

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Чайковский филиал
федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Кафедра автоматизации, информационных и инженерных технологий

МП12.8-2021

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРЕДПИСАНИЯ
к курсовому проекту по дисциплине
«Релейная защита и автоматизация ЭЭС»
для студентов очной формы обучения
по направлению 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Чайковский, 2021

Методические предписания по выполнению курсового проекта по дисциплине «РЗиА» / Сост. В.А. Ковязин. – Чайковский: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2021. – 38 с.

Методические предписания по выполнению курсового проекта по дисциплине «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем» предназначены для студентов очной формы обучения, обучающихся по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», и содержат варианты заданий курсового проекта и рекомендации по их выполнению.

Методические предписания по выполнению курсового проекта призваны оказать методическую помощь студентам в освоении дисциплины.

Методические предписания включают в себя краткие теоретические по теме, вопросы для закрепления теоретического материала, задания для курсового проекта.

Рецензент: доктор тех. наук, профессор кафедры АИИТ Иванова Т.Н.

Методические предписания для студентов по выполнению курсового проекта рассмотрены и одобрены на заседании кафедры автоматизации, информационных и инженерных технологий ЧФ ПНИПУ 12.04.2021 г., протокол № 29.

Методические предписания для студентов по выполнению курсового проекта рекомендованы методической комиссией ЧФ ПНИПУ для использования в учебном процессе (протокол № 8 от 29.04.2021 г.)

©Пермский национальный исследовательский
политехнический университет
Чайковский филиал, 2021
©Ковязин В.А., 2021

Содержание

1. Цели и задачи курсового проекта	4
2. Задание на курсовой проект	5
3. Общие указания к выполнению проекта	6
4 Содержание работы и оформление пояснительной записки	29
5. Список рекомендуемых источников.....	31
Приложение.....	32

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

В проекте по релейной защите и автоматике студенту необходимо реализовать имеющиеся знания в этой области техники.

Надо отчетливо представлять, что релейная защита и автоматика являются органической частью комплекса электрооборудования элементов электроснабжения. Без релейной защиты и электроавтоматики на современном уровне технического развития невозможно организовать электроснабжение потребителей.

Официальными документами, определяющими однотипность выполнения релейной защиты и автоматике, являются "Правила устройств электротехнических установок", "Руководящие указания по релейной защите" и "Правила технической эксплуатации" [1–3]. Поэтому при выполнении проекта по релейной защите и автоматике надо умело пользоваться указанными выше материалами, правильно выбирать нужную аппаратуру, уметь создать новую схему релейной защиты или автоматике, обеспечивающую необходимую логику действия, отвечающую поставленным требованиям и учитывающую физические процессы в контролируемых цепях и в цепях отдельных аппаратов.

Во время учебного проектирования студент должен подытожить свои знания в области релейной защиты и автоматике, полученные при изучении соответствующих дисциплин, и воплотить их в конкретной самостоятельной работе. При этом надо твердо понимать, что проект по релейной защите и автоматике должен рассматриваться как органическая часть проекта объекта в целом, а разработка того или иного устройства должна быть подчинена достижению необходимой работы, конкретного элемента электроэнергетической системы.

2. ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

Курсовой проект выполняется в соответствии с индивидуальным заданием, выдаваемым каждому студенту. Бланк задания приведен в приложении 1.

Задание на курсовой проект содержит:

- общий для всех студентов объем задания в виде перечня вопросов, которые должны быть решены в работе;
- сроки выполнения отдельных разделов работы.

Принципиальную схему электроснабжения и другие необходимые данные студенты выбирают в соответствии со своим вариантом.

Номер варианта для выбора индивидуального задания принимается по выражению

$$N = 4 \cdot (A - 1) + B,$$

где A – порядковый номер фамилии студента в журнале группы;

B – номер группы в потоке (а–1, б–2, в–3, г–4).

3. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Защита понижающих трансформаторов и автотрансформаторов

Общие положения

Основные защиты. Эти защиты реагируют на все виды повреждений трансформатора (автотрансформатора) и действуют на отключение объекта без выдержки времени. К основным защитам относятся:

- а) продольная дифференциальная токовая защита от всех видов замыканий на выводах и в обмотках сторон с заземленной нейтралью, а также от многофазных замыканий на выводах и в обмотках сторон с изолированной нейтралью;
- б) газовая защита от замыканий внутри кожуха трансформатора, сопровождающихся выделением газа, а также при резком снижении уровня масла.

Резервные защиты. Эти защиты резервируют основные защиты и реагируют, кроме перечисленных видов замыканий, также на внешние к.з., действуя на отключение с двумя выдержками времени: с первой выдержкой времени отключается выключатель со стороны низшего напряжения, а со второй (большей) – остальные выключатели. Резервные защиты от междуфазных повреждений имеют несколько вариантов исполнения:

- а) МТЗ без пуска по напряжению;
- б) МТЗ с комбинированным пуском по напряжению;
- в) МТЗ обратной последовательности для действия при несимметричных к.з. с приставкой, для действия при симметричных к.з.

Резервные защиты от замыканий на землю выполняются в виде МТЗ нулевой последовательности.

Защиты, действующие на сигнал.

К ним относятся:

- а) защита по напряжению нулевой последовательности от замыканий на землю на стороне низшего напряжения объекта, работающей с изолированной нейтралью;

б) МТЗ от симметричных перегрузок. Для трансформаторов с односторонним питанием устанавливается только со стороны питания (если одна из обмоток имеет мощность 60%, то защита от перегрузок устанавливается и на этой стороне), для автотрансформаторов защита от перегрузки устанавливается на каждой стороне.

в) газовая защита, действующая на сигнал при слабом газообразовании.

Методика расчета

Продольная дифференциальная защита

Условия выбора тока срабатывания дифзащиты определяют расчетные режимы и требования, предъявляемые к ней в зависимости от параметров трансформатора и автотрансформатора.

Продольная дифзащита применяется для объектов мощностью 6300 кВА и более, а также на объектах мощностью 4000 кВА при их параллельной работе (при меньшей мощности объекта применяется токовая отсечка в сочетании с МТЗ). Защита выполняется с применением дифференциальных реле тока типов РНТ и ДЗТ, имеющих насыщающиеся трансформаторы (реле ДЗТ и тормозные обмотки). Реле типа РНТ обеспечивает повышенную отстройку от переходных режимов с апериодической слагающей тока. Реле типа ДЗТ обеспечивает также отстройку от периодических токов небаланса. Выбор типа реле обеспечивается расчетами.

На трансформаторах "мощностью до 25 МВА допускается выполнение дифзащиты с реле тока типа РТ-40, отстроенным по току срабатывания от бросков тока намагничивания и переходных значений тока небаланса (дифференциальная отсечка), если при этом обеспечивается требуемая чувствительность.

Для двухобмоточных трансформаторов используется двухрелейная схема защиты, для трехобмоточных и автотрансформаторов – трехрелейная.

Для выбора тока срабатывания защиты по условиям отстройки от токов

небаланса рассматриваются такие режимы, при которых ток небаланса будет наибольшим. Выбор расчетных условий определяется параметрами системы. Для объекта с односторонним питанием расчетным является трехфазное к.з. на шинах низкого и среднего напряжения.

Для проверки чувствительности рассматриваются такие режимы, при которых чувствительность будет минимальной. При одностороннем питании коэффициент чувствительности проверяется при внутреннем к.з. на выводах НН и СН в минимальном режиме работы системы.

Предварительный расчет дифзащиты и выбор типа реле

Определяется ток срабатывания защиты по большему из двух условий:

- а) отстройка от броска тока намагничивания, возникающего при включении объекта на холостой ход:

$$I_{С.з.} \geq K_H \cdot I_{НОМ} , \quad (3.1)$$

где $K_H = 1,3$ – коэффициент отстройки;

$I_{НОМ}$ – номинальный ток объекта.

- б) отстройка от максимального тока небаланса, возникающего при внешнем к.з.

$$I_{С.з.} \geq K_H \cdot I_{НБ.РАСЧ} , \quad (3.2)$$

где $K_H = 1,3$ – коэффициент запаса по избирательности;

$I_{НБ.РАСЧ}$ – максимальный расчетный ток небаланса, определяемый как сумма трех составляющих, пропорциональных периодической слагающей тока к.з.

$$I_{НБ.РАСЧ} = \dot{I}_{НБ.РАСЧ} + \ddot{I}_{НБ.РАСЧ} + \tilde{I}_{НБ.РАСЧ} \quad (3.3)$$

Составляющая $\dot{I}_{НБ.РАСЧ}$ обусловлена погрешностью ТТ:

$$\dot{I}_{НБ.РАСЧ} = K_A \cdot K_{ОДН} \cdot \xi \cdot I_{К.МАХ}^{(3)}, \quad (3.4)$$

где K_A – коэффициент, учитывающий влияние апериодической слагающей тока к.з. в переходном режиме. $K_A = 1,0$ (для реле РНТ), $K_A = 2,0$ (для реле ДЗТ);

$K_{ОДН}$ – коэффициент однотипности ТТ. $K_{ОДН} = 0,5$ (для однотипных ТТ), $K_{ОДН} = 1,0$ (для разнотипных ТТ);

ξ – относительная наибольшая погрешность ТТ, $\xi = 0,1$;

$I_{К.МАХ}^{(3)}$ – максимальное значение тока при внешнем к.з.

Составляющая $\ddot{I}_{НБ.РАСЧ}$ обусловлена регулированием напряжения защищаемого трансформатора (автотрансформатора):

$$\ddot{I}_{НБ.РАСЧ} = \Delta U_{*\alpha} I_{\alpha К.МАХ} + \Delta U_{*\beta} I_{\beta К.МАХ}, \quad (3.5)$$

где $I_{\alpha К.МАХ}$ и $I_{\beta К.МАХ}$ – периодические составляющие токов (при $t=0$), проходящих при расчетном внешнем к.з. на сторонах, где производится регулирование напряжения;

$\Delta U_{*\alpha}$ и $\Delta U_{*\beta}$ – относительные погрешности, обусловленные регулированием напряжения на сторонах защищаемого объекта.

Составляющая $\tilde{I}_{НБ.РАСЧ}$ обусловлена неточностью установки на коммутаторе реле РНТ (ДЗТ) расчетных чисел витков уравнительных обмоток (для неосновных сторон – см. ниже). При трехобмоточном трансформаторе:

$$\tilde{I}_{НБ.РАСЧ} = \frac{W_{1РАСЧ} - W_1}{W_{1РАСЧ}} \cdot I_{\alpha К.МАХ} + \frac{W_{2РАСЧ} - W_2}{W_{2РАСЧ}} \cdot I_{\beta К.МАХ}, \quad (3.6)$$

где $W_{1РАСЧ}$ и $W_{2РАСЧ}$ – расчетные числа витков обмоток реле для неосновных сторон.

При двухобмоточном трансформаторе в правой части исключаются вторые члены.

Составляющая $I_{НБ,РАСЧ}^{\dots}$ учитывается только при расчете уточненного тока срабатывания после выбора чисел витков обмоток НТТ.

В начале расчета определяются вторичные токи в плечах дифференциальной защиты. Сторону, где проходит наибольший ток, рекомендуется принимать за основную. Для этой стороны определяется ток срабатывания реле по выражению:

$$I_{С.Р.ОСН} = \frac{I_{С.З.ОСН} \cdot K_{СХ.ОСН}^{(3)}}{n_{Т.ОСН}}, \quad (3.7)$$

где $I_{С.З.ОСН}$ – ток срабатывания защиты, выбранный по условиям (3.1) – (3,2) и приведенный к напряжению основной стороны;

$K_{СХ.ОСН}^{(3)}$ – коэффициент схемы для ТТ на основной стороне;

$n_{Т.ОСН}$ – коэффициент трансформации ТТ на основной стороне.

Определяется число витков обмоток реле, подключенных к основной стороне:

$$W_{ОСН.РАСЧ} = \frac{F_{С.Р}}{I_{С.Р.ОСН}}, \quad (3.8)$$

где $F_{С.Р}$ – магнитодвижущая сила, необходимая для срабатывания реле; для реле РНТ–565 и ДЗТ–11 равна 100 А.в.

Принимается ближайшее меньшее число витков.

Вычисляется число витков неосновной стороны, исходя из условия равенства нулю результирующей намагничивающей силы:

$$I_{2.OCH} \cdot W_{OCH} = I_{2.НЕОСН} \cdot W_{НЕОСН.РАСЧ} \quad (3.9)$$

Для трехобмоточного трансформатора, у которого две неосновные стороны, выражение (3.5) приобретает вид:

$$I_{2.OCH} \cdot W_{OCH} = I_{2.1} \cdot W_{1РАСЧ} = I_{2.2} \cdot W_{2РАСЧ} , \quad (3.10)$$

где $I_{2.OCH}$, $I_{2.1}$, $I_{2.2}$ – вторичные номинальные токи в плечах защиты для основной и неосновных сторон 1 и 2.

W_{OCH} , $W_{1РАСЧ}$, $W_{2РАСЧ}$ – принятое число витков для основной стороны и расчетные числа витков для неосновных сторон 1 и 2.

В случае применения реле ДЗТ для обеспечения несрабатывания его при внешнем к.з. на тормозной обмотке реле должно быть включено число витков, определяемое по выражению:

$$W_T \geq \frac{K_H \cdot I_{НБ} \cdot W_P}{I_{К.МАХ} \cdot tg(\alpha)} , \quad (3.11)$$

где $K_H = 1,5$ – коэффициент надежности;

$I_{НБ}$ – ток небаланса, определяемый по выражению (3.3);

W_P – расчетное число витков рабочей обмотки реле;

$tg(\alpha) = 0,87$ – тангенс угла наклона к оси абсцисс касательной, проведенной из начала координат к характеристике срабатывания реле (см.характеристику реле).

Чувствительность защиты проверяется по коэффициенту чувствительности

$$K_q = \frac{I_{P.MIN}}{I_{C.P}} \geq 2 , \quad (12)$$

где $I_{P.MIN}$ – меньшее значение тока к.з., протекающего через первичную обмотку НТТ реле серий РНТ и ДЗТ при внутреннем к.з. в трансформаторе.

Порядок расчета дифференциальной защиты трансформатора (автотрансформатора):

1. В соответствии с расчетной схемой рассчитываются токи к.з. в минимальном и максимальном режиме работы системы.
2. Определяются средние значения первичных и вторичных номинальных токов для всех сторон защищаемого объекта.
3. Определяется первичный ток небаланса по выражению (3.3) без учета составляющей $I_{НБ.РАСЧ}^{\dots}$, т.к. известно, насколько точно удастся в ходе расчета выбрать числа витков обмоток НТТ реле.
4. Определяется предварительно значение тока срабатывания защиты по (3.1) и (3.2) и за расчетное принимается большее из этих значений. По (3.7) вычисляется ток срабатывания реле.
5. Производится предварительная проверка чувствительности по (3.12).
6. Определяются числа витков обмоток реле для основной и неосновной сторон (3.8) и (3.10).
7. Уточняется ток срабатывания защиты с учетом тока $I_{НБ.РАСЧ}^{\dots}$.
8. Уточняется коэффициент чувствительности защиты. Все расчеты дифференциальной защиты сводятся в таблицы.

Выполнение и расчет дифференциальной защиты на трансформаторах с расщепленными обмотками со схемой соединения $Y/\Delta/\Delta-11-11$ имеют некоторые особенности, обусловленные, главным образом, невысоким уровнем токов при к.з. на выводах одной из обмоток низшего напряжения и большим различием между значениями токов $I_{K.MAX}$ и $I_{K.MIN}$. При расчете дифференциальной защиты этих трансформаторов определяющим является, как правило, условие (3.1) отстройки от броска тока намагничивания, но при $I_{С.З} = 1,3 \div 1,5 I_{Н.ТР}$ может оказаться, что K_{ψ} значительно ниже требуемого. Поскольку современные реле серий РНТ и ДЗТ практически не обеспечивают надежную отстройку от бросков

тока намагничивания при меньших значениях $I_{C.3}$, устанавливают дополнительный чувствительный комплект дифференциальной защиты с выдержкой времени $0,5 \div 1 \text{ с}$. Это обеспечивает отстройку от бросков тока намагничивания по времени и позволяет выбирать для этого комплекта $I_{C.3} \leq I_{НОМ.ТР}$.

Методика расчета

Максимальная токовая защита

Выбор тока срабатывания

Уставки по току МТЗ должны обеспечивать:

- несрабатывания защиты на отключение трансформатора при послеаварийных перегрузках;
- необходимую чувствительность при всех видах к.з. в основной зоне защиты и в зоне резервирования.

По первому условию:

$$I_{C.3} \geq \frac{K_H \cdot K_{C.3}}{K_B} \cdot I_{РАБ.МАХ}, \quad (3.13)$$

где K_H – коэффициент надежности (для реле РТ–40, РТ–80 принимается равным 1,1–1,2);

$K_B = 0,85$ – коэффициент возврата реле;

$K_{C.3}$ – коэффициент самозапуска двигателей (принимается равным 1–3);

$I_{РАБ.МАХ}$ – максимальный рабочий ток нагрузки.

По второму условию:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{P.MIN}}{I_{C.P}}, \quad (3.14)$$

где $I_{P.MIN}$ – ток в реле при металлическом к.з. в конце защищаемой зоны в

минимальном режиме рабочей питающей системы;

$I_{C.P}$ – ток срабатывания реле (уставка)

$$I_{C.P} = \frac{I_{C.3} \cdot K_{CX}}{n_T}, \quad (3.15)$$

где $I_{C.3}$ – по выражению (3.13);

K_{CX} – коэффициент схемы, равен 1 или $\sqrt{3}$;

n_T – коэффициент трансформации ТТ.

Для основной защиты $K_q \geq 1,5$, а для зоны резервирования $K_q \geq 1,2$.

Если по расчету оказывается $K_q < 1,5$, то необходимо добиться повышения чувствительности применением пуска по напряжению. В этом случае в выражении (3.13) $K_{C.3} = 1$, поскольку отстройка от перегрузочных режимов обеспечивается пусковым органом напряжения, состоящим из фильтра-реле напряжения обратной последовательности типа РНФ–1М и минимального реле напряжения.

Напряжение срабатывания фильтра-реле выбирается из условия обеспечения отстройки от напряжения небаланса фильтра в нормальном режиме:

$$U_{2C.3} = 0,06 \cdot U_{НОМ}, \quad (3.16)$$

где $U_{2C.3}$ и $U_{НОМ}$ – междуфазные напряжения.

Напряжение срабатывания минимального реле напряжения определяется, исходя из условия обеспечения возврата реле после отключения внешнего к.з., по выражению:

$$U_{C.3} = \frac{U_{MIN}}{K_H} \cdot K_B, \quad (3.17)$$

где U_{MIN} – минимальное остаточное напряжение в месте установки трансформатора напряжения после отключения внешнего к.з.;

$K_H = 1,1 \div 1,2$ – коэффициент надежности;

$K_B = 1,2$ – коэффициент возврата.

Обычно $U_{C.3} = 0,5 \div 0,6 U_{НОМ}$.

Коэффициент чувствительности минимального реле напряжения

$$K_{\text{ч}} = \frac{U_{C.3} \cdot K_B}{U_{OCT}}, \quad (3.18)$$

где U_{OCT} – междуфазное напряжение при металлическом к.з. в месте установки защиты.

Требуется $K_{\text{ч}} \geq 1,2$ для резервных защит.

Время срабатывания (выдержка времени) максимальных защит выбирается из условий селективности защиты по выражению:

$$t_{C.3n} = t_{C.3(n-1)} + \Delta t, \quad (3.19)$$

где $t_{C.3(n-1)}$ – время срабатывания предыдущей защиты;

Δt – ступень селективности ($\Delta t = 0,4 \div 0,6$ с).

Защита линий электропередач

Общие положения

Основные защиты. Эти защиты реагируют на междуфазные к.з., на однофазные к.з., на землю и действуют на отключение выключателя без выдержки или с выдержкой времени. К основным защитам относятся:

- а) токовая отсечка без выдержки времени от междуфазных к.з. (простые и комбинированные);
- б) токовая отсечка с выдержкой времени от междуфазных к.з.;
- в) дистанционная защита;

- г) дифференциальная защита линий;
- д) ступенчатая максимальная токовая защита нулевой последовательности от однофазных замыканий на землю.

Резервные защиты. Эти защиты резервируют основные защиты и действуют на отключение выключателя с выдержкой времени. К резервным защитами относятся:

- а) максимальные токовые защиты без пуска и с пуском по напряжению от междуфазных к.з.;
- б) вторые и последующие ступени дистанционной защиты;
- в) вторые и последующие ступени МТЗ нулевой последовательности от однофазных к.з. на землю.

Методика расчета

По условию селективности ток срабатывания отсечки выбирается большим максимального значения тока при к.з. в конце защищаемого участка:

$$I_{C.O} \geq K_H \cdot I_{K.MAX}^{(3)}, \quad (3.20)$$

где $K_H = 1,3$ – коэффициент отстройки;

$I_{K.MAX}^{(3)}$ – в месте установки защиты в максимальном режиме работы питающей системы.

Кроме условия (3.20) должна быть обеспечена отстройка токовой отсечки от бросков тока намагничивания силовых трансформаторов. При расчете токовой отсечки для линии, по которой питается несколько трансформаторов, необходимо обеспечить отстройку от к.з. за каждым из трансформаторов на ответвлениях (если они имеются) и дополнительно проверить надежность отстройки токовой отсечки от бросков тока намагничивания всех трансформаторов, подключенных к

защищаемой линии по выражениям:

$$I_{C.O} \geq (3 \div 4) \sum I_{НОМ.ТР} ; \quad (3.21)$$

$$\sum I_{НОМ.ТР} = \frac{\sum S_{НОМ.ТР}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} , \quad (3.22)$$

где $\sum S_{НОМ.ТР}$ – сумма номинальных мощностей всех трансформаторов, питающихся по линии;

$U_{НОМ}$ – среднее номинальное напряжение линии.

При небольшой длине линии и большой мощности подключенных к линии трансформаторов простые токовые отсечки могут оказаться неэффективными. Применение комбинированной отсечки позволяет произвести отстройку от к.з. за трансформатором по напряжению.

Ток срабатывания отсечки выбирается из условия обеспечения достаточной чувствительности при двухфазном металлическом к.з. в конце защищаемой зоны в минимальном режиме.

$$I_{C.O} = \frac{I_{К.МІN}^{(3)}}{K_{Ч.Т}} , \quad (3.23)$$

где $K_{Ч.Т}$ – коэффициент чувствительности отсечки по току, принимается равным 1,5.

Напряжение срабатывания выбирается по выражению:

$$U_{C.O} \leq \frac{\sqrt{3} \cdot I_{C.O} \cdot (Z_{Л} + Z_{ТР})}{K_H} , \quad (3.24)$$

где $K_H = 1,2 \div 1,3$;

$Z_{Л}$ и $Z_{ТР}$ – сопротивление линии и трансформатора.

Напряжение срабатывания должно находиться в пределах:

$$U_{c.o} = (0,15 \div 0,65) \cdot U_{НОМ} .$$

Чувствительность отсечки по напряжению проверяется при к.з. в конце защищаемой линии:

$$K_{ч.н} = \frac{U_{c.o}}{U_{ост}} \geq 1,5 , \quad (3.25)$$

где $U_{ост}$ – остаточное напряжение в максимальном режиме работы системы.

Чувствительность простых отсечек без выдержки времени на блоках линия-трансформатор проверяется при двухфазном к.з. в конце линии. При этом, если $K_{ч} \geq 1,5$, то отсечка считается основной быстродействующей защитой линии.

В качестве резервной защиты линий может использоваться МТЗ, методика расчета которой приведена в 3.1.2.

Отсечка с выдержкой времени

Отсечка выполняется с небольшой выдержкой времени на ступень селективности больше, чем время срабатывания быстродействующих защит предыдущих элементов, т.е. $t_{c.o} \approx 0,5 \div 1$ с. При этом в выражении (3.20) $K_{ч} = 1,1$ микроне того, не требуется отстройка от бросков намагничивающего тока трансформаторов по условию (3.21). Отсечки с выдержкой времени широко применяются в линиях 35 кВ, а в ряде случаев и в линиях 110–220 кВ.

Дистанционная защита

Расчет дистанционной защиты заключается в определении сопротивлений срабатывания, выдержек времени и чувствительности каждой из ступеней защиты и пусковых органов (которые обычно выполняют и функции последней,

резервной ступени).

1. Первая ступень.

Первичные сопротивления срабатывания определяются для случаев металлических к.з. по условию:

$$Z_{C.3}^1 \leq 0,85 \cdot (Z_{Л} + Z_{TP.MIN}). \quad (3.26)$$

Если трансформаторы на ответвлениях оборудованы быстродействующими защитами, которые вызывают отключение короткозамыкателей, то время срабатывания первой степени дистанционной защиты линии желательно иметь не менее 0,1 с.

2. Вторая ступень.

Первичные сопротивления срабатывания определяются по следующим условиям:

- а) по условию согласования, по чувствительности с предыдущими защитами других типов.

Если трансформаторы защищаются токовыми отсечками, $Z_{C.3}^2$ может выбираться по условию согласования по чувствительности с соответствующей токовой отсечкой:

$$Z_{C.3}^2 \leq 0,85 \cdot (Z_{Л} + Z_{РАСЧ}), \quad (3.27)$$

где $Z_{Л}$ – сопротивление участка от места установки дистанционной защиты до места установки отсечки, с которой производится согласование;

$Z_{РАСЧ}$ – сопротивление зоны, надежно охватываемой отсечкой, с которой

производится согласование.

б) в распределительных сетях 35–110 кВ простой конфигурации согласование по чувствительности с предыдущей токовой отсечкой (без выдержки и с выдержкой времени), а также с предыдущей МТЗ может производиться по выражению:

$$Z_{C.3}^2 \leq 0,85 \cdot \left(\frac{U_{C.MIN}}{1,1 \cdot I_{C.3}} - Z_{C.MIN} \right), \quad (3.28)$$

где $U_{C.MIN}$ – минимальное значение линейного напряжения;

$I_{C.3}$ – ток срабатывания предыдущей токовой защиты;

0,85 – коэффициент, учитывающий неточность настройки и работы дистанционной защиты;

1,1 – то же для токовой защиты;

$Z_{C.MIN}$ – сопротивление системы в минимальном, режиме ее работы.

в) по условию отстройки от минимального сопротивления в условиях самозапуска двигателей нагрузки

$$Z_{C.3}^2 \leq \frac{U_{C.MIN}}{\sqrt{3} \cdot K_{C.3} \cdot I_{РАБ.МАХ} \cdot K_H \cdot K_B}, \quad (3.29)$$

где $U_{C.MIN} = (0,8 \div 0,9) \cdot U_{РАБ.MIN}$;

$K_{C.3} = 1,5 \div 2$ – коэффициент самозапуска;

$I_{РАБ.МАХ}$ – максимальное значение первичного рабочего тока линии;

$K_H = 1,2$ – коэффициент надежности;

$K_B = 1,2$ – коэффициент возврата.

Сопротивление срабатывания $Z_{C.3}^2$ принимается равным меньшему из полученных значений.

Коэффициент чувствительности второй ступени определяется при

металлическом к.з. в конце защищаемого участка по выражению:

$$K_q = \frac{Z_{C.3}^2}{Z_n}. \quad (3.30)$$

При этом $K_q \geq 1,5$.

Время срабатывания второй ступени принимается на ступень больше времени срабатывания МТЗ предыдущего элемента.

Сопротивление срабатывания реле определяется по выражению:

$$Z_{C.P} = K_{C.X} \cdot \frac{n_T}{n_H} \cdot Z_{C.3}, \quad (3.31)$$

где $Z_{C.3}$ – первичное сопротивление срабатывания защиты;

n_T , n_H – коэффициенты трансформации трансформаторов тока и напряжения;

$K_{C.X}$ – коэффициент схемы (при включении реле сопротивления на междуфазные напряжения и разность фазных токов равен 1, а при включении на фазные токи и междуфазные напряжения – $\sqrt{3}$).

МТЗ нулевой последовательности

Расчет ступенчатой МТЗ нулевой последовательности заключается в определении токов срабатывания, выдержек времени и чувствительности каждой из ступеней защиты, а также в определении необходимости выполнения той или иной ступени или всей защиты с элементом направления мощности или без него.

Особенностью выбора уставок является учет токораспределения при к.з. на землю, которое зависит от режима нейтралей 110 кВ.

Ток срабатывания токовой отсечки без выдержки времени отстраивается от броска тока намагничивания трансформаторов, работающих с заземленными

нейтралями по условию (3.21).

Коэффициент чувствительности отсечки определяется по выражению:

$$K_{\text{ч}} = \frac{3 \cdot I_{\text{O.C. MIN}}}{I_{\text{C.O}}}, \quad (3.32)$$

где $3 \cdot I_{\text{O.C. MIN}}$ – ток нулевой последовательности в минимальном режиме работы системы.

Ток срабатывания МТЗ нулевой последовательности выбирается по условию отстройки от тока небаланса в нулевом проводе трансформаторов тока защиты при внешних трехфазных к.з., при которых защита не должна работать:

$$I_{\text{C.З}} \geq K_{\text{Н}} \cdot K_{\text{АПЕР}} \cdot \xi \cdot I_{\text{К.МАХ}}^{(3)}, \quad (3.33)$$

где $K_{\text{Н}} = 1,25$ – коэффициент надежности;

$K_{\text{АПЕР}}$ – коэффициент, учитывающий наличие апериодической составляющей в токе к.з. ($K_{\text{АПЕР}} = 1 \div 2$);

ξ – полная погрешность трансформаторов тока ($\xi = 0,1$);

$I_{\text{К.МАХ}}^{(3)}$ – максимальное значение тока через защиту при трехфазном к.з. за трансформаторами.

Чувствительность МТЗ нулевой последовательности проверяется по (3.32).

Время срабатывания ступеней защиты нулевой последовательности может быть выбрано минимальным, поскольку эта защита не реагирует на к.з. за трансформаторами. Обычно $t_{\text{C.O}} = 0,1 \text{ с.}$; $t_{\text{C.З}} = 0,5 \text{ с.}$

Особенностью блоков линия-трансформатор является наличие выключателя только на питающих концах линии. Отключение трансформаторов при его повреждении должно производиться этими выключателями. Эту операцию возможно осуществить с помощью устройства, передающего отключающую команду от защиты трансформатора на выключатель линии по специальным

каналам связи или посредством короткозамыкателя, создающего искусственно ток к.з. на питающей стороне трансформатора. На это к.з. реагируют защиты линии, отключающие линию и вместе с ней трансформатор. Недостатком такого способа ликвидации повреждения является замедление отключения поврежденного трансформатора. Для быстрого отключения используется схема с передачей отключающих импульсов на питающие концы линии по проводам связи и телемеханики или по высокочастотным каналам. Однако из-за большой стоимости канала связи этот способ отключения применяется реже.

Защита двигателей

Общие положения

Для защиты высоковольтных двигателей от междуфазных к.з. наибольшее применение наша токовая отсечка, представляющая собой МТЗ, действующую без выдержки времени на отключение выключателя. Токовая отсечка рекомендуется для защиты электродвигателей мощностью до 5000 кВт, если она обладает требуемой чувствительностью к повреждениям на выводах электродвигателя. При недостаточной чувствительности токовой отсечка применяется более чувствительная дифференциальная токовая защита.

Для защиты электродвигателей от однофазных замыканий на землю обмотки статора применяется токовая защита нулевой последовательности, действующая без выдержки времени на отключение электродвигателя от сети.

Защита от перегрузки устанавливается на тех двигателях, которые могут быть подвержены длительным перегрузкам.

Для обеспечения успешного самозапуска ответственных электродвигателей используется защита минимального напряжения, выполняемая в виде групповой. В соответствии со своим назначением защита минимального напряжения выполняется двухступенчатой по напряжению срабатывания и времени действия. Первая ступень защиты предназначена для отключения Неответственных двигателей, чтобы обеспечить самозапуск ответственных. Вторая ступень защиты предназначена для отключения ответственных двигателей при исчезновении напряжения на них.

Методика расчета

Токовая отсечка

Ток срабатывания токовой отсечки выбирается по условию отстройки от пускового тока электродвигателя по выражению:

$$I_{C.3} = K_H \cdot K_n \cdot I_{НОМ} , \quad (3.34)$$

где K_H – коэффициент надежности (для реле РТ–40 равен 1,4; для реле РТ–80 равны 1,8);

K_n – кратность пускового тока;

$I_{НОМ}$ – номинальный ток двигателя.

Ток срабатывания отсечки определяется по выражению:

$$I_{C.P} = \frac{K_{CX} \cdot I_{C.3}}{n_T} , \quad (3.35)$$

где K_{CX} – коэффициент схемы, учитывающий схему соединения ТТ.

Чувствительность токовой отсечки проверяется при двухфазном к.з. на выводах электродвигателя при минимальном режиме питающей сети и оценивается коэффициентом чувствительности

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{C.3.MIN}^{(2)}}{I_{C.3}} , \quad (3.36)$$

который должен быть не меньше 2.

Дифференциальная токовая защита

Ток срабатывания защиты выбирается по условию отстройки от тона небаланса, возникающего в реле при пуске электродвигателя и при броске тока,

посылаемого электродвигателем в начальный момент к.з. в питающей сети

$$I_{C.3} = K_H \cdot I_{НБ.РАСЧ} , \quad (3.37)$$

где $K_H = 1,3$ – коэффициент надежности;

$I_{НБ.РАСЧ}$ – расчетный ток небаланса.

Ток небаланса определяется выражением:

$$I_{НБ.РАСЧ} = K_{АПЕР} \cdot K_{ОДН} \cdot \xi \cdot I_{ПУСК} , \quad (3.38)$$

где $K_{АПЕР}$ – коэффициент, учитывающий увеличение пускового тока из-за наличия в нем апериодической составляющей; для реле РНТ–565 . принимается равным 1, для реле РТ–40 равным 2;

$K_{ОДН}$ – коэффициент однотипности ТТ, принимаемый равным 0,5 при однотипных ТТ с одинаковыми коэффициентами трансформации и равным 1 при разных коэффициентах трансформации;

$\xi = 0,1$ – допустимая погрешность ТТ;

$I_{ПУСК}$ – пусковой ток электродвигателя.

При выполнении защиты с реле РНТ–565 ток срабатывания реле определяется по выражению:

$$I_{C.P} = \frac{I_{C.3}}{n_T} . \quad (3.39)$$

Расчетное число витков обмоток реле определяется по выражению:

$$W_{РАСЧ} = \frac{F_{C.P}}{I_{C.P}} = \frac{100}{I_{C.P}} , \quad (3.40)$$

где $F_{C.P}$ – намагничивающая сила срабатывания реле РНТ–565.

При несовпадении $W_{PACЧ}$ с числом витков, имеющихся в реле, принимается ближайшее меньшее число витков $W_{ФАКТ}$ и определяется соответствующий ток срабатывания реле

$$I_{C.P} = \frac{100}{W_{ФАКТ}}. \quad (3.41)$$

Определяется коэффициент чувствительности защиты по (3.36), который должен быть не менее 2.

При выполнении дифференциальной защиты с реле РТ–40 ток срабатывания реле защиты выбирается по условию отстройки от номинального тока электродвигателя

$$I_{C.P} = \frac{K_H \cdot I_{НОМ.ДВ}}{n_T}. \quad (3.42)$$

где $K_H = 1,3$ – коэффициент надежности.

Токовая защита от перегрузки

Ток срабатывания защиты выбирается по условию отстройки от номинального тока электродвигателя:

$$I_{C.З} = \frac{K_H}{K_B} \cdot I_{НОМ.ДВ}, \quad (3.43)$$

где $K_H = 1,2$ – коэффициент надежности;

$K_B = 0,8$ – коэффициент возврата реле.

Ток срабатывания реле

$$I_{C.P} = \frac{K_{CX}}{n_T} \cdot I_{C.P} \cdot \quad (3.44)$$

Выдержка времени защиты выбирается в соответствии с временем пуска защищаемого электродвигателя.

Токовая защита нулевой последовательности

Ток срабатывания рассматриваемой защиты должен быть не более 10 А для двигателей мощностью до 2000 кВт и не более 5 А для двигателей мощностью 2000 кВт и больше. При этом обеспечивается надежная отстройка от емкостного тока, посылаемого двигателем при замыкании на землю в питающей сети.

Коэффициент чувствительности защиты определяется по выражению:

$$K_{\chi} = \frac{I_3}{I_{C.3}}, \quad (3.45)$$

для I_3 – ток замыкания на землю, определяемый емкостью сети (количеством и длиной кабелей).

Величина емкостного тока в месте повреждения при металлическом замыкании одной фазы на землю может быть определена ориентировочно по выражению:

$$I_3 = \frac{U_C \cdot l}{10}, \quad (3.46)$$

где U_C – номинальное напряжение сети, кВ;

l – длина кабелей, км.

Минимальный коэффициент чувствительности должен быть порядка 1,25.

Защита минимального напряжения

Напряжение срабатывания первой ступени защиты выбирается по условию обеспечения самозапуска ответственных двигателей и возврата реле при восстановлении напряжения после отключения к.з. и принимается

$$U_{1c.p} = 70 B.$$

Выдержка времени первой ступени защиты отстраивается от действия токовых отсечек двигателей и принимается равной

$$t_1 = 0,5 c.$$

Напряжение срабатывания второй ступени защиты отстраивается от снижения напряжения на шинах распрестройства, вызванного самозапуском, и принимается равным

$$U_{2c.p} = 50 B.$$

Выдержка времени второй ступени составляет 3-9 с.

При использовании фильтра-реле напряжения обратной последовательности напряжение срабатывания его принимается равным минимальной уставке на шкале реле

$$U_{2c.p} = 6 B.$$

4. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ И ОФОРМЛЕНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Курсовой проект состоит из двух частей: пояснительной записки и графической части.

Объем пояснительной записки не должен превышать 40 страниц.

Содержание записки:

- титульный лист;
- задание на курсовой проект;
- реферат;
- содержание;
- основная часть;
- список использованных литературных источников.

Реферат строится следующим образом: сведения об объеме записки; количество рисунков и таблиц; перечень ключевых слов (10–15 слов, характеризующих содержание работы); текст реферата, отражающий объект разработки, методы расчета, полученные результаты.

Основная часть включает следующие разделы:

- введение;
- разделы работы, отражающие содержание и результаты выполнения поставленных в задании задач;
- заключение.

Введение должно кратко характеризовать роль и назначение релейной защиты в электрических системах, тенденции развития техники релейной защиты и ее задачи на современном этапе развития энергетики.

В разделах работы должны излагаться виды повреждений и ненормальных режимов, возможных на защищаемом элементе электроустановки; производиться критический анализ возможных типов защит для аналогичных объектов и выбор защиты применительно к защищаемому; расчет принятых защит; выбор реле.

Выполнение расчетов должно сопровождаться приведением соответствующих формул в общем виде с последующей подстановкой в них числовых величин с указанием размерностей полученных результатов. Расчеты

должны сопровождаться кратким поясняющим текстом.

Заключение должно содержать краткие выводы по результатам отдельных расчетов.

Текстовая часть пояснительной записки пишется на листах формата А1 с рамками, расстояние которых до краев листа следующее: слева – 20 мм, справа, сверху и снизу – 5 мм. По всем сторонам листа следует оставлять поля: слева – 30 мм, справа – 10 мм, вверху – 20 мм, внизу – 25 мм (от края листа).

Нумерация страниц должна быть сквозной, начиная со второй страницы. Первой страницей является титульный лист, иллюстрации, расположенные на отдельных страницах, включать в общую нумерацию. Номер страницы проставляется арабскими цифрами в правом верхнем углу рамки.

Текст основной части делят на разделы, подразделы и пункты, нумеруемые арабскими цифрами, разделенными точками. Заголовки разделов пишутся симметрично тексту прописными буквами. Заголовки подразделов – строчными буквами (кроме первой прописной). Перенос слов в заголовках не допускается. Точки в конце заголовков не ставятся и текст не подчеркивается. Расстояние между заголовками и текстом должно быть равно одной строке.

Рисунки и таблицы нумеруются по порядку в пределах каждого раздела. Например, рис.3.1, табл. 4.3. Название рисунка помещается сверху над рисунком, а номер – под рисунком. Номер таблицы указывается с правой стороны над названием таблицы.

При ссылке в тексте на литературные источники указывают порядковый номер по списку литературы, выделенный двумя косыми чертами. Ссылки на формулы указывают порядковым номером формулы в пределах раздела в круглых скобках.

Графическая часть должна содержать принципиальную схему релейной защиты заданного элемента в трехлинейном исполнении и спецификацию требующейся для этого аппаратуры. Допускается выполнение графической части на миллиметровой бумаге в карандаше. Обозначения должны соответствовать ЕСКД Государственного стандарта России.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила устройств электротехнических установок: Разд. Ш. Защита и автоматика / Под ред. С.Г. Королева. – 5-е изд. – М.: Энерго–издат, 1981. – 80 с.
2. Руководящие указания по релейной защите. – Вып. 13 б. Защита понижающих трансформаторов и автотрансформаторов. – М.; Л.: Госэнерго–издат, 1985. – 120 с.
3. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. – М.: Энергия, 1969. – 288 с.
4. Сборник директивных материалов (электрическая часть). – М.: Энергия, 1971. – 304 с.
5. Авербух А.М. Релейная защита в задачах с решениями и примерами.– Л.: Энергия, 1975. – 416 с.
6. Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. – Изд. 2–е – Л.: Энергия, 1976. – 288 с.
7. Алексеев В.С., Варганов Г.П. Реле защиты. – М.; Энергия, 1976. – 464 с.
8. Какуевицкий Л.И., Смирнова Т.Е. Справочник реле защиты и автоматики. – М.: Энергия, 1972. – 344 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ "РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА, АВТОМАТИКА СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ"

ВАРИАНТ _____

Выдано студенту _____ группы _____

Для заданной схемы электроснабжения разработать релейную защиту.

Содержание работы:

1. Рассмотреть возможные виды повреждений и ненормальных режимов работы объекта и их последствия.
2. Произвести критический анализ возможных типов защит для аналогичных объектов, осветив достоинства, недостатки исполнения и область применения каждого типа.
3. Выбрать типы защит применительно к защищаемому объекту.
4. Рассчитать уставки защит и выбрать реле,
5. Разработать трехлинейную схему защиты заданного элемента и составить спецификацию требующейся для этого аппаратуры.

ГРАФИК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 1, 2 недели – выбор варианта, оформление задания и выполнение раздела 1.
3, 4 недели – выполнение разделов 2 и 3.
5 неделя – оформление на чистовик разделов 1, 2, 3.
6, 7 неделя – оформление раздела 4.
8 неделя – выполнение раздела 5.
9 неделя – оформление работы в целом.
10 неделя – защита курсового проекта.

Задание выдал _____

дата

подпись

Ф.И.О. преподавателя

Задание принял _____

дата

подпись

Ф.И.О. студента

СОДЕРЖАНИЕ

1. Цель и задачи курсовой работы	3
2. Задание на курсовую работу	3
3. Общие указания к выполнению курсовой работы	4
3.1. Защита понижающих трансформаторов и автотрансформаторов	4
3.1.1. Общие положения по выбору защит	4
3.1.2. Методика расчета основных защит	5
3.1.3. Методика расчета резервных защит	9
3.2. Защита линий электропередач	11
3.2.1. Общие положения по выбору защит	11
3.2.2. Методика расчета, защит линий	11
3.3. Защита двигателей	16
3.3.1. Общие положения по выбору защит	16
3.3.2. Методика расчета защит	16
4. Содержание работы и оформление пояснительной записки	19
Список литературы	21
Приложение	22

Спроектировать релейную защиту блока линия-трансформатор, приняв $S_{K.3.MIN} = 0,85$ от $S_{K.3.MAX}$, $X_{O.C} = 2 \cdot X_{1C}$

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
$S_{K.3.MAX}$ МВА	1000	2000	1200	500	900	2200	1300	600	1100	2400	800	750	1050	2600	1350	450	950	2100	425	1150	2150	525	1250	2260	625
U_1 , кВ	110	220	110	35	110	220	110	35	110	220	110	35	110	220	110	35	110	220	35	110	220	35	110	220	35
U_2 , кВ	6	10	10	6	6	10	10	6	6	10	10	6	6	10	10	6	6	10	6	10	6	10	6	10	6
l , км	10	15	15	10	20	30	12	15	25	40	17	18	13	22	16	9	18	27	22	32	42	10	23	46	8
S_{TP-PA} , МВА	32	63	16	16	10	32	25	6,3	16	6,3	25	16	10	32	16	16	25	32	10	16	63	25	10	32	6,3
t_{OTX} , с	0,5	1	1,5	0,5	1	1,5	0,5	1	1,5	0,5	1	1,5	0,5	1	1,5	0,5	1	1,5	0,5	1	1,5	0,5	1	1,5	0,5

Спроектировать релейную защиту блока линия-трансформатор, приняв $S_{K.3.MIN} = 0,85$, $S_{K.3.MAX}$, $X_{O.C} = 2,5 \cdot X_{1C}$

Вариант	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
$S_{K.3.MAX}$ МВА	500	1000	2000	600	1100	2200	700	1200	2400	800	1300	2600	550	1400	2000	650	1500	3000	750	900	2000	2200	1300	800	2100
U_1 , кВ	35	110	220	35	110	220	35	110	220	35	110	220	35	110	220	35	110	220	35	110	220	220	110	35	220
U_2 , кВ	6	10	6	10	6	10	6	10	6	10	6	10	6	10	6	10	6	10	6	10	10	6	6	6	10
l , км	5	10	15	15	20	25	10	20	30	15	35	40	20	10	10	22	32	42	12	27	45	40	15	10	15
S_{TP-PA} МВА	6,3	10	30	10	16	30	16	25	63	40	40	63	6,3	10	30	10	16	40	16	25	30	25	16	6,3	63
t_{OTX} , с	0,5	1	0,5	1	0,5	1	1,5	0,5	1	1,5	0,5	1	1,5	0,5	1	1,5	0,5	1	1,5	0,5	1	0,5	1,5	0,5	1

Спроектировать релейную защиту блока линия-трансформатор, приняв $S_{K.3.MIN} = 0,85$, $S_{K.3.MAX}$, $X_{o.c} = 2 \cdot X_{1c}$

Вариант	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
$S_{K.3.MAX}$ МВА	800	900	2000	2200	1000	2500	1100	1200	2400	2100	1300	2300	850	950	1300	1950	1050	2000	110	1250	2250	1000	2000	1500	800
U_1 , кВ	110	110	220	220	110	220	110	110	220	220	110	220	110	110	220	220	110	220	110	110	220	110	220	110	35
U_2 , кВ	10	6	10	6	10	6	10	6	10	6	10	6	10	6	10	6	10	6	10	6	10	6	10	6	6
l , км	10	8	26	15	20	40	17	35	50	8	16	96	20	26	45	20	30	45	22	32	42	20	40	15	20
S_{TP-PA} МВА	10	16	30	63	10	30	40	16	30	63	16	63	25	40	30	63	10	30	16	25	30	16	40	25	10
$t_{1 OTX}$, с	2,5	2	1,5	2	1,5	2,5	3	2	1,5	2,5	3,5	5	1,5	2	2,5	2,5	3	3,5	2	2,5	3	4,5	2	1,5	3
$t_{2 OTX}$, с	0,5	1	1,5	1	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,5	0,5	1

Спроектировать релейную защиту трансформатора и асинхронных двигателей

Вариант	1	5	9	13	17	21	25	29	33	37	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
S_T , МВА	6,3	10	16	10	16	6,3	10	6,3	10	16	10	16	6,3	10	16	6,3	10	16	6,3	10	16	6,3	10	16	6,3
ϵ_k , %	8	7,5	7,5	8	7,5	8,5	8	7	8	7,5	8	7,	8	7,5	7	8	7,5	7	8	7,5	7	8	7,5	7	8
P_{D1} , МВт	3	4	5	4,5	5	4	4,5	4	5	5	4	5	3	4	5	3	4	5	3	4	5	3	4	5	3
P_{D2} , МВт	0,8	1	0,5	0,8	0,5	1	0,7	0,5	0,4	0,8	1	0,7	0,4	0,5	0,8	0,7	0,5	0,5	1	0,8	0,4	0,6	0,7	0,8	0,6
η_{D1} , %	96	95	92	93	96	94	95	94	92	93	94	95	95	94	95	93	92	93	94	95	95	94	93	93	94
η_{D2} , %	93	92	94	92	91	92	93	92	94	91	92	93	93	91	93	92	91	91	92	93	92	93	92	91	92
$\cos \varphi_{D1}$	0,91	0,9	0,8 8	0,7 5	0,9	0,9 1	0,8 9	0,8 7	0,9	0,9 2	0,9	0,8 8	0,9	0,9 1	0,9 2	0,9	0,8 7	0,9 1	0,9	0,9 1	0,9 2	0,9 1	0,9 1	0,9 1	0,9 2
$\cos \varphi_{D2}$	0,89	0,9 2	0,9 1	0,8 9	0,9 1	0,9	0,8 9	0,9	0,8 7	0,9	0,8 7	0,9 1	0,8	0,8 7	0,9	0,9 1	0,9	0,8 9	0,9 2	0,9	0,8 7	0,9 2	0,8 9	0,8 9	0,9 9
$I_{ПВСК}/I_{D1}$	5,5	4,9	5,5	5,2	5,5	4,1	5	5,2	5,4	5,5	5,7	5,2	4,8	5	5,2	5,4	5,5	5,7	5,2	5,5	5,5	5	5,2	5,5	5,7
$I_{ПВСК}/I_{D2}$	4,2	4,9	5	5,1	4,7	4	4,8	4,9	5	4,9	5,2	4,8	4,4	4,9	5	4,9	5,2	5,1	4,8	5,1	4,8	4,5	4,8	5	5,1
l_1 , км	1	1,5	1	1,5	1	1,5	1	1,5	1	1,5	1	1,5	1	1,5	1	1,5	1	1,5	1	1,5	1	1,5	1	1,5	1
l_2 , км	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,5

