**ВАРИАНТ 1**

1. Условия, влияющие на конфигурацию электрических сетей.

**ЗАДАЧИ 1,2,3,4,5** (**см. вариант 25).**

**ВАРИАНТ 25**

1. Опишите особенности и задачи расчета районных электрических сетей.

**ЗАДАЧА 1 (для всех вариантов)**

По двухцепной линии электропередачи напряжением *Uном* выполненной проводами марки АС на железобетонных опорах длиной *l*, с шин электростанции (ЭС) для питания подстанции передается мощность *SЭС = PЭС + jQЭС*. Провода расположены в вершинах равностороннего треугольника с расстоянием между фазами *D*cp.

Определите мощность, поступающую на шины ВН понизительной подстанции в нормальном режиме работы сети. Необходимые данные приведены в таблице 1.



Рисунок 2

**Методические указания к решению задачи 1**

Решение задачи рекомендуется начать с составления схемы замещения линии, являющейся составной частью электропередачи, изображенной на рисунке 2. Для этого изучите материал по §§3 - 1, 10 - 1 [2], по §§2.3, 3.1 [3] или по §2.1 [4].

Обратите внимание, что при расчете местных сетей *(Uном* ≤ 35 кВ), в отличие от районных, проводимостью линий пренебрегают, т. к. при ограниченных длинах местных сетей и сравнительно невысоких напряжениях ее влияние на результаты расчетов незначительно. Проверьте заданное в задаче сечение провода на нагрев токами нормального и аварийного (отключение одной цепи двухцепной линии) режимов по условию

*Iдоп >Iнорм  и Iдоп > Iав = 2Iнорм,* где *Iнорм =*

Величина допустимого по нагреву тока *Iдоп* указывается в справочных данных: таблица П2-1 [2], или таблица П5.28 [3], или таблица П.9 [4].

Далее рассчитайте параметры схемы замещения линии электропередачи по формулам:

* активное сопротивление *R = r0l*, Ом;
* индуктивное сопротивление *Х = x0l, Ом;*
* емкостная зарядная мощность *QB = U2ном b0 l,* М вар

где удельные параметры *r0. x0. b0* принимаются в соответствии с заданной маркой провода и *Dср* по приложениям П1-2-П1-4 [2], П5.28, П5.25. [3] или П.1, П.З-П.5 [4]

Таблица 1- Исходные данные по вариантам

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование, обозначение, единицы измерения величин | Вариант |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1.Номинальное напряже-ние электропередачи *U*ном, кВ | 220 | 110 | 35 | 220 | 110 | 35 | 220 | 110 | 35 | 110 |
| 2. Длина линии *l*, км | 120 | 50 | 25 | 120 | 60 | 15 | 140 | 70 | 10 | 65 |
| 3. Марка провода | АС-240/32 | АС-185/29 | АС-150/24 | АС-300/39 | АС-150/24 | АС-120/19 | АС-240/18 | АС-120/19 | АС-120/19 | АС-95/16 |
| 4. Мощность на шинах ЭС *P*ЭС+*jQ*ЭС, МВ\*А | 160+j*6*0 | 65+ *j*32 | 16+ *j*9 | 180+ *j*90 | 50+ *j*27 | 14+ *j*8 | 160+ *j*80 | 45+ *j*23 | 14+ *j*7 | 35+ *j*16 |
| 5. Среднее геометриче-ское расстояние *D*ср, м | 7,0 | 4,5 | 3,0 | 6,0 | 5,0 | 3,5 | 6,5 | 4,5 | 3,0 | 5,0 |
| 6. Напряжение на шинах электрической станцииа) в нормальном режиме UнормЭС, кВ | 230 | 118 | 36 | 235 | 119 | 36,5 | 242 | 116 | 36 | 117 |
| б) в аварийном режиме UавЭС, кВ | 242 | 120 | 37 | 240 | 121 | 37,5 | 242 | 120 | 37,5 | 120 |
| Наименование, обозначение, единицы измерения величин | Вариант |
| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| 1.Номинальное напряже-ние электропередачи *U*ном, кВ | 220 | 110 | 35 | 220 | 110 | 35 | 220 | 110 | 35 | 110 |
| 2. Длина линии *l*, км | 120 | 45 | 25 | 110 | 55 | 15 | 120 | 50 | 15 | 60 |
| 3. Марка провода | АС-240/32 | АС-185/29 | АС-150/24 | АС-300/39 | АС-150/24 | АС-120/19 | АС-240/18 | АС-120/19 | АС-120/19 | АС-95/16 |
| 4. Мощность на шинах ЭС *P*ЭС+*jQ*ЭС, МВ\*А | 130+*j*50 | 60+ *j*25 | 15+ *j*7 | 160+ *j*60 | 50+ *j*23 | 14+ *j*7 | 140+ *j*60 | 45+ *j*20 | 12+ *j*7 | 35+ *j*13 |
| 5. Среднее геометрическое расстояние *D*ср, м | 7,0 | 4,5 | 3,0 | 6,0 | 5,0 | 3,5 | 6,5 | 4,5 | 3,0 | 5,0 |
| 6. Напряжение на шинах электрической станцииа) в нормальном режиме UнормЭС, кВ | 233 | 115 | 36,5 | 235 | 117 | 36,5 | 240 | 116 | 36,5 | 117 |
| б) в аварийном режиме UавЭС, кВ | 242 | 122 | 37,5 | 240 | 122 | 37,5 | 242 | 120 | 37,5 | 121 |

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование, обозначение, единицы измерения величин | Вариант |
| 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| 1.Номинальное напряже-ние электропередачи *U*ном, кВ | 220 | 110 | 35 | 220 | 110 | 35 | 220 | 110 | 35 | 110 |
| 2. Длина линии *l*, км | 110 | 45 | 30 | 120 | 42 | 15 | 142 | 55 | 12 | 60 |
| 3. Марка провода | АС-240/32 | АС-185/29 | АС-150/24 | АС-300/39 | АС-150/24 | АС-120/19 | АС-240/18 | АС-120/19 | АС-120/19 | АС-120/19 |
| 4. Мощность на шинах ЭС *P*ЭС+*jQ*ЭС, МВ\*А | 150+*j*70 | 65+ *j*32 | 15+ *j*8 | 170+ *j*70 | 48+ *j*22 | 15+ *j*8 | 145+ *j*60 | 38+ *j*22 | 16+ *j*8 | 40+ *j*15 |
| 5. Среднее геометрическое расстояние *D*ср, м | 7,0 | 4,5 | 3,0 | 6,0 | 5,0 | 3,5 | 6,5 | 4,5 | 3,0 | 5,0 |
| 6. Напряжение на шинах электрической станцииа) в нормальном режиме UнормЭС, кВ | 230 | 117 | 36,5 | 235 | 116 | 37,0 | 235 | 116 | 36,5 | 117 |
| б) в аварийном режиме UавЭС, кВ | 240 | 119 | 37,5 | 242 | 121 | 37,5 | 242 | 120 | 37,5 | 120 |

Расчет мощности, протекающей по ЛЭП 110 и 220 кВ, целесообразно вес­ти в форме таблицы 2

Таблица 2 - Баланс мощности в линии

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование участка | Мощность и потери мощности |
| активная, МВт | реактивная, Мвар |
| Мощность в начале линии | *Рэс = Рн.л* | j Q*эс* = *j Qн.л* |
| Емкостная мощность в начале линии | \_ |  |
| Мощность в начале звена линии  | *Pн.зв.л = Pн.л.* | *+jQ*н.зв.л. = *jQ*н.л. - () |
| Потери мощ­ности в звене линии | Δ | *j*Δ*Q*зв. =  |
| Мощность в конце звена линии | *P*к.зв.л. = *P*н.зв.л. – Δ*P*зв. | *jQ*н.зв.л. – Δ*Q*зв. |
| Емкостная мощность в конце линии | \_ |  |
| Мощность в конце линии | *P*к.л. = *P*к. зв. л. | *jQк.л.*= *jQ*к.зв.л. - () |

В этой таблице R л.экв. X л.экв, QВэкв - эквивалентные параметры линии электропередачи. Для нормального режима работы электропередачи (в работе обе цепи двухцепной ЛЭП)

; ; 

Расчет баланса мощностей по линии напряжением 35 кВ ведется аналогично, но без учета зарядной мощности *QВ*.

После завершения расчетов по составлению баланса мощностей нанесите параметры линии и значение мощности в начале звена линии на схему замещения. UЭС - напряжение на шинах питающей электростанции

**ЗАДАЧА 2 (для всех вариантов)**

Определите мощность, поступающую на шины НН понизительной ПС, если на шины ВН передается с ЛЭП мощность, рассчитанная в задаче 1, а на ПС установлено два трансформатора, тип которых и мощность, потребляемая с шин ВН ПС, указаны в таблице 3.

**Методические указания к решению задачи 2**

Согласно заданию на понизительной ПС установлены двухобмоточные трансформаторы. В расчетах электрических сетей такие трансформаторы при Uном ≤ 220 кВ представляются упрощенной Г- образной схемой замещения, рисунок 11-1 [2], рисунок 3.1.1 [3] или рисунок 2.4 [4],



Продолжение таблицы 3

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование |  |
| 11,21 | 12, 22 | 13, 23 | 14,24 | 15,25 |
| Тип транс-форматоров | ТРДН-40000/220 | ТДН-16000/110 | ТДНС-10000/35 | ТРДЦН-63000/220 | ТДН-10000/110 |
| Мощность с шин ВН ПСP + j Q | 90 + j 40 | 40 + j 15 | 4 + j 2 | 110 + j 40 | 35 + j 17 |

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование |  |
| 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| Тип транс-форматоров | ТМН-6300/35 | ТРДЦН-40000/220 | ТРДН-25000/110 | ТМН-4000/35 | ТМН-6300/110 |
| Мощность с шин ВН ПСP + j Q | 4 + j 2 | 100 + j 50 | 15 + j 6 | 9 + j 5 | 25 + j 12 |

Завершите составление схемы замещения электропередачи, представленной на рисунке 2 и начатой при решении задачи 1, изображением схемы замещения ПС.

В практических расчетах величины проводимостей *GТ* и *ВТ* в указанных схемах удобнее заменять потерями активной и реактивной мощностей в них

(Δ)

Для трансформаторов своего варианта выпишите из таблицы 4 следующие каталожные данные:

*Sном -* номинальная мощность трансформатора, МВ\*А;

*U*номВМ,*U*номНН - номинальные напряжения обмоток высшего и низшего напряжений, кВ;

Δ*P*0 - активные потери холостого хода, кВт;

*I*0 - ток холостого хода, % от *I*ном;

Δ*P*к - потери короткого замыкания, кВт.

По этим данным следует определить параметры схемы замещения транс­форматора (§11-2 [2], §3.2[3], §2.2 [4J), а также потери мощности в нем (§11-3 [2],§4.1[3]).

Следует отметить, что справочные данные трансформаторов, приведенные в приложениях [2], [3], [4], несколько устарели, поэтому в таблице 8 указаны параметры более современных трансформаторов.

Определите мощность, поступающую на шины НН понизительной ПС, как разность мощности, поступающей в трансформаторы *ПС,* и потерь мощности в сопротивлениях и проводимостях трансформаторов.

Мощность, поступающая в трансформаторы ПС,



Так как на ПС установлено по два трансформатора, работающих параллельно, расчет следует вести cразу для двух трансформаторов, подставляя в формулы полную нагрузку и эквивалентные сопротивления двух трансформаторов

 потери мощности в стали для двух трансформаторов увели-чиваются вдвое (Δ*P*0 экв= 2Δ*P*0, ΔQμэкв = 2ΔQμ). Особо выделите мощность начала звена трансформатора, которая потребуется для решения задачи 4. Расчет задачи целесообразно выполнять в виде таблицы 5.

Таблица 5 - Баланс мощности в трансформаторах

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование участка | Мощность и потери мощности |
| Активная, МВт | Реактивная, Мвар |
| Мощность, поступающая в трансформаторы ПС (приведенная мощность) | *P*ВН | *jQ*вн |
| Потери мощности в стали (потери холостого хода) | Δ*P*0экв | *j*Δ*Q*μэкв |
| Мощность, поступающая в обмотку ВН (мощность начала звена) | *P*н.зв.*T* = *P*ВН - Δ*P*0экв | *jQ* н.зв.*T = j* (*Q*вн - Δ*Q*μэкв) |
| Потери мощности в сопротивлениях обмотки  |  |  |
| Мощность, поступающая на шины НН понизительной ПС | *P*НН = *P*н.зв.*T* - Δ*P* | *jQ*НН = *j* (*Q* н.зв.*T* – Δ*Q*) |

Решение задачи завершите расстановкой эквивалентных параметров подстанции на схеме замещения электропередачи и указанием мощности начала звена трансформатора.

**ЗАДАЧА 3.** Приведенную на рисунке 2 схему электропередачи рассчитайте в ава-рийном режиме. В ***нечетных вариантах*** за аварийный режим примите ***обрыв одной цепи*** двухцепной ЛЭП, а в ***четных вариантах*** - ***выход из строя одного трансформатора*** на понизительной ПС. Необходимые данные приведены в таблицах 5, 7.

**Методические указания к решению задачи 3**

Для облегчения решения задачи изобразите схему замещения электропередачи в аварийном режиме и нанесите на нее расчетные параметры, проанализировав предварительно вид заданного аварийного режима (выяснив, какие параметры - линии или трансформатора - изменятся и как).

Затем составьте баланс мощности по ЛЭП в форме таблицы 5 и по ПС - в форме таблицы 6.

В результате решения задачи должна быть получена мощность, поступающая на шины НН понизительной ПС в аварийном режиме. Не забудьте нанести на вновь составленную схему замещения значения мощностей в начале звена ЛЭП и в начале звена трансформаторов в аварийном режиме.

**ЗАДАЧА 4.** Определите уровни напряжения в нормальном и аварийном режимах на шинах НН подстанции электропередачи, рассчитанной.в задачах 1,2,3. Значения напряжения на шинах источника питания *UЭС* указаны в таблице 1.

**Методические указания к решению задачи 4**.

Приступая к решению задачи, изучите §§10-5, 11-4 [2], § 4.2 [3] или §§3.4 - 3.9 [4], в которых приведены расчетные формулы для определения искомых напряжений в конце линии, а также на шинах НН ПС.

Сначала определяется напряжение в конце линии электропередачи (т. е. на шинах ВН ПС) по известному значению напряжения на источнике питания:



где Δ*U* и δ*U* - продольная и поперечная составляющие падения напряжения в линии в нормальном режиме, определяемые по значениям мощностей в начале звена линии, имеющей сопротивления *R*лэкв и -*X*л.экв.

Значения мощностей в начале звена линии вами были рассчитаны в задаче 1 (для нормального режима) и в задаче 3 (для аварийного режима) и нанесены на соответствующие схемы замещения. Учтите, что поперечная составляющая падения напряжения *j*δ*U* учитывается для сетей напряжением 110 кВ и выше, поэтому для сетей напряжением 35 кВ (в вариантах 3, 6, 9) ею можно пренебречь.

Расчет уровней напряжения на шинах НН ПС в нормальном режиме выполняется по той же формуле, что и для ЛЭП, согласно схемам замещения, рассчитанным в задачах 2 и 3.

Для нормального режима работы сети



где *U*номВН – номинальное напряжение обмотки ВН трансформаторов, установленных на ПС.

Расчет уровней напряжения в аварийном режиме на шинах ВН ПС *U*ПС(ав)ВН и на шинах НН ПС *U*аврасчНН выполняется по тем же формулам, но по соответствующим аварийному режиму схемам замещения.

**ЗАДАЧА 5.** По результатам, полученным в задаче 4, проверьте возможность осуществления встречного регулирования напряжения на шинах НН ПС в нормальном и в аварийном режимах.

**Методические указания к задаче 5**

По условию задачи 2 на рассчитываемых ПС приняты трансформаторы, оборудованные устройством регулирования напряжения под нагрузкой (РПН).

Согласно §1.2.22 [1] на вторичных шинах ПС должно поддерживаться напряжение не ниже 105% номинального в период наибольших нагрузок (*U*maxжел ≥ 1,05*U*ном.сети) и не выше 100% номинального в период наименьших нагрузок этих сетей. В послеаварийном режиме при максимальных нагрузках желательно иметь напряжение *U*авжел ≥ 1,05*U*ном.сети.

Выбор рабочих коэффициентов трансформации трансформаторов с РПН производится отдельно для каждого режима работы сети. Для этого из решения задачи 4 выписываются расчетные напряжения на шинах НН, приведенные к стороне ВН, для обоих режимов, т. е. *U*нормрасчНН и *U*аврасчНН.

Сначала рассчитываются действительные напряжения на шинах НН ПС при работе РПН на основном ответвлении с относительным числом витков *w*ВНp = 1 по формуле

,

где  - номинальный коэффициент трансформации; *U*номВН и *U*номНН номинальные напряжения обмоток высшего и низшего напряжения трансформаторов согласно каталожным данным, приведенным в таблице 4.

Аналогично определяется действительное напряжение на шинах НН ПС в аварийном режиме.

Сравнивая полученные значения действительных напряжений с желаемы­ми, приходим к выводу о необходимости использования РПН.

Если РПН использовать необходимо, то сначала надо определить нужную ступень регулирования *w*ВНp для обоих режимов:

*w*ВНp

По значениям *w*ВНp выберите из таблиц 6, 7, 8 стандартные ступени регулирования с относительными числами витков *w*ВН(норм)p и *w*ВН(ав)p. Подсчитайте коэффициенты трансформации при работе на выбранных ответвлениях:

*k* норм*T* = *k*ном *w*ВН(норм)p; *k* ав*T* = *k*ном *w*ВН(ав)p.

Расчет завершите определением действительных напряжений при работе на выбранных ответвлениях:



Сравните полученные величины действительных напряжений *U*нормНН и *U*авНН с желаемыми уровнями напряжений *U*maxжел и *U*авжел сделайте вывод о возможности осуществления заданной электропередачи.

Таблица 7 - Пределы регулирования для трансформаторов 35 кВ (для диапазонов ±6х 1,5% и ±8х 1,5%)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Ступени регулирования, % | Относительноечисло витков  | Напряжение ответвлений, кВ |
| +12,0 | 1,12 | - | 41,16 |
| +10,5 | 1,105 | - | 40,60 |
| +9,0 | 1,09 | 38,15 | 40,05 |
| +7,5 | 1,075 | 37,62 | 39,60 |
| +6,0 | 1,06 | 37,10 | 38,95 |
| +4,5 | 1,045 | 36,57 | 38,40 |
| +3,0 | 1,03 | 36,05 | 37,85 |
| +1,5 | 1,015 | 35,52 | 37,3 |
| 0 | 1,0 | . 35,00 | 36,75 |
| -1,5 | 0,985 | 34,47 | 36,20 |
| -3,0 | 0,97 | 33,95 | 35,65 |
| -4,5 | 0,955 | 33,42 | 35,10 |
| -6,0 | 0,94 | 32,90 | 34,55 |
| -7,5 | 0,925 | 32,37 | 33,99 |
| -9,0 | 0,91 | 31,85 | 33,44 |
| -10,5 | 0,895 | - | 32,89 |
| -12,0 | 0,88 | - | 32,34 |

 Таблица 8 - Пределы регулирования для трансформаторов 110 кВ (для диапазона ±9х 1,78%)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Ступени регулирования, % | Относительное число витков *w*ВНp | Напряжение ответвления, кВ |
| +16,00 | 1,16 | 133,23 |
| +14,24 | 1,142 | 131,19 |
| +12,46 | 1,125 | 129,14 |
| +10,68 | 1,107 | 127,28 |
| +8,90 | 1,089 | 125,24 |
| +7,12 | 1,071 | 123,19 |
| +5,34 | 1,053 | 121,14 |
| +3,56 | 1,036 | 119,09 |
| +1,78 | 1,018 | 117,05 |
| 0 | 1,0 | 115,00 |
| -1,78 | 0,982 | 112,95 |
| -3,56 | 0,964 | 110,91 |
| -5,34 | 0,947 | 108,86 |
| -7,12 | 0,923 | 106,81 |
| -8,90 | 0,911 | 104,76 |
| -10,68 | 0,893 | 102,72 |
| -12,46 | 0,875 | 100,67 |
| -14,24 | 0,858 | 98,62 |
| -16,00 | 0,840 | 96,58 |

Таблица 9 - Пределы регулирования для трансформаторов 220 кВ (для диапазона ± 8 \* 1,5%)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Ступени регулирования, % | Относительное число витков *w*ВНp | Напряжение ответвления, кВ |
| +12,0 | 1,12 | 257,60 |
| +10,5 | 1,105 | 254,15 |
| +9,0 | 1,09 | 250,70 |
| +7,5 | 1,075 | 247,25 |
| +6,0 | 1,06 | 243,80 |
| +4,5 | 1,045 | 240,35 |
| +3,0 | 1,03 | 236,90 |
| +1,5 | 1,015 | 233,45 |
| 0 | 1,0 | 230,00 |
| -1,5 | 0,985 | 226,55 |
| -3,0 | 0,97 | 223,10 |
| -4,5 | 0,955 | 219,65 |
| -6,0 | 0,94 | 216,20 |
| -7,5 | 0,925 | 212,75 |
| -9,0 | 0,91 | 209,30 |
| -10,5 | 0,895 | 205,85 |
| -12,0 | 0,88 | 202,40 |