

В.М. Мошкин

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ
СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**
Учебное пособие





В.М. Мошкин

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ
СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ
Часть 2**

Учебное пособие

2007



СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ	4
1.1. Общие положения	4
1.2. Выбор расчетной схемы	5
1.3. Порядок выполнения расчетов	8
2. ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	11
3. КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ	18
3.1. Пример выбора и расчета устройств компенсации реактивной мощности	18
4. ВЫБОР УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ	39
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	40
ПРИЛОЖЕНИЯ	42

ВВЕДЕНИЕ

В данных методических указаниях содержатся материалы к выполнению следующих разделов курсового проекта по дисциплине «Системы электроснабжения»:

- расчет токов короткого замыкания;
- выбор электрооборудования схемы внутреннего электроснабжения;
- расчет и выбор устройств компенсации реактивной мощности;
- выбор и описание устройств релейной защиты и автоматики.

1. РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

1.1. Общие положения

Наиболее распространены следующие способы расчета токов короткого замыкания (КЗ):

- расчет токов КЗ в относительных единицах, при котором все расчетные данные приводят к базисному напряжению и базисной мощности при точном или приближенном приведении параметров;
- расчет токов КЗ в именованных единицах при тех же условиях.

Расчет токов КЗ производится для выбора высоковольтных и низковольтных аппаратов, шин, кабелей и другого электрооборудования системы электроснабжения промышленного предприятия. При этом считается достаточным рассмотреть ток трехфазного КЗ в характерных точках системы электроснабжения предприятия и определить периодическую составляющую этого тока для наиболее тяжелого режима работы сети. Учет апериодической составляющей может производиться приближенно и допускается, что она имеет максимальное значение в рассматриваемой точке электрической сети.

Для практических расчетов токов КЗ при выборе и проверке электрооборудования системы электроснабжения промышленного предприятия необходимо учитывать следующие положения:

1. В электроустановках напряжением выше 1000 В нужно учитывать индуктивные сопротивления всех элементов системы электроснабжения.

2. В электроустановках напряжением ниже 1000 В нужно учитывать как индуктивные, так и активные сопротивления всех элементов системы, а также сопротивления переходных контактов и пр.

3. Допускается не учитывать сдвиг по фазе ЭДС различных источников питания токов КЗ и действительные значения коэффициентов трансформации трансформаторов.

4. Величина токов КЗ в системе электроснабжения предприятия определяется энергосистемой, синхронными компенсаторами, синхронными и асинхронными электродвигателями. Влияние асинхронных двигателей на токи КЗ можно не учитывать при их мощности до 100 кВт в единице, и если двигатели отделены от места КЗ двумя и более ступенями трансформации.

Так как мощность КЗ энергосистемы в месте присоединения питающей промышленное предприятие линии, как правило, в десятки раз превышает мощность, потребляемую данным предприятием, в курсовом проекте с целью упрощения расчетов допускается принимать периодическую составляющую тока КЗ от энергосистемы неизменной во времени:

$$I_k = I_{по} = I_{nt}. \quad (1)$$

К особенностям расчета токов КЗ в электрических сетях напряжением ниже 1000 В необходимо отнести учет активных сопротивлений всех участков сети, включая не только сопротивления проводов и шин, но и сопротивления всех переходных болтовых соединений, сопротивление дуги в самой точке КЗ [1, 7, 11].

1.2. Выбор расчетной схемы

Для расчета токов КЗ составляется исходная расчетная электрическая схема, на которой показываются источники питания точек КЗ (энергосистема, синхронные компенсаторы, синхронные и асинхронные двигатели и т.д.), расчетные точки КЗ и связи между ними (воздушные и кабельные линии, трансформаторы, реакторы и пр.).

При выборе расчетной схемы для определения токов КЗ должны рассматриваться вероятные режимы, при которых воздействие токов КЗ на систему электроснабжения является наиболее тяжелым. Таким характерным режимом системы электроснабжения промышленного предприятия является состояние схемы электроснабжения, при котором один из трансформаторов главной понизительной подстанции (ГПП) отключен для проведения профилактических мероприятий или аварийного ремонта, и включены секционные выключатели в распределительном устройстве напряжением 6 или 10 кВ ГПП, то есть все электроприемники питаются от одного трансформатора. В этом случае все синхронные и асинхронные двигатели будут влиять на величину тока КЗ.



второго трансформатора Т2 ГПП отключены и включены секционные выключатели Q9 и Q10. Секционные выключатели высоковольтных распределительных пунктов (РП), как правило, остаются отключенными.

Для выбора электрооборудования системы электроснабжения промышленного предприятия производится расчет токов КЗ в следующих точках:

К1 и К2 - в схеме внешнего электроснабжения;

К3 - в РП напряжением 6 или 10 кВ ГПП;

К4 - в электрической сети напряжением 0,38 или 0,66 кВ ремонтно-механического, электроремонтного или другого цеха, для которого был подробно проведен расчет электрических нагрузок.

По токам КЗ, определенным в точках К1 и К2, производится выбор электрооборудования, устанавливаемого соответственно на подстанции энергосистемы и стороне высшего напряжения ГПП предприятия.

В курсовом проекте с целью сокращения расчетов при определении токов КЗ в точках К1 и К2 подпитку от высоковольтных синхронных и асинхронных двигателей, установленных на стороне низшего напряжения ГПП, можно не учитывать. Однако следует отметить, что крупные синхронные двигатели могут обуславливать значительный ток КЗ в точке К2 (при учете сопротивления силового трансформатора ГПП).

В подпитке точки КЗ участвуют все синхронные и асинхронные двигатели, подключенные ко всем четырем секциям (рис 1.1). Двигатели, соединенные с 1-й и 2-й секциями сборных шин (с.ш.) ГПП, подпитывают эти точки через свои кабели, реакторы, согласующие трансформаторы 10/6 кВ, а двигатели, соединенные с 3-й и 4-й секциями с.ш. ГПП, подпитывают эти точки через свои кабели, реакторы, согласующие трансформаторы 10/6 кВ и дополнительно через вторичные обмотки трансформатора Т1.

С целью уменьшения объема расчетов допускается расчет токов КЗ проводить только для точки К3 и по найденному значению тока КЗ в данной точке производить выбор всего электрооборудования схемы внутреннего электроснабжения напряжением 6, 10 кВ.

При определении тока КЗ в точке К4 в качестве источника рассматривается только энергосистема, а подпитка от электродвигателей напряжением 6, 10 кВ не учитывается по тем же соображениям, что и для точки К2. По току КЗ точки К4 производится выбор только вводных и секционных автоматических выключателей, устанавливаемых на стороне низшего напряжения этой ТП.

Выбор электрооборудования низковольтных распределительных пунктов (РПН) напряжением 0,38 или 0,66 кВ по токам КЗ в курсовом проекте не проводится, оно выбирается только по токам нагрузки в нормальном и утяжеленном режимах.

1.3. Порядок выполнения расчетов

Для расчета токов КЗ по схеме электроснабжения промышленного предприятия составляется схема замещения, в которой источники питания заменяются соответствующими ЭДС (энергосистема $E_c = 1$, синхронные двигатели – $E = 1,1$, асинхронные двигатели – $E = 0,9$ в относительных единицах) со своими сверхпереходными сопротивлениями. Линии и связи заменяются соответствующими индуктивными или комплексными сопротивлениями.

Далее путем преобразований схему замещения приводят к виду, где каждый источник или группа источников с результирующей ЭДС должны быть связаны с расчетной точкой КЗ одним результирующим сопротивлением. Поскольку в системе электроснабжения промышленного предприятия рассчитываются токи для нескольких точек КЗ, то для каждой из них проводятся свои преобразования.

Сопротивления элементов, приведенные к базисным условиям, указывают на схеме замещения. Каждый элемент обозначают дробью: в числителе – X с порядковым номером элемента, в знаменателе – численное значение относительного сопротивления (рис. 1.2). При последовательных преобразованиях схемы замещения все элементы должны иметь сквозную нумерацию.

После преобразований, по методу типовых расчетных кривых находят периодические и апериодические составляющие тока КЗ для заданного момента времени. Итоговые расчеты по всем точкам КЗ сводят в таблицу 1.1.

Таблица 1.1

Расчет токов короткого замыкания

Расчетная точка	Напряжение $U_{ср}$ расчетной точки, кВ	Токи, кА			Мощность КЗ ступени $S_{к.ст} = \sqrt{3} U_{ср} I_{по}$, мВ·А
		$I_{по}$	$I_{пт}$	i_y	

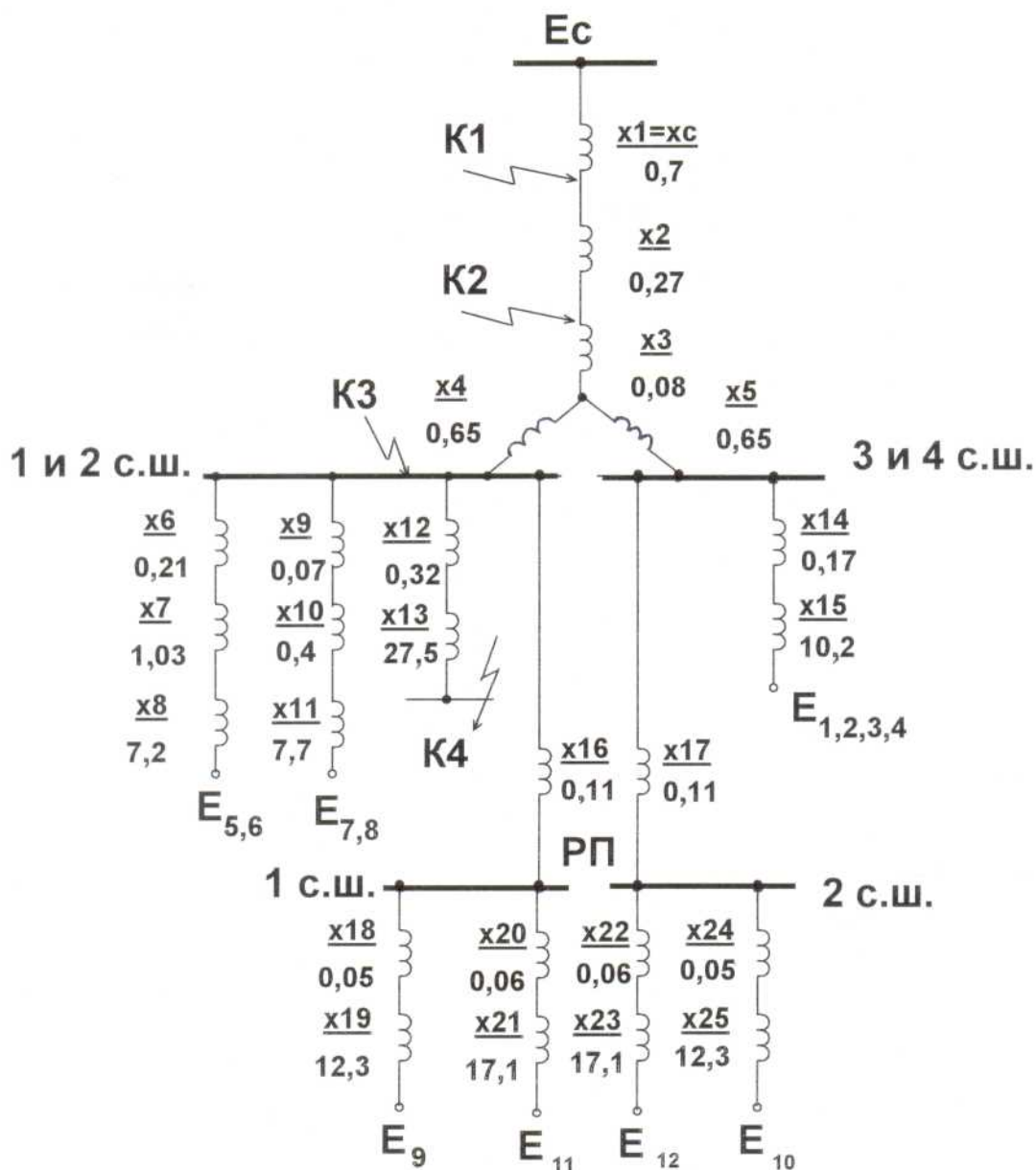


Рис. 1.2. Пример схемы замещения для принципиальной электрической схемы системы электроснабжения промышленного предприятия, изображенной на рис. 1.1

Для оценки теплового импульса воздействия тока K3 на отдельные элементы системы электроснабжения необходимо найти время отключения K3. С этой целью строят диаграмму селективности действия максимальной токовой защиты. Для применяемых реле и выключателей ступень времени может находиться в пределах 0,35 ... 0,6 с. В курсовом проекте эту ступень времени можно принять равной 0,5 с.

На рис. 1.3 приведен фрагмент схемы электроснабжения предприятия с указанием выдержек времени устройств максимальной токовой защиты, установленных на выключателях отдельных присоединений и т.п.

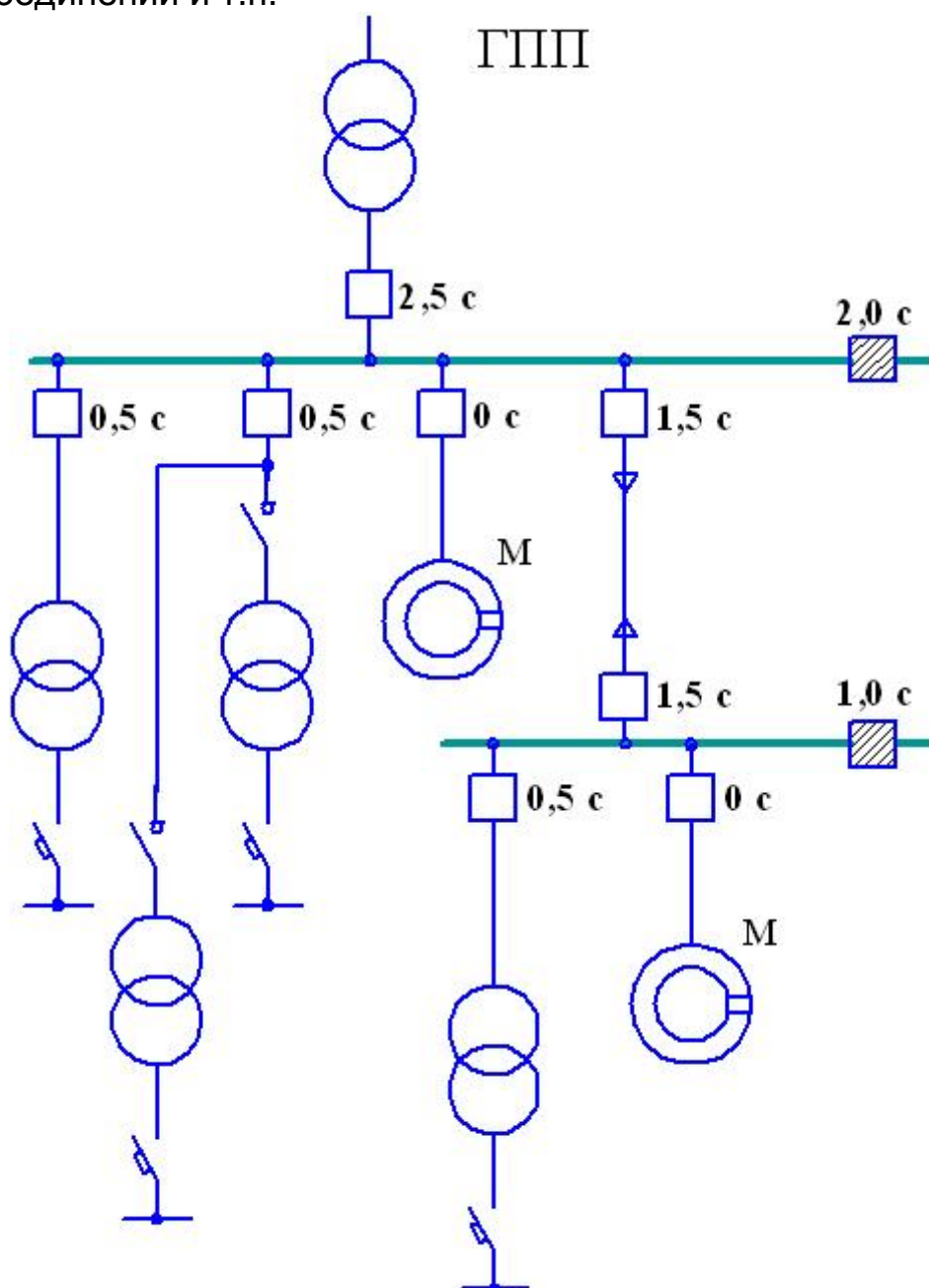


Рис. 1.3. Фрагмент схемы электроснабжения с указанием выдержек времени максимальной токовой защиты

2. ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

При выборе электрооборудования системы электроснабжения промышленного предприятия следует иметь в виду, что значительная его часть может быть комплектной. Поэтому после определения параметров системы электроснабжения (напряжений и рабочих токов) необходимо выбрать соответствующее комплектное оборудование, выделить его составные элементы и после этого произвести проверку типового и остального оборудования по условиям утяжеленного режима работы и стойкости к токам КЗ.

При этом выбранные аппараты и проводники должны:

- длительно проводить рабочие токи нормального и утяжеленного режимов работы без чрезмерного повышения температуры;
- противостоять кратковременному электродинамическому и термическому действию токов КЗ;
- удовлетворять требованиям экономичности.

В соответствии с существующими нормами [7, 11, 12, 13] электрооборудование выбирается и проверяется по параметрам, указанным в таблице 2.1.

В проектируемой системе электроснабжения нужно выбрать и проверить следующее электрооборудование:

1. Выключатели, разъединители, ограничители перенапряжения (ОПН) схемы внешнего электроснабжения.

2. Воздушную или кабельную линию схемы внешнего электроснабжения, соединяющую подстанцию энергосистемы и ГПП (ЦРП) промышленного предприятия.

3. Трансформаторы собственных нужд ГПП.

4. Тип и ячейки распределительного устройства (РУ) на стороне низшего напряжения ГПП и ячейки РУ РП. Выключатели, трансформаторы тока и напряжения, устанавливаемые в этих ячейках.

5. Токоограничивающие реакторы и токопроводы напряжением 6 или 10 кВ, соединяющие силовые трансформаторы ГПП и РУ низшего напряжения ГПП или соединяющие ГПП и мощные РП. Опорные изоляторы.

6. Кабельные линии напряжением выше 1000 и до 1000 В.

7. Цеховые трансформаторные подстанции (ТП). Коммутационные аппараты на стороне высшего и низшего напряжений этих ТП.

8. Коммутационные аппараты низковольтных распределительных пунктов (РПН).

Таблица 2.1

Условия выбора электрооборудования

Вид электрооборудования	Номинальное напряжение	Коронирование	Номинальный ток	Ток утяжеленного режима	Экономическая плотность тока	Потери напряжения	Стойкость к токам КЗ		Отключающая способность	Класс точности	Реактивное сопротивление
							Электродинамическая	термическая			
Выключатели	+	-	+	+	-	-	+	+	+	-	-
Разъединители	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-
Отделители	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-
Короткозамыкатели	+	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-
Разрядники или ОПН	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Воздушные линии	+	+	-	+	+	+	-	-	-	-	-
Ячейки комплектных распределительных устройств	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-
Изоляторы	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
Кабельные линии	+	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-
Токопроводы 6,10 кВ	+	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-
Реакторы	+	-	+	+	-	+	+	+	-	-	+
Трансформаторы тока	+	-	+	+	-	-	+	+	-	+	-
Трансформаторы напряжения	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
Выключатели нагрузки	+	-	+	+	-	-	+	+	+	-	-
Предохранители	+	-	+	+	-	-	-	-	+	-	-
Автоматические выключатели	+	-	+	+	-	-	+	+	+	-	-
Контакторы	+	-	+	+	-	-	+	-	+	-	-
Магнитные пускатели	+	-	+	+	-	-	+	-	+	-	-
Рубильники	+	-	+	+	-	-	+	-	-	-	-

Перед проверкой коммутационной и измерительной аппаратуры должно быть дано обоснование и сделан выбор комплектного оборудования системы электроснабжения промышленного предприятия (если такое оборудование есть).

Выбор электрооборудования производится по различным каталогам и прайс-листам. Недостающие технические данные выбранного электрооборудования допускается принимать из справочной и технической литературы. Стоимость электрооборудования следует определять по действующим ценам.

Состав выбираемого электрооборудования системы электроснабжения, рассматриваемой в курсовом проекте, уточняется руководителем проекта.

Выбор коммутационной аппаратуры всех классов напряжений производится в соответствии с методикой, приведенной в справочной литературе. Необходимо выбрать все коммутационные аппараты схемы внешнего электроснабжения и выключатели, установленные на вводе в РУ низшего напряжения ГПП. Результаты выбора коммутационных аппаратов и ячеек РУ должны быть сведены в таблицы по форме 2.2.

Таблица 2.2

Выбор коммутационных аппаратов и ячеек
схемы внешнего электроснабжения

Расчетные параметры цепи	Каталожные данные аппарата	Условия выбора

Номинальные токи выключателей, разъединителей, отделителей, предохранителей, трансформаторов тока выбираются с учетом параметров основного оборудования (силовых трансформаторов, их перегрузочной способности).

Остальные выключатели напряжением 6 и 10 кВ схемы внутреннего электроснабжения, а также соответствующие трансформаторы тока следует выбирать по параметрам, приведенным в таблице 2.3.

Таблица 2.3

Выбор коммутационных аппаратов
схемы внутреннего электроснабжения

Кабель- ные линии (начало и конец)	U_n , кВ	I_p , А	$I_{утяж}$, А	$I_{по}$, кА	i_y , кА	Тип выклю- чателя	Тип трансфор- матора тока

В обозначении типа выключателя необходимо указать напряжение, номинальный ток, ток отключения КЗ, вид исполнения, а для трансформаторов тока – напряжение, номинальный первичный ток, классы точности вторичных обмоток.

Для выключателей нагрузки и предохранителей, устанавливаемых на вводах цеховых ТП, результаты выбора сводятся в таблицы формы 2.4.

Таблица 2.4

Выбор выключателей нагрузки и предохранителей

Номер ТП	U_n , кВ	I_p , А	$I_{утяж}$, А	I_k , кА	Тип выключателя нагрузки	Тип предохра- нителя

В обозначении типа выключателя нагрузки должны быть указаны вид привода, номинальные напряжение и ток, ток сквозного КЗ, вид исполнения, а для предохранителя – номинальные напряжение и ток.

На стороне низшего напряжения цеховых ТП выбираются только вводные и секционные автоматические выключатели, а для РПН – только вводные аппараты. Результаты выбора сводятся в таблицу формы 2.5.

Таблица 2.5

Выбор выключателей на стороне низшего напряжения

Номер ТП, РПН	Место установки выключателя	I_p , А	$I_{утяж}$, А	I_k , кА	Тип выключателя	Тип РПН
<i>ТП1</i>	<i>Вводной Секционный</i>					
<i>РПНЗ</i>	<i>Вводной</i>					

Для РПН необходимо выбрать тип распределительного пункта (шкафа) [7, 13].

Для токопроводов напряжением 6, 10 кВ, соединяющих силовые трансформаторы ГПП и РУ низшего напряжения ГПП, расчет сводится в таблицу формы 2.6.

Таблица 2.6

Выбор токопроводов 6 – 10 кВ

Мощность трансформатора ГПП	I_p , А	$I_{утяж}$, А	i_y , кА	Параметры токопроводов			
				Тип	U_n , кВ	I_n , А	Эл. динам. стойкость к токам КЗ, кА

Кабели напряжением 6, 10 кВ схемы внутреннего электро-снабжения проверяются на термическую стойкость к токам КЗ. Должны быть рассмотрены все характерные термические сечения $F_{тс}$ кабелей. Например, для схемы, показанной на рис. 1.1, можно выделить следующие характерные кабели: ГПП – РП, ГПП – ТП, ГПП – Д, РП – ТП, РП – Д. Расчетные данные по проверке кабелей сводятся в таблицу формы 2.7.

Таблица 2.7

Выбор и проверка кабелей схемы внутреннего электроснабжения

Начало и конец кабельной линии	I_k , кА	$t_{рз}$, с	$t_{ов}$, с	T_a , с	B_k , кА ² ·с	C	$F_{тс}$, мм ²

В данной таблице:

$t_{рз}$ - время срабатывания релейной защиты;

$t_{ов}$ - время отключения выключателя;

T_a - время протекания апериодической составляющей тока КЗ;

B_k - тепловой импульс тока КЗ;

C - коэффициент, зависящий от вида металла жил кабеля.

Если площадь сечения кабеля, выбранная по условиям нормального и утяжеленного режимов работы, оказывается меньше площади термически устойчивого сечения $F_{тс}$, то сечение такого кабеля следует увеличить до ближайшего меньшего стандартного сечения по отношению к $F_{тс}$. Все кабели, для которых производится увеличение сечения, должны быть занесены в таблицу формы 2.8.

Таблица 2.8

Коррекция сечения кабелей схемы внутреннего электроснабжения

Начало и конец кабельной линии	Прежняя площадь сечения кабеля, мм ²	Площадь термически устойчивого сечения кабеля, мм ²	Тип и новая площадь сечения кабеля

Из измерительной аппаратуры подробно рассчитываются трансформаторы тока на вводе в РУ 6, 10 кВ ГПП и трансформаторы напряжения, подключенные к сборным шинам этого же РУ. Основные параметры сводятся в таблицу формы 2.2, а расчеты по проверке их класса точности соответственно в таблицы форм 2.9 и 2.10. На стороне низшего напряжения ГПП для контроля потребляемых предприятием мощности и электроэнергии на вводе каждой из секций с.ш. устанавливаются по одному вольтметру и амперметру и по два счетчика активной и реактивной энергии (для расчетов по двухставочному тарифу), а в ячейках линий, отходящих от секций с.ш. и на трансформаторе собственных нужд – по одному амперметру и счетчику активной или реактивной энергии, если к ячейке РУ подключена высоковольтная конденсаторная батарея.

Таблица 2.9

Выбор и проверка трансформаторов тока на вводе в РУ 6 – 10 кВ

Прибор	Тип прибора	Количество приборов	Потребляемая мощность, В · А		
			фаза А	фаза В	фаза С
РА					
PW					
PI					
РК					
ИТОГО:					

Таблица 2.10

Выбор и проверка трансформаторов напряжения на вводе в РУ 6 – 10кВ

Прибор	Тип прибора	Кол-во приборов	Число катушек одного прибора	Мощность одной катушки прибора, В · А	cos φ	sin φ	Р, Вт	Q, В·А
PV								
PW								
РК								
ИТОГО								
:								

В зависимости от назначения могут применяться различные схемы включения трансформаторов напряжения (ТН). Два однофазных ТН, соединенные в открытый (неполный) треугольник, позволяют измерять линейные напряжения. Такая схема целесообразна для подключения счетчиков электроэнергии и ваттметров. Для измерения линейных напряжений, фазных напряжений относительно земли и напряжения нейтрали могут быть использованы три однофазных ТН, обмотки которых соединяются по схеме «звезда с нулем - звезда с нулем – открытый треугольник», или трехфазный ТН типа НТМИ. За номинальную вторичную мощность ТН принимают мощность всех трех однофазных ТН, соединенных по схеме звезды, или мощность двух однофазных ТН, включенных по схеме неполного треугольника. На ГПП и РП обязательна установка трех однофазных ТН или одного ТН типа НТМИ (для питания измерительных приборов и устройств контроля изоляции). Если недостаточна вторичная мощность выбранных ТН, то следует дополнительно установить два или более однофазных ТН, соединенных по схеме неполного треугольника.

Для обеспечения защиты или сигнализации однофазных замыканий на землю в электрических сетях предприятия 6 или 10 кВ в начале питающих кабельных линий должны устанавливаться трансформаторы тока нулевой последовательности, например, типа ТЗЛ. Выбор указанных трансформаторов тока производится в соответствии с положениями, приведенными в [11].

3. КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Выбор оптимальных средств компенсации реактивной мощности является неотъемлемой частью проектирования системы электроснабжения промышленного предприятия.

Рассмотрим далее выбор и расчет устройств компенсации реактивной мощности на примере схемы электроснабжения станкостроительного предприятия.

3.1. Пример выбора и расчета устройств компенсации реактивной мощности

3.1.1. Исходные данные

Внутреннее электроснабжение станкостроительного предприятия осуществляется на напряжении 10 кВ. на ГПП установлены два силовых трансформатора типа ТДН-16000/110/10 мощностью по 16 МВ·А каждый. Распределительное устройство напряжением 10 кВ ГПП имеет две секции с.ш.

Части схемы электроснабжения, питаемые от 1-й и 2-й секции с.ш. РУ 10 кВ ГПП, идентичны, поэтому в дальнейшем расчет проведем для одной такой секции.

На рис. 3.1 приведена часть схемы электроснабжения станкостроительного предприятия, которая соединена с 1-й секцией с.ш. 10 кВ ГПП.

Потери реактивной мощности в одном трансформаторе ГПП $\Delta Q_T = 0,935$ Мвар. В схеме имеется два высоковольтных распределительных пункта РП1 и РП2. К 1-м секциям с.ш. РУ 10 кВ ГПП и РП1 подключены синхронные двигатели и кабельные линии, питающие трансформаторы цеховых ТП, асинхронные двигатели и согласующий трансформатор типа ТМ-2500/10/6, понижающий напряжение до 6 кВ, для питания синхронных двигателей СД4.

В табл. 3.1 приведены исходные данные для схемы электроснабжения, изображенной на рис. 3.1.

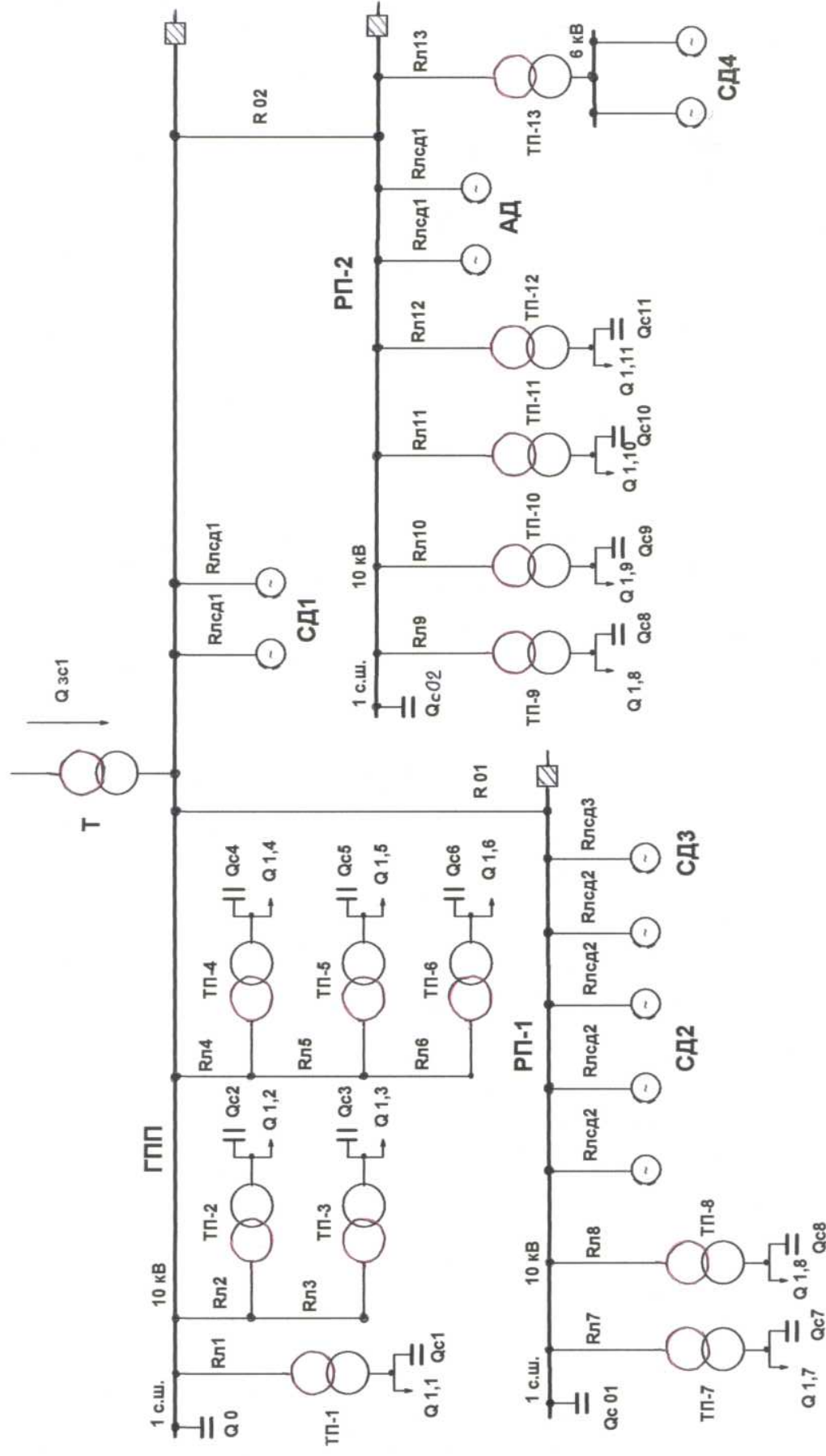


Рис. 3.1. Схема замещения системы электроснабжения промышленного предприятия для проведения расчета реактивной мощности

Таблица 3.1

Исходные данные для схемы электроснабжения

Трансформаторная подстанция	$S_{\text{тнi}}$, кВ·А	Q_{1i} , квар	ΔQ_{Ti} , квар	$R_{\text{тpi}}$, Ом	R_{Ai} , Ом
ТП1	250	184	14,8	5,93	1,85
ТП2	630	271	29,6	1,91	0,166
ТП3	630	271	29,6	1,91	0,143
ТП4	1000	377	41,0	1,22	0,123
ТП5	1000	377	41,0	1,22	0,167
ТП6	630	205	29,6	1,91	0,167
ТП7	1000	312	41,0	1,22	0,1
ТП8	630	245	29,6	1,91	0,1
ТП9	1000	235	41,0	1,22	1,12
ТП10	630	288	29,6	1,91	0,13
ТП11	400	116	17,2	3,44	0,14
ТП12	400	116	17,2	3,44	0,17
ТП13	2500	-	49,0	0,40	0,17
ИТОГО:	-	2997	410,2	-	-

В данной таблице:

$S_{\text{тнi}}$ - номинальная мощность трансформатора i-й ТП;

Q_{1i} - реактивная нагрузка на один трансформатор i-й ТП;

ΔQ_{Ti} – потери реактивной мощности в трансформаторе i-й ТП;

$R_{\text{тpi}}$ - активное сопротивление трансформатора i-й ТП,
приведенное к напряжению 10 кВ;

R_{Ai} - активное сопротивление i-й кабельной линии.

При курсовом проектировании данные Q_{1i} и ΔQ_{Ti} следует взять из раздела «Выбор числа, мощности и типа трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций предприятия» [1].

Соотношения для определения параметров элементов схемы электроснабжения $R_{\text{тpi}}$, R_{Ai} , ΔQ_{Ti} приведены в [6].

Данные о синхронных и асинхронных двигателях представлены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Данные о двигателях

Обозначение в схеме рис. 3.1	Тип двигателя	U_n , кВ	$P_{сд\ ni}$, кВт	$Q_{сд\ ni}$, квар	N_i , шт	n_i , об/мин	$D1_i$, кВт	$D2_i$, кВт
СД1	СДН	10	1250	-645	2	1000	6,77	6,98
СД2	СТД	10	630	-320	4	3000	2,07	3,44
СД3	СТД	10	1250	-630	1	3000	3,60	4,92
СД4	СДН	6	630	-320	2	600	5,60	4,06
АД		10	-	180	2	-	-	-

В данной таблице:

U_n - номинальное напряжение двигателя;

$P_{сд\ ni}$ - номинальная активная мощность синхронного двигателя;

$Q_{сд\ ni}$ - номинальная реактивная мощность синхронного двигателя;

N_i - количество двигателей;

n_i - число оборотов двигателя;

$D1_i$ и $D2_i$ - параметры, характеризующие потери активной мощности в синхронном двигателе.

Данные о синхронных машинах, в том числе двигателях, приведены в [11, 12] и в приложении 1 данных методических указаний.

Сопротивления отдельных линий схемы электроснабжения равны

$$R_{01} = R_{02} = R_{А\ сд\ i} = 0,05 \text{ Ом.}$$

Если синхронный двигатель имеет загрузку $\beta_{сд}$ по активной мощности менее 1, то он может дополнительно генерировать определенную реактивную мощность сверх номинальной при номинальном напряжении питания и номинальном токе возбуждения. Эту (располагаемую) реактивную мощность синхронного двигателя определяют по формуле:

$$Q_{сд\ mi} = \alpha_{mi} N_i Q_{сд\ ni} = \alpha_{mi} N_i \sqrt{P_{сд\ ni}^2 + Q_{сд\ ni}^2}, \quad (2)$$

где: α_{mi} - коэффициент допустимой перегрузки синхронного двигателя по реактивной мощности, зависящий от загрузки $\beta_{сд\ i}$ по активной мощности и номинального коэффициента мощности $\cos \varphi_{ni}$. Зависимость α_{mi} приведена в [6] и в приложении 2.

Примем условие, что все синхронные двигатели СД1 ... СД4 имеют $\beta_{сд} = 0,9$, тогда $\alpha_{mi} = 0,47$. Следовательно

$$Q_{сд\ m1} = 0,47 \cdot 2 \sqrt{1250^2 + 645^2} = 1491 \text{ квар, и т.д.}$$

Мощности $Q_{сд\text{ }i}$ синхронных двигателей приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Мощности синхронных двигателей

Обозначение СД на схеме рис. 3.1	$Q_{сд\text{ }i}$, Мвар	$R_{э.сд\text{ }i}$, Ом	$Q_{сд\text{ }i}$, Мвар	$Q_{сд\text{ }i}(\lambda)$, Мвар
СД1	1,321	0,864	0,763	0,742
СД2	1,325	0,852	1,01/0,951	0,933
СД3	0,657	1,29	0,696/0,658	0,644
СД4	0,662	2,25	0,382	0,374
Итого	3,966	-	2,754	2,701

Если на ГПП установлены трансформаторы с расщепленными обмотками, то есть РУ напряжением 6 или 10 кВ состоит из 4-х секций с.ш., то в начале расчета две секции с.ш. одного трансформатора объединяются и рассматриваются как одна секция с.ш., на которую из энергосистемы поступает половина реактивной мощности ($Q_{эс1} - \Delta Q_T$).

После определения оптимальных реактивных мощностей источников промышленного предприятия производят разделение указанных секций с.ш. таким образом, чтобы коэффициенты реактивной мощности $\tan \varphi$ по секциям были одинаковы. Этого добиваются соответствующим разделением высоковольтных конденсаторных батарей (БК), подключаемых к с.ш. 6 или 10 кВ рассматриваемого трансформатора ГПП. Если же установка указанных высоковольтных БК нецелесообразна, то может оказаться, что $\tan \varphi$ разных секций с.ш. одного трансформатора будут различны.

3.1.2. Определение удельной стоимости потерь активной мощности от протекания реактивной мощности

Определение удельной стоимости потерь активной мощности от протекания реактивной мощности производится по формуле:

$$C_o = \delta (\alpha \cdot K_M + \beta \cdot \tau) \text{ (руб./кВт)}, \quad (3)$$

где δ – коэффициент, учитывающий затраты, обусловленные передачей по электрическим сетям мощности для покрытия потерь активной мощности [1, 5];
 α – стоимость 1 кВт потребляемой мощности (основная ставка двухставочного тарифа), руб./кВт;

K_M - отношение потерь ΔP_{Σ} активной мощности от протекания реактивной мощности Q_{Σ} , потребляемой предприятием в период наибольшей нагрузки энергосистемы, к максимальным потерям ΔP_M активной мощности от протекания максимальной реактивной мощности Q_M , потребляемой предприятием:

$$K_M = \Delta P_{\Sigma} / \Delta P_M = Q_{\Sigma}^2 / Q_M^2 ; \quad (3a)$$

β - стоимость 1 кВт·ч электроэнергии (дополнительная ставка двухставочного тарифа), руб./кВт·ч;

τ – время максимальных потерь, ч.

Удельные стоимости α и β определяются по действующим тарифам на электроэнергию.

Значения K_M определяются по суточным графикам реактивной мощности для различных отраслей промышленности. Отметим, что величины Q_{Σ} и Q_M могут быть подставлены в формулу для определения K_M в относительных единицах. В курсовом проекте допускается K_M и τ определять по приложению 3.

В рассматриваемом примере примем $K_M = 0,77$ и $\tau = 3574$ ч.

Наметим возможные места установки (подключения) дополнительных компенсирующих устройств – батарей конденсаторов, низковольтные с.ш. цеховых ТП, (Q_{Ci}); с.ш. высоковольтных РП (Q_{Cj}); с.ш. РУ напряжением 10 кВ ГПП (Q_O). Кроме того, реактивная мощность может быть получена от высоковольтных синхронных двигателей (СД) промышленного предприятия (Q_{Cdi}) и из энергосистемы ($Q_{\Sigma c}$).

Применяемый метод расчета позволяет определить экономическую выгодность установки дополнительных БК и какие оптимальные мощности можно получить от СД и энергосистемы.

3.1.3. Определение затрат на генерацию реактивной мощности отдельными источниками

Для низковольтных БК (0,4 кВ):

$$Z_{1г.кнi} = E \cdot K_{БКн} + C_0 \cdot \Delta P_{БКн} \quad (\text{руб./Мвар}). \quad (4)$$

Для высоковольтных БК (10 кВ):

$$Z_{1г.кв} = Z_{10} = E \cdot K_{БКв} + C_0 \cdot \Delta P_{БКв} \quad (\text{руб./Мвар}). \quad (5)$$

Для синхронных двигателей:

$$З_{1г.сдi} = C_0 \frac{Д1i}{Q_{сд.Нi}} \text{ (руб./Мвар);} \quad (6)$$

$$З_{2г.сдi} = C_0 \frac{Д2i}{N_i Q_{сд.Нi}^2} \text{ (руб./Мвар).} \quad (7)$$

3.1.4. Определение эквивалентных активных сопротивлений ответвлений с ТП, подключенных к 1-й секции с.ш. ГПП

Для расчета оптимальной реактивной мощности, генерируемой низковольтными БК, необходимо знать эквивалентные сопротивления соответствующих ТП. Рассмотрим их последовательно.

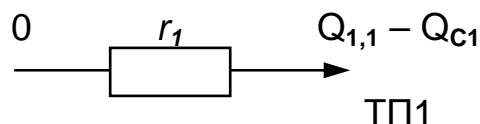


Рис. 3.2 Схема замещения радиальной линии

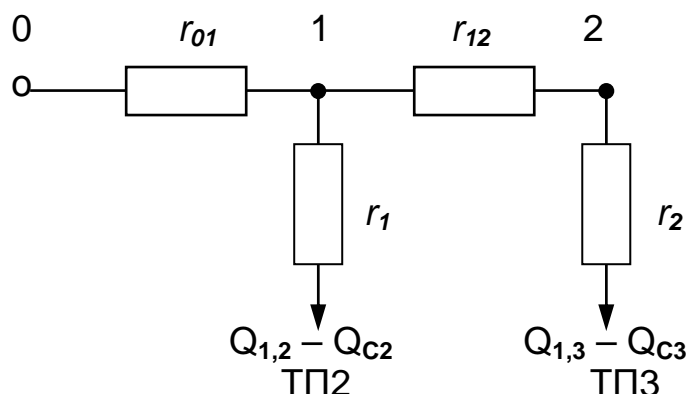


Рис. 3.3. Схема замещения магистральной линии для ТП2 и ТП3

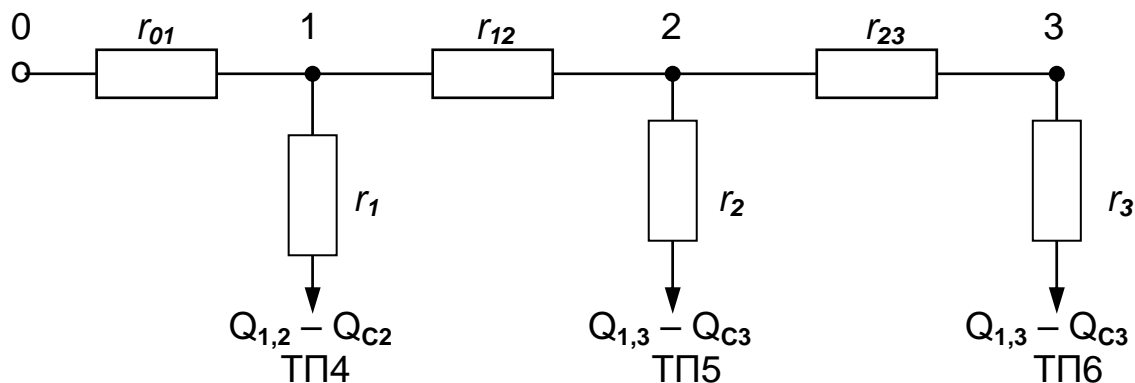


Рис. 3.4. Схема замещения магистральной линии для ТП4 – ТП6
Для ТП1, питающейся по радиальной линии (рис. 3.2), эквивалентное сопротивление

$$R_{\Sigma 1} = r_1 = R_{Л1} + R_{ТР1} = 1,85 + 5,93 = 7,79 \text{ Ом}.$$

Для ТП2 и ТП3, питающихся по магистральной линии (рис. 3.3), введем обозначения:

$$r_{01} = R_{Л2} = 0,166 \text{ Ом};$$

$$r_{12} = R_{Л3} = 0,143 \text{ Ом};$$

$$r_1 = R_{ТР2} = 1,91 \text{ Ом};$$

$$r_2 = R_{ТР3} = 1,91 \text{ Ом}.$$

Эквивалентная проводимость точки (узла) 1 схемы рис. 3.3:

$$\frac{1}{R_{Т1}} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_{12} + r_2} = \frac{1}{1,91} + \frac{1}{0,143 + 1,91} = \frac{1}{0,99} \text{ Ом}^{-1}.$$

С учетом полученного эквивалентного сопротивления присоединений ТП2 и ТП3:

$$R_{\Sigma 2} = \left(1 + \frac{r_{01}}{R_{Т1}}\right) r_1 = \left(1 + \frac{0,166}{0,99}\right) 1,91 = 2,23 \text{ Ом};$$

$$R_{\Sigma 3} = \left(1 + \frac{r_{01}}{R_{Т1}}\right) (r_{12} + r_2) = \left(1 + \frac{0,166}{0,99}\right) (0,143 + 1,91) = 2,4 \text{ Ом}.$$

Для ТП4, ТП5 и ТП6, питающихся по магистральной линии (рис. 3.4):

$$r_{01} = R_{Л4} = 0,123 \text{ Ом};$$

$$r_{12} = R_{Л5} = 0,167 \text{ Ом};$$

$$r_{23} = R_{Л6} = 0,167 \text{ Ом};$$

$$r_1 = R_{ТР4} = 1,22 \text{ Ом};$$

$$r_2 = R_{ТР5} = 1,22 \text{ Ом};$$

$$r_3 = R_{ТР6} = 1,91 \text{ Ом}.$$

Эквивалентные проводимости точек (узлов) 2 и 1 схемы на рис. 3.4:

$$\frac{1}{R_{Т2}} = \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_{23} + r_3} = \frac{1}{1,22} + \frac{1}{0,167 + 1,91} = \frac{1}{0,77} \text{ Ом}^{-1};$$

$$\frac{1}{R_{Т1}} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_{12} + R_{Т2}} = \frac{1}{1,22} + \frac{1}{0,167 + 1,3} = \frac{1}{0,748} \text{ Ом}^{-1}.$$

Эквивалентные сопротивления:

$$R_{34} = (1 + \frac{r_{01}}{R_{T1}}) r_1 = (1 + \frac{0,123}{0,748}) 1,22 = 1,43 \text{ Ом} ;$$

$$R_{35} = (1 + \frac{r_{01}}{R_{T1}}) (1 + \frac{r_{12}}{R_{T2}}) r_2 = (1 + \frac{0,123}{0,748}) (1 + \frac{0,167}{0,77}) 1,22 = 1,74 \text{ Ом} ;$$

$$R_{36} = (1 + \frac{r_{01}}{R_{T1}}) (1 + \frac{r_{12}}{R_{T2}}) (r_{23} + r_3) = (1 + \frac{0,123}{0,748}) (1 + \frac{0,167}{0,77}) (0,167 + 1,91) = 2,95 \text{ Ом}$$

Значения эквивалентных сопротивлений сведены в таблицу 3.4.

3.1.5. Определение реактивной мощности источников, подключенных к 1-й секции с.ш. 10 кВ ГПП

Оптимальные реактивные мощности подключенных к ТП низковольтных БК, можно определить, считая, что к этим шинам ГПП подключена высоковольтная БК (при этом коэффициент Лагранжа $\lambda = 3_{10}$) [6]:

$$Q_{Ci} = Q_{li} + \Delta Q_{Ti} + \frac{3_{10} - 3_{лг.кн}}{2 a C_o R_{\Sigma i}} = Q_{li} + \Delta Q_{Ti} + \frac{Z}{R_{\Sigma i}} , \quad (8)$$

где

$$a = \frac{1000}{U_H^2} = \frac{1000}{10^2} = 10 \text{ кВ}^{-2} ; \quad (9)$$

$$Z = \frac{3_{10} - 3_{лг.кн}}{2 a C_o} = -1,18 \text{ Мвар} \cdot \text{Ом}. \quad (10)$$

Результаты расчета мощностей Q_{Ci} низковольтных БК сводим в табл. 3.4. Для ТП2 - ТП6 получилось, что $Q_{Ci} < 0$, поэтому для них принимаем $Q_{Ci} = 0$. Таким образом, установка низковольтной БК оказалась целесообразной только на ТП1, т.к. $Q_{1,1} > Q_{3,н}$, где $Q_{3,н} = 30$ квар – минимальная (заданная) мощность низковольтной БК.

Определим реактивную мощность, генерируемую синхронными двигателями СД1, подключенными к 1-й секции с.ш. 10 кВ ГПП.

$$Q_{сд1} = \frac{3_{10} - 3_{лг.сд1}}{2 a C_o R_{\Sigma сд1}} ; \quad (11)$$

где $R_{\Sigma сд1}$ - эквивалентное сопротивление СД1.

Таблица 3.4

Значения эквивалентных сопротивлений

Место установки БК	$R_{\Sigma},$ Ом	$Q_{ci}, Q_{soj},$ Мвар		$Q_{ci}(\lambda), Q_{soj}(\lambda),$ Мвар		$Q_{ki},$ Квар	$Q_{ki} + Q_{ci},$ Квар	Тип принятой стандартной БК	$Q_{ci},$ Квар
		расчетн.	принятое	расчетн.	принятое				
ТП1	7,78	0,047	0,047	0,044	0,044	73	117	УК1-0,38-133-У3	133
ТП2	2,23	-0,33	0	-	-	80	80	УК1-0,38-100-У3	100
ТП3	2,4	-0,191	0	-	-	0	0	-	-
ТП4	1,43	-0,524	0	-	-	100	100	УК1-0,38-100-У3	100
ТП5	1,73	-0,264	0	-	-	100	100	УК1-0,38-100-У3	100
ТП6	2,95	-0,165	0	-	-	0	0	-	-
ТП7	1,34	-0,541	0	-	-	0	0	-	-
ТП8	2,01	-0,312	0	-	-	0	0	-	-
ТП9	1,34	-0,605	0	-	-	90	90	УК1-0,38-100-У3	100
ТП10	2,04	-0,260	0	-	-	0	0	-	-
ТП11	3,58	-0,197	0	-	-	0	0	-	-
ТП12	3,61	-0,194	0	-	-	0	0	-	-
ТП13	0,57	-	0	-	-	0	0	-	-
РП1	0,05	-1,078	0	-	-	-	-	-	-
РП2	0,05	0,887	0,887	0,542	0,542	--	-	УК1-10-450-У3	450
ГПП	0	-0,422	0	-	-	-	-	-	-
ИТОГО:	-	-	-	-	0,586	443	487	-	983

$$R_{\Sigma.сд1} = \frac{R_{л.сд}}{N1} + \frac{3_{2Г.сд1}}{a C_o} = 0,864 \text{ Ом} . \quad (12)$$

$$Q_{сд1} = 0,763 \text{ Мвар} < Q_{сд.м1} . \quad (13)$$

Здесь следует отметить, что реактивная мощность $Q_{сд1}$ синхронных двигателей СД1 не превышает располагаемого значения $Q_{сд.м1}$ этих двигателей (табл. 3.3), поэтому их мощность не ограничиваем. Результаты расчетов для СД1 записываем в табл. 3.3.

3.1.6. Определение реактивной мощности источников, подключенных к 1-й секции с.ш. РП1

Параметры схемы замещения для РП1 (рис. 3.3) определяются с помощью следующих соотношений:

$$R_{\Sigma7} = r_1 = R_{л7} + R_{ТР7} = 0,1 + 1,22 = 1,32 \text{ Ом};$$

$$R_{\Sigma8} = r_2 = R_{л8} + R_{ТР8} = 0,1 + 1,91 = 2,01 \text{ Ом};$$

$$R_{\Sigma.сд2} = r_3 = \frac{R_{л.сд2}}{N2} + \frac{3_{2Г.сд2}}{a C_o} = 0,852 \text{ Ом};$$

$$R_{\Sigma.сд3} = \frac{R_{л.сд3}}{N3} + \frac{3_{2Г.сд3}}{a C_o} = 1,29 \text{ Ом}.$$

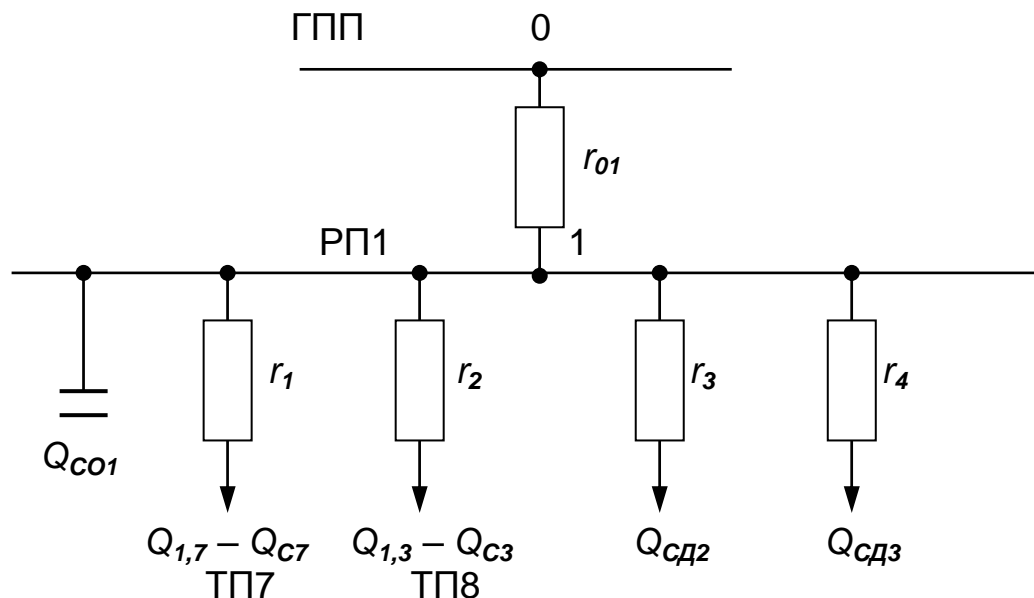


Рис. 3.5. Схема замещения для РП1

Если к с.ш. подключены магистральные схемы питания ТП, то они преобразуются к эквивалентным радиальным по соответствующим соотношениям, рассмотренным для ТП, подключенных к с.ш. ГПП.

Определение реактивной мощности, генерируемой источниками, подключенными к РП, сначала производится при условии, что переток реактивной мощности по линии ГПП – РП отсутствует.

Мощность низковольтных БК найдем по формуле (8) для Q_{Ci} . Установка низковольтных БК на ТП7 и ТП8 нецелесообразна (табл. 3.4), т.е. принимаем $Q_{C7} = Q_{C8} = 0$.

Реактивные мощности синхронных двигателей найдем по формуле (11) для Q_{Cdi} :

$$Q_{Cд2} = 1,01 \text{ Мвар} < Q_{Cд.м2} . \quad (14)$$

$$Q_{Cд3} = 0,696 \text{ Мвар} < Q_{Cд.м3} . \quad (15)$$

Учитывая, что установка низковольтных БК на ТП7 и ТП8 нецелесообразна, уточним величину реактивной мощности, потребляемой от с.ш. РП1:

$$Q_{B1}^1 = Q_{B1} + \sum_7^8 (Q_{li} + \Delta Q_{Ti}) = 0 + 0,312 + 0,041 + 0,245 + 0,0296 = 0,628 \text{ Мвар}.$$

Мощность высоковольтной БК, подключаемой к с.ш. РП1 [6]:

$$Q_{CO1} = Q_B^1 - \sum_2^3 Q_{Cdi} - \sum_7^8 Q_{Ci} = 0,628 - 1,01 - 0,696 - 0 = -1,078 \text{ Мвар} < 0.$$

Это указывает на нецелесообразность установки высоковольтной БК на РП1. Поэтому расчет реактивных мощностей источников для РП1 следует вести по другим соотношениям [6]:

- для трансформаторов ТП (в общем случае)

$$Q_{Ci} = Q_{li} + \Delta Q_{Ti} + \frac{Z}{R_{\Sigma i}} + (Q_{B1}^1 - \sum_7^8 \frac{Z}{R_{\Sigma i}} - \sum_2^3 \frac{Z_i}{R_{\Sigma.CDi}}) \frac{R_{\Sigma.T1}}{R_{\Sigma i}} ; \quad (16)$$

- для синхронных двигателей

$$Q_{Cdi} = \frac{Z_i}{R_{\Sigma.CDi}} + (Q_{B1}^1 - \sum_7^8 \frac{Z}{R_{\Sigma i}} - \sum_2^3 \frac{Z_i}{R_{\Sigma.CDi}}) \frac{R_{\Sigma.T1}}{R_{\Sigma.CDi}} . \quad (17)$$

Здесь принято:

$$Z_i = \frac{Z_{10} - Z_{1Г.СДi}}{2 a C_o}, \quad \text{где } i = 2, 3. \quad (18)$$

$\frac{1}{R_{Э.Т1}}$ - эквивалентная проводимость точки 1 (рис. 3.5);

$$\frac{1}{R_{Э.Т1}} = \frac{1}{R_{01}} + \frac{1}{R_{Э7}} + \frac{1}{R_{Э8}} + \frac{1}{R_{Э.СД2}} + \frac{1}{R_{Э.СД3}}. \quad (19)$$

Так как оказалось, что мощности $Q_{с7}$ и $Q_{с8}$ равны нулю, то соответствующие эквивалентные радиусы не рассматриваются, т.е.

$$\frac{1}{R_{Э.Т1}} = \frac{1}{R_{01}} + \frac{1}{R_{Э.СД2}} + \frac{1}{R_{Э.СД3}} = \frac{1}{0,05} + \frac{1}{0,852} + \frac{1}{1,29} = \frac{1}{0,0455} \frac{1}{Ом};$$

$$Z_2 = (1474 - 403) / 2 \cdot 10 \cdot 62,3 = 0,86 \text{ Мвар} \cdot \text{Ом};$$

$$Z_3 = (1474 - 356) / 2 \cdot 10 \cdot 62,3 = 0,898 \text{ Мвар} \cdot \text{Ом}.$$

Окончательно получим:

$$Q_{сд2} = \frac{0,86}{0,852} + \left(0,628 - \frac{0,86}{0,852} - \frac{0,898}{1,29} \right) \frac{0,0455}{0,852} = 0,951 \text{ Мвар} < Q_{сд.м2};$$

$$Q_{сд3} = \frac{0,898}{1,29} + \left(0,628 - \frac{0,86}{0,852} - \frac{0,898}{1,29} \right) \frac{0,0455}{1,29} = 0,658 \text{ Мвар} < Q_{сд.м3}.$$

Результаты расчетов по РП1 сведем в табл. 3.3 и 3.4. Через наклонную черту записаны значения, рассчитанные по формулам (8), (11) и (16), (17).

3.1.7. Определение реактивной мощности источников, подключенных к 1-й секции с.ш. РП2

Параметры схемы замещения для РП2 (рис. 3.4) определяются по следующим соотношениям [6]:

$$R_{Э9} = r_1 = R_{Л9} + R_{ТР9} = 0,12 + 1,22 = 1,34 \text{ Ом};$$

$$R_{Э10} = r_2 = R_{Л10} + R_{ТР10} = 0,13 + 1,91 = 2,04 \text{ Ом};$$

$$R_{Э11} = r_3 = R_{Л11} + R_{ТР11} = 0,14 + 3,44 = 3,58 \text{ Ом};$$

$$R_{Э12} = r_4 = R_{Л12} + R_{ТР12} = 0,17 + 3,44 = 3,61 \text{ Ом};$$

$$R_{Э13} = R_{Л13} + R_{ТР13} = 0,17 + 0,40 = 0,57 \text{ Ом};$$

$$R_{э.сд4} = r_5 = R_{э13} + \frac{3_{2Г.сд4}}{2 a C_o} = 2,25 \text{ Ом.}$$

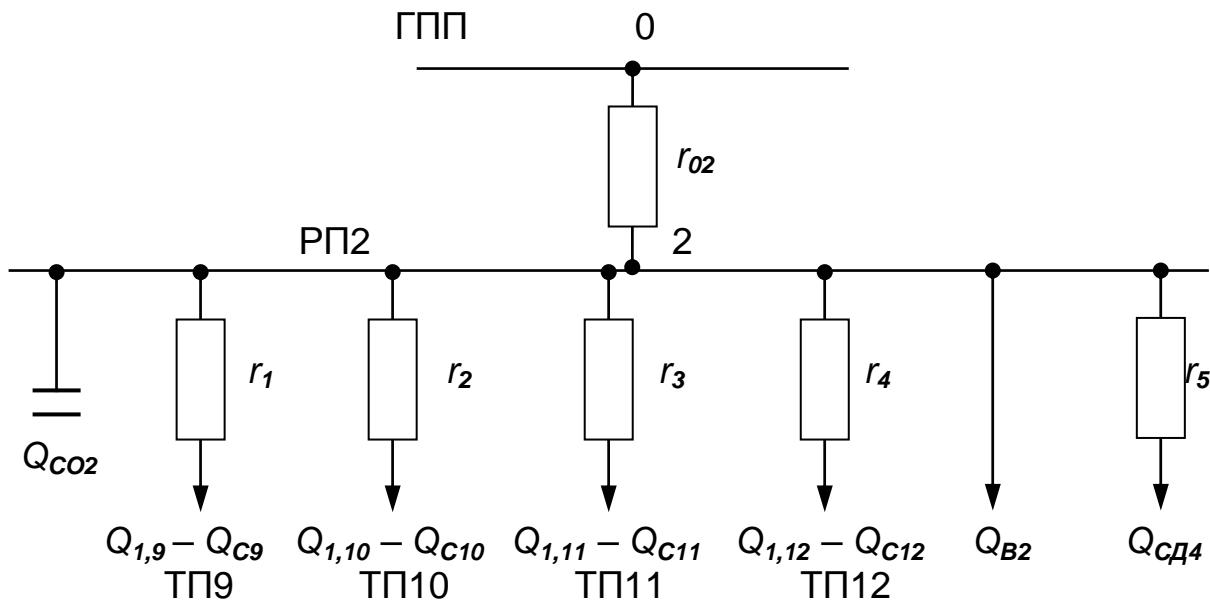


Рис. 3.6. Схема замещения для РП2

Мощности низковольтных БК, подсоединенных к трансформаторам ТП9 - ТП12, найдем по формуле (8) для Q_{Ci} , а результаты расчета сведем в табл. 3.4.

Оказалось, что $Q_{C9} \dots Q_{C12} < 0$, то есть установка низковольтных БК на ТП9 - ТП12 нецелесообразна.

Реактивную мощность СД4 находим по формуле (11):

$$Q_{сд4} = \frac{1474 - 403}{2 \cdot 10 \cdot 62,3 \cdot 2,25} = 0,382 \text{ Мвар} < Q_{сд.м4}.$$

Уточняем величину реактивной мощности, потребляемой от с.ш. РП2:

$$Q_{B2}^1 = Q_{AD} + \sum_9^{12} (Q_{li} + \Delta Q_{Ti}) + \Delta Q_{T13} = 0,36 + 0,86 + 0,049 = 1,269 \text{ Мвар.}$$

Мощность высоковольтной БК, подключаемой к с.ш. РП2, найдем из условия баланса реактивных мощностей:

$$Q_{CO2} = Q_{B2}^1 - Q_{сд4} - \sum_9^{12} Q_{Ci} = 1,269 - 0,382 - 0 = 0,887 \text{ Мвар.}$$

3.1.8. Определение мощности высоковольтной БК, подключаемой к с.ш. 10 кВ ГПП

Определение мощности высоковольтной БК, подключаемой к с.ш. 10 кВ ГПП, производим из условия баланса реактивных мощностей на с.ш. 10 кВ ГПП [6]:

$$Q_0 = \sum_{i=1}^{12} (Q_{li} + \Delta Q_{Ti}) + \Delta Q_{T13} + \Delta Q_T + \sum_{j=0}^2 Q_{Bj} - \sum_{i=1}^{12} Q_{Ci} - \sum_{j=1}^2 Q_{C0j} - \sum_{i=1}^4 Q_{CDi} - Q_{ЭC1}. \quad (20)$$

В этом выражении неизвестна только величина экономически целесообразной реактивной мощности ($Q_{ЭC} = 2 Q_{ЭC1}$), передаваемой энергосистемой предприятию. $Q_{ЭC}$ определяется как минимальная величина из двух [6]:

$$Q_{ЭC}^1 = \alpha_1 P_P \text{ и } Q_{ЭC}^{11} = Q_P - \frac{0,7}{K_{H.P.}} Q_{СДМ}, \quad (21)$$

где α_1 - расчетный коэффициент [6] (приложение 4);
 P_P - расчетная активная нагрузка всего предприятия;
 Q_P - расчетная реактивная (индуктивная) нагрузка предприятия;
 $K_{H.P.}$ - коэффициент несовпадения реактивной мощности [6], (приложение 5);
 $Q_{СДМ}$ - располагаемая мощность всех синхронных двигателей предприятия.

Для рассматриваемого примера имеем:

$$\alpha_1 = 0,31; \quad P_P = 2 \cdot P_{P1} = 2 \cdot 5,8 = 11,6 \text{ МВт}; \quad K_{H.P.} = 0,85;$$

$$\sum_{i=1}^4 Q_{СД.Mi} = 3,966 \text{ Мвар.}$$

$$\begin{aligned} Q_P &= 2Q_{P1} = 2 \left[\sum_{i=1}^{12} (Q_{li} + \Delta Q_{Ti}) + \Delta Q_{T13} + \Delta Q_T + \sum_{j=0}^2 Q_{Bj} \right] = \\ &= 2 \cdot (2,997 + 0,361 + 0,049 + 0,935 + 0,36) = 2 \cdot 4,702 = 9,404 \text{ Мвар.} \end{aligned}$$

После подстановки данных в (21) получим:

$$Q_{ЭC}^1 = 0,31 \cdot 2 \cdot 5,8 = 3,6 \text{ Мвар};$$

$$Q_{\Sigma C}^{11} = 2 \cdot 4,702 - \frac{0,7}{0,85} \cdot 2 \cdot 3,966 = 2,872 \text{ Мвар.}$$

Таким образом, экономически целесообразная реактивная мощность, потребляемая предприятием от энергосистемы в режиме максимальных нагрузок энергосистемы (задается на границе раздела сетей, на стороне высшего напряжения трансформаторов ГПП), будет

$$Q_{\Sigma C} = Q_{\Sigma C}^{11} = 2,872 \text{ Мвар.}$$

Реактивная мощность, приходящаяся на один трансформатор ГПП,

$$Q_{\Sigma C1} = \frac{Q_{\Sigma C}^{11}}{2} = 1,436 \text{ Мвар.}$$

По известным величинам реактивной мощности $Q_{\Sigma C}$, передаваемой из энергосистемы предприятию, и его расчетной активной мощности P_P определяется значение коэффициента активной мощности $\operatorname{tg} \varphi_{\Sigma}$, задаваемого предприятию энергосистемой:

$$\operatorname{tg} \varphi_{\Sigma} = \frac{Q_{\Sigma C}}{P_P} = \frac{2,872}{11,6} = 0,248. \quad (22)$$

Значения $Q_{\Sigma C}$ и $\operatorname{tg} \varphi_{\Sigma}$ определяются в разделе «Выбор напряжения, схемы внешнего электроснабжения и трансформаторов ГПП» в первой части методических указаний [5].

После подстановки значений в выражение (20) для Q_0 получим:

$$\begin{aligned} Q_0 &= 3,358 + 0,049 + 0,935 + 0,36 - 0,047 - 0,887 - 2,754 - 1,436 = \\ &= -0,422 \text{ Мвар} < 0. \end{aligned}$$

Из этого следует, что установка высоковольтной БК в РУ 10 кВ ГПП нецелесообразна, то есть в системе электроснабжения предприятия имеется избыток реактивной мощности, обусловленный внутренними источниками. Поэтому можно и нужно уменьшить их мощность. Чтобы при этом сохранить оптимальные мощности источников и обеспечить баланс реактивных мощностей на с.ш. РУ ГПП, нужно воспользоваться коэффициентом Лагранжа [6].

Если мощность Q_0 окажется больше нуля, то можно переходить к завершению расчетов компенсации реактивной мощности (выбору

комплектных конденсаторных установок, определению расчетного значения $\operatorname{tg} \varphi_P$ и резерва реактивной мощности предприятия).

3.1.9. Определение коэффициента Лагранжа

В общем случае коэффициент Лагранжа равен [6]:

$$\lambda = \frac{2aC_0 Q^1 + \sum_{i=1} \frac{3_{1Г.КНi}}{R_{Эi}} + \sum_{i=1} \frac{3_{1Г.СДi}}{R_{Э.СДi}} + \sum_{j=1} \frac{3_{1Г.КВj}}{R_{0j}} + \sum_{K=1} (2aC_0 Q_{BK}^1 + \sum_{l=1} \frac{3_{1Г.КНК,l}}{R_{ЭК,l}} + \sum_{l=1} \frac{3_{1Г.СДК,l}}{R_{ЭСДК,l}}) \frac{R_{ТК}}{R_{0K} + R_{ТК}}}{\sum_{i=1} \frac{1}{R_{Эi}} + \sum_{i=1} \frac{1}{R_{Э.СДi}} + \sum_{j=1} \frac{1}{R_{0j}} + \sum_{K=1} \frac{1}{R_{0K} + R_{ТК}}} \rightarrow \quad (23)$$

В данной формуле [6]:

$$Q^1 = Q_{B0} + \Delta Q_T + \sum_{i=1} (Q_{1i} + \Delta Q_{Ti}) - Q_{ЭС1}, \quad (24)$$

где Q_{B0} - реактивная нагрузка, подключенная к с.ш. ГПП;
 ΔQ_T - потери в трансформаторе ГПП;
 Q_{1i} и ΔQ_{Ti} - реактивные нагрузки ТП, подключенные к с.ш. ГПП, на которых установка низковольтных БК оказалась нецелесообразной;
 $Q_{ЭС1}$ - реактивная мощность, поступающая из энергосистемы.

Затраты $3_{1Г.КНi}$ и $3_{1Г.СДi}$ относятся только к источникам реактивной мощности (Q_{Ci} и $Q_{CДi}$), подключенным к с.ш. ГПП, мощности которых оказались больше нуля.

Затраты $3_{10} = 3_{1Г.КВj}$ относятся к высоковольтным БК, подключенным к РП, мощности которых оказались больше нуля.

В мощность Q_{BK}^1 входят реактивные мощности РП, на которых установка высоковольтных БК оказалась экономически нецелесообразной – высоковольтная реактивная нагрузка Q_{BK} и реактивные нагрузки ТП, на которых установка низковольтных БК оказалась нецелесообразной:

$$Q_{BK}^1 = Q_{BK} + \sum_{i=1} (Q_{li,K} + \Delta Q_{Ti,K}). \quad (25)$$

Затраты $З_{1Г.КН\ k,l}$ и $З_{1Г.СД\ k,l}$ относятся только к источникам, подключенным к РП, на которых установка высоковольтных БК оказалась нецелесообразной и мощности источников оказались больше нуля.

Здесь следует отметить, что при использовании данной методики расчета [6] коэффициент Лагранжа определяется исходя из условия баланса реактивных мощностей на сборных шинах ГПП, и его величина находится один раз (без итераций).

Для рассматриваемого примера:

$$\lambda = \frac{2aC_0 Q^1 + \frac{З_{1Г.КН1}}{R_{Э1}} + \frac{З_{1Г.СД1}}{R_{Э.СД1}} + \frac{З_{10}}{R_{02}} + (2aC_0 Q_{B1}^1 + \frac{З_{1Г.СД2}}{R_{Э.СД2}} + \frac{З_{1Г.СД3}}{R_{Э.СД3}}) \frac{R_{T1}}{R_{01} + R_{T1}}}{\frac{1}{R_{Э1}} + \frac{1}{R_{Э.СД1}} + \frac{1}{R_{02}} + \frac{1}{R_{01} + R_{T1}}}}, \quad (26)$$

где $Q^1 = 0 + 1,87 + 0,935 - 1,436 = 1,369$ Мвар.

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{2 \cdot 10 \cdot 623 \cdot 1,369 + \frac{2949}{7,78} + \frac{653}{0,864} + \frac{1474}{0,05} + (2 \cdot 10 \cdot 0,628 + \frac{403}{0,856} + \frac{356}{1,29}) \frac{0,513}{0,05 + 0,513}}{\frac{1}{7,78} + \frac{1}{0,864} + \frac{1}{0,05} + \frac{1}{0,05 + 0,513}} = \\ &= 1452 \text{ руб/Мвар.} \end{aligned}$$

Уточняем реактивные мощности источников, подключенных к с.ш. ГПП, по формулам (8) и (11) для Q_{Ci} и $Q_{CДi}$, в которых затраты $З_{10}$ заменяем на коэффициент Лагранжа λ :

$$Q_{C1} = 0,184 + 0,014 + \frac{1452 - 2949}{2 \cdot 10 \cdot 623 \cdot 7,78} = 0,044 \text{ Мвар,}$$

$$Q_{CД1} = \frac{1452 - 653}{2 \cdot 10 \cdot 62,3 \cdot 0,864} = 0,742 \text{ Мвар.}$$

Уточняем реактивные мощности источников, подключенных к с.ш. РП1 по формулам (16) и (17):

$$Z_2 = \frac{1452 - 403}{2 \cdot 10 \cdot 62,3} = 0,842 ; \quad Z_3 = \frac{1452 - 365}{2 \cdot 10 \cdot 62,3} = 0,88 ;$$

$$Q_{сд2} = \frac{0,842}{0,852} + \left(0,628 - \frac{0,842}{0,852} - \frac{0,88}{1,29} \right) \frac{0,0455}{0,852} = 0,933 \text{ Мвар};$$

$$Q_{сд3} = \frac{0,88}{1,29} + \left(0,628 - \frac{0,842}{0,852} - \frac{0,88}{1,29} \right) \frac{0,0455}{1,29} = 0,644 \text{ Мвар};$$

Уточняем реактивные мощности СД4 и высоковольтной БК, подключаемой к с.ш. РП2 по формуле (23) из [6] :

$$Q_{сд4} = \frac{\lambda - 3_{\Gamma.СД4}}{2aC_0 R_{\Sigma.СД4}} = \frac{1452 - 403}{2 \cdot 10 \cdot 62,3 \cdot 2,25} = 0,374 \text{ Мвар};$$

$$Q_{с02} = Q_{B2}^1 + \frac{\lambda - 3_{10}}{2aC_0 R_{02}} - Q_{сд4} = 1,269 + \frac{1452 - 1474}{2 \cdot 10 \cdot 62,3 \cdot 0,05} - 0,374 = 0,542$$

Мвар.

3.1.10. Проверка баланса реактивной мощности на с.ш. 10 кВ

Проверяем баланс реактивных мощностей на с.ш. 10 кВ ГПП, то есть равенство генерируемых $Q_{Г1}$ и потребляемых $Q_{Р1}$ реактивных мощностей (в общем виде):

$$Q_{Г1} = \sum_1^{12} Q_{Ci} + \sum_1^4 Q_{сДи} + Q_0 + \sum_1^2 Q_{с0j} + Q_{Эс1} = 4,723 \text{ Мвар};$$

$$Q_{Р1} = \sum_1^{12} (Q_{li} + \Delta Q_{Ti}) + \Delta Q_{T13} + \Delta Q_T + \sum_0^2 Q_{Bj} = 4,702 \text{ Мвар}.$$

Проверка баланса является проверкой правильности расчетов. В данном случае погрешность составляет 0,40 %

3.1.11 Выбор комплектных конденсаторных установок (ККУ), устанавливаемых на цеховых ТП и высоковольтных РП

Мощности низковольтных БК цеховых ТП определяются суммой двух групп БК: основной Q_{Ki} и дополнительной Q_{Ci} :

$$Q_{KHi} = Q_{Ki} + Q_{Ci} \quad (27)$$

Мощность Q_{Ki} определяется пропускной способностью трансформаторов цеховых ТП и определяется в разделе проекта «Выбор числа, мощности и типа трансформаторов цеховых ТП предприятия» [5].

Мощность Q_{Ci} определяется расчетами, приведенными выше в данных методических указаниях.

Выбор ККУ осуществляется по отраслевым каталогам и прайс-листам. Поскольку ККУ имеют определенную шкалу стандартных мощностей Q_{CTi} , то следует выбирать ближайшую мощность, стремясь, чтобы суммарное отклонение мощностей для всех ККУ приближалось к нулю.

3.1.12. Определение расчетного $tg \varphi_P$

Зная выбранное значение мощностей Q_{CTi} ККУ, определяем расчетный коэффициент реактивной мощности на вводе ГПП (без учета мощности $Q_{Эс1}$, поступающей из энергосистемы):

$$tg \varphi_P = \frac{Q_{P1} + \sum_1^{12} Q_{Ki} - (\sum_1^{12} Q_{CT.Hi} + \sum_0^2 Q_{CT.Bj} + \sum_1^4 Q_{CD.i})}{P_{P1}} =$$
$$= \frac{4,702 + 0,443 - (0,983 + 2,701)}{5,8} = \frac{1,461}{5,8} = 0,252 .$$

Расчетное значение $tg \varphi_P$ должно быть равно заданному энергосистемой значению $tg \varphi_{\Sigma}$ или незначительно отличаться от него из-за дискретности шкалы ККУ.

3.1.13. Определение резерва реактивной мощности

Резерв реактивной мощности, который должен составлять не менее 10 - 15 процентов потребляемой предприятием реактивной мощности, может быть получен за счет недоиспользованной мощности синхронных двигателей, то есть ее увеличения с оптимального значения до располагаемого:

$$Q_{PE3\%} = \frac{\sum_1^4 (Q_{CDMi} - Q_{CDi})}{Q_{P1}} 100\% = \frac{3,966 - 2,701}{4,702} 100\% = 26,9 \%$$

Если резерв недостаточен, то необходима установка резервной высоковольтной БК в РУ 10 кВ ГПП или РП.

4. ВЫБОР УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ

В данном разделе курсового проекта необходимо рассмотреть вопросы релейной защиты и автоматики применительно к проектируемой системе электроснабжения.

С учетом ограниченного объема проекта рекомендуется разработать релейную защиту не всех составных частей, а лишь одного крупного элемента системы электроснабжения, например, трансформатора ГПП, высоковольтного синхронного или асинхронного электродвигателя и т.д.

С использованием справочной литературы [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13], следует выбрать и начертить электрическую принципиальную схему выбранного элемента системы электроснабжения. Привести в расчетно-пояснительной записке краткое описание принятой схемы с указанием используемых в ней видов устройств релейной защиты (максимальная токовая, отсечка, газовая и т.д.).

В части применения устройств автоматики в проектируемой схеме необходимо в пояснительной записке и на чертежах схемы электроснабжения предприятия указать виды принятых в проекте устройств автоматики. Например: автоматический ввод резерва (АВР); автоматическое повторное включение (АПВ); автоматическая разгрузка по току (АРТ); автоматическая частотная разгрузка (АЧР); автоматическое регулирование напряжения (АРН) трансформаторов ГПП; автоматическое регулирование возбуждения синхронных двигателей (АРВ); автоматическое регулирование мощности конденсаторных батарей (АРКОН); автоматическое управление дугогасящими реакторами (АУДР). В некоторых случаях целесообразно отметить наличие в проекте других общепринятых специальных устройств автоматики (например, автоматическое регулирование режимов электродуговой печи, индукционной установки и т.д.).

На чертеже формата А1 (схема электроснабжения) следует показать в прямоугольной рамке сокращенное название (аббревиатуру) каждого вида автоматического устройства (эти названия указаны выше). Наличие устройств переключения ответвлений обмоток под нагрузкой (РПН) у трансформаторов ГПП указывается стрелками на их первичных обмотках.

Объем данного раздела в пояснительной записке проекта должен составлять 3 – 4 страницы текста, плюс принципиальная схема релейной защиты – на отдельном листе формата А4.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ершов А.М., Петров О.А. Электроснабжение промышленных предприятий: Учебное пособие к курсовому проекту. Ч. 2. – Челябинск: ЧПИ, 1987. - 44 с.
2. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. – М.: Мастерство, 2001. – 320 с.
3. Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. – М.: Высш. шк., 1990. – 366 с.
4. Макаров Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4 – 35 кВ и 110 – 1150 кВ / Под ред. И.Т.Горюнова, А.А.Любимова. – М.: Папирус Про., 2005. – 640 с.
5. Проектирование системы электроснабжения промышленного предприятия: Методические указания к курсовому проектированию по дисциплине «Системы электроснабжения» для студентов направления 140200 (специальность 140211 «Электроснабжение»). Ч. 1/ Сост. В.И. Мошкин, Н.С. Деркач, Т.А. Стрижова. – Курган: КГУ, 2005. – 54 с.
6. Петров О.А. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий: Учебное пособие. – Челябинск: ЧПИ, 1986. – 49 с.
7. Справочник по проектированию электроснабжения: Электроустановки промышленных предприятий / Под ред. В.И.Круповича, Ю.Г. Барыбина, М.Л. Сомова. – М.: Энергия, 1992. – 456 с.
8. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. - М.: Энергоатомиздат, 1991. - 464 с.
9. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. Т. 1. Промышленные электрические сети / Под ред. А.А. Федорова и Г.В. Сербиновского. - М.: Энергия, 1990. - 576 с.
10. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. Т.2. Технические сведения об оборудовании / Под ред. А.А. Федорова и Г.В. Сербиновского. - М.: Энергия, 1990. – 528 с.
11. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий: Проектирование и расчет / А.С. Овчаренко, М.Л. Рабинович, В.И. Мозырский и др. – Киев: Техника, 1995. – 279 с.
12. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию. Т.1. Электроснабжение / Под ред. А.А.Федорова. – М.: Энергоатомиздат, 1996. - 568 с.

13. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию. Т.2. Электрооборудование / Под ред. А.А.Федорова. – М.: Энергоатомиздат, 1997. - 592 с.

14. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения: Методическое пособие для курсового проектирования. – М.: Форум-Инфа-М, 2004. – 214 с.

15. Проектирование схем электроустановок: Учебное пособие для вузов / Ю.Н. Балаков, М.Ш. Мисриханов и др. – М.: Изд-во МЭИ, 2004.-288 с.

16. Расчет коротких замыканий и выбор электрооборудования: Учебное пособие для вузов / И.П. Крючков, Б.Н. Неклепаев и др. – М.: ИЦ АКАДЕМИЯ, 2005.- 416 с.

17. Алиев И.И. Кабельные изделия: Справочник. – 2-е изд. – М.: Высш.шк., 2004. – 230 с.

Характеристики синхронных двигателей

<i>N,</i> <i>об/мин</i>	<i>P_{сд.н.}</i> <i>кВт</i>	<i>Q_{сд.н.}</i> <i>кВар</i>	<i>Д1,</i> <i>кВт</i>	<i>Д2,</i> <i>кВт</i>
Серия СДН (10 кВ)				
1000	1250	645	6,77	6,98
	1600	817	7,58	7,56
	2000	1010	8,39	7,2
	2500	1256	9,2	8,93
	3200	1620	11,3	11,0
	4000	2010	10,6	11,8
	5000	2510	13,1	11,0
750	1250	640	7,2	6,48
	1600	815	8,3	8,12
	2000	1020	9,48	9,83
	2500	1265	8,81	8,23
	3200	1615	12,2	12,3
	4000	2010	14,2	13,0
	5000	2510	15,0	12,8
	6300	3160	16,5	15,3
600	1250	637	7,79	5,23
	1600	820	8,99	7,43
	2000	1015	9,64	7,5
	2500	1265	10,1	10,2
	3200	1620	10,3	13,6
	4000	2012	11,3	13,6
	5000	2510	14,1	13,7
	6300	3170	17,6	18,7
500	1250	642	9,08	8,53
	1600	820	9,51	11,0
	2000	1020	10,0	9,36
	2500	1275	8,49	10,2
	3200	1620	9,72	11,2
	4000	2039	16,49	15,4
	5000	2520	16,5	16,4
	6300	3160	14,2	19,4
	8000	4000	16,9	22,1

Продолжение приложения 1

<i>N</i> , об/мин	<i>P</i> _{сд.н.} , кВт	<i>Q</i> _{сд.н.} , кВар	<i>Д</i> ₁ , кВт	<i>Д</i> ₂ , кВт
375	1250	642	10,0	7,79
	1600	825	10,3	10,4
	2000	1020	10,4	12,0
	2500	1280	13,2	13,1
	3200	1625	14,7	14,7
	4000	2020	18,5	13,8
300	1250	645	9,71	8,07
	1600	826	10,5	11,9
	2000	1025	13,0	12,3
	2500	1275	12,3	12,3
	3200	1260	14,0	15,1
250	1250	650	9,83	8,83
	1600	825	11,1	9,51
	2000	1025	12,5	8,53
	2500	1280	13,7	13,3
	3200	1635	18,2	14,4
Серия СТД (120 кВ)				
3000	630	320	2,07	3,44
	800	408	2,47	4,46
	1200	505	3,21	3,03
	1250	630	3,6	4,92
	1600	705	4,25	6,27
	2000	1000	4,8	7,56
	2500	1250	5,8	7,96
	3200	1600	7,16	10,1
	4000	2000	8,34	12,6
	5000	2500	8,95	15,0
	6300	3150	8,98	16,3
	8000	4000	10,4	19,4
	10000	5000	11,9	25,4
	12500	6200	16,7	27,4
Серия СДН (6 кВ)				
1000	1000	511	5,09	3,99
	1250	633	4,74	4,42
	1600	812	6,65	6,80
	2000	1010	8,06	7,53
	2500	1260	8,13	7,74
	3200	1610	10,3	8,91

Продолжение приложения 1

<i>N</i> , об/мин	<i>P</i> _{сд.н.} , кВт	<i>Q</i> _{сд.н.} , кВар	<i>Д1</i> , кВт	<i>Д2</i> , кВт
1000	4000	2000	14,1	11,8
	5000	2500	13,8	11,5
	6300	3150	14,6	13,1
750	800	407	4,9	4,57
	1000	511	4,37	4,96
	1250	637	7,73	7,29
	1600	812	7,22	7,33
	2000	1010	8,08	6,98
	2500	1265	11,2	10,2
	3200	1615	10,1	10,5
	4000	2010	11,0	11,4
	5000	2510	17,2	15,2
	6300	3150	18,1	14,8
	8000	3980	20,3	18,1
	10000	5000	23,5	21,0
600	630	325	5,6	4,06
	800	410	5,76	4,63
	1000	511	7,66	5,38
	1250	637	7,54	6,58
	1600	812	7,79	6,99
	2000	1010	10,7	8,68
	2500	1265	10,9	8,46
	3200	1615	11,6	10,5
	4000	2010	12,9	12,7
	5000	2510	14,6	11,7
	6300	3150	17,1	14,4
	8000	4000	22,3	20,1
	10000	5000	22,7	22,1
500	400	209	3,88	2,97
	500	257	5,05	3,63
	630	327	5,16	4,72
	800	412	6,48	5,54
	1000	511	6,61	5,88
	1250	637	8,44	6,09
	1600	816	8,63	7,61
	2000	1020	9,22	8,29
	2500	1265	11,5	9,36
	3200	1615	10,2	11,7
	4000	2010	11,3	13,2

Продолжение приложения 1

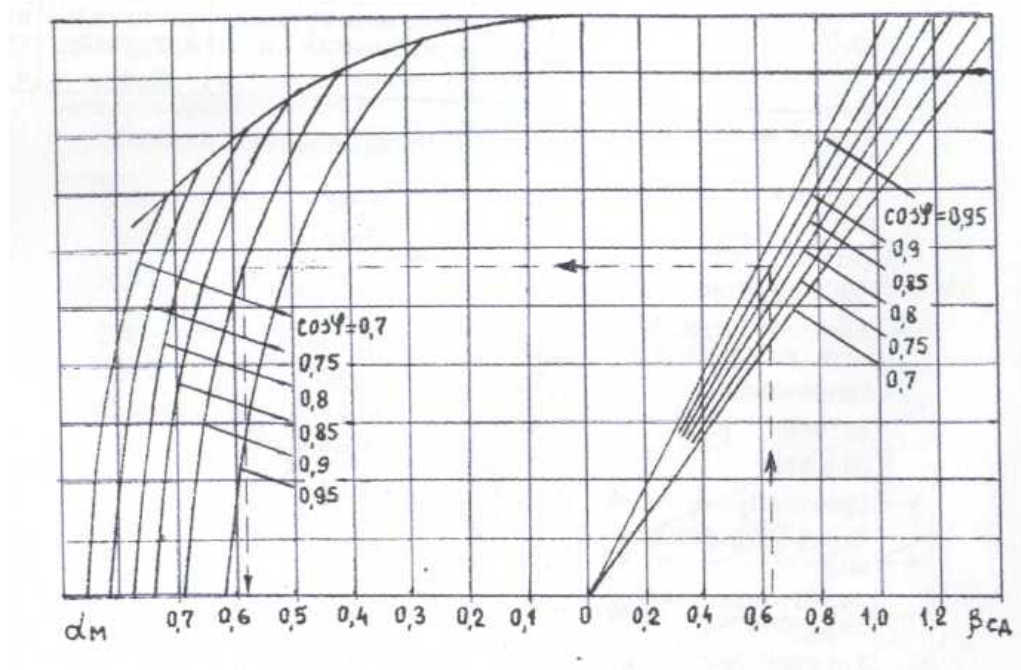
<i>N,</i> <i>об/мин</i>	<i>P</i> _{сд.н.} , <i>кВт</i>	<i>Q</i> _{сд.н.} , <i>кВар</i>	<i>Д1,</i> <i>кВт</i>	<i>Д2,</i> <i>кВт</i>
500	5000	2520	20,0	14,9
	6300	3160	21,0	16,3
	8000	3990	18,1	18,5
	10000	5000	20,6	22,5
375	320	170	4,76	4,1
	400	211	5,31	4,27
	500	262	5,52	4,23
	630	327	6,64	4,91
	800	415	7,07	5,25
	1000	515	8,3	6,55
	1250	642	8,43	7,07
	1600	821	12,1	7,56
	2000	1020	11,9	10,4
	2500	1270	12,5	11,8
	3200	1615	17,5	12,2
	4000	2020	17,6	13,4
300	320	172	4,64	4,6
	400	211	5,13	5,08
	500	264	5,81	5,39
	630	330	6,86	5,46
	800	416	7,76	6,0
	1000	519	9,6	7,7
	1250	646	9,87	8,25
	1600	825	10,8	9,15
	2000	1020	13,4	9,85
	2500	1270	15,3	10,7
	3200	1630	16,9	11,8
	4000	2020	18,2	13,0
250	320	172	5,78	4,22
	400	214	5,83	4,34
	500	264	6,14	4,58
	630	331	6,86	5,45
	800	418	8,5	6,3
	1000	520	10,0	7,19
	1250	646	10,3	8,25
	1600	825	14,6	10,4
	2000	1025	16,0	10,4
	2500	1270	15,9	11,7
	3200	1630	16,7	15,4

Продолжение приложения 1

<i>N</i> , об/мин	<i>P</i> _{сд.н.} , кВт	<i>Q</i> _{сд.н.} , кВар	<i>Д1</i> , кВт	<i>Д2</i> , кВт
250	4000	2030	20,8	16,3
187	320	174	5,19	4,72
	400	216	5,97	5,38
	500	266	6,57	5,29
	630	334	6,27	6,91
	800	423	11,1	7,29
	1000	524	11,5	8,31
	1250	650	12,1	8,4
167	320	175	6,65	4,18
	400	216	7,64	4,25
	500	268	8,07	4,70
	630	336	9,73	7,14
	800	423	10,5	8,3
	1000	523	11,3	8,31
	1250	655	11,4	9,65
150	320	181	6,26	6,93
	400	220	6,22	6,12
	500	268	6,53	5,9
100	800	430	12,9	10,3
	1000	532	15,3	10,6
	1250	660	21,0	11,9
	1600	838	21,5	12,1
	2000	1040	20,7	13,9
	2500	1290	19,6	19,2
Серия СТД (6 кВ)				
3000	630	320	2,02	3,25
	800	408	2,59	3,95
	1000	505	3,00	4,49
	1250	630	3,67	4,07
	1600	705	4,56	4,85
	2000	1000	4,89	6,72
	2500	1250	6,49	6,39
	3200	1600	7,23	8,12
	4000	2000	7,9	11,4
	5000	2500	9,07	13,6
	6300	3150	9,04	13,0
	8000	4000	10,4	17,0
	10000	5000	14,2	19,5

Приложение 2

Номограмма для определения располагаемой реактивной мощности синхронных двигателей при номинальном напряжении и токе возбуждения



Потери активной мощности по отраслям промышленности

Отрасль промышленности	Отношение наименьшей реактивной нагрузки к наибольшей	Отношение реактивной нагрузки в часы максимума энергосистемы к наибольшей реактивной нагрузке предприятия, K_m	Число часов использования наибольшей реактивной нагрузки, Т, ч	Число часов максимальных потерь от реактивной нагрузки, τ , ч
Черная металлургия	0,74	0,88	7700	6800
Цветная металлургия	0,73	0,94	7500	7100
Нефтеперерабатывающая	0,84	0,93	8100	7700
Машиностроение и металлообработка	0,44	0,79	6300	4900
Химическая	0,78	0,92	7900	7100
Легкая	0,41	0,91	6600	5400
Пищевая	0,66	0,91	7400	6400
Целлюлозно-бумажная	0,75	0,83	7500	6500
Деревообрабатывающая	0,34	0,75	5900	4500
Строительных материалов	0,7	0,9	7700	6700
Текстильная	0,79	0,93	7900	7200

Приложение 4

Значения расчетного коэффициента α_1

Район энергосистемы	Коэффициент α_1 при высшем напряжении понижительной подстанции, кВ			
	6 и 10 (генератор- ное напряжение)	35	110 – 150	220 и выше
Северо-Запад, Центр, Юг, Средняя Волга	0,6	0,23	0,28	0,37
Урал	0,6	0,27	0,31	0,42
Сибирь	0,6	0,24	0,29	0,40
Северный Кавказ	0,6	0,22	0,26	0,34
Дальний Восток	0,6	0,20	0,25	0,32

Приложение 5

Значение коэффициента несовпадения реактивной мощности ($K_{н.р.}$)

Отрасль промышленности	Коэффициент несовпадения $K_{н.р.}$
Нефтеперерабатывающая, текстильная	0,95
Черная и цветная металлургия, химическая, пищевая, целлюлозно- бумажная, строительных материалов	0,9
Газовая, угольная, машиностроение и металлообработка	0,85
Деревообрабатывающая	0,8
Прочие	0,75

Мошкин Владимир Иванович
Стрижова Татьяна Анатольевна
Деркач Николай Семенович

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Методические указания
к курсовому проектированию по учебной дисциплине
«Системы электроснабжения»
для студентов направления 140200
(специальность 140211 «Электроснабжение»)
очной и заочной форм обучения

Часть 2

Редактор Н.Л. Попова

Подписано к печати	Формат 60*84 1/16	Бумага тип. №1
Печать трафаретная	Усл. печ. л. 3,25	Уч.-изд. л. 3,25
Заказ	Тираж 100	Цена свободная

Редакционно-издательский центр КГУ.
6400669, г. Курган, ул. Гоголя, 25.
Курганский государственный университет.