

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ХАРЬКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

В.Е. Бондаренко, В.В.Черкашина

**Практикум по дисциплине
«Электрические сети и системы»
для студентов электрических специальностей**

Харьков
НТУ «ХПИ»
2016

УДК
ББК
Б 81

Публикується по рішенняу: Ученого совета Национального технического университета "Харьковский политехнический институт",
протокол № 3 от 30 октября 2015 г.

Рецензенты

М.К. Сухонос, профессор, доктор технических наук, Харьковский Национальный университет городского хозяйства имени А.Н. Бекетова;

Н.М. Черемисин, профессор, кандидат технических наук, професор, Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенка

У практикумі з позицій системного підходу викладено основні термінологічні визначення і розрахункові вирази, які використовуються при вивченні дисципліни «Електричні мережі і системи». Розглянуто прилади рішення деяких електромережєвих задач. Призначено для студентів електротехнічних спеціальностей

В практикуме с позиций системного подхода изложены основные терминологические определения и расчетные выражения, которые используются при изучении дисциплины "Электрические сети и системы". Рассмотрены примеры решения некоторых электросетевых задач. Предназначено для студентов электротехнических специальностей.

Бондаренко В.Е.

Б 81 Практикум по курсу «Электрические сети и системы», для студентов электротехнических специальностей учебное пособие / В.Е. Бондаренко, В.В. Черкашина. – Харьков, 2016. – 85 с.

Іл. 15. Табл. 1 . Бібліогр. назв.

ISBN

© В.Е. Бондаренко 2016

УДК
ББК

ПРЕДИСЛОВИЕ

Практикум предназначено для студентов, изучающих дисциплину "Электрические системы и сети".

В последние годы во многом изменились условия и формы обучения. ВУЗы начали выполнять заказы предприятий по подготовке специалистов, что требует, даже в пределах одной специальности, более индивидуального подхода к подготовке студентов, смещение акцентов в программах курсов в соответствии с требованиями заказчика. Изменения, прежде всего, касаются специальных курсов, к которым относится и нормативная дисциплина "Электрические системы и сети".

В практикуме с позиций системного подхода изложены основные терминологические определения и расчетные выражения, а также приведены примеры решения некоторых электросетевых задач, представляющих интерес при подготовке специалистов по проектированию и эксплуатации электрических сетей и способствующие повышению самостоятельности работы студентов. Изложенные в пособии материалы и подходы к расчетам реализуются при решении практических задач курса.

Структура практикума, содержание и методика изложения материала соответствуют программе курса "Электрические системы и сети", читаемого много лет на кафедре "Передача электрической энергии" Национального технического университета "Харьковский политехнический институт".

ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

А

Аварийный режим работы энергосистемы

Режим работы энергетической системы при возникновении аварий или при недопустимом отклонении показателей качества энергии в энергосистеме в целом или в её части

Автоматическая частотная разгрузка

Предусмотренное заранее и осуществляемое устройствами автоматики очередное отключение потребителей электрической энергии от электроснабжения при понижении частоты в электрической системе

Автотрансформатор

Трансформатор, у которого обмотки имеют как магнитную, так и электрическую связи

Активная проводимость линии

Параметр линии, связанный с потерями активной мощности от тока утечки через изоляцию, а в воздушной линии также и с потерями на корону

Активная проводимость трансформатора

Параметр трансформатора, связанный с потерями активной мощности в сердечнике на перемагничивание и вихревые токи

Активное сопротивление (линии, трансформатора)

Параметр, связанный с потерями активной мощности и энергии на нагрев проводников при протекании по ним переменного тока

Амплитуда импульса напряжения

Максимальное мгновенное значение импульса напряжения

Б

Баланс активной мощности в энергосистеме

Соответствие активной мощности, вырабатываемой электрическими станциями и мощности, потребляемой в энергосистеме, с учетом технологических

потерь, а также перетоков мощности в другие системы

Балансирующий узел

Узел с фиксированным напряжением, покрывающий недостающую мощность в сети при проведении электрических расчетов

Батарея (статических) конденсаторов

Компенсирующее устройство, состоящее из конденсаторов, соединенных последовательно или параллельно, и предназначенное для генерации реактивной мощности в узле сети (поперечная компенсация) или для уменьшения реактивного сопротивления линии (продольная компенсация)

В

Ветвь электрической сети

Участок электрической сети, состоящий из последовательно соединенных элементов с одним и тем же током

Взаимная проводимость двух узлов

Сумма проводимостей всех ветвей, соединяющих данные узлы

Волновое сопротивление линии

Сопротивление, связывающее токи прямой и обратной последовательности волны с соответствующими напряжениями

Вольтодобавочные трансформаторы

Трансформаторы, предназначенные для продольного, поперечного или продольно – поперечного регулирования напряжения в отдельной линии, группе линий или на трансформаторе

Временное перенапряжение

Повышение напряжения в точке электрической сети выше 1,1 от номинального продолжительностью более 10 мсек, возникающее в системах электропитания при коммутациях или коротких замыканиях

Время восприятия фликера

Минимальное время для субъективного восприятия человеком фликера, вызванного колебаниями напряжения определенной формы

Время наибольших потерь

Время, за которое при передаче наибольшей нагрузки в электрической сети возникнут те же потери электроэнергии, что и при работе сети по действительному графику нагрузки

Встречное регулирование напряжения

Регулирование напряжения, при котором напряжение повышается в периоды повышенных нагрузок и понижается в периоды сниженных нагрузок

Вторичное регулирование частоты

Регулирование частоты в энергосистеме с использованием статических характеристик регуляторов скорости турбин

Г

Глубокий ввод

Система электроснабжения потребителя от электрической сети высшего класса напряжения, характеризуемая наименьшим числом ступеней трансформации

Г-образная схема замещения

Условное представление объекта электрической сети в виде продольной ветви (последовательно соединенных активного и реактивного сопротивлений), в начале или в конце которой расположена поперечная ветвь (параллельно соединенные активная и реактивная проводимости), характерна для трансформаторов

Годовой график суточных максимумов нагрузки

Кривая наибольших значений суточных графиков нагрузки в течение года

Годовые эксплуатационные расходы (издержки)

Финансовые затраты, необходимые для эксплуатации объекта электрической системы в течение определенного периода времени

График нагрузки

Графическое изображение изменения нагрузки потребителем во времени

График нагрузки годовой по продолжительности

График, показывающий суммарную длительность различных значений нагрузки в течение года

Грозозащитный трос

Проводник, заземленный непосредственно или через искровые промежутки, расположенный над фазными проводами воздушной линии электропередачи или подстанции и предназначенный для защиты их от прямых ударов молнией

Д

Диапазон регулирования напряжения на трансформаторе

Разность номинальных напряжений двух крайних ответвлений обмотки трансформатора, выраженная в процентах от среднего напряжения данной обмотки

Динамическая устойчивость электрической системы

Способность электрической системы вернуться к установившемуся режиму, близкому к исходному, после больших возмущений (резких нарушений исходного установившегося режима)

Динамическая характеристика нагрузки

Зависимость активной или реактивной нагрузки от времени при определенных изменениях напряжения или частоты

Длительность провала напряжения

Интервал времени между начальным моментом провала напряжения и моментом восстановления напряжения до первоначального или близкого к нему

Доза фликера

Мера восприимчивости человека к воздействию фликера за установленный промежуток времени

Дисконтированные затраты

Экономический показатель, включающий единовременные затраты и годовые эксплуатационные расходы (издержки) при определенном их соотношении

Е

Емкостная проводимость линии

Параметр линии, обусловленный наличием емкостей между проводами фаз и проводами фаз и землей

Естественное распределение мощностей в замкнутой электрической сети

Распределение мощностей по участкам сети без влияния каких-либо специальных устройств, изменяющих его

З

Звено электрической сети

Участок в схеме замещения электрической сети, содержащий только активные и реактивные сопротивления

И

Идеальный трансформатор

Трансформатор, в котором отсутствуют потери мощности и энергии, но обладающий коэффициентом трансформации

Импульс напряжения

Резкое изменение напряжения в точке электрической сети, за которым следует восстановление напряжения до первоначального или близкого к нему за промежуток времени до нескольких миллисекунд

Инвестиционные вложения

Единовременные финансовые вложения, необходимые для сооружения электрической системы или её объекта

Индуктивное сопротивление (линии, трансформатора)

Параметр, обусловленный созданием и поддержанием магнитного поля между проводниками фаз и внутри проводников при протекании по ним переменного тока

Интегральные показатели качества напряжения

Обобщенные показатели, характеризующие качество напряжения за определенный период времени

К

Категория потребителя электрической энергии

Условное разделение потребителей электрической энергии в зависимости от требований к надежности их электроснабжения

Колебания напряжения

Часто повторяющиеся и происходящие относительно быстро отклонения напряжения в обе стороны от среднего значения отклонения напряжения и характеризующиеся показателями качества напряжение в виде размаха изменения напряжения и дозы фликера

Компенсирующее устройство

Устройство, предназначенное для выработки и (или) потребления реактивной мощности в узле нагрузки энергетической системы или для изменения реактивных параметров (реактивного сопротивления, реактивной проводимости) линии электропередачи

Конфигурация электрической сети

Структурная связь между источниками питания и точками потребления нагрузки в электрической сети

Корона

Явление ионизации воздуха вблизи поверхности провода, возникающее на работающей линии в случае превышения напряженности электрического поля на поверхности провода критического значения, и вызывающее дополнительные потери активной мощности, окисление проводов и появление радиопомех

Коэффициент временного перенапряжения

Величина, равная отношению максимального значения кривой амплитудных значений напряжения за время существования временного перенапряжения к

амплитуде номинального напряжения электрической сети

Коэффициент выгоды автотрансформатора

Показатель эффективности автотрансформатора, равный отношению его типовой мощности к номинальной

Коэффициент заполнения графика нагрузки

Отношение фактически выработанной (потребленной, отпущенной) электрической энергии к той энергии, которая могла быть выработана (потреблена, отпущена) за рассматриваемый период при наибольшей мощности

Коэффициент затухания

Показатель, характеризующий затухание модуля напряжения или тока на единицу длины при распространении электромагнитной волны вдоль линии

Коэффициент изменения фазы волны

Показатель, характеризующий поворот вектора напряжения или тока на единицу длины при распространении электромагнитной волны вдоль линии

Коэффициент неравномерности графика нагрузки

Отношение наименьшего значения мощности к наибольшему её значению за рассматриваемый период времени

Коэффициент полезного действия линии (экономический)

Значение коэффициента полезного действия линии, соответствующее минимальной стоимости передачи электрической энергии

Коэффициент попадания в максимум

Отношение значения нагрузки потребителя в момент максимума нагрузки системы к наибольшему значению данной нагрузки

Коэффициент распространения волны

Комплексный коэффициент, характеризующий как затухание, так и фазовый сдвиг вектора напряжения или тока при распространении электромагнитной волны вдоль линии

Коэффициент трансформации

Отношение высшего напряжения трансформатора к низшему в режиме холостого хода

Критическая частота

Наименьшее значение частоты по условиям устойчивости электрической системы и условиям работы собственных нужд электрических станций

Критическое напряжение в энергосистеме

Предельное наименьшее значение напряжения в узле энергетической системы по условиям статической устойчивости

Л

Лавина напряжения в энергетической системе

Явление лавинообразного снижения напряжения вследствие нарушения статической устойчивости энергетической системы и нарастающего дефицита реактивной мощности

Лавина частоты в энергетической системе

Явление лавинообразного снижения частоты в энергетической системе, вызванного нарастающим дефицитом активной мощности

Линия без потерь

Идеализированная линия электропередачи, в которой при расчетах не учитываются активное сопротивление и активная проводимость, т.е. делается допущение об отсутствии потерь активной мощности

Линия с равномерно распределенной нагрузкой

Линия электропередачи, в которой по всей длине или на отдельных участках на равных расстояниях друг от друга подключены равные нагрузки

Линия электропередачи

Электроустановка, состоящая из проводов, кабелей, изолирующих элементов и несущих конструкций, предназначенная для транспортировки передачи и распределения электрической энергии между двумя пунктами энергосистемы с возможным промежуточным отбором

- воздушная

Линия электропередачи, провода которой поддерживаются над землей с помощью опор и изоляторов через арматуру

- двухцепная

Линия электропередачи, имеющая два комплекта фазных или разнополярных электрических проводов

- кабельная

Линия электропередачи, выполненная одним или несколькими кабелями, уложенными непосредственно в землю, кабельные каналы, трубы, на кабельные конструкции, с соединительными, стопорными и концевыми муфтами (заделками) и крепежными деталями

- комбинированная

Линия электропередачи, на опорах которой подвешено несколько комплектов фазных или разнополярных проводов разных номинальных напряжений

- компактная

Линия электропередачи с большим, чем традиционно, наличием проводов в расщепленной фазе, которые сближенные между собой на допустимые расстояния по электрической прочности и зафиксированные изолирующими распорками

- системообразующая

Линия электропередачи, которая осуществляет электрическую связь между электрическими системами и от которой могут отходить ответвления

- многоцепная

Линия электропередачи, имеющая более двух комплектов фазных или разнополярных электрических проводов

- одноцепная

Линия электропередачи, имеющая один комплект фазных или разнополярных электрических проводов

- радиальная

Линия электропередачи, в которую электрическая энергия поступает только с одной стороны

- распределительная

Линия электропередачи, к которой подключен ряд трансформаторных подстанций или вводов к электроустановкам потребителей

- традиционная

Линия электропередачи, спроектированная согласно нормативно – технической документации

М

Максимум нагрузки энергосистемы

Наибольшее значение активной нагрузки энергетической системы за определенный период времени

Мачтовая трансформаторная подстанция

Открытая трансформаторная подстанция, оборудование которой установлено на одной или нескольких опорах линии электропередачи, не требующая наземных ограждений

Межсистемная связь

Одна или несколько линий электропередачи, непосредственно соединяющих электростанции или подстанции разных энергосистем

Местное регулирование напряжения

Регулирование напряжения, осуществляемое при помощи устройств, установленных в отдельных точках электрической сети

Минимум нагрузки энергосистемы

Наименьшее значение активной нагрузки за определенный период времени

Н

Нагрузка потребителя

Электрическая мощность, потребляемая электроприемником (потребителем) из сети

Нагрузка энергосистемы

Сумма нагрузок потребителей и потерь в электрических сетях в рассматриваемый период времени

Наибольшая потеря напряжения в электрической сети

Наибольшее из значений суммарной потери напряжения в данной электрической сети

Наибольшее длительно допустимое напряжение

Наибольшее значение напряжения, при котором непрерывная работа устройств электрической системы в течение длительного времени допустима по условиям эксплуатации

Накопители электрической энергии

Накопители энергии, предназначенные для накопления и хранения электрической энергии

Накопители энергии

Устройства, предназначенные для накопления энергии с целью ее использования в соответствии с требованиями режима работы энергетической системы

Натуральная мощность

Мощность, протекающая по линии при равенстве сопротивления приемника волновому сопротивлению линии

Независимый источник питания

Источник питания, на котором сохраняется напряжение в допустимых пределах при исчезновении его на другом или других источниках питания

Несимметрия напряжения

Искажение напряжения, связанное с несимметрией напряжений по фазам и характеризующееся показателями качества напряжения в виде коэффициентов несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательностям

Несинусоидальность напряжения

Искажение напряжения, связанное с отклонением формы кривой напряжения от синусоиды и характеризующееся показателями качества напряжения в ви-

де коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения и коэффициента n-ой гармонической составляющей напряжения

Номинальная частота

Значение частоты, указанное в паспорте электроустановки

Номинальное напряжение

Значение напряжения, указанное в паспорте соответствующего объекта электрической системы

Нормальный режим работы энергетической системы

Режим работы энергетической системы, при котором обеспечивается снабжение электрической энергией всех потребителей при поддержании ее качества в установленных пределах

О

Области экономически целесообразных номинальных напряжений

Области, ограниченные кривыми с координатами длины линий электропередачи, в которых передаваемая активная мощность соответствует равенству дисконтированных затрат при рассматриваемых двух смежных номинальных напряжениях

Ответвление (от линии электропередачи)

Линия электропередачи, присоединенная одним концом к другой линии электропередачи в промежуточной точке

Ответвление трансформатора

Вывод на обмотке трансформатора, соответствующий определенному числу витков этой обмотки и соответственно определенному номинальному напряжению

Отклонение напряжения

Разность модулей действующих значений фактического и номинального напряжения в рассматриваемой точке электрической системы, выраженная в вольтах или процентах (от номинального напряжения)

Отклонение частоты

Алгебраическая разность между фактическим значением частоты и ее номинальным значением

П

Падение напряжения

Разность между действующими значениями напряжения (как вектора) по концам электрической системы

Параметр режима энергосистемы

Каждая величина из совокупности величин, характеризующих данное состояние энергетической системы (напряжение, ток, мощность, частота и т.п.)

Первичное регулирование частоты

Процесс изменения активной мощности генератора и потребителя при изменении частоты в соответствии с их статическими характеристиками

Переменные потери активной мощности

Потери активной мощности в элементах электрической системы, зависящие от нагрузки (нагрузочные потери)

Перепад напряжений

Разность или отклонение действующих значений напряжения в двух точках электрической системы одной ступени трансформации или приведенной к одной ступени

Переходный режим работы энергосистемы

Режим работы энергосистемы, при котором скорости изменения параметров настолько значительны, что они должны учитываться при рассмотрении конкретных практических задач

П-образная схема замещения

Условное представление объекта электрической сети в виде продольной ветви (последовательно соединенных активного и реактивного сопротивлений), по концам которой расположены поперечные ветви (параллельно соединен-

ные активная и реактивная проводимости), характерна для линий электропередачи

Подстанция (электрическая)

Электроустановка, предназначенная для приема, преобразования и распределения электрической энергии, состоящая из трансформаторов или других преобразователей электрической энергии, устройств управления, распределительных и вспомогательных устройств

Поперечная индуктивная компенсация параметров электропередачи

Поперечная компенсация параметров электропередачи при помощи индуктивностей

Поперечная компенсация

Компенсация параметров электропередачи при помощи устройств, включаемых в виде нагрузки

Поперечная составляющая падения напряжения

Проекция падения напряжения на мнимую ось (δU)

Поперечное регулирование напряжения

Изменение сдвига вектора напряжения по фазе

Послеаварийный режим энергосистемы

Установившийся режим энергетической системы после устранения аварийных условий

Постоянные потери активной мощности

Потери активной мощности в объектах электрической системы, не зависящие от нагрузки (потери холостого хода)

Потери активной мощности

Активная мощность, расходуемая в объектах электрической системы

Потери электрической энергии

Электрическая энергия, расходуемая в объектах электрической сети

Потеря напряжения

Разность модулей напряжения по концам электрической сети

Потребитель электрической энергии

Электроприемник или группа электроприемников, объединенных технологическим процессом и размещающихся на определенной территории

Преобразовательная подстанция

Электрическая подстанция, предназначенная для преобразования рода тока или его частоты

Приведенное напряжение

Значение напряжения, пересчитанное через коэффициенты трансформации к ступени трансформации, принятой за базисную

Приемник электрической энергии

Аппарат, агрегат, механизм, предназначенный для преобразования электрической энергии в другой вид энергии

Принудительное распределение мощностей в замкнутой электрической сети

Преобразование естественного распределения мощностей в экономически выгодное за счет применения каких-либо специальных средств

Провал напряжения

Внезапное понижение напряжения в точке электрической сети ниже 0,9 от номинального, за которым следует восстановление напряжения до первоначального или близкого к нему через промежуток времени от десяти миллисекунд до нескольких секунд

Продолжительность (время) использования наибольшей нагрузки

Время (в часах), за которое при наибольшей мощности (или токе) потребляется (вырабатывается) то же количество энергии, что и в реальных условиях при фактически изменяющейся во времени нагрузке

Продольная компенсация

Компенсация параметров электропередачи при помощи устройств, включаемых в линию последовательно

Продольная емкостная компенсация

Продольная компенсация при помощи емкости

Продольная составляющая падения напряжения

Проекция падения напряжения на действительную ось (ΔU)

Продольное регулирование напряжения

Изменение модуля напряжения без изменения сдвига его по фазе

Продольно-поперечное регулирование напряжения

Комплексное изменение напряжения по модулю и по фазе

Пропускная способность линий электропередачи

Наибольшая активная мощность, которую можно передавать в достаточно длительном установившемся режиме с учетом технических ограничений

Р

Распределительное устройство

Электроустановка, предназначенная для приема и распределения электрической энергии на одном напряжении и содержащая коммутационные аппараты и соединяющие их сборные шины (секции шин), устройства управления и защиты

Распределительный пункт

Электрическое распределительное устройство, предназначенное для приема и распределения электрической энергии без преобразования и трансформации, не входящее в состав подстанции

Расходная характеристика

Зависимость расхода энергоносителя от нагрузки

Расщепленная фаза

Фаза линии электропередачи, выполненная несколькими проводами, расположенными на определенном расстоянии один от другого

Реактивная проводимость трансформатора

Параметр трансформатора, обусловленный намагничиванием сердечника

Реактор

Статическое электромагнитное устройство, содержащее катушку индуктивности и предназначенное для компенсации емкостных токов на землю (зазем-

ляющий реактор), ограничения токов короткого замыкания (токоограничивающий реактор) или регулирования реактивной мощности и напряжения (шунтирующий реактор)

Регулирование напряжения

Мероприятия, осуществляемые для поддержания надлежащего уровня напряжения

Регулирование частоты

Мероприятия, осуществляемые для поддержания частоты в допустимых пределах

Регулирующий эффект нагрузки по напряжению

Изменение активной или реактивной нагрузки при изменении напряжения, препятствующее данному возмущению

Регулирующий эффект нагрузки по частоте

Изменение активной или реактивной нагрузки электроэнергетической системы при изменении частоты, препятствующее данному возмущению

Регулятор скорости турбины

Устройство, предназначенное для изменения мощности турбины таким образом, чтобы стремиться восстановить прежнюю частоту переменного тока при ее отклонении

Режим работы энергосистемы

Состояние энергетической системы, характеризующееся совокупностью условий и величин, в какой-либо момент времени или на интервале времени

Режим стабилизации напряжения

Поддержание заданного значения напряжения за счет его регулирования в определенной точке электрической сети

С

Себестоимость передачи электроэнергии

Удельные годовые эксплуатационные расходы (издержки) на единицу переданной по сети электроэнергии

Синхронный компенсатор

Синхронный двигатель, работающий в режиме холостого хода без нагрузки на валу, применяемый для выдачи (в режиме перевозбуждения) или потребления (в режиме недовозбуждения) реактивной мощности

Система электроснабжения

Совокупность электроустановок, предназначенных для распределения и обеспечения потребителей электрической энергией

Собственная проводимость узла

Сумма проводимостей всех ветвей, сходящихся в данном узле

Совмещенный максимум нагрузки энергосистем

Максимум суммарной нагрузки работающих параллельно энергосистем

Среднее геометрическое расстояние между фазами линии

Параметр линии, равный корню третьей степени из произведения междуфазных расстояний и влияющий на индуктивное сопротивление линии

Среднее отклонение напряжения

Среднее значение отклонений напряжения в рассматриваемой точке электрической системы за определенный период времени

Среднеквадратичная нагрузка энергосистемы

Среднеквадратичное значение ряда нагрузок за определенный период времени (сутки, месяц, квартал, год)

Среднеквадратичное отклонение напряжения

Среднеквадратичное значение отклонения напряжения в рассматриваемой точке электрической системы за определенный период времени

Средняя нагрузка энергетической системы

Значение нагрузки, равное отношению выработанной (или потребленной) за определенный период времени энергии, к длительности этого периода в часах

Статическая устойчивость электрической системы

Способность электрической системы возвращаться к исходному режиму (или весьма близкому к нему) после малых возмущений режима

Статическая характеристика нагрузки

Зависимость активной или реактивной нагрузки от напряжения при постоянной частоте или от частоты при постоянном напряжении

Стоимость передачи электроэнергии

Удельные дисконтированные затраты на единицу переданной по сети электрической энергии

Степень регулирования напряжения

Разность номинальных напряжений двух ближайших ответвлений обмотки трансформатора, выраженная в процентах от среднего напряжения данной обмотки

Суммарная потеря напряжения

Сумма потерь напряжения в последовательно включенных элементах электрической системы

Схема замещения

Схематическая модель, отображающая реальный объект электрической сети (линию, трансформатор и др.) в виде режимных параметров по его концам

Т

Типовая мощность автотрансформатора

Мощность, на которую рассчитывается общая обмотка автотрансформатора

Токопровод

Устройство, предназначенное для передачи и распределения электрической энергии, состоящее из неизолированных или изолированных проводников и относящихся к ним изоляторов, защитных оболочек, ответвительных устройств, поддерживающих и опорных конструкций

Точка раздела мощностей

Пункт электрической системы (электрической сети), к которому по всем линиям поступает мощность

Транспозиция (линии электропередачи)

Перемена взаимного расположения фаз линии электропередачи с целью компенсации электромагнитной несимметрии линии электропередачи

Трансформатор

Статическое электромагнитное устройство, предназначенное для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения той же частоты

Трансформаторная подстанция

Электрическая подстанция, предназначенная для преобразования электрической энергии одного уровня напряжения в энергию другого уровня напряжения с помощью трансформаторов при неизменной частоте

Трансформатор с регулированием напряжения без возбуждения (ПБВ)

Трансформатор, содержащий устройство, позволяющее изменять коэффициент трансформации трансформатора только после отключения его от сети (только после снятия с него напряжения)

Трансформатор с регулированием напряжения под нагрузкой (РПН)

Трансформатор, содержащий устройство, позволяющее изменять коэффициент трансформации трансформатора без отключения его от сети, т.е. под нагрузкой

Третичное регулирование частоты

Процесс изменения мощности станций при изменении частоты, связанный с перераспределением активных нагрузок в соответствии с экономическими соображениями

У

Угловая характеристика активной мощности линии

Зависимость передаваемой активной мощности по линии электропередачи от угла между векторами напряжения в ее начале и конце

Узел

Точка соединения двух и более ветвей электрической сети

Уравнительный ток (мощность)

Ток (мощность) в линии электропередачи с двумя источниками питания различного напряжения, либо ток (мощность) в замкнутом контуре, обусловленный действием уравнительной ЭДС

Уровень напряжения в пунктах электрической сети

Значение напряжения в пунктах электрической сети, усредненное по времени или по некоторому числу узлов сети

Установившийся режим работы энергосистемы

Режим работы энергосистемы, при котором его параметры могут приниматься неизменными или очень медленно изменяющимися

Установленная активная мощность энергосистемы

Суммарная номинальная активная мощность генераторов электрических станций электроэнергетической системы

Ф

Фликер

Субъективное восприятие человеком колебаний светового потока искусственных источников освещения, вызванных колебаниями напряжения в электрической сети, питающей эти источники

Х

Характеристика удельных приростов

Зависимость удельного прироста от нагрузки

Ц

Централизованное регулирование напряжения

Регулирование напряжения, осуществляемое при помощи устройств, установленных в центрах питания электрической системы

Центр питания

Распределительное устройство генераторного напряжения электрической станции или распределительное устройство вторичного напряжения пониженной подстанции энергетической системы, к которым присоединены распределительные сети данного района

Ш

Шаг транспозиции

Длина участка линии электропередачи между двумя последовательными пунктами транспозиции

Э

Эквивалентный радиус провода

Физический параметр воздушной линии электропередачи, характеризующий расщепленную фазу и влияющий на индуктивное сопротивление линии и на потери, связанные с короной, и увеличивающее пропускную способность

Экономическая плотность тока

Плотность тока при выбранном сечении проводов фаз линии электропередачи, соответствующая минимуму дисконтированных затрат

Экономические интервалы мощностей

Кривые зависимостей дисконтированных затрат линии при различных сечениях проводов от передаваемой по линии мощности (тока), используемые при выборе сечений проводов

Экономическое распределение мощностей в замкнутой электрической сети

Распределение мощностей по участкам сети, при котором суммарные потери активной мощности в сети минимальны

Экономическое сечение линии

Сечение проводов фаз линии, соответствующее минимуму стоимости передачи электроэнергии

Электрическая сеть

Совокупность подстанций и соединяющих их линий электропередачи, предназначенная для, передачи и распределения электрической энергии

- замкнутая

Электрическая сеть, каждая линия электропередачи которой входит хотя бы в один замкнутый контур

- однородная

Электрическая сеть, в которой на каждом участке отношение активного сопротивления к индуктивному одинаково

- радиальная

Электрическая сеть, состоящая из радиальных линий, передающих электрическую энергию потребителю от одного источника питания

- распределительная

Электрическая сеть, обеспечивающая распределение электрической энергии между пунктами потребления

- системообразующая

Электрическая сеть высших классов напряжения, обеспечивающая надежность и устойчивость энергетической системы как единого объекта

Электрическая система

Электрическая часть энергетической системы

Электрическая станция

Энергоустановка для производства электрической энергии или электрической энергии и теплоты, содержащая строительную часть, оборудование для преобразования энергии и вспомогательное оборудование

Электропередача

Совокупность линий электропередачи и подстанций, предназначенная для передачи электрической энергии из одного района энергосистемы в другой

Электроснабжение

Обеспечение потребителей электрической энергией

Электроустановка

Энергоустановка, предназначенная для производства или преобразования, передачи, распределения или потребления электрической энергии

Электроэнергетика

Раздел энергетики, обеспечивающий электрификацию страны на основе рационального расширения производства и использования электрической энергии

Электроэнергетическая система

Электрическая часть энергосистемы и питающиеся от нее приемники электрической энергии, объединенные общностью процесса производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии

Энергетика

Область народного хозяйства, науки и техники, охватывающая энергетические ресурсы, производство, транспорт, передачу, преобразование, аккумулярование, распределение и потребление различных видов энергии

Энергетическая система (энергосистема)

Совокупность электрических станций, электрических и тепловых сетей, соединенных между собой и связанных общностью режима в непрерывном процессе производства, преобразования и распределения электрической энергии и теплоты при общем управлении этим режимом

- единая

Совокупность объединенных энергетических систем, соединенных межсистемными связями, при общем режиме работы и имеющая общее диспетчерское управление

- изолированная

Энергетическая система, не имеющая электрических связей для параллельной работы с другими энергетическими системами

- объединенная

Совокупность нескольких энергетических систем, объединенных общим режимом работы, имеющая общее диспетчерское управление как высшую сту-

пень управления по отношению к диспетчерским управлениям входящих в нее энергосистем

Энергоустановка

Комплекс взаимосвязанного оборудования и сооружений, предназначенный для производства или преобразования, передачи, накопления, распределения или потребления энергии

ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ВЫРАЖЕНИЯ

Активное сопротивление обмоток трансформатора

$$R_{\Gamma} = \frac{\Delta P_{\kappa} U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ}}^2}.$$

Активная проводимость трансформатора

$$G_{\Gamma} = \frac{\Delta P_{\kappa}}{U_{\text{НОМ}}^2}.$$

Активная проводимость линии

$$g_0 = \frac{\Delta P_{\kappa 0}}{U^2}.$$

Активное сопротивление проводника фазы линии в зависимости от температуры окружающей среды Θ

$$r_{\Theta} = r_0(1 + 0,004(\Theta - 20^{\circ}\text{C})),$$

где: r_0 – в Ом/км, Θ - в град $^{\circ}\text{C}$.

Волновое сопротивление линии

$$z_{\text{в}} = \sqrt{\frac{r_0 + jx_0}{g_0 + jb_0}} = z_{\text{в}} e^{-j\zeta_{\text{в}}}$$

Волновая длина линии

$$\lambda_{\text{в}} = \alpha_0 \ell.$$

Время наибольших потерь

$$\tau = \frac{\int_0^T S^2(t) dt}{S_{\text{нб}}^2} \approx \frac{\sum S_j^2 \Delta t_j}{S_{\text{нб}}^2};$$

$$\tau_{\text{нб}} = (0,124 + T_{\text{нб}} 10^{-4})^2 8760$$

Время использования наибольшей полной мощности

$$T_{\text{нб}} = \frac{\sum S_j \Delta t_j}{S_{\text{нб}}}.$$

Время использования наибольшей активной мощности

$$T_{\text{нб}а} = \frac{\sum P_j \Delta t_j}{P_{\text{нб}}}.$$

Дисконтированные затраты

$$З = E_{\text{н}} K + И.$$

Зарядная мощность линии

$$Q_b = U^2 b_0 L.$$

Зарядный ток линии

$$I_3 = b_{\text{л}} U_{\text{ф}}.$$

Издержки (годовые эксплуатационные расходы)

$$И = pK + \Delta W_x \beta_x + \Delta W_{\text{н}} \beta_{\text{н}}.$$

Капитальные (инвестируемые) затраты в подстанцию

$$K_{\text{п}} = K_{\text{т}} + K_{\text{рy}} + K_{\text{пocт}}.$$

Критическое напряжение возникновения короны

$$U_{\text{к}} = 84,6 m_0 m_{\text{п}} \delta r_{\text{пр}} \lg \frac{D_{\text{cp}}}{r_{\text{пр}}}.$$

Мощность на головных участках в линии с двухсторонним питанием

$$\underline{S}_{\text{A}} = \frac{U_{\text{A}} - U_{\text{B}}}{\underline{Z}_{\Sigma}} U_{\text{ном}} + \frac{\sum \underline{S}_i \underline{Z}_{i\text{B}}}{\underline{Z}_{\Sigma}};$$

$$\underline{S}_{\text{B}} = \frac{U_{\text{B}} - U_{\text{A}}}{\underline{Z}_{\Sigma}} U_{\text{ном}} + \frac{\sum \underline{S}_i \underline{Z}_{i\text{A}}}{\underline{Z}_{\Sigma}}.$$

Мощность на головном участке в однородной линии с двухсторонним питанием

$$\underline{S}_{\text{A}} = \frac{\sum \underline{S}_i \underline{L}_{i\text{B}}}{\underline{L}_{\Sigma}}.$$

Напряжение короткого замыкания лучей схемы замещения трехобмоточного трансформатора

$$U_{\text{кВ}}\% = 0,5(U_{\text{кВH}} + U_{\text{кBC}} - U_{\text{кCH}});$$

$$U_{\text{кC}}\% = 0,5(U_{\text{кBC}} + U_{\text{кCH}} - U_{\text{кBH}});$$

$$U_{\text{кH}}\% = 0,5(U_{\text{кВH}} + U_{\text{кCH}} - U_{\text{кBC}}).$$

Нагрузочные потери активной мощности в трансформаторе

$$\Delta P_{HT} = \Delta P_{\kappa} \left(\frac{S}{S_{\text{НОМ}}} \right)^2.$$

Нагрузочные потери активной мощности

$$\Delta P_{\text{H}} = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R = 3I^2 R.$$

Нагрузочные потери реактивной мощности

$$\Delta Q_{\text{H}} = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} X = 3I^2 X.$$

Нагрузочные потери реактивной мощности в трансформаторе

$$\Delta Q_{HT} = \frac{U_{\kappa} \%}{100} \frac{S^2}{S_{\text{НОМ}}}.$$

Натуральная мощность линии

$$S_{\text{НАТ}} = \frac{U^2}{z_{\text{B}}^*}.$$

Падение напряжения

$$\underline{\Delta U} = \Delta U + j\delta U = \frac{PR + QX}{U} + j \frac{PX - QR}{U}.$$

Потери короткого замыкания лучей схемы замещения трехобмоточного трансформатора

$$\Delta P_{\text{KB}} = 0,5(\Delta P_{\text{KBH}} + \Delta P_{\text{KBC}} - \Delta P_{\text{KCH}});$$

$$\Delta P_{\text{KC}} = 0,5(\Delta P_{\text{KBC}} + \Delta P_{\text{KCH}} - \Delta P_{\text{KBH}});$$

$$\Delta P_{\text{KH}} = 0,5(\Delta P_{\text{KBH}} + \Delta P_{\text{KCH}} - \Delta P_{\text{KBC}}).$$

Потери реактивной мощности холостого хода в трансформаторе

$$\Delta Q_x = \frac{I_x \% S_{\text{НОМ}}}{100} (b_{\text{TP}} U_{\text{H}}^2).$$

Потери мощности на корону

$$\Delta P_{\text{K}} = \Delta P_{\text{K0}} L = q_{\text{T}} \cdot U_{\text{H}}^2$$

Постоянная распространения электромагнитной волны

$$\underline{\gamma}_0 = \sqrt{(r_0 + jx)(g_0 + jb_0)} = \beta_0 + j\alpha_0.$$

Потери электроэнергии холостого хода.

$$\Delta W_x = \Delta P_x \cdot 8760.$$

Потери электроэнергии по методу графического интегрирования

$$\Delta W_H = \sum \Delta P_j \Delta t_j.$$

Потери электроэнергии по методу среднеквадратичной мощности

$$\Delta W_H^{\text{ср.кв}} = \frac{S_{\text{ср.кв}}^2}{U_{\text{ном}}^2} R \cdot 8760.$$

Потери электроэнергии по методу времени наибольших потерь

$$\Delta W_H = \frac{S_{\text{нб}}^2}{U^2} R \cdot \tau.$$

Потери электроэнергии по методу средних нагрузок

$$\Delta W_H = \Delta P_{\text{ср}} T k_{\phi};$$

для периода, равного году, где:

$$k_{\phi} = \frac{1090}{T_{\text{нба}}} + 0,876.$$

Расчетное сечение линий, соответствующее допустимой потере напряжения:

- при постоянном сечении вдоль линий

$$F_{\text{расч}} = \frac{\rho \sum P_i L_i}{\Delta U_{\text{а доп}} U_{\text{ном}}};$$

- при одинаковой плотности тока на всех участках линии

$$F_{\text{ил}} = \frac{I_{\text{ил}}}{J_{\Delta U}}, \quad J_{\Delta U} = \frac{\Delta U_{\text{а доп}}}{\sqrt{3} \rho \sum_{i=1}^{n-1} l_{\text{ил}} \cos \phi_{\text{ил}}},$$

- при минимальном расходе проводникового материала

$$F_{\text{ил}} = k_p \sqrt{P_{\text{ил}}}, \quad k_p = \frac{\rho \sum_{i=1}^{n-1} l_{\text{ил}} \sqrt{P_{\text{ил}}}}{\Delta U_{\text{а доп}} U_{\text{ном}}}.$$

Реактивная проводимость линии

$$b_0 = \omega C_{\text{раб}} = 2\pi f C_0$$

Реактивное сопротивление двухобмоточного трансформатора

$$X_T = \frac{U_K \% U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ}} 100}.$$

Реактивная проводимость трансформатора

$$B_T = \frac{\Delta Q_x}{U_{\text{НОМ}}^2} = \frac{I_{x\%} S_H}{100 \cdot U_H}.$$

Реактивное сопротивление фазы воздушной линии

$$x_0 = x_0' + x_0'' = (2\pi f \cdot 4,61g \frac{D_{\text{cp}}}{r_{\text{пр}}} + 2\pi f \cdot 0,5\mu) \cdot 10^{-4} = 0,1441g \frac{D_{\text{cp}}}{r_{\text{пр}}} + 0,0157$$

где: $r_{\text{пр}}$ и D_{cp} – в см.

Себестоимость передачи электроэнергии

$$\beta_{\text{п}} = \frac{И}{W}.$$

Скорость распространения электромагнитной волны

$$v = \frac{\omega}{\alpha_0}.$$

Средневзвешенное время использования наибольшей нагрузки

$$T_{\text{ср.взв}} = \frac{\sum P_{\text{нб}} T_{\text{нб}}}{k_0 \sum P_{\text{нб}}}.$$

Среднегеометрическое расстояние между фазами

$$D_{\text{cp}} = \sqrt[3]{D_{\text{AB}} D_{\text{BC}} D_{\text{CA}}}.$$

Стоимость передачи электроэнергии

$$C_{\text{п}} = \frac{3}{W}.$$

Среднеквадратичная мощность

$$S_{\text{ср.кв}} = \sqrt{\frac{\int S^2(t) dt}{8760}} \approx \sqrt{\frac{\sum S_j^2 \Delta t_j}{8760}};$$

$$S_{\text{ср.кв}} = S_{\text{нб}}(0,12 + T_{\text{нб}} 10^{-4}).$$

Ток в сети

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} U_{\text{НОМ}}}.$$

Энергия

$$W = P_{\text{нб}} T_{\text{нба}}.$$

Эквивалентный радиус расщепленной фазы

$$R_{\text{эк}} = \sqrt[N]{r_{\text{пр}} a_{\text{ср}}^{N-1}}.$$

Экономичное номинальное напряжение линии

$$U_{\text{номз}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P}}},$$

где: P – в МВт, L – в км.

Экономическое сечение проводников фазы линии

$$F_{\text{э}} = \frac{I_{\text{нб}}}{J_{\text{э}}}.$$

Условные обозначения, использованные в формулах:

r_0 – удельное активное сопротивление линии при температуре окружающей среды 20°C ;

L, ℓ – длина линии;

$r_{\text{пр}}$ – радиус провода;

x_0^{\sim} – внешнее удельное реактивное сопротивление линии;

$x_0^{\sim\sim}$ – внутреннее удельное реактивное сопротивление линии;

μ – магнитная проницаемость материала провода;

f – частота, Гц;

$D_{\text{AB}}, D_{\text{BC}}, D_{\text{CA}}$ – расстояние между проводами соответственно фаз А, В, С;

$\Delta P_{\text{к}}$ – среднегодовые потери мощности на корону;

$\Delta P_{\text{к0}}$ – удельные среднегодовые потери мощности на корону;

$U_{\text{к}}$ – критическое напряжение короны;

m_0 – коэффициент гладкости (шероховатости) провода;

$m_{\text{п}}$ – коэффициент погоды;

δ – относительная плотность воздуха;

U – напряжение;

C_0 – удельная рабочая емкость;

ω – циклическая частота;

Q_b – зарядная мощность линии;

R – радиус провода;

$R_{\text{эк}}$ – эквивалентный радиус провода расщепленной фазы;

N – число проводов в расщепленной фазе;

$a_{\text{ср}}$ – среднегеометрическое расстояние между проводами одной фазы;

$\Delta P_{\text{к}}$ – потери короткого замыкания трансформатора;

$U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение обмотки трансформатора, линии;

$S_{\text{ном}}$ – номинальная мощность трансформатора;

$\Delta P_{\text{кВ}}, \Delta P_{\text{кС}}, \Delta P_{\text{кН}}$ – потери короткого замыкания для обмоток высшего, среднего и низшего напряжений трансформатора;

$\Delta P_{\text{кВН}}, \Delta P_{\text{кВС}}, \Delta P_{\text{кСН}}$ – потери короткого замыкания для пар обмоток трехобмоточного трансформатора;

$U_{\text{к}}\%$ – напряжение короткого замыкания трансформатора;

$U_{\text{кВ}}\%, U_{\text{кС}}\%, U_{\text{кН}}\%$ – напряжения короткого замыкания для обмоток высшего, среднего и низшего напряжения трансформатора;

$U_{\text{кВН}}, U_{\text{кВС}}, U_{\text{кСН}}$ – напряжения короткого замыкания для пар обмоток трехобмоточного трансформатора;

ΔP_x – потери активной мощности холостого хода;

ΔQ_x – потери реактивной мощности холостого хода;

I – ток;

$I_x\%$ – ток холостого хода;

β_0 – коэффициент затухания волны;

α_0 – коэффициент изменения фазы волны;

$z_{\text{в}}$ – волновое сопротивление линии;

$\xi_{\text{в}}$ – аргумент волнового сопротивления;

P, Q, S – активная, реактивная и полная мощности;

R, X – активное и реактивное сопротивление;

ΔU – падение напряжения в элементе сети;

ΔU – потеря напряжения, продольная составляющая падения напряжения;

δU – поперечная составляющая падения напряжения;

ΔP_j – потери мощности в элементе в j-м режиме;

$\tau_{\text{нб}}$ – время наибольших потерь;

$\Delta P_{\text{ср}}$ – средние потери мощности;

T – период времени;

$k_{\text{ф}}$ – коэффициент формы графика нагрузки;

S_j – мощность в узле сети;

S_{ij}, Z_{ij} – мощность и полное сопротивление участка ij;

n_{ij} – коэффициент трансформации на участке ij;

$T_{\text{нб}}$ – время использования наибольшей нагрузки;

$T_{\text{ср взв}}$ – средне взвешенное время использования наибольшей нагрузки;

n – число участков контура;

U_0 – напряжение опорного узла;

K – капитальные затраты;

E_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных затрат (банковский процент по ссуде);

K_T – стоимость трансформатора;

K_{py} – стоимость распределительного устройства;

$K_{пост}$ – постоянная часть капитальных затрат в подстанцию;

p – отчисления от капитальных затрат линии на амортизацию, текущий ремонт и обслуживание;

W – количество электроэнергии;

$\Delta W_n, \Delta W_x$ – потери электроэнергии нагрузочные и холостого хода;

β_x и β_n – удельная стоимость 1 кВт·ч потерь энергии холостого хода и нагрузочных потерь;

$I_{нб}$ – наибольшее значение тока;

$J_э$ – экономическая плотность тока;

$\Delta U_{а доп}$ – допустимая потеря напряжения в активном сопротивлении линии;

ρ – удельное сопротивление материала проводника, для алюминия 31,5 Ом мм²/км, для меди 18,7 Ом мм²/км;

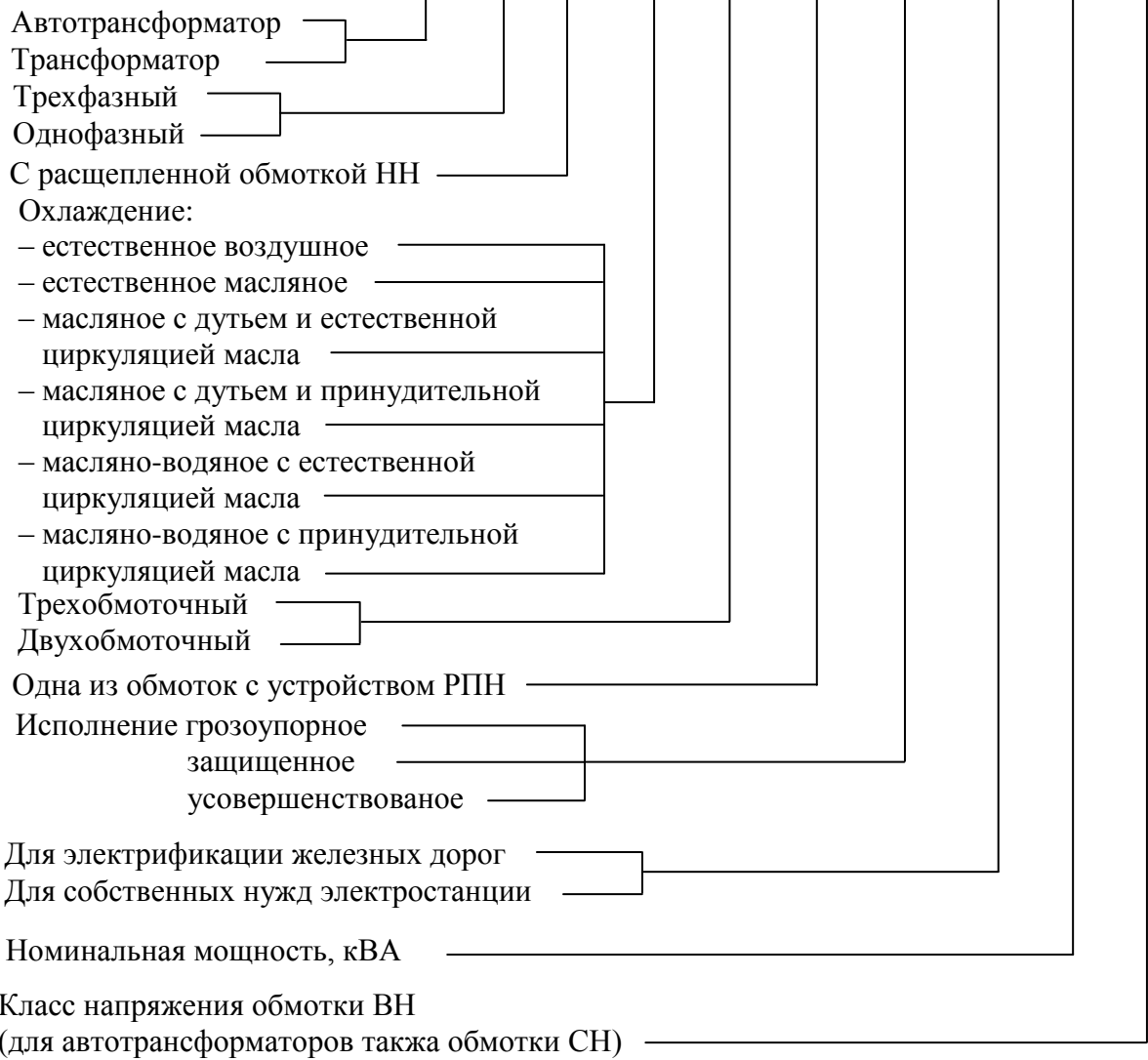
$F_{ил}$ – сечение провода в i -й линии;

$I_{ил}$ – ток в i -й линии;

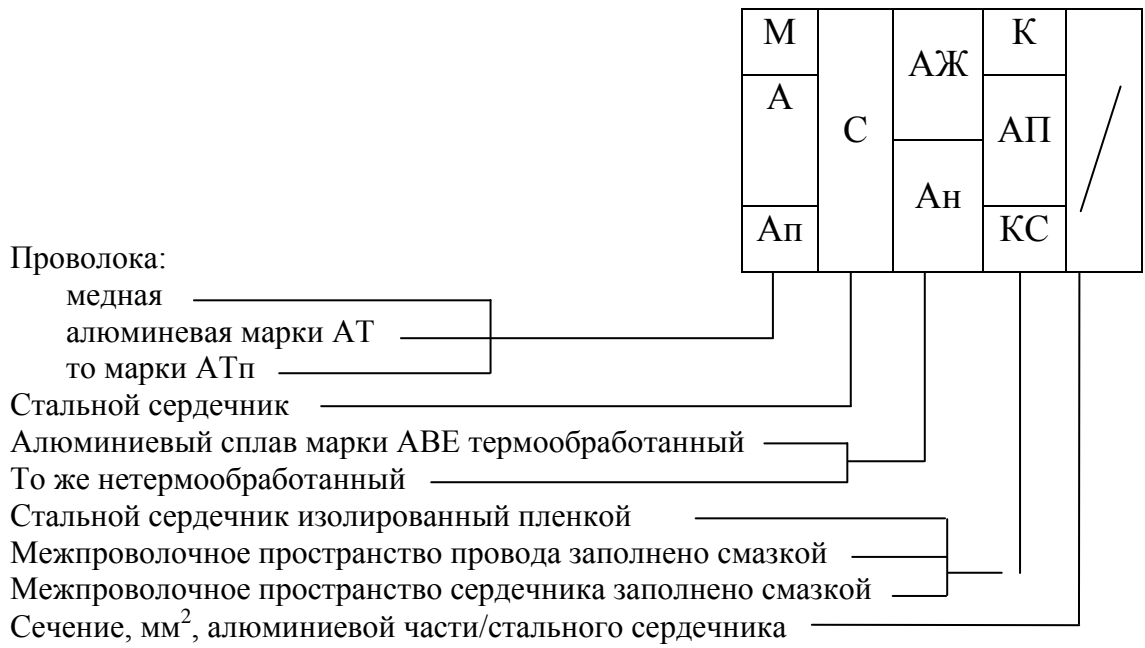
$P_{ил}$ – активная мощность в i -й линии.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В НАИМЕНОВАНИИ ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ ОБЪЕКТОВ

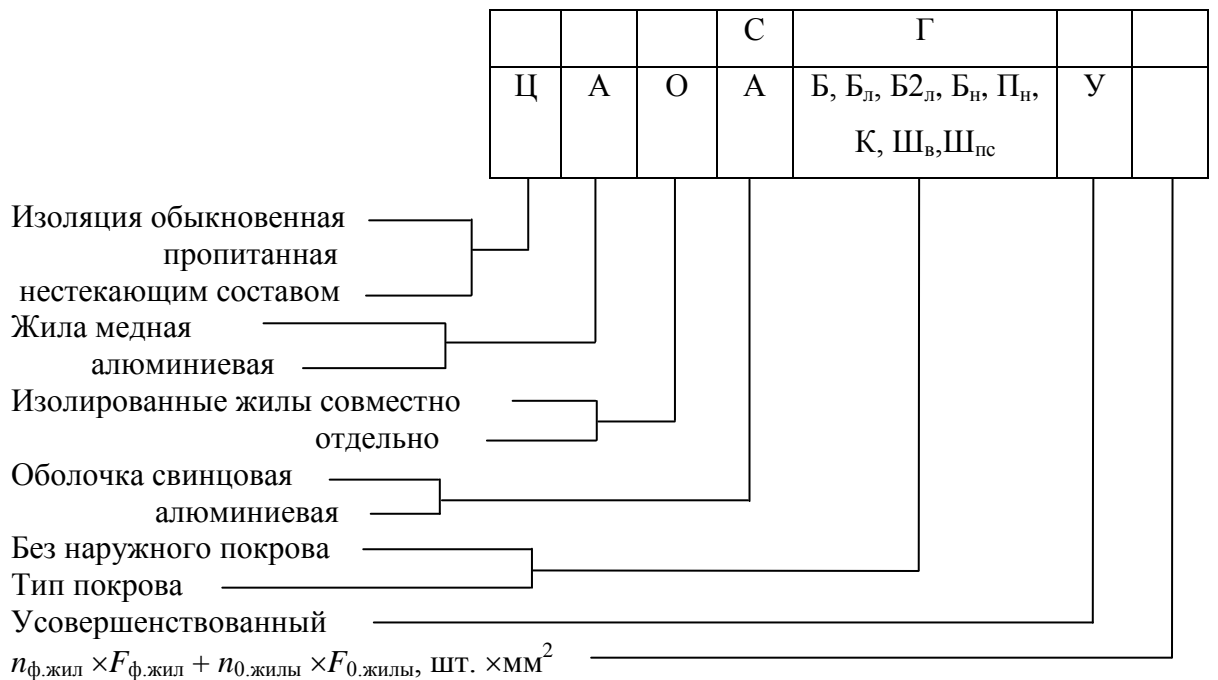
А	Т	Р	С	Т	Н АН	Г	Ж (Э)		
			М			З			
Д	у		С						
ДП									
МВ									
ФЦ									
	О								



Обозначение типов трансформаторов и автотрансформаторов

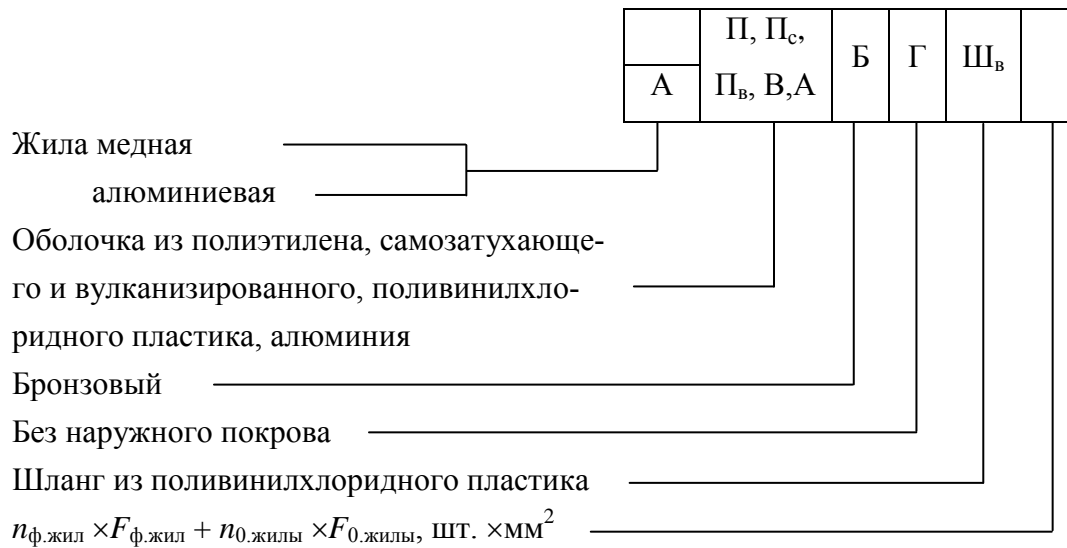


Обозначение марок проводов воздушных линий электропередачи

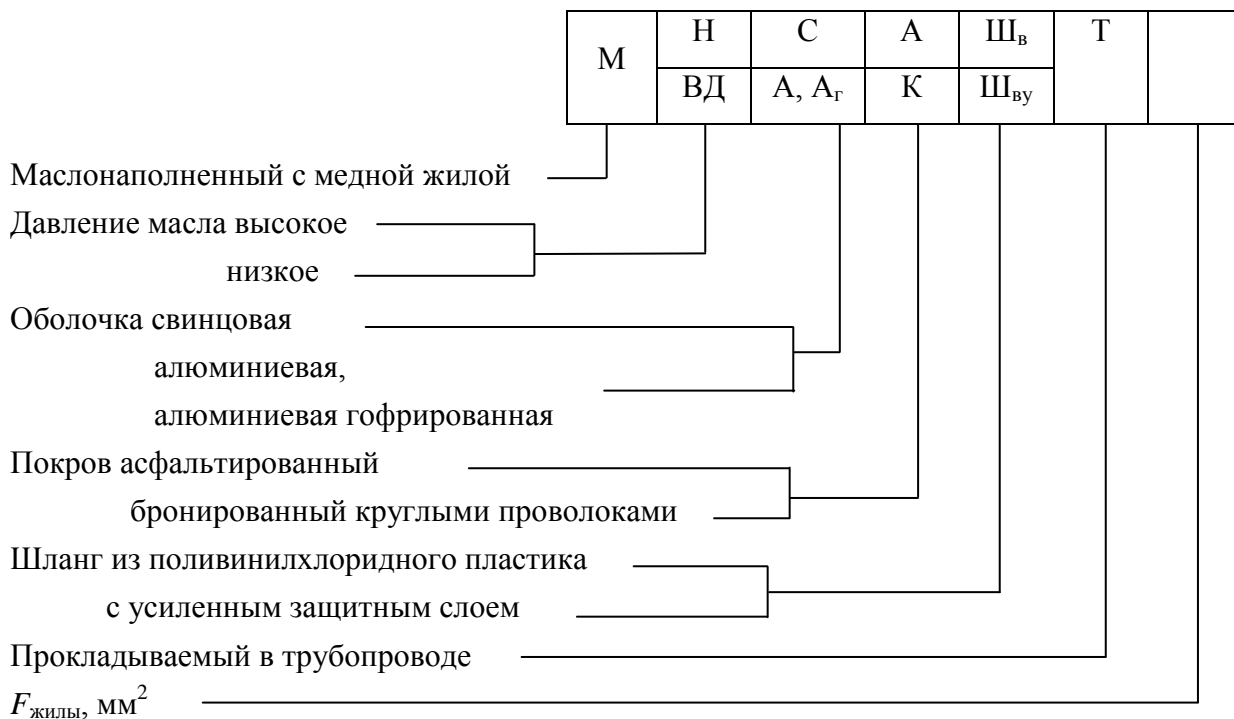


а - с бумажной изоляцией и вязкой пропиткой

Обозначение типов (марок) кабелей

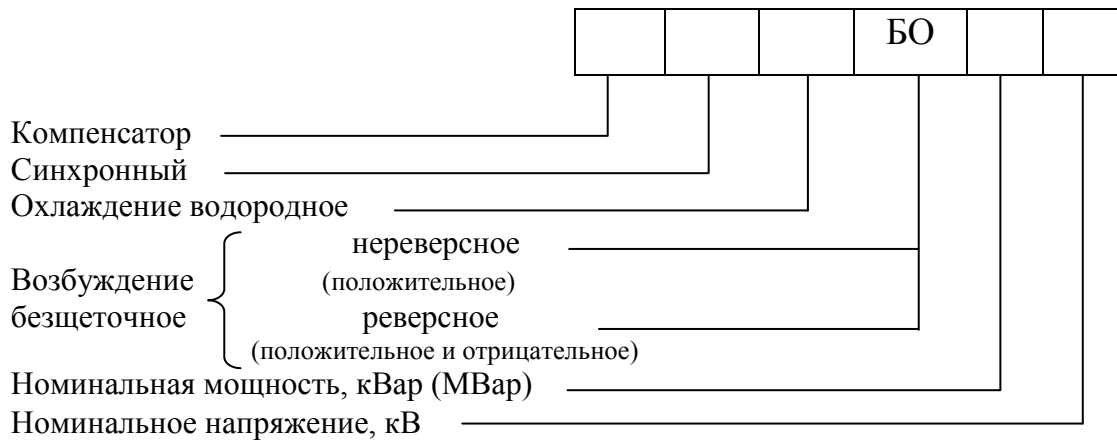


б – с пластмассовой изоляцией;
 Обозначение типов (марок) кабелей



в – маслонаполненные
 Обозначение типов (марок) кабелей

К	С	В	Б		
---	---	---	---	--	--



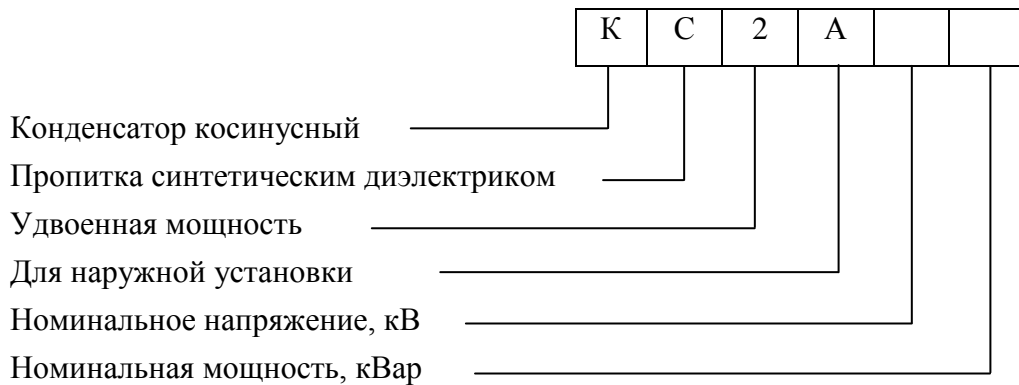
а – синхронные компенсаторы

Обозначение типов источников реактивной мощности (компенсирующих устройств)



б – статические тиристорные компенсаторы

Обозначение типов источников реактивной мощности (компенсирующих устройств)



в – статические компенсаторы

Обозначение типов источников реактивной мощности (компенсирующих устройств)

ПРИМЕРЫ РЕАЛИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ ЗАДАЧ

Пример 1. Определение параметров схемы замещения двухобмоточного трансформатора типа **ТДН-16000/110** (рис 1), приведенных к номинальному напряжению обмотки высшего напряжения.

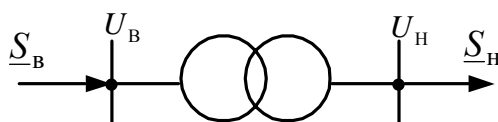


Рисунок 1 – Обозначение двухобмоточного трансформатора

Каталожные данные трансформатора:

$S_{н.т} = 16000$ кВА; $U_{н.в} = 115$ кВ; $U_{н.н} = 11$ кВ; $\Delta P_k = 85$ кВт; $\Delta P_x = 19$ кВт; $u_k = 10,5$ %; $I_x = 0,7$ %.

1. Активное сопротивление обмоток трансформатора определяется по выражению:

$$R_T = \Delta P_k \cdot U_{н.в}^2 / S_{н.т}^2 = 85 \cdot 10^{-3} \cdot 115^2 / 16^2 = 4,39 \text{ Ом.}$$

2. Для определения индуктивного сопротивления обмоток трансформатора находится значение u_k'' :

$$u_k' = \Delta P_k \cdot 100 / S_{н.т} = 85 \cdot 10^{-3} \cdot 100 / 16 = 0,53 \text{ %};$$
$$u_k'' = \sqrt{(u_k^2 - (u_k')^2)} = \sqrt{(10,5^2 - 0,53^2)} = 10,49 \text{ %}.$$

Поскольку $u_k'' = 10,49$ % незначительно отличается от $u_k = 10,5$ %, при расчете X_T вместо u_k'' использована величина u_k .

3. Индуктивное сопротивление обмоток трансформатора определяется по выражению:

$$X_T = u_k U_{н.в}^2 / (100 \cdot S_{н.т}) = 10,5 \cdot 115^2 / (100 \cdot 16) = 86,79 \text{ Ом.}$$

4. Активная проводимость намагничивания трансформатора определяется по выражению:

$$G_T = \Delta P_x / U_{н.в}^2 = 19 \cdot 10^{-3} / 115^2 = 1,4 \cdot 10^{-6} \text{ См.}$$

5. Реактивная проводимость намагничивания трансформатора определяется по выражению:

$$B_T = I_x \cdot S_{н.т} / (100 \cdot U_{н.в}^2) = 0,7 \cdot 16 / (100 \cdot 115^2) = 8,4 \cdot 10^{-6} \text{ См.}$$

6. Реактивная мощность потерь холостого хода трансформатора определяется по выражению:

$$\Delta Q_x = I_x \cdot S_{н.т} / 100 = 0,7 \cdot 16 / 100 = 0,112 \text{ Мвар.}$$

8. Полное сопротивление обмоток трансформатора равно:

$$Z_T = R_T + jX_T = (4,39 + j86,79) \text{ Ом.}$$

9. Полная проводимость намагничивания трансформатора равна:

$$Y_T = G_T - jB_T = (1,4 - j8,4) \cdot 10^{-6} \text{ См.}$$

10. Полная мощность потерь холостого хода трансформатора равна:

$$\Delta \underline{S}_x = \Delta P_x + j\Delta Q_x = (0,019 + j0,122) \text{ МВА.}$$

Полная и расчетная Г-образные схемы замещения двухобмоточного трансформатора приведены на рис 2 и 3.

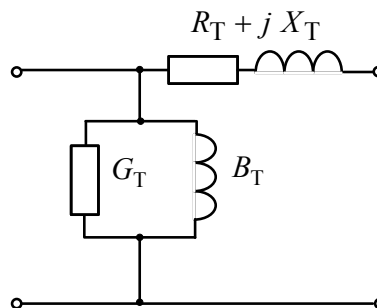


Рисунок 2 – Полная Г-образная схема замещения двухобмоточного трансформатора

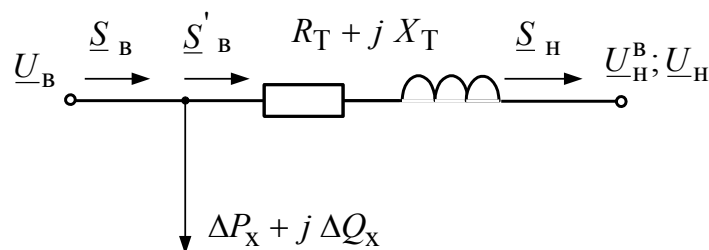


Рисунок 3 – Расчетная Г-образная схема замещения двухобмоточного трансформатора

Пример 2. Определение потерь мощности в двухобмоточном трансформаторе типа **ТДН-16000/110**, параметры схемы замещения которого рассчитаны в примере 1.

Нагрузка на стороне низшего напряжения трансформатора равна его номинальной мощности ($S_H/S_{H.T} = 1$).

1. Потери активной мощности в обмотках трансформатора определяются по выражениям:

$$\Delta P_T = (S_H^2/U_{H.B}^2) \cdot R_T = (16^2/115^2) \cdot 4,39 = 0,084 \text{ МВт}$$

либо

$$\Delta P_T = \Delta P_K \cdot (S_H/S_{H.T})^2 = 85 \cdot 10^{-3} (16/16)^2 = 0,085 \text{ МВт.}$$

2. Потери реактивной мощности в обмотках трансформатора определяются по выражениям:

$$\Delta Q_T = (S_H^2/U_{H.B}^2) \cdot X_T = (16^2/115^2) \cdot 86,79 = 1,64 \text{ Мвар}$$

либо

$$\Delta Q_T = (u_K \cdot S_{H.T}/100) \cdot (S_H/S_{H.T})^2 = (10,5 \cdot 16/100) \cdot (16/16)^2 = 1,64 \text{ Мвар.}$$

3. Общие потери мощности в обмотках трансформатора определяются по выражению:

$$\Delta \underline{S}_T = \Delta P_T + j\Delta Q_T = (0,085 + j1,64) \text{ МВА.}$$

4. Общие потери мощности в проводимостях трансформатора (потери холостого хода трансформатора) равны:

$$\Delta \underline{S}_X = \Delta P_X + j\Delta Q_X = (0,019 + j0,122) \text{ МВА.}$$

5. Общие потери активной мощности в трансформаторе равны:

$$\Sigma \Delta P_T = \Delta P_X + \Delta P_T = 19 \cdot 10^{-3} + 0,085 = 0,104 \text{ МВт.}$$

6. Общие потери реактивной мощности в трансформаторе равны:

$$\Sigma \Delta Q_T = \Delta Q_X + \Delta Q_T = 0,112 + 1,64 = 1,75 \text{ Мвар.}$$

7. Отношения потерь мощности в обмотках трансформатора и номинальной мощности трансформатора соответственно равны:

$$\Delta P_T/S_{H.T} = 0,085/16 = 0,0053; \Delta Q_T/S_{H.T} = 1,64/16 = 0,1025.$$

Таким образом, значение ΔP_T , составляет примерно 0,5 %, а ΔQ_T – примерно 10 % номинальной мощности трансформатора.

8. Отношения потерь мощности в проводимостях трансформатора (потерь холостого хода трансформатора) и номинальной мощности трансформатора соответственно равны:

$$\Delta P_x / S_{H.T} = 19 \cdot 10^{-3} / 16 = 0,0012; \Delta Q_x / S_{H.T} = 0,112 / 16 = 0,007.$$

Таким образом, значение ΔP_x , составляет примерно 0,12 %, а ΔQ_x – примерно 0,7 % номинальной мощности трансформатора.

9. Отношения общих потерь мощности в трансформаторе и номинальной мощности трансформатора соответственно равны:

$$\Sigma \Delta P_T / S_{H.T} = 0,104 / 16 = 0,0065; \Sigma \Delta Q_T / S_{H.T} = 1,75 / 16 = 0,109.$$

Таким образом, значение $\Sigma \Delta P_T$, составляет примерно 0,65 %, а $\Sigma \Delta Q_T$ – примерно 11 % номинальной мощности трансформатора.

Пример 3. Определение параметров схемы замещения автотрансформатора типа АТДЦТН-125000/330/110 (рис. 1), приведенных к номинальному напряжению обмотки высшего напряжения.

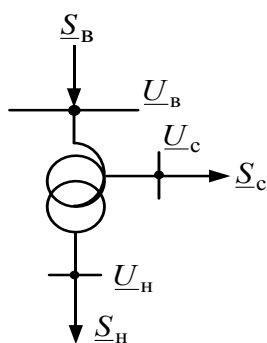


Рисунок 1 – Обозначение автотрансформатора

Каталожные данные автотрансформатора: $S_{H.T} = 125000$ кВА; $U_{H.B} = 330$ кВ; $U_{H.C} = 115$ кВ; $U_{H.H} = 10,5$ кВ; $\Delta P_{K.B-C} = \Delta P_K = 370$ кВт; $\Delta P_x = 115$ кВт; $u_{K.B-C} = 10$ %; $u_{K.B-H} = 35$ %; $u_{K.C-H} = 24$ %; $I_x = 0,5$ %; $S_{H.H} / S_{H.T} = \alpha_H = 0,5$.

1. Активные сопротивления обмоток автотрансформатора определяется по выражениям:

$$R_B = R_C = (\Delta P_K/2) \cdot U_{H.B}^2 / S_{H.T}^2 = (370 \cdot 10^{-3}/2) \cdot 330^2 / 125^2 = 1,29 \text{ Ом.}$$

$$R_H = R_B / \alpha_H = 1,29 / 0,5 = 2,57 \text{ Ом.}$$

2. Для определения индуктивных сопротивлений обмоток автотрансформатора находятся значения:

$$u_{K.B} = 0,5(u_{K.B-C} + u_{K.B-H} - u_{K.C-H}) = 0,5(10 + 35 - 24) = 10,5 \text{ \%};$$

$$u_{K.C} = 0,5(u_{K.B-C} + u_{K.C-H} - u_{K.B-H}) = 0,5(10 + 24 - 35) = -0,5 \text{ \%};$$

$$u_{K.H} = 0,5(u_{K.B-H} + u_{K.C-H} - u_{K.B-C}) = 0,5(35 + 24 - 10) = 24,5 \text{ \%}.$$

3. Индуктивное сопротивление обмоток автотрансформатора определяется по выражениям:

$$X_B = u_{K.B} \cdot U_{H.B}^2 / (100 \cdot S_{H.T}) = 10,5 \cdot 330^2 / (100 \cdot 125) = 91,48 \text{ Ом.}$$

$$X_C = u_{K.C} \cdot U_{H.B}^2 / (100 \cdot S_{H.T}) = 0 \cdot 330^2 / (100 \cdot 125) = 0 \text{ Ом.}$$

$$X_H = u_{K.H} \cdot U_{H.B}^2 / (100 \cdot S_{H.T}) = 24,5 \cdot 330^2 / (100 \cdot 125) = 213,4 \text{ Ом.}$$

4. Активная проводимость намагничивания автотрансформатора определяется по выражению:

$$G_T = \Delta P_X / U_{H.B}^2 = 115 \cdot 10^{-3} / 330^2 = 1 \cdot 10^{-6} \text{ См.}$$

5. Реактивная проводимость намагничивания автотрансформатора определяется по выражению:

$$B_T = I_X \cdot S_{H.T} / (100 \cdot U_{H.B}^2) = 0,6 \cdot 125 / (100 \cdot 330^2) = 5,7 \cdot 10^{-6} \text{ См.}$$

6. Реактивная мощность потерь холостого хода автотрансформатора определяется по выражению:

$$\Delta Q_X = I_X \cdot S_{H.T} / 100 = 0,5 \cdot 125 / 100 = 0,625 \text{ Мвар.}$$

8. Полное сопротивление обмоток автотрансформатора равно:

$$\underline{Z}_B = R_B + jX_B = (1,29 + j91,48) \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_C = R_C + jX_C = (1,29 + j0) \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_H = R_H + jX_H = (2,57 + j213,4) \text{ Ом.}$$

9. Полная проводимость намагничивания автотрансформатора равна:

$$\underline{Y}_T = G_T - jB_T = (1 - j5,7) \cdot 10^{-6} \text{ См.}$$

10. Полная мощность потерь холостого хода автотрансформатора равна

$$\Delta \underline{S}_X = \Delta P_X + j\Delta Q_X = (0,115 + j0,625) \text{ МВА.}$$

Полная и расчетная лучевые схемы замещения автотрансформатора на рис 2 и 3.

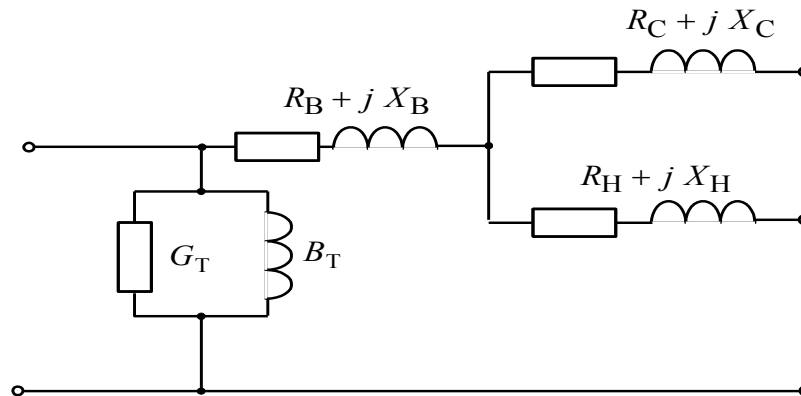


Рисунок 2 – Полная лучевая схема замещения автотрансформатора

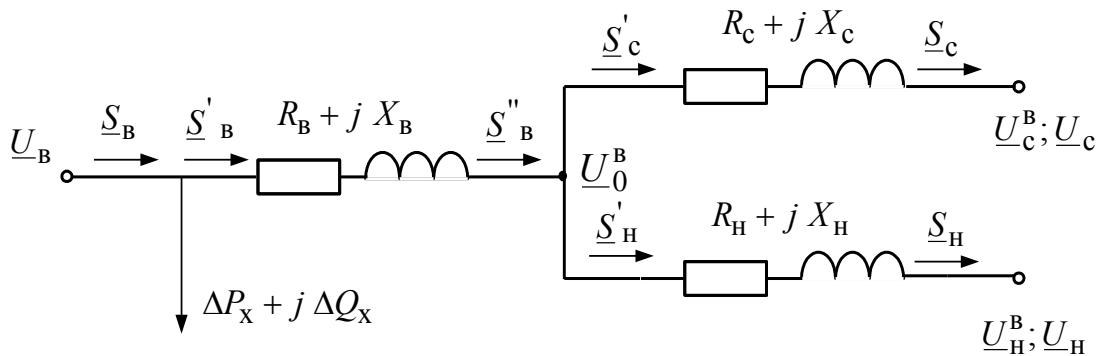


Рисунок 3 – Расчетная лучевая схема замещения автотрансформатора

Пример 4. Определение потерь мощности в автотрансформаторе типа АТДЦТН-125000/330/110, параметры схемы замещения которого рассчитаны в примере 4.

Суммарная нагрузка на стороне низшего и среднего напряжения автотрансформатора соответственно равна 0,1 и 0,9 номинальной мощности ($S_H/S_{н.т} = 0,1$; $S_C/S_{н.т} = 0,9$).

1. Потери активной мощности в обмотках автотрансформатора определяются по выражениям:

$$\begin{aligned} \Delta P_T &= (S_H^2/U_{н.в}^2) \cdot R_H + (S_C^2/U_{н.в}^2) \cdot R_C + (S_B^2/U_{н.в}^2) \cdot R_B = \\ &= (12,5^2/330^2) \cdot 2,57 + (112,5^2/330^2) \cdot 1,29 + (125^2/330^2) \cdot 1,29 = 0,3387 \text{ МВт} \end{aligned}$$

Либо

$$\begin{aligned}\Delta P_T &= (\Delta P_K / (2 \cdot \alpha_H)) \cdot (S_H / S_{H.T})^2 + (\Delta P_K / 2) \cdot (S_C / S_{H.T})^2 + (\Delta P_K / 2) \cdot (S_B / S_{H.T})^2 = \\ &= (370 / (2 \cdot 0,5)) \cdot 10^{-3} (12,5 / 125)^2 + (370 / 2) \cdot 10^{-3} (112,5 / 125)^2 + \\ &\quad + (370 / 2) \cdot 10^{-3} (125 / 125)^2 = 0,3386 \text{ МВт.}\end{aligned}$$

2. Потери реактивной мощности в обмотках автотрансформатора определяются по выражениям:

$$\begin{aligned}\Delta Q_T &= (S_H^2 / U_{H.B}^2) \cdot X_H + (S_C^2 / U_{H.B}^2) \cdot X_C + ((S_B^2 / U_{H.B}^2) \cdot X_B = \\ &= (12,5^2 / 330^2) \cdot 213,4 + (112,5^2 / 330^2) \cdot 0 + (125^2 / 330^2) \cdot 91,48 = 13,432 \text{ Мвар}\end{aligned}$$

либо

$$\begin{aligned}\Delta Q_T &= (u_{K.H} \cdot S_{H.T} / 100) \cdot (S_H / S_{H.T})^2 + ((u_{K.C} \cdot S_{H.T} / 100) \cdot (S_C / S_{H.T})^2 + \\ &\quad + (u_{K.B} \cdot S_{H.T} / 100) \cdot (S_B / S_{H.T})^2 = \\ &= (24,5 \cdot 125 / 100) \cdot (12,5 / 125)^2 + (0 \cdot 125 / 100) \cdot (112,5 / 125)^2 + \\ &\quad + (10,5 \cdot 125 / 100) \cdot (125 / 125)^2 = 13,431 \text{ Мвар.}\end{aligned}$$

3. Общие потери мощности в обмотках автотрансформатора определяются по выражениям:

$$\Delta \underline{S}_T = \Delta P_T + j \Delta Q_T = (0,3386 + j13,431) \text{ МВА.}$$

4. Общие потери мощности в проводимостях автотрансформатора (потери холостого хода трансформатора) равны:

$$\Delta \underline{S}_X = \Delta P_X + j \Delta Q_X = (0,115 + j0,625) \text{ МВА.}$$

5. Общие потери активной мощности в автотрансформаторе равны:

$$\Sigma \Delta P_T = \Delta P_X + \Delta P_T = 115 \cdot 10^{-3} + 0,3386 = 0,4536 \text{ МВт.}$$

6. Общие потери реактивной мощности в автотрансформаторе равны:

$$\Sigma \Delta Q_T = \Delta Q_X + \Delta Q_T = 0,625 + 13,431 = 14,056 \text{ Мвар.}$$

7. Отношения потерь мощности в обмотках автотрансформатора и номинальной мощности трансформатора соответственно равны:

$$\Delta P_T / S_{H.T} = 0,3386 / 125 = 0,0029; \Delta Q_T / S_{H.T} = 13,431 / 125 = 0,107.$$

Таким образом, значение ΔP_T составляет примерно 0,3 %, а ΔQ_T – примерно 11 % номинальной мощности автотрансформатора.

8. Отношения потерь мощности в проводимостях трансформатора (потерь холостого хода трансформатора) и номинальной мощности автотрансформато-

ра соответственно равны:

$$\Delta P_x / S_{н.т} = 115 \cdot 10^{-3} / 125 = 0,0009; \Delta Q_x / S_{н.т} = 0,625 / 125 = 0,005.$$

Таким образом, значение ΔP_x составляет примерно 0,1 %, а ΔQ_x – примерно 0,5 % номинальной мощности автотрансформатора.

9. Отношения общих потерь мощности в трансформаторе и номинальной мощности автотрансформатора соответственно равны:

$$\Sigma \Delta P_T / S_{н.т} = 0,4536 / 125 = 0,0036; \Sigma \Delta Q_T / S_{н.т} = 14,056 / 125 = 0,112.$$

Таким образом, значение $\Sigma \Delta P_T$ составляет примерно 0,4 %, а $\Sigma \Delta Q_T$ – примерно 12 % номинальной мощности автотрансформатора.

Пример 5. Определение параметров ВЛ 110 кВ.

Одноцепная ($n_{ц} = 1$) воздушная линия длиной $l = 50$ км выполнена проводами АС-240/32, расположенными горизонтально ($D = 4$ м). Мощность нагрузки в конце линии $S_k = 20$ МВА; коэффициент мощности $\cos \varphi = 0,88$.

1. В расчетах r_0 обычно принимается по справочным данным. Так, для АС-240/32 $r_0 = 0,121$ Ом/км при +20 °С.

При температуре θ , отличающейся от расчетной, фактическое активное сопротивление равно:

$$r_{\theta} = r_0(1 + 0,004(\theta - 20)).$$

Тогда при температуре $\theta = 70^{\circ}\text{C}$, соответствующей предельной температуре нагрева неизолированных проводов ВЛ,

$$R_{70} = 0,121 \cdot (1 + 0,004(70 - 20)) = 0,145 \text{ Ом/км.}$$

Таким образом, фактическое активное сопротивление проводов ВЛ в предельном случае увеличится на $((0,145 - 0,121) / 0,121) \cdot 100 \approx 20$ % по сравнению с табличными данными.

2. Удельное индуктивное сопротивление ВЛ определяется по выражению, Ом/км:

$$x_0 = 0,144 \lg(2D_{cp}/d) + 0,016,$$

где D_{cp} – среднее геометрическое расстояние между фазами линий; для задан-

ного горизонтального расположения фаз ВЛ $D_{cp} = 1,26D$

$$D_{cp} = 1,26 \cdot 4 \approx 5 \text{ м};$$

d – диаметр провода; диаметр провода А-240/32 $d = 21,6$ мм

Тогда

$$x_0 = 0,144 \cdot \lg(2 \cdot 5000/21,6) + 0,016 = 0,4 \text{ Ом/км.}$$

3. Удельная емкостная проводимость ВЛ определяется по выражению, См/км:

$$e_0 = 7,58 \cdot 10^{-6} / \lg(2D_{cp}/d).$$

Тогда

$$e_0 = 7,58 \cdot 10^{-6} / \lg(2 \cdot 5000/21,6) = 2,84 \cdot 10^{-6} \text{ См/км.}$$

4. Удельная зарядная мощность, генерируемая ВЛ, определяется по выражению, Мвар/км:

$$q_0 = b_0 U^2 = b_0 (1,05 \cdot U_{ном})^2.$$

Тогда

$$q_0 = 2,84 \cdot 10^{-6} \cdot (1,05 \cdot 110)^2 = 378,86 \cdot 10^{-4} \text{ Мвар/км.}$$

5. При расположении проводов треугольником

1) удельное активное сопротивление не изменится $r_0 = 0,121$ Ом/км;

2) удельное индуктивное сопротивление будет равно

$$x_0 = 0,144 \cdot \lg(2 \cdot 4000/21,6) + 0,016 = 0,386 \text{ Ом/км,}$$

где $D_{cp} = 4$ м;

3) удельная емкостная проводимость будет равна

$$e_0 = 7,58 \cdot 10^{-6} / \lg(2 \cdot 4000/21,6) = 2,95 \cdot 10^{-6} \text{ См/км.}$$

4) удельная зарядная мощность, генерируемая ВЛ, будет равна

$$q_0 = 2,95 \cdot 10^{-6} \cdot (1,05 \cdot 110)^2 = 393,54 \cdot 10^{-4} \text{ Мвар/км.}$$

6. Экономическую плотность тока для провода АС-240/32 принимаем равной $j_{эк} = 1,1$ А/мм².

Экономическая мощность ВЛ определяется по выражению, МВА:

$$S_{эк} = \sqrt{3 I_{эк} \cdot U_{ном}}$$

Тогда

$$S_{эк} = \sqrt{3} \cdot (1,1 \cdot 240) \cdot 110 \cdot 10^{-3} = 50,3 \text{ МВА.}$$

7. Отношения удельного индуктивного и активного сопротивлений ВЛ равно

$$x_0/r_0 = 0,4/0,121 = 3,3 \quad \text{или} \quad x_0/r_0 = 0,386/0,121 = 3,2.$$

Таким образом, значения x_0 соизмеримы с соответствующим значениями r_0 и должны учитываться в схемах замещения ВЛ 110 кВ.

8. Отношение удельной зарядной и экономической мощностей ВЛ равно $q_0/S_{\text{эк}} = 378,86 \cdot 10^{-4}/50,3 = 0,00075$ или $q_0/S_{\text{эк}} = 393,54 \cdot 10^{-4}/50,3 = 0,00078$.

Таким образом, значение q_0 составляет примерно 0,08 %, соответствующего значения $S_{\text{эк}}$.

Для реальных ВЛ 110 кВ при $l = 50$ км значение $Q_{\text{зар}} = q_0 l$ составляет примерно 4 % соответствующего значения $S_{\text{эк}}$ и зарядную мощность $Q_{\text{зар}}$ целесообразно учитывать в схемах замещения ВЛ 110 кВ.

9. Полное удельное сопротивление ВЛ будет равно

$$\underline{z}_0 = r_0 + jx_0 = (0,121 + j0,4) \text{ Ом/км}$$

или

$$\underline{z}_0 = r_0 + jx_0 = (0,121 + j0,386) \text{ Ом/км.}$$

10. Полная удельная проводимость ВЛ будет равна

$$y_0 = jb_0 = j2,84 \cdot 10^{-6} \text{ См/км}$$

или

$$y_0 = jb_0 = j2,95 \cdot 10^{-6} \text{ См/км.}$$

11. Полные удельные поперечные мощности в схемах замещения ВЛ будут равны:

$$S_{\text{попер}} = -jq_0 = -j378,86 \cdot 10^{-4} \text{ Мвар/км}$$

или

$$S_{\text{попер}} = -jq_0 = -j393,54 \cdot 10^{-4} \text{ Мвар/км.}$$

12. Для реальной ВЛ длиной $l = 50$ км параметры схемы замещения (рис. 1. и 2) будут равны:

$$R_{\text{л}} = r_0 \cdot l/n_{\text{ц}} = 0,121 \cdot 50/1 = 6,05 \text{ Ом;}$$

$$X_{\text{л}} = x_0 \cdot l/n_{\text{ц}} = 0,4 \cdot 50/1 = 20 \text{ Ом;}$$

$$B_{\text{л}} = b_0 \cdot l \cdot n_{\text{ц}} = 2,84 \cdot 10^{-6} \cdot 50 \cdot 1 = 142 \cdot 10^{-6} \text{ См;}$$

$$Q_{\text{зар}} = q_0 \cdot l \cdot n_{\text{ц}} = 378,86 \cdot 10^{-4} \cdot 50 \cdot 1 = 1,89 \text{ Мвар.}$$

где $n_{\text{ц}}$ – количество цепей ВЛ.

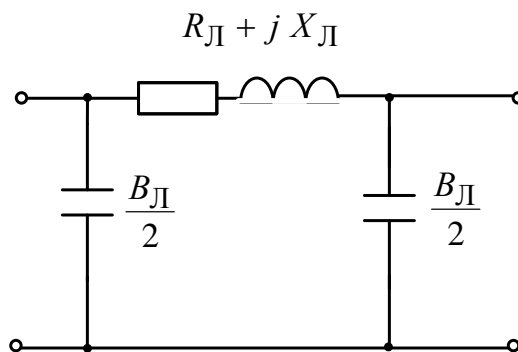


Рисунок 1 – Полная П-образная схема замещения ВЛ 110 кВ

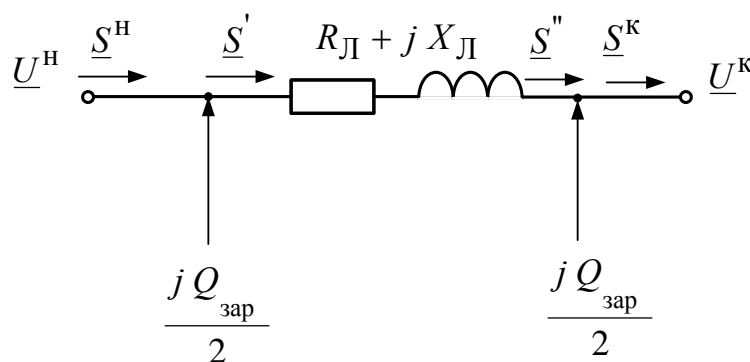


Рисунок 2 – Расчетная П-образная схема замещения ВЛ 110 кВ

13. Распределение мощностей в схеме замещения ВЛ

$$\underline{S}^K = S^K \cdot \cos\varphi + jS^K \cdot \sqrt{(1 - \cos^2\varphi)} = 20 \cdot 0,88 + 20 \cdot \sqrt{(1 - 0,88^2)} = (17,6 + j9,5) \text{ МВА};$$

$$\underline{S}'' = \underline{S}^K - jQ_{\text{зар}}/2 = 17,6 + j9,5 - j1,89/2 = (17,6 + j8,56) \text{ МВА};$$

$$\begin{aligned} \underline{S}' &= \underline{S}'' + \Delta\underline{S}_L = \underline{S}'' + (((P'')^2 + (Q'')^2)/U_{\text{ном}}^2) \cdot (R_L + jX_L) = \\ &= 17,6 + j8,56 + (((17,6)^2 + (8,56)^2)/110^2) \cdot (6,05 + j20) = \\ &= 17,6 + j8,56 + 0,35 + j1,17 = 17,95 + j9,73 \text{ МВА}; \end{aligned}$$

$$\underline{S}^H = \underline{S}' - jQ_{\text{зар}}/2 = 17,95 + j9,73 - j1,89/2 = (17,95 + j8,785) \text{ МВА}.$$

14. Значения напряжений в схеме замещения ВЛ

$$U^H = 1,1 \cdot U_{\text{ном}} = 1,1 \cdot 110 = 121 \text{ кВ};$$

$$\begin{aligned} U^K &= U^H - (P' \cdot R_L + Q' \cdot X_L)/U^H = \\ &= 121 - (17,95 \cdot 6,05 + 9,73 \cdot 20)/121 = 121 - 2,51 = 118,49 \text{ кВ}. \end{aligned}$$

Пример 6. Определение параметров и установившихся режимов электрической сети 110 кВ

1. Схема разомкнутой электрической сети и исходные данные для расчетов

Схема разомкнутой электрической сети показана на рис. 1.1, исходные данные для расчетов приведены в табл. 1.

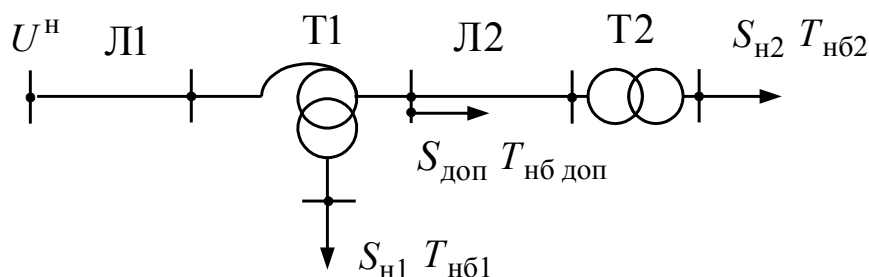


Рисунок 1.1 – Схема разомкнутой электрической сети

Перед выполнением соответствующего варианта расчетного задания необходимо по исходным данным (табл. 1) определить:

– для линий Л1 и Л2 – номинальное напряжение $U_{ном}$; сечение проводов; число цепей $n_{ц}$;

– для трансформаторов Т1 и Т2 – вид трансформаторов (двухобмоточные, трехобмоточные или автотрансформаторы); номинальные напряжения на высшей $U_{ном в}$, средней $U_{ном с}$ и низшей $U_{ном н}$ стороне; число трансформаторов n_T

Таблица 1 – Исходные данные для расчета электрической сети

Л1	Провод	2(2×АС–240/32)
	$L_1, км$	100
Т1	АТДЦТН–125000/330/110	
Л2	Провод	АСК–185/29
	$L_1, км$	25
Т2	2×ТДН–16000/110	
$S_{н1}, МВА$	80	
$S_{н2}, МВА$	20	
$S_{доп}, МВА$	20	

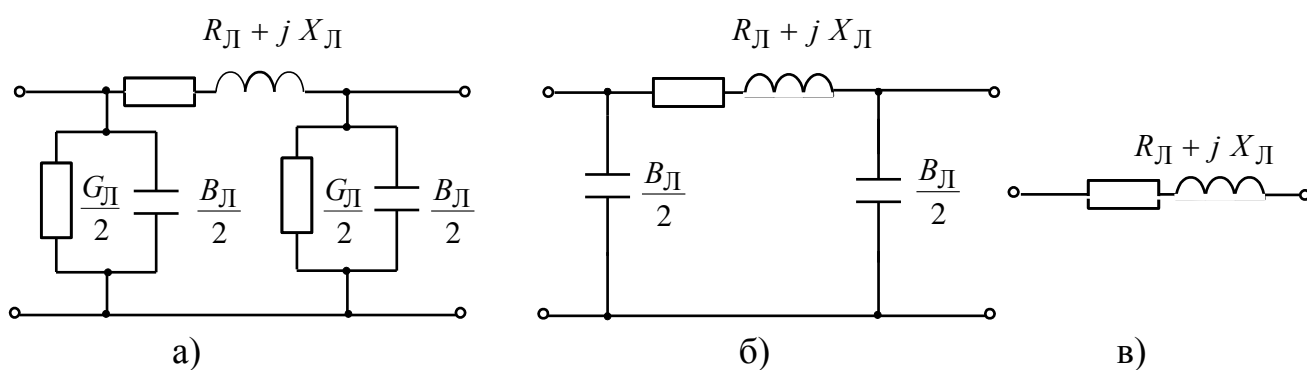
Примечания:

1. $\cos\varphi_{10} = 0,93$; $\cos\varphi_{35} = 0,89$; $\cos\varphi_{110} = 0,88$; $\cos\varphi_{150} = 0,87$; $\cos\varphi_{220} = 0,86$;
2. $U^H = 1,05U_{\text{ном}}$ ($U_{\text{ном}} = 330\text{--}500\text{ кВ}$); $U^H = 1,025U_{\text{ном}}$ ($U_{\text{ном}} = 750\text{ кВ}$);
3. $T_{\text{нб1}} = 4000\text{ ч/год}$; $T_{\text{нб2}} = 6000\text{ ч/год}$; $T_{\text{нб доп}} = 4500\text{ ч/год}$.

2 Составление схемы замещения электрической сети и определение ее параметров

2.1 Составление полной схемы замещения электрической сети и определение ее параметров

2.1.1 Полные П-образные схемы замещения линий различных номинальных напряжений приведены на рис. 2.1.



а) $U_{\text{ном}} \geq 330\text{кВ}$; б) $U_{\text{ном}} = 110\text{--}220\text{кВ}$; в) $U_{\text{ном}} = 35\text{кВ}$

Рисунок 2.1 – Полные П-образные схемы замещения линий

Параметры полных П-образных схем замещения линий определяются по выражениям:

а) активное сопротивление линий, Ом

$$R_{\text{л}} = r_0 \cdot L / n_{\text{ц}}; \quad (2.1)$$

б) индуктивное сопротивление линий, Ом

$$X_{\text{л}} = x_0 \cdot L / n_{\text{ц}}; \quad (2.2)$$

в) активная проводимость линий, См

$$G_{\text{л}} = \Delta P_{\text{кор0}} \cdot L \cdot n_{\text{ц}} / U_{\text{ном}}^2; \quad (2.3)$$

г) емкостная проводимость линий, См

$$B_{\text{л}} = \epsilon_0 \cdot L \cdot n_{\text{ц}}; \quad (2.4)$$

где $r_0, x_0, \epsilon_0, \Delta P_{\text{кор}0}$ – удельные параметры линии.

2.1.2 Полная Г-образная схема замещения двухобмоточного трансформатора приведена на рис. 2.2.

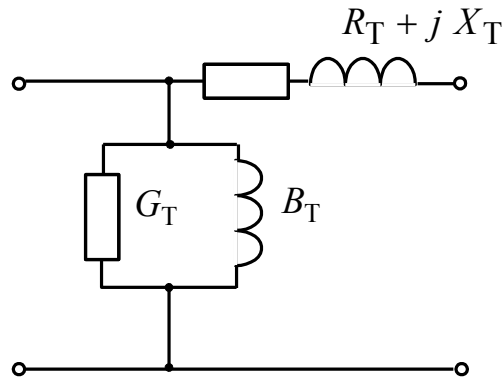


Рисунок 2.2 – Полная Г-образная схема замещения двухобмоточных трансформаторов

Параметры полных Г-образных схем замещения двухобмоточных трансформаторов определяются по выражениям:

а) активное сопротивление трансформаторов, Ом

$$R_T = R'_T / n_T; \quad (2.5)$$

б) индуктивное сопротивление трансформаторов, Ом

$$X_T = X'_T / n_T; \quad (2.6)$$

в) активная проводимость трансформаторов, См

$$G_T = \Delta P'_x \cdot n_T / U_{\text{н.в}}^2; \quad (2.7)$$

г) индуктивная проводимость трансформаторов, См

$$B_T = \Delta Q'_x \cdot n_T / U_{\text{н.в}}^2, \quad (2.8)$$

где $R'_T, X'_T, \Delta P'_x, \Delta Q'_x$ – каталожные и расчетные данные двухобмоточного трансформатора;

$U_{\text{н.в}}$ – номинальное напряжение обмотки высшего напряжения двухобмоточного трансформатора.

2.1.3 Полная лучевая схема замещения трехобмоточных трансформаторов и автотрансформаторов приведена на рис. 2.4.

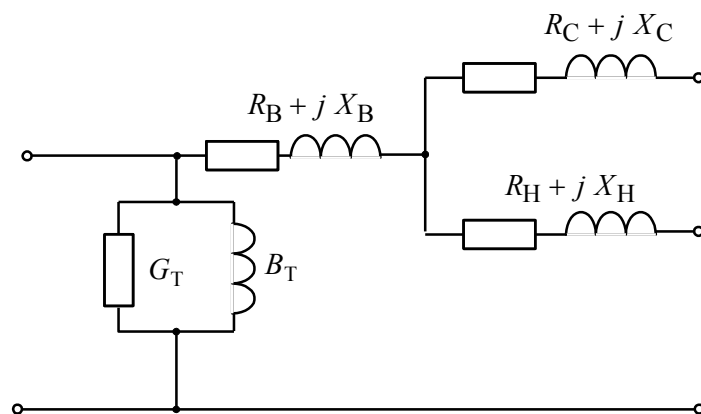


Рисунок 2.3 – Полная лучевая схема замещения трехобмоточных трансформаторов и автотрансформаторов

Параметры полной лучевой схемы замещения трехобмоточных трансформаторов и автотрансформаторов определяются по выражениям:

а) активное сопротивление обмоток высшего, среднего и низшего напряжений, Ом

$$R_B = R'_B / n_T; R_C = R'_C / n_T; R_H = R'_H / n_T; \quad (2.9)$$

б) индуктивное сопротивление обмоток высшего, среднего и низшего напряжений, Ом

$$X_B = X'_B / n_T; X_C = X'_C / n_T; X_H = X'_H / n_T \quad (2.10)$$

где $R'_B, R'_C, R'_H, X'_B, X'_C, X'_H$ – расчетные параметры трехобмоточного трансформатора и автотрансформатора.

в) активные и реактивные проводимости трехобмоточных трансформаторов и автотрансформаторов определяются по выражениям (2.7) и (2.8).

Для линии Л1 напряжением $U_{ном} = 330$ кВ, выполненной проводами 2(2×АС–240/32), удельные параметры будут: $r_0 = 0,06$; $x_0 = 0,3310$; $e_0 = 0,00000338$; $\Delta P_{кор0} = 3,75$; $q_0 = 0,406$

Тогда параметры полной П-образной схемы замещения 2-цепной линии Л1 длиной $L = 100$ км равны:

а) активное сопротивление, Ом

$$R_{л1} = r_0 \cdot L / n_{ц} = 0,06 \cdot 100 / 2 = 3$$

б) индуктивное сопротивление, Ом

$$X_{л} = x_0 \cdot L / n_{ц} = 0,3310 \cdot 100 / 2 = 16,55$$

в) активная проводимость, См

$$G_{л} = \Delta P_{кор0} \cdot L \cdot n_{ц} / U_{ном}^2 = 3,75 \cdot 100 \cdot 2 / 330^2 = 6,8871 \cdot 10^{-6}$$

г) емкостная проводимость, См

$$B_{л} = \epsilon_0 \cdot L \cdot n_{ц} = 0,00000338 \cdot 100 \cdot 2 = 0,000676$$

Для линии Л2 напряжением $U_{ном} = 110$ кВ, выполненной проводами АСК–185/29, удельные параметры будут: $r_0 = 0,1620$; $x_0 = 0,4130$; $\epsilon_0 = 0,00000275$; $q_0 = 0,0370$.

Тогда параметры полной П-образной схемы замещения 1-цепной линии Л2 длиной $L = 25$ км равны:

а) активное сопротивление, Ом

$$R_{л} = r_0 \cdot L / n_{ц} = 0,1620 \cdot 25 / 1 = 4,05$$

б) индуктивное сопротивление, Ом

$$X_{л} = x_0 \cdot L / n_{ц} = 0,4130 \cdot 25 / 1 = 10,32$$

в) емкостная проводимость, См

$$B_{л} = \epsilon_0 \cdot L \cdot n_{ц} = 0,00000275 \cdot 25 \cdot 1 = 0,00006875$$

Для автотрансформатора Т1 типа АДЦТН–125000/330/110 каталожные и расчетные данные будут: $R'_B = 1,3$; $R'_C = 1,3$; $R'_H = 2,6$; $X'_B = 91,5$; $X'_C = 0$; $X'_H = 213,4$; $\Delta P'_x = 115$; $\Delta Q'_x = 625$.

Тогда параметры полной лучевой схемы замещения одного автотрансформатора Т1 равны:

а) активное сопротивление обмоток высшего, среднего и низшего напряжений, Ом

$$R_B = R'_B / n_T = 1,3 / 1 = 1,3;$$

$$R_C = R'_C / n_T = 1,3 / 1 = 1,3;$$

$$R_H = R'_H / n_T = 2,6 / 1 = 2,6.$$

б) индуктивное сопротивление обмоток высшего, среднего и низшего напряжений, Ом

$$X_B = X'_B / n_T = 91,5/1=91,5;$$

$$X_C = X'_C / n_T = 0/1=0;$$

$$X_H = X'_H / n_T = 213,4/1=213,4.$$

в) активные и реактивные проводимости, См

$$G_T = \Delta P'_x \cdot n_T / U_{H.B}^2 = 115 \cdot 1 / 330^2 = 1,056 \cdot 10^{-6};$$

$$B_T = \Delta Q'_x \cdot n_T / U_{H.B}^2 = 625 \cdot 1 / 330^2 = 5,7392 \cdot 10^{-6};$$

Для двухобмоточного трансформатора Т2 типа 2×ТДН–16000/110 каталожные и расчетные данные будут:

$$R'_B = 4,38; X'_B = 86,7; \Delta P'_x = 19; \Delta Q'_x = 112.$$

Тогда параметры полной Г-образной схемы замещения двух трансформаторов Т2 равны:

а) активное сопротивление, Ом

$$R_T = R'_T / n_T = 4,38/2 = 2,19$$

б) индуктивное сопротивление, Ом

$$X_T = X'_T / n_T = 86,7/2 = 43,35$$

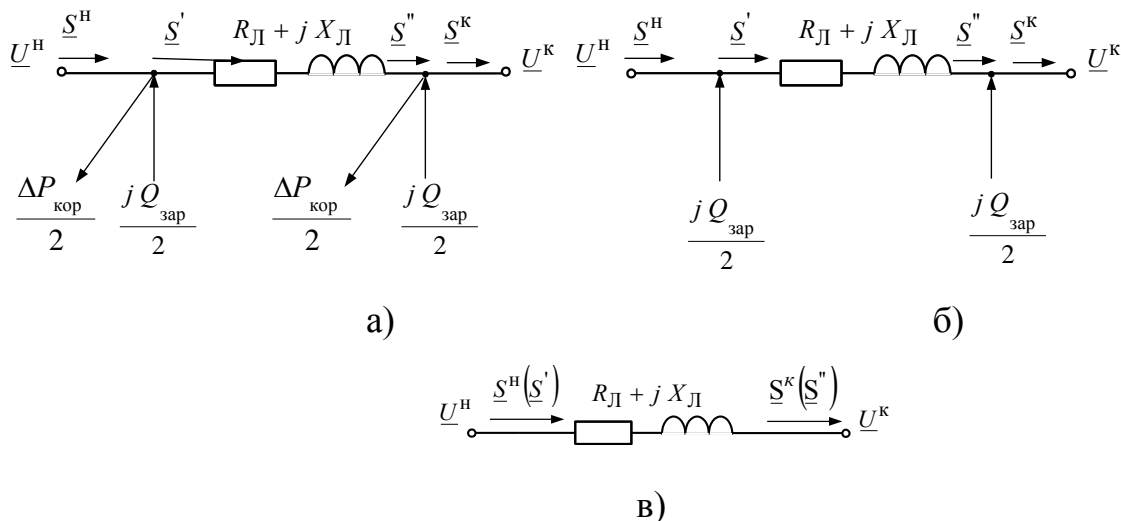
в) активные и реактивные проводимости, См

$$G_T = \Delta P'_x \cdot n_T / U_{H.B}^2 = 19 \cdot 2 \cdot 10^{-3} / 115^2 = 2,8733 \cdot 10^{-6}$$

$$B_T = \Delta Q'_x \cdot n_T / U_{H.B}^2 = 112 \cdot 2 \cdot 10^{-3} / 115^2 = 1,6938 \cdot 10^{-5}$$

2.2 Составление расчетной схемы замещения электрической сети и определение ее параметров

2.2.1 Расчетные П-образные схемы замещения линий различных номинальных напряжений приведены на рис. 2.4.



а) $U_{\text{ном}} \geq 330 \text{кВ}$; б) $U_{\text{ном}} = 110\text{--}220 \text{кВ}$; в) $U_{\text{ном}} = 35 \text{кВ}$

Рисунок 2.4 – Расчетные П-образные схемы замещения линий

Параметры расчетных П-образных схем замещения линий определяются следующим образом:

а) активное $R_{\text{л}}$ и индуктивное $X_{\text{л}}$ сопротивления линий принимаются из расчетов по выражениям (2.1) и (2.2);

б) потери активной мощности на корону, МВт

$$\Delta P_{\text{кор}} = \Delta P_{\text{кор}0} \cdot L \cdot n_{\text{ц}}; \quad (2.11)$$

в) зарядная емкостная мощность линий, Мвар

$$Q_{\text{зар}} = q_0 \cdot L \cdot n_{\text{ц}}, \quad (2.12)$$

где $\Delta P_{\text{кор}0}$, q_0 – удельные параметры линий.

2.2.2 Расчетная Г-образная схема замещения двухобмоточных трансформаторов приведена на рис. 2.5

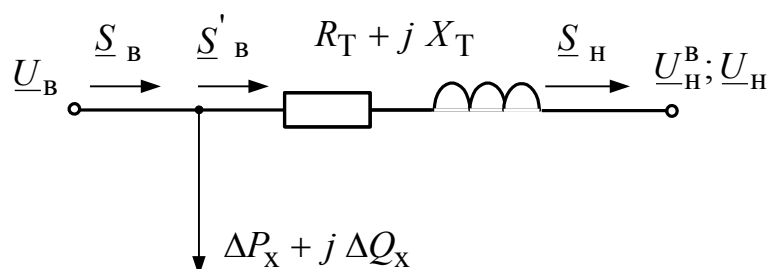


Рисунок 2.5 – Расчетная Г-образная схема замещения двухобмоточных трансформаторов

Параметры расчетной Г-образной схемы замещения двухобмоточного трансформаторов определяются следующим образом:

а) активное R_T и индуктивное X_T сопротивления двухобмоточных трансформаторов принимаются из расчетов по выражениям (2.5) и (2.6);

б) активная и реактивная составляющие мощности холостого хода двухобмоточных трансформаторов, МВт и Мвар соответственно

$$\Delta P_x = \Delta P'_x \cdot n_T, \quad \Delta Q_x = \Delta Q'_x \cdot n_T, \quad (2.13)$$

где $\Delta P'_x$ и $\Delta Q'_x$ – каталожные и расчетные данные двухобмоточного трансформатора

2.2.3. Расчетная лучевая схема замещения трехобмоточных трансформаторов и автотрансформаторов приведена на рис. 2.6.

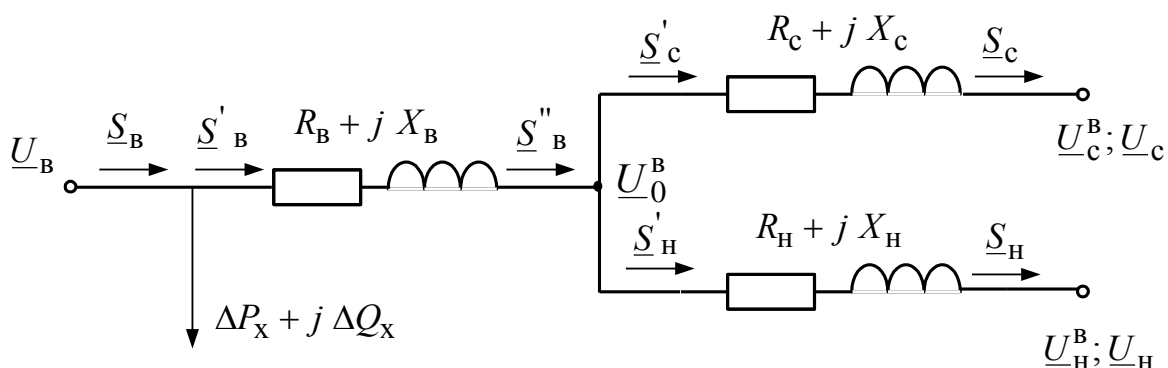


Рисунок 2.6 – Расчетная лучевая схема замещения трехобмоточных трансформаторов и автотрансформаторов

Параметры расчетной лучевой схемы замещения трехобмоточных трансформаторов и автотрансформаторов определяются следующим образом:

а) активные и индуктивные сопротивления трехобмоточных трансформаторов и автотрансформаторов принимаются из расчетов по выражениям (2.9) и (2.10);

б) активные и реактивные составляющие мощности холостого хода трехобмоточных трансформаторов и автотрансформаторов принимаются из расчетов по выражениям (2.13).

Для линии Л1 параметры расчетной П-образной схемы замещения равны:

а) активное $R_{л}$ и индуктивное $X_{л}$ сопротивления, принимаемые из расчетов по выражениям (2.1) и (2.2), Ом/км

$$R_{л} = 3; \quad X_{л} = 16,55$$

б) потери активной мощности на корону, МВт

$$\Delta P_{\text{кор}} = \Delta P_{\text{кор}0} \cdot L \cdot n_{ц} = 3,75 \cdot 10^{-3} \cdot 100 \cdot 2 = 0,75$$

в) зарядная емкостная мощность линии, Мвар

$$Q_{\text{зар}} = q_0 \cdot L \cdot n_{ц} = 0,406 \cdot 100 \cdot 1 = 81,2$$

Для линии Л2 параметры расчетной П-образной схемы замещения равны:

а) активное $R_{л}$ и индуктивное $X_{л}$ сопротивления, принимаемые из расчетов по выражениям (2.1) и (2.2), Ом/км

$$R_{л} = 4,05; \quad X_{л} = 10,3250;$$

б) зарядная емкостная мощность линии, Мвар

$$Q_{\text{зар}} = q_0 \cdot L \cdot n_{ц} = 0,037 \cdot 25 \cdot 1 = 0,925$$

Для автотрансформаторов Т1 параметры расчетной лучевой схемы замещения, принимаемые из расчетов по выражениям (2.9) и (2.10), равны

а) активное сопротивление обмоток высшего, среднего и низшего напряжений, Ом

$$R_{в} = 1,3; \quad R_{с} = 1,3; \quad R_{н} = 2,6;$$

б) индуктивное сопротивление обмоток высшего, среднего и низшего напряжений, Ом

$$X_{в} = 91,5; \quad X_{с} = 0; \quad X_{н} = 213,4;$$

в) активная и реактивная составляющие мощности холостого хода автотрансформаторов

$$\Delta P_x = \Delta P_x' \cdot n_T = 115 \cdot 10^{-3} \cdot 1 = 0,115 \text{ МВт};$$

$$\Delta Q_x = \Delta Q_x' \cdot n_T = 625 \cdot 10^{-3} \cdot 1 = 0,625 \text{ Мвар},$$

где $\Delta P_x'$ и $\Delta Q_x'$ – каталожные и расчетные данные автотрансформатора.

Для двухобмоточного трансформатора Т2 параметры расчетной Г-образной схемы замещения, принимаемые из расчетов по выражениям (2.5) и (2.6), равны:

а) активное сопротивление, Ом

$$R_T = R'_T / n_T = 4,38/2 = 2,19$$

б) индуктивное сопротивление, Ом

$$X_T = X'_T / n_T = 86,7/2 = 43,35$$

в) активные и реактивные проводимости

$$\Delta P_x = \Delta P'_x \cdot n_T = 0,038 \cdot 10^{-3} \cdot 2 = 19 \quad \text{МВт};$$

$$\Delta Q_x = \Delta Q'_x \cdot n_T = 0,224 \cdot 10^{-3} \cdot 2 = 0,224 \quad \text{Мвар}$$

2.3 Определение значений мощности на участках расчетной схемы замещения электрической сети

2.3.1 Определение значений мощности на участках расчетной схемы замещения электрической сети выполняются от конца к началу сети при допущении равенства номинальных напряжений в узлах сети. При расчетах используются обозначения мощностей для схем замещения линий, двухобмоточных трансформаторов, трехобмоточных трансформаторов и автотрансформаторов, показанные на рис. 2.5 – 2.7.

Примечание. Заданные значения мощности $S_{н1}$, $S_{н2}$ и $S_{доп}$ (см. рис. 2.1 и табл. 2.1) преобразуются к виду $\underline{S}_{н1} = P_{н1} + jQ_{н1}$, $\underline{S}_{н2} = P_{н2} + jQ_{н2}$ и $\underline{S}_{доп} = P_{доп} + jQ_{доп}$ на основе соотношений $P = S \cdot \cos \varphi$; $Q = S \cdot \sin \varphi$, где $\cos \varphi$ – значение коэффициента мощности для соответствующего номинального напряжения обмоток трансформаторов (линий), приведенные в примечании к табл. 2.1.

2.3.2 Определение значений мощности на участках схемы замещения линий по соотношениям (см. рис. 2.1)

а) $U_{ном} \geq 330$ кВ

$$\underline{S}'' = S^k + \Delta P_{кор} / 2 - jQ_{зар} / 2; \quad (2.14)$$

$$\underline{S}' = \underline{S}'' + \Delta \underline{S}_л, \quad (2.15)$$

$$\text{где: } \Delta \underline{S}_л = \frac{(P'')^2 + (Q'')^2}{U_{ном}^2} (R_л + jX_л); \quad (2.16)$$

$$\underline{S}^H = \underline{S}' + \Delta P_{\text{кор}}/2 - jQ_{\text{зап}}/2; \quad (2.17)$$

б) $U_{\text{НОМ}} = 110 \text{ кВ}$

$$\underline{S}'' = \underline{S}^K - jQ_{\text{зап}}/2; \quad (2.18)$$

$$\underline{S}' = \underline{S}'' + \Delta \underline{S}_{\text{Л}}; \quad (2.19)$$

$$\underline{S}^H = \underline{S}' - jQ_{\text{зап}}/2. \quad (2.20)$$

в) $U_{\text{НОМ}} = 35 \text{ кВ}$

$$\underline{S}'' = \underline{S}^K; \quad (2.21)$$

$$\underline{S}' = \underline{S}^H = \underline{S}'' + \Delta \underline{S}_{\text{Л}}. \quad (2.22)$$

2.3.3 Определение значений мощности на участках схемы замещения двухобмоточных трансформаторов выполняется по соотношениям (см.рис. 2.2):

$$\underline{S}'_{\text{Б}} = \underline{S}_{\text{Н}} + \Delta \underline{S}_{\text{Т}}, \quad (2.23)$$

$$\text{где: } \Delta \underline{S}_{\text{Т}} = \frac{P_{\text{Н}}^2 + Q_{\text{Н}}^2}{U_{\text{НОМ}}^2} (R_{\text{Т}} + jX_{\text{Т}}); \quad (2.24)$$

$$\underline{S}_{\text{Б}} = \underline{S}'_{\text{Б}} + \Delta \underline{S}_{\text{Х}}. \quad (2.25)$$

2.3.4 Определение расчетной мощности на участках схемы замещения трехобмоточных трансформаторов и автотрансформаторов выполняется по соотношениям (см. рис. 2.3):

$$\underline{S}'_{\text{С}} = \underline{S}_{\text{С}} + \Delta \underline{S}_{\text{С}}, \quad (2.26)$$

$$\text{где: } \Delta \underline{S}_{\text{С}} = \frac{P_{\text{С}}^2 + Q_{\text{С}}^2}{U_{\text{НОМ}}^2} (R_{\text{С}} + jX_{\text{С}}); \quad (2.27)$$

$$\underline{S}'_{\text{Н}} = \underline{S}_{\text{Н}} + \Delta \underline{S}_{\text{Н}}, \quad (2.28)$$

$$\text{где: } \Delta \underline{S}_{\text{Н}} = \frac{P_{\text{Н}}^2 + Q_{\text{Н}}^2}{U_{\text{НОМ}}^2} (R_{\text{Н}} + jX_{\text{Н}}); \quad (2.29)$$

$$\underline{S}''_{\text{Б}} = \underline{S}'_{\text{С}} + \underline{S}'_{\text{Н}}; \quad (2.30)$$

$$\underline{S}'_{\text{Б}} = \underline{S}''_{\text{Б}} + \Delta \underline{S}_{\text{Б}}, \quad (2.31)$$

$$\text{где: } \Delta \underline{S}_{\text{Б}} = \frac{(P_{\text{Б}}'')^2 + (Q_{\text{Б}}'')^2}{U_{\text{НОМ}}^2} (R_{\text{Б}} + jX_{\text{Б}}); \quad (2.32)$$

$$\underline{S}_B = \underline{S}'_B + \Delta \underline{S}_x. \quad (2.33)$$

Тогда

$$\underline{S}_{H2} = 20 \cdot 0,93 + j20 \cdot 36,76 = (18,6 + j7,3512)$$

$$\underline{S}'_{B2} = \underline{S}_{H2} + \Delta \underline{S}_{H2} = 18,6 + j7,3512 + 0,0724 + j1,4331 = 18,6724 + j8,7842$$

$$\underline{S}_{B2} = \underline{S}'_{B2} + \Delta \underline{S}_{x2} = 18,6724 + j8,7842 + 0,038 + j0,0224 = 18,7104 + j9,0082$$

$$\underline{S}_{Л2}^K = \underline{S}_{B2} = 18,7104 + j9,0082$$

$$\underline{S}_{Л2}'' = \underline{S}_{Л2}^K - jQ_{зап2}/2 = 18,7104 + j9,0082 - j0,4625 = 18,7104 + j8,5457$$

$$\underline{S}'_{Л2} = \underline{S}_{Л2}'' + \Delta \underline{S}_{Л2} = 18,7104 + j8,5457 + 0,1416 + j0,361 = 18,852 + j8,9068$$

$$\underline{S}_{Л2}^H = \underline{S}'_{Л2} - jQ_{зап2}/2 = 18,852 + j8,9068 - j0,4625 = 18,852 + j8,4443$$

$$\underline{S}_{доп} = 20 \cdot 0,88 + j20 \cdot 0,475 = 17,6 + j9,4995$$

$$\underline{S}_{c1} = \underline{S}_{Л2}^H + \underline{S}_{доп} = 18,852 + j8,4443 + 17,6 + j9,4995 = 36,452 + j17,9438$$

$$\underline{S}'_{c1} = \underline{S}_{c1} + \Delta \underline{S}_{c1} = 36,452 + j17,9438 + 0,0197 = 36,4717 + j17,9438$$

$$\underline{S}_{H1} = 80 \cdot 0,89 + j80 \cdot 0,456 = 71,2 + j36,4768$$

$$\underline{S}'_{H1} = \underline{S}_{H1} + \Delta \underline{S}_{H1} = 71,2 + j36,4768 + 0,1528 + j12,5414 = 71,3528 + j49,0183$$

$$\underline{S}_{B1}'' = \underline{S}'_{c1} + \underline{S}'_{H1} = 36,4717 + j17,9438 + 71,3528 + j49,0183 = 107,8245 + j66,962$$

$$\underline{S}'_{B1} = \underline{S}_{B1}'' + \Delta \underline{S}_{B1} = 107,8245 + j66,962 + 0,1923 + j13,536 = 108,0168 + j80,498$$

$$\underline{S}_{B1} = \underline{S}'_{B1} + \Delta \underline{S}_{x1} = 108,0168 + j80,498 + 0,115 + j0,625 = 108,1318 + j81,123$$

$$\underline{S}_{Л1}^K = \underline{S}_{B1} = 108,1318 + j81,123$$

$$\underline{S}_{Л1}'' = \underline{S}_{Л1}^K + \Delta P_{кор}/2 - jQ_{зап1}/2 = 108,1318 + j81,123 + 0,375 - j40,6 = 108,5068 + j40,523$$

$$\underline{S}'_{Л1} = \underline{S}_{Л1}'' + \Delta \underline{S}_{Л1} = 108,5068 + j40,523 + 0,3696 + j2,0389 = 108,8764 + j42,5619$$

$$\underline{S}_{Л1}^H = \underline{S}'_{Л1} + \Delta P_{кор}/2 - jQ_{зап1}/2 = 108,8764 + j42,5619 + 0,375 + j40,6 = 109,2514 + j1,9619$$

2.4 *Определение значений напряжения в узлах расчетной схемы замещения электрической сети.*

2.4.1 Определение значений напряжения в узлах расчетной схемы замещения электрической сети выполняется от начала к концу сети. При расчетах используются обозначения напряжений для схем замещения линий, двухобмоточных трансформаторов, трехобмоточных трансформаторов и автотрансформаторов, показанные на рис. 2.5–2.7. Исходными данными являются значения напряжения в начале линии Л1, приведенные в примечании к табл. 2.1.

2.4.2 Определение значений напряжения в конце линий выполняется по соотношениям (см. рис. 2.4):

а) $U_{\text{НОМ}} \geq 220$ кВ

$$\underline{U}^{\text{к}} = U^{\text{н}} - \frac{P' \cdot R_{\text{л}} + Q' \cdot X_{\text{л}}}{U^{\text{н}}} - j \frac{P' \cdot X_{\text{л}} + Q' \cdot R_{\text{л}}}{U^{\text{н}}}; \quad (2.34)$$

$$U^{\text{к}} = \sqrt{\left(U^{\text{н}} - \frac{P' \cdot R_{\text{л}} + Q' \cdot X_{\text{л}}}{U^{\text{н}}} \right)^2 + \left(\frac{P' \cdot X_{\text{л}} + Q' \cdot R_{\text{л}}}{U^{\text{н}}} \right)^2}; \quad (2.35)$$

б) $U_{\text{НОМ}} < 220$ кВ

$$\underline{U}^{\text{к}} = U^{\text{н}} - \frac{P' \cdot R_{\text{л}} + Q' \cdot X_{\text{л}}}{U^{\text{н}}}. \quad (2.36)$$

2.4.3 Определение значений напряжения на стороне низшего напряжения двухобмоточных трансформаторов выполняется по соотношениям (см.рис. 2.5):

$$\underline{U}_{\text{н}}^{\text{в}} = U_{\text{в}} - \frac{P'_{\text{в}} \cdot R_{\text{м}} + Q'_{\text{в}} \cdot X_{\text{м}}}{U_{\text{в}}} - j \frac{P'_{\text{в}} \cdot X_{\text{м}} + Q'_{\text{в}} \cdot R_{\text{м}}}{U_{\text{в}}}; \quad (2.37)$$

$$U_{\text{н}}^{\text{в}} = \sqrt{\left(U_{\text{в}} - \frac{P'_{\text{в}} \cdot R_{\text{т}} + Q'_{\text{в}} \cdot X_{\text{т}}}{U_{\text{в}}} \right)^2 + \left(\frac{P'_{\text{в}} \cdot X_{\text{т}} + Q'_{\text{в}} \cdot R_{\text{т}}}{U_{\text{в}}} \right)^2}; \quad (2.38)$$

$$U_{\text{н}} = U_{\text{н}}^{\text{в}} / \kappa_{\text{в-н}}, \quad (2.39)$$

где $\kappa_{\text{в-н}} = U_{\text{н.в}} / U_{\text{н.н}}$ – коэффициент трансформации двухобмоточных трансформаторов (без учета положения РПН на стороне высшего напряжения).

2.4.4 Определение напряжений на стороне среднего и высшего напряжений трехобмоточных трансформаторов и автотрансформаторов выполняется по соотношениям (см. рис. 2.6):

$$\underline{U}_{\text{о}}^{\text{в}} = U_{\text{в}} - \frac{P'_{\text{в}} \cdot R_{\text{в}} + Q'_{\text{в}} \cdot X_{\text{в}}}{U_{\text{в}}} - j \frac{P'_{\text{в}} \cdot X_{\text{в}} + Q'_{\text{в}} \cdot R_{\text{в}}}{U_{\text{в}}}; \quad (2.40)$$

$$U_{\text{о}}^{\text{в}} = \sqrt{\left(U_{\text{в}} - \frac{P'_{\text{в}} \cdot R_{\text{в}} + Q'_{\text{в}} \cdot X_{\text{в}}}{U_{\text{в}}} \right)^2 + \left(\frac{P'_{\text{в}} \cdot X_{\text{в}} + Q'_{\text{в}} \cdot R_{\text{в}}}{U_{\text{в}}} \right)^2}; \quad (2.41)$$

$$\underline{U}_{\text{с}}^{\text{в}} = U_{\text{о}}^{\text{в}} - \frac{P'_{\text{с}} \cdot R_{\text{с}} + Q'_{\text{с}} \cdot X_{\text{с}}}{U_{\text{о}}^{\text{в}}} - j \frac{P'_{\text{с}} \cdot X_{\text{с}} + Q'_{\text{с}} \cdot R_{\text{с}}}{U_{\text{о}}^{\text{в}}}; \quad (2.42)$$

$$U_c^B = \sqrt{\left(U_o^B - \frac{P'_c \cdot R_c + Q'_c \cdot X_c}{U_o^B}\right)^2 + \left(\frac{P'_c \cdot X_c + Q'_c \cdot R_c}{U_o^B}\right)^2}; \quad (2.43)$$

$$U_c = U_c^B / \kappa_{B-c}, \quad (2.44)$$

где $\kappa_{B-c} = U_{H.B} / U_{H.c}$ – коэффициент трансформации трехобмоточных трансформаторов и автотрансформаторов (без учета положения РПН на стороне высшего напряжения трехобмоточных трансформаторов и РПН на стороне среднего напряжения автотрансформаторов);

$$\underline{U}_H^B = U_o^B - \frac{P'_H \cdot R_H + Q'_H \cdot X_H}{U_o^B} - j \frac{P'_H \cdot X_H + Q'_H \cdot R_H}{U_o^B}; \quad (2.45)$$

$$U_H^B = \sqrt{\left(U_o^B - \frac{P'_H \cdot R_H + Q'_H \cdot X_H}{U_o^B}\right)^2 + \left(\frac{P'_H \cdot X_H + Q'_H \cdot R_H}{U_o^B}\right)^2}; \quad (2.46)$$

$$U_H = U_H^B / \kappa_{B-H}, \quad (2.47)$$

где $\kappa_{B-H} = U_{H.B} / U_{H.H}$.

Тогда

$$U_0 = 1,05 \cdot U_{НОМ} = 346,5$$

$$\underline{U}_1 = 346,5 - 2,9756 - j4,8318 = (343,5244 - j4,8318)$$

$$U_1 = \sqrt{(343,5244^2 + 4,8318^2)} = 343,5584$$

$$\underline{U}_0^B = 343,5584 - 21,8478 - j28,4636 = (321,7106 - j28,4636)$$

$$U_0^B = \sqrt{(321,7106^2 + 28,4636^2)} = 322,9674$$

$$\underline{U}_{H1}^B = 322,9674 - 32,9631 - j46,7516 = (290,0042 + j46,7516)$$

$$U_{H1}^B = \sqrt{(290,0042^2 + 46,7516^2)} = 293,7485$$

$$U_{H1} = U_{H1}^B / \kappa_{B-H1} = 293,7485 / 8,5714 = 34,2707$$

$$\underline{U}_c^B = 322,9674 - 0,1468 - j0,0722 = (322,8206 - j0,0722)$$

$$U_c^B = \sqrt{(322,8206^2 + 0,0722^2)} = 322,8206$$

$$U_c = U_c^B / \kappa_{B-c1} = 322,8206 / 2,8696 = 112,4981$$

$$U_2=112,4981-1,4961=111,0019$$

$$U_{н2}^B =111,0019-3,7989=107,2030$$

$$U_{н2}= U_{н2}^B/k_{в-н2}=107,2030/8,5714=10,2542$$

Выводы.

1. Было выполнено определение параметров элементов разомкнутой электрической сети 110 кВ (рис. 1.1) для составления полной и расчетной схем замещения сети.

2. Представлены полная и расчетная схемы замещения электрической сети 110 кВ для расчета установившегося режима работы сети при заданной нагрузке.

3. Выполнен расчет установившегося режима разомкнутой электрической сети 110 кВ. Анализ расчета установившегося режима работы сети показал, что напряжение в сети соответствует нормируемому, т.е отклонение напряжения не превышает 5%.

ТЕСТЫ ПО КУРСУ "ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ"

1. Чем определяется пропускная способность линий электропередачи?

1) Величиной тока короткого замыкания		
2) Пределом передаваемой мощности		
3) Режимом нейтрали трансформаторов		
4) Величиной напряжений по концам линий электропередач		
5) Количеством проводов в расщепленной фазе линии		

2. С какой целью выполняется расщепление фаз линий электропередачи?

1) Снизить уровни токов короткого замыкания		
2) Снизить потери на корону		
3) Повысить пропускную способность		
4) Снизить нагрузочные потери		
5) Повысить надежность работы линии		

3. К какому эффекту может привести устранение параметрической неоднородности электропередачи?

1) Увеличатся потери реактивной мощности		
2) Уменьшатся потери реактивной мощности		
3) Повысится надежность электропередачи		
4) Увеличится пропускная способность электропередачи		
5) Уменьшатся потери активной мощности		

4. Какие процессы возникнут в электроэнергетической системе при резком увеличении потребляемой мощности?

1) Придут в действие регуляторы скорости турбины		
2) Частота в системе начнет увеличиваться		
3) Реактивная мощность электростанций начнет увеличиваться		
4) Возникнет регулирующий эффект нагрузки		
5) Активная мощность электростанций начнет уменьшаться		

5. С какой целью выполняется компенсация реактивной мощности в электрической сети?

1) Регулировать напряжение в узлах электрической сети		
2) Снизить потери на корону		
3) Повысить пропускную способность		
4) Снизить нагрузочные потери активной мощности		
5) Повысить надежность работы линии		

6. Чем определяется величина минимально допустимого сечения сталеалюминиевых проводов воздушных линий?

1) Опасностью возникновения вибрации проводов		
2) Механической прочностью проводов		
3) Механической прочностью опор ВЛ		
4) Недопустимым повышением температуры провода		
5) Условием снижения потерь на корону		

7. Какие причины обусловили широкое применение автотрансформаторов (АТ) в электрических сетях высокого и сверхвысокого напряжения по сравнению с трехобмоточными трансформаторами?

1) Низкая стоимость АТ		
2) Высокая надежность АТ		
3) Меньшие габариты АТ		
4) Гибкое регулирование напряжения		
5) Меньшие потери реактивной мощности		

8. Что характеризует время использования максимума нагрузки?

1) Это время, в течение которого электрическая сеть работает с максимальной нагрузкой		
2) Количество потребленной электроэнергии		
3) Неоднородность графика нагрузки		
4) Спрос на электроэнергию		
5) Количество потерянной электроэнергии		

9. Для каких линий режим холостого хода недопустим?

1) Для линий сверхвысокого напряжения		
2) Для очень длинных линий		
3) Для линий с напряжением ниже 110 кВ		
4) Для кабельных линий		
5) Для всех линий		

10. С какой целью может применяться продольная компенсация индуктивного сопротивления линий электропередачи?

1) Уменьшить потери активной мощности		
2) Уменьшить потери напряжения		
3) Уменьшить токи короткого замыкания		
4) Увеличить пропускную способность ЛЭП		
5) Уменьшить потери реактивной мощности		

11. Укажите место возможного размещения устройства РПН в автотрансформаторе

1) На стороне высокого напряжения (ВН) в линии		
2) В нейтрали обмотки ВН		
3) На стороне среднего напряжения (СН) в линии		
4) На стороне низкого напряжения		
5) Два устройства РПН - на стороне ВН и стороне СН.		

12. Какими причинами обусловлены ограничения на напряжение на шинах подстанций со стороны высокого напряжения?

1) Условиями регулирования напряжения		
2) Условиями статической устойчивости		
3) Уровнем изоляции воздушной линии		
4) Условиями работы понижающих трансформаторов подстанций		
5) Термической стойкостью оборудования подстанций		

13. Какие ограничения учитывают при выборе сечений проводов в распределительных сетях низкого напряжения?

1) По допустимой потере напряжения		
2) По допустимому току из условия нагрева провода		
3) По механической прочности проводов		
4) По условиям потерь на корону		
5) По механической прочности опор воздушных линий		

14. Какие ограничения учитывают при выборе сечений проводов в сетях высокого и сверхвысокого напряжения?

1) По допустимой потере напряжения		
2) По допустимому току из условия нагрева провода		
3) По механической прочности проводов		
4) По условиям потерь на корону		
5) По механической прочности опор воздушных линий		

15. Какие из ниже перечисленных устройств можно применить для повышения напряжения в узле нагрузки?

1) Батарея статических конденсаторов		
2) Синхронный компенсатор в режиме перевозбуждения		
3) Синхронный компенсатор в режиме недовозбуждения		
4) Реактор		
5) Устройство РПН понижающих трансформаторов		

16. Два узла (1 и 2) соединены линией электропередачи. Что необходимо сделать, если требуется увеличить поток активной мощности от узла 1 к узлу 2, при этом поток реактивной мощности следует оставить без изменения?

1) Увеличить U_1 и уменьшить δ_{12} .		
2) Увеличить U_1 и увеличить δ_{12} .		
3) Уменьшить U_1 и уменьшить δ_{12} .		
4) Уменьшить U_1 и увеличить δ_{12} .		
5) Увеличить U_2 и увеличить δ_{12} .		

17. Какие из ниже перечисленных способов можно применить для уменьшения индуктивного сопротивления воздушной линии?

1) Увеличить междуфазное расстояние		
2) Уменьшить междуфазное расстояние		
3) Увеличить диаметр провода		
4) Уменьшить диаметр провода		
5) Перейти на более высокую ступень напряжения		

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Барбашов И.В. Общая характеристика современных электрических систем и сетей. Учебно-методическое пособие. – Х. : НТУ «ХПИ», 2003. – 191 с.
2. Барбашов И.В. Общая характеристика современных электрических систем и сетей. Конспект лекций. – Х. : НТУ «ХПИ», 2015. – 217 с.
3. Барбашов И.В., Черкашина В.В., Шутенко О.В. Электрические системы и сети. Учебно–методическое пособие по проведению практических занятий и выполнению расчетных заданий для студентов специальности 7.090602 "Электрические системы и сети" – Х. : НТУ "ХПИ", 2007. – 209 с.
4. Идельчик В.И. Электрические системы и сети. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 346 с.
5. Петренко Л.И. Электрические сети и системы. – К. : Вища школа, 1981. – 179 с.
6. Поспелов Г.Е., Федин В.Т. Электрические системы и сети. Проектирование. – Мн. : Вышэйшая школа, 1988. – 382 с.
7. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. - М. : Энергоатомиздат, 1987. – 265 с.
8. Справочник по проектированию электроэнергетических систем / Под ред. С.С. Рокотяна и И.М. Шапиро. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 386 с.
9. Электрические системы и сети / Буслова Н.В., Винославский В.Н., Денисенко Г.И. Перхач В.С.; Под ред. Г.И. Денисенко. – К. : Вища школа, 1986. – 268 с.
10. Электрические системы. Электрические сети / Под ред. В.А. Веникова, В.А. Строева. – М. : Высшая школа, 1998. – 311 с.
11. Электротехнический справочник. Т. 3. Кн. 1 / Под ред. И.Н. Орлова и др. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 193 с.
12. Электроэнергетические системы в примерах и иллюстрациях / Под ред. В.А. Веникова. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 213 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	4
ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	5
ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ВЫРАЖЕНИЯ.....	30
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В НАИМЕНОВА- НИИ ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ ОБЪЕК- ТОВ.....	/39
ПРИМЕРЫ РЕАЛИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ ЗАДАЧ.....	43
ТЕСТЫ ПО КУРСУ "ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ".....	68
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	72

Навчальне видання

БОНДАРЕНКО Володимир Омелянович
ЧЕРКАШИНА Вероніка Вікторівна

Практикум по дисципліне
«Електричні системи та мережі»
для студентів електротехнічних спеціальностей
Російською мовою

Відповідальний за випуск проф. Бондаренко В.О.
Роботу до видання рекомендував проф. Вепрік Ю.М.

В авторській редакції

План 2015 р., поз. 186

Підп. до друку 2016 р. Формат 60x84 1/16. Папір офсетний.
Riso-друк. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк.
Наклад 100 прим. Зам. № Ціна договірна

Видавничий центр НТУ «ХПІ». 61002, Харків, вул Фрунзе, 21
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 3657 від 24.12.2009 р.

Друкарня НТУ «ХПІ». 61002, Харків, вул Фрунзе, 21



Бондаренко
Владимир Емельянович
Профессор,
доктор технических наук,
Заведующий кафедрой
"Передача
электрической энергии"
Национального технического
университета
"Харьковский политехниче-
ский институт"



Черкашина
Вероника Викторовна
Доцент,
кандидат технических наук,
доцент кафедры "Передача
электрической энергии"
Национального технического
университета
"Харьковский политехниче-
ский институт"