СОДЕРЖАНИЕ

ЗАДАНИЕ НА РГ

1. составление схемы замещения сети

1.1 Расчет параметров схемы замещения ЛЭП

1.2 Определение параметров схемы замещения подстанции

1.3 Составление схемы замещения сети

2. Расчет рабочего режима сети

2.1 Нулевая итерация

2.2 Первая итерация

3. Расчет рабочего режима сети с учетом конденсаторной батареи

3.1 Нулевая итерация

3.2 Первая итерация

ЗАКлючение

Библиографический список

ЗАДАНИЕ НА РГЗ

От шин районной подстанции 1 по двухпроводной воздушной ЛЭП осуществляется электроснабжение понизительной подстанции 2, на которой установлено два одинаковых трехобмоточных трансформатора Тр 1 и Тр 2. Схема описанной электрической сети представлена на рис. 1. Исходные данные к расчету рабочего режима сети: действующее значение напряжения на шинах узловой подстанции 1 – U1; длина ЛЭП от подстанции 1 до подстанции 2 – L; марка провода ЛЭП; расположение проводов на опорах; среднее расстояние между проводами фаз – D; число проводов в фазе – n; шаг расщепления – аср; тип трансформатора; номинальные напряжения обмоток высшего, среднего и низшего напряжения – UВН/UСН/UНН; нагрузки трансформаторов на сторонах среднего и низшего напряжений соответственно и ) приведены в табл.1.



Таблица 1 – Исходные данные к курсовой работе

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер варианта | Параметры электрической сети | | | | | | | | | | |
| U1,  кВ | L,  км | Марка провода | Расположение  проводов | D,  м | n | аCР,  мм | Тип  трансформатора | UВН/UСН/UНН,  кВ | ,  МВ⋅А | ,  МВ⋅А |
| 32 | 39 | 25 | АС - 95/16 | В вершинах треугольника | 4,0 | 1 | - | ТМТН-10000/35 | 36,75/10,5/6,3 | 6+j2 | 7+j1 |

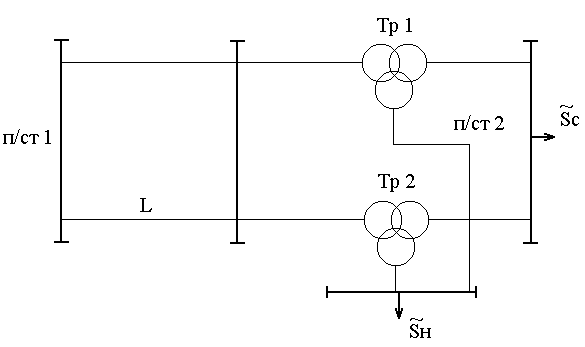


Рисунок 1 – Схема электрической сети

1. составление схемы замещения сети

## Расчет параметров схемы замещения ЛЭП

Из курса “ТОЭ” известно, что любая длинная линия является линией с распределёнными параметрами, которую можно представить в виде множества соединённых в цепочку элементарных участков, каждый из которых может быть представлен в виде “П” – образной схемы замещения, с одинаковыми значениями погонных параметров ZП и YП, где: ZП = RП + jXП – продольное погонное сопротивление линии; YП = gП +jbП – поперечная погонная проводимость линии. Так как в нашем случае используется относительно короткая ЛЭП (L < 300 км), то распределенностью параметров можно пренебречь и считать их сосредоточенными.

Рассмотрим сначала однопроводную ЛЭП и рассчитаем для нее параметры схемы замещения. Необходимые размеры и сечения провода приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1 – Расчётные данные сталеалюминевого провода АС - 95/16

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Sном,  мм2 (алюминий / сталь) | Сечение проводов, мм2 | | Диаметр провода,  мм |
| Алюминиевых | Стальных |
| 95/16 | 95,4 | 15,9 | 13,5 |

Определяется активное сопротивление линии:

(1.1)



где L – длина ЛЭП, км; F – сечение активной части провода, мм2; γ – удельная проводимость алюминия.

Согласно (1.1):



Определяется индуктивное сопротивление линии:

(1.2)



где - радиус провода, мм; - среднее геометрическое расстояние между осями соседних фаз, мм; - относительная магнитная проницаемость проводника (алюминия);L – длина ЛЭП, км.



Определяется среднее геометрическое расстояние между осями соседних фаз:

мм. (1.3)



Согласно (1.2):

Ом.



Определяется активная проводимость линии:

(1.4)



где ΔРкор – потери активной мощности на корону, кВт; Uн – номинальное напряжение на ЛЭП, кВ.

Определяются потери активной мощности на корону:

(1.5)



где - коэффициент, учитывающий атмосферное давление; Uф – фазное напряжение ЛЭП, кВ; Uф.кор. - фазное напряжение, при котором появляется корона, кВ.



Определяется фазное напряжение ЛЭП:



Определяется фазное напряжение, при котором появляется корона:

(1.6)



где - коэффициент, учитывающий состояние поверхности провода; - коэффициент, учитывающий состояние погоды;



Согласно (1.6):



Фазное напряжение, при котором возникает корона значительно выше действительного (625,524 > 20,2073), поэтому в данной ЛЭП коронирования не будет и соответственно потерь, связанных с ним тоже. Таким образом, активная проводимость в схеме замещения ЛЭП будет отсутствовать.

Определяется реактивная проводимость линии:

(1.7)



где К = 1,05 - коэффициент, учитывающий влияние земли и грозозащитных тросов.

Согласно (1.7):



В нашем задании ЛЭП – двухпроводная, оба участка исследуемой ЛЭП имеют одинаковые параметры и соединены параллельно. То есть предоставляется возможность упростить схему замещения. При этом значения продольных параметров схемы замещения линии уменьшаются вдвое, а значения поперечных увеличиваются в такое же количество раз. Таким образом, полная схема замещения ЛЭП, приведённая на рис. 1.1, соединяющей подстанцию 1 с подстанцией 2 будет иметь следующие значения параметров:



Рисунок 1.1 – Схема замещения ЛЭП

## Определение параметров схемы замещения подстанции 2

Подстанция 2 состоит из двух трансформаторов ТМТН-10000/35, соответствующие обмотки которых соединены параллельно между собой. Рассчитаем параметры схемы замещения одного трансформатора, а затем скорректируем полученные значения для случая параллельного соединения трансформаторов аналогично тому, как поступили с ЛЭП.

Каталожные данные трансформатора типа ТМТН-10000/35 приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2 - Каталожные данные трансформатора типа ТМТН-10000/35

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Мощность  SНОМ.ТР, МВ⋅А | Тип | Пределы  регулирования напряжения, % | КАТАЛОЖНЫЕ ДАННЫЕ | | | | | | | | |
| UНОМ, кВ | | | UК, % | | | ΔРК,  кВт | ΔРХ,  кВт | IХ,  %` |
| ВН | СН | НН | В-С | В-Н | С-Н |
| 10 | ТМТН-  10000/35 | ±8×1,5 | 36,75 | 10,5 | 6,3 | 16,5 | 8 | 7,2 | 75 | 18 | 0,85 |

Активные сопротивления обмоток (здесь и далее имеются ввиду приведенные значения) трансформатора определяются по формуле:

(1.8)



где - потери короткого замыкания трансформатора, кВт; - номинальное напряжение обмотки ВН трансформатора, кВ; - номинальная мощность трансформатора, кВА.



Активные сопротивления обмоток равны между собой и равны .



Согласно (1.8):



Определяется индуктивные сопротивления обмоток трансформатора.

Сопротивление обмотки ВН:

(1.9)



где - напряжение короткого замыкания обмотки ВН, %; - номинальное напряжение обмотки ВН трансформатора, кВ; - номинальная мощность трансформатора, кВА.



Определяется напряжение короткого замыкания обмотки ВН:

%.



Согласно (1.9):

Ом.



Сопротивление обмотки СН:

(1.10)



где - напряжение короткого замыкания обмотки СН, %.



Определяется напряжение короткого замыкания обмотки СН:

%.



Согласно (1.10):

Ом.



Сопротивление обмотки НН:

(1.11)



где - напряжение короткого замыкания обмотки НН, %.



Определяется напряжение короткого замыкания обмотки НН:

%.



Согласно (1.11):

Ом.



Определяется активная проводимость трансформатора:

(1.12)



где - потери холостого хода трансформатора, кВт.



Согласно (1.12):



Определяется индуктивная проводимость трансформатора:

(1.13)



где - ток холостого хода трансформатора, %.



Согласно (1.13):



Как уже говорилось, на подстанции имеются два одинаковых трансформатора, работающие параллельно. В связи с этим предоставляется возможным упрощение схемы замещения подстанции 2. Продольные параметры схемы замещения одного трансформатора уменьшаются в два раза, а поперечные увеличиваются в такое же количество раз. Значения параметров схемы замещения, представленной на рис. 1.2, будут следующими:

Ом.



Ом.



Рисунок 1.2 - Схема замещения подстанции 2

Ом.



Ом.



См.



См.



## Составление схемы замещения сети

Для составления схемы замещения сети используем схемы замещения ЛЭП и подстанции 2 (рис. 1.1 и рис. 1.2). Схема замещения сети показана на рис. 1.3. Для удобства дальнейших расчетов несколько упростим схему и переобозначим значения параметров. Окончательный вид схема замещения сети будет иметь, как показано на рис. 1.4. Значения параметров схемы замещения приведены в табл. 1.3.

Таблица 1.3 - Значения параметров схемы замещения

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| b1, См | b2, См | , Ом | , Ом | , Ом | , Ом | , Ом | , См |
| 1,3191·10-4 | -3,3067·10-4 | 3,7652 | 0,5065 | 5,3716 | 5,8412 | 5,301 | 2,6656·10-5 |



Рисунок 1.3 - Схема замещения сети



Рисунок 1.4 - Окончательный вид схемы замещения сети

2. Расчет рабочего режима сети

Схема замещения сети с обозначением распределения мощностей по участкам приведена на рис. 2.1. Расчет рабочего режима будет производиться итерационным методом.

## 2.1 Нулевая итерация

На нулевой приближенно определяется мощность центра питания сети - SA, в нашем случае это подстанция 1. Расчет ведется, двигаясь от конца сети к началу. Падением напряжения в сети на нулевой итерации пренебрегают и считают, что оно везде одинаково и равно напряжению центра питания - .



Определяется мощность в точке 2 со стороны СН:

(2.1)



где - нагрузка трансформатора на стороне среднего напряжения, МВА; UA – напряжение на шинах узловой подстанции, кВ; R3 – активное сопротивление обмотки среднего напряжения, Ом; Х3 – индуктивное сопротивление обмотки низкого напряжения, Ом.



Согласно (2.1):



Определяется мощность в точке 2 со стороны НН:

(2.2)



Рисунок 2.1 - Схема замещения сети с обозначением распределения мощностей

где - нагрузка трансформатора на стороне низкого напряжения, МВА; R4 – активное сопротивление обмотки низкого напряжения, Ом.



Согласно (2.2):



Определяется суммирующее значение мощности в точке2:

(2.3)



где , - мощности в точке 2 со стороны СН и НН, соответственно, МВА.



Согласно (2.3):



Определяются коэффициенты распределения активной мощности обмотки ВН между обмотками СН и НН обозначим через и соответственно. Реактивной – и . Они будут необходимы для расчета следующей итерации.



Определяется мощность в точке 1 со стороны ВН:

(2.4)



где - суммирующее значение мощности в точке 2, МВА; R2 – активное сопротивление обмотки высокого напряжения, Ом; Х2 – индуктивное сопротивление обмотки высокого напряжения, Ом.



Согласно (2.4):



Определяется мощность в конце ЛЭП:

(2.5)



где - мощность в точке 1 со стороны обмотки ВН, МВА; - активная проводимость трансформатора, См.



Согласно (2.5):



Определяется мощность в начале ЛЭП:

(2.6)



где - мощность в конце ЛЭП, МВА; R1 – активное сопротивление ЛЭП, Ом; Х2 – индуктивное сопротивление ЛЭП, Ом.



Согласно (2.6):



Определяется необходимая мощность центра питания:

(2.7)



где - мощность вначале ЛЭП, МВА; b1 – реактивная проводимость ЛЭП, См.



Согласно (2.7):



Таким образом в завершении нулевой итерации получили ориентировочное значение мощности центра питания.

## 2.2 Первая итерация

В первой итерации расчет ведется от начала линии к концу. Исходными данными к ней являются напряжение центра питания, которое у нас задано, и мощность центра питания, которую мы получили в результате нулевой итерации. Расчет первой итерации учитывает падение напряжения в линии. Если в завершении данной итерации значения выходящих мощностей обмотки СН и обмотки НН будут отличаться от заданных не более, чем на 5%, то на этом расчет завершится.

Определяется мощность в начале ЛЭП:

(2.8)



где - мощность центра питания, МВА.



Согласно (2.8):



Определяется мощность в конце ЛЭП:



Определяется напряжение в точке 1:

(2.9)



где , - активная и реактивная мощности в точке 1, соответственно.



Согласно (2.9):



Определяется мощность перед обмоткой ВН:



Определяется мощность после обмотки ВН:



Определяется приведённое напряжение в точке 2:

(2.10)



где , - активная и реактивная мощности в точке 2, соответственно.



Согласно (2.10):



Определяется мощность перед обмоткой СН:

(2.11)



где , - коэффициент распределения активной и реактивной мощностей между обмотками ВН и СН.



Согласно (2.11):



Определяется нагрузка на стороне СН:



Определяется приведённое напряжение на стороне СН:

(2.12)



где , - активная и реактивная мощности на стороне СН, соответственно.



Согласно (2.12):



Определяется мощность перед обмоткой НН:

(2.13)



где , - коэффициент распределения активной и реактивной мощностей между обмотками ВН и НН.



Согласно (2.13):



Определяется нагрузка на стороне НН:



Определяется приведённое напряжение на стороне НН:

(2.14)



где , - активная и реактивная мощности на стороне НН, соответственно.



Согласно (2.14):



В результате первой итерации получили значения выходящих мощностей с обмоток СН и НН. Сравним полученные результаты с заданными. Так как мы имеем дело с комплексными величинами, то погрешность должна не превышать 5%.

Определяется погрешность расчёта активной мощности на стороне СН:

(2.15)



где - заданная активная мощность на стороне СН, кВт; - полученное значение активной мощности на стороне СН, кВт.



Согласно (2.15):



Определяется погрешность расчёта реактивной мощности на стороне СН:

(2.16)



где - заданная реактивная мощность на стороне СН, квар; - полученное значение реактивной мощности на стороне СН, квар.



Согласно (2.16):



Определяется погрешность расчёта активной мощности на стороне НН:

(2.17)



где - заданная активная мощность на стороне НН, кВт; - полученное значение активной мощности на стороне НН, кВт.



Согласно (2.17):



Определяется погрешность расчёта реактивной мощности на стороне НН:

(2.18)



где - заданная реактивная мощность на стороне НН, квар; - полученное значение реактивной мощности на стороне НН, квар.



Согласно (2.18):



Как видно погрешность не превышает 5%, поэтому расчет завершается.

Проверим сможет ли подстанция обеспечить номинальное выходное напряжение. В результате первой итерации мы получили следующие значения напряжений:

кВ – напряжение на обмотке ВН трансформатора;



кВ – приведенное значение напряжения на обмотке СН трансформатора;



кВ – приведенное значение напряжения на обмотке НН трансформатора.



Для обеспечения требуемых выходных напряжений (10,5 кВ на СН и 6,3 кВ на НН) приведенные значения напряжений и должны равняться 36,75 кВ. В трансформаторах данного типа предусмотрено регулирование напряжения на стороне ВН от номинального. Определим на какой отпайке трансформатора будет достигнуто требуемое выходное напряжение.



Определяется напряжение одной отпайки:

(2.19)



где - требуемое приведенное значение напряжения, кВ; 1,5 – предел регулирования одной отпайки, %.



Согласно (2.19):



Определяется разница напряжения между требуемым и полученным напряжением:



Определяется необходимое число отпаек:



Определяется уточнённый коэффициент трансформации на стороне НН:



Определяется напряжение на стороне НН с учётом регулирования напряжения на стороне ВН:



Для обеспечения режима максимально близкого к номинальному рекомендуется работа трансформатора без регулирования напряжения на стороне высокого напряжения.



3. Расчет рабочего режима сети с учетом конденсаторной батареи

Схема замещения сети с обозначением распределения мощностей по участкам приведена на рис. 3.1. Расчет рабочего режима будет производиться итерационным методом.

## 3.1 Нулевая итерация

На нулевой приближенно определяется мощность центра питания сети - SA, в нашем случае это подстанция 1. Расчет ведется, двигаясь от конца сети к началу. Падением напряжения в сети на нулевой итерации пренебрегают и считают, что оно везде одинаково и равно напряжению центра питания - .Мощность конденсаторной батареи равна 1,4 МВАр. Конденсаторная батарея устанавливается на сторону низкой нагрузки.



Согласно (2.1):



Согласно (2.2):



Согласно (2.3):



Рисунок 3.1 - Схема замещения сети с обозначением распределения мощностей

Определяются коэффициенты распределения активной мощности обмотки ВН между обмотками СН и НН обозначим через и соответственно. Реактивной – и . Они будут необходимы для расчета следующей итерации.



Согласно (2.4):



Согласно (2.5):



Согласно (2.6):



Согласно (2.7):



Таким образом в завершении нулевой итерации получили ориентировочное значение мощности центра питания с учетом конденсаторной батареи.

## 3.2 Первая итерация

В первой итерации расчет ведется от начала линии к концу. Исходными данными к ней являются напряжение центра питания, которое у нас задано, и мощность центра питания, которую мы получили в результате нулевой итерации. Расчет первой итерации учитывает падение напряжения в линии. Если в завершении данной итерации значение напряжения на низкой стороне будет отличаться от заданного не более, чем на 5%, то на этом расчет завершится.

Согласно (2.8):



Определяется мощность в конце ЛЭП:



Согласно (2.9):



Определяется мощность перед обмоткой ВН:



Определяется мощность после обмотки ВН:



Согласно (2.10):



Согласно (2.13):



Определяется нагрузка на стороне НН:



Согласно (2.14):



Определяется напряжение на стороне НН с учётом конденсаторной батареи:



Определяется погрешность расчёта напряжения на стороне НН:

(2.15)



где - заданное напряжение на стороне НН, кВ; - полученное значение напряжения на стороне НН, кВ.



Согласно (2.15):



Так как погрешность не превышает 5% , то расчет на этом заканчивается.

ЗАКлючение

В данной работе был проведён расчёт параметров рабочего режима электрической сети итерационным методом (методом последовательных приближений). В первом приближении (нулевая итерация) априорным путём было получено первоначальное распределение мощностей по участкам сети. Во втором приближении (первая итерация) были уточнены мощности на каждом из участков и определены напряжения в узлах сети. В результате расчётные нагрузочные мощности на сторонах среднего и низшего напряжений совпали с заданными мощностями в пределах допустимой погрешности.

Напряжения, полученные в результате расчета на обмотках СН и НН были близки к номинальным, поэтому был рекомендован режим работы трансформатора без регулирования напряжения на стороне высокого напряжения.

Также в данной работе был произведен расчет параметров электрической сети с учетом конденсаторной батареи установленной на стороне низкого напряжения. В результате полученное напряжение на низкой стороне совпало с заданным в пределах допустимой погрешности.

Библиографический список

1. Шпиганович, А.Н. Методические указания к оформлению учебно–технической документации. [Текст] / А.Н. Шпиганович, В.И. Бойчевский, Липецк: ЛГТУ, 1997. – 32 с.

2. Шпиганович, А.Н. Методические указания и контрольные задания к расчётно–графическому заданию “Расчёт режимов электрических сетей”. [Текст]/ А.Н. Шпиганович, В.И. Бойчевский, Липецк: ЛГТУ, 1997. – 14 с.

3. Веникова, В.А. Расчёты и анализ режимов работы сетей: Учеб. пособие для вузов. [Текст]/ В.А. Веникова. М.: Энергия, 1974. – 336 с.