**Исходные данные для выполнения контрольных работ и решаемые в них**

**задачи, а также краткие методические указания по их решению**

***Контрольная работа № 1***

**В контрольной работе № 1** необходимо определить размахи изменения напряжения на I-й иII-й секциях шин 10 кВ ГПП СЭС, изображённой на рисунке, а также на шинах высшего напряжения.

Расчёты провести для двух вариантов:

– на ГПП установлены трансформаторы типа ТРДН;

– на ГПП установлены трансформаторы типа ТДН.

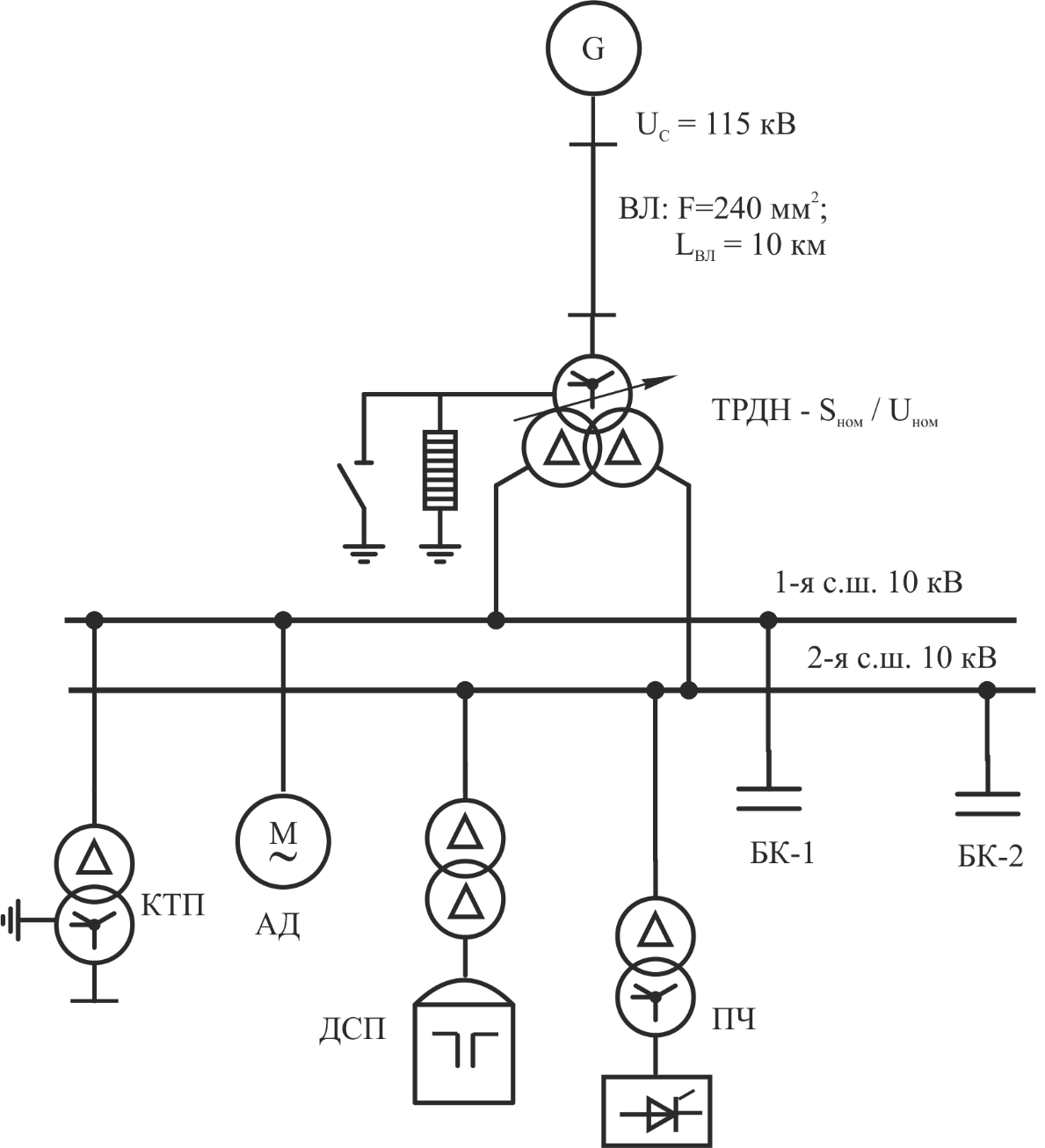
Сделать выводы.

Исходные данные для заданных студентам вариантов приведены в нижеследующей таблице 1.1

Таблица 1.1

Исходные данные

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № вари-анта контр. задания | Система | | Тр-тр ГПП | | КТП | | Асинхр. электродвигатели | | | ДСП | |
| UC, кВ | SКЗ, МВ∙А | Sт.ном, МВ∙А | UКВН,  % | Sт.ном, МВ∙А | Кол-  во | Рном, МВт | КПД,  % | Соsφ | Sт.ном, МВ∙А | Количество |
| 1 | 230 | 5000 | 25 | 10 | 1,6 | 4 | 5 | 95 | 0,8 | 6,3 | 2 |
| 2 | 115 | 4000 | 25 | 10 | 1,0 | 5 | 6 | 93 | 0,75 | 6,3;  4,8 | 1  2 |
| 3 | 230 | 7000 | 25 | 10 | 2,5 | 4 | 4 | 90 | 0,8 | 6,3 | 2 |
| 4 | 115 | 2500 | 25 | 10 | 1,0 | 7 | 5 | 95 | 0,8 | 10 | 1 |
| 5 | 115 | 3000 | 25 | 10 | 1,6 | 5 | 4 | 90 | 0,75 | 10 | 1 |
| 6 | 230 | 6000 | 40 | 11 | 1,6 | 8 | 6 | 90 | 0,75 | 15 | 1 |
| 7 | 115 | 3500 | 40 | 10 | 2,5 | 5 | 6 | 95 | 0,85 | 10 | 1 |
| 8 | 115 | 4500 | 40 | 11 | 1.6 | 8 | 4 | 95 | 0,8 | 16 | 1 |
| 9 | 230 | 5000 | 25 | 10,5 | 1,0 | 8 | 3 | 0,9 | 0,85 | 6,3 | 2 |
| 10 | 115 | 4000 | 25 | 10 | 1,25 | 6 | 2,5 | 0,95 | 0,8 | 4,8 | 2 |



Для решения поставленной задачи нужно рассчитать мощность 3-х фазного короткого замыкания на шинах 10 кВ ГПП и по нижеследующей формуле определить размах изменения напряжения на шинах 2-й секции шин 10 кВ



Размах изменения напряжения на второй секции шин 10 кВ можно рассчитать по формуле



Коэффициент расщепления Kр принять равным 3,5

***Контрольная работа № 2***

Определить коэффициенты искажения синусоидальности и гармонических составляющих напряжения на Iи II секциях шин 10 кВ ГПП СЭС, изображённой на рисунке 2.1, а также на шинах высшего напряжения до и после прямого поэтапного (сначала к I – й секции шин 10 кВ, затем к II­– й секции) подключения высоковольтных батарей конденсаторов (БК). Исходные данные для расчётов приведены в таблице 2.1

*Внимание!* При подключении БК2 батарея конденсаторов БК1 остаются в работе.

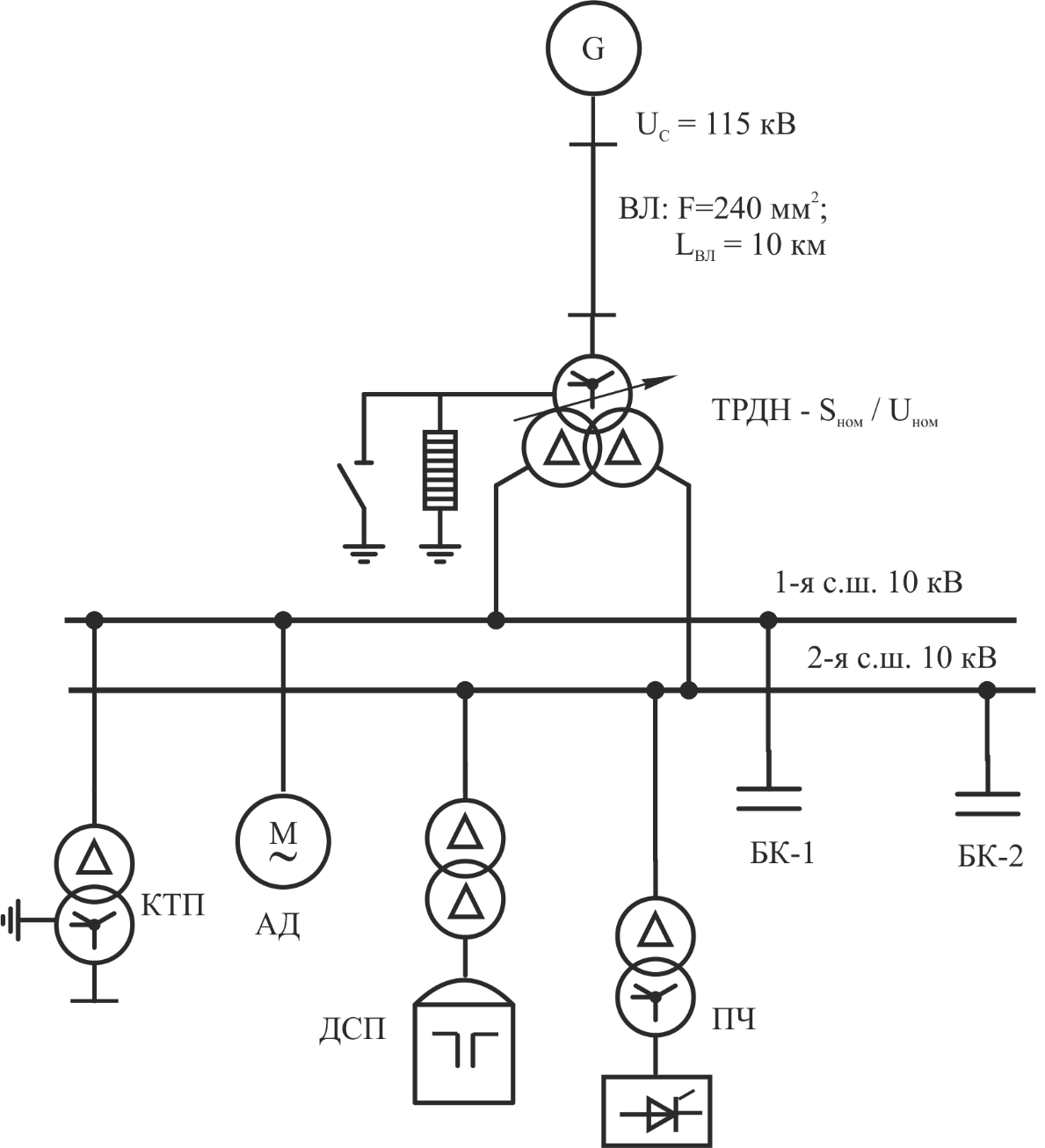


Рис. 2.1

Таблица 2.1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № вари-антаконт. Зад. | Система | | Тр-тр ГПП | | КТП | | Асинхр. электро-двигатели | | | ДСП | | Преобразо-ватели | | Мощность  БК, МВ∙А | |
| UC, кВ | SКЗ, МВ∙А | Sт.ном, МВ∙А | UКВН,  % | Sт.ном, МВ∙А | Кол  во | Рном, МВт | КПД,  О.ед | Соsφ | Sт.ном, МВ∙А | Кол-во | Sт.ном, МВ∙А | Число  фаз | БК1 | БК2 |
| 1 | 115 | 3000 | 25 | 10 | 1,0 | 6 | 2 | 0,95 | 0,75 | – | – | 10 | 12 | 5 | 3 |
| 2 | 230 | 5000 | 25 | 10 | 1,6 | 4 | 3 | 0,95 | 0,8 | 6,3 | 2 | - | - | 4 | 2 |
| 3 | 115 | 3500 | 25 | 10 | 2,5 | 3 | 4 | 0,95 | 0,75 | - | - | 7 | 6 | 4 | 3 |
| 4 | 115 | 4000 | 25 | 10 | 1,0 | 5 | 2 | 0,93 | 0,75 | 6,3;  4,8 | 1  2 | - | - | 3 | 2 |
| 5 | 230 | 6000 | 25 | 10 | 1,6 | 5 | 3 | 0,9 | 0,8 | - | - | 6 | 12 | 4 | 4 |
| 6 | 230 | 7000 | 25 | 10 | 2,5 | 4 | 2,5 | 0,9 | 0,8 | 6,3 | 2 | - | - | 3 | 4 |
| 7 | 115 | 4500 | 25 | 10 | 1,6 | 6 | 2 | 0,9 | 0,75 | - | - | 8 | 12 | 3 | 5 |
| 8 | 115 | 2500 | 25 | 10 | 1,0 | 7 | 3 | 0,95 | 0,8 | 10 | 1 | - | - | 2 | 5 |
| 9 | 230 | 5000 | 25 | 10 | 2,5 | 2 | 1,6 | 0,9 | 0,8 | - | - | 6 | 6 | 3 | 3 |
| 10 | 115 | 3000 | 25 | 10 | 1,6 | 5 | 2 | 0,9 | 0,75 | 10 | 1 | - | - | 2 | 4 |
| 11 | 115 | 3000 | 40 | 10 | 1,0 | 8 | 8 | 0,95 | 0,8 | - | - | 10 | 12 | 4 | 3 |
| 12 | 230 | 6000 | 40 | 11 | 1,6 | 8 | 6 | 0,9 | 0,75 | 15 | 1 | - | - | 2 | 5 |
| 13 | 230 | 7000 | 40 | 11 | 2,5 | 6 | 6 | 0,9 | 0,8 | - | - | 12 | 6 | 4 | 3 |
| 14 | 115 | 3500 | 40 | 10 | 2,5 | 5 | 6 | 0,95 | 0,85 | 10 | 1 | - | - | 2 | 4 |
| 15 | 115 | 4000 | 40 | 10 | 1,6 | 6 | 8 | 0,9 | 0,85 | 5,5 | 3 | - | - | 5 | 2 |
| 16 | 230 | 6500 | 40 | 11 | 1,0 | 10 | 8 | 0,95 | 0,85 | - | - | 10 | 12 | 3 | 4 |
| 17 | 230 | 7000 | 40 | 11 | 1,6 | 8 | 6 | 0,85 | 0,85 | 16 | 1 | - | - | 4 | 6 |

**Методические указания**

Расчёты следует проводить в следующей последовательности:

1. Составляется схема замещения сети для расчёта гармонических составляющих токов и напряжений (Пример составления смотри в лекции № 12). Схема замещения для сети Рис. 2.1 показан на Рис. 2.2.

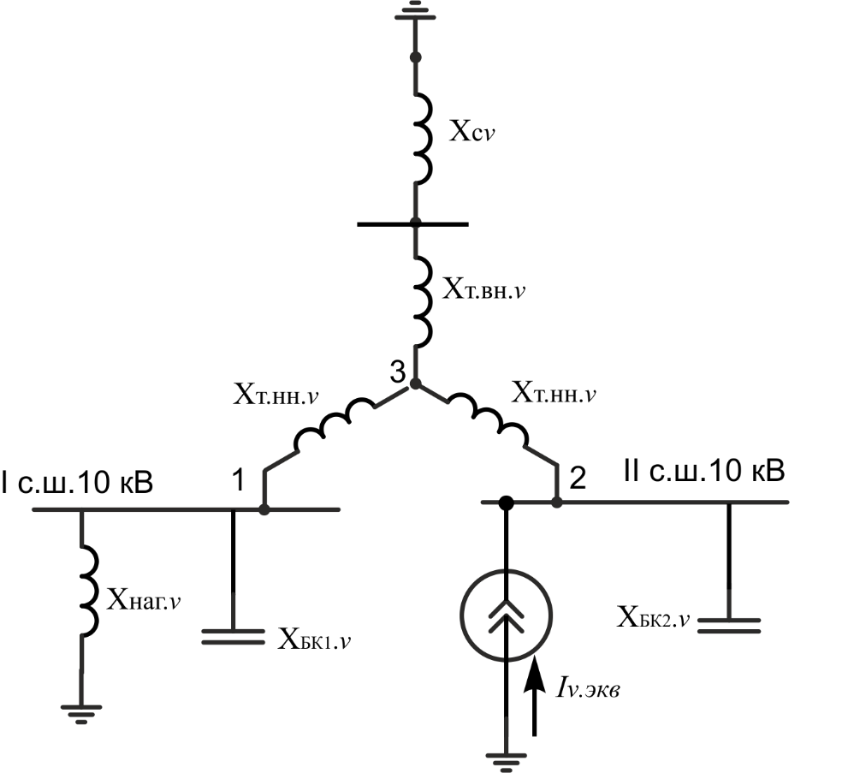


Рис. 2.2

2. Определяются в общем виде параметры схемы замещения, в которых ток, генерируемый источником высших гармоник, и сопротивления элементов СЭС выражаются в функции порядкового номера высших гармоник ν. В результате получаем линейную электрическую сеть с заданными параметрами источника тока и сопротивлений высших гармонических.

**В качестве методической помощи запишем расчётные формулы для определения параметров схемы замещения:**

Сопротивление системы для ν – й гармоники

 = (0,65\*10^2/4000) \*ν = 0.01625\*ν

Сопротивление обмоток высшего и низшего напряжения трансформатора для ν – й гармоники





Эквивалентное сопротивление нагрузки, подключённой к первой секции шин 10 кВ для ν – й гармоники



где – сумма номинальных мощностей трансформаторов, подключённых к первой секции шин, МВА; – сумма номинальных мощностей электродвигателей, подключённых к секции шин, МВА.

Сопротивление конденсаторных батарей для ν – й гармоники

.

;

.

Эквивалентный ток ν – й гармоники, генерируемый ДСП

,

где – номинальная мощность самого крупного печного трансформатора, кВА; – номинальная мощность *i*-го печного трансформатора, кВА; *N*п.т – число печных трансформаторов;  – напряжение сети, кВ.

***Внимание! Сопротивления всех элементов схемы замещения сети должны быть приведены к уровню напряжения 10 кВ***

3. Рассчитываются в узлах 1, 2 и 3 гармонические составляющие напряжений со 2-го по 10-й гармоники любым известным из теории линейных электрических цепей методом. Целесообразно использовать метод узловых потенциалов, очень удобный для расчётов в матричной форме с применением ЭВМ.

При составлении уравнений узловых потенциалов заземлённый узел принимаем за базисный. Тогда система уравнений узловых потенциалов в нашем случае запишется в виде



Следует также иметь в виду, что в нашей схеме прямая связь между узлами 1 и 2 отсутствует. Поэтому взаимные проводимости между ними равняются нулю, т. е.. Собственные проводимости узлов 1, 2, и 3 соответственно ,  и определяются путём суммирования проводимостей ветвей, подключённых к соответствующим узлам.

В матричной форме вышеприведенная система уравнений принимает компактный вид

, (1)

где – матрица узловых проводимостей для ν – й гармоники; – вектор узловых потенциалов ν – й гармоники по отношению к базовому узлу; – вектор задающих токов.

Матрица узловых проводимостей обладает свойством симметричности относительно элементов главной диагонали в нашем случае будет иметь вид

(2)

Вектора узловых потенциалов и задающих токов в нашем случае имеют вид

 , (3)

Для решения уравнения (1) в матричной форме левую и правую его части следует умножить на обращённую матрицу узловых проводимостей

.

Так как произведение обращённой матрицы на исходную даёт единичную матрицу, то последнее выражение принимает вид

(4)

Как видно из выражения (4) для нахождения потенциалов узлов достаточно найти обращённую матрицу узловых проводимостей, алгоритм нахождения Вам известен:

1). Находим определитель исходной матрицы узловых проводимостей det.

2). Транспонируем исходную матрицу. Как было уже отмечено выше матрица узловых проводимостей симметрична относительно элементов главной диагонали. Поэтому транспонированная матрица будет такой же, что и исходная, т.е. .

3). Формируем вспомогательную матрицу , элементами которой являются алгебраические дополнения элементов транспонированной матрицы 

(5)

4). Находим обратную матрицу путём деления элементов вспомогательной матрицы на определитель исходной

.(6)

(7)

Запишем последнее выражение с учётом (3) и (5)

(8)

Далее задаваясь порядковым номером гармоники, из генерируемых источником, рассчитываются любым известным методом из теории линейных электрических цепей гармонические составляющие напряжений в узлах 1, 2 и 3. В вариантах, дуговые сталеплавильные печи (ДСП) расчёты проводятся со 2-го по 10-й гармоники. В вариантах, где источниками высших гармоник являются полупроводниковые 6-ти фазные преобразователи, расчёты проводятся при ν = 5, 7, 11, 13, а при числе фаз выпрямления, равном 12 – при ν = 11, 13, 23, 25. Величину действующего значения тока высших гармоник, генерируемых преобразователями, ввиду отсутствия достаточного количества исходных данных можно определить по нижеследующему выражению. При этом расчёты ведём до 13-й гармоники включительно

.



При проведении расчётов целесообразно использовать метод узловых потенциалов, очень удобный для расчётов в матричной форме с применением ЭВМ. При отсутствии навыков работы с матричным исчислением расчёты можно проводить и путём сворачивания схемы замещения с последующим разворачиванием с целью определения потенциалов гармонических составляющих в указанных узлах СЭС.

***Внимание!* При определении напряжения второй гармоники ток второй гармоники, генерируемый ДСП принимается равным току третьей гармоники.**

Проведём расчёты, воспользовавшись вышеописанным методом.

Составим матрицу узловых проводимостей согласно выражению (2) при отключённых ВБК

(9)

Найдём определитель матрицы (9), открывая её по элементам первой строки



4. Рассчитываются коэффициенты всех гармонических составляющих напряжений в указанных узлах (смотрите лекцию № 4 по дисциплине).



5. Определяются в каждом из трёх узлов коэффициенты искажения синусоидальности напряжения (смотрите лекцию №4 по дисциплине).



Результаты расчётов свести в таблицы вида:

Таблица 2.2

Гармонические составляющие напряжений *U*ν, В

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер  узла | Номера учитываемых гармоник, ν | | | | | | | | | | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Таблица 2.3

Коэффициенты гармонических составляющих напряжений, %



|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер  узла | Номера учитываемых гармоник, ν | | | | | | | | | | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

***Контрольная работа №3***

В заданной схеме в контрольной работе № 2 определить отклонение напряжения на 1-й секции шин 10 кВ ГПП. При этом следует использовать расчётные формулы, приведенные в лекции №1 по дисциплине. Исходные данные принять из таблицы 2.1, приведённой в контрольной работе № 2, в соответствии с заданным вариантом. (вариант 6)

***Внимание! Сопротивления всех элементов схемы замещения сети должны быть приведены к уровню напряжения 10 кВ***

***Контрольная работа № 4***

В заданной схемев контрольной работе № 2 определить провал напряжения на первой секции шин 10 кВ при прямом пуске асинхронного электродвигателя, номинальная мощность которого приведена в таблице 2.1. При этом кратность пускового тока двигателя принять равным 6 (шести). Методику определения провала напряжения при пусках электродвигателей можно посмотреть в учебном пособии: Ершов, А.М. Системы электроснабжения. Часть 1: Основы электроснабжения: курс лекций / А.М. Ершов. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2017. – 245 с. (Размещён на сайте кафедры "Электрические станции, сети и системы электроснабжения" ЮУрГУ: <http://energynet.susu.ru>).

Исходные данные для решения задачи принять по таблице 2.1 в соответствии с заданным вариантом. (вариант 8)