

А.Ф. Кадацкий, А.П. Русу

**РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ
ПРЕДПРИЯТИЯ СВЯЗИ**

Методические указания и варианты заданий
для самостоятельной работы по курсам:
«Электропитание систем связи»,
«Электропитание средств почтовой связи»,
«Электротехнические устройства».

Содержание

1	Общие указания к работе	4
1.1	Подготовка к работе	4
1.2	Содержание работы	4
1.3	График выполнения работы	4
1.4	Оформление пояснительной записки	5
2	Исходные данные	8
3	Система электропитания предприятия связи	10
3.1	Назначение	10
3.2	Структурная схема предприятия связи	10
3.3	Основные требования к установкам электропитания	14
4	Указания по расчету	17
4.1	Система бесперебойного питания переменного тока	17
4.1.1	Назначение	17
4.1.2	Принципы построения СБП переменного тока	17
4.1.3	Принципы построения ИБП переменного тока	17
4.1.4	Основные характеристики ИБП переменного тока	21
4.1.5	Методика проектирования СБП переменного тока	22
4.1.6	Типичные ошибки при расчете СБП переменного тока	25
4.1.7	Пример расчета СБП переменного тока	26
4.2	Система бесперебойного питания постоянного тока	27
4.2.1	Назначение	27
4.2.2	Принципы построения СБП постоянного тока	27
4.2.3	Свинцово-кислотные аккумуляторы	30
4.2.4	Выпрямительные устройства	34
4.2.5	Токораспределительная сеть	35
4.2.6	Методика проектирования СБП постоянного тока	37
4.2.7	Типичные ошибки при расчете СБП постоянного тока	40
4.2.8	Пример расчета СБП постоянного тока	40
4.3	Расчет общей мощности потребляемой предприятием	43
4.3.1	Общие положения	43
4.3.2	Методика расчета	43
4.3.3	Пример расчета	44
4.4	Компенсатор реактивной мощности	45
4.4.1	Назначение	45
4.4.2	Принципы уменьшения реактивной мощности	46
4.4.3	Компенсаторы реактивной мощности	49
4.4.1	Методика выбора компенсатора реактивной мощности	50
4.4.2	Типовые ошибки при выборе КРМ	52
4.4.3	Пример расчета КРМ	52
4.5	Заземляющее устройство	53
4.5.1	Назначение	53
4.5.2	Системы заземления	54
4.5.3	Заземляющие устройства	56

4.5.4	Методика расчета заземлителя	57
4.5.5	Типовые ошибки при расчете заземления	59
4.5.6	Пример расчета заземления	60
4.6	Устройства автоматики и защиты.....	61
4.6.1	Назначение.....	61
4.6.2	Автомат ввода резерва	62
4.6.3	Плавкие вставки	63
4.6.4	Автоматические выключатели.....	64
4.6.5	Устройства защитного отключения.....	67
4.6.6	Устройства защиты от перенапряжения	67
4.6.7	Пример выбора автоматического выключателя	68
4.7	Структурная схема системы электропитания	68
4.7.1	Методика построения.....	68
4.7.2	Пример построения	69
5	Литература	71

1 ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1.1 Подготовка к работе

Для выполнения работы необходимо изучить теоретический материал в соответствии с настоящим пособием и рекомендуемой литературой. При расчете следует воспользоваться справочными данными, приведенными в настоящем пособии. Если имеющихся справочных данных окажется недостаточно, нужно воспользоваться справочной литературой или справочными данными, публикуемыми в сети Интернет по оборудованию систем электропитания и электроснабжения.

1.2 Содержание работы

Методические указания предусматривают 100 вариантов заданий. Номер варианта должен соответствовать двум последним цифрам номера зачетной книжки.

Для получения зачета студенту необходимо выполнить следующий объем работы.

1. Рассчитать систему бесперебойного электропитания переменного тока, на основании выполненных расчетов выбрать источник бесперебойного питания переменного тока.

2. Рассчитать систему бесперебойного электропитания постоянного тока, на основании выполненных расчетов выбрать аккумуляторную батарею и выпрямительное устройство.

3. Рассчитать общую мощность, потребляемую предприятием.

4. Выбрать корректор коэффициента мощности.

5. Рассчитать устройство защитного заземления.

6. Выбрать автомат защиты.

7. Составить функциональную схему системы электропитания предприятия связи с указанием всего выбранного оборудования.

Исходные данные к расчету выбираются из таблиц (Таблица 2.1, Таблица 2.2). Результатом работы является функциональная схема системы электропитания и список выбранного оборудования.

1.3 График выполнения работы

Работа рассчитана на 2 модуля. График работы тесно связан с графиком практических занятий по дисциплине, которые проводятся 1 раз в две недели. Работа рассчитана на 5 практических занятий в каждом модуле.

В первом модуле выполняются пункты 1 – 3 работы. Зачет по первому модулю ставится при наличии правильно выполненной и оформленной пояснительной записки без защиты.

Во втором модуле выполняются пункты 4 – 7. Зачет и оценка по работе ставится по результатам защиты работы в целом.

Ориентировочный график выполнения работы приведен в таблице (Таблица 1.1).

Таблица 1.1 – График работы над комплексным заданием

№ занятия	Тема практического занятия	Состояние работы	
Модуль 1	1	Выдача задания. Система электропитания предприятия связи	
	2	Системы бесперебойного питания переменного тока	Выбраны исходные данные, рассчитана система бесперебойного питания переменного тока (п.1)
	3	Системы бесперебойного питания постоянного тока	Устранены ошибки в расчетах п.1, рассчитана система бесперебойного питания постоянного тока
	4	Параметры потребителей электрической энергии постоянного и переменного тока	Устранены ошибки в расчетах п.1, 2, рассчитана общая мощность предприятия связи
	5	Зачетное занятие	Устранены ошибки в п.1 – 3
Модуль 2	1	Устройства для уменьшения реактивной мощности	Выбран корректор коэффициента мощности (п.4)
	2	Устройства для защиты персонала от поражения электрическим током	Устранены ошибки п.4, рассчитано защитное заземление
	3	Устройства для учета и распределения электрической энергии	Устранены ошибка п.4, 5, выбран автомат защиты
	4	Особенности эксплуатации систем электропитания	Сдача на проверку
	5	Зачетное занятие	Работа защищена

1.4 Оформление пояснительной записки

Пояснительная записка оформляется в соответствии с требованиями единой системы оформления конструкторской документации (ЕСКД).

Текстовая часть вместе с иллюстрациями выполняется на одной стороне бумаги белого цвета формата А4 (297 х 210 мм) с полями не менее: левое – 25 мм, верхнее и нижнее – 20 мм, правое – 10 мм. Текст пишется чернилами или пастой темного цвета с интервалом между строками по трафарету №2 или печатается с использованием компьютерных технологий – в редакторе Microsoft Word с использованием шрифта Times New Roman (или аналогичного) размера – 14, междустрочный интервал – 1,2. Таблицы оформляются шрифтом размера – 12.

Размещение материалов в работе следующее:

- титульный лист;
- содержание;
- исходные данные;
- основная часть;
- функциональная схема системы;
- список источников.

Страницы нумеруются арабскими цифрами, придерживаясь сквозной нумерации на протяжении всего текста. Номер страницы ставится в правом верхнем углу текста тем же шрифтом, что и основная часть. Титульный лист включается в общую нумерацию, но номер на нем не ставится. Также не ставится номер страницы на странице с содержанием.

Титульный лист предоставляет сведения о названии работы, исполнителе, руководителе и лицах, которые его проверяли и согласовывали (Форма № Н-6.01).

Содержание приводится на отдельной странице. В содержание включают все составляющие работы. Названия должны полностью соответствовать тексту. Номера страниц показывают начало данного материала.

Исходные данные для расчета начинаются с новой страницы. При оформлении исходных данных должны быть приведены все условные обозначения, значения и единицы измерения.

Текст основной части разделяется на разделы. Разделы должны иметь порядковые номера арабскими цифрами (1, 2 и т.д. без слова «Раздел») и названия (заголовки). Заголовки разделов необходимо начинать с абзацного отступа и писать заглавными буквами без точки после номера и в конце.

Работа содержит один раздел «Расчет системы электропитания предприятия связи». Раздел разбивается на подразделы, в соответствии с заданиями (1.1, 1.2 и т.д.). Названия подразделов пишутся с абзацного отступа строчными буквами (кроме первой заглавной) без подчеркивания и точек после номера и в конце. Текст должен быть четким и не допускать различных толкований. При этом следует использовать термины, обозначения и определения, рекомендованные в ДСТУ, учебной или специальной литературе.

Расстояние между заголовком (раздела или подраздела) и следующим или предыдущим текстом должно быть не менее чем строка текста. Не допускается размещение название раздела или подраздела в нижней части страницы, если после него размещена одна строка текста.

Абзацный отступ должен быть одинаковым на протяжении всего текста и равняться 5 знакам ($\approx 1,27$ см).

Формулы и уравнения размещают непосредственно после текста, в котором они упоминаются, посередине строки с отступом сверху и снизу не менее одной строки. Номер формулы ставится на ее уровне в круглых скобках в крайнем правом положении на строке и составляется из номера раздела и порядкового номера формулы, разделенных точкой, например (2.4) – четвертая формула второго раздела.

Пояснения значения каждого символа и числового коэффициента, которые входят в формулу, необходимо приводить непосредственно под формулой в той последовательности, в которой они приведены в формуле. В формулах и уравнениях латинские буквы печатаются курсивом, кроме математических функций и обозначений (\sin , \cos , \lg , \exp , tg и т.п.).

Перед использованием формул должны быть приведены ссылки на источники, а перед использованием числовых значений – пояснения по поводу их происхождения. Результаты расчетов сопровождаются указанием соответ-

ствующих единиц измерения. Порядок оформления расчетов: основная формула – подстановка числовых данных без преобразования в последовательности, в которой они приведены в формуле – окончательный результат с указанием размерности.

Список источников размещается с новой строки и содержит в себе только те книги и учебники, сайты, и т.п., которые были использованы во время выполнения работы, и на которые есть ссылки в тексте. Ссылки на источники приводят в тексте в квадратных скобках, в которых указывают номер, по которому источник размещен в списке.

2 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Тип питающей сети – трехфазная, четырехпроводная, 220/380, 50 Гц.

Тип оборудования переменного тока – однофазное, 220 В, 50 Гц.

Желаемый коэффициент мощности системы электропитания – $\cos\varphi_{ж} = 0,95$.

Коэффициент мощности системы аварийного освещения, $\cos\varphi_{ао} = 1^1$.

Среднестатистический коэффициент загрузки $k_{и} = 1$.

Коэффициент увеличения пускового тока $k_{а} = 1,2$.

Коэффициент полезного действия источника бесперебойного питания переменного тока $\eta = 0,9$.

Коэффициент полезного действия инвертора источника бесперебойного питания $\eta_{инв} = 0,95$.

Таблица 2.1 – Исходные данные

Последняя цифра номера зачетной книжки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Количество лучей системы электропитания	2	3	1	2	3	2	1	3	2	1
Максимальный ток оборудования переменного тока $I_{н AC}, A$	10	15	20	25	12	16	18	22	26	28
Максимальный ток оборудования постоянного тока $I_{н DC}, A$	40	50	70	30	90	90	75	45	55	65
Максимальный ток аварийного освещения $I_{ао}, A$	5	3	4	4,5	3,5	2,8	1,9	2,7	3,2	4,7
Полная мощность потребляемая на хозяйственные нужды, $S_{хоз}, kVA$	5	6	7	8	10	3	4	3,5	5	4
Полная мощность, потребляемая системой вентиляции и кондиционирования, $S_{вк}, kVA$	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	3,0	4,0	5,0
Температура окружающей среды $t_{ср}, ^\circ C$	+20	+18	+24	+22	+25	+20	+18	+15	+16	+22
Диаметр электрода заземления d, mm	60	32	35	40	60	50	60	50	40	45
Расстояние между электродами заземления a, m	10	5	12	5	10	5	15	10	4	10
Удельное сопротивление грунта $\rho_0, Om \cdot m$	20	30	10	6	40	30	20	80	50	40

Таблица 2.2 – Исходные данные

Предпоследняя цифра номера зачетной книжки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Напряжение питания оборудования постоянного тока, $U_{н DC}$, В	48	48	24	48	60	24	60	48	24	48
Напряжение питания системы аварийного освещения ² , $U_{ао}$, В	220 AC	48 DC	220 AC	220 AC	60 DC	24 DC	220 AC	220 AC	24 DC	48 DC
Время работы от аккумуляторных батарей t_p , ч	3	1	0,5	3	0,5	1	2	3	2	0,5
Коэффициент мощности хозяйственных нужд, $\cos\varphi_{хоз}$	0,97	0,93	0,9	0,95	0,98	0,94	0,92	0,91	0,96	0,89
Коэффициент мощности системы вентиляции и кондиционирования $\cos\varphi_{вк}$	0,75	0,76	0,78	0,8	0,75	0,76	0,78	0,8	0,75	0,76
Длина электрода заземления l , м	4,5	2,8	3,5	3	3,2	5	6	5,5	3,5	3,3

Примечания:

1. Коэффициент мощности аварийного освещения имеет смысл при питании системы аварийного освещения от переменного тока.

2. Аббревиатура «АС» (Alternation current) обозначает, что аварийное освещение питается переменным током, соответственно должно быть подключено к ИБП переменного тока, аббревиатура «DC» (Direct current) обозначает, что аварийное освещение питается постоянным током, соответственно должно быть подключено к ИБП постоянного тока.

3 СИСТЕМА ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ СВЯЗИ

3.1 Назначение

Система электропитания – это комплекс сооружений на территории предприятия связи, включающий систему электроснабжения, устройства преобразования, распределения, регулирования и резервирования электрической энергии, обеспечивающий функционирование предприятия связи, как в нормальных, так и в аварийных режимах работы.

В зависимости от требований по надежности электроснабжения электроприемники предприятий связи подразделяются на первую, вторую и третью категории. Большинство предприятий электросвязи относятся к потребителям первой категории, и их электроснабжение должно обеспечиваться от трех независимых источников электроэнергии. Два внешних ввода электроэнергии подключают к отдельным энергосистемам или электростанциям, а третий – к собственной автономной (дизельной) электростанции. В настоящее время в отдельных практических случаях допускается применение двухлучевых систем электроснабжения (с одним вводом и автономной электростанцией) [8].

3.2 Структурная схема предприятия связи

Упрощенная структурная схема предприятия связи трехлучевого типа показана на рисунке (Рисунок 3.1).

Электрическая энергия от двух независимых энергосистем через Ввод 1 и Ввод 2 поступает на трансформаторные подстанции *ТП1* и *ТП2*. Напряжение на вводах 1 и 2 составляет, как правило, 6 или 10 кВ. Непосредственно к сети низкого напряжения 0,4 кВ (220/380 В) предприятие связи подключается в случаях, когда мощность, потребляемая предприятием невелика, и предприятие расположено недалеко от трансформаторной подстанции.

Трансформаторные подстанции (ТП) *ТП1* и *ТП2* необходимы для понижения напряжения с вводов 1 и 2 до величины 0,4 кВ (220/380 В). В состав трансформаторных подстанций входят понижающие трансформаторы *ТВ1* и *ТВ2*, а также устройства защиты от перегрузки по току: плавкие вставки *FU1*, *FU2* и автоматические выключатели *Q1*, *Q2*. Вторичные обмотки силовых трансформаторов *ТВ1* и *ТВ2* включаются по схеме «звезда» с нулевым выводом (четырёхпроводная звезда), который подключают к системе заземления. Дублирование автоматических выключателей *Q1* и *Q2* плавкими вставками *FU1* и *FU2* связано с возможным отказом автоматических выключателей (подробнее, см. п.п. 4.6.3, 4.6.4).

Автономная дизельная электростанция (АДЭС) *АДЭС1* является источником резервного электропитания, который обеспечивает электрической энергией предприятие связи при авариях основных источников, подключенных к вводам 1 и 2.

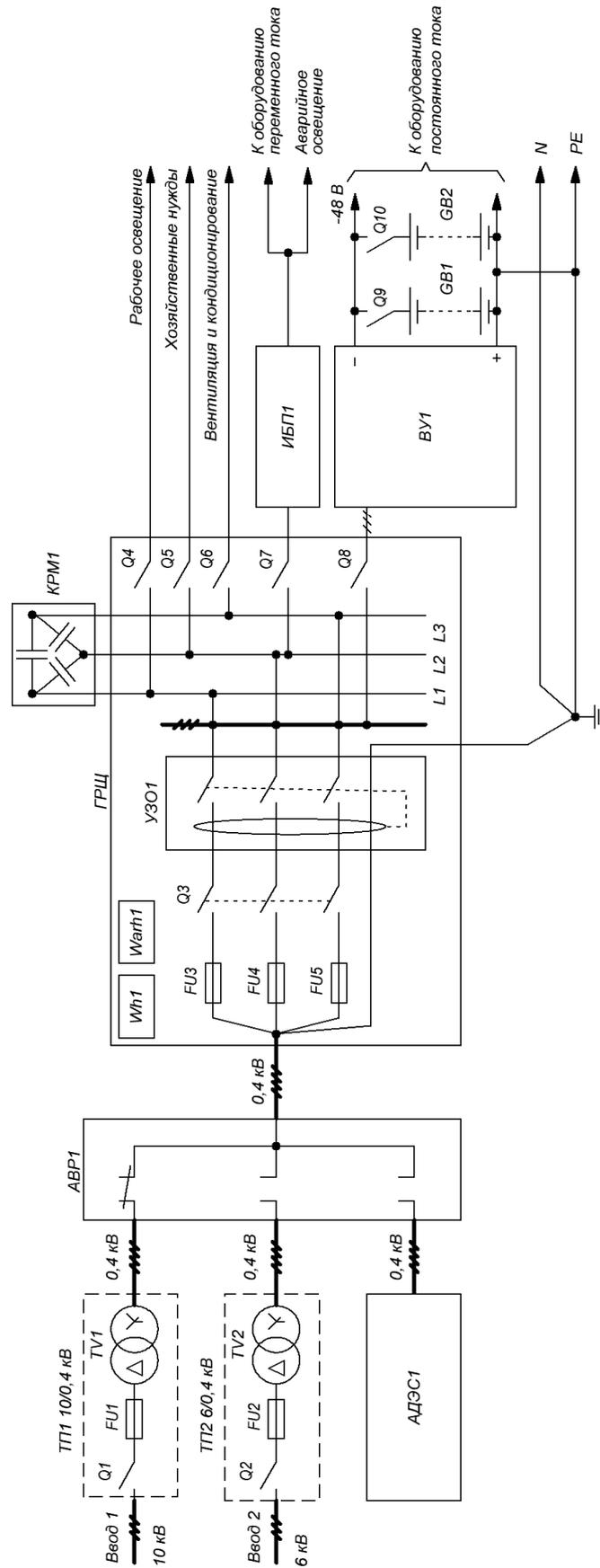


Рисунок 3.1 – Структурная схема предприятия связи трехлучевого типа

АДЭС представляет собой дизельный двигатель, на валу которого установлен электрогенератор. АДЭС предприятий связи должны иметь третью (высшую) степень автоматизации и специальные средства регулировки (стабилизации) выходного напряжения по величине, фазе и частоте.

Выходы трансформаторных подстанций *ТП1*, *ТП2* и *АДЭС1* подключены к автомату ввода резерва *АВР1*.

Автомат ввода резерва (АВР) предназначен для автоматического выбора необходимого источника питания. При аварии основного источника, который, как правило, подключен к вводу 1, АВР автоматически переключит предприятие на ввод 2. Если напряжение на вводе 2 отсутствует, АВР подаст команду на запуск АДЭС. После возобновления электроснабжения на вводах 1 или 2 АДЭС будет автоматически остановлена, а предприятие будет подключено к рабочему источнику (подробнее см. п.4.6.2).

С выхода *АВР1* электрическая энергия подается на **главный распределительный щит (ГРЩ)** (Рисунок 3.2) в котором располагаются основное оборудование для учета, контроля и распределения электрической энергии.

Учет потребленной электрической энергии осуществляется с помощью **счетчиков активной** – *Wh1* (в кВт·ч – киловатт-часах) и **реактивной мощности** – *Warh1* мощности (в кВАР·ч – киловар-часах).



Рисунок 3.2 – Главные распределительные щиты

Защита цепей ГРЩ от перегрузки по току осуществляется с помощью плавких предохранителей *FU3 – FU5* и трехфазного автоматического выключателя *Q3*. Дублирование защиты связано с потенциальной возможностью отказа автоматического выключателя *Q3* в то время как плавкие предохранители *FU3 – FU5* имеют более высокую надежность, однако, являются одноразовыми (подробнее, см. п.п. 4.6.3, 4.6.4).

Устройство защитного отключения (УЗО) УЗО1 предназначено для защиты персонала от поражения электрическим током. При прикосновении человека к токоведущим частям УЗО автоматически отключит питание предприятия связи (подробнее см. п.4.6.5).

С выхода УЗО1 электрическая энергия подается на **распределительные шины $L1 - L3$** , которые предназначены для распределения электрической энергии. При небольших токах нагрузки распределительные шины выполняются с помощью отрезков провода. Для больших токов шины представляют собой медные полосы прямоугольного сечения, жестко смонтированные в распределительном щите (Рисунок 3.3).

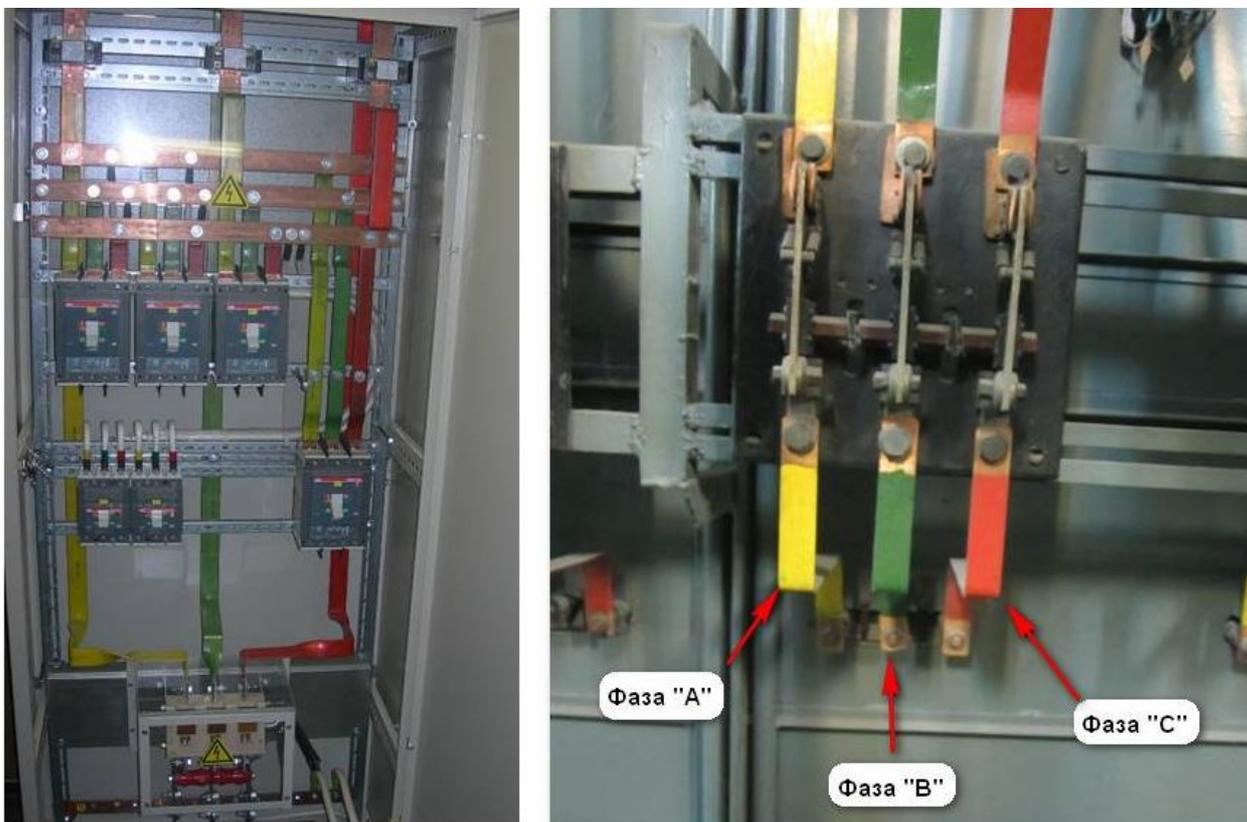


Рисунок 3.3 – Шины в виде медных полос в распределительном щите

Компенсатор реактивной мощности (КРМ) $KPM1$, который подключается непосредственно к шинам $L1 - L3$, предназначен для уменьшения уровня реактивной мощности, потребляемой предприятием и уменьшения затрат на электроэнергию (подробнее см. п. 4.4).

Различные категории потребителей подключаются к распределительным шинам $L1 - L3$ с помощью соответствующих **автоматических выключателей $Q4 - Q8$** , которые осуществляют защиту от перегрузки по току.

Источник бесперебойного питания переменного тока $ИБП$ предназначена для работы оборудования переменного тока при авариях основных источников питания ($ТП1$, $ТП2$) до запуска резервного ($АДЭС1$), который может занять от 3 до 15 минут (подробнее см. п. 4.1).

Выпрямительное устройство $VУ1$ предназначено для питания оборудования постоянного тока от сети переменного тока, а также для заряда аккумуляторных батарей $GB1$, $GB2$ (подробнее см. п. 4.2.4).

Аккумуляторные батареи GB1, GB2 предназначены для работы оборудования постоянного тока при авариях основного источника питания (*ТП1, ТП2*) до запуска резервного (*АДЭС1*). В системах электропитания предприятий связи обычно используются аккумуляторные батареи, соединенные в две группы (двухгруппные аккумуляторные батареи), которые подключаются к оборудованию постоянного тока с помощью автоматических выключателей *Q9, Q10*, обеспечивающих защиту батарей от перегрузки по току (подробнее см. п. 4.2.3).

Выпрямительное устройство *BV1*, аккумуляторные батареи *GB1, GB2* автоматические выключатели *Q9, Q10* совместно с токораспределительной сетью образуют **систему бесперебойного питания постоянного тока** (подробнее см. п. 4.2).

В зависимости от типа **аварийного освещения** (постоянного или переменного тока), предназначенного для освещения предприятия при аварии основного источника питания и до запуска резервного, оно подключается либо к системе бесперебойного питания постоянного тока (к выходу *BV1*) либо к ИБП переменного тока (*ИБП1*).

Защитное заземление, аналогично УЗО, предназначено для защиты персонала от поражения электрическим током. К проводу защитного заземления подключается нейтральный проводник токораспределительной сети (проводник *N* на схеме Рисунок 3.1), проводник защитного заземления (проводник *PE* на схеме Рисунок 3.1), а также положительный полюс выпрямительного устройства *BV1* и аккумуляторных батарей *GB1, GB2*.

3.3 Основные требования к установкам электропитания

К электропитающим установкам предъявляется ряд требований, которые необходимо учитывать при проектировании ЭПУ [8].

1) ЭПУ должны быть надежными и обеспечивать бесперебойное (или гарантированное) электропитание основного оборудования аппаратуры электросвязи, а также необходимые хозяйственные нужды.

2) ЭПУ должна быть экономична как при монтаже, так и при эксплуатации. Выбор архитектуры системы электропитания и оборудования должен обосновываться технико-экономическими показателями.

3) Электроснабжение ЭПУ осуществляется от электрической сети общего назначения и резервных источников электроэнергии трехфазного или однофазного переменного тока с частотой 50 Гц с номинальным напряжением 220/380 В, при этом выходное напряжение установок может быть 48 реже 24, 60 В постоянного тока.

4) Система электропитания должна предусматривать постоянный местный и дистанционный технический контроль – мониторинг ЭПУ. Все неисправности и аварийные состояния фиксируются в хронологическом порядке, диагностируются и передаются сервисной службе пользователя.

5) Применяемое типовое оборудование должно быть надежным в действии и комплектоваться по блочному принципу, позволяющему наращивать

мощности в перспективе. Блочный принцип обеспечивает равномерное распределение нагрузки при ее изменении и селективное отключение неисправного оборудования при авариях. Для повышения надежности системы вводится резервное оборудование, устройства защиты от перегрузок по току, от бросков напряжений и так далее.

6) В качестве резервного источника постоянного тока должны применяться АБ с закрытыми или герметичными аккумуляторами. Для обслуживания АБ ЭПУ должна обеспечивать следующие режимы работы: заряд батареи; буферный режим работы батареи; режим непрерывного подзаряда (содержание); разряд батареи. Установившееся отклонение напряжения ЭПУ на выходных выводах для подключения аккумуляторной батареи должно быть не более $\pm 1\%$ от требуемого значения.

7) Сеть аварийного освещения должна получать электропитание от одной из АБ и соответствовать фазному напряжению сети рабочего освещения. Емкость АБ, используемой для электропитания сети аварийного освещения, должна обеспечивать возможность работы аварийного освещения в течение расчетного времени разряда.

8) Токораспределительные сети ЭПУ должны проектироваться таким образом, чтобы расход проводниковых материалов был минимальным. Потери напряжения в ТРС на участке от выводов ЭПУ до стоек аппаратуры связи, включая потери в устройствах защиты и коммутации, не должны превышать 4% от номинального значения выходного напряжения ЭПУ. При проектировании ТРС постоянного тока индуктивное и омическое сопротивления проводников цепи питания должны выбираться из условия ограничения величины импульсного напряжения на выходе ЭПУ при коротком замыкании в ТРС, при этом расчетные величины тока и индуктивности цепи короткого замыкания (КЗ) не должны превышать соответственно 1000 А и 10^{-4} Гн .

9) Качество электроэнергии на выходных выводах ЭПУ должно соответствовать установленным нормам качества электроэнергии на входах цепей питания аппаратуры связи [8], а именно:

- установившееся отклонение напряжения на выходных выводах ЭПУ постоянного тока для подключения цепей питания аппаратуры связи должно быть не более $+4/-3,6\text{ В}$ для номинального напряжения 24 В , не более $+9/-7,5\text{ В}$ для номинального напряжения 48 В и не более $\pm 12\text{ В}$ для номинального напряжения 60 В ;
- уровень напряжения гармонической составляющей должен быть не более 50 мВ в диапазоне частот до 300 Гц включительно, не более 7 мВ на частотах выше 300 Гц до 150 кГц ;
- пульсации напряжения по действующему значению суммы гармонических составляющих в диапазоне частот от 25 Гц до 150 кГц – не более 50 мВ ;
- пульсации напряжения по псофометрическому значению не более 2 мВ .

10) Заземление ЭПУ должно удовлетворять требованиям «Правил устройства электроустановок» [9] и обеспечивать электробезопасность персонала. Корпус оборудования ЭПУ должен иметь болт (винт, шпильку) для подключения защитного проводника, при этом для четырехпроводной внешней сети переменного тока должно быть выполнено заземление и зануление оборудования ЭПУ, а при пятипроводной сети – только заземление.

11) Заземление нейтрали в трехфазных сетях переменного тока является рабочим, и сопротивление его не должно превышать 4 и 8 Ом соответственно при линейных напряжениях 380 и 220 В источника трехфазного тока [5]. Это сопротивление должно быть обеспечено посредством искусственных заземлителей с учетом использования естественных. Заземлитель должен располагаться вблизи трансформатора (генератора), а для внутрицеховых подстанций – около стены здания. Соединение нейтрали трансформатора или генератора с заземлителем осуществляется специальным проводом достаточного сечения.

12) Устройства автоматической защиты должны выполнять свои функции при следующих входных воздействиях [10, 11]: при воздействии одиночных импульсов тока 10/350 мкс с амплитудой 50 кА – для устройств первичной защиты; при воздействии одиночных импульсов напряжения 1/50 мкс с амплитудой 4 кВ – для устройств вторичной защиты; при отклонениях питающего напряжения на $\pm 40\%$ от номинального значения длительностью до 3 с, а также при импульсных перенапряжениях по каждой из фаз до ± 1000 В длительностью импульсов до 10 мкс – для остальных устройств.

13) В устройствах автоматической защиты амплитуда импульсов перенапряжения обеих полярностей на выходах устройств (при входных воздействиях) должна быть не более 4 кВ [12] (длительность импульсов 1/50 мкс) для устройств первичной защиты; для устройств вторичной защиты – 1 кВ (длительность импульсов – до 10 мкс); для других устройств – 1 кВ (длительность импульсов – до 10 мкс).

14) В устройствах автоматической защиты токи утечки варисторов, входящих в состав устройств, не должны превышать 1 мА.

4 УКАЗАНИЯ ПО РАСЧЕТУ

4.1 Система бесперебойного питания переменного тока

4.1.1 Назначение

На предприятиях связи система бесперебойного питания (СБП) переменного тока предназначена для электроснабжения оборудования при аварии основного источника электрической энергии до запуска резервного.

При отсутствии резервного источника питания СБП поддерживает работу оборудования в течение некоторого времени (сама СБП является резервным источником). Минимальное время работы в аварийном режиме должно быть достаточно для корректного выключения оборудования.

При наличии аварийного источника время работы СБП составляет 10...15 минут – за это время происходит запуск резервной электростанции.

При отсутствии аварийного источника время работы СБП составляет либо 10...15 минут (время, необходимое для корректной остановки оборудования), либо 2...4 часа (СБП выполняет функцию электростанции).

Максимальное время перерыва в электроснабжении нагрузки СБП переменного тока не должно превышать длительности половины периода сети. Для промышленной сети с частотой 50 Гц это время составляет 10 мс.

4.1.2 Принципы построения СБП переменного тока

На предприятиях связи бесперебойное электроснабжение обеспечивается с помощью источников бесперебойного питания (ИБП). СБП строятся по централизованному принципу – с одним мощным ИБП (Рисунок 4.1, *а*), по распределенному принципу – с множеством ИБП (Рисунок 4.1, *б*) или по смешанному принципу (Рисунок 4.1, *в*).

4.1.3 Принципы построения ИБП переменного тока

Основной функцией источника бесперебойного питания является обеспечение подключенного к нему оборудования (нагрузки) электрической энергией с качеством, регламентируемым ГОСТ 13109-97. Существует две основные технологии построения ИБП переменного тока: Off-Line и On-Line.

Суть технологии Off-Line (Рисунок 4.2, *а*) заключается в контроле параметров поступающей электрической энергии и принятии решения, от какого источника питать подключенное оборудование: непосредственно от сети, либо от собственного источника энергии (аккумулятора). При такой технологии обеспечивается высокий КПД (при работе от сети нет потерь электрической энергии неизбежных при преобразовании) и низкая стоимость ИБП, однако скорость реакции ИБП в ряде случаев может оказаться недостаточным для обеспечения требуемого качества электроэнергии.

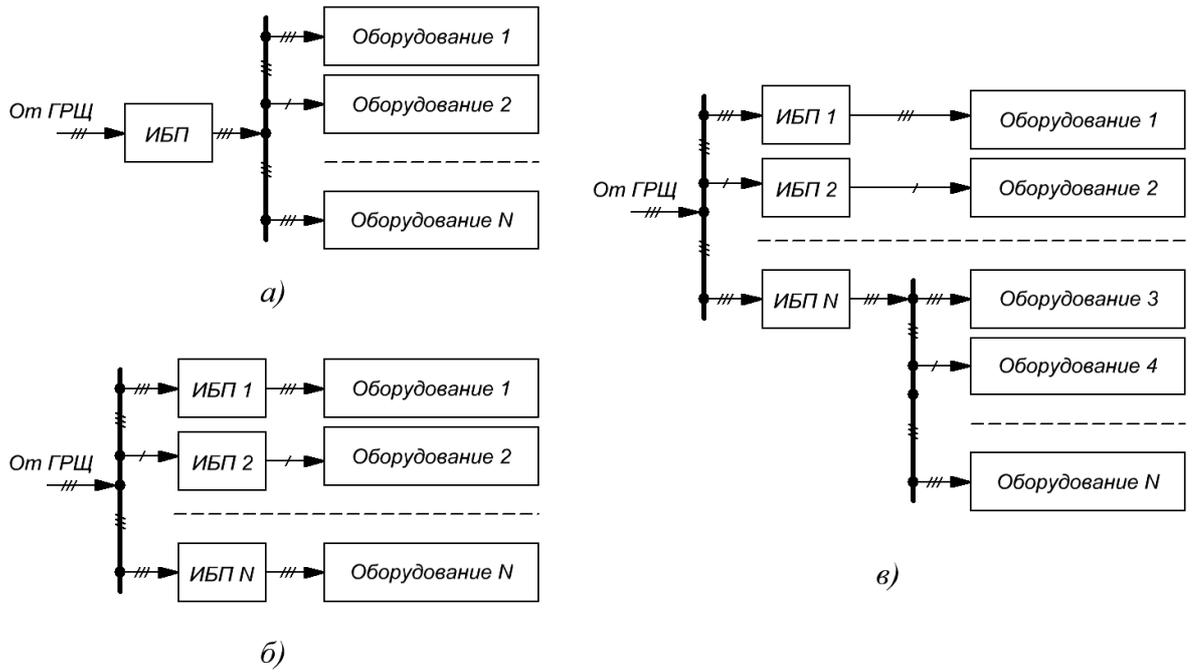


Рисунок 4.1 – СПП переменного тока: а – централизованная (с одним ИБП), б – распределенная (с множеством ИБП), в – смешанная

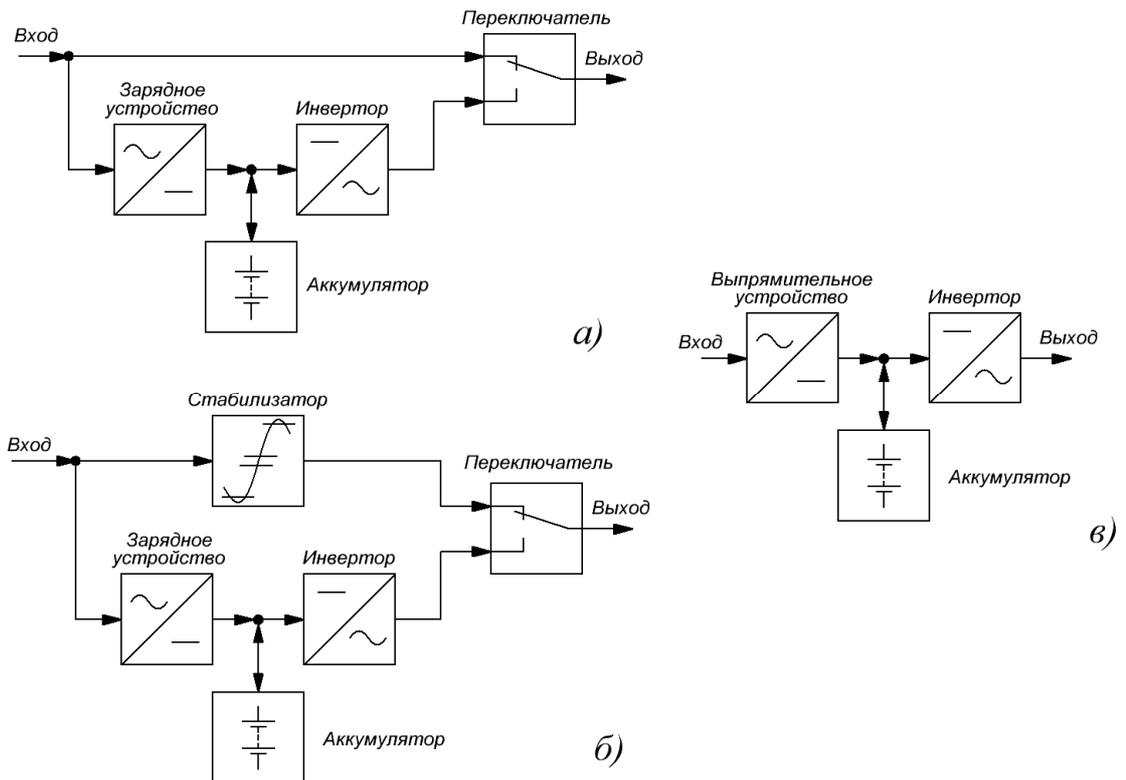


Рисунок 4.2 – Структурные схемы источников бесперебойного питания класса Off-Line – а, Line-Interactive – б, On-Line – в

На практике наиболее частым отклонением качества электроэнергии является отклонение действующего значения питающего напряжения. В связи с этим на основе технологии Off-Line была разработана технология Line-Interactive (Рисунок 4.2, б), которая имеет дополнительный стабилизатор напряжения сети. ИБП построенные по данной технологии на сегодняшний день являются самыми массовыми ИБП выпускаемыми производителями электроники.

Суть технологии On-Line (Рисунок 4.2, в) заключается в преобразовании электрической энергии в постоянный ток, а затем повторного ее преобразования в переменный. Из-за этого ИБП класса On-Line в технической литературе часто называют ИБП с двойным преобразованием. Поскольку выходное напряжение ИБП заново синтезируется, его качество не зависит от качества напряжения сети. Это позволяет работать от сетей с параметрами не соответствующими ГОСТ 13109-97.

ИБП класса Off-Line и Line-Interactive имеют значительно меньшую стоимость и больший КПД по сравнению с ИБП класса On-Line, однако уровень защиты у них ниже. В связи с этим, ИБП класса On-Line используются в основном для электроснабжения оборудования, критичного к качеству электрической энергии (медицинское оборудование, чувствительные измерительные приборы и т.п.). Для питания телекоммуникационного оборудования в большинстве используется ИБП класса Line-Interactive.

Системы бесперебойного питания свыше 3 кВА строятся с применением *трехфазных* ИБП. При низких мощностях (до 5 кВА) обычно используют *однофазные* ИБП. В диапазоне 3...5 кВА вид ИБП зависит от вида оборудования (однофазное или трехфазное).

Различают ИБП с *внешними* и *встроенными* аккумуляторами. ИБП небольшой мощности (до 5 кВА), как правило, имеют встроенную батарею небольшой емкости. ИБП большой мощности (больше 1 кВА) обычно выполняют с внешними аккумуляторами. Напряжение аккумуляторной батареи зависит от мощности ИБП (Таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Ориентировочные значения напряжения аккумуляторных батарей ИБП переменного тока

Выходная мощность ИБП, кВА	до 1	1...3	3...6	6...10	10...15	15...20	Более 20
Напряжение аккумуляторных батарей, В	12	24	36	48	60	96	120 и выше

ИБП для бытового применения (Рисунок 4.3), как правило, являются самостоятельными устройствами со встроенным аккумулятором. Они не требуют специальной квалификации для установки и обслуживания. Мощность ИБП бытового применения составляет не более 5 кВА (обычно до 1 кВА), время работы от аккумуляторных батарей – не более 30 минут при номинальной нагрузке (обычно 15 минут).

Промышленные ИБП (Рисунок 4.4) обычно изготавливаются с внешними аккумуляторами, конструкция корпуса которых позволяет устанавливать их в стойки стандартного размера. Часто промышленные ИБП изготавливаются по модульному принципу, который позволяет при необходимости наращивать мощность ИБП, а также обеспечивать требуемый уровень надежности (один или несколько модулей могут использоваться как резервные). Схема управления модульного ИБП хорошего качества позволяет выполнять «горячую» замену модулей и аккумуляторных батарей без снятия напряжения с оборудования.



Рисунок 4.3 – ИБП бытового применения: выполненный в виде удлинителя SPD-850U фирмы Powercom мощностью 0,85 кВА – а; Back-UPS 350 фирмы APC мощностью 0,35 кВА – б; все ИБП со встроенными аккумуляторами.

ИБП предназначенные для обеспечения питанием компьютерного оборудования, как правило, имеют порт для подключения компьютера (протокол, USB, RS-232, RS-482) или локальной вычислительной сети (Ethernet). Через данный порт происходит обмен информацией между ИБП и серверами: состояние батареи, оставшееся время работы, напряжение сети, а также осуществляется настройка ИБП. Современные ИБП имеют встроенную Flash-память, в которой хранится журнал событий.



Рисунок 4.4 – Промышленный ИБП US3 компании «ИКС-Техно» мощностью 3 кВА с внешними аккумуляторами предназначенный для монтажа в стойку с возможностью параллельной работы нескольких блоков.

4.1.4 Основные характеристики ИБП переменного тока

Максимальная мощность, кВА – максимальная мощность оборудования которую можно подключить к ИБП. ИБП бытового применения предназначены для работы с компьютерным оборудованием, типовой коэффициент мощности которого составляет $0,62 \dots 0,67$, поэтому максимальная активная мощность у них, как правило, меньше. Так, например, максимальная полная мощность ИБП SPD-850U фирмы Powercom (Рисунок 4.3, а) $S = 0,8$ кВА, в то время как активная $P = 0,51$ кВт. Для ИБП Back-UPS 350 фирмы APC (Рисунок 4.3, б) $S = 0,35$ кВА, $P = 0,21$ кВт. Для промышленных ИБП (например, US3 компании «ИКС-Техно», Рисунок 4.4) максимальная активная мощность равна полной ($S = 3$ кВА, $P = 3$ кВт).

Время работы от аккумулятора, ч – минимальное время работы от встроенной аккумуляторной батареи. Время работы от аккумулятора зависит от его емкости, величины подключенной нагрузки и температуры окружающей среды. В документации на ИБП изготовитель обычно приводит специальные формулы, графики или таблицы, позволяющие рассчитать ориентировочное значение данного параметра в конкретном случае.

Форма выходного напряжения. Инвертор ИБП синтезирует переменное выходное напряжение из постоянного напряжения аккумулятора. Для уменьшения стоимости ИБП некоторые производители используют упрощенные схемы инверторов, форма выходного напряжения которых отличается от синусоидальной (т.н. аппроксимированная синусоида) (Рисунок 4.5). Если подключенное оборудование критично к форме питающего напряжения, использование ИБП с аппроксимированной синусоидой может привести к выходу из строя оборудования или ИБП. Как правило, к форме напряжения критичны трансформаторы и электродвигатели, работающие на частоте сети, активные корректоры мощности и фильтры гармоник, сетевые фильтры высокочастотных помех.

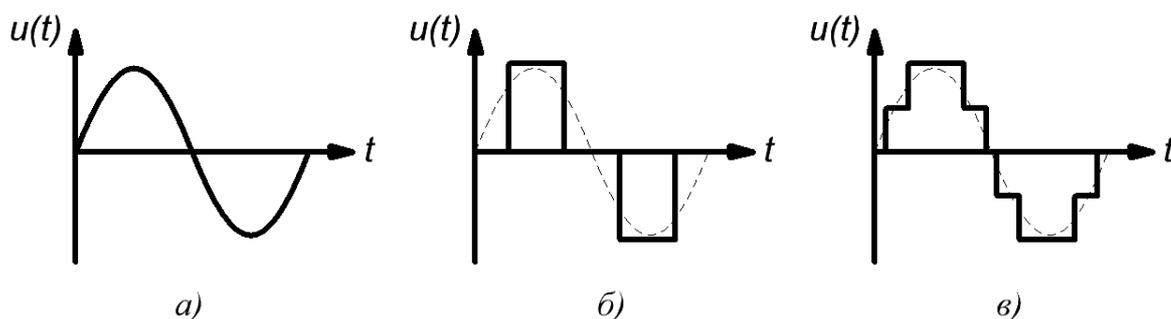


Рисунок 4.5 – Форма выходного напряжения инверторов ИБП: синусоидальная – а, двухступенчатая аппроксимация синусоиды – б, трехступенчатая аппроксимация синусоиды – в

4.1.5 Методика проектирования СБП переменного тока

В работе полагается, что СБП построена по централизованному принципу (Рисунок 4.1, а) с одним ИБП. При проектировании необходимо выбрать ИБП, а также рассчитать максимальную мощность, потребляемую системой из сети. Методика также справедлива для выбора каждого ИБП СБП распределенного и смешанного типов.

Исходными данными для расчета являются:

- тип оборудования переменного тока – однофазное, 220 В, 50 Гц;
- максимальный ток оборудования переменного тока, $I_{н\ AC}$, А;
- тип системы аварийного освещения (постоянного, DC или переменного, AC тока);
- напряжение питания системы аварийного освещения, U_{ao} , В;
- максимальный ток системы аварийного освещения, I_{ao} , А.

Результатом расчета являются:

- модель ИБП;
- количеством единиц оборудования (модулей, блоков);
- максимальная мощность, потребляемая системой из сети (полная $S_{СБП\ AC}$, активная $P_{СБП\ AC}$ и реактивная $Q_{СБП\ AC}$).

В общем случае максимальная мощность нагрузки ИБП $S_{н\ ИБП}$ является суммой мощностей всех потребителей, подключенных к ИБП:

$$S_{н\ ИБП} = \sum_{i=1}^N S_i = \sum_{i=1}^N \frac{P_i}{\cos \varphi_i}, \text{ кВА}, \quad (1)$$

где N – общее количество единиц оборудования, S_i – полная мощность, P_i – активная мощность, $\cos \varphi_i$ – коэффициент мощности i -ой единицы оборудования.

Согласно исходным данным для всех вариантов работы на предприятии используется однофазное оборудование с номинальным напряжением питания $U_{н\ AC} = 220$ В. В этом случае полная мощность оборудования переменного тока $S_{н\ AC}$ равна произведению напряжения $U_{н\ AC}$ на ток, потребляемый оборудованием $I_{н\ AC}$:

$$S_{н\ AC} = U_{н\ AC} I_{н\ AC}, \text{ кВА}. \quad (2)$$

Если используется система аварийного освещения переменного тока (AC), то ИБП должен дополнительно обеспечить электрической энергией данную систему. В этом случае полная мощность, потребляемая системой аварийного освещения S_{ao} :

$$S_{ao} = U_{ao} I_{ao}, \text{ кВА}, \quad (3)$$

максимальная мощность нагрузки ИБП:

$$S_{н\ ИБП} = S_{н\ AC} + S_{ao}, \text{ кВА}. \quad (4)$$

Если на предприятии используется система аварийного освещения постоянного тока (DC), то к ИБП подключено только оборудование переменного тока:

$$S_{\text{н ИБП}} = S_{\text{н АС}}, \text{ кВА.} \quad (5)$$

Особенностью оборудования переменного тока является наличие *пусковых токов* – токов, потребляемых в момент включения. Для некоторых типов устройств (мощные трансформаторы, электродвигатели) пусковой ток может в 10 раз превышать номинальный. Если ИБП переменного тока выбирать без учета пусковых токов, то в момент включения ИБП может сработать защита от перегрузки. Длительность и кратность перегрузки обычно указывается в документации на конкретный ИБП. Для телекоммуникационных устройств обычно выбирают ИБП с 20% запасом по мощности (коэффициент увеличения пускового тока нагрузки $k_a = 1,2$). На практике $1,2 \leq k_a \leq 2$.

На практике не все оборудование используется одновременно. Поэтому реальная требуемая мощность ИБП может быть меньше чем установленная мощность оборудования (типичный пример любая квартира: общая мощность всего домашнего электрооборудования может достигать десятков киловатт, однако одновременно включенные приборы потребляют мощность не более 5 кВт). Этот момент учитывают с помощью среднестатистического коэффициента загрузки $k_{\text{и}}$. На практике $0,2 \leq k_{\text{и}} \leq 1$, для телекоммуникационного оборудования обычно $k_{\text{и}} = 1$, поскольку к ИБП подключено оборудование, которое должно работать круглосуточно.

Таким образом, требуемая выходная мощность ИБП $S_{\text{вых ИБП}}$ составит:

$$S_{\text{вых ИБП}} = k_{\text{и}} k_a S_{\text{н ИБП}}, \text{ кВА.} \quad (6)$$

На основании требуемой мощности по каталогам производителей или дистрибьюторов оборудования выбирается модель ИБП, которая должна быть больше чем $S_{\text{вых ИБП}}$.

Мощные промышленные ИБП изготавливают по модульному принципу. Такой ИБП представляет собой своеобразный конструктор: общий модуль управления (часто дублированный) к которому подключаются силовые модули (которые позволяют увеличить мощность устройства), либо модули батарей (позволяют увеличить продолжительность работы в аварийном режиме). Такие ИБП, как правило, имеют механизмы самодиагностики и позволяют выполнять отключение и замену модулей (в том числе и неисправных) без снятия напряжения с нагрузки («горячая» замена).

Например, ИБП Symmetra RM фирмы APC представляет собой систему бесперебойного питания блочной конфигурации с двойным преобразованием (технология On-Line). Габаритные размеры позволяют устанавливать ИБП в стандартную стойку. ИБП состоит из каркаса 5 (Рисунок 4.6), основного силового модуля 1, основного 3 и резервного 2 модулей управления и шести отсеков 4, в которые могут быть установлены как силовые модули, так и модули батарей.

Минимальная выходная мощность ИБП составляет 2 кВА (1 силовой модуль). Для увеличения выходной мощности ИБП имеет возможность установки дополнительных силовых модулей. Максимально в отсеки ИБП может быть установлено 3 дополнительных силовых модуля, которые вместе с ос-

новным модулем обеспечивают схему 3 + 1 (3 основных модуля, 1 резервный) с максимальной мощностью 6 кВА.

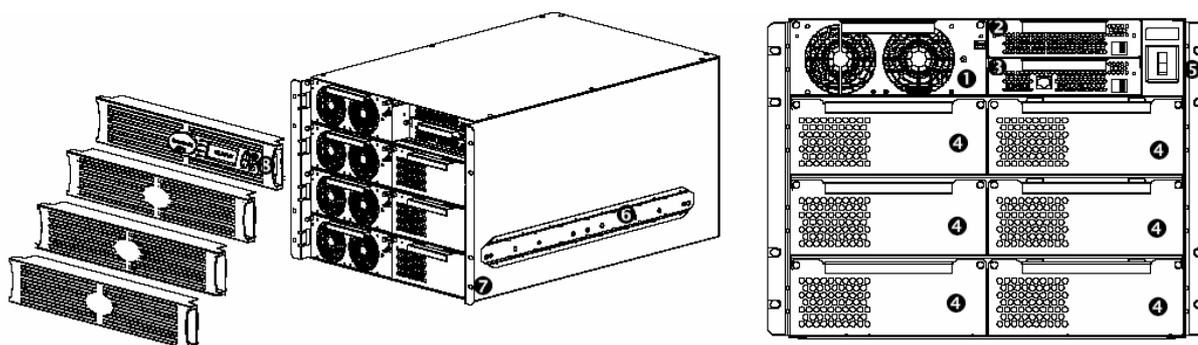


Рисунок 4.6 – Конструкция ИБП Symmetra RM фирмы APC

Минимальная конфигурация ИБП содержит 1 модуль батареи. Для увеличения продолжительности работы ИБП имеет возможность установки дополнительных модулей батарей. Максимально в отсеки ИБП может быть установлено 6 модулей батарей.

Использование модульных ИБП, аналогичных Symmetra RM, позволяет строить системы бесперебойного питания с высоким уровнем надежности. Для этого, при выборе ИБП один модуль является резервным, который подключается к системе в случае выхода из строя одного из основных модулей.

Параметры некоторых ИБП переменного тока модульного типа приведены в таблице (Таблица 4.2).

Необходимое количество модулей N , с учетом резервирования определяются по формуле:

$$N = \frac{S_{\text{вых ИБП}}}{k_{\text{пм}} S_{\text{мод}}} + 1, \quad (7)$$

где $k_{\text{пм}} = 0,75 \dots 0,95$ – коэффициент учета параллельного включения. Этот коэффициент учитывает возможную неравномерность распределения нагрузки между модулями ИБП.

Полученное значение N следует округлить в большую сторону. При этом необходимо следить, чтобы необходимое количество модулей не превышало максимальное количество модулей для данного устройства N_{max} :

$$N \leq N_{\text{max}}. \quad (8)$$

Максимальное количество модулей ИБП ориентировочно можно определить как отношение:

$$N_{\text{max}} = \frac{S_{\text{ИБП max}}}{S_{\text{мод}}}, \quad (9)$$

а точно из технической документации на конкретное устройство.

Если условие (8) не выполняется, следует выбрать более мощный ИБП.

После выбора ИБП можно определить максимальную мощность выбранного ИБП $S_{\text{вых ИБП max}}$:

$$S_{\text{выхИБПmax}} = NS_{\text{мод}}, \text{ кВА.} \quad (10)$$

Максимальная мощность, потребляется ИБП из сети в послеаварийном режиме – когда батареи ИБП разряжены. В этом случае ИБП потребляет из сети как мощность, необходимую для работы нагрузки, $S_{\text{вых ИБП}}$, так мощность заряда аккумуляторных батарей $S_{\text{зар АБ}}$, которая составляет ориентировочно 10% от максимальной мощности ИБП:

$$S_{\text{зарАБ}} \approx 0,1S_{\text{выхИБПmax}}, \text{ кВА.} \quad (11)$$

Точное значение мощности заряда аккумуляторных батарей $S_{\text{зар АБ}}$ можно определить из технической документации на устройство.

Таким образом, полная мощность, системы бесперебойного питания, $S_{\text{СБП АС}}$ определяется по формуле:

$$S_{\text{СБП АС}} = \frac{S_{\text{выхИБП}} + S_{\text{зарАБ}}}{\eta_{\text{ИБП}}}, \text{ кВА.} \quad (12)$$

Активная $P_{\text{СБП АС}}$ и реактивная $Q_{\text{СБП АС}}$ мощности, СБП:

$$P_{\text{СБП АС}} = S_{\text{СБП АС}} \cos \varphi_{\text{ИБП}}, \text{ кВт,} \quad (13)$$

$$Q_{\text{СБП АС}} = \sqrt{S_{\text{СБП АС}}^2 - P_{\text{СБП АС}}^2}, \text{ кВАР.} \quad (14)$$

В формулах (12) – (14) $\eta_{\text{ИБП}}$ – коэффициент полезного действия, $\cos \varphi_{\text{ИБП}}$ – коэффициент мощности ИБП, которые берутся из технической документации на устройство. В силу ограниченного объема работы данные коэффициенты ориентировочно можно принять равными: $\eta_{\text{ИБП}} = 0,9$, $\cos \varphi_{\text{ИБП}} = 0,85$.

Таблица 4.2 – ИБП переменного тока

Производитель	Модель	Мощность устройства, $S_{\text{ИБП max}}$, кВА	Мощность модуля, $S_{\text{мод}}$, кВА
APC	Symmetra Power Array	16	4
APC	Symmetra RM	6	2
APC	Symmetra LX	16	4
Newave UPS Systems	Minipower Tower	8	1
Newave UPS Systems	Minipower Rack	4	1
PK Electronics	US 9003	4,8	0,4
Eaton-Powervare	9170	18	3
Socomec-Sicon	Modulys	18	1,5

4.1.6 Типичные ошибки при расчете СБП переменного тока

1. Неправильно переписывается модель устройства, фирма изготовитель и технические характеристики. Основной целью работы является именно выбор устройства. На практике, даже одна неправильная буква или цифра в названии фирмы изготовителя или модели устройства может привести к тому, что будет произведена закупка совершенного другого оборудования не имеющего ничего общего с источниками бесперебойного питания.

2. Не производится проверка необходимого количества модулей N . В результате получается, что требуется количество большее, чем максимальное количество модулей, которое можно установить в выбранный ИБП.

3. Неправильное округление (или отсутствие округления вообще) требуемого количества модулей N . Количество модулей нельзя округлять в меньшую сторону – в этом случае ИБП не сможет обеспечить требуемую мощность. Даже если по расчетам получается, что требуется 3,05 модулей, следует принимать $N = 4$. Ну а принимать в расчетах (и в закупке!) 3,5 модуля просто абсурд.

4.1.7 Пример расчета СБП переменного тока

Исходные данные:

- тип оборудования переменного тока – однофазное, 220 В, 50 Гц;
- максимальный ток оборудования переменного тока, $I_{н\ AC} = 12$ А;
- тип системы аварийного освещения – переменного тока;
- напряжение питания системы аварийного освещения, $U_{ао} = 220$ В;
- максимальный ток системы аварийного освещения, $I_{ао} = 3$ А.

Полная мощность оборудования переменного тока $S_{н\ AC}$:

$$S_{н\ AC} = U_{н\ AC} I_{н\ AC} = 220 \cdot 12 = 2,64 \text{ кВА.}$$

Поскольку система аварийного освещения питается переменным током, ИБП должен дополнительно обеспечивать электроснабжение системы аварийного освещения.

Мощность системы аварийного освещения переменного тока $S_{ао}$:

$$S_{ао} = U_{ао} I_{ао} = 220 \cdot 3 = 0,66 \text{ кВА.}$$

Максимальная мощность нагрузки ИБП $S_{н\ ИБП}$:

$$S_{н\ ИБП} = S_{н\ AC} + S_{ао} = 2,64 + 0,66 = 3,3 \text{ кВА.}$$

Требуемая выходная мощность ИБП $S_{вых\ ИБП}$:

$$S_{вых\ ИБП} = k_{и} k_{а} S_{н\ ИБП} = 1 \cdot 1,2 \cdot 3,3 = 3,96 \text{ кВА.}$$

По таблице (Таблица 4.2) на основании требуемой мощности $S_{вых\ ИБП}$ выбираем источник бесперебойного питания US 9003 фирмы РК Electronics, имеющий следующие параметры:

- максимальная мощность устройства, $S_{ИБП\ max} = 4,8$ кВА;
- мощность одного модуля $S_{мод} = 0,4$ кВА.

Необходимое количество модулей ИБП N с учетом резервирования:

$$N = \frac{S_{вых\ ИБП}}{k_{пм} S_{мод}} + 1 = \frac{3,96}{0,95 \cdot 0,4} + 1 = 11,2 \approx 12.$$

где $k_{пм} \approx 0,95$ – коэффициент учета параллельного включения.

Максимальное количество модулей в устройстве, N_{max} :

$$N_{\max} = \frac{S_{\text{ИБП max}}}{S_{\text{мод}}} = \frac{4,8}{0,4} = 12.$$

Поскольку $N \leq N_{\max}$ выбор ИБП выполнен без ошибок.

Максимальная мощность ИБП $S_{\text{выхИБПmax}}$:

$$S_{\text{выхИБПmax}} = NS_{\text{мод}} = 12 \cdot 0,4 = 4,8 \text{ кВА.}$$

Мощность заряда аккумуляторных батарей $S_{\text{зар АБ}}$:

$$S_{\text{зарАБ}} \approx 0,1S_{\text{выхИБПmax}} = 0,1 \cdot 4,8 = 0,48 \text{ кВА.}$$

Полная мощность, системы бесперебойного питания, $S_{\text{СБП АС}}$:

$$S_{\text{СБП АС}} = \frac{S_{\text{выхИБП}} + S_{\text{зарАБ}}}{\eta_{\text{ИБП}}} = \frac{3,96 + 0,48}{0,9} = 4,93 \text{ кВА,}$$

где $\eta_{\text{ИБП}} = 0,9$ – коэффициент полезного действия ИБП.

Активная мощность системы бесперебойного питания $P_{\text{СБП АС}}$:

$$P_{\text{СБП АС}} = S_{\text{СБП АС}} \cos \varphi_{\text{ИБП}} = 4,93 \cdot 0,85 = 4,19 \text{ кВт,}$$

где $\cos \varphi_{\text{ИБП}} = 0,85$ – коэффициент мощности ИБП.

Реактивная мощность системы бесперебойного питания $Q_{\text{СБП АС}}$:

$$Q_{\text{СБП АС}} = \sqrt{S_{\text{СБП АС}}^2 - P_{\text{СБП АС}}^2} = \sqrt{4,93^2 - 4,19^2} = 2,6 \text{ кВАР.}$$

4.2 Система бесперебойного питания постоянного тока

4.2.1 Назначение

На предприятиях связи система бесперебойного питания (СБП) постоянного тока предназначена для электроснабжения оборудования постоянного тока.

В отличие от системы бесперебойного питания переменного тока, которую можно временно отключить, подключив оборудование напрямую к сети (режим «байпас»), отключение СБП постоянного тока приведет к остановке оборудования. Вторым отличием СБП переменного от СБП постоянного тока является преобразование переменного тока в постоянный.

4.2.2 Принципы построения СБП постоянного тока

Аналогично СБП переменного тока, на предприятиях связи системы бесперебойного питания постоянного тока строятся по централизованному (см. Рисунок 4.1, а), распределенному (см. Рисунок 4.1, б) или по смешанному принципу (см. Рисунок 4.1, в).

СБП постоянного тока малой мощности (до 1 кВт), как правило, реализовываются на основе небольших специализированных источников бесперебойного питания (Рисунок 4.7), которые содержат в своем составе выпрямительное устройство и аккумуляторную батарею.



Рисунок 4.7 – ИБП постоянного тока малой мощности SOPOTEC IG3115E (12 В, 3 А, 7 Ач) – а, Штиль PS1205B (12 В, 5 А, 7 Ач) – б

Мощные СБП постоянного тока, используемые на предприятиях связи, представляют собой набор оборудования, соединенного в систему, по четырем основным структурным схемам:

- буферная схема без устройств стабилизации;
- буферная схема со стабилизированным конвертором;
- буферная схема с вольтодобавочным конвертором;
- схема с отделенной от нагрузки аккумуляторной батареей.

Независимо от схемы построения СБП переменного тока содержит как минимум два основных силовых узла: выпрямительное устройство (ВУ) и аккумуляторную батарею (АБ). Выпрямительное устройство преобразовывает переменное напряжение сети в постоянное. Оно обеспечивает питание оборудования и заряд аккумуляторной батареи. Аккумуляторная батарея является резервным источником электрической энергии. При пропадании напряжения сети в течении некоторого времени оборудование питается от аккумуляторной батареи.

В буферных схемах АБ постоянно подключена к нагрузке. После аварии заряд батареи и одновременно питание нагрузки производится от выпрямителей. Преимуществом буферных систем электропитания является отсутствие коммутаций при пропадании напряжения в электросети и его восстановлении.

В схеме с отделенной батареей АБ подзаряжается от дополнительного выпрямителя, который называется выпрямитель содержания. При снижении напряжения ниже допустимой нормы АБ подключается к оборудованию с помощью электронного ключа.

В **буферной схеме** однофазное или трехфазное напряжение переменного тока выпрямляется, понижается и стабилизируется с помощью выпрямителей $UZ1$ и $UZ2$ выходы которых соединены параллельно (Рисунок 4.8, а). Аккумуляторная батарея состоит из двух групп аккумуляторов $GB1$ и $GB2$, которые подключаются с помощью автоматических выключателей $SA1$ и $SA2$ к выходу ВУ. Автоматические выключатели позволяют при необходимости

отключать группу АБ, а также обеспечивают защиту от перегрузки по току (при превышении тока автоматический выключатель разомкнет цепь).

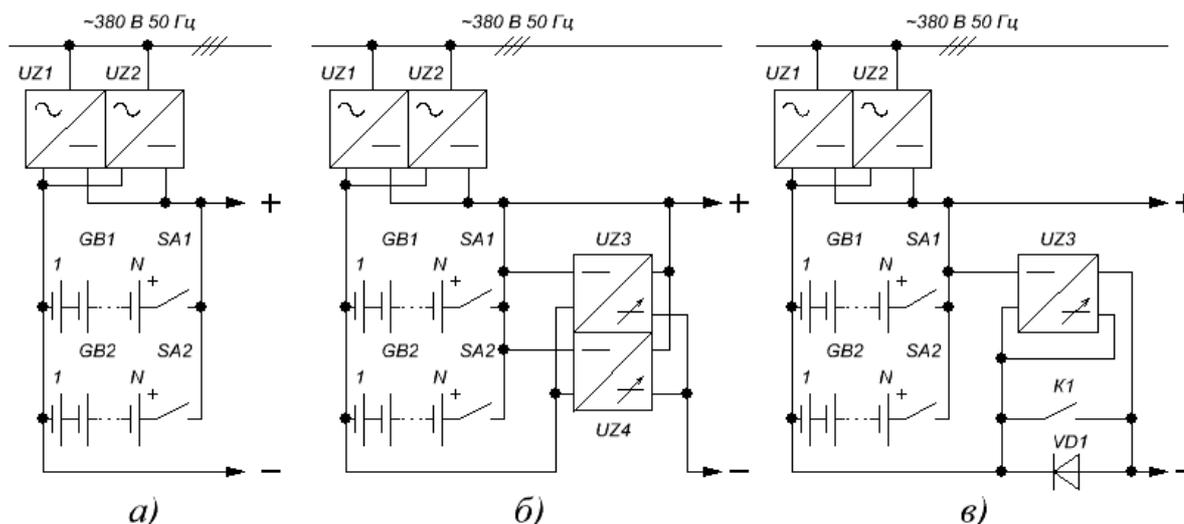


Рисунок 4.8 – Системы электропитания постоянного тока: буферная схема – а); буферная схема со стабилизированным конвертером – б); буферная схема с вольтодобавочным конвертером – в)

Буферная схема со стабилизированным конвертером содержит несколько параллельно включенных выпрямителя $UZ1$, $UZ2$ и двухгруппную аккумуляторную батарею $GB1$, $GB2$ (Рисунок 4.8). Конвертеры $UZ3$, $UZ4$ предназначены для дополнительной стабилизации выходного напряжения и компенсации изменения напряжения на аккумуляторной батарее.

Буферная схема с вольтодобавочным (ВДК) конвертером кроме выпрямительных устройств $UZ1$, $UZ2$ и аккумуляторной батареи $GB1$, $GB2$ содержит вольтодобавочный конвертер (ВДК) (Рисунок 4.8, в).

В штатном режиме контактор $K1$ замкнут, элементы аккумуляторной батареи $GB1$, $GB2$ поддерживаются в заряженном состоянии с помощью выпрямительного устройства $UZ1$, $UZ2$. Одновременно обеспечивается питание основного оборудования от выпрямителя. В аварийном режиме контактор $K1$ размыкается, а выход вольтодобавочного конвертера $UZ3$ соединяется последовательно с аккумуляторной батареей $GB1$, $GB2$. Так как напряжение на выходе конвертера оказывается больше напряжения на диоде $VD1$, он запирается. При разряде аккумуляторной батареи с помощью вольтодобавочного конвертера добавляется недостающая доля напряжения для обеспечения постоянства напряжения на нагрузке. Диод $VD1$ необходим для обеспечения непрерывного протекания тока в момент срабатывания контактора $K1$.

На предприятиях связи рекомендуется построение двухгруппных аккумуляторных батарей ($GB1$ и $GB2$), как это показано на рисунке (Рисунок 4.9). Такое построение не только повышает надежность аккумуляторной батареи в целом, но и позволяет проводить регламентные работы по обслуживанию и ремонту батарей. Для обслуживания батарей необходимо произвести их пе-

реключение с помощью переключек $QR1$ или $QR2$. Контроль состояния батарей осуществляется с помощью вольтметра ($PV1$), амперметра ($PA1$) и магазина нагрузок ($R1, R2, R3$).

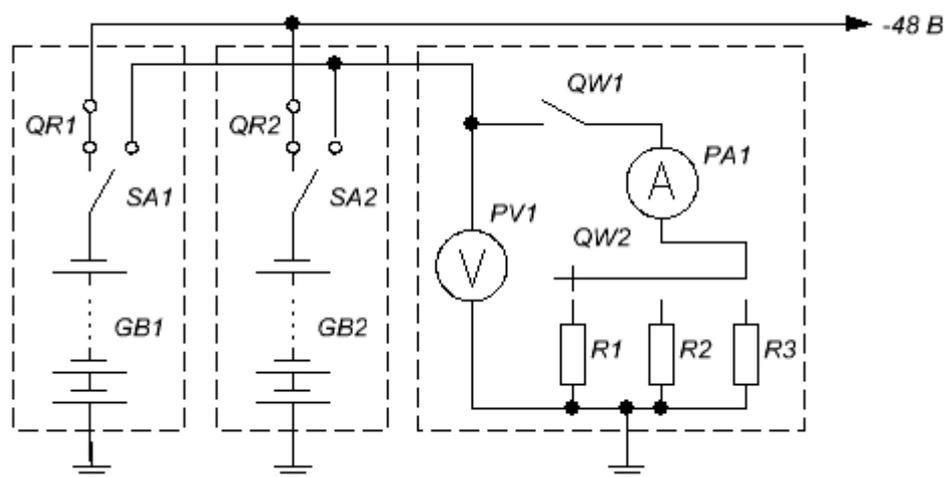


Рисунок 4.9 – Двухгруппная аккумуляторная батарея

4.2.3 Свинцово-кислотные аккумуляторы

Аккумулятор – это электрохимический источник тока многократного действия. Он способен накапливать, длительно сохранять и отдавать по мере надобности электрическую энергию, полученную от внешнего источника постоянного тока.

В настоящее время на предприятиях связи наиболее широкое распространение получили свинцово-кислотные аккумуляторы, в особых случаях, при жестких требованиях по температуре, применяются никель-кадмиевые аккумуляторные батареи. Это связано с тем, что свинцово-кислотные аккумуляторы имеют наименьшую удельную стоимость (цена / кВт·ч). Срок службы стационарных свинцово-кислотных аккумуляторов может достигать 12...15 лет. Срок службы АБ в источниках бесперебойного питания 5 – 7 лет.

Элемент обычного свинцово-кислотного аккумулятора состоит из двух свинцовых пластин, разделенных между собой сепаратором, который препятствует их замыканию (Рисунок 4.10, а). Пластины помещены в электролит, в качестве которого используется раствор серной кислоты.

Среднее напряжение на 1 элементе $U_{эл\ ном} = 2$ В. Для увеличения напряжения или емкости аккумулятора элементы соединяют в батарею. Последовательное соединение элементов (Рисунок 4.10, б) увеличивает напряжение батареи, параллельное (Рисунок 4.10, в) – емкость. Производители выпускают аккумуляторные батареи с номинальным напряжением 2 В (1 элемент), 4 В (2 элемента), 6 В (3 элемента), 12 В (6 элементов).

По конструктивным особенностям аккумуляторы делятся на две большие группы – малообслуживаемые закрытого типа и необслуживаемые герметичные.

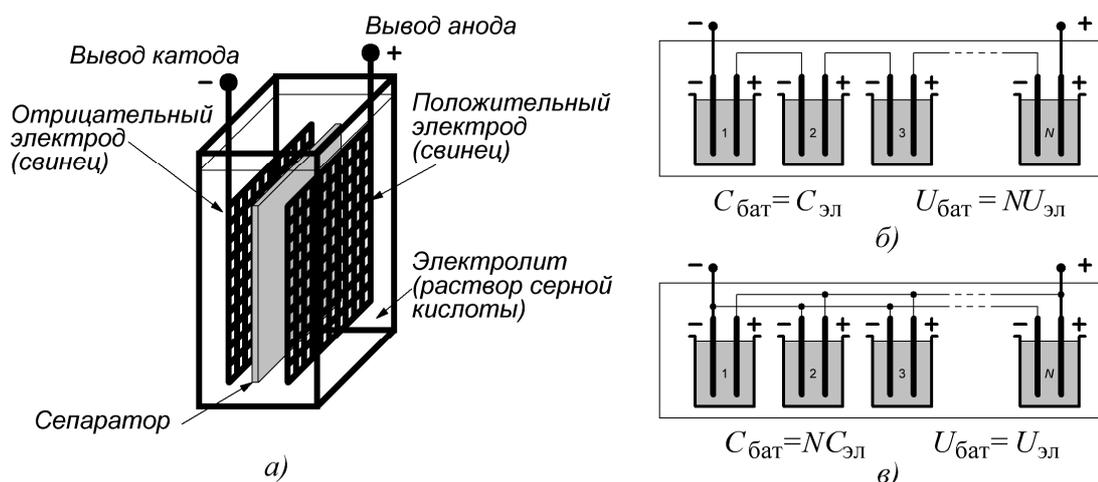


Рисунок 4.10 – Элемент свинцово-кислотный аккумуляторной батареи (а); способы соединения элементов: последовательный (увеличивается напряжение батареи) (б), параллельный (увеличивается емкость) (в)

Во время работы малообслуживаемых аккумуляторов могут выделяться водород и пары серной кислоты, поэтому эти аккумуляторы нельзя использовать в помещениях где находится аппаратура и работают люди. На предприятиях связи малообслуживаемые аккумуляторы располагаются в отдельном помещении – аккумуляторной, которое оборудовано системой вентиляции. Доступ в аккумуляторную имеют сотрудники, имеющие специальную группу допуска по технике безопасности. Обслуживание аккумуляторов заключается в периодическом контроле плотности электролита и, при необходимости, его доливке.

В необслуживаемых аккумуляторах электролит выполнен в виде геля (аккумуляторы с гелевым электролитом). Химические процессы в аккумуляторах оптимизированы таким образом, что при нормальной эксплуатации газы в атмосферу не выделяются и плотность электролита не изменяется. Эти аккумуляторы можно использовать в любом положении (малообслуживаемые только в вертикальном), а также использовать в помещениях где находится аппаратура и работают люди. Недостатком необслуживаемых аккумуляторов является высокая стоимость (в 2 раза дороже малообслуживаемых).

Напряжение на элементе зависит от уровня заряда и колеблется в пределах 1,75...2,14 В. Глубокий разряд (уменьшение напряжения меньше 1,75 В) или перезаряд аккумулятора (увеличение напряжения больше 2,14 В) приводит к необратимым химическим процессам и сокращению срока службы аккумулятора. В процессе эксплуатации емкость аккумулятора уменьшается, что приводит к уменьшению времени работы аппаратуры. Срок службы аккумулятора обычно ограничен количеством циклов заряд-разряд. При уменьшении емкости до величины меньше половины номинальной емкости аккумуляторная батарея подлежит замене.

Заряд аккумуляторов осуществляется током, величина которого ограничивается зарядным устройством на уровне 10...25% от емкости аккумуля-

тора. По мере заряда напряжение аккумулятора растет. В конце заряда зарядное устройство ограничивает величину напряжения на уровне 2,28 В (режим «плавающего» заряда).

Количество электричества, отдаваемое от аккумулятора, зависит от температуры окружающей среды и скорости разряда. При низких температурах скорость химических реакций ниже, что приводит к уменьшению емкости аккумулятора и увеличению его внутреннего сопротивления.

Основные электрические характеристики аккумуляторов

Емкость аккумулятора А·ч – это количество электричества, которое можно получить от аккумулятора в определенных условиях разряда. Емкость аккумулятора измеряется в А·ч (Ампер-часах) либо в Вт·ч (Ватт-часах):

$$1 \text{ Вт}\cdot\text{ч} = 1 \text{ А}\cdot\text{ч} \cdot \text{Напряжение аккумулятора, В.}$$

Номинальная емкость аккумулятора, приводится при заданном токе разряда и температуре окружающей среды.

Номинальное напряжение на элементе, В – это напряжение на выводах полностью заряженного элемента в течение первого часа разряда током 10-часового режима разряда при температуре электролита 20⁰С. Для свинцово-кислотного аккумулятора $U_{\text{эл ном}} = 2 \text{ В}$.

Номинальное напряжение аккумулятора, В – это напряжение на выводах полностью заряженного аккумулятора в течение первого часа разряда током 10-часового режима разряда при температуре электролита 20⁰С. Производители выпускают аккумуляторные батареи с номинальным напряжением 2, 4, 6, 12 В.

Напряжение на элементе в конце разряда, В – минимальное напряжение на элементе при котором не наступают необратимые химические реакции. При 10-ти часовом цикле разряда $U_{\text{эл кр}} = 1,75 \dots 1,8 \text{ В}$. При разряде аккумулятора токами, превышающими ток 10-часового режима разряда, напряжение понижается быстрее, чем при 10-часовом режиме и достигает уровня 1,8 В, когда аккумулятора еще не разряжен полностью. В таких случаях показателем окончания разряда является величина напряжения.

Величина напряжения заряда, В – максимальное напряжение на элементе в режиме плавающего заряда. $U_{\text{пз}} = 2,28 \text{ В}$.

Внутреннее сопротивление элемента, Ом складывается из сопротивлений аккумуляторных пластин, сепаратора и электролита. Внутреннее сопротивление увеличивается по мере разряда в силу уменьшения плотности электролита, а также в связи с образованием сульфата свинца. Сопротивление одного полностью заряженного элемента (при номинальной температуре) составляет 0,0036 Ом, а в состоянии полного разряда – 0,007 Ом.

Основные характеристики некоторых промышленно выпускаемых необслуживаемых аккумуляторов приведены в таблице (Таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Электрические параметры аккумуляторов фирмы HAWKER при 10-часовом режиме разряда

Изготовитель, марка	Тип	Технология	Напряжение, В	Емкость, С ₁₀ Ач
HAWKER, PHEBVS	6SC4	Электролит сорбирован в сепараторе	6	6
	6SC10		6	10
	12SC24		12	24
	12SC40		12	40
HAWKER, POWER Safer	12V20	С рекомбинацией газа и предохранительным клапаном	12	22
	12V57		12	68
	12V80		12	79
	8V100F		8	100
	4V105		4	103
	6V105		6	103
	4V155		4	154
	6V155		6	154
	2V200		2	200
	4V230		4	231
	2V275		2	275
	2V320		2	320
	2V460		2	460
	2V500		2	500
	4V525		4	524
	6V525		6	524
	2V915		2	917
	2V1575		2	1573
	2V1770		2	1769
	12VE50		12	46
	12VE90		12	79
	6VE140		6	132
	2VE170		2	152
	6VE180		6	165
	2VE310		2	275
	2VE450		2	400
	2VE540		2	500
	6MLTC100		12	100
	6MLTC150		12	162
	3MLTC200		6	200
3MLTC250	6	265		
3MLTC300	6	300		
HAWKER, ESPACE RG	12RG24	С микропористым сепаратором, рекомбинацией газа и предохранительным клапаном	12	24
	12RG40		12	40
	12RG70		12	70
	6RG70		6	70
	12RG85		12	85
	6RG110		6	110
	2RG135		2	135
	6RG140		2	140
	2RG200		2	200
	2RG250		2	250

4.2.4 Выпрямительные устройства

Выпрямительное устройство (ВУ) – прибор, предназначенный для преобразования электрической энергии переменного тока в электрическую энергию постоянного тока. Является вторичным источником электропитания.

На сегодняшний день на предприятиях связи используются ВУ с преобразованием электрической энергии на высокой частоте, которые обеспечивают наилучшие технико-экономические показатели.

Структурная схема такого ВУ показана на рисунке (Рисунок 4.11). Напряжение переменного тока через фильтр высокочастотных помех ФВП преобразуется выпрямителем В1 в ток, пульсирующий с удвоенной частотой сети (100 Гц), который поступает на корректор коэффициента мощности ККМ. ККМ уменьшает уровень пульсаций выпрямленного напряжения, а также формирует синусоидальную форму потребляемого тока. С выхода ККМ постоянное напряжение величиной около 400 В поступает на вход инвертора И, который переменное напряжение прямоугольной формы с частотой 50...500 кГц. Это напряжение поступает на трансформатор Т, который уменьшает его до нужной величины, а также обеспечивает гальваническую развязку входных и выходных цепей. Высокочастотное напряжение с выхода трансформатора выпрямляется выпрямителем В2, и сглаживается фильтром СФ. Выходное напряжение стабилизируется схемой управления СУ на основе сигнала отрицательной обратной связи ООС, который несет информацию о величине выходного напряжения. Регулировка выходного напряжения, как правило, осуществляется путем изменения ширины импульса инвертора (ШИМ-регулирование).

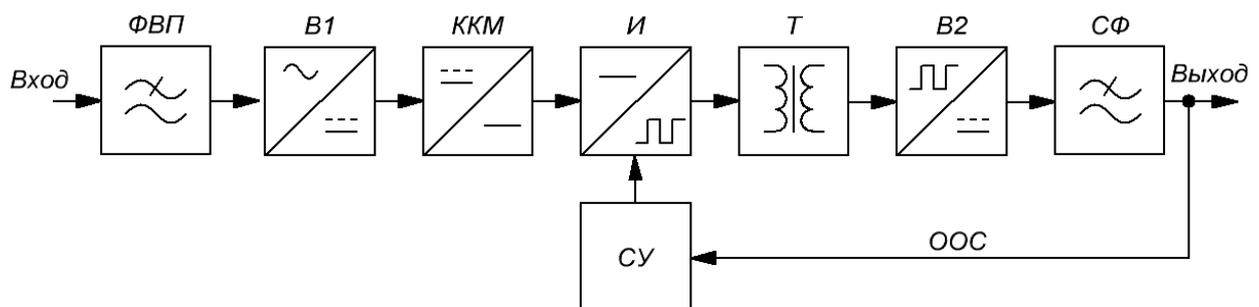


Рисунок 4.11 – Структурная схема выпрямительного устройства

Аналогично ИБП переменного тока промышленные ВУ выпускаются в модульном исполнении, что позволяет наращивать мощность системы путем параллельного соединения необходимого количества модулей, а также обеспечивать требуемый уровень надежности путем ведения резервирования.

Основные характеристики выпрямительных устройств.

Выходное напряжение, В номинальное напряжение на выходе ВУ

Максимальный ток, А. Для ВУ модульного исполнения следует различать максимальный ток модуля и максимальный ток устройства.

Максимальная выходная мощность, Вт – равна произведению выходного напряжения на максимальный ток. В документации производителя может быть указана как максимальная мощность, так и максимальный ток. Для ВУ модульного исполнения следует различать мощность модуля и мощность ВУ.

Коэффициент пульсаций выходного напряжения, % – относительная величина уровня высокочастотных пульсаций в выпрямленном напряжении.

Максимальная потребляемая мощность, Вт или ВА. В документации производитель может как максимальную активную мощность (Вт), потребляемую из сети, так и максимальную полную мощность (ВА).

Коэффициент мощности – величина, характеризующая качество потребления электрической энергии переменного тока – отношение активной потребляемой мощности к полной.

Коэффициент полезного действия, % – характеризует величину потерь электрической энергии при преобразовании.

Основные характеристики некоторых промышленно выпускаемых необслуживаемых выпрямительных устройств, приведены в таблице (Таблица 4.4).

4.2.5 Токораспределительная сеть

На предприятиях связи аккумуляторные батареи, выпрямительные устройства, и оборудование постоянного тока могут быть территориально разнесены на значительные расстояния. Токораспределительная сеть является необходимым связующим звеном, объединяющим элементы системы бесперебойного питания постоянного тока.

Токораспределительная сеть (ТРС) – совокупность устройств, установочных элементов и силовых кабелей, предназначенная для транспортировки и распределения электрической энергии постоянного тока.

При передаче электрической энергии на расстояние возникают неизбежные потери. Это может привести к тому, что напряжение питания удаленного оборудования может оказаться меньше минимально-допустимого и приведет к его неустойчивой работе, поэтому при проектировании СБП постоянного тока необходимо обязательно выполнять проверку соответствия напряжения питания требованиям оборудования.

Таблица 4.4 – Технические характеристики выпрямительных устройств

Тип, изготовитель	Модель	Число параллельных модулей в одном выпрямителе	Напряжение, В	Максимальный выходной ток, А (ток одного модуля)
MPSU «OLDAM», $\eta \geq 91\%$, $\delta \leq 1\%$ $\cos\varphi = 0,98$	MPSU 4000 цифровой контроль	1...4	24	148 (37)
			48	83 (21)
			60	66 (17)
PRS «OLDAM» $\eta \geq 91\%$, $\delta \leq 1\%$ $\cos\varphi = 0,98$	PRS I цифровой контроль	1...7	24	260 (37)
			48	144 (21)
			60	116 (17)
	PRS II цифровой контроль	1...14	24	520 (37)
			48	288 (21)
			60	232 (17)
	PRS III, цифровой контроль	1...21	24	780 (37)
			48	432 (21)
			60	348 (17)
ИБП «Связь инжиниринг» $\delta \leq 1\%$	ИБП-1, аналоговая аппаратура контроля	3, 4, 6, 7	24	308 (44)
		2, 3, 4, 8, 9, 12	48	264 (22)
		2, 3, 4, 6, 8, 9	60	171 (19)
ИБП «Связь инжиниринг» $\delta \leq 1\%$	ИБП-3, цифровой контроль, $\eta \approx 88\%$, $\cos\varphi = 0,8$	3, 4, 9	24	396 (44)
		2, 3, 4, 9, 12, 18, 24	48	528 (22)
		3, 4, 7, 9	60	171 (19)
	ИБП-4, цифровой контроль, $\eta \approx 91\%$ $\cos\varphi = 0,99$	3, 6, 9, 12	24	1200 (100)
		3, 6, 9, 12	48	600 (50)
		3, 6, 9, 12	60	480 (40)
	ИБП-5, цифровой контроль, $\eta \approx 88\%$, $\cos\varphi = 0,8$	4, 6	24	132 (22)
		4, 6	48	66 (11)
		4, 6	60	54 (9)
УЭПС, СУЭП ОАО Юрьев-Польский завод «Промсвязь» $\eta \approx 85\%$, $\cos\varphi = 0,95$, $\delta = 2\%$	УЭПС-2	1...4	60	60 (15)
		1...4	48	80 (20)
		1...6	48	120 (20)
		1...3	24	60 (20)
		1...3	24	120 (40)
		1...5	24	200 (40)
	СУЭП-2	1...10	24	400 (40)
		1...12	60	300 (25)
		1...8	60	200 (25)
		1...12	48	360 (30)
		1...8	48	240 (30)
		1...4	48	120 (30)

Примечание: Выходные напряжения промышленных выпрямителей могут регулироваться в пределах не менее чем на $\pm 10\%$ от номинального.

4.2.6 Методика проектирования СБП постоянного тока

В работе полагается, что СБП построена по централизованному принципу (см. Рисунок 4.1, а) с одним ВУ и двухгруппной АБ. При проектировании необходимо выбрать АБ и ВУ, а также рассчитать максимальную мощность, потребляемую системой из сети. Методика также справедлива для выбора каждого ВУ и АБ СБП распределенного и смешанного типов.

Исходными данными для расчета являются:

- напряжение питания оборудования постоянного тока, U_{HDC} , В;
- максимальный ток оборудования постоянного тока, I_{HDC} , А;
- длительность работы от аккумуляторных батарей, t_p , ч;
- температура окружающей среды t_{cp} , °С;
- тип системы аварийного освещения (постоянного, DC или переменного, AC тока);
- напряжение питания системы аварийного освещения, U_{ao} , В;
- максимальный ток системы аварийного освещения, I_{ao} , А.

Результатом расчета являются:

- модель АБ;
- необходимое количество АБ;
- модель ВУ;
- количеством единиц оборудования ВУ (модулей, блоков);
- максимальная мощность, потребляемая системой из сети (полная $S_{СБП DC}$, активная $P_{СБП DC}$ и реактивная $Q_{СБП DC}$).

Первым этапом расчета является определение требуемого количества элементов аккумуляторной батареи $N_{эл}$.

Ориентировочное значение $N_{эл}$ определяется по формуле:

$$N_{эл} = \frac{U_{HDC}}{U_{эл.ном}}, \quad (15)$$

где $U_{эл.ном} = 2$ В – номинальное напряжение на элементе свинцово-кислотного аккумулятора.

После этого задается общий уровень потерь напряжения в ТРС, которые не должен превышать 4% (см. п.3.1, Требование №8) ($\Delta \bar{U}_{TRC} = \Delta U_{TRC} / U_0 \leq 0,04$), и определяется максимальное падение напряжения в ТРС:

$$\Delta U_{TRC} = \Delta \bar{U}_{TRC} U_0, \text{ В}, \quad (16)$$

Определяется величина напряжения на клеммах оборудования в конце разряда батареи $U_{HDC кр}$, когда напряжение на элементе уменьшается до величины $U_{эл кр} = 1,75...1,8$ В:

$$U_{HDC кр} = N_{эл} U_{эл кр} - \Delta U_{TRC}, \text{ В}, \quad (17)$$

и в режиме плавающего заряда $U_{HDC пз}$, когда напряжение на элементе максимально и составляет $U_{эл пз} = 2,28$ В:

$$U_{\text{H DC пз}} = N_{\text{эл}} U_{\text{эл пз}} - \Delta U_{\text{TPC}}, \text{ В.} \quad (18)$$

Напряжения $U_{\text{H DC кр}}$ и $U_{\text{H DC пз}}$ должны находиться в диапазоне допустимых значений $U_{\text{H DC min}} \dots U_{\text{H DC max}}$ для данного $U_{\text{H DC}}$ которое определяется из требований к установкам электропитания предприятий связи (см. п.3.1, Требование №9):

$$\begin{aligned} U_{\text{H DC min}} &\leq U_{\text{H DC кр}} \leq U_{\text{H DC max}}, \\ U_{\text{H DC min}} &\leq U_{\text{H DC пз}} \leq U_{\text{H DC max}}. \end{aligned} \quad (19)$$

Если условие (19) не выполняется, следует либо увеличить количество элементов, $N_{\text{эл}}$, либо уменьшить падение напряжение в токораспределительной сети $\Delta \bar{U}_{\text{TPC}}$. После изменений расчеты по формулам (16) – (18) необходимо повторить до тех пор, пока не выполнится условие (19).

После выбора необходимого количества элементов аккумуляторной батареи, определяем номинальный ток разряда $I_{\text{р}}$.

Если на предприятии используется система аварийного освещения переменного тока, то ток разряда равен максимальному току оборудования:

$$I_{\text{р}} = I_{\text{H DC}}, \text{ А.} \quad (20)$$

В противном случае ток, аккумуляторная батарея должна дополнительно обеспечивать электропитания и системы аварийного освещения:

$$I_{\text{р}} = I_{\text{H DC}} + I_{\text{ао}}, \text{ А.} \quad (21)$$

Минимальная общая емкость аккумуляторной батареи:

$$C'_{10} = \frac{I_{\text{р}} t_{\text{р}}}{\eta_{\text{Q}} (1 + 0,008(t_{\text{cp}} - 20^{\circ} \text{C}))}, \text{ А}\cdot\text{ч}, \quad (22)$$

где η_{Q} – коэффициент отдачи аккумуляторной батареи, который учитывает уменьшение емкости батареи при увеличении скорости разряда. Ориентировочное значение η_{Q} можно определить из таблицы (Таблица 4.5) для заданного времени работы $t_{\text{р}}$.

Таблица 4.5 – Рекомендуемые значения коэффициента отдачи аккумуляторных батарей по емкости

$t_{\text{р}}, \text{ ч}$	≥ 10	9	8	7	6	5	4	3	2	≤ 1
η_{Q}	1	0,97	0,94	0,91	0,89	0,83	0,8	0,75	0,61	0,51

Поскольку на предприятии связи используется двухгруппные аккумуляторные батареи, требуемая емкость аккумулятора одной группы должна быть в два раза меньше $C_{\text{АБ min}}$:

$$C_{\text{АБ min}} = 0,5 C'_{10}, \text{ А}\cdot\text{ч.} \quad (23)$$

Из каталогов поставщиков аккумуляторных батарей выбирается аккумуляторная батарея, у которой емкость превышает $C_{\text{АБ min}}$ (на практике обычно выбирается ближайшее большее значение емкости). В работе можно воспользоваться информацией из таблицы (Таблица 4.3).

Необходимое количество аккумуляторных батарей в одной группе, $N_{\text{АБ гр}}$ определяется из условия получения необходимого напряжения:

$$N_{\text{АБ гр}} = \frac{N_{\text{эл}}}{N_{\text{эл АБ}}} = \frac{N_{\text{эл}} U_{\text{эл ном}}}{U_{\text{АБ}}}, \quad (24)$$

где $N_{\text{эл АБ}}$ – количество элементов в выбранной аккумуляторной батарее, $U_{\text{АБ}}$ – напряжение выбранной аккумуляторной батареи.

Полученное значение АБ должно быть целым (нельзя установить нецелое количество аккумуляторов), в противном случае следует выбрать другую модель аккумулятора.

Общее количество аккумуляторов, $N_{\text{АБ общ}}$:

$$N_{\text{АБ общ}} = 2N_{\text{АБ гр}}. \quad (25)$$

Общая ёмкость аккумуляторной батареи $C_{\text{АБ общ}}$:

$$C_{\text{АБ общ}} = 2C_{\text{АБ гр}}, \text{ А}\cdot\text{ч}. \quad (26)$$

После выбора аккумуляторной батареи необходимо выбрать выпрямительное устройство.

Максимальный ток от выпрямительного устройства потребляется в послеаварийном режиме, когда аккумуляторы полностью разряжены, при этом ток заряда аккумуляторов $I_{\text{зар}}$ может достигать 25% от емкости.

$$I_{\text{зар}} = 0,25C_{\text{АБ общ}}, \text{ А}. \quad (27)$$

При этом суммарный максимальный ток выпрямительного устройства системы достигает значения, I_{Σ} :

$$I_{\Sigma} = I_{\text{р}} + I_{\text{зар}}, \text{ А}. \quad (28)$$

По величине максимального тока I_{Σ} , номинальному напряжению $U_{\text{н DC}}$ из каталогов поставщиков оборудования выбирается выпрямительное устройство, которое способно обеспечить требуемый ток. В работе можно воспользоваться информацией из таблицы (Таблица 4.4).

Аналогично выбору ИБП переменного тока, при выборе ВК необходимо определить количество модулей, которое выбирается с учетом резервирования T :

$$N = \frac{I_{\Sigma}}{k_{\text{пм}} I_{\text{мод}}} + 1, \quad (29)$$

где $I_{\text{мод}}$ – максимальный ток модуля, $k_{\text{пм}} = 0,75 \dots 0,95$ – коэффициент учета параллельного включения. Этот коэффициент учитывает возможную неравномерность распределения нагрузки между модулями ВУ.

Полученное значение N следует округлить в большую сторону. При этом необходимо следить, чтобы необходимое количество модулей не превышало максимальное количество модулей для данного устройства N_{max} :

$$N \leq N_{\text{max}}, \quad (30)$$

При определении количества модулей необходимо обратить внимание, что некоторые модели выпрямительных устройств могут работать только с фиксированным количеством модулей, например, 3, 6, 9. Выбор количества

модулей $N = 7$ приведет к ошибке, поскольку данное выпрямительное устройство не может работать к 7-ю модулями (или 6 или 9).

Максимальная активная мощность системой бесперебойного питания, $P_{\text{СБП DC}}$ потребляется из сети в послеаварийном режиме, когда напряжение на элементе аккумуляторной батареи минимально ($U_{\text{эл}} = U_{\text{эл кр}}$), а ток максимальный:

$$P_{\text{СБП DC}} = \frac{I_{\Sigma} N_{\text{эл}} U_{\text{эл кр}}}{\eta_{\text{ВУ}}}, \text{ кВт}, \quad (31)$$

где $\eta_{\text{ВУ}}$ – коэффициент полезного действия выбранного выпрямительного устройства.

Полная мощность, потребляемая СБП постоянного тока, $S_{\text{СБП DC}}$:

$$S_{\text{СБП DC}} = \frac{P_{\text{СБП DC}}}{\cos \varphi_{\text{ВУ}}}, \text{ кВА}, \quad (32)$$

где $\cos \varphi_{\text{ВУ}}$ – коэффициент мощности выбранного выпрямительного устройства.

Реактивная мощность СБП постоянного тока:

$$Q_{\text{СБП DC}} = \sqrt{S_{\text{СБП DC}}^2 - P_{\text{СБП DC}}^2}, \text{ кВАР}. \quad (33)$$

4.2.7 Типичные ошибки при расчете СБП постоянного тока

1. Неправильно выписываются из п.3.1 (Требование №9) допустимые отклонения выходного напряжения для своего варианта $U_{\text{н DC}}$, в результате чего возникают ошибки при проверке выходного напряжения.

2. Ошибки при проверке соответствия выходного напряжения требованиям к электропитающим установкам (19). Напряжение в конце разряда должно быть больше минимально-допустимого напряжения.

3. Неправильно переписываются характеристики аккумуляторной батареи и выпрямительного устройства.

4. Количество аккумуляторов батарей и модулей выпрямительного устройства должно быть целым числом – нельзя купить 3,5 аккумуляторные батареи.

4.2.8 Пример расчета СБП постоянного тока

Исходные данные:

- напряжение питания оборудования постоянного тока, $U_{\text{н DC}} = 60 \text{ В}$;
- максимальный ток оборудования постоянного тока, $I_{\text{н DC}} = 40 \text{ А}$;
- длительность работы от аккумуляторных батарей, $t_{\text{р}}$, ч;
- температура окружающей среды $t_{\text{ср}}$, °С;
- тип системы аварийного освещения – переменного тока;
- напряжение питания системы аварийного освещения, $U_{\text{ао}} = 220 \text{ В}$;
- максимальный ток системы аварийного освещения, $I_{\text{ао}} = 3 \text{ А}$.

Определим ориентировочное число элементов $N_{эл}$ в аккумуляторной батарее, приняв что на предприятии будут использоваться свинцово-кислотные аккумуляторы с номинальным напряжением на элементе, $U_{эл ном} = 2$ В:

$$N_{эл} = \frac{U_{н DC}}{U_{эл ном}} = \frac{60}{2} = 30.$$

Зададимся максимальным падением напряжения в токораспределительной сети на уровне 4% ($\Delta \bar{U}_{ТРС} = 0,04$).

Падение напряжения в токораспределительной цепи (ТРС), $\Delta U_{ТРС}$:

$$\Delta U_{ТРС} = \Delta \bar{U}_{ТРС} U_0 = 0,04 \cdot 60 = 2,4 \text{ В.}$$

Напряжение на клеммах аппаратуры в конце разряда аккумулятора:

$$U_{н DC кр} = N_{эл} U_{эл кр} - \Delta U_{ТРС} = 30 \cdot 1,75 - 2,4 = 50,1 \text{ В,}$$

где $U_{эл кр} = 1,75$ В – напряжение на элементе в конце разряда.

Напряжение на клеммах аппаратуры в режиме плавающего заряда:

$$U_{н DC пз} = N_{эл} U_{эл пз} - \Delta U_{ТРС} = 30 \cdot 2,28 - 2,4 = 66 \text{ В,}$$

где $U_{эл пз} = 2,28$ В – напряжение на элементе в режиме плавающего заряда.

Для номинального напряжения питания $U_{н DC} = 60$ В установившееся отклонение напряжения на выводах электропитающей установки должно быть не более ± 12 В (п.3.1, требование №9), что соответствует: 48 – 72В.

$$U_{н DC min} = 60 - 12 = 48 \text{ В,}$$

$$U_{н DC max} = 60 + 12 = 72 \text{ В.}$$

Выполним проверку соответствия напряжения на клеммах оборудования требованиям к электропитающим установкам:

$$U_{н DC min} \leq U_{н DC кр} \leq U_{н DC max} \quad 48 \leq 50,1 \leq 72 \text{ В,}$$

$$U_{н DC min} \leq U_{н DC пз} \leq U_{н DC max} \quad 48 \leq 66 \leq 72 \text{ В.}$$

Таким образом, напряжение на клеммах аппаратуры во всех режимах удовлетворяет требованиям к электропитающим установкам и количество элементов $N_{эл} = 30$ достаточно для работы оборудования.

Поскольку на предприятии используется система аварийного освещения переменного тока, ток разряда аккумулятора равен максимальному току потребляемому оборудованием:

$$I_p = I_{н DC} = 40 \text{ А.}$$

По таблице (Таблица 4.5) для времени разряда $t_p = 2$ ч определяем коэффициент отдачи аккумуляторных батарей по емкости $\eta_Q = 0,61$.

Минимальная общая емкость аккумуляторной батареи:

$$C'_{10} = \frac{I_p t_p}{\eta_Q (1 + 0,008(t_{cp} - 20^{\circ} \text{C}))} = \frac{40 \cdot 2}{0,61(1 + 0,008(18 - 20))} = 133 \text{ А}\cdot\text{ч.}$$

Требуемая емкость аккумулятора одной, $C_{АБ min}$:

$$C_{АБ min} = 0,5 C'_{10} = 0,5 \cdot 133 = 66,5 \text{ А}\cdot\text{ч.}$$

По таблице (Таблица 4.3) выбираем аккумуляторы типа Power safer 12V57 фирмы HAWKER, имеющие следующие характеристики:

- напряжение $U_{AB} = 12 \text{ В}$,

- емкость $C_{AB} = 68 \text{ Ач}$.

Количество аккумуляторных батарей в одной группе, $N_{AB \text{ гр}}$:

$$N_{AB \text{ гр}} = \frac{N_{\text{эл}} U_{\text{эл ном}}}{U_{AB}} = \frac{30 \cdot 2}{12} = 5.$$

Количество аккумуляторных $N_{AB \text{ гр}} = 5$ целое число, следовательно выбор аккумуляторной батареи правильный.

Необходимое количество аккумуляторов, $N_{AB \text{ общ}}$:

$$N_{AB \text{ общ}} = 2 \cdot 5 = 10.$$

Общая ёмкость аккумуляторной батареи $C_{AB \text{ общ}}$:

$$C_{AB \text{ общ}} = 2 \cdot 68 = 136 \text{ А} \cdot \text{ч}.$$

Максимальный ток заряда аккумулятора $I_{\text{зар}}$:

$$I_{\text{зар}} = 0,25 C_{AB \text{ общ}} = 0,25 \cdot 136 = 34 \text{ А}.$$

Максимальный ток выпрямительного устройства, I_{Σ} :

$$I_{\Sigma} = I_{\text{р}} + I_{\text{зар}} = 34 + 40 = 74 \text{ А}.$$

По току $I_{\Sigma} = 74 \text{ А}$ и номинальному выходному напряжению $U_0 = 60 \text{ В}$ по таблице (Таблица 4.4) выбираем выпрямительное устройство типа ИБП-4 фирмы «Связь инжиниринг», имеющего следующие характеристики:

- выходное напряжение – 60 В;

- максимальный ток модуля $I_{\text{мод}} = 40 \text{ А}$;

- максимальный ток устройства – 480 А;

- число параллельных модулей в одном выпрямителе – 3, 6, 9, 12;

- коэффициент полезного действия, $\eta_{\text{ВУ}} \approx 91\%$;

- коэффициент мощности, $\cos \varphi_{\text{ВУ}} = 0,99$.

Необходимое количество модулей $N_{\text{мод}}$ с учетом резервирования:

$$N_{\text{мод}} = \frac{I_{\Sigma}}{k_{\text{пм}} I_{\text{мод}}} + 1 = \frac{74}{0,95 \cdot 40} + 1 = 2,95 \approx 3,$$

где $k_{\text{пм}} \approx 0,95$ – коэффициент учета параллельного включения.

Выбранное выпрямительное устройство может работать только с фиксированным количеством модулей, которое равно 3, 6, 9, 12. По расчетам нам необходимо 3 модуля, следовательно, выбор выпрямительного устройства выполнен без ошибок.

Максимальное значение активной мощности, потребляемой из сети $P_{\text{СБП DC}}$:

$$P_{\text{СБП DC}} = \frac{I_{\Sigma} N_{\text{эл}} U_{\text{эл кр}}}{\eta_{\text{ВУ}}} = \frac{74 \cdot 30 \cdot 1,75}{0,91} = 4,27 \text{ кВт},$$

Полная мощность, потребляемая СБП постоянного тока, $S_{\text{СБП DC}}$:

$$S_{\text{СБП DC}} = \frac{P_{\text{СБП DC}}}{\cos \varphi_{\text{ВУ}}} = \frac{4,27}{0,99} = 4,31 \text{ кВА.}$$

Реактивная мощность СБП постоянного тока $Q_{\text{СБП DC}}$:

$$Q_{\text{СБП DC}} = \sqrt{S_{\text{СБП DC}}^2 - P_{\text{СБП DC}}^2} = \sqrt{4,31^2 - 4,27^2} = 0,59 \text{ кВАР.}$$

4.3 Расчет общей мощности потребляемой предприятием

4.3.1 Общие положения

Общая активная $P_{\text{общ}}$ и реактивная $Q_{\text{общ}}$ мощность, потребляемая предприятием, является суммой соответствующих мощностей всех категорий потребителей:

$$P_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^N P_i, \text{ кВт,} \quad (34)$$

$$Q_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^N Q_i, \text{ кВАР,}$$

где N – количество категорий потребителей, P_i , Q_i – соответственно активная и реактивная мощность каждой категории.

Полная мощность $S_{\text{общ}}$, потребляемая предприятием, определяется по формуле:

$$S_{\text{общ}} = \sqrt{P_{\text{общ}}^2 + Q_{\text{общ}}^2}, \text{ кВА.} \quad (35)$$

Если для какой либо категории потребителей активная или реактивная мощности неизвестны, их можно определить из полной мощности S_i , зная коэффициент мощности данной категории потребителей $\cos \varphi_i$:

$$P_i = S_i \cos \varphi_i, \text{ кВт,}$$

$$Q_i = S_i \sin \varphi_i = S_i \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_i} = \sqrt{S_i^2 - P_i^2}, \text{ кВАР.} \quad (36)$$

4.3.2 Методика расчета

В комплексном задании исходными данными для расчета являются:

- активная $P_{\text{СБП AC}}$, кВт и реактивная $Q_{\text{СБП AC}}$ кВАР, мощности СБП переменного тока, определенные в 4.1;
- активная $P_{\text{СБП DC}}$, кВт и реактивная $Q_{\text{СБП DC}}$ кВАР, мощности СБП постоянного тока, определенные в 4.2;
- полная мощность, $S_{\text{хоз}}$, кВА и коэффициент мощности хозяйственных нужд $\cos \varphi_{\text{хоз}}$;
- полная мощность, $S_{\text{вк}}$, кВА и коэффициент мощности системы вентиляции и кондиционирования $\cos \varphi_{\text{вк}}$.

Результатом расчета являются активная $P_{\text{общ}}$, кВт реактивная $Q_{\text{общ}}$, кВАР и полная $S_{\text{общ}}$, кВА мощности, потребляемые предприятием.

Вначале определяются активная $P_{\text{хоз}}$ и реактивная $Q_{\text{хоз}}$ мощности, потребляемые хозяйственными нуждами:

$$P_{\text{хоз}} = \beta_{\text{хоз}} S_{\text{хоз}} \cos \varphi_{\text{хоз}}, \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{хоз}} = \sqrt{(\beta_{\text{хоз}} S_{\text{хоз}})^2 - P_{\text{хоз}}^2}, \text{ кВАР},$$
(37)

где $\beta_{\text{хоз}} = 0,9$ – среднеквадратический коэффициент загрузки, который показывает, какая часть оборудования в данной категории работает одновременно.

После этого определяется активная $P_{\text{вк}}$ и реактивная $Q_{\text{вк}}$ мощности, потребляемые системой вентиляции и кондиционирования:

$$P_{\text{вк}} = S_{\text{вк}} \cos \varphi_{\text{вк}}, \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{вк}} = \sqrt{S_{\text{вк}}^2 - P_{\text{вк}}^2}, \text{ кВАР}.$$
(38)

Находится общие активные $P_{\text{общ}}$ и реактивные $Q_{\text{общ}}$ мощности, потребляемые предприятием:

$$P_{\text{общ}} = P_{\text{СБП AC}} + P_{\text{СБП DC}} + P_{\text{вк}} + P_{\text{хоз}}, \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{СБП AC}} + Q_{\text{СБП DC}} + Q_{\text{вк}} + Q_{\text{хоз}}, \text{ кВАР}.$$
(39)

Определяется полная мощность, потребляемая предприятием:

$$S_{\text{общ}} = \sqrt{P_{\text{общ}}^2 + Q_{\text{общ}}^2}, \text{ кВА}.$$
(40)

4.3.3 Пример расчета

Исходные данные:

- активная мощность потребляемая СБП переменного тока, $P_{\text{СБП AC}} = 4,19$ кВт;
- реактивная мощность потребляемая СБП переменного тока, $Q_{\text{СБП AC}} = 2,6$ кВАР;
- активная мощность потребляемая СБП постоянного тока, $P_{\text{СБП DC}} = 4,31$ кВт;
- реактивная мощность потребляемая СБП постоянного тока, $Q_{\text{СБП DC}} = 0,59$ кВАР;
- полная мощность потребляемая на хозяйственные нужды, $S_{\text{хоз}} = 8$ кВА;
- коэффициент мощности хозяйственных нужд, $\cos \varphi_{\text{хоз}} = 0,95$;
- полная мощность потребляемая системой вентиляции и кондиционирования, $S_{\text{вк}} = 8$ кВА;
- коэффициент мощности системы вентиляции и кондиционирования, $\cos \varphi_{\text{вк}} = 0,76$.

Активная мощность, потребляемая на хозяйственные нужды, $P_{\text{хоз}}$:

$$P_{\text{хоз}} = \beta_{\text{хоз}} S_{\text{хоз}} \cos \varphi_{\text{хоз}} = 0,9 \cdot 8 \cdot 0,95 = 6,84 \text{ кВт},$$

где $\beta_{\text{хоз}} = 0,9$ – среднеквадратический коэффициент загрузки.

Реактивная мощность, потребляемая на хозяйственные нужды, $Q_{\text{хоз}}$:

$$Q_{\text{хоз}} = \sqrt{(\beta_{\text{хоз}} S_{\text{хоз}})^2 - P_{\text{хоз}}^2} = \sqrt{(0,9 \cdot 8)^2 - 6,84^2} = 2,25 \text{ кВАР}.$$

Активная мощность, потребляемая системой вентиляции и кондиционирования, $P_{\text{вк}}$:

$$P_{\text{вк}} = S_{\text{вк}} \cos \varphi_{\text{вк}} = 8 \cdot 0,76 = 6,08 \text{ кВт},$$

Реактивная мощность, потребляемая системой вентиляции и кондиционирования, $Q_{\text{вк}}$:

$$Q_{\text{вк}} = \sqrt{S_{\text{вк}}^2 - P_{\text{вк}}^2} = \sqrt{8^2 - 6,08^2} = 5,2 \text{ кВАР}.$$

Активная мощность, потребляемая предприятием, $P_{\text{общ}}$:

$$P_{\text{общ}} = P_{\text{СБП AC}} + P_{\text{СБП DC}} + P_{\text{вк}} + P_{\text{хоз}} = 4,19 + 4,31 + 6,08 + 6,84 = 21,42 \text{ кВт}.$$

Реактивная мощность потребляемая предприятием, $Q_{\text{общ}}$:

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{СБП AC}} + Q_{\text{СБП DC}} + Q_{\text{вк}} + Q_{\text{хоз}} = 2,6 + 0,59 + 5,2 + 2,25 = 10,64 \text{ кВАР}.$$

Полная мощность, потребляемая предприятием, $S_{\text{общ}}$:

$$S_{\text{общ}} = \sqrt{P_{\text{общ}}^2 + Q_{\text{общ}}^2} = \sqrt{21,42^2 + 10,64^2} = 23,92 \text{ кВА}.$$

4.4 Компенсатор реактивной мощности

4.4.1 Назначение

Компенсатор реактивной мощности предназначен для уменьшения уровня реактивной мощности, потребляемой предприятием, которая появляется из-за неидеальности используемого оборудования.

В идеальном случае оборудование потребляет синусоидальный ток, фаза которого совпадает с фазой напряжения (Рисунок 4.12, а). Такой характер потребляемого тока наблюдается в случае, когда оборудование содержит только активные компоненты. К таким устройствам относятся обогреватели, электроплиты, устройства подогрева воды, лампы накаливания и т.п.

В электродвигателях электрический ток протекает через обмотки (статор, ротор), имеющие значительную индуктивность. Это приводит к тому, что потребляемый ток имеет синусоидальную форму, но отстает по фазе от напряжения (Рисунок 4.12, б). Подобную форму потребляемого тока имеют также газоразрядные лампы высокого и низкого давления с дроссельным пускорегулирующим устройством, используемые в системах освещения.

Телекоммуникационное оборудование требует для своей работы постоянного напряжения, которое формируется с помощью выпрямительных устройств (см. п. 4.2). Наличие в составе выпрямительных устройств нелинейных элементов (полупроводниковых диодов) и реактивных элементов приводит к тому, что форма тока, потребляемого данными устройствами, является нелинейной (Рисунок 4.12, в).

Таким образом, если не принимать никаких мер, то предприятие связи будет потреблять как активную мощность, используемую для оказания телекоммуникационных услуг, так и бесполезную реактивную мощность. Следо-

вательно, предприятие связи будет создавать дополнительные нагрузки на электросеть, что приведет к увеличению затрат на электроэнергию.

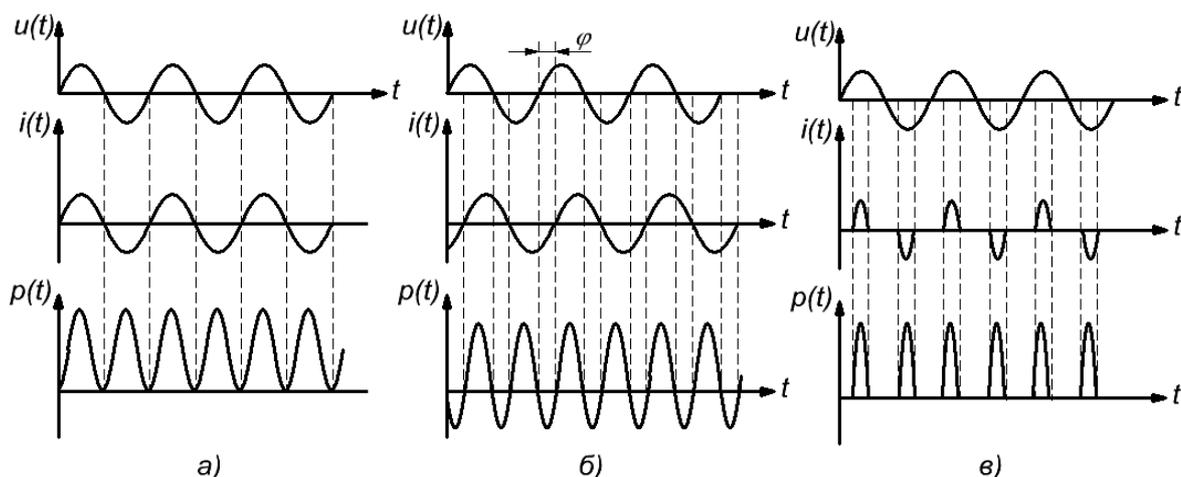


Рисунок 4.12 – Диаграммы потребляемого тока $i(t)$ и мощности $p(t)$ при активном характере нагрузки (а), индуктивном (б) и нелинейном характере нагрузки (в)

Качество потребления электроэнергии оценивается с помощью коэффициента мощности $\cos \varphi$ (англ. Power factor – PF), который показывает степень содержания активной мощности P в полной S :

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}. \quad (41)$$

Существуют следующие градации качества потребления электрической энергии по коэффициенту мощности:

- 0,95...1 – высокое;
- 0,85...0,95 – хорошее;
- 0,65...0,85 – удовлетворительное;
- 0,5...0,65 – низкое;
- 0...0,5 – неудовлетворительное.

Таким образом, основной задачей компенсатора реактивной мощности является уменьшение уровня реактивной мощности и соответственно, уменьшения затрат на электроэнергию. Для предприятий связи можно практически можно достичь значения коэффициента мощности на уровне 0,95...1.

4.4.2 Принципы уменьшения реактивной мощности

Существуют два основных подхода к коррекции (увеличению) коэффициента мощности: коррекция на уровне устройства и коррекция на уровне предприятия.

При использовании первого подхода в каждое устройство встраивается **корректор коэффициента мощности (ККМ)** (Рисунок 4.13, а). Необходимость установки в конкретном устройстве ККМ определяется производителем оборудования на основе соответствующих нормативных документов для

данного класса устройств. Главным достоинством такого подхода является то, что оборудование всегда имеет высокий коэффициент мощности (ККМ является его неотъемлемой частью), что существенно упрощает различные изменения (установка дополнительного оборудования, расширение, перемещение и т.п.). Однако данный способ имеет ряд существенных недостатков.

Во-первых, установка ККМ приводит к удорожанию устройства, что снижает конкурентоспособность оборудования по сравнению с аналогичным, без ККМ.

Во-вторых, не все оборудование попадает под действие соответствующих регламентирующих документов. Так, например, системный блок и монитор персонального компьютера мощностью до 300 Вт в соответствии с международными нормативами, могут не содержать в своем составе ККМ. Коэффициент мощности данных устройств, в этом случае составляет 0,65...0,67. Наличие большого количества таких компьютеров (типичная ситуация для офисов, бизнес-центров, call-центров и т.п.) приведет к тому, что суммарный коэффициент мощности предприятия в целом будет низким.

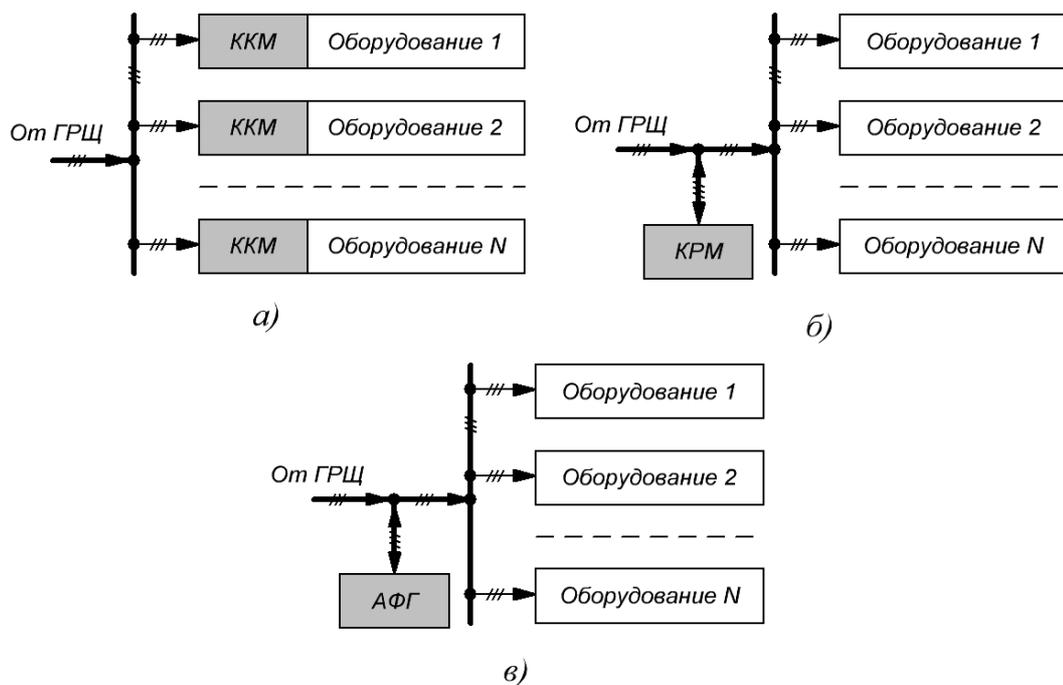


Рисунок 4.13 – Принципы коррекции коэффициента мощности: с помощью корректора коэффициента мощности (ККМ), установленного в каждом устройстве (а), с помощью компенсатора реактивной мощности (КРМ) (б) с помощью активного фильтра гармоник (АФГ) (в)

В этом случае применяют коррекцию коэффициента мощности на уровне предприятия. Существуют два типа устройств, осуществляющие данную функцию: **компенсаторы реактивной мощности** и **активные фильтры гармоник**.

Компенсатор реактивной мощности (КРМ) (некоторые производители называют данные устройства корректорами коэффициента мощности) представляет собой конденсаторную батарею, подключаемую в точке подключения предприятия к энергосистеме (Рисунок 4.13, б). Подобные устройства давно и активно используются на промышленных предприятиях содержащих большое количество потребителей индуктивного характера. КРМ предназначены для уменьшения сдвига фаз между напряжением сети и потребляемым током. Достоинствами КРМ являются простота и низкая стоимость. К недостаткам следует отнести то, что данные устройства не могут увеличить коэффициент мощности предприятия в случае нелинейных искажений потребляемого тока.

Активные фильтры гармоник (АФГ) выполняют аналогичную функцию, но осуществляют коррекцию как линейных (сдвиг фаз), так и нелинейных (изменение формы) искажений потребляемого тока, что является их достоинством. Недостатком является высокая стоимость данных устройств (Рисунок 4.13, в).

Принцип работы КРМ и АФГ основан на первом законе Кирхгофа (Рисунок 4.14). Ток, потребляемый от сети $i_{\text{сети}}(t)$, является суммой токов, потребляемых предприятием $i_{\text{предпр}}(t)$ и КРМ $i_{\text{КРМ}}(t)$ (АФГ $i_{\text{АФГ}}(t)$). КРМ или АФГ имеют в своем составе анализатор потребляемого тока и формируют собственный ток таким образом, чтобы форма тока, потребляемого из сети $i_{\text{сети}}(t)$ была максимально приближена к форме напряжения сети $u_{\text{сети}}(t)$.

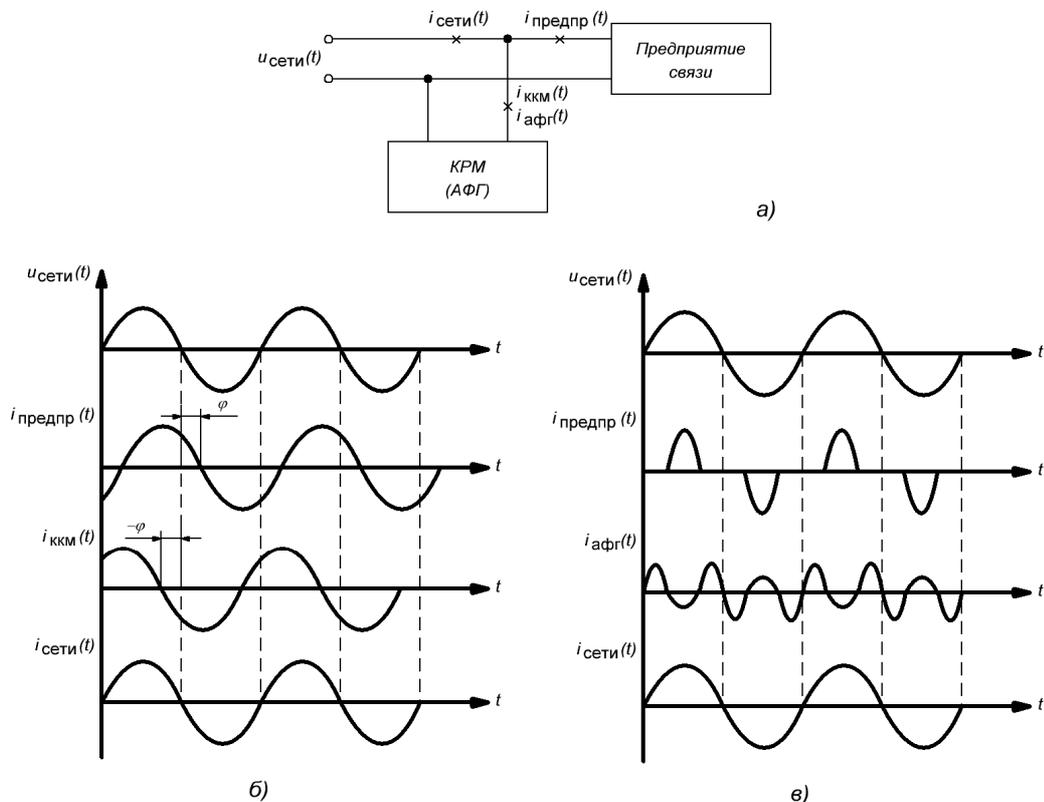


Рисунок 4.14 – Схема подключения однофазного компенсатора реактивной мощности (КРМ) или активного фильтра гармоник (АФГ) (а), диаграммы работы КРМ (б) и АФГ (в)

4.4.3 Компенсаторы реактивной мощности

Основными параметрами компенсаторов реактивной мощности являются:

- максимальная мощность установки (кВАР);
- номинальное рабочее напряжение (В);
- количество фаз (однофазные, трехфазные).

На сегодняшний день промышленностью выпускаются специальные конденсаторные батареи, предназначенные для уменьшения уровня реактивной мощности, например, серии КПС (Косинусные Полипропиленовые Самовосстанавливающиеся) (Рисунок 4.15). Конденсаторы КПС предназначены для повышения коэффициента мощности электроустановок переменного тока частотой 50 и 60 Гц, а также для комплектации конденсаторных установок. Конденсаторы, предназначенные для работы в однофазных цепях, выпускаются в корпусе с двумя изолированными выводами (Рисунок 4.15, б) и содержат внутри 1 конденсатор, конденсаторы, предназначенные для использования в трехфазных сетях, выпускаются в корпусе с тремя изолированными выводами и содержат три конденсатора, соединенные по схеме «звезда» (Рисунок 4.15, в). Все конденсаторы снабжены встроенными разрядными резисторами. Основные параметры конденсаторов серии КПС приведены в таблице (Таблица 4.6).

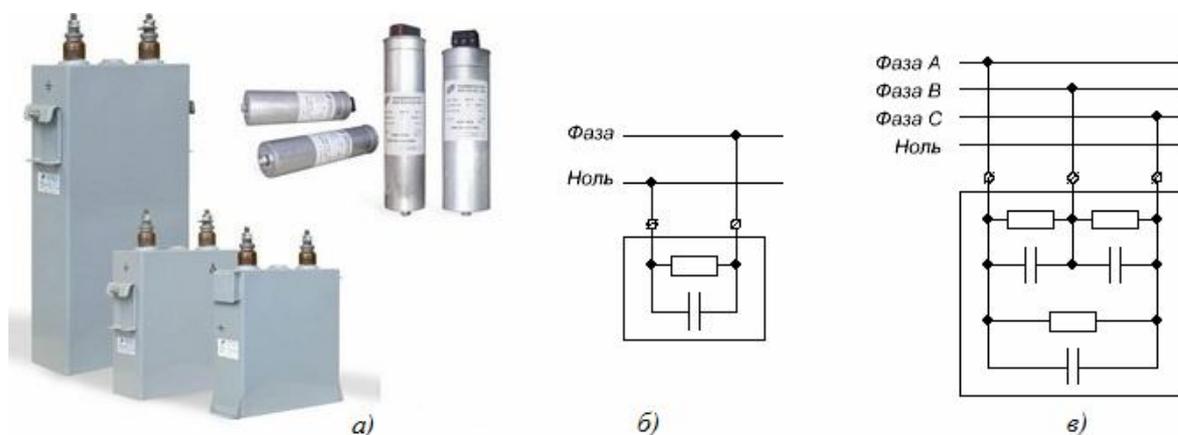


Рисунок 4.15 – Внешний вид конденсаторов для коррекции коэффициента мощности серии КПС (а), электрическая схема и схема подключения к сети конденсаторов с двумя (б) и тремя (в) изолированными выводами

Необходимая мощность установки (емкость подключенных конденсаторов) зависит от уровня реактивной мощности, потребляемой оборудованием. Для оборудования, у которого этот уровень постоянен, используют конденсаторы, постоянно подключенные к сети. Если уровень реактивной мощности в процессе работы меняется, тогда использование постоянно подключенных конденсаторов малоэффективно. В этом случае используют автоматические установки, которые измеряют уровень реактивной мощности и подключают требуемое количество конденсаторов.

Таблица 4.6 – Основные характеристики конденсаторов серии КПС

Типономинал	Напряжение, кВ	Мощность, кВАР	Емкость конденсаторов, мкФ	Количество изолированных выводов	Габариты, мм	Масса, кг
КПС-0,4-1-3У3	0,4	1	3x6,6	3	Ø = 45; h = 129	0,23
КПС-0,4-1,5-3У3	0,4	1,5	3x9,9	3	Ø = 45; h = 129	0,23
КПС-0,4-1,67-2У3	0,4	1,67	1x33,2	2	Ø = 55; h = 114	0,26
КПС-0,4-2,5-2У3	0,4	2,5	1x49,8	2	Ø = 55; h = 114	0,28
КПС-0,4-2,5-3У3	0,4	2,5	3x16,6	3	Ø = 55; h = 129	0,35
КПС-0,4-3,33-2У3	0,4	3,33	1x66,3	2	Ø = 55; h = 129	0,30
КПС-0,4-4,17-2У3	0,4	4,17	1x82,9	2	Ø = 60; h = 129	0,38
КПС-0,4-5-2У3	0,4	5	1x99,5	2	Ø = 65; h = 129	0,425
КПС-0,4-5-3У3	0,4	5	3x33,2	3	Ø = 70; h = 150	0,675
КПС-0,4-6,25-3У3	0,4	6,25	3x41,5	3	Ø = 70; h = 205	0,91
КПС-0,4-7,5-3У3	0,4	7,5	3x49,8	3	Ø = 70; h = 205	0,91
КПС-0,4-10-3У3	0,4	10	3x66,3	3	Ø = 70; h = 230	1,00
КПС-0,4-12,5-3У3	0,4	12,5	3x82,9	3	Ø = 70; h = 270	1,20
КПС-0,4-15-3У3	0,4	15	3x99,5	3	Ø = 85; h = 280	1,825
КПС-0,4-16,7-3У3	0,4	16,7	3x110,8	3	Ø = 85; h = 280	1,825
КПС-0,4-20-3У3	0,4	20	3x132,7	3	Ø = 95; h = 280	2,18
КПС-0,44-1-3У3	0,44	1	3x5,5	3	Ø = 45; h = 129	0,23
КПС-0,44-1,67-2У3	0,44	1,67	1x27,4	2	Ø = 45; h = 129	0,225
КПС-0,44-2,5-2У3	0,44	2,5	1x41,1	2	Ø = 50; h = 129	0,265
КПС-0,44-2,5-3У3	0,44	2,5	3x13,7	3	Ø = 55; h = 129	0,35
КПС-0,44-3,33-2У3	0,44	3,33	1x54,8	2	Ø = 55; h = 129	0,30
КПС-0,44-4,17-2У3	0,44	4,17	1x68,5	2	Ø = 65; h = 129	0,425
КПС-0,44-5-2У3	0,44	5	1x82,2	2	Ø = 70; h = 129	0,515
КПС-0,44-5-3У3	0,44	5	3x27,4	3	Ø = 70; h = 190	0,675
КПС-0,44-7,5-3У3	0,44	7,5	3x41,1	3	Ø = 70; h = 205	0,91
КПС-0,44-10-3У3	0,44	10	3x54,8	3	Ø = 70; h = 230	1,00
КПС-0,44-12,5-3У3	0,44	12,5	3x68,5	3	Ø = 70; h = 270	1,20
КПС-0,44-15-3У3	0,44	15	3x82,2	3	Ø = 85; h = 280	1,825
КПС-0,44-20-3У3	0,44	20	3x109,7	3	Ø = 95; h = 280	2,18

Примером такой установки может служить компенсаторная установка АКУ-0,4-125-12,5-УХЛЗ напряжением 0,4 кВ и мощностью 125 кВАР. Установка содержит несколько конденсаторных батарей (Рисунок 4.16), которые подключаются к сети с помощью мощных контакторов. Необходимое количество конденсаторов определяется с помощью блока управления на основе микроконтроллера.

4.4.1 Методика выбора компенсатора реактивной мощности

В работе предусмотрено, что телекоммуникационное оборудование работает круглосуточно, следовательно, уровень реактивной мощности можно полагать постоянным, и уровень реактивной мощности можно уменьшить с помощью конденсаторов.

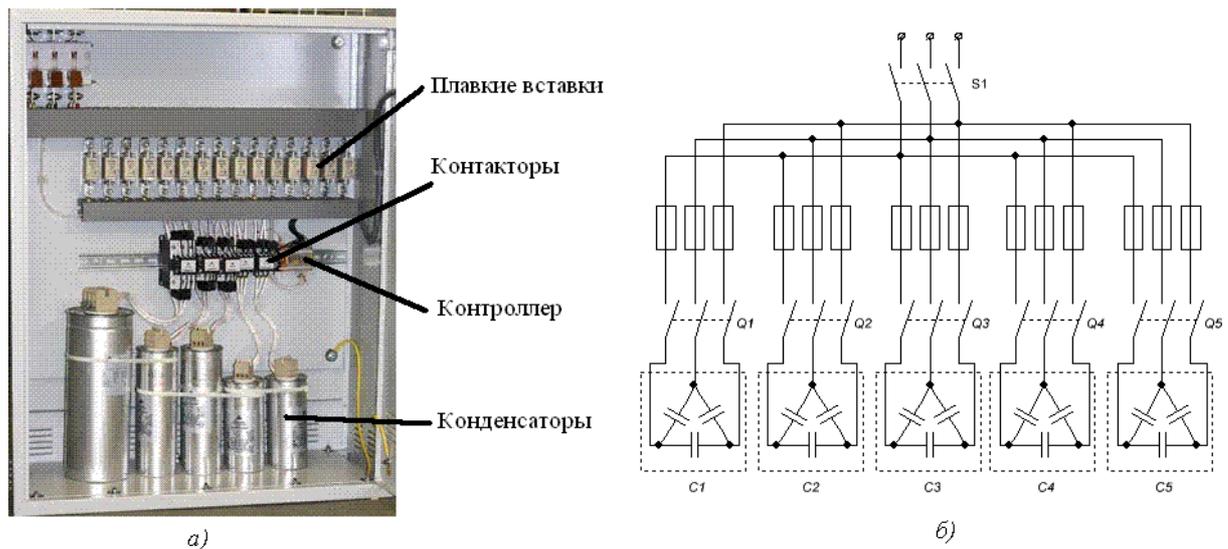


Рисунок 4.16 – Внешний вид трехфазного компенсатора реактивной мощности АКУ-0,4-125-12,5-УХЛЗ напряжением 0,4 кВ и мощностью 125 кВАР (а), и его упрощенная электрическая схема (б)

Вначале определяется текущий коэффициент мощности предприятия, $\cos \varphi_{\text{общ}}$:

$$\cos \varphi_{\text{общ}} = \frac{P_{\text{общ}}}{S_{\text{общ}}}, \quad (42)$$

где $P_{\text{общ}}$, $S_{\text{общ}}$, соответственно активная и полная мощности, потребляемые предприятием (см. п. 4.3).

Полученный коэффициент мощности $\cos \varphi_{\text{общ}}$ сравнивается с желаемым коэффициентом мощности предприятия $\cos \varphi_{\text{ж}}$, указанным в исходных данных. Если $\cos \varphi_{\text{общ}} \geq \cos \varphi_{\text{ж}}$, тогда корректор коэффициента мощности не нужен и расчет на этом заканчивается.

Определяется тангенсы углов, соответствующих текущему и желаемому коэффициентам мощности:

$$\operatorname{tg} \varphi_{\text{общ}} = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{\text{общ}}}}{\cos \varphi_{\text{общ}}}, \quad (43)$$

$$\operatorname{tg} \varphi_{\text{ж}} = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{\text{ж}}}}{\cos \varphi_{\text{ж}}}. \quad (44)$$

Определяем требуемую реактивную мощность корректора коэффициента мощности $Q_{\text{ккм}}$:

$$Q_{\text{ккм}} = P_{\text{общ}} (\operatorname{tg} \varphi_{\text{общ}} - \operatorname{tg} \varphi_{\text{ж}}), \text{ кВАР}, \quad (45)$$

и необходимую емкость конденсаторной установки, $C_{\text{ккм}}$:

$$C_{\text{ккм}} = \frac{10^9 Q_{\text{ккм}}}{U_{\text{ккм}}^2 2\pi f_c} \quad (46)$$

где $U_{\text{ккм}}$ – рабочее напряжение установки.

Для однофазных и трехфазных корректоров, конденсаторы которых, включенных по схеме «звезда» рабочее напряжение установки равно фазному напряжению ($U_{\text{ккм}} = U_{\text{ф}} = 220 \text{ В}$), для трехфазных корректоров, конденсаторы, которых включены по схеме «треугольник» рабочее напряжение равно линейному напряжению сети ($U_{\text{ккм}} = U_{\text{л}} = 380 \text{ В}$).

После этого по каталогам производителей выбирают конденсаторные установки по следующим критериям:

- максимальное напряжение установки должно быть меньше напряжения сети (фазного или линейного, в зависимости от схемы включения);
- общая суммарная емкость всех конденсаторов ККМ должна быть примерно равна $C_{\text{ккм}}$;
- количество фаз ККМ должно соответствовать количеству фаз питающей сети.

4.4.2 Типовые ошибки при выборе КРМ

В отличие от систем бесперебойного питания, мощность питающих устройств которых должна быть строго больше мощности подключенного оборудования, мощность выбранного КРМ может быть меньше расчетной. В идеальном случае мощность КРМ должна быть равна расчетной $C_{\text{ккм}}$ – только в этом случае коэффициент мощности системы $\cos \varphi_{\text{общ}}$ будет приблизительно равен желаемому $\cos \varphi_{\text{ж}}$. Выбор КРМ, емкость которого значительно меньше расчетной приведет к недокомпенсации, а если емкость будет значительно больше расчетной – произойдет перекомпенсация (КРМ будет потреблять реактивной мощности больше чем подключенное оборудование) и общий коэффициент мощности предприятия снизится. Таким образом, одной из ошибок при выполнении этого пункта работы становится – выбор КРМ общая емкость которого значительно отличается от расчетной.

Несоответствие числа фаз питающей сети, числу фаз выбранного КРМ. В исходных данных для всех вариантов указано, что тип питающей сети – трехфазная четырехпроводная. Поэтому нельзя выбирать КРМ, рассчитанный на работу в однофазной сети (конденсаторную установку с количеством изолированных выводов равным 2, см. рис. Рисунок 4.15).

4.4.3 Пример расчета КРМ

Исходные данные:

- тип питающей сети – трехфазная четырехпроводная 220/380 В, 50 Гц;
- активная мощность, потребляемая системой электропитания, $P_{\text{общ}} = 21,42 \text{ кВт}$;
- полная мощность, потребляемая системой электропитания, $S_{\text{общ}} = 23,92 \text{ кВА}$,

- желаемый коэффициент мощности системы электропитания – $\cos\varphi_{ж} = 0,95$.

Определяем текущий коэффициент мощности системы, $\cos\varphi_{общ}$:

$$\cos\varphi_{общ} = \frac{P_{общ}}{S_{общ}} = \frac{21,42}{23,92} = 0,89.$$

Определяем тангенс, соответствующий текущему коэффициенту мощности $\operatorname{tg}\varphi_{общ}$:

$$\operatorname{tg}\varphi_{общ} = \frac{\sqrt{1 - \cos^2\varphi_{общ}}}{\cos\varphi_{общ}} = \frac{\sqrt{1 - 0,89^2}}{0,89} = 0,512.$$

Определяем тангенс, соответствующий желаемому коэффициенту мощности $\operatorname{tg}\varphi_{ж}$:

$$\operatorname{tg}\varphi_{ж} = \frac{\sqrt{1 - \cos^2\varphi_{ж}}}{\cos\varphi_{ж}} = \frac{\sqrt{1 - 0,95^2}}{0,95} = 0,329.$$

Реактивная мощность компенсирующих конденсаторов корректора коэффициента мощности $Q_{ккм}$:

$$Q_{ккм} = P_{общ} (\operatorname{tg}\varphi_{общ} - \operatorname{tg}\varphi_{ж}) = 20,52 \cdot (0,512 - 0,329) = 3,76 \text{ кВАР}.$$

Общая емкость компенсирующих конденсаторов, соединенных по схеме «треугольник» $C_{ккм}$:

$$C_{ккм} = \frac{10^9 Q_{ккм}}{U_{л}^2 2\pi f_c} = \frac{10^9 \cdot 3,76}{380^2 \cdot 2 \cdot 3,1415 \cdot 50} = 82,89 \text{ мкФ},$$

где $U_{л} = 380$ В линейное напряжение сети.

Для компенсатора реактивной мощности из таблицы (Таблица 4.6) выбираем конденсаторы КПС-0,4-5-3УЗ, имеющие следующие характеристики:

- номинальное напряжение – 0,4 кВ;
- частота – 50 Гц;
- мощность – 5 кВАР;
- емкость – 3x33,2 мкФ;
- количество изолированных выводов – 3;
- размеры: диаметр – 70 мм, высота 150 мм;
- масса – 0,675 кг.

4.5 Заземляющее устройство

4.5.1 Назначение

Заземление – преднамеренное электрическое соединение частей электрооборудования, нормально не находящихся под напряжением, с заземляющим устройством.

На предприятиях связи система заземления является частью системы электропитания и служит одновременно для создания нормальных условий для работы оборудования связи (*рабочее заземление*), а также для защиты

персонала от поражения электрическим током (*защитное заземление*). На предприятиях связи рабочее и защитное заземление рекомендуется подключать к одному заземляющему устройству.

4.5.2 Системы заземления

На предприятии связи следует различать типы заземления для систем электропитания постоянного и переменного тока.

Для систем переменного тока заземление может быть осуществлено непосредственным подключением к заземляющему устройству, к заземленной нейтрали или к отдельному заземляющему проводнику, который в свою очередь, может быть подключен как к заземлителю, так и к заземленной нейтрали.

Существует пять наиболее распространенных систем заземления:

- **система TN** – система, в которой нейтраль источника электропитания глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки присоединены к глухозаземленной нейтрали источника посредством нулевых защитных проводников;
- **система TN-C** – как система TN, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике на всем ее протяжении (Рисунок 4.17, *а*);
- **система TN-S** – как система TN, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники разделены на всем ее протяжении (Рисунок 4.17, *б*);
- **система TN-C-S** — как система TN, в которой функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике в какой-то ее части, начиная от источника электропитания (Рисунок 4.17, *в*);
- **система IT** — система, в которой нейтраль источника электропитания изолирована от земли или заземлена через приборы или устройства, имеющие большое сопротивление, а открытые проводящие части заземлены (Рисунок 4.17, *г*).

В системах электропитания постоянного тока к заземлению могут быть подключены либо только корпуса оборудования, либо корпуса оборудования и один из полюсов питающего напряжения (положительный или отрицательный). На предприятиях связи обычно заземляется положительный полюс источников питания.

Наиболее распространенными схемами заземления оборудования постоянного тока являются: двухпроводная система (TN-C) с заземлением токоведущего проводника – (Рисунок 4.18, *а*); трехпроводная система (TN-S) – (Рисунок 4.18, *б*); двухпроводная система с отдельным заземлением токоведущего проводника и корпуса токоприемника (TT) – (Рисунок 4.18, *в*); двухпроводная система с заземлением корпуса токоприемника (IT) (Рисунок 4.18, *г*).

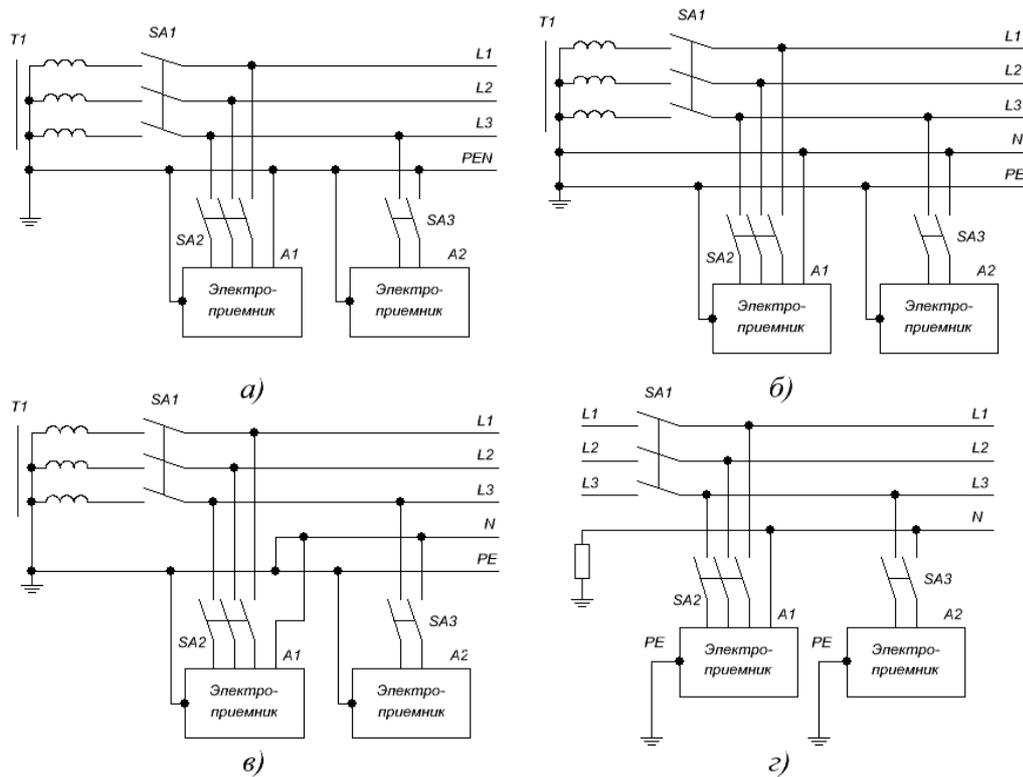


Рисунок 4.17 – Схемы заземления на стороне переменного тока: система TN-C – а; система TN-S – б; система TN-C-S – в; система IT – г

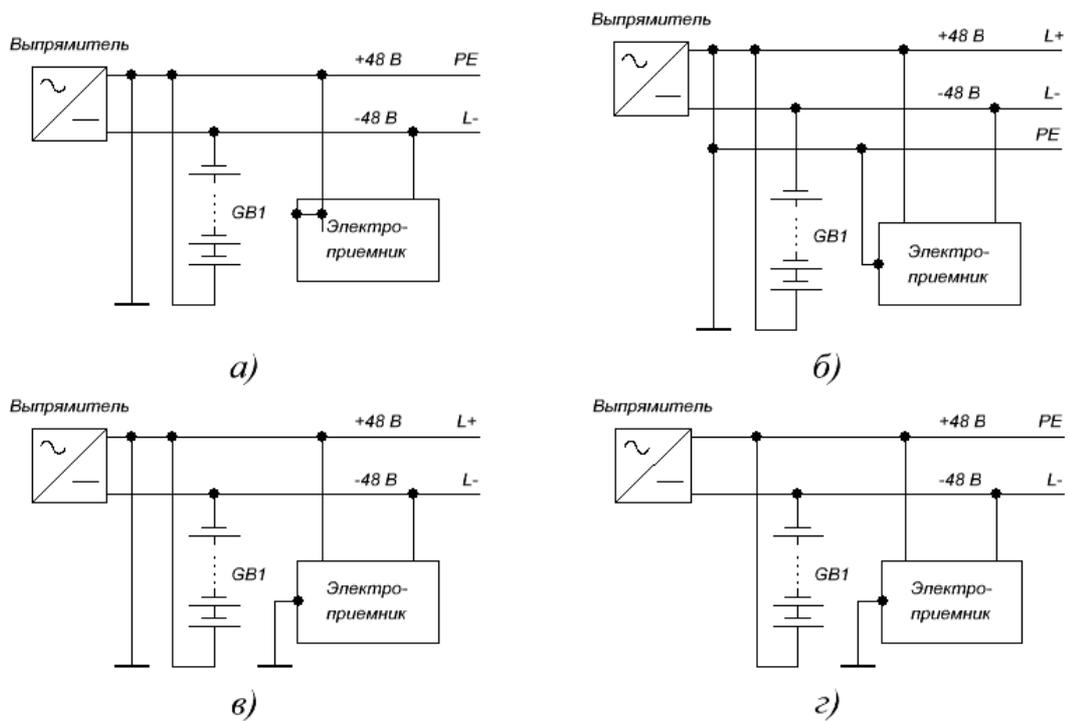


Рисунок 4.18 – Схемы заземления оборудования постоянного тока: TN-C – а; TN-S – б; TT – в; IT – г

4.5.3 Заземляющие устройства

Заземляющее устройство состоит из *заземлителя* и *заземляющих проводников*. В качестве заземлителей часто используют естественные заземлители: проложенные в земле стальные водопроводные трубы, стальная броня и свинцовые оболочки силовых кабелей, проложенных в земле, металлические конструкции зданий и сооружений, имеющие надежный контакт с землей. Однако на предприятиях связи обязательным является применение искусственных заземлителей.

Конструктивно искусственный заземлитель выполняется в виде одного или нескольких рядов вертикальных (реже горизонтальных) электродов (Рисунок 4.19). В качестве вертикальных электродов используются железные трубы или уголки длиной 2,5...5 м. Верхний конец вертикального электрода должен находиться на глубине 0,5...1,5 м от поверхности. Расстояние между электродами должно быть не менее 2,5...3 м. Вертикальные электроды соединяются между собой горизонтальными железными полосами. Электрическое соединение между вертикальными и горизонтальными электродами, как правило, осуществляется сваркой.

Оборудование соединяется с заземлителем проводниками. В качестве заземляющих проводников могут использоваться специальные проводники, сечение которых должно быть не менее токоведущих проводников и определяется Правилами устройства электроустановок (ПУЭ).

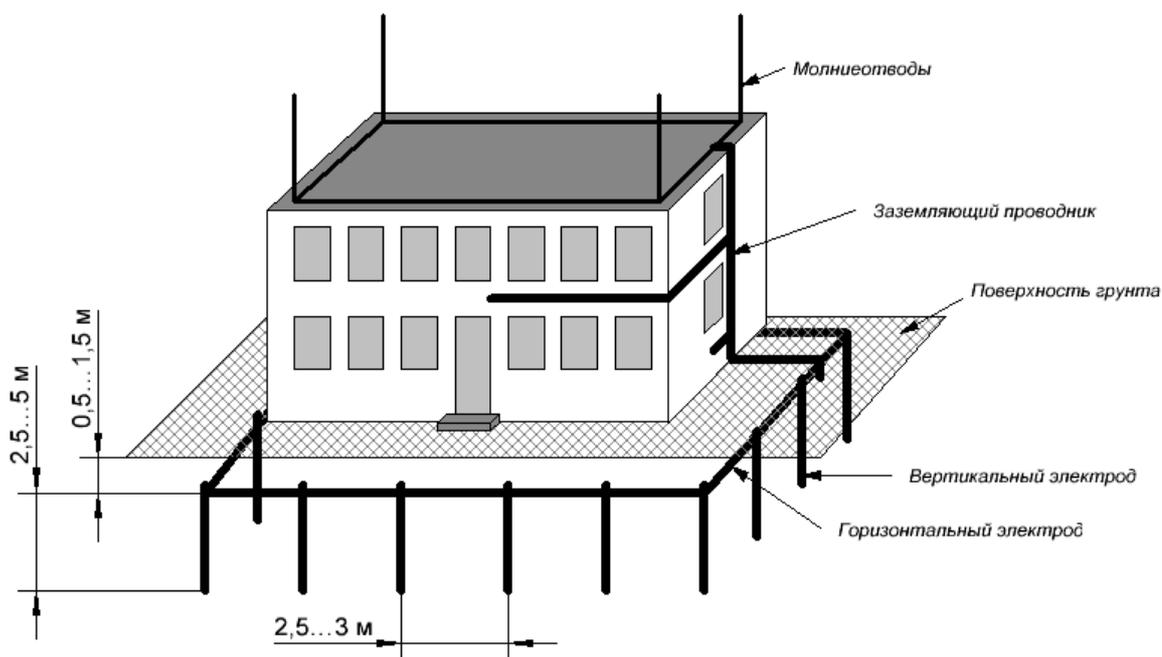


Рисунок 4.19 – Устройство заземления

4.5.4 Методика расчета заземлителя

Расчет заземляющего устройства сводится к выбору числа заземляющих стержней в зависимости от типа грунта и формы электродов.

Исходными данными для расчета в работе являются:

- тип питающей сети;
- максимальная мощность, потребляемая системой электропитания предприятия $S_{\text{общ}}$, кВА;
- длина электрода заземления l , м;
- диаметр электрода заземления d , мм;
- расстояние между электродами заземления a , м;
- удельное сопротивление грунта ρ_0 , Ом·м.

Результатом расчета являются:

- требуемое количество вертикальных электродов $n_{\text{в}}$;
- сопротивление заземляющего устройства R_3 .

Первым этапом расчета является определение максимального сопротивления заземляющего устройства $R_{3 \text{ треб}}$ определяемое по требованиям ПУЭ.

Вначале определяется максимальный линейный ток $I_{\text{л}}$, потребляемый системой электропитания:

$$I_{\text{л}} = \frac{S_{\text{общ}}}{3U_{\text{ф}}} \text{ – для трехфазной сети}$$
$$I_{\text{л}} = \frac{S_{\text{общ}}}{U_{\text{ф}}} \text{ – для однофазной сети,}$$
(47)

где $U_{\text{ф}}$ – фазное напряжение.

После этого определяется расчетный ток замыкания I_3 , равный 125% от номинального значения линейного тока $I_{\text{л}}$:

$$I_3 = 1,25I_{\text{л}}.$$
(48)

Далее, согласно требованиям ПУЭ определяется максимальное требуемое сопротивление заземления $R_{3 \text{ макс}}$:

$$R_{3 \text{ макс}} = \frac{125}{I_3}.$$
(49)

При этом должно выполняться условие:

$$R_{3 \text{ макс}} \leq 4 \text{ Ом.}$$
(50)

Если условие (50) не выполняется, то требуемое сопротивление заземления в дальнейших расчетах следует принять равным 4 Ом ($R_{3 \text{ треб}} = 4 \text{ Ом}$).

Далее определяется сопротивление одиночного вертикального электрода $R_{\text{в}}$:

$$R_{\text{в}} = 0,336 \frac{\rho_{\text{в}}}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right), \text{ Ом,}$$
(51)

где $\rho_{\text{в}}$ – удельное сопротивление грунта для вертикальных электродов, t – расстояние от поверхности земли до середины электрода.

Для вертикальных электродов удельное сопротивление грунта определяется по формуле:

$$\rho_{\text{в}} = \eta_{\text{св}} \rho_0, \text{ Ом}\cdot\text{м}, \quad (52)$$

где $\eta_{\text{св}}$ – коэффициент сезонности для вертикальных электродов. Для вертикальных электродов обычно принимают $\eta_{\text{св}} = 1,4$.

Расстояние от поверхности земли до середины электрода можно определить по формуле:

$$t = h + \frac{l}{2}, \text{ м}, \quad (53)$$

где $h = 0,5 \dots 1,5$ м – глубина залегания вертикального электрода.

Если в результате расчета окажется, что сопротивление одиночного вертикального электрода $R_{\text{в}}$ меньше требуемого сопротивления заземления $R_{\text{з макс}}$ ($R_{\text{в}} \leq R_{\text{з макс}}$), значит одного электрода достаточно и дальнейший расчет можно не продолжать. В противном случае следует определить ориентировочное количество вертикальных электродов $n'_{\text{в}}$:

$$n'_{\text{в}} = \frac{R_{\text{в}}}{R_{\text{з макс}}}. \quad (54)$$

При параллельной установке вертикальных электродов на расстоянии сравнимом с их длиной, их эффективность снижается, поэтому реальное количество вертикальных электродов определяется по формуле:

$$n_{\text{в}} = \frac{R_{\text{в}}}{\eta_{\text{в}} R_{\text{з макс}}}, \quad (55)$$

где $\eta_{\text{в}}$ – коэффициент использования вертикальных электродов.

Значение коэффициента $\eta_{\text{в}}$ зависит от соотношения длины электрода l к расстоянию между вертикальными электродами a . Значения коэффициентов $\eta_{\text{в}}$ приведены в таблице (Таблица 4.7).

Таблица 4.7 – Коэффициенты использования вертикальных и горизонтальных электродов

Отношение a/l	Количество вертикальных электродов $n'_{\text{в}}$	$\eta_{\text{в}}$	$\eta_{\text{г}}$
1	2	0,85	0,8
	3	0,8	0,8
	5	0,7	0,75
	10	0,6	0,6
2	2	0,9	0,9
	3	0,85	0,9
	5	0,8	0,85
	10	0,75	0,75
3	2	0,95	0,95
	3	0,9	0,9
	4	0,85	0,8

Определив количество вертикальных электродов n_B можно определить общую длину заземляющего устройства которая равна длине горизонтального электрода l_r :

$$l_r = (n_B - 1)a, \text{ м}, \quad (56)$$

и его сопротивление R_r :

$$R_r = 0,336 \frac{\rho_r}{l_r} \lg \frac{2l_r^2}{bh}, \text{ Ом}, \quad (57)$$

где b – ширина горизонтального электрода ($b = 4 \dots 6$ см), ρ_r – удельное сопротивление грунта для горизонтальных электродов.

Для горизонтальных электродов удельное сопротивление грунта ρ_r определяется по формуле:

$$\rho_r = \eta_{cr} \rho_0, \text{ Ом}\cdot\text{м}, \quad (58)$$

где η_{cr} – коэффициент сезонности для горизонтальных электродов. Для вертикальных электродов обычно принимают $\eta_{cr} = 3$.

Общее сопротивление заземлителя определяется по формуле:

$$R_3 = \frac{R_B R_r}{R_B \eta_r + R_r n_B \eta_B}, \text{ Ом}, \quad (59)$$

где η_r – коэффициент использования горизонтальных электродов определяется из таблицы (Таблица 4.7).

При правильном расчете заземления должно выполняться условие:

$$R_3 \leq R_{3 \text{ макс}}. \quad (60)$$

Если условие (60) не выполняется, и нет ошибок в расчете, следует увеличить количество вертикальных электродов и повторить расчет с формулы (55).

4.5.5 Типовые ошибки при расчете заземления

Первой ошибкой, которая может случиться в расчете является несоблюдение требований ПУЭ (условие (50)). Если максимальное сопротивление $R_{3 \text{ макс}}$, определенное по формуле (49), получилось больше 4 Ом в дальнейших расчетах следует принимать $R_{3 \text{ макс}} = 4$ Ом.

Следующей ошибкой является неправильное принятие решения после расчета сопротивления вертикального электрода R_B . Если $R_B \leq R_{3 \text{ макс}}$ то расчет на этом заканчивается, поскольку одного вертикального электрода достаточно для обеспечения требуемого сопротивления заземления. Горизонтальный электрод в этом случае отсутствует (поскольку нечего соединять между собой) и все дальнейшие расчеты по данной методике будут ошибочны.

Часто в процессе выполнения работы студенты принимают количество вертикальных электродов n_B в формулах (54), (55) дробным числом (например, $n_B = 2,2$). Количество вертикальных электродов должно быть целым числом, при этом полученное значение n_B можно округлять как в большую, так и в меньшую сторону.

Последней ошибкой, которая может возникнуть является невыполнение условия (60). Если данное условие не выполняется, и нет ошибок в вы-

числениях, следует увеличить количество вертикальных электродов n_B и повторить расчет с формулы (55).

4.5.6 Пример расчета заземления

Исходные данные:

- тип питающей сети – трехфазная, четырехпроводная, 220/380 В, 50 Гц;
- максимальная мощность, потребляемая системой электропитания предприятия $S_{\text{общ}} = 23,92$ кВА;
- длина электрода заземления $l = 3$ м;
- диаметр электрода заземления $d = 50$ мм;
- расстояние между электродами заземления $a = 6,5$ м;
- удельное сопротивление грунта $\rho_0 = 10$ Ом·м.

Определяем максимальный линейный ток, потребляемый системой электропитания $I_{\text{л}}$. Для трехфазной сети:

$$I_{\text{л}} = \frac{S_{\text{общ}}}{3U_{\text{ф}}} = \frac{23920}{3 \cdot 220} = 36,24 \text{ А},$$

где $U_{\text{ф}} = 220$ В фазное напряжение.

Определяем ток замыкания I_3 :

$$I_3 = 1,25I_{\text{л}} = 1,25 \cdot 36,24 = 45,3 \text{ А}.$$

Максимальное требуемое сопротивление заземления $R_{3 \text{ макс}}$:

$$R_{3 \text{ макс}} = \frac{125}{I_3} = \frac{125}{45,3} = 2,76 \text{ Ом}.$$

Полученное сопротивление $R_{3 \text{ макс}}$ не превышает 4 Ом, следовательно, требование ПУЭ ($R_{3 \text{ макс}} \leq 4$ Ом) выполняется.

Определяем удельное сопротивление грунта для вертикальных электродов ρ_B :

$$\rho_B = \eta_{\text{св}} \rho_0 = 1,4 \cdot 10 = 14 \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

где $\eta_{\text{св}} = 1,4$ – коэффициент сезонности для вертикальных электродов.

Определяем расстояние от поверхности земли до середины электрода t :

$$t = h + \frac{l}{2} = 1 + \frac{3}{2} = 2,5 \text{ м},$$

где $h = 1$ м – глубина залегания вертикального электрода.

Определяем сопротивление вертикального электрода R_B :

$$\begin{aligned} R_B &= 0,336 \frac{\rho_B}{l} \left[\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right] = \\ &= 0,336 \frac{14}{3} \left[\lg \frac{2 \cdot 3}{0,05} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 2,5 + 3}{4 \cdot 2,5 - 3} \right] = 3,47 \text{ Ом}. \end{aligned}$$

Поскольку сопротивление вертикального электрода больше требуемого ($R_B > R_{3 \text{ макс}}$) то один электрод не может обеспечить требуемое сопротивление заземления.

Ориентировочное количество вертикальных электродов n'_B :

$$n'_B = \frac{R_B}{R_{3\text{ макс}}} = \frac{3,47}{2,76} = 1,25 \approx 2.$$

Соотношение a/l для вертикальных электродов:

$$a/l = \frac{a}{l} = \frac{6,5}{3} = 2,17 \approx 2.$$

По таблице (Таблица 4.7) для количества вертикальных электродов $n'_B = 2$ и соотношения размеров вертикального электрода $a/l = 2$ определяем коэффициенты использования вертикальных и горизонтальных электродов: $\eta_B = 0,9$, $\eta_\Gamma = 0,9$.

Число вертикальных электродов n_B :

$$n_B = \frac{R_B}{\eta_B R_3} = \frac{3,47}{0,9 \cdot 2,5} = 1,54 \approx 2.$$

Определяем длину горизонтального электрода l_Γ

$$l_\Gamma = (n_B - 1)a = (2 - 1)6,5 = 6,5 \text{ м.}$$

Определяем удельное сопротивление грунта для горизонтальных электродов ρ_Γ :

$$\rho_\Gamma = \eta_{\text{ср}} \rho_0 = 3 \cdot 10 = 30 \text{ Ом}\cdot\text{м},$$

где $\eta_{\text{ср}} = 3$ – коэффициент сезонности для горизонтальных электродов.

Определяем сопротивление горизонтального электрода R_Γ :

$$R_\Gamma = 0,336 \frac{\rho_\Gamma}{l_\Gamma} \lg \frac{2l_\Gamma^2}{bh} = 0,336 \frac{30}{6,5} \lg \frac{2 \cdot 6,5^2}{0,05 \cdot 1} = 5 \text{ Ом.}$$

где $b = 0,05$ м – ширина горизонтального электрода.

Общее сопротивление устройства заземления, R_3 :

$$R_3 = \frac{R_B R_\Gamma}{R_B \eta_\Gamma + R_\Gamma n_B \eta_B} = \frac{3,47 \cdot 5}{3,47 \cdot 0,9 + 5 \cdot 2 \cdot 0,9} = 1,43 \text{ Ом.}$$

Полученное сопротивление заземления R_3 меньше требуемого $R_{3\text{ макс}}$ ($1,43 \text{ Ом} < 2,76 \text{ Ом}$), следовательно, для обеспечения требуемого сопротивления заземления необходимо 2 вертикальных электрода.

4.6 Устройства автоматики и защиты

4.6.1 Назначение

Устройства автоматики и защиты предназначены для автоматического поддержания системы электропитания в максимально работоспособном состоянии при возникновении аварийных ситуаций и предотвращения дальнейшего их развития. Аварийные ситуации могут привести к приостановлению оказания услуг связи повреждению оборудования, а также создавать угрозу для жизни и здоровья персонала.

Существуют следующие основные виды аварийных ситуаций:

- **пропадание питающего напряжения**, возникает при авариях или плановых работах в системе электроснабжения района – в этом случае возникает угроза остановки работы оборудования и, как следствие, приостановление оказания телекоммуникационных услуг;
- **перегрузка по напряжению** возникает при авариях в системе электроснабжения, при разрядах молний либо прочих событиях, в результате которых образуется мощный электромагнитный импульс – в этом случае питающее напряжение может значительно превышать предельно допустимые значения и привести к выходу из строя элементов системы электропитания (кабелей, распределительных устройств) и телекоммуникационного оборудования;
- **перегрузка по току** возникает при авариях в системе электроснабжения предприятия связи или в телекоммуникационном оборудовании – в этом случае возникает угроза выхода из строя распределительных устройств системы электропитания с последующим возможным пожаром;
- **повреждение изоляции** может возникнуть в любых электрических устройствах – в этом случае возникает угроза для здоровья и жизни персонала, поскольку некоторые металлические части, не предназначенные для протекания электрического тока, могут оказаться под опасным для жизни и здоровья напряжением.

4.6.2 Автомат ввода резерва

Автомат ввода резерва (АВР)– электрическое коммутационное устройство, предназначенное для восстановления электроснабжения оборудования за счет автоматического подключения резервных источников.

При аварии основного источника электроснабжения АВР автоматически подключает резервные источники. При необходимости АВР может подать команду на запуск дизель-генераторной установки. При восстановлении основного источника АВР автоматически подключает оборудование к основной сети. Современные АВР осуществляют постоянный контроль наличия напряжения в цепях основного и резервного источников питания.

К АВР предъявляются следующие основные требования:

- минимальное время переключения;
- надежность срабатывания – при пропадании напряжения АВР должен срабатывать всегда, независимо от причины;
- задержка переключения (в некоторых случаях, например при запуске мощных электродвигателей) для игнорирования возможных просадок напряжения;
- однократное срабатывание АВР в случае если пропадание напряжения вызвано внутренним коротким замыканием в систем.

В состав АВР входят реле различного назначения, устройства защиты (автоматические выключатели), мощные переключатели (контакторы), микропроцессорный блок управления (контроллер АВР) с панелью индикации и управления.

Промышленность выпускают как готовые щиты АВР (ЩАВР) (Рисунок 4.20), так и отдельно контроллеры (блоки управления) АВР (БУ-АВР) (Рисунок 4.21).



Рисунок 4.20 – Щит АВР (ЩАВР)



Рисунок 4.21 – Контроллеры АВР (БУАВР)

4.6.3 Плавкие вставки

Плавкий предохранитель (fuse) (Рисунок 4.22) – устройство, предназначенное для защиты от перегрузки по току. При возникновении перегрузки внутренний проводник плавится и размыкает электрическую цепь.

Плавкий предохранитель является самым слабым участком защищаемой электрической цепи, срабатывающим в аварийном режиме, тем самым разрывая цепь и предотвращая последующее разрушение более ценных элементов электрической цепи высокой температурой, вызванной чрезмерными значениями силы тока.

К достоинствам плавких предохранителей относится простота, высокая надежность и низкая стоимость. Основным недостатком плавких предохранителей является их одноразовость. После срабатывания плавкой вставки она подлежит замене. Шунтирование плавких вставок (использование «жучков») при повторном возникновении аварийной ситуации часто приводит к пожару.



Рисунок 4.22 – Плавкие вставки

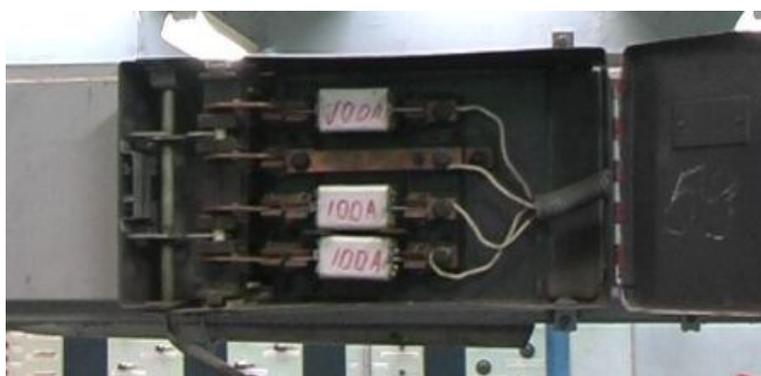


Рисунок 4.23 – Плавкие вставки в распределительном щитке

4.6.4 Автоматические выключатели

Автоматический выключатель («автомат») – механический коммутационный аппарат, предназначенный для коммутации цепи и автоматического ее расцепления (разрыва), если ток превышает заданное значение в течение определенного времени.

К достоинствам автоматических выключателей относится возможность многократного срабатывания, а также отключение трех фаз при возникновении перегрузки на одной любой фазе.

К недостаткам автоматических выключателей можно отнести сложность конструкции, в результате чего снижается надежность срабатывания (автоматический выключатель может сработать при меньшем токе, либо не сработать вообще). Также стоимость автоматических выключателей, как правило, намного выше стоимости плавких вставок.

Для повышения надежности цепь, защищаемую автоматическим выключателем, дополнительно защищают плавкой вставкой.

К основным параметрам автоматических выключателей относятся:

- **количество полюсов** – количество одновременно защищаемых цепей;
- **номинальный ток (А)** – максимальный ток, который автоматический выключатель может пропускать длительное время без срабатывания;
- **характеристика срабатывания** – определяет поведение автоматического выключателя при превышении номинального тока.

В системах электропитания наиболее часто используются однополюсные (Рисунок 4.24, *а*), двухполюсные (Рисунок 4.24, *б*) – для применения в однофазных цепях, трехполюсные (Рисунок 4.24, *в*) – для применения в трехфазных цепях с характеристиками срабатывания типа А, В, и С.

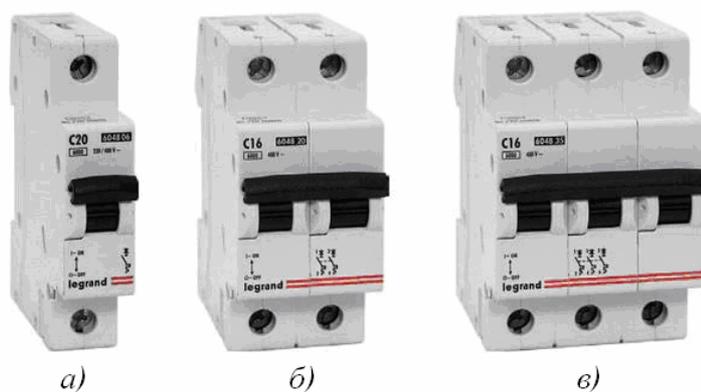


Рисунок 4.24 – Автоматические выключатели: однополюсный – *а*, двухполюсный – *б*, трехполюсный – *в*

Автоматические выключатели с характеристикой типа А являются наиболее чувствительными к перегрузкам. Срабатывание может наступить при токе 1,3 от номинального, при этом время выключения составит около часа. При токе в 2 раза больше номинального время максимальное время срабатывания составляет 20...30 с. При токе в 3 раза больше номинального время срабатывания составляет сотые доли секунды. Выключатели с характеристикой типа А устанавливаются в цепях, где кратковременные перегрузки не могут возникнуть при нормальном режиме работы, например в цепях питания телекоммуникационной аппаратуры.

Автоматические выключатели с характеристикой типа В устанавливаются в цепях, где пусковые токи невелики или отсутствуют вообще, например, в системах освещения. Гарантированное срабатывание автоматического выключателя происходит при токе в 5 (для цепей переменного тока) или в 7,5 (для цепей постоянного тока) раз превышающем номинальное значение. При трехкратной перегрузке автоматический выключатель работает в течении 4...5 секунд.

Автоматические выключатели с характеристикой срабатывания типа С отличаются еще большей перегрузочной способностью. Гарантированное срабатывание таких выключателей происходит при 10-ти кратной (для цепей

переменного тока) или 15-ти кратной (для цепей постоянного тока) перегрузке в течение сотых долей секунды. При 5-ти кратной перегрузке автоматический выключатель сработает в течение 1,5 секунд. Автоматические выключатели типа С устанавливаются в цепях со смешанной нагрузкой в которых могут кратковременно возникать большие пусковые токи.

Характеристики некоторых автоматических выключателей приведены в таблице (Таблица 4.8).

При выборе автоматических выключателей следует руководствоваться следующими рекомендациями.

1. Количество полюсов должно соответствовать типу сети: для однофазной сети выбирают одно- (в этом случае выключатель включают в цепь фазы) или двухполюсные (выключатель включают в цепь фазы и ноля), для трехфазной – трех- (в этом случае выключатель включают в цепи трех фаз) либо четырехполюсные (в этом случае выключатель включают в цепи трех фаз и ноля) выключатели.

2. Номинальный ток выключателя $I_{\text{ном авт}}$ обычно выбирают в 1,5 раза больше номинального значения тока $I_{\text{ном}}$, протекающего в цепи:

$$I_{\text{ном авт}} = 1,5I_{\text{ном}} \cdot A, \quad (61)$$

при этом сечение проводов должно быть достаточно для протекания данного тока в течение длительного времени.

3. Характеристику срабатывания выбирают в зависимости от типа подключенного оборудования: для радиоэлектронного оборудования, систем освещения обычно выбирают выключатели с характеристикой срабатывания типа А или В; для систем вентиляции и кондиционирования, хозяйственных нужд выбирают выключатели с характеристикой срабатывания типа В или С, для групповых выключателей обычно выбирают характеристику типа С.

Таблица 4.8 – Характеристики автоматических выключателей

Тип	Номинальный ток, А	Количество полюсов, шт.	Номинальное рабочее напряжение, 50/60 Гц, В	Замыкающая способность, кА	Число переключений при номинальной нагрузке
ВА 69-29 (ГОСТ 50345-99)	2, 4, 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40	1, 3	230, 400	6	20000
	50, 63	1, 3	230, 400	4	20000
ВА 69-100 (ГОСТ 50345-99)	80	1	230/400	10	
	100	3	400	10	
DPX-125 (фирма Legrand)	16, 25, 40, 63, 100 125	1,3,4	500 В ~	16	8500 механ. 4500 электр.
			250 В =	30	
DPX-160	25, 40, 63, 100, 160	3,4	500 В ~ 250 В =	36	7000, 1000

4.6.5 Устройства защитного отключения

Устройство защитного отключения (УЗО) (выключатель дифференциального тока, дифференциальный выключатель) (residual current device – RCD) – механический коммутационный аппарат, предназначенный защиты человека от поражения электрическим током и (или) от возникновения пожара, вызванного утечкой тока через поврежденную изоляцию проводов.

Принцип работы УЗО основан на измерении баланса токов между входящими в него токоведущими проводниками с помощью дифференциального трансформатора тока. Если баланс токов нарушен, то УЗО размыкает все входящие в него контактные группы, отключая неисправную нагрузку.



Рисунок 4.25 – УЗО: однофазное (слева), трехфазное (справа)

4.6.6 Устройства защиты от перенапряжения

В системах электропитания используются два типа защитных устройств: разрядники (Рисунок 4.26, а, б) и варисторы (Рисунок 4.26, в).

При возникновении перенапряжения в разряднике происходит пробой газа и происходит короткое замыкание защищаемой цепи (с последующим срабатыванием защиты от перегрузки по току).

В отличие от разрядника варистор превращает энергию перенапряжения в тепло, ограничивая уровень напряжения на своих клеммах. При больших энергиях импульса (например, при прямом попадании молнии) также возможно срабатывание защиты от перегрузки по току.

Достоинством варистора, по сравнению с разрядником, является высокое быстродействие, это позволяет также эффективно использовать его для защиты от импульсных помех.

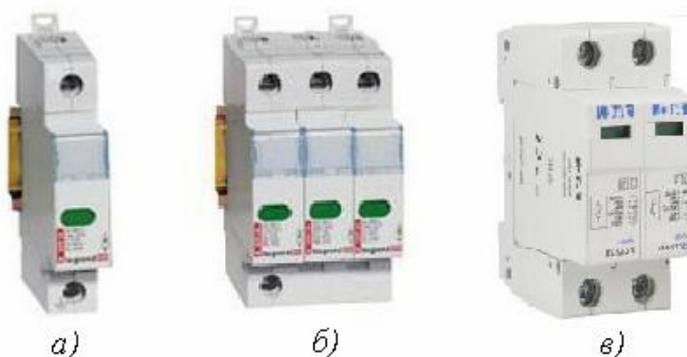


Рисунок 4.26 – Устройства защиты от перенапряжения: однофазный разрядник (а), трехфазный разрядник (б), двухфазный варистор (в)

4.6.7 Пример выбора автоматического выключателя

В работе следует выбрать групповой автомат защиты в главном распределительном щите. Исходными данными для расчета является максимальное значение линейного тока, определенное при расчете заземления. При необходимости для определения данного тока можно воспользоваться формулой (47).

В нашем случае максимальный линейный ток составляет, $I_{л} = 36,24$ А (см. п. 4.5.6).

Определим номинальный ток автоматического выключателя $I_{ном авт}$:

$$I_{ном авт} = 1,5I_{л} = 1,5 \cdot 36,24 = 54,36 \text{ А.}$$

Из таблицы (Таблица 4.8) выбираем автоматический выключатель DPX-125 фирмы Legrand для трехфазной сети со следующими характеристиками:

- номинальный ток – 63 А;
- количество полюсов – 3;
- номинальное рабочее напряжение – 500 В (для переменного тока).

Поскольку выключатель является групповым для смешанного оборудования (телекоммуникационное оборудование, система освещения, система вентиляции и кондиционирования и т.д.) рекомендуется использование автоматического выключателя с характеристикой срабатывания типа С.

4.7 Структурная схема системы электропитания

4.7.1 Методика построения

Исходными данными для построения структурной схемы системы электропитания являются:

- количество лучей системы (1, 2 или 3);
- тип системы аварийного освещения (постоянного или переменного тока);
- список выбранного оборудования.

Упрощенная структурная схема системы электропитания трехлучевого типа показана на рисунке (Рисунок 3.1), описание ее основных частей дано в п. 3.2.

Для двухлучевой схемы *Ввод 2* и трансформаторная подстанция *ТП2* отсутствуют, а автомат ввода резерва *АВР1* содержит только два входа (две контактные группы).

Для однолучевой схемы отсутствуют: *Ввод 2*, трансформаторная подстанция *ТП2*, автоматическая дизель-генераторная установка *АДЭС1* и автомат ввода резерва *АВР1*. В однолучевой схеме главный распределительный

щит подключается непосредственно к выходу трансформаторной подстанции *ТП*.

Если, согласно исходным данным, на предприятии используется система аварийного освещения переменного тока, то она подключается к выходу источника бесперебойного питания *ИБП*. При использовании системы аварийного освещения постоянного тока, ее необходимо подключить к выходу выпрямительного устройства *ВУ* параллельно оборудованию постоянного тока.

В работе, на структурной схеме в обязательном порядке должны быть указаны:

- модель автоматического выключателя *Q3* и его номинальный ток, выбранные в п. 4.6;
- модель компенсатора реактивной мощности *КРМ*, выбранная в п. 4.4;
- модель источника бесперебойного питания переменного тока, *ИБП* с указанием количества модулей, выбранные в п. 4.1;
- модель выпрямительного устройства *ВУ* с указанием количества модулей, выбранные в п. 4.2;
- модель аккумуляторных батарей *GB1*, *GB2* с указанием количества аккумуляторов, выбранные в п. 4.2.

4.7.2 Пример построения

Исходные данные:

- количество лучей системы – 2;
- тип системы аварийного освещения – переменного тока;
- автоматический выключатель *Q3* – Legrand DPX-125, 63 А;
- компенсатор реактивной мощности *КРМ* – КПС-0,4-5-3У3;
- источник бесперебойного питания *ИБП* – РК Electronics US 9003, 12 модулей;
- выпрямительное устройство *ВУ* – Связь инжиниринг ИБП-4, 3 модуля;
- аккумуляторные батареи *GB1*, *GB2* – Hawker Power safer 12V57 5 батарей в одной группе.

Структурная схема системы электропитания приведена на рисунке (Рисунок 4.27).

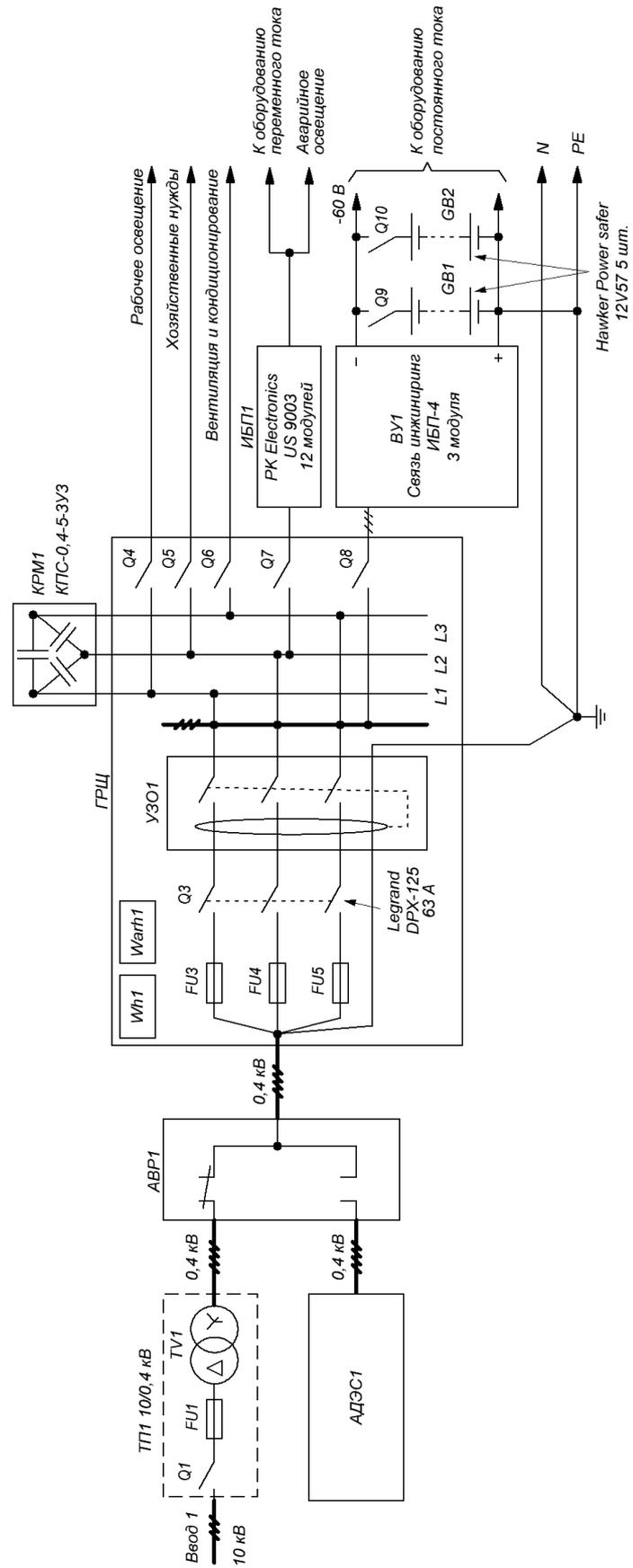


Рисунок 4.27 – Структурная схема предприятия связи

5 ЛИТЕРАТУРА

1. Положення про випускні кваліфікаційні роботи спеціалістів та магістрів. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С.Попова, 2004г. – 35с.
2. VARTA (the battery experts). Техническое описание и инструкция по эксплуатации стационарных аккумуляторов Vb VARTA. Специальное издание.
3. Стационарные батареи – свинцовые аккумуляторы с рекомбинацией газа ESPACE. Необслуживаемые герметичные аккумуляторы. Серия RG (HI). – Фирма «ОЛЬДАМ ФРАНС».
4. VARTA (the battery experts). Техническое описание и инструкция по эксплуатации стационарных аккумуляторов OPzV VARTA. Специальное издание 04.09.01 0792 ru.
5. Правила устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 2000.
6. Гейтенко Е.Н. Источники вторичного электропитания. Схемотехника и расчет. – М., Солон-Пресс, 2007. – 498 с.
7. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования/ Под ред. В.И. Круповича и др. – М.: Энергоиздат, 1981.
8. ОСТ 45.183-01 Установки электропитания аппаратуры электросвязи стационарные. Общие технические требования.
9. ГОСТ Р 50571.2-94 Электроустановки зданий. Ч. 3. Основные характеристики.
10. ГОСТ 29280-92 Совместимость технических средств электромагнитная. Испытания на помехоустойчивость. Общие положения.
11. International standard IEC 1000-4-5. First edition. 1995-02. Testing and measurement techniques – Section 5: Surge immunity test.
12. Устройства защиты и распределения цепей электропитания переменным током аппаратуры электросвязи. Технические требования. Утверждены Госкомсвязи России 19.08.98.
13. Расчет источников электропитания устройств связи: Учебное пособие для вузов / В.Е. Китаев, А.А. Бокуняев, М.Ф. Колканов; под ред. А.А. Бокуняева. – М.: Радио и связь., 1993. – 232 с.
14. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: Учебное пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 448 с.
15. Алиев И.И., Казанский С.Б. Кабельные изделия: Справочник. – М.: ИП РадиоСофт, 2002. – 224 с.
16. Лаврус В.С. Источники энергии. - Киев: Наука и Техника, 2003 г.