

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Амурский государственный университет»



«Кадры для регионов»



ФГБОУ ВПО «Амурский государственный
университет»

Учебное пособие подготовлено в рамках реализации проекта о
подготовке высококвалифицированных кадров для предприятий и
организаций регионов («Кадры для регионов»)

Ю.В. Мясоедов

Системы электроснабжения промышленных объектов и городов

Учебное пособие

Благовещенск
Издательство АмГУ

2014

***Разработано в рамках реализации гранта «Подготовка
высококвалифицированных кадров в сфере электроэнергетики и горно-
металлургической отрасли для предприятий Амурской области» по
заказу предприятия-партнера ОАО «Дальневосточная
распределительная сетевая компания»***

Рецензенты:

*Бичевин Александр Викторович, начальник службы технической
эксплуатации ОАО «ДРСК»*

*Рыбалев Андрей Николаевич – канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО
«АмГУ».*

С 40. Системы электроснабжения промышленных объектов и городов:

учебное пособие / Сост.: Ю.В. Мясоедов. - Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2014.
– 126 с.

В пособии представлены сведения о кратких характеристиках промышленных потребителей электроэнергии, рассмотрены графики электрических нагрузок и их характеристики. Подробно рассмотрено внешнее и внутреннее электроснабжение. Представлена классификация систем электроснабжения городов по степени сложности.

Пособие предназначено для магистрантов и слушателей курсов повышения квалификации в области энергосбережения и повышения энергоэффективности.

В авторской редакции.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. Краткая характеристика промышленных потребителей электроэнергии	5
2. Структура потребителей электроэнергии	10
3. Графики электрических нагрузок и их характеристика	11
4. Вероятностные характеристики и показатели графиков нагрузки	17
5. Расчетные электрические нагрузки потребителей, элементов и коммутационных узлов	22
6. Расчет однофазных электрических нагрузок	28
7. Расчет электрической нагрузки сварочных электроприемников	31
8. Внешнее электроснабжение	33
9. Внутреннее электроснабжение	62
10. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения	103
11. Определение мощности батарей конденсаторов в сети напряжением до 1000 В	104
12. Определение реактивной мощности генерируемой синхронными двигателями	106
13. Выбор сечения жил кабельных линий и шин токопроводов	107
14. Уточнение схемы и конструктивного выполнения питающей и цеховой сети	108
15. Системы электроснабжения, принципы их формирования, экономика электроснабжения	110
16. Классификация систем электроснабжения городов по степени сложности	118
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	124
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	125

ВВЕДЕНИЕ

Современная система электроснабжения должна удовлетворять ряду требований: экономичности и надежности, безопасности и удобству эксплуатации, обеспечению надлежащего качества электроэнергии, уровней напряжения, стабильности частоты и т.п.

Многообразие условий, которые необходимо учитывать при проектировании систем электроснабжения предприятий разных отраслей промышленности и городов, не позволяет в ряде случаев дать однозначные рекомендации по некоторым вопросам. Поэтому они должны решаться путем тщательного анализа специфических требований, предъявляемых к электроснабжению данного вида производства, данной отрасли промышленности или города.

В пособии приведены основные подходы при проектировании систем электроснабжения промышленных объектов и городов.

1. Краткая характеристика промышленных потребителей электроэнергии

70% вырабатываемой электроэнергии (э/э) потребляется промышленными предприятиями. Современные промышленные предприятия характеризуются большими значениями суммарных установленных мощностей электроприемников (ЭП), особенно в черной и цветной металлургии, химии, микробиологии, ЦБК, горно-обогатительной промышленности. Мощность установленных на ГОКах, заводах микробиологии трансформаторов составляет 200-300 МВА, предприятиях черной металлургии 300-500 МВА, а на некоторых даже 700-1000 МВА.

Установленная мощность электродвигателей (ЭД) на нефтеперерабатывающем заводе составляет 230 МВт, на заводе кормовых дрожжей более 300 МВт. Потребляемая мощность ЭСПЦ – 200 МВА, коксохимзавода около 50-60 МВА.

Резко увеличивается единичная мощность отдельных агрегатов и ЭП. Мощность современной электролизной установки достигает 150-185 МВА, дуговой электропечи 100-125 МВА, ЭД прокатных станов 20 МВт, СД нефтеперекачивающих и газокompрессорных станций трубопроводного транспорта 8-12,5 МВт. Отсюда около 70% вырабатываемой электроэнергии потребляется промышленными предприятиями.

Потребителями электроэнергии называются ЭП или группы электроприемников, объединенных единым технологическим процессом и размещающихся на определенной территории.

Приемником электроэнергии называют аппарат, механизм, агрегат предназначенный для преобразования э/э в другой вид энергии.

Электроприемники промышленных предприятий делятся на следующие группы:

1. ЭП трехфазного тока, напряжением <1 кВ и с частотой 50 Гц.
2. ЭП трехфазного тока, напряжением >1 кВ и с частотой 50 Гц.

3. ЭП однофазного тока, напряжением <1 кВ и с частотой 50 Гц.
4. ЭП, работающие с частотой не равной 50 Гц, питаемые от преобразовательных п/ст и установок
5. ЭП постоянного тока, питаемые от преобразовательных подстанций (ПС) и установок.

Систематизацию потребителей электроэнергии осуществляют по следующим эксплуатационно-техническим признакам: производственному назначению, производственным связям, режимам работы, мощности и напряжению, роду тока, территориальному размещению, требованиям к надежности электроснабжения, стабильности распределения ЭП.

По степени надежности потребителей электроэнергии разбивают на три категории:

1) к 1 категории по степени надежности электроснабжения относятся потребители перерыв в электроснабжении которых представляет опасность для жизни человека, значительный народно-хозяйственный ущерб, брак продукции, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства.

Особая группа – выделена с целью безаварийного останова производства с целью предотвращения угрозы жизни людей, взрывов, пожаров и повреждения дорогостоящего основного оборудования (для черной металлургии – насосы водоохлаждения доменных печей, ЭД механизмов поворотов конвертеров).

2) ко 2 категории – массовый недоотпуск продукции, массовый простой рабочих, механизмов и промышленного транспорта, нарушение нормальной деятельности значительного количества городских и сельскохозяйственных жителей.

3) к 3 категории – все остальные.

Отметить резервирование: второй и третий источник питания, аккумуляторные батареи, местные станции.

По режиму работы ЭП могут быть разделены на группы по сходству режимов, т.е. по сходству графиков электрических нагрузок (ГЭН). Деление потребителей на группы позволяет более точно определить электрическую нагрузку.

Различают 3 характерные группы ЭП:

1. ЭП в режиме продолжительной неизменной или меняющейся нагрузки. В этом режиме ЭП могут работать длительное время без превышения температуры отдельных частей электрической машины выше допустимой.

2. Кратковременная нагрузка. Рабочий период не настолько длительный, чтобы температура отдельных частей машины или аппарата могла достигнуть установившегося значения, а период их остановки таков, что они успевают охладиться до температуры окружающей среды.

3. ЭП, работающие в режиме повторно-кратковременного включения. В этом случае кратковременный рабочий период машины или аппарата чередуется с кратковременными периодами отключения. При этом нагрев не превосходит допустимого, а охлаждение не достигает температуры окружающей среды.

Анализ режимов работы потребителей показал, что большинство ЭД, обслуживающих технологические линии и агрегаты непрерывных производств, работают в продолжительном режиме. Примеры – ЭД компрессоров, насосов, вентиляторов, механизмов непрерывного транспорта.

Кратковременный режим – ЭД электроприводов вспомогательных механизмов металлорежущих станков (механизмы подъема поперечины, зажима колонки), гидравлических затворов, задвижек, заслонок.

Повторно-кратковременный режим (ПКР) – ЭД мостовых кранов, тельферов, подъемников, сварочных аппаратов. ПКР характеризуется продолжительностью включения (ПВ в %).

$$ПВ = \frac{t_{вкл}}{t_{вкл} + t_{хх}} = \frac{t_{вкл}}{t_{ц}}, где t_{ц} \leq 10 мин$$

Установлены стандартные значения ПВ для механизмов, работающих в ПКР: 15%, 25%, 40%, 60%. У сварки в более широких пределах.

ПКР приводится к продолжительному режиму через ПВ

$$P_{\text{прод}} = P\sqrt{\text{ПВ}}$$

ГЭН каждого ЭП отличаются от заданного и являются основным показателем ЭП, по которому его следует классифицировать.

Разделение по симметричности и несимметричности нагрузки.

Примеры симметричных нагрузок: ЭД и трехфазные печи

Примеры несимметричных нагрузок: электрическое освещение, одно- и двух фазные печи, однофазные сварочные трансформаторы.

По мощности и напряжению

предприятия большой мощности (установленная мощность $\geq 75-100$ МВт); средней 5-75 МВт; малой < 5 МВт.

Главный показатель отдельных ЭП – номинальная мощность – для ЭД, для плавильных электропечей и сварочных установок – мощность питающих их трансформаторов задается в кВА.

Для ЭП с ПКР номинальная мощность – это мощность приведенная к продолжительному режиму.

Согласно ПУЭ ЭП делятся на установки < 1 кВ и > 1 кВ (для ЭП постоянного тока до 1,5 кВ).

Электроустановки $U < 1$ кВ переменного тока выполняются как с глухозаземленной, так и с изолированной нейтралью, а установки постоянного тока – с глухозаземленной и изолированной нулевой точкой.

Электроустановки $U > 1$ кВ подразделяются на:

установки с изолированной (компенсированной) нейтралью (до 35 кВ); глухозаземленной (≥ 110 кВ). Кроме того все установки подразделяются на установки с $I_3 < 500$ А и $I_3 > 500$ А.

Для сетей напряжением выше 1 кВ изолированная нейтраль применяется для повышения надежности питания промышленного электроснабжения (торфяные разработки, угольные шахты) при условии, что в этом случае

обеспечивается контроль изоляции сети и целостность пробивных предохранителей, быстрее обнаруживается и ликвидируется замыкание на землю или автоматически отключаются участки с замыканием на землю.

В четырехпроводных сетях переменного тока или в трехпроводных постоянного тока для установок без повышенной опасности глухое заземление обязательно.

По частоте ЭП делятся:

на ЭП промышленной частоты, ЭП с высокой частотой (>10 кГц), повышенной (до 10 кГц) и пониженной <50 Гц.

Установки высокой и повышенной частоты применяются для нагрева под закалку, ковку и штамповку металлов, а также для их плавки. Для питания высокоскоростных ЭД в текстильной промышленности, деревообработке и других случаях используются токи повышенной частоты (133-400 Гц), установки получения искусственного шелка $f=133$ Гц.

Для преобразования переменного тока промышленной частоты в ток высокой и повышенной частоты служат двигатели-генераторы, тиристорные преобразователи (до 10 кГц – тиристорные преобразователи, свыше 10 кГц – электронные генераторы).

К ЭП с пониженной частотой относятся коллекторные ЭД, применяемые в транспортных целях (16,6 Гц), установки для перемешивания жидкого металла в печах (до 25 Гц) и индукционные нагревательные печи.

Трехфазными ЭП называются приемники питаемые переменным трехфазным током (основные ЭП). Поскольку преобразовательные агрегаты питаются от 3фазного тока, они также являются ЭП 3фазного тока.

ЭП постоянного тока (электропривод по системе Г-Д, вентильный электропривод) с точки зрения электроснабжения – ЭП трехфазного тока.

К ЭП постоянного тока питающимся от преобразовательных подстанций относятся внутризаводской электрифицированный транспорт, ЭД подъемно-транспортных механизмов, цеха электролиза и гальванопокрытий, электролитическое получение металлов, электросварка.

2. Структура потребителей электроэнергии

Потребители электроэнергии структурно делятся на промышленные и приравненные к ним, производственные сельскохозяйственные, бытовые, общественно-коммунальные.

Промышленные потребители рассмотрены в первой и второй лекции.

Бытовые и общественно-коммунальные потребители объединены в потребители коммутационно-бытового сектора.

К ним относятся: городской электрифицированный транспорт; водопровод и канализация; спорткомплексы; больничные комплексы; гостиницы; магазины; аптеки; школы; детские сады; котельные; кинотеатры; бытовая нагрузка.

В общем, все потребители электроэнергии города делятся на группы:

потребители селитебных зон (жилые дома, общественные здания и сооружения);

коммунальные, общегородского значения (водопровод, канализация, электрический транспорт);

промышленные.

Сельскохозяйственные потребители делятся на осветительно-бытовую нагрузку, производственную нагрузку, общественно-коммунальную и прочую нагрузку.

Состав производственных потребителей зависит от основного направления развития сельского хозяйства в данном районе. Выделяют зерновое хозяйство, мясомолочное животноводство, льноводство и т.д. Выделяются крупные сельскохозяйственные промышленные потребители: животноводческие комплексы, птицефабрики, инкубаторы, парниково-тепличные комбинаты, птицеводческие комплексы.

3. Графики электрических нагрузок и их характеристика

Основополагающим в электроснабжении является определение электрической нагрузки (ЭН). Под ЭН подразумеваются токи, активная, реактивная и полная мощности. От того, насколько правильно определены электрические нагрузки, зависит надежность и эффективность системы электроснабжения) СЭС.

В условиях эксплуатации электрические нагрузки исследуют по графикам электрических нагрузок (ГЭН), которые представляют собой графическое изображение изменения ЭН во времени. ГЭН могут быть построены с применением различных измерительных приборов: регистрирующих, суммирующих (интегрирующих), самопишущих и др. (см. рис.).

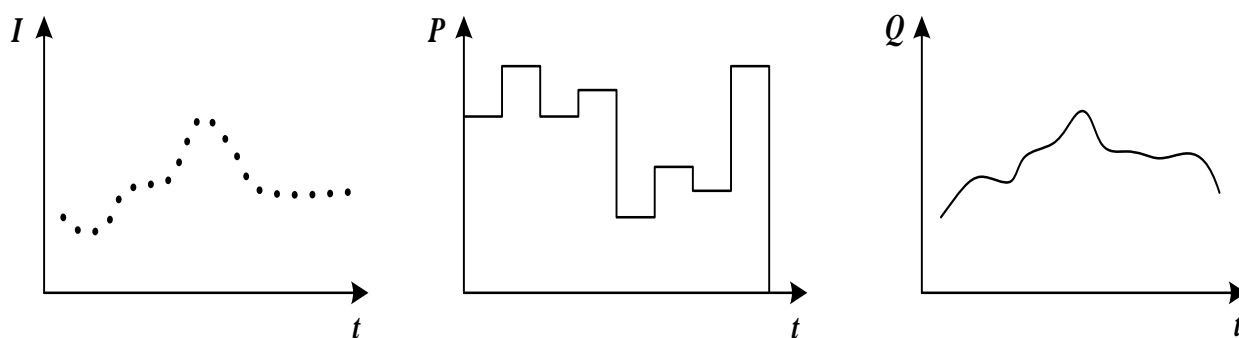
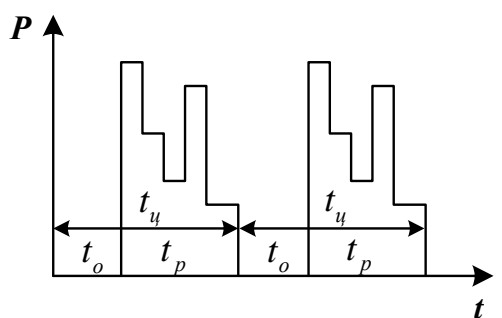


Рис.1 Графики электрических нагрузок.

Чаще используются последние два, которые соответственно называются ступенчатыми и непрерывными. По числу ЭН, подключенных к узлу, различают индивидуальные (подключен один ЭП) и групповые (подключено несколько ЭП) ГЭН.

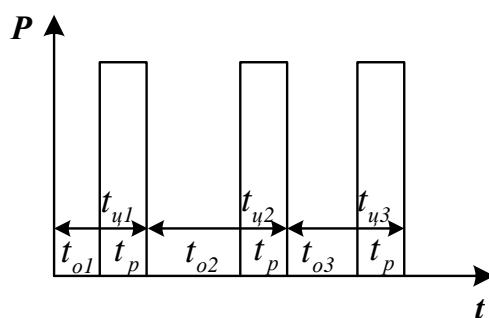
Рассмотрим основные типы индивидуальных ГЭН, необходимые для выяснения физической картины формирования групповых графиков.

Они делятся на периодические, циклические, нециклические, нерегулярные.



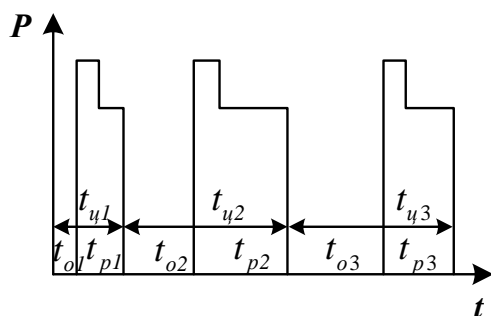
$$t_p = \text{const}; \quad t_o = \text{const}; \quad t_u = \text{const}$$

1)



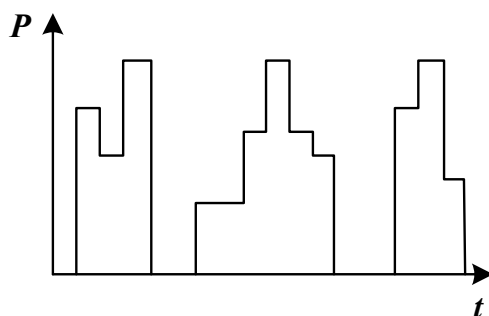
$$t_p = \text{const}; \quad t_o = \text{var}$$

2)



$$t_p = \text{var}; \quad t_o = \text{var}$$

3)



4)

Рис.2 Типы ГЭН

Периодические ГЭН (рис. 1) отвечают строго ритмичному, с периодом t_u процессу производства, как правило, поточному или автоматизированному по жесткой программе.

Циклические ГЭН (рис. 2) отвечают непоточному, неавтоматизированному, но циклическому производству, причем продолжительность t_p одна и та же, характер соответствующих участков ГЭН циклический. Но периодичность нарушена из-за разных t_o отдельных циклов. В этом случае можно говорить только о средней длительности одного цикла t_u .

Нециклические ГЭН (рис.3). Выполняемые агрегатом операции повторяющиеся, строго не регламентированы, вследствие чего характер графика существенно меняется на рабочих участках, причем их длительность нестабильна.

Нерегулярные ГЭН (рис. 4) – редкий случай столь нерегулярного режима работы ЭП, что условия стабильности ЭП уже не соблюдаются. Это означает,

что технологический процесс в силу своей природы имеет неустановившийся характер.

Всегда стремятся привести ГЭН к периодическому типу.

На практике чаще всего приходится иметь дело с групповыми графиками ЭН. Групповые графики получаются в результате суммирования индивидуальных ГЭН.

Графики групповой нагрузки

Для групповых графиков степень регулярности определяется не только типами слагающих индивидуальных графиков, но и взаимодействиями нагрузок отдельных ЭП по условиям технологического процесса.

Различают периодический, почти периодический и нерегулярный графики.

Нерегулярный – неустановившийся процесс, который характеризуется пониженной производительностью, нерегулярным режимом работы отдельных ЭП.

Периодический ГЭН – периодически работающие ЭП жестко связаны между собой общим потоком технологического процесса – автоматизированной линией.

Почти периодический - непоточное производство, характеризуется при установившемся режиме работы обобщенной периодичностью, означающей стабильность расхода электроэнергии. Для них начальный момент времени цикла не является произвольным как для периодических графиков и должен отвечать началу одного из циклов, например, смены.

Построение упорядоченных диаграмм индивидуальных и групповых графиков нагрузки

Упорядоченной диаграммой (УД) называется график изменения параметра, характеризующего электрическую нагрузку, в порядке убывания ее значений во времени или расположение ординат графика в порядке убывания.

Упорядоченную диаграмму можно построить по графикам электрической нагрузки или с помощью схемы независимых испытаний.

Построение упорядоченной диаграммы по графику нагрузки показано на рис. 3 для индивидуального графика и на рис. 4 - для группового.

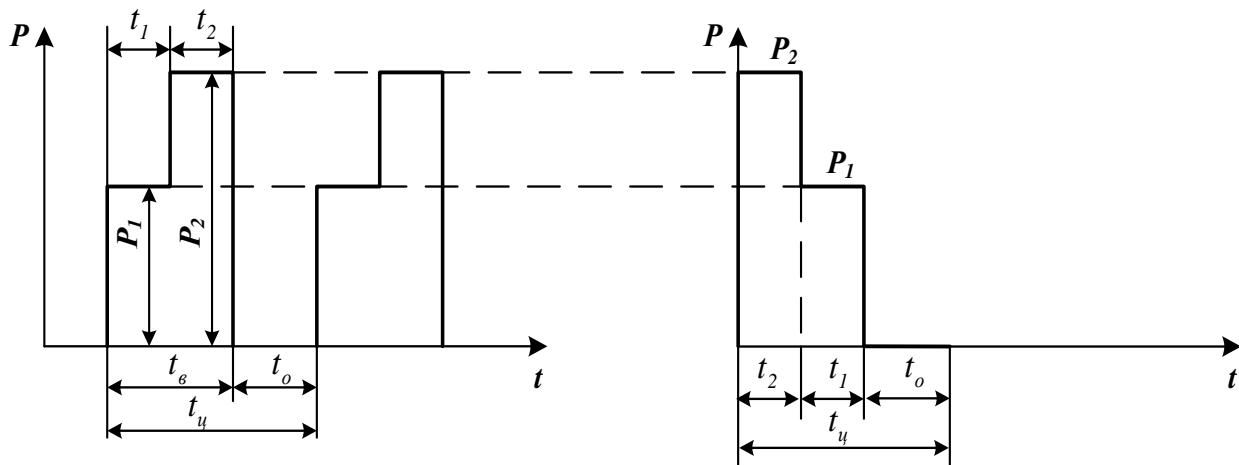


Рис. 3. Графическое построение упорядоченной диаграммы индивидуального ГЭН за время цикла

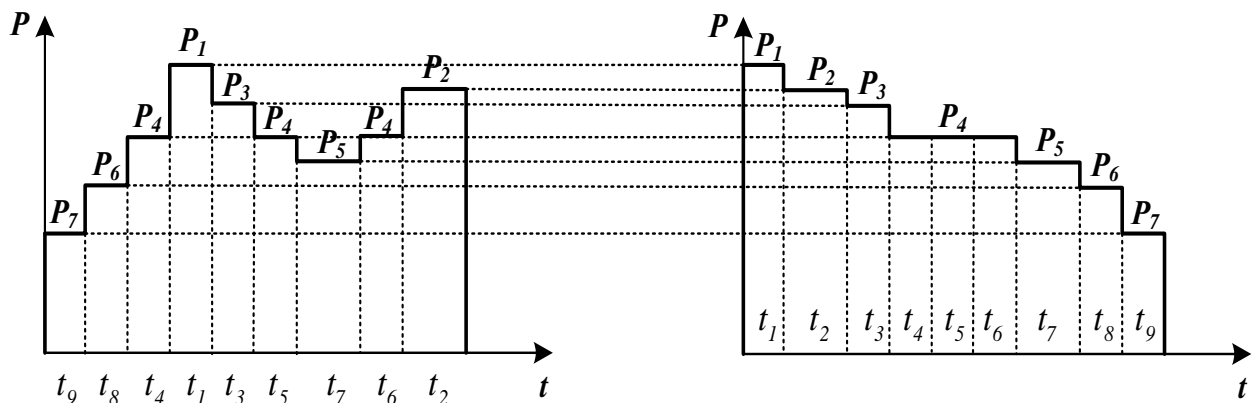


Рис. 4 Построение УД группового графика нагрузки

Построение упорядоченной диаграммы с помощью схемы независимых испытаний

Исходными данными для построения УД являются число и мощность электроприемников каждого типа, режим работы или коэффициент включения K_B , время наблюдения.

Порядок построения УД следующий.

1. Определяются возможные нагрузки (мощности), P_i рассматриваемого узла путем сочетаний различного числа включенных ЭП от 0 до максимального значения: 0; P_1 ; P_2 ; ... P_{max} .

2. Рассчитываются вероятности возможных нагрузок узла по схеме независимых испытаний

$$p(p_i) = p_n^m = \prod_{i=1}^n c_{n_i}^{m_i} K_B^{m_i} K_0^{n_i - m_i}$$

где $c_{n_i}^{m_i} = \frac{n_i!}{m_i!(n_i - m_i)!}$

3. Определяется длительность протекания каждой возможной нагрузки узла t

$$t(p_i) = p(p_i) T_H$$

4. Строится упорядоченная диаграмма по значениям, полученным в п. 1 и в п. 4.

Проверка правильности расчета осуществляется по формуле:

$$\Sigma_p(p_i) = 1$$

т.к. все возможные нагрузки узла представляют собой полную группу событий.

Интерпретация данного метода показана для узла нагрузки, приведенного на рис. 5.

Построить упорядоченную диаграмму активной мощности распределительного шкафа.

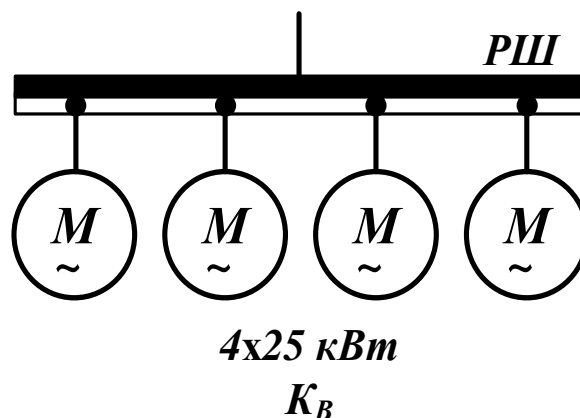


Рис. 5

1. Определяем возможные нагрузки узла путем последовательного включения ЭП: $P_i = 0; 25; 50; 75; 100 \text{ кВт}$.

2. Находим вероятности их появления по схеме независимых испытаний

$$p(0) = p_4^0 = C_4^0 K_B^0 K_0^4 = K_0^4;$$

$$p(25) = p_4^1 = C_4^1 K_B^1 K_0^3 = 4K_B K_0^3;$$

$$p(50) = p_4^2 = C_4^2 K_B^2 K_0^2 = 6K_B^2 K_0^2;$$

$$p(75) = p_4^3 = C_4^3 K_B^3 K_0^1 = 4K_B^3 K_0;$$

$$p(100) = p_4^4 = C_4^4 K_B^4 K_0^0 = K_B^4.$$

Сумма всех найденных вероятностей должна быть равна 1.

3. Определяем длительности протекания возможных нагрузок узла

$$t(0) = p(0)T_H = K_0^4 T_H;$$

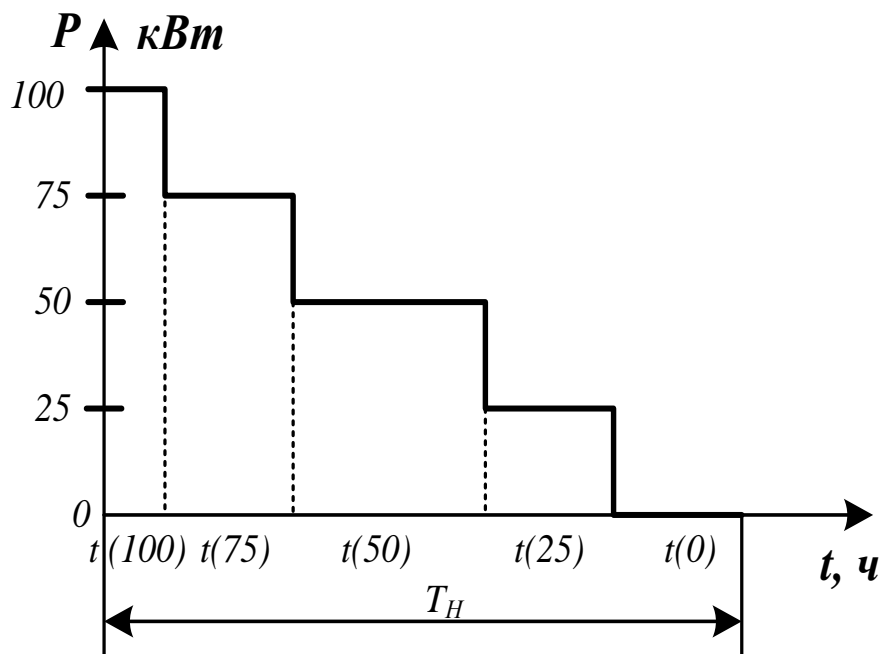
$$t(25) = p(25)T_H = 4K_B K_0^3 T_H;$$

$$t(50) = p(50)T_H = 6K_B^2 K_0^2 T_H;$$

$$t(75) = p(75)T_H = 4K_B^3 K_0 T_H;$$

$$t(100) = p(100)T_H = K_B^4 T_H.$$

4. Строим упорядоченную диаграмму по данным пунктов 1 и 3.



4. Вероятностные характеристики и показатели графиков нагрузки

К вероятностным характеристикам графиков электрических нагрузок относятся средняя $P_{cp.}$, среднеквадратическая (эффективная) $P_{эф}$, максимальная P_{max} , мощности. Их определяют по упорядоченной диаграмме по следующим выражениям:

$$P_{cp} = \frac{1}{T_H} \sum_{i=1}^m P_i t_i;$$
$$P_{эф} = \sqrt{\frac{1}{T_H} \sum_{i=1}^m P_i^2 t_i};$$
$$P_{max} = \frac{\sum_{j=1}^k P_j t_j + P_{j+1} \left(\theta - \sum_{j=1}^k t_j \right)}{\theta},$$

где P_i – i -тая ордината упорядоченной диаграммы;

t_i – время, в течение которого наблюдается i –тая ордината мощности;

P_j – j -ая ордината мощности по УД, попавшая во время максимума нагрузки;

t_j – время, в течение которого наблюдалась j -тая ордината мощности;

θ – длительность максимума нагрузки.

В РФ принят получасовой максимум нагрузки, поэтому для графиков нагрузки за наиболее загруженную смену и для суточных графиков его принимают равным $\theta = 30 \text{ мин.}$

Вероятностные характеристики ГЭН имеют свое предназначение. Так, по средней мощности выбирают силовые трансформаторы и определяют расход электроэнергии или электропотребление:

$$W_a = P_c T_H$$

По эффективной мощности находят нагрузочные (переменные) потери электроэнергии в элементе сети:

активные: $\Delta W_a = \frac{P_{\text{эф}}^2 + Q_{\text{эф}}^2}{U_{\text{ном}}^2} R_{\text{эл}} T_H$

реактивные: $\Delta W_p = \frac{P_{\text{эф}}^2 + Q_{\text{эф}}^2}{U_{\text{ном}}^2} X_{\text{эл}} T_H$

где $U_{\text{ном}}$ - номинальное напряжение сети;

$R_{\text{эл}}$ - активное сопротивление элемента сети;

$X_{\text{эл}}$ - индуктивное сопротивление элемента сети.

По максимальной мощности выбираются элементы электрической сети.

При обобщенном исследовании и расчетах электрических нагрузок необходимо применение некоторых безразмерных показателей графиков нагрузки, характеризующих режим работы ЭП, которые также можно найти с помощью упорядоченной диаграммы.

Рассмотрим основные из них.

Коэффициент включения $K_B = \frac{t_B}{t_p} = p$ – отношение продолжительности

включения электроприемника в течение цикла ко всей продолжительности цикла. Он показывает степень использования ЭП во времени.

Коэффициент использования $K_u = \frac{P_{\text{ср}}}{P_{\text{ном}}}$ – отношение средней мощности

к номинальной (паспортной) мощности. Он характеризует степень использования ЭП по мощности. Данный показатель является справочной величиной.

Коэффициент спроса $K_c = \frac{P_p}{P_{\text{ном}}}$ – отношение расчетной (максимальной)

нагрузки к номинальной. Он связывает расчетную нагрузку непосредственно с номинальной мощностью ЭП, минуя учет свойств графика в явной форме.

Коэффициент загрузки $K_z = \frac{P_{cp(B)}}{P_{ном}}$, где $P_{cp(B)} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i t_i}{t_B}$ – отношение

средней мощности за время включения к номинальной. Данный показатель характеризует степень использования ЭП как по времени, так и по мощности.

Коэффициент формы $K_\phi = \frac{P_{эф}}{P_{cp}}$ – отношение эффективной мощности к

средней. Он характеризует неравномерность графика во времени.

Коэффициент заполнения $K_{зан} = \frac{P_{cp}}{P_{max}}$ – отношение средней мощности к

максимальной. Он характеризует заполнение, т.е. форму графика.

Коэффициент максимума $K_{max} = \frac{P_{max}}{P_{cp}}$ – отношение максимальной

нагрузки к средней. Он связывает максимальную и среднюю нагрузки, учитывая в явной форме свойства графика.

Рассмотренные выше показатели связаны между собой:

Основные соотношения между коэффициентами ГЭН.

$$K_u = K_\phi K_z \quad K_c = K_u K_m$$

$$K_z = \frac{K_u}{K_\phi} \quad K_{зан} = \frac{1}{K_m}$$

Схему независимых испытаний также можно применить не только для расчета трехфазных нагрузок, но и для определения расчетной нагрузки однофазных ЭП. К ним относят сварочные машины. Особую проблему составляет расчет электрических нагрузок машин контактной электросварки, которые являются однофазными ЭП с повторно - кратковременным режимом работы. Работая в группе, они создают суммарный график в виде случайных пиков большой частоты и малой продолжительности с паузами, заполненными некоторой средней нагрузкой (см. график на рис. 6).

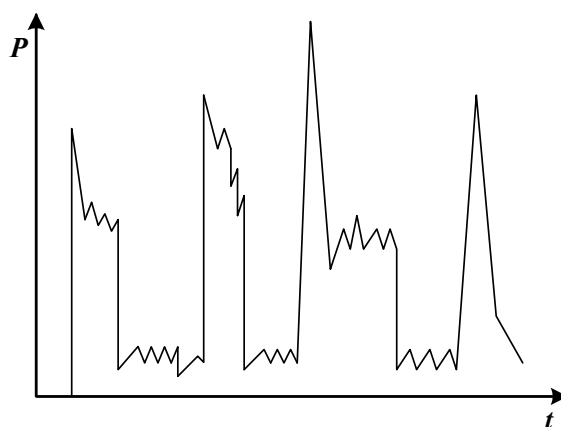
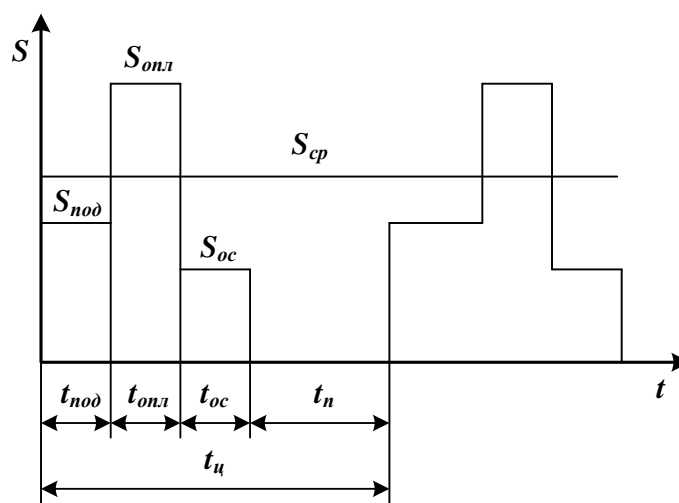


Рис. 6 Графики сварочной нагрузки

Для такого графика говорить о полчасовом максимуме нельзя. В данном случае определяются следующие виды нагрузок:

- 1) средняя – для учета расхода электроэнергии;
- 2) среднеквадратическая – для выбора элементов сети по нагреву;
- 3) пиковая – для проверки выбранных по нагреву элементов по колебаниям напряжения и выбора коммутационно-защитной аппаратуры.

Если рассмотреть цикл работы одной стыковой сварочной машины, то он выглядит следующим образом, как показано на рис. 7.



$t_{под}$ – время подогрева, $t_{опл}$ – время оплавления, $t_{ос}$ – время осадки (в с).

Рис. 7 Цикл работы одной сварочной стыковой машины

Время цикла равно: $t_{\text{ц}} = t_{\text{нод}} + t_{\text{онл}} + t_{\text{ос}} + t_n$ (с).

Тогда средняя мощность равна: $S_{\text{ср}} = \frac{S_{\text{нод}}t_{\text{нод}} + S_{\text{онл}}t_{\text{онл}} + S_{\text{ос}}t_{\text{ос}}}{t_{\text{ц}}}$

Мощности на графике обозначены аналогично.

Нам нужно построить УД для группового графика сварочной нагрузки. Необходимо отметить, что упорядоченная диаграмма строится по полной, а не по активной мощности.

Порядок построения УД следующий.

1) Определим возможные варианты работы ЭП, т.е. возможные нагрузки узла, с учетом того, что мощность одной машины равна

$$S = ПВ_{\phi} S_{\text{пасп.}}$$

где $ПВ_{\phi}$ – фактическая продолжительность включения, заменяет коэффициент включения для ЭП с повторно-кратковременным режимом работ ($t_{\text{ц}} \leq 10 \text{ мин}$);

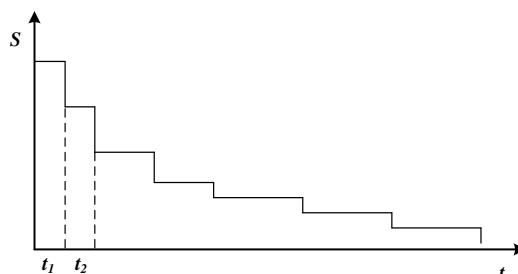
$S_{\text{пасп.}}$ – паспортная (номинальная) мощность машины.

2) Определяем вероятность совпадения работы m машин из общего числа n при данном $ПВ_{\phi}$

$$P_{\phi}^m = C_{\phi}^m ПВ_{\phi}^m (1 - ПВ_{\phi})^{n-m}$$

3) Определяем время совпадения работы m машин из n для каждой возможной нагрузки узла $t_i = p_{n_i}^{m_i} T_{\text{ц}}$.

4) Строим упорядоченную диаграмму.



Упорядоченная диаграмма

То есть алгоритм тот же, что и в предыдущем случае, только p_n^m определяется не по K_B , а по $ПВ_{\phi}$.

5. Расчетные электрические нагрузки потребителей, элементов и коммутационных узлов

Формализация расчетов ЭН развивалась в нескольких направлениях и привела к следующим группам методов:

1. эмпирические (метод коэффициента спроса, удельного расхода электроэнергии, удельной плотности нагрузок, технологического графика;
2. методы упорядоченных диаграмм (УД);
3. статистические методы;
4. методы вероятностного моделирования.

Метод коэффициента спроса.

Наиболее простой метод – метод коэффициента спроса, с него начинались расчеты электрических нагрузок.

Физический смысл K_c – это доля суммы номинальных активных мощностей ЭП, $P_{ном}$, статистически отражающая максимум (max) практически ожидаемого режима одновременной работы и загрузки некоторого неопределенного сочетания установленных ЭП.

Для определения расчетных нагрузок по этому методу необходимо знать установленную мощность группы приемников и коэффициенты мощности и спроса для группы электроприемников, определяемые по справочным материалам.

Расчетную нагрузку узла системы электроснабжения, содержащего группы приемников электроэнергии с различными режимами работы, определяют с учетом разновременности максимумов нагрузки отдельных групп электроснабжения. Она не должна быть меньше его средней нагрузки.

Определение расчетной силовой нагрузки по установленной мощности и коэффициенту спроса является приближенным методом расчета, поэтому его

применение рекомендуют для предварительных расчетов и определения общецеховых нагрузок.

Поскольку K_c соответствует max значениям, а не средним, что завышает нагрузку, целесообразно учитывать его в целом по потребителю (предприятию, отделению, цеху).

$$P_{расч} = K_c \cdot P_{ном}$$

$$Q_{расч} = P_{расч} \cdot \operatorname{tg} \varphi = K_c \cdot P_{ном} \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

Метод удельного расхода электроэнергии

Применим для отделений, участков, цехов, где технологическая продукция M однородна и количественно мало изменяется.

$$P_{\max} = \frac{W_{уд} \cdot M}{T_{\max}}$$

где $W_{уд}$ – удельный расход э/э на единицу продукции

M – продукция, выпускаемая за время T

T_{\max} – годовое число часов использования максимума активной мощности.

В данном случае максимальная нагрузка строго соответствует средней.

Метод удельных плотностей нагрузки.

Определяется максимальная мощность по площади цеха или предприятия:

$$P_{\max} = \gamma \cdot F$$

γ – удельная плотность максимальной нагрузки на 1 м^2 площади цеха (предприятия);

F – площадь цеха (предприятия), м^2 .

Метод технологического графика.

Опирается на график работы агрегата, машин или группы машин. Нагрузки определяются непосредственно по графикам.

Методы УД.

Ранее рассмотрено построение УД по графикам электрических нагрузок и по представлению электрической нагрузки случайным событием. Ниже приводится метод УД, опирающийся на справочные данные. Иногда данный метод называют методом коэффициента максимума. Метод громоздок, труден для понимания, наблюдаются ошибки при применении метода на высших уровнях электроснабжения.

По этому методу расчетную активную нагрузку приемников электроэнергии на всех ступенях питающих и распределительных сетей (включая трансформаторы и преобразователи) определяют по средней мощности и коэффициенту максимума из выражения.

Расчет ведется в два этапа. Первый этап – для выбора цеховых ТП и шин магистральных шинопроводов. Второй этап – для выбора элементов низковольтной распределительной сети.

В методе упорядоченных диаграмм принята допустимая для инженерных расчетов погрешность, равная 10%. Однако на практике применение этого метода обуславливает погрешность 20-40 %, и поэтому применение его требует тщательного анализа исходных данных и результатов расчета.

Статистические методы

Статистические методы позволяют определять расчетную нагрузку с любой принятой вероятностью ее появления. Применение этих методов целесообразно для определения нагрузок по отдельным группам и узлам приемников электроэнергии напряжением до 1 кВ. Их реализация возможна на основе реальных графиков. Они достаточно эффективны и удобны. Наиболее распространен метод, основанный на двух интегральных характеристиках: генеральной средней нагрузке P_{cp} и генеральном среднеквадратичном отклонении σ .

$$P_{max} = P_{cp} + \beta \sigma$$

β - статистический коэффициент, зависящий от закона распределения вероятностей и принятой вероятности превышения графиком $P(t)$ уровня P_{max} .

σ для стандартного группового графика определяется по формуле:

$$\sigma = \sqrt{P_{\beta}^2 - P_{cp}^2} = P_{cp} \sqrt{\kappa_{\phi}^2 - 1}$$

при этом β имеет различные значения ($\beta=3$ соответствует $p_{\beta}=0,9973$; $\beta=2,5$ соответствует $\alpha=0,5\%$ или $p_{\beta}=0,995$; $\beta=1,6$ соответствует $\alpha=5\%$ или $p_{\beta}=0,95$ – однако надежен).

Средняя нагрузка за наиболее загруженную смену определяется по выражениям $P_{cp} = \kappa_u P_{ном}$ и $Q_{cp} = P_{cp} \cdot \operatorname{tg} \phi$, а среднегодовая $P_{cp} = \frac{\mathcal{E}_{At}}{T}$.

Среднеквадратичная нагрузка для независимых ЭП

$$P_{ск}^2 = P_{cp}^2 + \sigma_{\Sigma}^2$$

$$\text{где } P_{cp}^2 = (\sum P_{cp_i})^2.$$

Среднеквадратичная для зависимых ЭП

$$\sigma_{\Sigma}^2 = \sum \sigma_i^2 + 2 \sum k_{ij} \sigma_i \sigma_j$$

$$P_{ск} = \sqrt{(\sum P_{cp_i})^2 + \sum P_{ск}^2 - \sum P_{ск}^2}$$

где k_{ij} - коэффициент корреляции.

$$I_{ск} = \frac{P_{ск}}{\sqrt{3} U_{ном}} \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \phi}$$

$$P_{ск} = \kappa_{\phi} P_{cp}$$

Плотность суточного графика электропотребления характеризуется коэффициентом

$$\kappa_{сут} = \frac{A_{сут}}{24 P_{сут}^{\max}}$$

$A_{сут}$ - электроэнергия, потребленная за сутки, кВт*ч;

$P_{сут}^{\max}$ - max суточная нагрузка.

К недостаткам метода следует отнести необходимость иметь актуальную для данного производства базу данных описывающую нагрузки за длительный период времени.

Метод коэффициента расчетной нагрузки

Приводится его область применения, показываются преимущества по сравнению с остальными методами.

Алгоритм расчета трехфазных электрических нагрузок.

Исходными данными для расчета являются:

План цеха, количество и мощность электроприемников, коэффициенты использования и мощности, разбивка по группам однотипных электроприемников по технологическому признаку и коэффициенту использования, наличие технологического резерва, номинальное напряжение.

Последовательность (алгоритм) расчета:

1) В тех случаях, когда в характерную категорию входят электроприемники с продолжительностью включения $<100\%$ то осуществляется пересчет их установленной (номинальной) мощности на ПВ 100% .

$$P_{уст.ПВ} = P_{уст} \cdot \sqrt{ПВ} \quad (1)$$

2) Определяем среднюю активную мощность для каждой характерной категории.

$$P_{cp} = \sum P_{ном} \cdot K_u; \quad (2)$$

где $P_{ном}$ - номинальная (паспортная) мощность электроприемника;

K_u - коэффициент использования.

3) Определяем среднюю реактивную мощность для каждой характерной категории.

$$Q_{cp} = P_{cp} \cdot \operatorname{tg} \phi; \quad (3)$$

4) Определяем эффективное число электроприемников по приближенной формуле

$$n_3 = \frac{2 \sum P_n}{P_{н.мах}}; \quad (4)$$

или точной формуле:
$$n_3 = \frac{(P_{ном})^2}{\sum P_{ном.i}^2} \quad (5)$$

Если $n_э$ больше фактического количества электроприемников то $n_э$ принимают равным фактическому количеству электроприемников.

- 5) Средневзвешенный коэффициент использования характерной категории.

$$K_{и.ср} = \frac{\sum P_{ср}}{\sum P_{ном}}; \quad (6)$$

6) Коэффициент расчетной нагрузки K_p выбираем, исходя из этапа расчета по таблицам /12/. В тех случаях когда значение $K_{и}$ находится между двумя значениями таблицы, то производим выбор интерполируя $K_{и}$ и $n_э$.

Для высоковольтных ЭП и проводников с напряжением больше 1кВ и для шин 6-10кВ $K_p = 1$.

- 7) Расчетная активная нагрузка характерной категории.

$$P_p = K_p \cdot P_{ср}; \quad (7)$$

Где K_p - определен в шаге 6 алгоритма.

- 8) Расчетная реактивная мощность характерной категории.

Для низковольтной сети

$$Q_p = K_p \cdot Q_{ср}; \quad (8)$$

Для выбора магистральных шинопроводов и на шинах цеховых трансформаторных подстанций

$$Q_p = 1.1 \cdot Q_{ср}; \quad \text{при } n_э \leq 10 \quad (9)$$

$$Q_p = Q_{ср}; \quad \text{при } n_э > 10 \quad (10)$$

- 9) Полная расчетная мощность силовой нагрузки

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}; \quad (11)$$

Далее рассматривается особенность расчета электрических трехфазных нагрузок по второму этапу.

6. Расчет однофазных электрических нагрузок

Для расчета однофазных электрических нагрузок исходными данными являются номинальная мощность установки, количество установок, коэффициенты использования и мощности, продолжительность включения, данные о том на линейное или фазное напряжение включена установка, разбивка по фазам или парам фаз. Расчетный алгоритм строится на основании методик, изложенных в /12/ и /15/.

Последовательность (алгоритм) расчета:

1) Находим номинальные нагрузки для всех электроприемников приведенные к ПВ=100%

Для фазной нагрузки по каждому ЭП

$$P_{ном.ф} = n \cdot S_{ном} \cdot \sqrt{ПВ} \quad (12)$$

Для линейной нагрузки по каждому ЭП

$$P_{ном.л} = S \cdot \sqrt{ПВ} \cdot \cos \varphi \quad (13)$$

2) Общая мощность всех ЭП приведенная к ПВ 100%

$$P_{ном} \sum = \sum n \cdot P_{ном.ф} + \sum n \cdot P_{ном.л} \quad (14)$$

3) Подсчитываем общую нагрузку на фазу и пару фаз

$$P_a \sum = \sum P_{н.а} \cdot n \quad (15)$$

$$P_{ab} \sum = \sum P_{н.ab} \cdot n \quad (16)$$

4) Приводим линейную нагрузку к фазной по формулам приведения:

$$P_a = \sum P_{ab} \cdot p(ab)_a + \sum P_{ca} \cdot p(ca)_a + \sum P_{ao} \quad (17)$$

$$P_a = \sum P_{ab} \cdot p(ab)_a + \sum P_{ca} \cdot p(ca)_a + \sum P_{ao} \quad (18)$$

$$P_b = \sum P_{ab} \cdot p(ab)_b + \sum P_{bc} \cdot p(bc)_b + \sum P_{bo} \quad (19)$$

$$P_c = \sum P_{ca} \cdot p(ca)_a + \sum P_{bc} \cdot p(bc)_c + \sum P_{co} \quad (20)$$

$$Q_a = \sum P_{ab} \cdot q(ab)_a + \sum P_{ca} \cdot q(ca)_a + \sum Q_{ao} \quad (21)$$

$$Q_b = \sum P_{ab} \cdot q(ab)_b + \sum P_{bc} \cdot q(bc)_b + \sum Q_{bo} \quad (22)$$

$$Q_b = \sum P_{ab} \cdot q(ab)b + \sum P_{bc} \cdot q(bc)b + \sum Q_{bo} \quad (23)$$

$$Q_c = \sum P_{ca} \cdot q(ca)a + \sum P_{bc} \cdot q(bc)c + \sum Q_{co} \quad (24)$$

$$P_{cp.a} = \sum K_u \cdot P_{ab} \cdot p(ab)a + \sum K_u \cdot P_{ca} \cdot p(ca)a + \sum K_u \cdot P_{ao} \quad (25)$$

$$P_{cp.b} = \sum K_u \cdot P_{ab} \cdot p(ab)b + \sum K_u \cdot P_{bc} \cdot p(bc)b + \sum K_u \cdot P_{bo} \quad (26)$$

$$P_{cp.c} = \sum K_u \cdot P_{ca} \cdot p(ca)a + \sum K_u \cdot P_{bc} \cdot p(bc)c + \sum K_u \cdot P_{co} \quad (27)$$

$$Q_{cp.a} = \sum K_u \cdot P_{ab} \cdot q(ab)a + \sum K_u \cdot P_{ca} \cdot q(ca)a + \sum K_u \cdot P_{ao} \quad (28)$$

$$Q_{cp.b} = \sum K_u \cdot P_{ab} \cdot q(ab)b + \sum K_u \cdot P_{bc} \cdot q(bc)b + \sum K_u \cdot P_{bo} \quad (29)$$

$$Q_{cp.c} = \sum K_u \cdot P_{ca} \cdot q(ca)a + \sum K_u \cdot P_{bc} \cdot q(bc)c + \sum K_u \cdot P_{co}, \quad (30)$$

где $p_{(ab)a}$, $q_{(ab)a}$, и т.д. являются коэффициентами приведения, которые берем из таблицы 2.21 в зависимости от $\cos\varphi$ /15/

В тех случаях, когда $\cos\varphi$ лежит между значениями, указанными в таблице, находим его интерполяцией.

5) Находим полную среднюю мощность

$$S_{cp.max} = \sqrt{P_{cp.i}^2 + Q_{cp.i}^2} \quad (31)$$

Где i – фаза (a,b или c).

По полной мощности находим наиболее загруженную фазу

6) Находим средневзвешенный коэффициент использования

$$K_{u.a} = P_{cp.a} / P_{a.nom} \sum = P_{cp.a} / (P_{ab} + P_{ca}) / 2 + P_{ao} \quad (32)$$

$$K_{u.b} = P_{cp.b} / P_{b.nom} \sum = P_{cp.b} / (P_{ba} + P_{bc}) / 2 + P_{bo} \quad (33)$$

$$K_{u.c} = P_{cp.c} / P_{c.nom} \sum = P_{cp.c} / (P_{ca} + P_{bc}) / 2 + P_{co} \quad (34)$$

7) Находим эффективное число электроприемников

$$N_{\varphi} = \frac{2 \cdot P_{ном} \sum}{3 \cdot P_{ном.max}} \quad (35)$$

Где $P_{ном\sum}$ – сумма номинальных мощностей;

$P_{ном.max}$ – номинальная мощность наибольшего ЭП.

8) Коэффициент расчетной нагрузки K_p выбираем исходя из этапа расчета по таблицам /12/

9) Находим минимальную и максимальную номинальную мощности для определения неравномерности загрузки.

10) Определяем неравномерность нагрузки

$$H = \frac{P_{\text{ном.мах}} - P_{\text{ном.мин}}}{P_{\text{ном.номин}}} \cdot 100 \quad (36)$$

11) Исходя из неравномерности загрузки, определяем Q_p и P_p .

Если неравномерность нагрузки $H \leq 15\%$

$$P_p = K_p \cdot (P_{\text{ср.а}} + P_{\text{ср.б}} + P_{\text{ср.с}}) \quad (37)$$

Если $N_{\Sigma} \leq 10$

$$Q_p = K_p \cdot Q_{\text{ср.мах}} \quad (38)$$

Где $Q_{\text{ср.мах}}$ – $Q_{\text{ср}}$ наиболее загруженной фазы

Если $N_{\Sigma} > 10$

$$Q_p = 1,1 \cdot K_p \cdot Q_{\text{ср.мах}} \quad (39)$$

Если неравномерность нагрузки $H > 15\%$

$$P_p = 3 \cdot K_p \cdot P_{\text{ср.мах}} \quad (40)$$

Где $P_{\text{ср.мах}}$ – средняя мощность наиболее загруженной фазы

Если $N_{\Sigma} \leq 10$

$$Q_p = K_p \cdot Q_{\text{ср.мах}} \quad (41)$$

Где $Q_{\text{ср.мах}}$ – $Q_{\text{ср}}$ наиболее загруженной фазы

Если $N_{\Sigma} > 10$

$$P_p = 3 \cdot K_p \cdot P_{\text{ср.мах}} \quad (42)$$

12) Полная мощность

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (43)$$

7. Расчет электрической нагрузки сварочных электроприемников

Исходными данными для расчета являются: являются номинальная мощность установки, количество установок, коэффициент использования, продолжительность включения, разбивка по парам фаз.

Последовательность (алгоритм) расчета:

1) Определяем среднюю мощность каждой машины

$$S_{cp} = K_z \cdot ПВ \cdot S_{ном} \quad (44)$$

где S_{cp} - Коэффициент загрузки

ПВ - Продолжительность включения

$S_{ном}$ - Номинальная мощность электроприемника

2) Определяем среднюю мощность каждой пары фаз

$$S_{cp.ab} = \sum_1^i S_{ном.i} \cdot N_i \quad (45)$$

где $S_{ном.i}$ - номинальная мощность электроприемника;

N_i - количество электроприемников

3) Определяем неравномерность загрузки

$$H = \frac{S_{max} - S_{min}}{S_{min}} \cdot 100 \quad (46)$$

где S_{max} - максимальная мощность пары фаз

S_{min} - минимальная мощность пары фаз

4) Определяем эквивалентную среднюю нагрузку наиболее загруженной фазы или пары фаз

при $H \leq 15\%$

$$S_{cp} = 3 \cdot S_{cp.max} \quad (47)$$

при $H > 15\%$

Для каждой из фаз:

$$S_{cp} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{S_{cp.ab}^2 + S_{cp.bc}^2 + S_{cp.ab} \cdot S_{cp.bc}} \quad (48)$$

$$S_{cp} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{S_{cp.bc}^2 + S_{cp.ca}^2 + S_{cp.bc} \cdot S_{cp.ca}} \quad (49)$$

$$S_{cp} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{S_{cp.ca}^2 + S_{cp.ab}^2 + S_{cp.ca} \cdot S_{cp.bc}} \quad (50)$$

5) Определяем среднеквадратичную нагрузку каждой машины

$$S_{cp} = K_3 \cdot \sqrt{ПВ} \cdot S_{ном} \quad (51)$$

6) Определяем среднеквадратичную мощность каждой пары фаз

$$S_{ck} = \sqrt{\left(\sum_1^n S_{cp.i}\right)^2 + \sum_1^n (S_{ck.i}^2 - S_{cp.i}^2)} \quad (52)$$

7) Определяем эквивалентную среднеквадратичную мощность наиболее загруженной фазы.

при $H < 15\%$

$$S_{p.э} = 3 \cdot S_{ck.max} \quad (53)$$

при $H > 15\%$

Для каждой из фаз:

$$S_{p.э} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{S_{ck.ab}^2 + S_{ck.bc}^2 + S_{ck.ab} \cdot S_{ck.bc}} \quad (54)$$

$$S_{p.э} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{S_{ck.bc}^2 + S_{ck.ca}^2 + S_{ck.bc} \cdot S_{ck.ca}} \quad (55)$$

$$S_{p.э} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{S_{ck.ca}^2 + S_{ck.ab}^2 + S_{ck.ca} \cdot S_{ck.ab}} \quad (56)$$

8. Внешнее электроснабжение

Проектирование системы внешнего электроснабжения

Система внешнего электроснабжения включает в себя схему электроснабжения и источники питания предприятия. Основными условиями проектирования рациональной системы внешнего электроснабжения являются надежность, экономичность и качество электроэнергии в сети.

Экономичность определяется приведенными затратами на систему электроснабжения. Надежность зависит от категории потребителей электроэнергии и особенностей технологического процесса, неправильная оценка которых может привести как к снижению надежности системы электроснабжения, так и к неоправданным затратам на излишнее резервирование. При проектировании, как правило, разрабатывается несколько вариантов, наиболее целесообразный из которых определяют в результате технико-экономического сопоставления.

Выбор источников питания

Основными источниками питания электроэнергией промышленных предприятий являются электрические станции и сети районных энергосистем. При наличии особых групп потребителей электроэнергии, а также в случае значительной удаленности или недостаточной мощности основного источника питания сооружают собственную электростанцию предприятия. Мощность собственного источника зависит от его назначения и может изменяться в широких пределах. На предприятиях со значительным потреблением тепла в качестве собственного источника питания сооружают теплофикационную электростанцию (ТЭС).

Наиболее рациональным местом расположения собственного источника питания предприятия является центр электрических нагрузок (ЦЭН). В случае совпадения ЦЭН с местом расположения технологических объектов или коммуникаций источник питания располагают с максимально возможным приближением к центру нагрузок.

Для потребителей электроэнергии, относящихся к I категории, в соответствии с ПУЭ предусматривают не менее двух независимых источников питания. Независимым источником питания называют источник питания приемника или группы приемников электроэнергии, на котором напряжение для послеаварийного режима не снижается более чем на 5 % по сравнению с нормальным режимом работы при исчезновении его на другом или других источниках питания этих приемников [7]. К числу независимых источников питания относят две секции или системы шин одной или двух электростанций и подстанций при одновременном соблюдении следующих двух условий:

1) каждая секция или система шин, в свою очередь, имеет питание от независимого источника питания;

2) секции (системы) шин не связаны между собой или имеют связь, автоматически отключающуюся при нарушении нормальной работы одной секции (системы) шин.

Местные электростанции рассматривают как независимые источники питания в случае, если они не связаны с энергосистемой или имеют на связях делительную защиту, отключающую станцию при авариях в энергосистеме.

Распределение нагрузки между источниками питания предприятия осуществляют с учетом мощности, удаленности и экономичности источника питания, а также сезонности работы предприятия. В качестве резервных целесообразно использовать маломощные и удаленные источники питания.

Выбор схемы электроснабжения предприятия

При проектировании схемы электроснабжения предприятия наряду с надежностью и экономичностью необходимо учитывать такие требования, как характер размещения нагрузок на территории предприятия, потребляемую мощность, наличие собственного источника питания.

В зависимости от установленной мощности приемников электроэнергии различают объекты большой (75—100 МВт и более), средней (от 5—7,5 до 75 МВт) и малой (до 5 МВт) мощности. Для предприятий малой и средней

мощности, как правило, применяют схемы электроснабжения с одним приемным пунктом электроэнергии (ГПП, ГРП, РП). Если имеются потребители I категории, то предусматривают секционирование шин приемного пункта и питание каждой секции по отдельной линии.

Схемы с двумя и более приемными пунктами применяют на предприятиях большой мощности с преобладанием потребителей I категории, при наличии мощных и обособленных групп приемников электроэнергии, при развитии предприятия этапами, когда питание второй очереди экономически целесообразно выполнять от отдельного приемного пункта электроэнергии, а также в тех случаях, когда приемные пункты выполняют одновременно функции РП и их установка экономически целесообразна.

Для предприятий средней и большой мощности, получающих питание от районных сетей 35, 110, 220 и 330 кВ, широко применяют схему глубокого ввода. Такая схема характеризуется максимально возможным приближением высшего напряжения к электроустановкам потребителей с минимальным количеством ступеней промежуточной трансформации и аппаратов.

Линии глубоких вводов проходят по территории предприятия и имеют ответвления к нескольким подстанциям глубоких вводов (ПГВ), расположенных близко от питаемых ими нагрузок. Обычно ПГВ выполняют по простой схеме: без выключателей и сборных шин на стороне высшего напряжения.

Наиболее дешевыми являются схемы с отделителями и короткозамыкателями (рис. 3.1, 3.2). Распределение электроэнергии при таких схемах осуществляется на РУ вторичного напряжения 10 кВ ПГВ.

Глубокие вводы выполняют в виде магистральных воздушных линий (рис. 3.3) и в виде радиальных воздушных и кабельных линий (рис. 3.4). Магистральные глубокие вводы применяют при нормальной и малозагрязненной окружающей среде, когда по территории предприятия можно провести воздушные линии напряжением ПО—220 кВ и разместить ПГВ около основных групп потребителей электроэнергии.

Радиальные глубокие вводы применяют, как правило, при загрязненной окружающей среде. Кабельные радиальные вводы используют при невозможности прокладки воздушных линий и размещении более громоздких ответвительных подстанций ПО—220 кВ. Радиальные схемы глубоких вводов обладают большей гибкостью и удобствами в эксплуатации по сравнению с магистральными, так как повреждение или ремонт одной линии или трансформатора не отражается на работе других подстанций.

Схемы глубоких вводов при максимальной простоте и дешевизне не уступают по надежности схемам централизованного электроснабжения. Они применимы для потребителей любой категории.

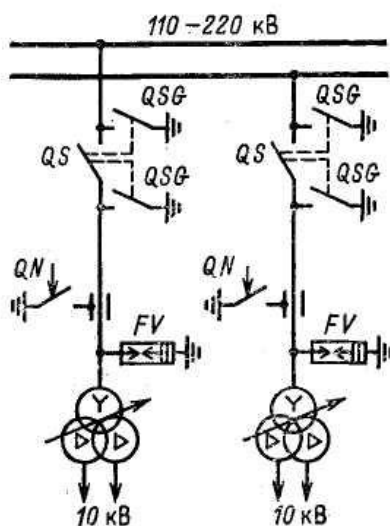


Рис. 3.1. Схема подстанции на разъединителях и короткозамках

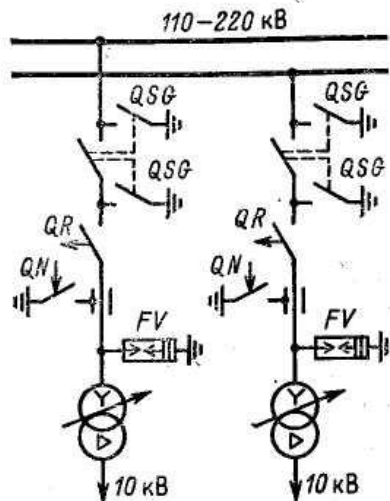


Рис. 3.2. Схема подстанции на разъединителях, отделителях и короткозамках

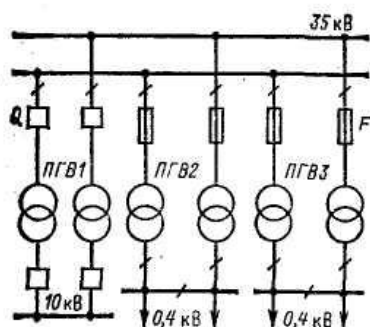


Рис. 3.3. Глубокий ввод, выполненный магистральными воздушными линиями

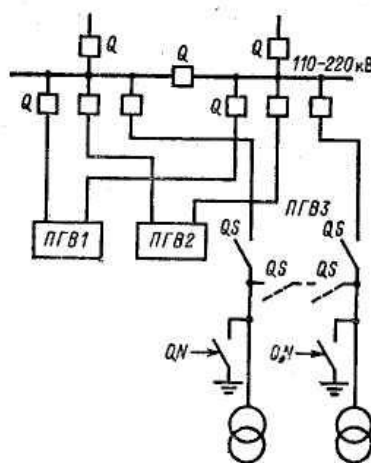


Рис. 3.4. Глубокий ввод, выполненный радиальными воздушными линиями

Общие вопросы проектирования подстанций

Проектирование подстанций регламентируется нормативными документами, разработанными Министерством энергетики РФ в «Рекомендациях по технологическому проектированию подстанций переменного тока с высшим напряжением 35—750 кВ» в 2004 году.

Проект подстанции разрабатывается на 5 лет с момента предполагаемого ввода ее в эксплуатацию и с перспективой развития на последующее время (не менее 5 лет).

Проектирование подстанций ведется на основе следующих утвержденных схем: схемы развития энергосистемы или электрических сетей города; схемы внешнего электроснабжения объекта (промышленного предприятия, микрорайона города и т. д.); схемы организации ремонта, технического и оперативного обслуживания; схемы развития средств управления общесистемного назначения (СУОН), включающие в себя релейную защиту и автоматику аварийного режима (РЗА), противоаварийную автоматику, а также схемы развития автоматизированных систем диспетчерского управления.

Исходными данными для проектирования служат: район размещения подстанции; нагрузки на расчетный период и их перспективное развитие с указанием распределения по напряжениям и категориям; число присоединяемых линий напряжением 35 кВ и выше, их нагрузки; число линий 10(6) кВ и их нагрузки; расчетные значения токов однофазного и трехфазного короткого замыкания с учетом развития сетей и генерирующих источников на срок не менее пяти лет, считая от предполагаемого ввода в эксплуатацию; уровни и пределы регулирования напряжения на шинах подстанции и необходимость дополнительных регулирующих устройств с учетом требований к качеству электрической энергии; режимы заземления нейтралей трансформаторов; границы раздела обслуживания объектов различными энергообъединениями и энергопредприятиями и т. д.

При проектировании подстанций решаются следующие задачи:

- выбор площадки для строительства подстанции;

- выбор типа и исполнения подстанций и распределительных устройств (закрытого или открытого типа, комплектная, сборная и т. д.);
- определение схемы электрических соединений распределительных устройств высокого, среднего и низшего напряжений;
- ограничение токов короткого замыкания;
- выбор основного электротехнического оборудования и токоведущих частей;
- ограничение перенапряжений, выбор места установки, числа ограничителей перенапряжений или вентильных разрядников и других защитных средств, для ограничения перенапряжений;
- заземление подстанций;
- выбор источников оперативного тока и источников питания собственных нужд подстанции;
- управление, релейная защита, автоматика, сигнализация.

Для трансформаторных подстанций дополнительно решаются следующие задачи:

- выбор числа трансформаторов, определение их мощности, номинальных напряжений, соотношения мощностей обмоток трехобмоточных трансформаторов;
- выбор режимов заземления нейтралей трансформаторов; при необходимости решается вопрос компенсации емкостных токов в электрических сетях 6—35 кВ (выбор места установки, числа и мощности дугогасящих реакторов);
- определение уровней и пределов регулирования напряжения на шинах подстанции, необходимости установки дополнительных регулирующих устройств с учетом требований к качеству электрической энергии.

Основные элементы распределительных устройств

Распределительные устройства всех напряжений, осуществляющие прием и распределение электрической энергии, выполняются со сборными шинами. Распределительные устройства ВН трансформаторных подстанций, предназначенные только для приема электрической энергии (без ее

распределения), выполняются без сборных шин по блочным, мостиковым и другим схемам.

Распределительное устройство со сборными шинами состоит из сборных шин, к которым через ответвительные шины подключаются различные присоединения:

- питающие линии (ввод);
- отходящие линии;
- секционирование;
- трансформаторы напряжения;
- трансформаторы для собственного обслуживания;
- заземляющие разъединители сборных шин и др.

Сборными шинами называются короткие участки шин жесткой или гибкой конструкции, обладающие малым электрическим сопротивлением, предназначенные для подключения присоединений.

По своему назначению сборные шины делятся на рабочие, резервные и обходные.

Рабочая система шин в нормальном режиме находится под напряжением и осуществляет питание всех подключенных к ней присоединений.

Резервная система шин служит для питания присоединений подстанции в случае ремонта или ревизии рабочей системы шин. В нормальном режиме резервная система шин находится не под напряжением.

Обходная система шин применяется при повышенных требованиях к надежности электроснабжения и позволяет осуществлять контроль и ремонт любого коммутационного аппарата без отключения потребителей. В нормальном режиме обходная система шин не под напряжением.

На всех присоединениях на участках от сборных шин до выключателей, предохранителей, трансформаторов напряжения и т. п., а также на участках, где возможна подача напряжения от других источников напряжения, обязательно устанавливаются разъединители, обеспечивающие видимый разрыв цепи. Указанное требование не распространяется на шкафы КРУ и КРУН с

выкатными тележками, высокочастотные заградители и конденсаторы связи, трансформаторы напряжения, устанавливаемые на отходящих линиях, разрядники, устанавливаемые на вводах трансформаторов и на отходящих линиях.

Питающие и отходящие линии подключаются к сборным шинам через разъединители и выключатели. На каждую линию необходим один выключатель, один или два шинных разъединителя (в зависимости от применяемой системы сборных шин) и один линейный разъединитель.

Выключатель служит для включения и отключения линии в нормальных и аварийных режимах. Шинный разъединитель предназначен для создания видимого отключения сети и создания безопасных условий для проведения контроля и ремонта выключателя, а также при двух системах шин — для переключения присоединений с одной системы шин на другую без перерыва в работе. Линейный разъединитель предусматривается в присоединениях, где при отключенном выключателе линия может оказаться под напряжением и необходимо видимое отключение линии для безопасного ремонта выключателя.

При использовании комплектных распределительных устройств выкатного исполнения выключатели, трансформаторы напряжения и другое оборудование устанавливаются на выкатных тележках. В этом случае на схеме указываются штепсельные разъемы.

В распределительных устройствах обязательно предусматриваются стационарные заземляющие ножи, обеспечивающие заземление аппаратов и ошиновки без применения переносных заземлителей. РУ должны быть оборудованы оперативной блокировкой, исключающей ошибочные действия с разъединителями, выключателями, заземляющими ножами и т. д.

На присоединениях питающих и отходящих линий кроме коммутационных аппаратов устанавливаются трансформаторы тока, на воздушных линиях напряжением 35 кВ и выше - высокочастотные заградители и конденсаторы связи.

Трансформаторы напряжения устанавливаются на каждую систему шин, а если система шин делится на части (секции), то на каждую секцию шин. Трансформаторы напряжения подключаются к сборным шинам через разъединители и предохранители в РУ 6—35 кВ и через разъединители в РУ 110 кВ и выше.

При необходимости в распределительном устройстве предусматриваются трансформаторы для собственного обслуживания (ТСН, т.е. трансформаторы собственных нужд), которые служат для питания оперативных цепей, а также освещения технологических и вспомогательных зданий и сооружений подстанции. Они подключаются через предохранители до выключателей ввода, если ТСН используются для питания оперативных цепей, и на сборные шины, если ТСН не используются для питания оперативных цепей.

Принципы выбора схем электроподстанций

Схемы подстанций выбираются с учетом общей схемы электроснабжения, т.е. вид схемы сетей (радиальной или магистральной) значительно влияет на вид схем подстанций, входящих в общую систему электроснабжения.

Схемы подстанций всех напряжений разрабатываются исходя из следующих положений: применение простейших схем с минимальным числом выключателей; преимущественного применения одной системы сборных шин на ГПП и РП с разделением ее на секции; применения, как правило, раздельной работы линий и раздельной работы трансформаторов; применения блочных схем и бесшинных подстанций глубоких вводов напряжением 110-220кВ.

На вводах напряжения 6...10 кВ распределительных подстанций и на выводах вторичного напряжения ГПП и ПГВ, как правило, следует устанавливать выключатели для автоматического включения резерва.

При секционировании разъединителями шин на напряжении 6...10 кВ рекомендуется устанавливать два разъединителя последовательно для безопасной работы персонала на отключенной секции, а также на самом секционном разъединителе при работающей другой секции.

Для уменьшения токов КЗ в сетях напряжением 6...10 кВ следует применять трансформаторы с расщепленными вторичными обмотками. При реагировании наиболее целесообразны схемы с групповыми реакторами в цепях вторичного напряжения трансформаторов или на вводах питающих линий. Трансформаторы тока и реакторы следует устанавливать после выключателя.

Установка заземляющих ножей.

Установка заземляющих ножей (ЗН) у разъединителей для заземления элементов электроустановки при их ревизии и ремонте выполняется следующим образом:

выключатель при ревизии должен быть заземлен с двух сторон, поэтому у расположенных по обе его стороны разъединителей устанавливаются ЗН со стороны, обращенной к выключателю;

для ревизии линии устанавливаются ЗН у линейного разъединителя со стороны линии;

для ревизии сборных шин устанавливаются ЗН на разъединителях трансформаторов напряжения со стороны сборных шин, с противоположной стороны этих разъединителей также устанавливаются ЗН для ревизии трансформатора напряжения.

Следовательно, часть разъединителей снабжается ЗН с двух сторон (это линейные разъединители и шинные разъединители в цепях трансформатора напряжения), а часть разъединителей - с одной стороны (это шинные разъединители на стороне, обращенной к выключателю).

Предусматривается полная блокировка, предотвращающая ошибочные операции как с разъединителями, так и с ЗН, т. е. блокировка исключает возможность подачи напряжения выключателями или разъединителями на шины или участки шин, заземленные посредством ЗН, а также блокировка разрешает включение ЗН только на участки шин, отключенные разъединителями со всех сторон от токоведущих частей, находящихся под напряжением.

Схемы распределительных устройств напряжением 6-220 кВ в системах
электроснабжения

Применяются следующие схемы распределительных устройств:

- с одной не секционированной системой шин;
- с одной секционированной системой шин;
- с двумя одиночными секционированными системами шин;
- с четырьмя одиночными секционированными системами шин;
- с одной секционированной и обходной системами шин;
- с двумя системами шин;
- с двумя секционированными системами шин;
- с двумя системами шин и обходной;
- с двумя секционированными системами шин и обходной.

Схема с одной не секционированной системой шин— самая простая схема, которая применяется в сетях 6—35 кВ (рис.8). В сетях 10(6) кВ схему называют **одиночной системой шин**. На отходящих и питающих линиях устанавливается один выключатель, один шинный и один линейный разъединители.

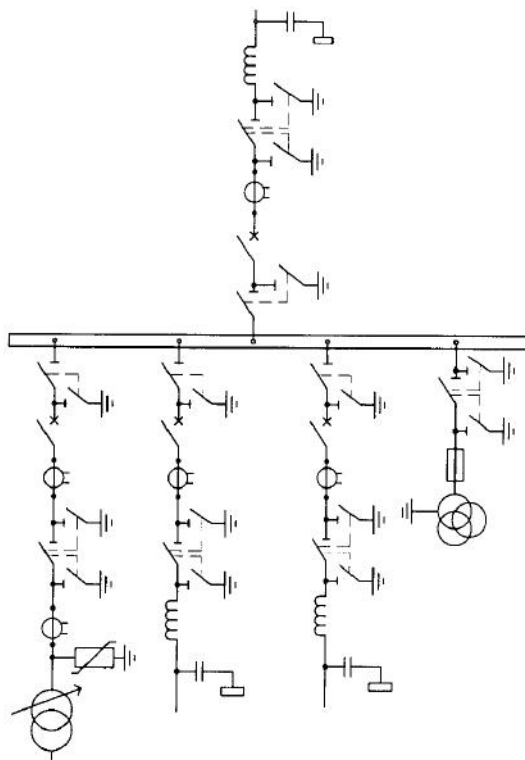


Рис.8 Схема с одной системой шин

Недостатки данной схемы: в схеме используется один источник питания; профилактический ремонт сборных шин и шинных разъединителей связан с отключением распределительного устройства, что приводит к перерыву электроснабжения всех потребителей на время ремонта; повреждения в зоне сборных шин приводят к отключению распределительного устройства; ремонт выключателей связан с отключением соответствующих присоединений.

Схема с одной секционированной выключателем системой шин (рис.2)

позволяет частично устранить перечисленные выше недостатки предыдущей схемы путем секционирования системы шин, т. е. разделения системы шин на части с установкой в точках деления секционных выключателей. Секционирование, как правило, выполняется так, чтобы каждая секция шин получала питание от разных источников питания. Число присоединений и нагрузка на секциях шин должны быть по возможности равными.

В нормальном режиме секционный выключатель может быть включен (параллельная работа секций шин) или отключен (раздельная работа секций шин). В системах электроснабжения промышленных предприятий и городов предусматривается обычно раздельная работа секций шин.

Данная схема проста, наглядна, экономична, обладает достаточно высокой надежностью, широко применяется в промышленных и городских сетях для электроснабжения потребителей любой категории на напряжениях до 35 кВ включительно. Допускается применять данную схему при пяти и более присоединениях в РУ 110—220 кВ из герметизированных ячеек с элегазовой изоляцией, а также в РУ ПО кВ с выкатными выключателями при условии возможности замены выключателей в эксплуатационный период. В сетях 10(6) кВ эта схема имеет преимущество.

По сравнению с одиночной несекционированной системой шин данная схема имеет более высокую надежность, так как при коротком замыкании на сборных шинах отключается только одна секция шин, вторая остается в работе.

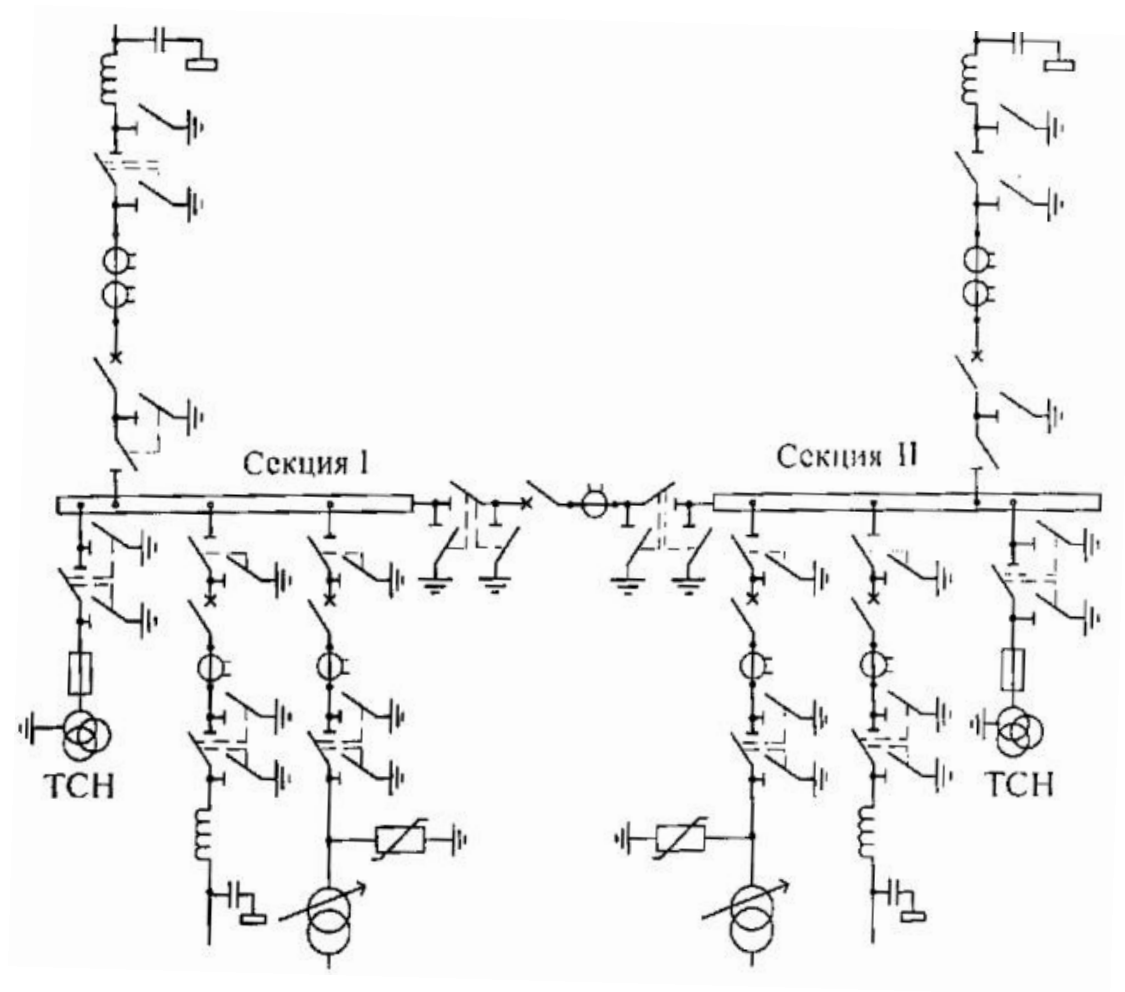


Рис.9 Схема с одной секционированной системой шин

Недостатки схемы с одной секционированной выключателем системы шин:

- на все время проведения контроля или ремонта секции сборных шин один источник питания отключается;
- профилактический ремонт секции сборных шин и шинных разъединителей связан с отключением всех линий, подключенных к этой секции шин;
- повреждения в зоне секции сборных шин приводят к отключению всех линий соответствующей секции шин;
- ремонт выключателей связан с отключением соответствующих присоединений.

Вышеперечисленные недостатки частично устраняются при использовании схем с большим числом секций.

На *рис.3* представлена схема РУ 10(6) кВ подстанции с двумя трансформаторами с расщепленной обмоткой или с двумя сдвоенными реакторами. Схема имеет четыре секции шин и называется - **две одиночные секционированные выключателями системы шин**.

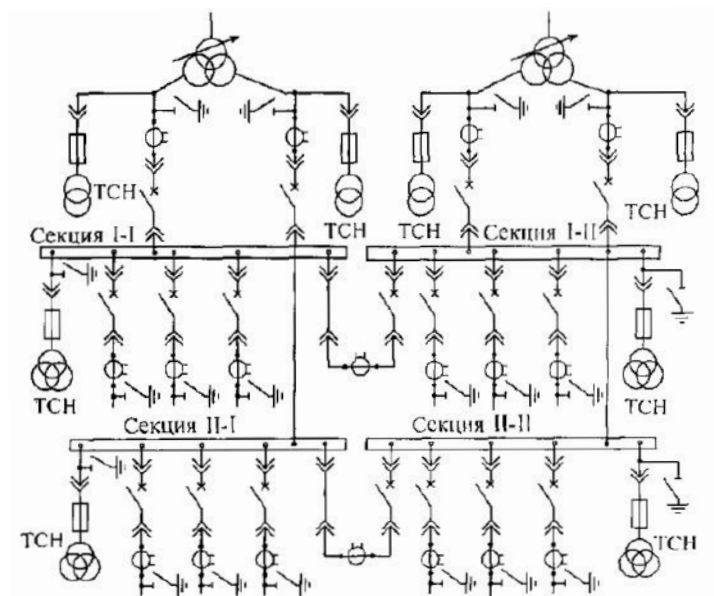


Рис.10 Схема с двумя одиночными секционированными системами шин (ТСТ при постоянном оперативном токе подключаются к сборным шинам)

При наличии двух трансформаторов с расщепленной обмоткой и двух сдвоенных реакторов применяется схема, состоящая из восьми секций шин, называемая - **четыре одиночные секционированные выключателями системы шин** (*рис.11*).

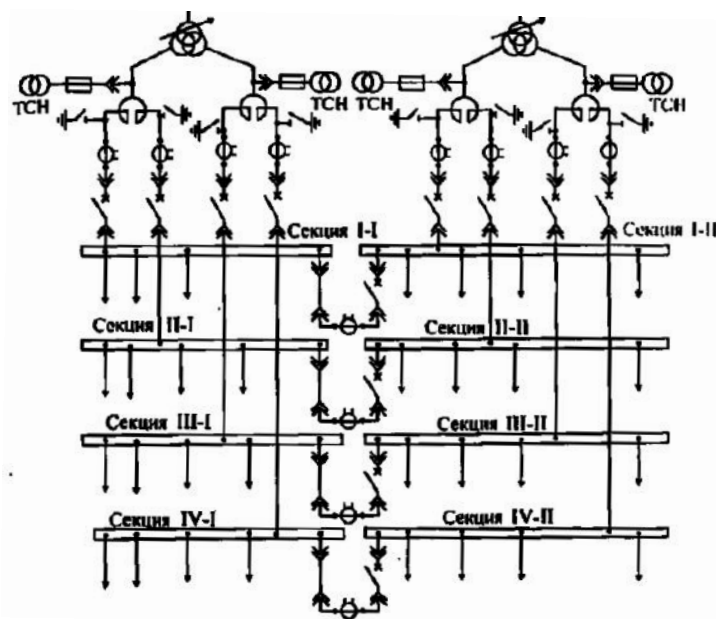


Рис.11 Схема с четырьмя одиночными секционированными системами шин

Схема с одной секционированной выключателем и обходной системами шин (рис.12) позволяет проводить ревизию и ремонт выключателей без отключения присоединения.

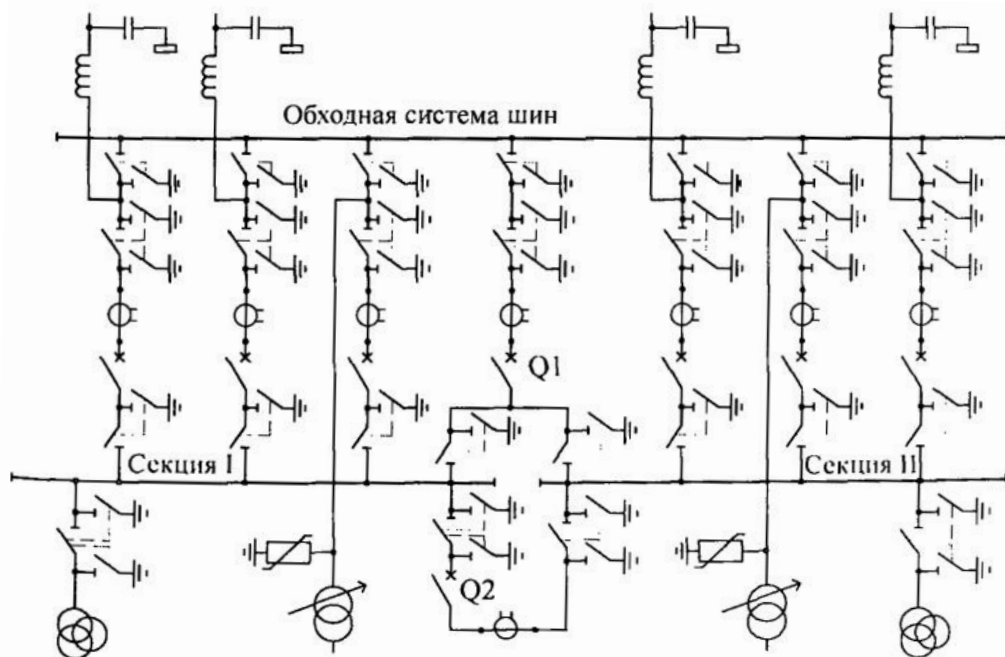


Рис. 12 Схема с одной секционированной и обходной системами шин с обходным (1) и секционным (2) выключателями.

В нормальном режиме обходная система шин находится без напряжения, разъединители, соединяющие линии и трансформаторы с обходной системой шин, отключены. В схеме могут быть установлены два обходных выключателя, осуществляющие связь каждой секции шин с обходной. В целях экономии средств ограничиваются одним обходным выключателем с двумя шинными разъединителями, с помощью которых обходной выключатель может быть присоединен к первой или второй секциям шин.

Именно эта схема предлагается в качестве типовой для распределительных устройств напряжением 110—220 кВ при пяти и более присоединениях.

В схеме с двумя системами сборных шин каждое присоединение содержит выключатель, два шинных разъединителя и линейный разъединитель. Системы шин связываются между собой через шиносоединительный выключатель (рис.13).

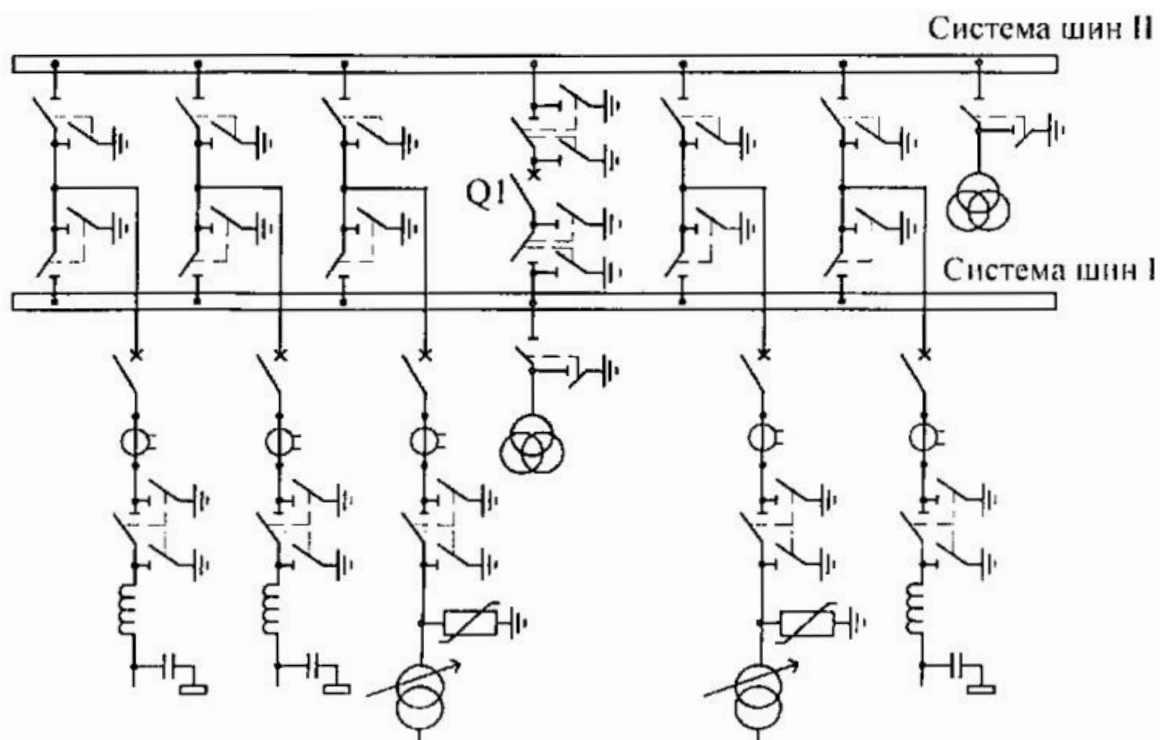


Рис. 13 Схема с двумя системами шин с шиносоединительным выключателем

Возможны два принципиально разных варианта работы этой схемы. В первом варианте одна система шин является рабочей, вторая — резервной. В нормальном режиме работы все присоединения подключены к рабочей системе шин через соответствующие шинные разъединители. Напряжение на резервной системе шин в нормальном режиме отсутствует, шиносоединительный выключатель отключен. Во втором варианте, который в настоящее время получил наибольшее применение, вторую систему сборных шин используют постоянно в качестве рабочей в целях повышения надежности электроустановки. При этом все присоединения к источникам питания и к отходящим линиям распределяют между обеими системами шин. Шиносоединительный выключатель в нормальном режиме работы замкнут. Схема называется «две рабочие системы шин».

Схема с двумя системами шин позволяет производить ремонт одной системы шин, сохраняя в рабочем состоянии все присоединения. Для этого все присоединения переводят на одну систему шин путем соответствующих переключений коммутационных аппаратов. Данная схема является гибкой и достаточно надежной.

Недостатки схемы с двумя системами шин:

- при ремонте одной из систем шин на это время снижается надежность схемы;
- при замыкании в шиносоединительном выключателе отключаются обе системы шин;
- ремонт выключателей и линейных разъединителей связан с отключением на время ремонта соответствующих присоединений;
- сложность схемы, большое число разъединителей и выключателей.

Частые переключения с помощью разъединителей увеличивают вероятность повреждений в зоне сборных шин. Большое число операций с разъединителями и сложная блокировка между выключателями и разъединителями приводят к возможности ошибочных действий обслуживающего персонала.

Схему «две рабочие системы шин» допускается применять в РУ 110—220 кВ при числе присоединений от 5 до 15, если РУ выполнено из герметизированных ячеек с элегазовой изоляцией, а также в РУ 110 кВ с выкатными выключателями при условии замены выключателя в удовлетворяющее эксплуатацию время.

В РУ 110—220 кВ при числе присоединений более 15 делят сборные шины на секции с установкой в точках деления секционных выключателей (*рис.14*).

При этом должно предусматриваться два шиносоединительных выключателя. Таким образом, распределительное устройство делится на четыре части, связанные между собой двумя секционными и двумя шиносоединительными выключателями.

Данная схема называется **«две рабочие, секционированные выключателями системы шин»**. Она используется при тех же условиях, что и схема «две рабочие системы шин».

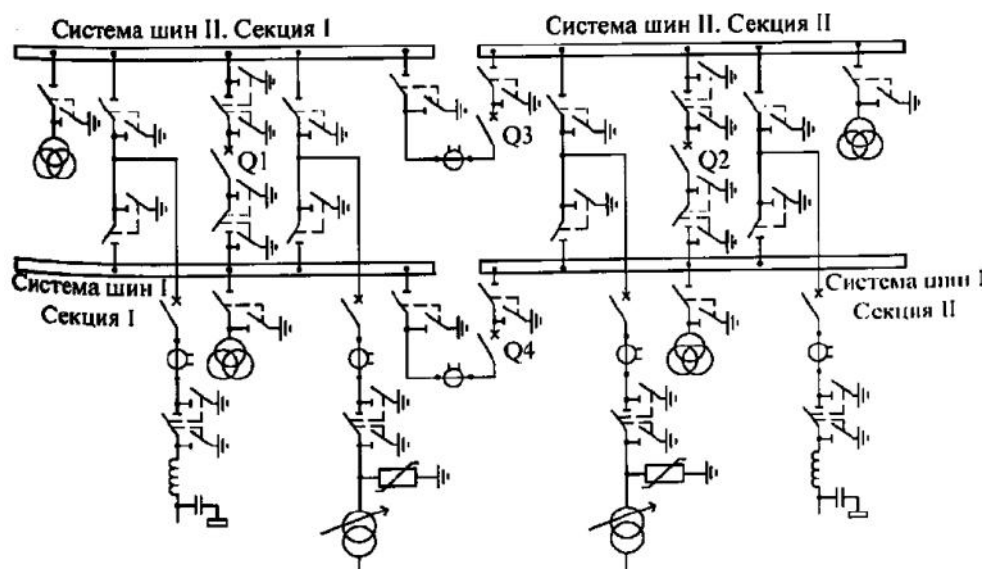


Рис. 14 Схема с двумя секционированными системами шин с двумя шиносоединительными (Q1, Q2) и двумя секционными (Q3, Q4) выключателями

Схема с двумя системами шин и обходной с шиносоединительным и обходным выключателями обеспечивает возможность поочередного ремонта выключателей без перерыва в работе соответствующих присоединений (рис.8). Схема рекомендуется к применению в РУ 110—220 кВ при числе присоединений от 5 до 15. В нормальном режиме работы обе системы шин являются рабочими, шиносоединительный выключатель находится во включенном положении.

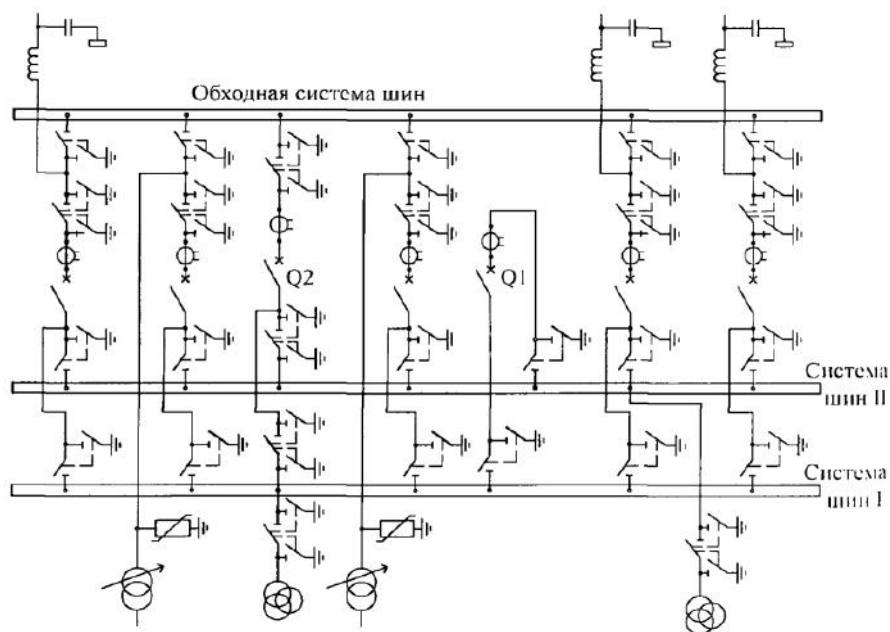


Рис. 15 Схема с двумя системами шин и обходной с шиносоединительным (Q1) и обходным (Q2) выключателями

При числе присоединений более 15 или более 12 и при установке на подстанции трех трансформаторов мощностью 125 МВА и более рекомендуется к применению схема *две рабочие, секционированные выключателями и обходная системы шин* с двумя шиносоединительными выключателями и двумя обходными выключателями.

Связь между секциями шин обеспечивается через секционные выключатели, отключенные в нормальном режиме (рис.16).

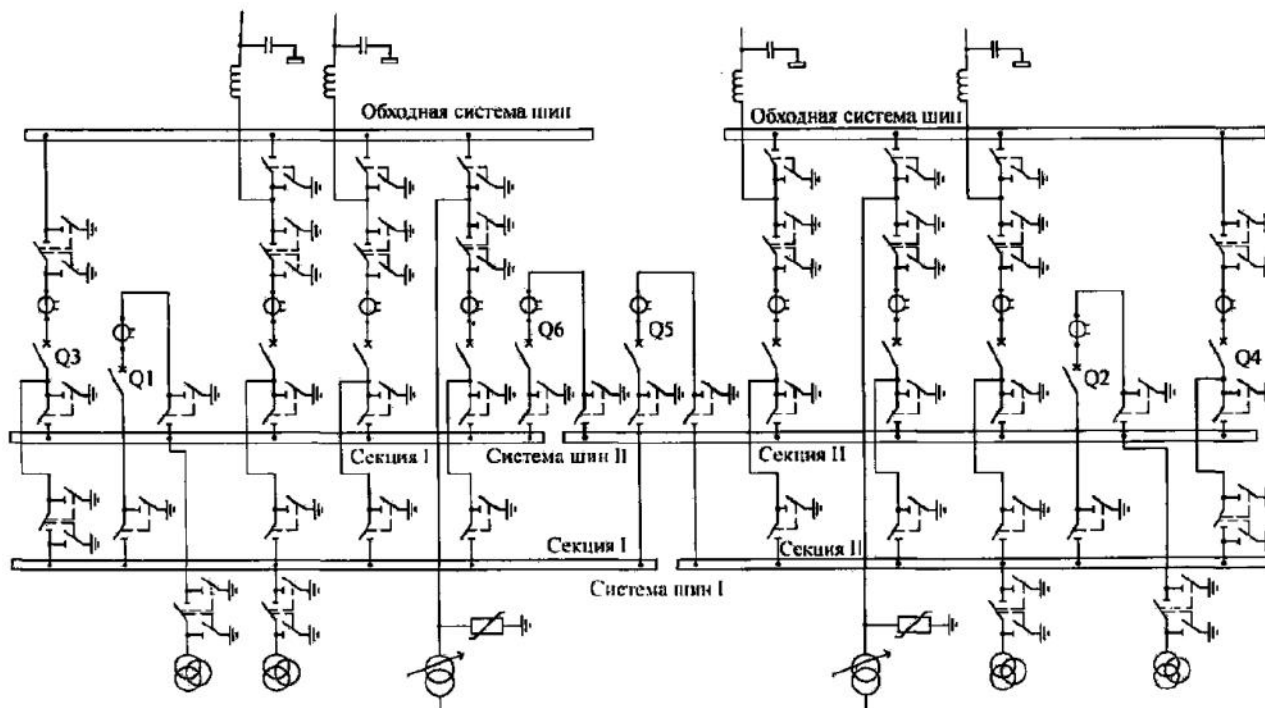


Рис. 16 Схема с двумя системами шин и обходной с двумя шиносоединительными (Q1, Q2) и двумя обходными (Q3, Q4) выключателями (Q5, Q6 — секционные выключатели)

Рекомендации по применению схемы в РУ 6—220 кВ приведены в таблице.

Таблица. Рекомендации по применению схем распределительных устройств напряжением до 220 кВ включительно

<i>Система сборных шин</i>	<i>Область применения</i>
Одиночная система шин	В РП, РУ 10(6) кВ при отсутствии присоединений с ЭП первой категории или при наличии резервирования их от других РП, РУ
Одна рабочая секционированная выключателем система шин	В РП, РУ 10(6) кВ В РП 35 кВ; в РУ ВН и СН 35 кВ. Допускается применять в РУ 110—220 кВ при 5 и более присоединениях, если РУ выполнено из герметизированных ячеек с элегазовой изоляцией, а также в РУ 110 кВ с выкатными выключателями.
Две одиночные секционированные выключателями системы шин	В РУ 10(6) кВ с двумя трансформаторами с расщепленной обмоткой или с двухобмоточными трансформаторами и двумя сдвоенными реакторами
Четыре одиночные секционированные системы шин	В РУ 10(6) кВ с двумя трансформаторами с расщепленной обмоткой и с двумя сдвоенными реакторами
Одна рабочая секционированная выключателем и обходная системы шин	В РУ 110—220 кВ при 5 и более присоединениях
Две рабочие системы шин	Допускается применять при числе присоединений от 5 до 15 в РУ 110—220 кВ из герметизированных ячеек с элегазовой изоляцией, а также в РУ 110 кВ с выкатными выключателями.
Две рабочие и обходная системы шин	1. В РУ 10 кВ для энергоемких предприятий с ЭП I категории. 2. В РУ 110—220 кВ при числе присоединений от 5 до 15.
Две рабочие, секционированные выключателями системы шин	Допускается применять при числе присоединений более 15 в РУ 110—220 кВ из герметизированных ячеек с элегазовой изоляцией, а также в РУ 110 кВ с выкатными выключателями.
Две рабочие, секционированные выключателем и обходная системы шин с двумя ШСВ и двумя ОВ	1. В РУ 110—220 кВ при числе присоединений более 15. 2. В РУ 220 кВ при трех, четырех трансформаторах мощностью 125 МВА и более при общем числе присоединений от 12 и более.

Структурные схемы трансформаторных подстанций

Подстанция с двухобмоточными трансформаторами состоит из трех основных узлов:

распределительного устройства высшего напряжения (РУВН);

силового трансформатора или автотрансформатора (одного или нескольких),

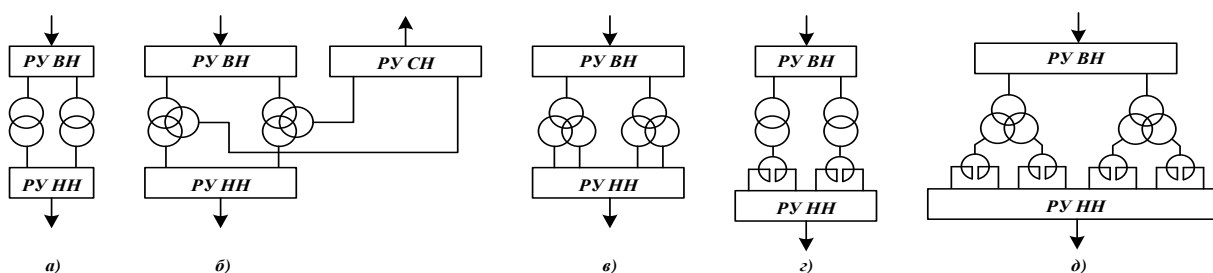
распределительного устройства низшего напряжения (РУНН) (рис. а, в),

вспомогательных устройств (компрессорных, аккумуляторных и т. п.),

устройств релейной защиты, автоматики, измерения.

В подстанциях с трехобмоточными трансформаторами добавляется четвертый узел — распределительное устройство среднего напряжения (РУСН) (рис. б). В схемах электроснабжения могут применяться трансформаторы с расщепленной обмоткой низшего напряжения (рис. в, д), что приводит к увеличению секций сборных шин в РУНН.

Применение трансформаторов с расщепленной обмоткой низшего напряжения позволяет уменьшить токи короткого замыкания за трансформаторами. С этой же целью на подстанциях могут устанавливаться сдвоенные реакторы (рис. г, д).



Распределительное устройство высокого напряжения подстанции чаще всего выполняет функции приема электрической энергии от линии электропередачи к трансформатору. В отдельных случаях РУВН может выполнять функции приема и распределения электроэнергии (по требованию энергоснабжающей организации или при целесообразности питания от главной понизительной подстанции нескольких подстанций глубокого ввода на напряжениях 110—330 кВ).

Распределительные устройства средних и низших напряжений всегда выполняют функции приема и распределения электроэнергии. Аналогичные функции выполняют и распределительные подстанции. Идентичность функций определяет идентичность схем и конструкций распределительных устройств и распределительных подстанций, поэтому в дальнейшем под термином «распределительное устройство» может подразумеваться и распределительная подстанция.

Распределительные устройства могут быть комплектными, сборными, открытыми и закрытыми. При стесненной городской и промышленной застройке в распределительных устройствах может быть применено электрооборудование с элегазовой изоляцией.

Распределительные устройства ВН трансформаторных подстанций, ориентированных только на прием ЭЭ выполняются по блочным и мостиковым схемам.

Схемы РУ напряжением 35 кВ и выше без сборных шин.

Применяют следующие виды схем РУ: блочные, мостиковые, заход-выход, четырехугольник.

Блочной схемой называется схема «**блок линия—трансформатор**» без сборных шин и связей с выключателями между двумя блоками на двухтрансформаторных подстанциях (между двумя блоками может устанавливаться неавтоматическая перемычка из разъединителей).

Блочные схемы применяются на стороне ВН тупиковых подстанций напряжением до 500 кВ включительно, ответвительных и проходных подстанций, присоединяемых к одной или к двум линиям до 220 кВ включительно.

Схемы «блок линия—трансформатор» могут выполняться:

- без коммутационных аппаратов (схема глухого присоединения) или только с разъединителем;
- с отделителем;
- с выключателем.

Схема «*блок линия—трансформатор*» без коммутационных аппаратов применяется при напряжениях 35—330 кВ и питании подстанции по радиальной схеме. Использование данной схемы целесообразно при размещении подстанции в зоне сильного промзагрязнения (рис. 11 а). Для питания трансформаторов следует использовать кабельные линии высокого напряжения, что позволяет исключить воздействие окружающей среды на изоляцию вводов даже при открытой установке трансформаторов.

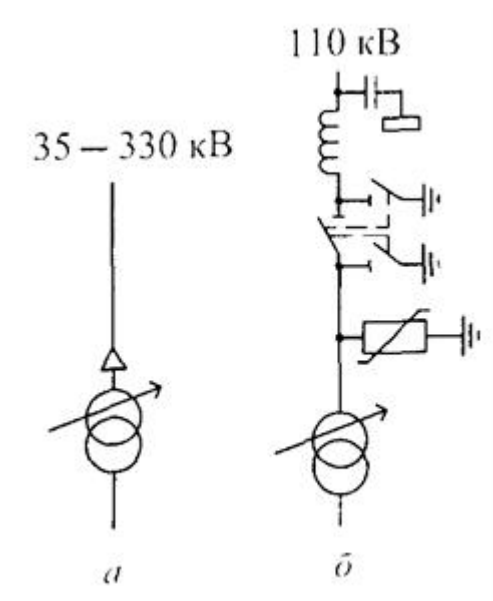


Рис.17Схема «блок линия—трансформатор»:

- а — без коммутационных аппаратов с кабельным вводом (схема глухого присоединения);
б — с разъединителем

Для защиты трансформатора напряжением 330 кВ любой мощности, а также трансформатора напряжением 110, 220 кВ мощностью более 25 МВА предусматривается передача отключающего сигнала на головной выключатель, который обеспечивает отключение питающей линии в случае повреждения трансформатора. Выбор способа передачи сигнала зависит от длины питающей линии, мощности трансформатора, требований по надежности отключения. При мощности трансформатора 25 МВА и менее, а также при кабельном вводе на трансформатор передача отключающего сигнала может не предусматриваться.

Схема **«блок линия—трансформатор с разъединителем»** применяется в тех же случаях, что и предыдущая (рис. 17 б).

На схемах, приведенных на рисунках для упрощения показан один блок, в случае двухтрансформаторных подстанций число таких блоков удваивается. Перемычка между блоками не предусматривается. Это рекомендуется использовать в условиях интенсивного загрязнения и при ограниченной площади застройки.

Схема **«блок линия—трансформатор с выключателем»** (рис. 18) применяется на подстанциях напряжением 35—220 и 500 кВ в тех случаях, когда нельзя использовать более простые и дешевые схемы первичной коммутации подстанций. На двухтрансформаторных подстанциях напряжением 35—220 кВ применяется схема **«блок линия—трансформатор»** с выключателем и неавтоматической перемычкой со стороны линии. Блочные схемы просты, экономичны, но при повреждениях в линии или в трансформаторе автоматически отключаются линия и трансформатор.

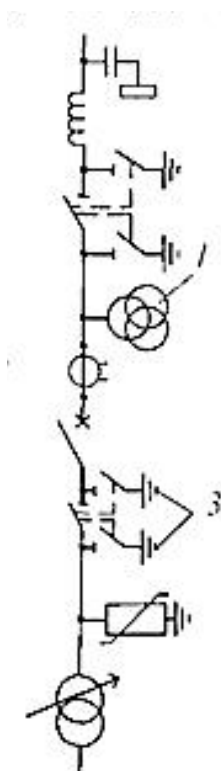


Рис.18 Схема «блок линия-трансформатор с выключателем»

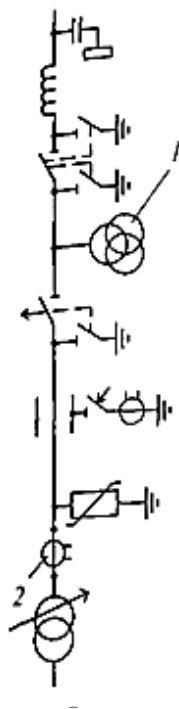


Рис. 19 Схема блок линия-трансформатор с отделителем.

Схему «*блок линия—трансформатор с отделителем*» допустимо применять на напряжении 110 кВ и трансформаторах мощностью до 25 МВА при необходимости автоматического отключения поврежденного трансформатора от линии, питающей несколько подстанций. Отделители на стороне ВН подстанций могут применяться как с короткозамыкателями, так и с передачей отключающего сигнала на выключатель головного участка магистрали.

На двухтрансформаторных подстанциях используется схема «*два блока линия—трансформатор*» с отделителем и неавтоматической перемычкой со стороны линий. В нормальном режиме работы один из разъединителей в перемычке должен быть разомкнут.

Запрещается применять схему с отделителем в случае:

- распределительных устройств, расположенных в районах холодного климата по ГОСТ 15150—69, а также в районах, где часто наблюдается гололед;
- сейсмичности более 6 баллов;
- использования подстанции на транспорте и в нефте- и газодобывающей промышленности;

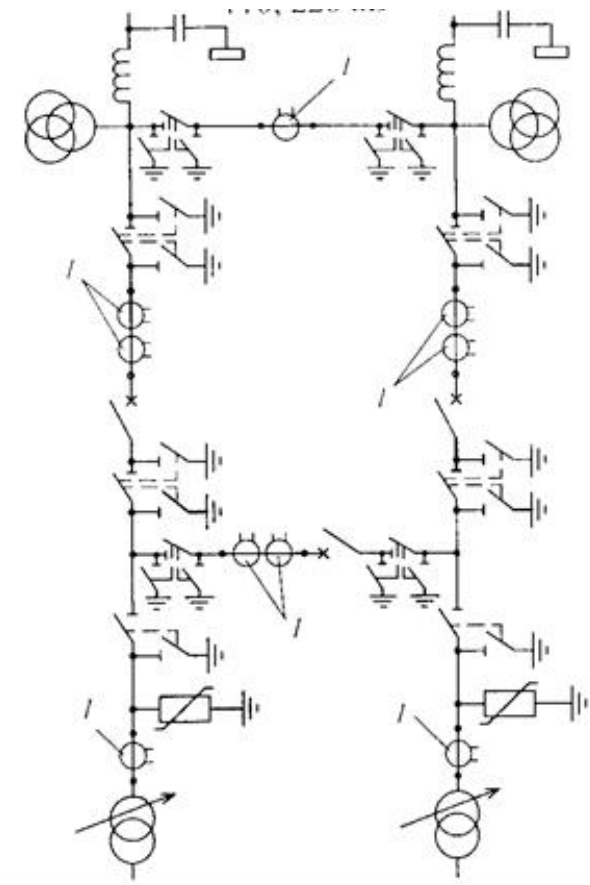


Рис.20 Схема «мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий»

Схема *«мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий»*(рис.20) может применяться на тупиковых, ответвительных и проходных подстанциях напряжением 35—220 кВ. На тупиковых и ответвительных подстанциях ремонтная перемычка и перемычка с выключателем нормально разомкнуты. При аварии на одной из линий автоматически отключается выключатель со стороны поврежденной линии и включается выключатель в перемычке, оба трансформатора остаются работающими. В случае аварии на одном из трансформаторов отключение выключателя приводит к отключению трансформатора и питающей линии. Отключение линии при повреждении трансформатора является недостатком данной схемы. На проходных подстанциях перемычка с выключателем нормально замкнута, через нее осуществляется транзит мощности.

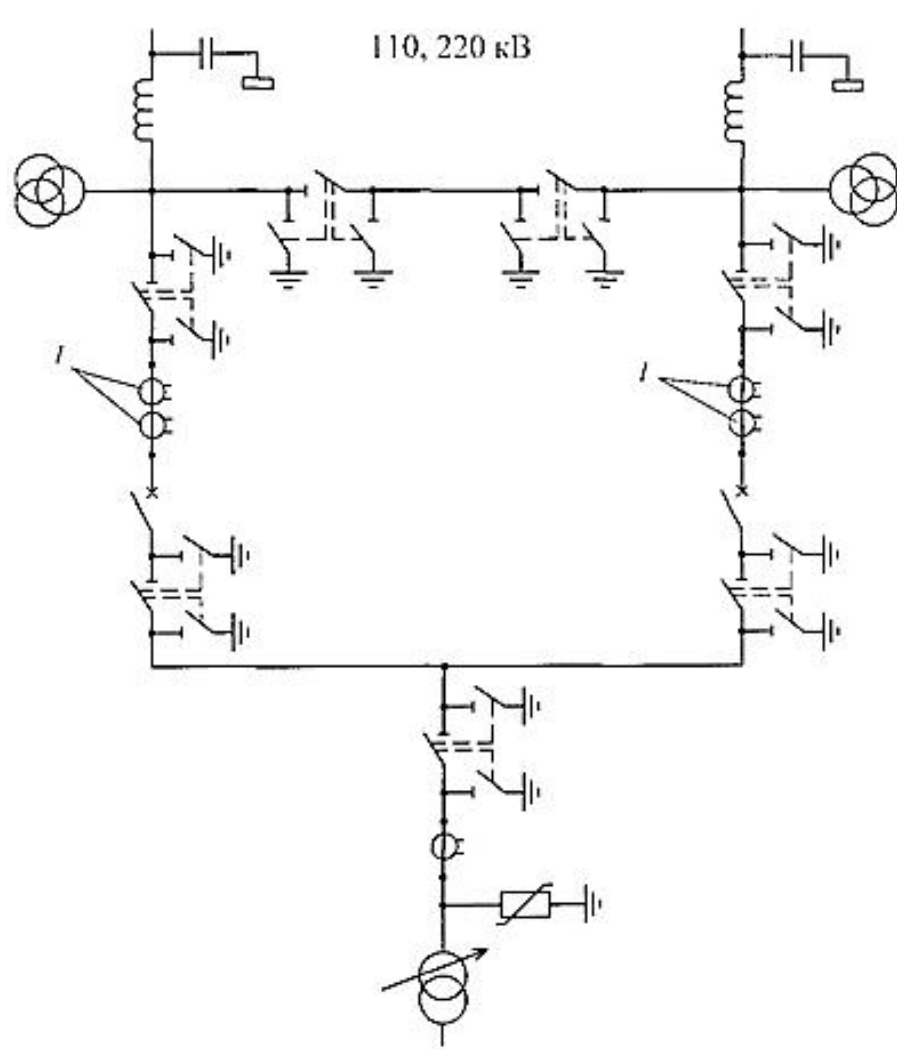


Рис.21.Схема «заход—выход»

Схема **«заход—выход»** применяется на проходных подстанциях напряжением 110—220 кВ(рис.21). В схеме устанавливается два выключателя со стороны линии, которые позволяют отключать поврежденный участок линии.

Данная схема может применяться как с ремонтной перемычкой, так и без нее.

Схема **«четыреугольник»** применяется в РУ 110—750 кВ при четырех присоединениях (две линии и два трансформатора) и необходимости секционирования транзитной линии при мощности трансформаторов от 125 МВА и более при напряжениях 110—220 кВ и любой мощности при напряжениях 330 кВ и выше (рис.22).

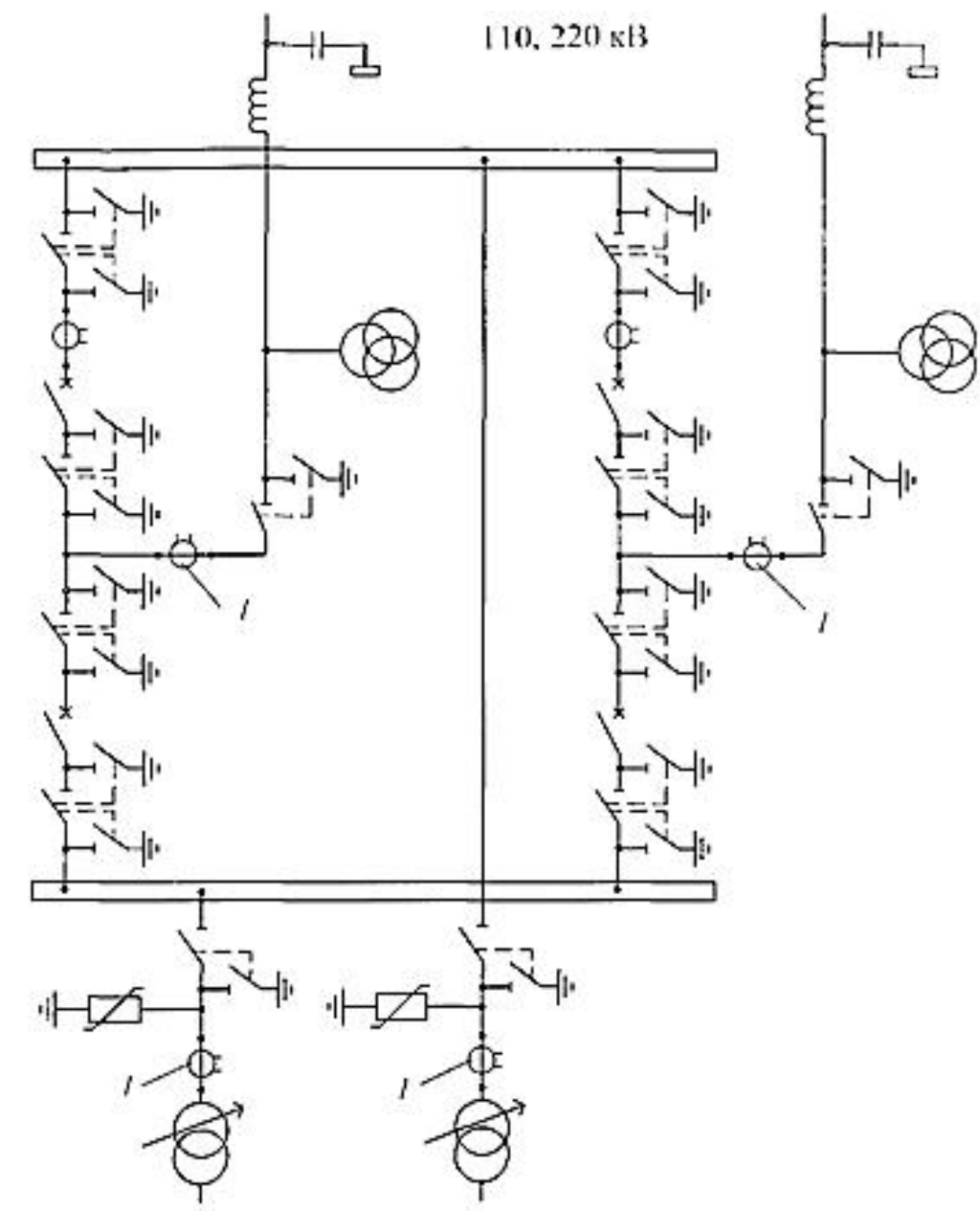


Рис.22 Схема четырехугольника

В схеме со стороны линии установлены через развилку два выключателя, подключаемых к разным трансформаторам. Данная схема обладает более высокой сложностью по сравнению со схемой «мостика», так как авария в линии или в трансформаторе приводит к отключению только повреждение элемента. Недостаток схемы - при отключении одной из линий трансформаторы получают питание по одной линии от одного источника питания.

Таблица. Рекомендации по применению схем распределительных устройств без сборных шин напряжением 35 кВ и выше трансформаторных подстанций

Схема	Область применения
Блочные схемы	
Блок линия - трансформатор без коммутационных аппаратов	При напряжениях 35—330 кВ и радиальной схеме питания подстанции в условиях сильного промышленного загрязнения окружающей среды
Блок линия - трансформатор с разъединителем	При напряжениях 35—330 кВ и радиальной схеме питания подстанции
Блок линия - трансформатор с отделителем	При напряжении 110 кВ и магистральной схеме питания подстанции (кроме проходных) с трансформаторами мощностью до 25 МВА
Два блока линия - трансформатор с отделителем и неавтоматизированной перемычкой	То же
Блок линия—трансформатор с выключателем	При напряжении 35—220, 500 кВ на тупиковых и ответвительных подстанциях
Два блока линия - трансформатор с выключателем и неавтоматизированной перемычкой со стороны линий	При напряжении 35—220 кВ на тупиковых и ответвительных подстанциях
Мостиковые схемы	
Мостик с выключателем в перемычке и отделителями в цепях трансформаторов	При магистральной схеме питания и напряжении 110 кВ на подстанциях с трансформаторами мощностью до 25 МВА
Мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий	При напряжениях 35—220 кВ на тупиковых, ответвительных и проходных подстанциях при необходимости секционирования линий и мощности трансформаторов до 63 МВА включительно
Мостик с выключателями в цепях трансформаторов и ремонтной перемычкой в цепях трансформаторов	При напряжении 35—220 кВ на тупиковых, ответвительных и проходных подстанциях при необходимости секционирования трансформаторов при мощности трансформаторов до 63 МВА включительно
Схемы «заход—выход» и четырехугольника	
Заход—выход	На проходных подстанциях при напряжении 110, 220 кВ
Четырехугольник	В РУ подстанций при четырех присоединениях и необходимости секционирования транзитных линий и мощности трансформаторов от 125 МВ-А при напряжении 110, 220 кВ и любой мощности при напряжении 330—750 кВ

9. Внутреннее электроснабжение

Выбор схем электрических сетей

промышленных предприятий на напряжение 6-10 кВ

Система электроснабжения промышленного предприятия состоит из питающих распределительных, трансформаторных и преобразовательных подстанций и связывающих их кабельных и воздушных сетей, а также токопроводов.

Электроснабжение объекта может осуществляться от собственной электростанции (ТЭЦ), от энергетической системы, а также от энергетической системы при наличии собственной электростанции.

Требования, предъявляемые к надежности электроснабжения от источников питания, определяются потребляемой мощностью объекта и его видом.

Как мы знаем, существует три категории надежности электроснабжения:

Схемы подключения источников питания.

Электроснабжение от собственной электростанции, расположенной вблизи объектов, при совпадении напряжений распределительной сети и генераторов электростанции осуществляется путем присоединения трансформаторов к шинам распределительных устройств (РУ) электростанции или непосредственно с помощью ЛЭП (рис.1)

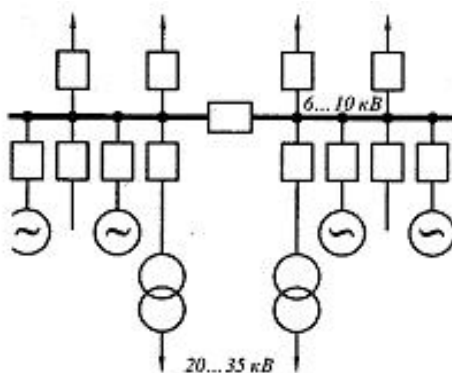


Рис. 23 Схема электроснабжения от собственной электростанции

Схема электроснабжения от энергетической системы при отсутствии собственной электростанции показана на рис. 24, 25.

В зависимости от напряжения источника питания электроснабжение осуществляется двумя способами: по схеме 24 при напряжении 6-20 кВ; по схеме 25 при напряжении 35-330 кВ.

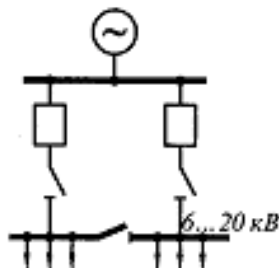


Рис. 24. Схема электроснабжения от энергетической системы при напряжении 6-20 кВ

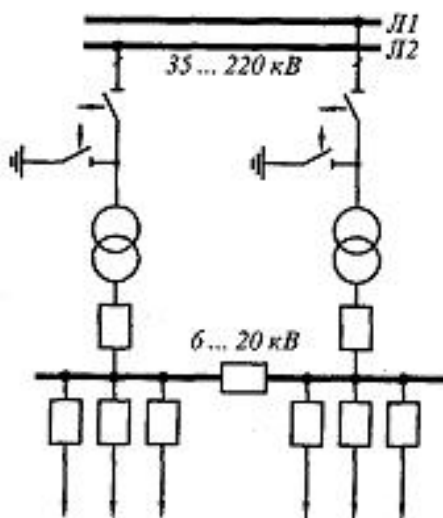


Рис. 25 Схема электроснабжения от энергетической системы при напряжении 35-110 кВ

Схемы 24 и 25 применимы, если предприятие находится на расстоянии 5-10 км от подстанции системы. *(До 10 км применяют обе схемы – если больше 10, то только вторая схема).*

Число и типы подстанций зависят от мощности, потребляемой объектом электроснабжения, и от характера размещения электропотребителей на территории объекта. При сравнительно компактном расположении

потребителей и отсутствии особых требований к надежности электроснабжения вся электроэнергия от источника питания может быть подведена к одной трансформаторной или распределительной подстанции. При разбросанности потребителей и повышенных требованиях к бесперебойности электроснабжения питание следует подводить не менее чем к двум подстанциям.

При близости источника питания к объекту и потребляемой им мощности в пределах пропускной способности линий напряжением 6 и 10 кВ электроэнергия подводится к РП. От РП электроэнергия подводится к ТП и к электроприемникам напряжением выше 1 кВ, в этом случае напряжения питающей и распределительной сети совпадают.

Если же объекта потребляет значительно большую мощность (например, более 40 МВА), а источник питания удален, то прием электроэнергии производится на узловых распределительных станциях (УРП) или ГПП.

УРП называется центральная подстанция объекта напряжением 35-220 кВ, получающая питание от энергосистемы и распределяющая ее по подстанциям глубоких вводов на территории объекта.

Выбор схемы распределения электроэнергии

Система электроснабжения может быть выполнена в нескольких вариантах, из которых уже будет выбираться оптимальный. При ее выборе учитываются степень надежности, обеспечение качества электроэнергии, удобство и безопасность эксплуатации, возможность применения прогрессивных методов электромонтажных работ..

Основные принципы построения схем объектов:

1. Максимальное приближение источников высокого напряжения 35-220 кВ к электроустановкам потребителей с ПГВ, размещаемыми рядом с энергоемкими производственными цехами;

2. Резервирование питания для отдельных категорий потребителей должно быть заложено в схеме и элементах системы электроснабжения. Для этого линии, трансформаторы и коммутационные устройства в нормальном

режиме должны нести постоянную нагрузку, а в послеаварийном режиме после отключения поврежденных участков принимать на себя питание оставшихся в работе потребителей с учетом допустимых для этих элементов перегрузок;

3. Секционирование шин всех звеньев системы распределения электроэнергии, а при преобладании потребителей первой и второй категорий установка на них устройств АВР.

Схемы строятся по уровневому принципу. Обычно применяются 2-3 уровня.

Первым уровнем распределения электроэнергии является сеть между источником питания объекта и ПГВ. Если распределение производится на напряжении 110-220 кВ, или между ГПП и РП при напряжении 6-10 кВ.

Вторым уровнем распределения является сеть между РП и ТП(или отдельными электроприемниками высокого напряжения).

На небольших объектах применяется только один уровень распределения энергии.

Трансформаторные ПС 10 (6) кВ

В промышленных электрических сетях трансформаторные подстанции 10(6) кВ называются цеховыми. Подстанции могут быть отдельно стоящими, пристроенными, встроенными и внутрицеховыми.

Отдельно стоящие подстанции располагаются на территории предприятия на некотором расстоянии от цеха и предназначены для питания одного или нескольких цехов предприятия. Такие подстанции обычно применяются в тех случаях, когда по условиям среды или специфики технологического процесса подстанцию нельзя приблизить к цеху. Например, на некоторых взрывоопасных производствах и химических предприятиях, а также в случаях, когда подстанция применяется для питания нескольких цехов небольшой мощности.

Пристроенные подстанции применяются в тех случаях, когда по состоянию окружающей среды или специфики технологического процесса подстанцию нельзя расположить внутри цеха.

Пристроенные и внутрицеховые подстанции можно максимально приблизить к центру электрических нагрузок. Для таких подстанций обычно применяют комплектные трансформаторные подстанции промышленного типа внутренней установки, которые устанавливаются в цехах открыто с использованием простейших сетчатых ограждений.

Цеховые трансформаторные подстанции предназначены для питания силовых и осветительных электроприемников. Число трансформаторов цеховой ТП зависит от требований надежности питания потребителей. Питание электроприемников первой категории следует предусматривать от двух- и трехтрансформаторных подстанций. Трехтрансформаторные подстанции рекомендуется применять в случаях, когда возможно равномерное распределение подключаемой нагрузки по секциям РУНН подстанции.

Двух- и трехтрансформаторные подстанции рекомендуется также применять для питания электроприемников второй категории. При сосредоточенной нагрузке предпочтение следует отдавать трехтрансформаторным подстанциям. Однотрансформаторные подстанции могут быть применены для питания электроприемников второй категории, если требуемая степень резервирования потребителей обеспечивается линиями низкого напряжения от другого трансформатора и время смены вышедшего из строя трансформатора не превышает сутки.

При сосредоточенной нагрузке электроприемников второй категории значительной мощности может оказаться целесообразным сооружение цеховой ТП, на которой устанавливается несколько полностью загруженных трансформаторов и один резервный трансформатор, способный заменить любой из трансформаторов группы с помощью трансферной (обходной) системы шин.

Питание отдельно стоящих объектов общезаводского назначения (компрессорных, насосных станций и т. п.) рекомендуется выполнять от двухтрансформаторных подстанций.

Для питания электроприемников третьей категории рекомендуется применять однитрансформаторные подстанции, если перерыв электро-снабжения, необходимый для замены поврежденного трансформатора, не превышает сутки. При значительной сосредоточенной нагрузке электроприемников третьей категории вместо двух однитрансформаторных подстанций может быть установлена одна двухтрансформаторная подстанция без устройства АВР с полной загрузкой трансформатора.

Мощность трансформаторов двух- и трехтрансформаторных подстанций определяется таким образом, чтобы при отключении одного трансформатора было обеспечено питание требующих резервирования электроприемников в послеаварийном режиме с учетом перегрузочной способности трансформатора.

Если нагрузка равномерно распределена по площади цеха, то выбор единичной мощности трансформатора при напряжении питающей сети 0,4 кВ определяется следующим образом:

- при плотности нагрузки до $0,2 \text{ (кВА)/м}^2$ — 1000, 1600 кВА;
- при плотности нагрузки $0,2 — 0,5 \text{ (кВА)/м}^2$ — 1600 кВА;
- при плотности нагрузки более $0,5 \text{ (кВА)/м}^2$ — 2500, 1600 кВА.

Для энергоемких производств, при значительном количестве цеховых ТП рекомендуется унифицировать *(чтобы мощности отдельных трансформаторов были одинаковы)* единичные мощности трансформаторов.

Схемы соединения обмоток трансформаторов. Трансформаторы цеховых ТП мощностью 400—2500 кВА выпускаются со схемами соединения обмоток «звезда—звезда» с допустимым током нулевого вывода, равным 25 % номинального тока трансформатора, или со схемой «треугольник—звезда» — 75 % номинального тока трансформатора. По условиям надежности действия защиты от однофазных коротких замыканий в сетях напряжением до 1 кВ и возможности подключения несимметричных нагрузок предпочтительным является трансформатор со схемой соединения обмоток «треугольник—звезда».

Выбор исполнения трансформатора по способу охлаждения обмоток (масляный, сухой, заполненный негорючим жидким диэлектриком) зависит от

условий окружающей среды, противопожарных требований, объемно-планировочных решений производственного здания.

Распределительное устройство со стороны высокого напряжения подстанции для КТП промышленного типа выполняется обычно в виде высоковольтного шкафа без сборных шин со встроенными в шкаф коммутационными аппаратами или без них (глухой ввод). Высоковольтный шкаф называется устройством со стороны высшего напряжения подстанции (УВН).

Присоединение цеховых трансформаторных подстанций к линиям напряжением 6... 10 кВ

На цеховых трансформаторных подстанциях напряжением 6...10/0,4 кВ применяются схемы без сборных шин.

При радиальном питании по схеме блока линия - трансформатор обычно применяется глухое присоединение трансформаторов на стороне высшего напряжения.

При питании по магистрали на вводе к трансформатору в большинстве случаев устанавливаются выключатели нагрузки или разъединители.

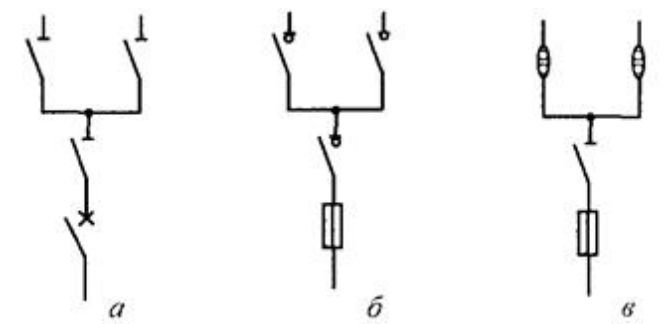


Рис. Схемы УВН цеховых подстанций при магистральной схеме питания ТП:

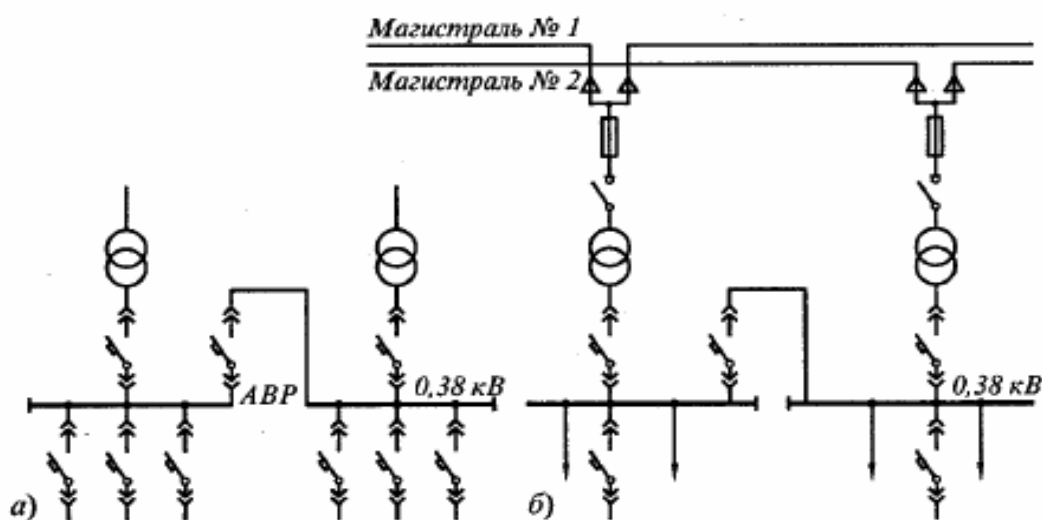
а — с разъединителями на вводе и выводе, разъединителем и выключателем в цепи трансформатора;

б — с выключателями нагрузки на вводе и выводе, выключателем нагрузки и предохранителями в цепи трансформатора;

в — с шинными накладками на вводе и выводе, разъединителем и предохранителями в цепи трансформатора.

Установка отключающего аппарата перед цеховым трансформатором при магистральной схеме питания обязательна. В качестве отключающих аппаратов могут применяться разъединители с предохранителями, выключатели нагрузки, выключатели нагрузки с предохранителями. В последнее время появились УВН с вакуумными выключателями.

Глухое присоединение цехового трансформатора может применяться при радиальной реме питания трансформатора кабельными линиями по схеме блока «линия—трансформатор», за исключением питания от пункта, находящегося в ведении другой эксплуатирующей организации, а также при необходимости установки отключающего аппарата по условиям защиты (см. рис. а). Если же необходимо обеспечить селективное отключение трансформатора при его повреждении или недопустимой перегрузке, то последовательно с выключателем нагрузки или разъединителем устанавливается предохранитель.



Схемы цеховой подстанции без сборных шин напряжением 6...10 кВ:
а — при радиальном питании; б — при магистральном питании

При магистральном питании ТП на вводе к трансформатору с номинальной мощностью $S_{\text{ном.т}}$ устанавливаются аппараты в следующем порядке по направлению тока:

предохранитель и выключатель нагрузки (при $S_{\text{ном.т}} > 630$ кВА);

разъединитель и предохранитель (при $S_{\text{ном.т}} < 400$ кВА).

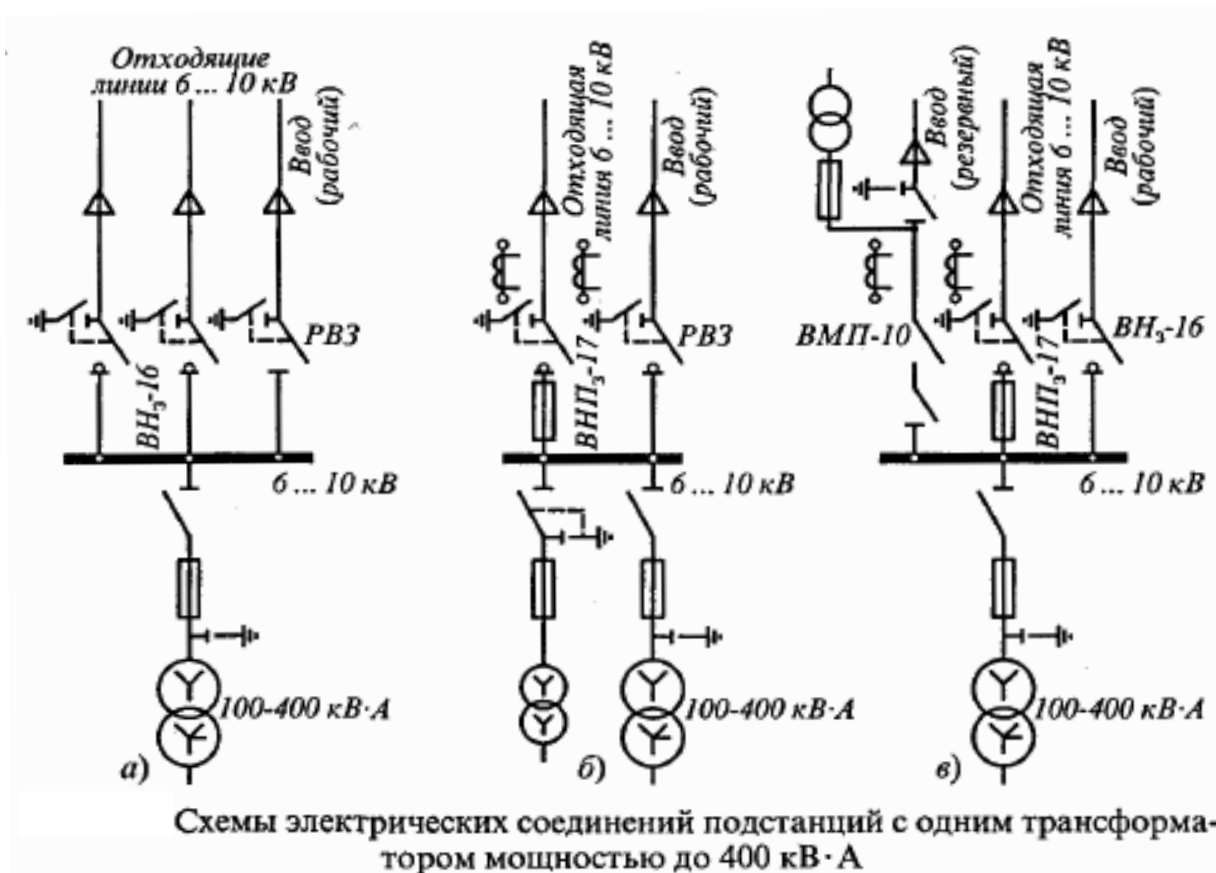
Присоединение трансформаторных подстанции к линиям напряжением
6... 10 кВ для питания городских потребителей

Схемы электрических соединений однитрансформаторных подстанций с трансформатором мощностью до 630 кВА являются наиболее простыми и содержат минимальное число несложных коммутирующих и защитных аппаратов.

На рис. приведены схемы электрических соединений трансформаторных подстанций с трансформаторами мощностью до 400 кВА с кабельным вводом. Выбор схемы подстанции определяется схемой построения распределительной сети напряжением 6...10 кВ. Подстанция, схема которой приведена на рисунке:

а - используется в петлевых схемах;

б, в,- при питании от одной радиальной линии, а отходящая радиальная линия питает отдельные потребители.



На *следующем рисунке* приведены схемы соединений двухтрансформаторных подстанций с трансформаторами мощностью до 630 кВА каждый с кабельными вводами. Подстанция имеет одинарную систему сборных шин, которые секционированы на дне секции с помощью разъединителей.

К каждой секции шин предусматривается присоединение одной-двух линий и по одному трансформатору. На каждой секции шин предусмотрены заземляющие разъединители.

В распределительном устройстве напряжением 6... 10 кВ устанавливаются выключатели нагрузки ВНЗ-16 и ВНПЗ-17 и масляный выключатель ВМП-10 только для резервного ввода.

В схеме а отсутствуют автоматика и измерение.

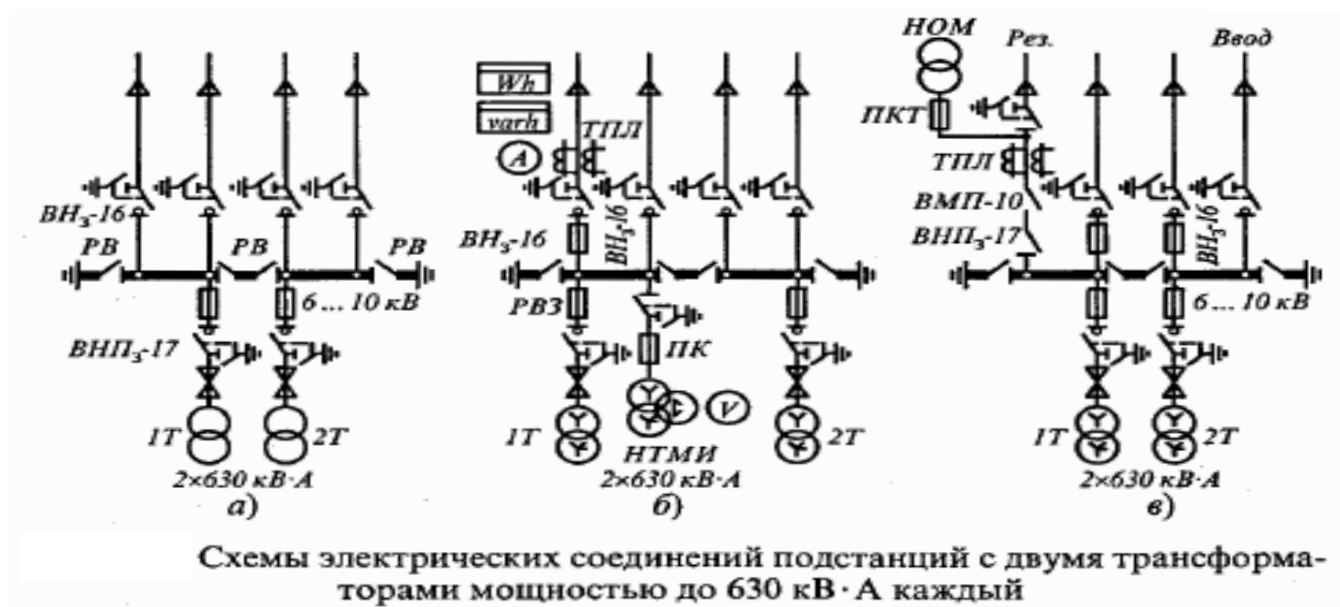
В схеме б, предусматривается коммерческий учет энергии с установкой измерительных трансформаторов (тока - ТПЛ и напряжения - НТМИ) и приборов учета: амперметра, счетчиков активной и реактивной энергии.

В схеме в, установлен АВР на резервном вводе с выключателем ВМП-10.

Распределительным устройством со стороны низшего напряжения подстанции называется устройство для распределения электроэнергии напряжением до 690 В, состоящее из одного или нескольких шкафов со встроенными в них аппаратами для коммутации, управления, измерения и защиты.

РУНН двухтрансформаторной подстанции выполняется с одиночной секционированной системой шин с фиксированным подключением каждого трансформатора к своей секции шин через коммутационный аппарат.

В промышленных электрических сетях применяются комплектные трансформаторные подстанции: для внутренней установки — КТП промышленного типа; для наружной установки — КТП промышленного типа в модульном здании, КТП модульного типа; КТП в бетонной оболочке: КТП городского типа и др.



В городских электрических сетях используют: отдельно стоящие подстанции; подстанции, совмещенные с РП 10(6) кВ; встроенные и пристроенные подстанции, которые могут быть установлены в общественных зданиях при условии соблюдения требований ПУЭ, санитарных норм.

Не допускается применение встроенных и пристроенных подстанций в спальнях корпусов общественно-образовательных школ, школах-интернатах, учреждениях по подготовке кадров, дошкольных детских учреждениях и др., где уровень звука ограничен санитарными нормами.

Применяются одно- и двухтрансформаторные подстанции с мощностью трансформатора не более 1000 кВА. На встроенных и пристроенных подстанциях при применении сухих трансформаторов число трансформаторов не ограничивается.

Выбор мощности силовых трансформаторов должен производиться с учетом нагрузочной и перегрузочной способности трансформаторов.

Для двухтрансформаторных подстанций с масляными трансформаторами допустимая аварийная перегрузка трансформатора должна приниматься в соответствии с требованиями ГОСТ 14209-97.

Рекомендуемые схемы соединения обмоток трансформаторов:

«звезда-зигзаг» для трансформаторов до 250 кВА;

«треугольник-звезда» при мощности 400 кВА и более.

В настоящее время чаще всего применяются подстанции закрытого типа в кирпичных или бетонных зданиях, с силовыми трансформаторами марки ТМ. РУВН выполняется со сборными шинами с камерами КСО-366М, РУНН — с панелями ЩО-70.

При радиальной схеме питания подстанций применяются более простые схемы на стороне ВН подстанции. В последнее время российские предприятия освоили выпуск комплектных трансформаторных подстанций разных типов, которые могут быть установлены в городских электрических сетях: КТП городского типа; КТП модульного типа; КТП в бетонной оболочке; КТП наружного типа и др.

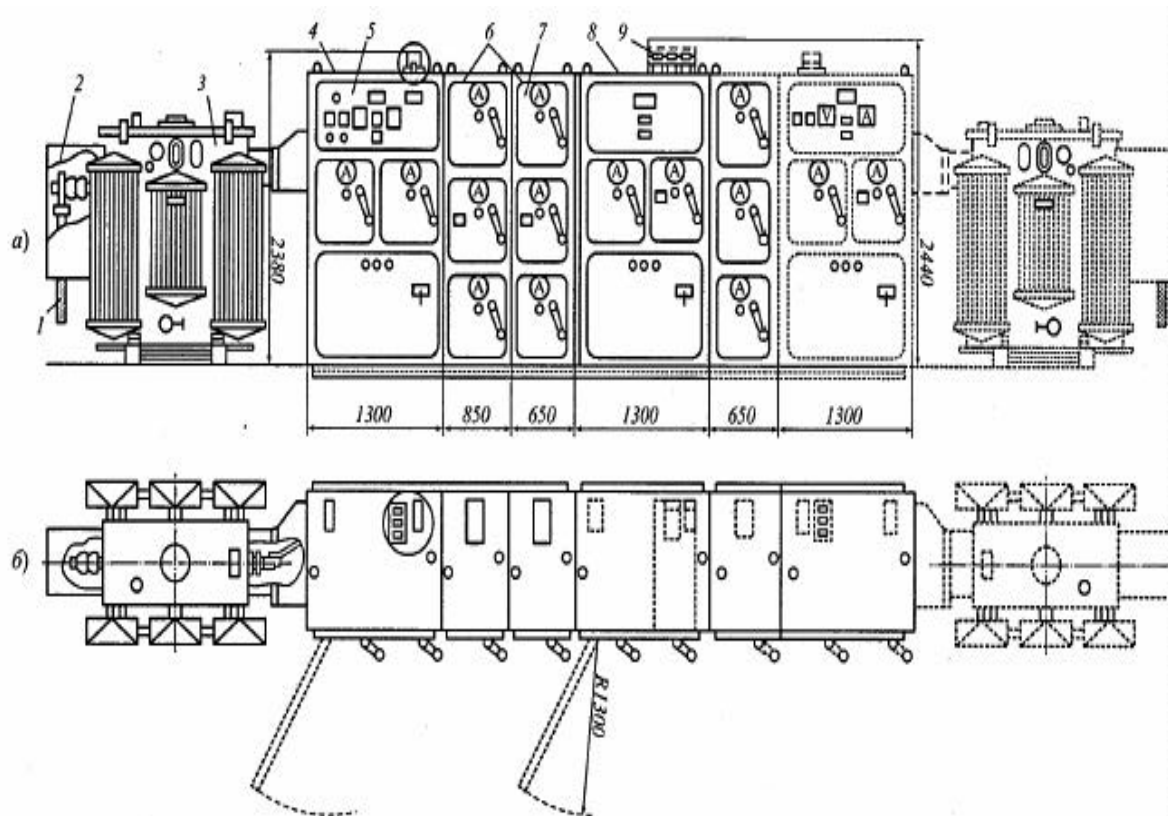
КРУ и КТП как правило, следует размещать в пределах мертвой зоны подъемно-транспортных механизмов. В цехах с повышенным интенсивным движением внутризаводского транспорта КРУ и КТП следует ограждать.

Ввод от трансформатора на щит может быть выполнен двумя способами: кабелями снизу на вводных панелях, предназначенных для кабельных вводов;

шинами сверху с помощью вводных панелей или непосредственно к сборным шинам через разъединитель, установленный в стене.

На *рисунке* представлена комплектная двухтрансформаторная подстанция мощностью 630...1000 кВА для внутренней установки с однорядным расположением оборудования.

Автоматические выключатели выдвижного исполнения служат защитно-коммутационной аппаратурой, каждый автомат закрыт дверью, управление производится рукоятками и ключами, расположенными на дверях шкафов, а для дистанционного управления концы проводов подведены к рейке с зажимами. Присоединение вводов высшего напряжения глухое.



Комплектная двухтрансформаторная подстанция мощностью 630 ... 1000 кВ·А для внутренней установки с однорядным расположением оборудования:

a – вид спереди; *б* – план; 1 – кабель ВН; 2 – шкаф ввода ВН; 3 – силовой трансформатор; 4 – шкаф ввода НН; 5 – отсек приборов; 6 – шкаф отходящих линий НН; 7 – секционный шкаф НН или шкаф отходящих линий; 8 – шинный короб; 9 – окно для вывода кабеля вверх

Схемы электрических сетей промышленных предприятий на напряжении 6-10 кВ

Как мы уже знаем, электрические сети могут выполняться по магистральным или радиальным схемам. А также еще могут выполняться по смешанным схемам.

Радиальные схемы могут быть одно или двухступенчатыми. Одноступенчатые – только на небольших объектах, и могут также применяться для питания крупных потребителей, но сосредоточенных в одном месте (компактно).

Двухступенчатые радиальные схемы с промежуточными РП выполняются для средних и крупных объектов, расположенных на большой территории. При наличии потребителей I и II категории РП и ТП питаются не менее чем по двум отдельно работающим линиям. Допускается питание ЭП II категории по одной линии, но она должна состоять не менее чем из двух кабелей.

При двухтрансформаторных подстанциях каждый трансформатор питается отдельной линией по блочной схеме линия-трансформатор. Пропускная способность блока в послеаварийном режиме рассчитывается исходя из категорийности ЭП.

При однострансформаторных подстанциях взаимное резервирование питания небольших групп приемников I категории осуществляется с помощью кабельных или шинных перемычек на вторичном напряжении между соседними подстанциями.

Вся коммутационная аппаратура устанавливается на РП или ГПП, а на питаемых от них ТП предусматривается преимущественно глухое присоединение трансформаторов. Иногда трансформаторы ТП присоединяются через выключатель нагрузки и разъединитель.

И как уже говорилось ранее, радиальная схема обладает большой гибкостью и удобством в эксплуатации при проведении ремонтов и замены оборудования. Пример такой схемы приведен на рисунке 26.

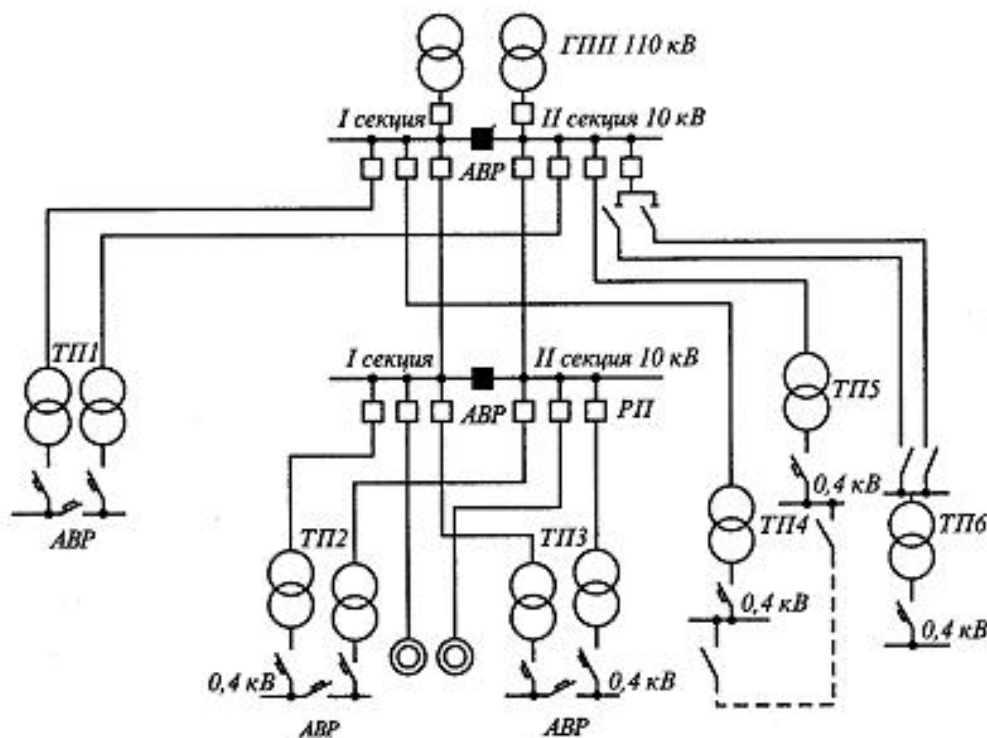


Рис. 26 Радиальная схема электроснабжения.

Магистральные схемы напряжением 6-10 кВ применяются при линейном (т.е. упорядоченном) размещении подстанции на территории предприятия, когда линии от центра питания до пунктов приема электроэнергии могут быть продолжены без значительных обратных направлений.

Магистральные схемы имеют следующие преимущества: лучшая загрузка кабелей при нормальном режиме, меньшее число камер на РП. Недостатки – это сложность схем коммутации при присоединении ТП и одновременное отключение нескольких потребителей, питающихся от магистрали, при ее повреждении.

Число трансформаторов, присоединяемых к одной магистрали обычно не превышает трех при мощности тр-ров 1000-2500 кВА и пяти тр-ров при мощности 250-630 кВА.

Магистральные схемы выполняются одиночными и двойными, с односторонним питанием и двусторонним.

Одиночные магистрали без резервирования применяются в тех случаях, когда отключение одного потребителя вызывает необходимость по условиям технологии производства отключение остальных потребителей (например, непрерывные технологические линии, поточное производство).

При кабельных магистралях их трасса должна быть доступна для ремонта в любое время года, что возможно при прокладке в туннелях, кабельных каналах и т.д.

Надежность схемы с одиночными магистралями можно повысить, если питаемые или однотрансформаторные подстанции расположить таким образом, чтобы была возможность осуществить частичное резервирование по связям низкого напряжения между ближайшими подстанциями. См. рисунок.

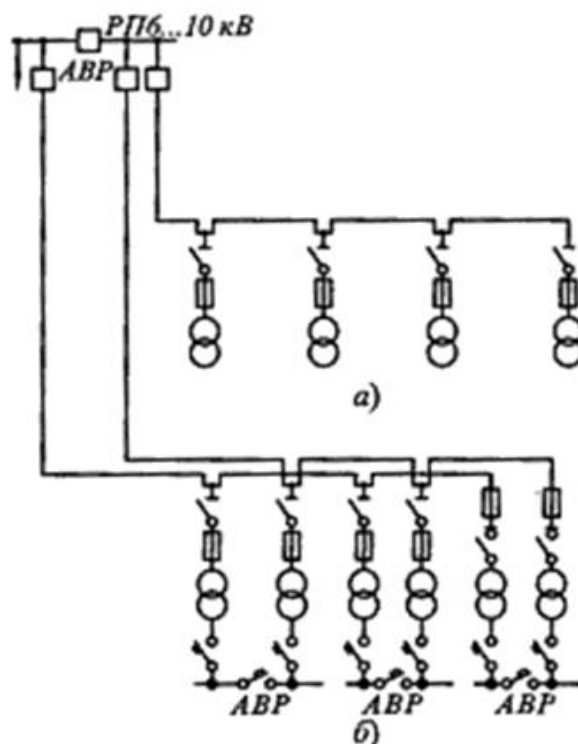


Рис. 27 Магистральные схемы с односторонним питанием

а) одиночные,

б) двойные с резервированием на низком напряжении.

Схемы с двойными магистралями применяют для питания ответственных и технологически слабо связанных между собой потребителей одного объекта.

На крупных предприятиях применяются два или три магистральных токопровода, прокладываемых по разным трассам через зоны размещения основных электрических нагрузок.

Одиночные и двойные магистрали с двухсторонним питанием (встречные магистрали) применяются при питании двух независимых источников, требуемых по условиям обеспечения надежности электроснабжения для потребителей I и II категории. Смотрим рисунок 28.

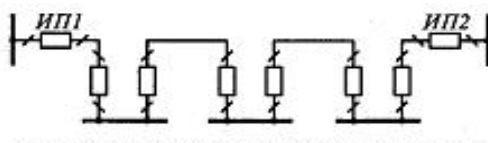


Рис. 28. Магистраль с двухсторонним питанием.

Смешанные схемы питания, сочетающие в себе принципы магистральных и радиальных систем распределения электроэнергии, имеют наибольшее распространение на крупных промышленных объектах. Например, на первом уровне обычно применяют радиальные схемы. Дальнейшее распределение энергии от РП к цеховым ТП и двигателям высокого напряжения проводится по магистральным.

Степени резервирования таких схем определяются категоричностью потребителей.

Схемы электроснабжения промышленных предприятий, питаемых от энергосистемы, подразделяются на схемы внешнего и на схемы внутреннего электроснабжения.

Схемы внешнего электроснабжения

Для сравнительно небольших промышленных предприятий, расположенных в черте города, нагрузки которых допускается питать напряжением 6–10 кВ, применяют схемы внешнего электроснабжения, аналогичные схемам питающей сети.

На промышленных предприятиях с большими мощностями применимы глубокие вводы напряжением 35–110 кВ, представляющие собой кабельные или, если позволяет местность, воздушные линии, которые заканчиваются у места потребления трансформаторами, присоединяемыми к распределительным устройствам напряжением 6–10 кВ, а в некоторых случаях непосредственно к цеховым распределительным устройствам.

Если промышленные предприятия расположены на значительном расстоянии от населенных пунктов и вдали от сетей энергосистемы, внешнюю схему электроснабжения осуществляют либо с помощью линий электропередачи напряжением 35 кВ, присоединенных к распределительным сетям этого напряжения, либо с помощью линий электропередачи напряжением 110 кВ и выше, присоединенных к районным сетям.

В этих случаях на промышленном предприятии сооружают понизительную подстанцию, трансформирующую электрическую энергию на напряжение распределительной сети предприятия.

Схемы внутреннего электроснабжения

Схемы распределительных сетей напряжением 6–10 кВ для внутреннего электроснабжения промышленных предприятий проектируют, так же, как схемы городских сетей. Для крупных объектов, которые занимают обширные площади и обладают большими нагрузками или имеют на своей территории электростанцию или главную понизительную подстанцию, проектируют питающую сеть с РП и далее распределительную сеть, питающую цеховые подстанции.

Распределительную сеть промышленных предприятий с цеховыми подстанциями, допускающими перерывы в электроснабжении (II и III категории нагрузок), можно выполнять по радиальной или по радиально-петлевой схеме (см. рис. 29)

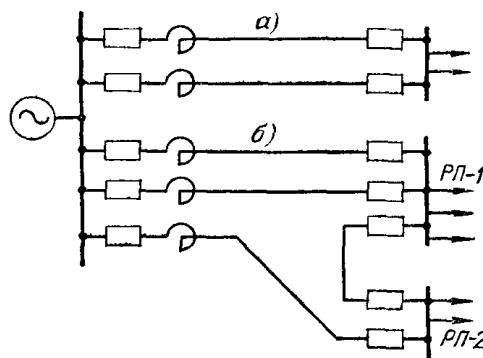


Рис. 29 Схемы питающих сетей: а) радиальная; б) петлевая.

Число РП, присоединенных к питающей сети, может быть и больше двух, причем питание их может осуществляться от разных источников.

В связи с этим появляется возможность построения схем по принципу глубокого секционирования, с применением секционных выключателей как на районной подстанции, так и на РП с АВР (автоматическим вводом резерва). Такая схема изображена на рис. 30.

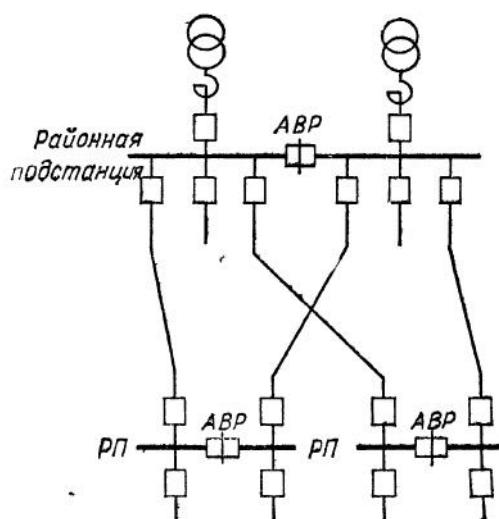


Рис. 30 Схема сети с глубоким секционированием.

Надо, однако, учитывать, что эти схемы не лишены недостатка: в случае повреждения линии выходит из строя сразу целая группа цехов, что может привести к значительному расстройству работы предприятия. Это заставляет отдавать предпочтение радиальной схеме с выключателями, изображенной на рис. 31.

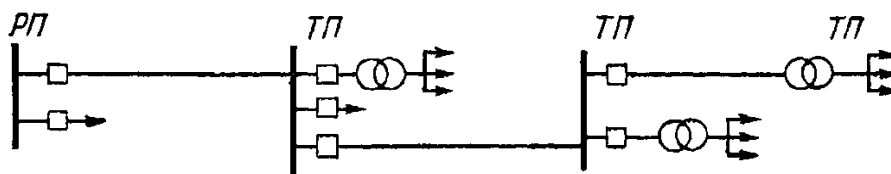


Рис. 31 Схема радиальной сети с выключателями (для промышленного предприятия).

Для предприятий с нагрузками *I* и *II* категорий применимы схемы с индивидуальным питанием цеховых подстанций от РП, как это изображено на рис. 10. В этом случае повреждение линии какой-либо цеховой подстанции не сказывается на работе остальных подстанций. Надежность схемы можно повысить, поставив резервирующую перемычку, изображенную на схеме штриховой линией. Но это делает недостаток схемы – повышенный расход кабелей – еще ощутимее.

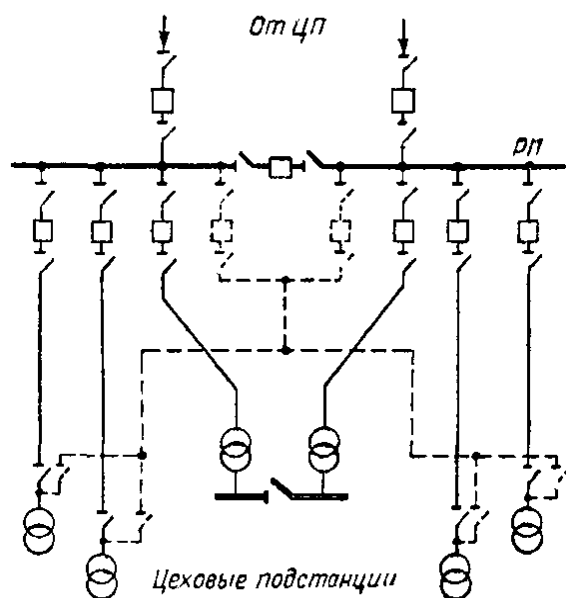


Рис. 32 Схема сети промышленного предприятия с индивидуальным питанием цеховых подстанций.

Более совершенна и, главное, более экономична по затратам кабеля схема со сквозными двойными магистралями, присоединенными к разным источникам питания или к разным секциям РП (рис. 33). В этом случае цеховые подстанции выполняются без сборных шин с двумя трансформаторами каждая, присоединенными к разным магистралям, что создает надежное резервирование.

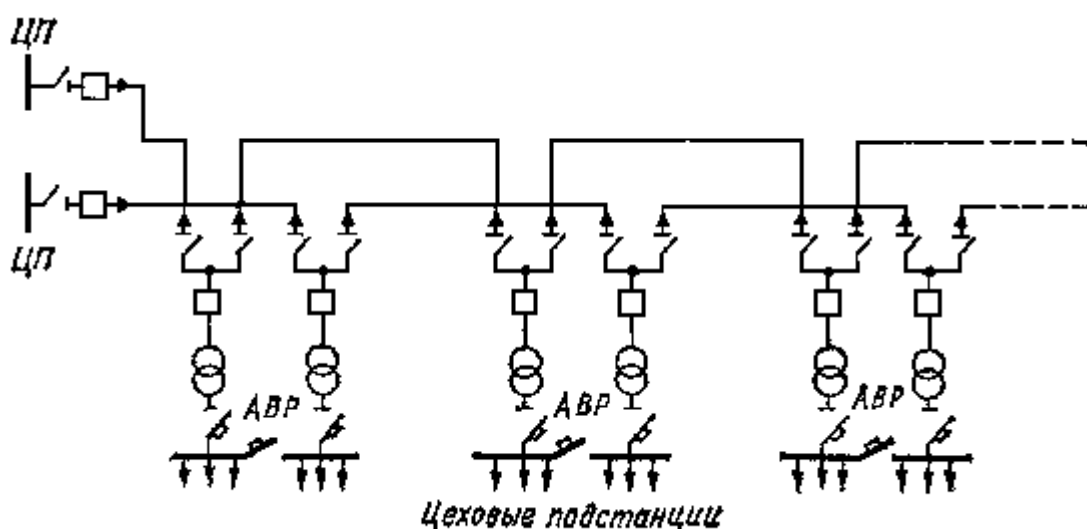


Рис.33Схема подстанций со сквозными магистралями.

В некоторых случаях подстанции глубокого ввода не удастся разместить вблизи цехов. Тогда в целях экономии кабеля в распределительной сети, а также для упрощения и удешевления схем распределительных устройств РП на предприятиях с большими сосредоточенными нагрузками применяют в сетях напряжением 6–10 кВ шинопроводы, монтируемые по эстакадам и являющиеся как бы продолжением шин РП.

Наш обзор далеко не исчерпывает всех возможных вариантов схем внутреннего электроснабжения промышленных предприятий.

Эти схемы надо разрабатывать для каждого предприятия отдельно, учитывая особенности его технологического процесса, ответственность отдельных приемников и цехов, взаимное их расположение, а также характер источников питания и их расстановку.

Как следует из рассмотренного, *городская распределительная сеть* представляет собой совокупность распределительных сетей 0,4 и 6-10 кВ и трансформаторных подстанций. Системы электроснабжения крупных промышленных потребителей и, в некоторых случаях, жилых районов имеют дополнительный элемент - питающую сеть 6-10 кВ и распределительный пункт (РП2).

Распределительные сети.

На рис. 34 показана сеть 0,38 кВ с распределительными линиями одностороннего питания в сочетании с петлевыми линиями 6-10 кВ, которые в нормальном режиме разомкнуты вблизи точки потокораздела. Сечение петлевых линий выбирается по условию двухстороннего питания ТП в послеаварийном режиме при повреждении головного участка линии. При выполнении сети 6-10 кВ воздушными линиями допустимо использовать эти линии с односторонним питанием ТП.

Рассматриваемая схема применяется для электроснабжения потребителей **III** категории надежности.

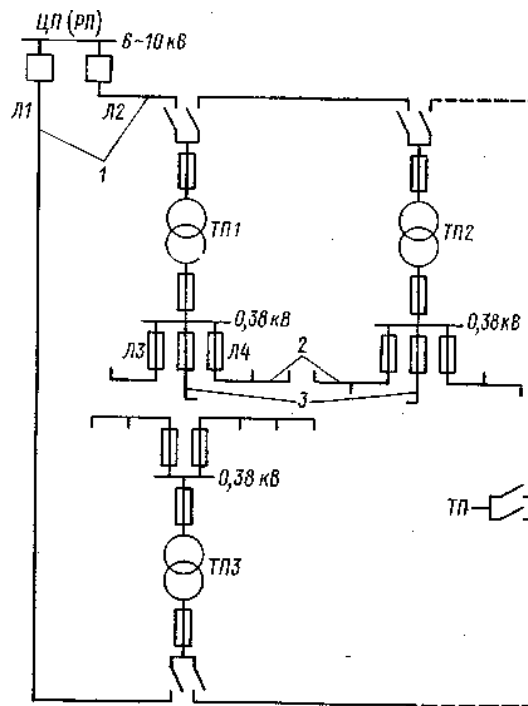


Рис. 34 Распределительная сеть с линиями 0,38 кВ одностороннего питания в сочетании с петлевыми линиями 6-10 кВ

- 1- распределительные линии 6-10 кВ;
- 2- распределительные линии 0,38 кВ;
- 3- Вводы 0,38 кВ

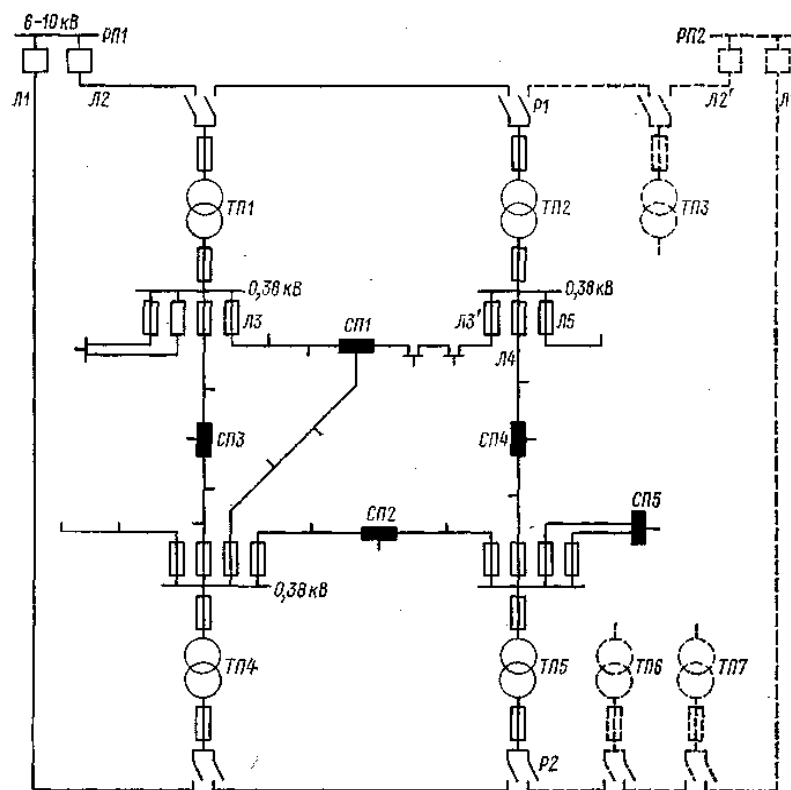


Рис. 35 Схема петлевой (полузамкнутой) распределительной сети

Петлевая сеть (рис.35) включает в себя петлевые и радиальные линии 0,38 кВ в сочетании с петлевыми линиями 6-10 кВ. Петлевые линии работают с их разделом (Р1, Р2). Сечения линии определяются возможностью двухстороннего питания вводов, связанных с линиями 0,38 кВ (СП1, СП2, СП3, СП4, СП5). Петлевая сеть используется для питания потребителей **IIII** категорий.

Мощность трансформаторов в ТП предусматривается с резервом на случай питания потребителей, присоединенных к петлевым линиям 0,38 кВ. При этом резервирование трансформаторов для питания **III** категории не предусматривается. Ввод резервных элементов такой сети осуществляется дежурным персоналом.

При питании петлевой сети от одного источника питания рекомендуется переходить на замкнутый режим работы сети 0,38 кВ. С этой целью в точках раздела (СП1, СП2, СП3, СП4, СП5) устанавливаются предохранители с номинальным током на одну-две ступени меньше, чем предохранители, установленные в ТП для защиты петлевых линий 0,38 кВ. Характеристики трансформаторов подбираются по условию их параллельной работы через замкнутую сеть 0,38 кВ.

Такая схема создает требуемую надежность электроснабжения для основных городских потребителей и имеет хорошие технико-экономические показатели, удобна в эксплуатации. Такая схема является основной для большинства городов РФ.

При наличии в петлевой сети дополнительных связей между линиями 6-10 кВ возможна выборочная автоматизация питания потребителей. Пример показан на рис. 3, где автоматизация ТП 3 производится путем установки устройства АВР при напряжении 6-10 кВ. Резервной связью, на которой предусмотрено АВР с использованием нагрузки ВН является линия ТП 7 – ТП 3. Данная схема используется для питания потребителей **II** категории.

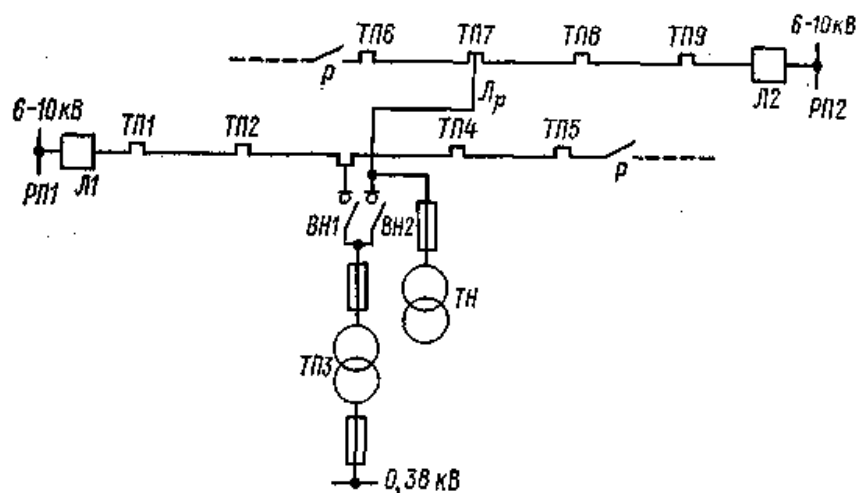


Рис. 36 Схема автоматизации питания ТП 3 с устройством АВР при напряжении 6-10 кВ

При питании от ТП 3 электроприемников *I* категории автоматизация электроснабжения осуществляется путем установки в ТП 3 двух трансформаторов и устройства АВР при напряжении 0,38 кВ с использованием контакторных станций (рис. 4). Также возможна установка АВР непосредственно на вводах потребителей 2. Линии Л 1 и Л 2 должны быть связаны с независимыми источниками питания.

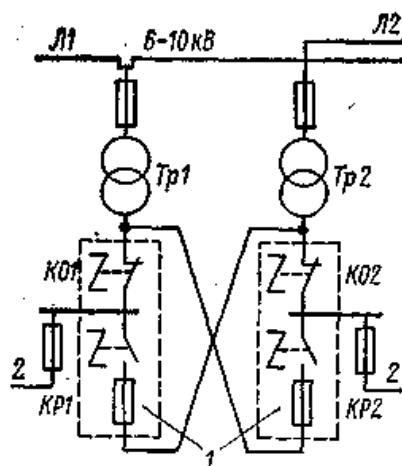


Рис. 37 Схема ТП 3 с установкой АВР со стороны 0,38 кВ

1 – контакторные станции;

2 – вводы к потребителям.

(КО – контактор основной, КР – контактор резервный).

Многолучевая схема с АВР при напряжении 6-10 кВ (рис.38) предусматривает сочетание взаиморезервирующих линий 6-10 кВ с линиями 0,38 кВ одно и двухстороннего . ТП питает свой участок сети 0,8 кВ. Между ТП предусматривается так называемая ремонтная связь 0,38 кВ с разделом в СП. Она имеет пропускную способность, равную 15-20% суммарной нагрузки ТП в случае отключения любого из ТП при необходимости. Параллельная работа трансформаторов через сеть 0,38 кВ не допускается. Схема используется для питания потребителей **II** категории.

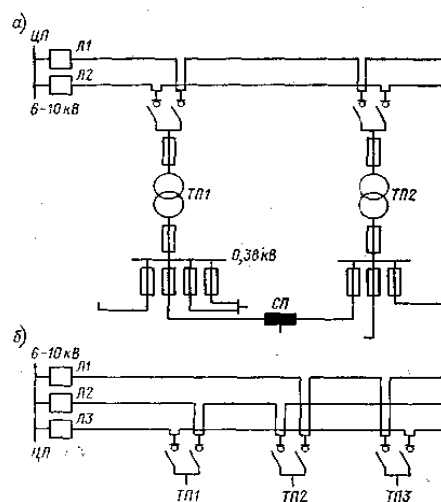


Рис. 38 Схема сети с АВР при напряжении 6-10 кВ

а) двухлучевая, б) многолучевая.

Обычно используется многолучевой вариант схемы, т.к. увеличивается пропускная способность линии 6-10 кВ.

К полностью автоматизированным схемам относятся замкнутые сети низкого напряжения, представляющие собой сочетание радиальных линий 6-10 кВ с замкнутой сетью 0,38 кВ. Резервирование всех элементов проходит через замкнутую сеть.

В городах встречаются потребители относительно крупной мощности, для питания которых предусматриваются самостоятельные ТП с установкой одного или двух трансформаторов. Резервирование таких потребителей через замкнутую сеть 0,38 кВ нецелесообразно. В таких случаях можно сочетать

замкнутую сеть 0,38 кВ с устройствами АВР при напряжении 6-10 кВ в ТП со сосредоточенными нагрузками. Рис. 39.

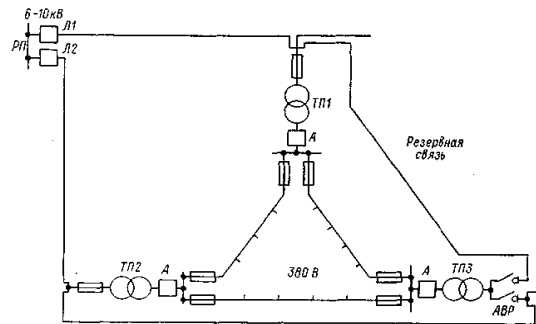


Рис. 39 Схема замкнутой сети 0,38 кВ с АВР при напряжении 6-10 кВ

Т.е. устройство АВР, установленное в ТП 3, базируется на применении выключателя и работает по признаку появления в ТП 3 обратного потока мощности, протекающей через автомат А, установленный в ТП 3. Данная схема применима для питания потребителей **II** категории.

В петлевых сетях возможно применение схемы с устройством автоматического избирательного резервирования (АИР). См. рис. 40.

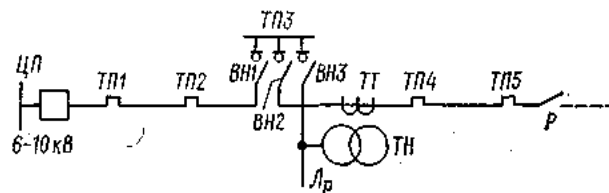


Рис. 40 Схема сети с устройством АИР.

Порядок работы таков. При повреждении линии на участке от ЦП до ТП 3 линия отключается. В ТП 3 отключается ВН 1 и включается ВН 3, в результате этого питание ТП 3 осуществляется через резервную линию L_p .

При повреждении линии за ТП 3 от P и при ее отключении в ТП 3 отключается ВН 2 и включается ВН 3, питание переключается на резерв.

Использование АИР расширяет возможности автоматического устройства и увеличивает зону бесперебойного электроснабжения потребителей.

Схемы загородных сетей сельскохозяйственного назначения.

Системам электроснабжения сельскохозяйственных потребителей присущи свои особенности: подвод электроэнергии к большому количеству сравнительно маломощных рассредоточенных объектов; малая плотность электрических нагрузок и значительная протяженность электрических сетей; большие потери напряжения в сетях; значительные колебания напряжений; несимметрия напряжений из-за большой доли однофазных нагрузок; наличие сезонных потребителей; существенное изменение нагрузок в течение суток, года; постоянное развитие электрических сетей для повышения пропускной способности, качества, надежности и необходимости замены изношенных элементов.

Все это учитывается при проектировании электроснабжения.

Основные принципы построения схем электроснабжения.

Сельскохозяйственные потребители имеют в основном централизованное электроснабжение, осуществляемое с шин электрических станций и трансформаторных подстанций энергосистем или тяговых ПС электрифицированных железных дорог. Местное электроснабжение (от автономных электростанций) характерно для малонаселенных и труднодоступных районов.

Основой системы сельского электроснабжения являются сети напряжением 0,4-110 кВ. Они делятся на

- питающие: 35-110 кВ;
- распределительные: 6-10-20 и 0,4 кВ.

Основной системой распределения электроэнергии является трехступенчатая 110/35/0,4 кВ с двухступенчатыми подсистемами 110/10/0,4 кВ и 35/10/0,4 кВ.

Питающие сети состоят из линий электропередачи 35-110 кВ и ПС 35-110/10 кВ.

Высоковольтные распределительные сети включают линии электропередачи 10 кВ и ТП 10/0,4 кВ, низковольтные распределительные сети

- линии электропередачи 0,4/0,22 кВ. При расположении сельхозпотребителей вблизи линий 35 кВ возможно строительство ТП 35/0,4 кВ.

При текущем и перспективном проектировании электроснабжения разрабатываются схемы развития питающих и распределительных сетей. При этом должны быть удовлетворены следующие основные требования:

- максимальное использование существующих сетей с необходимым расширением и реконструкцией существующих ПС и линий;
- обеспечение надежного электроснабжения с учетом категорий потребителей;
- обеспечение качества электроэнергии;
- гибкость схем, т.е. их приспособляемость к различным режимам передачи и распределения мощности при изменении нагрузок потребителей.

Обоснование технических решений по выбору схем электроснабжения производится на основе расчета технико-экономических показателей. И естественно, выбирается тот вариант, на который потребуется минимум затрат.

Загородные сети напряжением 10 кВ строят, главным образом, по радиальным схемам с замыкающими перемычками, обеспечивающими резервирование при ремонтах. При этом часть потребителей присоединяется на глухих ответвлениях, а часть наиболее ответвленных включаются в рассечку линий.

Загородные сети 35 кВ сооружают преимущественно по радиальным разомкнутым схемам, а при наличии потребителей I категории по схемам с двусторонним питанием от двух независимых источников. Пример такой схемы представлен на рис. 42.

Распределительные сети 0,4 кВ выполняются, как правило, воздушными по разомкнутой схеме.

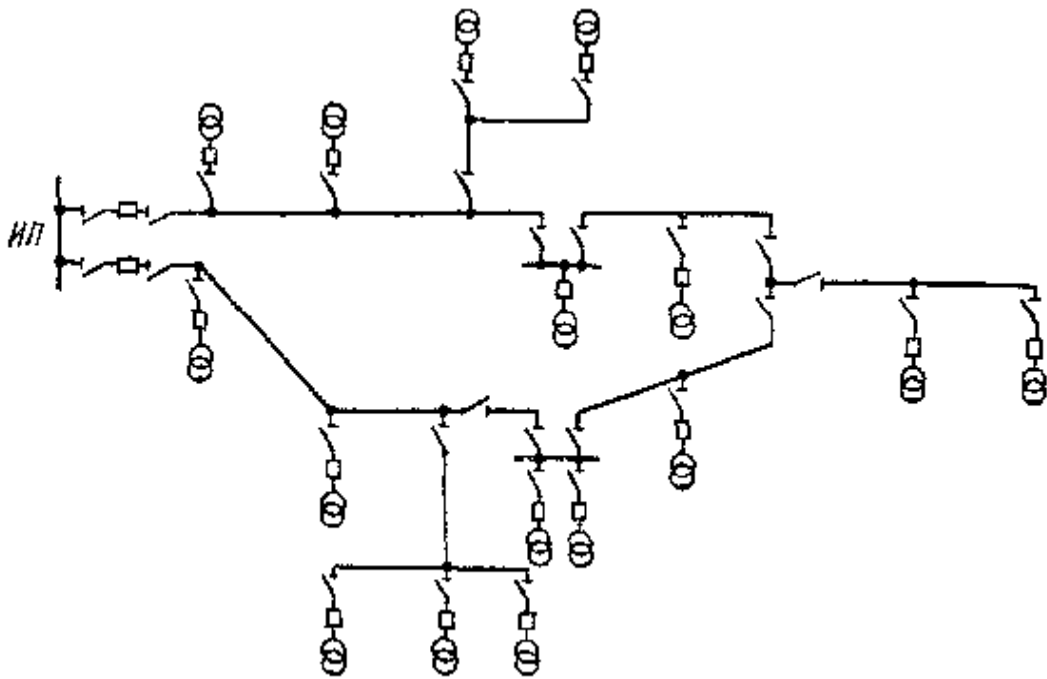


Рис 41 Схема загородной сети напряжением 6-10 кВ

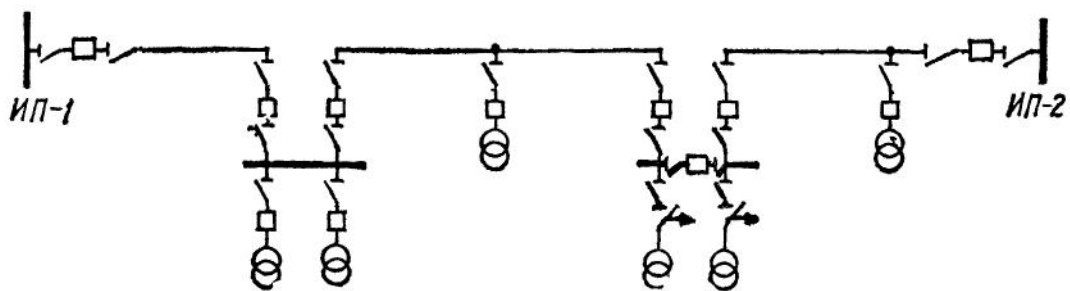


Рис.42 Схема замкнутой сети напряжением 35 кВ

Конструкция и способы прокладки воздушных и кабельных линий.

Самонесущие изолированные провода.

Воздушные линии

Основными этапами проектирования ВЛ являются следующие:

- расстановка опор по выбранной трассе линии;
- выбор основных типов и марок унифицированных опор и их фундаментов;
- расчет сечений проводов и молниезащитных тросов;

- расчет проводов и тросов для условий их монтажа;
- разработка основных положений подготовки трассы к строительству, организации эксплуатации линии, обеспечение ее средствами связи и т.д.

Расчеты конструктивной части конкретных ВЛ выполняются в соответствии с районами прохождения их трасс, а также по климатическим условиям: ветровому давлению, толщине гололедных образований, грозовой активности и интенсивности «пляски» проводов.

Существуют нормативные таблицы, где сведены основные характеристики сочетания климатических условий, приводятся температурные, ветровые, гололедные районы крупных городов России, т.е. указаны температура средняя годовая, наинизшая и наивысшая, приведены ветровые давления и толщина стенок гололеда – это для выбора сечений. Для выбора опор также есть таблицы, где на определенное напряжение уже подобраны шифры опор, длины пролетов, расход материалов и т.д.

Основные сведения об опорах.

Существует несколько видов опор: стальные, железобетонные, деревянные и металлические, опоры из сплавов алюминия.

Конструкции опор должны удовлетворять типовым требованиям, зависящим от нагрузки ветрового давления (*не менее 500 Па- это не менее 30 м/с*), анкерные угловые рассчитаны на угол поворота (*до 60 градусов*) .

ВЛ 10–35–110 кВ выполняют на железобетонных, деревянных или металлических опорах. На ВЛ 10 кВ, как правило, устанавливают железобетонные опоры.

Металлические опоры ВЛ 10–35 кВ применяют на пересечениях с инженерными сооружениями (участки железных дорог с интенсивным движением поездов, шоссейные дороги I и II категорий с водными преградами – судоходными реками, каналами и т.п.), на стесненных участках трасс, в горной местности, на ценных сельскохозяйственных землях.

Для ВЛ напряжением 35 кВ и выше используются унифицированные опоры. Обозначение опор отражает следующие признаки:

вид опоры, обозначаемый буквами: П — промежуточная, У — угловая и анкерно-угловая, С — специальная (осветительная, повышенная);

материал опор, обозначаемый буквами: Б — железобетон, Д — дерево, для металлических опор буквенное обозначение опускается;

напряжение, обозначаемое цифрами 35, 110, 220 и т.д.

Для ВЛ 0,38 — 10 кВ в городских условиях применяются железобетонные опоры и деревянные опоры с железобетонными приставками. Опоры рассчитаны также на подвеску проводов радиосети и установку светильников наружного освещения.

При применении унифицированных опор на напряжение 35 кВ и выше применяются подвесные изоляторы тарелочного типа, выполненные из фарфора или закаленного стекла. Подвесные изоляторы используются при электроснабжении крупных и ответственных потребителей и на опорах анкерного типа (концевых, анкерно-угловых и переходных). Предпочтение следует отдавать стеклянным изоляторам; рекомендуется также применять их независимо от напряжения на ВЛ, проходящих в горах, по болотам, в районах Крайнего Севера, и на больших переходах.

Для ВЛ 0,38 кВ широко применяются фарфоровые изоляторы и стеклянные изоляторы.

Для ВЛ 6—10 кВ — штыревые изоляторы, изготовленные из фарфора или стекла и состоящие, как правило, из одной формованной детали.

На ВЛ используется разнообразная линейная арматура: для крепления проводов к штыревым или подвесным изоляторам, сцепки изоляторов в гирлянды, для предупреждения схлестывания проводов и т.д. Выбор арматуры производится по каталогам в соответствие с ее конкретным назначением, номинальным напряжением ВЛ, в зависимости от марки провода и их числа в расщепленных фазах, от марок молниезащитных тросов и т.д., а также по разрушающим нагрузкам арматуры и изоляторов.

Выбор сечений проводов ВЛ

В линиях электропередачи используются провода из алюминия (алюминиевых сплавов) и стали. Условные обозначения алюминиевых проводов: А — провод, скрученный из алюминиевых проволок; АС — из алюминиевых проволок и стального сердечника; АСК — провод марки АС, в котором стальной сердечник покрыт смазкой, имеющей повышенную теплостойкость, и изолирован пленкой; АН — провод, скрученный из нетермообработанного алюминиевого сплава; АЖ — провод, скрученный из проволок термообработанного сплава. Область применения проводов, их характеристики и расчетные данные алюминиевых, сталеалюминиевых проводов и проводов из алюминиевых сплавов приведены в табл. ПУЭ.

Выбор сечений проводов ВЛ производится при проектировании электрической части сети высокого напряжения или отдельной линии электропередачи. Как правило, должны применяться провода алюминиевые, сталеалюминиевые. Применение медных проводов без специальных обоснований не допускается, а также не допускается применение стальных проводов.

(Стальные – плохая электропроводность, большой вес, медные – хорошая проводимость, выше чем у алюминия, но очень дорогие и их часто воруют на металлолом)

Для обеспечения сохранности ВЛ и нормальных условий эксплуатации и предотвращения несчастных случаев, вдоль ВЛ устанавливаются охранные зоны в виде земельного участка и воздушного пространства, ограниченных вертикальными плоскостями, отстоящими по обе стороны линии от крайних проводов при неотклоненном их положении на расстояние (в метрах) для линий напряжением:

до 20 кВ — 10 м, 35 кВ — 15 м, 110 кВ — 20 м, 150—220 кВ — 25 м, 330 кВ — 30 м. При прокладке ВЛ в городских условиях должны быть выполнены требования ПУЭ, регламентирующие пересечения и сближения ВЛ с

различными сооружениями и коммуникациями на территории города, а также требования к конструктивному выполнению ВЛ.

Самонесущие изолированные провода.

Главным направлением развития электрических сетей 0,38-10 кВ является использование воздушных линий с изолированными самонесущими проводами (СИП).

Они состоят из одной и более изолированных в жгут фазных жил, скрученных поверх неизолированной или изолированной несущей жилы. Несущая жила используется в качестве нулевой.

Они предназначены для передачи электроэнергии по этим проводам на открытом воздухе и прикрепленным при помощи узлов крепления, крюков, кронштейнов и арматуры к опорам, стенам зданий и сооружений.

Ввиду отсутствия изоляционной оболочки и защитного покрова СИП, имеющего одинарную изоляцию, по конструктивному исполнению относится к изолированным незащищенным проводам.

СИП по сравнению с традиционными ВЛ имеют следующие преимущества:

- меньшие потери напряжения, т.е. улучшение качества электроэнергии, благодаря, реактивному сопротивлению трехфазных СИП;
- не требуют изоляторов;
- практически отсутствует гололедообразование;
- допускают подвеску на одной опоре нескольких линий различного напряжения;
- меньшие расходы на эксплуатацию, благодаря сокращению, приблизительно на 80%, объемов аварийно-восстановительных работ;
- возможность использования более коротких опор благодаря меньшему допустимому расстоянию от СИП до земли;
- уменьшение охранной зоны, допустимых расстояний до зданий и сооружений, ширины просеки в лесистой местности;

- практическое отсутствие возможности возникновения пожара в лесистой местности при падении провода на землю;

- высокая надежность (5-кратное снижение числа аварий по сравнению с традиционными ВЛ);

- полная защищенность проводника от воздействия влаги и коррозии.

В качестве недостатка следует отметить необходимость защиты таких проводов от перенапряжений.

Молниезащитные тросы

Молниезащитные тросы применяются на ВЛ с металлическими и железобетонными опорами при напряжении 35 кВ только на подходах к ПС, а при напряжении 110 кВ и выше – по всей длине линии. Линии на деревянных опорах, как правило, не защищаются молниезащитными тросами, за исключением ВЛ 220 кВ. В качестве молниезащитных тросов применяются обычно стальные тросы, а также сталеалюминиевые провода установленных марок.

Кабельные линии

В условиях современного города ограниченность свободного пространства и большая плотность застройки значительно сужают возможности сооружения воздушных линий. Поэтому электрические сети городов, предназначенные для передачи и распределения энергии, выполняются преимущественно с использованием подземных кабельных линий, хотя сооружение и эксплуатация таких кабельных линий обходятся всегда дороже, чем воздушных. В зависимости от местных условий соотношение стоимостей воздушной и кабельной линий при одинаковой пропускной способности может достигать 1 : 10, что определяется большой стоимостью самого кабеля и земляных работ, связанных с его прокладкой.

Как в процессе прокладки, так и по ее окончании трубопровод и кабельная линия в сборе подвергаются многочисленным испытаниям. Особое внимание уделяется проверке качества монтажных работ, например, качество сварных швов, проверяется с помощью гамма-лучей, при монтаже муфт и

разветвлений в колодце должен создаваться необходимый микроклимат и т. п. Эксплуатация маслонаполненных кабельных линий имеет свои специфические особенности. Например, при производстве, прокладке, эксплуатации и последующем возможном ремонте требуется большой расход масла:

на 1 км линии напряжением 110 кВ и сечением жилы 550 мм² расход масла составляет более 2 т.

Кабельные линии относятся к категории линий закрытого типа, которые обладают рядом специфических свойств, не присущим ВЛ: полная гарантия электрических сетей от многочисленных случайных повреждений и атмосферных явлений.

Т.е. несмотря на то, что доминирующей составляющей при выборе линии являются капиталовложения, КЛ все равно отдается предпочтение, даже если она прокладывается в районах с высокой стоимостью земли, она является единственным способом прокладки электроэнергии через протяженные водные пространства на подходах к аэропортам, при выводе мощности к ОРУ некоторых гидроэлектростанций ГЭС, при прокладке городских уличных магистралей.

Поэтому КЛ подвержены воздействию влаги, химической агрессивности воды и почвы, механическим повреждениям при проведении земляных работ и смещении грунта во время ливневых дождей и паводков.

Поэтому конструкция кабеля должна предусматривать защиту от указанных воздействий.

Повреждение кабелей обычно бывает довольно редко, ремонтные работы весьма трудоемки. Определение места повреждения может потребовать значительного времени. Сооружение кабельных сетей, как правило, приводит к необходимости создания резервных линий.

Вторая причина, по которой предпочтение отдается КЛ, состоит в более высоком уровне надежности по сравнению с ВЛ, т.е. независимость ее от влияния атмосферных условий, а также учитываются экологические, эстетические и архитектурно-планировочные критерии.

Как электроустановка КЛ представляет собой устройство передачи электроэнергии по токоведущим элементам (ТВЭ) с использованием в качестве электрической изоляции (ЭИ) твердой, газообразной или жидкой среды, помещенной в герметичную оболочку.

Выполняется одним или несколькими кабелями, уложенными непосредственно в землю, кабельные туннели, каналы, короба, блоки, шахты, кабельные этажи, двойные полы, кабельные эстакады, кабельные галереи, кабельные камеры, подпитывающие пункты.

Кабельный туннель — закрытое сооружение (коридор) с расположенными в нем опорными конструкциями для размещения на них кабелей и кабельных муфт, со свободным проходом по всей длине, позволяющим производить прокладку кабелей, ремонты и осмотры кабельных линий.

Кабельный канал — закрытое и заглубленное (частично или полностью) в грунт (пол, перекрытие) непроходное сооружение, предназначенное для размещения в нем кабелей. Укладку, осмотр и ремонт кабелей, возможно, производить лишь при снятом перекрытии.

Кабельный блок — кабельное сооружение с трубами (каналами) для прокладки в них кабелей с относящимися к нему колодцами.

Кабельная камера — подземное сооружение, закрываемое глухой съемной бетонной плитой и предназначенное для укладки кабельных муфт или для протяжки кабелей в блоки. Камера, имеющая люк для входа в нее, называется кабельным колодцем.

Подпитывающий пункт — надземное, наземное или подземное сооружение с подпитывающими аппаратами и оборудованием (баки питания, баки давления, подпитывающие агрегаты и др.).

Подпитывающий агрегат — автоматически действующее устройство, состоящее из баков, насосов, труб, перепускных клапанов, вентилей, щита автоматики и другого оборудования, предназначенного для обеспечения подпитки маслом кабельной линии высокого давления.

КЛ состоит из следующих элементов:

- силового кабеля или кабелей,
- оборудования для соединения и секционирования участков кабеля к шинам распределительных устройств - кабельная арматура,
- аппаратура подпитки маслом или газом (для масло- и газонаполненных КЛ),
- системы охлаждения маслом или водой (в КЛ с принудительным охлаждением).
- оборудования очистки и осушки газа (в линиях с изоляцией сжатым газом).

Конструкции кабелей, используемых в системах электроснабжения городов, отличаются большим разнообразием.

По величине номинального напряжения кабели делятся на кабели низкого напряжения (до 1 кВ), кабели среднего напряжения (6...35 кВ), кабели высокого напряжения (110 кВ и выше).

По роду тока различают кабели переменного и постоянного тока.

Кабели выполняются одножильными, двухжильными, трехжильными, четырехжильными и пятижильными, четырехжильными и пятижильными.

Одножильными выполняются кабели высокого напряжения; двухжильными - кабели постоянного тока; трехжильными – кабели среднего напряжения.

Кабели низкого напряжения выполняются с количеством жил до пяти. Они могут иметь одну, две или три фазных жилы, а также нулевую рабочую жилу и нулевую защитную жилу.

По материалу токопроводящих жил различают кабели с алюминиевыми и медными жилами. В силу дефицита и дороговизны меди наибольшее распространение получили кабели с алюминиевыми жилами. В качестве изоляционного материала используется кабельная бумага, пропитанная маслоканифольным составом, пластмасса и резина.

Кабели высокого напряжения выполняются маслонаполненными или газонаполненными. В этих кабелях бумажная изоляция заполняется маслом или

газом под давлением. Защита изоляции от высыхания и попадания воздуха и влаги обеспечивается наложением на изоляцию герметичной оболочки.

Защита кабеля от возможных механических повреждений обеспечивается броней. Для защиты от агрессивности внешней среды служит наружный защитный покров.

Наибольшее распространение имеют кабели напряжением 0,38—220 кВ при их прокладке в земляных траншеях. Как правило, применяются кабели с алюминиевыми жилами, с бумажной пропитанной изоляцией, в свинцовой или алюминиевой оболочке.

Токопроводы

Токопроводы напряжением 6...35 кВ применяются для внутривозовского электроснабжения промышленных предприятий с мощными концентрированными нагрузками, например предприятий черной и цветной металлургии и химической промышленности.

Токопроводы применяются также на электростанциях для связи генераторов с трансформаторами и распределительными устройствами. Основным элементом токопровода является жесткая или гибкая шина из алюминия или его сплава.

Конструктивно токопроводы выполняются:

- закрытыми;
- открытыми;
- с жесткими несимметрично расположенными шинами;
- с жесткими симметрично расположенными шинами;
- с гибкими шинами.

В закрытых токопроводах все три фазы или каждая фаза в отдельности помещены в закрытый кожух из алюминия или его сплавов. Закрытые токопроводы применяются, главным образом, на электростанциях в блочной схеме генератор-трансформатор.

Открытые токопроводы применяются в электрических сетях внутривозовского электроснабжения. В открытых токопроводах с жесткой

ошиновкой при токах до 2000 А используются плоские шины, при токах более 2000 А - шины швеллерного или другого профиля. В открытых токопроводах с гибкой ошиновкой используется алюминиевый провод большого сечения.

По сравнению с кабелями, прокладываемыми в тоннелях или по эстакадам и галереям, токопроводы имеют ряд преимуществ:

- меньший расход цветного металла (свинца и алюминия, идущего на герметичные оболочки кабеля);
- изоляцией токопроводов является воздух (в кабелях – дорогая бумажномасляная изоляция);
- перегрузочная способность токопроводов значительно выше, чем кабелей;
- надежность токопроводов выше, чем кабелей.

Диапазоны мощностей и расстояний, при которых экономически целесообразно применение токопроводов, приведены в таблице. При меньших значениях мощностей и расстояний токопроводы не имеют явных преимуществ перед кабельной канализацией.

Таблица

Диапазоны мощностей и расстояний, при которых экономически целесообразно применение токопроводов

Номинальное напряжение, кВ	Мощность, МВА	Расстояние, км
6	15...20	5
10	25...35	5
35	более 35	10

Токопроводы напряжением до 1 кВ называются **шинопроводами** и применяются для внутреннего электроснабжения мощных потребителей, в частности для схем внутрицехового электроснабжения промышленных предприятий. Основным элементом шинопровода является жесткая алюминиевая или медная шина прямоугольного сечения.

По назначению и передаваемой мощности шинопроводы делятся на магистральные ШМА (шинопровод магистральный с алюминиевыми шинами) и распределительные ШРА (шинопровод распределительный с алюминиевыми шинами).

Магистральные шинопроводы выполняются на токи:

1600, 2500 и 4000 А,

Распределительные шинопроводы выполняются на токи:

100, 250, 400 и 630 А.

Шинопроводы на токи до 1000А выполняются из однополосных шин, для больших токов – из двух и более взаимно изолированных прямоугольных шин в одной фазе.

Магистральный шинопровод прокладывается от цеховой подстанции вдоль цеха.

Распределительные шинопроводы подключаются к магистральному по мере необходимости.

Шинопроводы выполняются открытыми и закрытыми. Открытые шинопроводы прокладываются, как правило, по стенам зданий на кронштейнах. Шины крепятся к опорным изоляторам болтовыми соединениями.

Магистральные и распределительные закрытые шинопроводы изготавливаются на заводах в виде комплектных секций: прямых, угловых и ответвительных.

Ответвительные секции комплектуются плавкими предохранителями или автоматическими выключателями. Изготавливаются специальные секции для компенсации температурных напряжений в шинах. Готовые секции поставляются на место сборки. Прокладка шинопроводов выполняется на кронштейнах по стенам, вертикальных стойках, подвесках к потолкам.

Для освещения больших помещений производственных зданий и цехов промышленных предприятий часто применяют осветительные шинопроводы (ШОС)..

Троллейные шинопроводы ШТМ (с медными шинами) предназначены

для питания подъемно-транспортных механизмов и переносных инструментов, и имеют особый подвижный контакт.

Электропроводки

С помощью электропроводок осуществляется питание освещения и силовых потребителей небольшой мощности на напряжение до 1 кВ. Электропроводки располагаются внутри жилых, общественных, производственных зданий и сооружений, на наружных их стенах, по территории строительных площадок, сельскохозяйственных строений и других объектов.

Электропроводки выполняются изолированными проводами всех сечений и небронированными кабелями с резиновой и пластмассовой изоляцией с сечением фазных жил до 16 мм².

Изолированные провода и кабели для электропроводок выпускаются с алюминиевыми и медными жилами и выполняются с количеством жил до пяти. Количество жил зависит от типа системы заземления, в которой будут использоваться провода и кабели.

Электропроводки делятся на внутренние и наружные.

Внутренние электропроводки прокладываются внутри зданий и сооружений. Наружной электропроводкой называется электропроводка, проложенная по наружным стенам зданий, сооружений, под навесами и т.п.

Внутренние электропроводки делятся на открытые и скрытые. Открытая электропроводка прокладывается по поверхностям стен и потолков, по различным строительным конструкциям. Для открытых электропроводок используются также специальные лотки, короба и трубы. Скрытая электропроводка выполняется в трубах, заложенных в строительные конструкции, а также непосредственно заделывается в стены и потолки зданий, в частности под штукатурку.

Скрытая проводка может проходить по междуэтажным перекрытиям и в специальных каналах, выполненных в бетонных и кирпичных стенах.

10. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения

Рассматривается проблема компенсации реактивной мощности. Приводятся основные потребители реактивной мощности и их характеристика. Характеризуются способы уменьшения потребления реактивной мощности основными приемниками электроэнергии.

К таким способам относятся:

замена недогруженных АД на двигатели меньшей мощности, облегчение условий их пуска; секционирование обмоток статора недогруженных АД; применение тиристорных регуляторов в цепи статора недогруженных АД; понижение напряжения у двигателей, систематически работающих с малой нагрузкой; ограничение ХХ у АД и сварочных трансформаторов; применение СД вместо АД в тех случаях, когда позволяет технология производства; применение синхронизированных АД;

применение наиболее целесообразной силовой схемы и системы управления вентильного преобразователя.

Изучаются искусственные мероприятия по компенсации реактивной мощности.

К средствам искусственной компенсации реактивной мощности относят батареи конденсаторов, синхронные двигатели и компенсаторы, статические источники реактивной мощности. Приводится сравнительный анализ всех типов компенсирующих устройств.

Рассматриваются способы подключения батарей конденсаторов к сети: индивидуальные, групповые и централизованные.

Рассматриваются принципы автоматического регулирования мощности батарей конденсаторов.

11. Определение мощности батарей конденсаторов в сети напряжением до 1000 В

Рассмотрим алгоритм определения мощности и типа компенсирующих устройств в распределительной сети предприятий.

Суммарная расчетная мощность батарей конденсаторов (БК) напряжением до 1000В определяется для каждого цеха по минимуму приведенных затрат. Расчет состоит из двух этапов:

выбор экономически оптимального числа трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций;

определение дополнительной мощности БК в целях оптимального снижения потерь в трансформаторах и в распределительной сети 6-10 кВ.

Определение минимального числа трансформаторов, необходимое для питания активной нагрузки цеха определяется по формуле:

$$N_{T \min} = \frac{P}{K_z S_T},$$

где P - среднестатистическая расчетная активная нагрузка цеха;

K_z - коэффициент загрузки трансформатора;

S_T - номинальная мощность трансформатора.

Полученное число $N_{T \min}$ округляем до ближайшего большего целого.

Затем определяется экономически оптимальное число трансформаторов по выражению:

$$N_{TЭ} = N_{T \min} + m,$$

где m - дополнительное число трансформаторов, определяемое по кривым /17/.

По выбранному количеству трансформаторов находится наибольшая реактивная мощность, которую целесообразно передать через трансформаторы в сеть напряжением до 1000 В.

$$Q_T = \sqrt{(N_{TЭ} K_3 S_T)^2 - P^2}$$

Суммарная мощность БК для данной группы трансформаторов

$$Q_I = Q_H - Q_T,$$

где Q_H - среднестатистическая реактивная нагрузка цеха. Если $Q_I < 0$, то по первому этапу расчета установка БК в сети напряжением до 1000 В не требуется. Дополнительная мощность БК для данной группы трансформаторов по второму этапу расчета равна:

$$Q_2 = Q_m - Q_I - \gamma N_{TЭ} S_T,$$

где γ - расчетный коэффициент, определяемый в зависимости от схемы питания трансформаторных подстанций по показателям K_1 и K_2 [17].

Значение K_1 находится по таблице [17] в зависимости от числа рабочих смен и расчетной стоимости потерь.

Значение K_2 определяется по формуле

$$K_2 = l S_T / F,$$

где l - длина питающей линии;

F - общее сечение линии.

Если окажется, что $Q_2 < 0$, то для данной группы трансформаторов дополнительная установка БК по второму условию не требуется. Суммарная мощность БК в сети напряжением до 1000 В для данного цеха определяется как сумма Q_I и Q_2 .

Конденсаторные батареи распределяются по ТП пропорционально их реактивным нагрузкам.

Приводятся типы и конструктивные особенности низковольтных компенсирующих устройств, способы и законы регулирования их мощности.

12. Определение реактивной мощности генерируемой синхронными двигателями

На предприятиях имеется большой парк синхронных двигателей (СД), поэтому целесообразно использовать их для КРМ. Каждый установленный синхронный двигатель является источником реактивной мощности, минимальная величина которой определяется формулой:

$$Q_{CD} = P_{CD \text{ ном}} \operatorname{tg} \varphi_{\text{ном}} K_{з \text{ СД}},$$

где $P_{CD \text{ ном}}$ - номинальная активная мощность СД;

$\operatorname{tg} \varphi_{\text{ном}}$ - номинальный коэффициент РМ;

$K_{з \text{ СД}}$ - коэффициент загрузки по активной мощности.

Использование СД в качестве ИРМ целесообразно, если их $K_{з} < 1$ и если их номинальная мощность больше или равна 2000 кВт при частоте вращения

$n = 3000$ об/мин,

2500 при $n = 1000$ об/мин,

3200 при $n = 750$ об/мин и 600 об/мин,

4000 при $n = 500$ об/мин.

В этом случае располагаемая активная мощность СД равна

$$Q_{CD,} = \alpha_n S_{CD \text{ ном}} = \alpha_{\text{ном}} \sqrt{P_{CD \text{ ном}}^2 + Q_{CD \text{ ном}}^2},$$

где α_i - коэффициент допустимой перегрузки СД, зависящий от его загрузки по активной мощности, определяемый по номограмме [17].

Можно использовать СД меньшей мощности, чем указано выше для КРМ при необходимости компенсации реактивной мощности на стороне 6-10 кВт. В этом случае экономически целесообразная реактивная мощность, генерируемая СД, равна минимальной величине реактивной мощности, которую он может генерировать

$$Q_{CD,} = Q_{CD}$$

13. Выбор сечения жил кабельных линий и шин токопроводов

При проектировании распределительной сети промышленного предприятия производится выбор отдельных ее элементов, чтобы обеспечить экономичность и надежность работы сети в нормальных и послеаварийных режимах работы. Наиболее важным при этом является выбор сечений проводов и жил кабелей с учетом ряда технических и экономических факторов.

Среди технических факторов, влияющих на выбор сечения важны: нагрев длительным расчетным током; нагрев током КЗ; потеря напряжений в нормальном или послеаварийном режимах; механическая прочность. Технические и экономические условия в процессе расчета дают различные сечения для одной и той же линии. Окончательно выбираются сечения, удовлетворяющие всем требованиям.

Выбор сечения кабелей по нагреву расчетным током осуществляется по максимальному рабочему току с учетом поправочных коэффициентов на условия прокладки, температуру окружающей среды. Проверка осуществляется по нагреву в послеаварийном режим с учетом коэффициента допустимой перегрузки.

Для выбора термически стойкого сечения жил кабеля необходимо значение установившегося тока КЗ и время протекания этого тока через кабель, обусловленное действием защитных устройств и отключающей аппаратуры. Чтобы кабели были термически устойчивы к токам КЗ расчетная температура не должна превышать допустимую для изоляции данного кабеля. Термическое действие тока КЗ оценивают импульсом, по которому и определяют минимально допустимое сечение по условиям термической стойкости.

Экономически целесообразные сечения выбирается по среднегодовым эквивалентным расходам, либо методом Ньютона. Также выбранные сечения проверяется на наибольшую потерю напряжения.

Выбор сечения шин токопроводов осуществляется по нагреву длительно допустимым током, по экономическим соображениям, проверка – по термической и динамической стойкости к токам КЗ.

14. Уточнение схемы и конструктивного выполнения питающей и цеховой сети

После того, как определено место расположения ЦТП, производится уточнение принятой схемы цеховой сети, количество устанавливаемых СП, шинопроводов и т.д.

В зависимости от схемы электроснабжения потребителей и условий окружающей среды, цеховые электрические сети выполняют шинопроводами, кабельными линиями и проводами, которые могут быть проложены по стенам, в каналах полов, в трубах, на тросах, в лотках и коробах.

Шинопроводы могут быть магистральными и распределительными. Магистральные шинопроводы ШМА на номинальные токи 1250, 1600, 2500, 3200 и 4000 А предназначены для питания распределительных шинопроводов и пунктов, отдельных крупных электроприёмников (например кранов). Способы прокладки и конструктивное исполнение приведены в [13, 17]. Распределительные шинопроводы ШРА на номинальные токи 250, 400, 630 А и ШРМ на номинальные токи 100, 250, 400 А предназначены для передачи и распределения электроэнергии напряжением 0,38/0,22 кВ по территории цеха.

Ответвления шинопровода к электроприёмникам (ЭП) осуществляется через коробки с выключателями или предохранителями (по заказу) в трубах или металлорукавах.

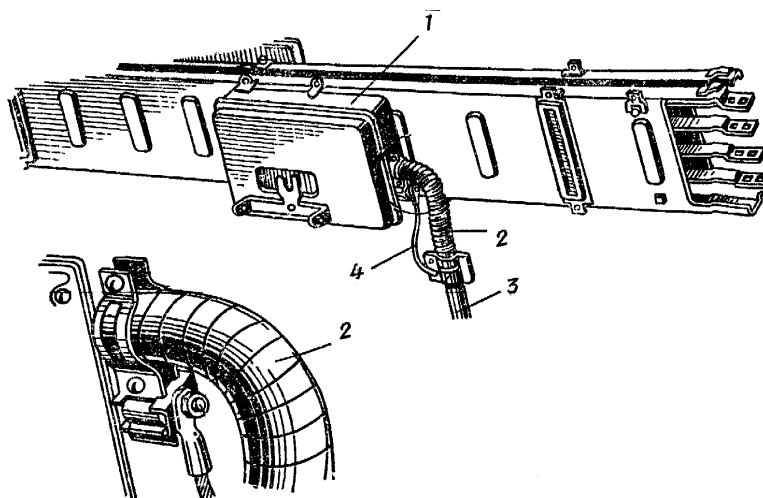


Рисунок 43 – Распределительный шинопровод

1 – ответвительная коробка; 2 – металлорукав; 3 – труба; 4 – провод заземления.

Распределительные шинопроводы крепят, также как и магистральные: на стойках, кронштейнах, подвесах (рисунки 43, 44).

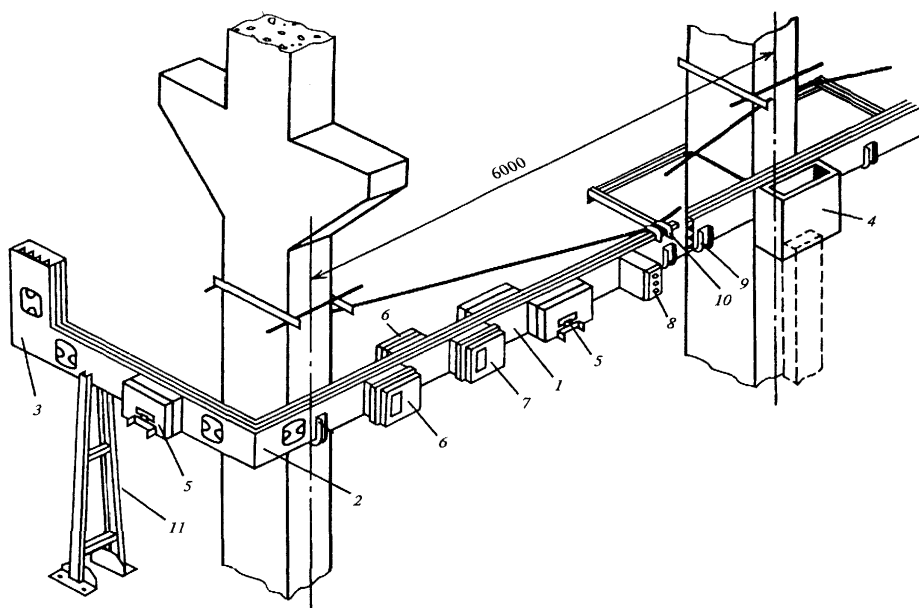


Рисунок 44 – Элементы шинопровода

1 – прямая секция; 2 – секция с изгибом шин на ребро; 3 – тоже на плоскость; 4 – вводная коробка; 5 – ответвительная коробка с автоматом; 6 – тоже с предохранителем; 7 – ответвительная коробка с пусковым аппаратом; 8 – коробка с указателем наличия напряжения; 9, 10, 11 – конструкции для установки и крепления шинопровода (9 – кронштейн; 10 – подвес; 11 – стойка).

Для питания подъёмно-транспортных механизмов: мостовых кранов, электроталей, (тельферов) переносных электрифицированных инструментов используются троллейные шинопроводы ШТМ. Номинальные токи шинопроводов 100, 250, 400 А. В производственных помещениях сети освещения также могут быть выполнены осветительными шинопроводами типа ШОС, номинальные токи их 25, 63, 100 А.

Питающие сети обычно выполняются кабелями, проложенными в траншеях. Хотя могут быть предложены другие варианты прокладки кабеля: в каналах, на эстакадах, в блоках и т.д.

15. Системы электроснабжения, принципы их формирования, экономика электроснабжения

Технический прогресс тесно связан с непрерывным развитием существующих и появлением новых городов и поселков городского типа. Одновременно с этим происходит увеличение общего количества городского населения за счет естественной миграции людей в города из сельской местности. Эту тенденцию можно связать со значительным ростом промышленных производств.

Города являются самыми крупными потребителями электрической энергии, так как в них не только проживает 65 % населения страны, но и расположено много промышленных предприятий, их потребность в электроэнергии составляет по стране, примерно, около 70% всей вырабатываемой электроэнергии.

Назначением систем электроснабжения городов (ЭСГ) является обеспечение электроэнергией всех технологических процессов промышленных, коммунально-бытовых, транспортных и других потребителей, располагающихся на территориях городов и частично ближайших пригородных зон.

В состав систем ЭСГ входят:

- источники питания жилых и промышленных зон, как правило, это теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) и понижающие подстанции 110-220 кВ или 330 кВ электроэнергетических систем, а также подстанции глубоких вводов (ПГВ) высших напряжений 110-220 кВ) на территориях городов;

- питающие и распределительные электрические сети средних номинальных напряжений 10-20 кВ, включая распределительные пункты данных напряжений и трансформаторные подстанции 10-20/0,4 кВ;

- внешние и внутренние сети напряжением до 1 кВ жилых, общественных и производственных зданий (как правило 0,4 кВ);

- электроприемники всех технологических типов потребителей, расположенных на территории города.

Формирование структур, схем и параметров системы ЭСГ осуществляется с учетом конкретных природных и экономических условий региона, технических характеристик питающей электроэнергетической системы, технологического состава потребителей в комплексе генерального плана развития города с перспективой на 15-20 лет.

На всех этапах проектирование ЭСГ руководствуются действующими нормативами и рекомендациями при сооружении электроустановок.

В зависимости от размера города, для питания потребителей, расположенных на его территории, должна предусматриваться соответствующая система электроснабжения. И уже в зависимости от степени сложности, системы электроснабжения разделяю на три вида: системы электроснабжения малого, среднего и крупного городов.

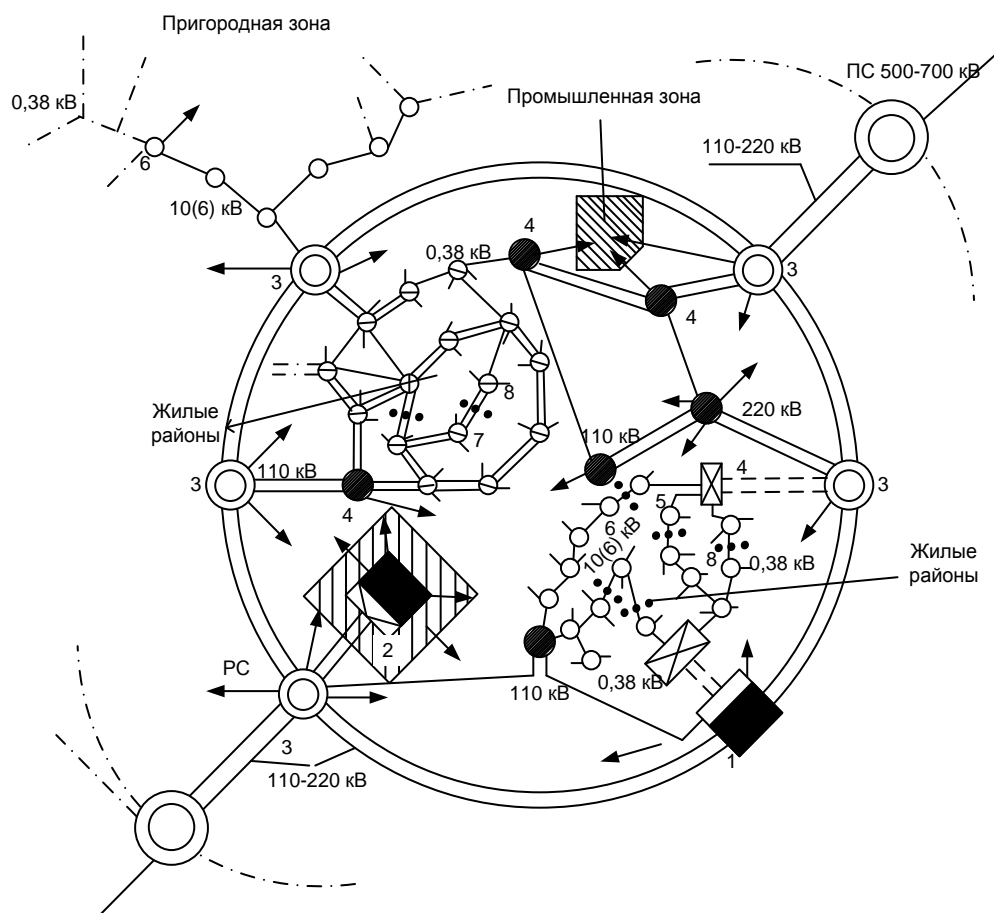
Население городов и других населенных мест в зависимости от степени участия в общественном производстве и характера трудовой деятельности, относится к следующим группам:

градообразующей, состоящей из трудящихся предприятий, учреждений и организаций градообразующего значения; к таким предприятиям относятся все промышленные, энергетические, сельскохозяйственные предприятия, включая предприятия легкой, пищевой и местной промышленности, а также склады и базы материально-технического снабжения, предприятия, учреждения и устройства внешнего транспорта (железнодорожного, морского, речного, воздушного, автомобильного и трубопроводного);

обслуживающей, состоящей из трудящихся предприятий и учреждений культурно-бытового и коммунального обслуживания, административных и других учреждений, обслуживающих данное населенное место;

несамодеятельной, состоящей из детей дошкольного и школьного возраста, пенсионеров, инвалидов и лиц, занятых в домашнем хозяйстве, учащихся дневных отделений вузов, техникумов и ПТУ.

Структурная схема системы электроснабжения крупного города



- 1 – теплоэлектростанции;
- 2 – теплоэлектростанция и глубокий ввод высокого напряжения;
- 3 – опорные подстанции высокого напряжения (110 – 220 кВ);
- 4 – глубокие вводы высокого напряжения (110 – 220 кВ);
- 5 – распределительные пункты 10(6) кВ;
- 6 – однострансформаторные подстанции;
- 7 – двухтрансформаторные подстанции 10(6) кВ;
- 8 – линии 10(6) кВ, разомкнутые в нормальных режимах работы сети.

Территория населенного пункта по назначению делится на следующие зоны:

промышленную — для размещения промышленных, энергетических, сельскохозяйственных производственных предприятий и связанных с ними транспортных и других объектов;

селитебную — для размещения жилых районов, микрорайонов, общественных зданий и сооружений;

коммунально-складскую — для размещения складов, гаражей, трамвайных в автобусных парков, автобаз, предназначенных для обслуживания населенных мест;

внешнего транспорта — для размещения транспортных устройств и сооружений, вокзалов, станций, портов, пристаней.

Первой структурной единицей селитебной зоны является микрорайон, на территории которого кроме жилых домов размещаются учреждения и пункты повседневного обслуживания населения.

Второй структурной единицей селитебной зоны является жилой район, состоящий из нескольких микрорайонов, объединенных общественным центром, в состав которого входят учреждения культурно-бытового обслуживания районного значения.

Этажность жилых зданий устанавливается на основе технико-экономических обоснований и градостроительной этики. В крупнейших и крупных городах, а также в городах с ограниченными для их развития территориями предусматривается смешанная застройка в девять и более этажей, частично пятиэтажная. В других городах и поселках рекомендуется, как правило, пятиэтажная застройка. Т.е. следует учитывать, что при наличии высокоэтажных зданий, увеличивается и число электропотребителей. Также такие здания в обязательном порядке имеют лифтовые установки. А это значит, что нагрузка в таких жилых районах увеличивается.

Требования к выполнению и выбору схем городских электрических сетей аналогичны таковым в общей теории формирования сетей: *экономическая целесообразность, обоснованная надежность, качество напряжения, восприимчивость к развитию потребителей и сетей и т.д.*

В связи с этим актуально применение наиболее простых схем с минимальным количеством специализированного электрооборудования. Также необходимо учитывать широкие возможности применения разнообразных средств связи и автотранспорта и особенности эксплуатации сетей с компенсированной или изолированной нейтралью.

Внутренние распределительные сети напряжением до 1 кВ большинства жилых зданий состоят из вводного распределительного устройства, распределительных линий и соответствующего электрооборудования. Выполняются в виде разветвленных магистральных сетей.

Определение расчетных электрических нагрузок жилых зданий основывается на использовании нагрузки одного потребителя, в качестве которого выступает квартира.

Электроснабжающая сеть города и как видно из рисунка, сеть, связывающая между собой источники питания, выполняется в виде кольца, охватывающего город. Источников питания должно быть как минимум 2. В данном случае это ПС-2 и ТЭС-2.

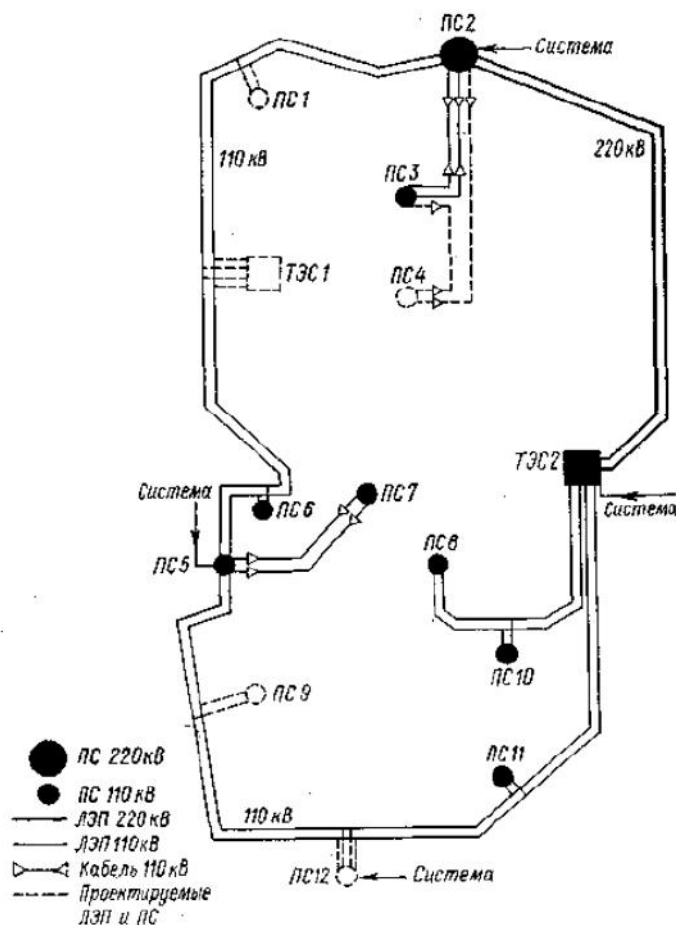


Схема электроснабжающей сети определяется местными условиями и может быть достаточно сложной. Сеть глубоких вводов 35-110 кВ независимо от особенностей города выполняется, как правило, по простейшей схеме в виде двух взаимно резервируемых радиальных линий 35-110 кВ.

Схема глубокого ввода

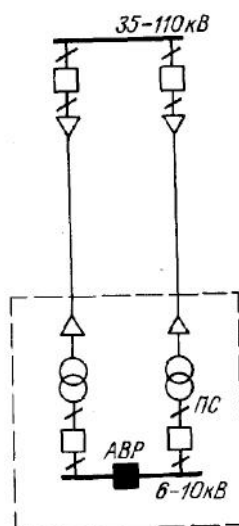
Глубоким вводом называется система электроснабжения с приближением высшего напряжения к электроустановкам потребителей с наименьшим числом ступеней промежуточной трансформации и аппаратов.

Схема глубокого ввода наиболее полно выражает связь между различными элементами системы электроснабжения. Такой зависимости в других схемах не наблюдается, так как выбор схемы и параметров отдельных элементов системы может производиться в определенной мере независимо друг от друга. Например, наличие развитого распределительного устройства первичного напряжения позволяет решать вопросы резервирования в электроснабжающей сети и трансформаторов на подстанции разными путями. Наличие РУ вторичного напряжения обеспечивает полную самостоятельность в решении вопросов построения распределительных сетей независимо от особенностей подстанций и т.д.

В системе глубокого ввода, выполненного по схеме блока линия — трансформатор, два элемента: линия и трансформатор — составляют одно целое. Последнее обуславливает взаимное резервирование блоков, совместный подход к решению вопросов релейной защиты линии и трансформатора, конструктивному выполнению рассматриваемых элементов и т. д.

В указанном исполнении на подстанции полностью отсутствует распределительное устройство, т.е. нет шин, разъединителей, выключателей. И предусматривается непосредственное соединение линий 110—220 кВ с первичными обмотками трансформаторов.

Защита линий и трансформатора действует на выключатель линии 110—220 кВ, установленный на источнике питания. При этом зона действия релейной защиты выключателей должна охватывать линию и трансформатор. В ПУЭ регламентируются для этого соответствующие виды релейной защиты. Их выполнение потребует прокладки между источниками питания и подстанцией глубокого ввода контрольного кабеля.



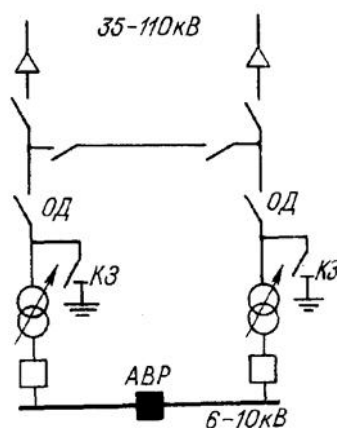
В городах система глухого присоединения линии к трансформатору не принята. Это определяется условиями эксплуатации электрооборудования, его качеством, требованиями техники безопасности. Поэтому возникает необходимость ввести в схему разъединители, устанавливаемые на подстанции между линией и трансформатором со стороны первичного напряжения. Установка разъединителя позволяет производить необходимые испытания, ремонты и другие эксплуатационные работы на линиях.

В том случае, когда по местным условиям нет возможности осуществить защиту блока линия — трансформатор путем установки приборов только со стороны источника питания, на подстанции глубокого ввода устанавливают на каждой линии 110— 220 кВ короткозамыкатели и защита линий и трансформаторов осуществляется отдельно. Защита трансформатора действует на короткозамыкатель, который производит искусственное замыкание линии, вызывающее ее отключение со стороны источника питания.

В некоторых случаях питание подстанции глубокого ввода может производиться путем ответвления от магистральных линий. Последнее требует введения в схему подстанции отделителей на стороне первичного напряжения. Работа защиты при этом происходит в такой последовательности: *при повреждении трансформатора замыкается соответствующий короткозамыкатель и происходит отключение линии со стороны источника питания, после чего в безтоковую паузу отключается отделитель, что*

приводит к отключению поврежденного трансформатора, а затем под действием АПВ происходит обратное включение линии.

Наиболее распространенная в настоящее время схема подстанции глубокого ввода со стороны первичного напряжения показана на рис.



Дополнительная связь линий 110—220 кВ через разъединители предусматривается на подстанции с целью увеличения оперативной гибкости схемы глубокого ввода. Добавочно, в таких схемах вместо блока ОД-КЗ устанавливается выключатель. Глубокие вводы выполняются в виде магистральных ВЛ и радиальных ВЛ и КЛ.

Магистральные ГВ применяют при нормальной и малозагрязненной окружающей среде, когда по территории предприятия можно провести ВЛ напряжением 110-220 кВ и разместить ПГВ около основных групп потребителей электрической нагрузки.

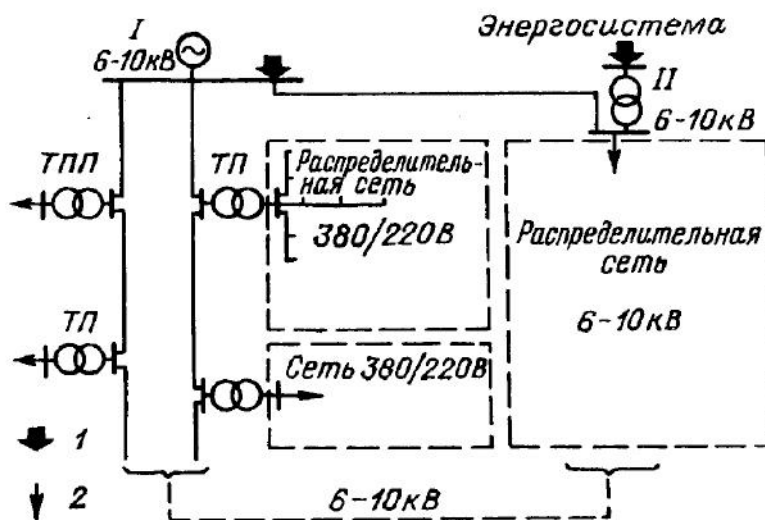
Радиальные ГВ применяют, как правило, при загрязненной окружающей среде. Кабельные радиальные вводы используют при невозможности прокладки ВЛ и размещении более громоздких ответвительных ПС 110-220 кВ. Радиальные схемы ГВ обладают большой гибкостью и удобствами в эксплуатации по сравнению с магистральными, т.к. повреждения или ремонт одной линии или трансформатора не отражается на работе других ПС.

Схемы ГВ при максимальной простоте и дешевизне не уступают по надежности схемам централизованного электроснабжения. Они применимы для потребителей любых категорий.

16. Классификация систем электроснабжения городов по степени сложности

В зависимости от степени сложности СЭС городов разделяются на три вида.

I Система электроснабжения малого города

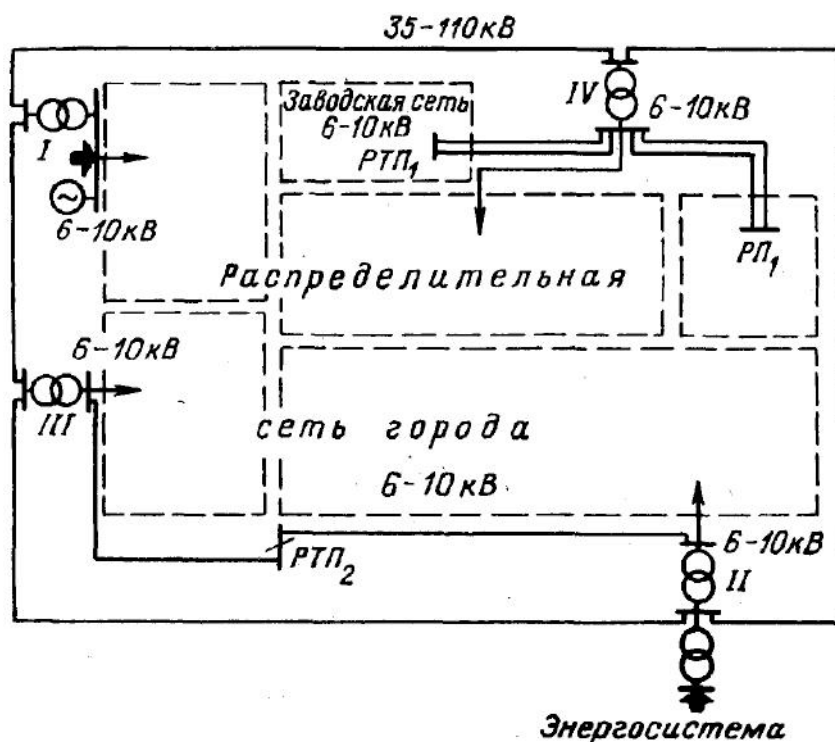


Для электроснабжения города предусматриваются местная электростанция *I* и районная подстанция *II*, питающаяся от энергосистемы. Обычно указанные источники питания служат также для электроснабжения промышленных предприятий, расположенных поблизости от города. Питание городских потребителей осуществляется с помощью распределительных сетей напряжением 6-10 кВ и 0,4 кВ, которые опираются на источники *I* и *II*. Распределительная сеть 6-10 кВ выполняется по петлевой схеме; в нормальном режиме петли разомкнуты. Трансформаторные подстанции с трансформаторами различной мощности питают распределительную сеть 0,4 кВ (сеть общего пользования), схема построения которой зависит от характера потребителей. Для питания промышленных предприятий коммунально-бытовых потребителей могут предусматриваться самостоятельные подстанции (ТП), не связанные с сетью общего пользования. В зависимости от ответственности потребителя ТП могут быть автоматизированы, т. е. снабжены устройствами для автоматического переключения питания потребителя на резервную линию при внезапном выходе из работы основной линии. Для

осуществления параллельной работы электростанции города с энергосистемой предусматривается специальная связь, данном случае на генераторном напряжении 6-10 кВ. По местным условиям понижающая подстанция может совмещаться с электростанцией или вообще отсутствовать. Рассматриваемая система электроснабжения характеризуется наличием сетей только двух напряжений, в частности распределительных сетей 6-10 и 0,4 кВ. Учитывая, что распределительная сеть 0,4 кВ - обязательный элемент любой системы электроснабжения, в дальнейшем будем различать системы питания города только по числу используемых сетей напряжением выше 1000 В. Так, вышеуказанная система называется системой электроснабжения с одним высоким напряжением (6-10 кВ).

II Система электроснабжения среднего города

По мере увеличения размеров города распределительная сеть 6-10 кВ становится недостаточной для охвата всех потребителей, расположенных на его территории. В СЭС вводятся дополнительные элементы: питающая сеть 6-10 кВ и сети более высоких напряжений.



Здесь основные источники питания - электростанция I, расположенная на

территории города, и районная подстанция **II**, связанная с энергосистемой. Сеть 35-110 кВ выполняется в данном случае в виде кольца, охватывающего город, по периметру которого располагаются дополнительные подстанции **III** и **IV** напряжением 35-110 кВ. Электроснабжающая сеть 35-110 кВ предусмотрена не только для питания города, ее помощью осуществляется также параллельная работа городских электростанций с энергосистемой, т. е. указанная сеть является одновременно и элементом энергосистемы.

Параметры и режимы работы этой сети определяются, с одной стороны, обменом мощностью между городскими станциями и энергосистемой и с другой - условиями питания городских подстанций 35-110 кВ.

В зависимости от местных условий сеть 35-110 кВ может выполняться иной конфигурации и по иным схемам.

На подстанции **II** предусматривается понижение напряжения сети энергосистемы до 35-110 кВ. Если напряжение сети энергосистемы совпадает с напряжением кольца, т. е. составляет 35-110 кВ, на подстанции предусматривается установка только трансформаторов со вторичным напряжением 6-10 кВ для питания потребителей, расположенных в районе города, прилегающем к подстанции.

В зависимости от размеров и условий города энергосистема может быть связана непосредственно и с другими подстанциями, в данном случае с подстанциями **III,IV**. Мощности понижающих подстанций достаточно разнообразны и для рассматриваемой группы городов находятся в пределах 5-25 МВА.

В схему распределительных сетей 6-10 кВ может вводиться дополнительный элемент - питающие линии и распределительные пункты РП1 с проходной мощностью 3-10 МВА. Распределительные сети строятся по схеме, обеспечивающей большую надежность электроснабжения потребителей, и имеют необходимое число автоматических устройств для резервирования их питания.

Потребителями электроэнергии города являются также крупные

промышленные предприятия, электроснабжение которых осуществляется отдельными питающими линиями 6-10 кВ и трансформаторными распределительными подстанциями РТП1.

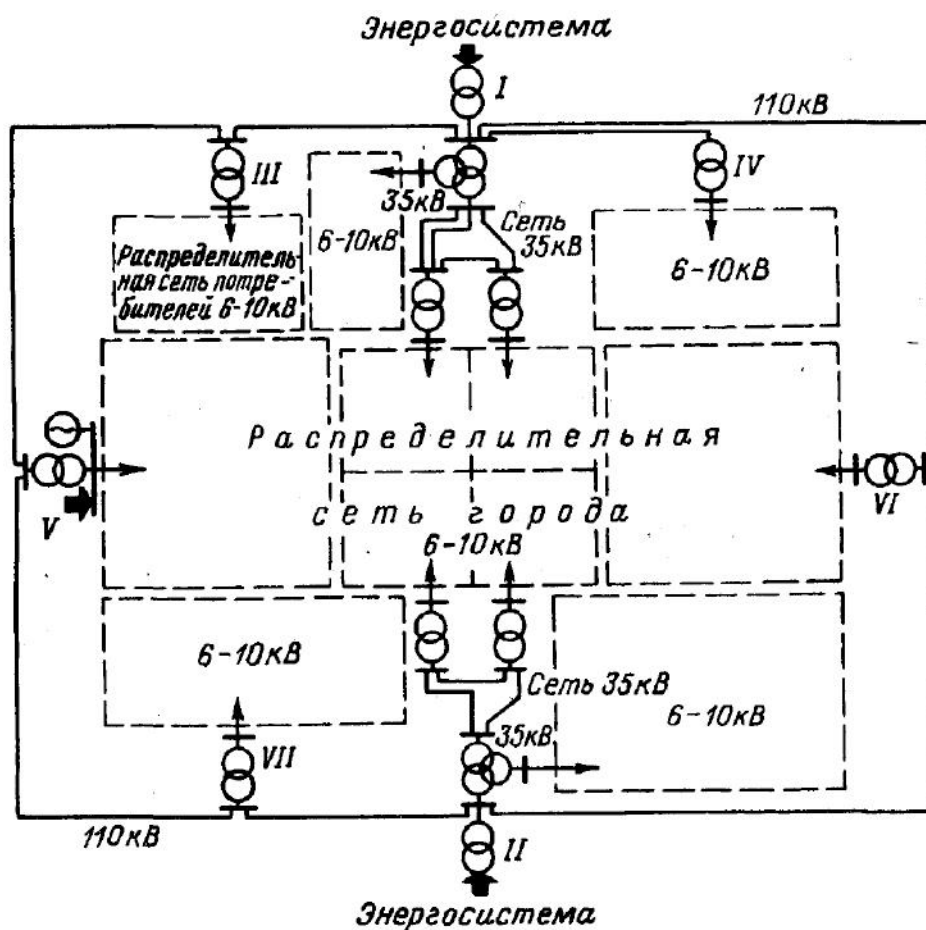
От РТП1 производится питание заводской распределительной сети 6-10 кВ.

Аналогично электроснабжение крупных коммунальных предприятий, как, например, главной водопроводной станции и трамвайных подстанций, относящихся, как правило, к электроприемникам первой категории, также осуществляется с помощью самостоятельных питающих сетей 6-10 кВ, связанных с разными источниками питания (РТП2).

Эта система может быть названа по числу использованных сетей высокого напряжения системой двух напряжений (35-110 и 6-10 кВ).

III Система электроснабжения крупного города

По мере дальнейшего увеличения размеров города в систему его электроснабжения может быть введено дополнительное напряжение, иначе говоря, использована *система трех напряжений (110 кВ, 35 кВ, 6-10 кВ)*. Эта система в отличие от предыдущей характеризуется большим числом и мощностью источников питания. Например, мощность понижающих подстанций 110 кВ *I* и *II*, связанных с энергосистемой, возрастает до 50-100 МВА и более, большее развитие получают сети 110 кВ. Электроснабжение центральных районов города осуществляется за счет сетей промежуточного напряжения 35 кВ и городских подстанций 35/6-10 кВ. Сеть 35 кВ выполняется, как правило, по радиальной резервируемой схеме. Подстанции 35/6-10 кВ имеют развитые распределительные устройства (РУ) 35 кВ, мощность подстанции может достигать до 30-40 МВА в зависимости от размеров города. В зависимости от мощности ПС выполняются при напряжении 110 кВ (*IV*, рис.). Выполнение остальных элементов системы аналогично рассмотренному выше. Распределительная сеть 6-10 кВ характеризуется еще большей степенью автоматизации. Электроснабжение крупных промышленных потребителей может осуществляться при более высоких напряжениях, чем 6-10 кВ.



Например, на рис. приведена подстанция **III** крупного предприятия, питание которой производится непосредственно от сети 110 кВ. Параметры электроснабжающей сети 110 кВ между подстанциями **I** и **II** определяются только условиями питания потребителей города, т. е. нагрузкой ПС **VI**. С другой стороны, следует учитывать возможность параллельной работы энергосистемы с электростанцией **V**. Также появляются городские распределительные сети, питающие и распределительные сети крупных потребителей города (заводы, фабрики, тяговые подстанции и т. д.). Из рассмотренного следует, что основные показатели системы электроснабжения города определяются его размерами, условиями энергосистемы, характеристиками потребителей и другими местными особенностями (*климат*).

Что касается перспектив развития рассматриваемых систем, то в соответствии с действующими нормами рекомендуется ликвидировать существующие сети 35 кВ путем соответствующего развития сетей 110-220 кВ,

а также повсеместно перевести распределительные сети 6 кВ на напряжение 10 кВ с использованием установленного оборудования и кабельных линий 6 кВ.

Указанные рекомендации направлены на ликвидацию в системах электроснабжения городов лишних ступеней трансформации электроэнергии и приведение систем к виду 110-220/10/0,4 кВ.

Соответственно делению сетей можно различать следующие понижающие подстанции: первичные или опорные (*I,II*), соединяющие энергосистему и электростанции; понижающие подстанции (*V,VI,VII*) и подстанции глубокого ввода (*IV*); вторичные подстанции промежуточного напряжения 35 кВ (при их наличии).

Параметры, схемы и конструктивное выполнение указанных ПС определяются их местом в системе электроснабжения города. Наиболее простые - подстанции глубокого ввода (*IV*), более сложные и мощные - первичные подстанции (*I,II*).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целями данного учебного пособия «Системы электроснабжения промышленных объектов и городов» являются формирование систематических знаний по проектированию и эксплуатации комплексных систем электроснабжения (СЭС) промышленных объектов, городов, формирование понимания современных методов и научных разработок, связанных с исследованием и развитием систем электроснабжения.

Эти знания позволят магистрантам и слушателям курсов повышения квалификации в области энергосбережения и повышения энергоэффективности успешно решать задачи в профессиональной деятельности, связанной с функционированием систем электроснабжения, в научно-исследовательской деятельности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудрин Б.И. Системы электроснабжения [Текст] : учеб. пособие. : рек. УМО / Б. И. Кудрин. – М.: Издат. центр Академия, 2011. - 352 с.
2. Основы современной энергетики. Часть 2. Современная электроэнергетика : Учеб. : рек. Мин. обр. РФ/ под ред. Е.В. Аметистова. – М.: Издат. дом МЭИ, 2010. – 632 с.-(ЭБ НЭЛБУК)
3. Фортов, В. Е. Энергетика в современном мире [Текст] / В. Е. Фортов, О. С. Попель. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 168 с.
4. Коробов Г.В. Электроснабжение. Курсовое проектирование [Текст] : учеб.пособие / Г. В. Коробов, В. В. Картавцев, Н. А. Черемисинова. – М.: Издат. дом МЭИ, 2011. - 192 с.- (ЭБС Лань)
5. Справочник по энергоснабжению и электрооборудованию предприятий и общественных зданий [Текст] / ред. С. И. Гамазин, Б. И. Кудрин, С. А. Цырук. – М.: Издат. дом МЭИ, 2010. – 745 с.
6. Алиев, И.И. Электротехника и электрооборудование : справ./ И. И. Алиев. -М.: Высш. шк., 2010. -1199 с.
7. Кужеков, С.Л. Практическое пособие по электрическим сетям и электрооборудованию [Текст] / С. Л. Кужеков, С. В. Гончаров. - 3-е изд. - Ростов н/Д : Феникс, 2009. - 493 с. : ил. - (Профессиональное мастерство). - Библиогр. : с. 480.
8. Справочник по проектированию электрических сетей [Текст] / под ред. Д. Л. Файбисовича. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : ЭНАС, 2009. - 391 с.- (ЭБС Лань).
9. Ополева, Г. Н. Схемы и подстанции электроснабжения [Текст] : справ.: учеб. пособие: рек. УМО / Г. Н. Ополева. - М. : ФОРУМ : ИНФРА - М, 2006. - 480 с. : рис., табл. - Библиогр.: с. 473 .
10. Буре А.Б. Компенсация реактивной мощности и выбор фильтрующих устройств в сетях промышленных предприятий : учеб. пособие/ А. Б. Буре, И. А. Мосичева. -М.: Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2004. -28 с.

11. Гремяков, Андрей Андреевич. Автоматизация расчетов систем электроснабжения [Текст] : лаборатор. практикум: учеб.пособие / А. А. Гремяков. - М. : Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2004. - 47 с. : рис., табл.
12. Электротехнический справочник : В 4 т./ Под общ.ред. В.Г. Герасимов, Под общ. ред. А.Ф. Дьяков, Под общ. ред. Н.Ф. Ильинский, Гл. ред. А.И. Попов Т. 3 : Производство, передача и распределение электрической энергии : справочное издание. -2009. -964 с.-(ЭБ НЭЛБУК)
13. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов : Учеб. пособие/ Е.А.Конюхова. - М.: Мастерство, 2002. -319 с.
14. Липкин, Борис Юльевич. Электроснабжение промышленных предприятий и установок [Текст] : учеб. / Б. Ю. Липкин. – М.: Высшая школа, 1990. - 368 с.
15. Справочник по проектированию электроснабжения/ под ред. Ю. Г. Барыбина [и др.]. -М.: Энергоатомиздат, 1990. -576 с.
16. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования / под ред. Ю. Г. Барыбина [и др.]. -М.: Энергоатомиздат, 1991. - 464 с.
17. Федоров А.А., Старкова Л.Е. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий: Учеб. пособ. для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 368 с.
18. В.А. Козлов. Электроснабжение городов. - Л.: Энергоатомиздат, 1988, 264с.
19. В.А. Козлов, Н.И. Билин, Д.Л. Файбисович. Справочник по проектированию электроснабжения городов. - Л.: Энергоатомиздат, 1986, 256с.
20. РД 34.20.185-94. Инструкция по проектированию городских электрических сетей. Министерство топлива и энергетики Российской Федерации. – М., 1999. 32 с.
21. Нормативы для определения расчетных электрических нагрузок зданий (квартир), коттеджей, микрорайонов (кварталов) застройки и элементов городской распределительной сети. Министерство топлива и энергетики Российской Федерации. – М., 1999. 12 с.

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Мясоедов Юрий Викторович,

профессор кафедры энергетики АмГУ, канд. техн. наук.

Системы электроснабжения промышленных объектов и городов.

Учебное пособие.

Издательство АмГУ. Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 7,88. Заказ 581