времени, когда линейно нарастающее напряжение с датчика тока становится равным изменяющемуся по синусоидальному закону напряжению с датчика выпрямленного напряжения ДВН.

После выключения транзистора ток в индуктивности начинает спадать, и при нулевом значении тока транзистор T вновь включается. Далее процесс повторяется с достаточно высокой частотой. Усредненный ток $i_{\text{ср}}$ в индуктивности оказывается синусоидальным по форме и почти совпадающим по фазе с выпрямленным напряжением. Таким образом, благодаря схеме корректора достигается высокое значение коэффициента мощности.

К недостаткам приведенной схемы корректора коэффициента мощности (ККМ) следует отнести отсутствие стабилизации выходного напряжения $U_{\text{вых}}$. При изменении напряжения сети или нагрузки выходное напряжение ККМ будет также изменяться.

В схеме в дополнение к датчикам выпрямленного напряжения ДВН и тока в индуктивности ДТ введен датчик выходного напряжения ДН. Напряжение $U_{\text{дн}}$, с датчика ДН сравнивается с напряжением $U_{\text{оп}}$ источника опорного напряжения ИОН и сформированный сигнал ошибки $U_{\text{ош}}$ (рассогласования) перемножается с выходным напряжением ДВН в умножителе напряжения УН. В результате этого формируется модулирующий сигнал $U_{\text{м}}$, который аналогично рассмотренному выше модулирует длительность импульсов управления ключевым транзистором T .

4. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ В ИБП

Современные источники бесперебойного питания – полностью автоматизированные системы. Однако это не означает, что ими не требуется управлять. И независимо от степени усовершенствований, в любом ИБП предусмотрены соответствующие модули, а также программное обеспечение, которые позволяют владельцу осуществлять контрольные функции за деятельностью прибора с возможностью внесения желаемых корректировок в режимы функционирования.

Управление ИБП: виды и уровни

Сегодня производителями источников бесперебойного питания в инструкции всегда указывается, что продукт является итогом высоких технологий и интеллектуальных наработок. Но это вызывает вполне резонный вопрос: если аппарат настолько совершенный, тогда зачем ему еще и управление?

Действительно, современные ИБП способны многие операции выполнять в автоматическом режиме, сообщая владельцу о своих действиях определенными звуковыми и световыми сигналами. Так же устройства способны, проанализировав ситуацию, самостоятельно переключать режимы, реагируя на изменения в питающей сети.

Между тем, подобные автоматические режимы настроены под определенные задачи и любое отклонение от условий программирования приведет к снижению эффективной работы устройства. Поэтому всегда существует необходимость внесения конкретных изменений. К тому же это оборудование представляет собой комплекс модулей, схем, элементов, характер работы которых также требует некоторого мониторинга, который впоследствии даст необходимые сведения для проведения профилактических работ.

В соответствии с этими нормативами практически все нынешние модели источников бесперебойного питания обладают различными уровнями управления:

- ручной,
- автоматический,
- удаленный,
- комбинированный.

ИБП, характеризующиеся малой мощностью, обладают ручным управлением. В их задачи входят защита маломасштабных информационных систем, обеспечение качественного энергоснабжения, отклонение от норм которого находится в определенном диапазоне. Для этого на передней панели размещены соответствующие кнопки, которыми пользуется обслуживающий персонал.

Установки средней мощности отличаются наличием дистанционного управления. Для этого предусмотрена выносная панель администратора либо соответствующая рабочая станция (ПК).

Устройства высокой мощности могут управляться и в ручном, и в автоматическом режиме, которые гармонично сочетаются между собой. Это в значительной степени повышает гарантию надежной работы оборудования, так как персонал имеет возможность проводить уточнение параметров, полученных двумя путями.

Следует отметить, что на сегодня все более актуальным становится удаленное управление источником бесперебойного питания, когда предоставляется возможность контролировать и вносить коррективы в работу устройства, установленного вместе с оборудованием в труднодоступных районах, либо на отдаленных участках. Модули позволяют в круглосуточном режиме иметь доступ к самой свежей информации для принятия оперативных решений.

В зависимости от масштабов объекта, подвергаемого мониторингу, средства управления также могут отличаться между собой. В частности, предусмотрены элементы, которые налаживают управление индивидуальными ИБП, которые стоят на защите от сбоев файловых серверов в небольших локальных сетях. А есть модули, разработанные для контроля мощных моделей, которые защищают сразу несколько серверных станций. Между тем, в каждое такое устройство заложена одна общая программа, которая должна в случае возникновения критической ситуации выполнять автоматическую остановку оборудования, сообщать о регистрации неполадок, которые заносятся в соответствующий журнал, и осуществлять перезагрузку общей системы после восстановления параметров основного питания.

Очевидно, что управление – это не только необходимый, но и крайне ответственный процесс, в ходе которого выполняется определенный цикл операций, связанных с серьезной аналитикой. Обеспечить настройку подобных манипуляций способны только квалифицированные специалисты.

4.1. Программное обеспечение (ПО) для мониторинга ИБП

4.1.1 Назначение и особенности работы 10 систем управления ИБП

Надежность работы систем электропитания/электроснабжения проявляется в их способности обеспечивать непрерывную и безотказную работу всего комплекса питаемых устройств связи. В то же время сервисные инженеры часто сталкиваются с ситуациями, когда именно система электропитания остается для обслуживающего персонала чем-то вроде «черного ящика». Надо отметить, что развитые системы обработки и приема/передачи данных являются многоуровневыми, соответственно обслу-

живающие их системы электропитания также становятся многоуровневыми (иерархичными).

Устройства, критичные к отклонениям работы системы электропитания от номинального режима, такие как файловые серверы, маршрутизаторы, мосты, сетевые терминалы и т. д., должны быть полностью защищены от разного рода нарушений в снабжении энергией (всплесков, просадок и скачков, неожиданных пропаданий питающего напряжения и т. п.). При этом, чем выше организация производственного процесса или локальной вычислительной сети и т. д., тем выше стоимость ущерба, причиненного потерей информации за счет неисправности или простоя из-за отсутствия электропитания. О состоянии самой системы электропитания в это время можно только догадываться или посылать обслуживающий персонал, который должен разобраться и устранить неисправность.

Учитывая необходимость быстрого реагирования на возникающие проблемы с электропитанием, вопрос *непрерывного мониторинга* всего комплекса оборудования гарантированного и бесперебойного электропитания приобрел характер первостепенной важности и привел к созданию программно-аппаратных комплексов, решающих эту задачу.

Еще совсем недавно основной задачей ИБП считалась борьба с неожиданными исчезновениями электропитания (авариями) и, следовательно, с возможностью потери обрабатываемой и хранимой информации. В настоящее время программно-аппаратные средства автоматизированного управления электропитанием (АУЭП), помимо основных функций, обеспечивают контроль основных параметров энергии.

АУЭП предполагает совмещение механизмов сетевого администрирования сети со способами автоматической защиты критичной нагрузки от сбоев и перерывов в электропитании/электроснабжении.

АУЭП состоит из трех основных сегментов:

1) текущий и/или по запросу (выборочный) контроль основных параметров питающей сети;

2) автоматическая свертка (закрытие) работы с гарантированным сохранением хранящихся и обрабатываемых данных при возникновении длительных перебоев в подаче энергии;

3) дистанционный текущий и/или по запросу (выборочный) контроль состояния удаленных ИБП и другого оборудования удаленной системы электроснабжения с использованием современной сети абонентского доступа.

Программное обеспечение ИБП позволяет организовать мониторинг и управление электропитанием объектов от дома и малого офиса до больших, территориально разнесенных объектов.

ПО ИБП позволяет расширить и дополнить возможности источников бесперебойного питания, позволяет организовать мониторинг рабочих станций и серверов, к которым подключены ИБП. Обеспечить корректное

завершение работы в случае продолжительного перерыва в электроснабжении. Помимо ведения журнала событий, позволяет держать в курсе о сбоях в электроснабжении ответственный персонал, посредством отправки email-сообщений. Проста в настройке и эксплуатации.

Основные возможности:

- поддержка нескольких ИБП, подключенных к одному компьютеру/серверу;
- возможность мониторинга нескольких компьютеров по локальной сети;
- мониторинг параметров электропитания и состояния ИБП и их графическое представление (входное, выходное напряжения, заряд, температура и т. д.);
- возможность изменения внутренних настроек ИБП и его адаптация к параметрам местной электросети;
- регистрация отклонений в системе питания и функционировании ИБП по времени дня и дате;
- возможность автоматического отключения ИБП при приостановке ПК;
- планировщик работы ПК – «Ваш ИБП» может отключать и включать нагрузку по заданному вами расписанию;
- настройка реакции на события при сбоях в питании;
- возможность приостановки работы компьютера при сбое в электросети;
- возможность отправки уведомлений о сбоях и неисправностях по электронной почте;
- возможность запуска внешнего приложения для обработки событий при сбоях и неисправностях;
- возможность мониторинга состояния ИБП по протоколу SNMP.

Достоинства АУЭП:

1) возможность оперативного определения места и типа неполадки в системе электропитания сети обработки данных. Это особенно важно для удаленных сетей обработки данных;

2) возможность подбора действий ИБП в зависимости от проходящих событий позволяет планировать и контролировать кризисные ситуации и реализовывать меры с целью недопущения негативных последствий.

Существует два вида мониторинговых интерфейсов UPS, не считая управления через SNMP-адаптер – «Dumb Interface» (в терминах American Power Conversion – «simple signal lingscheme») и «Smart Interface» («smart signal lingscheme»). Рассмотрим их более подробно.

4.1.2. Принцип *Dumb Interface*

Это старый и примитивный тип интерфейса, предоставляющий лишь самую минимальную информацию о состоянии UPS. Он имеет три сигнальных линии:

- «AC Failure»: сигнал от UPS к управляющему оборудованию. Сообщает о переходе UPS на батарейное питание;
- «Battery Low»: сигнал от UPS к управляющему оборудованию. Сообщает о том, что батарея достигла критического уровня разряда и в скором времени не сможет обеспечить резервного питания;
- «Shutdown UPS»: сигнал от управляющего оборудования к UPS. Подача напряжения 6...12 V на эту линию вызывает отключение инвертора и обесточивание нагрузки. Чтобы избежать случайных отключений, UPS обычно реагирует на этот сигнал только при условии удержания его в активном состоянии дольше 1...4 секунд и только во время работы от батарей.

Логика работы программы-монитора, следящей за UPS через *Dumb Interface*, достаточно проста. При переходе сигнала «AC Failure» в активное состояние она может запустить таймер, и если по истечении заданного таймаута этот сигнал все еще активен, выполнить закрытие всех задач и завершить работу операционной системы. Другой вариант действий – ничего не предпринимать до тех пор, пока не станет активным сигнал «Battery Low», после чего без промедления выполнить завершение работы операционной системы. Возможны также некие комбинации из этих двух методов. После завершения работы системы программа-монитор может установить в активное состояние сигнал «Shut down», чтобы выключить UPS. К сожалению, после отключения по этому сигналу у большинства UPS'ов для восстановления работоспособности требуется ручное вмешательство оператора – выключить его и снова включить. Автоматическое включение в этом случае не происходит, так как батарея UPS находится в разряженном состоянии и, вероятно, не сможет обеспечить резервное питание с момента начала загрузки системы и до момента активизации программы-монитора, что в случае повторения перебоев с подачей электроэнергии приведет к аварийному отключению системы и возможной потере данных.

Исторически сложилось так, что ранние модели UPS, оснащенные *Dumb Interface*, требовали для работы с ним специальную плату – UPS Monitor Board (упоминания о ней можно встретить, например, в Novell Netware 3.1x – входящий в ее состав модуль UPS.NLM рассчитан на работу именно с такой платой). В связи с этим интерфейс не обеспечивает никаких определенных логических уровней на своем выходе и представляет собой лишь набор ключей, замыкающих сигнальный провод с общим. О необходимых смещениях для формирования логических сигналов, соот-

ветствующих, например, уровням RS-232C, вы должны позаботиться сами (как правило, для этого в распайке соединительного кабеля используются резисторы, на которые подается высокий уровень от сигнала RTS или DTR RS-232C). UPS'ы, Dumb Interface которых сам обеспечивает уровни RS-232C (APC Back-UPS, например) – скорее, исключение из общего правила.

В очень старых моделях, в качестве ключей применялись обычные герконовые реле (отсюда и название – Contact Closure Type). В настоящее время обычно используются транзисторные оптроны (чаще всего – широко распространенные 4N35), обеспечивающие надежную гальваническую развязку интерфейса от внутренней схемы UPS, либо специализированные микросхемы. Однако в некоторых дешевых моделях (например, MinuteMan A-420) вместо оптронов в ключах стоят обычные биполярные транзисторы.

4.1.3. Принцип Smart Interface

Это более современный тип интерфейса, использующий стандартный порт RS-232. Работа через него предполагает наличие в UPS достаточно развитой системы самодиагностики и определенного набора команд, с помощью которого программа-монитор может управлять источником и опрашивать его текущее состояние. Набор контролируемых параметров может включать в себя, например, действующее значение напряжения в сети и его частоту, то же самое для напряжения питания нагрузки, потребляемую нагрузкой мощность, уровень заряда батарей, температуру внутри корпуса UPS и т. п. Кроме того, такие UPS часто имеют таймер (или часы реального времени), который можно запрограммировать на включение нагрузки в заданное время.

Как правило, UPS'ы, оснащенные Smart Interface, имеют и Dumb Interface для совместимости со старыми системами. Это несложно обеспечить, поскольку для обмена по RS-232 необходимо всего три линии (TxD, RxD и GND), и оставшихся 6 контактов на разъеме DB-9 вполне хватает для всех dumb'овых сигналов.

4.1.4. Примеры ПО АУЭП

ПО «Onli Safe», ПО «Fail Safe»

Эти программные продукты используются для систем, не требующих управления электропитанием и мониторинга параметров электросети. Пакеты обеспечивают автоматическую свертку (закрытие) работы компьютерной сети в случае аварии в питающей электросети с гарантированным сохранением данных, обрабатываемых и хранящихся в ней данных.

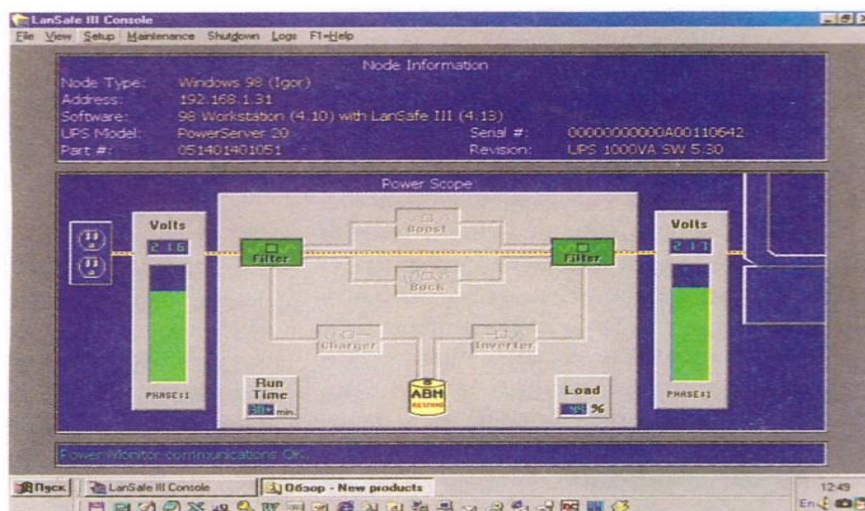


Рис. 20. Передняя панель ПО «Line-interactive» (фирма Powerware)

Пример АУЭП на базе ПО «Power Chute Plus» фирмы APC (USA)

В качестве примера рассмотрим ПО «Power Chute» и «Power Chute Plus» фирмы APC (American Power Conversation), структура которого приводится на рис. 21. ПО построено по стандартной схеме: передняя панель, меню с множеством опций, хелперов для решения конкретных задач.

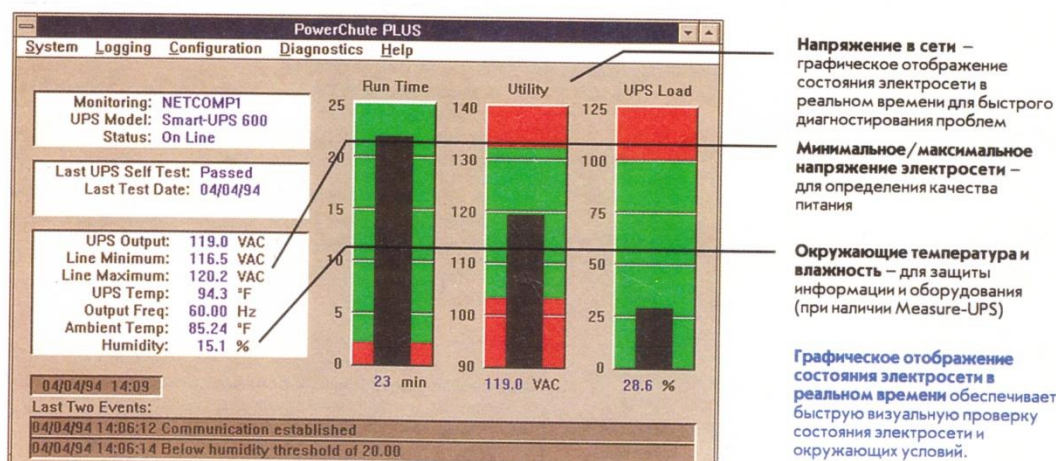


Рис. 21. Передняя панель ПО (фирма APC)

Подменю 1: SYSTEM (безопасное закрытие системы):

- автоматическое отключение;
- оповещение администратора и/или пользователя о перебоях в сети;
- регистрация сервером событий в сети;
- запуск конфигурирующих командных файлов;
- режим сохранения батареи ИБП;
- автоматическая перезагрузка;
- отключение множественных серверов.

Подменю 2: LOGGING (контроль состояния и тестирование ИБП):

- плановое самотестирование ИБП;
- предупреждение о необходимости замены АБ;
- графическое изображение состояния ИБП в реальном времени;
- время работы от АБ;
- журнал регистрации событий с электропитанием от ИБП.

Подменю 3: CONFIGURATION (дистанционное управление ИБП):

- пейджер для оповещения о проблемах с ИБП/электропитанием;
- электронная почта для оповещения о проблемах с ИБП/электропитанием;
- дистанционное управление с рабочей станции;
- программно-задаваемые параметры ИБП;
- плановое отключение/перезагрузка системы;
- функция «Flex events» для подбора и задания реакции оператора из реакций, имеющихся в списке.

Подменю 4: DIAGNOSTICS (контроль за окружающей средой):

- графическое изображение состояния электросети в реальном времени;
- журнал качества электросети;
- текущий мониторинг окружающих условий на основании информации, получаемой от внешних устройств.

Каждая из опций (подзадач) реализована в программном обеспечении своим собственным «окном» с установкой предусмотренных в нем позиций. Все «окна» выбираются из меню на передней панели. Например, «окно «Журнал качества электросети»» и таблично, и графически дает возможность точно определить проблемы, возникающие при использовании поблизости копировального оборудования, вентиляторов, лифтов и т. д.

Контроль окружающей среды обеспечивается наблюдением за окружающей температурой и влажностью и имеет **четыре** определенных пользователем внешних входа для обнаружения таких **внешних** факторов, как *вода, огонь, дым* и *несанкционированный доступ*.

ПО «Power Chute» идентифицирует все эти факторы как *события* и позволяет выбирать ответные действия прежде, чем произойдет потеря данных или повреждение аппаратных средств.

«Окно» «Flex events»» дает возможность пользователю для каждого из возможных событий выбрать *одно* или *несколько ответных действий* ИБП: зарегистрировать событие, оповестить администратора, оповестить пользователей, отключить сервер, запустить командный файл, использовать пейджер, отправить электронную почту и т. д.

Некоторые фирмы-разработчики представляют иную форму передней панели в рамках поставляемого ПО. Например, в ПО «Check UPS II Suite»

фирмы Best Power (USA) передняя панель дает наглядное (визуальное) представление о параметрах ИБП, как бы считываемое с приборов панели управления, как это делается при управлении автомобилем, самолетом, парходом и т. п.

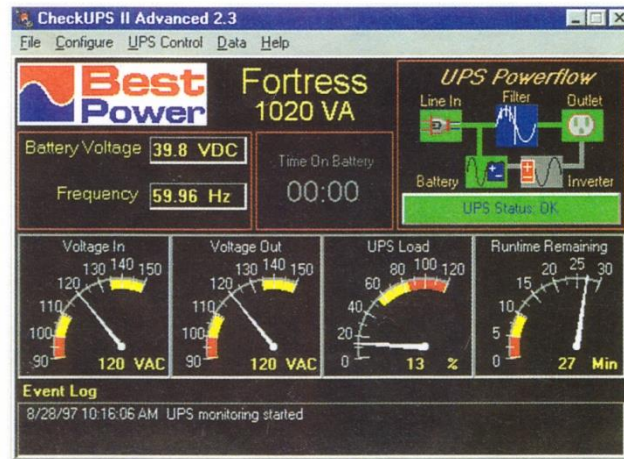


Рис. 22. Передняя панель ПО (фирма Best Power)

5. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

5.1. Исследование источника бесперебойного питания интерактивного типа

Цель работы. Закрепить знания о принципе действия и функционировании источника бесперебойного питания интерактивного типа.

Практически освоить методику экспериментального определения основных технических характеристик источника бесперебойного питания.

Описание установки для исследования ИБП интерактивного типа

Исследование ИБП интерактивного типа проводится на лабораторной установке, структурная схема которой представлена на рис. 23.

На рис. 23 показаны следующие устройства:

ЛАТР – лабораторный автотрансформатор (ЛАТР);

A, V, W – блок измерительный (амперметр $A1$, вольтметр $V1$, ваттметр $W1$);

ИБП – источник бесперебойного питания интерактивного типа (ИБП), где $\Phi 1$ – фильтр на входе ИБП;

$\Phi 2$ – фильтр на выходе ИБП;

ВУУ – вольтоубавочное устройство;

ВДУ – вольтодобавочное устройство;

V – выпрямитель;

I – инвертор;

АБ – аккумуляторная батарея;

ПК – персональный компьютер (системный блок, монитор);

N – блок нагрузки.

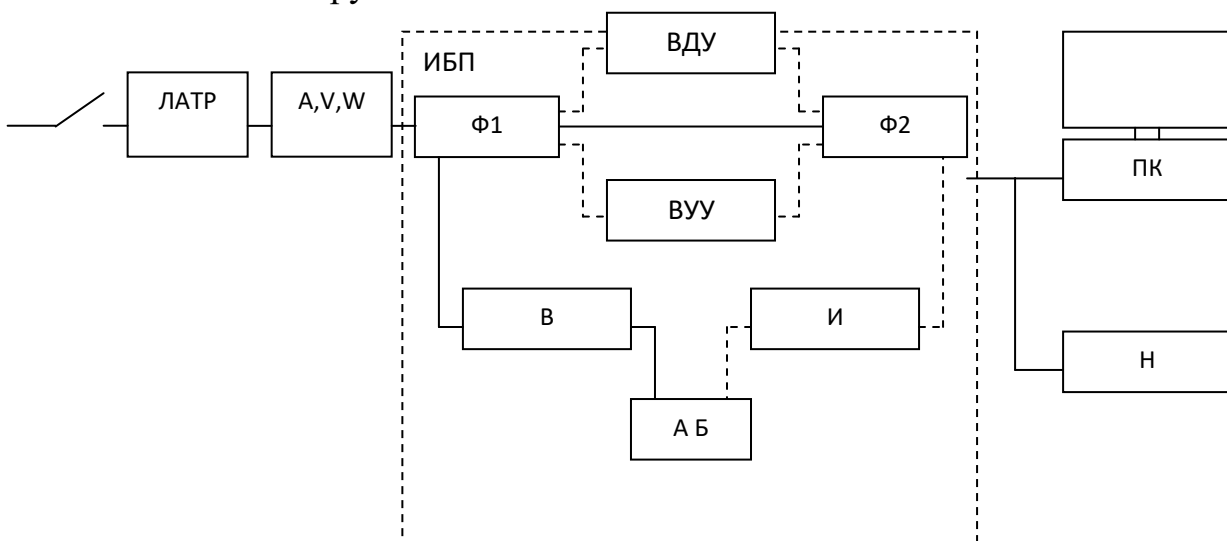


Рис. 23. Структурная схема исследования ИБП интерактивного типа

Исходные данные ИБП интерактивного типа:

Полная мощность $S = 700$ ВА, активная мощность $P = 490$ Вт

Входное напряжение $U_{\text{ВХ}} = 220$ В

Частота $f_{\text{ВХ}} = 50$ Гц

Выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}} = 220$ В

Регулирование входного напряжения осуществляется лабораторным автотрансформатором, расположенным на входе блока измерения. Для обеспечения тока нагрузки используется ПК (системный блок и монитор), установленный на выходе ИБП (NETUPS), без включения блока нагрузки Н.

Для определения коэффициента стабилизации $K_{\text{СТ}}$ необходимо:

- установить номинальный режим работы: входное напряжение $U_{\text{ВХ}} = 220$ В, частота $f_{\text{ВХ}} = 50$ Гц;

- определить значение выходного напряжения $U_{\text{ВЫХ}}$, время работы от батареи t и процентную загрузку $load$, % ИБП;

- используя ЛАТР для регулирования входного напряжения $U_{\text{ВХ}}$, выполнить четыре-пять измерений характеристик $U_{\text{ВЫХ}}$, t , $load$, %, изменяя входное напряжение от его максимального значения до минимально возможного значения (без перехода ИБП на работу от аккумуляторной батареи);

- определить данные при переходе ИБП на работу от аккумуляторной батареи (АБ);

- измерить значения $U_{\text{ВЫХ}}$, t , $load$, % при отключении сети питания ($U_{\text{ВХ}} = 0$).

Полученные результаты записать в табл. 9.

Таблица 6

Определение коэффициента стабилизации $K_{\text{СТ}}$

Измерено				Вычислено		
$U_{\text{ВХ}}$, В	$U_{\text{ВЫХ}}$, В	t , МИН	load, %	$\Delta U_{\text{ВХ}}$	$\Delta U_{\text{ВЫХ}}$	$K_{\text{СТ}}$

Коэффициент стабилизации рассчитывается по формуле:

$$K_{\text{СТ}} = \frac{\Delta U_{\text{ВХ}}}{U_{\text{ВХ}}} \cdot \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{\Delta U_{\text{ВЫХ}}},$$

Где $\Delta U_{\text{ВХ}}$ – изменение входного напряжения, определяется по формуле $\Delta U_{\text{ВХ}} = U_{\text{ВХ НОМ}} - U_{\text{ВХ МИН}}$; $U_{\text{ВХ МИН}}$ – минимальное входное напряжение до перехода ИБП на работу от АБ.

$\Delta U_{\text{ВЫХ}}$ – изменение выходного напряжения, определяется для минимального входного напряжения по формуле $\Delta U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВЫХ НОМ}} - U_{\text{ВЫХ1}}$, $U_{\text{ВЫХ1}}$ – значение выходного напряжения при $U_{\text{ВХ МИН}}$.

Определение выходного сопротивления $R_{\text{ВЫХ}}$

Для определения выходного сопротивления $R_{\text{ВЫХ}}$ необходимо:

- установить: номинальное входное напряжение $U_{\text{ВХ}} = 220 \text{ В}$, частота $f_{\text{ВХ}} = 50 \text{ Гц}$;
 - определить значения $U_{\text{ВЫХ}}, t, \text{load}, \%$;
 - используя блок нагрузки Н, изменить в 4–5 приемов ток нагрузки, фиксируя каждый раз значения $U_{\text{ВЫХ}}, t, \text{load}, \%$;
- Результаты измерений записать в табл. 10.

Таблица 10

Определение выходного сопротивления $R_{\text{ВЫХ}}$

Измерено						Вычислено			
$U_{\text{ВХ}}, \text{В}$	$U_{\text{ВЫХ}}, \text{В}$	$t, \text{мин}$	$\text{load}, \%$	$I_{\text{ВХ}}, \text{А}$	$P_{\text{ВХ}}, \text{Вт}$	$I_{\text{Н}}, \text{А}$	$\Delta I_{\text{Н}}$	$\Delta U_{\text{ВЫХ}}$	$R_{\text{ВЫХ}}$

Выходное сопротивление определяется по формуле:

$$R_{\text{ВЫХ}} = \frac{\Delta U_{\text{ВЫХ}}}{\Delta I_{\text{Н}}},$$

где $\Delta U_{\text{ВЫХ}}$ – изменение выходного напряжения, находится как

$$\Delta U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВЫХ ном}} - U_{\text{ВЫХ2}}, \quad U_{\text{ВЫХ2}} - \text{значение выходного напряжения для } \text{load } \% \approx 100 \%;$$

$$\Delta I_{\text{Н}} - \text{изменение тока нагрузки, определяется как } \Delta I_{\text{Н}} = | I_{\text{Н1}} - I_{\text{Н2}} |;$$

$I_{\text{Н1}}$ – значение тока нагрузки $I_{\text{Н}}$ при номинальном $U_{\text{ВХ}}$ без блока нагрузки Н;

$$I_{\text{Н2}} - \text{значение тока нагрузки } I_{\text{Н}} \text{ для } \text{load } \% \approx 100 \%;$$

номинальное значение тока нагрузки $I_{\text{Нном}} = P_{\text{ном}} / U_{\text{ном}}, I_{\text{Н}} = \text{load } \% \times I_{\text{Нном}} / 100$.

По данным табл. 10 изобразите графическую зависимость изменения времени работы ИБП от аккумуляторной батареи при увеличении тока нагрузки $t = f(I_{\text{Н}})$.

Определение коэффициента полезного действия η и коэффициента мощности $\cos\varphi$

Коэффициент полезного действия η и коэффициент мощности $\cos\varphi$ определяют для $\text{load}, \% \approx 100 \%$ при номинальных значениях $U_{\text{ВХ}}, U_{\text{ВЫХ}}$ и $I_{\text{Н}}$.

Значения $P_{\text{ВХ}}, I_{\text{ВХ}}$ измеряют ваттметром $W1$ и амперметром $A1$.

Величина коэффициента полезного действия и коэффициента мощности определяются из соотношений:

$$\eta = \frac{P_{\text{ВХ}}}{P_{\text{ВЫХ}}}, \quad \cos\varphi = \frac{P_{\text{ВХ}}}{S_{\text{ВХ}}}$$

Технические характеристики ИБП интерактивного типа (NETUPS) представьте в итоговой табл. 11.

Таблица 11

Технические характеристики ИБП

Электрические параметры	
Диапазон входного напряжения(без перехода на батареи)	
Мощность S / P	
Частота	
Выходное напряжение	
$K_{\text{СТ}}$	
$R_{\text{ВЫХ}}$	
КПД (η)	
$\cos\varphi$	
Механические параметры	
Вес, кг	
Габариты, мм	
Батареи	
Время работы от батареи при полной нагрузке, мин	

По результатам выполненной работы сделайте выводы.

5.2. Исследование источника бесперебойного питания с двойным преобразованием энергии (типа on-line)

Цель работы. Закрепить знания о принципе действия и функционировании источника бесперебойного питания с двойным преобразованием энергии (типа on-line).

Практически освоить методику экспериментального определения основных технических характеристик источника бесперебойного питания.

Описание установки для исследования ИБП с двойным преобразованием энергии (типа on-line)

Исследование ИБП с двойным преобразованием энергии (типа on-line) проводится на лабораторной установке, структурная схема которой представлена на рис. 23.

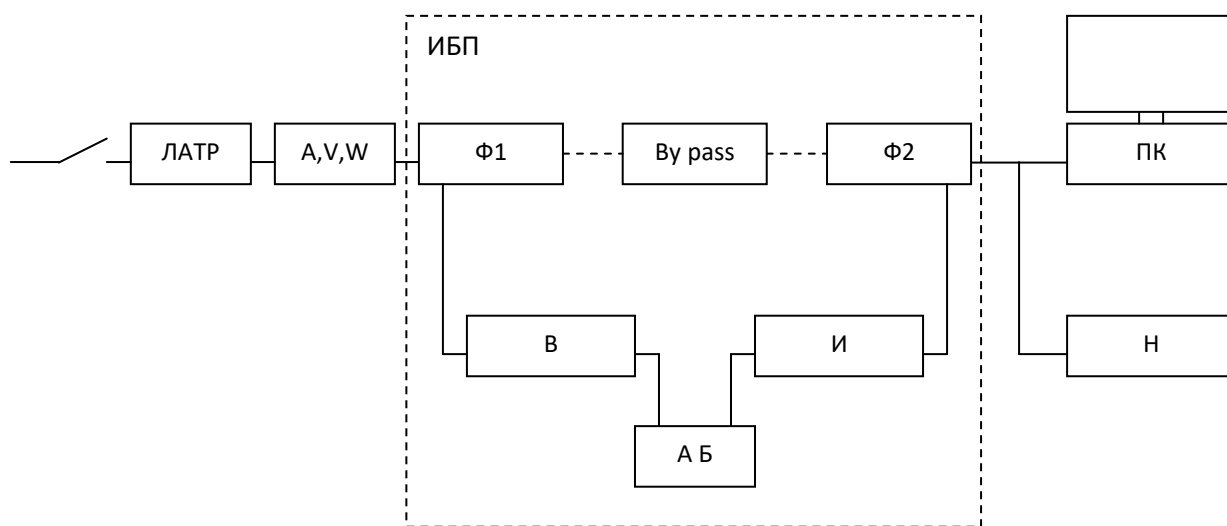


Рис. 24. Схема исследования ИБП с двойным преобразованием энергии (типа on-line)

На рис. 24 показаны следующие устройства:

ЛАТР – лабораторный автотрансформатор (ЛАТР);

A, V, W – блок измерительный (амперметр, вольтметр, ваттметр);

ИБП – источник бесперебойного питания с двойным преобразованием энергии (типа on-line),

где Ф1 – фильтр на входе ИБП,

Ф2 – фильтр на выходе ИБП;

Вурасс – обходной путь;

В – выпрямитель;

И – инвертор;

ПК – персональный компьютер (системный блок, монитор);

Н – блок нагрузки.

Исходные данные ИБП с двойным преобразованием энергии (типа on-line):

Полная мощность $S = 1000$ ВА

Входное напряжение $U_{\text{ВХ}} = 230$ В

Частота $f_{\text{ВХ}} = 50$ Гц

Выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}} = 230$ В

Определение коэффициента стабилизации $K_{\text{СТ}}$

Регулирование входного напряжения осуществляется лабораторным автотрансформатором. Для обеспечения тока нагрузки используется ПК (системный блок и монитор), установленный на выходе ИБП (Powerware), без включения блока нагрузки Н.

Для определения коэффициента стабилизации $K_{\text{СТ}}$ необходимо:

- установить номинальный режим работы: входное напряжение $U_{\text{ВХ}} = 230$ В, частота $f_{\text{ВХ}} = 50$ Гц;

- определить значение выходного напряжения $U_{\text{ВЫХ}}$, время работы от батареи t и процентную загрузку ИБП $load$, %;

- используя ЛАТР для регулирования входного напряжения $U_{\text{ВХ}}$, выполнить четыре-пять измерений характеристик $U_{\text{ВЫХ}}$, t , $load$, %, изменяя входное напряжение от его максимального значения до минимально возможного значения (без перехода ИБП на работу от аккумуляторной батареи);

- определить данные при переходе ИБП на работу от аккумуляторной батареи (АБ);

- измерить значения $U_{\text{ВЫХ}}$, t , $load$, % при отключении сети питания ($U_{\text{ВХ}} = 0$).

Полученные результаты записать в табл. 12.

Таблица 12

Определение коэффициента стабилизации $K_{\text{СТ}}$

Измерено				Вычислено		
$U_{\text{ВХ}}$, В	$U_{\text{ВЫХ}}$, В	t , мин.	$load$, %	$\Delta U_{\text{ВХ}}$	$\Delta U_{\text{ВЫХ}}$	$K_{\text{СТ}}$

Коэффициент стабилизации определяется по формуле:

$$K_{CT} = \frac{\Delta U_{BX}}{U_{BX}} \cdot \frac{U_{ВЫХ}}{\Delta U_{ВЫХ}},$$

где ΔU_{BX} – изменение входного напряжения, определяется по формуле

$\Delta U_{BX} = U_{BX \text{ ном}} - U_{BX \text{ мин}}$, где $U_{BX \text{ мин}}$ – минимальное входное напряжение до перехода ИБП на работу от АБ.

$\Delta U_{ВЫХ}$ – изменение выходного напряжения, определяется для минимального входного напряжения по формуле $\Delta U_{ВЫХ} = U_{ВЫХ \text{ ном}} - U_{ВЫХ1}$, где $U_{ВЫХ1}$ – значение выходного напряжения при $U_{BX \text{ мин}}$.

Определение выходного сопротивления $R_{ВЫХ}$

Для определения выходного сопротивления $R_{ВЫХ}$ необходимо

- установить номинальное входное напряжение $U_{BX} = 230 \text{ В}$, частота $f_{BX} = 50 \text{ Гц}$;

- определить значения $U_{ВЫХ}$, t , $load$, %;

- используя блок нагрузки Н, изменить в 4–5 приемов ток нагрузки, фиксируя каждый раз значения $U_{ВЫХ}$, t , $load$, %;

Данные для вычислений занести в табл. 13.

Таблица 13

Определение выходного сопротивления $R_{ВЫХ}$

Измерено						Вычислено				
U_{BX} , В	$U_{ВЫХ}$, В	t , мин	$load$, %	I_{BX} , А	P_{BX} , Вт	$S_{ВЫХ}$, ВА	I_H , А	$P_{ВЫХ}$, Вт	η	$\cos\phi$

Выходное сопротивление определяется по формуле:

$$R_{ВЫХ} = \frac{\Delta U_{ВЫХ}}{\Delta I_H},$$

где $\Delta U_{ВЫХ}$ – изменение выходного напряжения, находится как

$\Delta U_{ВЫХ} = U_{ВЫХ \text{ ном}} - U_{ВЫХ2}$, $U_{ВЫХ2}$ – значение выходного напряжения для $load \% \approx 100 \%$;

ΔI_H – изменение тока нагрузки, определяется как $\Delta I_H = I_{H1} - I_{H2} /$;

I_{H1} – значение тока нагрузки I_H при номинальном U_{BX} без блока нагрузки Н;

I_{H2} – значение тока нагрузки I_H для $load \% \approx 100 \%$,

номинальное значение тока нагрузки $I_{HНОМ} = P_{НОМ} / U_{НОМ}$,

$I_H = load \% \times I_{HНОМ} / 100$.

По данным табл. 13 изобразите графическую зависимость изменения времени работы ИБП от аккумуляторной батареи при увеличении тока нагрузки $t = f(I_H)$.

Определение коэффициента полезного действия η и коэффициента мощности $\cos\varphi$

Коэффициент полезного действия η и коэффициент мощности $\cos\varphi$ определяют для $load, \% \approx 100\%$ при номинальных значениях $U_{ВХ}$, $U_{ВЫХ}$ и I_H .

Значения $P_{ВХ}$, $I_{ВХ}$ измеряют ваттметром $W1$ и амперметром $A1$.

Величина коэффициента полезного действия и коэффициента мощности определяются из соотношений:

$$\eta = \frac{P_{ВХ}}{P_{ВЫХ}}, \quad \cos\varphi = \frac{P_{ВХ}}{S_{ВХ}}.$$

Основные технические характеристики ИБП с двойным преобразованием энергии (типа on-line) Powerware представить в итоговой табл. 14.

Таблица 14

Основные технические характеристики ИБП

Электрические параметры	
Диапазон входного напряжения	(без перехода на батареи)
Мощность S / P	
Частота	
Выходное напряжение	
$K_{ст}$	
$R_{ВЫХ}$	
КПД (η)	
$\cos\varphi$	
Механические параметры	
Вес, кг	
Габариты, мм	
Батареи	
Время работы от батареи при полной нагрузке, мин	

По результатам выполненной работы сделайте выводы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Источники бесперебойного питания телекоммуникационных средств и вычислительной техники : учеб. пособие / П. Ю. Виноградов, В. В. Маракулин, К. К. Никитин, Н. Н. Патлых, Б. Г. Шамсиев ; СПбГУТ. – СПб., 2000.

2. Инновационные технологии энергообеспечения в инфокоммуникациях : учеб. пособие / П. Ю. Виноградов, В. В. Маракулин, К. К. Никитин. – СПб. : Изд-во «Теледом» ГОУВПО СПбГУТ, 2010. – 76с.

3. Статические и дизельные агрегаты резервного электропитания / В. В. Головкин, А. Я. Гольдинер, С. В. Соколов, М. И. Цыркин. – СПб. : Чистый лист, 2002.

4. Гольдинер, А. Я. Дизельные агрегаты резервного электропитания / А. Я. Гольдинер, М. И. Цыркин. – СПб. : Чистый лист, 2003.

5. Электропитание устройств и систем телекоммуникаций : учебное пособие для вузов/ В. М. Бушуев и [др]. – М. : Горячая линия – Телеком, 2009. – 384 с.

**П. Ю. Виноградов
О. В. Воробьев
И. В. Копылова
В. В. Маракулин
Бахтияр Газиевич Шамсиев**

ИСТОЧНИКИ ГАРАНТИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

**Учебно-методическое пособие
по выполнению лабораторных работ**

Редактор *Л. К. Паршина*
Компьютерная верстка *Н. А. Ефремовой*

План издания 2018 г., п. 8

Подписано к печати 2018
Объем 3,5 усл.-печ. л. Тираж 18 экз. Заказ 819

Редакционно-издательский отдел СПбГУТ
191186 СПб., наб. р. Мойки, 61

Отпечатано в СПбГУТ