Оглавление

[1 Составление схемы замещения сети и определение её параметров 4](#_Toc386138596)

[1.1 Расчет параметров схемы замещения линии электропередачи 4](#_Toc386138597)

[1.1.1 Расчет линии В-3 4](#_Toc386138598)

[1.1.1.1 Расчет удельных параметров схемы замещения 4](#_Toc386138599)

[1.1.1.2 Расчет эквивалентных параметров схемы замещения 5](#_Toc386138600)

[1.2 Расчет параметров схемы замещения трансформаторов 6](#_Toc386138601)

[1.2.1 Расчет параметров схемы замещения понижающей двухтрансформаторной подстанции 1 6](#_Toc386138602)

[1.3 Расчет параметров схемы замещения автотрансформаторов 7](#_Toc386138603)

[1.3.1 Расчет параметров схемы замещения понижающей двухтрансформаторной подстанции 2 7](#_Toc386138604)

[2 Выполнение расчета потокораспределения и напряжения в узлах сети в нормальном режиме работы сети 10](#_Toc386138605)

[2.1 Определение приведенной и расчетной нагрузки понижающей двухтрансформаторной подстанции 1 10](#_Toc386138606)

[2.2 Определение приведенной и расчетной нагрузки понижающей двухтрансформаторной подстанции 3 10](#_Toc386138607)

[2.3 Определение приведенной и расчетной нагрузки понижающей двухавтотрансформаторной подстанции 2 11](#_Toc386138608)

[2.4 Расчет режима кольцевой сети 220 кВ 13](#_Toc386138609)

[2.5 Расчет распределения напряжений в ветвях автотрансформатора 17](#_Toc386138610)

[2.6 Расчет напряжения U1 узла 1 18](#_Toc386138611)

[2.7 Расчет распределения напряжений трансформатора ПС1 19](#_Toc386138612)

[2.8 Расчет распределения напряжений трансформатора ПС 3 19](#_Toc386138613)

[3 Выполнение расчета потокораспределения и напряжения в узлах сети в послеаварийном режиме работы сети (отключение наиболее загруженной линии в кольцевой сети 220 кв) 20](#_Toc386138614)

[3.1 Расчет режима магистральной сети. 20](#_Toc386138615)

[3.2 Расчет распределения напряжений в ветвях автотрансформатора в послеаварийном режиме 22](#_Toc386138616)

[3.3 Расчет напряжения U1 узла 1 в послеаварийном режиме 23](#_Toc386138617)

[3.4 Расчет распределения напряжений трансформатора ПС1 в послеаварийном режиме 24](#_Toc386138618)

[3.5 Расчет распределения напряжений трансформатора ПС 3 24](#_Toc386138619)

[4 Оценка достаточности регулировочных диапазонов устройств РПН трансформаторов на всех подстанциях 25](#_Toc386138620)

[4.1 Оценка достаточности регулировочного диапазона устройства РПН трансформатора на ПС1 25](#_Toc386138621)

[4.2 Оценка достаточности регулировочного диапазона устройства РПН трансформатора на ПС3 26](#_Toc386138622)

[4.3 Оценка достаточности регулировочного диапазона РПН и ЛРТ АТР 28](#_Toc386138623)

[5 Расчет потерь активной мощности и годовых потерь электроэнергии в сети 31](#_Toc386138624)

[6 Библиографический список 33](#_Toc386138625)

# Составление схемы замещения сети и определение её параметров

Схема замещения сети составляется с использованием схем замещения её отдельных элементов. В рассматриваемой сети такими элементами являются линии электропередачи 110 и 220 кВ, трансформаторы и автотрансформаторы понижающих подстанций. Рассмотрим каждую группу элементов отдельно.

## Расчет параметров схемы замещения линии электропередачи

Для линий электропередачи номинальным напряжением не более 220 кВ используем П-образную схему замещения, поперечные ветви которой представлены только неизменными значениями половины зарядной мощности (*Q*c/2). Потерями активной мощности на корону (*∆P*кор), которые определяют значение активной проводимости линии (*G*л), можно пренебречь.

### Расчет линии В-3

#### Расчет удельных параметров схемы замещения

Для определения параметров схемы замещения линий электропередачи необходимо в начале вычислить их погонные реактивные параметры (x0 и b0) с использованием соответствующих значений среднегеометрического расстояния между фазами (Dсг) и диаметра провода (dпр). При этом можно пренебречь взаимным влиянием цепей двухцепной линии электропередачи.

Удельное активное сопротивление линии:  [1, стр. 72].

Удельное индуктивное сопротивление линии:



где *Dсг* - среднегеометрическое расстояние между фазами;

*Dсг=8км* для линии 220кВ;

*rпр*- радиус провода;



здесь *dпр* - диаметр провода, *dпр=21,6мм* для провода марки АС 240/32 [1, стр. 72].

Удельная емкостная проводимость линии:



Удельная зарядная мощность линии:



где *Uном* - номинальное напряжение линии.

#### Расчет эквивалентных параметров схемы замещения

Параметры схемы замещения линий электропередачи определяются с учетом числа цепей линии.

Активное сопротивление линии:



где *L* - длина линии;

*nц* - количество цепей;

Индуктивное сопротивление линии:



Емкостная проводимость линии:



Зарядная мощность линии:



Расчет параметров остальных линий проводится аналогично. Результаты расчета сведены в таблицу 3.

Таблица 3. Параметры схемы замещения линий электропередачи

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ЛЭП | кВ |  | ,  км | Марка провода | Погонные параметры | | | | Расчетные данные | | |
| , | , | , | , | ,  Ом | ,  Ом | ,  Мвар |
| В-3 | 220 | 1 | 95 | АС 240/32 | 0,118 | 0,430 | 2,64 | 0,128 | 11,2 | 40,9 | 6,08 |
| В-2 | 220 | 1 | 85 | АС 240/32 | 0,118 | 0,430 | 2,64 | 0,128 | 10,0 | 36,6 | 5,44 |
| 2-3 | 220 | 1 | 55 | АС 240/32 | 0,118 | 0,430 | 2,64 | 0,128 | 6,49 | 23,7 | 3,52 |
| 1-2 | 110 | 2 | 45 | АС 70/11 | 0,422 | 0,441 | 2,58 | 0,0312 | 9,50 | 9,92 | 1,40 |

## Расчет параметров схемы замещения трансформаторов

### Расчет параметров схемы замещения понижающей двухтрансформаторной подстанции 1

Эквивалентное активное сопротивление двух параллельно работающих трансформаторов:



где *nТ* - число параллельно включенных трансформаторов;

*ΔРк* - потери короткого замыкания трансформатора, МВт;

*UBном* - номинальное напряжение высшей обмотки трансформатора, кВ;

*SТном* - номинальная мощность трансформатора, МВА.

Эквивалентное реактивное сопротивление двух параллельно работающих трансформаторов:



где *uк* - напряжение короткого замыкания, %.

Эквивалентные потери активной мощности холостого хода в двух параллельно работающих трансформаторах:



где *ΔРх* - потери холостого хода трансформатора, кВт.

Эквивалентные потери реактивной мощности холостого хода в двух параллельно работающих трансформаторах:



где *Iх* - ток холостого хода трансформатора, %.

Расчет параметров подстанции 3 проводится аналогично. Результаты расчета сведены в таблицу 4.

Таблица 4 Параметры схемы замещения трансформаторов.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ПС  (узел) | Каталожные данные | | | | | | | Расчетные данные | | | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1 | 10 | 115 | 11 | 10,5 | 60 | 14 | 0,7 | 3,97 | 69,4 | 0,028 | 0,140 |
| 3 | 63 | 230 | 11-11 | 12,0 | 300 | 82 | 0,8 | 2,00 | 50,4 | 0,164 | 1,01 |

## Расчет параметров схемы замещения автотрансформаторов

### Расчет параметров схемы замещения понижающей двухтрансформаторной подстанции 2

Эквивалентное активное сопротивление лучей схемы замещения двух параллельно работающих трансформаторов:





Эквивалентное реактивное сопротивление лучей схемы замещения двух параллельно работающих трансформаторов:



 т.к. *uкС*=0,



где *uкВ*, *uкС*, *uкН* - напряжения короткого замыкания соответственно высшей, средней и низшей обмоток трансформатора:







где *uкВ-Н*, *uкВ-С*, *uкС-Н* - напряжения короткого замыкания соответственно пар обмоток В-Н, В-С, С-Н трансформатора.

Эквивалентные потери активной мощности в двух параллельно работающих трансформаторах:



Эквивалентные потери реактивной мощности в двух параллельно работающих трансформаторах: 



Результаты расчета сведены в таблицу 5.

Таблица 5. Параметры схемы замещения автотрансформаторов

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ПС  (узел) |  | Каталожные данные | | | | | | | | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 | 63 | 230 | 121 | 11 | 215 | 45 | 0,5 | 11 | 35,7 | 21,9 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Расчетные данные | | | | | | | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0,716 | 0,716 | 1,43 | 52,1 | 0 | 97,8 | 0,09 | 0,63 |

### 

Схема замещения сети представлена на рисунке 2.



Рис. 2. Схема замещения сети

# Выполнение расчета потокораспределения и напряжения в узлах сети в нормальном режиме работы сети

## Определение приведенной и расчетной нагрузки понижающей двухтрансформаторной подстанции 1

Расчет реактивной мощности:



Потери на участке:



Приведенная мощность:

 Расчетная мощность:



## Определение приведенной и расчетной нагрузки понижающей двухтрансформаторной подстанции 3

Расчет реактивной мощности:



Потери на участке:



Приведенная мощность:

 Расчетная мощность:



Результаты расчета сведены в таблицу 6

Таблица 6. Приведенные и расчетные нагрузки подстанций в нормальном режиме

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Узел |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1 | 12 | 0,0558 | 0,028 | 12,1 | 5,11 | 0,976 | 0,14 | 1,4 | 4,83 |
| 3 | 80 | 0,293 | 0,164 | 80,5 | 26,3 | 7,38 | 1,01 | 9,6 | 25,1 |

## Определение приведенной и расчетной нагрузки понижающей двухавтотрансформаторной подстанции 2

Поток мощности в конце линии 12:

.

Потери мощности в линии 12:



Поток мощности в начале линии 12:



Расчет реактивной мощности:





1 этап.

Принимаем допущение:



Потоки мощности в конце обмоток среднего и низшего напряжения:





Потери мощности в обмотках среднего и низшего напряжения:





Потоки мощности в начале обмоток среднего и низшего напряжения:





Поток мощности в конце обмотки высшего напряжения:

Потери мощности в обмотках среднего и низшего напряжения:



Поток мощности в начале обмотки высшего напряжения:



Приведенная мощность:



Расчетная мощность:



## Расчет режима кольцевой сети 220 кВ

Расчетная схема сети для нормального режима представлена на рис. 3

Рис. 3. Расчетная схема сети для нормального режима.

Разделяем сеть по шинам источника питания для определения предварительного потокораспределеня (рис. 4) и задаемся положительными направлениями мощностей в линиях.



Рис. 4. Схема кольцевой сети, разомкнутая по шинам источника питания.

Расчет мощностей, протекающих по головным участкам кольцевой сети.

Так как сеть однородна, то расчет предварительного потокораспределения осуществляется пропорционально длинам линий, а не полным сопротивлениям. 



Проверка баланса мощности:



Баланс мощности выполняется.

Расчет мощности протекающей по линии 2-3.



Следовательно, точка 3 - точка потокораздела по активной и реактивной мощности. Размыкаем сеть по точке потокораздела (рис. 5).



Рис. 5 Схема замещения кольцевой сети

Расчет режима двух раздельных магистральных сетей.

Первый этап.

Принимаем допущение: 

1) Левая часть схемы:

Поток мощности в конце линии 23:



Потери мощности в линии 23:



Поток мощности в начале линии 23:



Поток мощности в конце линии В2:



Потери мощности в линии B2:



Поток мощности в начале линии В2:



2) Правая часть схемы

Поток мощности в конце линии В’3:



Потери мощности в линии B’3:



Поток мощности в начале линии В’3:



Пересчет значений зарядных мощностей по фактическому напряжению



Мощность, которая поступает в сеть с шин источника питания:

 Второй этап.

1) Левая часть схемы:

Продольная составляющая вектора падения напряжения линии В2:

Поперечная составляющая вектора падения напряжения линии В2:



Напряжение узла 2:



Продольная составляющая вектора падения напряжения линии 23:

Поперечная составляющая вектора падения напряжения линии 23:



Напряжение узла 3:



2) Правая часть схемы:

Продольная составляющая вектора падения напряжения линии В’3:

Поперечная составляющая вектора падения напряжения линии В’3:



Напряжение узла 3:





## Расчет распределения напряжений в ветвях автотрансформатора



Продольная составляющая падения напряжения в обмотке высшего напряжения:



Поперечная составляющая падения напряжения в обмотке высшего напряжения:



Напряжения узла 0 автотрансформатора:



Продольная составляющая падения напряжения в обмотке среднего напряжения:



Поперечная составляющая падения напряжения в обмотке среднего напряжения:



Напряжение на шинах СН, приведенное к стороне ВН:



Продольная составляющая падения напряжения в обмотке низшего напряжения:



Поперечная составляющая падения напряжения в обмотке низшего напряжения:



Напряжение на шинах НН, приведенное к стороне ВН:



## Расчет напряжения U1 узла 1

Автотрансформатор имеет устройство РПН на стороне СН 

Желаемое напряжение на шинах СН автотрансформатора:



Номер желаемого ответвления:



Номер действительного ответвления:



Действительное напряжение на стороне СН автотрансформатора:





Продольная составляющая вектора падения напряжения линии 12:



Так как сеть 110 кВ, то поперечной составляющей вектора падения напряжения можно пренебречь.

Напряжение узла 1:



## Расчет распределения напряжений трансформатора ПС1



Мощность на входе в трансформатор:



Продольная составляющая падения напряжения в обмотке трансформатора:



Напряжение на шинах НН, приведенное к стороне ВН:



## Расчет распределения напряжений трансформатора ПС 3



Мощность на входе в трансформатор:



Продольная составляющая падения напряжения в обмотке трансформатора:



Поперечная составляющая падения напряжения в обмотке трансформатора:



Напряжение на шинах НН, приведенное к стороне ВН:



# Выполнение расчета потокораспределения и напряжения в узлах сети в послеаварийном режиме работы сети (отключение наиболее загруженной линии в кольцевой сети 220 кв)

Определение самого тяжелого послеаварийного режима:







Следовательно, самый перегруженный участок - участок В2. Составляем расчетную схему сети для послеаварийного режима (рис 6).



Рис. 6. Расчетная схема сети для послеаварийного режима

## Расчет режима магистральной сети.

Первый этап.

Принимаем допущение: 

Поток мощности в конце линии 23:



Потери мощности в линии 23:



Поток мощности в начале линии 23:



Поток мощности в конце линии В3:



Потери мощности в линии B3:



Поток мощности в начале линии В3:



Мощность, которая поступает в сеть с шин источника питания:



Второй этап.

Продольная составляющая вектора падения напряжения линии В3:

Поперечная составляющая вектора падения напряжения линии В3:



Напряжение узла 3:



Продольная составляющая вектора падения напряжения линии 23:

Поперечная составляющая вектора падения напряжения линии 23:



Напряжение узла 2:



## Расчет распределения напряжений в ветвях автотрансформатора в послеаварийном режиме



Продольная составляющая падения напряжения в обмотке высшего напряжения:



Поперечная составляющая падения напряжения в обмотке высшего напряжения:



Напряжения узла 0 автотрансформатора:



Продольная составляющая падения напряжения в обмотке среднего напряжения:



Поперечная составляющая падения напряжения в обмотке среднего напряжения:



Напряжение на шинах СН, приведенное к стороне ВН:



Продольная составляющая падения напряжения в обмотке низшего напряжения:



Поперечная составляющая падения напряжения в обмотке низшего напряжения:



Напряжение на шинах НН, приведенное к стороне ВН:



## Расчет напряжения U1 узла 1 в послеаварийном режиме

Автотрансформатор имеет устройство РПН на стороне СН 

Желаемое напряжение на шинах СН автотрансформатора:



Номер желаемого ответвления:



Номер действительного ответвления:



Действительное напряжение на стороне СН автотрансформатора:





Продольная составляющая вектора падения напряжения линии 12:



Так как сеть 110 кВ, то поперечной составляющей вектора падения напряжения можно пренебречь.

Напряжение узла 1:



## Расчет распределения напряжений трансформатора ПС1 в послеаварийном режиме



Мощность на входе в трансформатор:



Продольная составляющая падения напряжения в обмотке трансформатора:



Напряжение на шинах НН, приведенное к стороне ВН:



## Расчет распределения напряжений трансформатора ПС 3



Мощность на входе в трансформатор:



Продольная составляющая падения напряжения в обмотке трансформатора:



Поперечная составляющая падения напряжения в обмотке трансформатора:



Напряжение на шинах НН, приведенное к стороне ВН:



# Оценка достаточности регулировочных диапазонов устройств РПН трансформаторов на всех подстанциях

## Оценка достаточности регулировочного диапазона устройства РПН трансформатора на ПС1

Из расчета режима наибольшей нагрузки и послеаварийного режима нам известно:



Трансформатор имеет устройство РПН на стороне ВН 

1)Режим наибольших нагрузок:

Желаемое напряжение на стороне НН трансформатора:



Пусть 

Тогда номер желаемого ответвления:



Номер действительного ответвления:



Действительное напряжение на стороне НН трансформатора:



Номер действительного ответвления не выходит за регулировочный диапазон, следовательно, диапазона РПН достаточно:



2)Послеаварийный режим:

Желаемое напряжение на стороне НН трансформатора:



Пусть 

Тогда номер желаемого ответвления:



Номер действительного ответвления:



Действительное напряжение на стороне НН трансформатора:



Номер действительного ответвления не выходит за регулировочный диапазон, следовательно, диапазона РПН достаточно:



## Оценка достаточности регулировочного диапазона устройства РПН трансформатора на ПС3

Из расчета режима наибольшей нагрузки и послеаварийного режима нам известно:



Трансформатор имеет устройство РПН на стороне ВН 

1)Режим наибольших нагрузок:

Желаемое напряжение на стороне НН трансформатора:



Пусть 

Тогда номер желаемого ответвления:



Номер действительного ответвления:



Действительное напряжение на стороне НН трансформатора:



Номер действительного ответвления не выходит за регулировочный диапазон, следовательно, диапазона РПН достаточно:



2)Послеаварийный режим:

Желаемое напряжение на стороне НН трансформатора:



Пусть 

Тогда номер желаемого ответвления:



Номер действительного ответвления:



Действительное напряжение на стороне НН трансформатора:



Номер действительного ответвления не выходит за регулировочный диапазон, следовательно, диапазона РПН достаточно:



## Оценка достаточности регулировочного диапазона РПН и ЛРТ АТР

Из расчета режима наибольшей нагрузки и послеаварийного режима нам известно:

   

Автотрансформатор имеет устройство РПН на стороне СН 

1)Режим наибольших нагрузок

Желаемое напряжение на шинах СН автотрансформатора:



Номер желаемого ответвления:



Номер действительного ответвления:



Действительное напряжение на стороне СН автотрансформатора:



Номер действительного ответвления не выходит за регулировочный диапазон, следовательно, диапазона РПН достаточно:



2)Послеаварийный режим

Желаемое напряжение на шинах СН автотрансформатора:



Номер желаемого ответвления:



Номер действительного ответвления:



Действительное напряжение на стороне СН автотрансформатора:



Номер действительного ответвления не выходит за регулировочный диапазон, следовательно, диапазона РПН достаточно:



На стороне НН автотрансформатора установлен линейный регулировочный трансформатор с пределами регулирования 

1)Режим наибольших нагрузок

Желаемое напряжение на стороне НН автотрансформатора:



Пусть  тогда добавочная ЭДС:



Номер желаемого ответвления:



Номер действительного ответвления:



Действительное напряжение на стороне НН автотрансформатора:



Номер действительного ответвления не выходит за регулировочный диапазон, следовательно, диапазона ЛРТ достаточно:



2)Послеаварийный режим

Желаемое напряжение на стороне НН автотрансформатора:



Пусть  тогда добавочная ЭДС:



Номер желаемого ответвления:



Номер действительного ответвления:



Действительное напряжение на стороне НН автотрансформатора:



Номер действительного ответвления не выходит за регулировочный диапазон, следовательно, диапазона ЛРТ достаточно:



# Расчет потерь активной мощности и годовых потерь электроэнергии в сети

Из расчета нормального режима известно:

  

  

  

  

Потери на корону в линии 12:



Потери на корону в линии В2:



Потери на корону в линии 23:



Потери на корону в линии В3:



Суммарные потери активной мощности:



Суммарная наибольшая нагрузка потребителей:



Суммарные потери активной мощности,%



Время потерь:



Нагрузочные потери Э/Э за год:

 Условно-постоянные потери Э/Э за год:



Годовые потери Э/Э в сети:



Годовые потери Э/Э в сети, %:



Из расчета послеаварийного режима известно:



Суммарные потери активной мощности в послеаварийном режиме:



Суммарные потери активной мощности в послеаварийном режиме, %

# Библиографический список

1. Справочник по проектированию электрических сетей. Под редакцией Д.Л. Файбисовича. - М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2005 - 320 с. ил.