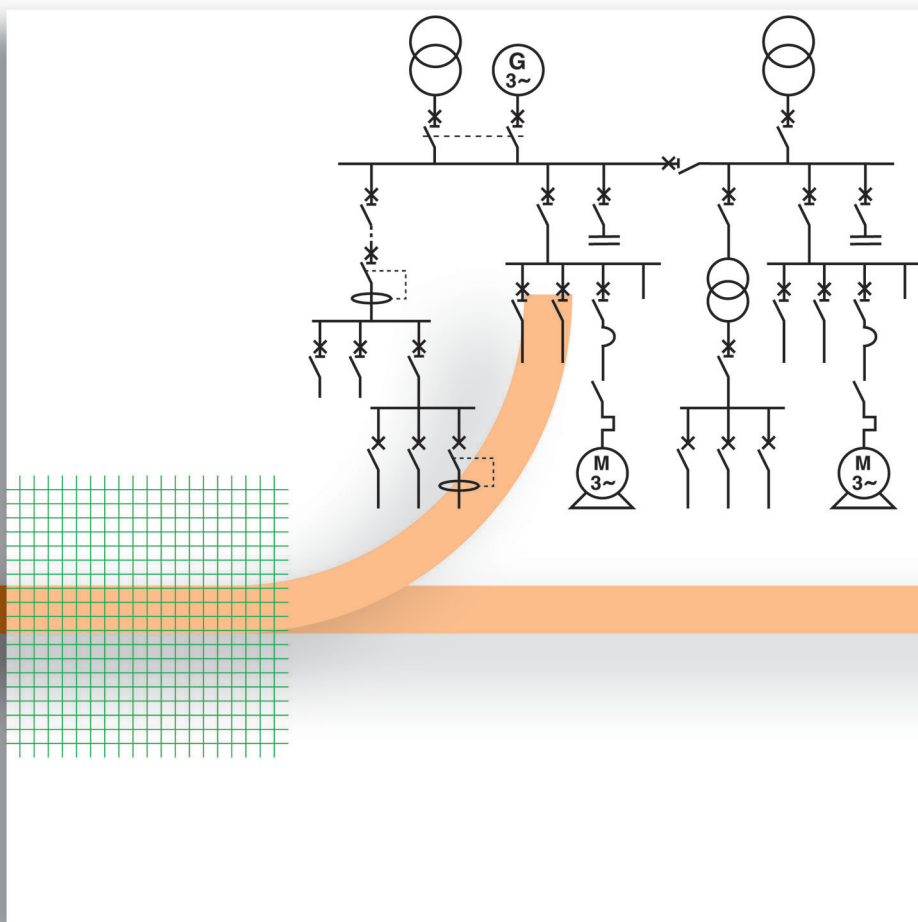


Руководство по устройству электроустановок

Технические решения Schneider Electric

2007

<http://www.schneider-electric.ru>



Предлагаемое руководство предназначено для инженеров-электриков, занимающихся проектированием, монтажом, инспектированием или эксплуатацией электроустановок. Какое техническое решение гарантирует, что будут соблюдены все соответствующие правила техники безопасности? Этот вопрос был основополагающим принципом при подготовке предлагаемого Руководства.

В международных стандартах подробно изложены правила, которые должны соблюдаться для обеспечения расчетных рабочих характеристик всех типов электроустановок и правил безопасности.

Поскольку эти стандарты являются подробными и применимыми к любым типам изделий и техническим решениям в разных странах мира, их тексты достаточно сложны и не представлены в готовом для использования виде. Поэтому они могут рассматриваться только в качестве справочного документа, а не практического руководства.

Цель настоящего Руководства дать ясные и поэтапные пояснения для полного анализа электроустановки в соответствии с международными стандартами.

В первой главе (В) изложена методология, которая должна использоваться, а в каждой из последующих глав рассмотрен один из восьми этапов анализа. Последние две главы посвящены конкретным источникам питания, нагрузкам и местам размещения, а в приложении представлена дополнительная информация. Особое внимание уделено приложению «Электромагнитная совместимость», в котором отражен большой практический опыт решения проблем защиты от электромагнитных излучений.

Мы надеемся, что Вы найдете этот справочник действительно полезным.

Schneider Electric S.A.

Данное Руководство - это единый обобщающий материал, в котором изложены методы, правила и стандарты, относящиеся к электроустановкам. Оно предназначено для специалистов-электротехников, работающих в компаниях, конструкторских бюро, инспекционных организациях, и т.д.

«Руководство по устройству электроустановок» предназначено для квалифицированного технического персонала и, хотя авторы постарались включить в настоящий документ точную и достоверную информацию, компания Schneider Electric не берет на себя ответственность за любые последствия, которые могут возникнуть в связи с использованием данного материала неквалифицированным персоналом.

Мы выражаем благодарность коллективу ООО НПФ «Элпром» во главе с Генеральным Директором, к.т.н. Гельманом Г.А. за ценный вклад в редактирование этого Руководства, который позволил учесть в русском издании особенности распределения электроэнергии в российских электрических сетях.

Это первое издание Руководства на русском языке. Мы будем чрезвычайно признательны всем специалистам, приславшим нам свои замечания и предложения, которые помогут улучшить следующее издание.

ЗАО «Шнейдер Электрик», Россия



Предисловие

Ролан Талон (Roland Talon), председатель технического комитета ТС 64 МЭК.

Общепризнано, что электрооборудование обеспечивает оптимальные характеристики безопасности, функционирования и продолжительности эксплуатации, если оно установлено надлежащим образом.

Задача Технического комитета ТС 64 МЭК заключается в том, чтобы разрабатывать и обновлять требования к электроустановкам. Кроме того, на Комитет возложена функция внедрения правил безопасной эксплуатации электрических установок, оборудования, изделий и систем. В работе Комитета ТС 64 принимают участие делегаты многих национальных комитетов. Многие из них привлечены из фирм-изготовителей электрооборудования, лабораторий, инспектирующих органов, компаний, занимающихся монтажом электроустановок, и компаний-поставщиков электроэнергии. Как следствие этого, Стандарт МЭК 60364 рассматривается в качестве основополагающего документа при проектировании и монтаже электроустановок.

Кроме того, электрическая среда становится все более сложной, главным образом из-за электромагнитных влияний и других видов помех, и основным требованием стало обеспечение бесперебойной эксплуатации всего оборудования, питающегося от электроустановки. Вследствие этого конструкторы, монтажники и потребители нуждаются в руководстве по выбору и установке электрооборудования. Руководство было подготовлено инженерами компания Schneider Electric, имеющими большой опыт монтажа электроустановок и хорошо знающими проблемы потребителей и предъявляемые ими требования.

Как председатель Комитета ТС 64 и бывший представитель французских электротехнических компаний в этом Комитете, я считаю за честь представить этот справочник и делаю это с большим удовольствием. Я уверен, что он окажется полезным при внедрении норм стандарта 60364 и решении проблем, волнующих потребителей.

Ролан Талон работал в течение 20 лет в Ассоциации французских электротехнических компаний (FFIE). Ранее работал в электротехнических компаниях. В течение этого периода принимал активное участие в реализации многих международных проектов. Ролан Талон является председателем Комитета ТС 64 в МЭК (с 2002 года) и председателем Европейского комитета стандартизации в области электротехники (CENELEC) ТС 64.

Общее содержание	A
Общая структура - Действующие правила и нормы - Установленная мощность	B
Подключение к распределительной сети высокого напряжения	C
Подключение к низковольтной распределительной сети	D
Распределение в системах низкого напряжения	E
Защита от поражения электрическим током	F
Защита электрических сетей	G
Низковольтная распределительная аппаратура	H
Защита от перенапряжений	J
Повышение коэффициента мощности и фильтрация гармоник	K
Обнаружение и устранение гармоник	L
Особые источники питания и нагрузки	M
Котеджи, жилые и особые помещения	N
Рекомендации по обеспечению электромагнитной совместимости	Ap

Содержание		
1	Методология	B2
2	Действующие нормы и правила	B4
	2.1 Определение уровня напряжения	B4
	2.2 Нормы и Правила	B5
	2.3 Стандарты	B5
	2.4 Качество и безопасность электрической установки	B6
	2.5 Первоначальная проверка установки	B6
	2.6 Периодическое проверочное тестирование установки	B7
	2.7 Соответствие оборудования электроустановки стандартам и техническим характеристикам	B7
	2.8 Окружающая среда	B8
3	Установленные мощности нагрузки — Характеристики	B10
	3.1 Асинхронные двигатели	B10
	3.2 Нагревательные приборы на основе сопротивления и лампы накаливания (обычные или галогенные)	B12
4	Силовая нагрузка электроустановок	B15
	4.1 Установленная мощность (кВт)	B15
	4.2 Установленная полная мощность (кВА)	B15
	4.3 Оценка реальной максимальной потребности в мощности (кВА)	B18
	4.4 Пример применения коэффициентов k_u и k_s	B17
	4.5 Коэффициент разновременности нагрузки	B18
	4.6 Выбор номинальной мощности трансформатора	B19
	4.7 Выбор источников питания	B20
5	Мониторинг и управление мощностью	B21
	5.1 Основные преимущества пользователя	B21
	5.2 От мониторинга сети и систем управления к интеллектуальному силовому оборудованию	B23
	5.3 Типичные преимущества возможные при применении интеллектуального оборудования по сравнению с другими решениями	B25
	5.4 Технические усовершенствования сетей связи	B26
	5.5 Основные ограничения, которые необходимо учитывать при разработке оборудования связи или интеллектуального силового оборудования	B27

В - Общая структура - Применяемые правила - Установленная мощность

Изучение требований к электрической установке, изложенных в данном руководстве, требует чтения всех глав, в том порядке, в котором они представлены.

Перечень расчетных нагрузок

Изучение предлагаемой электроустановки требует адекватного понимания всех установленных законом правил и норм.

Суммарные мощности в электроэнергии можно вычислить, исходя из данных о расположении и мощности каждого элемента нагрузки и знания рабочих режимов (установившийся пусковой, неодновременная работа и т.д.)

Из этих данных можно получить мощность, которая должна производиться источником питания и, где возможно, количество источников питания, необходимое для адекватного питания электроустановки.

Также, потребуются данные о структуре местных тарифов, чтобы наилучшим образом организовать подключение к сети питания, то есть, на уровне высокого или низкого напряжения.

Подключение к сети

Такое подключение может быть сделано на уровне:

■ Высокого напряжения

В этом случае потребуется изучить, построить и ввести в эксплуатацию потребительскую подстанцию. Такая подстанция может быть как наружной, так и внутренней установки, и должна соответствовать применяемым стандартам и требованиям (при необходимости, дополнительно изучите раздел, посвященный низкому напряжению). В этом случае возможно измерение потребляемой мощности на высоком и низком напряжениях.

■ Низкого напряжения

Электроустановка будет подключена к местной сети питания и потребляемая мощность будет учитываться в соответствии с тарифами для низкого напряжения.

С - Подключение к высоковольтной распределительной сети

Д - Подключения к низковольтной распределительной сети

Е - Распределение внутри установки низкого напряжения

Распределительная сеть низкого напряжения

Вся распределительная сеть электроустановки рассматривается, как единая система.

Определяется количество и характеристики резервных источников аварийного питания.

Устройство заземления нейтрали выбирается с учетом местных норм и правил, ограничений касающихся источников питания и типов нагрузок.

Выбор распределительного оборудования (щиты, коммутационное оборудование, соединения цепей и т.д.) осуществляется, исходя из планов здания, расположения и группировки нагрузок.

Тип установки и ее расположение могут влиять на ее устойчивость к внешним помехам.

Ф - Защита от поражения электрическим током

Защита от поражения электрическим током

Предварительно определяется система заземления (ТТ, IT или TN), после чего должны быть установлены соответствующие защитные устройства, с целью обеспечить защиту от опасностей прямого или непрямого контакта.

Г - Защита цепей

Цепи и коммутационное оборудование

После этого подробно рассматривается каждая отдельная цепь. Из значений номинальных токов нагрузок, уровня тока короткого замыкания и типа защитного устройства можно определить сечения проводов цепи, с учетом типа кабельных каналов и их влияния на допустимый ток проводов.

Перед тем, как окончательно принять сечение проводника определенное, как указано выше, следует проверить, удовлетворяются ли при этом следующие требования:

- Снижение напряжения удовлетворяет соответствующим стандартам
- Запуск двигателя происходит удовлетворительно
- Обеспечивается защита от броска электрического тока

После этого определяется ток короткого замыкания I_{sc} и проверяется способность сети выдерживать тепловые и электродинамические нагрузки.

Эти вычисления могут показать, что необходимо использовать провод большего сечения, чем выбранный первоначально.

Н - Коммутационное оборудование

Функции, выполняемые распределительным устройством, будут определять его тип и характеристики.

Проверяется правильное использование принципа каскадного включения и селективность срабатывания предохранителей и отключение автоматических выключателей.

J – Защита от перенапряжений

K - Увеличение коэффициента мощности и фильтрация гармоник

L - Обнаружение и фильтрация гармоник

M - Особые источники питания и нагрузки

N - Жилые и подобные им помещения и специальные сооружения

Защита от скачков напряжения

Прямые и не прямые удары молнии могут повредить электрооборудование на расстоянии нескольких километров. Промышленные волны перенапряжения и кратковременные броски напряжения промышленной частоты также могут привести к подобным последствиям.

Реактивная энергия

Коррекция коэффициента мощности внутри электроустановок проводится локально, глобально и как комбинация обоих методов.

Гармонические составляющие

Гармонические составляющие, присутствующие в сети, ухудшают качество электроэнергии и являются причиной многих неприятных явлений, таких как перегрузки, вибрации, износ оборудования, аварии чувствительного оборудования местных электрических и телефонных сетей. В этой главе рассматриваются причины появления и влияние гармоник, объясняются методы их измерения и приводятся конкретные решения.

Особые источники питания и нагрузки

Рассматриваются особые случаи и оборудование:

- Особые источники, такие, как генераторы переменного тока или инверторы
- Особые нагрузки со специальными характеристиками, такие, как асинхронные двигатели, осветительные цепи или трансформаторы низкого/высокого напряжения.
- Специальные системы, например, сети постоянного тока

Общие сферы применения

Для определенных типов сооружений и помещений применяются особо жесткие правила: наиболее распространенным примером являются жилые дома.

Программное обеспечение Ecodial

Программное обеспечение (Ecodial⁽¹⁾) представляет собой полный пакет программ для проектирования низковольтных установок в соответствии со стандартами и рекомендациями IEC (МЭК).

Оно включает в себя следующие функции:

- Создание однолинейных схем
- Расчет токов короткого замыкания
- Расчет падения напряжения
- Оптимизация сечения кабелей
- Необходимые номиналы коммутационного оборудования и плавких предохранителей
- Селективность устройств защиты
- Рекомендации по каскадному включению коммутационного оборудования
- Проверка электробезопасности людей
- Полная распечатка вышеупомянутых выбранных расчетных данных

(1) Ecodial является программным продуктом компании Merlin Gerin и поставляется на французском и английском языках.

Электроустановки низкого напряжения регулируются рядом законодательных и рекомендательных актов, которые можно подразделить на следующие группы:

- Установленные законом нормативы (постановления, технические требования и т.д.)
- Промышленные нормы и правила, требования, изданные профессиональными учреждениями, технические условия на выполнение работ.
- Национальные и международные стандарты на установку электрооборудования.
- Национальные и международные стандарты на продукцию

2.1 Определение уровня напряжения

Стандарты и рекомендации IEC для напряжения

Трёх-фазные 4-проводные или 3-проводные системы		Одно-фазные 3-проводные системы
Номинальное напряжение(В)		Номинальное напряжение(В)
50 Гц	60 Гц	60 Гц
–	120/208	120/240
–	240	–
230/400 ⁽¹⁾	277/480	–
400/690 ⁽¹⁾	480	–
–	347/600	–
1000	600	–

(1) Номинальное напряжение существующих систем на 220/380В и 240/415В должно измениться на рекомендуемое значение 230/400В. Переходный период должен быть максимально коротким и завершиться не позднее 2008 г. В течение этого периода, в качестве первого шага, управляющие органы энергетического сектора стран, имеющих энергосистемы на 220/380В, должны привести напряжение к уровню 230/400 В +6% -10%, а страны, имеющие системы 240/415В, должны привести напряжение к уровню 230/400 В +10% -6%. В конце данного переходного периода, допустимое напряжение должно быть в диапазоне 230/400 В ±10%, после чего будет рассматриваться дальнейшее сужение этого диапазона допуска. Описанные выше требования также применяются на имеющиеся системы напряжением 380/660В, которые должны быть приведены к рекомендуемому значению 400/690В.

Рис. В1 : Стандартные напряжения между 100В и 1000В (IEC 60038 Редакция 6.2 2002-07)

Серия 1 Максимальное напряжение для оборудования (кВ)	Номинальное напряжение сети (кВ)		Серия 2 Максимальное напряжение для оборудования (кВ)	Номинальное напряжение сети (кВ)
	3 ⁽¹⁾	3 ⁽¹⁾		
3.6 ⁽¹⁾	3.3 ⁽¹⁾	3 ⁽¹⁾	4.40 ⁽¹⁾	4.16 ⁽¹⁾
7.2 ⁽¹⁾	6.6 ⁽¹⁾	6 ⁽¹⁾	–	–
12	11	10	–	–
–	–	–	13.2 ⁽²⁾	12.47 ⁽²⁾
–	–	–	13.97 ⁽²⁾	13.2 ⁽²⁾
–	–	–	14.52 ⁽¹⁾	13.8 ⁽¹⁾
(17.5)	–	(15)	–	–
24	22	20	–	–
–	–	–	26.4 ⁽²⁾	24.94 ⁽²⁾
36 ⁽³⁾	33 ⁽³⁾	–	–	–
–	–	–	36.5	34.5
40.5 ⁽³⁾	–	35 ⁽³⁾	–	–

Такие системы обычно являются трехпроводными сетями, если иного не указано.

Указанные уровни являются напряжениями между фазами.

Уровни, указанные в скобках, являются нежелательными значениями.

Эти значения не рекомендуется использовать для новых сетей, которые будут построены в будущем.

Примечание 1: Рекомендуется, чтобы в любой стране отношение между двумя номинальными напряжениями, расположенными рядом в порядке возрастания, должно быть не менее двух

(т.е. $\frac{U_{j \rightarrow k}}{U_{i \rightarrow k}} \geq 2$).

Примечание 2: В нормальной сети Серии 1, максимальное и минимальное напряжение не должны отличаться на более чем 10% от номинального напряжения сети. В нормальной сети Серии 2, максимальное напряжение не должно отличаться на более чем 5%, а минимальное напряжение не должно отличаться на более чем 10% от номинального напряжения сети.

(1) Эти значения не должны использоваться для общественных распределительных сетей.

(2) Такие сети обычно являются четырехпроводными сетями.

(3) Унификация этих значений находится в процессе рассмотрения.

Рис. В2 : Стандартные напряжения свыше 1 кВТ и не превышающие 35 кВ
(IEC 60038 Редакция 6.2 2002-0)

2.2 Нормы и правила

В большинстве стран, электрические установки должны соответствовать нескольким нормативным актам и правилам, выпущенным государственными законодательными органами или признанными частными организациями. Перед началом проектирования установки, необходимо принять во внимание подобные местные ограничения.

2.3 Стандарты

Данное руководство основано на соответствующих стандартах IEC (Международная электротехническая комиссия), в особенности, на стандарте IEC 60364. Стандарт IEC 60364 был разработан медицинскими и инженерными экспертами от всех стран мира, путем сравнения их опыта на международном уровне. В настоящее время, принципы безопасности IEC 60364 и 60479-1 являются основой для большинства стандартов по электричеству во всем мире (см. таблицу ниже и следующую страницу).

IEC 60038	Стандартные напряжения
IEC 60076-2	Трансформаторы силовые - Повышение температуры
IEC 60076-3	Трансформаторы силовые - Уровни изоляции и проверка диэлектрических свойств
IEC 60076-5	Трансформаторы силовые - Стойкость к короткому замыканию
IEC 60076-10	Трансформаторы силовые - Определение уровней звука
IEC 60146	Преобразователи полупроводниковые - Общие требования и преобразователи с линейной коммутацией
IEC 60255	Реле электрические
IEC 60265-1	Выключатели высоковольтные - Выключатели высоковольтные на номинальные напряжения свыше 1 до 52 кВ
IEC 60269-1	Предохранители плавкие низковольтные - Общие требования
IEC 60269-2	Предохранители плавкие низковольтные - Дополнительные требования к плавким предохранителям, используемым неквалифицированным персоналом (главным образом, бытового и аналогичного назначения).
IEC 60282-1	Высоковольтные плавкие предохранители - Токоограничивающие плавкие предохранители.
IEC 60287-1-1	Кабели электрические - Расчет номинального тока - Уравнения номинального тока (при 100% коэффициенте нагрузки) и расчет потерь. Общие требования.
IEC 60364	Электрические установки зданий.
IEC 60364-1	Электрические установки зданий – Основные характеристики
IEC 60364-4-41	Электрические установки зданий - Мероприятия по обеспечению безопасности - Защита от электрического удара
IEC 60364-4-42	Электрические установки зданий - Мероприятия по обеспечению безопасности - Защита от тепловых воздействий
IEC 60364-4-43	Электрические установки зданий - Мероприятия по обеспечению безопасности - Защита от сверхтока
IEC 60364-4-44	Электрические установки зданий - Мероприятия по обеспечению безопасности - Защита от электромагнитных помех и резких отклонений напряжения
IEC 60364-5-51	Электрические установки зданий – Отбор и монтаж электрического оборудования – Общие правила
IEC 60364-5-52	Электрические установки зданий – Отбор и монтаж электрического оборудования – Системы проводки
IEC 60364-5-53	Электрические установки зданий – Отбор и монтаж электрического оборудования – Изоляция, коммутационная аппаратура и механизмы управления.
IEC 60364-5-54	Электрические установки зданий – Отбор и монтаж электрического оборудования – Заземляющие устройства
IEC 60364-5-55	Электрические установки зданий – Отбор и монтаж электрического оборудования – Прочее оборудование
IEC 60364-6-61	Электрические установки зданий – Проверка и тестирование - Начальная проверка
IEC 60364-7-701	Электрические установки зданий - Требования к специальным установкам и особым помещениям. - Помещения для ванных и душевых комнат
IEC 60364-7-702	Электрические установки зданий - Требования к специальным установкам и особым помещениям. – Плавательные бассейны и другие бассейны.
IEC 60364-7-703	Электрические установки зданий - Требования к специальным установкам и особым помещениям – Помещения, содержащие нагреватели для сауны.
IEC 60364-7-704	Электрические установки зданий - Требования к специальным установкам и особым помещениям – Установки на строительных площадках и площадках по сносу зданий.
IEC 60364-7-705	Электрические установки зданий - Требования к специальным установкам и особым помещениям – Электрические установки для сельскохозяйственных и садовых участков.
IEC 60364-7-706	Электрические установки зданий - Требования к специальным установкам и особым помещениям – Стесненные помещения с проводящим полом, стенами и потолком
IEC 60364-7-707	Электрические установки зданий - Требования к специальным установкам и особым помещениям – Требования к заземлению при установке оборудования для обработки данных.
IEC 60364-7-708	Электрические установки зданий - Требования к специальным установкам и особым помещениям - Электрические установки на стоянках для жилых прицепов и внутри жилых прицепов.
IEC 60364-7-709	Электрические установки зданий - Требования к специальным установкам и особым помещениям – Шлюпочные гавани и прогулочные суда
IEC 60364-7-710	Электрические установки зданий - Требования к специальным установкам и особым помещениям – Медицинские помещения
IEC 60364-7-711	Электрические установки зданий - Требования к специальным установкам и особым помещениям - Выставки, показы и стенды.
IEC 60364-7-712	Электрические установки зданий - Требования к специальным установкам и особым помещениям - Системы питания с использованием фотоэлектрических солнечных батарей.
IEC 60364-7-713	Электрические установки зданий - Требования к специальным установкам и особым помещениям – Мебель
IEC 60364-7-714	Электрические установки зданий - Требования к специальным установкам и особым помещениям – Наружные осветительные установки
IEC 60364-7-715	Электрические установки зданий - Требования к специальным установкам и особым помещениям – Осветительные установки сверхнизкого напряжения.
IEC 60364-7-717	Электрические установки зданий - Требования к специальным установкам и особым помещениям – Мобильные или перемещаемые установки
IEC 60364-7-740	Электрические установки зданий - Требования к специальным установкам и особым помещениям - Временные электрические установки для конструкций, средств развлечения и палаток на ярмарочных площадках, в парках с аттракционами и цирках.
IEC 60427	Выключатели переменного тока высокого напряжения.
IEC 60439-1	Аппаратура коммутационная и механизмы управления низковольтные комплектные - Узлы, подвергаемые частичным или полным типовым испытаниям.
IEC 60439-2	Аппаратура коммутационная и механизмы управления низковольтные комплектные - Частные требования к системам сборных шин (шинопроводам).
IEC 60439-3	Аппаратура коммутационная и механизмы управления низковольтные комплектные – Частные требования к коммутационной аппаратуре и механизмам управления, устанавливаемым в местах, где к ним имеется доступ неквалифицированных лиц. – Распределительные щиты.
IEC 60439-4	Аппаратура коммутационная и механизмы управления низковольтные комплектные - Частные требования к установкам на строительных площадках.
IEC 60446	Система взаимодействия "человек-машина" - Основные принципы и принципы обеспечения безопасности работы с помощью маркировки и идентификации - Цветовая и цифровая идентификация проводов.
IEC 60439-5	Аппаратура коммутационная и механизмы управления низковольтные комплектные - Частные требования к комплектам, устанавливаемым в общественных местах на открытом воздухе - Кабельные распределительные шкафы для распределения мощности в сети.
IEC 60479-1	Воздействия тока на людей и домашний скот – Общие положения

Продолжение на следующей странице

IEC 60479-2	Воздействия тока на людей и домашний скот – Специальные аспекты
IEC 60479-3	Воздействия тока на людей и домашний скот - Воздействия тока, проходящего через тело домашнего скота.
IEC 60529	Степени защиты, обеспечиваемые корпусами (Код IP)
IEC 60644	Вставки плавкие предохранителей высокого напряжения для цепей с двигателями. Технические условия
IEC 60664	Координация изоляции для оборудования в низковольтных системах.
IEC 60715	Аппараты коммутационные низковольтные и механизмы управления. Стандартизованные размеры для монтажа на направляющих для механической поддержки электроприборов.
IEC 60724	Кабели электрические на номинальные напряжения 1 кВ (Um=1,2кВ) и 3 кВ (Um=3,6кВ). Температурные пределы короткого замыкания.
IEC 60755	Устройства защитные, работающие по принципу остаточного тока. Общие требования.
IEC 60787	Вставки плавкие предохранителей высокого напряжения для цепей с трансформаторами. Руководство по выбору.
IEC 60831	Конденсаторы шунтирующие силовые самовосстанавливающегося типа для систем переменного тока на номинальное напряжение до 1000 В включительно - Общие требования - Рабочие характеристики, испытания и номинальные параметры - Требования по безопасности. - Руководство по установке и эксплуатации.
IEC 60947-1	Аппаратура коммутационная и механизмы управления низковольтные комплектные – Общие правила
IEC 60947-2	Аппаратура коммутационная и механизмы управления низковольтные комплектные – Автоматические выключатели.
IEC 60947-3	Аппаратура коммутационная и механизмы управления низковольтные комплектные – Выключатели, разъединители, выключатели-разъединители и предохранители-разъединители.
IEC 60947-4-1	Аппаратура коммутационная и механизмы управления низковольтные комплектные - Контактторы и пускатели электродвигателей. - Электромеханические контактторы и пускатели электродвигателей.
IEC 60947-6-1	Аппаратура коммутационная и механизмы управления низковольтные комплектные - Многофункциональное оборудование. - Оборудование для автоматического переключения питания.
IEC 61000	Электромагнитная совместимость.
IEC 61140	Защита от поражения электрическим током. Общие аспекты, связанные с электроустановками и электрооборудованием.
IEC 61557-1	Сети электрические распределительные низковольтные до 1000В переменного тока и 1500В постоянного тока. Безопасность. - Оборудование для испытания, измерения или контроля средств защиты. - Общие требования.
IEC 61557-8	Сети электрические распределительные низковольтные до 1000В переменного тока и 1500В постоянного тока. Безопасность. - Оборудование для испытания, измерения или контроля средств защиты.
IEC 61557-9	Сети электрические распределительные низковольтные до 1000В переменного тока и 1500В постоянного тока. Безопасность. - Оборудование для испытания, измерения или контроля средств защиты в информационных системах.
IEC 61558-2-6	Трансформаторы силовые, блоки питания и аналогичная продукция. Безопасность. - Частные требования к изолирующим трансформаторам безопасности общего назначения.
IEC 62271-1	Высоковольтные комплектные распределительные устройства (КРУ) и механизмы управления. Общие технические условия и стандарты.
IEC 62271-100	Высоковольтные комплектные распределительные устройства (КРУ) и механизмы управления - Высоковольтные автоматические выключатели переменного тока.
IEC 62271-102	Высоковольтные комплектные распределительные устройства (КРУ) и механизмы управления - Высоковольтные разъединители и заземлители переменного тока.
IEC 62271-105	Высоковольтные комплектные распределительные устройства (КРУ) и механизмы управления - Предохранители-разъединители переменного тока.
IEC 62271-200	Высоковольтные комплектные распределительные устройства (КРУ) и механизмы управления - Комплектные распределительные устройства переменного тока в металлическом кожухе, рассчитанные на номинальные напряжения свыше 1кВ до 52кВ включительно.
IEC 62271-202	Подстанции высокого/низкого напряжения сборные.

(Конец списка)

2.4 Качество и безопасность электроустановки

При выполнении процедур контроля, качество и безопасность могут быть обеспечены, если:

- Была проведена надлежащая начальная проверка соответствия электроустановки стандартам и установленным правилам.
- Электрооборудование удовлетворяет стандартам.
- Регулярно выполняются периодические проверки установки, рекомендованные производителем оборудования.

2.5 Первоначальная проверка установки

Перед подключением электроустановки к сети питания должны быть выполнены электрические испытания установки, проведены визуальные проверки оборудования контролирующим органом, или его уполномоченным агентом.

Эти проверки проводятся в соответствии с местными (правительственными и/или корпоративными) установленными правилами и законодательством, которые могут отличаться в различных странах. Основные принципы этих правил, однако, являются общими, и основаны на соблюдении правил безопасности при разработке и реализации электроустановки.

Стандарт IEC 60364-6-61 и другие стандарты, включенные в данное руководство, основаны на международном соглашении относительно таких проверок, призванных учесть все меры безопасности и одобренную практику реализации электроустановок, которая обычно используется в жилых, коммерческих и (большинстве) промышленных зданий. Во многих отраслях промышленности, однако, имеются дополнительные требования, связанные с особыми производствами (нефть, уголь, природный газ и т.д.). Подобные дополнительные требования не рассматриваются в данном руководстве.

Электрические испытания, проводимые перед вводом в эксплуатацию, и визуальные проверки электроустановок в зданиях обычно включают в себя следующее:

- Измерение сопротивления изоляции всех кабелей и проводки в уже собранной установке, измерение сопротивления изоляции между фазами, а также между фазами и землей.
- Проверка непрерывности и измерение проводимости защитных эквипотенциальных и заземляющих проводов.

- Измерение сопротивления заземляющих электродов относительно земли.
- Проверка работы внутренних блокировок, если таковые имеются.
- Проверить в цепи подключенных питательных розеток на соответствие разрешенному количеству
- Проверка выбранных сечений кабелей и проводников по условиям токов короткого замыкания с учетом действия защиты, а также на их соответствие условиям прокладки (в воздухе, кабельном канале и т.д.)
- Проверка надлежащего заземления всех открытых и внешних металлических частей (там, где это применимо).
- Проверка допустимых расстояний в ванных комнатах и т.д.

Эти тесты и проверки являются базовыми (но не всеобъемлющими) для большинства электроустановок, тогда как принятые правила для частных случаев предусматривают множество дополнительных проверок, например: Установки с заземлением типа TN, TT или IT, установки на основе изоляции класса 2, цепи SELV - безопасное сверхнизкое напряжение - БСНН, специальные объекты, и т.д.

Целью данного руководства является привлечь внимание к особенностям различных типов установок и изложить основные правила, которые необходимо соблюдать, чтобы достичь удовлетворительного уровня качества, позволяющего обеспечить безопасную и бесперебойную работу оборудования. Методы, которые рекомендуются в данном руководстве и которые, при необходимости, могут изменяться в соответствии с возможными изменениями в оборудовании, призваны удовлетворить всем требованиям ввода в эксплуатацию.

2.6 Периодическое проверочное испытание установки

Во многих странах, все электроустановки в промышленных и административных зданиях, включая здания, используемые для общественных собраний, должны периодически проверяться эксплуатирующей организацией.

На **Рис. В3** показана периодичность контрольных проверок, обычно рекомендуемая для электроустановок.

Тип установки	Частота тестирования
Установки, требующие защиты персонала <ul style="list-style-type: none"> ■ Места, где существует риск разрушения, возгорания или взрыва ■ Временные установки на рабочих площадках ■ Места, где есть установки высокого напряжения ■ Ограничивающие токопроводящие помещения, где используется переносное оборудование Другие случаи 	Ежегодно
Установки в зданиях, где возможны скопления людей, и где необходима защита от возгорания и паники	Согласно типу учреждения и его вместительности
Жилые здания	Согласно местному законодательству

Рис. В1 : Стандартные напряжения между 100В и 1000В (IEC 60038 Редакция 6.2 2002-07)

Соответствие оборудования стандартам можно подтвердить несколькими способами.

2.7 Соответствие оборудования электроустановки стандартам и техническим условиям.

Аттестация соответствия

Соответствие оборудования соответствующим стандартам можно подтвердить следующим образом:

- Официальной маркировкой о соответствии, выданной сертификационным органом, или
- сертификатом соответствия, который выдается сертифицирующим органом, или
- Заявлением о соответствии от производителя

Первые два решения обычно не используются для высоковольтного оборудования.

Заявление о соответствии

Там, где оборудование используется обученным или проинструктированным персоналом, декларация производителя о соответствии (входящая в техническую документацию) обычно признается в качестве приемлемого подтверждения. Там, где компетенция производителя подвергается сомнению, заявление производителя может быть усилено сертификатом соответствия.

Примечание: Маркировка CE

В Европе, европейские директивы требуют от производителя или его уполномоченного представителя прикреплять ярлык с маркировкой CE под собственную ответственность производителя. Это означает, что:

- Продукция отвечает требованиям закона
- Продукция предназначена для продажи на европейском рынке.

Маркировка CE не является знаком страны происхождения, и не является знаком соответствия стандарту.

Знак соответствия стандарту

Знаки соответствия стандарту прикрепляются на приборы и оборудование, которое обычно используется лицами, не прошедшими инструктаж (то есть, на бытовых приборах домашнего обихода). Знак соответствия стандарту выдается сертифицирующим органом, если оборудование отвечает требованиям применимого стандарта и иным правилам системы управления качеством производителя.

Сертификат качества

Стандарты определяют несколько методов обеспечения качества, которые более соответствуют различным ситуациям, чем различным уровням качества.

Гарантия качества

Лаборатория по проверке образцов продукции на основе определенных тестов не может сертифицировать качество всей продукции:

Такие тесты называются типовыми тестами. В некоторых тестах на соответствие стандартам образцы уничтожаются (например, тестирование плавких предохранителей).

Только производитель может сертифицировать, что изготовленная продукция на самом деле имеет указанные характеристики.

Сертификат гарантии качества призван дополнить начальную декларацию или сертификацию о соответствии.

Как доказательство того, что для обеспечения качества продукции были приняты все необходимые меры, производитель приобретает сертификат на свою систему контроля качества, которая контролирует производство продукции. Такие сертификаты выдаются организациями, которые специализируются на контроле качества, и основаны на международном стандарте ISO 9000.

Эти стандарты определяют три модели систем контроля качества, которые более соответствуют различным ситуациям, чем различным уровням качества.

- Модель 3 обеспечивает качество путем проверки уже готовой продукции.
- Модель 2 включает в себя, в дополнение к проверкам готовой продукции, контроль над процессом производства. Например, такой метод применяется при производстве плавких предохранителей, так как работу предохранителя нельзя проверить без его разрушения.
- Модель 1 соответствует модели 2, но с дополнительным требованием тщательной проверки качества процесса проектирования, например, в тех случаях, когда не подразумевается изготовления и тестирования прототипа (в случае продукта, выполненного на заказ, по отдельным техническим условиям).

2.8 Окружающая среда

Системы экологического менеджмента могут сертифицироваться независимым органом, если они удовлетворяют требованиям стандарта ISO 14001. Данный тип сертификации в основном касается производственных помещений, но также может применяться к местам, где происходит разработка продукции.

Такой подход к разработке продукции, иногда называемый «эко-дизайном», выражает философию устойчивого развития, когда целью разработки продукции и услуг является наилучшее удовлетворение нужд пользователей, при одновременном снижении отрицательного воздействия на окружающую среду в течение всего срока использования продукции. Методы, используемые для данной цели, ведут к выбору такой архитектуры оборудования, компонентов и материалов, которые позволяют учесть влияние продукции на окружающую среду за весь период жизненного цикла продукции (начиная с добычи полезных ископаемых до утилизации продукции), то есть производство, транспортировку, распространение, утилизацию и т.д.

В Европе опубликовано две директивы, под названием:

- Директива RoHS (Ограничение использования вредных веществ), вступающая в силу в июле 2006 г. (директива вступила в силу 13 февраля 2003 г., а датой применения является 1 июля 2006 г.), запрещает применение в продукции шести вредных веществ: свинец, ртуть, кадмий, шестивалентный хром, полибромированный бифенил (PBB) или полибромированный дифениловый эфир (PBDE).

■ Директива WEEE (Отходы электрического и электронного оборудования), вступающая в силу в августе 2005, 2006 г. (директива вступила в силу 13 февраля 2003 г., а датой применения является 13 августа 2006 г.), относится к утилизации и переработке оборудования домашнего и не домашнего применения. В других частях мира, некоторые новые законодательные акты направлены на эти же цели.

В дополнение к действиям производителя, направленным на эко-дизайн продукции, вклад всей электроустановки в устойчивое развитие можно существенно повысить путем соответствующего проектирования установки. На самом деле, было показано, что оптимизированная концепция установки, учитывающая рабочие условия, расположение подстанций высокого/низкого напряжения, структуру распределения (распределительный щит, шинопроводы, кабели) может существенно снизить нагрузку на окружающую среду (истощение запасов сырья, расход энергии, смерть живых организмов). В главе E описано расположение подстанции и главный распределительный щит для низкого напряжения.

3 Установленные мощности нагрузки. Характеристики

Исследование потребности в реальной полной мощности для различных нагрузок: необходимый предварительный шаг в проектировании установки низкого напряжения.

Номинальная мощность (P_n) двигателя в кВт указывает его номинальную эквивалентную механическую мощность.

Полная мощность (S) двигателя в кВА, является функцией выработанной энергии, КПД двигателя и коэффициента мощности.

$$S = \frac{P_n}{\eta \cos \varphi}$$

Исследование реальных значений полной мощности, потребляемой каждой нагрузкой, позволяет установить:

- Декларированную потребность в мощности, которая определяется в контракте на поставку электроэнергии.
- Номинальная мощность трансформатора высокого/низкого напряжения, там, где это применимо (с допуском на ожидаемое увеличение нагрузки).
- Уровни токовой нагрузки для каждого распределительного щита.

3.1 Асинхронные двигатели

Потребляемый ток

Ток полной нагрузки I_a, потребляемый двигателем, вычисляется по следующей формуле:

■ 3-фазный двигатель: $I_a = P_n \times 1,000 / (\sqrt{3} \times U \times \eta \times \cos \varphi)$

■ 1-фазный двигатель: $I_a = P_n \times 1,000 / (U \times \eta \times \cos \varphi)$,

где

I_a: потребляемый ток (в амперах)

P_n: номинальная мощность (в кВт активной мощности)

U: напряжение между фазами для 3-фазных двигателей и напряжение между клеммами для однофазных двигателей (в вольтах). Однофазный двигатель может быть подсоединен фаза-нейтраль или фаза-фаза.

η: КПД устройства, то есть выход кВт / вход кВт

cos φ: коэффициент мощности, то есть вход кВт / вход кВА

Сверхпереходный ток и установка защиты

■ Пиковое значение сверхпереходного тока может быть очень высоким, обычное значение превышает в 12–15 раз среднеквадратичное значение номинального тока I_{nm}. Иногда это значение может превышать номинальный ток I_{nm} в 25 раз.

■ Автоматические выключатели Merlin Gerin, контакторы Telemecanique и тепловые реле разработаны таким образом, чтобы выдерживать запуск двигателя с очень высоким значением сверхпереходного тока (пиковое значение сверхпереходного тока может до 19 раз превышать номинальный ток I_{nm}).

■ Если во время запуска неожиданно произойдет аварийное отключение, вызванное защитой по току, это означает, что пусковой ток превышает нормальные пределы. В результате этого, могут быть достигнуты пределы стойкости коммутационного оборудования, уменьшается время службы, и даже могут быть выведены из строя некоторые устройства. Чтобы избежать такой ситуации, рекомендуется рассмотреть увеличение параметров коммутационного оборудования.

■ Распредустройства фирмы Merlin Gerin и Telemecanique спроектированы так, чтобы обеспечить защиту контактора пуска двигателя при коротких замыканиях. В соответствии с имеющимися рисками, таблицы показывают комбинации автоматического выключателя, контактора и термо-реле, позволяющие достичь координацию 1-го или 2-го типа (см. главу M).

Пусковой ток двигателя

Хотя на рынке можно встретить двигатели с высоким КПД, на практике их пусковые токи приблизительно равны пусковым токам стандартных двигателей.

Использование соединения типа звезда-треугольник, статического устройства плавного пуска или конвертера скорости привода позволяет снизить значение пускового тока (Например: 4 I_a вместо 7,5 I_a).

Компенсация реактивной мощности потребляемой асинхронными двигателями

В общем случае, снижение тока, подаваемого на асинхронные двигатели, дает очевидные преимущества, связанные с техническими и финансовыми причинами. Это может быть достигнуто путем использования конденсаторов, без изменения мощности двигателя.

Применение этого принципа к работе асинхронных двигателей обычно называется «улучшением коэффициента мощности» или «коррекцией коэффициента мощности».

Как описано в главе K, потребность в полной мощности (кВА), подаваемой на асинхронный двигатель, может быть значительно снижена использованием шунтирующих конденсаторов. Снижение входной мощности означает соответствующее снижение входного тока (так как напряжение остается постоянным).

3 Установленные мощности нагрузки. Характеристики

Компенсацию реактивной мощности особенно рекомендуется проводить для двигателей, работающих в течение длительного времени при сниженной мощности.

Как было показано выше, $\cos \varphi = \frac{\text{вход кВт}}{\text{вход кВА}}$, поэтому снижения значения входной мощности кВА увеличит (то есть, улучшит) значение $\cos \varphi$.

Ток, подаваемый на двигатель, после коррекции коэффициента мощности, вычисляется по формуле:

$$I = I_a \frac{\cos \varphi}{\cos \varphi'}$$

где $\cos \varphi$ - коэффициент мощности до компенсации, а $\cos \varphi'$ - коэффициент мощности после компенсации, I_a - первоначальный ток.

На **рис. В4** даны, в зависимости от номинальной мощности двигателя, стандартные значения тока двигателя для различных величин номинального напряжения.

kW	hp	230 V	380 - 415 V	400 V	440 - 480 V	500 V	690 V
		A	A	A	A	A	A
0.18	-	1.0	-	0.6	-	0.48	0.35
0.25	-	1.5	-	0.85	-	0.68	0.49
0.37	-	1.9	-	1.1	-	0.88	0.64
-	1/2	-	1.3	-	1.1	-	-
0.55	-	2.6	-	1.5	-	1.2	0.87
-	3/4	-	1.8	-	1.6	-	-
-	1	-	2.3	-	2.1	-	-
0.75	-	3.3	-	1.9	-	1.5	1.1
1.1	-	4.7	-	2.7	-	2.2	1.6
-	1-1/2	-	3.3	-	3.0	-	-
-	2	-	4.3	-	3.4	-	-
1.5	-	6.3	-	3.6	-	2.9	2.1
2.2	-	8.5	-	4.9	-	3.9	2.8
-	3	-	6.1	-	4.8	-	-
3.0	-	11.3	-	6.5	-	5.2	3.8
3.7	-	-	-	-	-	-	-
4	-	15	9.7	8.5	7.6	6.8	4.9
5.5	-	20	-	11.5	-	9.2	6.7
-	7-1/2	-	14.0	-	11.0	-	-
-	10	-	18.0	-	14.0	-	-
7.5	-	27	-	15.5	-	12.4	8.9
11	-	38.0	-	22.0	-	17.6	12.8
-	15	-	27.0	-	21.0	-	-
-	20	-	34.0	-	27.0	-	-
15	-	51	-	29	-	23	17
18.5	-	61	-	35	-	28	21
-	25	-	44	-	34	-	-
22	-	72	-	41	-	33	24
-	30	-	51	-	40	-	-
-	40	-	66	-	52	-	-
30	-	96	-	55	-	44	32
37	-	115	-	66	-	53	39
-	50	-	83	-	65	-	-
-	60	-	103	-	77	-	-
45	-	140	-	80	-	64	47
55	-	169	-	97	-	78	57
-	75	-	128	-	96	-	-
-	100	-	165	-	124	-	-
75	-	230	-	132	-	106	77
90	-	278	-	160	-	128	93
-	125	-	208	-	156	-	-
110	-	340	-	195	-	156	113
-	150	-	240	-	180	-	-
132	-	400	-	230	-	184	134
-	200	-	320	-	240	-	-
150	-	-	-	-	-	-	-
160	-	487	-	280	-	224	162
185	-	-	-	-	-	-	-
-	250	-	403	-	302	-	-
200	-	609	-	350	-	280	203
220	-	-	-	-	-	-	-

Рис. В4: Номинальная рабочая мощность и токи (продолжение на следующей странице)

kW	hp	230 V	380 - 415 V	400 V	440 - 480 V	500 V	690 V
		A	A	A	A	A	A
-	300	-	482	-	361	-	-
250	-	748	-	430	-	344	250
280	-	-	-	-	-	-	-
-	350	-	560	-	414	-	-
-	400	-	636	-	474	-	-
300	-	-	-	-	-	-	-
315	-	940	-	540	-	432	313
-	540	-	-	-	515	-	-
335	-	-	-	-	-	-	-
355	-	1061	-	610	-	488	354
-	500	-	786	-	590	-	-
375	-	-	-	-	-	-	-
400	-	1200	-	690	-	552	400
425	-	-	-	-	-	-	-
450	-	-	-	-	-	-	-
475	-	-	-	-	-	-	-
500	-	1478	-	850	-	680	493
530	-	-	-	-	-	-	-
560	-	1652	-	950	-	760	551
600	-	-	-	-	-	-	-
630	-	1844	-	1060	-	848	615
670	-	-	-	-	-	-	-
710	-	2070	-	1190	-	952	690
750	-	-	-	-	-	-	-
800	-	2340	-	1346	-	1076	780
850	-	-	-	-	-	-	-
900	-	2640	-	1518	-	1214	880
950	-	-	-	-	-	-	-
1000	-	2910	-	1673	-	1339	970

Рис. В4: Номинальная рабочая мощность и токи (окончание)

3.2 Нагревательные приборы (активное сопротивление) и лампы накаливания (обычные или галогенные)

Потребление тока нагревательными приборами или лампами накаливания можно легко получить из значения номинальной мощности P_n , указанной производителем (то есть, $\cos \varphi = 1$) (см. Рис. В5).

Номинальная мощность (кВт)	Потребление тока (А)			
	1-фаза 127 В	1-фаза 230 В	3-фазы 230 В	3-фазы 400 В
0.1	0.79	0.43	0.25	0.14
0.2	1.58	0.87	0.50	0.29
0.5	3.94	2.17	1.26	0.72
1	7.9	4.35	2.51	1.44
1.5	11.8	6.52	3.77	2.17
2	15.8	8.70	5.02	2.89
2.5	19.7	10.9	6.28	3.61
3	23.6	13	7.53	4.33
3.5	27.6	15.2	8.72	5.05
4	31.5	17.4	10	5.77
4.5	35.4	19.6	11.3	6.5
5	39.4	21.7	12.6	7.22
6	47.2	26.1	15.1	8.66
7	55.1	30.4	17.6	10.1
8	63	34.8	20.1	11.5
9	71	39.1	22.6	13
10	79	43.5	25.1	14.4

Рис. В5: Потребления тока нагревательными приборами на основе сопротивления и лампами накаливания (обычными или галогенными)

Токи находятся из уравнений:

■ для 3 фаз: $I_a = \frac{P_n^{(1)}}{\sqrt{3}U}$

■ для 1 фазы: $I_a = \frac{P_n^{(1)}}{U}$

где U - напряжение между клеммами оборудования.

Использование инертного газа в лампе накаливания позволяет получить более концентрированный источник света. Световая мощность при этом увеличивается, а срок службы лампы увеличивается в два раза.

Примечание: В момент включения лампы, холодная нить накала приводит к очень кратковременному, но интенсивному скачку тока.

Флуоресцентные лампы и связанное с ними оборудование

Мощность P_n (в ваттах), указанная на трубке флуоресцентной лампы, не включает в себя мощность, расходуемую на балластное сопротивление.

Ток вычисляется по следующей формуле:

$$I_a = \frac{P_{ballast} + P_n}{U \cos \varphi}$$

Если для балластного сопротивления не указано никакого значения потери мощности, можно использовать значение, равное 25% от P_n.

Стандартные лампы дневного света в виде трубки

Мощность P_n (в ваттах), указанная на трубке лампы дневного света, не включает в себя мощность, расходуемую на балластное сопротивление.

Ток, потребляемый всей цепью, находится по формуле:

$$I_a = \frac{P_{ballast} + P_n}{U \cos \varphi}$$

где U - напряжение, поданное на лампу, вместе со связанным с ней оборудованием.

Где (если иного не указано):

- cos φ = 0.6 без конденсатора коррекции⁽²⁾ коэффициента мощности (PF)
- cos φ = 0.86 с коррекцией⁽²⁾ PF (одна или двойная трубка)
- cos φ = 0.96 для электронного балластного сопротивления.

Если для балластного сопротивления не указано никакого значения потери мощности, можно использовать значение, равное 25% от P_n.

На **рис. B6** даны значения различных видов балластного сопротивления.

Расположение ламп, стартеров и балластных сопротивлений	Мощность трубки (Вт) ⁽³⁾	Current (A) at 230 V			Длина трубки (см)
		Магнитное балластное сопротивление Без конденсатора коррекции PF	С конденсатором коррекции PF	Электронное балластное сопротивление	
Одна трубка	18	0.20	0.14	0.10	60
	36	0.33	0.23	0.18	120
	58	0.50	0.36	0.28	150
Двойные трубки	2 x 18		0.28	0.18	60
	2 x 36		0.46	0.35	120
	2 x 58		0.72	0.52	150

(3) Мощность в ваттах, указанная на трубке

Рис. B6: Потребление тока и мощности лампами-трубками дневного света обычных размеров (230 В – 50 Гц)

Компактные лампы дневного света

Компактные лампы дневного света имеют те же характеристики экономии энергии и срока службы, как и классические лампы. Они обычно располагаются в общественных местах, которые постоянно освещены (например: коридоры, холлы, бары и т.д.) и могут быть смонтированы в местах, которые обычно освещаются лампами накаливания (см **Рис B7** на следующей странице).

(1) I_a - амперы; U - вольты. P_n - ватты. Если P_n – в кВт, умножьте уравнение на 1000.

(2) «Коррекция коэффициента мощности» часто называется «компенсацией» в терминологии газоразрядных ламп. Cos φ приблизительно равен 0,95 (нулевые значения V и I находятся почти в фазе), но коэффициент мощности равен 0,5, из-за импульсной формы тока, пик которой происходит «поздно» в каждом полупериоде.

3 Установленные мощности нагрузки. Характеристики

B14

Тип лампы	Мощность лампы (Вт)	Ток 230 В (А)
Раздельный баррелет	10	0.080
	18	0.110
	26	0.150
Интергрированный баррелет	8	0.075
	11	0.095
	16	0.125
	21	0.170

Рис. В7: Потребление тока и мощности компактными лампами дневного света (230В – 50 Гц)

Мощность в ваттах, указанная на трубке лампы дневного света, не включает в себя мощность, расходуемую на балластное сопротивление.

Газоразрядные лампы

На Рис В8 показан ток, потребляемый всем устройством, включая все связанное с ним дополнительное оборудование.

Действие таких ламп основано на световом электрическом разряде через газ или пар металлического компонента, который находится в герметически закрытом прозрачном корпусе при определенном давлении. Такие лампы имеют долгое продолжительное время включения, в течение которого ток I_a больше, чем номинальные ток I_n . Потребление тока и мощности дано для различных типов ламп (типовые средние значения, которые могут слегка отличаться у разных производителей).

Тип лампы (Вт)	Мощность (Вт) при		Ток I_n (А)		Старт		Световой КПД (люмен на ватт)	Средний срок службы лампы (ч)	Сфера применения
	230 В	400 В	Без коррекции PF 230 В	С коррекцией PF 400 В	I_a/I_n	Период (мин)			
Натриевые лампы высокого давления									
50	60		0.76	0.3	1.4 - 1.6	4 - 6	80 - 120	9000	<ul style="list-style-type: none"> ■ Освещение больших залов ■ Наружные площадки ■ Освещение общественных мест
70	80		1	0.45					
100	115		1.2	0.65					
150	168		1.8	0.85					
250	274		3	1.4					
400	431		4.4	2.2					
1000	1055		10.45	4.9					
Натриевые лампы низкого давления									
26	34.5		0.45	0.17	1.1 - 1.3	7 - 15	100 - 200	8000 - 12000	<ul style="list-style-type: none"> ■ Освещение автодорог ■ Аварийное освещение станций ■ Освещение платформ, складов
36	46.5			0.22					
66	80.5			0.39					
91	105.5			0.49					
131	154			0.69					
Ртутные и металлогалогеновые лампы									
70	80.5		1	0.40	1.7	3 - 5	70 - 90	6000	<ul style="list-style-type: none"> ■ Освещение очень больших площадей прожекторами (например, освещение стадионов и т.д.)
150	172		1.80	0.88					
250	276		2.10	1.35					
400	425		3.40	2.15					
1000	1046		8.25	5.30					
2000	2092 2052		16.50 8.60	10.50 6					
Ртутные + лампы дневного света									
50	57		0.6	0.30	1.7 - 2	3 - 6	40 - 60	8000 - 12000	<ul style="list-style-type: none"> ■ Цеха с очень высокими потолками (холлы, ангары) ■ Уличное освещение ■ Освещение аварийных выходов⁽¹⁾
80	90		0.8	0.45					
125	141		1.15	0.70					
250	268		2.15	1.35					
400	421		3.25	2.15					
700	731		5.4	3.85					
1000	1046		8.25	5.30					
2000	2140 2080		15	11 6.1					

(1) Заменены на натриевые лампы.

Примечание: Такие лампы чувствительны к скачкам напряжения. Они гаснут, если напряжение падает до уровня менее 50% от их номинального напряжения, и зажигаются вновь только после остывания в течение около 4 минут.

Примечание: Натриевые лампы с низким давлением имеют световой КПД, превышающий КПД всех остальных типов ламп. Однако, использование этих ламп ограничено тем, что испускаемый ими желто-оранжевый свет делает практически невозможным распознавание цветов.

Рис. В8: Потребление тока газоразрядными лампами

Чтобы правильно спроектировать электроустановку, необходимо оценить реальную максимальную мощность, которая может потребоваться от системы питания.

Основывать проектирование просто на арифметической сумме всех нагрузок, существующих в сети электроустановки, было бы очень неоправданно как с экономической точки зрения, так и с точки зрения инженерной практики.

Целью данной главы является показать некоторые факторы, учитывающие неодновременность нагрузки (неодновременную работу всех устройств данной группы) и режим работы (например, электродвигатель обычно не работает на своей полной мощности) всех существующих и проектируемых нагрузок, которые можно оценить. Данные значения основаны на опыте и на данных, взятых с существующих электроустановок. В дополнение к основным данным проектирования установки для отдельных цепей, можно получить общие значения для всей установки, которые позволят определить требования для системы питания (распределительная сеть, трансформатор высокого/низкого напряжения, или генератор).

4.1 Установленная мощность (кВт)

Большинство электрических приборов и оборудования имеют маркировку, указывающую их номинальную мощность.

Установленная мощность является суммой номинальных мощностей всех устройств-потребителей в цепи электроустановки. Она не является мощностью, которая подается в действительности. Это в особенности относится к электродвигателям, где номинальное значение мощности относится к выходной мощности на приводном валу. Потребление входной мощности будет явно больше.

Лампы дневного света и газоразрядные лампы, использующие стабилизирующие балластные сопротивления, являются еще одним примером, где номинальная мощность, указанная на лампе, меньше мощности, которая реально потребляется лампой и ее балластным сопротивлением.

Методы оценки реального потребления мощности двигателями и осветительными приборами, описаны в разделе 3 данной главы.

Значение потребляемой мощности (кВт) необходимо знать, чтобы правильно выбрать номинальную мощность генератора или батареи, и для тех случаев, где нужно принимать во внимание требования приводного двигателя.

Для питания от генератора сети низкого напряжения, или через трансформатор высокого/низкого напряжения, важным значением является полная мощность в кВА.

4.2 Установленная полная мощность (кВА)

Установленная полная мощность обычно рассчитывается как арифметическая сумма мощностей (кВА) отдельных нагрузок. Максимальная предполагаемая мощность, однако, не равна общей установленной мощности.

Полная мощность, потребляемая нагрузкой (которая может состоять и лишь из одного потребителя) вычисляется на основе ее номинальной мощности (при необходимости, скорректированной, как описано выше для двигателей и др.) и следующих коэффициентов.

η = КПД прибора = выход кВт / вход кВт

$\cos \varphi$ = коэффициент мощности = кВт / кВа

Потребность в полной мощности для нагрузки (кВА)

$$S = P_n / \eta \times \cos \varphi$$

На основе этого значения, полный ток I_a (А)⁽¹⁾ потребляемый нагрузкой, будет

$$\blacksquare I_a = \frac{S \times 10^3}{V}$$

для нагрузки, с соединением 1 фаза-нейтраль.

$$\blacksquare I_a = \frac{S \times 10^3}{\sqrt{3} \times V}$$

для трех-фазной сбалансированной нагрузки, где:

V = напряжение фаза-нейтраль (вольт)

U = напряжение фаза-фаза (вольт)

Можно отметить, что, строго говоря, полная мощность не является арифметической суммой вычисленных номинальных мощностей отдельных нагрузок (кроме случая, когда все нагрузки имеет одинаковый коэффициент мощности).

Установленная мощность является суммой номинальных мощностей всех устройств-потребителей мощности в электроустановке. Это не является мощностью, которая подается в действительности.

(1) Для большей точности, необходимо учитывать коэффициент максимального использования, как описано ниже в п.4.

В общей практике, однако, производится простое арифметическое суммирование, результат которого даст значение полной мощности, которое превышает истинное значение на приемлемый «расчетный допуск»

Когда некоторые из характеристик нагрузки неизвестны, можно использовать значения, показанные на Рис. В9 на следующей странице, которые дают очень приблизительную оценку потребностей в мощности в вольтах-амперах (отдельные нагрузки обычно слишком малы, чтобы выражаться в кВА или кВт).

Оценки нагрузки осветительных приборов основаны в предположении освещения площади пола 500м²

Освещение лампами дневного света (с корректировкой на $\cos \phi = 0.86$)		
Сфера применения	Оценка в (ВА/м ²) для лампы дневного света с промышленным рефлектором ⁽¹⁾	Средний уровень освещения (св.поток = лм/м ²)
Дороги и шоссе, складские площади, периодические работы	7	150
Работы с подъемом тяжелых грузов: производство и сборка очень больших деталей	14	300
Ежедневные работы: офисные работы	24	500
Точные работы: чертежные офисы, высокоточные работы по сборке	41	800
Цепи питания		
Сфера применения	Оцененная мощность (ВА/м ²)	
Насосные станции (воздушные компрессоры)	3 - 6	
Вентиляция помещений	23	
Электрические нагреватели - конвекторы: частные дома и квартиры	115 - 146 90	
Офисы	25	
Диспетчерские пункты	50	
Сборочные цеха	70	
Машинный цех	300	
Цех окраски	350	
Цех термической обработки	700	

(1) Пример: Лампа 65 Вт (не включая балластное сопротивление) световой поток 5,100 люмен (лм), световой КПД трубки = 78.5 лм/Вт.

Рис В9: Оценка установленной полной мощности

4.3 Оценка реальной требуемой максимальной мощности (кВА)

На практике, отдельные нагрузки не обязательно работают на полной мощности или одновременно. Коэффициенты k_u и k_s позволяют определить потребности в максимальной и полной мощности, которые реально требуются для определения параметров электроустановки.

Коэффициент максимального использования (k_u)

При нормальных рабочих условиях, потребление мощности отдельным потребителем нагрузки иногда меньше, чем номинальная мощность, указанная для данного прибора, и это часто встречаемое явление оправдывает применение коэффициента использования (k_u) при оценке реальной потребляемой мощности.

Этот коэффициент должен применяться для каждого отдельного потребителя нагрузки, в особенности для электродвигателей, которые редко работают на полной нагрузке.

В промышленных электроустановках этот фактор можно в среднем принять равным 0,75 для электродвигателей.

Для нагрузки, состоящей из ламп накаливания, этот коэффициент всегда равен 1.

Для цепей с розетками для подключения приборов, значение этих коэффициентов полностью зависит от типов приборов, которые питаются от данной сети.

Коэффициент одновременности (k_s)

В реальной практике, потребители нагрузки, установленные в цепи одной электроустановки, никогда не работают одновременно, то есть, всегда присутствует некоторая степень неодновременности, и этот факт учитывается при оценке требуемой мощности, путем использования коэффициента одновременности (k_s).

Коэффициент k_s применяется к каждой группе нагрузок (например, к группе, питаемой от распределительного щита и нижележащих щитков). Расчет этих коэффициентов является обязанностью проектировщика, так как это требует подробного знания установки и условий эксплуатации отдельных цепей. По этим причинам, невозможно привести точные значения, рекомендуемые для общего применения.

Коэффициент одновременности жилого здания

Некоторые типовые значения для этого случая даны на **Рис. В10** на следующей странице, и применимы для бытовых потребителей, питаемых от сети 230/400В (3 фазы, 4 провода). Для потребителей, использующих обогревательные приборы для обогрева помещений, рекомендуется коэффициент 0,8, независимо от числа пользователей.

Число нижележащих потребителей	Коэффициент одновременности (ks)
2 - 4	1
5 - 9	0.78
10 -14	0.63
15 -19	0.53
20 - 24	0.49
25 - 29	0.46
30 - 34	0.44
35 - 39	0.42
40 - 49	0.41
50 и более	0.40

Рис. В10: Коэффициенты одновременности в жилом многоквартирном доме.

Пример (см. Рис. В11):

Имеется 5-этажный жилой дом с 25 потребителями, каждый из которых имеет 6 кВА установленной мощности.

Общая установленная мощность для здания: $36 + 24 + 30 + 36 + 24 = 150$ кВА

Полная мощность, требуемая для здания: $150 \times 0.46 = 69$ кВА

Из Рисунка В10 возможно определить величину токов в различных секциях главного фидера, питающего все этажи. Для вертикально идущих кабелей, при подаче питания снизу, поперечное сечение проводников можно постепенно уменьшать по направлению к более верхним этажам. Такие изменения в сечении проводов обычно происходят через 3 этажа.

Например, ток, подаваемый в вертикальный кабель питания на уровне земли, равен:

$$\frac{150 \times 0.46 \times 10^3}{400\sqrt{3}} = 100 \text{ А}$$

ток, поступающий на третий этаж, равен:

$$\frac{(36 + 24) \times 0.63 \times 10^3}{400\sqrt{3}} = 55 \text{ А}$$

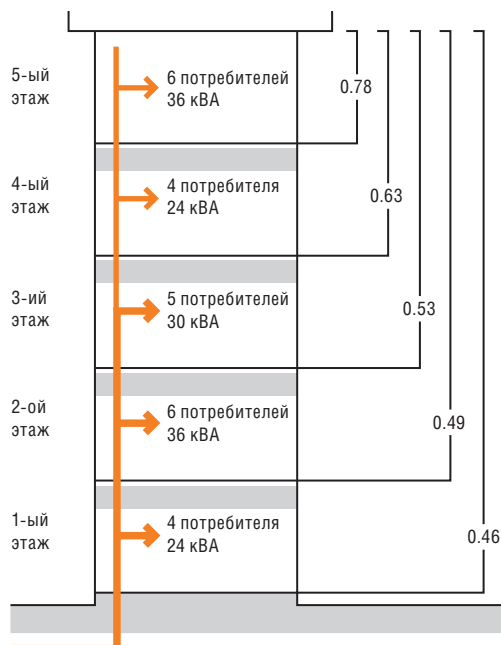


Рис. В10: Коэффициент одновременности в жилом многоквартирном доме.

Коэффициент одновременности для распределительных щитов

На **Рис. В12** показаны гипотетические значения k_s для распределительных щитов, питающих ряд цепей, где отсутствует индикация того, как между ними распределяется общая нагрузка.

Если цепи в основном используются для цепей освещения, разумно принять значение коэффициента k_s близким к единице.

Число цепей	Коэффициентодновременности (k_s)
Сборки, протестированные полностью	0.9
2 и 3	
4 и 5	0.8
6 – 9	0.7
10 и более	0.6
Сборки, протестированные выборочно, в каждом выбранном случае.	1.0

Рис. В12: Коэффициент одновременности для распределительных щитов (IEC 60439)

Коэффициент одновременности в зависимости от функции цепи.

Коэффициенты k_s , которые можно использовать для цепей, питающих часто встречающиеся нагрузки, даны на **Рис. В13**.

Функция цепи	Коэффициент одновременности (k_s)
Освещение	1
Обогрев и кондиционирование	1
Розетки для подключения приборов	0.1 – 0.2 ⁽¹⁾
10 и более	0.6
Лифты и подъемники ⁽²⁾	<ul style="list-style-type: none"> ■ Для самых мощных двигателей 1 ■ Для двигателей, вторых по мощности 0.75 ■ Для всех двигателей 0.60

(1) В некоторых случаях, преимущественно в промышленных электроустановках, этот коэффициент может быть выше.

(2) Ток, принимаемый во внимание, равен номинальному току двигателя, увеличенному на одну треть от его пускового тока.

Рис. В13: Коэффициент одновременности в зависимости от функции цепи.

4.4 Пример применения коэффициентов k_u и k_s

Пример оценки потребности в реальной максимальной мощности на всех уровнях электроустановки, начиная от положения каждой нагрузки до точки подачи питания (См. **Рис. В14** на противоположной странице).

В данном примере, общая установленная полная мощность равна 126,6 кВА, что соответствует реальному (оцененному) максимальному значению 65 кВА на низкой стороне трансформатора высокого/низкого напряжения.

Примечание: Чтобы правильно выбрать сечение кабеля питания для распределительных цепей электроустановки, ток I (в амперах), проходящий через цепь, определяется из уравнения

$$I = \frac{S \times 10^3}{U\sqrt{3}}$$

где S , кВА - это реальная максимальная 3-фазная полная мощность, показанная на схеме рассматриваемой цепи, а U – напряжение между фазами (в вольтах).

4.5 Коэффициент разновременности нагрузки

Термин «коэффициент разновременности», как он определен в стандартах IEC, идентичен коэффициенту одновременности (k_s), который используется в данном руководстве, согласно разделу 4.3. В некоторых англо-говорящих странах, однако (в момент написания руководства), фактор неодновременности является величиной, обратной к k_s , то есть, он всегда ≥ 1 .

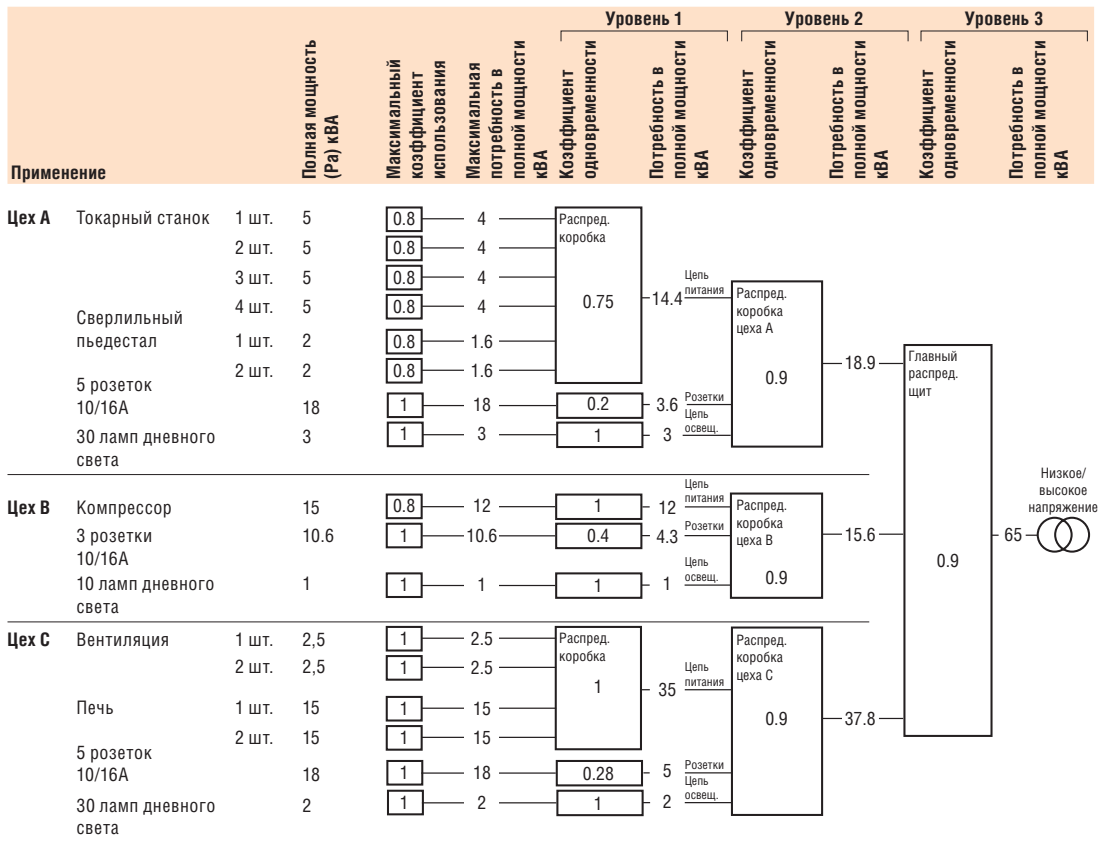


Рис. В13: Коэффициент одновременности в зависимости от функции цепи.

4.6 Выбор номинальной мощности трансформатора

Когда электроустановка должна снабжаться напрямую от трансформатора высокого/низкого напряжения и уже определена максимальная полная мощность для нагрузки установки, можно выбрать номинальную мощность трансформатора, принимая во внимание следующее (см. Рис. В15).

- Возможность увеличения коэффициента мощности установки (см. главу К).
- Ожидаемое расширение установки.
- Ограничения установки (температура...)
- Стандартные номинальные значения мощности трансформатора.

Полная мощность кВА	In (A)	
	237 V	410 V
100	244	141
160	390	225
250	609	352
315	767	444
400	974	563
500	1218	704
630	1535	887
800	1949	1127
1000	2436	1408
1250	3045	1760
1600	3898	2253
2000	4872	2816
2500	6090	3520
3150	7673	4436

Рис. В15: Стандартные значения полной мощности для трансформаторов высокого/низкого напряжения и соответствующих номинальных токов.

Номинальный ток полной нагрузки на стороне низкого напряжения 3-фазного трансформатора вычисляется по формуле:

$$I_n = \frac{S \times 10^3}{U \sqrt{3}}$$

где

- S = кВА номинальное значение мощности трансформатора
- U = напряжение фаза-фаза при отсутствии нагрузки в вольтах (237 В или 410 В)
- I_n – в амперах.

Для однофазного трансформатора

$$I_n = \frac{S \times 10^3}{V}$$

где

- V = напряжение на стороне низкого напряжения при отсутствии нагрузки (в вольтах).

Упрощенное уравнение для 400 В (3-фазная нагрузка).

- I_n = кВА × 1.4

Применяемый стандарт для силовых трансформаторов – IEC 60076.

4.7 Выбор источников питания

Описанная в главе E1 важность поддержки непрерывного питания поднимает вопрос использования резервного источника питания. Выбор и характеристики таких альтернативных источников питания описаны в разделе E 1.4.

Для основного источника питания выбор обычно делается между подключением к сети подачи питания высокого или низкого напряжения.

На практике, подключение к сети высокого напряжения может быть необходимо там, где нагрузка превышает (или такое превышение планируется) некоторый уровень, обычно порядка 250 кВА, или когда требуемое качество обслуживания выше качества, обычно поставляемого сетью низкого напряжения.

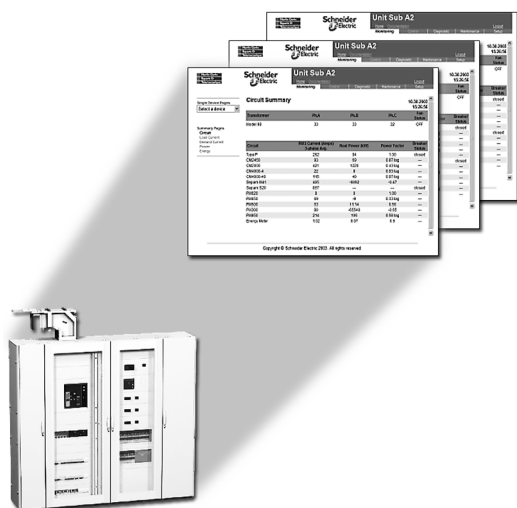
Более того, если подключенная к сети низкого напряжения электроустановка может вызывать помехи у соседних потребителей, органы энергоснадзора могут порекомендовать подключение в сети высокого напряжения.

Питание от потребителя, подключенного к высоковольтной сети может иметь определенные преимущества:

- не испытывает помех от других потребителей, что может иметь место в случае сети низкого напряжения;
- свободен в выборе любого типа низковольтной системы заземления;
- имеет более широкий выбор тарифов;
- может позволить очень большие увеличения нагрузки.

Однако, следует заметить, что:

- Потребитель является собственником подстанции высокого/низкого напряжения и, в некоторых странах, он должен построить и оборудовать ее за свой счет. В определенных обстоятельствах, поставщики энергии могут участвовать в инвестировании, например, на уровне линии высокого напряжения.
- Часть стоимости подключения часто можно возместить, если второй потребитель подключается к высоковольтной линии в течение некоторого времени после того, как подключился первый потребитель.
- Потребитель имеет доступ только к низковольтной части электроустановки, тогда как доступ к высоковольтной части остается за персоналом поставщика энергии (снятие показаний счетчиков, оперативные действия и т.д.). Однако, в некоторых странах, защитный автоматический выключатель линии высокого напряжения (или плавкий выключатель нагрузки) может управляться потребителем.
- Тип и расположение подстанции согласуются потребителем с поставщиком энергии.



Система контроля и регулирования потребляемой мощности может приносить большую пользу оператору или владельцу сети электроснабжения.

На нынешнем этапе наблюдается ускоренное развитие компаний, и соответственно эксплуатация оборудования в зданиях тоже становится более интенсивной. Сети энергоснабжения сталкиваются с постоянным ростом потребности в питании, что ведет к многократному возрастанию нагрузки и кроме того несомненно к росту «сопутствующих услуг» - например, к необходимости отслеживания затрат вследствие более острой конкуренции.

Даже если принято решение инвестировать средства в будущем, проект сети энергоснабжения должен предусматривать возможность применения системы контроля мощности. Если существующее оборудование готово к внедрению такой системы, это обеспечит Вам конкурентное преимущество.

В настоящее время внедрение методов контроля и регулирования мощности не означает установку сложной и дорогостоящей системы.

Некоторые из наиболее простых технических решений вполне доступны и имеют весьма приемлемый срок окупаемости, поскольку они могут быть непосредственно встроены в энергетическое оборудование.

Такая система может просто разделить канал передачи сервера информационной сети пользователя. Кроме того, для ее эксплуатации не нужны специальные навыки и обучение персонала. Требуется лишь безлицензионное программное обеспечение, например браузеры интрасети.

Возможность модернизации электросети на базе новых технологий, которые внедряются в области коммуникаций и автоматизации офисной деятельности (в частности, сейчас можно пользоваться несколькими протоколами передачи данных по одному и тому же каналу – например, имеющимся и новым), тоже сейчас вполне реальна. Эти новые возможности постепенно изменят стиль вашей работы.

5.1 Основные преимущества для пользователей

Контроль и регулирование мощности может заинтересовать по четырем основным причинам, способствуя:

- более эффективной работе обслуживающего персонала
- снижению затрат на энергию
- оптимизации и увеличению сроков эксплуатации основного оборудования, подключенного к сети энергоснабжения
- росту производительности связанного процесса (производственного процесса, административного управления или диспетчеризации инженерных систем здания) за счет предотвращения или снижения простоев, или обеспечения потребителей более качественной энергией).

Повышение эффективности работы обслуживающего персонала

Одно из основных требований к персоналу, обслуживающему сеть энергоснабжения – принимать правильное решение и проводить работы за минимальное время. Для этого персонал должен получать более полную информацию о том, что происходит в сети, причем желательно с любого места на территории объекта. Такая «прозрачность» в пределах объекта – главная особенность, дающая возможность обслуживающему персоналу:

- иметь представление о потоках энергии – убедиться в том, что сеть энергоснабжения правильно сбалансирована, понять, кто является основными потребителями энергии, в какой период дня или недели и т.д.;
- иметь представление о режиме работы сети – отключение кабеля питания легче понять, если у вас есть доступ к информации от подключенных к нему потребителей;
- получать оперативную информацию о событиях в сети энергоснабжения, даже находясь за пределами территории объекта, с помощью современных средств мобильной связи;
- сразу прибыть в нужное место на территории объекта с нужной запасной частью и пониманием общего состояния сети;
- начать операцию технического обслуживания с учетом фактического использования устройства – не слишком рано и не слишком поздно.

Снижение затрат на электроэнергию

В компаниях счета за электроэнергию могут быть значительными, но все же не такими, на которые менеджеры обращают внимание в первую очередь. В то же время, предоставив инженеру-электрику возможность контролировать работу сети

энергоснабжения, Вы получите эффективное средство оптимизации, а в определенных случаях и существенного снижения затрат на электроэнергию.

Ниже приведены некоторые примеры применения простейших систем контроля:

- Сравнительная оценка различных зон с целью выявления участков повышенного потребления энергии
- Отслеживание случаев непредвиденного потребления энергии
- Обеспечение потребления энергии на уровне не выше, чем у конкурентов
- Выбор наиболее выгодного контракта на снабжение энергией с энергосистемой общего пользования
- Применение простого принципа отключения нагрузок к оптимизации контролируемых нагрузок таких как источники освещения.
- Возможность требования компенсации за ущерб, причиненный вследствие поставки энергосистемой некачественной энергии (например, из-за падения напряжения в сети был остановлен процесс).

Оптимизация использования основного оборудования

Поскольку сеть энергоснабжения непрерывно расширяется, неизбежно встает вопрос: Способна ли моя сеть обеспечить это новое расширение?

Именно здесь система контроля потребляемой мощности может помочь владельцу сети принять правильное решение.

Регистрируя события и процессы в сети, она может архивировать фактическое использование основного оборудования и затем достаточно точно оценить резервную мощность сети, распределительного щита или трансформатора.

Увеличение срока эксплуатации основного оборудования

Более эффективное использование оборудования может увеличить срок его эксплуатации.

Системы контроля мощности могут дать точную информацию о фактическом использовании того или иного оборудования и после этого группа технического обслуживания может принять решение о выполнении соответствующей операции обслуживания в оптимальные сроки - не слишком поздно и не слишком рано.

Кроме того, в некоторых случаях контроль гармоник может способствовать увеличению срока службы некоторых видов оборудования, например электродвигателей или трансформаторов.

Повышение производительности за счет сокращения простоев

Простои оборудования – это кошмар для тех, кто отвечает за работу электрической сети. Из-за них компания может понести большие убытки, от ремонтников жестко требуют восстановить энергопитание в минимальные сроки, а операторы работают в условиях стресса.

Система контроля и регулирования мощности может эффективно помочь сократить простои.

Обычная система контроля мощности, не говоря уже о дистанционной системе регулирования, которая является наиболее сложной и предназначена для критически важных применений, уже может обеспечить необходимую информацию, которая будет в значительной степени способствовать сокращению времени простоя:

- Оперативно информируя оператора, даже находящегося за пределами соответствующего объекта (с помощью систем мобильной связи типа GSM/SMS)
- Обеспечивая глобальный обзор состояния всей сети
- Помогая обнаружить зону неисправности
- Сообщая подробную информацию о каждом событии в сети, зафиксированном эксплуатационными устройствами (например, о причине отключения)

Дистанционное управление устройством является целесообразным, но необязательным. Во многих случаях электрику необходимо осмотреть зону неисправности, поскольку может потребоваться принятие мер на месте.

Повышение производительности за счет более высокого качества электроэнергии

Некоторые из нагрузок могут быть чувствительны к плохому качеству электроэнергии и операторы могут столкнуться с неожиданными ситуациями, если качество поставляемой энергии не контролируется.

В таком случае контроль качества энергии является адекватным способом, чтобы предотвратить такое событие и/или устранить конкретную неисправность.

5.2 От системы контроля и регулирования электрической сети к интеллектуальному энергетическому оборудованию

Традиционно в течение многих лет системы контроля и регулирования были централизованными и основывались на системах автоматизации диспетчерского управления и сбора данных (Scada).

Из-за высокой стоимости применение подобных систем (позиция 3 на Рис. В16) было фактически ограничено критически важными электроустановками, поскольку они или являлись большими потребителями энергии или их процесс был очень чувствителен к снижению качества поставляемой энергии.

Такие системы основывались на технологиях автоматизации и очень часто проектировались, дорабатывались системным интегратором в соответствии с требованиями заказчика и затем поставлялись на объект. Однако большая начальная стоимость, высокие требования к квалификации оперативного персонала для правильной эксплуатации подобных систем и стоимость работ по их модернизации по мере расширения сети энергоснабжения часто были препятствием для потенциальных пользователей.

Другой подход (позиция 2), реализующий специализированные технические решения, гораздо в большей степени отвечает специфическим потребностям сети энергоснабжения и действительно увеличивает окупаемость такой системы. Однако из-за использования централизованной архитектуры начальные затраты по-прежнему остаются большими.

На некоторых объектах системы типа (2) и (3) могут использоваться совместно, обеспечивая при необходимости инженера-электрика самой точной информацией.

В настоящее время появилась новая концепция интеллектуального энергетического оборудования (позиция 1). Основанная на возможностях Web-технологий, она предлагает действительно приемлемое по средствам решение для большинства пользователей. Кроме того, владелец объекта может поэтапно инвестировать во все более сложные системы контроля.

Уровень 1 может тогда рассматриваться как начальный этап для перехода к уровню 2 или 3 благодаря тому, что эти технические решения могут использоваться совместно в рамках одного объекта.

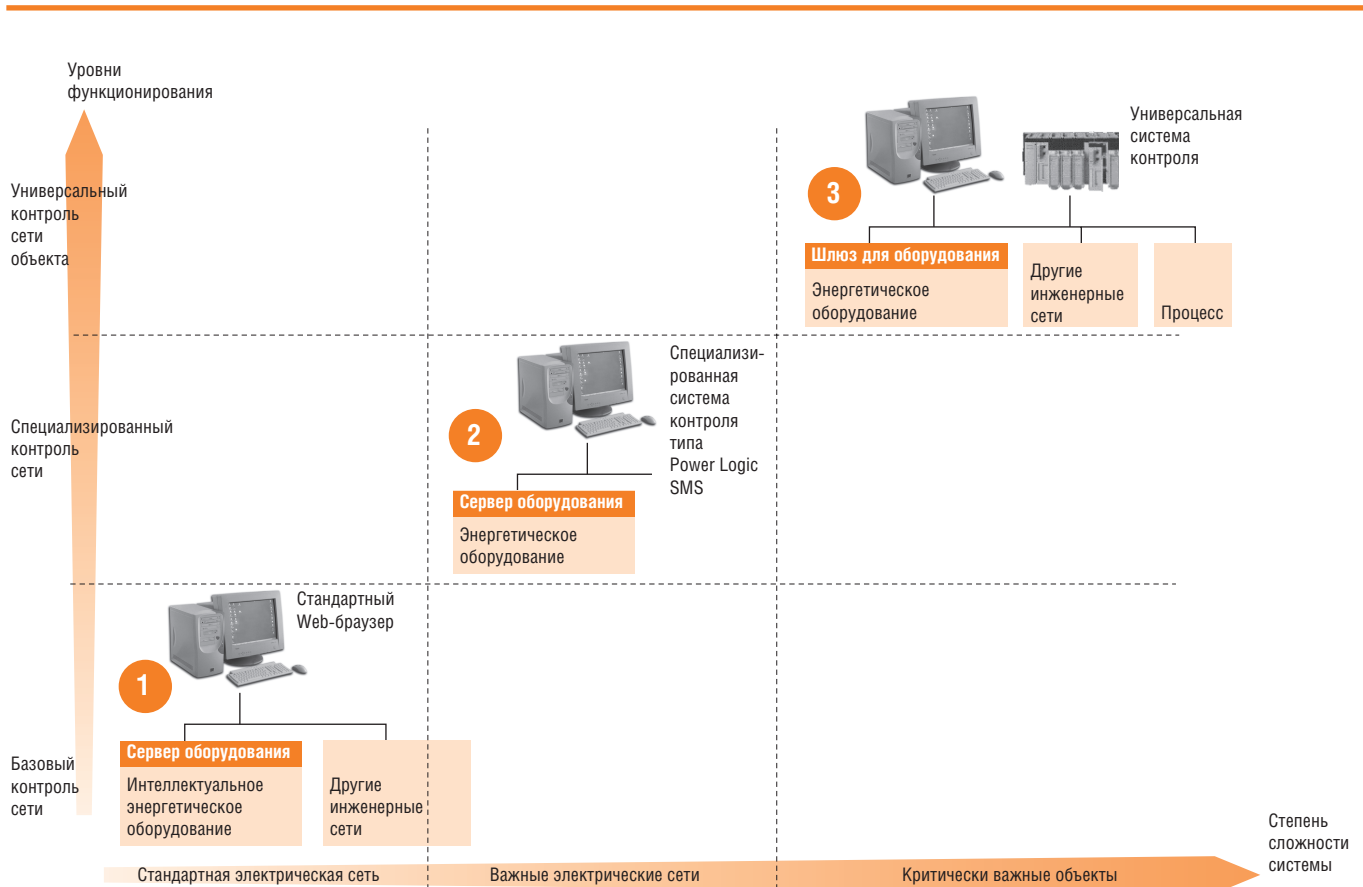


Рис. В16. Позиционирование систем контроля

Архитектура интеллектуального оборудования (Рис. В17)

Эта новая архитектура появилась недавно благодаря возможностям Web-технологий и может действительно позиционироваться как начальный этап внедрения систем контроля.

Основанная на Web-технологиях, она использует максимальную выгоду от стандартных услуг и протоколов связи и безлицензионного программного обеспечения. Доступ к информации о электроэнергии возможен с любого места рассматриваемого объекта, благодаря чему эффективность работы сотрудников службы главного электрика может значительно повыситься. Кроме того, предусмотрен доступ в Интернет для служб, не находящихся на данном объекте.



Рис. В17. Архитектура интеллектуального оборудования

Специализированная централизованная архитектура (Рис. В18)

Эта архитектура предназначена для электриков и основана на использовании специализированных централизованных контрольных приборов, полностью отвечающих потребностям контроля электрических сетей. Разумеется, что она предъявляет более низкие требования к квалификации персонала в части ее установки и обслуживания – все электронные приборы включены в специализированную библиотеку. И, наконец, затраты на ее покупку действительно сведены к минимуму благодаря ограниченному участию системного интегратора.

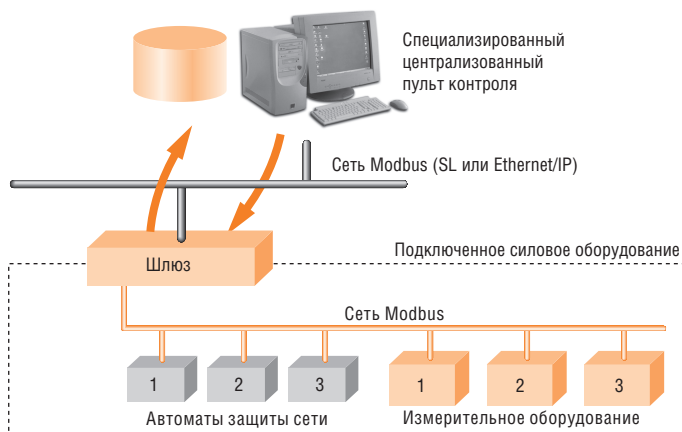


Рис. В18. Специализированная система контроля сети

Традиционная универсальная централизованная архитектура (см. Рис. B19)

Ниже представлена типичная архитектура, основанная на стандартных компонентах систем автоматизации, таких как системы диспетчерского управления и сбора данных (SCADA) и интерфейсы.

Несмотря на свою реальную эффективность, такая архитектура имела ряд недостатков, например:

- Высокий уровень требований к квалификации оперативного персонала
- Ограниченные возможности модернизации
- И, наконец, большой срок окупаемости таких систем.

Однако у таких систем нет альтернативы в случае критически важных объектов и их применение особенно целесообразно на центральных пунктах диспетчерского управления.

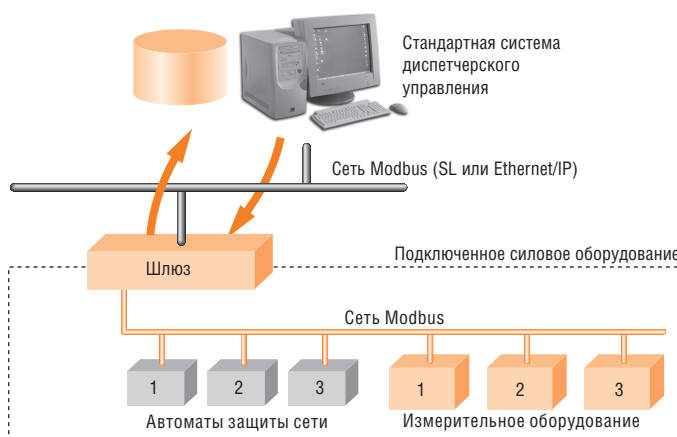


Рис. B19. Традиционная система контроля и регулирования в реальном времени:

5.3 Типовые услуги, потенциально предлагаемые интеллектуальным оборудованием в сравнении с другими вариантами системы контроля сети

Цель этого сравнения – помочь в выборе соответствующей системы на основании сравнения достоинств и недостатков каждой из них (см. Рис. B20).

Интеллектуальная услуга	Интеллектуально-силовое оборудование	Специализированная система контроля сети	Универсальная система контроля объекта
Доступ к информации о работе электрической сети в реальном времени (локальный)	++	+	
Доступ к информации о работе электрической сети в реальном времени (удаленный)	++	+++	++
Мобильный доступ к информации	+++	++	
	+	+++	+++
	+		+++
Регистрация данных	+	+++	++
Определение тенденции	+	+++	++
Передача сигналов тревоги	+	+++	++
Дистанционное управление – автоматизированные функции		+	+++
Расширенные функции для оптимизации управления сетью энергоснабжения	+	+++	
Возможности			
Простота эксплуатации и легкость обучения электриков	+++	++	
Доступность (по начальной цене)	+++	++	
Возможность модернизации вслед за расширением сети	++	++	

Рис. B20. Типовые услуги, предлагаемые разными системами контроля сети

5.4 Базовая информация по системам обмена данными

Ниже приведен небольшой глоссарий основных терминов, используемых в области технологий обмена данными

Уровень обмена данными – модель OSI (модель взаимодействия открытых компьютерных систем)

Концепция уровня обмена данными полезна для понимания глоссария терминов в области обмена данными и того, как эти термины могут соотноситься друг с другом.

Представленная на Рис. B21 модель OSI состоит из семи уровней обмена данными, но понятие «обмен данными» не всегда относится к этим семи уровням. Иногда добавляется 8-ой уровень для описания домена конкретного приложения и услуг.

Ethernet

Ethernet – семейство локальных вычислительных сетей, регламентируемых стандартом IEEE 802.3.

Сеть Ethernet относится уровням 1 и 2 модели OSI. Использование сети Ethernet недостаточно для спецификации обмена данными между двумя устройствами.

Сеть Ethernet 802.3 часто ассоциируется с другими терминами, описывающими ее другие аспекты:

Ethernet 802.3 10 Base T представляет собой вариант реализации сети на неэкранированной витой паре со скоростью передачи данных 10 Мбит/с и использованием разъема RJ45.

IP

IP означает протокол Internet (протокол IP)

Интернет в значительной степени способствовал распространению протокола IP, однако этот протокол используется не только в сети Интернет.

Протокол IP также широко используется для «внутреннего пользования» например в информационных сетях, а также в «закрытой» зоне.

Протокол IP позволяет обеспечить обмен данными между двумя удаленными устройствами, даже если между ними используется много типов сред. Переключение с одного типа на другой является полностью прозрачным для соответствующего приложения.

RS 485

Протокол RS 485 является рекомендованным промышленным стандартом на двунаправленную сбалансированную линию передачи.

Modbus

Modbus – первоначально протокол обмена данными, разработанный компанией Modicon. В настоящее время права на протокол Modbus и его дальнейшее развитие принадлежат организации Modbus-IDA.org, являющейся открытой и независимой ассоциацией, стремящейся развивать и обеспечивать функциональную совместимость и применения этого протокола в разных областях промышленной автоматизации.

Коммуникационный протокол Modbus относится к уровню 7 модели OSI.

Он может применяться в различных средах передачи:

- Последовательный канал с использованием последовательного интерфейса RS 485 или RS 232 – наиболее распространенный способ описания протокола Modbus.
- Сеть Ethernet (фактически с использованием межсетевых протоколов TCP/IP и Ethernet)

Кроме того, протокол Modbus позволяет передавать данные через модемы независимо от канала передачи (телефонная сеть общего пользования, радиоканал, сеть цифровой сотовой связи GSM и др.).

В настоящее время Modbus является де-факто признанным протоколом обмена данными для электротехнических применений в промышленности и строительстве.

Web-технологии

Этот термин объединяет все технологии, обычно использующие «Всемирную паутину» для:

- Визуализации информации (HTML-файлы, передаваемые по протоколу HTTP/HTTPS)
- Отправки почтовых электронных сообщений (протокол SMTP/POP)
- Поиска/обмена файлами (протокол FTP)
- Управления сетью (протокол SNMP)
- Синхронизации устройства, подсоединенного к сети (протокол NTP/SNTP)
-

Эти протоколы разработаны общественной международной ассоциацией сети Интернет.

Использование Web-технологий часто является для пользователя безлицензионным, поскольку в их основе стандартный инструмент, такой как Web-браузеры.

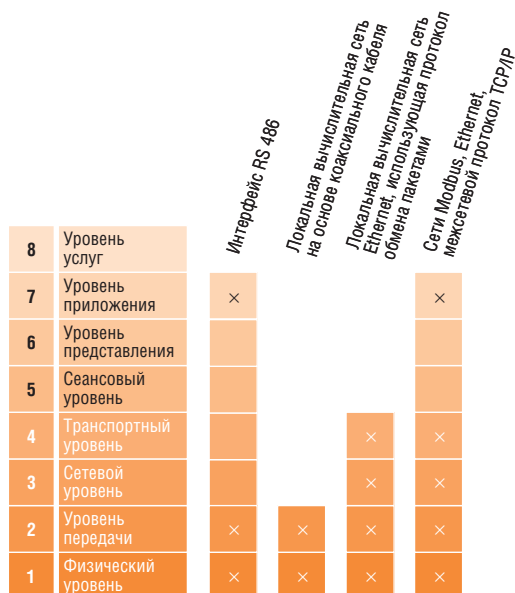


Рис. B21. Уровни модели OSI (1-8)

Функциональная совместимость

Чтобы обеспечить функциональную совместимость, по крайней мере семь уровней модели протоколов обмена данными OSI должны быть полностью совместимы между собой. Это означает, в частности, что наличие двух устройств Ethernet (уровней 1 и 2 модели OSI) не гарантирует того, что эти устройства будут функционально совместимы.

5.5 Основные ограничения при проектировании коммуникационного или интеллектуального силового оборудования

Выбор сети для подсоединения оборудования

Ниже перечислены основные факторы, которые необходимо оценить при выборе сети обмена данными:

- Открытость и уровень зрелости сети
- Проверенная способность работы в неблагоприятных электротехнических средах
- Наличие силовых агрегатов, совместимых по шине, с гарантией функциональной совместимости
- Уровень доработки интерфейса силового оборудования для обеспечения его подсоединения к остальной части системы (наличие бесшовной архитектуры)
- Наличие вспомогательных устройств связи через шины для облегчения прокладки электрических проводов внутри небольших секций

Протокол Modbus для передачи данных по последовательному каналу является в настоящее время одним из самых надежных видов связи элементов оборудования в среде распределения электрической энергии и совместим с большинством 3d-устройств.

Он также был выбран большинством изготовителей в качестве предпочтительной сети.

Его простая и бесшовная открытость для сетей Ethernet гарантирует простую интеграцию с остальной частью системы. Кроме того, он предлагает простой способ модернизации в будущем, не влияя при этом на используемые приложения.

Топология сети для подсоединения оборудования

Топология сети для подсоединения оборудования должна быть достаточно гибкой и охватывать всю структуру оборудования.

Возможность разъединения секций силового оборудования имеет важное значение для транспортировки.

На концах шины обычно должны быть предусмотрены сопротивления.

Чем выше скорость передачи данных по шине, тем более чувствительна шина к проводке, оконечным нагрузкам и заземлению.

Разъем на фронтальной части оборудования

Для облегчения работы оперативного персонала, очень полезным является размещение электрического разъема на передней дверце шкафа с оборудованием.

Эта опция может оказаться еще более эффективной, если с этого распределительного щита оперативный персонал может иметь доступ к информации, относящейся не только к подсоединенному силовому оборудованию, но и к остальной части объекта (например, к распределительному щиту, расположенному по сети перед ним или за ним).

Мощность собственных нужд

Мощность собственных нужд должна распределяться между основными силовыми агрегатами. Обычно требуется вспомогательная энергетическая установка постоянного тока.

Ее распределение может быть совмещено с каналом обмена данными: по одному и тому же кабелю осуществляется передача данных и мощности собственных нужд.

Дополнительные коммуникационные устройства

Дополнительные коммуникационные устройства могут понадобиться для того, чтобы облегчить монтаж проводки и обслуживание распределительного щита. Их использование помогает персоналу разобраться во внутренней проводке распределительного щита. И, кроме того, позволяет отключать какое-либо коммуникационное устройство в режиме онлайн.

Имеющиеся возможности электрических измерений

Электрические измерения – одна из основ контроля потребляемой мощности. В будущем они могут стать систематически необходимой функцией.

5 Контроль и регулирование потребляемой мощности

Существуют две основные концепции внедрения измерений в силовое оборудование:

- Установка измерительных трансформаторов на кабелях или шинопроводе. Для этого потребуется место, но это единственное решение для переоснащения существующей электроустановки.
- Использование многофункциональных реле защиты, в которых может быть предусмотрена такая функция и которые в этом смысле поддаются модернизации.

Даже если требования сегодняшнего дня не включают проведение измерений, полезно предусмотреть возможность их проведения в будущем - выбирая силовые агрегаты, которые могут быть дооборудованы для проведения замеров внутри них, или предусматривая необходимое пространство для установки дополнительных измерительных трансформаторов.

Содержание		
1	Энергоснабжение при высоком напряжении	C2
	1.1 Характеристики энергоснабжения распределительной сети ВН общего пользования	C2
	1.2 Различные способы подключения ВВ энергоснабжения	C11
	1.3 Некоторые эксплуатационные аспекты распределительных сетей ВН	C12
2	Порядок установки новой подстанции	C14
	2.1 Предварительная информация	C14
	2.2 Изучение проекта	C15
	2.3 Реализация	C15
	2.4 Ввод в эксплуатацию	C15
3	Защита	C16
	3.1 Защита от поражения электрическим током	C16
	3.2 Защита трансформатора и линий	C17
	3.3 Блокировки и обусловленные операции	C19
4	Подстанция абонента с измерениями на стороне низкого напряжения	C22
	4.1 Общие положения	C22
	4.2 Выбор панелей	C22
	4.3 Выбор панели высоковольтного КРУ для питания трансформатора	C25
	4.4 Выбор понижающего трансформатора	C25
5	Подстанция абонента с измерениями на стороне высокого напряжения	C30
	5.1 Общие положения	C30
	5.2 Выбор панелей	C32
	5.3 Параллельная работа трансформаторов	C33
6	Распределительные понижающие подстанции	C35
	6.1 Различные типы подстанций	C35
	6.2 Подстанция внутренней установки	C35
	6.3 Подстанция наружной установки	C37

1 Энергоснабжение при высоком напряжении

C2

Главные особенности, характеризующие систему энергоснабжения, включают:

- Номинальное напряжение и соответствующие ему уровни мощности изоляции
- Ток короткого замыкания
- Номинальный ток заводских установок и оборудования
- Система заземления

В настоящее время нет международного соглашения, четко ограничивающего определение «высокого» напряжения.

Уровни напряжения, в одних странах обозначаемые как «высокие», в других странах обозначаются как «средние».

В данном разделе распределительные сети, которые работают при напряжениях 1000 В или ниже считаются низковольтными сетями, а сети распределения энергии, требующие одну ступень понижения напряжения с целью питания низковольтных сетей, считаются высоковольтными сетями.

По экономическим и техническим причинам, номинальное напряжение высоковольтных распределительных сетей, определенных выше, редко превышает 35 кВ.

1.1 Характеристики высоковольтной сети системы энергоснабжения

Номинальное напряжение и соответствующие ему уровни мощности изоляции

Номинальное напряжение сети или оборудования определено в МЭК 60038 как «напряжение, которым обозначается сеть или оборудование, и к которому относятся определенные рабочие характеристики». Тесно связанным с понятием номинального напряжения является «максимальное рабочее напряжение для оборудования», зависящее от уровня прочности изоляции при номинальной рабочей частоте, и к которому можно отнести прочие характеристики, согласно соответствующим рекомендациям к оборудованию.

«Максимальное рабочее напряжение для оборудования» определено в МЭК 60038 как: «максимальное значение напряжения, при котором возможно использование оборудования, которое возникает при нормальных условиях работы в любое время и в любой точке сети. Это исключает переходные напряжения, например, возникающие при коммутации сети, и временные изменения напряжения»

Примечания:

1- Максимальное рабочее напряжение для оборудования указывается только для номинальных напряжений сети выше 1000 В. Очевидно, что, в частности, для определенных номинальных напряжений сети, нельзя гарантировать нормальную работу оборудования вплоть до этого максимального рабочего напряжения, принимая во внимание, что его характеристики зависят от величины приложенного напряжения (например: потери в конденсаторах, броски намагничивающего тока в трансформаторах и т.д.). Для таких случаев стандарты МЭК определяют предел, до которого может быть гарантирована нормальная работа оборудования.

2- Оборудование, используемое в сетях с номинальным напряжением до 1000 В, должно соответствовать техническим требованиям по данному номинальному напряжению сети, как для работы, так и для изоляции.

3- Определение «максимальное рабочее напряжение для оборудования», приведенное в МЭК 60038 идентично определению, данному в МЭК 60694 для «номинального напряжения». МЭК 60694 относится к распределительной аппаратуре с напряжениями свыше 1000 В.

Значения, приведенные на **Рис. С1**, взяты из МЭК 60038, являются наиболее используемыми стандартными уровнями высоковольтного распределения энергии, и соотносят номинальные напряжения с соответствующими стандартными значениями «максимального рабочего напряжения для оборудования».

Как правило, эти сети являются трехпроводными, если не указано иначе. Приведенные значения являются линейными напряжениями (между фазами).

Значения, указанные в скобках, являются не предпочтительными. Рекомендуется не использовать эти значения при проектировании новых сетей.

Серия I (для частот 50 Гц и 60 Гц)		
Номинальное напряжение сети (кВ)		Максимальное рабочее напряжение для оборудования (кВ)
3,3 ⁽¹⁾	3 ⁽¹⁾	3,6 ⁽¹⁾
6,6 ⁽¹⁾	6 ⁽¹⁾	7,2 ⁽¹⁾
11	10	12
-	15	17,5
22	20	24
33 ⁽²⁾	-	36 ⁽²⁾
-	35 ⁽²⁾	40,5 ⁽²⁾

(1) Эти значения не должны использоваться для распределительных сетей общего пользования.

(2) Унификация этих значений находится в процессе рассмотрения.

Рис. С1: Отношение между номинальными напряжениями системы и максимальными рабочими напряжениями для оборудования

1 Энергоснабжение при высоком напряжении

Для каждой отдельно взятой страны рекомендуется, чтобы отношение между двумя смежными номинальными напряжениями не было меньше двух.

С целью обеспечения надежной защиты оборудования от чрезмерно высоких кратковременных перенапряжений промышленной частоты и переходных перенапряжений, вызванных ударом молнии, коммутацией или сбоем в сети и т.д. все ВВ оборудование должно иметь номинальные уровни прочности изоляции, соответствующие техническим условиям.

Распределительная аппаратура

Рис. С2, приведенный ниже, взят из МЭК 60694 и содержит ряд требуемых стандартных значений «выдерживаемых» напряжений. Выбор между значениями Столбца 1 и Столбца 2 таблицы С2 зависит от степени вероятности возникновения перенапряжений, вызванных ударом молнии или коммутацией⁽¹⁾, типа заземления нейтрали, а также от типа устройств защиты от перенапряжений и т.д. (для получения более подробной информации обращайтесь к МЭК 60071).

Номинальное напряжение U (ср. кв. значение)	Номинальное выдерживаемое напряжение грозового импульса (амплитуда)				Номинальные кратковременные выдерживаемые перегрузки по напряжению/частоте (ср. кв. значение)	
	Столбец 1		Столбец 2			
	На землю между полюсами и через разомкнутое коммутационное устройство	Через изоляционный промежуток	На землю между полюсами и через разомкнутое коммутационное устройство	Через изоляционный промежуток	На землю между полюсами и через разомкнутое коммутационное устройство	Через изоляционный промежуток
(кВ)	(кВ)	(кВ)	(кВ)	(кВ)	(кВ)	(кВ)
3.6	20	23	40	46	10	12
7.2	40	46	60	70	20	23
12	60	70	75	85	28	32
17.5	75	85	95	110	38	45
24	95	110	125	145	50	60
36	145	165	170	195	70	80
52	-	-	250	290	95	110
72.5	-	-	325	375	140	160

Примечание: Значения выдерживаемого напряжения «через изоляционный промежуток» применимы только для коммутационных устройств, где изоляционный промежуток между открытыми контактами спроектирован с учетом удовлетворения требований, определенных для разъединителей.

Рис. С2: Номинальные уровни прочности изоляции коммутационной аппаратуры

Необходимо заметить, что для рассматриваемых уровней напряжения не указаны паспортные данные коммутационных перенапряжений. Это связано с тем, что перенапряжения, вызываемые переходными процессами при коммутации, менее значительны при этих уровнях напряжения, чем перенапряжения, вызываемые ударом молнии.

Трансформаторы

Значения на **Рис. С3**, приведенные ниже, взяты из стандарта МЭК 60076-3.

Смысл значений столбца 1 и столбца 2 тот же самый, что и для таблицы для коммутационной аппаратуры, т.е. выбор зависит от степени подверженности удару молнии и т.д.

Наибольшее напряжение оборудования (ср. кв.)	Номинальное кратковременное выдерживаемое напряжение пром. частоты (ср. кв.)	Номинальное выдерживаемое напряжение грозового импульса (амплитуда)	
		Столбец 1	Столбец 2
(кВ)	(кВ)	(кВ)	(кВ)
≤1.1	3	-	-
3.6	10	20	40
7.2	20	40	60
12	28	60	75
17.5	38	75	95
24	50	95	125
36	70	145	170
52	95	250	-
72.5	140	325	-

Рис. С3: Номинальные уровни прочности изоляции трансформаторов

(1) Столбец 1 относится, в основном, к коммутационной аппаратуре, используемой в подземных кабельных сетях, а Столбец 2 – к коммутационной аппаратуре в сетях воздушных линий.

Национальные стандарты любой страны обычно сокращены и включают только один или два уровня напряжения, тока и уровней токов и мощностей при аварийных режимах (токи и мощности короткого замыкания)

Автоматический выключатель (также с плавким предохранителем на ограниченный диапазон напряжений) является единственным видом коммутационной аппаратуры, способным безопасно размыкать большие токи, связанные с коротким замыканием, возникающем в системе питания.

Другие элементы

Изоляционные характеристики других важных ВВ элементов, таких как, например, фарфоровые или стеклянные изоляторы, ВВ кабели, измерительные трансформаторы, и т.д., должны быть совместимы с изоляционными характеристиками коммутационной аппаратуры и трансформаторов, о которых говорилось выше. Программа испытаний для этих элементов приведена в соответствующих рекомендациях МЭК.

Национальные стандарты любой страны обычно сокращены, и включают только один или два уровня напряжения, тока и уровней токов и мощностей при аварийных режимах (токи и мощности короткого замыкания).

Общее примечание:

Стандарты МЭК предназначены для всемирного применения и, следовательно, включают в себя широкий диапазон уровней напряжений и токов. Они отражают различные методы, принятые в странах, имеющих различные метеорологические, географические и экономические ограничения.

Ток короткого замыкания

Стандартные значения, характеризующие отключающую способность автоматического выключателя, обычно указываются в килоамперах.

Эти значения относятся к режиму трехфазного короткого замыкания, и выражены в виде среднеквадратичных значений переменной составляющей тока в каждой из трех фаз.

Для автоматических выключателей в диапазоне номинальных напряжений, рассматриваемых в данной главе, на Рис. C4 даны стандартные значения отключающей способности.

кВ	3.6	7.2	12	17.5	24	36	52
кА	8	8	8	8	8	8	8
(ср.кв.)	10	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
	16	16	16	16	16	16	20
	25	25	25	25	25	25	
	40	40	40	40	40	40	
			50				

Рис. C4: Стандартные значения отключающей способности выключателей

Расчет тока короткого замыкания

Правила для расчета токов короткого замыкания в электрических установках представлены в стандарте 60909 МЭК.

Расчет токов короткого замыкания в различных точках системы питания может быстро перерасти в затруднительную задачу в случае, если установка является сложной. Использование специализированного программного обеспечения ускоряет расчеты. Этот общий стандарт, применимый ко всем радиальным и многоконтурным системам питания 50 или 60 Гц и до 550 кВ, является очень точным и надежным.

Он может быть использован для различных типов непосредственных коротких замыканий (симметричных или несимметричных), которые могут возникнуть в электрической установке:

- Трехфазное короткое замыкание (всех трех фаз); как правило, этот тип КЗ сопровождается наибольшими токами
- Двухфазное короткое замыкание (между двумя фазами), токи ниже, чем при трехфазном коротком замыкании
- Двухфазное короткое замыкание на землю (между двумя фазами и землей)
- Однофазное короткое замыкание на землю (между фазой и землей), наиболее частый тип КЗ (80% всех случаев).

При возникновении короткого замыкания, переходный ток короткого замыкания изменяется по времени и включает в себя две составляющие (см. Рис. C5).

■ Периодическую составляющую, начальная величина которой определяется величиной напряжения источника (генераторов, питающих коротко-замкнутую сеть) величиной ее импеданса (полного сопротивления). Эта величина уменьшается до своего установившегося значения за время, зависящее от общей (эквивалентной) постоянной времени группы вращающихся машин (генераторов).

■ Аперiodическую составляющую, которая с течением времени уменьшается до нуля («затухает»). Ее начальная величина зависит от момента ее возникновения а время «затухания» от постоянной времени цепи короткого замыкания

Таким образом, необходимо определить значения параметров короткого замыкания, которые полезны в выборе оборудования сети и системы защиты:

- I''_k : среднеквадратичное значение начального тока симметричного короткого замыкания
- I_b : среднеквадратичное значение тока симметричного короткого замыкания, отключаемого выключателем, когда размыкается первый полюс при t_{min} (при минимальном запаздывании)
- I_k : среднеквадратичное значение установившегося тока симметричного короткого замыкания
- I_p : максимальное мгновенное значение (амплитуда тока при первом максимуме - ударный ток короткого замыкания)
- I_{DC} : величина аперiodической составляющей тока

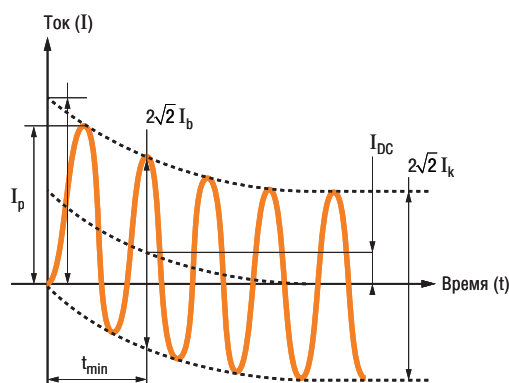


Рис. C5: Графическое представление величин короткого замыкания согласно МЭК 60909

Эти токи обозначаются нижними индексами 3, 2, 2E, 1, в зависимости от типа короткого замыкания: трехфазное, двухфазное без земли, двухфазное на землю, однофазное на землю соответственно.

Метод, основанный на принципе суперпозиции Тевенина, и разложении на симметричные составляющие заключается в приложении к точке короткого замыкания эквивалентного источника напряжения с целью определения тока. Расчет проводится в три этапа:

- Определить эквивалентный источник напряжения, приложенный к точке КЗ. Он представляет собой напряжение, существовавшее непосредственно перед КЗ, и равен номинальному напряжению, умноженному на коэффициент, учитывающий нестабильность источника (наличие переключателя у трансформатора и поведения машин в сверхпереходном режиме).
- Рассчитать полные сопротивления каждой ветви относительно точки КЗ. Для систем прямой и обратной последовательности, в расчете не учитываются емкости линий и проводимости параллельных невращающихся нагрузок.
- После определения значений напряжения и полного сопротивления, рассчитать минимальные и максимальные значения характеристик токов короткого замыкания.

Различные значения тока в точке КЗ рассчитываются с помощью:

- Имеющихся уравнений
- Уравнений по первому закону Кирхгофа (сумма токов, текущих в ветвях, сходящихся в одном узле, равна нулю)
- I''_k (см Рис. С6 для расчета I''_k , где коэффициент по напряжению определяется стандартным, геометрическим или алгебраическим сложением)
- $I_p = \kappa \times 2 \times I''_k$, где κ меньше 2, в зависимости от отношения активного и реактивного сопротивлений (R/X) прямой последовательности данной ветви; сложение максимумов
- $I_b = \mu \times q \times I''_k$, где μ и q меньше 1, в зависимости от генераторов и двигателей, а также минимальной задержки отключения тока; алгебраическое сложение
- $I_k = I''_k$, когда КЗ далеко от генератора
- $I_k = \lambda I_r$, для генератора, где I_r – номинальный ток генератора, и λ – коэффициент, зависящий от индукции насыщения; алгебраическое сложение.

Тип короткого замыкания	I''_k	
	Обычная ситуация	Отдаленное КЗ
3 фазы	$\frac{c Un}{\sqrt{3} Z_1}$	$\frac{c Un}{\sqrt{3} Z_1}$
2 фазы	$\frac{c Un}{Z_1 + Z_2}$	$\frac{c Un}{2 Z_1}$
2 фазы - земля	$\frac{c Un \sqrt{3} Z_2}{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_0 + Z_1 Z_0}$	$\frac{c Un \sqrt{3}}{Z_1 + 2 Z_0}$
Фаза - земля	$\frac{c Un \sqrt{3}}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$	$\frac{c Un \sqrt{3}}{2 Z_1 + Z_0}$

Рис. С6: Токи короткого замыкания согласно МЭК 60909

Определение характеристик

Существуют 2 типа оборудования сети, в зависимости от того, реагируют ли они на возникновение короткого замыкания или нет.

Пассивное оборудование

Эта категория включает в себя все оборудование, которое, ввиду его назначения, должно быть способным проводить как номинальный ток, так и ток короткого замыкания. Это оборудование включает кабели, линии, шины, разъединители, трансформаторы, последовательные реакторы, измерительные трансформаторы.

Для такого оборудования способность выдерживать короткое замыкание без повреждения определяется с учетом:

- Электродинамической устойчивости («максимальный выдерживаемый ток»; значение максимального тока выражено в кА), характеризующей механическую прочность
- Термической устойчивости («кратковременный выдерживаемый ток»; среднее квадратичное значение, выраженное в кА для продолжительности в диапазоне от 0,5 до 3 секунд, с предпочтительным значением 1 секунда), характеризующей максимально допустимое рассеяние тепла.

Активное оборудование

Эта категория включает оборудование, предназначенное для отключения токов короткого замыкания, т.е. автоматические выключатели и предохранители. Оно характеризуется отключающей способностью, и, если необходимо, включающей способностью, при возникновении короткого замыкания.

■ Отключающая способность (см. Рис. С7)

Основной характеристикой устройства, устраняющего короткое замыкание, является максимальный ток (среднеквадратичное значение, выраженное в кА), который оно способно прервать в определенных условиях, определяемых стандартами; стандарт МЭК приводит среднеквадратичное значение периодической составляющей тока короткого замыкания. В некоторых других стандартах определено среднеквадратичное значение суммы двух составляющих периодической и аperiodической (переменной и постоянной), и в этом случае это «несимметричный ток».

Отключающая способность зависит и от других факторов, таких как:

- Напряжение
- Соотношение R/X размыкаемой цепи
- Собственная частота системы энергоснабжения
- Количество повторных включений и отключений при максимальном токе, например, цикл: P - 3/P - 3/P (P = размыкание, 3 = замыкание)
- Состояние устройства после испытания

Отключающая способность относительно сложной для определения. Поэтому неудивительно, что одно и то же устройство может иметь различную отключающую способность в зависимости от стандарта, по которому эта способность определяется.

■ Включающая способность на короткое замыкание

Как правило, эта характеристика полностью определяется отключающей способностью, так как устройство должно быть способным замыкаться при токе, который оно способно прервать.

Иногда включающая способность должна быть выше, например, в автоматических выключателях, защищающих генераторы.

Включающая способность определяется амплитудным значением (выраженным в кА), так как первая асимметричная амплитуда является основным действующим фактором с точки зрения электродинамики.

Например, согласно стандарту МЭК 62271-100, автоматический выключатель, используемый в системе энергоснабжения 50 Гц, должен быть способным выдерживать амплитуду тока включения, в 2.5 раза превышающую среднеквадратичное значение прерываемого тока (2.6 раза для систем 60 Гц).

Выключатели и, иногда, разъединители, также должны иметь включающую способность, даже если эти устройства не способны устранить короткое замыкание.

■ Предполагаемый ток отключения короткого замыкания

Некоторые устройства имеют способность ограничивать ток короткого замыкания, который необходимо прервать.

Их отключающая способность определяется как максимальный предполагаемый ток отключения, который получился бы во время непосредственного короткого замыкания на входных зажимах устройства.

Специфические характеристики устройств

Функциональные возможности, обеспечиваемые различными прерывающими устройствами, и их основные ограничения представлены на Рис. С8.

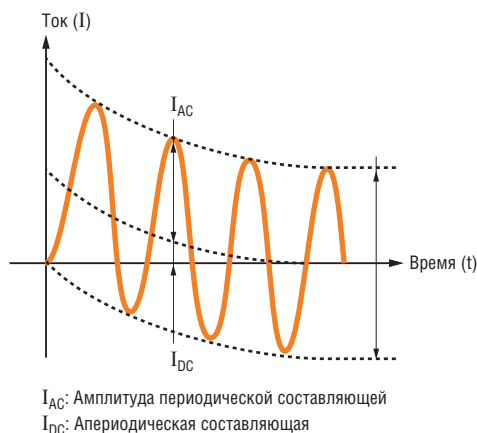


Рис. С7: Номинальный ток прерывания автоматического выключателя, подвергнутого короткому замыканию согласно МЭК 60056

Устройство	Изоляция двух активных сетей	Условия коммутации тока		Главные ограничения
		Номинал	КЗ	
Разъединитель	Да	Нет	Нет	Продольная входная/выходная изоляция
Выключатель	Нет	Да	Нет	Включение и отключение тока номинальной нагрузки. Включающая способность КЗ
Контактор	Нет	Да	Нет	Номинальная включающая и отключающая способность. Максимальная отключающая и включающая способность. Характеристики режима и срок службы
Автоматический выключатель	Нет	Да	Да	Отключающая, отключающая способность КЗ
Предохранитель	Нет	Нет	Да	Минимальная способность отключения КЗ. Максимальная способность включения КЗ

Рис. С8: Функции, обеспечиваемые прерывающими устройствами

Наиболее распространенным значением номинального тока для ВВ распределительной аппаратуры общего назначения является 400 А.

Номинальный ток

Номинальный (нормальный) при температуре устройства не превышающей величины, определенной соответствующим производственным стандартом.

Требования к номинальному току коммутационной аппаратуры определяются на стадии проектирования подстанции.

Наиболее распространенным значением номинального тока для ВВ распределительной аппаратуры общего назначения является 400 А.

В промышленных зонах и городских районах с высокой плотностью нагрузки иногда требуются цепи, рассчитанные на номинальный ток 630 А, в то время, как на подстанциях магистрального энергоснабжения, питающих высоковольтные сети, в качестве стандартных параметров автоматических выключателей для цепей входных трансформаторов, секций сборных шин и шинных соединителей и т.д. указаны значения номинального тока 800 А; 1250 А; 1600 А; 2500 А и 4000 А. Для понижающих трансформаторов с номинальным током первичной обмотки до 60А может быть использован выключатель с плавким предохранителем. Для более высоких токов первичной обмотки выключатель с плавким предохранителем не отвечает предъявляемым требованиям.

Для случаев с использованием выключателей с плавким предохранителем в МЭК нет рекомендованных значений номинальных токов. Фактические параметры предоставляются изготовителем выключателя с плавким предохранителем, согласно характеристикам предохранителя и таким параметрам трансформатора, как:

- Номинальный ток при высоком напряжении
- Допустимые величины: тока перегрузки и его продолжительности.
- Максимальная амплитуда и продолжительность броска намагничивающего тока трансформатора при включении.
- Положение переключателя отпаек, как показано на примере, приведенном в Приложении А МЭК 62271-105, и описано в Приложении С1 данного руководства.

В такой схеме выключатель нагрузки должен быть правильно рассчитан, чтобы размыкаться автоматически, например, при помощи реле, при низких значениях тока КЗ, которые должны быть выше (с необходимым запасом), чем минимальный номинальный ток отключения высоковольтных предохранителей. В этом случае, большие токи КЗ, превышающие отключающую способность выключателя нагрузки, будут устранены предохранителями, а небольшие токи КЗ, которые не могут быть корректно устранены предохранителями, будут устранены выключателем нагрузки с релейным управлением. Приложение С1 содержит дополнительную информацию об организации размыкания с использованием высоковольтных выключателей с плавким предохранителем.

Влияние температуры окружающей среды и высоты над уровнем моря на номинальный ток

Значение номинального тока присваивается любым токопроводящим электрическим устройствам, а верхние пределы определяются допустимым повышением температуры, вызываемом рассеянием мощности I^2R (Вт) в проводах (где I = среднеквадратичное значение тока в амперах, R = сопротивление проводника в омах), совместно с теплом, выделяющимся при потерях на перемагничивание и вихревые токи в двигателях, трансформаторах и т.д., диэлектрических потерях в кабелях и конденсаторах, где это возможно.

Превышение температуры выше температуры окружающей среды главным образом зависит от скорости отвода тепла. Например, большие токи могут протекать в обмотках электродвигателя, не вызывая их перегрев, просто потому, что вентилятор, установленный на валу двигателя, удаляет тепло также быстро, как оно выделяется, и, таким образом, температура достигает устойчивого значения, ниже того, при котором может произойти повреждение изоляции или сгорание двигателя.

Трансформаторы с масляным и/или воздушным охлаждением являются одним из наиболее известных примеров использования таких способов «принудительного охлаждения».

Номинальные значения тока, рекомендуемые МЭК, основаны на значениях температуры окружающего воздуха, обычной для умеренного климата на высоте, не превышающей 1000 метров над уровнем моря. Таким образом, элементы, которые зависят от естественных условий охлаждения в виде лучеиспускания или вентиляции, при работе на номинальном токе в тропическом климате и/или на высотах, превышающих 1000 метров над уровнем моря, будут перегреваться. В таких случаях, номинальные значения параметров оборудования должны быть снижены, т.е. должно быть присвоено меньшее значение номинального тока. Пример с трансформаторами рассмотрен в МЭК 60076-2.

Для трансформаторов с принудительным охлаждением в общем случае достаточно, с целью сохранения исходных параметров, определенных МЭК, установить экраны для защиты от солнца, увеличить поверхности маслоохлаждающего радиатора, количество охлаждающего масла, мощность насосов подачи масла, а также размер воздухообдувающих вентиляторов.

Для получения информации о том, как правильно снизить номинальные значения параметров коммутационной аппаратуры в зависимости от фактических условий её работы, необходимо обратиться к её производителю.

Короткое замыкание на землю в высоковольтных сетях может вызвать привести к возникновению опасных перенапряжений на стороне низкого напряжения установки.

Абоненты сети низкого напряжения (и работающий на подстанции персонал) могут быть защищены от такой опасности путем:

- Ограничения амплитуды токов КЗ на землю в сети высокого напряжения
- Система заземления сопротивления подстанции до минимально возможного значения
- Создание системы выравнивания потенциалов на подстанции и установке абонента.

Системы заземления

Система заземлений и проводники, соединяющие с ней оборудование (заземляющие проводники), требуют тщательного рассмотрения, особенно в отношении безопасности абонентов сети НН во время возникновения короткого замыкания на землю в высоковольтных сетях.

Заземлители

В общем случае, где это физически возможно, предпочтительно разделять электроды, предназначенные для заземления открытых проводящих частей высоковольтного оборудования от электродов, предназначенных для заземления низковольтного нулевого провода. Такая практика широко используется в сельских сетях, где заземлитель низковольтного нулевого провода устанавливается на расстоянии одного или двух пролетов низковольтной линии электропередачи от подстанции.

В большинстве случаев, ограниченность места, доступного на городских подстанциях, не позволяет использовать эту практику, т.е. нет возможности должным образом разделять высоко-вольтные и низковольтные заземлители с целью предотвращения переноса (возможно опасных) напряжений в низковольтную сеть.

Ток замыкания на землю

Уровни тока короткого замыкания на землю при высоком напряжении обычно (если он принудительно не ограничен) сравнимы с уровнями токов, возникающих при 3-х фазном коротком замыкании.

Такие токи, проходя через заземлитель, увеличивают его потенциал до высокого значения относительно «удаленной земли» (земля, окружающая заземлитель, получит высокий потенциал; «удаленная земля» имеет нулевой потенциал).

Например, ток замыкания на землю 10 000 А, проходящий через заземлитель с (необычно низким) сопротивлением 0.5 Ом, увеличит его потенциал до 5 000 В.

При условии, что все открытые металлические части на подстанции «связаны» (соединены вместе), и, затем подключены к заземляющему электроду (заземлителю), а заземляющее устройство выполнено в виде сетки из проводников, расположенных под полом подстанции, тогда обеспечивается безопасность персонала, так как при этом формируется эквипотенциальная «клетка», в которой все электропроводящие материалы, включая персонал, имеют одинаковый потенциал.

Вынос потенциала

Однако, проблема, известная как «вынос потенциала», включает в себя несколько опасных моментов. На Рис. C9 видно, что нейтральная точка обмотки НН понижающего трансформатора также подключена к общему заземлителю подстанции, и, таким образом, нулевой провод, обмотки фаз НН и проводники всех фаз также имеют потенциал, равный потенциалу заземлителя.

Низковольтные распределительные кабели, исходящие из подстанции, будут передавать этот потенциал установкам потребителя. Можно заметить, что пробой низковольтной изоляции между фазами или фазой и нейтралью невозможен, так как все они имеют равный потенциал. Однако, существует вероятность пробоя изоляции кабеля или какой-либо части установки между фазой и землей.

Способы решения

Первым шагом для минимизации опасностей, связанных с выносом потенциала, является уменьшение амплитуды тока короткого замыкания на землю в сети высокого напряжения. В большинстве случаев это достигается заземлением высоковольтной сети через резисторы или реакторы в нейтральных точках звезды выбранных трансформаторов⁽¹⁾, расположенных на крупных (мощных) подстанциях системы электроснабжения.

Однако, относительно высокий переносимый потенциал не может быть полностью устранен таким образом, поэтому в некоторых странах принят следующий способ решения этой проблемы: система заземления с уравниванием потенциала (эквипотенциальная заземляющая система) в помещениях потребителя (абонента).

Эквипотенциальное заземление установок в помещении абонента представляет собой удаленное заземление, т.е. заземление нулевым потенциалом. Однако, если такая заземляющая установка будет подключена низкоомным проводником к заземлителю на подстанции, то эквипотенциальные условия, существующие на подстанции, будут также существовать и на установке абонента.

Низкоомное межсоединение

Такое низкоомное межсоединение достигается путем подключения нулевого провода к эквипотенциальной установке абонента. Получающаяся в результате система известна, как система за-земления TN (МЭК 60364), схема А на Рис. C10 на следующей странице.

Система TN обычно соединена со схемой «Многokrатного защитного заземления», в которой нулевой провод заземлен через определенные интервалы его длины (на каждом 3-м или 4-м столбе низковольтной распределительной воздушной линии) и в каждом месте подвода питания потребителю. Таким образом, сеть нулевых проводов, исходящих из подстанции, каждый из которых заземлен через постоянные интервалы, представляет собой, вместе с собственным заземлением подстанции, очень эффективный низкоомный заземлитель.

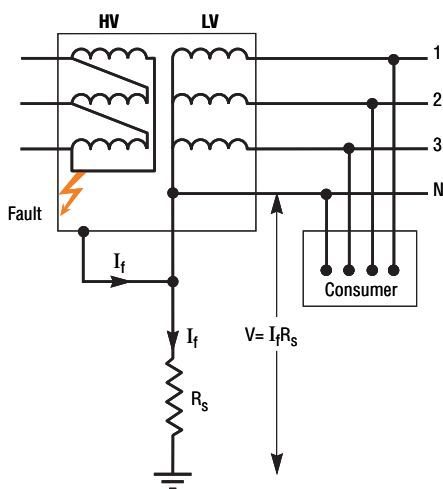


Рис. C9: Переносимый потенциал

(1) Остальные не заземляются. Отдельный случай ограничения тока короткого замыкания на землю, а именно, при помощи дугогасительной катушки, рассматривается в конце пункта 3.2

Система заземления		Значение R_s
<p>A - TN-a</p>	<p>B - IT-a</p>	<p>Случаи А и В</p> <p>В данных случаях для R_s не назначается определенных значений</p>
<p>C - TT-a</p>	<p>D - IT-b</p>	<p>Случаи С и D</p> $R_s \leq \frac{U_w - U_0}{I_m}$ <p>Где U_w = номинальное выдерживаемое напряжение при номинальной частоте для низковольтного оборудования на установках потребителя U_0 = фазное напряжение на установке потребителя I_m = максимальное значение в сети высокого напряжения (на стороне высокого напряжения) тока замыкания на землю</p>
<p>E - TT-b</p>	<p>F - IT-c</p>	<p>Случаи Е и F</p> $R_s \leq \frac{U_{ws} - U}{I_m}$ <p>Где U_{ws} = выдерживаемое напряжение на номинальной частоте для низковольтного оборудования на подстанции (так как открытые проводящие части этого оборудования заземлены через R_s) U = фазное напряжение на подстанции для ТТ(s) системы, и линейное напряжение для IT(s) системы I_m = максимальное значение в сети высокого напряжения (на стороне высокого напряжения) тока замыкания на землю</p>

В случае E и F низковольтные заземляющие провода (связывающие открытые проводящие части) на подстанции заземлены через заземлитель подстанции, и поэтому только низковольтное оборудование подстанции может быть подвергнуто перенапряжению.

Примечание:

- Для систем заземлений TN-a и IT-a, все открытые проводящие части высокого и низкого напряжения на подстанции и на установках потребителя, вместе с нейтралью низкого напряжения, заземлены через сеть заземлителей подстанции.
- Для систем TT-a и IT-b, все открытые проводящие части высокого и низкого напряжения на подстанции и на установках потребителя заземлены через сеть заземлителей подстанции.
- Для систем TT-b и IT-c, нейтраль низкого напряжения трансформатора заземлена отдельно, вне зоны действия заземлителя подстанции. Значения U_w и U_{ws} для большинства случаев указаны (в МЭК 60364-4-44), как значение $U_0 + 1200$ В, где U_0 – номинальное фазное напряжение рассматриваемой низковольтной сети.

Рис. С10: Максимальное заземляющее сопротивление R_s на ВВ/НВ подстанции, обеспечивающее безопасность во время короткого замыкания на землю в высоковольтном оборудовании при различных системах заземления

Комбинированное использование ограничения токов замыкания на землю, установок выравнивания потенциалов и низкоомного заземления подстанции приводит к значительному снижению перенапряжений и ограничению напряжения на изоляции фазы относительно земли во время высоковольтного короткого замыкания, описанного выше.

Ограничение токов замыкания на землю в сети высоконапряжения (на стороне высокого напряжения) и заземляющего сопротивления подстанции

Другая широко используемая система заземления показана на схеме С Рис. С10. Видно, что в системе TT, заземляющая установка абонента (будучи изолированной от заземляющей установки подстанции) представляет собой удаленную землю.

Это означает что, хотя выносимый потенциал не будет влиять на междуфазную изоляцию оборудования абонента, изоляция всех трех фаз относительно земли будет подвержена перенапряжению

В этом случае методика заключается в уменьшении сопротивления заземлителя подстанции до значения, при котором стандартное значение кратковременного (5 с) выдерживаемого напряжения при замыкании на землю для низковольтного оборудования и устройств не будет превышено.

Практические значения, принятые одной национальной электроснабжающей организацией для систем электроснабжения на напряжении 20 кВ следующие:

- Максимальный ток в нейтрали при коротком замыкании на землю в воздушных линиях электропередач с нейтралью, или смешанных (воздушнокабельные линии) сетях составляет 300 А.
- Максимальный ток замыкания на землю в подземных кабельных сетях с нейтралью составляет 1000 А.

Формула для определения максимального значения заземляющего сопротивления R_s на подстанции, при котором гарантировано, что низковольтное выдерживаемое напряжение не будет превышено, имеет следующий вид:

$$R_s = \frac{U_w - U_0}{I_m} \text{ в Омах (см. случаи С и D на Рис. С10).}$$

Где

U_w = наименьшее стандартное значение (в вольтах) кратковременного (5 с) выдерживаемого напряжения для установок и устройств потребителя = $U_0 + 1200 \text{ В}$ (МЭК 60364-4-44).

U_0 = фазное напряжение (в вольтах) в месте подвода низкого напряжения потребителя

I_m = максимальный ток замыкания на землю высоковольтной сети (в амперах). Этот максимальный ток замыкания на землю I_m есть векторная сумма максимального тока замыкания на землю в нейтрали и суммарного несимметричного емкостного тока в сети.

Третья разновидность системы заземления, которая в стандарте МЭК 60364 называется системой IT, используется, главным образом, там, где бесперебойное энергоснабжение является очень важным, например, в больницах, непрерывном производстве и т.д. Этот принцип заключается в том, что питание поступает от незаземленного источника. Как правило, это трансформатор, вторичная обмотка которого не заземлена или заземлена через высокое сопротивление ($\geq 1000 \text{ Ом}$). В этих случаях пробой изоляции на землю в цепях низкого напряжения, питаемых от вторичных обмоток, приведет к отсутствию или возникновению пренебрежимо малого тока короткого замыкания, протекание которого допустимо в течение некоторого времени до тех пор, пока не будет возможным отключить неисправную цепь для проведения ремонтных работ.

Схемы В, D и F (Рис. С10)

Схемы представляют собой системы IT, в которых сопротивления (примерно 1000 ом) включены в заземленный нейтральный провод.

Однако, если убрать эти резисторы, тем самым, делая систему незаземленной, к ней применимы следующие параграфы.

Схема В (Рис. С10)

Проводники всех фаз и нейтральный провод «плавают» относительно земли, к которой они подключены через (как правило, очень высокие) сопротивления изоляции и (очень маленькие) емкости между проводами под напряжением и заземленными металлическими частями. Полагая, что изоляция идеальна, все проводники фаз низкого напряжения и нейтральный провод путем электростатической индукции получат потенциал, близкий к потенциалу эквипотенциальных проводников. На практике наиболее вероятно то, что из-за большого количества каналов утечки на землю всех проводов под напряжением от нескольких параллельно работающих установок, система будет вести себя также, как в случае присутствия заземляющего резистора, т.е. все провода получат потенциал земли подстанции. В этих случаях перенапряжения, действующие на изоляцию низкого напряжения, малы или отсутствуют.

Схемы D и F (Рис. С10)

В этих случаях, высокий потенциал системы заземления подстанции действует на изолированные фазы низкого напряжения и нейтральный провод:

- Через емкостное сопротивление между обмотками низкого напряжения трансформатора и его баком.
- Через емкостное сопротивление между эквипотенциальными проводами на подстанции и жилами низковольтных распределительных кабелей, исходящих от подстанции.
- Через каналы утечки тока в изоляции, в каждом случае.

В местах вне зоны действия системы заземления подстанции, существуют емкостные сопротивления между проводами и землей, имеющей нулевой потенциал (емкостные сопротивления между жилами несущественны – все жилы получают одинаковый потенциал).

В результате получается преимущественно емкостной делитель напряжения, в котором каждая «емкость» шунтируется сопротивлениями (каналов утечки).

Как правило, емкость кабелей низкого напряжения и установочных проводов относительно земли много больше, а сопротивления изоляции относительно земли много меньше, чем емкость и сопротивления соответствующих параметров на подстанции, поэтому большинство перенапряжений возникают на подстанции между обмоткой низкого напряжения трансформатора и его баком.

Таким образом, мало вероятно, что повышение потенциала на установках потребителя будет проблемой там, где уровень тока короткого замыкания на землю в сети высокого напряжения ограничен, как указывалось выше.

Все трансформаторы, заземленные по системе IT, с изолированной или заземленной через высокое сопротивление нейтралью, как правило, оборудованы устройствами ограничения перенапряжений, которые автоматически подключают нейтраль напрямую к земле, если уровень перенапряжения приблизится к уровню прочности изоляции низковольтной сети.

Помимо ситуаций, указанных выше, существуют несколько других ситуаций, в которых могут возникнуть эти перенапряжения. Эти ситуации описаны в Разделе 3.1.

Такой тип замыкания на землю случается очень редко, а когда он происходит, он быстро обнаруживается и устраняется автоматическим размыканием автоматического выключателя в правильно спроектированной и сконструированной установке.

Безопасность в ситуациях, связанных с повышенными потенциалами, полностью зависит от обеспечения правильно организованных зон выравнивания потенциалов, которые основаны на применении крупноячеистой решетки взаимосвязанных неизолированных медных проводов, подключенных к вертикально расположенным стальным стержням, плакированным медью⁽¹⁾.

Критерий эквипотенциальности, который необходимо соблюдать, описан в Главе F, посвященной защите от поражения электрическим током при непрямом контакте, а именно: потенциал между двумя открытыми металлическими частями, которые можно затронуть одновременно любой частью тела, ни при каких обстоятельствах не должен превышать 50 В в сухой среде, или 25 В во влажной среде.

Особое внимание необходимо уделять границам эквипотенциальных зон, чтобы избежать резких градиентов потенциалов на поверхности земли, которые могут привести к возникновению опасных «шаговых напряжений».

Этот вопрос тесно связан с безопасным заземлением ограждений подстанций, и рассматривается дальше в Подразделе 3.1.

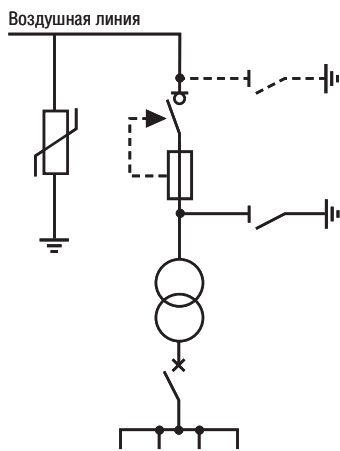


Рис. C11: Однолинейная система электроснабжения

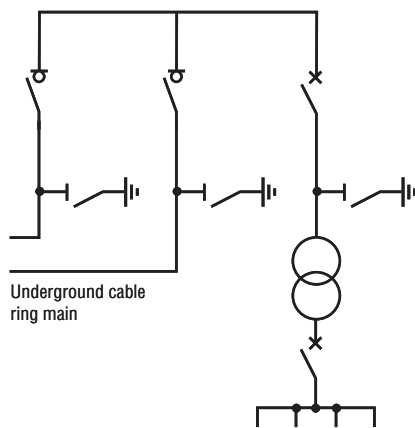


Рис. C12: Электроснабжение по кольцевой магистрали

(1) Медь по отношению к большинству других металлов является катодом и поэтому устойчива к нагрузкам.

(2) Кольцевая схема питания – это непрерывная распределительная магистраль, выполненная в виде замкнутого контура, которая начинается и заканчивается на одной системе шин. Начало и конец этой кольцевой магистрали подключаются к системе шин (каждый своим выключателем), часто, для повышения удобства эксплуатации шины секционируются нормально закрытым секционным выключателем. При этом начало и конец кольцевой магистрали подсоединяются к разным секциям шин. Связь между двумя подстанциями системы электроснабжения (interconnector) это непрерывный фидер без отпаек, соединяющий шины двух подстанций с выключателями на каждом конце.

Связь между несколькими подстанциями системы (interconnector-distributor) – это магистраль, связывающая одну или более распределительных подстанций [РП] системы.

1.2 Различные способы подключения ВВ электроснабжения

В зависимости от типа высоковольтной сети применяются нижеследующие способы организации подачи питания.

Однолинейная система электроснабжения

Подстанция питается от одной линии питания от высоковольтного распределителя (кабеля или воздушная линия).

В общем случае, высоковольтное энергоснабжение подключается к панели, содержащей комбинацию из выключателя нагрузки /разъединителя с плавким предохранителем и заземляющих разъединителей, как показано на Рис. C11

В некоторых странах «подстанция» состоит из столбового трансформатора без высоковольтной коммутационной аппаратуры или предохранителей (на столбе). Такой тип высоковольтного энергоснабжения широко используется в сельских районах.

Защитные и коммутирующие устройства находятся на расстоянии от трансформатора, и обычно управляют главной воздушной линией, от которой ответвляются несколько линий энергоснабжения абонентов.

Электроснабжение по кольцевой схеме питания

Установки кольцевой схемы питания обычно соединяются, образуя высоковольтную кольцевую схему⁽²⁾ или магистраль, связывающая одну или более РП системы⁽²⁾ так, что шины установок кольцевой схемы проводят полный ток кольцевой схемы или ток этой магистрали (см. Рис. C12).

Установка кольцевой схемы состоит из трех отсеков, образующих единый агрегат, а именно:

- 2 вводных отсека, каждый из которых содержит выключатель нагрузки/разъединитель и заземляющий переключатель цепи.
- 1 выходной отсек общей защиты, содержащий выключатель нагрузки и высоковольтные предохранители, или комбинированный выключатель нагрузки с плавким предохранителем, или автоматический выключатель и разъединитель, вместе с заземляющим переключателем цепи в каждом случае. Все выключатели нагрузки и заземляющие переключатели имеют номинальные параметры, рассчитанные для режимов включения на короткое замыкание.

Такая схема питания предоставляет пользователю питание от двух источников, таким образом, значительно уменьшая нарушение энергоснабжения из-за сбоев системы или операций электроснабжающей организации. Главным образом, установки с кольцевой схемой питания применяются в высоковольтных подземных кабельных сетях общего пользования на городской территории.

Электроснабжение по параллельным линиям питания

Там, где возможно подключение питания высокого напряжения по двум линиям или кабелям, имеющим начало от одной и той же шины подстанции, часто используется высоковольтное распределительное устройство, подобное устройству кольцевой схемы питания (см. **Рис. С13**).

Главным отличием в работе между устройствами этих схем является то, что входные панели здесь взаимно блокируются, и поэтому одновременно может быть замкнут только один выключатель входной линии, т.е. его замыкание предотвращает замыкание другого.

При потере питания, замкнутый переключатель должен разомкнуться и другой (до этого момента разомкнутый) выключатель на входной линии может быть замкнут.

Последовательность замыкания/размыкания выключателей может быть реализована вручную или автоматически

Такой тип распределительной схемы используется, главным образом, в сетях с высокой плотностью нагрузки и на быстро растущих городских территориях, питаемых от высоковольтных подземных кабельных сетей.

1.3 Некоторые аспекты работы высоковольтных распределительных сетей

Воздушные линии

Сильные ветры, обледенение и т.п. могут привести к соприкосновению проводов воздушных линий, тем самым, вызывая мгновенное (то есть, не долговременное) короткое замыкание. Пробой изоляции из-за повреждений керамических или стеклянных изоляторов, вызванных частицами, находящимися в воздухе; из-за небрежного обращения с оружием и т.д., или из-за сильно загрязненных поверхностей изоляторов, может привести к короткому замыканию на землю.

Многие из этих аварийных режимов самоустраиваются. Например, в сухих условиях, поврежденный изолятор очень часто может продолжать работать, не обнаруживая свое повреждение, но во время грозы его пробой на землю (например, на металлическую несущую конструкцию) очень вероятен. Более того, загрязненные поверхности обычно вызывают пробой на землю только во влажных условиях.

Канал прохождения тока короткого замыкания практически всегда принимает форму электрической дуги, интенсивное тепловыделение от которой высушивает каналы прохождения тока, и, до некоторой степени, восстанавливает их изоляционные свойства. За это время защитные устройства устранения короткого замыкания обычно успевают сработать, т.е. происходит перегорание предохранителей или выключение выключателя.

Опыт показывает, что в большинстве случаев, восстановление питания путем замены предохранителей или повторным включением выключателя проходит успешно.

По этой причине существует возможность значительно улучшить бесперебойность питания высоковольтных воздушных распределительных сетей путем применения схем автоматического повторного включения (АПВ) выключателей в начале данных сетей.

Такие автоматические схемы позволяют осуществлять несколько операций повторного включения, если первая попытка не удастся, с регулируемым временем задержки между последовательными попытками (чтобы произошла де-ионизация воздуха в месте короткого замыкания), до срабатывания блокирующего устройства автоматического выключателя после всех (обычно трех) неудачных попыток.

Другие улучшения бесперебойности электроснабжения достигаются путем дистанционного управления секционными выключателями и автоматическими разъединителями, работающими совместно с выключателем автоматического повторного выключения.

Последняя схема проиллюстрирована последовательностями, показанными на **Рис. С14** на следующей странице.

Принцип действия заключается в следующем: если, после двух попыток автоматического повторного выключения - АПВ выключатель отключается, короткое замыкание считается долговременным, и, пока источник отключен, линия обесточена, линейный выключатель отключен, для того, чтобы изолировать часть сети до третьей попытки АПВ.

В этом случае возможны два варианта:

- Изолируемой линейным выключателем сети (системы).
- Короткое замыкание в секции, находящейся выше по цепи линейного сетевого выключателя. В этом случае выключатель разомкнется и заблокируется. Таким образом, схема сетевого линейного выключателя предоставляет возможность восстановления подачи питания некоторым потребителям в случае возникновения долговременного короткого замыкания.

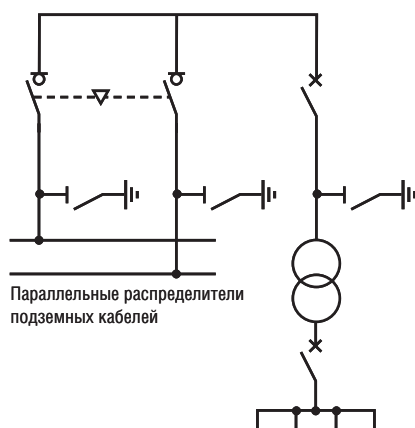


Рис. С13: Электроснабжение от параллельных источников

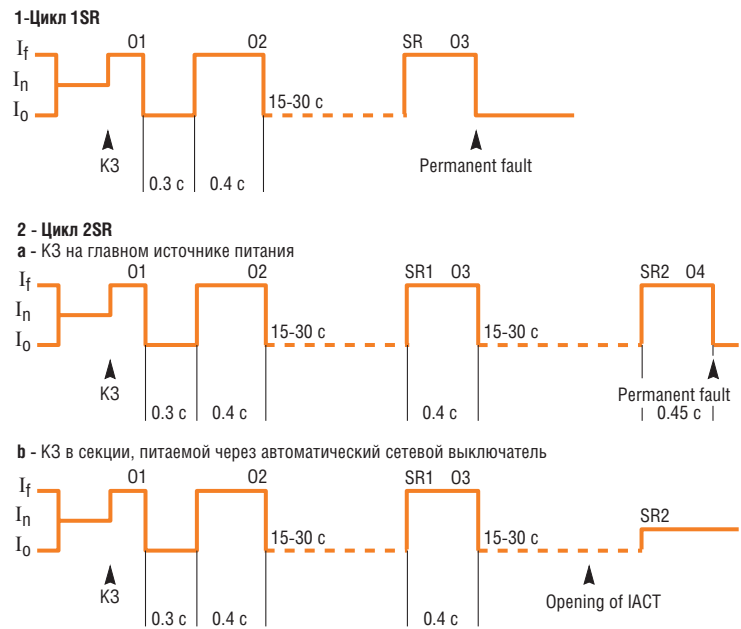


Рис. С14: Циклы автоматического повторного включения автоматического выключателя, управляющего высоковольтным радиальным распределителем

Несмотря на то, что эти меры значительно улучшили надежность питания от высоковольтных воздушных линий, потребители должны, там где это необходимо, применять свои собственные устройства, противодействующие возникновению мгновенных перебоев питания (между повторными включениями), например:

- Бесперебойный резервный источник питания
- Освещение, не требующее охлаждения перед повторным включением.

Подземные кабельные сети

Короткие замыкания в подземных кабельных сетях иногда вызваны плохим качеством работы монтажников-кабельщиков или кабелеукладчиков и т.д., но в большинстве случаев связаны с повреждениями, нанесенными инструментами, например, киркой, пневматической дрелью или землеройной машиной и т.д., используемых другими коммунальными службами.

Пробой изоляции иногда происходит в вводно-кабельных шкафах из-за перенапряжений, в особенности, в тех местах высоковольтной системы, где воздушная линия соединяется с подземным кабелем. В этом случае, перенапряжение обычно возникает из-за электромагнитных возмущений в атмосфере с учетом эффекта отражения электромагнитных волн, они в соединительной коробке «В-Л-Кабель» (где резко изменяется волновое сопротивление цепи) могут достигать значений, при которых происходит пробой изоляции. В таких местах часто устанавливаются устройства защиты от перенапряжений, такие как молниеотводы.

Короткие замыкания в кабельных сетях возникают реже, чем в воздушных линиях, но они практически всегда являются долговременными, что требует больше времени для их обнаружения и ремонта, чем в воздушных линиях.

При возникновении короткого замыкания в кольцевой схеме питания, подачу питания всем потребителям можно быстро восстановить, когда выявлена поврежденная часть кабеля.

Однако, если короткое замыкание возникнет в радиальной линии (фидере), задержка в его обнаружении и выполнении ремонтных работ может занять несколько часов, и окажет влияние на всех потребителей, находящихся ниже по цепи от места возникновения короткого замыкания. В случае, если бесперебойное питание очень важно для всех или нескольких установок, необходимо обеспечить резервный источник питания. Оборудование резервного источника питания описано в Разделе Е, подраздел 1.4.

Дистанционное управление высоковольтными сетями

Дистанционное управление высоковольтными линиями питания полезно для уменьшения времени простоя в случае возникновения короткого замыкания кабеля, так как оно предоставляет быстрое и эффективное средство для образования кольцевой схемы питания. Это достигается при помощи телеуправляемых выключателей с моторным приводом установленных на некоторых подстанциях в составе кольцевой схемы связанных с соответствующими центрами дистанционного управления. На подстанцию с дистанционным управлением всегда можно подать питание через дистанционную команду, тогда как остальным абонентам придется ожидать последующих ручных операций.

Централизованное дистанционное управление, основанное на системе SCADA (Диспетчерское управление и сбор данных) и современных разработках в области информационных технологий, находит все более широкое применение в странах, в которых сложность сильно взаимосвязанных систем оправдывает затраты.

Крупные потребители электричества как правило питаются от сети высокого напряжения. В сетях низкого напряжения на 120/208 В (3 фазы, 4 провода), нагрузка в 50 кВА может считаться «большой», тогда как в 3-фазной сети на 240/415В «крупный» потребитель может иметь нагрузку, превышающую 100 кВА. Оба типа сетей низкого напряжения широко применяются по всему миру.

Кстати, МЭК рекомендует использовать в качестве «мирового» стандарта напряжение 230/400 В для 3-фазных 4-проводных сетей. Это компромиссный уровень, который позволит существующим сетям, работающим на напряжениях 220/380 В и 240/415 В, или близко к этим значениям, соответствовать стандарту, просто за счет использования соответствующих отпаяк (имеющихся на стандартных распределительных трансформаторах) и переключателя отпаяк (без нагрузки).

Расстояние, на которое требуется передача нагрузки, является еще одним фактором, учитываемым при выборе сети высокого или низкого напряжения. Наглядным примером является обслуживание небольших, но удаленно расположенных сельских потребителей.

Решение выбора сети питания низкого или высокого напряжения будет зависеть от местных условий и соображений, описанных выше, и обычно принимается поставщиками энергии для данного района.

Когда принято решение о питании от высоковольтной сети, имеется два широко распространенных метода действий:

1- Поставщик электроэнергии строит стандартную подстанцию близко к месту расположения потребителя, но понижающий трансформатор (ы) расположен(ы) внутри помещений потребителя, близко к центру нагрузки.

2- Потребитель сам строит и оснащает подстанцию на собственной территории, к которой поставщик энергии производит подключение высоковольтной линии.

При методе **1** поставщик энергии владеет подстанцией, кабелями, ведущими к трансформатору, самим трансформатор(ами) и помещением для его размещения, куда поставщик имеет неограниченный доступ.

Помещение для трансформатора сооружается потребителем (согласно планам и требованиям, предоставленным поставщиком) и включают в себя цоколи, маслоотводы, стены и потолки в противопожарном исполнении, вентиляцию, освещение и системы заземления; все это должно быть одобрено представителем поставщика.

Структура тарифов покрывает согласованную часть затрат, требуемых для предоставления услуг.

Независимо от выбранного метода, при разработке концепции и реализации проекта должны применяться одни и те же принципы. Примечания ниже относятся к методу **2**.

Потребитель должен предоставить поставщику определенные данные на самой ранней стадии проекта.

2.1 Предварительная информация

Перед началом любых переговоров и обсуждений с представителями поставщика, потребитель должен иметь следующие данные:

Максимальная ожидаемая потребность в мощности (кВА)

Определение этого значения описано в главе В, и оно должно учитывать возможность дополнительного увеличения нагрузки в будущем. Коэффициенты, которые нужно знать на данном этапе:

- Коэффициент использования (k_u)
- Коэффициент одновременности (k_s)

Планы территории с указанием высотных отметок и места предлагаемого размещения подстанции

На планах должны быть ясно указаны средства доступа к будущей подстанции, с указанием размеров и возможных ограничений, то есть, размеры входных коридоров и высота потолка, возможные ограничения по весовой нагрузке, и т.п., принимая во внимание, что:

- Персонал поставщика энергии должен иметь свободный и неограниченный доступ к высоковольтному оборудованию подстанции в любое время.
- Доступ в подстанцию разрешен только квалифицированному и уполномоченному персоналу.
- Иногда поставщики энергии или действующие правила требуют, чтобы часть установки, управляемая поставщиком, была расположена в отдельном помещении от части установки, управляемой потребителем.

Требуемая степень непрерывности питания

Потребитель должен оценить последствия перебоя в поставке электроэнергии, в терминах длительности перебоя, соотнесенной с:

- Производственными потерями
- Безопасностью персонала и сохранностью оборудования

Поставщик энергии должен предоставить специальную информацию предполагаемому потребителю.

Поставщик должен официально утвердить оборудование устанавливаемое на подстанции и предлагаемые методы его монтажа.

После испытаний и проверки подстанции независимым проверяющим органом, выдается сертификат, разрешающий ввод подстанции в эксплуатацию.

2.2. Изучение проекта

На основе информации, предоставленной потребителем, поставщик электроэнергии должен указать:

Тип предлагаемого электропитания и определить

- Тип сети питания: воздушная линия или подземный кабель.
- Детали подключения : одна линия питания, кольцевая схема или параллельные линии питания, и т.д.
- Предельную мощность (разрешенную системой) подключаемой нагрузки и уровень тока короткого замыкания.

Номинальное и максимальное напряжение

(Самое высокое напряжение для оборудования), существующее или будущее, в зависимости от планов развития системы

Детали учета потребления, которые указывают:

- Стоимость подключения к сети питания
- Детали тарифов (тарифы на потребление) и за установленную мощность.

2.3 Реализация

Перед началом любых работ по установке должно быть получено официальное согласие от поставщика энергии. Запрос на согласие поставщика должен включать следующую информацию, основанную на предварительном обмене информацией, который был описан выше:

- Расположение предполагаемой подстанции
- Однолинейная схема цепей питания и соединений, вместе с предложениями по цепям заземления.
- Полное детальное описание электрооборудования, устанавливаемого на подстанции, включая его характеристики.
- План расположения оборудования и устройств измерения энергии.
- Предпринятые меры для увеличения коэффициента мощности, если таковые потребуются.
- Предпринятые меры для организации резервного аварийного питания (высоковольтного или низковольтного), если таковой требуется.

2.4 Ввод в эксплуатацию

Если по требованиям контролирующих органов необходимо проведение испытаний электрооборудования, то после их успешного завершения выдается разрешение на подключение электроустановки к сети питания: Если таких испытаний не требуется, то рекомендуется провести следующие проверочные испытания:

- Измерение сопротивления заземляющих электродов
- Проверку непрерывности цепей заземления и уравнивания потенциалов.
- Наружный осмотр и проверку всех высоковольтных устройств.
- Проверку изоляции высоковольтного оборудования.
- Проверку трансформаторного масла (и масла распределительного устройства, если имеется) на диэлектрическую прочность.
- Проверка и испытание низковольтного оборудования подстанции.
- Проверки всех внутренних блокировок (механические ключи и электрические блокировки) и последовательности всех автоматических операций.
- Проверки правильности работы защитных реле и их уставок.

Также необходимо проверить, что оборудование установлено полностью, так, чтобы любая должным образом выполненная операция могла завершиться полностью и безопасно. После получения сертификата соответствия (если требуется):

- Персонал поставщика подает питание на высоковольтное оборудование и проверяет правильность работы устройств учета электроэнергии.
- Подрядчик отвечает за испытание и подключение низковольтного оборудования.

Когда подстанция полностью введена в действие:

- Подстанция и все оборудование принадлежит потребителю
- Поставщик осуществляет эксплуатационный контроль над высоковольтным распределительным оборудованием подстанции, например, над обоими вводными выключателями нагрузки и высоковольтным выключателем трансформатора (или автоматическим выключателем), в случае устройства кольцевой схемы питания, вместе со всеми связанными с ним высоковольтными заземляющими разъединителями.
- Персонал поставщика имеет неограниченный доступ к высоковольтному оборудованию.
- Абонент имеет независимый контроль только над высоковольтным выключателем (размыкателем цепи) трансформатора(ов), отвечает за техническое обслуживание всего оборудования подстанции, и должен подавать запрос поставщику на отключение и заземление коммутационной аппаратуры, в целях проведения работ по техобслуживанию. Поставщик должен выдать письменное разрешение на проведение работ по техобслуживанию персоналом потребителя, вместе с ключами от закрытых разъединителей и других элементов, которые были отсоединены от сети.

Предмет защитных мер в электроэнергетике очень обширен: он включает в себя все аспекты безопасности персонала, защиту от повреждения и разрушения собственности, производства и оборудования.

Эти различные аспекты защиты можно классифицировать следующим образом:

- Защита персонала и животных от опасностей перенапряжения и поражения электрическим током, возгораний, взрывов, токсичных газов и т.д.
- Защита производства, оборудования и компонентов сети питания от коротких замыканий, атмосферных воздействий (молнии) и нестабильности сети питания (потеря синхронизма) и т.д.
- Защита персонала и оборудования от опасностей сбоев в работе сети питания, путем использования электрических и механических блокировок. Все классы коммутационных устройств (включая, например, устройства регулирования напряжения под нагрузкой на трансформаторах и т.п.) имеют ясно определенные операционные ограничения. Это означает, что порядок, в котором различные типы переключателей могут быть безопасно разомкнуты или замкнуты, существенно важен. Чтобы обеспечить строгое соблюдение правильных операционных последовательностей, часто используются ключи блокировки и аналогичные цепи электрического управления.

Полное описание многочисленных схем защиты, доступных инженерам электросетей, находится за рамками данного руководства, но мы надеемся, что нижележащие разделы, описывающие общие принципы защиты, будут полезны. Хотя некоторые из описываемых защитных устройств имеют общее применение, описание в основном будет касаться тех устройств, которые широко используются в высоковольтных и низковольтных сетях, как указано в пункте 1.1 данной главы.

Защита от удара током и перенапряжений тесно связана с обеспечением эффективного заземления (с малым сопротивлением), и с эффективным применением принципов эквипотенциального окружения.

3.1 Защита от поражения электрическим током

Защитные меры от поражения электрическим током учитывают две основных опасности:

- Контакт с активным проводом, то есть, находящимся под напряжением по отношению к земле при нормальных обстоятельствах. Это называется «прямым контактом».
- Контакт с токоведущей частью оборудования, которая обычно не находится под напряжением, но которая в данный момент стала токоведущей из-за неисправности в изоляции оборудования. Это называется «непрямым контактом».

Следует заметить, что существует третий тип опасности поражения током, который может иметься вблизи от высоковольтных или низковольтных (или смешанных) электродов заземления, по которым проходит ток замыкания на землю. Эта опасность возникает из-за разности потенциалов на поверхности почвы и называется «шаговым напряжением», при этом ток входит в тело через одну ногу и выходит через другую, что особенно опасно для четвероногих животных. Вариантом этой опасности является «напряжение прикосновения», например, когда заземленная металлическая часть расположена в области, где существует разность потенциалов.

Прикосновение к этой части оборудования может привести к прохождению тока через руку и обе ноги.

Животные со сравнительно большим расстоянием между передними и задними ногами особенно чувствительны к шаговому напряжению, имеются случаи смерти скота от разности потенциалов, вызванной нейтральным заземляющим электродом (230/400 В) или недостаточно низким сопротивлением.

Описанные выше проблемы разности потенциалов обычно не встречаются в электроустановках, расположенных в зданиях, при условии, что все эквипотенциальные проводники правильно соединяют все открытые металлические части оборудования и все внешние металлические конструкции (которые не являются частью оборудования, например, стальные рамы и т.д.) с защитным заземляющим проводником.

Защита от прямого контакта

Главной формой защиты от прямого контакта является содержание всех токоведущих частей в корпусах из изоляционного материала или в металлических заземленных корпусах, помещенные их вне пределов досягаемости (за изолированными барьерами или на столбах), либо путем установки ограждений.

Там, где изолированные токоведущие части закрыты в металлический кожух, например, трансформаторы, электродвигатели и многие бытовые приборы, металлический кожух должен быть подсоединен к защитной системе заземления.

Для высоковольтных КРУ, стандарт МЭК 62271-200 (Комплектные распределительные устройства и механизмы управления переменного тока в металлическом кожухе, рассчитанные на номинальные напряжения свыше 1кВ до 52кВ включительно) определяет минимальный индекс защиты (кодировка IP), равный IP2X, который обеспечивает защиту от прямого контакта. Более того, металлический кожух должен обладать электрической непрерывностью и хорошей изоляцией между внутренней и внешней частью корпуса. Надлежащее заземление кожуха улучшает электрическую защиту операторов при нормальных рабочих условиях. Для низковольтных приборов заземление реализуется через третий штырек в 3-штырьковых вилках и розетках.

(в зависимости от соотношения сопротивления утечки, через изоляцию к сопротивлению металлического кожуха на земле) поднять напряжение кожуха до опасного уровня.

Защита от непрямого контакта

Когда человек дотрагивается до металлического кожуха аппарата с неисправной изоляцией, как описано выше, он совершает не прямой контакт.

Непрямой контакт характеризуется тем, что присутствует утечка тока на землю (через защитный заземляющий провод), параллельно с током, протекающим через человека в результате непрямого контакта.

В случае наличия повреждения в изоляции в низковольтной сети

Многочисленные тесты показали что, если потенциал металлического кожуха не превышает 50 В⁽¹⁾ по отношению к земле, или к любому проводящему материалу в пределах досягаемости, он опасности не представляет.

Опасность непрямого контакта в случае повреждения изоляции в высоковольтной сети

Если произошло повреждение изоляции аппарата между высоковольтным проводником и металлическим кожухом, обычно невозможно ограничить скачок напряжения кожуха значением 51В или менее, просто путем уменьшения заземляющего сопротивления. Подходящим решением в этом случае будет создание эквипотенциальной ситуации, как описано в подпункте 1.1 «Системы заземления».

3.2 Защита трансформатора и цепей.

Общие положения

Электрооборудование и цепи подстанции должны быть защищены, чтобы избежать или контролировать повреждения вызываемые сверхтоками и/или сверхнапряжениями. Все оборудование, обычно используемое в электроустановках, имеет стандартные значения допустимых кратковременных перегрузок по току и напряжению. Роль защитной системы – обеспечить, чтобы эти допустимые пределы никогда не превышались. В общем случае это значит, что условия повреждения должны быть ликвидированы как можно скорее, с обязательным обеспечением взаимодействия между устройствами защиты, расположенными выше и ниже по цепи относительно защищаемого оборудования. Это означает, что если в сети имеется повреждение, обычно его одновременно регистрируют несколько устройств защиты, но только одно устройство должно действовать.

Таковыми устройствами могут быть:

- Плавкие предохранители (ПП), ликвидирующие ток повреждения напрямую, или с помощью механического отключающего устройства, которое отключает связанный с ним трехфазный выключатель нагрузки.
- Реле, которые действуют опосредованно, на отключающую катушку автоматического выключателя.

Защита трансформатора

Перегрузки в вызываемые возмущения в системе электроснабжения

Иногда в сети питания могут возникать волны перенапряжения, такие, как:

- Атмосферные волны перенапряжения
Атмосферные волны перенапряжения вызываются ударом молнии, попадающей на линию или рядом с воздушной линией электропередач.
- Коммутационные перенапряжения, являющиеся следствием эксплуатационных переключений в системе электроснабжения.

Внезапное изменение установившихся рабочих условий в электрической цепи вызывает различные кратковременные явления. Обычно это броски напряжения, высокочастотные или с затухающими колебаниями.

Для обоих типов бросков напряжения, устройством защиты от перенапряжения обычно является варистор (на основе оксида цинка).

В большинстве случаев, защита от волн перенапряжения не действует на коммутационную аппаратуру.

Перегрузки из-за повышенной нагрузки

Перегрузка трансформатора часто случается из-за одновременного потребления тока множеством небольших нагрузок или увеличением потребления полной мощности (кВА) всей электроустановкой, что вызвано расширением предприятия, постройкой новых зданий и т.д. Увеличение нагрузки повышает температуру обмоток и изоляционного материала. В результате, повышение температуры ведет к снижению срока службы оборудования. Устройства защиты от перегрузки могут располагаться на стороне первичной или вторичной обмотки трансформатора.

Защита от перегрузки трансформатора обеспечивается электронным реле, которое отключает автоматический выключатель на стороне вторичной обмотки трансформатора. Такие реле, обычно называемые реле цифровой перегрузки, искусственно рассчитывают температуру, учитывая постоянную времени обмотки трансформатора.

(1) В сухих местах, 25В во влажных местах (ванные комнаты и т.д.)

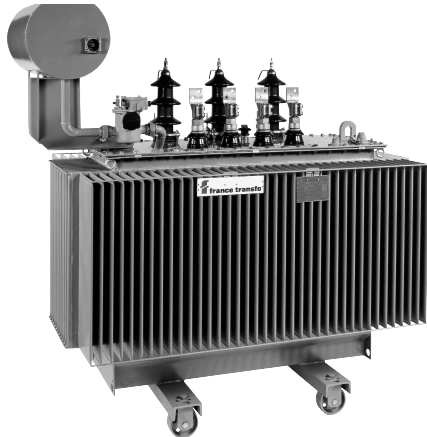


Рис. 15: Трансформатор с расширительным баком для масла

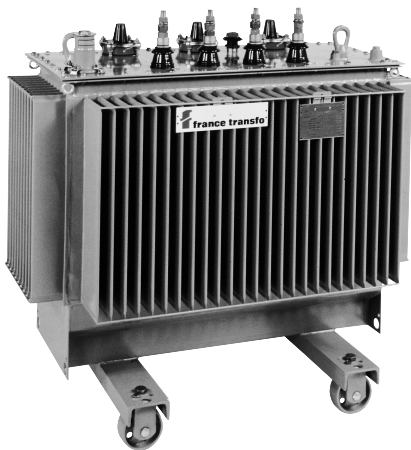


Рис. 16: Трансформатор с полным заполнением маслом

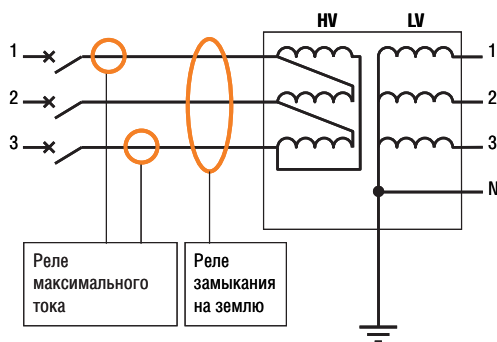


Рис. 17: Защита от КЗ на землю на высоковольтной обмотке трансформатора

Некоторые из них способны учитывать эффект гармонических токов, вызываемых нелинейными нагрузками (выпрямители, компьютерное оборудование, преобразователи скорости вращения и т.д.). Реле этого типа также способны предсказать время, через которое произойдет отключение по перегрузке и время ожидания после отключения. Эти данные очень полезны для операций по снижению разгрузке.

Дополнительно, масляные трансформаторы часто имеют термостаты с двумя установленными значениями, для сигнализации и отключения.

Сухие трансформаторы используют датчики температуры, встроенные в самую горячую часть изоляции обмотки в целях сигнализации и отключения.

Внутренние повреждения

Для трансформаторов с расширительным баком для масла и воздушной подушкой, защита от внутренних повреждений обеспечивается устройствами, которые монтируются на трансформатор, а именно классическими механическими газовыми реле (реле Buchholz) (см. Рис. 15). Эти реле могут обнаружить медленное накопление газов, возникающих в результате начального искрения при пробое в изоляции обмотки или из-за поступления (входа) воздуха в результате утечки масла. Этот первый уровень обнаружения обычно приводит к срабатыванию сигнализации, но если условия продолжают ухудшаться, второй уровень обнаружения приводит к отключению автоматического выключателя (АВ), расположенного выше по цепи.

Функция обнаружения резкого подъема масла в реле Buchholz «мгновенно» отключает автоматический выключатель выше по цепи, если в трубке, соединяющий главный бак масла с бакл расширителя, произойдет резкий подъем уровня масла (маслянная волна).

Такая волна может возникать из-за резкого подъема масла, вызванного быстро образовавшимся газовым пузырем, который появился в результате тока короткого замыкания под маслом.

В настоящее время имеются трансформаторы с полным заполнением маслом мощностью до 10 МВА, имеющие специальные радиаторы - охладители масла.

Расширение масла не сопровождается чрезмерным подъемом давления, благодаря эффекту «растягивания мехов» радиаторных элементов. Полное описание этих трансформаторов дано в разделе 4.4 (См. Рис. 16).

Очевидно, устройства Buchholz, о которых речь шла выше, не могут быть применены в такой конструкции, однако, были разработаны их современные заменители, которые измеряют:

- Накопление газа
- Повышение давления
- Повышение температуры

Первые два условия отключают автоматический выключатель, расположенный выше по цепи, а третье условие отключает выключатель, расположенный ниже по цепи относительно трансформатора.

Внутреннее короткое замыкание между фазами

Внутреннее КЗ между фазами могут обнаружить и ликвидировать следующие устройства:

- 3 плавких предохранителя на первичной обмотке трансформатора, или
- Реле максимального тока, которое размыкает АВ выше по цепи от трансформатора.

Внутреннее короткое замыкание фаза-земля

Это наиболее распространенный тип внутреннего повреждения. Оно может быть обнаружено с помощью реле замыкания на землю. Ток КЗ можно вычислить, суммируя 3 фазных тока первичной обмотки (если используются 3-фазные трансформаторы), или используя специальный трансформатор нулевой последовательности.

Если нужна большая чувствительность, предпочтительнее использовать специальные трансформаторы нулевой последовательности. В этом случае можно использовать только два трансформатора тока (см. Рис.17).

Защита цепей

Защита цепей, расположенных на стороне низкого напряжения трансформатора, должна удовлетворять требованиям стандарта МЭК 60364.

Различие между защитными устройствами, высшего и низшего напряжения трансформатора.

Подстанция потребителя электроэнергии с измерением энергии на стороне низкого напряжения требует селективной работы высоковольтных предохранителей или низковольтных автоматических выключателей и низковольтных выключателей или предохранителей. Номинал высоковольтных предохранителей должен выбираться в соответствии с характеристиками трансформатора.

Характеристики отключения низковольтного АВ должны быть такими, чтобы в условиях перегрузки или КЗ ниже по цепи от выключателя, он отключался бы достаточно быстро, чтобы предотвратить воздействие сверхтока на высоковольтные предохранители и автоматический выключатель.

Кривые зависимостей времени отключения предохранителей и выключателя ВН, и выключателей НН даны на графиках зависимости времени отключения устройств и тока, проходящего через них. Обе кривые имеют общую обратно зависимую характеристику время/ток (с резким разрывом в кривой выключателя при значении тока, превышающим значение, при котором происходит «мгновенное» отключение).

Типичный вид этих зависимостей показан на Рис. 18.

■ Чтобы обеспечить селективность:

Кривая предохранителя ВН должны находиться выше и правее кривой автоматического выключателя.

■ Чтобы предохранители не срабатывали (то есть, не перегорали):

Все части минимальной преддуговой кривой предохранителя должны располагаться правее кривой выключателя в 1.35 раз и более (например, там, где в момент времени T , кривая выключателя проходит через точку 100 А, кривая предохранителя должна проходить через точку 135 А или выше, и т.д.), а все части кривой предохранителя должны располагаться выше кривой выключателя в 2 раза и более (например, там, где при значении тока I кривая выключателя проходит через точку 1,5 сек, кривая предохранителя при том же значении тока должна проходить через точку, соответствующую 3 сек или более, и т.д.).

Коэффициенты 1,35 и 2 основаны на стандартных максимальных допусках, применяемых при изготовлении плавких предохранителей - ПП и высоковольтных АВ.

Чтобы сравнить две кривые, высоковольтные токи нужно конвертировать в эквивалентные низковольтные токи, и наоборот.

Там, где используется низковольтный выключатель с плавким предохранителем, также должно обеспечиваться подобное разделение кривых высоковольтного и низковольтного предохранителей.

■ Чтобы не срабатывала защита высоковольтного АВ:

Все части минимальной преддуговой кривой предохранителя должны располагаться правее кривой выключателя в 1.35 раз и более (например, там, где в момент времени T , кривая низковольтного АВ проходит через точку 100 А, кривая высоковольтного АВ должна проходить через точку 135 А или выше, и т.д.), а все части кривой высоковольтного АВ должны располагаться выше кривой низковольтного АВ (время низковольтного АВ должно быть менее или равно значению времени высоковольтного АВ минус 0,3 сек)

Коэффициенты 1,35 и 0,3 сек основаны на стандартных максимальных допусках для высоковольтных трансформаторов тока, реле защиты высоковольтного оборудования и низковольтных АВ. Чтобы сравнить две кривые, высоковольтные токи нужно конвертировать в эквивалентные низковольтные токи, и наоборот. Эти требования проиллюстрированы на Рис. C19.

Там, где используется низковольтный выключатель с ПП, также должно обеспечиваться подобное разделение кривых высоковольтного и низковольтного предохранителей.

Выбор устройства защиты на стороне первичной обмотки трансформатора

Как объяснено выше, при малых значениях величины тока срабатывание (уставки) защиты может быть реализована плавкими предохранителями или автоматическим выключателем (АВ).

Когда величина тока уставки срабатывания велика, защита осуществляется выключателем АВ.

АВ обеспечивают более чувствительную защиту трансформатора, чем плавкие предохранители. Также, при применении выключателей, легче реализовать дополнительные меры защиты (защита от тока короткого замыкания на землю, защита от тепловой перегрузки).

3.3 Блокировки и обусловленные операции

Механические и электрические блокировки входят в состав механизмов и цепей управления оборудованием подстанций, как и меры защиты от неправильных действий оперативного персонала.

Механическая защита от нарушения требуемой последовательности воздействия на устройства расположенные в разных местах обеспечивается взаимоблокировкой устройств с передачей ключа.

Целью схемы защиты является предотвратить любое неправильно действие персонала. Некоторые из этих операций могут повлечь за собой опасность для персонала, а другие могут привести к повреждению электрооборудования.

Основные блокировки

Основные функции блокировок могут быть представлены в одном функциональном блоке; некоторые из этих функций обязательны, согласно стандарту МЭК 62271-200, а другие могут быть реализованы по выбору пользователя.

Для получения доступа к высоковольтной коммутационной аппаратуре требуется совершить ряд операций в установленном порядке. Чтобы привести систему к ее прежнему состоянию, необходимо выполнить операции в обратном порядке. В дополнение

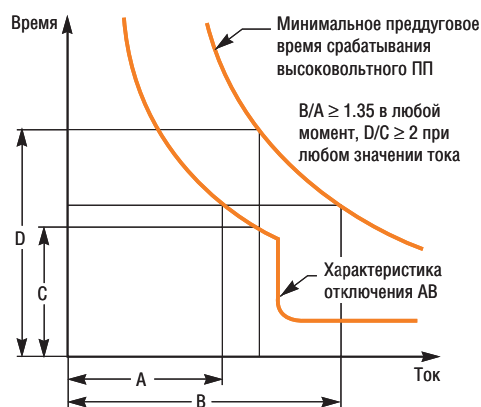


Рис. C18: Селективность в работе высоковольтного ПП и низковольтного АВ, установленных для защиты трансформатора.

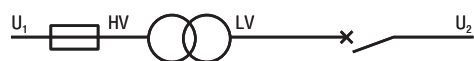


Рис. C19: Работа высоковольтного плавкого предохранителя и низковольтного АВ.

к правильному выполнению процедур, нужную последовательность операций могут обеспечить специальные блокировки. После этого отсек, куда совершается доступ, будет иметь статус «доступен по блокировке» или «доступен по процедуре». Даже для пользователей, правильно выполняющих строгие процедуры, использование блокировок обеспечивает дополнительную защиту оперативного персонала.

Взаимоблокировка устройств ключом

Кроме блокировок на отдельном функциональном устройстве (также см. п.4.2), наиболее широко используемая форма блокировки устройств основана на принципе передачи ключа.

Принцип основан на возможности передачи одного или нескольких ключей (без которых невозможно выполнить те или иные операции) только при выполнении определенных условий.

Например: запрет или разрешение на работу одного или нескольких ключей.

Эти условия можно комбинировать в уникальные или обязательные последовательности, таким образом, гарантируя безопасность персонала и оборудования путем недопущения ошибочных действий рабочего персонала.

Несоблюдение правильной последовательности операций в обоих случаях может иметь очень серьезные последствия, как для работающего персонала, так и для оборудования.

Примечание: Важно продумать схему блокировки устройств на стадии проектирования понижающей подстанции. Таким образом, оборудование будет изготовлено и установлено правильным образом, с обеспечением совместимости ключей и устройств блокировки.

Надежность энергоснабжения

Для конкретного распределительного щита, определение доступных отсеков, а также условий доступа к ним, представляют основу для классификации перерывами в электроснабжении объяснены в стандарте МЭК 62271-200. Использование блокировок устройств или только правильных процедур не оказывает никакого влияния на непрерывность поставки энергии. Только запрос на доступ к конкретной части оборудования, при нормальных рабочих условиях, приводит к появлению ограничивающих, более или менее строгих условий относительно непрерывности поставки энергии.

Взаимоблокировки устройств в подстанциях

В распределительной понижающей подстанции, которая включает в себя:

- Одну вводную ячейку высокого напряжения или две вводных ячейки (от параллельных фидеров) или две ячейки (вводная/отходящая) для кольцевой схемы.
- Ячейка защиты трансформатора, которая может включать в себя комбинированный выключатель нагрузки / разъединитель с высоковольтными предохранителями и заземляющий разъединитель, или автоматический выключатель и разъединитель, вместе с заземляющим разъединителем.
- Отсек трансформатора

Блокировки устройств позволяют осуществить доступ и действия с различными ячейками в следующих условиях:

Основные блокировки, встроенные в функциональные блоки

- Работа выключателя нагрузки/ вводного разъединителя
- Если дверца ячейки закрыта и связанный с ней заземляющий разъединитель отключен.
- Работа линейного разъединителя до АВ трансформатора и защиты.
- Если дверца ячейки закрыта, и
- Если АВ цепи отключен, и заземляющий разъединитель(и) отключен
- Включение заземляющего разъединителя
- Если связанный входной разъединитель(и) цепи отключен(ы)⁽¹⁾
- Имеется доступ к доступным отсекам каждой ячейки, если были предусмотрены блокировки.
- Если разъединитель линии для отсека отключен, а заземляющий разъединитель(и) для отсека включен(ы).
- Закрытие дверцы каждого доступного отсека, если были предусмотрены блокировки.
- Если заземляющий разъединитель(и) для отсека включен(ы).

Функциональные взаимоблокировки устройств, включающие в себя несколько функциональных блоков или единиц оборудования.

- Доступ к клеммам понижающего трансформатора.
- Если выключатель начального функционального блока разомкнут, а его заземляющий разъединитель замкнут. Учитывая возможность обратного тока со стороны низкого напряжения, необходимо учитывать состояние главного выключателя цепи низкого напряжения.

Практический пример

В подстанции потребителя электроэнергии с измерением потребления на стороне низкого напряжения наиболее часто используется следующая схема блокировок: высокое напряжение/низкое напряжение/трансформатор.

(1) Если заземляющий разъединитель стоит на входной цепи, связанные с ним разъединители находятся на обоих концах цепи и надлежащим образом заблокированы. В такой ситуации, функция блокировки становится блокировкой ключом для нескольких устройств.

Целью блокировки является:

- Предотвратить доступ в трансформаторный отсек, если заземляющий разъединитель не был перед этим замкнут.
- Предотвратить включение заземляющего разъединителя в распределительной и защитной панели трансформатора, если АВ цепи низкого напряжения не был перед этим зафиксирован в позиции «отключен».

Доступ к клеммам высокого или низкого напряжения трансформатора, защищенного со стороны высокого напряжения коммутационной и защитной аппаратурой, содержащей высоковольтный выключатель нагрузки/входной разъединитель, плавкие предохранители, и заземляющий разъединитель, должен выполняться в строгом соответствии с процедурой, которая была описана выше, и проиллюстрирована на схемах на **Рис. C20**.

Примечание: Трансформатор в этом примере снабжен втычными кабельными вводами для высокого напряжения, которые можно удалить, только разблокировав устройство блокировки, общее для вводов всех трех фаз.⁽¹⁾

Высоковольтный выключатель нагрузки механически связан с высоковольтным заземляющим разъединителем, так, что только один из выключателей может быть включен, то есть включение одного выключателя автоматически блокирует включение другого.

Процедура отключения и заземления силового трансформатора и снятия высоковольтных защищенных кабельных вводов (или их защитного покрытия)

Начальные условия

- Высоковольтный выключатель-разъединитель нагрузки/ и низковольтный автоматический выключатель цепи включены.
- Высоковольтный заземляющий разъединитель зафиксирован в отключенном положении ключом «0»
- Ключ «0» заблокирован при включенном положении низковольтного выключателя.

Шаг 1

- Отключите низковольтный АВ и зафиксируйте его в открытом положении ключом «0».
- Ключ «0» при этом разблокируется.

Шаг 2

- Отключите высоковольтный выключатель.
- Проверьте, что индикаторы наличия напряжения не горят, когда высоковольтный выключатель отключен.

Шаг 3

- Разблокируйте высоковольтный заземляющий разъединитель ключом «0» и включите его.
- Ключ «0» при этом блокируется.

Шаг 4

Крышка отсека высоковольтных плавких предохранителей теперь может быть удалена (то есть, ключ освобождается при включении высоковольтного заземляющего разъединителя). На этой панели расположен ключ «S», и он удерживается, когда включен высоковольтный выключатель.

- Поверните ключ «S», чтобы зафиксировать высоковольтный выключатель в отключенном положении.
- Ключ «S» теперь разблокирован.

Шаг 5.

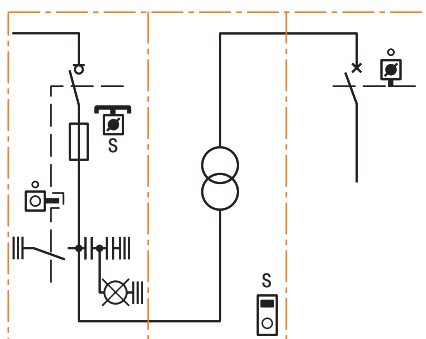
Ключ «S» позволяет удалить общее устройство блокировки втычных высоковольтных кабельных вводов на трансформаторе или общую защитную панель над вводами, если она имеется.

В обоих случаях, обнажение одной или более клемм приведет к блокированию ключа «S».

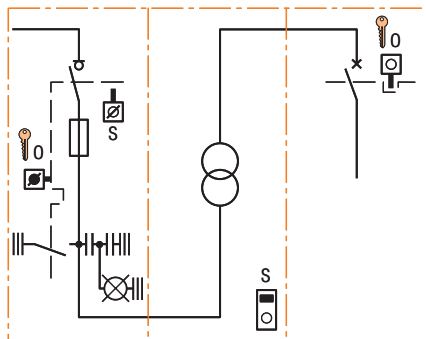
Результат вышеописанной процедуры будет следующим:

- Высоковольтный выключатель зафиксирован в отключенном положении ключом «S».
- Ключ «S» запрет в блокировке клемм трансформатора, пока они открыты.
- Высоковольтный заземляющий разъединитель находится во включенном положении, но не зафиксирован, то есть его можно включить или отключить. При выполнении работ по техобслуживанию, обычно навешивается дверной замок, чтобы зафиксировать заземляющий разъединитель во включенном положении, ключ от замка находится у инженера, руководящего работами.
- Низковольтный АВ фиксируется в отключенном положении ключом «0», который удерживается включенным высоковольтным заземляющим разъединителем. Таким образом, трансформатор надежно отсоединен и заземлен.

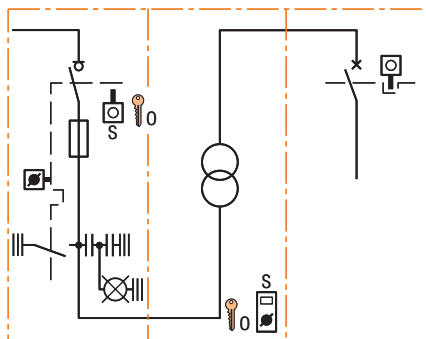
Можно отметить, что вводные выключатели нагрузки, расположенные на стороне высшего напряжения, могут оставаться под напряжением во время описанной процедуры, так как эти клеммы расположены в отдельном отсеке коммутационной аппаратуры, куда нет доступа. Любое другое техническое действие с открытыми клеммами в отсеке, где проводятся работы, требует дальнейшего снятия питания с оборудования и блокировок.



Выключатель высокого напряжения и АВ низкого напряжения включены



Высоковольтные плавкие предохранители доступны



Высоковольтные клеммы трансформатора доступны

Легенда

- Ключ отсутствует
- Ключ свободен
- Ключ удерживается
- Панель или дверь

Рис C20: Пример блокировки ВН/НН/Трансформатор

(1) Или может иметься общее защитное покрытие над тремя клеммами.

4 Подстанция абонента с измерениями на стороне низкого напряжения

C22

4.1 Общие положения

Подстанция потребителя с учетом энергии на стороне низкого напряжения представляет собой электроустановку, подсоединенную к системе электроснабжения с номинальным напряжением 1-35 кВ, с одним понижающим трансформатором, обычно не более 1250 кВА.

Функции

Подстанция

Все составные части подстанции располагаются в одном помещении, которое находится в уже существующем или в специально построенном здании, внешнем по отношению к основному зданию.

Подключение к высоковольтной сети

Подключение к высоковольтной сети может быть выполнено:

- По одному кабелю или по воздушной линии электропередач;
- Через два выключателя нагрузки с механической взаимоблокировкой, подключенных к двум кабелям от дублирующих линий питания.
- Через два выключателя нагрузки распредустройства кольцевой схемы.

Трансформатор

Так как использование трансформаторов на основе ПХБ⁽¹⁾ запрещено в большинстве стран, предпочтительными являются:

- Масляные трансформаторы для подстанций наружной установки
- Сухие трансформаторы с литой изоляцией вакуумного литья для внутренней установки, то есть в многоэтажных зданиях, публичных помещениях, и т.д.

Снятие показаний

Для измерения потребления энергии в сети низкого напряжения можно использовать небольшие измерительные трансформаторы небольшой стоимости. Большинство тарифных планов учитывают потери в трансформаторах.

Цепи низкого напряжения

В цепи низкого напряжения должен быть установлен автоматический выключатель (АВ), необходимый для отключения той сети, в целях:

- Питания распределительного щита
- Защиты трансформатора от перегрузки и цепей, расположенных ниже, от коротких замыканий.

Однолинейные схемы

Схемы на следующей странице (см. Рис. С21) представляют различные методы подключения к высоковольтной сети питания, а именно:

- Одной линией
- Одной линией (с предусмотренным расширением до кольцевой схемы питания)
- Двойное электроснабжение (от двух линий питания)
- Кольцевая схема питания

4.2 Выбор панелей

Стандарты и технические характеристики

Коммутационная аппаратура и оборудование, описанные ниже, предназначены для сетей номиналом 1-24 кВ и удовлетворяют следующим стандартам: МЭК 62271-200, 60265-1, 60694, 62271-102, 62271-105

Также, местные законы могут требовать соответствия национальным стандартам:

- Франция: UTE
- Великобритания: BS
- Германия: VDE
- США: ANSI

Тип оборудования

В дополнение к устройствам кольцевой схемы, описанным в разделе 1.2, используя модульные панели, можно создавать распредустройства для любой схемы подстанции с возможностью дальнейшего ее расширения.

Комплектные подстанции, состоящие из модульных панелей, особенно применимы для следующих случаев:

- Открытая кольцевая или радиальная сеть.
- Суровые климатические условия или высокое загрязнение среды (требуется комплексная изоляция).
- Недостаточно места для «классических» распределительных щитов.

Данный тип оборудования характеризуется своими небольшими размерами, интегрированными функциями и операционной гибкостью.

(1) Полихлорированный бифенил

4 Подстанция абонента с измерениями на стороне низкого напряжения

C23

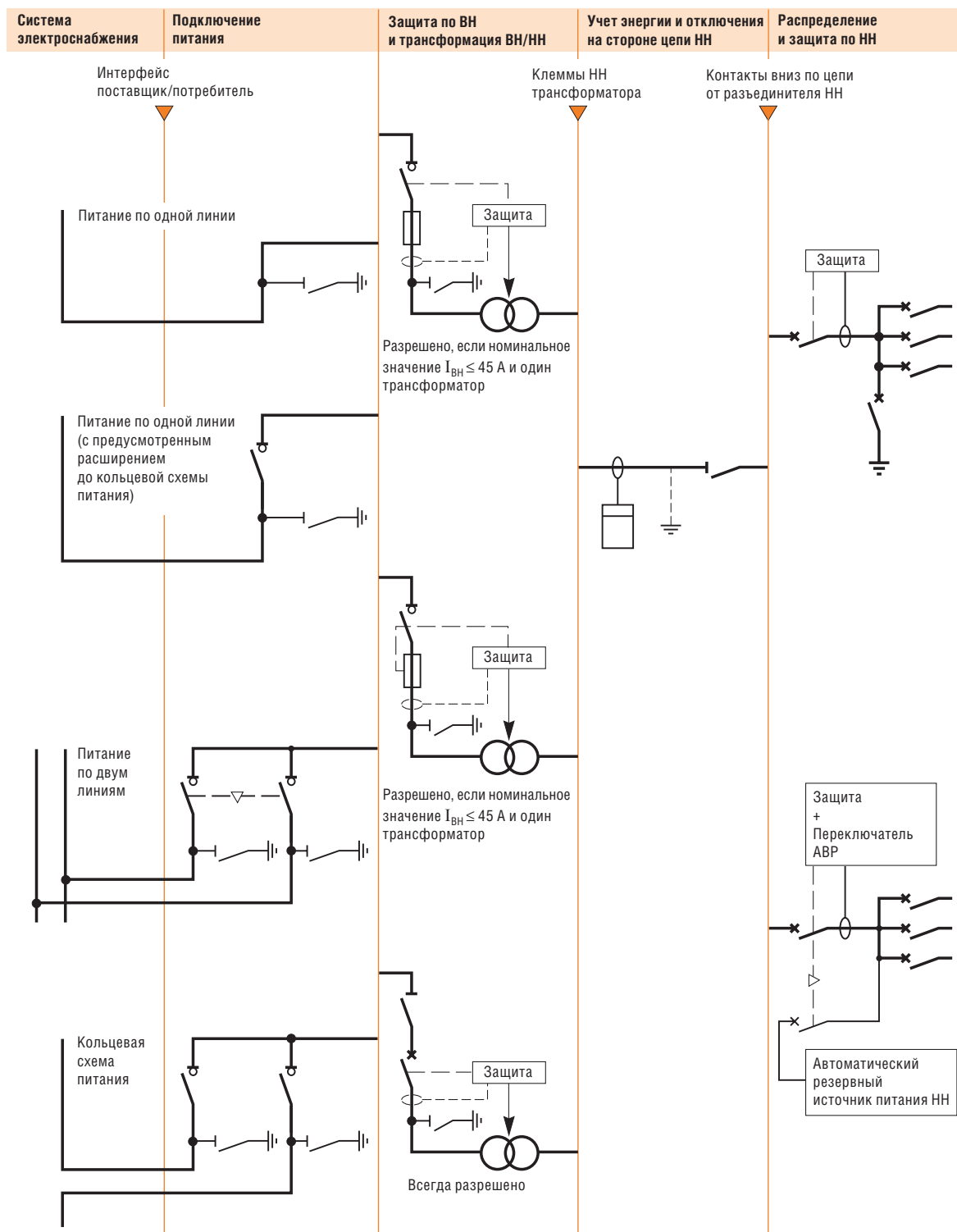


Рис. С21: Подстанция абонента с измерениями на стороне низкого напряжения.



Рис. С22: Высоковольтный выключатель нагрузки в металлическом корпусе

Операционная безопасность ячеек в металлическом корпусе

Описание

Ниже дано описание ячейки современного выключателя-разъединителя нагрузки (см. **Рис. С22**), который включает в себя наиболее современные разработки, позволяющие обеспечить:

- Операционную безопасность
- Минимальные требования по месту размещения
- Возможность расширения и гибкость
- Минимальные требования по техническому обслуживанию

Каждая ячейка включает в себя три отсека:

- Коммутационная аппаратура: Выключатель нагрузки – разъединитель встроены в герметичный литой корпус из эпоксидного материала, рассчитанный на весь срок службы.
- Подключения: Кабелем на контакты, расположенные на литом корпусе выключателя.
- Сборные шины: модульные, позволяющие собрать рядом любое число ячеек, образующих распределительный щит и низковольтный отсек для управления и сигнализации, в котором можно разместить аппаратуру автоматики и релейной защиты. При необходимости сверху существующего может быть смонтирован дополнительный отсек.

Кабельные подключения выполняются внутри кабельного отсека на передней части устройства, доступ в который осуществляется путем снятия передней панели отсека.

Отдельные ячейки соединяются электрически, используя готовые секции сборных шин. Сборка на месте осуществляется согласно инструкциям по сборке.

Управление распреемством облегчается группировкой всех элементов управления и сигнализации на панели управления, расположенной на передней части устройства.

Основными принципами этого коммутационного оборудования являются: операционная безопасность, упрощенный монтаж и минимальные требования к обслуживанию.

Меры безопасности внутренней коммутационной аппаратуры

- Выключатель нагрузки/разъединитель полностью соответствует требованиям для «устройства с гарантированным указанием положения», как определено в стандарте МЭК 62271-102 (Внутренние/встроенные, предусмотренные меры безопасности распреемства).
- Функциональный блок включает в себя основные блокировки, определенные в стандарте МЭК 62271-200 (Комплектные распределительные устройства (КРУ) в металлическом кожухе и механизмы управления) .
- Включение этого выключателя невозможно, если не отключен заземляющий силовые и заземляющие разъединители.
- Включение заземляющего разъединителя (ЗП) возможно только тогда, когда выключатель нагрузки-разъединитель отключен.
- Доступ к кабельному отсеку, который является единственным отсеком, куда имеется доступ пользователя во время работы, защищен следующими блокировками:
 - Отрывание панели доступа к кабельному отсеку⁽¹⁾ возможно только тогда, когда заземляющий разъединитель включен.
 - Выключатель нагрузки/разъединитель зафиксирован в позиции «отключен», когда вышеупомянутая панель доступа открыта. После этого возможно отключить заземляющий разъединитель, например, чтобы провести испытания (проверки) электрической прочности кабелей.

Таким образом, в распреемстве можно проводить работы без обесточивания сборных шин и кабелей, за исключением блока, где производится доступ к кабелям. Он удовлетворяет требованиям «Потери непрерывности энергоснабжения» класса LSC2A, как определено в стандарте МЭК 62271-200.

Кроме блокировок, описанных выше, каждая панель КРУ включает в себя:

- Встроенные приспособления для навесных замков на управляющих рукоятках
- 5 просверленных наборов крепежных отверстий для возможной навески в будущем дополнительных замков.

Операции

- Ручки управления, рычаги и т.д., используемые для операций переключения сгруппированы все вместе на панели, имеющей понятные пиктограммы.
- Все рычаги на операции включения идентичны для всех устройств (кроме тех, которые содержат автоматический выключатель).
- Операция включения рычагом требует очень небольшого физического усилия.
- Отключение или включение выключателя нагрузки / разъединителя может быть выполнено рычагом, или кнопкой, для АВ.
- Состояния выключателей (Отключен, Включен, Введено) ясно указаны пиктограммами.

(1) Там, где используются высоковольтные предохранители, они расположены в этом отсеке.

4.3 Выбор высоковольтного оборудования для подключения трансформатора

Обычно применяются три типа коммутационной аппаратуры:

- Выключатель нагрузки и отдельные плавкие предохранители ВН
- Комбинация: высоковольтный выключатель нагрузки / плавкие предохранители ВН
- Автоматический выключатель

Для оптимального выбора нужно учитывать несколько параметров

- Ток первичной обмотки трансформатора
- Изоляционная среда трансформатора
- Положение подстанции относительно центра нагрузки.
- Номинальное значение мощности трансформатора в кВА.
- Расстояние от КРУ до трансформатора
- Использование отдельных защитных реле (в отличие от реле прямого действия).

Примечание: Предохранители, используемые в комбинации выключатель нагрузки / предохранители, имеют бойки, которые обеспечивают отключение 3-полюсного выключателя нагрузки, при срабатывании одного (или более) предохранителя.

4.4 Выбор понижающего трансформатора

Характеристики трансформатора

Трансформатор характеризуется, в частности, своими электрическими параметрами, а также технологией изготовления и условиями использования.

Электрические характеристики

■ Номинальная мощность (P_n): условная полная мощность в кВА, на которой основаны конструкция трансформатора и другие величины расчетных параметров используемых при проектировании. Испытания производителя и гарантии относятся именно к этому значению.

■ Частота: Сети, описанные в данном руководстве, работают на частоте 50 или 60 Гц.

■ Номинальное первичное и вторичное напряжение: Для первичной обмотки, способной работать на нескольких уровнях напряжения, должно быть дано значение мощности кВА, соответствующее каждому уровню напряжения. Второе номинальное значение напряжения вторичной обмотки трансформатора – это значение напряжения холостого хода.

■ Номинальные уровни изоляции характеризуются величинами напряжений, которые используются при испытаниях изоляции повышенным напряжением промышленной частоты, а также высоковольтными импульсами напряжения, имитирующими разряд молнии. При уровнях напряжения, описанных в данном руководстве, перенапряжения, вызванные операциями коммутации, обычно гораздо меньше, чем вызываемые молнией, поэтому отдельных испытаний для волн перенапряжений, вызванных операциями коммутации, не проводится.

■ Переключатель отпаек без нагрузки обычно позволяет установить уровни напряжения до $\pm 2.5\%$ и $\pm 5\%$ от номинального напряжения первичной обмотки трансформатора.

Напряжение с трансформатора должно быть снято, перед тем как работать с этим переключателем.

■ Схемы и группы соединения обмоток трансформатора обозначены стандартными символами для звезды, треугольника и звезды с внутренними соединениями (зигзаг) (и их комбинациями, для для трансформаторов специального исполнения, например, 6- или 12-фазные трансформаторы для питания выпрямителей, и т.п.), а также с помощью буквенно-цифровой кодировки и рекомендованной МЭК. Этот код читается слева направо, первая буква относится к обмотке с самым высоким напряжением, вторая – к обмотке с напряжением, следующим по величине, и т.д..

□ Заглавные буквы относятся к обмотке с самым высоким напряжением

D = треугольник,

Y = звезда,

Z = звезда с внутренними соединениями (или зигзаг),

N = нейтраль, выведенная на клемник.

□ Строчные буквы используются для вторичных обмоток

d = треугольник,

y = звезда,

z = звезда с внутренними соединениями (или зигзаг),

n = нейтраль, выведенная на клемник.

□ Число от 1 до 11, соответствующее делению на циферблате часов (вместо 12 используется 0) которое следует за любой парой букв, указывает на сдвиг по фазе, если таковой имеется, возникающий во время трансформации.

Очень распространенной схемой соединения обмоток в распределительных трансформаторах является схема Дуп 11, в которой соединение высоковольтной обмотки выполнено по схеме треугольник, а вторичной обмотки – по схеме звезда, нейтраль которой выведена на клемник.

Сдвиг по фазе трансформатора составляет +30 градусов, то есть, фаза 1 вторичного напряжения на «11 часах», а фаза 1 первичного напряжения – на «12 часах», как показано на рис. С31 стр. С34. Все комбинации соединения обмотки по схемам треугольник, звезда и зигзаг образуют сдвиг по фазе, который (если он не равен нулю), составляет либо 30 градусов, либо кратное значение.

«Часовая кодировка» подробно описана в стандарте МЭК 60076-4.

Характеристики, связанные с технологией и применением трансформатора

Этот список не является исчерпывающим:

- Выбор технологии
- Изоляционной средой является:
 - Жидкость (минеральное масло) или
 - Твердая эпоксидная смола и воздух
- Для внутренней и наружной установки
- Высота над уровнем моря (≤ 1000 м стандартно)
- Температура (МЭК 60076-2)
 - Максимальная температура окружающего воздуха: 40 °C
 - Максимальная средняя суточная температура окружающего воздуха: 30 °C
 - Максимальная средняя годовая температура окружающего воздуха: 20 °C

Для нестандартных рабочих условий, прочтите пункт «Влияние средней температуры и высоты на номинальный ток», стр. С7.

Описание технологий изоляции

В настоящее время имеется два основных класса распределительных трансформаторов:

- Сухого типа (литая изоляция)
- Жидкого типа (с заполнением маслом)

Трансформаторы сухого типа

Обмотки этих трансформаторов изолированы смолой, заливаемой под вакуумом (метод запатентован основными производителями).

Рекомендуется выбирать трансформатор, согласно стандарту МЭК 60076-11, учитывая следующее:

- Класс окружающей среды E2 (чистая конденсация и/или высокий уровень загрязнения).
- Климатические условия класса C2 (применение, транспортирование и хранение до -25 °C)
- Пожароустойчивость (трансформаторы подтверждающиеся пожарной безопасностью с низкой возгораемостью и самозатухающие в течение определенного времени).

Следующие описание относится к процессу, разработанному ведущим Европейским производителем в этой области.

Для герметизации обмотки используется три компонента:

- Эпоксидная смола на основе бифенола А, с вязкостью, которая обеспечивает полную пропитку обмотки.
- Ангидридный отвердитель, модифицированный в целях достижения такой степени вязкости в корпусе, которая позволит избежать образования трещин во время температурных циклов, присутствующих при нормальном режиме работы.
- Порошковая добавка из тригидрата алюминия Al (OH) 3 и кварца, которая улучшает механические и тепловые свойства изолятора, а также придает исключительные внутренние качества изоляции в присутствии высокой температуры.

Эта трех-компонентная система изоляции позволяет получить изоляцию Класса «F» ($\Delta\theta = 100$ K), с отличными качествами пожаробезопасности и немедленного самозатухания. Такие трансформаторы классифицируются как невозгораемые.

Такая изоляция обмотки не содержит галогенных компонентов (хлора, брома и т.д.) или других компонентов, способных выделить коррозионные или токсичные загрязнители, таким образом, гарантируется высокая степень безопасности персонала в аварийных ситуациях, особенно в случае пожара.

Такой, трансформатор хорошо работает в агрессивных промышленных средах, пыльных, влажных и т.д. (см. Рис С23).

Трансформаторы с заполнением жидкостью

Наиболее распространенной изоляционной/охлаждающей жидкостью в трансформаторах является минеральное масло. Минеральные масла описаны в стандарте МЭК 60296. Так как они воспламеняемы, во многих странах обязательными являются меры безопасности, особенно при внутренней установке. Блок DGPT (обнаружения газа, повышенного давления и температуры) обеспечивает защиту масляных трансформаторов. В случае обнаружения отклонения, блок DGPT очень быстро отключает высоковольтное питание трансформатора, прежде чем ситуация становится опасной.

Минеральное масло подвержено биологическому старению и не содержит ПХБ (полихлорированный бифенил), что было причиной запрета аскарел или пиралена. По запросу, минеральное масло может быть заменено альтернативной изоляционной жидкостью, путем внесения необходимых изменений в трансформатор и принятия соответствующих дополнительных мер безопасности, если необходимо.

Изоляционная жидкость также действует в качестве охлаждающей среды, она расширяется при увеличении нагрузки и/или температуры окружающей среды, поэтому все трансформаторы с заполнением жидкостью должны быть спроектированы так, чтобы предоставить дополнительный объем для жидкости без чрезмерного давления в баке.



Рис. С23: Трансформатор сухого типа

4 Подстанция абонента с измерениями на стороне низкого напряжения

C27



Рис. C24: Герметичный бак с полным заполнением



Рис. C25: Расширитель для масла с воздушной подушкой при атмосферном давлении.

Ограничение давления обычно достигается двумя способами:

- Герметичный бак с полным заполнением (до 10 МВА в настоящее время).

Разработанный ведущим французским производителем в 1963 г., этот метод был принят к национальному использованию в 1972 г., а сейчас применяется во всем мире (см. Рис. C24). Расширение жидкости компенсируется эластичной деформацией маслоохлаждающих секций, присоединенных к баку.

Технология «полного заполнения» имеет много важных преимуществ над другими методами:

- Полностью исключено окисление диэлектрической жидкости (атмосферным кислородом).
- Нет никакой необходимости в устройстве осушения воздуха, а также в последующем техобслуживании (проверка и замена влагопоглотителя.)
- Нет необходимости проводить испытания электрической прочности жидкости как минимум 10 лет.
- Возможна упрощенная защита от внутренних повреждений, посредством устройства DGPT.
- Простота установки: облегченные и уменьшенные габариты (по сравнению с баками с расширителем для масла), хороший доступ к высоко- и низковольтным клеммам.
- немедленное обнаружение (даже малых) утечек масла; вода не может попасть внутрь бака.

- Расширитель для масла с воздушной подушкой при атмосферном давлении.

Расширение изолирующей жидкости сопровождается повышением уровня жидкости в расширительном баке, который смонтирован над главным баком трансформатора, как показано на Рис. C25. Пространство над жидкостью в расширительном баке может быть заполнено воздухом, который затягивается, когда уровень жидкости падает, и частично выпускается при подъеме уровня жидкости. Когда воздух затягивается из окружающей атмосферы, он проходит через сальник, перед тем, как попасть в осушительное устройство (обычно содержащее кристаллы силикагеля), и затем уже попадает в расширительный бак. В некоторых моделях больших трансформаторов пространство между маслом и баком занято герметичным воздушным компенсатором, так что изоляционная жидкость никогда не приходит в контакт с атмосферой. Воздух входит и выходит из деформирующегося воздушного компенсатора через сальник и осушитель, как это было описано выше. Расширительный бак обязателен для трансформаторов номиналом выше 10МВА (что в настоящее время является верхним пределом для трансформаторов с полным заполнением).

Выбор технологии

Как уже говорилось выше, можно выбрать трансформатор с заполнением жидкостью или сухого типа. Для номинальных значений до 10 МВА можно использовать устройства с полным заполнением, как альтернативу трансформаторам с расширительным баком.

Выбор зависит от ряда соображений, включая:

- Безопасность лиц, находящихся поблизости от трансформатора. Необходимость соблюдения местных законов и рекомендаций официальных органов.
- Экономические соображения, принимающие во внимание относительные преимущества каждой технологии.

Законодательные акты, которые могут повлиять на выбор, следующие:

- Трансформатор сухого типа:
 - В некоторых странах трансформатор сухого типа обязателен в многоэтажных жилых зданиях.
 - Применение сухих трансформаторов не ограничивается.
- Трансформаторы с изоляцией жидкостью
 - Этот тип трансформаторов обычно запрещен для применения в многоэтажных жилых зданиях.
 - Для различных типов изоляционных жидкостей, ограничения по установке, или минимальной защите от риска возгорания, варьируются в зависимости от класса используемой изоляции.
 - Некоторые страны, в которых использование жидких диэлектриков широко развито, выделяют несколько категорий изоляционных жидкостей, в соответствии с их пожароопасностью. Она оценивается по двум критериям: Температура вспышки и минимальная теплотворная способность. Основные категории показаны на Рис. C26, где для удобства использованы коды классификации.

Код	Диэлектрическая жидкость	Точка воспламенения (°C)	Минимальная теплотворная способность (МДж/кг)
01	Минеральное масло	<300	-
K1	Углеводороды с высокой плотностью	>300	48
K2	Сложные эфиры	>300	34-37
K3	Силиконы	>300	27-28
L3	Изоляционные галогеновые жидкости	-	12

Рис. C2: Категории жидких диэлектриков

Так, например, французский стандарт определяет условия для установки трансформаторов с заполнением жидкостью. Эквивалентный стандарт МЭК еще не разработан.

Французский стандарт направлен на обеспечение безопасности лиц, собственности и рекомендует принимать определенные минимальные меры против риска возгорания.

Основные меры предосторожности указаны на **Рис. С27**.

- Для жидких диэлектриков класса L3 не требуется специальных мер
- Для диэлектриков классов 01 и K1 указанные меры применяются только тогда, когда трансформатор содержит более 25 литров диэлектрической жидкости.
- Для диэлектриков классов K2 и K3 указанные меры применяются только тогда, когда трансформатор содержит более 50 литров диэлектрической жидкости.

Класс диэлектрической жидкости	Количество литров, свыше которого принимаются специальные меры	Расположение			С доступом только для обученного персонала и отделенная от рабочих мест огнеупорными стенами (номинал 2 ч.).		Другие помещения или места ^{(2),3}
		Помещение или огражденная площадь, с доступом только для квалифицированного персонала, и отделенная от любого другого здания на расстояние D.	С доступом только для обученного персонала и отделенная от рабочих мест огнеупорными стенами (номинал 2 ч.).	С доступом только для обученного персонала и отделенная от рабочих мест огнеупорными стенами (номинал 2 ч.).	Другие помещения или места ^{(2),3}		
		D > 8 м	4 м < D < 8 м	D < 4 м ⁽¹⁾ до занимаемых площадей	Без отверстий	С отверстиями	
01	25	Специальные меры не применяются	Установка огнеупорного экрана (огнестойкость 1 час)	Огнеупорная стена (номинал 2 ч.), отделяющая от соседнего здания	Меры (1+2) или 3 или 4	Меры (1 + 2 + 5) или 3 или (4 + 5)	Специальные меры (1A + 2 + 4) ⁽³⁾ или 3
K2 K3	50	Специальных измерений нет	Установка огнеупорного экрана (огнестойкость 1 час)	Установка огнеупорного экрана (огнестойкость 1 час)	Специальных мер не требуется	Специальные меры 1A или 3 или 4	Специальные меры 1 или 3 или 4
L3		Специальных измерений нет					

Специальные меры 1: Должно быть предусмотрено что, в случае вытекания жидкости из трансформатора, она будет полностью собрана (в маслобсорник, порогами вокруг трансформатора и блокированием (для предотвращения попадания жидкостей) кабельных каналов, трактов и т.п. во время строительства).

Специальные меры 1A: В дополнение к спец. мероприятиям 1, должно быть предусмотрено что, в случае возгорания жидкости, нет возможности для распространения огня (любой возгораемый материал должен быть отодвинут от трансформатора не менее чем на 4 м, и не менее 2 м, если установлен огнеупорный экран (с номиналом 1 ч.).

Специальные меры 2: Предусмотреть гравийную «подушку» (насыпь) в маслобсорнике, что позволит горячей жидкости быстро гаснуть естественным путем.

Специальные меры 3: Применяются автоматические устройства (газовые реле температуры и давления или реле Buchholz) для отключения от основного источника питания и срабатывания сигнализации, если газ появляется в баке трансформатора.

Специальные меры 4: Применяются устройства автоматического обнаружения огня в непосредственной близости к трансформатору, для отключения от основного источника питания и подачи сигнала тревоги.

Специальные меры 5: Автоматическое закрывание огнеупорными панелями (с минимальной огнестойкостью – 1/2 часа) всех отверстий (для вентиляции и т.д.) в стенах и потолке отсека подстанции.

Примечания:

(1) Огнеупорная дверь (огнестойкость 2 часа) не считается отверстием.

(2) Трансформаторный отсек, соседний с рабочим цехом и отделенный от него стенами, чьи огнеупорные характеристики не рассчитаны на 2 часа.

В зонах, расположенных в середине рабочих цехов, материал должен быть помещен в защитные контейнеры.

(3) Необходимым требованием является установка оборудования в помещении со сплошными стенами, единственными отверстиями в которых являются вентиляционные.

Рис. С27: Меры безопасности рекомендуется применять в электроустановках, использующих диэлектрические жидкости классов 01, K1, K2 или K3

Определение оптимальной мощности

Слишком мощный трансформатор

Это приводит к:

- излишним денежным затратам и неоправданно высоким потерям холостого хода - XX при отсутствии нагрузки, но
- уменьшению потерь при нагрузке

Недостаточно мощный трансформатор

Это приводит к:

- сниженный коэффициент полезного действия - КПД при полной нагрузке (самый высокий КПД эффективность - 50-70% при полной нагрузке).
- при долговременной перегрузке, имеются серьезные последствия:
 - для трансформатора, из-за преждевременного старения изоляции обмоток и, в крайних случаях, приводящего к повреждению изоляции и потере трансформатора.
 - для установки, если перегрев трансформатора приводит к отключению защитных реле и срабатыванию автоматического выключателя.

Определение оптимальной мощности

Чтобы выбрать оптимальную мощность (кВА) для трансформатора, необходимо принять во внимание следующие факторы:

- Составьте список нагрузок всего установленного оборудования, как описано в Главе В.
- Определите коэффициент спроса (или потребности) для каждого отдельного элемента нагрузки.
- Определите цикл нагрузки установки, отмечая длительность нагрузок и перегрузок.

4 Подстанция абонента с измерениями на стороне низкого напряжения

C29

- Если необходимо, примените коррекцию коэффициента мощности, чтобы:
- Снизить стоимость надбавок в тарифе в частности за максимальную потребляемую мощность, в kVA.
- Снизить значение заявленной мощности ($P(kVA) = P(kW)/\cos \phi$)
- Выберите необходимую вам мощность из ряда стандартных номинальных значений трансформатора, принимая во внимание все возможные в будущем расширения установки. Важно обеспечить трансформатор необходимыми охлаждающими устройствами.

Вентиляционные отверстия

В общем случае, при естественном охлаждении циркуляцией воздуха, вентиляция помещения организуется с целью удаления тепла (произведенного потерями мощности трансформатора) путем естественной конвекции.

Хорошая система вентиляции подает охлажденный воздух через отверстие секции S, которое находится на уровне пола, воздух покидает камеру через отверстие S1, расположенное на противоположной стене, на высоте H от входного отверстия, как показано на Рис. C28.

Важно отметить, что любое ограничение свободного потока воздуха достаточного объема приводит к снижению мощности трансформатора, если номинальные температурные пределы не должны превышать.

Естественная вентиляция

Вычисление площади сечения вентиляционных отверстий определяется по формуле:

$$S = \frac{0.18 P}{\sqrt{H}} \text{ при } S' = 1.1 S,$$

Где:

P = сумма потерь холостого хода - XX и потерь при полной нагрузке, выраженная в кВт;

S = площадь сечения входного отверстия для воздуха (площадь решетки или жалюзи нужно вычесть) в мм².

S' = площадь сечения выходного отверстия для воздуха (площадь решетки или жалюзи нужно вычесть) в мм².

H = высота (от центра до центра) выходного отверстия над входным отверстием, выраженная в метрах

Формула справедлива для средней температуры окружающего воздуха 20° и выше, при высоте над уровнем моря в 1000 м.

Принудительная вентиляция

Принудительная вентиляция (с применением электровентиляторов) камеры необходима при средней температуре воздуха свыше 20°C, при плохой вентиляции камеры, при частой перегрузке трансформатора и т.д.

Вентилятор может контролироваться термостатом.

Рекомендуемая скорость подачи воздуха, в куб. м/сек при 20°C:

- Трансформатор с полным заполнением: 0.081 P
- Трансформатор сухого типа Класса F: 0.05 P

где P = общие потери в кВт.

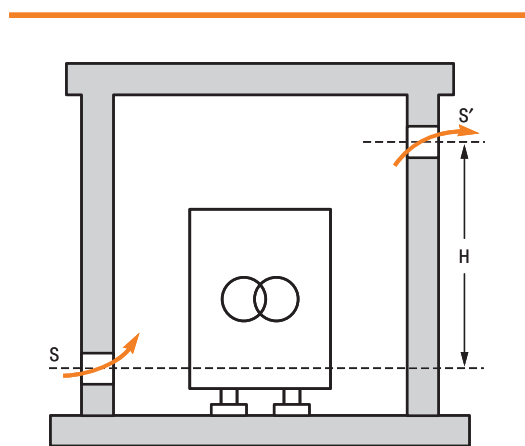


Рис. C28: Естественная вентиляция

5 Подстанция абонента с измерениями на стороне высокого напряжения

C30

Подстанция абонента с измерениями на стороне ВН представляет собой электроустановку, подсоединенную к сети питания с номинальным напряжением 1-35 кВ, с понижающим трансформатором мощностью свыше 1250 кВА или несколькими трансформаторами меньшей мощности. Номинальный ток высоковольтного КРУ обычно не превышает 400 А.

5.1 Общие положения

Функции

Подстанция

В зависимости от сложности электроустановки и способа распределения нагрузки, подстанция:

- Может находиться в одном помещении, в котором размещаются высоковольтное распределительное устройство и измерительные панели, а также трансформатор(ы) и главные распределительные устройства для цепей НН.
- Или может подавать питание на одну или более трансформаторных подстанций, где также находятся распределительные панели низкого напряжения, на которые подается высоковольтное питание от КРУ главной подстанции, как это было описано выше.

Подстанции могут быть:

- Внутренней установки
- Наружной установки, в соответствующих корпусах.

Подключение к высоковольтной сети

Подключение к высоковольтной сети может быть выполнено:

- По специальному кабелю или по воздушной линии электропередач;
- Через два выключателя нагрузки с механической взаимоблокировкой, установленных на два кабеля дублирующих линий питания.
- Через два выключателя нагрузки кольцевой линии.

Учет энергии

Перед установкой подстанции должно быть достигнуто соглашение с поставщиком энергии относительно организации учета энергии.

Измерительная панель встраивается в высоковольтное КРУ. Трансформаторы напряжения и тока, обладающие необходимой точностью измерений, могут быть включены в главный отсек вводного выключателя или (в случае трансформатора напряжения) могут устанавливаться отдельно в измерительной панели.

Трансформаторные камеры

Если установка включает в себя некоторое количество трансформаторных камер, высоковольтное питание от главной подстанции может подаваться через простые радиальные линии питания, ведущие прямо к трансформаторам, или через дублирующие линии питания, ведущие к каждой камере, или через кольцевую схему, согласно желаемой степени непрерывности питания.

В двух последних случаях, в каждой трансформаторной камере потребуется установка устройства кольцевой схемы питания, которое состоит из 3 ячеек.

Местные аварийные генераторы

Аварийные резервные генераторы предназначены для обеспечения питанием важных абонентов, в случае исчезновения напряжения (отключения) в системе электроснабжения.

Конденсаторы

Конденсаторы устанавливаются, в соответствии с требованиями:

- ступенями из высоковольтных батарей конденсаторов в главной подстанции, или
- на линиях низкого напряжения в трансформаторных подстанциях

Трансформаторы

В целях дополнительного обеспечения непрерывности питания, трансформаторы можно установить так, чтобы обеспечить автоматическое включение резервного трансформатора, или их параллельную работу.

Однолинейные схемы

Схемы, показанные на **Рис. С29** на следующей странице представляют:

- Различные методы подключения к высоковольтной сети питания; может использоваться один из 4 методов:
 - Подключение к одной линии
 - Подключение к одной линии (с возможностью расширения до кольцевой схемы питания)
 - Двойное электроснабжение (от двух дублирующих линий питания)
 - Кольцевая схема питания
- Общая схема защиты при измерении ВН и НН.
- Защита отходящих высоковольтных цепей
- Защита распределительных сетей НН.

5 Подстанция абонента с измерениями на стороне высокого напряжения

C31

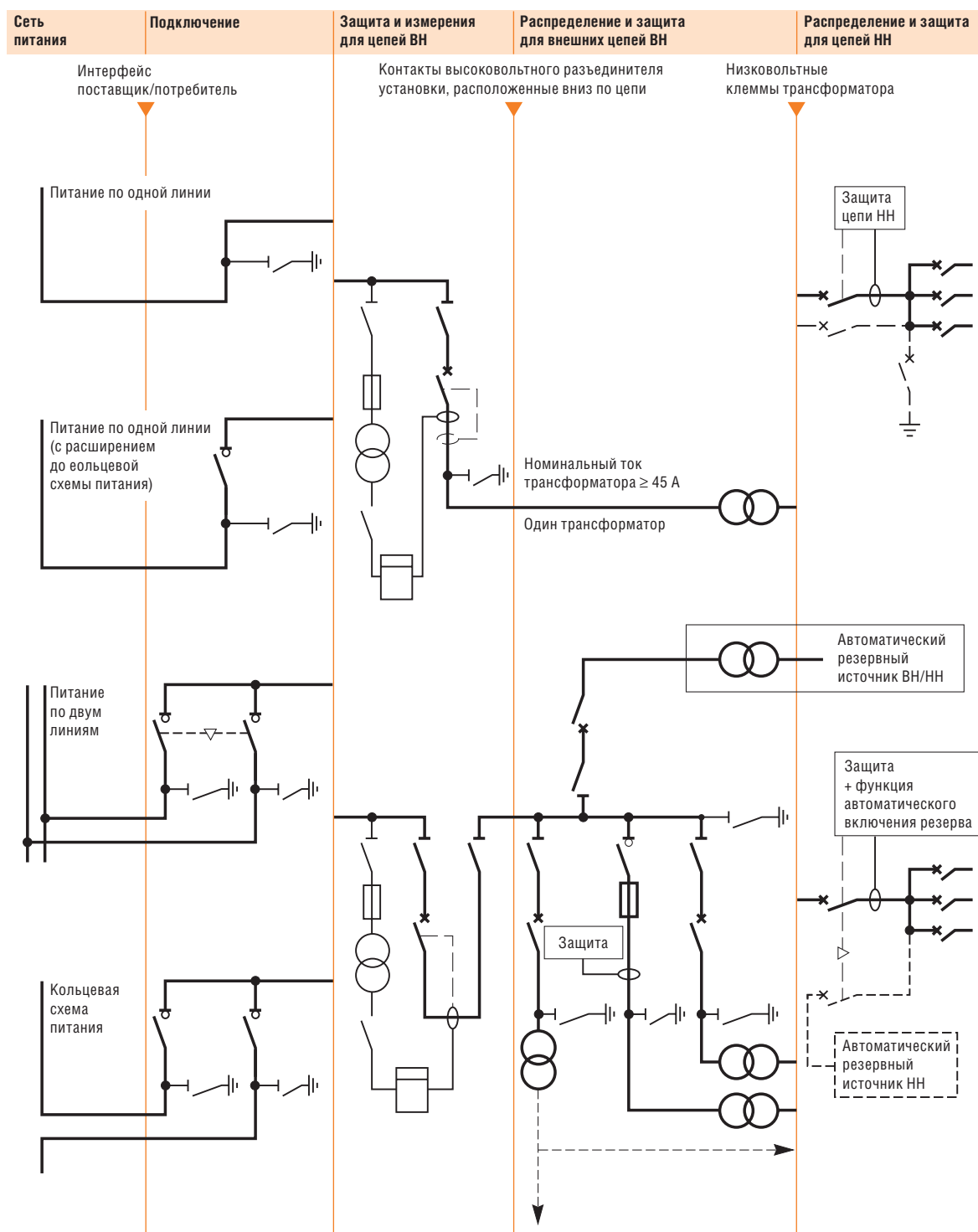


Рис. С29: Подстанция абонента с измерениями на стороне ВН

5.2 Выбор ячеек

Подстанция с учетом энергии на стороне ВН включает в себя, в дополнение к ячейкам, описанным в п. 4.2, ячейки, специально предназначенные для учета энергии, и, при необходимости, автоматического или ручного переключения с одного источника питания на другой.

Измерения и общая защита

Выполнение этих двух функций достигается совместным действием двух ячеек:

- ячейка трансформатора напряжения (ТН)
- ячейка главного высоковольтного автоматического выключателя, в которую встроены трансформаторы тока (ТТ) в целях измерения и защиты.

Общая защита обычно предусматривает максимальную токовую защиту (перегрузка или КЗ) и защиту от КЗ на землю. Обе схемы используют защитные реле, которые опечатываются поставщиком энергии.

Подстанции с генераторами

Отдельная работа генератора

Если электроустановка требует высокой надежности питания, можно использовать резервный генератор среднего напряжения. В этом случае электроустановка должна включать систему автоматического включения резерва (АВР). Чтобы избежать возможности параллельной работы генератора с внешней сетью, необходима специальная ячейка с автоматическим переключением (см. Рис. С30).

■ Защита

Для защиты генератора предусмотрены специальные защитные устройства. Необходимо отметить что, так как всявязи с тем, что мощность короткого замыкания при питании от генератора очень мала по сравнению с мощностью короткого замыкания при питании от сети, необходимо обращать очень большое внимание на селективность (избирательность) защиты.

■ Управление

Для управления генератором используется автоматический регулятор напряжения (АРН), который реагирует на снижение напряжения на клеммах генератора и автоматически увеличивает ток возбуждения генератора до того момента, пока напряжение не восстановится до нормального уровня. Когда генератор должен работать параллельно с другими генераторами, АРН переключается на «режим параллельной работы», при котором в цель управления АРН добавляются компоненты для обеспечения удовлетворительного распределения реактивной мощности между параллельно включенными генераторами.

Когда несколько генераторов работают параллельно под управлением АРН, увеличение тока возбуждения одного из них (например в результате переключения его АРН в режим ручного управления) практически не оказывает влияния на уровень напряжения. Фактически, данный генератор будет просто работать при меньших значениях коэффициента мощности (увеличение кВА ведет к увеличению вырабатываемого тока), чем ранее.

Коэффициент мощности других устройств автоматически увеличится, и требования нагрузки к коэффициенту мощности будут удовлетворены, как раньше.

Генератор, работающий параллельно с основной сетью питания

Чтобы подсоединить генераторы (генераторные агрегаты) к сети, обычно требуется согласие поставщика электроэнергии. Оборудование (ячейки, защитные реле) должны быть согласованы с поставщиком электроэнергии.

Следующие замечания представляют собой некоторые основные соображения, которые необходимо учитывать для защиты и управления генератором.

■ Защита

Чтобы изучить вопрос о присоединении генераторного агрегата, поставщику энергии требуются следующие данные:

- Отдаваемая в сеть мощность
- Способ (метод) подключения
- Ток короткого замыкания генератора
- Несбалансированное напряжение генератора

В зависимости от способа (метода) подключения, требуется функция защитного отключения цепи:

- Максимально-токовая защита и защита минимального и максимального напряжения.
- Защита по минимальной/максимальной частоте
- Защита от максимального напряжения нулевой последовательности.
- Быстродействующий АВР.
- Токовая направленная защита.

По причинам безопасности, отключающее устройство также должно иметь функции разъединителя цепи (то есть, обеспечивать полное разъединение всех токоведущих проводов между генератором и сетью питания).

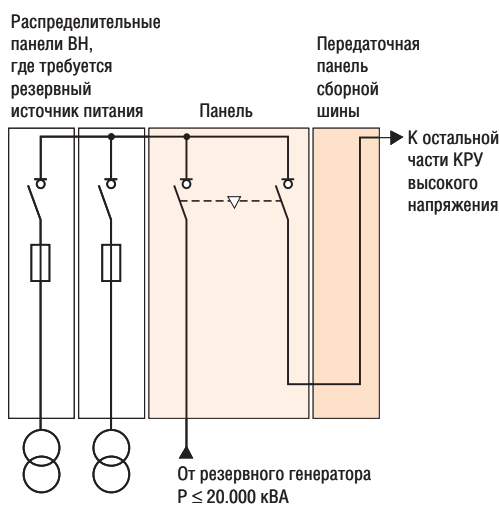


Рис. С30: Часть высоковольтного КРУ, включая резервный источник тока.

■ Управление

Используется, когда генераторы потребительской подстанции работают параллельно с основным источником питания, например, когда напряжение сети питания снижается в рабочем порядке (высоковольтные сети обычно работают в пределах допуска $\pm 5\%$ от номинального напряжения, или даже более, если того требует система нагрузки). АРН, настроенный например на поддержание напряжения $\pm 3\%$ от номинала, немедленно предпримет попытку поднять напряжение, увеличив ток возбуждения генератора.

Вместо поднятия напряжения, генератор просто будет работать с более низким коэффициентом мощности, чем прежде, увеличив, таким образом, выработку тока, и это будет продолжаться до тех пор, пока, в конце концов, генератор не будет отключен своим реле защиты по максимальному току. Это хорошо известная проблема и обычно она решается путем перевода АРН в режим поддержания «постоянства коэффициента мощности».

Удовлетворяя заданным условиям, АРН автоматически отрегулирует ток возбуждения в соответствии с напряжением, которое существует в сети питания, одновременно поддерживая коэффициент мощности генератора постоянным (согласно значению, заданному управляющим устройством АРН).

В случае, когда генератор разъединяется с сетью питания, АРН должен автоматически (быстро) переключиться на режим «постоянного напряжения».

5.3 Параллельная работа трансформаторов

Необходимость параллельной работы двух или более трансформаторов часто обусловлена:

- Ростом нагрузки, который превышает мощность существующего трансформатора.
- Недостатком места (высоты) для одного большого трансформатора
- Мерами безопасности (возможность отказа обоих трансформаторов одновременно очень мала).
- Применением трансформаторов стандартного размера во всей электроустановке.

Полная мощность (кВА)

Значение полной мощности (кВА), при параллельной работе двух трансформаторов с одинаковым номиналом мощности кВА, равно сумме отдельных мощностей, при условии равенства сопротивлений и коэффициентов трансформации по напряжению.

Трансформаторы неодинакового номинала мощности разделяют нагрузку практически (но не точно) пропорционально своим номиналам, при условии, что их коэффициенты трансформации по напряжению равны, или почти равны. В таких случаях обычно достигается более 90% от суммы двух мощностей.

Рекомендуется, чтобы трансформаторы, различающиеся по номинальной мощности более чем в 2 раза, не работали параллельно в постоянном режиме.

Условия, необходимые для параллельной работы

Все параллельные устройства должны питаться от одной сети.

Циркулирующий ток между вторичными цепями параллельных трансформаторов, будет пренебрежительно малым при условии:

- Вторичные кабельные соединения трансформаторов до точки параллельного включения имеют приблизительно равные длины и характеристики.
- Производитель трансформаторов полностью информирован о режиме предполагаемого применения трансформаторов и учитывает при изготовлении нижеследующее:
 - Конфигурации обмотки (звезда, треугольник, зигзаг) нескольких трансформаторов имеют одинаковый фазовый сдвиг между напряжениями первичной и вторичной обмотки.
 - Сопротивления короткого замыкания равны или отличаются на менее чем на 10%
 - Разница напряжений между соответствующими фазами не должна превышать 0,4%.
 - Вся возможная информация по условиям использования, ожидаемым циклам нагрузки и т.д. должна быть доведена до производителя, с целью оптимизации потерь, связанных с нагрузкой и при холостом ходе.

Типичные группы соединения обмоток

Как описано в разделе 4.4 «Электрические характеристики – конфигурации обмотки» соотношения между первичной, вторичной и третичной обмотками зависят от:

- Типа схемы соединения обмоток (треугольник, звезда, зигзаг)
- Соединения обмоток фаз

В зависимости от того, какие концы обмотки образуют точку звезды (например), соединение обмотки в звезду будет давать напряжение, на 180° сдвинутое по фазе относительно напряжения, которое имелось бы, если бы в точку звезды были соединены противоположные концы обмотки. Подобный сдвиг фаз на 180° может происходить при соединении фазных обмоток в треугольник, а при соединении в зигзаг возможны четыре возможных комбинации.

- Фазовых сдвигов вторичных фазовых напряжений по отношению к соответствующим первичным фазовым напряжениям.

Как уже было отмечено, этот сдвиг (если не равен нулю) всегда будет кратен 30° и зависит от двух факторов, отмеченных выше, а именно, типа обмоток и соединения (т.е. полярности) фазовых обмоток.

В настоящее время самой распространенной конфигурацией обмоток трансформатора является обмотка трансформатора Дуп11 (см. Рис.С31).

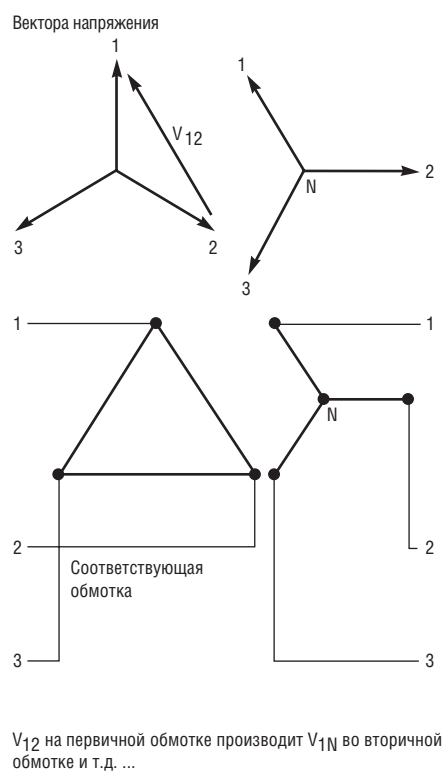


Рис. С31: Фазовый сдвиг в трансформаторе Дуп 11.

6 Создание распределительных понижающих подстанций

C35

Понижающие подстанции проектируются в соответствии с величиной нагрузки и типом сети питания.

Подстанции могут устанавливаться в общественных местах, таких как парки, жилые районы и т.д., а также внутри частных владений, при этом персонал поставщика энергии должен иметь неограниченный доступ к подстанции. Это требование обычно обеспечивается установкой подстанции таким образом, чтобы стена с дверью, через которую происходит доступ персонала, располагалась на границе частных и государственных владений.

6.1 Различные типы подстанций

Подстанции могут быть разделены по типу учета энергии (на стороне ВН или НН) и по типу подключения (через воздушную ЛЭП или подземный кабель). По типу установки подстанции могут быть:

- Внутренней установки, в помещении, специально построенном для этих целей;
- Наружной установки, при этом подстанция может устанавливаться:
 - в специально предназначенном для этого корпусе в который помещается оборудование внутренней установки (КРУ и трансформатор)
 - на земле, с использованием оборудования наружной установки (КРУ и трансформаторы)
 - на помосте с опорой на столбах, с использованием специального оборудования наружной установки (КРУ и трансформаторы).

Комплектные подстанции заводской готовности представляют собой самый простой, быстрый и экономный способ установки.

6.2 Подстанция внутренней установки

Концепция

На рис. C32 показано типовое расположение оборудования, рекомендуемое для подстанции с учетом энергии на стороне НН.

Замечание: При использовании сухих трансформаторов с изоляцией из эпоксидной смолы (с «литой» изоляцией) противопожарный маслосборник не применяется. Однако, необходимо предусмотреть периодическую чистку.

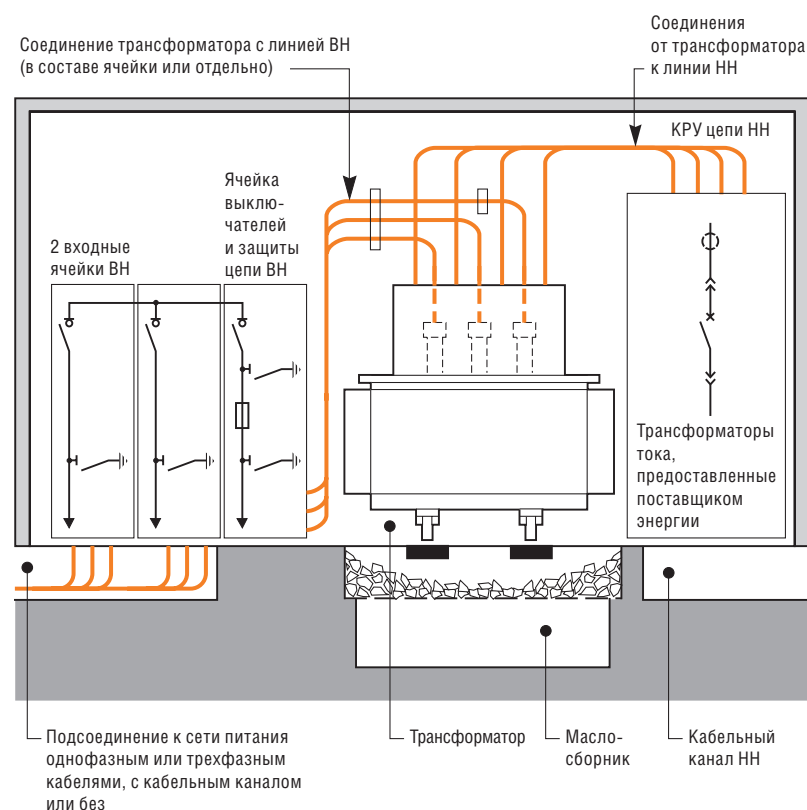


Рис. C32: Типовое расположение ячеек КРУ с учетом энергии на стороне НН.

Подключение к сети питания и соединения между оборудованием

Высокое напряжение

- Подсоединение к сети ВН производится поставщиком энергии, и он несет за это ответственность.
- Соединения между высоковольтным КРУ и трансформаторами могут быть выполнены:
 - Короткими медными шинами, где трансформатор помещается в отсек, образующий часть высоковольтного КРУ.
 - Однофазными экранированными кабелями с синтетической изоляцией, с возможным использованием втычных кабельных вводов трансформатора.

Низкое напряжение

- Соединения между низковольтными кабельными вводами трансформатора и распределительным устройством низкого напряжения могут быть выполнены:
 - Однофазными кабелями
 - Медными шинами (круглого или прямоугольного сечения), с термоусаживающейся изоляцией.

Учет энергии (см. Рис. С33)

- Измерительные трансформаторы тока обычно устанавливаются в защитном кожухе низковольтных кабельных вводов трансформатора, кожух печатывается поставщиком энергии.
- В качестве альтернативы, трансформаторы тока могут быть установлены в опечатанный отсек в главной распределительной панели низкого напряжения.
- Счетчики устанавливаются на панели, которая не подвержена вибрации.
- Счетчики устанавливаются как можно ближе к трансформаторам тока
- Доступ к счетчикам имеется только у поставщика энергии.

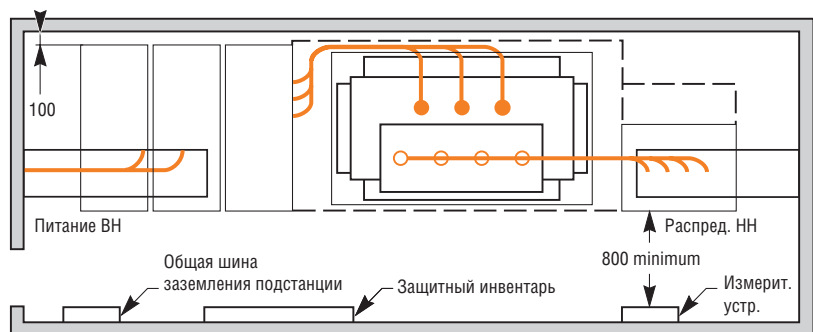


Рис. С33: Типовой план подстанции с учетом энергии на стороне НН

Цепи заземления

Подстанция должна включать в себя:

- Заземляющий электрод для всех открытых токоведущих частей электрооборудования установки и незащищенных внешних металлических частей, включая:
 - Защитные металлические экраны
 - Арматурные стержни в бетонном основании подстанции.

Освещение подстанции

Питание цепей освещения может быть сделано от точки, расположенной выше или ниже по цепи от главного входного автоматического выключателя НН. В обоих случаях, должна быть обеспечена соответствующая максимальная токовая защита. Для цепей аварийного освещения рекомендуется применять отдельную цепь (или цепи).

Рабочие выключатели, кнопки и т.д. обычно расположены непосредственно возле входов.

Осветительные приборы установлены таким образом, что:

- Рычаги управления КРУ и указатели положения выключателей адекватным образом освещены.
- Все измерительные шкалы, таблички с инструкциями и т.д. можно легко прочитать.

6 Создание распределительных понижающих подстанций

C37

Материалы для работы и обеспечения безопасности

В соответствии с местными правилами безопасности, подстанция оснащается:

- Материалами, обеспечивающими безопасную эксплуатацию оборудования, которые включают в себя:
 - Изоляционный табурет и/или изоляционный коврик (резиновый или синтетический)
 - Пару изоляционных перчаток, который хранятся в специальном конверте
 - Устройство обнаружения напряжения, для использования на высоковольтном оборудовании.
 - Заземляющие устройства (в соответствии с типом распреустройства)
- Средства пожаротушения, на основе порошка или углекислого газа
- Предупредительные знаки, знаки привлечения внимания и сигнализация безопасности.
- На внешней стороне двери доступа должна висеть табличка с надписью «Опасно» и запретом входа, вместе с инструкциями по оказанию первой помощи лицам, пострадавшим от электрического тока.

6.3 Подстанции наружной установки

Подстанции наружной установки в корпусе

Неотапливаемые (см. Рис. С34).

Подстанции, использующие кольцевую схему питания или распределительные устройства для нескольких автоматических выключателей, обычно устанавливаются в компактных корпусах, защищающих от атмосферных воздействий и животных.

Такие заранее собранные корпуса требуют минимума строительных работ, монтируются на простом бетонном основании и используются как для городских, так и для сельских подстанций.

Преимущества, предоставляемые этим типом подстанций, следующие:

- Оптимизация материалов и обеспечения безопасности, благодаря:
 - Правильному выбору из широкого спектра предлагаемых корпусов.
 - Соответствию предполагаемым международным стандартам.
- Снижение времени проектирования, а также стоимости реализации, благодаря:
 - Минимальной координации между несколькими процессами строительства зданий и работ на площадке.
 - Установке подстанции независимо от строительства основного здания.
 - Устранению необходимости временного подключения, в начале работ по подготовке площадки.
 - Упрощению строительных работ, которые заключаются только в возведении железобетонного основания.
- Существенно упрощается установка оборудования и соединения.

Подстанции с телеуправлением (см. Рис С35)

Этот тип схож с подстанциями для внутренней установки. Обычно, такие подстанции не могут использоваться в качестве питающих подстанций.

Подстанции наружной установки без корпуса (см. Рис С36)

Подстанции наружной установки данного типа широко используются в некоторых странах, они используют элементы оборудования, защищенного от атмосферных воздействий.

Такие подстанции состоят из огражденной площади, где установлены три или более бетонных основания:

- Для устройства кольцевой схемы питания, или одного или нескольких выключателей с плавким предохранителем или автоматических выключателей.
- Для одного или нескольких трансформаторов и
- для одной или нескольких распределительных панелей НН.

Столбовые подстанции

Область применения

Такие подстанции в основном используются для питания отдельных сельских потребителей от высоковольтных воздушных ЛЭП.

Состав

В данном типе подстанций, для высоковольтной защиты трансформатора наиболее часто используются плавкие предохранители.

Также, используются молниеотводы, для защиты трансформатора и пользователей, как показано на Рис. С37 на следующей странице.

Общий состав оборудования

Как уже отмечалось ранее, расположение подстанции должно позволять легкий доступ, не только для персонала, но и для необходимых маневров с оборудованием (например, поднятия трансформатора) и маневрирования тяжелогрузных автомобилей.

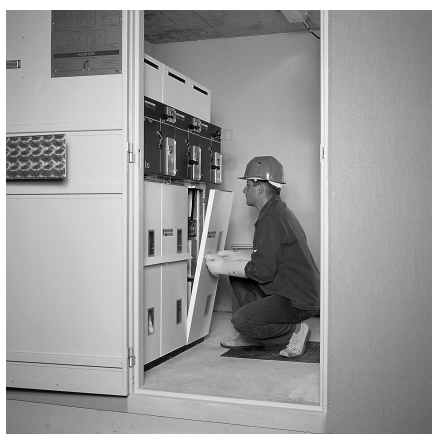


Рис. С34: Подстанция наружной установки в неотапливаемом корпусе

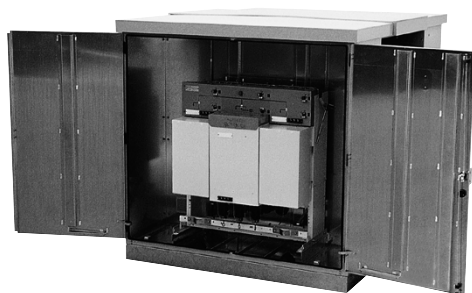


Рис. С35: Подстанция наружной установки в корпусе - с телеуправлением



Рис. С36: Подстанция наружной установки без корпуса

6 Создание распределительных понижающих подстанций

C38

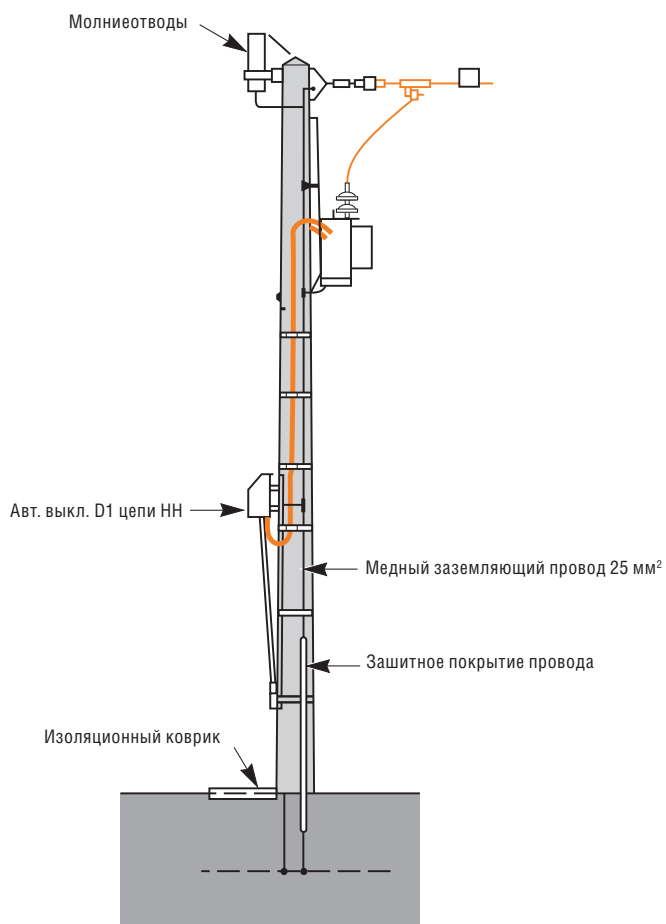


Рис. С37: Трансформаторная столбовая подстанция