

О.Е. Паюсова

Электроснабжение и электрооборудование подстанций



2009

Содержание

| | |
|--|----|
| Введение | 3 |
| 1. Источники питания и пункты приема электрической энергии ... | 3 |
| 2. Основные сведения о схемах электроснабжения | 7 |
| 3. Выбор напряжения питающих и распределительных сетей | |
| 3.1. Рекомендации по выбору напряжения питающих сетей промышленных предприятий | 13 |
| 3.2. Рекомендации по выбору напряжений распределительных сетей высокого напряжения | 13 |
| 3.3. Рекомендации по выбору напряжения в электрических сетях до 1 кВ | 14 |
| 3.4. Рекомендации по выбору напряжения осветительных сетей | 16 |
| 4. Схемы внешнего электроснабжения | 17 |
| 5. Глубокие вводы 35 – 220 кВ | 21 |
| 6. Схемы распределения электроэнергии в сетях 10(6) кВ | 23 |
| 6.1. Схемы питания распределительных пунктов 10(6) кВ | 24 |
| 6.2. Схемы питания трансформаторных подстанций и электроприемников напряжением 10(6) кВ | 26 |
| 6.3. Схемы питания различных групп потребителей (нелинейных, резкопеременных, несимметричных) | 29 |
| 7. Схемы силовых и осветительных сетей | |
| 7.1. Схемы силовых сетей | 30 |
| 7.2. Схемы сетей электрического освещения | 32 |
| 7.3. Питающая и распределительная сети освещения | 34 |
| 8. Подстанции систем электроснабжения | |
| 8.1. Классификация подстанций | 35 |
| 8.2. Структурные схемы трансформаторных подстанций | 37 |
| 9. Распределительные устройства напряжением 6 – 220 кВ | |
| 9.1. Основные элементы распределительных устройств | 38 |
| 9.2. Комплектные распределительные устройства напряжением 6 – 35 кВ | 40 |
| 9.3. Комплектные распределительные устройства стационарного исполнения внутренней установки напряжением 10(6) кВ | 42 |
| 9.4. Комплектные распределительные устройства серии КРУ/TEL ... | 44 |
| 9.5. Комплектные распределительные устройства выкатного исполнения внутренней установки напряжением 10(6) кВ | 45 |
| 9.6. Распределительные устройства 6 – 20 кВ | 52 |
| 9.7. Комплектные распределительные устройства с элегазовой изоляцияй напряжением 110 кВ и выше | 55 |
| 10. Схемы распределительных устройств напряжением 6 – 220 кВ со сборными шинами. Распределительные подстанции | 59 |
| 11. Ограничители перенапряжений нелинейные | 80 |
| 12. Системы заземления электроустановок | 93 |
| Список использованных источников | 98 |

Введение

Разработанные новые материалы и технологии производства позволили создать более совершенные электротехнические устройства, которые по своим характеристикам значительно превосходят ранее созданные, значительно повышают надежность и качество электроустановок, позволяют совершенствовать компоновки распределительных устройств и подстанций, сокращать занимаемую ими площадь, обеспечивают удобство эксплуатации, увеличивают продолжительность межремонтного периода.

За последние годы были освоены и внедрены в производство:

- комплектные распределительные устройства с элегазовой изоляцией напряжением 110 кВ и выше;
- комплектные распределительные устройства выкатного исполнения напряжением 35 кВ;
- комплектные распределительные устройства напряжением 6-20 кВ принципиально новых модульных конструкций (КРУ/TEL, КСО «Аврора» и др.);
- моноблоки с элегазовой изоляцией напряжением 6-20 кВ;
- «реклоузеры» напряжением 6-10 кВ;
- комплектные трансформаторные подстанции модульного типа напряжением до 35 кВ включительно;
- комплектные трансформаторные подстанции в бетонной оболочке напряжением 10(6) кВ;
- кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена напряжением до 500 кВ;
- воздушные линии электропередачи напряжением до 1 кВ с самонесущими изолированными проводами;
- линии с изолированными проводами напряжением 6-10 кВ.

Сегодня в распределительных устройствах всех напряжений применяются более совершенные вакуумные и элегазовые выключатели, измерительные трансформаторы тока и напряжения новых конструкций на основе литой, полимерной и элегазовой изоляции, современные антиферрорезонансные трансформаторы напряжения, ограничители перенапряжений в фарфоровых и полимерных покрышках. Все это отражено в данном пособии.

1. Источники питания и пункты приема электрической энергии

Основными источниками питания большинства предприятий являются электростанции (в том числе шины генераторного напряжения), собственные ТЭЦ и районные подстанции энергосистем. Выбор независимых источников питания осуществляет энергоснабжающая организация, которая в технических условиях на присоединение указывает их характеристики.

С начала 90-х годов в энергосистемах наметилась тенденция питания

потребителей с шин районных подстанций на напряжениях 110-220 кВ. Это диктуется стремлением гальванически развязать сети генераторов и потребителей для исключения влияния различного рода повреждений в сети потребителя на работу генераторов. На многих строящихся электростанциях вообще не предусматриваются распределительные устройства 6,10 и 35 кВ, предназначенные для потребителей электроэнергии, вся мощность передается на напряжениях 110 и 220 кВ к ближайшим районным подстанциям. Строительство собственных ТЭЦ на предприятиях тоже считается невыгодным. Такие решения экономически оправданы для энергокомпаний, но могут существенно снизить надежность электроснабжения потребителей.

В соответствии с нормативными требованиями, определенными в ПУЭ, питание потребителей первой категории допускается производить от двух секций или систем шин одной районной подстанции. В настоящее время это широко используется при проектировании многих промышленных предприятий, но является недостаточно надежным. Разработчику проекта электроснабжения следует обратить особое внимание на следующие факторы, определяющие бесперебойность питания электроприемников при аварийном отключении одного из независимых источников питания:

- установившееся значение напряжения на оставшемся источнике питания в послеаварийном режиме должно быть не менее 0,9 номинального напряжения;
- при аварийном отключении одного из источников питания и действии релейной защиты и автоматики на оставшемся источнике питания может иметь место кратковременное снижение напряжения. Если значение провала напряжения и его продолжительность таковы, что вызывают отключение электроприемников на оставшемся источнике питания, то эти источники питания не могут считаться независимыми. Значение оставшегося напряжения на резервирующем источнике питания должно быть не менее 0,7 номинального напряжения.

Для повышения надежности электроснабжения предприятий с потребителями первой категории большой мощности необходимо предусматривать два территориально независимых источника питания.

Число независимых источников питания, обеспечивающих электроснабжение предприятия с электроприемниками первой и второй категорий, может быть больше двух (при обосновании), например, при протяженных линиях электропередачи, прокладываемых в неблагоприятных условиях, при недостаточной надежности одного из независимых источников питания и т.д.

Сооружение собственных электростанций (ТЭЦ, ТЭС) целесообразно при следующих обстоятельствах:

- при значительной потребности предприятия в паре и горячей воде;
- при наличии на предприятии отходного топлива (газа и т.п.) и возможности его использования для электростанции;
- при значительной удаленности или недостаточной мощности

энергосистемы;

- при наличии особых групп электроприемников с повышенными требованиями к бесперебойности питания, когда собственный источник питания необходим для резервирования электроснабжения.

Мощность собственного источника питания зависит от его назначения и может колебаться в очень широких пределах. Размещение собственной электростанции определяется общей схемой электроснабжения и теплоснабжения предприятия. Неудачное ее расположение может привести к удлинению и удорожанию электрических и тепловых сетей.

Электростанция, используемая в качестве собственного источника питания, должна быть электрически связана с ближайшими электрическими сетями энергосистемы. Связь может осуществляться либо непосредственно на генераторном напряжении, либо на повышенном напряжении через трансформаторы связи.

От источника питания электроэнергия поступает на пункт приема электроэнергии – электроустановку, служащую для приема электроэнергии от источника питания и распределяющую (или преобразующую и распределяющую) ее между отдельными цехами и потребителями электроэнергии. Число пунктов приема и их вид зависят от мощности предприятия, территориального расположения нагрузок, требований надежности электроснабжения, очередности строительства предприятия и других факторов.

На промышленных предприятиях пунктами приема электроэнергии могут быть:

- узловые распределительные подстанции напряжением 110 кВ и выше, предназначенные для распределения электроэнергии на крупных предприятиях между подстанциями глубокого ввода;
- главные понизительные подстанции напряжением 35 кВ и выше (одна или несколько);
- подстанции глубокого ввода 35 кВ и выше в случаях, когда их питание осуществляется от подстанций энергосистемы;
- центральные распределительные подстанции или распределительные подстанции при одинаковом напряжении питающей и распределительной сетей предприятия;
- трансформаторные подстанции (ТП) напряжением 6 – 20 кВ на предприятиях с небольшой электрической нагрузкой.

Условно все предприятия в зависимости от суммарной установленной мощности электроприемников можно разделить на три группы:

- крупные – установленная мощность более 75 МВт;
- средние – установленная мощность от 5 до 75 МВт;
- малые – установленная мощность до 5 МВт.

Для крупных энергоемких предприятий с электрической нагрузкой порядка 100-150 МВт и выше в качестве пунктов приема электроэнергии могут быть использованы узловые распределительные подстанции напряжением 110-500 кВ. целесообразность сооружения УРП

рассматривается совместно с энергоснабжающей организацией в случаях, когда на проектируемом предприятии намечается сооружение нескольких ГПП или ПГВ. При этом учитывается возможность питания от узловых распределительных подстанций других промышленных предприятий и прочих объектов, размещаемых в данном районе. В большинстве случаев узловые распределительные подстанции напряжением 220-500 кВ совмещаются с трансформаторными подстанциями 220-500/110-220 кВ. УРП осуществляют прием и распределение электроэнергии на напряжениях 220-500 кВ, а трансформаторная подстанция – частичную трансформацию электроэнергии и распределение ее по промышленному предприятию и другим потребителям напряжением 110-220 кВ.

При напряжении питающей сети энергосистемы 110 или 220 кВ и целесообразности сооружения узловых распределительных подстанций для питания нескольких ГПП или ПГВ, функции УРП – прием и распределение электроэнергии на напряжении 110-220 кВ без ее трансформации.

Узловые распределительные подстанции чаще всего находятся в ведении энергоснабжающей организации, поэтому они размещаются, как правило, вне площадки промышленного предприятия, но в непосредственной близости от него. В тех случаях, когда узловые распределительные подстанции предназначаются для питания нескольких подстанций глубокого ввода одного предприятия, может быть рассмотрена возможность размещения узловых распределительных подстанций на территории предприятия. В этом случае эксплуатация должна осуществляться персоналом промышленного предприятия.

Для предприятий с электрической нагрузкой, составляющей десятки мегаватт, пунктами приема электроэнергии могут быть главные понизительные подстанции, подстанции глубокого ввода, распределительные подстанции 10(6) кВ.

Число пунктов приема электроэнергии на промышленном предприятии определяется рядом факторов. Системы электроснабжения с одним приемным пунктом следует применять, как правило, при отсутствии специальных требований к надежности питания и при компактном расположении нагрузок.

Системы электроснабжения с двумя пунктами приема следует применять:

- при повышенных требованиях к надежности питания электроприемников первой категории;
- при наличии на объекте двух или более относительно мощных и обособленных групп потребителей;
- при поэтапном развитии предприятия в тех случаях, когда для питания нагрузок второй очереди целесообразно сооружение отдельного приемного пункта электроэнергии;
- при экономической целесообразности.

Системы электроснабжения с тремя и более приемными пунктами требуют технико-экономического обоснования.

2. Основные сведения о схемах электроснабжения

Схемы электроснабжения промышленных предприятий должны разрабатываться с учетом следующих основных принципов:

- источники питания должны быть максимально приближены к потребителям электрической энергии;
- число ступеней трансформации и распределения электрической энергии на каждом напряжении должно быть по возможности минимальным;
- схемы электроснабжения и электрических соединений подстанций должны обеспечивать необходимые надежность электроснабжения и уровень резервирования;
- распределение электроэнергии рекомендуется осуществлять по магистральным схемам питания. Радиальные схемы могут применяться при соответствующем обосновании;
- схемы электроснабжения должны быть выполнены по блочному принципу с учетом технологической схемы предприятия. Питание электроприемников параллельных технологических линий следует осуществлять от разных секций шин подстанций, взаимосвязанные технологические агрегаты должны питаться от одной секции шин;
- все элементы электрической сети должны находиться под нагрузкой. Резервирование предусматривается в самой схеме электроснабжения путем перераспределения отключенных нагрузок между оставшимися в работе элементами схемы. При этом используется перегрузочная способность электрооборудования и, в отдельных случаях, отключение неотвеченных потребителей. Наличие резервных неработающих элементов сети должно быть обосновано;
- следует применять раздельную работу элементов системы электроснабжения: линий, секций шин, токопроводов, трансформаторов. В некоторых случаях, по согласованию с энергоснабжающей организацией, может быть допущена параллельная работа, например, при питании ударных резкопеременных нагрузок, если автоматическое включение резервного питания не обеспечивает необходимое быстродействие восстановления питания с точки зрения самопуска электродвигателей.

В схемах электроснабжения промышленных предприятий следует выделять схемы внешнего и внутреннего электроснабжения. К схемам внешнего электроснабжения относят электрические сети, связывающие источники питания предприятия с пунктами приема электроэнергии. К схемам внутреннего электроснабжения относят электрические сети от пунктов приема электроэнергии до электроприемников высокого и низкого напряжения.

Схемы электроснабжения промышленных предприятий, как правило, выполняются разомкнутыми и строятся по ступенчатому принципу. Число ступеней распределения электроэнергии на предприятии определяется мощностью и расположением электрических нагрузок на территории

предприятия. Обычно применяется не более двух степеней распределения электроэнергии на одном напряжении. При большем числе ступеней распределения ухудшаются технико-экономические показатели системы электроснабжения и усложняются условия эксплуатации. Распределение электроэнергии выполняется по радиальным, магистральным и смешанным схемам.

Радиальная схема – схема, в которой линия электропередачи соединяет подстанцию верхнего уровня с подстанцией нижнего уровня (или устройством распределения электроэнергии, приемником электроэнергии) без промежуточных отборов мощности, что показано на рисунке 1 *а*. Радиальные схемы просты, надежны, в большинстве случаев позволяют использовать упрощенные схемы первичной коммутации подстанции нижнего уровня. Аварийное отключение радиальной линии не отражается на потребителях электроэнергии, подключенных к другим линиям. К недостаткам радиальных схем можно отнести более высокую стоимость по сравнению с магистральными схемами, больший расход коммутационной аппаратуры и цветных металлов.

Радиальные схемы следует применять:

- при сосредоточенных нагрузках;
- для питания мощных электроприемников с нелинейными, резко переменными, ударными нагрузками, отрицательно влияющими на качество электрической энергии;
- при повышенных требованиях к надежности электроснабжения.

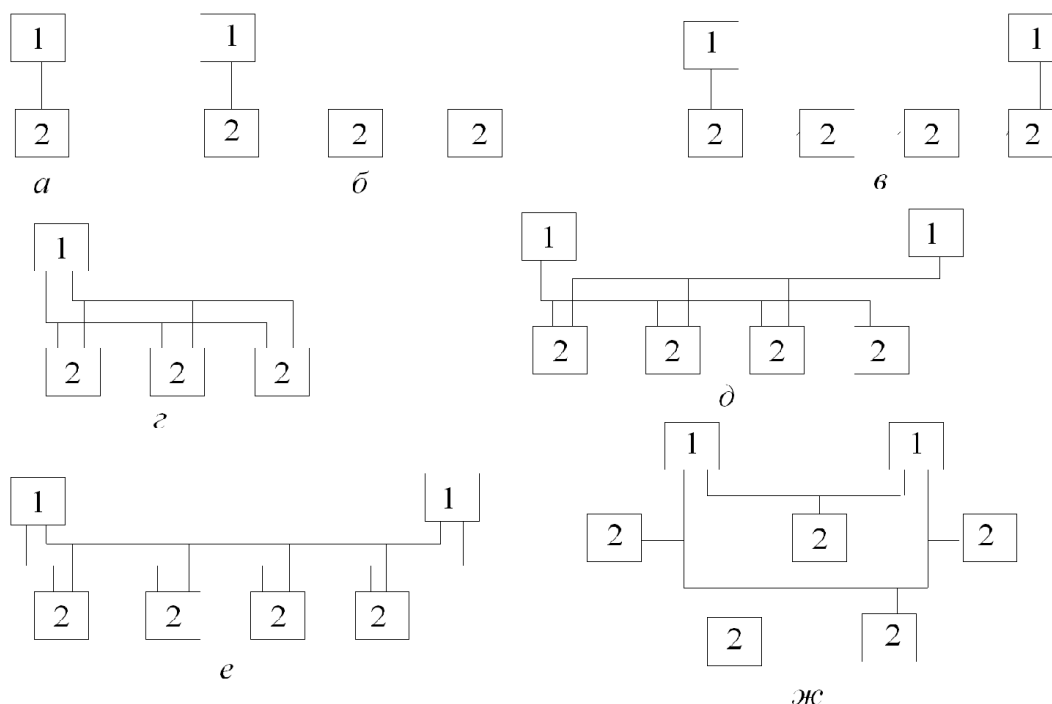


Рисунок 1 – Схемы распределения электрической энергии: 1 – подстанция верхнего уровня; 2 – подстанция нижнего уровня; *а* – радиальная; *б* – одиночная магистраль с односторонним питанием; *в* – одиночная магистраль с двухсторонним питанием; *г* – двойная магистраль с односторонним питанием; *д*, *е* – двойные магистрали с двухсторонним питанием; *ж* – кольцевая

При магистральной схеме от подстанции верхнего уровня питаются по одной линии электропередачи (магистрала) несколько подстанций нижнего уровня (или устройств распределения электроэнергии). Преимуществами магистральных схем являются лучшая загрузка магистральных линий по току, меньшее число коммутационной аппаратуры, уменьшение расхода цветных металлов и затрат на выполнение электрических схем. К недостаткам можно отнести усложнение схем первичной коммутации подстанций нижнего уровня, более сложные схемы релейной защиты, низкую надежность электроснабжения.

Магистральные схемы распределения электроэнергии следует применять при распределенных нагрузках и при взаимном расположении подстанций (ПГВ, РП, ТП) на территории проектируемого объекта, когда магистрали могут быть проложены без значительных обратных направлений.

Магистральные схемы можно разделить, как показано на рисунке 1, б-ж :

- на одиночные магистрали с односторонним питанием;
- на одиночные магистрали с двухсторонним питанием;
- на двойные магистрали с односторонним питанием;
- на двойные магистрали с двухсторонним питанием;
- на кольцевые.

Выбор схемы зависит от территориального размещения нагрузок, их значения, необходимой степени надежности электроснабжения и других особенностей проектируемого предприятия.

Схему электроснабжения промышленного предприятия проще всего представить в виде структурной схемы электроснабжения, на которой прямоугольниками показаны источники питания, подстанции и другие устройства распределения электрической энергии с электрическими связями между ними.

На рисунке 2 представлена структурная схема электроснабжения крупного промышленного предприятия, получающего электрическую энергию от двух источников питания (ИП1, ИП2) по линиям напряжением 110 кВ и выше. Пунктами приема электроэнергии служат узловые распределительные подстанции, от которых электроэнергия передается по радиальным и магистральным схемам к подстанциям глубокого ввода (первая ступень распределения электроэнергии). Такая схема, позволяющая максимально приблизить высшее напряжение непосредственно к электроустановкам потребителей, называется схемой глубокого ввода.

Второй ступенью распределения электроэнергии является сетевое звено от РУ 10(6) кВ подстанций глубокого ввода до трансформаторных подстанций или приемников электроэнергии напряжением 10(6) кВ. применение схем глубокого ввода позволяет во многих случаях отказаться от РП 10(6) кВ, что значительно упрощает схему распределения электроэнергии на этом напряжении.

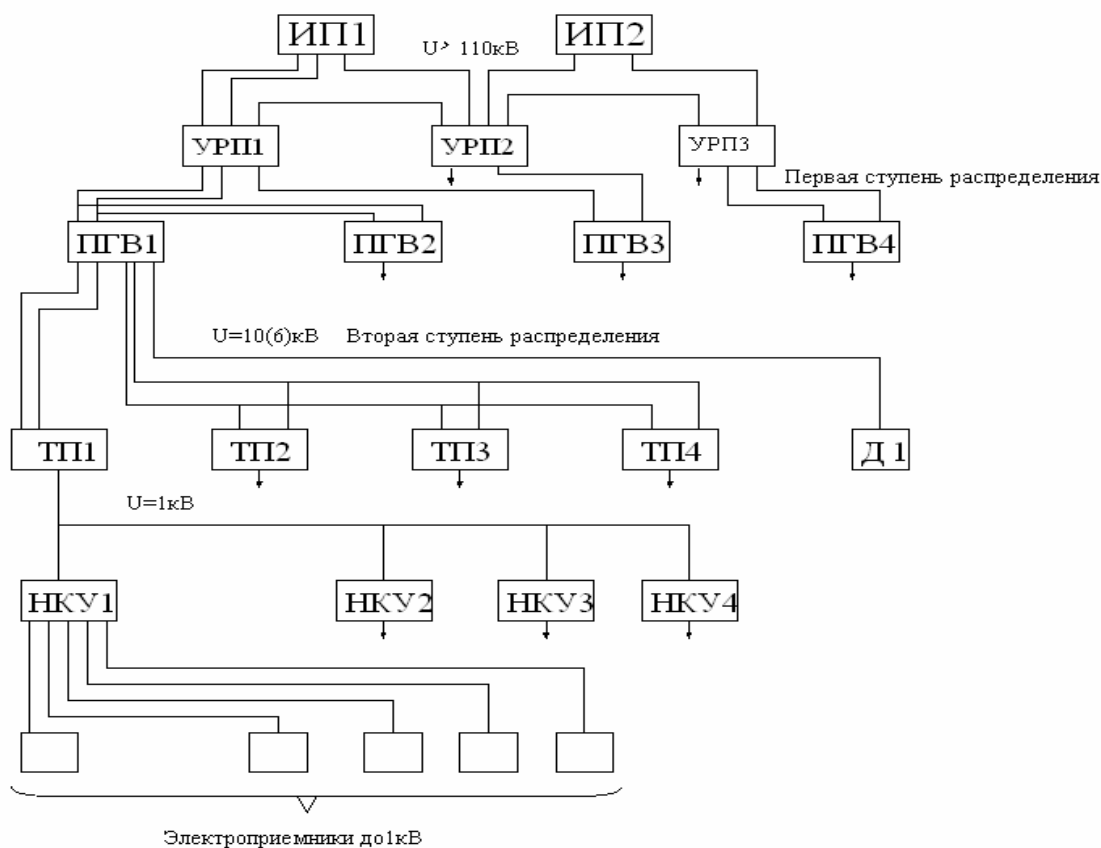


Рисунок 2 – Структурная схема электроснабжения крупного промышленного предприятия

С шин (напряжением 0,4-0,9 кВ) трансформаторных подстанций электрическая энергия поступает на низковольтные устройства распределения (НКУ), от которых получают питание приемники электрической энергии.

На рисунке 3 представлена структурная схема электроснабжения крупного промышленного предприятия, где объектами приема электроэнергии являются подстанции глубокого ввода. Схема распределения электроэнергии на напряжение 10(6) кВ без промежуточных РП будет одноступенчатой. Если возникает необходимость применения промежуточных РП 10(6)кВ, то распределение электроэнергии производится в две ступени: первая – от РУ 10(6) кВ подстанции глубокого ввода до РП; вторая – от РП 10(6) кВ до трансформаторных подстанций и электроприемников. Данная схема может применяться на крупных и средних предприятиях при наличии мощных сосредоточенных нагрузок.

Иной вариант построения схемы электроснабжения представлен на рисунке 4, где приемным пунктом является главная понизительная подстанция напряжением 35-110 кВ и выше. С шин РУ 10(6) кВ ГПП осуществляется питание всех потребителей промышленного предприятия. Распределение электроэнергии на напряжении 10(6) кВ производится, как правило, в две

ступени: первая ступень – от РУ 10(6) кВ ГПП до РП; вторая ступень – от РП 10(6) кВ до трансформаторных подстанций и приемников электроэнергии. Данная схема применяется в основном для предприятий средней мощности.

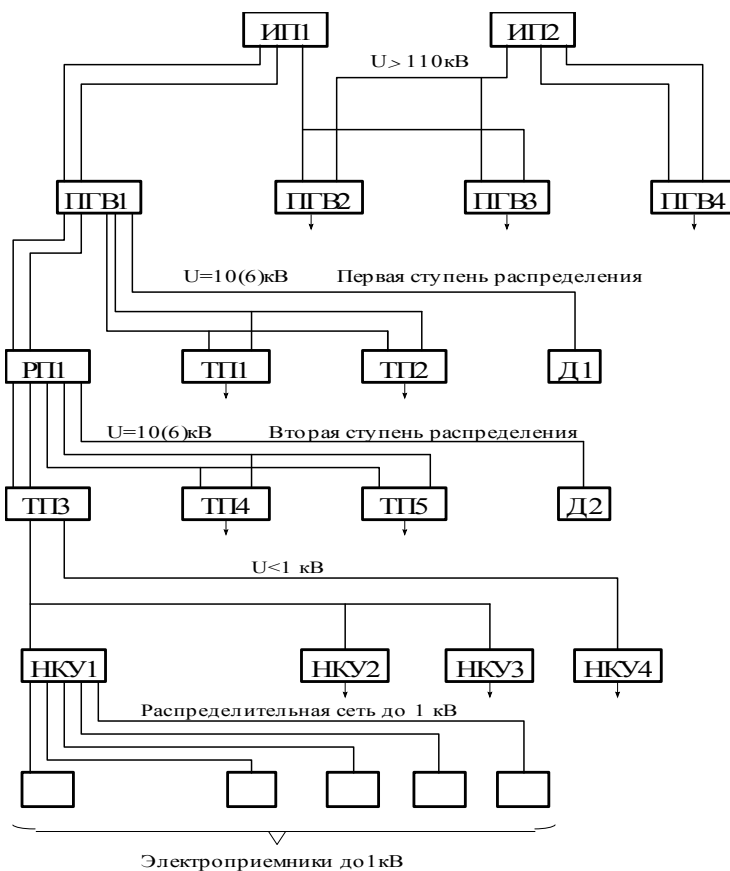


Рисунок 3 – Структурная схема электроснабжения крупного промышленного предприятия

Для крупных промышленных предприятий в схемах, где пунктом приема электроэнергии является главная понизительная подстанция, распределение электрической энергии может производиться на двух напряжениях 110(35) кВ и 10(6) кВ или в качестве приемных пунктов электроэнергии выступают одновременно ГПП и ПГВ.

При наличии на предприятии собственной электростанции или при незначительном удалении предприятия от источника питания питающая сеть выполняется на напряжение 10(6) кВ. В этом случае приемным пунктом электроэнергии служит, как правило, центральная распределительная подстанция 10(6) кВ, что показано на рисунке 5, или одна или несколько распределительных подстанций предприятий. Примером может служить схема электроснабжения Усть-Илимского целлюлозно-бумажного комбината. Где источниками питания служат шины генераторного напряжения 10 кВ ТЭЦ и ТЭС, а электрическая энергия распределяется на территории комбината по двум двухцепным токопроводам 10 кВ.

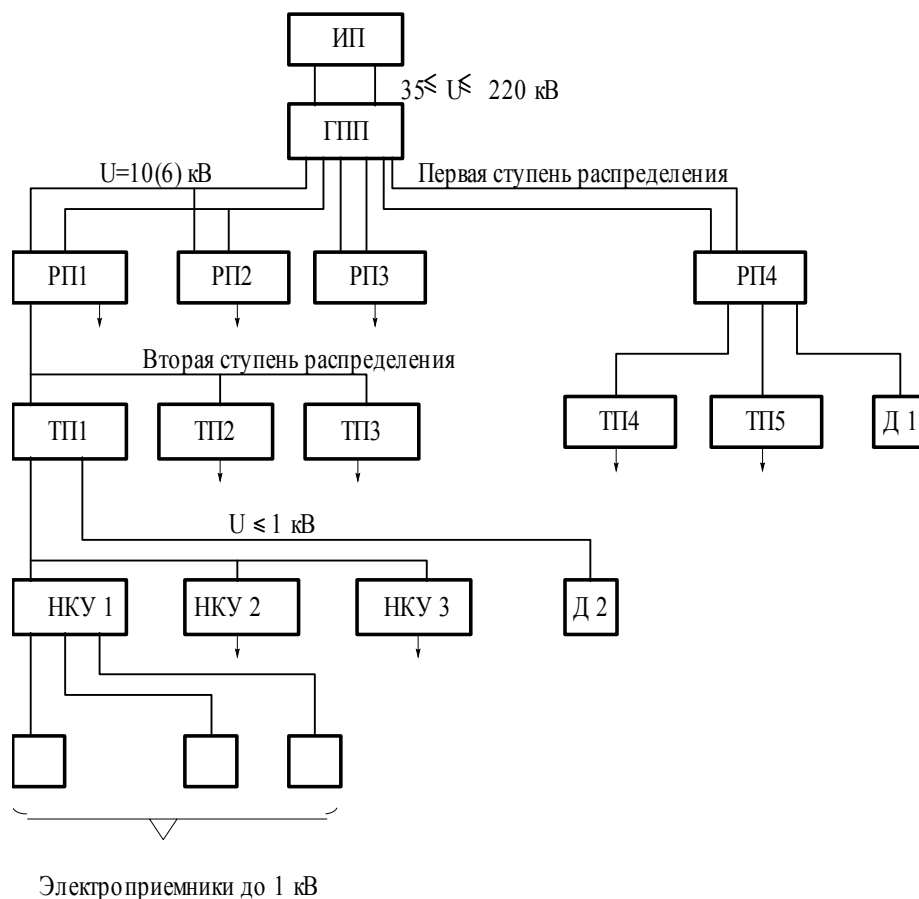


Рисунок 4 – Структурная схема электроснабжения промышленного предприятия средней мощности с главной понизительной подстанцией

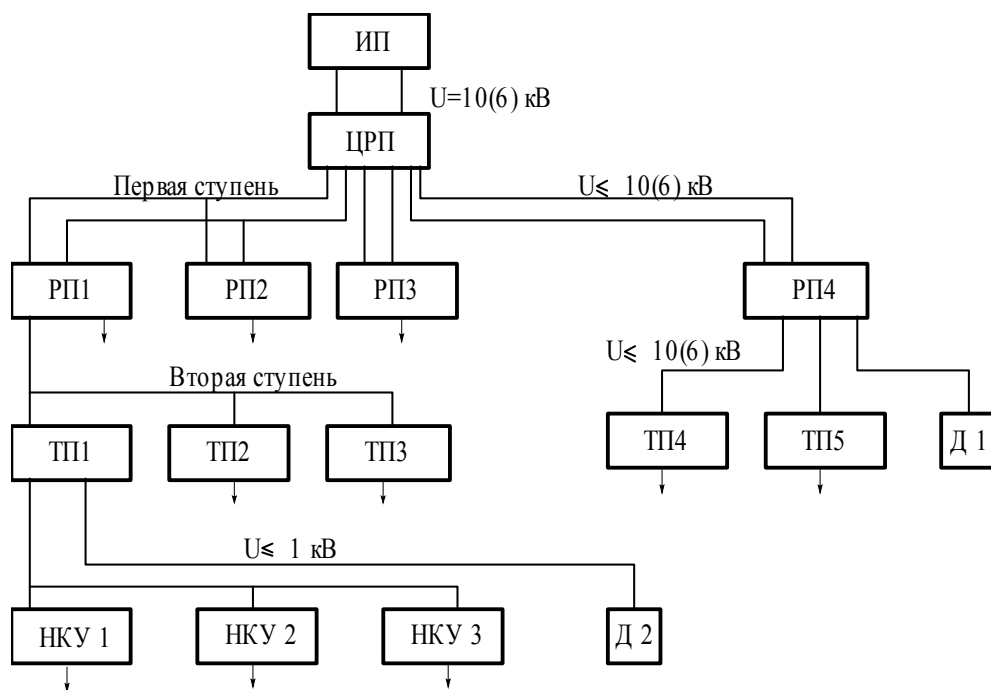


Рисунок 5 – Структурная схема электроснабжения промышленного предприятия средней мощности с центральной распределительной подстанцией

3. Выбор напряжения питающих и распределительных сетей

Выбор напряжения питающих сетей зависит от напряжений сетей энергосистемы в данном районе, от мощности, потребляемой предприятием, его удаленности от источника питания, числа и мощности электроприемников (электродвигателей, электропечей, преобразователей и пр.). При неоднозначности выбора величины напряжения следует проводить технико-экономическое сравнение различных вариантов. При равенстве или незначительной разнице затрат (5-10%) предпочтение следует отдавать варианту с более высоким напряжением.

3.1 Рекомендации по выбору напряжения питающих сетей промышленных предприятий

Питание крупных энергоемких предприятий от сетей энергосистемы следует осуществлять на напряжении 110, 220 или 330 кВ. Напряжение 110 кВ – при потребляемой мощности 10-150 МВ·А, напряжение 220 кВ и выше целесообразно применять при потребляемой мощности более 120-150 МВ·А. Напряжение 35 кВ имеет экономические преимущества при передаваемой мощности не более 10 МВ·А. Его применение целесообразно для удаления насосных станций водозаборных сооружений промышленных предприятий, для распределения электроэнергии на предприятиях указанной мощности с помощью глубоких вводов в виде магистралей, к которым присоединяются трансформаторы 35/0,4 кВ или 35/10(6) кВ, а также для питания мощных электроприемников на предприятиях большой мощности.

Напряжение 10(6) кВ может быть использовано при питании предприятия от собственной электростанции, а также при небольшой потребляемой мощности и небольших расстояниях от предприятия до подстанции энергосистемы.

3.2 Рекомендации по выбору напряжений распределительных сетей высокого напряжения

Распределительную сеть энергоемкого производства при сооружении нескольких подстанций глубокого ввода и питания их от УРП рекомендуется выполнять следующим образом:

- первая ступень распределения электроэнергии на напряжении 110 кВ;
- вторая ступень распределения электроэнергии на напряжении 10 кВ.

напряжение 35 кВ в качестве распределительного может быть применено на энергоемком предприятии с мощными специфическими электроприемниками (электропечи, преобразовательные установки и др.), для которых целесообразно создание локальной сети 35 кВ, не являющейся сетью общего назначения. Питание этой сети осуществляется либо от трехобмоточных трансформаторов ГПП с обмоткой среднего напряжения 35 кВ, либо от специальных трансформаторов 110(330)/35 кВ.

Напряжение 10 кВ рекомендуется в качестве основного для

распределения электроэнергии по территории предприятия.

Использование напряжения в 6 кВ следует ограничивать и применять при следующих обстоятельствах:

- при питании предприятия от собственной электростанции на генераторном напряжении;
- при большом числе электродвигателей небольшой мощности (до 500 кВт);
- при реконструкции или расширении действующего предприятия, ранее запроектированного на данное напряжение.

При наличии на предприятии большого числа двигателей напряжением 6 кВ (более 20% суммарной потребляемой мощности) целесообразна установка на главной понизительной подстанции трансформаторов с расщепленной обмоткой 110/10(6) кВ. В этом случае на территории предприятия выполняются сети двух напряжений:

- 10 кВ – для питания трансформаторов 10/0,4 кВ;
- 6 кВ – для питания электродвигателей.

Если электродвигатели напряжением 6 кВ составляют менее 20% общего числа электродвигателей, целесообразна групповая установка трансформаторов 10/6 кВ. Использование в этом случае трансформаторов 110/10/6 кВ приведет к значительному завышению мощности трансформаторов, так как соотношение номинальных мощностей обмоток 100/50/50%. Если доля двигателей напряжением 6 кВ превышает 80% суммарной потребляемой мощности, то от выполнения сети 10 кВ можно отказаться.

В начале 60-х годов ГОСТом было введено напряжение 20 кВ. Применение этого напряжения во многих случаях может быть экономически оправданным для питающих и распределительных сетей предприятия, так как позволяет увеличить радиус обслуживания подстанций, уменьшить потери мощности, энергии, напряжения, сократить расход цветных металлов, в ряде случаев сократить число трансформаций напряжения. При проектировании напряжение 20 кВ, как правило, не рассматривается, так как фактически не налажен выпуск электрооборудования на это напряжение.

3.3 Рекомендации по выбору напряжения в электрических сетях до 1 кВ

Для распределения электроэнергии в электрических сетях переменного тока до 1 кВ могут применяться напряжения 380 и 660 В.

Напряжение 380 В получило широкое распространение на промышленных предприятиях с большим числом электродвигателей малой и средней мощности (200 кВт). Для питания двигателей мощностью выше 200 кВт используется напряжение 6 кВ. достоинством использования напряжения 380 В является возможность совместного питания силовой и осветительной нагрузки, к недостаткам можно отнести следующее:

- имеют место большие потери мощности, энергии, напряжения, особенно в протяженных электрических сетях;

- возникает необходимость использования распределительной сети напряжением 6 кВ при наличии на предприятии двигателей мощностью 200-630 кВт.

С 1962 г. напряжение 500 В было заменено на напряжение 660 В. Техничко-экономические расчеты показали целесообразность применения напряжения 660 В. Переход на напряжение 660 В дает следующие преимущества:

- повышается пропускная способность сети и уменьшаются потери энергии в ней;
- увеличивается радиус действия цеховых трансформаторных подстанций, что приводит к увеличению единичной мощности трансформаторов и, следовательно, сокращению числа линий и выключателей, питающих трансформаторную подстанцию;
- отпадает необходимость применения напряжения 6 кВ, что значительно упрощает схему электроснабжения;
- повышается предельная мощность двигателей за счет уменьшения тока статора двигателя, что дает экономию на стоимости двигателя и увеличение его КПД на 1,5-2%.

Напряжение 660 В находит применение во многих отраслях промышленности: горнодобывающей, металлургической химической, текстильной и др. При проектировании систем электроснабжения напряжение 660 В рекомендуется применять:

- при значительной протяженности сетей низкого напряжения;
- когда основную часть электроприемников составляют низковольтные нерегулируемые электродвигатели мощностью свыше 10 кВт;
- если поставщики технологического оборудования (станков, автоматических линий, прессов, термического и сварочного оборудования, кранов и т.д.) обеспечивают поставку комплектуемого электрооборудования и систем управления на напряжение 660 В.

При выборе напряжения 660 В возникает необходимость установки дополнительных трансформаторов 0,66/0,22 кВ и выполнения электрических сетей на напряжение 220 В для питания люминесцентных ламп, ламп накаливания, тиристорных преобразователей, установок контрольно-измерительных приборов и автоматики (КИПиА), средств автоматизации электродвигателей мощностью до 0,4 кВт и др. Необходимость устройства для одного объекта сетей напряжением 660 и 220 В снижает эффективность использования напряжения 660 В.

Выбор напряжения электрических сетей постоянного тока зависит от требований технологического процесса и величины тока. Для сетей, питающих электроприводы постоянного тока, используются напряжения 220 и 440 В. Для электроприводов постоянного тока с индивидуальными преобразователями используются и более высокие напряжения – 750 и 850 В. Для электролиза применяются напряжения 450 и 850 В.

3.4 Рекомендации по выбору напряжения осветительных сетей

Питание силовых и осветительных электроприемников при напряжении 380/220 В рекомендуется производить от общих трансформаторов при условии соблюдения требуемых норм по качеству электрической энергии.

Для питания осветительных электроприборов общего внутреннего и наружного освещения, как правило, должно применяться напряжение не выше 220 В переменного или постоянного тока. В помещениях без повышенной опасности напряжение 220 В может применяться для всех стационарно установленных осветительных приборов независимо от высоты их установки.

Напряжение 380 В для питания осветительных приборов общего внутреннего и наружного освещения может использоваться при соблюдении следующих условий:

- ввод в осветительный прибор и независимый, не встроенный в прибор, пускорегулирующий аппарат выполняется проводами или кабелем с изоляцией на напряжение не менее 660 В;
- ввод в осветительный прибор двух или трех проводов системы 660/380 В не допускается.

В устройствах освещения фасадов зданий, установленных ниже 2,5 м от поверхности земли или площадки обслуживания, может применяться напряжение до 380 В при степени защиты осветительных приборов не ниже IP54.

Для питания светильников местного стационарного освещения с лампами накаливания должны применяться напряжения: в помещениях без повышенной опасности – не выше 220 В, в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных – не выше 50 В. в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных допускается для светильников напряжения до 220 В, в этом случае должно быть предусмотрено защитное отключение линии при токе утечки до 30 мА или разделяющий трансформатор.

Для питания светильников местного освещения с люминесцентными лампами может применяться напряжение не выше 220 В. При этом в помещениях сырых, особо сырых, жарких и с химически активной средой применение люминесцентных ламп для местного освещения допускается только в арматуре специальной конструкции. Для питания переносных светильников в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных должно применяться напряжение не выше 50 В.

При особо неблагоприятных условиях: опасность поражения электрическим током обусловлена теснотой, неудобным положением работающего, возможностью соприкосновения с большими металлическими хорошо заземленными поверхностями (например, работа в котлах) и в наружных установках для питания ручных светильников, должно применяться напряжение не выше 12 В.

Переносные светильники, предназначенные для подвешивания, настольные, напольные и т.п. приравниваются к стационарным светильникам

местного стационарного освещения. Для переносных светильников, устанавливаемых на переставных стойках на высоте 2,5 м и более, допускается применять напряжение 380 В.

4. Схемы внешнего электроснабжения

Схемы внешнего электроснабжения в значительной степени зависят от характеристик источников питания, числа приемных пунктов, их размещения на территории предприятия, наличия собственной электростанции, мощных электроприемников с резкопеременными, нелинейными, несимметричными нагрузками. Электроснабжение потребителей при имеющейся собственной ТЭЦ достаточной мощности чаще всего осуществляется от шин генераторного напряжения 6 или 10 кВ. В некоторых случаях в схемах внешнего электроснабжения предусматриваются связи источников питания с потребителями на генераторном напряжении 10(6) кВ, особенно для предприятий большой мощности с потребителями первой и второй категорий. Это позволяет существенно повысить надежность электроснабжения потребителей. Для того чтобы исключить влияние различных повреждений на работу генераторов, следует шире применять современные микропроцессорные системы релейной защиты и автоматики, обеспечивающие высокочувствительную многофункциональную диагностику повреждений, локализацию повреждений на отдельных участках сети и предотвращение перерастания локальных аварий в системные.

На промышленных предприятиях с потребителями первой и второй категорий, значительно удаленных от ТЭЦ, целесообразно сооружение собственного независимого источника питания. До последнего времени считалось, что создание собственных источников питания на предприятиях экономически нецелесообразно, за исключением источников питания для потребителей особой группы электроприемников первой категории. Но в условиях рыночной экономики, при постоянном росте тарифов на электроэнергию, собственные источники питания – оправданное решение, позволяющее существенно повысить надежность электроснабжения потребителей первой и второй категорий.

Схемы внешнего электроснабжения могут быть кольцевыми, магистральными с односторонним и двухсторонним питанием и радиальными.

Кольцевые питающие сети применяются для крупных металлургических заводов, нефтеперерабатывающих предприятий и др. На рисунке 6 представлена схема кольцевой питающей сети 110 кВ, к которой присоединяются приемные пункты электроэнергии – узловые распределительные подстанции УРП1-УРП4, которые получают питание от двух территориально независимых источников питания: от ТЭЦ и подстанции энергосистемы по линиям 110 кВ. С шин 110кВ УРП получают питание подстанции глубокого ввода.

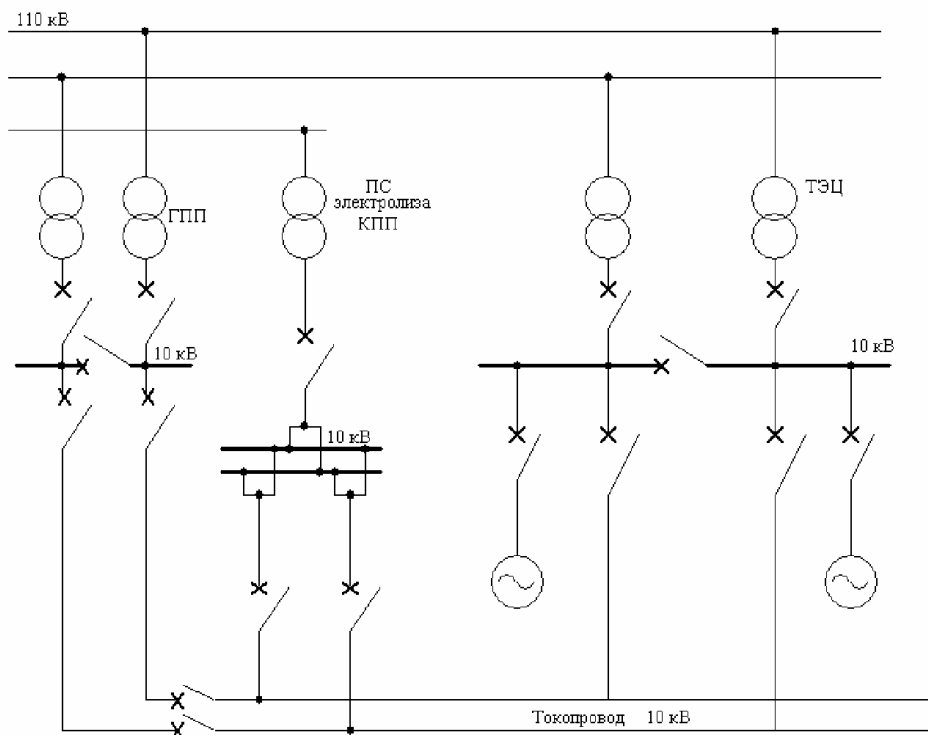


Рисунок 7 - Схема внешнего электроснабжения крупного предприятия цветной металлургии

На рисунке 7 приведена схема электроснабжения крупного предприятия цветной металлургии, которое получает питание от двух территориально независимых источников питания: подстанции энергосистемы и ТЭЦ по линиям 110 кВ. Пунктами приема электроэнергии являются главная понижающая подстанция предприятия и подстанция электролиза. При построении схемы учитывают то, что преобразовательная подстанция электролиза является источником высших гармоник тока и напряжения. Её питание осуществляется по отдельной линии 110 кВ от подстанции энергосистемы по схеме глубокого ввода. Для повышения надежности электроснабжения электролиза предусмотрена связь подстанции электролиза с ТЭЦ и ГПП по двухцепному токопроводу 10 кВ.

Для предприятий средней мощности применяются радиальные и магистральные схемы питания с одним и более приемными пунктами. В схемах, представленных на рисунках 8 (а, б), питание предприятия осуществляется радиальными линиями от подстанции энергосистемы и собственной ТЭЦ. Если подстанция энергосистемы расположена на значительном расстоянии от предприятия, то используется схема, в которой питающая сеть выполняется на напряжениях 35, 110 или 220 кВ, а приемным пунктом электроэнергии служит главная понижающая подстанция предприятия – рисунок 8 а. При небольшом расстоянии от подстанции энергосистемы питающая сеть может быть выполнена на напряжение 10(6) кВ, в этом случае приемным пунктом служит центральная распределительная подстанция – рисунок 8 б.

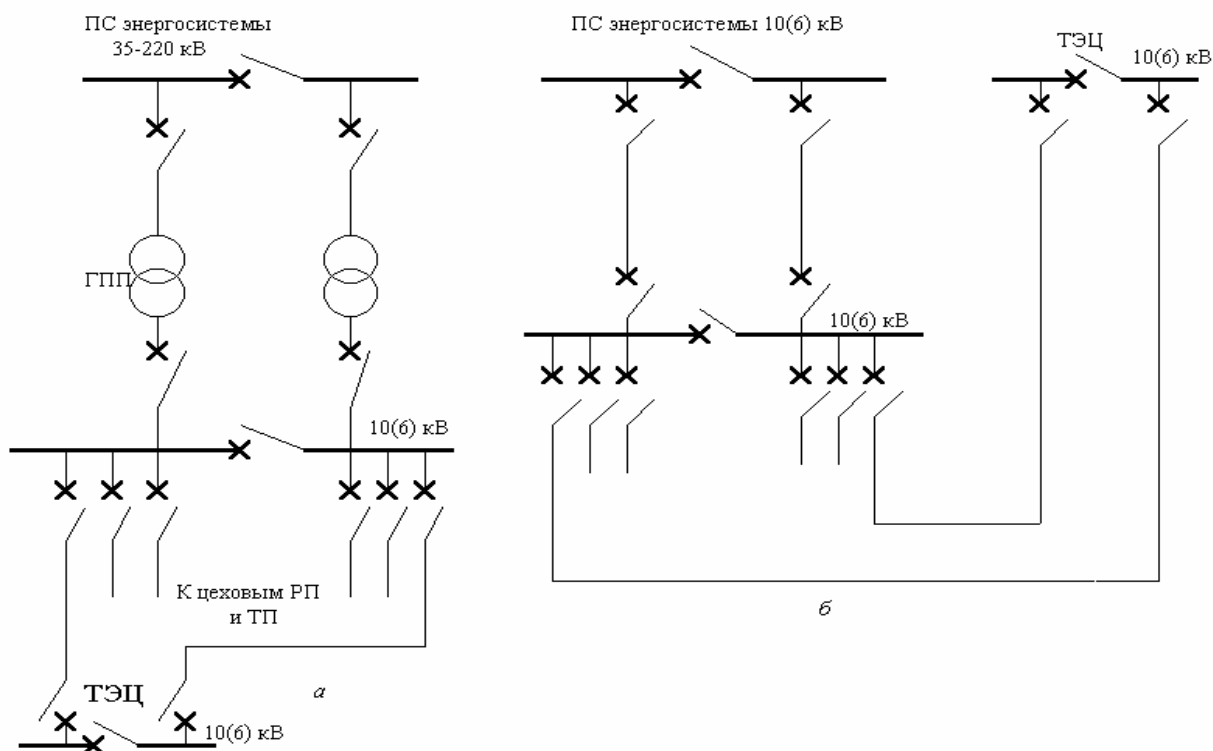


Рисунок 8 – Схемы внешнего электроснабжения предприятий средней мощности с приемным пунктом электроэнергетики: *а* – ГПП; *б* – ЦРП

На рисунках 9 (*а*, *б*, *в*) представлены схемы внешнего электроснабжения предприятия при питании его от разных систем (секций) шин районной подстанции энергосистемы с приемными пунктами: главная понизительная подстанция – рисунок 9 *б*; центральная распределительная подстанция – рисунок 9 *б* и подстанция глубокого ввода – рисунок 9 *в*. при наличии на предприятии электроприемников первой, второй категорий пункты приема электроэнергии должны иметь два трансформатора, две секции шин, запитываемые не менее чем по двум линиям от разных систем (секций) шин подстанции энергосистемы. Предпочтительным является вариант, когда линии выполняются на отдельных опорах и идут по разным трассам.

Выбор пропускной способности питающих линий производится таким образом, чтобы при выходе одной из линий оставшиеся обеспечивали питание электроприемников первой и второй категорий.

Решение о питании промышленного предприятия от сетей энергосистемы напряжением 35 кВ следует принимать при невозможности питания предприятия на других напряжениях. В зависимости от потребляемой мощности и состава электроприемников в качестве приемных пунктов могут быть применены: трансформаторная подстанция 35/10(6) кВ с трансформаторами мощностью 1,6-10 МВ·А и (или) трансформаторные подстанции 35/0,4 кВ с трансформаторами мощностью до 2,5 МВ·А.

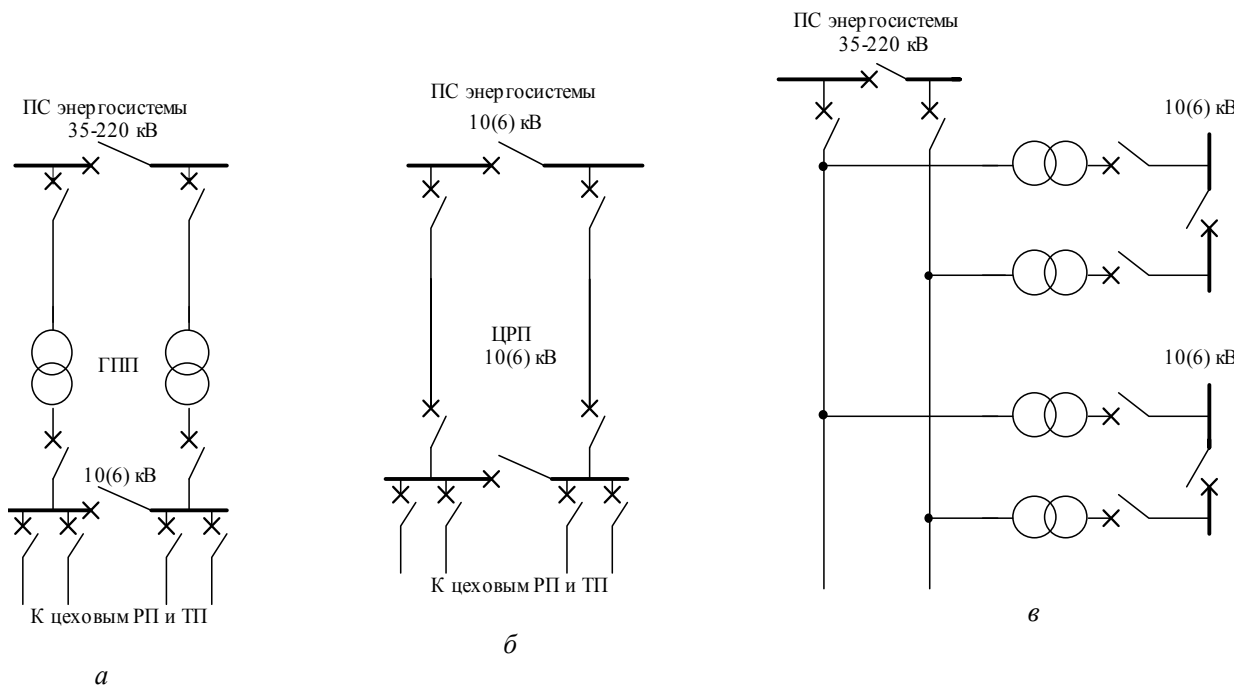


Рисунок 9 – Схемы внешнего электроснабжения предприятий средней мощности с приемным пунктом электроэнергии: а – ГПП; б – ЦРП; в - ПГВ

Пример выполнения питающей сети по схеме глубокого ввода напряжением 35 кВ приведен на рисунке 10.

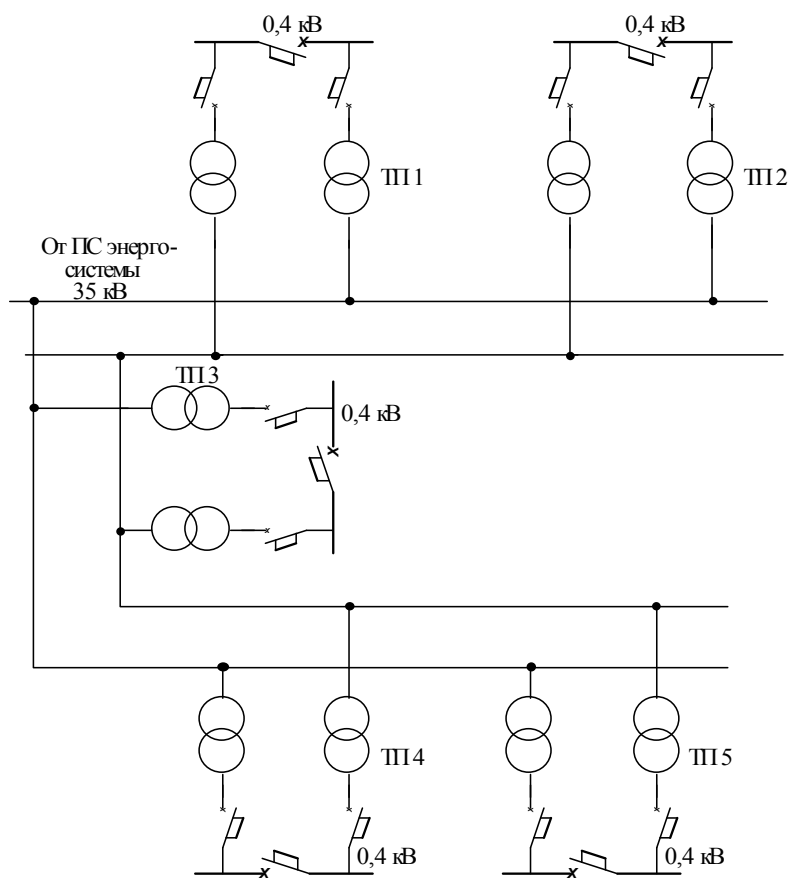


Рисунок 10 – Схема глубокого ввода напряжением 35 кВ
Электроснабжение предприятий малой мощности осуществляется, как

правило, от сетей энергосистемы напряжением 10 (6) кВ. В качестве приемных пунктов могут быть применены: распределительная, распределительно-трансформаторная или трансформаторная подстанции. Питание указанных подстанций осуществляется кабельными или воздушными линиями 6 или 10 кВ по радиальной или магистральной схемам.

5. Глубокие вводы 35 – 220 кВ

Глубокие вводы широко применяются в схемах внешнего и внутреннего электроснабжения промышленных предприятий и считаются наиболее прогрессивными схемами электроснабжения. Их применение позволяет:

- расположить подстанции глубокого ввода в крупных узлах потребления электроэнергии (электролизные установки, прокатные станы, азотно-кислородные станции и т.д.);
- исключить промежуточные РП, так как их функции выполняют РУ вторичного напряжения подстанций глубокого ввода;
- использовать упрощенные схемы первичной коммутации ПГВ;
- резко сократить протяженность электрических сетей напряжением 10 (6) кВ, а следовательно, уменьшить потери мощности, энергии, напряжения в этих сетях, напряженность кабельных эстакад, число используемой коммутационной и защитной аппаратуры;
- уменьшить емкостные токи в сетях 10(6) кВ, что позволяет во многих случаях обойтись без установок компенсации емкостных токов;
- осуществить питание характерных групп электроприемников с нелинейными, резкопеременными, ударными нагрузками отдельными линиями непосредственно от подстанций глубокого ввода, что позволяет значительно уменьшить влияние данных нагрузок на систему электроснабжения и повысить качество электрической энергии;
- повысить надежность электроснабжения и уменьшить капитальные затраты и эксплуатационные издержки на систему электроснабжения.

Схемы глубоких вводов напряжением 110-220 кВ выполняются воздушными или кабельными линиями, схемы глубоких вводов 330 кВ и выше – воздушными линиями.

Применение воздушных линий целесообразно при невысокой плотности застройки промышленной площадки. В целях снижения отчуждаемой под воздушную линию площади допускается прохождение линий над всеми несгораемыми зданиями и сооружениями, за исключением взрывоопасных установок. При выборе высоты опор воздушной линии должна учитываться возможность прокладки под проводами воздушных линий трубопроводов, транспортных и других коммуникаций. В обоснованных случаях может оказаться целесообразным применение специальных опор для увеличения длины пролетов.

Все большее применение в системах электроснабжения предприятий находят кабельные линии напряжением 110 – 220 кВ. Разработка новых конструкций кабелей и совершенствование технических решений по прокладке кабельных линий способствует их широкому применению.

Маслонаполненные кабельные линии низкого давления требуют повышенного внимания со стороны обслуживающего персонала, так как имеют маслосистему, а в отдельных случаях и систему охлаждения, которые считаются ненадежными звеньями кабельных линий. Прокладка данных линий осуществляется в лотках, земле, траншеях, каналах и ниже зоны промерзания, а также с устройством специальных колодцев для муфт. Прокладка маслонаполненных кабелей в тоннелях не рекомендуется из-за значительной стоимости.

Кабельные линии с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ-изоляция) имеют более высокие технико-экономические показатели по сравнению с маслонаполненными кабельными линиями. Это позволило рекомендовать их в качестве основных для применения в сетях 110 – 220 кВ промышленных предприятий при высокой плотности застройки предприятия. Прокладка кабелей с СПЭ-изоляцией осуществляется в открытых кабельных сооружениях (на технологических и кабельных эстакадах, кабельных галереях). Следует отметить, что передача электрической энергии по кабельным линиям с СПЭ-изоляцией в настоящее время обходится в 7-20 раз дороже, чем по воздушным линиям напряжением 110 – 220 кВ. при увеличении напряжения разница в стоимости увеличивается. Вместе с тем для прохождения воздушной линии требуется полоса, свободная от застройки и коммуникаций, шириной более 20 м для линий напряжением 110 кВ и более 30 м для линий напряжением 220 кВ, что в условиях промышленного предприятия не всегда допустимо. Применение кабельных линий для питания подстанций глубокого ввода позволяет выполнять распределительные устройства 110 – 220 кВ подстанций по схеме «линия - трансформатор» без коммутационных аппаратов.

По мере освоения промышленностью производства токопроводов напряжением до 330 кВ с элегазовой изоляцией увеличивается их применение для схем глубоких вводов при высокой плотности застройки промышленной площадки и наличии агрессивной окружающей среды.

Радиальные схемы глубоких вводов 110 – 220 кВ позволяют использовать простейшие схемы первичной коммутации подстанций глубокого ввода – схемы «линия - трансформатор»: без коммутационных аппаратов (глухого соединения) с разъединителем, предохранителем, выключателем.

При магистральных схемах глубоких вводов отключение магистрали приводит к потере питания всех трансформаторов, подключенных к магистрали. Поэтому используются схемы, позволяющие отключать поврежденный трансформатор на самой подстанции и повторно включать магистраль устройством АПВ. Примеры выполнения магистральных схем глубокого ввода приведены на рисунках 9 и 10.

6. Схемы распределения электроэнергии в сетях 10 (6) кВ

В электрических сетях 10 (6) кВ применяются радиальные, магистральные и смешанные схемы. Предпочтение отдается магистральным схемам, как более экономичным.

Схема распределения электроэнергии должна быть увязана с технологической схемой объекта следующим образом:

- питание электроприемников разных параллельных технологических потоков предусматривается от разных трансформаторных или распределительных подстанций, магистралей, разных секций шин одной подстанции для того, чтобы при аварии не остановились оба технологических потока;
- в пределах одного технологического потока все взаимосвязанные агрегаты присоединяются к одной подстанции, РП, магистрали, секции шин, чтобы при прекращении питания потока все входящие в его состав электроприемники были одновременно обесточены.

Схемы распределения электроэнергии в сетях 10 (6) кВ могут быть одно- и двухступенчатые. Одноступенчатые схемы применяются на малых предприятиях, где распределяемая мощность и токи невелики, а также на энергоемких предприятиях с подстанциями глубокого ввода. В остальных случаях применяются, как правило, двухступенчатые схемы распределения электроэнергии. Применение схем с большим числом ступеней распределения электроэнергии должно иметь технико-экономическое обоснование.

Распределение электроэнергии может осуществляться кабельными, воздушными линиями или токопроводами. Воздушные линии электропередачи на промышленных предприятиях используются сравнительно редко, так как имеют сравнительно малую пропускную способность, что не позволяет осуществить магистральную схему распределения электроэнергии и практически невозможно в условиях промышленного предприятия выполнить несколько параллельно идущих воздушных линий.

Кабельные линии целесообразно использовать при передаче мощности в одном направлении не более 15-20 МВ·А при напряжении 6 кВ и не более 25-35 МВ·А при напряжении 10 кВ. Кабельные сети следует прокладывать открыто в надземных сооружениях: на технологических и кабельных эстакадах, в кабельных частично закрытых галереях. При невозможности или нецелесообразности выполнения открытой прокладки кабелей напряжением до 35 кВ может быть осуществлена прокладка кабелей в земляных траншеях и в подземных кабельных сооружениях (блоках, каналах, тоннелях).

При передаче мощностей, превышающих 15-20 МВ·А, целесообразно применение токопроводов. Трассы токопроводов выбирают таким образом, чтобы они проходили через зоны размещения основных нагрузок данного

предприятия. В настоящее время рекомендуется использовать открытые симметричные гибкие и жесткие токопроводы следующих конструктивных исполнений: жесткий подвесной с трубчатыми шинами и подвесными изоляторами или гибкий с расщепленными проводами.

Жесткие токопроводы следует применять при наличии агрессивной среды, так как на жесткие проводники легче нанести антикоррозийное покрытие. Токопроводы требуют меньшей полосы, свободной от застройки и подземных коммуникаций (отчуждение территории под жесткий токопровод составляет 10 м). Не рекомендуется прокладывать токопроводы в тоннелях и в полностью закрытых галереях из-за существенного увеличения затрат. В настоящее время разработаны токопроводы с трубчатыми шинами из алюминиевого сплава АД31 в исполнении для внутренней установки при нормальной среде и в исполнении для наружной установки для предприятий с сильно загрязненной средой.

Гибкие токопроводы выполняются из нескольких оголенных проводов, закрепленных равномерно по периметру кольца и подвешенных к опоре на подвесных изоляторах. Серьезный недостаток гибких токопроводов – большие габаритные размеры (отчуждение территории под гибкий токопровод составляет 18 м) и недостаточная стойкость к воздействию химически активной среды. Гибкие токопроводы рекомендуется использовать, если одновременно имеет место нестесненная планировка предприятия, позволяющая не учитывать стоимость отчуждаемой территории, и минимальное число (до двух-трех на 1 км) поворотов трассы.

Токопроводы более надежны, они имеют более высокую перегрузочную способность, но характеризуются большим индуктивным сопротивлением по сравнению с линиями, выполненными из большого числа параллельно проложенных кабелей.

6.1 Схемы питания распределительных пунктов 10(6) кВ

Промежуточные распределительные пункты, получающие питание с шин ГПП, ЦРП, рекомендуется сооружать в цехах или производственных корпусах при наличии высоковольтных электроприемников и нескольких ТП 10(6)/0,4 кВ, а также для удаленных от ГПП или ЦРП потребителей (компрессорных, насосных станций и т.д.). При наличии менее восьми отходящих от распределительных пунктов линий целесообразность сооружения РП должна быть обоснована. Распределительные пункты следует размещать на границе питаемых ими участков сети таким образом, чтобы не было обратных потоков мощности.

Радиальные схемы для питания РП следует применять:

- при расположении РП в различных направлениях от ГПП, ЦРП;
- при повышенных требованиях к надежности электроснабжения электроприемников, если к РП подключаются в основном электроприемники первой категории.

В остальных случаях следует применять **магистральные схемы** с односторонним или двухсторонним питанием. Если все распределительные

подстанции предприятия получают питание от токопроводов, то применяется схема трансформатор-токопровод без сборных шин на вторичном напряжении ГПП, что показано на рисунке 11а. Для ограничения токов короткого замыкания на ответвлениях от токопроводов к РП могут устанавливаться реакторы.

При наличии на предприятии большого числа двигателей напряжением 6 кВ обмотки трансформаторов ГПП могут быть выполнены на разные напряжения: 6 и 10 кВ. На напряжении 6 кВ получают питание распределительные подстанции, предназначенные для питания электродвигателей, на напряжении 10 кВ – остальные потребители.

Если по токопроводам распределяется только часть электроэнергии, то питание токопроводов выполняется от шин РУ 10(6) кВ ГПП и ПГВ, что показано на рисунке 11 б.

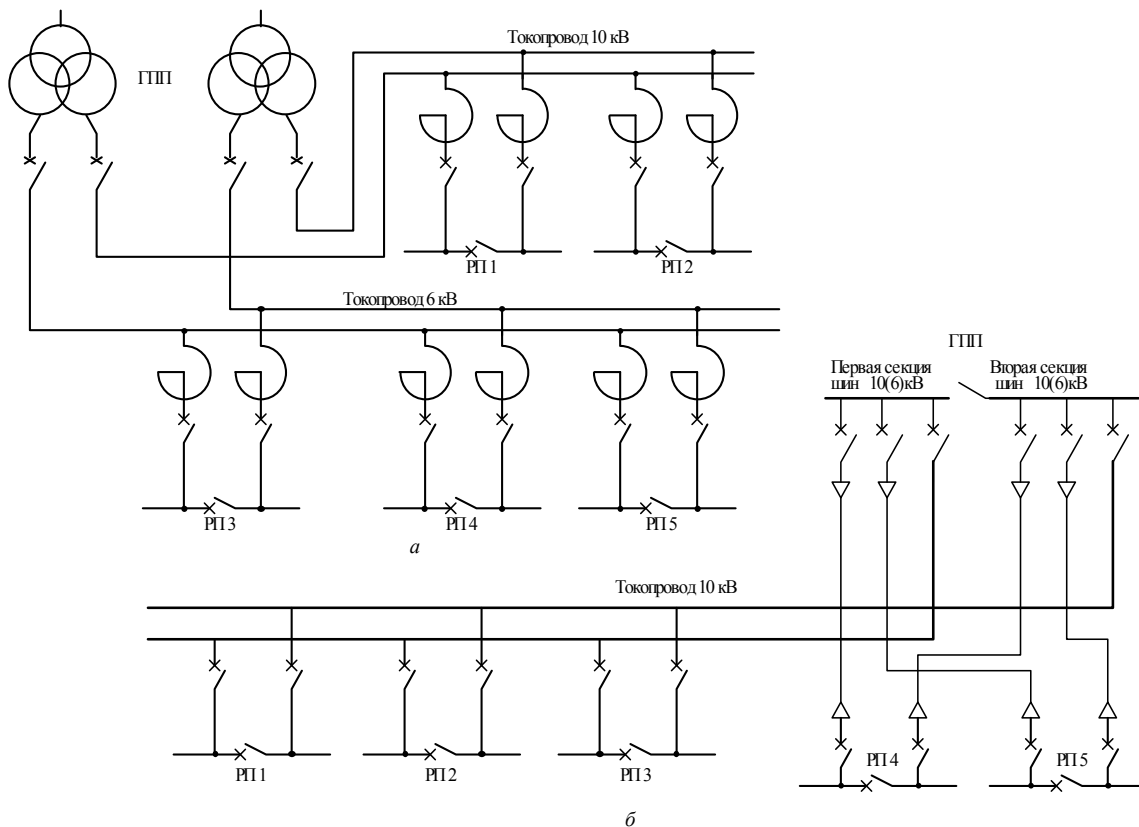


Рисунок 11 – Схемы распределения электроэнергии на напряжениях 6 и (или) 10 кВ, выполненные токопроводами: а – без сборных шин на вторичном напряжении ГПП; б – со сборными шинами на вторичном напряжении ГПП

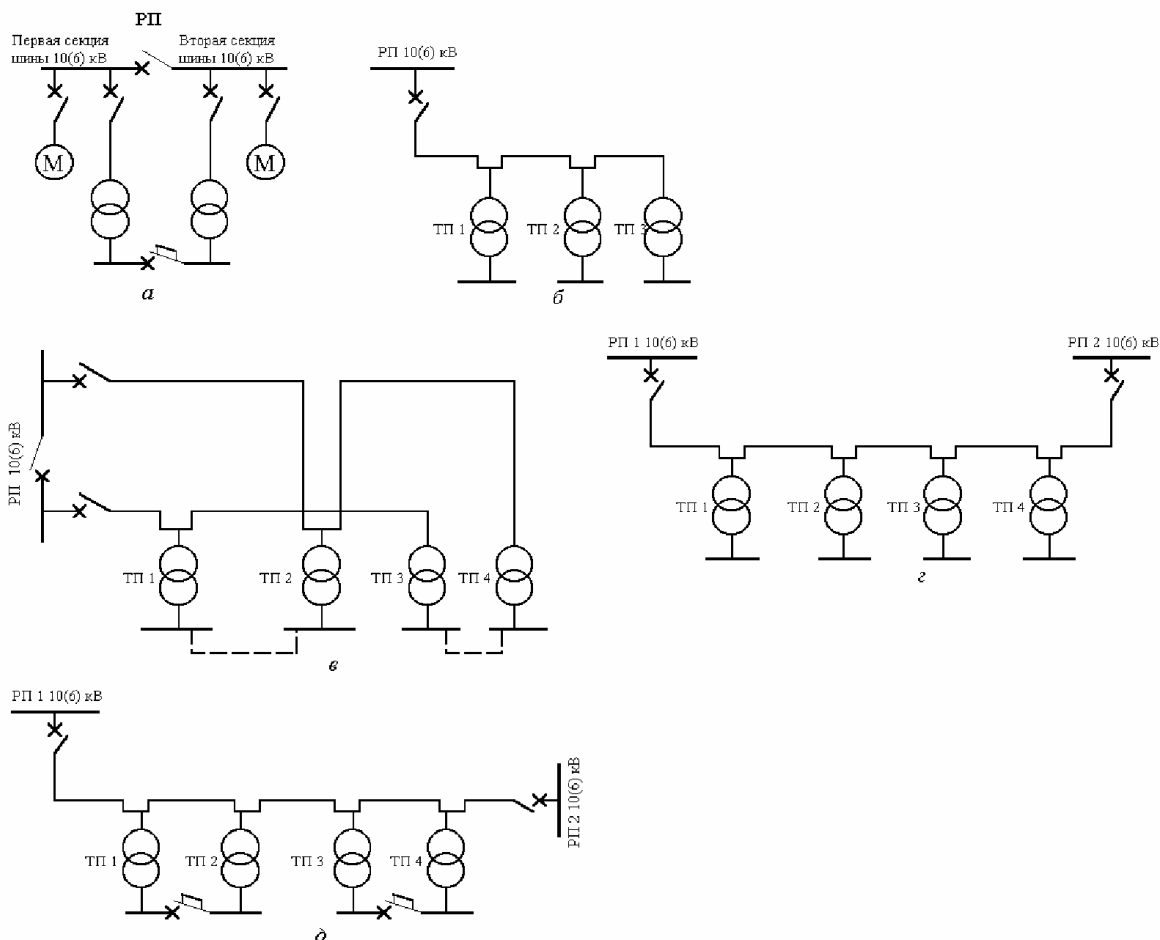


Рисунок 12 – Схемы питания ТП 10(6) кВ: *а* – радиальная; *б* – одиночная магистраль с односторонним питанием; *в* – одиночная магистраль с частичным резервированием по связям вторичного напряжения; *г* – петлевая для питания однотрансформаторных ТП; *д* – для питания двухтрансформаторных ТП

Распределительные пункты, отдаленные от трассы токопроводов, получают питание от шин РУ 10(6) кВ ГПП или ПГВ кабельными радиальными или магистральными линиями.

6.2 Схемы питания трансформаторных подстанций и электроприемников напряжением 10(6) кВ

Трансформаторные подстанции и электроприемники могут получать питание от РУ 10(6) кВ ГПП и ПГВ или от распределительных пунктов 10(6) кВ. Для питания трансформаторных подстанций используются практически все схемы, что показаны на рисунке 1.

Радиальные схемы, выполненные кабельными линиями, применяются, когда подстанции расположены в различных направлениях от источника питания или предъявляются повышенные требования к надежности электроснабжения, что показано на рисунке 12 *а*.

Радиальные схемы используются также для питания индивидуальных приемников электроэнергии 10(6) кВ (двигателей, печей и т.п.).

Трансформаторы к радиальным линиям могут подключаться без коммутационных аппаратов (“глухое” присоединение) или только через разъединитель, если защита, установленная в начале радиальной линии, чувствительна при всех повреждениях в трансформаторе.

Для промышленных предприятий могут быть использованы радиальные схемы с присоединением под один выключатель 10(6) кВ двух кабельных линий, идущих к разным подстанциям. В этом случае питание ТП должно предусматриваться не менее чем по двум линиям, отходящим от разных секций шин распределительной подстанции.

Магистральные схемы являются основными для питания трансформаторных подстанций и выполняются, как правило, кабельными линиями. К одной магистрали могут быть подключены: не более пяти трансформаторов мощностью 250 – 630 кВ·А; до трех трансформаторов мощностью 1000 кВ·А или два трансформатора мощностью 1600 кВ·А.

При магистральной схеме питания на подстанциях используются более сложные схемы первичных соединений. Для удобства обслуживания и возможности отключения участков магистрали на входе и выходе магистрали к трансформатору устанавливаются шинные накладки, разъединители или выключатели нагрузки. На вводе 10(6) кВ трансформатора устанавливают разъединитель или выключатель нагрузки с предохранителями. Функции последнего – обеспечить селективную защиту трансформатора. При соответствующем обосновании могут быть установлены высоковольтные вакуумные выключатели.

Одиночные магистрали с односторонним питанием применяются для питания однострансформаторных подстанций, когда можно допустить перерыв в электроснабжении потребителей на время, необходимое для отключения, определения места повреждения и восстановления поврежденного участка магистрали, что показано на рисунке 12 б. Для повышения надежности электроснабжения можно предусматривать связи по вторичному напряжению между ближайшими подстанциями, получающими питание от разных магистралей, что показано на рисунке 12 в (пунктирная линия). Как правило, такие магистрали прокладываются по разным трассам. При резервировании по вторичному напряжению для части потребителей подстанций (15 – 20% общей нагрузки) сохраняется питание при аварии на магистрали.

Одиночные магистрали с двухсторонним питанием могут применяться для питания потребителей третьей и частично второй категорий, что показано на рисунке 12 г, д. Данные схемы называются петлевыми. Возможны различные варианты работы схемы в нормальном режиме. Если один из источников питания магистрали маломощный, удаленный или неэкономичный, то он может играть роль резервного и включаться (вручную или автоматически) только при отключении магистрали от основного источника питания. Если же оба источника питания равноценны, то в нормальном режиме магистраль получает питание с двух сторон, но в точке токораздела по одной из промежуточных подстанций магистраль

размыкается. В точке токораздела могут быть установлены разъединители, в том числе телеуправляемые или высоковольтные выключатели.

Кольцевые магистрали рекомендуется применять для питания потребителей третьей, частично – второй категории при соответствующем расположении питаемых ими групп подстанций при единичной мощности трансформаторов не более 630 кВ·А, что показано на рисунке 13.

Для питания двухтрансформаторных подстанций с электроприемниками первой и второй категорий применяются более надежные схемы распределения электроэнергии – с двойными магистралями. Каждая магистраль получает питание от разных секций шин РУ 10(6) кВ ГПП, ПГВ или РП, которые должны отвечать требованиям независимых источников питания. Трансформаторы на подстанциях в нормальном режиме работают отдельно, секционный автоматический выключатель на 0,4 кВ отключен, а при аварии на магистрали все потребители переключаются на магистраль, оставшуюся в работе. С этой целью автоматически или вручную обслуживающим персоналом включается секционный выключатель.

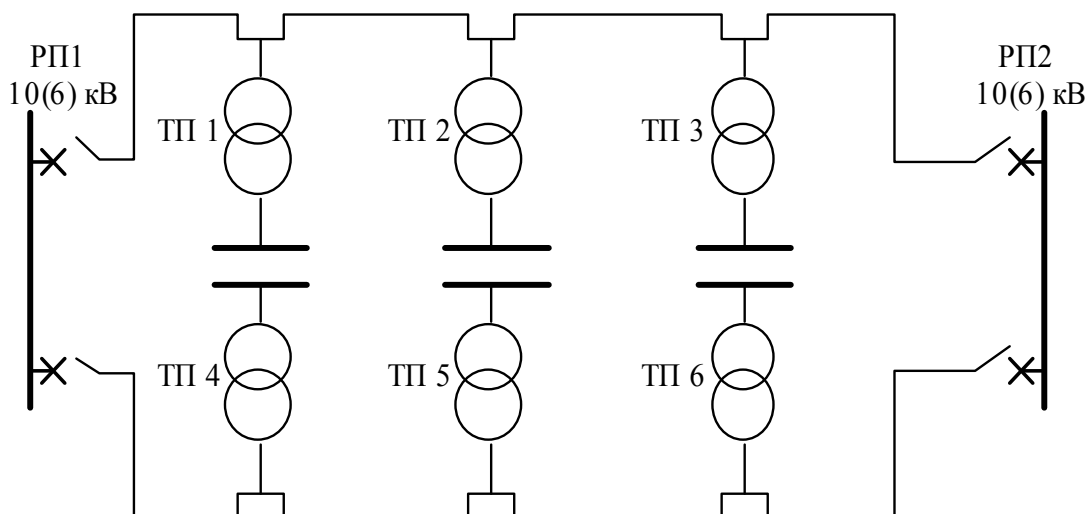


Рисунок 13 – Кольцевая схема питания трансформаторных подстанций

Примеры выполнения схем с двойными магистралями приведены на рисунке 14. На рисунке 14 а показана схема двойной сквозной магистрали с односторонним питанием, которая широко применяется в промышленных электрических сетях для питания электроприемников первой и второй категорий. На схеме 14 б каждая магистраль получает питание от разных

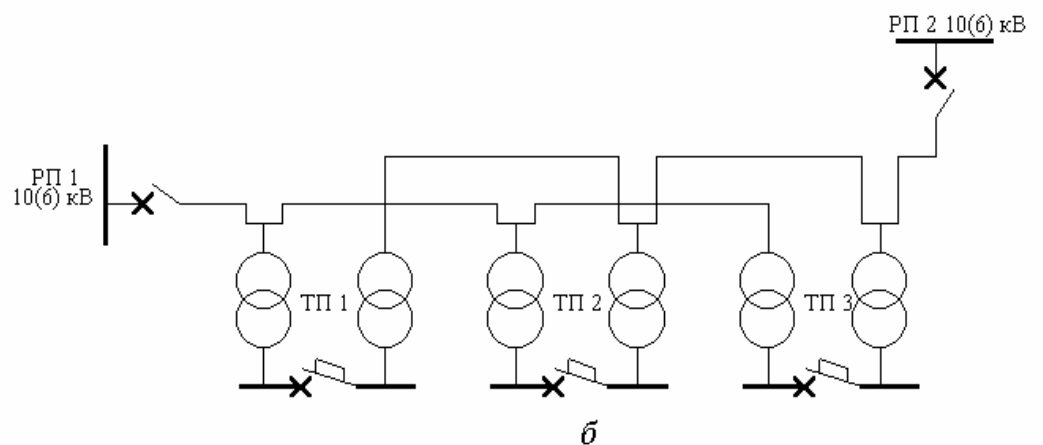
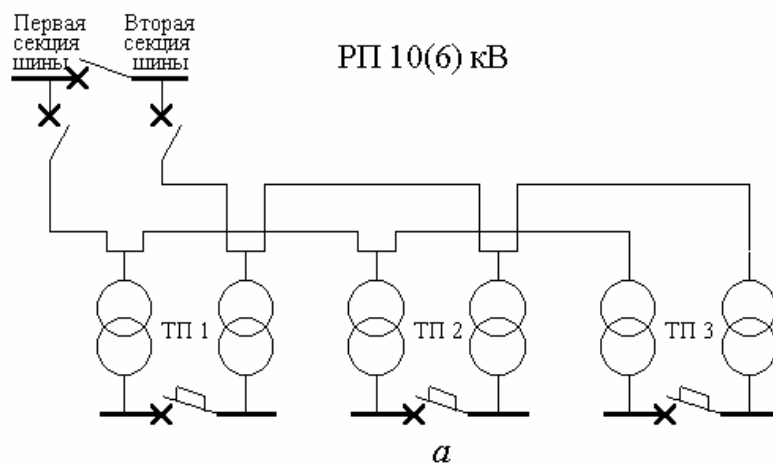


Рисунок 14 – Схемы с двойными магистралями:
a – двойная сквозная магистраль с односторонним питанием; *б* – двойная магистраль с двухсторонним питанием

территориально удаленных друг от друга распределительных пунктов: РП1 и РП2. Данная схема аналогична схеме двойной сквозной магистрали с односторонним питанием, но является более надежной вследствие территориальной независимости источников питания.

6.3 Схемы питания различных групп потребителей (нелинейных, резкопеременных, несимметричных)

Питание данных потребителей в нормальном режиме работы рекомендуется производить от отдельных секций шин 10(6) кВ. указанные секции сборных шин рекомендуется подключать к разным ветвям расщепленной обмотки трансформатора, к разным ветвям сдвоенного реактора, к разным трансформаторам. Трансформаторные подстанции 10(6)/0,4 кВ, от которых получают питание осветительные приборы с

лампами накаливания, чувствительные к изменениям показателей качества электроэнергии, следует подключать к секции шин 10(6) кВ, не питающей специфической нагрузки.

7. Схемы силовых и осветительных сетей

Электрические сети напряжением до 1 кВ на промышленных предприятиях делятся на сети для электроснабжения электросиловых и осветительных установок. Поэтому электрические сети называют силовыми и осветительными. Питание силовых и осветительных электроприемников при напряжении 380/220 В рекомендуется производить от общих трансформаторов при условии соблюдения требований ГОСТ 13109 – 97.

При напряжении 660 В возникает необходимость установки дополнительных трансформаторов 660/220 В и выполнения электрических сетей на напряжение 220 В для питания люминесцентных ламп, ламп накаливания, тиристорных преобразователей, установок контрольно-измерительных приборов и автоматики, средств автоматизации электродвигателей мощностью до 0,4 кВ и др.

7.1 Схемы силовых сетей.

Силовые сети принято делить на питающие и распределительные.

Питающая сеть – сеть от РУ 0,4 – 0,69 кВ ТП до низковольтных устройств распределения электроэнергии: распределительных щитов, распределительных пунктов, щитов станции управления и т.д.

Распределительная сеть – сеть от низковольтных устройств распределения электроэнергии до электроприемников. Питающие и распределительные сети выполняются по радиальным, магистральным и смешанным схемам.

Радиальные схемы распределения электроэнергии, что показано на рисунке 15, рекомендуется применять в случае:

- взрывоопасных, пожароопасных и пыльных производств;
- питания индивидуальных электроприемников: электродвигателей, электропечей, электросварочных установок и т.п.;
- для питания низковольтных устройств распределения электроэнергии, если они расположены в разных направлениях от источника питания.

Электропроводки при радиальных схемах обычно выполняют кабелем или проводами. Недостатком радиальных схем является недостаточная гибкость, при всяких перемещениях технологического оборудования требуется переделка электрических сетей. Кроме того, РУ 0,4 – 0,69 кВ ТП

получаются громоздкими, дорогими, с большим числом коммутационных аппаратов.

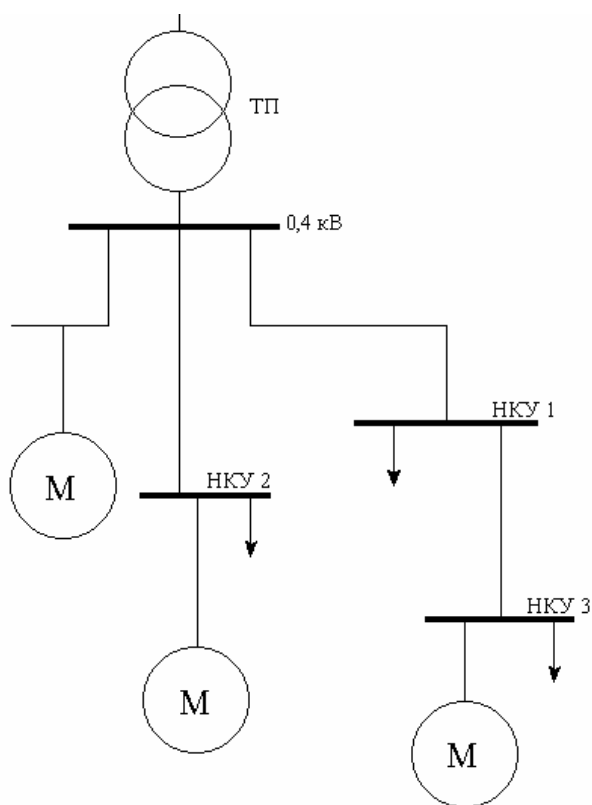


Рисунок 15 – Радиальная схема распределения электроэнергии

Магистральные схемы находят применение при нагрузках, распределенных по площади цеха. Выполняются они чаще всего шинопроводами. Данные схемы надежны, универсальны, позволяют производить перестановку производственно-технологического оборудования в цехах без существенного изменения электрических сетей.

По назначению шинопроводы могут быть:

- магистральными – для присоединения распределительных шинопроводов, низковольтных комплектных устройств распределения и отдельных мощных электроприемников;
- распределительными – для присоединения электроприемников;
- троллейными – для питания передвижных электроприемников;
- осветительными – для питания светильников и электроприемников небольшой мощности.

В силовых сетях широкое применение нашли комплектные магистральные и распределительные шинопроводы серий ШМА и ШРА. Номинальная сила тока магистральных шинопроводов: 630, 1000, 1600, 2500, 4000, 6300 А. Номинальная сила тока ответвлений от магистральных шинопроводов: 160, 250, 400, 630, 1000, 1600, 2500, 4000 А. Номинальная сила тока распределительных шинопроводов: 100, 160, 250, 400, 630 А. Номинальная сила тока ответвлений: 25, 63, 100, 160, 250 и 400 А.

Номенклатура ответвительных коробок предусматривает коробки с предохранителями, разъединителями, автоматическими выключателями.

Широкое применение получила схема блока «трансформатор - магистраль», выполненная с помощью комплектных магистральных или распределительных шинопроводов. Пример выполнения схемы блока «трансформатор - магистраль» приведен на рисунке 16.

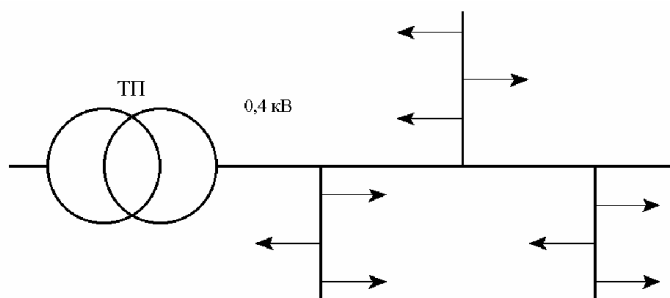


Рисунок 16 – Схема блока «трансформатор - магистраль»

В данной схеме распределительное устройство низкого напряжения подстанции либо отсутствует, либо выполняется с небольшим числом отходящих от него линий для питания освещения и некоторых электроприемников. К магистральному шинопроводу подключаются распределительные шинопроводы, НКУ и отдельные электроприемники большой мощности. К распределительным шинопроводам через ответвительные коробки подключаются НКУ и отдельные электроприемники.

Небольшое распределительное устройство низкого напряжения требуется при выполнении магистральной схемы с помощью нескольких распределительных шинопроводов, что показано на рисунке 17.

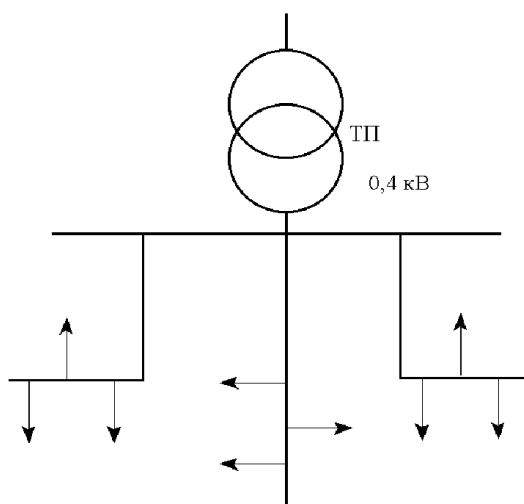


Рисунок 17 – Магистральная схема, выполненная распределительными шинопроводами

При разработке принципиальных схем руководствуются следующим:

- принципиальную схему выполняют в однолинейном изображении, при этом PEN проводник (N и PE проводники) отдельной линией (отдельными линиями) не изображают;
- в трехфазных трех-, четырех- и пятипроводных сетях изображение и обозначение фаз указывают только для одно- и двухфазных линий;
- условные графические обозначения электроприемников, пусковых и защитных аппаратов на принципиальной схеме, как правило, не изображают, а указывают над линией их буквенно-цифровое обозначение, типы и технические данные;
- электроприемники, подключаемые непосредственно к питающей магистрали, показывают на принципиальных схемах питающей сети;
- в графе «Магистраль» указывают буквенно-цифровые обозначения магистрали, тип шинпровода и его номинальный ток (материал и сечение шин – для магистралей нетипового изготовления), напряжение;
- в графе «Распределительное устройство» указывают буквенно-цифровое обозначение распределительного пункта или распределительного шинпровода, его координаты по плану расположения электрооборудования (при необходимости), тип (для НКУ – обозначение чертежа общего вида, напряжение, установленную мощность $P_{уст}$ и расчетный ток – $I_{расч}$ – для пунктов, соединенных в цепочку).

Для сетей, где целесообразно выполнение принципиальных схем с учетом расположения электротехнологического оборудования в здании, сооружении; для совмещенных сетей силового электрооборудования и электрического освещения; для разветвленных сетей с несколькими напряжениями, частотами и т.д. допускается выполнение схем произвольной форме.

7.2 Схемы сетей электрического освещения.

Установки освещения делятся на внутренние и наружные. Установки внутреннего освещения предназначены для освещения производственных, административных, жилых и общественных зданий и помещений. Установки наружного освещения предназначены для освещения территорий предприятий и учреждений, городов, поселков и т.д.

Установки внутреннего освещения делятся на установки рабочего и аварийного освещения. Рабочее освещение служит для освещения помещений в целом и рабочих поверхностей. Аварийное освещение может быть освещением безопасности и эвакуационным освещением.

Освещение безопасности предназначено для продолжения работы при аварийном отключении рабочего освещения. Светильники рабочего освещения и освещения безопасности должны получать питание от

независимых источников питания. Эвакуационное освещение предназначено для обеспечения безопасной эвакуации людей по основным проходам, освещенным световыми указателями «выход», и предусматривается в производственных помещениях, где может одновременно находиться более двадцати человек.

Электрические сети освещения делятся на питающие, распределительные и групповые сети.

Питающая осветительная сеть – сеть от РУ подстанции до вводного устройства (ВУ), вводно-распределительного устройства (ВРУ) или главного распределительного щита (ГРЩ).

Распределительная сеть – сеть от ВУ, ВРУ, ГРЩ до распределительных пунктов, щитков и пунктов питания наружного освещения.

Групповая сеть – сеть от распределительных пунктов, щитков до светильников, штепсельных розеток и других электроприемников.

7.3. Питающая и распределительная сети освещения

Питание установок внутреннего освещения рекомендуется выполнять от распределительных устройств подстанции, щитов, магистральных и распределительных шинопроводов самостоятельными линиями, выполненными проводами или кабелями.

Сети наружного освещения могут получать питание от распределительных устройств подстанций, распределительных пунктов и вводно-распределительных устройств и выполняются кабельными или воздушными линиями (с использованием самонесущих изолированных проводов). Линии наружного освещения могут прокладываться на существующих опорах, принадлежащих электросетевым организациям, по опорам контактной сети электрифицированного транспорта (с помощью кабельных линий или самонесущих изолированных проводов), на инженерных сооружениях (мостах, транспортных эстакадах и т.д.). Питающие и распределительные сети внутреннего и наружного освещения выполняются трехфазными четырех- или пятипроводными в зависимости от используемой системы заземления.

На рисунке 18 приведена схема питающей и распределительной сетей внутреннего освещения. С первой секции шин 0,4 кВ двухтрансформаторной подстанции получает питание щит освещения, с шин которого по магистральной или радиальной схемам запитываются групповые щитки рабочего освещения. Щиток аварийного освещения получает питание от второй секции шин 0,4 кВ ТП. Аварийное освещение должно включаться автоматически при аварийном отключении рабочего освещения

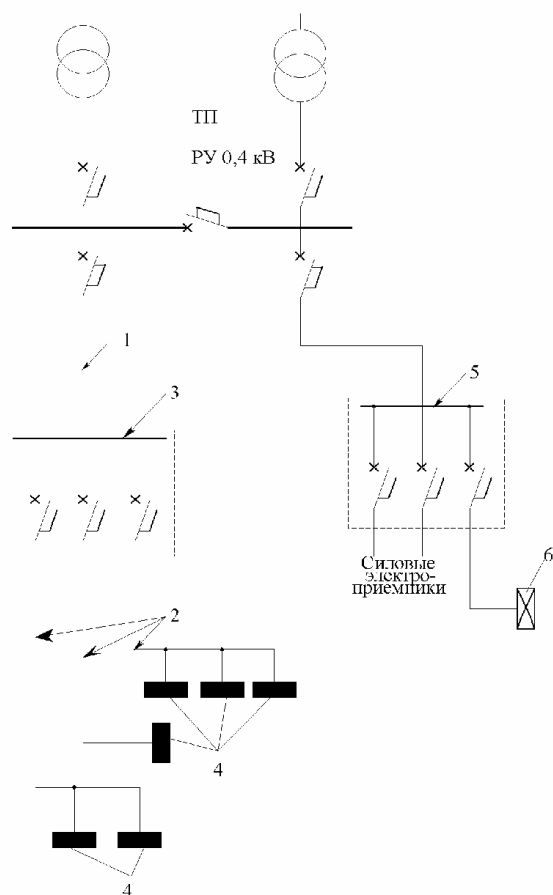


Рисунок 18 – Схема питающей и распределительной сети освещения:
 1 – питающая сеть; 2 - распределительная сеть; 3 – щит рабочего освещения; 4 – групповые щитки рабочего освещения; 5 – распределительный пункт; 6 – щиток аварийного освещения

8. Подстанции систем электроснабжения

8.1 Классификация подстанций

Функционально подстанции делятся на трансформаторные, преобразовательные и распределительные.

Трансформаторные подстанции предназначены для приема, преобразования (тока и напряжения), распределения электрической энергии.

Преобразовательные подстанции предназначены для приема, преобразования (частоты, рода тока) и распределения электрической энергии.

Распределительные подстанции предназначены для приема и распределения электрической энергии без ее преобразования.

Трансформаторные подстанции по значению в системе электроснабжения делятся на главные понизительные подстанции, подстанции глубокого ввода, трансформаторные подстанции 10(6) кВ (ТП). Последние называются цеховыми подстанциями в промышленных сетях, городскими – в городских сетях.

Распределительные подстанции делятся на узловые

распределительные подстанции напряжением 110 кВ и выше; центральные распределительные подстанции (пункты) напряжением 10(6) кВ; распределительные подстанции (пункты) напряжением 10(6) кВ.

В зависимости от способа присоединения подстанции к питающей линии трансформаторные подстанции делятся на тупиковые, проходные, ответвительные.

Если линия питает только одну подстанцию, то подстанция называется **тупиковой**, что показано на рисунке 19 а. К тупиковым подстанциям относятся подстанции, получающие питание по радиальным схемам, и последние подстанции в магистральной схеме с односторонним питанием.

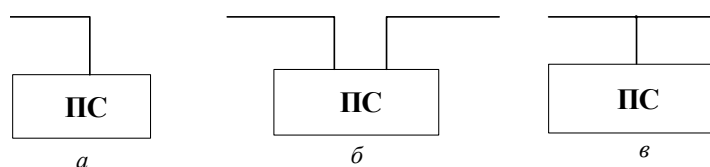


Рисунок 19 – Схемы присоединения подстанций к питающей линии:
а – тупиковая; б – проходная; в - ответвительная

Проходная подстанция включается в расщелку питающей магистральной линии, т.е. имеется вход и выход питающей линии, что показано на рисунке 19 б.

Если подстанция подключается через ответвление от питающей линии, она называется **ответвительной**, что показано на рисунке 19 в.

По типу подстанции делятся на **открытые и закрытые**. Открытой подстанцией называется подстанция с открытой установкой трансформаторов, закрытой – подстанция, все элементы которой (распределительные устройства и трансформаторы) устанавливаются в специальном помещении.

В зависимости от места установки и размещения оборудования подстанции напряжением 10(6) кВ делятся на внутрицеховые, встроенные, пристроенные, отдельно стоящие.

Внутрицеховой подстанцией называется подстанция, расположенная внутри здания (открыто или в отдельном закрытом помещении).

Встроенной подстанцией называется подстанция, вписанная в контур основного здания.

Пристроенная подстанция непосредственно примыкает к основному зданию.

Отдельно стоящая подстанция располагается отдельно от производственных и общественных зданий.

В зависимости от числа обмоток трансформатора подстанции могут быть с **двух- и трехобмоточными** трансформаторами, с расщепленными обмотками низшего напряжения.

8.2 Структурные схемы трансформаторных подстанций.

Подстанция с двухобмоточными трансформаторами состоит из трех основных узлов: распределительного устройства высшего напряжения (РУВН); силового трансформатора или автотрансформатора ¹(одного или нескольких), распределительного устройства низшего напряжения (РУНН), что показано на рисунке 20 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), что показано на рисунке 20 б. В схемах электроснабжения могут применяться трансформаторы с расщепленной обмоткой низшего напряжения – из рисунка 20 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 – из рисунка 20 г, д.

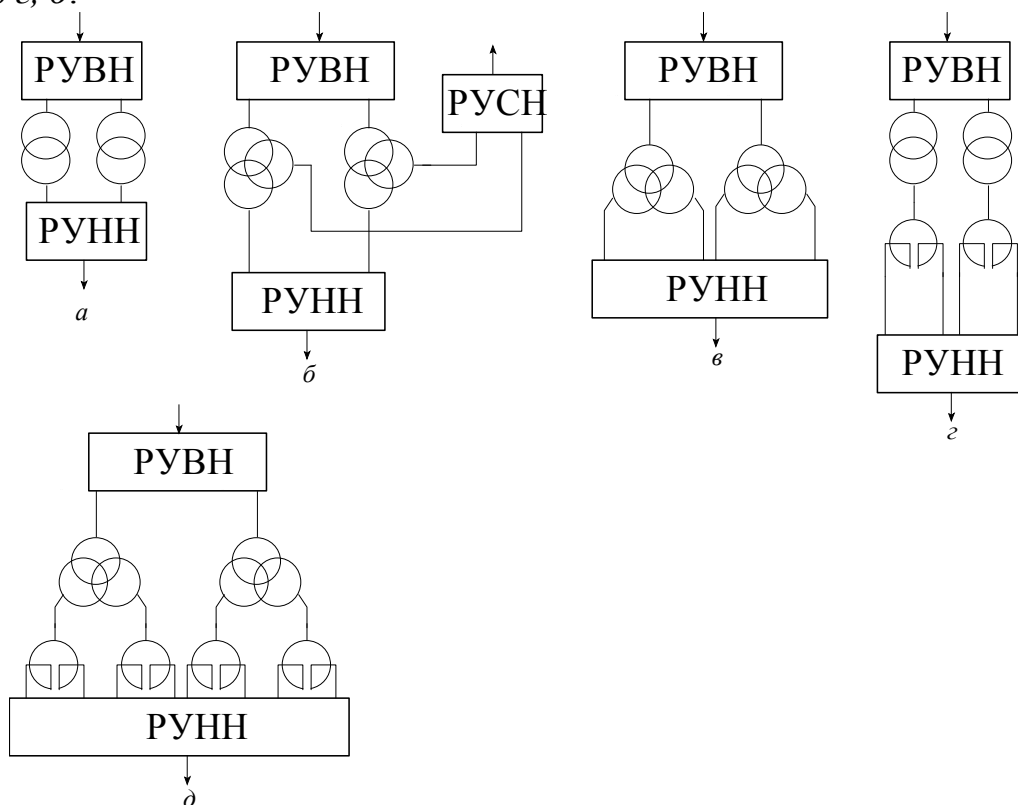


Рисунок 20 – структурные схемы трансформаторных подстанций

¹ В дальнейшем, если не требуется уточнений, под термином «трансформатор» будет подразумеваться и автотрансформатор.

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.

9. Распределительные устройства напряжением 6 – 220 кВ

9.1 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 оболочным, 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.

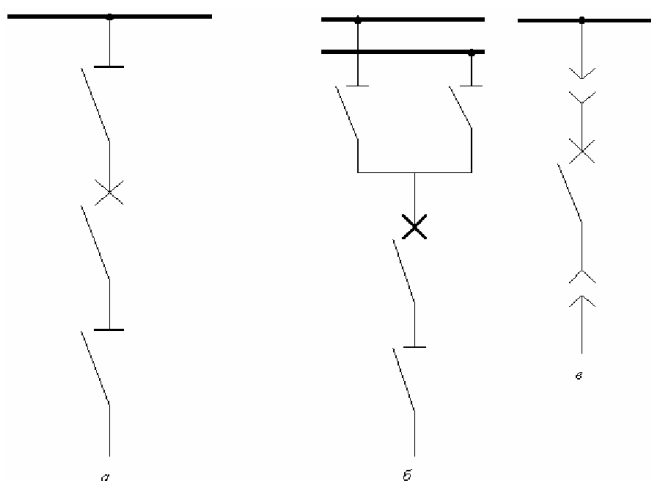


Рисунок 21 – Присоединения выключателей к сборным шинам:
 а – с одной системой шин; б – с двумя системами шин; в – с одной системой шин выкатного исполнения

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, что показано на рисунке 21 а, б. 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 устанавливается на выкатных тележках. В этом случае на схеме указываются штепсельные разъемы, что показано на рисунке 21 в.

В распределительных устройствах обязательно предусматриваются стационарные заземляющие ножи, обеспечивающие заземление аппаратов и ошиновки без применения переносных заземлителей. Распределительные устройства 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, которые служат для питания оперативных цепей, а также освещения технологических и вспомогательных зданий и сооружений подстанции. Трансформаторы для собственного назначения 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.

9.2 Комплектные распределительные устройства напряжением 6 – 35 кВ.

Комплектные распределительные устройства (КРУ) предназначены для работы в распределительных устройствах сетей трехфазного переменного тока с изолированной или заземленной через дугогасительный реактор нейтралью. КРУ набираются из отдельных камер, в которые встроены электротехническое оборудование, устройства релейной защиты и автоматики, измерительные приборы и т.п. Камеры определенной серии независимо от схемы электрических соединений главной цепи имеют аналогичную конструкцию основных узлов и, как правило, одинаковые габаритные размеры. В зависимости от конструктивного исполнения все КРУ можно разбить на следующие группы:

- стационарного исполнения;
- выкатного исполнения;

- моноблоки, заполненные элегазом.

В комплектных распределительных устройствах стационарного исполнения коммутационные аппараты, трансформаторы напряжения, трансформаторы собственных нужд небольшой мощности устанавливаются в камерах неподвижно.

В комплектных распределительных устройствах выкатного исполнения вышеперечисленное оборудование устанавливается на выкатных тележках.

Моноблок представляет собой комплектное распределительное устройство на три-пять присоединений, заполненное элегазом (выпускаются моноблоки с возможностью расширения), предназначенное для небольших распределительных пунктов и РУВН трансформаторных подстанций 6 – 20 кВ. Моноблоки имеют принципиально новую конструкцию, использующую современные технологии и аппараты. В России первый элегазовый моноблок «Ладога» выпускается с 2004 г. предприятием ПО «Элтехника». Комплектные распределительные устройства выпускаются для внутренней (внутри здания, в том числе модульного) и наружной установки.

В последние годы много внимания уделялось созданию малогабаритных комплектных распределительных устройств выкатного и стационарного исполнения. Таким требованиям удовлетворяют камеры КСО-202 (ЧЭАЗ), камеры КРУ/TEL («Таврида Электрик»), камеры КСО К-66, КСО – ЗУЩ (ОАО «Самарский завод «Электрощит»), камеры КСО «Аврора» (ПО «Элтехника») и ряд других.

Предприятия электротехнической промышленности выпускают различные серии комплектных распределительных устройств, в том числе КРУ целевого назначения, с различными техническими характеристиками, габаритными размерами, параметрами оборудования, схемами первичных соединений.

Для каждой серии комплектных распределительных устройств заводом-изготовителем предлагается сетка схем первичных соединений камер (схемы электрических соединений главных цепей). Для комплектных распределительных устройств принципиально новой модульной конструкции серии КРУ/TEL схемы первичных соединений приводятся не для камеры, а для модуля, а предприятие-изготовитель предлагает варианты схем типовых камер, составленных из отдельных модулей.

Схемы первичных соединений камер подразделяются на следующие виды: с высоковольтным выключателем (вводы, отходящие линии, секционирование); с выключателем нагрузки или выключателем нагрузки и предохранителем (вводы, отходящие линии, секционирование); с разъединителями (секционирование); с измерительным трансформатором напряжения и др.

На схеме первичных соединений камер показываются все основные элементы установленного электротехнического оборудования. В камерах, предназначенных для среднего расположения в РУ, т.е. такого, при котором с обеих сторон камеры установлены смежные камеры, сборные шины

проходят в обе стороны, что и отображается в схеме. При крайнем положении камеры в распределительном устройстве у сборных шин ставится вертикальная линия, показывающая, что в этом месте сборные шины кончаются. В камерах выкатного исполнения отсек сборных шин в этом месте закрывается металлической заглушкой или перегородкой. Такая же линия ставится при наличии в схеме камер секционирования.

Камеры на напряжение 6 и 10 кВ комплектуются электрооборудованием на номинальное напряжение 10 кВ, трансформаторы напряжения, разрядники, силовые предохранители, трансформаторы собственных нужд устанавливаются на напряжение 6 и 10 кВ.

По новым правилам в комплектных распределительных устройствах должна предусматриваться защита от дуговых коротких замыканий. Существует два наиболее распространенных типа дуговой защиты, которыми оснащаются производимые в России КРУ: фототиристорная и клапанная. Принцип действия первой основан на контроле светового потока, появляющегося в момент возникновения дуги, с помощью фототириستоров. Фототиристорная дуговая защита обладает хорошей чувствительностью и быстроедействием, позволяет локализовать повреждение в начальный момент возникновения дуги, но имеет существенный недостаток – низкую надежность фототиристоров. С развитием производства волоконной оптики стало возможным применение волоконно-оптических кабелей в качестве датчиков обнаружения электрической дуги, что позволило повысить надежность дуговой защиты и улучшить ее характеристики. Современной оптоволоконной защитой оснащены камеры КСО “Аврора”.

Клапанная защита реагирует на увеличение давления внутри объема ячейки, возникающего при горении дуги, что приводит к срабатыванию выхлопного клапана. Недостаток клапанной защиты – низкая чувствительность.

Камеры всех серий снабжены блокировками, исключающими ошибочные действия обслуживающего персонала с коммутационными аппаратами, что создает безопасные условия эксплуатации камер.

9.3 Комплектные распределительные устройства стационарного исполнения внутренней установки напряжением 10(6) кВ.

Комплектные распределительные устройства стационарного исполнения применяются на подстанциях с простыми схемами первичных соединений при небольшом числе присоединений. Они отличаются простой конструкцией, имеют меньшую глубину шкафа, низкие стоимость и металлоемкость по сравнению с КРУ выкатного исполнения.

Вместе с тем имеется ряд технических недостатков:

- открытая незащищенная конструкция камер (сборные шины проложены открыто);
- при выходе из строя коммутационного аппарата присоединение

- отключается на время, необходимое для его ремонта;
- стационарно установленные выключатели неудобны в техническом обслуживании, существенно увеличивается время, необходимое на контроль и ремонт основного электрооборудования камер;
 - в камерах КСО используется одноступенчатая дуговая защита.

Промышленностью выпускаются комплектные распределительные устройства стационарного исполнения внутренней установки:

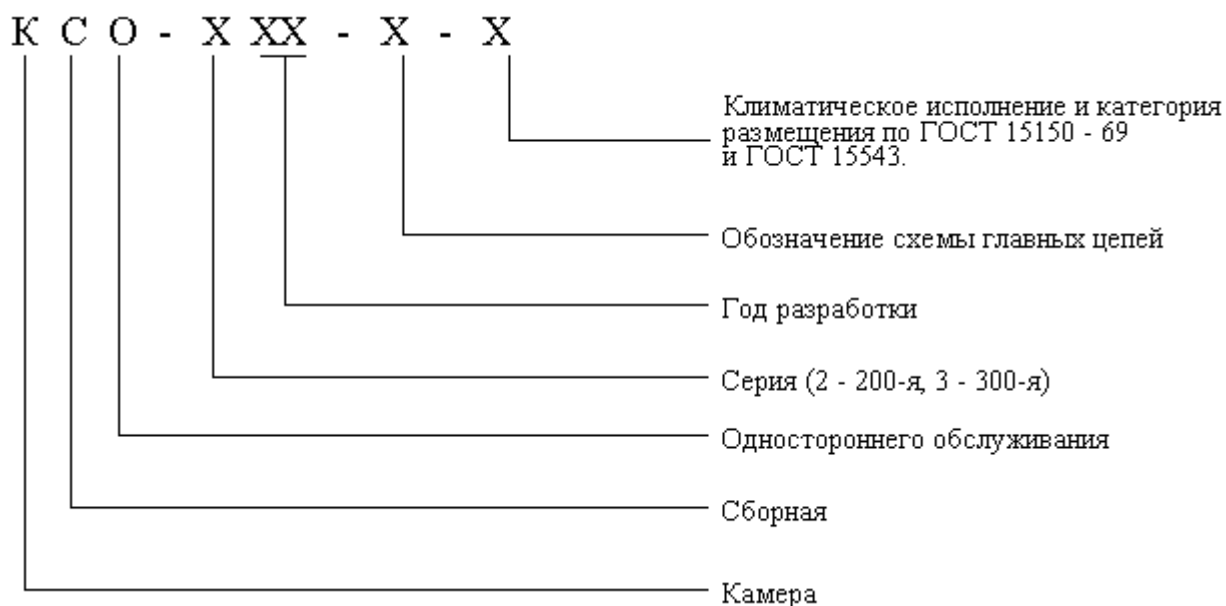
- КСО серии 300 с выключателями нагрузки: КСО-366; КСО-366М; КСО-386; КСО-392; КСО-399; КСО-301; КСО-302; КСО-3СЭЩ и др.;
- КСО серии 200 с высоковольтными выключателями: КСО-285, КСО-292; КСО-2-10, КСО-298, КСО-2000, КСО-2001, КСО-2СЭЩ, КСО-202, КСО-6(10)-Э1 «Аврора» и др.;
- серии КРУ/TEL.

В большинстве выпускаемых в нашей стране камер стационарного исполнения применяются коммутационные аппараты традиционного конструктивного исполнения и аналогичные конструкции ячеек, в которых сборные шины располагаются открыто в верхней части камеры. Для обеспечения безопасности обслуживающего персонала в КСО серии 300 предусматриваются инвентарные перегородки, которые используются для ограждения пространства сборных шин на время производства работ в камере, в КСО серии 200 камера разделяется на отсеки: сборных шин, выключателя, линейного (кабельного), релейной защиты, сигнализации и управления.

Принципиально новые конструкции имеют камеры модульного исполнения серии КРУ/TEL на токи 400 и 630 А. В одной камере КРУ/TEL устанавливается и соединяется друг с другом несколько модулей (от двух до четырех, до трех модулей с вакуумным выключателем). Один модуль КРУ/TEL по выполняемым функциям по сути заменяет одну камеру распределительного устройства традиционного исполнения. Камеры имеют небольшие габаритные размеры, медные изолированные сборные шины оригинальной конструкции, оснащаются системой защиты и автоматики, выполненной на основе микропроцессорных реле.

Предприятие ОАО «ПО Элтехника» освоила выпуск камер КСО-6(10)-Э1 «Аврора», которые также имеют значительные преимущества перед традиционными камерами серии КСО. В камерах КСО-6(10)-Э1 используются современные коммутационные аппараты последнего поколения технологически выдвигного исполнения, что позволило значительно сократить габаритные размеры и массу камер и получить существенную экономию путем уменьшения размеров РУ, повысить надежность, эксплуатационную безопасность и срок службы камер.

Обозначение камер стационарного исполнения:



9.4 Комплектные распределительные устройства серии КРУ/ТЕЛ.

Камеры КРУ/ТЕЛ выпускаются предприятием «Таврида Электрик» и представляют собой наиболее современные камеры модульной конструкции. Предназначены для комплектования распределительных устройств напряжением 6(10) кВ трансформаторных подстанций и распределительных пунктов общепромышленного и городского назначения. Камеры КРУ/ТЕЛ рекомендуется использовать при частых коммутациях электрической сети.

Камера КРУ/ТЕЛ набирается из отдельных модулей. Модуль КРУ – совокупность оборудования, установленного в камере и выполняющего определенные функции. Номер модуля соответствует номеру его схемы. Совокупность модулей образует камеру КРУ/ТЕЛ.

В зависимости от числа подключаемых кабелей модули разделяются на однокабельные и двухкабельные (с возможностью подключения одного или двух кабелей площадью сечением до 240 мм² каждый). Для подключения силовых кабелей используются термоусаживаемые концевые кабельные муфты фирмы RAUSHEM (Германия) или иные подобные по согласованию с заказчиком.

В качестве аппаратов, обеспечивающих видимый разрыв главных цепей шкафов КРУ/ТЕЛ, применяются разъединители или разъединители-заземлители. В камерах КРУ/ТЕЛ используются разъединители, у которых подвижный контакт разъединителя перемещается вдоль вертикальной оси.

Конструкция шкафов КРУ/ТЕЛ. Модули устанавливаются и соединяются друг с другом в шкафу КРУ/ТЕЛ, который представляет собой конструкцию каркасно-панельного типа. Шкаф условно может быть разделен на три отсека, разделенных перегородками: низковольтный, высоковольтный и кабельный. Кроме того, на объекте над шкафом КРУ/ТЕЛ монтируется

релейный отсек, в котором устанавливаются блоки управления вакуумным выключателем, реле защиты, клеммные колодки, переключатели и другое оборудование цепей вторичной коммутации. Релейный отсек надежно закрепляется на шкафу КРУ/TEL с помощью переходных деталей. Сборные шины в шкафах КРУ/TEL формируются последовательно соединенными отрезками сборных шин, покрытыми твердой изоляцией.

Электрооборудование, применяемое в шкафах КРУ/TEL:

- высоковольтные выключатели – ВВ/TEL;
- разъединители с вертикальным расположением подвижного и неподвижного контактов;
- трансформаторы тока: ТПВ («Таврида Электрик»), предназначенные для использования преимущественно в цепях РЗиА, ТСОА («SADTEM», Франция), используемые в целях измерения, технического и коммерческого учета электроэнергии;
- трансформаторы тока нулевой последовательности типа ТЗЛМ;
- емкостные датчики напряжения для индикации наличия напряжения на сборных шинах; трансформаторы напряжения малогабаритные однофазные Y12G фирмы «SATDEM», Франция.

Формирование главных цепей камер КРУ/TEL. Подбор модулей в камере может осуществляться заказчиком по схемам. Предприятие «Таврида Электрик» предлагает ряд типовых камер, составленных из разных модулей. По желанию заказчика могут быть сформированы любые комбинации модулей в пределах камеры КРУ/TEL.

Релейная защита и автоматика КРУ/TEL. В систему релейной защиты и автоматики КРУ/TEL может входить следующее оборудование (в соответствии с заказом): отсеки РЗиА, включающие вторичные цепи с реле защиты и автоматики, измерительные приборы; система питания РЗиА; система сбора и передачи информации (SKADA). Кроме того, по дополнительному требованию заказчика могут устанавливаться приборы коммерческого и технического учета электроэнергии или специальные микропроцессорные измерительные центры. РЗиА присоединений может быть выполнена с использованием многих типов микропроцессорных реле отечественного и импортного производства. типовым вариантом является выполнение системы РЗиА на реле фирмы MICROELTRICA SCIENTIFICA.

9.5. Конструкция и принцип работы вакуумного выключателя серии ВВ/TEL

Выключатели вакуумные серии ВВ/TEL предназначены для коммутации электрических цепей с изолированной нейтралью при нормальных и аварийных режимах работы в сетях переменного тока частоты 50 Гц с номинальным напряжением 6-10 кВ.

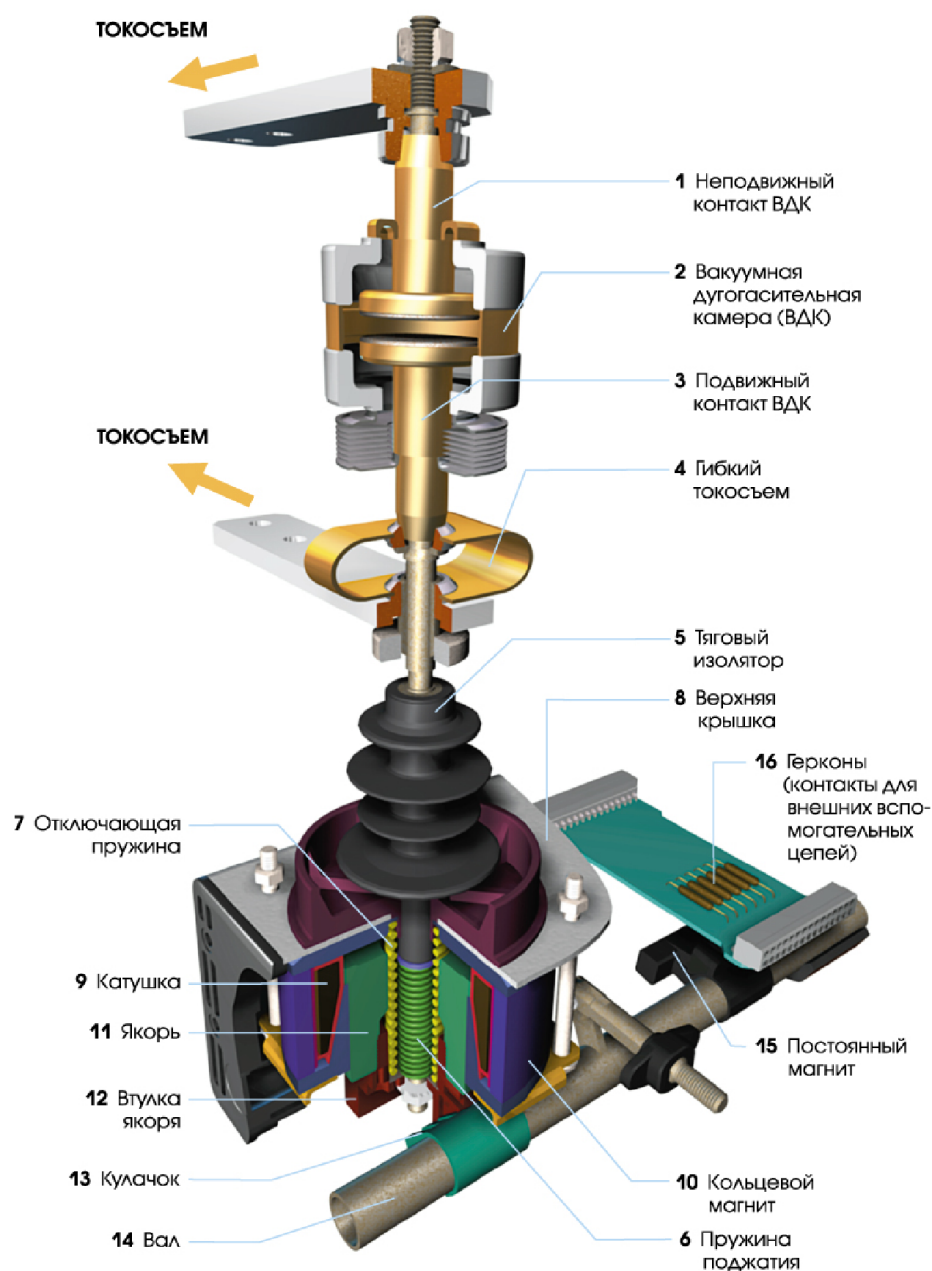


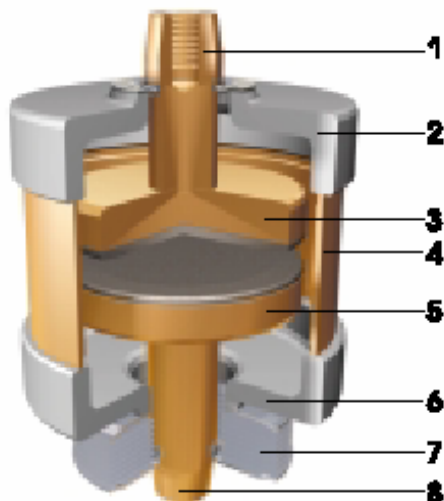
Рисунок 22 – Конструкция вакуумного выключателя серии ВВ/TEL

Вакуумные выключатели серии ВВ/TEL - это коммутационные аппараты нового поколения, в основе принципа действия которых лежит гашение возникающей при размыкании контактов электрической дуги в глубоком вакууме, а фиксация контактов вакуумных дугогасительных камер (ВДК) в замкнутом положении осуществляется за счет остаточной индукции приводных электромагнитов ("магнитная защелка").

Отличительная особенность конструкции вакуумных выключателей серии ВВ/TEL по сравнению с традиционными коммутационными аппаратами заключается в использовании принципа соосности электромагнита привода и вакуумной дугогасительной камеры в каждом полюсе выключателя, которые механически соединены между собой общим валом.

Оригинальность конструкции выключателей ВВ/TEL позволила достичь следующих преимуществ по сравнению с другими коммутационными аппаратами:

- высокий механический и коммутационный ресурс;
- малые габариты и вес;
- небольшое потребление энергии по цепям управления;
- возможность управления по цепям постоянного, выпрямленного и



переменного оперативного тока;

- простота встраивания в различные типы КРУ и КСО и удобство организации необходимых блокировок;
- отсутствие необходимости ремонта в течении всего срока службы;
- доступная цена.

Принцип фиксации контактов ВДК в замкнутом положении с применением магнитной защелки в настоящее время активно используется в новых конструкциях вакуумных выключателей ряда различных фирм (GEC Alstom, Whipp & Bourne, Cooper), однако "Таврида Электрик" является первым предприятием - изготовителем, открывшим дорогу вакуумным выключателям с магнитной защелкой к массовому потребителю (оригинальность выключателей ВВ/TEL защищена патентом Российской Федерации № 2020631).

Благодаря своим преимуществам вакуумные выключатели ВВ/TEL широко применяются во вновь разрабатываемых комплектных распределительных устройствах (КРУ, КСО, КРН), а также для реконструкции ячеек КРУ, находящихся в эксплуатации и имеющих в своем составе на момент реконструкции выключатели других конструкций, которые устарели морально и физически.

Конструкция ВДК

Корпус ВДК состоит из двух керамических изоляторов 2 и 6 и медного экрана 4, припаяваемого к изоляторам. Конструктивными особенностями ВДК являются чашеобразная форма керамических изоляторов и сварной сильфон 7, значительно снизившие вес и габариты ВДК.

Сильфон припаивается к изолятору 6 и выводу 8, обеспечивая возможность перемещения подвижного контакта 5 без нарушения герметичности ВДК.

Вакуумная дугогасительная камера.

Одним из основных элементов выключателя является вакуумная дугогасительная камера (ВДК), разработанная специалистами предприятия «Таврида Электрик».

Сегодня ВДК серии TEL имеет самую прогрессивную конструкцию и выпускается с применением последних достижений современных технологий. Она имеет рекордно малые габариты и массу. Износ ее контактов при совершении 50000 операций отключения номинального тока не превышает 1 мм

Работа выключателя

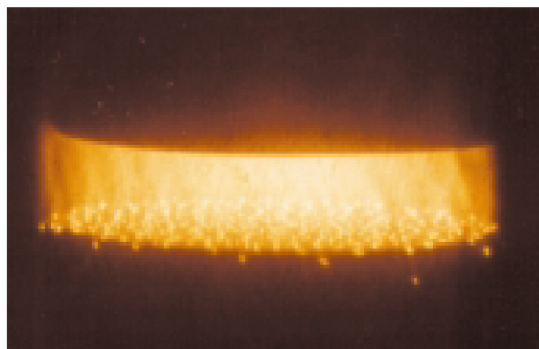
Включение выключателя.

В отключенном положении контакты ВДК (поз. 1 и 3 рис.22) удерживаются за счет воздействия на них пружины отключения (поз.7) через тяговый изолятор (поз.5).

При подаче команды на включение (линия 0 рис.23), включающий конденсатор блока управления (на рис. не показан) разряжается на катушку привода (поз.9). Протекающий при этом ток создаёт магнитный поток в зазоре между якорем электромагнита (поз.11) и кольцевым магнитом (поз.10).

В момент, когда сила тяги якоря, создаваемая магнитным потоком, превосходит усилие пружины отключения (линия 1 рис.2), якорь электромагнита (поз.11) вместе с тяговым изолятором (поз.5) и подвижным контактом (поз.3) вакуумной камеры начинает движение вверх, сжимая пружину отключения (поз.7).

В процессе движения (промежуток между линиями 1 и 2 рис.23)



якорь набирает скорость около 1м/с. Такая скорость является оптимальной для процесса включения и позволяет полностью исключить дребезг контактов при включении и снизить вероятность пробоя до замыкания контактов.

При замыкании контактов вакуумной камеры (линия 2 рис.23), в магнитной системе остается зазор дополнительного поджатия равный 2 мм. Скорость движения якоря падает, так как ему приходится преодолевать усилие пружины отключения (поз.7) и дополнительного контактного поджатия (поз.6).

В момент замыкания магнитной системы (линия 2а рис.23) якорь соприкасается с верхней крышкой привода (поз.8) и останавливается. В промежуток времени между линиями 2а и 3 заканчивается механический переходный процесс в электромагните и контактной системе полюса, а также формируется необходимая остаточная индукция кольцевого постоянного магнита (поз.10). После окончания процесса включения (линия 3 рис.23) ток катушки привода отключается.

Выключатель остается во включенном положении за счет остаточной индукции, создаваемой кольцевым постоянным магнитом (поз.10), который удерживает якорь (поз.11) в притянутом к верхней крышке (поз.8) положении без дополнительной токовой подпитки.

Запас по усилию удержания (сила, необходимая для отрыва якоря (поз.11) от верхней крышки (поз.8), приложенная вдоль оси привода), составляет 450-500 Н (45-50 кгс) для одного полюса выключателя, то есть 1350-1500 Н (135-150 кгс) для выключателя в целом.

Отключение выключателя.

Для отключения выключателя необходимо приложить к выводам катушки напряжение отрицательной полярности (линия 4 рис.23). Ток, протекающий по обмотке, размагничивает магнит (поз.10) (линия 4а рис.23).

Якорь электромагнита (поз.11) под давлением пружины отключения и пружины дополнительного контактного поджатия разгоняется и наносит удар (линия 5 рис.2) по тяговому изолятору (поз.5), соединенному с подвижным контактом 3 вакуумной камеры. Ударное усилие, создаваемое якорем электромагнита превышает 2000 Н (200 кгс), что позволяет гарантированно отключить выключатель.

После удара подвижный контакт (поз.3) приобретает высокую стартовую скорость и под действием отключающей пружины совместно с якорем электромагнита (поз.11) тяговым изолятором (поз.5) продолжает своё движение вплоть до конечного (отключенного) положения (линия 6 рис.23).

Временные диаграммы поясняющие принцип действия выключателя ВВ/TEL приведены на рисунке.

линия 0 – момент приложения включающего конденсатора к катушке электромагнита (поз.9)

линия 1 – момент троганья якоря электромагнита (поз.11) на включение

линия 2 – момент замыкания контактов главной цепи выключателя (поз.1 и поз.3)

линия 2а – момент замыкания магнитной системы привода (пружина дополнительного поджатия контактов (поз.6) сжата)

линия 3 – фиксация привода во включенном положении (постановка на «магнитную» защелку)

линия 4 – момент приложения отключающего конденсатора (отрицательной полярности) к катушке электромагнита (поз.9)

линия 4а – момент троганья якоря электромагнита (поз.11) на отключение

линия 5 – момент размыкания контактов главной цепи выключателя (поз.1 и поз.3)

линия 6 – прекращение движения якоря электромагнита

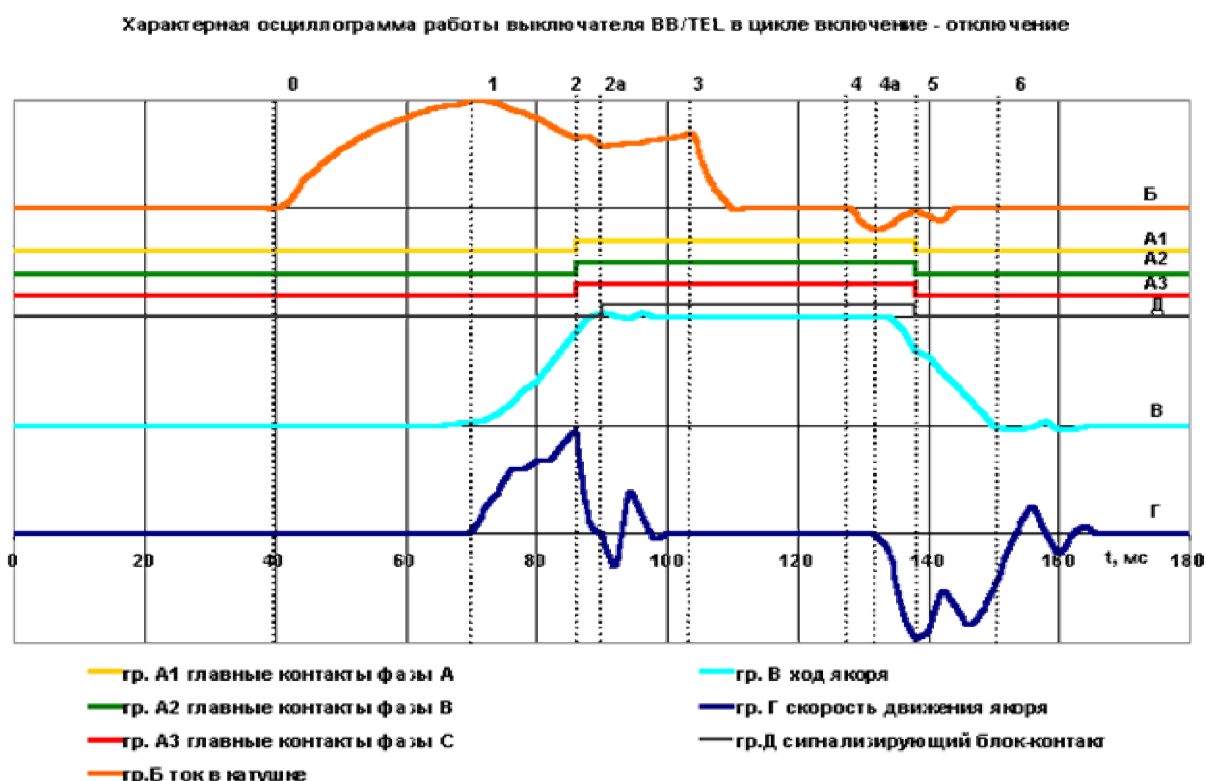


Рис.23 Комплектные распределительные устройства выкатного исполнения внутренней установки напряжением 10(6) кВ

Общие сведения

Комплектные распределительные устройства выкатного исполнения предназначены для установки в распределительных пунктах 10(6) кВ трансформаторных подстанций, включая комплектные трансформаторные подстанции с первичным напряжением 35 – 110 кВ. Основным достоинством КРУ выкатного исполнения является быстрая взаимозаменяемость аппаратов, установленных на выкатной тележке, что особенно важно для крупных и ответственных электроустановок. Отсутствие разъединителей и применение вместо них специальных скользящих контактов штепсельного типа позволяет повысить надежность камер и

удобство их технического обслуживания. КРУ выкатного исполнения выпускаются для токов до 3150 А различных серий: К-59, К-63, К-61, К-66, К-104М, К-105, К-XXVI, К-XXVII, К-98, КРУ2-10, КМ1-КФ и т.д. Они имеют широкий диапазон схем первичных соединений и применяются на подстанциях со сложными схемами главных соединений, при большом числе присоединений и токах вводного выключателя более 100А.

Промышленностью выпускаются КРУ с односторонним и двухсторонним обслуживанием. Применение КРУ одностороннего обслуживания обеспечивает возможность их размещения в помещениях РУ, имеющих меньшую ширину.

Камеры КРУ всех серий имеют жесткую конструкцию, в которую встроены токоведущие части (сборные шины, ответвления), трансформаторы напряжения, трансформаторы тока, ограничители перенапряжений и другое оборудование в соответствии со схемой камеры. Корпус камеры разделен на отсеки: отсек сборных шин, отсек выкатного элемента, линейный отсек, отсек (шкаф) релейной защиты и автоматики.

На выкатных тележках размещаются высоковольтные выключатели, трансформаторы напряжения, предохранители для подключения трансформаторов собственных нужд. В типовых схемах каждой серии предусматривается тележка с разъединителями, роль которых выполняют разъединяющие контакты. В верхней и нижней частях выкатного элемента расположены подвижные разъединяющие контакты, которые при вкатывании элемента в шкаф замыкаются шинным (верхним) и линейным (нижним) неподвижными контактами. При выкатывании элемента с предварительно отключенным выключателем разъёмные контакты отключаются и выключатель при этом будет отключен от сборных шин и кабельных вводов.

Когда выкатной элемент находится вне корпуса шкафа, обеспечивается удобный доступ к выключателю и его приводу для ремонта, а при необходимости – быстрая замена выключателя другим аналогичным.

В камерах выкатного исполнения в качестве коммутационных аппаратов применяются вакуумные, элегазовые и маломасляные выключатели. Одним из преимуществ элегазовых выключателей является низкий уровень коммутационных перенапряжений, исключающих возможность повреждения изоляции, а также коммутационная способность до 50 кА и электродинамическая стойкость до 128 кА, что позволяет применять их в сетях с большими токами короткого замыкания.

Вся аппаратура РЗА, управления, измерения и сигнализации устанавливается в отдельном отсеке или в отдельном шкафу, которые размещаются, как правило, сверху корпуса камеры КРУ. Связь вторичных цепей релейного шкафа выполняется с помощью проводов и штепсельных разъемов. Для всех выпускаемых в настоящее время серий камер предусматривается возможность применения микропроцессорных устройств РЗА.

Номенклатурное обозначение камер:



9.6 Распределительные устройства 6 – 20 кВ компании Schneider Electric

9.6.1 Распределительные ячейки напряжением 6 – 24 кВ серии SM6

распределительные ячейки серии SM6 предназначены для внутренней установки в распределительных устройствах и подстанциях напряжением 6 – 24 кВ и на стороне ВН подстанций 6 – 20 кВ. ячейки выпускаются на токи 400 – 1250 А и представляют собой модульную конструкцию в металлических корпусах с воздушной изоляцией стационарного или выкатного исполнения с элегазовыми коммутационными аппаратами.

В качестве коммутационных аппаратов в ячейках устанавливаются:

- элегазовые выключатели нагрузки;
- элегазовые высоковольтные выключатели типа SF1 или Sfsset;
- элегазовые контакторы Rollarc 400 или 400D;
- элегазовые разъединители.

Преимущества ячеек серии SM6:

- большой срок службы;
- минимальное техническое обслуживание;
- высокие электротехнические показатели;
- герметичность элегазовых коммутационных аппаратов (рабочие части аппаратов находятся в изолированном корпусе, заполненном элегазом);
- высокая надежность и безопасность эксплуатации;
- небольшие размеры: ширина от 375 до 750 мм, высота – 1600 мм, глубина – 840 мм, что обеспечивает возможность их размещения в небольших помещениях или подстанциях, полностью собранных на заводе.

В зависимости от функционального назначения ячейки имеют код: IM, QM, DM1, CM, DM, GBC и др.

Ячейки помимо оборудования, могут быть укомплектованы рядом дополнительных устройств (реле, трансформаторы тока нулевой последовательности, трансформаторы тока и напряжения, дополнительный отсек наверху ячейки, нагревательные элементы и т.д.).

9.6.2 Ячейка состоит из пяти отсеков:

- 1 - отсека коммутационного аппарата (выключателя нагрузки и/или разъединителя);
- 2 - отсека сборных шин;
- 3 - кабельного отсека и отсека выключателя или контактора;
- 4 - отсека привода;
- 5 - отсека релейной защиты и цепей вторичной коммутации.

В первом отсеке в одном корпусе расположены: трехпозиционный выключатель нагрузки (разъединитель) и заземляющий разъединитель. Корпус заполнен элегазом и «запаян на весь срок службы». Аппарат отделяет отсек сборных шин от кабельного отсека.

В отсеке сборных шин расположены в одной плоскости три изолированные шины, номинальный ток которых составляет 400; 600; 1250 А.

В кабельном отсеке осуществляется подсоединение кабелей к

контактным площадкам коммутационных аппаратов. Здесь же – в ячейках DM1-A, DM1-D, DM1-W, DM1-Z и DM2 расположен элегазовый выключатель; в ячейках PM, QM расположены плавкие предохранители, в ячейках DM1-A, DM1-D – контактор. При необходимости могут быть установлены трансформаторы тока и напряжения.

Подключение кабелей осуществляется спереди. Кабели могут иметь: простые концевые муфты для одно- или трехфазных кабелей с СПЭ-изоляцией и термоусаживаемые муфты для кабелей с СПЭ-изоляцией или с бумажной масляной изоляцией.

Максимальное допустимое сечение кабелей:

- 630 мм² – для вводных ячеек или ячеек отходящих линий с номинальным током 1250 А;
- 240 мм² – для вводных ячеек или ячеек отходящих линий с номинальным током 400 – 630 А;
- 95 мм² – для ячеек с плавкими предохранителями.

Подвод кабелей осуществляется снизу через каналы в полу, с использованием цоколей через проемы в полу. Глубина каналов зависит от сечения кабелей. Возможна установка ячеек на цоколях высотой 400 мм.

В четвертом отсеке расположены приводы коммутационных аппаратов.

В отсеке релейной защиты устанавливается блок управления, контроля и защиты типа SEPAM, VIP или АВР, клеммник и автоматические выключатели низкого напряжения. При необходимости отсек может быть увеличен путем установки дополнительного отсека с дверцей наверху ячейки. Доступ в эти отсеки может осуществляться при наличии напряжения на сборных шинах и кабелях.

9.6.3 Электрооборудование, применяемое в ячейках серии SM6.

Выключатели нагрузки, разъединители и заземляющие разъединители.

Выключатели нагрузки и разъединители имеют одинаковую конструкцию. В качестве дугогасящей и изоляционной среды используется элегаз. Три поворотных контакта помещены в корпус, заполненный элегазом с избыточным давлением 40 кПа, герметичность корпуса всегда проверяется на заводе-изготовителе. Внешний вид и основные элементы выключателя нагрузки (разъединителя).

Коммутационный аппарат может находиться в одном из трех положений: включен, отключен, заземлен. Заземляющий разъединитель, помещенный в элегаз, обладает необходимой стойкостью к включению на короткое замыкание. В случае недопустимого повышения давления внутри корпуса предохранительная мембрана направляет газ в заднюю часть ячейки, обеспечивая безопасность обслуживающего персонала.

В момент расхождения неподвижного и подвижного контактов аппарата возникает дуга, для гашения которой используется элегаз, обладающий исключительными дугогасительными свойствами. Для

усиления охлаждения дуги создается ее движение в элегазе. Взаимодействие тока с полем, создаваемым постоянным магнитом, приводит к закручиванию дуги относительно неподвижного контакта, в результате происходит ее удлинение и охлаждение до момента, пока она не будет полностью погашена при первом прохождении тока через ноль. Расстояние между неподвижными и подвижными контактами становится к этому моменту достаточным, чтобы выдержать восстанавливающееся напряжение. Эта система является простой, имеет повышенную долговечность благодаря небольшому изнашиванию контактов.

Выключатель. В ячейках серии SM6 применяются два типа выключателей:

- серии Sfset, с автономным устройством, оборудованным электронной системой защиты и специальными датчиками, не требующими дополнительного источника питания;
- серии SF1, с встроенным электронным реле и стандартными датчиками, с питанием от дополнительного источника или без него.

Выключатели состоят из трех отдельных полюсов, установленных на раме, на которой смонтирован и привод. Рабочие элементы каждого полюса находятся в изолированном корпусе, заполненном элегазом с избыточным давлением 50 кПа. Каждый элегазовый корпус имеет предохранительную мембрану, срабатывающую при недопустимом повышении давления внутри полюса.

В выключателях используется автокомпрессионный способ гашения дуги в элегазе, который не дает перенапряжений в момент отключения электрического тока.

Отключение выключателя происходит следующим образом.

Первая стадия – предварительное сжатие. В начале процесса расхождения контактов поршень слегка сжимает элегаз в камере повышенного давления. Следующая стадия – горение дуги. При расхождении дугогасительных контактов между ними возникает дуга, при этом поршень продолжает свое движение вниз. Небольшое количество газа через изолированное сопло направляется на дугу. Таким образом, охлаждение дуги при отключении малых токов происходит путем принудительной конвенции. При отключении больших токов происходит тепловое расширение газа в области горения дуги и его перемещение с большой скоростью в сторону частей полюса с более низкой температурой. При прохождении тока через ноль расстояние между двумя дугогасительными контактами достаточно для отключения тока благодаря диэлектрическим свойствам элегаза. Заключительная стадия – стадия гашения дуги. Подвижные части прекращают свое движение, в то время, как поступление холодного газа продолжается до полного расхождения контактов.

Контактор Rollarc 400 или 4000 применяется в цепях с частыми коммутациями. Три фазы контактора находятся в корпусе, заполненном элегазом с избыточным давлением 250 кПа. Для обеспечения безопасности предусмотрена предохранительная мембрана, которая срабатывает при

повышении давления в корпусе выше предельно допустимого значения.

Устройство контактора показано на рисунке 46. Для гашения дуги в контакторах используется принцип вращения дуги между кольцевыми дугогасительными контактами с помощью электромагнитного поля. Поле создается соленоидом, через который протекает отключаемый ток в момент расхождения контактов.

До начала процесса отключения главные и дугогасительные контакты находятся в замкнутом положении. Главная цепь размыкается при размыкании главных контактов. Дугогасительные контакты при этом замкнуты. Размыкание дугогасительных контактов происходит непосредственно за размыканием главных контактов. На дугу воздействует электромагнитное поле, создаваемое дугогасительной катушкой. Дуга быстро вращается под действием электромагнитных сил и охлаждается вследствие принудительной конвекции. Благодаря фазовому сдвигу между током и напряженностью магнитного поля эта сила продолжает существовать и в момент прохождения тока через ноль. При токе, равном нулю, в промежутке между дугогасительными кольцами восстанавливается исходная диэлектрическая напряженность благодаря уникальным диэлектрическим свойствам элегаза.

Приводы. В ячейках SM6 применяются двухфункциональные (для двух аппаратов) и однофункциональные (для одного аппарата) приводы. Устройства управления приводом находятся на передней панели. Привод может быть моторизован (по дополнительному заказу).

Плавкие предохранители. В ячейках SM6 устанавливаются плавкие предохранители типа Solefuse или Fusarc.

Безопасность эксплуатации коммутационных аппаратов обеспечивается конструкцией ячеек, простотой коммутационных операций и системой функциональных блокировок. Гарантированное положение выключателей нагрузки и разъединителей отражается на мнемосхеме. Наличие напряжения на кабелях определяется по неоновым лампам стационарных указателей напряжения.

9.7 Комплектные распределительные устройства с элегазовой изоляцией напряжением 110 кВ и выше

Применение *комплектных распределительных устройств* с элегазовой изоляцией (КРУЭ) позволяет значительно уменьшить площади и объемы, занимаемые распределительным устройством и обеспечить возможность более легкого расширения КРУЭ по сравнению с традиционными РУ. К другим преимуществам КРУЭ можно отнести:

- многофункциональность – в одном корпусе совмещены сборные шины, выключатель, разъединители с заземляющими разъединителями, трансформаторы тока, что существенно уменьшает размеры и повышает надежность ОРУ;
- взрыво- и пожаробезопасность;
- высокая надежность и стойкость к воздействию внешней среды;

- возможность установки в сейсмически активных районах и зонах с повышенной загрязненностью;
- отсутствие электрических и магнитных полей;
- безопасность и удобство эксплуатации, простота монтажа и демонтажа.

Ячейки КРУЭ выполняются, как правило, в трехфазном исполнении и состоят из отдельных элементов, заключенных в герметичную металлическую оболочку цилиндрической или шаровой формы, заполненной элегазом или смесью азота с элегазом. Для сочленения между собой оболочки элементов имеют фланцы и патрубки, контакты и уплотнения.

Ячейки КРУЭ, отдельные модули и элементы допускают возможность компоновки распределительных устройств 110 кВ по любым схемам. В зависимости от применяемой схемы распределительное устройство может состоять из одной и более ячеек.

КРУЭ производства АО «Энергомехзавод» (г. Санкт-Петербург) на напряжения 110-500 кВ. В зависимости от схемы заполнения КРУЭ представляет собой комплекс ряда аппаратов (ячеек, отдельных модулей и изделий, необходимых для присоединения воздушных и кабельных линий). Ячейки и модули состоят из отдельных элементов, заключенных в герметичную металлическую оболочку цилиндрической или шаровой формы, заполненной элегазом.

По функциональному назначению ячейки КРУЭ могут быть линейные, шиносоединительные, трансформаторов напряжения и секционные, с одной или двумя системами сборных шин. Ячейки, отдельные модули и элементы допускают возможность компоновки КРУЭ по различным электрическим схемам. Ячейки состоят из трех полюсов, шкафов и сборных шин. В шкафах размещена аппаратура цепей сигнализации, блокировки, дистанционного электрического управления, контроля давления элегаза и подачи его в ячейку, питания приводов сжатым воздухом.

Ячейки на номинальное напряжение 110-220 кВ имеют трехполюсное или пополюсное управление, а ячейки на 500 кВ – только пополюсное управление.

В полюс ячейки входят:

- коммутационные аппараты: выключатели, разъединители, заземлители;
- измерительные трансформаторы тока и напряжения;
- соединительные элементы: сборные шины, кабельные вводы («масло-элегаз»), проходные вводы («воздух-элегаз»), элегазовые токопроводы и др.

различные элементы ячеек по конструкции, условиям эксплуатации, монтажу, ремонту газовой схемы могут быть объединены в отсеки, а по условиям транспортировки – в транспортные блоки. Ячейки или их транспортные блоки заполнены элегазом или азотом при небольшом избыточном давлении.

КРУЭ снабжаются вспомогательным оборудованием и приспособлениями, обеспечивающими их нормальное обслуживание.

Элегазовые ячейки PASS MO компании ABB T & D имеют

модульную конструкцию, компактны и позволяют объединить в одном модуле силовой выключатель, один или несколько разъединителей и заземлителей, трансформаторы тока, вводы, присоединяемые к одной или двум системам сборных шин.

Ячейка PASS MO содержит все оборудование, необходимое для функционирования высоковольтного распределительного устройства наружной установки и позволяет реализовать любые схемы соединения и выполнить любую компоновку подстанции. Если для управления ячейкой PASS MO используется электронный блок, то дополнительно может быть реализована функция измерения высокого напряжения. Все элементы ячейки, находящиеся под напряжением, заключены в заземляемый алюминиевый корпус, заполненный элегазом или смесью элегаза с азотом. Элементы каждой фазы находятся в отдельном корпусе.

Внешний вид ячейки PASS MO с двойной системой сборных шин и схемы ячейки стандартной конфигурации с одной и двумя системами сборных шин представлены на рисунках 36, 37. На подстанциях, собранных из таких ячеек, отсутствуют традиционные сборные шины, так как они реализованы внутри ячейки.

Выключатель ячейки PASS MO имеет одну дугогасительную камеру, действующую на основе хорошо отработанного принципа самопогашения дуги, как на рисунке 38. Для отключения тока короткого замыкания используется и энергия самой дуги, за счет чего мощность, потребляемая от приводного механизма, составляет примерно 50% мощности, потребляемой традиционными выключателями. Выключатель управляется пружинным приводом.

Трехполюсный комбинированный разъединитель-заземлитель, представленный на рисунках 39, 40, выполнен с круговым движением контакта. По желанию заказчика подвижный контакт может иметь либо три фиксированных положения: подключен к сборной шине ячейки, отключен и заземлен, либо два – подключен к сборной шине и отключен с одновременным заземлением.

Разъединитель состоит из минимального числа деталей, что обеспечивает его высокую надежность. Подобная конструкция применяется для ячеек как с одной, так и с двумя системами сборных шин. Кроме того, по желанию заказчика разъединители могут быть установлены со стороны всех вводов ячейки. Возможны также любые комбинации. При всех вариантах исполнения положение всех разъединителей однозначно определяется по внешним указателям, механически связанными с валами разъединителей. Кроме того, в корпусе ячейки имеются специальные окна, позволяющие визуально наблюдать положение контактов разъединителей. Разъединители управляются моторными приводами. При отсутствии рабочего тока возможно ручное управление разъединителями.

Трансформаторы тока выполнены на кольцевых магнитопроводах, установленных на вводах. Возможна поставка ячеек с различными комбинациями сердечников для защиты и измерения, имеющих любые

классы точности. На каждом вводе может быть размещено до пяти сердечников.

Внешние линии и силовые трансформаторы присоединяются к ячейкам PASS MO через **полимерные вводы**. Основой ввода служит стеклопластиковая труба, на которую нанесена оболочка из кремнийорганической резины, имеющая ребра и образующая внешнюю изоляцию. Внутренний объем ввода сообщается с корпусом ячейки, т.е. заполнен элегазом. Алюминиевые фланцы насаживаются на трубу в горячем состоянии и дополнительно крепятся с помощью специального клея, что обеспечивает механическое соединение, надежно работающее при любых возможных изменениях температуры окружающей среды.

Такие вводы имеют относительно малую массу, не требуют технического обслуживания, устойчивы к любым агрессивным средам и взрывобезопасны.

Внутренняя изоляция ячейки обеспечивается благодаря отличным электроизоляционным свойствам элегаза. В однородном электрическом поле при атмосферном давлении прочность элегаза в 2,5 раза выше, чем прочность воздуха. При увеличении давления эта разница существенно увеличивается. Все изоляционные промежутки внутри ячейки сконструированы таким образом, что их электрические поля являются практически однородными, что позволяет наиболее эффективно использовать изолирующие свойства элегаза. Давление при заполнении примерно на 15% выше номинального. Это гарантирует необходимую плотность элегаза в течение всего срока службы ячейки. После изготовления каждая ячейка тщательно проверяется на отсутствие течей элегаза.

Корпуса всех фаз одной ячейки являются сообщающимися сосудами, в которых после заполнения устанавливается единая плотность элегаза. Для контроля за его плотностью ячейка снабжена денсиметром, имеющим две пары контактов, срабатывающих при снижении давления элегаза.

Корпус ячейки снабжается металлической мембраной (разрывным диском) для защиты его от разрушения при возникновении избыточного давления. При повышении давления выше критического мембрана разрывается и происходит сброс давления.

Ячейка монтируется на стальной **опорной конструкции**, защищенной от коррозии методом горячего цинкования. Конструкция спроектирована таким образом, что обеспечивает максимальную устойчивость и прочность при минимальных затратах на строительные работы.

Связь ячейки с системой управления и защиты подстанции. Все аппараты PASS MO оснащены вспомогательными контактами, цепи от которых выведены на клеммники в шкафу управления ячейкой. На эти же клеммники выведены вторичные обмотки трансформаторов тока и цепи кнопок управления. При реконструкции подстанции с применением ячеек PASS MO достаточно просто связать ячейки с уже существующей системой управления и защиты подстанции. Необходимо только проложить два контрольных кабеля между ячейками и пультом управления подстанцией.

Ячейка PASS MO поставляется заказчику в практически полностью собранном виде.

Основные показатели ячейки PASS MO:

- количество элегаза в ячейке всего 25 кг на три фазы;
- затраты на техобслуживание ячейки снижены на 38% по сравнению с традиционной;
- занимаемая площадь распределительного устройства сокращается на 70%;
- общие эксплуатационные затраты уменьшены на 60%.

10.Схемы распределительных устройств напряжением 6 – 220 кВ со сборными шинами.

Применяются следующие схемы распределительных устройств:

- с одной несекционированной системой шин;
- с одной секционированной системой шин;
- с двумя одиночными секционированными системами шин²;
- с четырьмя одиночными секционированными системами шин³;
- 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 несекционированной системой шин – самая простая схема, которая применяется в сетях 6 – 35 кВ, что показано на рисунке 22. В сетях 10(6)кВ схему называют одиночной системой шин. На отходящих и питающих линиях устанавливается один выключатель, один шинный и один линейный разъединители.

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.

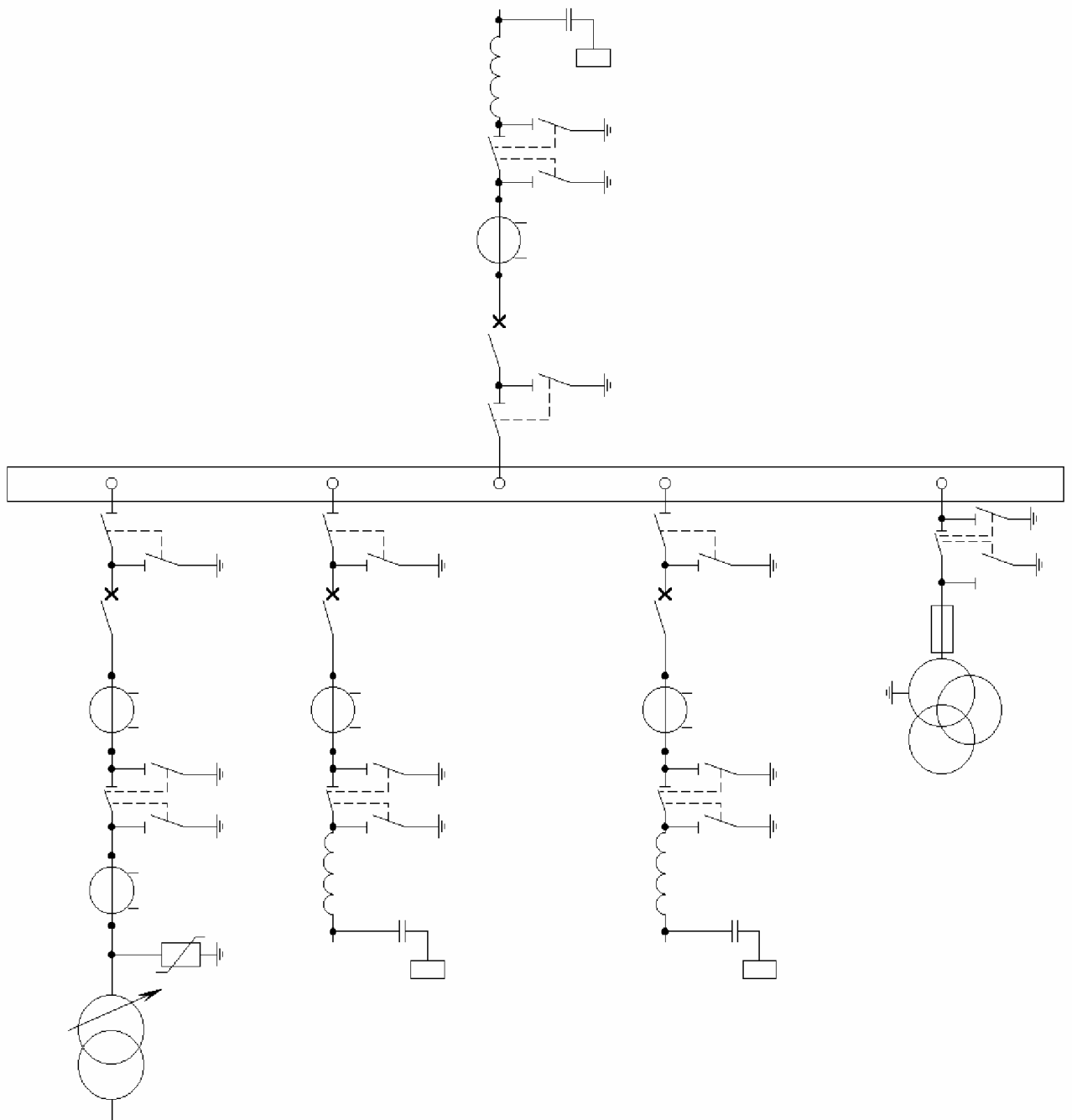
Схема с одной секционированной выключателем системой шин позволяет частично устранить перечисленные выше недостатки предыдущей схемы путем секционирования системы шин, т.е. разделения системы шин на

¹ Для РУ 10(6)кВ ПС С двумя трансформаторами с расщепленной обмоткой или с одним трансформатором с расщепленной обмоткой и двумя сдвоенными реакторами.

³ Для РУ 10(6)кВ ПС с двумя трансформаторами с расщепленной обмоткой и двумя сдвоенными реакторами.

части с установкой в точках деления секционных выключателей. Данная схема приведена на рисунке 24. 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).

Рисунок 24 – Схема с одной системой 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 110 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.

Недостатки схемы с одной секционированной выключателем системы шин:

- на все время проведения контроля или ремонта секции сборных шин один источник 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 рисунке 24 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 выключателем системы шин». При наличии одновременно двух трансформаторов с расщепленной обмоткой и двух сдвоенных реакторов применяется схема, состоящая из восьми секций шин, которая называется «четыре одиночные секционированные выключателями системы шин».

Схема с одной секционированной выключателем и обходной системами шин позволяет проводить ревизию и ремонт выключателей без отключения присоединения. 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 разъединительный выключатель. 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. 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».

Схема с двумя системами шин и обходной с шиносоединительным и обходным выключателями обеспечивает возможность поочередного ремонта выключателей без перерыва в работе соответствующих присоединений. 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.

При числе присоединений более 15 или более 12 и при установке на подстанции трех трансформаторов мощностью 125 МВ·А 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, которые в нормальном режиме отключены.

Рекомендации по применению данной схемы распределительных устройств 6-220 кВ приведены в таблице 2.

Таблица 2 – рекомендации по применению схем распределительных устройств напряжением до 220 кВ включительно

| Система сборных шин | Область применения | Номер (номинальное напряжение – индекс схемы) ⁴ |
|---|---|--|
| Одиночная система шин | В РП, РУ 10(6) кВ при отсутствии присоединений с электроприемниками 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 пяти и более присоединениях, 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 | 10(6)-1; 35-9 |
| 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 | 10(6)-2 |
| Четыре одиночные секционированные системы шин | В РУ 10(6) кВ с двумя трансформаторами с расщепленной обмоткой и с двумя сдвоенными реакторами | 10(6)-3 |
| Одна рабочая секционированная выключателем и обходная системы шин | В РУ 110-220 кВ при пяти и более присоединениях | 12 |

⁴ Первая цифра означает номинальное напряжение, вторая - индекс

| | | |
|--|---|----|
| 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 в удовлетворяющее эксплуатацию время | - |
| Две рабочие и обходная системы шин | 1. В РУ 10 кВ для энергоемких предприятий с электроприемниками первой категории (например, для предприятий цветной металлургии) 2. В РУ 110-220 кВ при числе присоединений от 5 до 15 | 13 |
| 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 при условии замены выключателя в удовлетворяющее эксплуатацию время | - |
| Две рабочие секционированные выключателем и обходная системы шин с двумя шиносоединительными и двумя обходными выключателями | 1. В РУ 110-220 кВ при числе присоединений более 15. 2. В РУ 220 кВ при трех, четырех трансформаторах мощностью 125 МВ·А и более при общем числе присоединений от 12 и более | 14 |

Распределительные подстанции и распределительные устройства напряжением 10(6) кВ

Распределительные подстанции напряжением 10(6) кВ в соответствии с ПУЭ называются распределительными пунктами (РП). Последние широко применяются в системах электроснабжения промышленных предприятий, городов, поселков, агропромышленных комплексов. Распределительные пункты, как правило, выполняются с одиночной секционированной или не секционированной системой шин. Распределительные пункты в системах электроснабжения промышленных предприятий рекомендуется сооружать для удаленных от ГПП потребителей [компрессорных, насосных станций, производственного корпуса с несколькими трансформаторными подстанциями 10(6) кВ]. При числе отходящих линий 10(6) кВ менее восьми целесообразность сооружения РП должна быть обоснована.

Для городских сетей целесообразность сооружения РП определяется следующим: нагрузка РП на расчетный срок должна составлять на шинах 10 кВ не менее 7 МВт, на шинах 6 кВ – не менее 4 МВт.

РУ 10(6) кВ трансформаторных подстанций выполняется с одиночной секционированной, двумя или четырьмя одиночными секционированными системами шин, как указано в таблице № 2. На крупных энергоемких предприятиях с электроприемниками высокой категорийности могут применяться распределительные устройства с двумя рабочими системами шин с обходной.

Распределительные устройства с одиночной системой шин с любым числом секций и распределительные пункты выполняются **комплектными**.

Трансформаторные подстанции напряжением 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.

Встроенные 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. В случаях, когда вторичное напряжение трансформатора составляет 0,69 кВ, питание осветительных сетей осуществляется от отдельных трансформаторов. Ниже приводятся рекомендации по проектированию цеховых трансформаторных подстанций.

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 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 замены 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 системы шин. Использование данной подстанции целесообразно, если число полностью

загруженных трансформаторов 6 и более.

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

Для питания электроприемников третьей категории рекомендуется применять однотрансформаторные подстанции, если перерыв электроснабжения, необходимый для замены поврежденного трансформатора, не превышает сутки. При значительной сосредоточенной нагрузке электроприемников третьей категории вместо двух однотрансформаторных 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.

Значение коэффициентов допустимой перегрузки трансформаторов в послеаварийном режиме и коэффициентов загрузки трансформаторов в нормальном режиме приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Значения коэффициентов загрузки трансформаторов двух- и трехтрансформаторных подстанций

| Коэффициент допустимой перегрузки трансформатора | Коэффициент загрузки трансформатора в нормальном режиме | |
|--|---|---------------------------------|
| | Двухтрансформаторная подстанция | Трехтрансформаторная подстанция |
| 1,0 | 0,5 | 0,666 |
| 1,1 | 0,55 | 0,735 |
| 1,2 | 0,6 | 0,8 |
| 1,3 | 0,65 | 0,86 |
| 1,4 | 0,7 | 0,93 |
| 1,5 | 0,75 | 1,0 |

Выбор единичной мощности трансформаторов при значительном числе устанавливаемых цеховых трансформаторных подстанций и рассредоточенной нагрузке следует делать на основании технико-экономического расчета. Определяющими факторами при выборе единичной мощности трансформатора являются затраты на питающую сеть 0,4 кВ, потери мощности в питающей сети и в трансформаторах, затраты на строительную часть ТП.

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 $0,2 \text{ (кВ}\cdot\text{А) / м}^2 - 1000, 1600 \text{ кВ}\cdot\text{А}$;
- при плотности нагрузки $0,2-0,5 \text{ (кВ}\cdot\text{А) / м}^2 - 1600 \text{ кВ}\cdot\text{А}$;

- при плотности нагрузки более $0,5 \text{ (кВ}\cdot\text{А)} / \text{м}^2 - 2500, 1600 \text{ кВ}\cdot\text{А}$.

Для энергоемких производств при значительном количестве цеховых ТП рекомендуется унифицировать единичные мощности трансформаторов.

Схемы соединения обмоток трансформаторов. Трансформаторы цеховых ТП мощностью 400 – 2500 кВ·А 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)**.

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

При магистральной схеме питания применяются схемы, где на входе и выходе магистрали устанавливаются разъединители, выключатели нагрузки или шинные накладки, а в цепи трансформатора – разъединители с предохранителями, выключатели нагрузки с предохранителями или разъединители с вакуумными выключателями (рис.25).

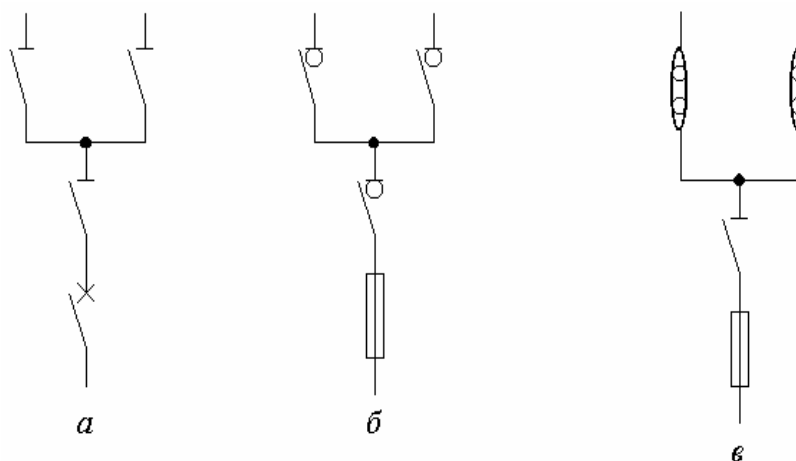


Рисунок 25 – Схемы УВН цеховых подстанций при магистральной схеме питания ТП: *а* – с разъединителями на вводе и выводе, разъединителем и выключателем в цепи трансформатора; *б* – с выключателями нагрузки на вводе и выводе, выключателем нагрузки и предохранителями в цепи трансформатора; *в* – с шинными накладками на вводе и выводе, разъединителем и предохранителями в цепи трансформатора

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 корпусах 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 кВ·А. 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 трансформаторов:

- «звезда – зигзаг» при мощности трансформаторов до 250 кВ·А;
- «треугольник – звезда» при мощности 400 кВ·А 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 ШО-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.

Комплектные трансформаторные подстанции модульного типа напряжением 10(6)/0,4 кВ

Комплектные трансформаторные подстанции модульного типа (КТПМ) напряжением 10(6)/0,4 кВ производит совместное российско-польское предприятие «КРУЭЛТА», учредителями которого являются российская компания «Таврида Электрик» и польская компания «Электробудова». КТПМ применяются в качестве сетевых и потребительских подстанций на нефтегазопромыслах, рудниках, карьерах и других объектах, когда необходимо максимально сократить сроки монтажа подстанции, а также обеспечить возможность ее демонтажа и перемещения на новое место. Комплектные трансформаторные подстанции модульного типа (КТПМ) предназначены для использования в качестве переносных или стационарных.

Особенностями данных КТПМ являются возможность быстрого монтажа и продолжительная безаварийная эксплуатация в тяжелых климатических условиях в необслуживаемом режиме. Подстанции оснащаются аппаратурой по требованиям заказчика.

Типовые решения рассчитаны на использование следующих основных компонентов:

- Коммутационные аппараты фирм ABB, Siemens, Schneider, Alstom, Tavrida Electric, Moeller, General Electric, Mitsubishi Electric, Terasaki, Holec;

- Устройства защиты и приборы учета фирм ABB, Siemens, Schneider, Alstom, Lumel, JM Tronic;
- Силовые и измерительные трансформаторы фирм ABB, Siemens, Alstom, Artech, Ritz, Polcontact.

Электрооборудование КТПМ характеризуется высокими показателями электродинамической и термической стойкости, а выключатели рассчитаны на значительные номинальные токи отключения, поэтому КТПМ может служить в качестве ГПП или исполнять функции временного переносного дополнения к существующим мощным подстанциям при их ремонте или подключении к ним дополнительных отходящих линий, КТПМ может использоваться в телекоммуникации и на железных дорогах.

Структура условного обозначения КТПМ:

КТПМ X/X – X* X/X XX/XXX УХЛ1,

где КТП – комплектная трансформаторная подстанция наружной установки;

М – модульное исполнение;

X/X – высшее/нижнее номинальные напряжения, кВ;

X* - исполнение (2 – с двумя трансформаторами, 1 или отсутствие цифры – с одним трансформатором);

X/X – мощность трансформатора, кВ·А / обозначение типа трансформатора (с – сухой; М – масляный с ПБВ; МР – масляный с РПН);

XX/XXX – обозначение схемы главных цепей по стороне высшего напряжения/число и тип отходящих линий на стороне низшего напряжения (К – кабельные, В – воздушные);

УХЛ1 – вид климатического исполнения по ГОСТ 15150 – 69 и ГОСТ 15543.1 – 89.

Пример записи обозначения подстанции с номинальными напряжениями 35/6 кВ с двумя сухими трансформаторами мощностью 4000 кВ·А, со схемой главных соединений Т2 на стороне 35 кВ, с 18 отходящими линиями (8 кабельных и 10 воздушных):

КТПМ 35/6-2*4000/с Т2/10В8К УХЛ1.

Конструкция. РУВН и РУНН подстанции выполняются комплектными, выкатного исполнения и размещаются в металлических контейнерах с отдельными входами. Каждый контейнер с размещенным в нем оборудованием является одним модулем подстанции. Это может быть конструкция из неподвижно закрепленных панелей или конструкция с возможностью быстрого демонтажа отдельных боковых панелей. Общая длина контейнера не должна превышать 17 м. Стены и пол контейнера могут иметь теплоизоляцию. В крыше имеются клапаны безопасности распределительного устройства среднего напряжения, естественная или принудительная вентиляция.

Полы контейнера собираются из металлических листов, которые могут быть легко демонтированы для контроля кабельного присоединения. Под полом (кроме ячеек РУ, трансформаторов, пускателей, камер с конденсаторами) может быть размещен слой теплоизоляции из минеральной

ваты. По желанию заказчика на пол может стелиться ПВХ покрытие (линолеум) или изоляционный коврик перед камерами распределительного устройства среднего напряжения.

Контейнеры могут устанавливаться на раму, на раму и стальной понтон, снабженный транспортными проушинами, что позволяет перемещать подстанцию по земле в любом направлении; на раму с элементами, гасящими вибрацию от самодвижущихся механизмов, например, экскаваторов, ленточных транспортеров, бурильных установок и т.д.

В КТПМ могут устанавливаться как сухие в эпоксидной изоляции, так и масляные трансформаторы напряжением до 35 кВ мощностью до 10 000 кВ·А.

Трансформаторы могут быть установлены на открытом воздухе или помещены в камеры различного исполнения: решетчатое металлическое ограждение; трансформаторная камера, реализованная в корпусе ячейки КРУ; выделенное помещение (камера для сухого или масляного трансформатора) с доступом изнутри или снаружи.

Над камерой трансформатора в крыше устанавливаются клапаны безопасности. Трансформаторное помещение оснащается освещением (расположение выключателя в соответствии с требованиями проекта). В камере могут дополнительно размещаться ограничители перенапряжений, предохранители, дополнительная коммутационная аппаратура и т.п.

Двери трансформаторных камер, расположенных рядом с РУ, заблокированы с вводной ячейкой, что повышает безопасность обслуживания станции. Имеется возможность быстрой и удобной замены трансформатора. Если на КТПМ устанавливается масляный трансформатор, то в раме устанавливается стальной масляный поддон емкостью, достаточной для удержания всего объема масла в случае повреждения трансформатора. Поддон снабжен сливным отверстием.

Выделенные внутри подстанции помещения могут иметь сплошные, сплошные со смотровым окном или сетчатые двери.

Дополнительное оборудование контейнера: система основного и аварийного освещения; вентиляционное оборудование; система обогрева с возможностью регуляции температуры. По желанию заказчика может быть установлена охранная и пожарная сигнализация.

Комплектные трансформаторные подстанции модульного типа напряжением 10(6)/0,4 кВ предназначены для электроснабжения электроустановок и промышленных объектов в нефтяной, горнодобывающей и газовой промышленности трехфазным переменным током промышленной частоты 50 Гц.

Подстанции выпускаются в одномодульном (при мощности трансформатора до 1000 кВ·А) и трехмодульном исполнениях. При одномодульном исполнении все основные функциональные элементы подстанции: РУВН, силовые трансформаторы и РУНН размещены в одном модуле. При трехмодульном исполнении РУВН, силовые трансформаторы и

РУНН располагаются в трех отдельных контейнерах.

РУ 10(6) кВ состоит из камер серии D – 12 РТ, в качестве коммутационных аппаратов могут использоваться:

- выключатели нагрузки NAL, NALF;
- контакторы V7, V12;
- вакуумные выключатели серии ВВ/TEL, VD4, ЭВОЛИС.

В одномодульном исполнении восемь камер РУ 10(6) кВ, из них две камеры с плавкими предохранителями к силовым трансформаторам, четыре камеры с выключателями нагрузки с воздушным вводом-выводом и две камеры – с секционными разъединителями. Принципиальная схема РУ 10(6) кВ и внешний вид приведены на рисунках 33 и 34.

РУНН подстанции набирается из шкафов серии RNM – 2, которые относятся к низковольтным распределительным устройствам распределения и управления.

Отличительные особенности НКУ серии RNM – 2:

- модульная компоновка, позволяющая комплектовать НКУ функциональными блоками аппаратуры в соответствии с требованиями заказчика;
- использование съемных выдвижных блоков аппаратуры обеспечивает удобство обслуживания НКУ при гарантированной безопасности;
- возможность полного извлечения съемных и выдвижных блоков аппаратуры из шкафа НКУ без снятия напряжения со сборных шин с сохранением степени защиты шкафа;
- минимальные последствия короткого замыкания благодаря разделению шкафа НКУ на отсеки (шинный, аппаратный, кабельный);
- повышенная коррозионная стойкость благодаря использованию современных технологий противокоррозионной защиты;
- высокие электродинамическая и термическая стойкости.

НКУ серии RNM – 2 может использоваться в электрических сетях с системами заземления TN-C, TN-C-S, TT, IT.

В качестве коммутационных аппаратов используются различные аппараты иностранных фирм-производителей:

- блоки выключатель-предохранитель;
- автоматические выключатели;
- контакторы, магнитные пускатели.

На вводе и отходящих линиях устанавливаются трансформаторы тока. На стороне 0,4 кВ применяется секционирование с устройством автоматического включения резерва. В шкафах секционного выключателя предусмотрено место для установки приборов учета электрической энергии.

Комплектные трансформаторные подстанции напряжением 10(6) кВ

Общие сведения

Комплектные трансформаторные подстанции в зависимости от конструктивного исполнения, принципиальных схем и применяемого

оборудования могут быть:

- промышленного типа;
- городского типа;
- блочные в бетонной оболочке (БКТПБ);
- модульные;
- наружного типа;
- киоскового типа;
- универсальные;
- шкафного типа;
- мачтовые и др.

В условном обозначении КТП может указываться тип подстанции: КТПШ – промышленного типа; КТПГ – городского типа; КТПН – наружного типа и т.д.

КТП промышленного типа выпускаются для внутренней установки, КТП остальных типов – для наружной установки.

КТП состоят из РУВН, силового трансформатора и РУНН, соединительных элементов высокого и низкого напряжений, шинопроводов (при двухрядном расположении двухтрансформаторных КТП) и других элементов.

РУВН может быть выполнено:

- без сборных шин в виде шкафа (отсека), называемого устройством высокого напряжения (УВН) (типы 1, 5 – 9);
- со сборными шинами с камерами стационарного исполнения КСО 300 серии, КСО «Аврора» и др. (типы 2, 3 – 5);
- со сборными шинами с моноблоком на несколько присоединений (тип 3).

Первые пять типов подстанций выполняются одно- и двухтрансформаторными, остальные – только однострансформаторными.

Для комплектных трансформаторных подстанций РУВН, ошиновка ввода и сборные шины РУНН выполняются на ток, равный номинальному току силового трансформатора с коэффициентом $1,3I_{номт}$ ($1,4 I_{номт}$ – по специальному заказу) в соответствии с ГОСТ 14695 – 80. Вышеуказанные условия относятся и к выбору вводного автоматического выключателя.

Комплектные трансформаторные подстанции 10(6) кВ промышленного типа

КТП промышленного типа выпускаются в соответствии с ГОСТ 14695 – 80 мощностью 100; 160; 250; 400; 630; 1600 и 2500 кВ·А с одним и двумя трансформаторами внутренней установки. Номинальное напряжение на стороне ВН – 6; 10 кВ, номинальное напряжение на стороне НН – 0,4; 0,69 кВ. подстанции выпускаются с масляными трансформаторами с нормальной изоляцией, с сухими трансформаторами и трансформаторами, заполненными негорючим жидким диэлектриком – с облегченной изоляцией. Конструкция и исполнение КТП позволяют устанавливать их в производственных цехах без ограждений или с простейшими сетчатыми ограждениями. КТП в модульных зданиях устанавливаются на открытом воздухе.

КТП выпускаются с одним и двумя трансформаторами. Возможно однорядное, двухрядное или на разных уровнях расположение двухтрансформаторных КТП.

КТП состоит из: УВН, силового трансформатора, РУНН, соединительных элементов высокого и низкого напряжений, шинпровода (при двухрядном расположении КТП).

Устройство со стороны высшего напряжения подстанции выполняется без сборных шин в виде высоковольтного шкафа или кожуха с кабельным вводом. Как правило, предприятия-изготовители предлагают несколько вариантов схем УВН. Выбор той или иной схемы определяется конкретными условиями проектирования.

На КТП устанавливаются специальные **силовые трансформаторы** типа ТМЗ, ТМФ, ТСЗ, ТСФ, ТНФ и др., имеющие баки повышенной прочности, боковые выводы, защищенные от прикосновения, с расширителями для масла (ТМФ, ТСФ, ТНФ) и без них (типа ТМЗ, ТСЗ, ТНЗ).

Распределительное устройство низшего напряжения выполняется с одиночной системой шин – на однострансформаторных подстанциях и с одиночной секционированной системой шин – на двухтрансформаторных.

РУНН собирается из следующих низковольтных шкафов:

- вводных, один на трансформатор (ШНВ);
- секционного (ШНС – на двухтрансформаторных подстанциях);
- линейных (ШНЛ, число зависит от заказа).

Выпускаются КТП и с панелями ШО – 01.

Вводные (секционные) шкафы состоят из ячейки вводного (секционного) выключателя, ячеек отходящих линий, релейного отсека и шинного отсека.

Предусматривается выход шин на магистраль со сборных шин. Секционный автоматический выключатель в нормальном режиме, как правило, отключен. При необходимости может быть предусмотрено устройство АВР.

Линейные шкафы состоят из ячеек отходящих линий и шинного отсека.

На стороне 0,4 кВ предусматривается установка измерительных трансформаторов тока. В ячейках вводного выключателя трансформаторы тока устанавливаются в каждой фазе и PEN проводнике, на отходящих линиях трансформаторы тока могут не предусматриваться. Если трансформаторы тока устанавливаются, то их число (от 1 до 3) зависит от схемы шкафов и мощности трансформатора.

В **РУНН** с изолированной нейтралью, а также с глухозаземленной нейтралью напряжением 0,69 кВ предусматривается ячейка трансформатора собственных нужд, предназначенного для питания цепей управления, АВР и сигнализации.

В качестве защитно-коммутационных аппаратов применяются автоматические выключатели или блоки предохранитель-выключатель. Коммутационно-защитные аппараты имеют выдвижное или стационарное

исполнение.

Комплектные трансформаторные подстанции 10(6) кВ городского типа

КТП городского типа предназначены для применения в городских электрических сетях при одно-, двухлучевой, петлевой и других схемах электроснабжения. Выпускаются наружной установки с одним и двумя трансформаторами мощностью до 630 кВ·А (1000 кВ·А – по специальному заказу). На КТПГ применяются силовые трансформаторы с естественным масляным охлаждением марки ТМ или сухие трансформаторы.

Основное отличие КТПГ от КТП промышленного типа – выполнение РУВН со сборными шинами с присоединениями ввода, вывода с выключателями нагрузки. В РУВН устанавливаются камеры КСО 300 серии или другие аналогичные камеры. РУНН выполняется с низковольтными панелями (типа ЩО, ШРО и др.).

КТП 10(6) кВ для городских сетей производства ОАО «Самарский завод «Электроцит» предназначены для эксплуатации на открытом воздухе, выпускаются климатического исполнения и категории размещения У1.

КТП изготавливается с одним и двумя трансформаторами мощностью 250, 400, 630 кВ·А. На стороне 10(6) кВ однострансформаторная подстанция выполняется с воздушным или кабельным вводом, выводом. Двухтрансформаторная КТПГ – с воздушным или кабельным вводом и кабельным выводом (в двухлучевом варианте). Низковольтные выводы – только кабельные.

Конструкция. Однострансформаторная КТПГ состоит из металлического корпуса контейнерного типа, РУВН, РУНН, силового трансформатора, высоковольтного воздушного ввода и разъединителя 10(6) кВ для КТПГ с воздушным вводом, шкафа уличного освещения (по заказу) и шкафа учета электроэнергии (по заказу).

Двухтрансформаторная КТПГ однолучевого исполнения состоит из двух однострансформаторных подстанций, установленных на расстоянии 600 мм друг от друга, с комплектом элементов для стыковки. При двухлучевом варианте двухтрансформаторной КТПГ ячейка секционного выключателя нагрузки располагается между блок-модулями подстанции. Размеры ячейки (ширина×глубина×высота) 2056×963×2485 мм, общее расстояние между блок-модулями – 3060 мм.

РУВН однострансформаторной подстанции состоит из трех камер: двух камер линий ввода (вывода) с выключателем нагрузки и камеры с выключателем нагрузки и предохранителями для подключения и защиты силового трансформатора. Если РУВН встраивается в здание, то число и набор камер могут быть любыми.

РУВН для двухтрансформаторной подстанции однолучевого исполнения состоит из двух блоков по три камеры в каждом блоке: камеры ввода с выключателем нагрузки, камеры с выключателем нагрузки и

предохранителями для подключения и защиты силового трансформатора и секционной камеры с выключателем нагрузки. РУВН для двухтрансформаторной подстанции двухлучевого исполнения состоит из двух блоков и ячейки секционного выключателя нагрузки, устанавливаемой между блок-модулями подстанции. В каждом блоке РУВН установлены две камеры ввода (вывода) с выключателем нагрузки и камера с выключателем нагрузки и предохранителями для подключения и защиты силового трансформатора.

РУНН выполнено в виде блока, представляющего набор вводных, линейных и секционного шкафов (для двухтрансформаторной подстанции), которые разделены на отсеки выключателя, релейной аппаратуры, шин и кабелей.

Конструкция шкафов РУНН предусматривает возможность установки на отходящих линиях автоматических выключателей на номинальные токи от 16 до 400 А. КТПГ выполняется с выдвижными автоматическими выключателями и устройством АВР.

В РУНН предусмотрена установка следующих устройств:

- трансформаторов тока (на вводе – три, на нулевой шине – один для подключения устройств защиты от однофазных коротких замыканий, на отходящих линиях – по одному);
- измерительных приборов (на вводе – амперметры в каждой фазе, вольтметр, счетчики активной и реактивной энергии; на отходящих линиях – амперметры).

Шкаф учета электрической энергии может быть двух исполнений: для учета активной энергии, для учета активной и реактивной энергии. В шкафу учета активной энергии устанавливается электронный счетчик активной энергии, в котором предусмотрен датчик приращения энергии для информационно-измерительных систем учета энергии и телеизмерения мощности. В шкафу учета активной и реактивной энергии устанавливаются электронные счетчики активной и реактивной энергии и резисторы для обогрева.

Шкаф уличного освещения подключается к одному из фидеров РУНН. Схема предусматривает возможность автоматического включения вечернего и ночного уличного освещения. В шкафу уличного освещения установлен счетчик активной энергии на токи 50, 63 или 80 А.

В КТПГ предусмотрены следующие защиты:

- от однофазных коротких замыканий в сети 0,4 кВ с действием на отключение вводного выключателя с выдержкой времени;
- защита минимального напряжения, с действием на отключение вводного выключателя с выдержкой времени при исчезновении напряжения на вводе;
- от перегрузки с действием на сигнал.

На двухтрансформаторных КТПГ предусматривается сигнализация при срабатывании защит, АВР, положения выключателей и др.

Установка подстанции. КТПГ устанавливается на фундаменте

высотой 0,2-0,4 м. При установке подстанции на незаглубленном фундаменте применяются стандартные бетонные блоки типа ФБС.

Комплектные трансформаторные подстанции 10(6) кВ в бетонной оболочке

Блочные комплектные трансформаторные подстанции в бетонной оболочке (БКТПБ) производятся предприятием ОАО «Элтехника» сравнительно недавно. Предлагаются БКТПБ с различными вариантами комплектации и размещения электротехнического оборудования:

- БКТПБ в бетонном модуле размерами 5000×2400×2750 мм (длина×ширина×высота);
- БКТПБ в малогабаритном модуле 3000×2400×2750 мм.

Однотрансформаторную КТП возможно расширить до двухтрансформаторной и более, установив дополнительные модули без проведения лишних строительных работ.

Условия эксплуатации БКТПБ:

- температура окружающего воздуха от минус 60 до плюс 40°С;
- относительная влажность наружного воздуха до 100%;
- высота над уровнем моря не более 1000 м;
- окружающая среда невзрывоопасная, не содержащая токопроводящей пыли, агрессивных газов и паров в концентрациях, при которых разрушаются материалы и изоляция, окружающая среда – I и II по ГОСТ 15543.1 и ГОСТ 15150 – 69.

Бетонная оболочка соответствует требованиям ГОСТ 13015 и относится ко второму уровню ответственности и второму уровню огнестойкости по ГОСТ 12.1.004 – 91. Марка бетона по морозостойкости – F – 50.

Подстанция может быть проходной или тупиковой, внутреннего или наружного обслуживания, с кабельным или воздушным вводом.

КТП *наружного обслуживания* имеет три отсека: отсек силового трансформатора, отсек РУВН и отсек РУНН, которые отделены друг от друга огнестойкими перегородками.

КТП *внутреннего обслуживания* разделена на два отсека: отсек силового трансформатора и общий отсек РУВН, РУНН (отсек РУ), разделенные огнестойкой перегородкой.

На подстанции могут быть установлены герметичные масляные или сухие трансформаторы.

Распределительное устройство высокого напряжения подстанции может выполняться с камерами КСО «Аврора» или элегазовыми моноблоками «Ладога». В качестве основных коммутационных аппаратов высокого напряжения могут быть использованы выключатели нагрузки или вакуумные выключатели с цифровой релейной защитой.

По желанию заказчика в РУВН возможна установка КРУ серий:

- RM6 компании Schneider Electric;

- 8DJ10 и 8DJ20 фирмы Siemens;
- другое аналогичное оборудование.

Распределительное устройство низкого напряжения может комплектоваться стойками с комбинациями разъединитель-предохранитель или панелями «Нева» с автоматическими выключателями.

Подключение КТП к воздушным линиям 6(10) кВ и 0,4 кВ осуществляется кабелем. Надежный и герметичный ввод в стены оболочки обеспечивают кабельные уплотнения. Соединение РУВН с трансформатором выполнено одножильными кабелями с негорючей изоляцией. Такими же кабелями или шинами выполняется соединение РУНН с силовым трансформатором. Шины, соединяющие РУНН с силовым трансформатором, проходят через перегородку между отсеками. В местах прохода они закрепляются с помощью герметичных огнестойких шинных уплотнений. Двери, решетки и замки подстанции имеют влагозащитное исполнение.

Кабели внешнего подключения поставляются в комплекте с КТП вместе с двумя металлическими кабельными лотками-мостиками к опорам воздушных линий 10(6) кВ и 0,4 кВ и с трехфазным комплектом опорных изоляторов для крепления на концевой опоре ВЛ – 10(6) кВ.

Комплектные трансформаторные подстанции 10(6) кВ наружного типа

КТП наружного типа (наружной установки) в металлическом контейнере предназначены для электроснабжения промышленных, городских и других объектов. Подстанции изготовлены на основе сварных конструкций из металлических листов и профилей, выпускаются с одним и двумя трансформаторами мощностью от 63 до 630 кВ·А.

Со стороны ВН предусматривается проходная и тупиковая схема. В подстанциях с проходной схемой на стороне ВН могут устанавливаться камеры КСО 300 серии, на стороне НН – панели ЩО – 70 (по типу городских КТП).

Комплектные трансформаторные подстанции 10(6) кВ типа «киоск», универсальные, мачтовые, шкафные.

КТП типа «киоск», универсальные, мачтовые и шкафные выпускаются с одним трансформатором с номинальным напряжением на стороне ВН 10 или 6 кВ, номинальным напряжением на стороне НН – 0,4 кВ. мощность силового трансформатора:

- от 25 до 630 кВ·А – для подстанций типа «киоск»;
- от 25 до 250 кВ·А – для подстанций универсального и шкафного типа;
- от 25 до 63 кВ·А – для мачтовых подстанций.

Конструкция подстанций

Подстанция типа «киоск» состоит из отсека УВН, отсека силового трансформатора, отсека РУНН, высоковольтного ввода, разъединителя, основания. УВН и силовой трансформатор заключены в металлический

корпус.

Подстанция универсальная состоит из УВН, силового трансформатора, РУНН, разъединителя 10(6) кВ. УВН представляет собой металлический портал с приемными высоковольтными изоляторами, предохранителями и разрядниками. УВН и силовой трансформатор размещены в пространственной металлической конструкции, состоящей из траверс, боковин и площадки. Площадка является несущей конструкцией для силового трансформатора. Подъем на площадку осуществляется с помощью лестницы. Шкаф РУНН крепится к боковине металлоконструкции.

Подстанция мачтовая устанавливается на несущей конструкции, которая состоит из двух стоек: стойки железобетонной СВ-105-3,6 опоры воздушной линии 10(6) кВ и стойки типа УСО-1А, соединенных между собой конструкцией из стальных уголков. Кронштейны с оборудованием УВН монтируются на опоре ВЛ 10(6) кВ, силовой трансформатор – на стойке УСО-1А, РУНН – на металлоконструкции, связывающей опору со стойкой.

Схемы электрических соединений подстанций. Присоединение подстанции к воздушной линии 10(6) кВ осуществляется через трехполосный разъединитель с одним заземляющим ножом и приводом. В подстанциях типа КТП и КТПМ разъединитель с приводом монтируется на опоре воздушной линии 10(6) кВ, в КТПУ установка разъединителя имеет два варианта: на опоре воздушной линии 10(6) кВ и непосредственно на металлоконструкции подстанции. При воздушном вводе 10(6) после разъединителя устанавливаются разрядники или ограничители перенапряжений. При воздушном выводе 0,4 кВ разрядники (ограничители перенапряжений) устанавливаются после рубильника (КТПК 100-400 кВ·А) или на сборные шины (КТПК 630 кВ·А, КТПУ 25-250 кВ·А). При кабельном вводе, выводе разрядники в схеме не предусматриваются.

Комплектные трансформаторные подстанции КТП 25...250/10/0,4 шкафного типа предназначены для электроснабжения сельскохозяйственных потребителей и небольших промышленных объектов, относящихся к третьей категории электроснабжения. Подстанции выпускаются с силовыми трансформаторами мощностью от 25 до 250 кВ·А и состоят из: силового трансформатора, устанавливаемого открыто на раме; шкафов УВН и РУНН; кожуха для защиты изоляторов силового трансформатора от механических повреждений и случайного прикосновения к токоведущим частям.

КТП выполняется с воздушным вводом. Шкаф УВН с высоковольтным предохранителем типа ПКТ-101-10 или ПКТ-102-10 устанавливается на высоте 3-4 м над поверхностью земли, что создает определенные неудобства при замене и осмотре предохранителей. Это является существенным недостатком таких подстанций. В шкафу РУНН установлены низковольтные коммутационные аппараты, а также аппараты защиты и учета:

- трансформаторы тока;
- счетчик активной энергии (установлен на вводе 0,4 кВ в КТП мощностью

- 160-250 кВ·А или на линии наружного освещения – в КТП мощностью 25-100 кВ·А);
- токовые реле (установлены в PEN проводнике на отходящих воздушных линиях);
 - фотореле и др.

11. Ограничители перенапряжений нелинейные

Нелинейные ограничители перенапряжений (ОПН) серии ОПН/TEL предназначены для использования в качестве основных средств защиты электрооборудования станций и сетей среднего и высокого классов напряжения переменного тока промышленной частоты 48 – 62 Гц от коммутационных и грозовых перенапряжений. При их разработке были использованы последние технологические достижения и опыт эксплуатации ОПН в отечественной и зарубежной практике. Ограничители рекомендуется применять вместо вентильных разрядников соответствующих классов напряжения при проектировании, эксплуатации, техническом перевооружении и реконструкции электроустановок.

Серия ОПН/TEL включает в себя четыре типа ограничителей:

- ОПН - КР/TEL предназначены для надежной защиты электрооборудования в сетях класса напряжения 6 – 10 кВ с изолированной или резонансно заземленной нейтралью. Рекомендуется для использования в распределительных сетях для защиты трансформаторов и двигателей. Изготавливаются для внутренней установки (УХЛ2 по ГОСТ 15150) и предназначены для эксплуатации на высоте над уровнем моря до 1000 м при температуре окружающей среды до минус 60°С до плюс 55°С и влажности окружающей среды:
 - среднегодовое значение 80% при 15°С;
 - верхнее значение 100% при 25°С.
- ОПН - РТ/TEL предназначены для гарантированной защиты наиболее ответственного электрооборудования в сетях класса напряжения 3 – 10 кВ с изолированной или резонансно заземленной нейтралью. Ограничители типа ОПН – РТ/TEL – 3 специально разработаны для защиты выпрямителей тяговых подстанций электрифицированных железных дорог и другого электрооборудования класса напряжения 3 кВ (например, линейных высокочастотных заградителей воздушных линий электропередачи). Остальные типы ОПН/TEL рекомендуется применять в условиях частых и интенсивных воздействий перенапряжений для защиты трансформаторов электродуговых печей, изоляции кабельных сетей, электрических генераторов, двигателей и т.п. Предназначены для эксплуатации на высоте над уровнем моря до 1000 м при температуре окружающей среды от минус 60°С до плюс 55°С для внутренней установки (УХЛ2 по ГОСТ 15150). Влажность окружающей среды в эксплуатации:
 - среднегодовое значение 80% при 15°С;

- верхнее значение 100% при 25°C.

ОПН/TEL – 35, 110, 220 предназначены для защиты электрооборудования подстанций и воздушных линий электропередачи от грозовых и коммутационных перенапряжений в сетях класса напряжения 35 кВ с изолированной или компенсированной нейтралью и 110 кВ или 220 кВ с эффективно заземленной нейтралью. Предназначены для эксплуатации на высоте над уровнем моря до 1000 м при температуре окружающей среды от минус 60°C до плюс 55°C в условиях наружной установки (УХЛ1 по ГОСТ 15150). Влажность окружающей среды в эксплуатации:

- среднегодовое значение 80% при 15°C;
- верхнее значение 100% при 25°C.

ОПН/TEL – 6, 10 предназначены для защиты электрооборудования распределительных устройств и аппаратов от грозовых и коммутационных перенапряжений в воздушных сетях класса напряжения 6 – 10 кВ с изолированной или резонансно заземленной нейтралью. Ограничители могут быть использованы везде, где ранее предусматривалось применение вентильных разрядников РВО. Предназначены для эксплуатации на высоте над уровнем моря до 1000 м при температуре окружающей среды от минус 60°C до плюс 55°C в условиях наружной установки (УХЛ1 по ГОСТ 15150). Влажность окружающей среды в эксплуатации:

- среднегодовое значение 80% при 15°C;
- верхнее значение 100% при 25°C.

с начала 90-х годов 20-го века ограничители серии ОПН/TEL проявили себя в эксплуатации как надежные и необслуживаемые высоковольтные аппараты, эффективно защищающие различные типы электрооборудования от перенапряжений. В настоящее время в странах Содружества и за рубежом в эксплуатации находится более 100000 ограничителей данного типа.

Наряду с известными преимуществами металлооксидных ограничителей перенапряжений, таких, как отсутствие сопровождающего тока после затухания волны перенапряжения, непрерывное подключение к защищаемой сети, способность поглощать большие энергии, и пр. ОПН/TEL обладают дополнительным набором привлекательных характеристик благодаря применению металлооксидных резисторов с нестареющими характеристиками в сочетании с применением уникальной технологии сборки в полимерный корпус:

- необслуживаемость на протяжении всего срока службы
- неограниченный коммутационный ресурс
- глубокий уровень ограничения перенапряжений
- широкий номенклатурный ряд рабочих напряжений
- стабильность нестареющих характеристик
- взрывобезопасность и сейсмостойкость
- высокая надежность в эксплуатации
- удобство встраивания в распределительные устройства

- малые вес и габариты

При эксплуатации ОПН/TEL не требуется применение счетчика срабатывания, в следствие неограниченного коммутационного ресурса.

Ограничители перенапряжений ОПН/TEL полностью соответствуют требованиям международного стандарта МЭК 60099-4 и ГОСТ 163576-83.

Конструкция

Ограничители серии ОПН/TEL представляют собой высоковольтные аппараты, состоящие из последовательно соединенных малооксидных резисторов, размещенных внутри изоляционного корпуса. Высоколинейная вольтамперная характеристика резисторов позволяет обеспечить непрерывное и безопасное нахождение ОПН под напряжением, обеспечивая при этом глубоко уровень защиты электрооборудования при возникновении перенапряжений.

При изготовлении ОПН/TEL используются нелинейные малооксидные резисторы с нестареющими характеристиками лучших мировых производителей. Электрические параметры каждого резистора хранятся в компьютерной базе данных для автоматического и оптимального комплектования ограничителей на заданные параметры.

Собственная технология сборки нелинейных резисторов в трекингостойкий полимерный корпус уникальна и аналогов в мировой практике не имеет.

При сборке ограничителей типов ОПН-КР, ОПН-РТ и ОПН/TEL-6, 10 колонка резисторов заключается между металлическими электродами и опрессовывается в оболочку из специального атмосферостойкого полимера, который обеспечивает требуемые механические и изоляционные свойства ограничителя. Ограничители ОПН/TEL-6, 10 дополнительно покрываются оболочкой из силиконовой резины. Эта конструкция отлично зарекомендовала себя при различных условиях эксплуатации, включая районы с высоким уровнем атмосферных загрязнений. Ограничители типа ОПН/TEL – 35, 110, 220 представляют собой аппараты вертикальной установки опорного типа. Прочный стеклоэпоксидный цилиндр с последовательно соединенными резисторами внутри обеспечивает прекрасные механические свойства. Металлические фланцы и силиконовая изоляция, образующая одновременно как внешнюю изоляционную поверхность, так и внутреннюю изоляцию колонки резисторов, определяют заданные изоляционные свойства ограничителя. Взрывобезопасность ограничителя обеспечивается наличием предохранительного устройства для сброса давления, выполненного в виде специальных противовзрывных отверстий. Ограничители ОПН/TEL-35, 110, не требуют применения экранного кольца благодаря компьютерному комплектованию ОПН резисторами с параметрами, соответствующими расчетной неравномерности распределения напряжения по высоте ОПН.

Общим преимуществом в конструкциях ограничителей серии ОПН/TEL является отсутствие воздушных полостей внутри корпуса, что исключает возникновение перекрытия внутренней изоляции ограничителя и

его выход из строя по этой причине.

Принцип действия

В нормальном рабочем режиме ток через ограничитель имеет емкостный характер и составляет десятые доли миллиампера. При возникновении волн перенапряжений резисторы ограничителя переходят в проводящее состояние и ограничивают дальнейшее нарастание перенапряжения до уровня, безопасного для изоляции защищаемого электрооборудования. Когда перенапряжение снижается, ограничитель вновь возвращается в непроводящее состояние – это показано на графике.

Рекомендации по выбору ОПН

Внедрение защитных аппаратов нового поколения сталкивается с значительными трудностями их правильного применения. В первую очередь это связано с недостаточностью нормативных документов, регламентирующих правильное использование ОПН в сетях 6 – 35 кВ. Перед энергетическими предприятиями, как правило, возникают две взаимопротиворечащие друг другу задачи. С одной стороны глубоко ограничить перенапряжения, а с другой обеспечить надежную работу самого аппарата. Если приоритет при выборе параметров ОПН отдавать первой задаче, то снизится надежность работы ОПН. В обратном случае повышаются воздействия на изоляцию электрооборудования.

Общая характеристика сетей

Сети 6 – 35 кВ состоят из воздушных и кабельных линий электропередачи.

Электрооборудование сетей 6 – 35 кВ включает в себя коммутационные аппараты, измерительные трансформаторы тока и напряжения, силовые трансформаторы, генераторы, двигатели, синхронные компенсаторы, токоограничивающие и дугогасящие реакторы, конденсаторные батареи, устройства защиты от грозных и коммутационных перенапряжений.

Сети 6 – 35 кВ в большинстве случаев работают с изолированной или резонансно заземленной (заземленной через дугогасящий реактор) нейтралью. В ряде случаев, например, в сетях собственных нужд и генераторных сетях находит применение заземление нейтрали трансформаторов и генераторов через резистор (резистивное заземление нейтрали).

Для обоснованного выбора ОПН как основного средства защиты от перенапряжений необходимо представлять, с одной стороны, уровень изоляции оборудования 6 – 35 кВ, а с другой стороны, уровень грозных и внутренних перенапряжений в этих сетях.

Методика выбора основных параметров ОПН

При выборе ОПН необходимо решить следующие основные задачи:

- ОПН должен ограничить коммутационные и грозные перенапряжения до значений, при которых обеспечивается надежная работа изоляции защищаемых электроустановок;

- ОПН должен надежно работать, не теряя своей термической устойчивости, при непрерывном воздействии наибольших рабочих напряжений сети;
- ОПН должен надежно работать, не теряя своей термической устойчивости, при воздействии квазистационарных перенапряжений в рабочих и аварийных режимах;
- ОПН должен быть взрывобезопасен при протекании токов КЗ в результате внутренних повреждений;
- ОПН должен соответствовать механическим и климатическим условиям эксплуатации.

Для решения перечисленных задач необходима следующая информация о параметрах сети и оборудования:

- наибольшее рабочее напряжение сети;
- режим заземления нейтрали;
- схема и структура защищаемой подстанции с указанием расстояний по ошиновке между аппаратами;
- структура сети, прилегающей к подстанции, где устанавливаются ОПН;
- значения токов КЗ;
- наиболее вероятные виды грозовых и внутренних перенапряжений;
- данные о составе релейной защиты и автоматики уставках времени срабатывания различных устройств защиты;
- сведения о характеристиках генераторов, трансформаторов, синхронных компенсаторов, электродвигателей и другой нагрузки;
- допустимый уровень изоляции оборудования.

Выбор наибольшего длительно допустимого рабочего напряжения ОПН

В сетях 6 – 35 кВ, работающих с изолированной нейтралью или с компенсацией емкостного тока замыкания на землю и допускающих неограниченно длительное существование однофазного замыкания на землю (ОЗЗ), наибольшее рабочее длительно допустимое напряжение ограничителя выбирается большим или равным наибольшему рабочему напряжению электрооборудования для данного класса напряжения по ГОСТ 1516.3 или наибольшему рабочему напряжению сети. Их значения приведены в таблице 4.

$$U_{н.р.} \geq U_{н.р.об} ,$$

где $U_{н.р.}$ – наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение ОПН;

$U_{н.р.об}$ – наибольшее рабочее напряжение защищаемого оборудования.

Таблица 4 – Наибольшее рабочее напряжение сети

| | | | | | | | |
|--|-----|------|------|----|------|-----|-----|
| Класс напряжения электрооборудования, кВ | 6 | 10 | 15 | 20 | 35 | 110 | 220 |
| Наибольшее рабочее напряжение сети, кВ | 7,2 | 12,0 | 17,5 | 24 | 40,5 | 126 | 242 |

Если длительность однофазного замыкания на землю ограничивается, то наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение ОПН должно удовлетворять следующему условию:

$$U_{н.р.} \geq \frac{U_{н.р.об}}{k_t},$$

где k_t – коэффициент, равный отношению допустимого повышения напряжения в течении времени t к наибольшему длительно допустимому рабочему напряжению ограничителя. Значение k_t определяют для значения времени однофазного замыкания на землю ($t_{ОЗЗ}$) по зависимости «напряжения - время» для случая с предварительным нагружением нормируемым импульсом энергии.

Время существования однофазного замыкания на землю определяют по данным эксплуатации для места установки ОПН.

Длительность существования ОЗЗ зависит от вида электрических сетей и составляет:

- в контролируемых сетях, питаемых от турбогенераторов, гидрогенераторов и синхронных компенсаторов, а также с присоединенными мощными электродвигателями, с токами однофазного замыкания на землю в генераторной цепи более 5 А – не более 0,5 сек. При токе однофазного замыкания на землю ниже 5 А – 2 ч и может быть увеличено до 6 ч, если однофазное замыкание находится вне обмоток;
- в кабельных сетях 6 – 35 кВ, не содержащих присоединенных турбогенераторов, гидрогенераторов и синхронных компенсаторов и мощных электродвигателей
- 2 ч и может быть допущено увеличение до 6 ч по согласованию с энергоснабжающей организацией;
- в воздушных сетях, работающих с изолированной нейтралью или компенсацией емкостного тока замыкания на землю и не содержащих электростанций и присоединений с электродвигателями, время отключения однофазного замыкания на землю не нормируется.

Нормированные значения для $U_{н.р.}$ действительны для температуры окружающей среды до 45°C с учетом дополнительного нагрева от солнечной радиации. Если имеются другие источники повышения температуры окружающей среды, то необходимо увеличить значение $U_{н.р.}$. Как правило, это необходимо при использовании ОПН, встроенных в электрооборудование (силовые трансформаторы, ячейки КРУ и КСО и другие виды оборудования).

Если температура окружающей среды превышает 45°C, то $U_{н.р.}$ увеличивают на 2% для каждых 5°C повышения температуры окружающей среды. В ряде случаев ОПН устанавливают на шинах во внутренних распределительных устройствах (ячейках КРУ или КСО). В этом случае необходимо учитывать возможный нагрев ОПН от медных или алюминиевых шин. Расчетная температура шин, к которым может быть присоединен ОПН,

составляет 70°C. В этом случае наибольшее допустимое напряжение ОПН необходимо увеличить на 10% по сравнению с паспортными условиями эксплуатации.

Выбор номинального разрядного тока ОПН

Выбор ОПН по номинальному разрядному току производится в случае установки его для защиты от грозовых перенапряжений.

Во всех случаях, кроме оговоренных ниже, номинальный разрядный ток принимают равным 5 кА.

Номинальный разрядный ток принимают равным 10 кА в следующих случаях:

- в районах с интенсивной грозовой деятельностью более 50 грозовых часов в год;
- в схемах грозозащиты двигателей и генераторов, присоединенных к ВЛ;
- в районах с высокой степенью промышленных загрязнений (IV степень загрязнения атмосферы) или, если ограничитель расположен в 1000 или менее метрах от моря;
- в схемах грозозащиты, к которым предъявляются повышенные требования к надежности.

Определение защитного уровня ограничителя

Определяющим при выборе защитного уровня ОПН является его назначение (для защиты от грозовых и коммутационных перенапряжений) и уровень выдерживаемых перенапряжений изоляцией электрооборудования.

Определение защитного уровня ограничителя при грозовых перенапряжениях.

Испытательное напряжение электрооборудования 6 – 35 кВ координируется в настоящее время с остающимся напряжением вентильного разрядника ($U_{ост}$) при расчетном токе координации (5 кА). Поэтому остающееся напряжение ограничителей при грозовых перенапряжениях должно быть не выше остающегося напряжения вентильного разрядника группы IV или группы III по ГОСТ 16357 соответственно для ОПН класса 6-10 и 35 кВ, т.е. не более значений, приведенных в таблице 5.

Таблица 5 – Максимальные значения остающихся напряжений при грозовом импульсе ограничителей (5 кА) для сетей 6-35 кВ

| Класс напряжения электрооборудования, кВ | 3 | 6 | 10 | 15 | 20 | 35 |
|--|----|----|----|----|----|-----|
| Напряжение при импульсе 8/20 мкс с амплитудой 5000 А, не более, кВ | 14 | 27 | 45 | 61 | 80 | 130 |

Ограничитель ($I_{ном} = 5$ кА) должен быть отстроен от работы при перенапряжениях, вызванных ОЗЗ. Это требование выполняется при условии, если значение остающегося напряжения на ограничителе при импульсе тока 30/60 мкс с максимальным значением 500 А не ниже значений, приведенных в таблице 6.

Таблица 6 – Значения остающегося напряжения U_{500} для отстройки от перенапряжений, вызванных ОЗЗ

| Класс напряжения, кВ | 3 | 6 | 10 | 15 | 20 | 35 |
|--|---|----|----|----|----|----|
| Остающееся напряжение U_{500} при импульсе 30/60 мкс 500 А, не менее | 9 | 18 | 29 | 43 | 59 | 99 |

В этом случае пропускная способность ограничителя должна быть не менее 200А.

При защите электрических машин (генераторов, синхронных компенсаторов и электродвигателей мощностью более 3 МВт), присоединенных к ВЛ, значение $U_{ост}$ ограничителя на токе 500 А (30/60 мкс), устанавливаемого на выводах электрической машины вместе с емкостью не менее 0,5 мкФ, выбирают ниже или равными значений, приведенными в таблице 7.

Таблица 7 – Допустимый уровень ограничения перенапряжений электрических машин

| Мощность электрической машины, кВт | Номинальное напряжение электрической машины, кВ | Испытательное напряжение, кВ, действующее | Допустимое напряжение, кВ, максимальное |
|------------------------------------|---|---|---|
| До 1000 | 3,15 | $2U_n + 1 = 7,3$ | 10,3 |
| | 6 | $2U_n + 1 = 13$ | 18,4 |
| | 6,3 | $2U_n + 1 = 13,6$ | 19,2 |
| | 10 | $2U_n + 1 = 21$ | 29,7 |
| | 10,5 | $2U_n + 1 = 22$ | 31 |
| Свыше 1000 | 3,15 | $2,5U_n = 7,9$ | 11,1 |
| | 6 | $2,5U_n = 15$ | 21,2 |
| | 6,3 | $2,5U_n = 15,75$ | 22,2 |
| | 10 | $2U_n + 3 = 23$ | 32,5 |
| | 10,5 | $2U_n + 3 = 24$ | 33,8 |

Места установки ОПН для защиты от грозовых перенапряжений

При защите трансформатора от грозовых перенапряжений ОПН должен устанавливаться на защищаемом трансформаторе до коммутационного аппарата.

В РУ 3 – 10 кВ при выполнении связи трансформаторов с шинами при помощи кабелей расстояние от ОПН до трансформатора и аппаратов не ограничивается. При применении воздушной связи с шинами РУ расстояние от ОПН до трансформатора и аппаратов не должно превышать 60 м при ВЛ на деревянных опорах и 90 м на металлических и железобетонных опорах. В РУ 35 – 220 кВ расстояние до ошиновки, включая ответвления от ограничителя до защищаемого объекта, выбирается в соответствии с рекомендациями ПУЭ.

Определение защитного уровня ограничителя при коммутационных

перенапряжениях

Величина коммутационных перенапряжений определяет значение остающегося напряжения на ограничителе, которое должно быть при расчетном токе коммутационных перенапряжений не более выдерживаемого напряжения изоляцией защищаемого электрооборудования.

Расчетный ток коммутационных перенапряжений зависит от вида и величины неограниченных перенапряжений. Значение этого тока и соответствующее ему значение остающегося напряжения на ограничителе определяют либо по программе расчета переходных процессов для рассматриваемой коммутации, либо с некоторым запасом по значению остающегося напряжения конкретного типа ОПН при коммутационном импульсе 30/60 мкс с амплитудой 500 А.

Уровень ограничения коммутационных перенапряжений при дуговых замыканиях с 10% недокомпенсацией емкостного тока может быть определен по кривой, в зависимости от параметра f .

$$f = \left(\frac{50Z}{U_{\phi}} \right) \times \left(\frac{U_{\phi}}{A} \right)^{\frac{1}{a}}$$
$$Z = \sqrt{\frac{1,5L}{2(C_0 + C_m)}}$$
$$L = \frac{U_{\phi}}{3,14 I_{кз}}$$
$$U_{\phi} = (U_{\text{раб.сети}} \sqrt{2}) \sqrt{3}$$

$a = 0,04$ - степень нелинейности варисторов.

C_0, C_m – емкость фазы на землю и между фазами ОПН $C_0 = I_c / 0,942 U_{\phi}$, где I_c – емкостной ток на землю в сети (А).

$I_{кз}$ – трехфазный ток КЗ в месте установки ОПН;

C_0, C_m – емкость фазы на землю и между фазами ОПН $C_0 = I_c / 0,942 U_{\phi}$, где I_c – емкостной ток на землю в сети (А).

$C_m = 0,27 C_0$ – для кабеля; $C_m = 0,4 C_0$ – для ВЛ $A = U_{500} / 500a$.

По полученной величине остающегося напряжения определяют расчетный коммутационный ток как, А:

$$I = \left(\frac{U_{ост}}{A} \right)^{\frac{1}{a}}$$

Выбор энергоемкости ограничителя

Расчет энергоемкости ОПН необходимо производить в случае установки ОПН в сетях с изолированной или компенсированной нейтралью, в которых возможно возникновение дуговых замыканий на землю. В этом случае наибольшие энергетические воздействия соответствуют работе ограничителя при дуговых перенапряжениях однофазного замыкания на землю.

Токовые и энергетические воздействия на ограничитель и рассеиваемая им энергия в этом режиме определяются расчетом по любой программе расчета переходных процессов, позволяющей учитывать величину емкостного тока замыкания на землю, степень его компенсации, наличие и величину реактанса токоограничивающих реакторов.

При расчетах принимают 10% недокомпенсации емкостного тока замыкания на землю, которая моделирует возможный аварийный режим.

Для оценки максимальной суммарной энергии, рассеиваемой ограничителем за одно замыкание, используется следующее выражение:

$$W_{\text{сум}} = 0,5C_{\text{сети}}(U_{\text{пер}}^2 - U_{\text{осм}}^2)n$$

$U_{\text{пер}}$ – уровень перенапряжений при дуговых замыканиях на землю;

$U_{\text{осм}}$ – уровень ограничений ОПН при дуговых замыканиях;

$C_{\text{сети}}$ – емкость сети (определяется по уровню емкостного тока сети);

n – число повторных зажигания. С учетом длительности режима существования дуговых замыканий (2-3 с) и возможностью их возникновения в каждый полупериод

$n = 100-200$.

При установке РС-цепочек, I_c должно быть определено с учетом емкостей этих цепочек.

Суммарная расчетная энергия, рассеиваемая ОПН за время ограничения дуговых замыканий, должна быть не более нормируемой для него энергии:

$$W_{\text{ОПН}} \geq W_{\text{сум}}$$

Выбор тока срабатывания взрывопредохранительного устройства

Ток срабатывания взрывопредохранительного устройства (для сброса давления) ОПН должен быть не менее, чем на 10% больше значения двухфазного или трехфазного (большого из них) тока короткого замыкания ($I_{\text{кз}}$) в месте установки ограничителя.

Выбор длины пути утечки внешней изоляции ограничителя

Длина пути утечки внешней изоляции ограничителя наружной установки должна выбираться в зависимости от степени загрязнения по ГОСТ 9920 – 89, но должна быть не менее указанной в таблице длины пути утечки.

Таблица 8 – Минимальные длины путей утечки внешней изоляции ограничителя

| Класс напряжения электрооборудования, кВ | 3 | 6 | 10 | 15 | 22 | 35 |
|--|-----|------|------|------|------|------|
| Длина пути утечки, см, не менее | 7,0 | 13,0 | 22,0 | 31,5 | 43,2 | 75,0 |

Выбор типа ограничителя

Выбор типа ограничителя осуществляют в соответствии с определенными выше положениями и значениями параметров ОПН.

Для случая установки ОПН в районах с повышенной гололедно-ветровой нагрузкой, где возможны частые обрывы проводов, необходимо проверить выбранный тип ОПН на устойчивость к воздействию квазиустановившегося перенапряжения, возникшего в результате неполнофазного режима.

Если при обрыве провода длина ВЛ, присоединенная к трансформатору менее величины

$$L_{np} = I_{XX\%} \frac{S_H}{188C_1 U_H^2}$$

где $I_{XX\%}$ - ток холостого хода, в %;

S_H, U_H – номинальные мощности [кВ·А] и напряжение [кВ] трансформатора;

C_1 – погонная емкость прямой последовательности [мкф/км].

то перенапряжения не превышают величины линейного напряжения и не представляют опасности для электрооборудования.

Если $L > L_{np}$, то повышение напряжения определяется по изложенной ниже методике.

На рисунке 7 приведена обобщенная зависимость фазного напряжения на линии $U_{фл}$ от тока намагничивания трансформатора I_m с изолированной нейтралью при обрыве фазы этой линии (отпайки от нее). Параметры зависимости приведены в о.е.: напряжения – по отношению к номинальному напряжению трансформатора и тока – по отношению к номинальному току намагничивания трансформатора (току холостого хода).

По двум точкам строят зависимость напряжения на емкости линии $U'_{фл}$, рассчитывая ее значения по формуле:

$$U'_{фл} = \frac{-1,5 + I_{мн} I_{мн}^*}{\Pi L U_{фн}}$$

где Π – удельная проводимость линии по нулевой последовательности, сим;

L – длина линии от места обрыва до трансформатора, км;

$I_{мн}$ – номинальный ток намагничивания трансформаторов, А;

$I_{мн}^*$ – номинальный ток намагничивания, о.е. по отношению к номинальному

току трансформатора, о.е.

$U_{\text{фн}}$ – номинальное фазное напряжение трансформатора, кВ.

С изолированной нейтралью или нейтралью, заземленной через ДГР

Наибольшее длительно допустимое напряжение ограничителя для защиты сети СН от дуговых перенапряжений выбирается, исходя из положений:

- наибольшее рабочее напряжение сети не должно превышать 1,1 номинального напряжения электродвигателя, т.е. 6,6 кВ;
- длительность однофазного замыкания на землю не должна превышать 2 часов.

учет этих условий определяет наибольшее допустимое напряжение ОПН.

Требуемый уровень ограничения коммутационных перенапряжений определяют по требованию ограничения перенапряжений при дуговых замыканиях на землю до допустимого уровня. Он обеспечивается при расчетном токе коммутационного импульса через ОПН, равном 100 А.

Амплитуда импульса тока пропускной способности ограничителя на прямоугольной волне длительностью 2000 мкс зависит от величины емкостного тока замыкания на землю сети СН и определяется необходимой энергоемкостью ОПН при дуговых замыканиях.

При расчетах ориентируются на то, что:

- при емкостном токе замыкания на землю не более 10 А и работе сети с изолированной нейтралью (схема питания сети СН от трансформатора) или при емкостном токе до 100 А и работе сети со 100% компенсацией емкостного тока замыкания на землю амплитуда импульса тока пропускной способности должна быть не ниже 500 А;
- ограничитель устанавливается на шинах каждой секции СН в свободной ячейке или ячейке трансформатора напряжения (ТН) до предохранителя. Возможна установка ОПН в ячейке с секционным выключателем;
- для защиты СН с большими значениями токов замыкания на землю используются 2-3 комплекта ОПН на каждой секции шин. Важно, чтобы ОПН были одного типа и с одинаковыми значениями наибольшего длительно допустимого рабочего напряжения.

Выбор параметров ОПН для защиты сети СН, работающей с нейтралью, заземленной через резистор.

В сетях 6 кВ СН электростанций значение сопротивления резистора, включаемого в нейтраль заземляющего трансформатора, выбирают таким образом, чтобы ток через резистор при однофазном замыкании на землю был не менее емкостного тока замыкания на землю (обычно сопротивление резистора равно 100 Ом). В этом случае перенапряжения при дуговых замыканиях на землю ограничены до уровня 2,2-2,4 $U_{\text{ф}}$, а релейная защита надежно отключает поврежденное присоединение.

Наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение ограничителя выбирается, исходя из того что:

- наибольшее рабочее напряжение сети не должно превышать 1,1 номинального напряжения электродвигателя, т.е. 6,6 кВ;
- длительность однофазного замыкания на землю определяется временем действия релейной защиты, отключающей замыкание. Это время не превышает обычно 5 с.

ограничитель включается в цепь заземляющего трансформатора до выключателя.

В качестве резервного аппарата на шинах СН устанавливается дополнительный ОПН, поскольку, при отказе в действии релейной защиты и отключении поврежденного присоединения, отключается присоединение с заземляющим трансформатором, и сеть переходит в режим работы с изолированной нейтралью.

Выбор ограничителя для защиты ГРУ от дуговых перенапряжений

Защита ГРУ от дуговых перенапряжений может потребоваться, если имеются случаи отказа электрооборудования при однофазных дуговых замыканиях на землю или кабельная сеть, подключенная к ГРУ, имеет достаточно высокую повреждаемость и если потребителями ГРУ являются источники повышенных напряжений, например, плавильные печи.

Поскольку к шинам ГРУ подключены генераторы, то наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение ограничителя выбирается, исходя из следующих положений:

- наибольшее рабочее напряжение сети не должно превышать 1,15 номинального напряжения генератора, т.е. 6,9 и 11,5 кВ соответственно для ГРУ 6 и 10 кВ;
- длительность однофазного замыкания на землю не должна превышать 2 часов.

при выполнении указанных требований $U_{н.р.}$ должно быть не ниже 6,9 и 11,5 кВ для сетей 6 и 10 кВ соответственно.

Требуемый уровень ограничения перенапряжений определяется величиной испытательного напряжения генератора. Такой уровень ограничения перенапряжений обеспечивается при расчетном токе коммутационного импульса через ОПН, равном 100 А. При определении пропускной способности ограничителя необходимо учитывать, что ГРУ имеет, как правило, секционные и линейные токоограничивающие реакторы, что увеличивает токовые и энергетические воздействия на ОПН.

Ограничитель следует устанавливать на каждой секции ГРУ в свободной ячейке или в ячейке ТН. При возможности параллельной работы секций ГРУ устанавливаемые на секциях ограничители должны быть специально подобраны по своим характеристикам.

Выбор параметров ОПН для защиты от перенапряжений, инициируемых вакуумными выключателями.

Установка ОПН на присоединениях с вакуумными выключателями ограничивает перенапряжения, связанные с обрывом тока и эскалацией напряжений, сокращает число повторных зажиганияй, а, следовательно, число опасных перенапряжений и полностью исключает перенапряжения при виртуальном срезе тока.

Защита от перенапряжений требуется при коммутациях вакуумными выключателями присоединений с электродвигателями и трансформаторами.

Не требуется защита от перенапряжений, инициируемых вакуумными выключателями:

- трансформаторов, защищенных по условию грозозащиты вентильными разрядниками или ОПН;
- трансформаторов СН в кабельных сетях, длина подключаемых кабелей которых больше или равна приведенным в таблице значениям.

Для защиты электродвигателя от перенапряжений, инициируемых вакуумным выключателем, ограничитель устанавливается в сети 6 кВ. При установке ограничителей в нескольких ячейках характеристики ограничителей должны быть специально подобраны для их параллельной работы. В этом случае ограничители будут подвержены меньшим токовым и энергетическим воздействиям при однофазных дуговых замыканиях на землю, что повысит надежность работы сети и ОПН.

Наибольшая эффективность ограничения перенапряжений, инициируемых вакуумными выключателями, достигается при установке ОПН параллельно выключателю или непосредственно у защищаемого объекта.

Возможна установка ограничителя в начале кабеля. В этом случае необходима проверка уровня перенапряжений на двигателе, которые не должны превышать выдерживаемый изоляцией двигателя уровень испытательных напряжений.

12. Системы заземления электроустановок напряжением до 1 кВ

Электрические сети напряжением до 1 кВ переменного тока могут выполняться с глухозаземленной или с изолированной нейтралью. До 1995г. в России электроустановки напряжением до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью выполнялись четырехпроводными: три фазы и нулевой проводники, нейтраль трансформатора или другого источника питания присоединялась к земле (заземляющему устройству) через малое сопротивление. Нулевой проводник соединялся с нейтралью трансформатора и выполнял функции нулевого рабочего и нулевого защитного проводников. По принятым в настоящее время стандартам такая система заземления относится к системе TN-C с PEN проводником. Система TN-C получила очень широкое распространение в промышленных, городских и сельских

сетях благодаря своему основному преимуществу – наличию двух стандартных напряжений: фазному и линейному. Данная система заземления достаточно проста, экономична, но не обеспечивает должный уровень электробезопасности.

С середины 90-х годов в качестве государственных стандартов были приняты международные стандарты [МЭК 364 (ГОСТ Р 50571 - 94)], требования которых были включены в ПУЭ. Новые требования к выполнению систем заземления привели к существенным изменениям при проектировании электроснабжения жилых, общественных, административных и бытовых зданий. Так, было запрещено использовать систему заземления TN-C. Вместо нее были предложены новые системы: TN-C-S и TN-S, в которых нулевой рабочий и нулевой защитный проводники во всей сети или в ее части работают раздельно.

ГОСТ Р 50571.2 – 94 (МЭК 364-3 - 93) предусматривает три типа систем заземления электрических сетей: TN, TT, IT. Система TN в зависимости от устройства нулевого рабочего и нулевого защитного проводников разделяется на три вида: TN-C, TN-C-S, TN-S.

В обозначении системы заземления первая буква (I или T) определяет тип заземления нейтрали трансформатора. Буква «I» означает, что нейтраль трансформатора изолирована от земли или связана с землей через сопротивление или разрядник. Буква «T» указывает на прямую связь по меньшей мере одной точки сети (нейтрали трансформатора) с землей. Вторая буква характеризует связь с землей открытых проводящих частей установки. Буква «T» означает прямое соединение открытых проводящих частей (к открытым проводящим частям электроустановки относятся нетоковедущие части, доступные прикосновению, которые могут оказаться под напряжением при нарушении изоляции токоведущих частей) электроустановки с землей без связи их с нейтралью трансформатора. Буква «N» указывает на прямое соединение открытых проводящих частей электроустановки с заземленной нейтралью посредством PEN или PE проводников.

Последующие буквы характеризуют устройство нулевого защитного и нулевого рабочего проводников. Буква «C» означает, что функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников объединены в одном проводнике (PEN проводнике), буква «S» - функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников обеспечиваются раздельными проводниками.

В системах заземления используются следующие нулевые проводники:




- **N проводник** – нулевой рабочий проводник, который служит для питания однофазных электроприемников и для подключения к нему нулевых точек трехфазных электроприемников;
- **PE проводник** – нулевой защитный проводник, соединяющий зануляемые

части (корпуса) электроприемников с заземленной нейтралью трансформатора или генератора в сетях переменного трехфазного тока или с заземленной средней точкой источника в сетях постоянного тока;

- **PEN проводник** выполняет функции PE проводника и N проводника. PEN проводник присоединяется к заземленной нейтрали вторичной обмотки трансформатора или генератора, может иметь повторное заземление в других точках сети.

В таблице 9 приведены условные графические обозначения нулевых рабочих и защитных проводников в соответствии с МЭК 617-11.

Таблица 9 – Условные графические обозначения нулевых рабочих и защитных проводников

| Обозначение | Проводник |
|---|--|
|  | Нулевой рабочий проводник (N) |
|  | Нулевой защитный проводник (PE) |
|  | Совмещенный нулевой рабочий и нулевой защитный проводник (PEN) |

Система TN – система, в которой нейтраль трансформатора или другого источника питания глухо заземлена (соединена с землей в одной или нескольких точках), а все доступные прикосновению открытые проводящие части электроустановки соединяются с заземленной точкой с помощью PEN или PE и N проводников. Проводимость PEN проводника, идущего от нейтрали трансформатора или генератора, должна быть не менее 50% проводимости фаз.

В качестве N проводника следует использовать дополнительную жилу провода или кабеля (четвертая жила в сетях переменного трехфазного тока).

В качестве защитных проводников (PEN и PE проводников) должны быть в первую очередь использованы специально предусмотренные для этой цели проводники. В том числе жилы кабелей, изолированные провода в общей оболочке с фазными проводами, стационарно проложенные неизолированные или изолированные проводники. В качестве PEN или PE проводников между нейтралью и щитом распределительного устройства следует использовать: при выводе фаз шинами – шину на изоляторах; при выводе фаз кабелем (проводом) – жилу кабеля (провода).

Допускается использовать в качестве PEN и PE проводников следующие проводники, конструкции и элементы, если они обеспечивают непрерывность цепи заземления и удовлетворяют нормативным требованиям:

- алюминиевые оболочки;
- металлические конструкции и опорные конструкции шинопроводов;
- стальные трубы электропроводок;

- металлические конструкции зданий или сооружений (фермы, колонны);
- арматуру железобетонных конструкций и фундаментов зданий;
- металлические стационарные открыто проложенные трубопроводы всех назначений, кроме трубопроводов горючих и взрывоопасных веществ и смесей, канализации и центрального отопления.

Система TN-C – система TN, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике на всем ее протяжении. В настоящее время система TN-C остается основной в питающих и распределительных сетях низкого напряжения промышленных предприятий.

В четырехпроводных сетях переменного трехфазного тока или трехпроводных сетях постоянного тока заземление нейтрали или средней точки источников тока является обязательным. Открытые проводящие части электроустановки должны быть электрически соединены с заземленной нейтралью трансформатора или генератора в сетях переменного тока, с заземленной средней точкой источника питания – в сетях постоянного тока, т.е. должно быть выполнено зануление. Заземление корпусов электроприемников без их зануления недопустимо. Зануление предназначено для создания цепи короткого замыкания с малым сопротивлением при пробое одной из фаз на корпус электроустановки и для обеспечения безопасности обслуживающего персонала.

В системе TN-C предусматриваются устройства защиты от сверхтоков (коротких замыканий, перегрузок). Устройства защиты, реагирующие на дифференциальный ток (устройства защитного отключения - УЗО), как правило, не предусматриваются из-за неэффективности их применения.

Система TN-C-S является комбинацией систем TN-C и TN-S, в которой PEN проводник используется только в сети общего пользования. В какой-то точке сети PEN проводник разделяется на два проводника: PE и N проводники. После точки разделения PE и N проводники объединять запрещается, N проводник изолируется от корпуса, предусматриваются отдельные зажимы или шины для PE и N проводников. Разделение PEN проводника в системе TN-C-S обычно осуществляется на вводе в электроустановку (в здание). В точке разделения PEN проводник заземляется на повторный контур заземления.

Стандарты предъявляют следующие требования к PEN проводнику в системе TN-C-S:

- площадь сечения медного проводника должно быть не менее 10 мм²;
- площадь сечения алюминиевого проводника должна быть не менее 16 мм²;
- часть электроустановки с PEN проводником не должна быть оснащена устройствами УЗО, реагирующими на дифференциальный ток.

Устройства защитного отключения в системе могут быть установлены только после разделения PEN проводника со стороны электроприемников. Система TN-C-S является наиболее перспективной для практического применения, так как она позволяет обеспечить более высокий уровень

электробезопасности по сравнению с системой TN-C и не требует проводить реконструкцию существующей электрической сети.

Система TN-S имеет N и PE проводники, которые работают раздельно по всей системе. В системе TN-S устройство защитного отключения может устанавливаться в любой точке сети. В трехфазных сетях переменного тока для реализации системы TN-S требуется применять пятипроводные линии во всей сети от источника питания до электроприемника. Это делает систему TN-S более дорогой и сложной.

Система IT – система с изолированной нейтралью (в установках постоянного тока с изолированной средней точкой), в которой нейтраль трансформатора или генератора изолирована от земли или заземлена через приборы или устройства, имеющие большое сопротивление. Открытые проводящие части электроустановки заземлены (присоединены к заземлителю, электрически независимому от заземлителя нейтрали трансформатора или генератора). Систему следует применять при недопустимости перерыва электроснабжения электроприемников. Так как наиболее частые аварии в сетях с глухозаземленной нейтралью – однофазные короткие замыкания, то применение сетей с изолированной нейтралью позволяет не нарушать работу электроприемников в случае пробоя или нарушения изоляции в одной фазе. Сети с изолированными нейтралью применяются в шахтах, для передвижных установок, торфяных разработок, в отдельных цехах предприятий цветной металлургии и т.д.

Для сетей с изолированной нейтралью заземление корпусов электроприемников является обязательным. Кроме того, должен предусматриваться непрерывный контроль изоляции сети и обеспечена возможность быстрого отыскания замыканий на землю. В сетях системы IT предусматриваются защиты от сверхтоков, защита от замыканий на землю, могут применяться устройства защиты, реагирующие на дифференциальный ток. Защита от замыканий на землю должна действовать на отключение в тех случаях, когда это необходимо для обеспечения безопасности обслуживающего персонала.

Система TT – система, в которой нейтраль трансформатора или генератора глухо заземлена, а открытые проводящие части заземлены с помощью заземляющего устройства, электрически независимого от глухозаземленной нейтрали источника питания. Данная система заземления имеет ограниченную область применения. ГОСТ Р 50669 – 94 рекомендует использовать систему TT при проектировании и монтаже электроустановок зданий из металла (киосков, павильонов).

Список использованных источников

- 1 Журнал «Энергетик» № 1, 2005
- 2 Ополева Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения: Справочник: Учеб. пособие. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2006
- 3 Руководство по эксплуатации и применению ОПН/TEL завода-изготовителя «РК Таврида Электрик»
- 4 Паспорт ВВ/TEL, инструкция по эксплуатации завода - изготовителя «Таврида Электрик»
- 5 Шеховцов В.П. Электрическое и электромеханическое оборудование: Учебник. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М., 2004