

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ
ДЕПАРТАМЕНТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ И ОБРАЗОВАНИЯ
ФГБОУ ВО КОСТРОМСКАЯ ГСХА

Кафедра электроснабжения

СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Практикум
для студентов направления подготовки
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»,
профиль «Электроснабжение»
очной и заочной форм обучения

КАРАБАЕВО
Костромская ГСХА
2015

УДК 621.34
ББК 31.279.1
С 40

Составитель: д.т.н, профессор кафедры электроснабжения Костромской ГСХА *Н.М. Попов.*

Рецензент: к.т.н., доцент, заведующий кафедрой теоретических основ электротехники и автоматики Костромской ГСХА *А.В. Рожнов.*

Рекомендовано к изданию методической комиссией факультета электрификации и автоматизации сельского хозяйства, протокол № 7 от 01 сентября 2015 года.

С 40 Системы электроснабжения городов и промышленных предприятий : практикум для студентов направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», профиль «Электроснабжение» очной и заочной форм обучения / сост. Н.М. Попов. — Караваево : Костромская ГСХА, 2015. — 76 с.

В издании приводятся краткие теоретические сведения, порядок выполнения практических работ, перечень контрольных вопросов для самопроверки.

Практикум предназначен для студентов направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», профиль «Электроснабжение» при изучении дисциплины «Системы электроснабжения городов и промышленных предприятий».

УДК 621.34
ББК 31.279.1

ОГЛАВЛЕНИЕ

Практическое занятие №1 Термины и определения в системах электроснабжения.....	4
Практическое занятие №2 Промышленные потребители электроэнергии.....	7
Практическое занятие №3 Схемы первичной коммутации подстанций.....	13
Практическое занятие №4 Собственные нужды подстанций и вторичное оборудование.....	20
Практическое занятие №5 Преобразование энергии в силовом трансформаторе	23
Практическое занятие №6 Автотрансформаторы в схемах электроснабжения. .	26
Практическое занятие №7 Расчет токов коротких замыканий в сетях с автотрансформаторами.....	33
Практическое занятие №8 Уровни электроснабжения промышленных предприятий и городов.....	37
Практическое занятие №9 Схемы блочных подстанций пятого уровня.....	41
Практическое занятие №10 Параллельная работа трансформаторов.....	45
Практическое занятие №11 Подключение реакторов в схемах подстанций.....	48
Практическое занятие №12 Установка компенсации реактивной мощности на предприятии.....	53
Практическое занятие №13 Схемы электроснабжения городов.....	57
Практическое занятие №14 Электроснабжение жилых и общественных зданий	62
Практическое занятие №15 Учет потребленной электроэнергии в сети и у потребителей.....	67
Задания для контрольных работ.....	75
Рекомендуемая литература.....	76

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1 ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Цель работы. Изучить основную терминологию систем электроснабжения.

Порядок выполнения

1. Изучить теоретический материала.
2. Ответить на контрольные вопросы.

Содержание отчёта

1. Необходимые теоретические сведения.
2. Ответы на контрольные вопросы.

Основные теоретические сведения

Система электроснабжения — это совокупность взаимосвязанных электроустановок, осуществляющих электроснабжение, города, района, предприятия (организации)

Потребитель — предприятие, организация, территориально обособленный цех, строительная площадка, квартира, у которых приемники подсоединены к электрической сети и используют электроэнергию.

Приемником электрической энергии называют устройство, (аппарат, агрегат, установку, механизм,) в котором происходит преобразование электрической энергии в другой вид энергии (или в электрическую, но с другими параметрами) для ее использования.

Электроустановками называют совокупность машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования (вместе с вооружениями и помещениям, в которых они установлены, предназначенные для производства, преобразования, передачи, накопления, распределения электрической энергии и/или преобразования ее в другой вид энергии. Электроустановка — комплекс взаимосвязанного оборудования и сооружений. Примеры: электрическая подстанция, линия электропередачи, распределительная подстанция, конденсаторная установки, индукционный нагреватель.

Электрическая сеть — совокупность электроустановок для передачи и распределения электрической энергии, состоящая из подстанций, распределительных устройства, токопроводов, воздушных и кабельных линий электропередачи, работающих на определенной территории.

Подстанцией называют электроустановку, служащую для преобразования и распределения электроэнергии, состоящую из трансформаторов или других преобразователей электроэнергии, распределительного устройства, устройства управления и вспомогательных сооружений. В зависимости от той или иной функции они называются трансформаторными (ТП) или преобразовательными (ПП). Трансформаторную подстанцию называют комплектной (КТП)— при поставке трансформаторов, щита низкого напряжения и других элементов в собранном виде или в виде, полностью подготовленном для сборки. Распределительным устройством (РУ) называют электроустановку, служащую для приема и распределения электроэнергии содержащую коммутационные аппараты, сборные и соединительные шины, вспомогательные устройства (аккумуляторные и др.), а также устройства защиты, автоматики и измерительные приборы. Если все или основное оборудование расположено на открытом воздухе, оно называется ОРУ, в здании — закрытым (ЗРУ). Распределительное устройство, состоящее из полностью или частично закрытых шкафов и блоков, со встроеными в них аппаратами, устройствами защиты и автоматики,

поставляемым полностью подготовленным для сборки в виде, называют комплектными: для внутренней установки — КРУ, для наружной — КРУН.

Распределительным пунктом называют электроустановку, предназначенную для приема и распределения электроэнергии без преобразования и трансформации, это понятие эквивалентно — распределительная подстанция. Распределительный пункт напряжением до 1 кВ называют сборкой.

Распределительным щитом называют распределительное устройство до 1 кВ, предназначенное, предназначенное для управления линиями сети и их защиты.

Станция управления— комплектное устройство до 1 кВ, предназначенное для дистанционного управления электроустановками или их частями с автоматизированным выполнением функций управления, регулирования, защиты, сигнализации. Конструктивно станция управления представляет собой блок, панель, шкаф, щит.

Блок управления — станция управления, все элементы которой монтируют на отдельной плате или отдельном каркасе.

Панель управления — станция управления, все элементы которой монтируют на щитах, рейках или других конструктивных элементах, собранных на общей раме или металлическом листе.

Щит управления (щит станций управления — ЩСУ)— сборкам из нескольких панелей или блоков на объемном каркасе.

Шкаф управления — станция управления, защищенная со всех сторон таким образом, что при закрытых дверях и крышках исключается доступ к токоведущим частям.

Контрольные вопросы:

1. Как изображается трансформатор 10/0,4 кВ без регулирования напряжения под нагрузкой в трехфазном представлении и в однофазном со схемой соединения обмоток?
2. Какие схемы соединения обмоток трансформаторов существуют?
3. Сколько выводов (вводов) имеет трехфазный двухобмоточный трансформатор?
4. Как изображается трансформатор с регулированием напряжения под нагрузкой?
5. Как изображаются разъединитель, высоковольтный выключатель, заземление?
6. Чем отличается трансформаторная подстанция от распределительного пункта?
7. На каком напряжении осуществляется управление аппаратами на подстанциях?
8. На какое напряжение устанавливают аккумуляторные батареи на подстанциях?
9. Для чего нужны аккумуляторные батареи на подстанциях?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2 ПРОМЫШЛЕННЫЕ ПОТРЕБИТЕЛИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Цель работы. Изучить представление о мощных потребителях в промышленном производстве.

Порядок выполнения

1. Изучить теоретический материала.
2. Ответить на контрольные вопросы.

Содержание отчёта

1. Необходимые теоретические сведения.
2. Ответы на контрольные вопросы.

Основные теоретические сведения

Силовые общепромышленные установки

По роду тока все потребители можно разделить на три группы:

- 1) работающие от сети переменного тока промышленной частоты;
 - 2) работающие от сети переменного тока повышенной или пониженной частоты;
 - 3) работающие от сети постоянного тока.
- Большинство электроприемников промышленных предприятий работает на переменном токе частотой 50 Гц. Частота 50 Гц задается генераторами электростанций. Это обеспечивается частотой вращения роторов турбогенераторов 3000 об/мин. в соответствии с формулой

$$f = p n / 60,$$

где p — число пар полюсов, у турбогенераторов $p = 1$ (2 полюса);
 n — число оборотов в минуту.

Установки повышенной частоты применяют для нагрева под закалку, ковку и штамповку металлов, а также для плавки металлов. Для питания высокоскоростных двигателей в текстильной промышленности, деревообработке также используют токи повышенной частоты (133-400 Гц). Для получения частот до 10 кГц применяют преимущественно тиристорные преобразователи, а выше — электронные генераторы.

К электроприемникам пониженной частоты относятся коллекторные двигатели, применяемые для транспортных целей (16,6 Гц), установки для перемешивания жидкого металла в печах (25 Гц) и индукционные нагревательные устройства.

Цехи электролиза, установки электролитического получения металлов, некоторые виды электросварки электродвигатели питаются от сети постоянного тока.

На долю нерегулируемых электродвигателей переменного тока приходится 75% суммарной мощности.

При напряжении до 1 кВ и до 100 кВт мощности экономичнее применять асинхронные двигатели, а выше 100 кВт — синхронные (что не всегда возможно по условиям пуска)

Мощности до 1000 кВт это область напряжений 6 кВ и 10 кВ. Асинхронные двигатели с фазным ротором используют в мощных электроприводах с маховиками при тяжелых условиях пуска.

Преимущества синхронных двигателей по сравнению с асинхронными: способность компенсировать реактивную мощность с меньшими затратами, чем у асинхронных двигателей с конденсаторными батареями; повышение перегрузочной способности и устойчивости благодаря применению автоматического регулирования возбуждения с форсировкой возбуждения при снижении частоты в сети ниже 85%; более высокий КПД, чем у асинхронных двигателей.

При необходимости плавного изменения скорости в последнее время применяют частотный асинхронный электропривод

К группе силовых общепромышленных установок и производственных механизмов относят электродвигатели компрессоров, вентиляторов, насосов. Электродвигатели таких установок работают в продолжительном режиме и в зависимости от номинальной мощности получают электроэнергию на напряжении 0,22...10 кВ. Номинальная мощность таких установок изменяется в широких пределах от 0,25 до 30 МВт. Для электроприводов крупных насосов, компрессоров, вентиляторов применяют синхронные двигатели, которые используются как дополнительные источники реактивной мощности. Подъемно-транспортные устройства, относящиеся также к общепромышленным установкам, работают в повторно-кратковременном режиме. Для этих устройств характерны частые толчки нагрузки, которые приводят к тому, что коэффициент мощности изменяется в широких пределах (0,3-0,8).

Обширную группу составляют приводы различных станков и производственных механизмов. Для электропривода станков используются виды двигателей номинальной мощности от долей до сотен киловатт. Станочное оборудование в целом развивается по пути повышения эффективности производства благодаря автоматизации, внедрению программных средств и вычислительной техники, способных обеспечить при смене объектов любую перестройку технологии. Надежность функционирования такой техники во многом зависит от качества электроэнергии и бесперебойности питания.

Электротермические приемники промышленных предприятий в соответствии с методами нагрева делят на следующие группы:

дуговые электропечи для плавки черных и цветных металлов;
дуговые сталеплавильные печи.

Все дуговые печи питаются трехфазным напряжением 50 Гц. Напряжение подводится в трех вертикальных электрографитовых электродах 1 через электродержатели 2. Электроды перемещаются вверх и вниз электроприводом через редукторы. Корпус печи представляет собой круглый стальной кожух, футерованный изнутри огнеупорным кирпичом. Часть футеровки образует непроницаемую для жидкого металла чашу — ванну. Верхняя часть футеровки составляет стенки плавильного пространства. Сверху кожух закрыт куполообразным сводом 3 из огнеупорного кирпича. В своде расположены три отверстия для электродов 1, уплотненные водоохлаждаемыми кольцами 4, предотвращающими прорыв из печи в цех горячих газов (рис. 2.1).

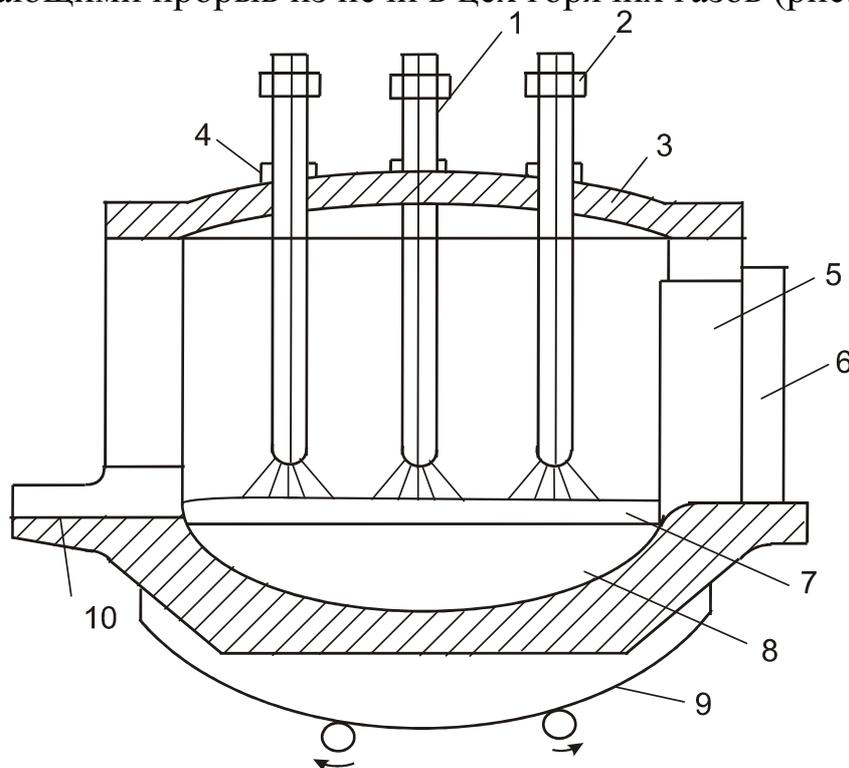


Рис. 2.1. Электродуговая печь

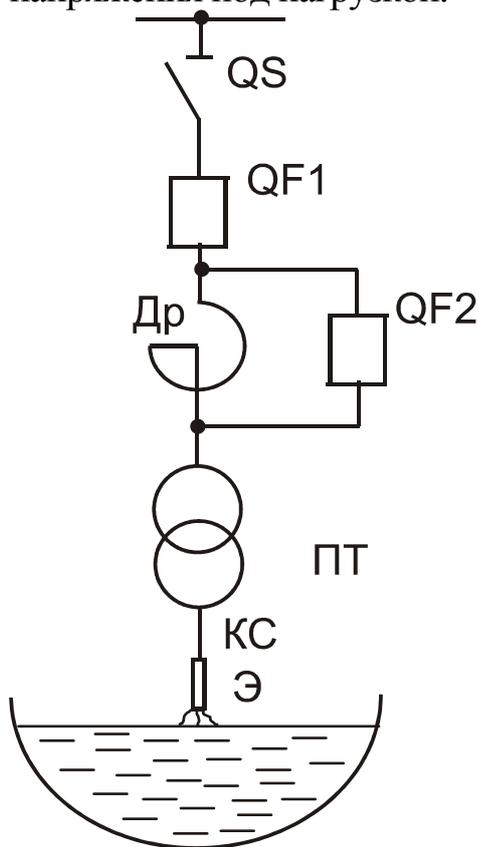
- 1 — электрографитовый электрод; 2 — электродержатель;
3 — куполообразный свод; 4 — водоохлаждаемые кольца; 5 — рабочее окно;
6 — футерованная дверца; 7 — расплавленный шлак;
8 — расплавленный металл; 9 — направляющие; 10 — сливное отверстие.

Для загрузки печи свод с электродами поднимается и отводится в сторону. Шихту загружают в раскрытую печь в специальных корзинах подъемным краном. В стене кожуха имеется сливное отверстие 10 и

рабочее окно 5 для обслуживания ванны при плавке и и удаления из печи расплавленного шлака 7, скапливающегося на поверхности металла 8. Через рабочее окно 5 в печь вводят также шлакообразующие и легирующие добавки. Окно закрыто футерованной дверцей 6. Для слива металла печь наклоняют по направляющим 9 на $40-45^{\circ}$ в сторону сливного отверстия 10, а для удаления шлака — на $10-15^{\circ}$ в сторону рабочего окна.

Основным техническим параметром печи является ее емкость — масса стали, которую печь выдает при нормальном режиме работы. Емкость определяет габариты печи, потребляемую ею энергию и установленную мощность печного трансформатора. Печи емкостью 0,5... 25 т считаются малыми, емкостью 40...100 т средними и свыше 100 т — большими.

Линейные напряжения на электродах малых печей составляют 250 В, у самых крупных — 800 В, поэтому реализовать достаточно большие мощности можно только при токах дуг от 1000 А у малых печей и до 60—80 кА у самых крупных. Это предопределяет подключение печи к сети 6, 10, 35 и 110 кВ через специальные трансформаторы с глубоким регулированием вторичного напряжения под нагрузкой.



Вначале дуги проплавляют в шихте под каждым электродом ямы («колодцы»), постоянно погружаясь в них. Куски шихты, обваливаясь с краев «колодцев», часто замыкают дуговые промежутки накоротко. Эти так называемые эксплуатационные короткие замыкания (ЭКЗ) являются нормальными и для этапа расплавления. При эксплуатационных коротких замыканиях вступает в действие автоматика печи, электроды резко перемещаются вверх и повторно образуется электрическая дуга. При случайных обрывах дуг с помощью автоматики электроды перемещаются вниз до соприкосновения с металлом и затем вверх, образуя дугу. Броски тока при коротком замыкании ограничиваются в основном индуктивным сопротивлением соответствующей фазы короткой сети.

Рисунок 2.2 — Электро-сталеплавильная печь

Вследствие больших токов токоподвод к электродам от выводов низкого напряжения трансформатора выполняют как можно более коротким с целью уменьшения потерь. Этот токопровод называют короткой сетью печи

Общее сопротивление печного контура рассчитывают так, чтобы бросок тока при коротком замыкании не превосходил 2,5—3,5 номинального

Вначале дуги проплавляют в шихте под каждым электродом ямы («колодцы»), постоянно погружаясь в них. Куски шихты, обваливаясь с краев колодцев. Эти так называемые эксплуатационные короткие замыкания (ЭКЗ) являются нормальными и для этапа расплавления. При эксплуатационных коротких замыканиях вступает в действие автоматика печи, электроды резко перемещаются вверх и повторно образуется электрическая дуга. При случайных обрывах дуг с помощью автоматики электроды перемещаются вниз до соприкосновения с металлом и затем вверх, образуя дугу. Броски тока при коротком замыкании ограничиваются в основном индуктивным сопротивлением соответствующей фазы короткой сети. Общее сопротивление печного контура рассчитывают так, чтобы бросок тока при коротком замыкании не превосходил 2,5—3,5 номинального.

В состав электрооборудования дуговых сталеплавильных печей входят печной трансформатор *ПТ*, высоковольтные выключатели *QF1, QF2* короткая сеть *КС*, разъединитель *Р*, дроссель *Др* .

ЗАПОМНИТЕ

Печной трансформатор отличается от обычного силового трансформатора большой мощности тем, что номинальные токи на стороне низшего напряжения (НН) составляют тысячи и десятки тысяч ампер при относительно низком вторичном напряжении.

Он отличается повышенной механической прочностью и термической устойчивостью к частым толчкам токов при коротком замыкании. Для этого обмотки НН трансформатора имеют специальную конструкцию и усиленное крепление, занимая в баке гораздо больше места, чем у обычного трансформатора той же мощности. Печные трансформаторы рассчитывают таким образом, чтобы они могли переносить 20%-ную перегрузку по току в течение 1,5—2 ч. Такая перегрузка часто возникает на этапе расплавления металла. Высоковольтный выключатель ВВ за сутки производит до 20 оперативных включений — выключений, поэтому

для дуговых сталеплавильных печей выпускают специальные выключатели усиленной конструкции.

Дуговые печи подразделяют на сталеплавильные, рудно-термические печи косвенного действия для плавки цветных металлов. Это мощные приемники низкого нестандартного напряжения, подключаемые через специальные печные трансформаторы к источникам переменного тока 6-330 кВ часто с сооружением печных подстанций. Существуют специальные проекты с трансформаторами мощностью 150 МВА и 250 МВА (300-400 т)

Контрольные вопросы

1. Перечислите виды электропотребителей по роду тока.
2. Каковы преимущества асинхронных электродвигателей по сравнению с другими?
3. Каким образом можно регулировать частоту вращения асинхронных электродвигателей.
4. Является ли короткое замыкание для электродуговых печи аварийным режимом?
5. В каких режимах работают электродвигатели, приведите примеры?
6. В чем заключается особенность трансформаторов применяемых для плавки металла в электродуговых печах?
7. Каким образом ограничиваются броски тока при плавке металла в электродуговых печах?
8. Опишите конструкцию электродуговой печи и перечислите назначение электродвигателей установленных в ней.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №3 СХЕМЫ ПЕРВИЧНОЙ КОММУТАЦИИ ПОДСТАНЦИЙ

Цель работы. Научиться рассматривать потоки мощности через подстанцию.

Порядок выполнения

1. Изучить теоретический материала.
2. Ответить на контрольные вопросы.

Содержание отчёта

1. Необходимые теоретические сведения.
2. Ответы на контрольные вопросы.

Основные теоретические сведения

Для небольших заводов и городов устанавливают подстанции с трехобмоточными трансформаторами.

Подстанция предназначена для преобразования уровня напряжения и распределения потоков мощности по потребителям. Для питания потребителей в сельских районах используют подстанции двух типов: с напряжениями 110/35/10 кВ и 35/10 кВ. Наиболее сложной является подстанция 110/35/10 кВ. Такая подстанция имеет три уровня напряжения и соответственно три распределительных устройства (РУ) и силовые трансформаторы 110/35/10 кВ (рис.3.1). Для увеличения надежности электроснабжения на подстанциях устанавливают по два силовых трансформатора. Их мощности выбирают с таким расчетом, чтобы при выходе из строя одного из них второй мог нести большую часть нагрузки потребителей.

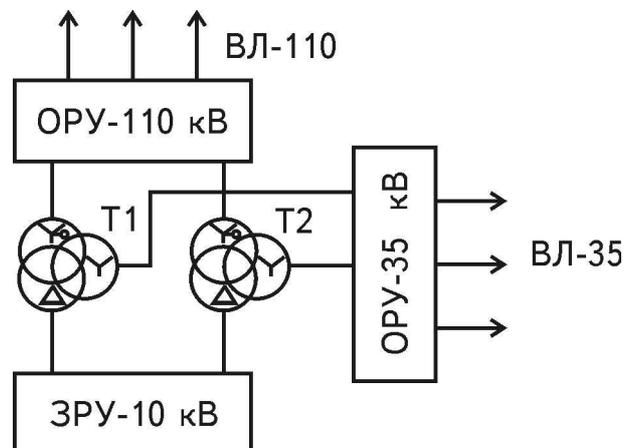


Рисунок 3.1 - Блок-схема подстанции 110/35/10 кВ с 2-мя трансформаторами

Распределительные устройства (РУ) выполняются двух типов: открытые (ОРУ) и закрытые (ЗРУ). В ОРУ токоведущие части располагаются на такой высоте, что непроизвольное прикосновение к ним исключено. Токоведущие части закрепляют на изоляторах, которые размещают на опорах специальной конструкции. В ОРУ хорошо видны все его части, в нем легко заменять оборудование. Благодаря значительным расстояниям между цепями в таких устройствах устранена возможность распространения аварии. ОРУ по сравнению с ЗРУ обладают рядом недостатков: - они занимают большую территорию; - обслуживание оборудования приходится проводить в любую погоду; - аппаратура ОРУ подвержена резким колебаниям температуры и атмосферных осадков, запылению и загрязнению. Эта аппаратура должна иметь дорогую и сложную конструкцию для наружной установки.

Шины ОРУ выполняют гибкими или жесткими. Гибкие шины выполняют многопроволочными проводами и крепят к опорам при помощи натяжных гирлянд из подвесных изоляторов. Жесткие шины монтируют на опорных изоляторах. Выполняют шины трубами или прямоугольными профилями.

В последнее время получили распространение комплектные трансформаторные подстанции блочного типа, например, КТПБ -35/10 2×1000. У таких подстанций ОРУ-35 кВ и ЗРУ - 10 кВ выполняются блоками, что ускоряет монтаж и ввод в эксплуатацию подстанции.

Закрытые распределительные устройства - (ЗРУ) это такие РУ, в которых токоведущие части располагаются за ограждениями и защищены от атмосферных осадков. Обычно ОРУ используются для напряжения 110 и 35 кВ, а ЗРУ на 10 кВ и 0,4 кВ.

К любому РУ подключаются питающие и питаемые линии, силовые трансформаторы. На большинстве подстанций устанавливают масляные трансформаторы, в которых масло служит для изоляции обмоток и выводов от корпуса и для охлаждения обмоток. Большинство трансформаторов на подстанциях имеют встроенные устройства регулирования под нагрузкой (РПН), что позволяет изменять уровень напряжения у потребителей без отключения. На принципиальных схемах наличие устройства РПН обозначается стрелкой, которая перечеркивает обмотки. В обозначении таких трансформаторов также отражается наличие устройства РПН. Обозначение ТДН-10000/110 - трехфазный трансформатор, с принудительным обдувом радиаторов, с регулированием напряжения под нагрузкой, мощностью 10000 кВА, с обмоткой высшего напряжения на 110 кВ.

Одна из обмоток силовых трансформаторов мощностью свыше 1000 кВА соединяется в треугольник. Это обеспечивает синусоидальность напряжений при несинусоидальном магнитном потоке.

Трехобмоточные трансформаторы 110/35/10 кВ могут иметь соотношение мощностей обмоток в процентах 100:100:100, 100:67:100, 100:100:67, 100:67:67. У всех трансформаторов обмотка 110 кВ рассчитана на пропускание полного потока мощности, а обмотки 35 и 10 кВ могут у разных трансформаторов пропускать или 100% или 67% от мощности трансформатора. Если известно, что большинство потребителей будут подключаться вблизи подстанции, то следует использовать соотношение мощностей 100:67:100.

От набегающих волн перенапряжений все обмотки трансформаторов защищаются вентильными разрядниками, которые подключаются либо к выводам трансформатора, либо к шинам РУ. Проходные изоляторы, установленные на трансформаторе, через которые поток мощности попадает к обмоткам называются *вводами*. Высоковольтные вводы имеют сложную конструкцию, на вводах 110 и 35 кВ трансформатора устанавливают встроенные трансформаторы тока.

В сельских районах питание подстанции 110/35/10 кВ осуществляется по одной или нескольким линиям 110 кВ. Потребители, расположенные в радиусе 15...20 км от подстанции питаются от ЗРУ -10 кВ, а потребители, расположенные в радиусе 20..50 км питаются по линиям 35 кВ от ОРУ-35.

Распределительное устройство 110 кВ

Наиболее сложным является ОРУ-110 кВ. При количестве подключаемых цепей к РУ 8 и более используют две системы шин с обходной. Это сложное РУ позволяет выводить в ремонт любой элемент подстанции без перерыва питания потребителей (рис.3.2).

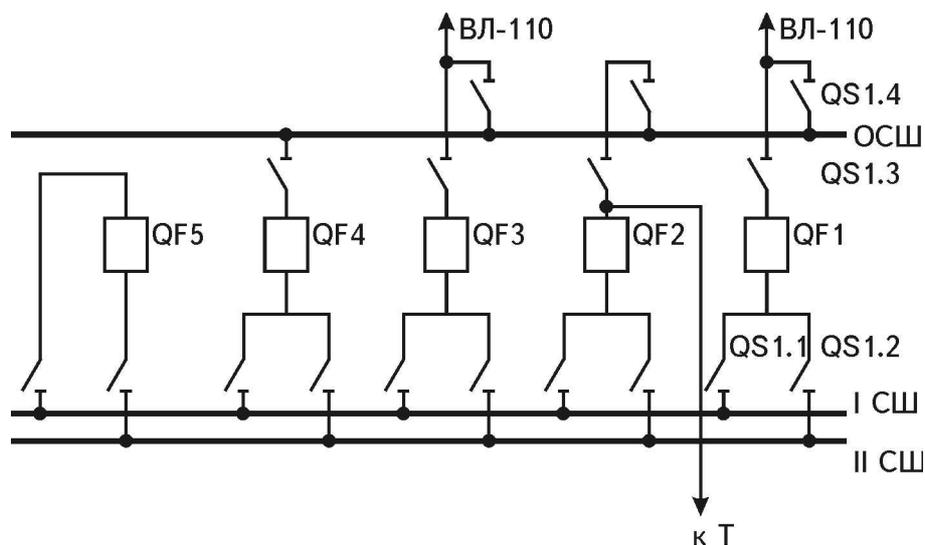


Рисунок 3.2- Схема ОРУ-110 с двумя системами шин с обходной QF1, QF3 - выключатели отходящих линий 110 кВ; QF2 - выключатель силового трансформатора; QF4 - выключатель обходной системы шин (ОСШ); QF5 - шинно соединительный выключатель.

Каждое присоединение (фидер) имеет воздушный или масляный выключатели, трансформаторы тока (на схеме не показаны), два шинных разъединителя QS1.1 и QS1.2, линейный разъединитель QS1.3, разъединитель обходной системы шин QS1.4. Присоединение может быть фиксировано подключено к первой или второй системе шин шинными разъединителями QS1.1 и QS1.2. К одной из систем шин может быть подключена и обходная система шин (ОСШ) через выключатель QF4. Обе основные системы шин соединяются шинно соединительным выключателем (ШСВ).

Для вывода в ремонт, например, выключателя QF1, используют такую последовательность операций. 1) Обходной выключатель QF4 подключают к той системе шин, от которой питалось присоединение QF1. 2) Опробуется напряжением через выключатель QF4 обходная система шин, затем QF4 отключается. 3) Включается разъединитель QS1.4 обходной системы шин. 4) После этого включается QF4 и линия кратковременно питается через два выключателя.

Ячейки: линейная, ввода, ШСВ, обходного выключателя, разъединители, масляный выключатель с трансформаторами тока, трансформатор напряжения, разрядники (ограничители напряжения). Вывод в ремонт. Фиксированное присоединение и отключение при коротких замыканиях на шинах.

К каждой системе шин подключаются трансформаторы напряжения для регистрации уровня напряжения (на схеме не показаны).

Распределительное устройство 35 кВ

ОРУ-35 кВ имеет одну или две секции. В отличие от двух систем шин одно присоединение фиксированно подключается только к одной секции и не может быть подключено к другой секции.

Самым простейшим является ОРУ-35 кВ тупиковой подстанции 35/10 кВ. На такой подстанции подключение силового трансформатора к линии может подключаться тремя способами: - через высоковольтный предохранитель; - через отделитель - короткозамыкатель; - через масляный выключатель. Подключение трансформатора через стреляющий предохранитель встречается довольно редко из-за низкой надежности.

Отделитель представляет собой по конструкции разъединитель с отключающими пружинами. Отделителем отсоединяют поврежденный трансформатор от сети при отсутствии токов нагрузки. Отключение токов нагрузки производится головными масляными выключателями.

ОРУ-35 обычно содержит ячейки отходящих линий, ячейки питания силовых трансформаторов, ячейку секционирующего выключателя, ячейки трансформаторов напряжения (рис.3.3).

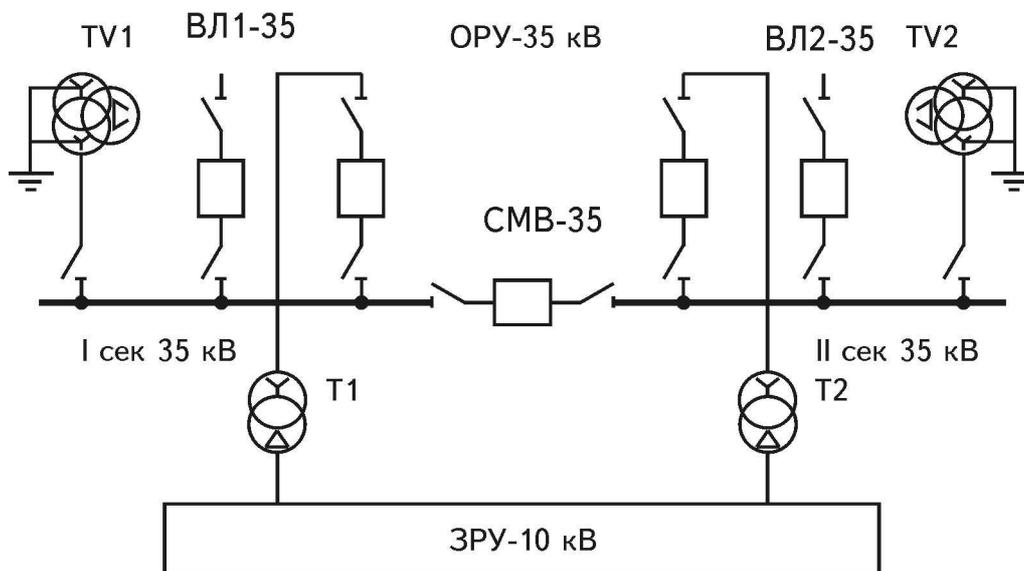


Рисунок 3.3 - Схема ОРУ-35 с двумя секциями

В ячейках, по которым протекают токи нагрузки, устанавливают масляные выключатели, с двух сторон которых расположены разъединители. Масляные выключатели на 35 кВ и выше имеют обычно

встроенные трансформаторы тока. Последовательно с масляными выключателями могут устанавливаться выносные трансформаторы тока.

Выведение в ремонт выключателя, трансформатора тока, разъединителя требует перерыва питания потребителей. Для исключения перерыва питания ответственные потребители должны питаться по двум линиям, отходящих от разных секций. Тогда при отключении одной линии питание будет осуществляться по другой линии.

Распределительное устройство 10 кВ

В зависимости от количества силовых трансформаторов на подстанции РУ-10 кВ имеет одну или две или три однотипных секции, соединенных секционирующим выключателем (рис.3.4). Иногда секции соединяются между собой кабельными линиями. Обычно секции выполняются закрытого типа и набираются из шкафов - ячеек. В РУ-10 кВ имеются ячейки: ввода питания от трансформатора 110/35/10 кВ или 35/10 кВ; отходящих линий; трансформатора напряжения (ТВ); трансформатора собственных нужд (ТЗ); секционирующего выключателя (СМВ). В ячейках ввода, отходящих линий и СМВ устанавливают в двух фазах трансформаторы тока. Каждый трансформатор тока имеет две вторичные обмотки, одна из которых задействована в цепях измерения, а вторая - в цепях релейной защиты.

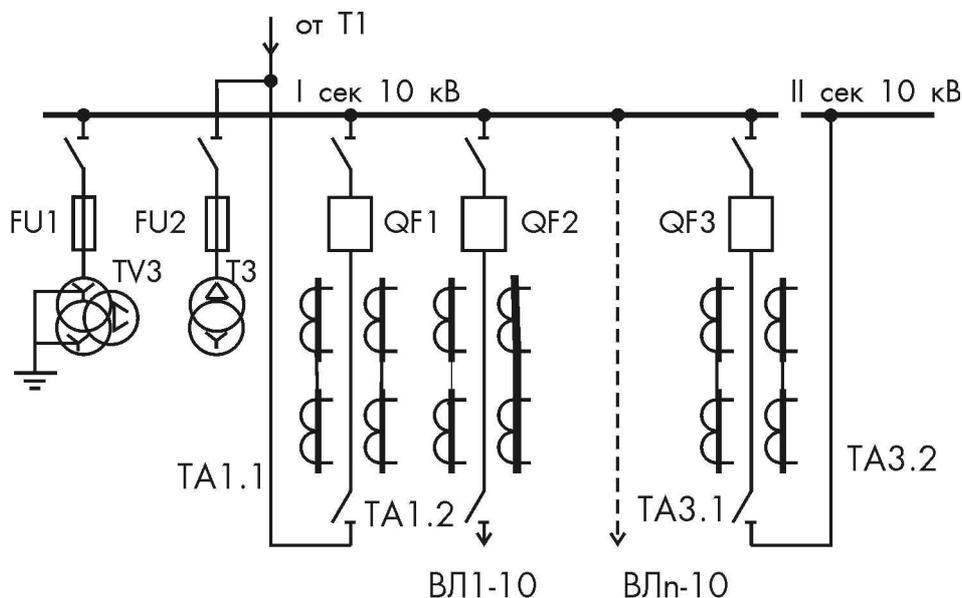


Рисунок 3.4 - Схема РУ-10 с двумя секциями

В ячейке TV устанавливаются вентильные разрядники или ограничители (на схеме не показаны) для защиты силового трансформатора подстанции от набегающих волн перенапряжений. От TV запитываются катушки напряжения счетчиков, вольтметр с переключателем на линейные и фазные напряжения, реле контроля изоляции в сети 10 кВ.

Контрольные вопросы

1. Расшифруйте ОРУ, ЗРУ, СМВ.
2. Что называется выводами трансформаторов?
3. Зачем одна из обмоток мощных трансформаторов соединяется по схеме треугольник?
4. Чем защищаются трансформаторы от набегающих волн перенапряжения?
5. Каковы преимущества и недостатки ОРУ?
6. Каковы преимущества и недостатки ЗРУ?
7. С какой целью на подстанциях устанавливают РПН?
8. Каково назначение двух вторичных обмоток трансформаторов тока?
9. С какой целью устанавливают два разъединителя в ячейках РУ?
10. Для чего устанавливается обходная система шин?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4 СОБСТВЕННЫЕ НУЖДЫ ПОДСТАНЦИЙ И ВТОРИЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Цель работы. Изучить устройство и работу собственных нужд электростанций.

Порядок выполнения

1. Изучить теоретический материала.
2. Ответить на контрольные вопросы.

Содержание отчёта

1. Необходимые теоретические сведения.
2. Ответы на контрольные вопросы.

Основные теоретические сведения

Трансформатор собственных нужд (ТСН) подключается непосредственно к выводам силового трансформатора, чтобы обеспечить проведение ремонтных работ на шинах подстанции. ТСН выполняются на напряжения 10/0,4 кВ или 10/0,23 кВ. В последнем случае все потребители питаются от линейного напряжения 230 В.

Количество потребленной электроэнергии на собственные нужды регистрируется счетчиком активной энергии РІ, подключенным через трансформаторы тока ТА1...ТА3. ТСН имеют мощность от 25 до 630 кВА в зависимости от мощности подстанции. Мощность ТСН, как правило, зависит от мощности силовых трансформаторов. На подстанциях 35/10 кВ в сельской местности обычно устанавливают ТСН мощностью 25 кВА. От ТСН запитываются: цепи:

- релейной защиты и автоматики;
- связи;
- телеизмерения и телемеханики;
- освещения территории ОРУ;
- освещения ячеек;
- питания приводов выключателей;
- подогрева баков масляных выключателей;
- подогрева приводов выключателей;
- подогрева релейных отсеков и измерительных приборов в ячейке;
- питание цепей блокировки от неправильных операций с разъединителями и заземляющими ножами;
- питание обдува радиаторов силовых трансформаторов;
- подогрев приводов разъединителей с моторным приводом;
- питание устройств регулирования напряжения под нагрузкой;

– зарядное устройство аккумуляторной батареи (при наличии).

Сети трансформаторов собственных нужд выполняют кабельными и разветвленными. Собственные нужды обязательно должны иметь резервное питание. Если подстанция однострановая, то резервный трансформатор собственных нужд подключается к одной отходящих линий, которая может быть запитана от другой подстанции. Резервное питание подключается к шинам собственных нужд в случае исчезновения основного питания устройствами автоматического включения резерва (АВР). Эти устройства при несимметрии питающего напряжения (обрыв фазы) сначала отключают основное питание, а затем включают резервное. Для включения резервного питания устанавливают контакторы.

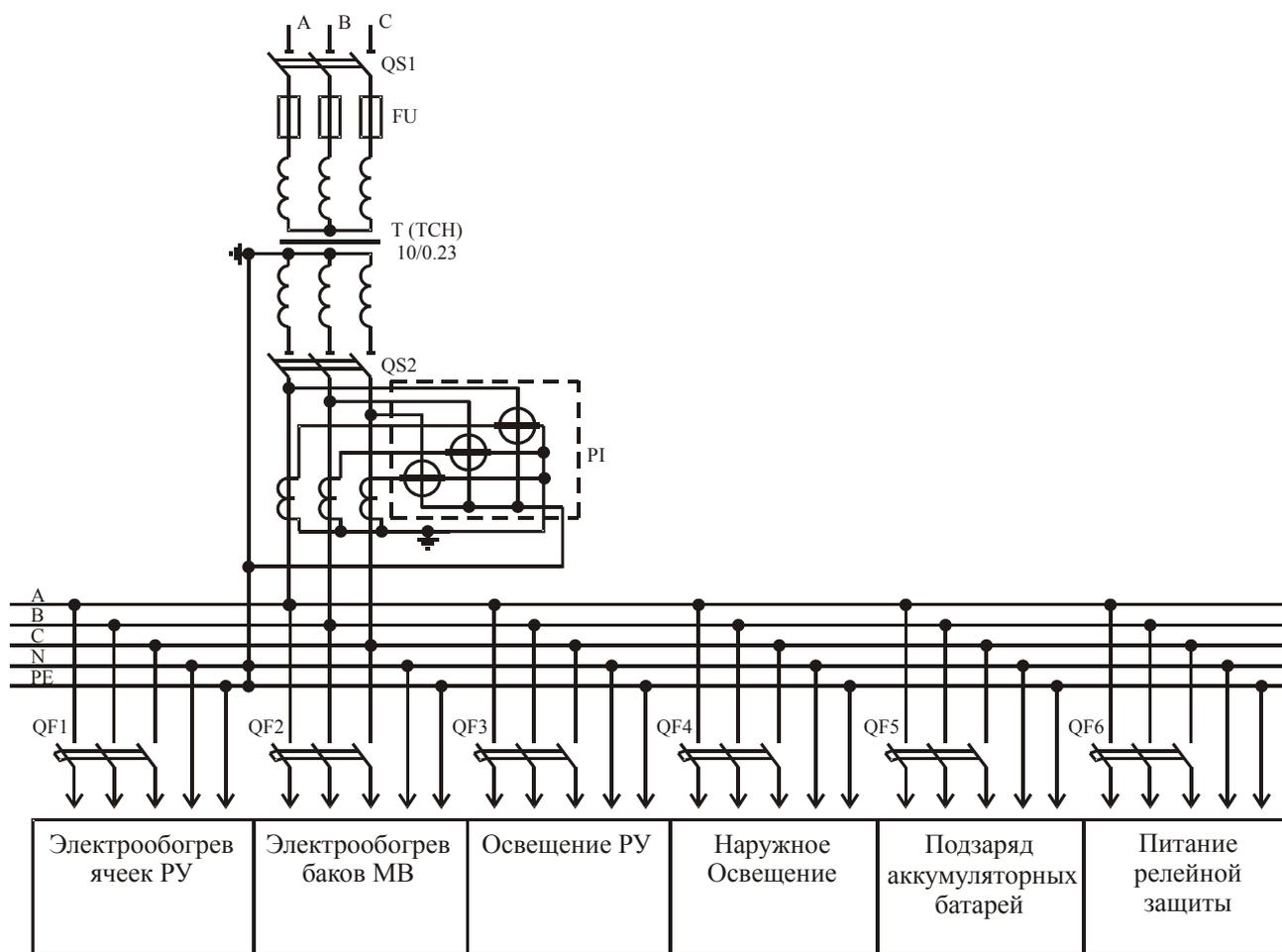


Рисунок 4.1 - Схема собственных нужд

Например, на подстанции с аккумуляторными батареями от шин одного ТСН отходят кабели: — на 1-е зарядное устройство аккумуляторной батареи; — на кольцо завода пружин выключателей 110 кВ; — кольцо обогрева 110 кВ; — кольцо завода пружин выключателей 35 кВ; — кольцо обогрева выключателей и шкафов 35 кВ; — шкаф регулирования напряжения под нагрузкой 1-го силового трансформатора; — питание вентиляторов обдува 1-го

силового трансформатора; — питание вентиляторов обдува 1-го силового трансформатора; — питание вентиляторов аккумуляторной батареи; — питание шкафа на ОРУ-110 кВ; — освещение гаража; — отопление щита управления; — Освещение ОРУ; — блок питания электромагнитной блокировки разъединителей, выключателей и заземляющих ножей.

От шин 2-го ТСН отходят кабели: — на 2-е зарядное устройство аккумуляторной батареи; — на кольцо завода пружин выключателей 110 кВ; — кольцо обогрева 110 кВ; — кольцо завода пружин выключателей 35 кВ; — кольцо обогрева выключателей и шкафов 35 кВ; — шкаф регулирования напряжения под нагрузкой 2-го силового трансформатора; — питание вентиляторов обдува 2-го силового трансформатора; — питание вентиляторов обдува 1-го силового трансформатора (резерв); — освещение бытовок; — питание мастерской; — отопление щита управления; — питание силовой секции общеподстанционного пункта управления (ОПУ). Большинство потребителей могут получать питание как от одного, так и от другого ТСН.

Выключатели в ячейке могут устанавливаться стационарно или на выкатной тележке. При установке выключателей на выкатной тележке используют разъединители в виде штепсельных разъемов, это облегчает проведение ремонтов.

Контрольные вопросы

1. С какой целью подключают трансформатор собственных нужд непосредственно к выводам силового трансформатора?
2. Перечислите основные приборы, подключаемые к шинам собственных нужд подстанции.
3. С какой целью устанавливают рубильники QS1 и QS2?
4. Для чего в цепях собственных нужд устанавливают устройства АВР?
5. От чего зависит мощность ТСН?
6. Сколько ТСН устанавливают на однострансформаторных подстанциях?
7. Как определяют количество электроэнергии, израсходованной на собственные нужды?
8. Сколько источников питания имеет, например, кольцо обогрева ОРУ-110 кВ?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №5 ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ В СИЛОВОМ ТРАНСФОРМАТОРЕ

Цель работы. Повторить принцип действия силового трансформатора.

Порядок выполнения

1. Изучить теоретический материала.
2. Ответить на контрольные вопросы.

Содержание отчёта

1. Необходимые теоретические сведения.
2. Ответы на контрольные вопросы.

Основные теоретические сведения

Силовой трансформатор предназначен для преобразования одного уровня переменного напряжения электроэнергии в другой уровень. Это необходимо для того, чтобы снизить потери мощности, энергии и напряжении в электрических сетях при передаче электроэнергии и для удобства использования электроэнергии потребителями. Источниками электроэнергии являются генераторы электростанций.

Простейший однофазный трансформатор содержит первичную, вторичную обмотки и магнитопровод. Переменное напряжение U_1 подводится к первичной обмотке трансформатора. Под действием этого напряжения через витки обмотки трансформатора протекает ток холостого хода I_0 , который создает переменный магнитный поток Φ_0 . Магнитный поток Φ_0 замыкается по магнитопроводу, так как сопротивление магнитопровода, набранному из листов электротехнической стали, намного меньше, чем сопротивление воздуха. Переменный магнитный поток Φ_0 наводит в первичной и вторичной обмотках ЭДС E_1 и E_2 , действующие значения которых находятся по формулам

$$E_1 = 4,44 f W_1 \Phi_{m0}; E_2 = 4,44 f W_2 \Phi_{m0};$$

Как видно из формул величина ЭДС зависит от частоты переменного тока f , числа витков обмотки W_1 или W_2 и максимального значения магнитного потока Φ_0 .

ЭДС первичной обмотки E_1 практически уравнивает приложенное напряжение, небольшая доля напряжения падает в активном сопротивлении обмотки

$$U_1 = E_1 + I_0 R_1 = 4,44 f W_1 \Phi_{m0} + I_0 R_1;$$

В режиме холостого хода трансформатор может работать длительное время без перегрева магнитопровода и обмоток. Ток холостого хода

При подключении нагрузки ко вторичной обмотке под действием ЭДС E_2 через нагрузку и виткам вторичной обмотки трансформатора протекает вторичный ток. Этот ток создает свой магнитный поток Φ_2 , который по закону Ленца направлен навстречу основному потоку Φ_0 . Тогда в магнитопроводе результирующий магнитный поток уменьшается

$$\Phi_{PE3} = \Phi_0 - \Phi_2 ;$$

Тогда уменьшается ЭДС первичной обмотки Φ_0 . Из формулы следует, что в левой части питающее напряжение не изменяется, а в правой части первое слагаемое уменьшается, и должно увеличиться второе слагаемое за счет увеличения тока I_0 до значения тока I_1 . Таким образом увеличение тока вторичной обмотки приводит к возрастанию тока первичной обмотки I_1

Для правильного выбора номинальной мощности трансформатора необходимо располагать суточным графиком нагрузки, из которого определяется продолжительность максимума нагрузки. Трансформатор должен служить 20-25 лет, поэтому следует учитывать износ изоляции. От температуры изоляции τ зависит число ее работы t при условии, что износ будет равен нормированному за сутки

Таблица 5.1. Допустимое время работы изоляции при повышенной температуре

$\tau, ^\circ\text{C}$	98	101,5	104	107,5	110	113,5	116	119,5	122	125	128	131,5
$t, \text{ час}$	24	16	12	8	6	4	3	2	1,5	1,0	0,75	0,5

При температуре изоляции меньше 80°C износ ничтожен и им можно пренебречь.

Сухие трансформаторы или трансформаторы с литой изоляцией устанавливают в административных и общественных зданиях, где возможны большие скопления людей. Их можно устанавливать в подвалах. Но сухие трансформаторы обладают повышенным раздражающим шумом.

Контрольные вопросы

1. Для чего используют силовые трансформаторы?
2. Перечислите основные части трансформатора.
3. Зачем нужен магнитопровод?
4. Запишите формулу для нахождения ЭДС в обмотках.

5. Как вычислить ток холостого хода трансформатора в Амперах?
6. Как создается магнитный поток в магнитопроводе?
7. Почему считают, что ЭДС первичной обмотки уравнивает приложенное напряжение.?
8. Почему трансформаторы в сельской местности можно перегружать почти на 50%?
9. Как отражается на трансформаторе подключение дополнительной нагрузки у потребителей?
10. Что такое коэффициент трансформации силового трансформатора?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №6 АВТОТРАНСФОРМАТОРЫ В СХЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Цель работы. Изучить принцип регулирования напряжения в электрических сетях.

Порядок выполнения

1. Изучить теоретический материала.
2. Ответить на контрольные вопросы.

Содержание отчёта

1. Необходимые теоретические сведения.
2. Ответы на контрольные вопросы.

Основные теоретические сведения

Промышленные предприятия потребляют огромные потоки мощности, которые передаются на напряжениях 330,220 кВ. Преобразовать такие напряжения непосредственно в 10 кВ не выгодно, поскольку необходимо запитывать не один цех. Для снижения напряжения до 110 кВ используют автотрансформаторы. Рассмотрим принцип работы однофазного трансформатора. Однофазный автотрансформатр имеет электрически связанные обмотки ОВ и ОС (рис. 1). Часть обмотки, заключенная между выводами В и С называется последовательной, а между С и О — общей.

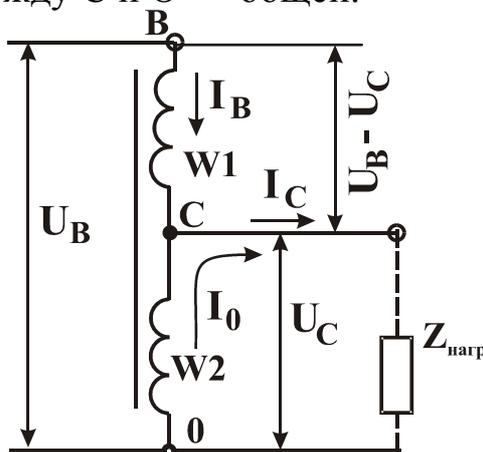


Рисунок 6.1 — Однофазный автотрансформатор

При работе автотрансформатора в режиме понижения напряжения в последовательной обмотке проходит ток I_B , который, создавая магнитный поток, наводит в общей обмотке ток I_0 . Ток нагрузки вторичной обмотки I_C складывается из тока I_B , проходящего благодаря гальванической

(электрической)связи обмоток, и тока I_0 , созданного магнитной связью этих обмоток $I_C = I_B + I_0$, откуда $I_0 = I_C - I_B$.

Полная мощность, передаваемая автотрансформатором из первичной сети во вторичную называется проходной. Если пренебречь потерями в сопротивлениях обмоток автотрансформатора, можно записать следующее выражение

$$S = U_B I_B = U_C I_C.$$

Преобразуя правую часть выражения, получаем:

$$S = U_B I_B = [(U_B - U_C) + U_C] I_B = (U_B - U_C) I_B + U_C I_B,$$

где $(U_B - U_C) I_B = S_T$ — трансформаторная мощность, передаваемая магнитным путем из первичной обмотки во вторичную;

$U_C I_B$ — электрическая мощность, передаваемая из первичной обмотки во вторичную за счет их гальванической связи, без трансформации.

Эта мощность не нагружает общую обмотку, потому что ток I_B из последовательной обмотки проходит на вывод С, минуя обмотку ОС.

В номинальном режиме проходная мощность является номинальной мощностью автотрансформатора $S = S_{НОМ}$, а трансформаторная мощность — типовой мощностью

$$S_T = S_{ТИП}.$$

Размеры магнитопровода, а следовательно, его масса определяются трансформаторной (типовой мощностью, которая составляет лишь часть номинальной мощности

$$\frac{S_{ТИП}}{S_{НОМ}} = \frac{(U_B - U_C) \cdot I_B}{U_B I_B} = \frac{U_B - U_C}{U_B} = 1 - \frac{1}{n_{BC}} = k_{ВЫГ}$$

где $n_{BC} = U_B / U_C$ — коэффициент трансформации; $k_{ВЫГ}$ — коэффициент выгоды или коэффициент типовой мощности.

Из формулы следует, что чем ближе U_B к U_C , тем меньше $k_{ВЫГ}$ и меньшую долю номинальной составляет типовая мощность. Это означает, что размеры автотрансформатора, его масса, расход активных материалов уменьшаются по сравнению с трансформатором одинаковой номинальной мощности.

Например: $U_B = 330$ кВ. $U_C = 110$ кВ, $k_{ВЫГ} = 0,667$;

$U_B = 550$ кВ. $U_C = 330$ кВ, $k_{ВЫГ} = 0,34$;

Наиболее целесообразно применение автотрансформаторов при сочетании напряжений 220/110 кВ, 500/220 кВ

Из схемы (см. рис.6.1) видно, что мощность последовательной обмотки

$$S_{\Pi} = (U_B - U_C) I_B = S_{\text{тип}},$$

Мощность общей обмотки

$$S_0 = U_0 I_0 = U_C(I_C - I_B) = U_C I_C (1 - 1/n_{BC}) = S_{\text{ном}} k_{\text{выг}} = S_{\text{тип}}.$$

Таким образом, еще раз можно подчеркнуть, что обмотки и магнитопровод автотрансформатора рассчитываются на типовую мощность, которую иногда называют расчетной мощностью. Какая бы мощность ни подводилась к зажимам В и С, последовательную и общую обмотки загружать более, чем на $S_{\text{тип}}$, нельзя. Этот выводно важен при комбинированных режимах работы автотрансформатора. Такие режимы возникают, если имеется третья обмотка, связанная с автотрансформаторными обмотками только магнитным путем. Третья обмотка трансформатора (НН) используется для питания нагрузки, для присоединения источников активной или реактивной мощности (генераторов или синхронных компенсаторов), а в некоторых случаях служит лишь для компенсации токов третьих гармоник. Мощность обмотки низкого напряжения НН $S_{\text{НН}}$ не может быть больше $S_{\text{тип}}$, так как иначе размеры автотрансформатора будут определяться мощностью этой обмотки. Номинальная мощность обмотки НН указывается в паспортных данных автотрансформатора.

Преимуществом автотрансформатора перед трансформатором такой же мощности в меньшем расходе активных материалов — обмоточного провода и стали, меньшие потери энергии, более высокий КПД, меньшее изменение напряжения при изменении нагрузки.

Вес провода обмоток автотрансформатора примерно в $k/(k-1)$ раз меньше веса провода обмоток трансформатора при одинаковых плотностях тока. Это объясняется тем, что у трансформатора имеется две обмотки — первичная с числом витков обмотки W_1 , поперечное сечение провода которой рассчитано на ток I_1 и вторичная с числом витков W_2 , поперечное сечение которой рассчитано на ток I_2 .

У автотрансформатора также две обмотки, но одна из них имеет число витков $W_1 - W_2$, поперечное сечение которой рассчитано на ток I_1 , а другая часть с числом витков W_2 , поперечное сечение которой рассчитано на разность токов $I_2 - I_1$.

В автотрансформаторе часть энергии передается электрическим путем, в котором магнитный поток не участвует, поэтому у автотрансформатора электромагнитная мощность меньше.

Наряду с преимуществами автотрансформаторы имеют недостатки перед трансформаторами: малое сопротивление короткого замыкания, что обуславливает большую кратность тока короткого замыкания; возможность попадания высшего напряжения в сеть высшего напряжения из-за электрической связи между этими сетями. Это требует иметь изоляцию сети низшего напряжения такой же, как высшего.

Автотрансформаторы используют для снижения напряжения у потребителей на 380 В. Для этого обмотки обычного понижающего трансформатора необходимо соединить по автотрансформаторной схеме.

Чаще всего погружные электродвигатели страдают от повышенного напряжения, особенно, если питающий трансформатор расположен недалеко от скважины. Для снижения напряжения на электродвигателях можно предложить несколько мероприятий.

Прежде всего, необходимо проверить возможность изменения числа витков обмотки питающего трансформатора. Промышленность выпускает трансформаторы 10/0,4 кВ с переключателями без возбуждения (ПБВ), которые иногда называют переключателями анцапф. С помощью ПБВ можно установить пять коэффициентов трансформации силового трансформатора изменением числа витков обмотки высокого напряжения $k=(10 \pm 2 \times 2,5 \%) / 0,4$.

Через коэффициент трансформации всегда можно изменить напряжение у потребителя

$$U_{\text{ПОТР}} = \frac{U_{\text{ИСТ}}}{k_T} - \Delta U_T - \Delta U_L,$$

где $U_{\text{ИСТ}}$ — напряжение в сети 10 кВ, подведенное к трансформатору;

ΔU_m — потеря напряжения в трансформаторе, при полной нагрузке трансформатора $\Delta U_T = 4 \%$, в ночное время ΔU_T не превышает 1 %;

$\Delta U_{L0,4}$ — потеря напряжения в линии 0,4 кВ от трансформатора до двигателя.

Переключателем числа витков обмотки высокого напряжения на трансформаторе снижается напряжение на всех электрически связанных потребителях. Этим переключателем осуществляется сезонное регулирование напряжения. Если необходимо снизить напряжение только на погружном электродвигателе, то можно воспользоваться ограничителем напряжения.

Ограничитель разработан в Костромской ГСХА и выполнен на базе серийно выпускаемых трехфазных сухих трансформаторов ТС - 2,5 мощностью 2,5 кВА и линейными напряжениями 380 В и 38 В.

Выводы трансформаторов ТС имеют следующую маркировку: начала обмоток, на которые подается линейное напряжение 380 В, обозначаются А, В, С, а концы соответственно Х, Y, Z. Начала обмоток выходного линейного напряжения 38 В обозначаются а, б, с, а их концы соответственно х, у, z. Таким образом, на одном стержне магнитопровода трансформатора расположены две обмотки А-Х и а-х, на втором стержне - В-У и б-у, на третьем - С-З и с-з.

Для преобразования трансформатора в ограничитель напряжения конец каждой фазы вторичной обмотки х, у, z соединяют с началом соответствующей фазы первичной обмотки А, В, С (рис. 1.11). Три фазы питающей цепи подключают к началам вторичных обмоток а, б, с, а нулевой провод - к объединенным концам первичных фазных обмоток Х,У,З.

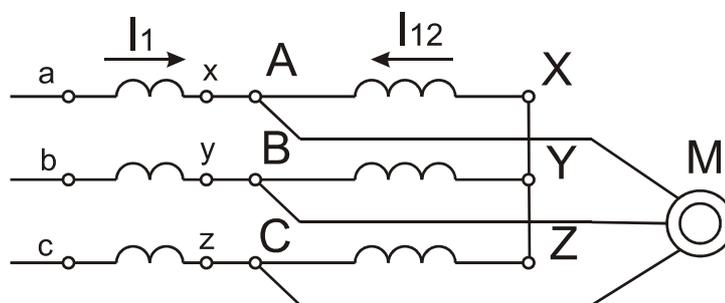


Рис. 6.2. Автотрансформаторный ограничитель напряжения

При таком последовательно-согласном соединении обмоток трансформатора получается ограничитель напряжения в виде автотрансформатора. Напряжение на нагрузке в такой схеме определяется из соотношения чисел витков обмоток:

$$U_{нагр} = U_c W_1 (W_1 + W_2) = U_c k (k + 1),$$

где W_1 , W_2 — число витков первичной и вторичной обмоток трансформатора

k — коэффициент трансформации понижающего трансформатора, из которого выполнен ограничитель напряжения.

$$k = \frac{U_{1НОМ}}{U_{2НОМ}} = \frac{W_1}{W_2},$$

где $U_{1НОМ}$, $U_{2НОМ}$ — номинальные уровни напряжения, на которые рассчитаны обмотки трансформатора.

От протекания тока нагрузки в обмотке W_2 возникает дополнительная потеря напряжения, но на нагрузке при этом напряжение изменится незначительно.

Если в процессе соединения будут перепутаны начало и конец одной из обмоток трансформатора, то получится их последовательно-встречное включение, при этом напряжение на нагрузке будет больше подведенного от питающей сети.

Определим мощность нагрузки, которую можно передавать через трансформатор, обмотки которого включены по автотрансформаторной схеме. Мощность каждой обмотки трансформатора составляют $S_{т.р. ном}$, при этом через первичную обмотку W_1 трансформатора протекает ток $I_{1 ном}$, а через вторичную обмотку $I_{2 ном}$.

Мощность через автотрансформатор в нагрузку передается как электрическим, так и магнитным путем

$$S_{нагр} = S_{эл} + S_{тр},$$

где $S_{эл}$ — мощность, передаваемая электрическим путем; $S_{тр}$ — мощность, передаваемая магнитным путем.

В соответствии с этим выберем направление токов в обмотках и в нагрузке

$$I_{нагр. доп} = I_{2 ном} + I_{1 ном},$$

где $I_{нагр. доп}$ — предельно допустимый ток в нагрузке.

Поскольку для любого режима загрузки трансформатора или автотрансформатора справедливо равенство $I_2 = kI_1$, то предыдущая формула может быть записана в виде

$$I_{нагр. доп} = I_{1 ном}(k + 1).$$

Напряжение на нагрузке $U_{1 ном}$ прикладывается к обмотке ограничителя с числом витков W_1 и к нагрузке, поэтому можно записать равенство для мощностей

$$S_{нагр. доп} = S_{1 ном}(k + 1),$$

где $S_{1 ном}$ — номинальная мощность первичной обмотки трансформатора.

$$S_{1 ном} = S_{тр ном}$$

Для ограничителя напряжения, выполненного на базе трансформатора ТС - 2.5.380/38В, получим предельно допустимую мощность нагрузки

$$S_{нагр. доп} = 2.5кВА(10 + 1) = 27.5кВА$$

Такая мощность достаточна для питания практически любого погружного электродвигателя в сельскохозяйственном производстве. В

предлагаемом варианте в каждой фазе напряжение снизится на 20В. Применение ограничителя напряжения снижает пусковые токи электродвигателя, следовательно, уменьшаются электродинамические усилия в обмотках статора, и увеличивается срок службы электродвигателя.

Контрольные вопросы

1. Каково устройство автотрансформатора?
2. Как передаётся мощность от первичной обмотки к нагрузке в автотрансформаторе?
3. Чем автотрансформатор отличается от силового трансформатора?
4. Как рассчитать мощность автотрансформатора?
5. Каким образом регулируется напряжение на подстанции?
6. С какой целью применяют автотрансформаторы вместо силовых трансформаторов для питания крупных заводов?
7. Каково устройство и принцип действия трансформаторного ограничителя напряжения.
8. Приведите примеры оборудования требующего применения ограничителя напряжения.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №7 РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ В СЕТЯХ С АВТОТРАНСФОРМАТОРАМИ

Цель работы. Научиться определять параметры схем замещения трансформаторов с целью расчета токов коротких замыканий.

Порядок выполнения

1. Изучить теоретический материала.
2. Ответить на контрольные вопросы.

Содержание отчёта

1. Необходимые теоретические сведения.
2. Ответы на контрольные вопросы.

Основные теоретические сведения

Определение сопротивлений ветвей

На заводе-изготовителе проводят попарно опыты коротких замыканий: между выводами фаз В и С; С и Н; В и Н. Плавно увеличивают напряжение со стороны питания при закороченной вторичной обмотке до протекания номинального тока и фиксируют на стороне питания значения напряжений коротких замыканий:

$U_{квс}$, $U_{ксн}$, $U_{квн}$. Одновременно в этом опыте фиксируют потери мощности в обмотках $\Delta P_{квс}$, $\Delta P_{ксн}$, $\Delta P_{квн}$ при номинальном токе. По этим сведениям находят активные и индуктивные сопротивлений ветвей схемы замещения (рис 7.1).

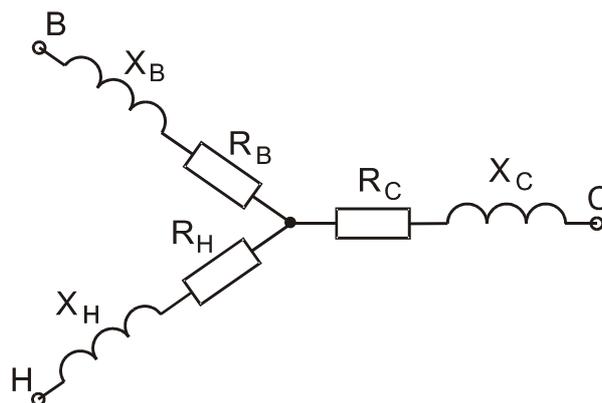


Рисунок 7.1 — Трехлучевая схема замещения автотрансформатора

Напряжение $U_{квс}$, измерено между точками В и С, значит часть его приходится на ветвь высокого напряжения, другая часть — на ветвь

среднего напряжения, другие напряжения измерены между точками С и Н и между точками В и Н. Запишем выражения в виде трех уравнений

$$\begin{aligned} 1) U_{кВС} &= U_{кВ} + U_{кС} ; \\ 2) U_{кСН} &= U_{кС} + U_{кН} ; \\ 3) U_{кВН} &= U_{кВ} + U_{кН} . \end{aligned}$$

Из 1) го уравнения найдем $U_{кС} = U_{кВС} - U_{кВ}$, из 3)-го уравнения $U_{кН} = U_{кВН} - U_{кВ}$, и подставим эти значения во второе уравнение

$$U_{кСН} = U_{кС} + U_{кН} = U_{кВС} - U_{кВ} + U_{кВН} - U_{кВ} .$$

Перенесем $U_{кВ}$ в левую часть уравнения и получим

$$2U_{кВ} = U_{кВС} + U_{кВН} - U_{кСН} .$$

Находим долю напряжения короткого замыкания, приходящуюся на ветвь высокого напряжения. Аналогичные операции проводим с теми же уравнениями 1), 2), 3) в другом порядке и получим три уравнения

$$\begin{aligned} U_{кВ} &= 0,5 (U_{кВС} + U_{кВН} - U_{кСН}); \\ U_{кС} &= 0,5 (U_{кВС} + U_{кСН} - U_{кВН}.); \\ U_{кН} &= 0,5 (U_{кВН} + U_{кСН} - U_{кВС}). \end{aligned}$$

где $U_{кВ}$, $U_{кС}$, $U_{кН}$ часть напряжения короткого замыкания, приходящаяся на каждый луч схемы замещения.

Аналогично находим потери активной мощности, приходящиеся на каждую ветвь схемы замещения из опыта короткого замыкания $\Delta P_{кВС}$, $\Delta P_{кСН}$, $\Delta P_{кВН}$.

$$\begin{aligned} \Delta P_{кВС} &= \Delta P_{кВ} + \Delta P_{кС}; \\ \Delta P_{кСН} &= \Delta P_{кС} + \Delta P_{кН}; \\ \Delta P_{кВН} &= \Delta P_{кВ} + \Delta P_{кН}. \end{aligned}$$

Проделав такие же операции, как с напряжениями короткого замыкания получим для каждой ветви.

$$\begin{aligned} \Delta P_{кВ} &= 0,5(\Delta P_{кВС} + \Delta P_{кВН} - \Delta P_{кСН}); \\ \Delta P_{кС} &= 0,5(\Delta P_{кВС} + \Delta P_{кСН} - \Delta P_{кВН}); \\ \Delta P_{кН} &= 0,5(\Delta P_{кВН} + \Delta P_{кСН} - \Delta P_{кВС}). \end{aligned}$$

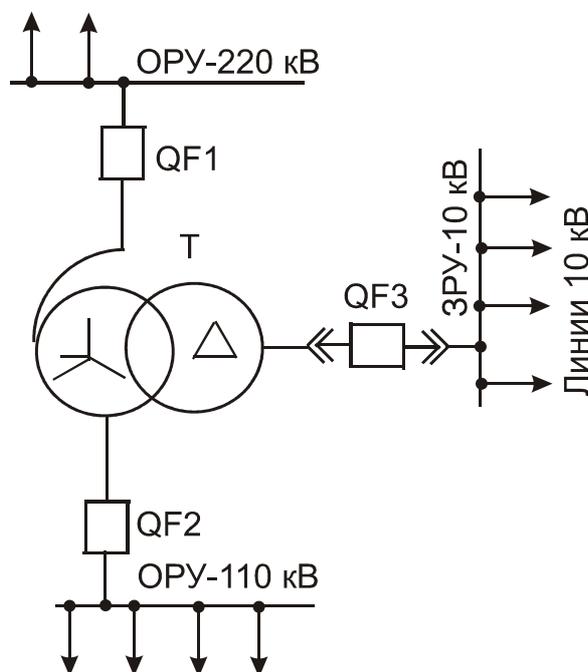
Сопротивления ветвей схемы замещения автотрансформатора отыскиваются по тем же формулам, что и для двухобмоточных трансформаторов. Активное сопротивление в автотрансформаторе на порядок меньше индуктивного сопротивления, поэтому считаем, что $Z_{AT} = X_{AT}$. Во всех формулах должно фигурировать одно из трех номинальных напряжений. Лучше всего, если это будет напряжение той ветви, на напряжении которой определяется короткое замыкание.

$$X_{AT.B} = \frac{U_{kB} \% U_{НОМ}^2}{100 S_{НОМ}}; \quad X_{AT.C} = \frac{U_{kC} \% U_{НОМ}^2}{100 S_{НОМ}}; \quad X_{AT.H} = \frac{U_{kH} \% U_{НОМ}^2}{100 S_{НОМ}}.$$

Активные сопротивления ветвей находим по формулам

$$R_{AT.B} = \Delta P_{kB} \frac{U_{НОМ}^2}{S_{НОМ}^2}; \quad ; \quad R_{AT.C} = \Delta P_{kC} \frac{U_{НОМ}^2}{S_{НОМ}^2} \quad R_{AT.H} = \Delta P_{kH} \frac{U_{НОМ}^2}{S_{НОМ}^2}$$

Линии 220 кВ



Присоединения 110 кВ

Рисунок 7.2 — Подключение автотрансформатора к сети

Автотрансформаторы получают энергию от энергосистемы, которая объединяет все мощные электростанции. Относительно шин любой подстанции имеется сопротивление системы. Относительно шин 220 кВ известно сопротивление системы, но оно приведено к напряжению 220 кВ. А на по рис.2 необходимо рассчитать ток трехфазного короткого замыкания на шинах 10 кВ для проверки выключателя QF3 на отключающую способность. Желательно, чтобы ток трехфазного КЗ не превышал 20 кА, тогда можно использовать малогабаритные вакуумные выключатели

К выключателю QF3 ток КЗ будет протекать через сопротивление системы, сопротивление луча высокого напряжения автотрансформатора и сопротивление луча низкого напряжения автотрансформатора, поэтому схема замещения будет выглядеть так

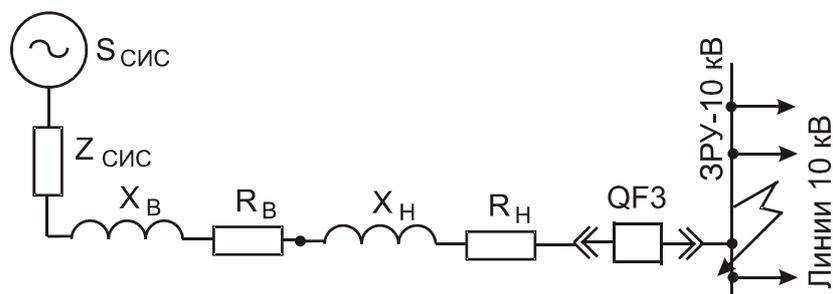


Рисунок 7.3 — Схема замещения к расчету тока КЗ

Мощность системы равна бесконечности. Можно для приближенного расчета пренебречь активными сопротивлениями ветвей, считая $X_в = Z_в$ и $X_н = Z_н$. Тогда

$$Z_{об} = Z_{сис} + Z_в + Z_н$$

И величину тока трехфазного КЗ определим по закону Ома

$$I_{кз}^{(3)} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot Z_{об}}$$

Выключатель QF3 по отключающей способности проходит, если выполняется условие $I_{отк} \geq I_{кз}^{(3)}$.

Контрольные вопросы:

1. Как передается энергия в автотрансформаторе из первичной обмотки на вторичную сторону?
2. Что такое напряжение короткого замыкания?
3. Как находят напряжения короткого замыкания лучей?
4. Как вычисляется активное сопротивление каждого луча?
5. Как вычисляется индуктивное сопротивление лучей?
6. Как составляется схема замещения для расчета токов коротких замыканий

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №8 УРОВНИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ГОРОДОВ

Цель работы. Получить представление об электроснабжении крупных промышленных предприятий.

Порядок выполнения

1. Изучить теоретический материала.
2. Ответить на контрольные вопросы.

Содержание отчёта

1. Необходимые теоретические сведения.
2. Ответы на контрольные вопросы.

Основные теоретические сведения

Крупные промышленные предприятия обязательно имеют потребителей первой категории по надежности электроснабжения, поэтому запитываются не менее, чем от двух источников. К распределительным устройствам таких потребителей подходит не менее двух высоковольтных линий, чаще всего это кабельные линии 110-220 кВ. В последнее время заводят на подстанции кабельные линии 330 кВ. Некоторые из таких предприятий имеют собственные ТЭЦ для получения пара, горячей воды на технологические нужды и для отопления и для получения электроэнергии. Выработку электроэнергии они ведут по командам от диспетчера энергосистемы. Т.е. в оперативном подчинении они полностью находятся в ведении энергосистемы, а в административном — дирекции предприятия. Новые ТЭЦ на территориях промышленных предприятий не строят.

Очень удобно представлять систему электроснабжения в виде уровней от 1-го до 6-го (рис.8.1). К 1-му уровню относятся отдельные электроприемники . это осветительные, выпрямительные установки, электродвигатели разных типов, конденсаторы для улучшения коэффициента мощности, нагревательные установки.

По величине максимальной мощности можно провести следующее деление предприятий: мини— от единиц до сотен киловатт; малые— до 3-5 Мвт; средние — до 10-30 МВт; крупные — до 100-500 МВт, и, наконец, особо крупные — штучные гиганты с нагрузкой близкой к 1000 МВт. Большая часть потребителей — мини-предприятий (около 90% всех промышленных, сельскохозяйственных, строительных, транспортных

предприятий и объединений, предприятий связи, материально-технического снабжения, торговли и общественного питания, коммунального хозяйства и бытового обслуживания, кооперативов и других объектов электрики имеют нагрузку не выше 700 кВА, электроснабжение их осуществляется от «УР, присоединенная мощность менее 1000 кВА.

При увеличении нагрузки и невозможности передачи мощностей по линиям 0,4 кВ (в городах, как правило кабельным) устанавливают трансформаторы 10(6)/0,4 кВ. Обычно это двухтрансформаторные подстанции 2*630 или 2*1000 кВА. Для удаленных обособленных потребителей устанавливают трансформаторы 25...400 кВА. При их выборе учитывают отклонение напряжения. При числе трансформаторов свыше 6 возникает экономическая целесообразность распределительной подстанции 10(6) кВ.

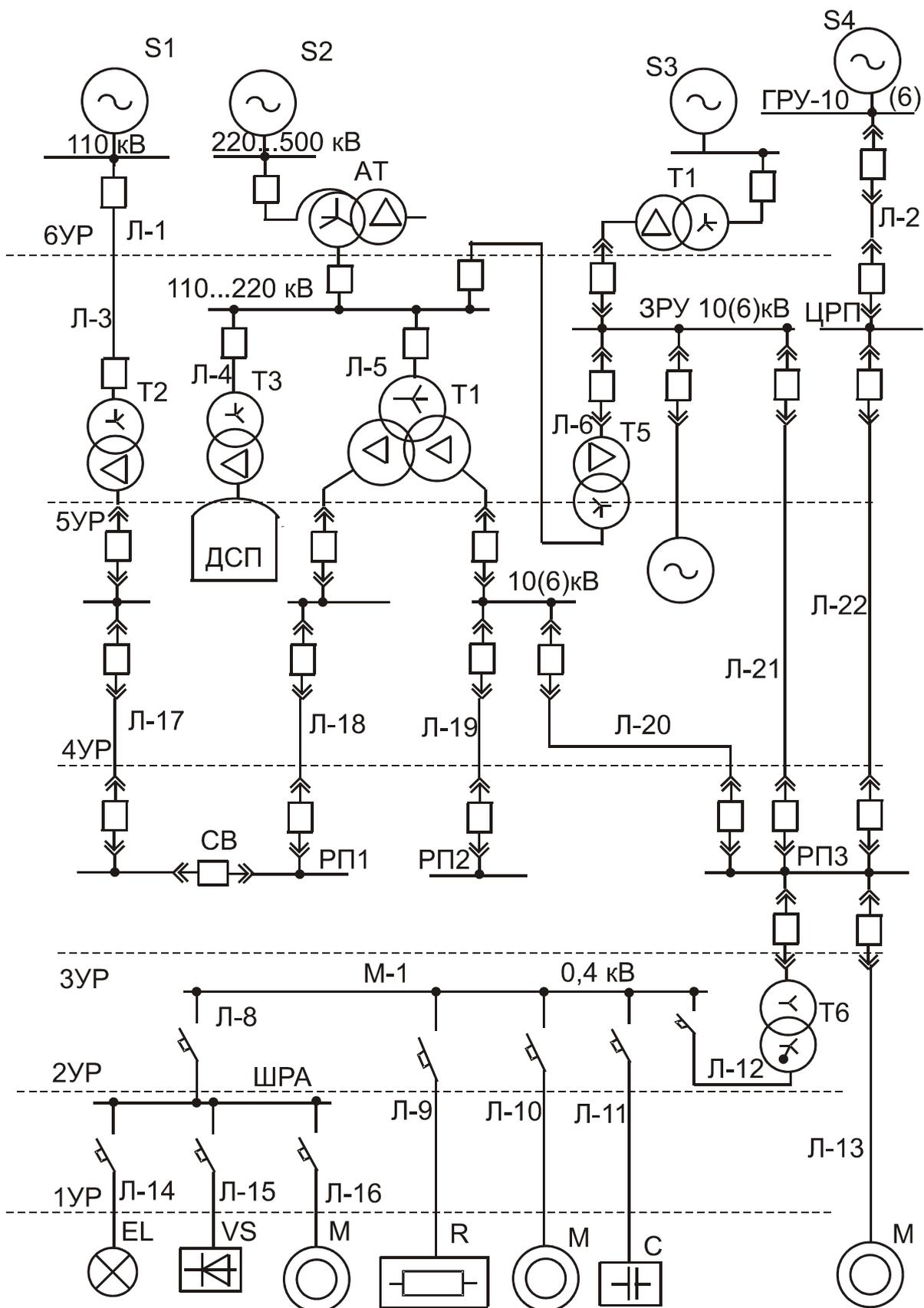


Рисунок 8.1.— Схема электроснабжения потребителей по уровням

Контрольные вопросы

1. Перечислите категории потребителей по надежности электроснабжения.
2. В каком случае устанавливают двухтрансформаторную подстанцию?
3. Сколько можно выделить уровней напряжения в системе электроснабжения?
4. Что входит в первый уровень питания потребителей?
5. Что входит во второй уровень питания потребителей?
6. Что входит в шестой уровень питания потребителей?
7. Что такое РП1, РП2, РП3?
8. Как называется трансформатор Т1?
9. Почему конденсаторная батарея включена на напряжение 380 В, а не 10 кВ?
10. Какой из приведенных трансформаторов на рис.9.1 является дуговым?
11. Проследите поток реактивной мощности, который выдает конденсаторная батарея?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №9 СХЕМЫ БЛОЧНЫХ ПОДСТАНЦИЙ ПЯТОГО УРОВНЯ.

Цель работы. Изучить принцип работы высоковольтных выключателей в блочных схемах подстанций.

Порядок выполнения

1. Изучить теоретический материала.
2. Ответить на контрольные вопросы.

Содержание отчёта

1. Необходимые теоретические сведения.
2. Ответы на контрольные вопросы.

Основные теоретические сведения

Большинство подстанций промышленных предприятий выполняют без сборных шин на стороне первичного напряжения по блочному принципу в виде следующих схем: 1) линия– трансформатор; 2) линия– трансформатор – магистраль (токопровод). Блочные схемы просты и экономичны. Установка двух трансформаторов обеспечивает по надежности электроснабжение потребителей 1-й категории.

Блочные ГПП выполняют без мостика (перемычки) между питающими линиями. При необходимости высокочастотной связи на вводах ВЛ устанавливают аппаратуру ВЧ обработки линии.

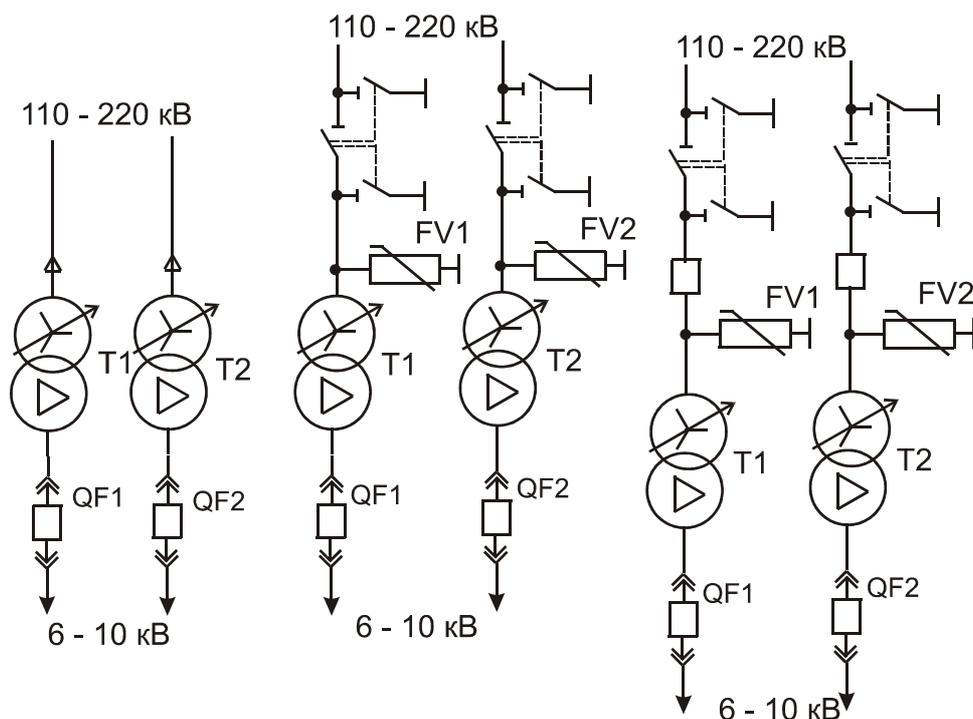


Рисунок 9.1. — Схемы блочных подстанций

Блочные подстанции выполняются двухтрансформаторными, чтобы каждый из них питал отдельную секцию распределительного устройства 10(6) кВ. Секции соединяются секционным выключателем с устройством АВР, позволяющим запитывать секцию в случае исчезновения напряжения от основного трансформатора.

Первая схема — простейшая при радиальном питании, получила широкое распространение при закрытом вводе кабельной линии в трансформатор. Особенно целесообразно использовать при загрязненной окружающей среде, высокой стоимости земли и при необходимости размещения на застроенном участке, при расширении предприятия. При повреждении в трансформаторе отключающий импульс защиты трансформатора передается на отключение выключателя на питающей подстанции.

Во второй схеме питание трансформаторов может осуществляться как по кабельным, так и по воздушным линиям. На стороне высокого напряжения трансформатора установлены разъединители с двухсторонними заземляющими ножами. Для ремонта трансформатора или линии на питающей подстанции отключают линию. Трансформатор обесточивается. Разбирают схему разъединителями при полном отсутствии тока, так как разъединителями не допускается оперировать даже токами холостого хода трансформаторов. Современные разъединители управляются электроприводами местно кнопками и дистанционно со щита управления. Затем накладывают стационарные

заземляющие ножи, которые имеют механическую блокировку, не позволяющую оперировать заземляющими ножами при включенном разъединителе.

При питании трансформаторов по воздушным линиям 110 кВ для защиты трансформаторов от набегающих волн грозовых перенапряжений установлены ограничители перенапряжений FV1 и FV2, которые срезают волну перенапряжения до величины, которую выдерживает изоляция трансформатора.

На третьей схеме показано, как вместо короткозамыкателей и отделителей на большинстве подстанций устанавливают элегазовые выключатели. Элегазовый выключатель — это разновидность высоковольтного выключателя, использующего элегаз (шестфтористую серу SF₆) в качестве среды гашения электрической дуги, предназначенный для оперативных включений и отключений электрооборудования в энергосистеме в нормальных и аварийных режимах, при ручном дистанционном или автоматическом управлении. При правильной эксплуатации элегаз не стареет и не требует такого тщательного ухода за собой, как масло. В элегазовых выключателях применяются различные способы гашения дуги в зависимости от номинального напряжения, номинального тока и места установки. В элегазовых дугогасительных устройствах в отличие от воздушных дугогасительных устройств при гашении дуги прохождение газа через сопло происходит не в атмосферу, а в замкнутый объем камеры. За контролем давления элегаза в выключателе установлен показывающий манометр. На первой ступени снижения давления элегаза подается предупреждающий световой и звуковой сигнал оперативному персоналу. По команде дежурного персонала приезжают на подстанцию представители завода-изготовителя с запасом элегаза, выясняют причины снижения газа и увеличивают давление. На подстанции элегаз (не как трансформаторное масло) не хранится. Дальнейшее снижение давления элегаза приводит к запрету оперировать элегазовым выключателем.

К преимуществам элегазовых выключателей можно отнести:

- Возможность применения на все классы напряжений свыше 1 кВ;
- Гашение дуги происходит в замкнутом пространстве без выхлопа в атмосферу;
- Относительно малые габариты и масса;
- Пожаро-и взрывобезопасность;
- Быстрота действия;
- Высокая отключающая способность;

- Надежное отключение малых индуктивных и емкостных токов в момент перехода тока через нуль без среза и возникновения перенапряжений;
- Малый износ дугогасительных контактов;
- Бесшумная работа;
- Возможность создания серий с унифицированными узлами; пригодность для наружной и внутренней установки.
- К недостаткам элегазовых выключателей можно отнести:
- Высокие требования к качеству элегаза;
- Температурные недостатки элегаза, необходимость подогрева и использования смесей элегаза с азотом, хладоном и другими веществами, позволяющим работать элегазовым выключателям в условиях низких температур окружающей среды;
- Необходимость специальных устройств для наполнения, перекачки и очистки элегаза; относительно высокая стоимость SF₆;
- Необходимость контроля за давлением газа в камерах.

Контрольные вопросы

1. В какой среде в высоковольтных выключателях гасят дугу тока?
2. Как отключают трансформаторы в первой схеме?
3. Для чего используют разъединители во второй схеме?
4. Для чего устанавливают заземляющие ножи?
5. Как взаимодействуют разъединители с заземляющими ножами?
6. Чем защищают трансформатор от набегающих волн перенапряжений?
7. Какие высоковольтные выключатели будут использоваться в перспективе?
8. Что добавляют в элегаз для работы в холодных условиях?
9. Как действовать при снижении давления элегаза в выключателе?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №10 ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА ТРАНСФОРМАТОРОВ

Цель работы. Изучить условия и правила включения трансформаторов на параллельную работу.

Порядок выполнения

1. Изучить теоретический материала.
2. Ответить на контрольные вопросы.

Содержание отчёта

1. Необходимые теоретические сведения.
2. Ответы на контрольные вопросы.

Основные теоретические сведения

На всех подстанциях крупных заводов, имеющих потребителей 1-й и 2-й категорий, устанавливается по два трансформатора. Перед включением всегда проверяется возможность их включения на параллельную работу. Для включения трансформаторов Т1 и Т2 на параллельную работу (рис.10.1) необходимо, чтобы при холостом ходе в их обмотках не возникали уравнительные токи и чтобы нагрузка распределялась между обоими трансформаторами в соответствии с их номинальной мощностью. Покажем это на примере однофазных трансформаторов, работающих на общие шины.

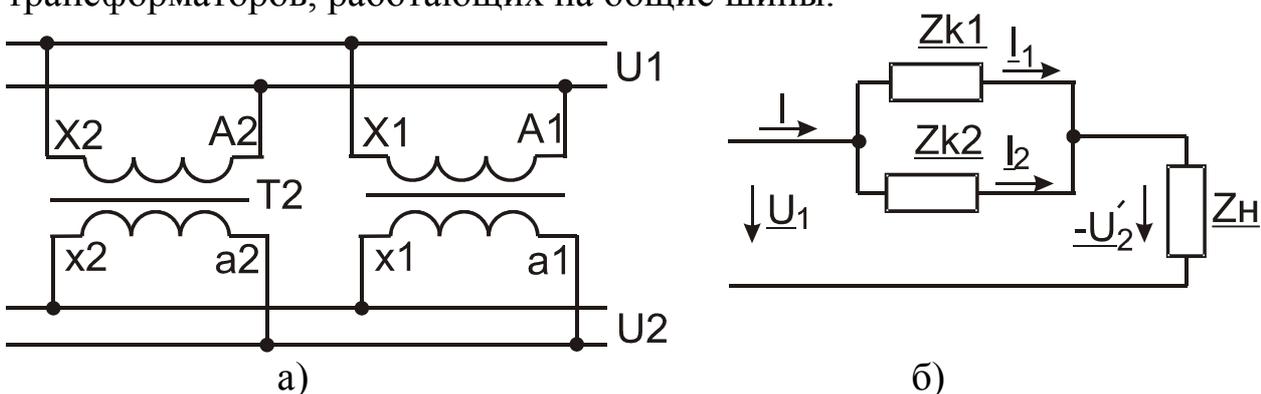


Рисунок 10.1 — Схема включения трансформаторов при параллельной работе а) и схема замещения их б).

При неравенстве вторичных ЭДС параллельно работающих трансформаторов (их вторичных напряжений при холостом ходе) возникает уравнительный ток. Этот ток вызывает циркуляцию от одного трансформатора к другому

$$I_{ур} = \frac{E_{201} - E_{202}}{Z_{K1} + Z_{K2}}.$$

Из формулы следует, что первым необходимым условием для включения трансформаторов на параллельную работу является равенство их вторичных напряжений на холостом ходу при условии, что первичные напряжения у них одинаковы. При этом трансформаторы должны иметь одинаковые коэффициенты трансформации. На практике допускается различие в коэффициентах трансформации не более 0,5%, а для трансформаторов с коэффициентом трансформации больше 3 — 1%. При этом уравнивающий ток незначительный.

Вторым необходимым условием является совпадение по фазе ЭДС, с тем, чтобы их векторная разность равнялась нулю (рис. 10.2). Для этого параллельно работающие трансформаторы должны принадлежать к одной группе соединений. Если трансформаторы принадлежат одиннадцатой и нулевой группе, то сдвиг по фазе у них составляет 30° .

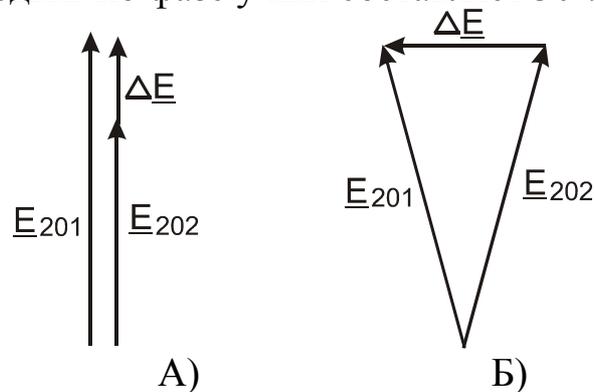


Рисунок 10.2 — векторные диаграммы напряжений при параллельной работе: А) — одной группы с разными К; Б) — разных групп

В контуре параллельно соединенных вторичных обмоток возникает большая разность ЭДС

$$\Delta E = E_{201} - E_{202} = 2 E_{20} \sin 15^\circ = 0,52 E_{02}.$$

При этом уравнивающий ток в несколько раз больше номинального.

Распределение нагрузок.

Из рисунка 11.1 Б) следует, что общие сопротивления трансформаторов Z_{k1} и Z_{k2} включены параллельно, поэтому падения напряжения на них одинаковые ΔU

Ток в первом трансформаторе определяем через его сопротивление

$$I_1 = \frac{\Delta U}{Z_{T1}} = \frac{\Delta U}{\frac{u_k \% U_{НОМ}^2}{100 S_{НОМ}}} = \frac{\Delta U 100 S_{НОМ}}{u_k \% U_{НОМ}^2} = \frac{M}{u_k \%}$$

Ток через трансформатор обратно пропорционален напряжению короткого замыкания.

Для тока второго трансформатора получаем аналогичную формулу

$$I_2 = \frac{\Delta U}{Z_{T2}} = \frac{\Delta U}{\frac{u_{k2} \% U_{НОМ}}{100} \frac{S_{НОМ}}{U_{НОМ}^2}} = \frac{\Delta U 100 S_{НОМ}}{u_k \% U_{НОМ}^2} = \frac{M}{u_{k2} \%},$$

Где члены, входящие М, в обеих формулах одинаковые

$$M = \frac{\Delta U 100 S_{НОМ}}{U_{НОМ}^2},$$

Поэтому $I_1 : I_2 = 1/u_{k1} : 1/u_{k2}$

Практически удовлетворительные значения в распределении токов нагрузки получаются, если напряжения короткого замыкания отклоняются не более, чем $\pm 10\%$ от их среднего значения.

Соотношение активных и реактивных сопротивлений трансформаторов зависит от их мощности. Чем больше разница мощностей, тем больше разница этих соотношений. Поэтому не рекомендуется включать на параллельную работу трансформаторы с соотношением номинальных мощностей больше трех. Итак, для включения трансформаторов на параллельную работу необходимо строго выполнять требования:

- 1) равенство коэффициентов трансформации при равенстве первичного и вторичного напряжений;
- 2) одинаковые группы соединения обмоток;
- 3) равенство с небольшими отклонениями напряжений короткого замыкания;
- 4) соотношение мощностей трансформаторов желательно иметь не больше, чем 1 : 3.

Контрольные вопросы

1. Что следует понимать под номинальной мощностью трансформатора?
2. Почему считают, что на первичной стороне и на вторичной мощности одинаковые?
3. Что принимать за номинальное напряжение, если трансформатор имеет регулирование напряжения под нагрузкой?
4. Что такое коэффициент трансформации трансформатора по ГОСТу?
5. Как определяется напряжение короткого замыкания трансформатора?
6. Что такое группа соединения обмоток трансформатора?
7. Показать, как циркулирует уравнительный ток на рисунке 10.1 А).

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №11 ПОДКЛЮЧЕНИЕ РЕАКТОРОВ В СХЕМАХ ПОДСТАНЦИЙ

Цель работы. Изучить выбор реактор и учёт их параметров в расчёте токов коротких замыканий.

Порядок выполнения

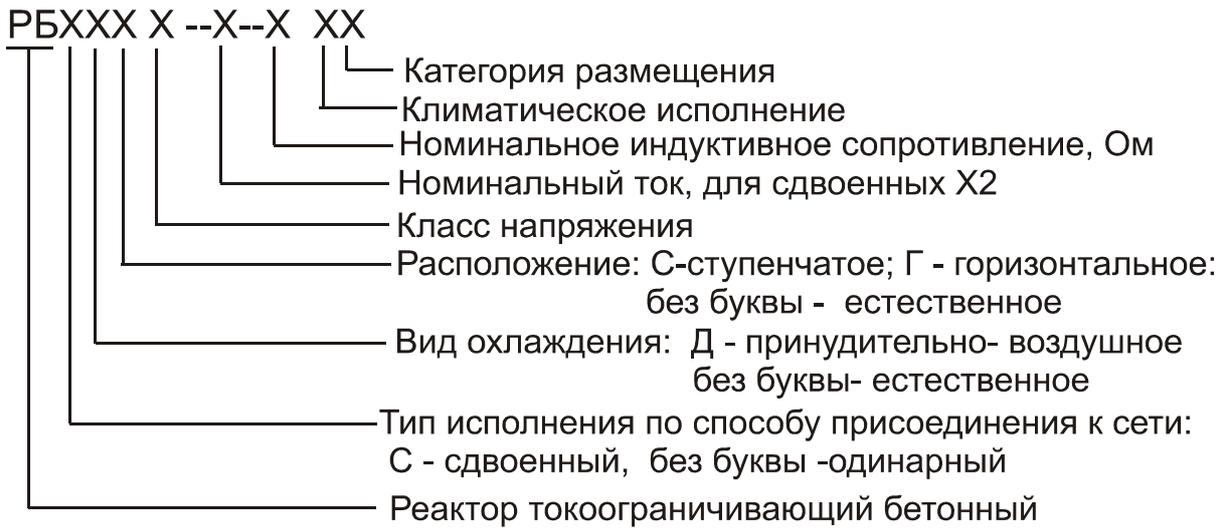
1. Изучить теоретический материала.
2. Решить практическое задание.
3. Ответить на контрольные вопросы.

Содержание отчёта

1. Необходимые теоретические сведения.
2. Решенное практическое задание.
3. Ответы на контрольные вопросы.

Основные теоретические сведения

В связи с тем, что на промышленных предприятиях необходимы мощные трансформаторы и автотрансформаторы для питания нагрузок. Сопротивления этих аппаратов имеют небольшую величину, поэтому на их выводах токи достигают 40 и больше кА. Такие токи могут разрывать только выключатели больших габаритов, а это требует дополнительных площадей. Чтобы снизить токи коротких замыканий в силовые цепи включают индуктивные сопротивления (в активных рассеивается большая мощность) , которые называются реакторами. Это катушки неизолированного алюминиевого провода залитые в бетонные стойки. Поскольку витки расположены близко друг к другу, поэтому их общее сопротивление значительно. Реакторы снижают токи коротких замыканий и этим самым позволяют использовать малогабаритные выключатели, способные разрывать токи , например, 20 кА. Чаще всего реакторы врезают в каждую фазу и устанавливают друг на друга, такое положение называется естественным, но при этом нижние фаза реактора охлаждаются хуже верхней фазы. Много реакторов устанавливается в цепях отходящих от распределительных устройств линий 10(6) кВ сразу за выключателем. При этом считается, что короткое замыкание между выключателем и реактором маловероятно. Расшифровываются обозначения реакторов следующим образом:



Пример: РБ --10--1000--0,45 УХЛ 1
 реактор бетонный на 10 кВ, ток 1000 А,
 сопротивление 0,45 Ом,

Без реакторов не обходятся мощные подстанции, особенно питающиеся по коротким линиям 110...330 кВ. Особенно имеющие мощные трансформаторы с расщепленными обмотками, когда от двух трансформаторов необходимо запитать четыре секции 10 кВ, от каждой секции питается отдельный цех (рис.11.1).

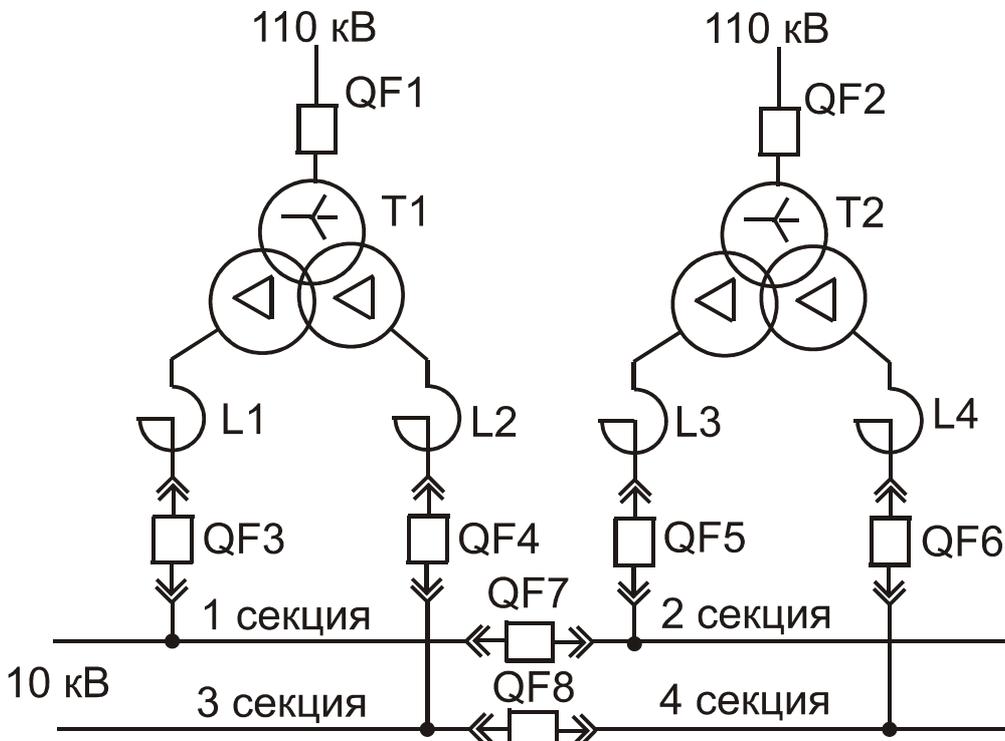


Рисунок 11.1. Питание ЗРУ-10 кВ от двух трансформаторов с расщепленными обмотками.

Можно от одного трансформатора запитать две секции распределительного устройства, используя для этого сдвоенные реакторы.

Сдвоенные реакторы, как и обычные, служат для ограничения токов КЗ. В марке реактора обычно приводится относительная потеря напряжения при протекании номинального тока

$$X_P = \frac{\sqrt{3} I_{НОМ} X_P}{U_{ЛИН}} 100 ,$$

Отсюда находим сопротивление реактора в Омах

$$X_P = \frac{X_P}{100} \cdot \frac{U_{ЛИН}}{\sqrt{3} I_{НОМ}} .$$

Особенностью сдвоенного реактора является наличие магнитной связи между ветвями каждой фазы (взаимной индуктивностью М). В зависимости от направления тока в ветвях его индуктивное сопротивление может уменьшаться или увеличиваться. Это используется для уменьшения падения напряжения в рабочем режиме и ограничения токов при КЗ..

Ветви реактора выполняют на одинаковый номинальный ток, а средний вывод на удвоенный номинальный ток ветви. За номинальное сопротивление сдвоенного реактора принимают сопротивление ветви обмотки при отсутствии тока в другой ветви

$$X_B = \omega L ,$$

где L — индуктивность ветви реактора (индуктивности ветвей равны между собой);

С учетом взаимной индуктивности потеря напряжения в ветвях реактора при подключении источника к средней точке определится

$$\Delta U_P = I_1 \omega L \sin \varphi - I_2 \omega M \sin \varphi ,$$

где I_1 , I_2 — токи в ветвях реактора;

M — взаимная индуктивность ветвей реактора.

Отсюда видно, что за счет взаимной индуктивности потеря напряжения в сдвоенном реакторе меньше по сравнению с обычным реактором с таким же индуктивным сопротивлением. В эксплуатации необходимо стремиться к тому, чтобы ветви реактора были равномерно загружены $I_1 = I_2 = I$. Тогда ветви будут работать в одинаковых условиях

$$\Delta U_P = (I_1 \omega L - I_2 \omega M) \sin \varphi = I \omega L (1 - K_{СВ}) \sin \varphi ,$$

где $K_{СВ}$ — коэффициент магнитной связи между обмотками.

Если $X_B = \omega L$, то записать

$$X_{В,СД} = X_B (1 - K_{СВ}) ,$$

где $X_{В,СД}$ — сопротивление ветви реактора с учетом взаимной индукции.

При $K_{CB} = 0,5$, получим $X_{B,CD} = 0,5 X_B$, отсюда следует, что потеря напряжения в два раза меньше по сравнению с обычным реактором.

При КЗ за одной из ветвей реактора, ток в ней значительно превышает ток в неповрежденной ветви. Относительное взаимное влияние взаимной индуктивности уменьшается и потеря напряжения в реакторе, а также ограничение тока КЗ определяется лишь собственным индуктивным сопротивлением ветви $X_B = \omega L$. Таким образом сопротивление реактора в режиме КЗ возрастет при $K_{CB} = 0,5$ в два раза по сравнению с нормальным режимом.

Реакторы выбирают по номинальному напряжению, номинальному току и индуктивному сопротивлению. Номинальный ток ветви сдвоенного реактора не должен быть меньше максимального длительного тока нагрузки $I_{НОМ} \geq I_{МАКС}$.

Практическое задание

Проверить правильность выбранного реактора РБСДГ 10 2×2500-0,14УЗ. Трансформатор мощность 40 МВА 110/6 кВ питает шины 6 кВ (рис.11.2). По каждой ветви сдвоенного реактора протекает ток 1900 А.

РБСДГ 10 2×2500-0,14УЗ

Р — реактор; Б — бетонный; С — сдвоенный; Д — принудительное охлаждение дутьем; Г — горизонтальная установка фаз; 10 — номинальное напряжение 10 кВ; 2500 — номинальный ток каждой ветви; 0,14 — номинальное индуктивное сопротивление одной ветви. Длительный ток при естественной циркуляции 2×2100 А. Коэффициент связи $K_{CB} = 0,52$.

При КЗ ток ограничивается одной ветвью, поэтому $X_B = X_P = 0,14 \text{ Ом}$.

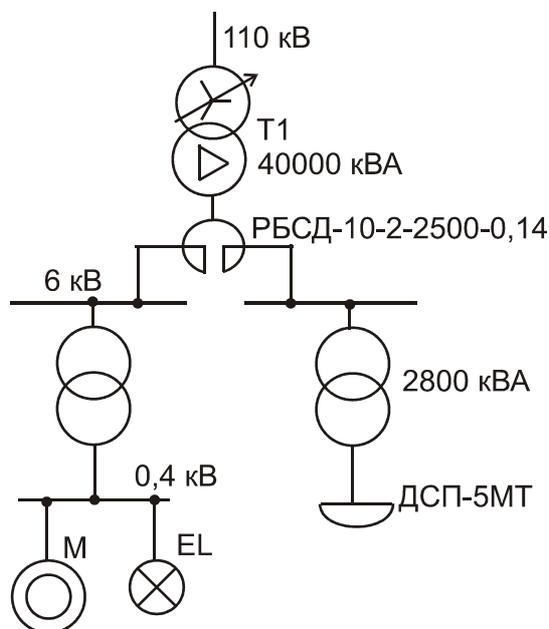


Рисунок 11.2 — Подключение потребителей через сдвоенный реактор

Контрольные вопросы

1. Для чего изготавливают трансформаторы с расщепленными обмотками?
2. Как вычислить сопротивление трансформатора с расщепленными обмотками?
3. Что представляет собой реактор?
4. Для чего реакторы устанавливают после трансформаторов?
5. Для чего реакторы устанавливают на отходящих линиях?
6. Как вычислить сопротивление реактора, если его реактивность задана в %?
7. Как работают сдвоенные реакторы при протекании токов нагрузки?
8. Как работают сдвоенные реакторы при коротких замыканиях?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №12 УСТАНОВКА КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Цель работы. Научиться рассчитывать и подключать конденсаторные батареи.

Задание

1. Изучить теоретический материала.
2. Решить практическое задание.
3. Ответить на контрольные вопросы.

Содержание отчёта

1. Необходимые теоретические сведения.
2. Решённое практическое задание.
3. Ответы на контрольные вопросы.

Основные теоретические сведения

Для снижения потерь мощности во внутривоздушных сетях (линиях и трансформаторах) экономически выгодно компенсирующие устройства устанавливать вблизи потребителя.

Реактивная или обменная мощность существенно влияет на потери мощности и энергии и уровни напряжения в узлах сети. Известно, что величина реактивной мощности характеризует скорость обмена электромагнитной энергии между источниками и потребителями электроэнергии. При этом индуктивные элементы являются накопителями реактивной мощности, а емкостные — ее генераторами. Всегда должно соблюдаться уравнение баланса реактивной мощности

$$\sum Q_{ГЕН} + \sum Q_{СЕТИ} + \sum Q_{КОМ} = \sum Q_{НАГ} + \sum Q_{СН} + \sum Q_{ПОТ} ,$$

где $\sum Q_{ГЕН} + \sum Q_{СЕТИ} + \sum Q_{КОМ}$ — реактивная мощность, генерируемая генераторами электростанций, емкостями воздушных и кабельных линий, синхронными компенсаторами и конденсаторными установками. Синхронные компенсаторы — это мощные синхронные двигатели (до 100 МВт), работающие без нагрузки, устанавливаемые в узлах электрической сети для регулирования перетоков мощности и регулирования напряжения. Реактивная мощность (100 МВАр) может плавно регулироваться током возбуждения, изменяющим ток ротора.

$\sum Q_{НАГ} + \sum Q_{СН} + \sum Q_{ПОТ}$ — реактивная мощность, потребляемая нагрузками, собственными нуждами электроснабжения и потерями в элементах системы электроснабжения.

Потери активной мощности и напряжения зависят и от передачи реактивной мощности в линии с сопротивлением R

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R ; \quad \Delta U = \frac{PR + QX}{U^2} 100$$

При несинусоидальности напряжения и тока используется метод эквивалентных синусоид

$$U_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\sum_{v=1}^n U_v^2} ; \quad I_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\sum_{v=1}^n I_v^2} ; \quad S_{\text{ЭКВ}} = U_{\text{ЭКВ}} I_{\text{ЭКВ}} .$$

Рассмотрим установку конденсаторной батареи для компенсации реактивной мощности нагрузки (рис.12.1). Чаще всего с низким cosφ работают незагруженные двигатели.

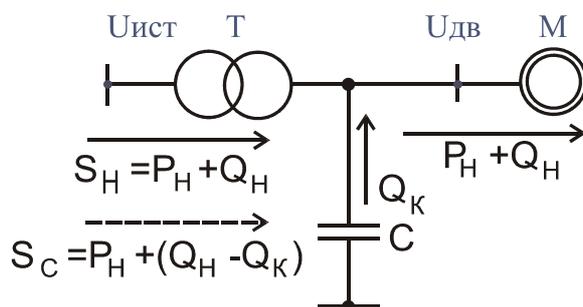


Рисунок 12.1. Распределение мощностей

Без установки конденсаторной батареи потоки мощности через трансформатор (сеть) и нагрузку одинаковые. Установка конденсаторной батареи снижает потоки реактивной мощности из сети. Она вырабатывает реактивную мощность на месте потребления. Следует заметить, что потоки активной и реактивной мощности через нагрузку не изменяются в связи с установкой конденсаторной батареи.

Для определения мощности конденсаторной батареи и емкости конденсаторов требуется построить треугольник мощностей, учитывающий величину реактивной мощности до установки и после установки конденсаторов (рис.12.2)

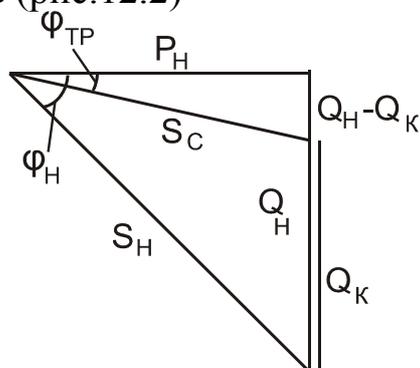


Рисунок 12.2. Треугольник мощностей

Чтобы не было перекомпенсации реактивной мощности электрические сети просят устанавливать батареи такой мощности, чтобы $\cos\varphi = 0,92 \dots 0,95$. Это соответствует углу между активной и полной мощностями $22 \dots 25^\circ$. На рис.4.2 $\varphi_{\text{ТР}} = 25^\circ$. Полную мощность потребителя можем измерить вольтметром и амперметром, но надо знать среднюю активную мощность за определенный промежуток времени. Для этого воспользуемся показаниями счетчика активной энергии. Если снять показания счетчика через полчаса (такие показания дают современные счетчики), тогда $P_{\text{Н}} = 2 W_{1/2\text{ч}}$. По показаниям получасового показания счетчика реактивной энергии получим $Q_{\text{Н}} = W_{\text{Р1/2ч}}$.

Тогда

$\text{tg } \varphi_{\text{Н}} = W_{1/2\text{ч}} / W_{\text{Р1/2ч}}$, а требуемая для сети реактивная мощность получится

$Q_{\text{Н}} - Q_{\text{К}} = P_{\text{Н}} \text{tg } \varphi_{\text{ТР}}$, отсюда получаем

$$Q_{\text{К}} = P_{\text{Н}} (\text{tg } \varphi_{\text{Н}} - \text{tg } \varphi_{\text{ТР}})$$

Из формулы мощности трехфазной батареи

$$Q_{\text{К}} = 3 U_{\text{К}} I_{\text{К}} = 3 U_{\text{К}} \frac{U_{\text{К}}}{X_{\text{С}}} = 3 U_{\text{К}} \frac{U_{\text{К}}}{\frac{1}{\omega C}} = 3 U_{\text{К}}^2 \omega C,$$

где $U_{\text{К}}$ – напряжение, подведенное к конденсатору.

Находим емкость конденсаторов

$$C = Q_{\text{К}} / (3 U_{\text{К}}^2 \omega)$$

Из формулы мощности следует, что, если подводить к конденсатору, рассчитанному на 660 В, напряжение 380 В вместо 220 В, то мощность конденсаторной батареи возрастет в три раза. Поэтому в конденсаторной батарее конденсаторы включают в треугольник (рис.4.3)

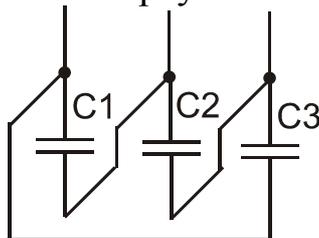


Рис.12.3. Соединение конденсаторов в треугольник

Следует учитывать, что после отключения конденсаторной батареи длительное время в ней остается электрический заряд и при касании выводов возможно поражение электрическим током. По этой причине каждый конденсатор должен быть зашунтирован сопротивлением. На батареях 380 В емкости шунтируют активными сопротивлениями, к батареям 10 кВ параллельно подключают маломощный трансформатор напряжения на холостом ходу или трансформатор напряжения.

В случае обрыва одной (например средней) фазы конденсаторов мощность составит. К конденсаторе С3 будет подведено 380 В, а две другие фазы включаются на половину линейного напряжения

$$Q = U_{K^2} \omega C_3 + \left(\frac{U_K}{2}\right)^2 \omega C_1 + \left(\frac{U_K}{2}\right)^2 \omega C_2 = 1,5 U_{K^2} \omega C$$

При обрыве одной из фаз емкость конденсаторной батареи снижается в два раза

Практическое задание

Выбрать мощность конденсаторной батареи для двигателя $P_2 = 15$ кВт, $\eta = 0,8$ работающего с $\cos\varphi = 0,75$. Насколько снизится ток, потребляемый из сети? Требуемый $\cos\varphi = 0,95$.

Порядок расчета:

- 1) Вычислить полную мощность, потребляемую двигателем.
- 2) Найти реактивную мощность
- 3) Построить треугольник мощностей, желательно в масштабе.
- 4) Вычислить требуемую реактивную мощность
- 5) Вычислить мощность, которую необходимо скомпенсировать
- 6) Подобрать из справочника ближайшую стандартную батарею.
- 7) Вычислить емкости конденсаторов, которые входят в конденсаторную батарею
- 8) Нарисовать векторную диаграмму напряжения и токов до и после компенсации.

Контрольные вопросы

1. Какие аппараты и машины потребляют реактивную мощность?
2. Нарисовать векторную диаграмму напряжения фазы, тока электродвигателя и емкости.
3. Каму выгодна компенсация реактивной мощности?
4. Какие потери изменяются в сети при подключении у потребителей конденсаторов?
5. Как определить активную мощность, потребляемую нагрузкой.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №13 СХЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ

Цель работы. Изучить схемы электроснабжения городов.

Порядок выполнения

1. Изучить теоретический материала.
2. Ответить на контрольные вопросы.

Содержание отчёта

1. Необходимые теоретические сведения.
2. Ответы на контрольные вопросы.

Основные теоретические сведения

Питание городов осуществляется от одной или нескольких подстанций 35/10 кВ или 110/ 10 кВ. В последнее время такие подстанции выполняются закрытыми и получают энергию по кабельным высоковольтным линиям. Это позволяет приблизить подстанции к крупным потребителям и снизить потери мощности и напряжения в сетях. От подстанций по кабельным линиям 10 кВ питаются трансформаторные пункты (ТП). Если ТП однострансформаторные, то получают питание от двух центров питания ЦП1 и ЦП2 (трансформаторных подстанций 35(110)/10 кВ) (рис.13.1). ПО такой схеме получают питание потребители 3-й категории — жилые дома с высотой не более 5 этажей. В случае выхода из строя питающего кабеля 10 кВ, питание трансформатора переключается на другой центр питания. Выход из строя трансформатора 10/0,4 кВ в лучшем случае обесточит потребителей на время замены трансформатора, не менее 6 часов.

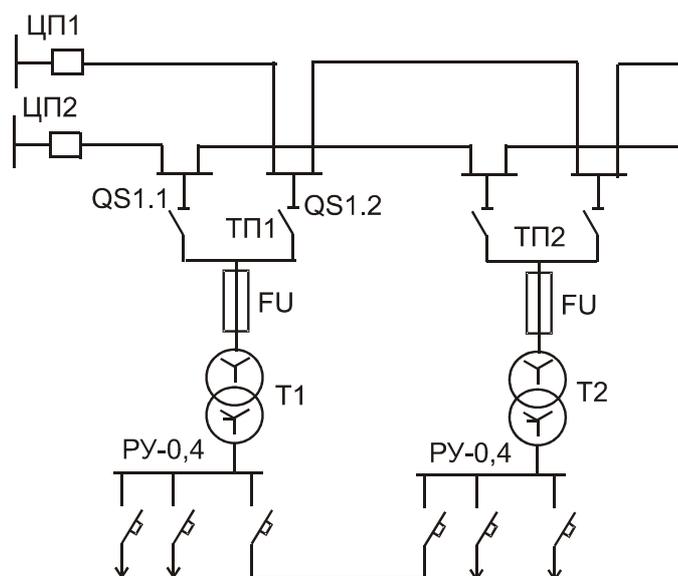


Рисунок 13.1. — Двухлучевая однотрансформаторная схема

Подстанции должны удовлетворять требованиям организации Межрайонной распределительной сетевой компании (МРСК Центра).

Назовем технические требования к подстанциям 110 -35/6-10 кВ:

- обеспечивать безопасную эксплуатацию;
- строиться на принципах компактности и высокой степени заводской готовности;
- рассчитывать на срок эксплуатации строительной части не менее 50 лет;
- обеспечивать готовность к применению нового оборудования и устройств, базирующихся на современной элементной базе;
- первичное оборудование подстанций должно иметь срок службы не менее 30 лет;
- секции шин 6-10 кВ должны иметь (как правило) не более 10 отходящих линий;
- рекомендуется применять закрытые распределительные устройства 6-35 кВ контейнерного типа повышенной заводской готовности;
- в целях уменьшения площади занимаемой земли и уменьшения эксплуатационных затрат рекомендуется применять малогабаритные подстанции с жесткой (изолированной) ошиновкой;
- при замене первичного оборудования рекомендуется предусматривать замену вторичного оборудования и цепей вторичной коммутации;
- при сооружении новых подстанций постепенно осуществлять переход к необслуживаемым подстанциям.

В электрических сетях городов рекомендуются блочные комплектные ТП, вписывающиеся в архитектуру города. Новые комплектные ТП 10/0,4 кВ должны выполняться :

- в бетонной или металлической оболочке и обладать антивандальной защитой;
- с наружным или внутренним обслуживанием в зависимости от типа и мощности подстанции;
- с встроенными щитами наружного освещения, позволяющими их обслуживание другими организациями без захода в ТП;
- с малообслуживаемыми силовыми трансформаторами, имеющие низкие потери и низкие массо-габаритные параметры;
- с гибкой ошиновкой для связи трансформатора с РУ- 0,4 и РУ-10 кВ;
- с надежной коммутационной аппаратурой на 0,4 и 10 кВ, обладающей повышенным эксплуатационным ресурсом;
- малогабаритными сборками, рассчитанными на токи КЗ 30-70 кА.

В качестве ТП 6-20/0,4 кВ мощностью 16-100 кВА рекомендуется применять столбовые с установкой их на опоре высоковольтной линии. Конструкции трансформаторов, применяемых на столбовых ТП должна отвечать таким требованиям:

- срок эксплуатации не менее 30 лет;
- герметичное исполнение, не требующее обслуживания;
- отсутствие радиаторного оребрения со стороны крепления к опоре;
- антивандальное исполнение, безопасность в обслуживании.

При мощности ТП 160 кВА и более рекомендуется применять закрытое исполнение.

На рис. 13.2. представлена подстанция 110/10 кВ с двумя секциями на 10 кВ. От секций (показан пример) по кабельным линиям получают питание трансформаторные пункты ТП1-ТП3 закрытого типа или встроенные в здания. ТП имеют на 10 кВ также по две секции, питающихся от разных секций подстанции 110/10 кВ. На стороне низкого напряжения каждого трансформатора установлены также по две секции, от каждой секции получают питание производственные, коммунально-бытовые или бытовые потребители.

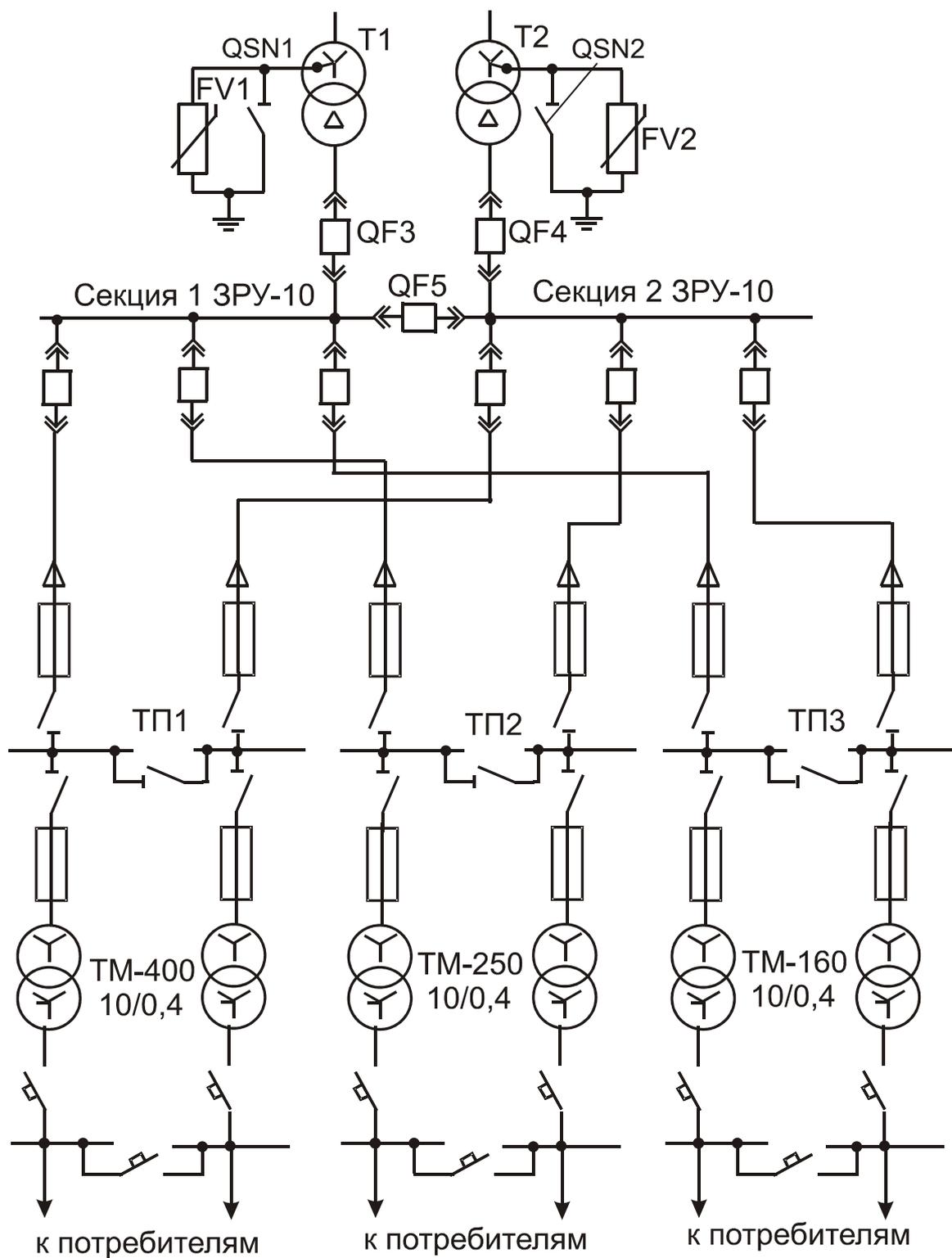


Рисунок 13.2 — Питание двухтрансформаторных ТП

Контрольные вопросы

1. Перечислите технические требования к подстанциям 110 -35/6-10 кВ.
2. Перечислите требования, предъявляемые к новым комплектным ТП 10/0,4 кВ.
3. Каким образом можно снизить потери мощности и энергии в распределительных сетях.
4. Для чего подключают ограничители перенапряжений к нулевой точке обмотки 110 кВ трансформатора?
5. Чем отключаются короткие замыкания на шинах ТП1?
6. Для чего на ТП-2 установлен секционирующий разъединитель?
7. Для чего в цепях трансформаторов 10/0,4 кВ установлены высоковольтные предохранители?
8. Почему на трансформаторных пунктах устанавливают по два трансформатора?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №14 ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

Цель работы. Изучить схемы питания жилых и общественных зданий.

Порядок выполнения

1. Изучить теоретический материала.
2. Решить практическое задание.
3. Ответить на контрольные вопросы.

Содержание отчёта

1. Необходимые теоретические сведения.
2. Решённое практическое задание.
3. Ответы на контрольные вопросы.

Основные теоретические сведения

Жилые дома до 5 этажей относятся к потребителям 3-й категории, для них допускается перерыв питания до 24 часов. Но насыщенность электроприборами очень высокая (табл.14.1)

Таблица 15.1— Распространенные электроприемники жилых домов

Потребитель	Потребитель	Потребитель
1. Часы	18. Телефон	35. Машинка для стрижки
2. Люстра	19. Пылесос	36. Микроволновка
3. лампа подвесная	20. Чайник	37. Елочная звезда
4. Мобильник	21. Ночник	38. Водонагреватель
5. Бра	22. Дрель	39. Калькулятор
6. настольная лампа	23. Вентилятор	40. Зарядное устройство
7. Фонарь	24. Кофемолка	41. Аквариум
8. Телевизор	25. Миксер	42. Радиатор
9. Утюг	26. Тостер	43. Компьютер
10. Елочная гирлянда	27. Торшер	44. Мясорубка
11. Фен	28. Бритва	45. Видеокамера
12. Кипятильник	29. Кофеварка	46. Принтер
13. Паяльник	30. Плита	47. Соковыжималка
14. Холодильник	31. Радиоприемник	48. Швейная машинка
15. Звонок	32. Грелка	49. Озонатор
16. Стиральная машина	33. Зажигалка	50. Лампа машинки
17. Щипцы	34. Самовар	51. Дом. кинотеатр

Заменить кабель, питающий дом, при хорошей энергетической службе не всегда удастся в срок, поэтому, как правило, к домам прокладывают по два кабеля, запитанные от одной или от разных секций РУ-0,4 кВ в ТП. Лучше, если они будут проложены в разных траншеях.

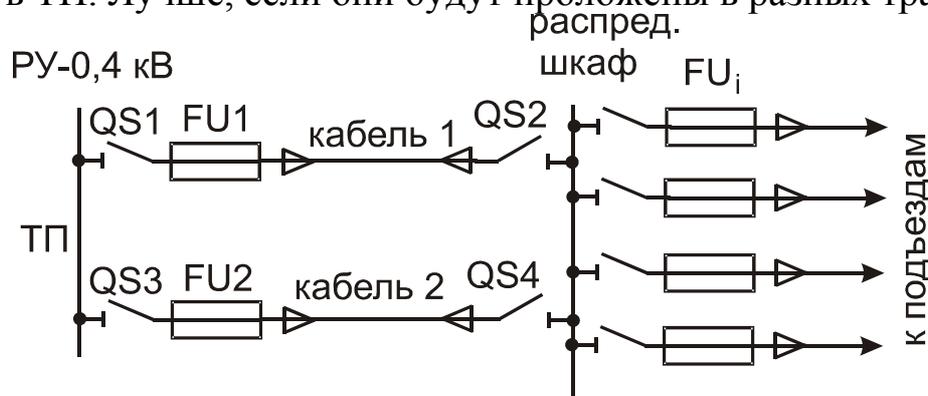


Рисунок 14.1 — Простая схема питания 5-ти этажного дома

Недостаток этой схемы заключается в том, что при коротком замыкании в верхнем кабеле 1 сгорят предохранители FU1. Но точка короткого замыкания будет подпитываться через FU2-кабель 2- QS1 и QS2 могут сгореть и предохранители FU2. Потребители будут обесточены только на время определения, какой кабель поврежден. Для этого восстанавливают предохранители FU1 и FU2 при отключенных QS1 и QS2. Включают QS1 и проверяют целостность предохранителей FU1. Если они целые, то поврежден кабель 2. Его отключают разъединителями QS3 и QS4, и отыскивают место повреждения. В большинстве новых решений вместо рубильников (разъединителей) с предохранителями устанавливают автоматические выключатели. На время ремонта вся нагрузка ложится на кабель 1. Кабели с полиэтиленовой изоляцией можно перегружать на 10-15%.

Надежнее работает схема с переключателями на вводах.

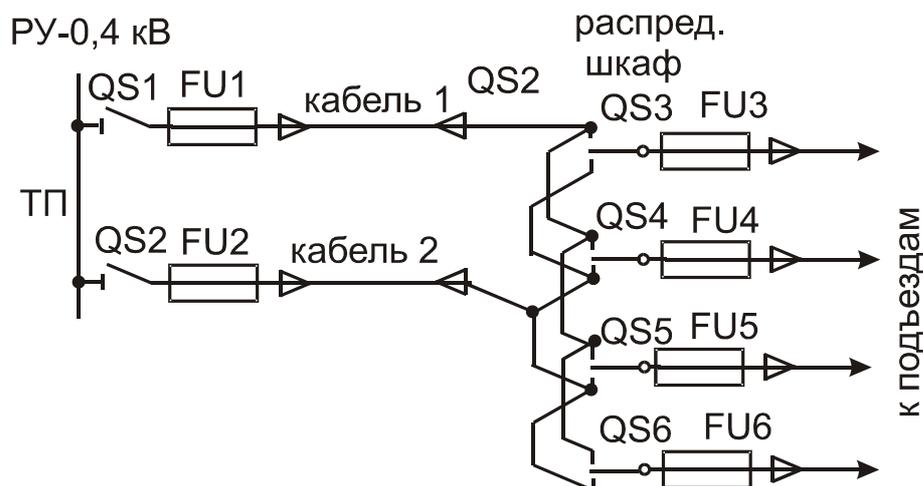


Рисунок 14.2 — Питание 5-ти этажного дома с переключателями

Подъезды могут питаться от разных питающих кабелей, тогда сразу становится ясно, какой кабель вышел из строя. Кроме этого переключателями QS3...QS6 можно равномернее распределять нагрузку.

Схема, аналогичная приведенной на рис.14.2, используется для питания 9-17 этажных домов. В этих домах появляется лифтовое хозяйство, аварийное освещение, что увеличивает надежность их электроснабжения.

Улицы с домами одноэтажной застройки запитываются от ТП через отдельные автоматы. По улицам прокладываются провода СИП, на отпайки к которым подключаются потребители. На таких линиях необходимо всегда считать токи однофазных КЗ по формуле

$$I_{\text{КЗ}}^{(1)} = \frac{U_{\text{ФАЗ}}}{Z_{\text{Т}}^{(1)} + Z_{\text{ПЕТ}}},$$

где $Z_{\text{Т}}^{(1)}$ — сопротивление трансформатора току однофазного КЗ. Это значение не рассчитывается, а принимается из справочников по данным опытов, которые проводятся на заводе-изготовителе;

$Z_{\text{ПЕТ}}$ — сопротивление петли фазный-нулевой провод, лучше использовать сведения из справочников.

Полученное значение тока однофазного КЗ позволяет примерно определить чувствительность защиты (автомата или предохранителя) к токам удаленных КЗ. Чувствительность защиты проверяется по формуле $K_{\text{ЧУВ}}^{(1)} = I_{\text{УДАЛ}}^{(1)} / I_{\text{ТЕП.РАС}} \geq 3$.

При меньшем коэффициенте чувствительности необходимо увеличивать сечение питающих проводов, тогда $Z_{\text{ПЕТ}}$ уменьшится и ток однофазного КЗ возрастет.

Всегда встает вопрос, чем лучше защищать сеть от коротких замыканий предохранителями или автоматическими выключателями. Там, где есть трехфазные электропотребители, необходимо использовать трехфазные автоматические выключатели. По состоянию предохранителя всегда быстро определяется поврежденная фаза.

Во всех случаях, когда используются два и более кабелей, включаемых параллельно, их необходимо сфазировать. Фазировка — это определение одноименных фаз перед соединением кабелей, включением трансформаторов на параллельную работу (рис.14.3). Две секции РУ-0,4 кВ 1-я и 2-я питаются от разных трансформаторов. При отсутствии цветовой расцветки жил кабелей определить одноименные фазы можно с помощью вольтметра. Для этого перед включением автомата QF1 необходимо убедиться, что при его включении соединятся одноименные фазы. Фазы могут быть подключены со стороны высокого напряжения трансформатора произвольно, особенно, если подведены кабелем. Предварительно необходимо убедиться, что фазные и линейные напряжения с обеих сторон автомата равны. При необходимости переключатель анцапф на одном из трансформаторов перевести в нужное положение. При равенстве напряжений подключить вольтметр PV между фазой A1 от трансформатора T1 и фазой B2 от второго трансформатора T2, тогда через вольтметр будет замыкаться ток через обмотки трансформаторов. Подключение вольтметра к одноименным фазам

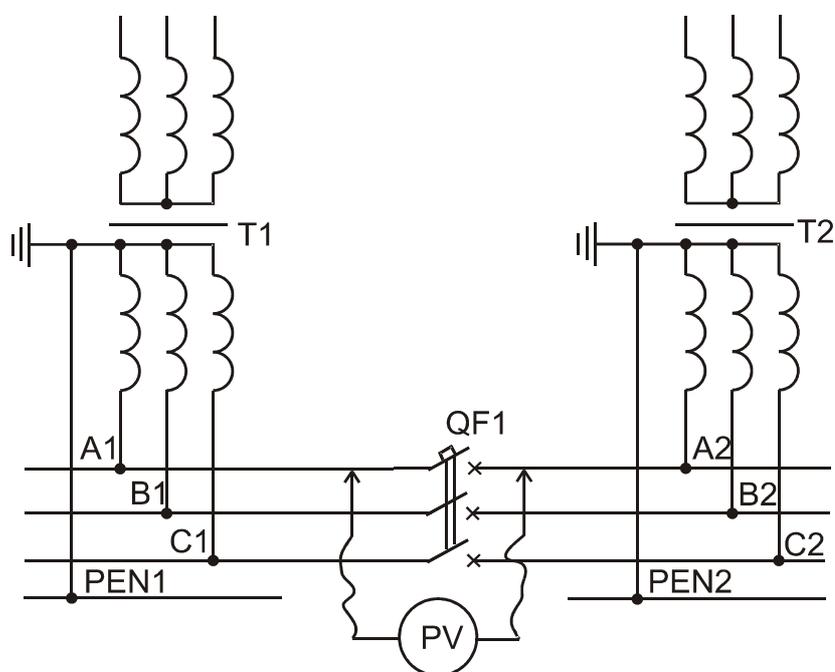


Рисунок 14.3 Проведение фазировки шин на секционном автоматическом выключателе

Практическое задание

Сфазировать трансформаторы со схемой соединения обмоток «звезда-треугольник». На некоторых подстанциях трансформаторы собственных нужд имеют линейное напряжение 220 В и сеть с изолированной нейтралью.

1. Изобразить два трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-треугольник».
2. Соединить их автоматом
3. Измерить фазные напряжения. Как будет протекать ток через вольтметр?
4. Объединить предполагаемые одноименные фазы лампой накаливания
5. Разобраться, что покажет вольтметр между другими одноименными фазами. Как будет протекать ток?

Контрольные вопросы

1. Как выбрать сечение кабеля по нагреву?
2. Изобразить защитную характеристику предохранителя.
3. Изобразить защитную характеристику автоматического выключателя.
4. Как сфазировать два кабеля?
5. Напишите 4 условия включения трансформаторов на параллельную работу?
6. Что покажет вольтметр при фазировке, когда один трансформатор имеет схему соединения обмоток «Звезда – зигзаг с нулем», а второй «звезда – звезда с нулем»

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №15 УЧЕТ ПОТРЕБЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СЕТИ И У ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Цель работы. Освоить расчеты за потребленную энергию у бытовых и производственных потребителей.

Порядок выполнения

1. Изучить теоретический материала.
2. Ответить на контрольные вопросы.

Содержание отчёта

1. Необходимые теоретические сведения.
2. Ответы на контрольные вопросы.

Основные теоретические сведения

Учет потребленной или переданной электроэнергии осуществляется счетчиками активной и реактивной энергии. Счетчики активной энергии по существующему раннему ГОСТу обозначаются на схемах Wh, а по более позднему ГОСТу — P1. Счетчик активной энергии в сетях 380 В имеет три измерительных механизма и к каждому из них подводится напряжение и ток. Каждый измерительный механизм реализует формулу в каждый момент времени

$$W_{\text{АКТ}} = \sum U_i I_i \cos \phi_i$$

Счетчики реактивной энергии по существующему раннему ГОСТу обозначаются на схемах varh, а по более позднему ГОСТу — Pk. Счетчики реактивной энергии реализуют формулу

$$W_{\text{РЕАКТ}} = \sum U_i I_i \sin \phi_i$$

Классификация счетчиков электроэнергии

По типу подключения:

- счетчики прямого включения в силовую сеть, ток нагрузки проходит через счетчик;
- счетчики трансформаторного включения, подключаемые через трансформаторы тока.

По измеряемым величинам:

- однофазные 220 В, 50 Гц;
- трехфазные (380 В, 50 гц). Современные электронные трехфазные счетчики поддерживают однофазный учет.

По конструкции:

- индукционные, в которых электромагнитное поле неподвижных токопроводящих катушек влияет на подвижный элемент их токопроводящего материала. Подвижный элемент представляет собой

диск, по которому протекают токи, индуцированные магнитным полем катушек. Количество потребленной энергии пропорционально числу оборотов диска.;

— электронные, в которых измерения основаны на преобразовании аналоговых входных сигналов тока и напряжения в счетный импульс. Число импульсов пропорционально измеряемой энергии. Счетный механизм представляет электромеханическое устройство при установке приборов на улице или электронное устройство, содержащее как запоминающее устройство, так и дисплей.

У потребителей регистрируют потребление активной энергии однофазной (обычно у бытовых потребителей) и трехфазной у производственных, а в последнее время и у бытовых потребителей (рис.15.1) По показаниям счетчиков потребители расплачиваются по тарифам.

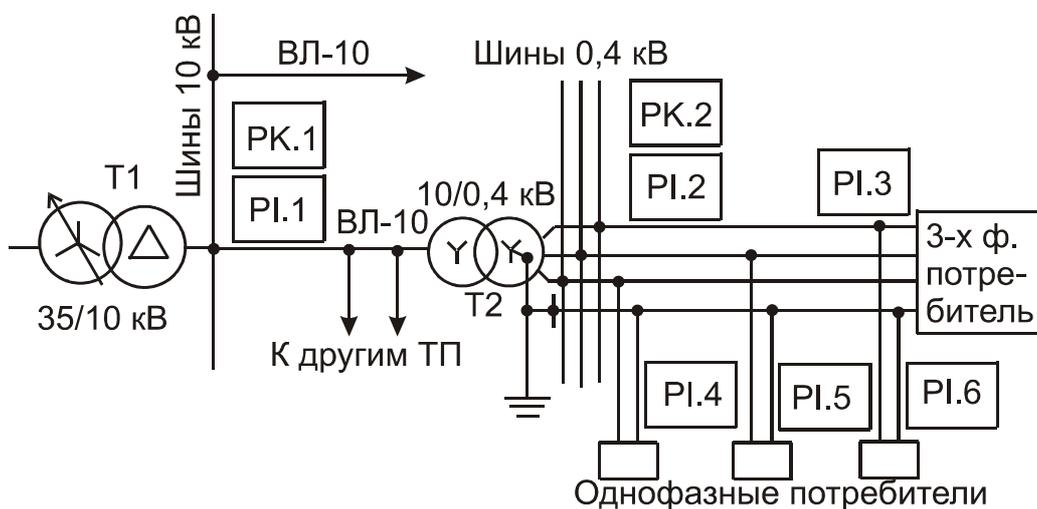


Рисунок 15.1 — Места установки счетчиков в сети 0,38...10 кВ

На подстанциях с напряжениями 6 кВ и выше на всех отходящих и питающих линиях и в цепях силовых трансформаторов подстанций устанавливают счетчики активной и реактивной энергии, которые подключают к трансформаторам тока и к трансформаторам напряжения (рис.15.2).

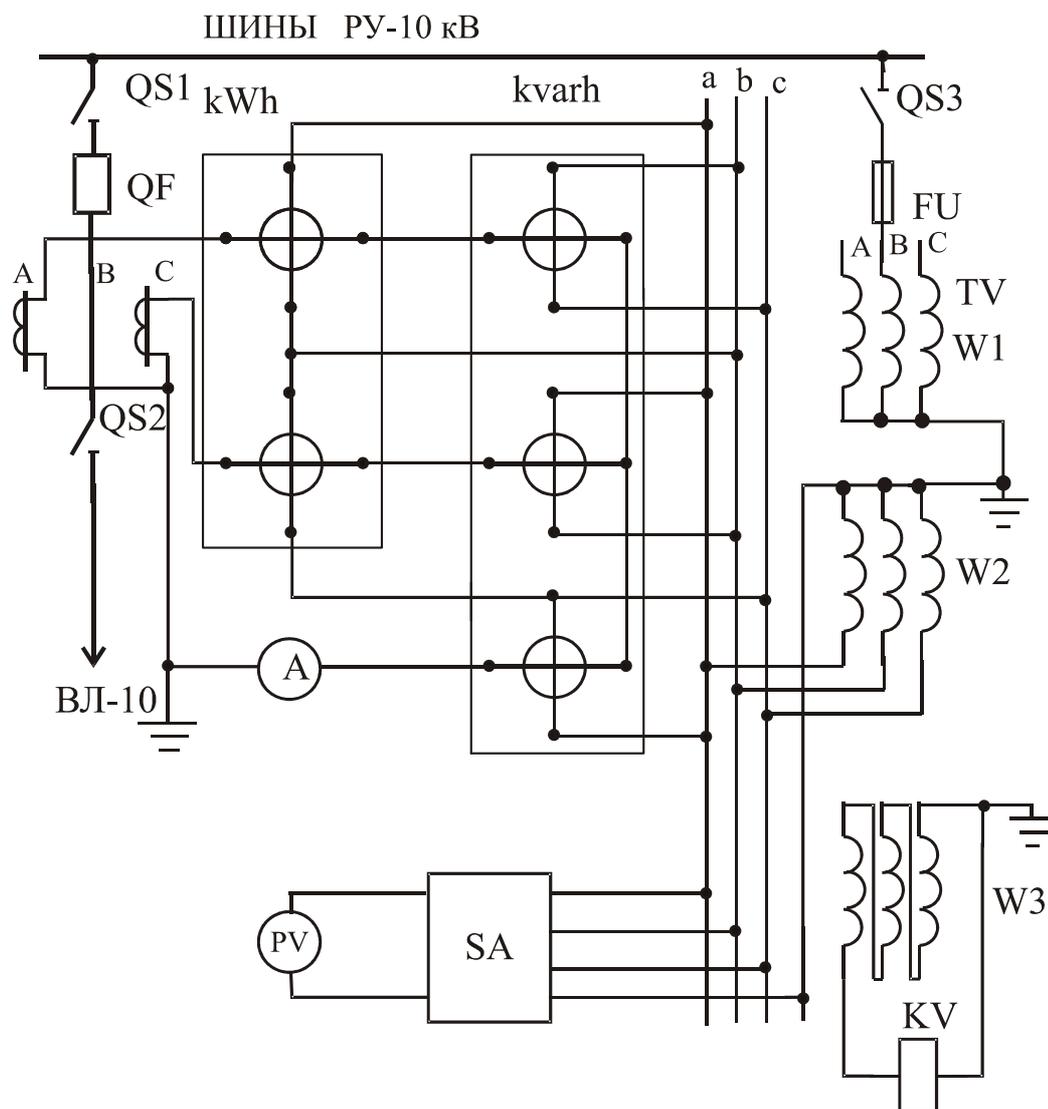


Рис. 15.2 Подключение измерительных приборов в ячейке линии 10 кВ

Но трансформаторы тока в сетях с изолированной нейтралью 6,10, 20 и 35 кВ устанавливают в двух фазах для срабатывания релейных защит только при междуфазных КЗ. Соответственно и счетчики активной энергии имеют два измерительных механизма, каждый из них включается на вторичный ток фазы с трансформатором тока. Обычно токовые цепи счетчиков включают на токи фаз А и С.

Для выяснения, какое напряжение необходимо при этом подводить к измерительным органам, рассмотрим мгновенные значения мощности, на которые реагируют измерительные органы. При этом поток энергии проходит по трем фазам.

В трехфазной сети суммарная мощность равна сумме мощностей трех фаз.

$$p^{(3)} = p_A + p_B + p_C = i_A u_A + i_B u_B + i_C u_C .$$

В трехпроводной сети с изолированной нейтралью в любой момент времени сумма токов равна нулю, поэтому $i_B = -i_A - i_C$, тогда после подстановки в формулу трехфазной мощности, получим

$$p^{(3)} = i_A (u_A - u_B) + i_C (u_C - u_B).$$

Но $u_A - u_B = u_{AB}$, $u_C - u_B = u_{CB}$, поэтому для мгновенных значений получим

$$p^{(3)} = i_A u_{AB} + i_C u_{CB}.$$

Вывод: в соответствии с полярностью клемм счетчика первый измерительный орган включается на напряжение u_{AB} , а другой – на напряжение u_{CB} – вывод фазы «с» трансформатора напряжения подключается к началу цепи напряжения второго измерительного механизма.

Для действующих значений токов и напряжений, подведенных к измерительным органам, построим векторные диаграммы.

При подключении активной нагрузки, когда $\cos \varphi = 1$ (рис. 15.3) угол между током I_A и линейным напряжением U_{AB} составляет $\psi_1 = 30^\circ$. Тогда к первому измерительному органу будет подводиться мощность

$$P_1 = U_{AB} I_A \cos \psi_1 = U_L I_L \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} U_L I_L.$$

Ко второму измерительному органу будет подводиться мощность

$$P_2 = U_{CB} I_C \cos \psi_2 = U_L I_L \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} U_L I_L.$$

Суммарная мощность, подведенная к измерительным органам трехфазного двухэлементного счетчика равна

$$P_{сч} = 2 \frac{\sqrt{3}}{2} U_L I_L = \sqrt{3} U_L I_L = P^{(3)}.$$

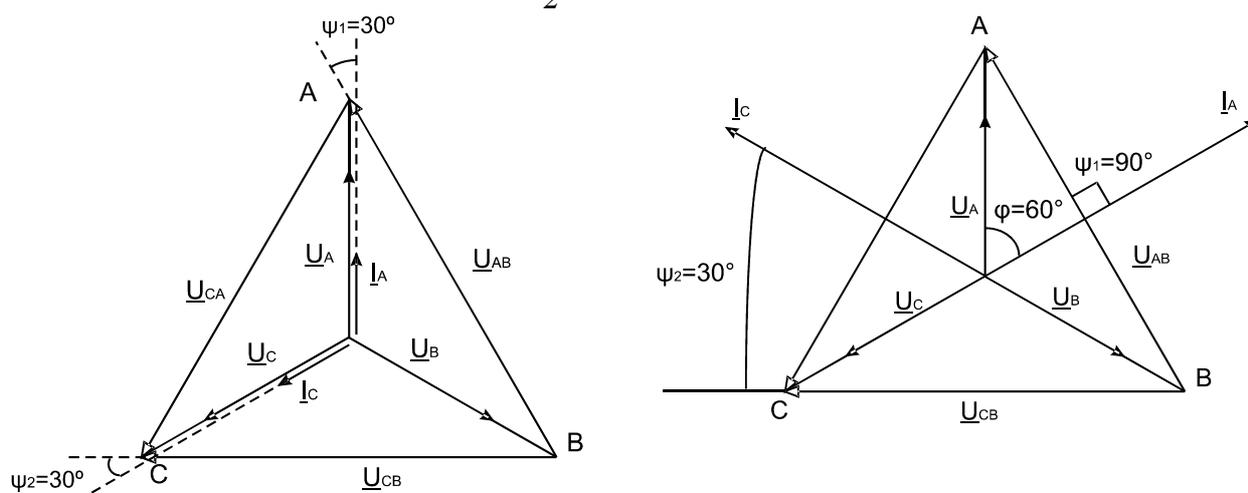


Рис.15.3. Векторные диаграммы токов и напряжений, подводимых к счетчику активной энергии в сети с изолированной нейтралью

Какая же мощность будет подведена к измерительным органам счетчика активной энергии, когда $\cos\varphi = 60^\circ$? Из векторной диаграммы (см. рис.5.4) следует, что

$$P_1 = U_{AB} I_A \cos\psi_{1\bar{I}} = U_{\bar{U}} I \cos 90^\circ = 0; P_2 = U_{CB} I_C \cos\psi_{2\bar{I}} = U_{\bar{U}} I \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} U_{\bar{U}} I .$$

При $\cos\varphi = 60^\circ$ трехфазная мощность составит

$$P^{(3)} = 3U_{\phi} I_{\bar{L}} \cos 60^\circ = \frac{1}{2} \sqrt{3} U_{\bar{L}} I_{\bar{L}} = \frac{\sqrt{3}}{2} U_{\bar{L}} I_{\bar{L}} .$$

Значит, счетчик отражает реальную мощность при любых углах нагрузки потребителей.

Для определения переданной по линии 10 кВ энергии следует учитывать не только коэффициент трансформации трансформатора тока, но и коэффициент трансформации трансформатора напряжения. Коэффициент трансформации трансформаторов тока на каждой линии индивидуальный, а трансформатор напряжения общий для всех счетчиков, установленных в ячейках одной секции. Обычно коэффициент трансформации трансформаторов напряжения k_{TV} для сетей 10 кВ $10000/100 = 100$. Тогда после снятия показаний счетчика переданную по первичным цепям энергию определяют по формуле

$$W_{10} = (N_{кон} - N_{нач}) k_{TA} k_{TV} .$$

В сетях с изолированной нейтралью трансформаторы тока устанавливают в двух фазах. Поэтому вторичные цепи трансформаторов тока и токовые обмотки приборов соединяют по схеме неполной звезды. Но в счетчике реактивной энергии три вращающихся элемента, поэтому два из них включаются на фазные токи, а третий на сумму токов двух фаз, как и амперметр в обратный провод. В обратном проводе протекает геометрическая сумма вторичных токов двух фаз. Эта сумма по величине равна току третьей фазы, если бы в ней был установлен трансформатор тока. Говорят, что амперметр измеряет ток "отсутствующей фазы".

Показания счетчика активной и реактивной энергии позволяют вычислить средневзвешенный коэффициент мощности за период измерения

$$\cos\phi_{CP.B3B} = \frac{W_{AKT}}{\sqrt{W_{AKT}^2 + W_{PEAK}^2}} .$$

Показания счетчиков позволяют ориентировочно оценить реальные потери электроэнергии в линиях 380 В. Для этого надо просуммировать

показания потребленной энергии за год всеми однофазными и трехфазными потребителями, и эту сумму вычесть из переданной энергии по счетчику на трансформаторном пункте.

$$\Delta W_{0,38} = W_{PI.2} - (W_{PI.3} + W_{PI.4} + W_{PI.5} + W_{PI.6})$$

Затем вычисляют процент потерь в процентах

$$\Delta W_{0,38} \% = \Delta W_{0,38} / W_{PI.2}.$$

В каждой энергосистеме есть нормы на потери энергии.

Потери энергии в отдельно в линии 10 кВ определить невозможно, определяют общие потери в линии 10 кВ и во всех трансформаторах, подключенных к этой линии.

$$\Delta W_{10} \% = (W_{PI.1} - \sum W_{PI.2i}) / W_{PI.1}.$$

В последнее время на всех объектах устанавливают электронные счетчики, так как у индукционных счетчиков выявлены недостатки:

- отсутствие возможности автоматического дистанционного снятия показаний;
- однотарифность;
- большие погрешности учета;
- плохая защита от хищения электроэнергии;
- низкая функциональность;
- неудобство в установке и эксплуатации;
- не выдерживали больших перегрузок;
- малый межповерочный интервал.

Подключение электронных практически не отличается от подключения индукционных счетчиков (рис.15.4)

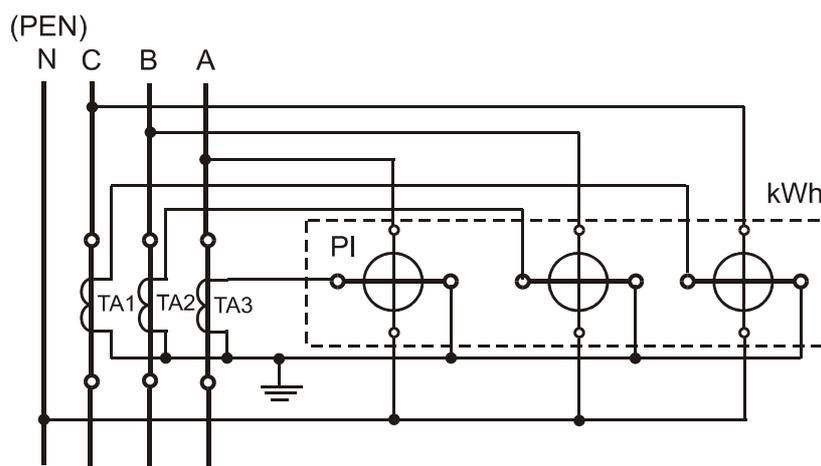


Рисунок 15.4.— подключение микропроцессорного счетчика

Принцип действия электронных счетчиков основан на преобразовании результатов умножения тока и напряжения в

последовательность прямоугольных импульсов, частота следования которых пропорциональна мгновенной мощности и суммирование которых дает количество потребленной энергии. В качестве основной элементной базы в счетчиках использованы специализированные интегральные схемы.

В качестве устройства индикации счетчик имеет электромеханический счетный механизм, отображающий суммарное количество электроэнергии, прошедшей через счетчик, а также оптический выход в виде светодиода.

Счетчик имеет телеметрический выход, гальванически развязанный от остальных цепей счетчика. Основное передающее устройство и испытательный выход гальванически развязаны от остальных цепей счетчика. Цепи счетчиков имеют защиту от бросков напряжения и тока.

Преимущества электронных счетчиков

- Возможность (не на всех моделях) переключения тарифов;
- Наличие телеметрического выхода;
- Широкий температурный диапазон использования;
- Современная элементная база;
- Отсутствие электролитических конденсаторов, характеристики которых со временем изменяются;
- Устойчивость к вибрации (не влияет на величину погрешности)
- Отсутствие погрешности от угла наклона счетчика;
- Вычисление мгновенной мощности и усреднение в заданных интервалах времени;
- Ведение календаря, учитывающего дни недели, выходные, праздничные дни.
- Отображение информации на ЖКИ дисплее или на механическом отсчетном устройстве;
- Возможна установка на ДИН-рейку, так и винтовое крепление.
- Передача результатов измерений по цифровым и импульсному интерфейсам
- Возможность использования счетчиков прямого включения (без трансформаторов тока) до 100 А.

Контрольные опросы

1. Где устанавливаются счетчики активной и реактивной энергии?
2. Какой ток идет через токовую цепь счетчика у однофазных потребителей?
3. Как подключается счетчик в силовых цепях?

4. Какую формулу реализует счетчик активной энергии?
5. Какую формулу реализует счетчик реактивной энергии?
6. Нарисуйте векторную диаграмму тока и напряжения
7. Что показывает угол φ ?
8. Какое номинальное вторичное напряжение у трансформатора напряжения?

ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Контрольная работа № 1

1. В чем преимущества автотрансформаторов перед трансформаторами?
2. В чем отличие трансформаторной подстанции от распределительного пункта?
3. В чем преимущества и недостатки двух систем шин перед одной секционированной системой шин?
4. В чем особенность электроснабжения потребителей 1-й категории
5. Что входит в понятие расчетных затрат?
6. Назначение вольтодобавочных трансформаторов на подстанциях
7. Какие функции выполняет сдвоенный реактор?
8. Рассчитать токи КЗ до реактора
9. Рассчитать токи КЗ за реактором
10. Выбрать оборудование ячейки ввода после реактора.

Контрольная работа № 2

1. Представить селективность действия защитных устройств
2. Для чего проверяют проводники на термическую стойкость
3. Как исполняется уравнивание потенциалов?
4. Для чего выполняется выравнивание потенциалов?
5. Как подключить счетчик в сети 380 В?
6. Характеристика ограничителей перенапряжений.
7. Разработать защиту от повышения напряжения.
8. Почему при большом количестве компьютеров необходимо прокладывать отдельную линию?
9. Наметить пути сокращения потребления электроэнергии в жилых помещениях.
10. Какие функции выполняет дифференциальный автомат?

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий [Текст]: учебное пособие для вузов/ Б.И. Кудрин.— М: Интермет,2005.—672 с.
2. Электроснабжение. Рабочие режимы сетей 0,38-10 кВ.: учебное пособие./ Н.М. Попов. - Кострома : КГСХА, 2010. - 202 с.
3. Кудрин Б.И. Электроснабжение [Текст] /Б.И.Кудрин.— М: Академия, 2012. — 352 с.
4. Юндин М.А. Токовая защита электроустановок [Текст]/М.А. Юндин.— Спб: Лань, 2011.— 288 с.
5. Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий [Текст]: учебник для сред.профобразования / Ю.Д. Сибикин. — М.: Академия, 2006.— 368 с.
6. Гужов, Н.П. Системы электроснабжения [Текст]: учебник для вузов/Н.П. Гужов, В.П. Ольховский. — Ростов н/Д: Феникс, 2011.— 382 с.

Для заметок

Учебно-практическое издание

Системы электроснабжения городов и промышленных предприятий : практикум для студентов направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», профиль «Электроснабжение» очной и заочной форм обучения / сост. Н.М. Попов. — Караваево : Костромская ГСХА, 2015. — 76 с.

Практикум издаётся в авторской редакции.

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Костромская государственная сельскохозяйственная академия" 156530, Костромская обл., Костромской район, пос. Караваево, уч. городок, д. 34, КГСХА

Компьютерный набор. Подписано в печать 22/10/2015.
Заказ №1045. Формат 84x60/16. Тираж 100 экз.
Усл. печ. л. 4,8. Бумага офсетная. Отпечатано 30/12/2015.
Цена 37,00 руб.

Отпечатано с готовых оригинал-макетов в академической типографии на цифровом дубликаторе.
Качество соответствует предоставленным оригиналам.
вид издания: авторская редакция (электронная версия)
(редакция от 21.10.2015 № 1014 тит)

Цена 37,00 руб.



2015*1045