

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Электроснабжение»

В. В. Курганов

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к контрольным работам по одноименному курсу
для студентов специальности 1-43 01 03
«Электроснабжение» заочной формы обучения**

Электронный аналог печатного издания

Гомель 2008

УДК 621.316.925(075.8)
ББК 31.27-05я73
К93

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
заочного факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 3 от 23.12.2006 г.)*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. каф. «Электроснабжение» ГГТУ им. П. О. Сухого
Л. И. Евминов

Курганов, В. В.

К93

Релейная защита и автоматика : метод. указания к контрол. работам по одному курсу для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение» заоч. формы обучения / В. В. Курганов. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2008. – 28 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-420-752-0.

Изложена программа курса «Релейная защита и автоматика», даны задания на выполнение контрольной работы и приведена методика ее выполнения.

Для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение» заочной формы обучения.

**УДК 621.316.925(075.8)
ББК 31.27-05я73**

ISBN 978-985-420-752-0

© Курганов В. В., 2008
© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2008

ВВЕДЕНИЕ

Курс «Релейная защита и автоматика» относится к профилирующей дисциплине в перечне дисциплин при подготовке инженеров электроэнергетических специальностей.

Система электроснабжения характеризуется непрерывностью производства и потребления электроэнергии во времени, быстротечностью распространения электромагнитных возмущающих воздействий и неизбежностью возникновения повреждений. В таких условиях надлежащее качество и надежность электроснабжения могут быть обеспечены только при широком применении комплекса автоматических устройств, среди которых первостепенное значение имеют устройства релейной защиты и противоаварийной автоматики (РЗА). Устройства РЗА предназначены для быстрой автоматической локализации поврежденного участка системы электроснабжения, автоматического восстановления напряжения на неповрежденных участках и предотвращения ненормальных режимов.

Развитие устройств РЗА началось еще в конце XIX в. одновременно с появлением первых линий электропередач. На первом этапе элементная база устройств РЗА строилась на электромеханических реле, затем на микроэлектронике и в последние годы на микропроцессорных (цифровых) реле. Независимо от используемой элементной базы основные принципы построения и выбора параметров срабатывания релейной защиты и автоматики остаются неизменными. В странах СНГ в значительной степени (порядка 90 %) еще используются РЗА на электромеханической элементной базе.

Инженеры-электрики, эксплуатирующие или проектирующие системы электроснабжения, должны обладать определенными знаниями в области РЗА. Должны знать принципы действия устройств, уметь выбрать типы защит и рассчитать их уставки. По факту срабатывания той или иной защиты в эксплуатации анализируются причины повреждения электрооборудования и намечаются пути их устранения.

При проектировании РЗА прежде чем выбрать уставки устройств релейной защиты, необходимо рассчитать значения токов короткого замыкания (КЗ) в узловых точках заданной системы электроснабжения. Курс базируется на дисциплинах: «ТОЭ», «Электрические станции и подстанции», «Электромагнитные и электромеханические переходные процессы».

Данный курс достаточно сложный предмет, он рассчитан на два семестра, в которых после изучения теоретической части студенты выполняют контрольную работу, лабораторные работы, курсовую ра-

боту, сдают зачет и экзамен. Кроме того, студенты при дипломном проектировании обязаны включать раздел релейной защиты и автоматики проектируемого участка системы электроснабжения.

В настоящем издании кратко изложена программа курса, дано задание на выполнение контрольной работы и приведена методика ее выполнения. Студенты-заочники выполняют контрольную работу в письменном виде и представляют ее на кафедру «Электроснабжение». Для студентов дневной формы обучения задачи, приведенные в данном руководстве, рекомендуется решать на практических занятиях.

ПРОГРАММА КУРСА

Тема 1. Введение и общие понятия о релейной защите и автоматике [1, с. 12–40]; [2, с. 5–36, 146–174].

Назначение релейной защиты и автоматики (РЗА). Основные виды повреждений и ненормальных режимов в электроустановках. Векторные диаграммы токов и напряжений при различных видах коротких замыканий (КЗ) в трехфазной электрической сети. Требования, предъявляемые к устройствам РЗА. Структурные части и основные элементы РЗА. Изображение схем РЗА на чертежах. Оперативный ток. Источники постоянного и переменного оперативного тока и их сравнительная оценка. Измерительные трансформаторы тока и напряжения в релейной защите. Схемы соединения трансформаторов тока и токовых катушек реле.

Тема 2. Элементная база устройств релейной защиты и автоматики [1, с. 64–140]; [2, с. 36–146]; [5, с. 3–40].

Конструкции и принципы действия электромеханических реле тока, напряжения, промежуточных, указательных и реле времени. Индукционные (дисковые) реле тока. Реле направления мощности. Конструкции и принципы действия статических реле на микроэлектронной элементной базе. Микропроцессорные (цифровые) реле. Особенности обработки информации в цифровых реле.

Тема 3. Защита плавкими предохранителями и автоматическими выключателями в электроустановках напряжением до 1 кВ [1, с. 300–326].

Конструкция и защитные характеристики плавких предохранителей и автоматических выключателей. Выбор плавких вставок предохранителей и токов срабатывания расцепителей автоматических выключателей. Проверка чувствительности защит в сетях напряжением до 1кВ.

Тема 4. Токовые ступенчатые защиты линий электропередач [1, с. 157–204]; [2, с. 181–265].

Максимальная токовая защита (МТЗ) линий: принцип действия, выбор уставок по току и по времени срабатывания, проверка чувствительности защиты. Схемы МТЗ на постоянном и переменном оперативном токе. МТЗ с обратнозависимой от тока выдержкой времени на базе реле тока типа РТ-80 и цифрового реле. Токовые отсечки мгновенного действия и с выдержкой времени, принцип действия и выбор параметров срабатывания. Назначение и принципы построения карты селективности для токовых защит с зависимыми характеристиками срабатывания.

Токовые защиты нулевой последовательности в сетях с глухозаземленной нейтралью. Направленные токовые защиты в сетях с двухсторонним питанием, а также в параллельных и кольцевых линиях.

Тема 5. Защита от однофазных замыканий на землю в сетях с изолированной нейтралью [1, с. 207–226]; [2, с. 288–313].

Величины и направления протекания емкостных токов при замыкании на землю в сетях 6–35 кВ. Фильтры токов и напряжения нулевой последовательности. Реле защиты типов РТЗ-51 и ЗЗП-1М. Выбор тока срабатывания и проверка чувствительности направленной и ненаправленной защит от замыкания на землю. Защита, реагирующая на высшие гармоники тока нулевой последовательности в сетях с компенсированной нейтралью.

Тема 6. Дифференциальные защиты линий [1, с. 243–264]; [2, с. 318–360].

Поперечная дифференциальная защита параллельных линий, принцип действия, зона каскадного отключения, мертвая зона, выбор тока срабатывания. Недостатки поперечной дифференциальной защиты.

Продольная дифференциальная защита коротких линий, принцип действия, выбор параметров срабатывания и особенности выполнения трехфазной дифференциальной защиты типа ДЗЛ-200.

Тема 7. Дистанционные защиты линий напряжением выше 35 кВ [1, с. 243–264]; [2, с. 318–360].

Принципы действия и характеристики срабатывания реле сопротивления. Пусковые органы трехступенчатой дистанционной защиты. Выбор параметров срабатывания дистанционных защит. Сравнительный анализ дистанционных и токовых защит линий.

Тема 8. Высокочастотные защиты линий [2, с. 484–513].

Принципы выполнения высокочастотных каналов связи по линиям электропередачи. Дифференциально-фазная защита типа ДФЗ. Направленная защита с ВЧ-блокировкой (основные понятия).

Тема 9. Устройства противоаварийной автоматики систем электроснабжения [1, с. 266–297].

Устройство автоматического повторного включения (АПВ).

Устройство автоматического включения резервного питания (АВР).

Устройство автоматической частотной разгрузки (АЧР).

Основные требования к устройствам АПВ, АВР, АЧР и выбор параметров срабатывания. Типы и принципы действия реле противоаварийной автоматики типов РПВ и РЧ.

Тема 10. Релейная защита синхронных генераторов [1, с. 330–370]; [2, с. 621–670].

Повреждения и ненормальные режимы генератора. Защита генератора от междуфазных КЗ. Защиты от однофазных замыканий на землю обмоток статора и ротора. Защита от перегрузки и неполнофазных режимов. Виды и назначения устройств автоматического регулирования возбуждения (АРВ) генераторов.

Тема 11. Релейная защита трансформаторов [1, с. 372–399]; [2, с. 544–614].

Защита трансформаторов малой мощности предохранителями типа ПКТ-6(10)кВ. Газовая защита. Защита трансформатора от междуфазных КЗ (токовая отсечка и дифференциальная защита). Особенности выполнения дифференциальной защиты. Способы уменьшения токов небаланса в дифференциальной защите. Отстройка защиты от бросков тока намагничивания. Дифференциальные реле типов РНТ-565, ДЗТ-11 (ДТЗ-21), РСТ-15 и цифровые дифференциальные защиты. Максимальная токовая защита трансформатора от внешних КЗ и защита от перегрузки. Выбор параметров срабатывания всех видов защит трансформатора. Повышение чувствительности МТЗ трансформатора с помощью пускового органа минимального напряжения.

Тема 12. Защита электродвигателей напряжением выше 1 кВ [1, с. 431–463]; [2, с. 699–728].

Способы выполнения и выбор параметров срабатывания защит от междуфазных КЗ, замыкания на землю, перегрузки и понижения напряжения электродвигателя. Защита синхронного двигателя от асинхронного режима. Повышение функциональных возможностей защит двигателя с помощью цифрового реле (защита от затяжного пуска и заклинивания ротора, защита от перегрузки на основе тепловой модели и т. д.).

Тема 13. Релейная защита специальных электроустановок [1, с. 468–485]; [2, с. 734–773].

Защита конденсаторных установок. Защита полупроводниковых преобразователей. Особенности защиты электропечных установок. Защита сборных шин и токопроводов.

Список рекомендуемой литературы приведен в конце данной работы. В [1], [2], [5] изложены теоретические основы курса. В [3] приведены практические примеры расчета релейной защиты различных схем электроснабжения. В [4] описаны принципы построения микропроцессорных (цифровых) реле и приведены особенности расчета и выбора параметров срабатывания цифровых защит. В [5] приведены схемы и рассмотрены принципы действия статических реле защиты на микроэлектронной элементной базе.

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ

Поскольку курс «Релейная защита и автоматика» рассчитан на два семестра, то в первом из них студент выполняет контрольную работу, а во втором – курсовую работу (м/у № 1083).

Выполнение контрольной и курсовой работ способствует усвоению теоретического материала курса и приобретению практического навыка в расчете и выборе релейной защиты и автоматики. В дипломном проекте студенты применяют эти знания на конкретных элементах проектируемого участка системы электроснабжения.

Контрольная работа состоит из четырех задач и одного теоретического вопроса. Вариант задания к контрольной работе, если преподаватель не распределил индивидуально, выбирается по последним двум цифрам шифра (номера зачетной книжки).

Варианты заданий № 1 и 2 выбираются по последней цифре шифра.

Варианты заданий № 3 и 4 – по предпоследней цифре шифра.

Вариант задания № 5 – номер вопроса выбирается по арифметической сумме двух последних цифр шифра.

ЗАДАНИЯ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ

Задание № 1

Выбрать уставки токовых ступенчатых защит трансформатора Тр напряжением 6(10)/0,4 кВ и линий Л1, Л2 (рис. 1) при следующих известных значениях: токов трехфазного КЗ ($I_{к}^{(3)}$) в узловых точках; максимальных токов нагрузки потребителей ($I_{н}$); параметров трансформатора Тр. Токовые ступенчатые защиты принять с независимыми характеристиками срабатывания на базе реле тока типа РТ-40 или РСТ-11 (РСТ-13). Данные по вариантам задачи приведены в табл. 1.

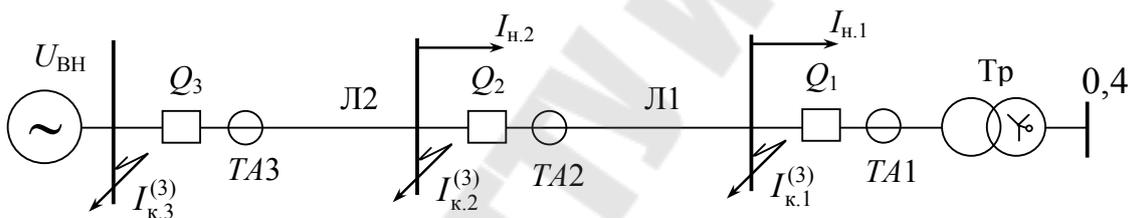


Рис. 1. Расчетная схема электроснабжения к заданию № 1

Таблица 1

Номер варианта	Значение тока трехфазного КЗ, кА			Ток нагрузки, А		Параметры трансформатора Тр	
	$I_{к.1}^{(3)}$	$I_{к.2}^{(3)}$	$I_{к.3}^{(3)}$	$I_{н.1}$	$I_{н.2}$	$U_{вн}$, кВ	$S_{тр}$, кВ · А
1	0,8	1,7	3,5	70	120	10,0	630 – Δ / Y
2	0,6	1,5	2,9	40	70	10,0	400 – Δ / Y
3	2,1	4,5	8,9	100	180	6,0	1000 – Y / Y
4	2,3	5,0	9,5	150	250	10,0	1600 – Δ / Y
5	1,0	2,2	4,6	80	130	6,0	630 – Y / Y
6	0,7	1,6	3,3	50	100	6,0	400 – Y / Y
7	1,7	3,4	6,8	90	160	10,0	1000 – Δ / Y
8	2,9	5,7	10,0	180	270	6,0	1600 – Y / Y
9	0,9	2,0	4,5	60	110	10,0	630 – Y / Y
0	1,9	4,3	8,6	110	200	6,0	1000 – Δ / Y

Задание № 2

В схеме электрической сети (рис. 2) у выключателей 1–5 установлены цифровые максимальные токовые защиты с обратозависимыми от тока характеристиками срабатывания по типу «нормально-инверсные».

Требуется рассчитать временные коэффициенты K (уставки по времени) на данных защитах при известных следующих значениях:

- токов трехфазного КЗ на шинах подстанции и распределительных пунктах: $I_{к.1} \div I_{к.5}$;
- токов срабатывания (уставки по току) на всех защитах $I_{сз.1} \div I_{сз.5}$;
- временного коэффициента K_1 на 1-й защите.

Построить карту селективности, приняв ступень селективности $\Delta t = 0,3 \text{ с}$. Сравнить выдержки времени срабатывания зависимых защит с временем срабатывания независимых защит в случае их применения.

При построении карты селективности использовать методику, изложенную в [4]. Данные по вариантам задачи приведены в табл. 2.

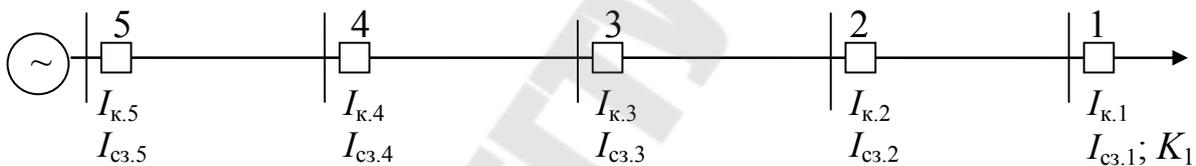


Рис. 2. Схема электрической сети к заданию № 2

Таблица 2

Номер варианта	Значение тока КЗ, кА					Ток срабатывания защиты, А					Коэффициент K_1
	$I_{к.1}$	$I_{к.2}$	$I_{к.3}$	$I_{к.4}$	$I_{к.5}$	$I_{сз.1}$	$I_{сз.2}$	$I_{сз.3}$	$I_{сз.4}$	$I_{сз.5}$	
1	0,75	1,1	1,6	2,5	3,9	80	110	150	200	300	0,05
2	1,2	1,5	2,0	3,0	5,0	170	240	330	460	650	0,06
3	0,4	0,65	1,3	2,2	3,7	60	80	120	170	280	0,07
4	0,7	1,0	1,6	2,5	4,5	110	150	200	280	400	0,08
5	1,1	1,7	2,5	3,6	5,5	180	290	380	550	730	0,09
6	1,0	1,3	1,6	2,5	4,0	160	220	300	420	600	0,1
7	0,8	1,0	1,4	2,2	3,8	150	200	280	360	450	0,07
8	0,7	0,9	1,2	1,8	3,0	120	160	210	300	400	0,06
9	0,6	0,8	1,3	2,0	3,6	100	140	190	240	350	0,05
0	0,5	0,64	0,8	1,2	2,1	60	80	120	200	280	0,09
А	0,63	0,78	0,89	1,27	1,6	110	140	180	230	330	0,08

Задание № 3

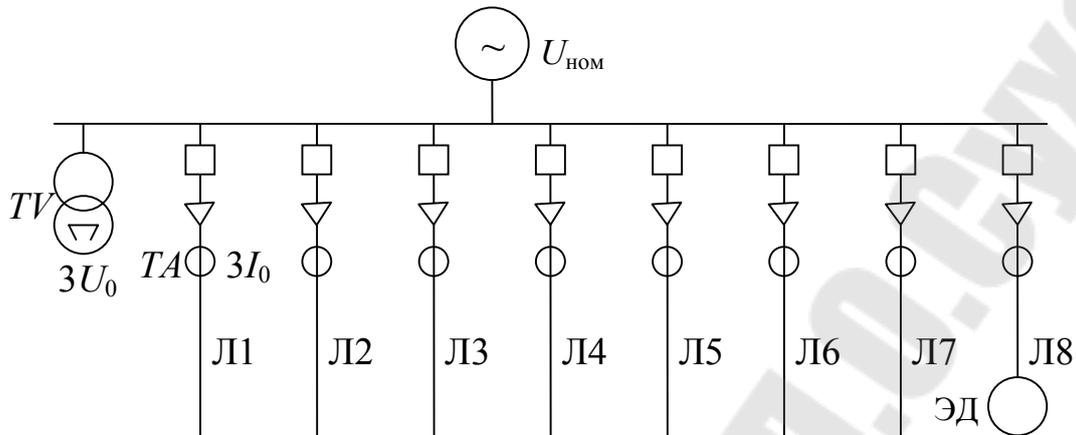


Рис. 3. Схема электрической сети к заданию № 3

На рис. 3 изображена электрическая сеть, работающая с изолированной нейтралью. Для каждой линии Л1–Л8 определить величину собственного емкостного тока и выбрать уставку защиты от замыкания на землю при следующих известных значениях: номинального напряжения сети $U_{ном}$, длины и сечения жил кабельных линий. При этом на одной из линий, например Л1, применить направленную защиту с реле типа ЗЗП-1М или ЗЗН, а на всех остальных – ненаправленную токовую защиту с реле типа РТЗ-51.

Данные по вариантам приведены в табл. 3.

Таблица 3

Номер варианта	$U_{ном},$ кВ	Длина кабеля, км							
		Сечение токопроводящей жилы, мм ²							
		Л1	Л2	Л3	Л4	Л5	Л6	Л7	Л8
1	10,0	$\frac{2,0}{120}$	$\frac{1,1}{70}$	$\frac{0,6}{185}$	$\frac{1,4}{95}$	$\frac{1,2}{240}$	$\frac{0,8}{50}$	$\frac{1,3}{150}$	$\frac{0,2}{2(240)}$
2	6,0	$\frac{1,5}{240}$	$\frac{0,7}{50}$	$\frac{1,0}{70}$	$\frac{0,7}{95}$	$\frac{1,6}{120}$	$\frac{0,8}{150}$	$\frac{1,4}{185}$	$\frac{0,6}{150}$
3	10,0	$\frac{0,7}{50}$	$\frac{0,5}{120}$	$\frac{1,3}{95}$	$\frac{1,0}{240}$	$\frac{1,2}{70}$	$\frac{1,4}{150}$	$\frac{1,6}{185}$	$\frac{0,7}{185}$
4	6,0	$\frac{1,5}{120}$	$\frac{0,8}{95}$	$\frac{0,9}{70}$	$\frac{0,6}{50}$	$\frac{1,5}{150}$	$\frac{1,1}{175}$	$\frac{1,4}{240}$	$\frac{0,9}{150}$

Номер варианта	$U_{\text{ном}}, \text{кВ}$	Длина кабеля, км							
		Сечение токопроводящей жилы, мм^2							
		Л1	Л2	Л3	Л4	Л5	Л6	Л7	Л8
5	10,0	$\frac{1,1}{240}$	$\frac{1,2}{95}$	$\frac{1,4}{185}$	$\frac{0,4}{50}$	$\frac{1,5}{150}$	$\frac{1,8}{120}$	$\frac{1,0}{70}$	$\frac{0,3}{2(240)}$
6	6,0	$\frac{1,3}{240}$	$\frac{1,7}{185}$	$\frac{1,6}{240}$	$\frac{1,3}{150}$	$\frac{1,4}{120}$	$\frac{0,5}{95}$	$\frac{0,8}{70}$	$\frac{0,4}{2(185)}$
7	10,0	$\frac{0,5}{95}$	$\frac{1,9}{120}$	$\frac{0,5}{50}$	$\frac{1,6}{150}$	$\frac{1,7}{185}$	$\frac{0,9}{70}$	$\frac{1,3}{240}$	$\frac{0,6}{185}$
8	6,0	$\frac{1,3}{185}$	$\frac{1,5}{240}$	$\frac{0,6}{50}$	$\frac{0,7}{70}$	$\frac{1,3}{120}$	$\frac{1,0}{95}$	$\frac{0,9}{150}$	$\frac{0,3}{2(240)}$
9	10,0	$\frac{0,9}{70}$	$\frac{0,7}{50}$	$\frac{0,9}{240}$	$\frac{1,4}{185}$	$\frac{0,6}{70}$	$\frac{1,4}{95}$	$\frac{2,1}{120}$	$\frac{1,0}{150}$
0	6,0	$\frac{0,7}{70}$	$\frac{0,8}{150}$	$\frac{1,1}{240}$	$\frac{0,7}{50}$	$\frac{1,1}{95}$	$\frac{1,0}{185}$	$\frac{1,5}{120}$	$\frac{0,5}{240}$

Примечание: 2(240) – два параллельных кабеля с сечением жил по 240 мм^2 .

Задание № 4

Рассчитать релейную защиту электродвигателя (ЭД) напряжением выше 1кВ, подключенного к шинам подстанции через кабельную линию Л8 (см. рис. 3). Номинальное напряжение шин и параметры кабеля принять из задания № 3, а номинальную мощность двигателя и ток трехфазного КЗ на его линейных выводах выбрать по табл. 4. Для всех вариантов принять: кратность пускового тока ЭД $K_{\text{п}} = 6$; КПД $\eta = 0,95$; $\cos \varphi = 0,85$. Самозапуск двигателя не предусмотрен.

Таблица 4

Параметры	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$P_{\text{дв}}, \text{кВт}$	6300	1250	2000	800	5000	3150	1600	4000	1000	2500
$I_{\text{к}}^{(3)}, \text{кА}$	10,0	4,5	4,3	3,0	8,0	10,7	3,5	13,5	2,5	9,0

Задание № 5

Дать краткий письменный ответ на следующие вопросы:

1. Защита асинхронных двигателей напряжением до 1 кВ от перегрузки, коротких замыканий, обрыва фазы и снижения напряжения.
2. Основные виды повреждений и ненормальных режимов в электроустановках.
3. Требования к релейной защите (РЗ) от повреждений и ненормальных режимов.
4. Источники оперативного тока на подстанциях.
5. Основные схемы соединения трансформаторов тока и реле, области их применения.
6. Максимальная токовая защита линии, выбор параметров срабатывания и согласование по чувствительности и селективности.
7. Направленные токовые защиты, область применения. Особенности РЗ на параллельных и кольцевых линиях. Принцип каскадного действия защит.
8. Поперечная дифференциальная защита параллельных линий. Мертвая зона.
9. Продольная дифференциальная защита линий, принцип действия и область применения.
10. Токовая отсечка линий: назначение, область применения, выбор параметров срабатывания.
11. Назначение и область применения АПВ и АВР. Основные требования и выбор параметров срабатывания.
12. Автоматическая частотная разгрузка: назначение и выбор уставок АЧР-1 и АЧР-2.
13. Максимальная токовая защита (МТЗ) трансформаторов, выбор параметров срабатывания. МТЗ с пуском по минимальному напряжению.
14. Дифференциальная защита трансформатора, принцип действия и основные преимущества по сравнению с токовой отсечкой.
15. Учет токов небаланса при выборе уставок дифференциальной защиты трансформатора.
16. Газовая защита трансформаторов, принцип ее действия и назначения.
17. Защита электродвигателей напряжением выше 1 кВ.
18. Принципы построения защит от замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью. Контроль изоляции.
19. Токовая направленная защита от замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

В задании № 1 рассчитываются уставки токовых отсечек и максимальных токовых защит с независимыми от тока выдержками времени.

При решении задачи необходимо изучить теорию ступенчатых токовых защит линий и трансформаторов [1, с. 164–174; 232]; [2, с. 181–232].

Ход решения задачи должен подробно поясняться, при этом рекомендуется придерживаться следующей последовательности расчета.

В начале по табл. П.1.1 (см. приложение) выписываются недостающие данные для расчета защиты трансформатора (в зависимости от схемы соединения его обмоток) – токи трехфазного и однофазного КЗ, проходящие по высокой стороне при повреждениях на шинах 0,4 кВ трансформатора ($I_{к.т}^{(3)}$ и $I_{к.т}^{(1)}$). При этом, если задано напряжение $U_{вн} = 6$ кВ, то значения токов в табл. П.1.1 умножаются на поправочный коэффициент, равный 1,67.

1. Выбираются трансформаторы тока (ТТ) – на схеме обозначены ТА. Номинальный ток ТТ (первичный) выбирается близким к величине номинального тока нагрузки данного присоединения с учетом возможной перегрузки. Стандартная шкала первичных номинальных токов ТТ следующая: 10, 15, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 600, 800, 1000, 1500, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000 А. Вторичный номинальный ток ТТ принимается равным 5 А.

Например, трансформатор 1000 кВ · А – 6/0,4 кВ имеет номинальный ток $I_{ном.тр} = 97$ А (см. табл. П.1.1). Следовательно, с учетом допустимой перегрузки трансформатора выбираем ТА1 – 200/5. При выборе ТА2 $I_{ном.тт} > (I_{ном.тр} + I_{н.1})$ и т. д.

2. Рассчитываются уставки релейной защиты трансформатора Тр: токовая отсечка (ТО), максимальная токовая защита (МТЗ) и защита от перегрузки.

2.1. Ток срабатывания (первичный) токовой отсечки выбирается по условию:

$$I_{с.з(то)} \geq K_{зап} \cdot I_{к.т}^{(3)}, \text{ где } K_{зап} = 1,4-1,5. \quad (1.1)$$

Определяется коэффициент чувствительности ТО:

$$K_{ч} = I_{к.1}^{(2)} / I_{с.з(то)} \geq 2, \text{ где } I_{к.1}^{(2)} = 0,866 I_{к.1}^{(3)}. \quad (1.2)$$

Рассчитывается уставка токового реле при схеме соединения трансформаторов тока в полную или неполную звезду:

$$I_{\text{ср.р}} = I_{\text{с.з.(то)}} / K_{\text{ТТ}}, \quad (1.3)$$

где $K_{\text{ТТ}}$ – коэффициент трансформации трансформаторов тока; например, $K_{\text{ТТ}} = 200/5 = 40$, при этом желательно подобрать номинальный ток ТТ так, чтобы значение уставки реле находилось в пределах (см. п. 1):

$$5 \text{ А} \leq I_{\text{ср}} \leq 110 \text{ А}.$$

По табл. П.1.2 (см. приложение) выбирается тип реле тока РТ-40 или РСТ-11(13) таким образом, чтобы расчетное значение уставки находилось примерно в середине шкалы уставок реле. Например, при $I_{\text{ср}} = 70 \text{ А}$ выбираем реле типа РТ-40/100 (параллельное соединение катушек) или реле РСТ 11-32 (РСТ 13-32). Статическое реле тока типа РСТ 11 рассчитано на питание переменным оперативным током, а реле типа РСТ 13 – постоянным оперативным током [5].

Выдержка времени срабатывания токовой отсечки принимается равной 0,1 с для отстройки защиты от бросков тока намагничивания трансформатора ($t_{\text{с.з.(то)}} = 0,1 \text{ с}$).

2.2. Рассчитывается ток срабатывания максимальной токовой защиты трансформатора:

$$I_{\text{сз.1}} \geq K_{\text{н}} \cdot K_{\text{сзп}} \cdot I_{\text{нагр. max}} / K_{\text{в}}, \quad (1.4)$$

где $I_{\text{нагр. max}}$ – для однострансформаторной подстанции можно принять равным номинальному току трансформатора $I_{\text{Тр}}$; $K_{\text{в}}$ – коэффициент возврата токового реле: для РТ-40 $K_{\text{в}} = 0,8–0,85$, для РСТ-11(13) $K_{\text{в}} = 0,90–0,93$, для цифрового реле $K_{\text{в}} = 0,96$; $K_{\text{н}} = 1,15–1,25$ – коэффициент надежности; $K_{\text{сзп}}$ – коэффициент самозапуска.

В данной задаче значение коэффициента самозапуска студент принимает произвольно в пределах $K_{\text{сзп}} = 1,7–2,3$. В практических расчетах и в курсовой работе при определении коэффициента $K_{\text{сзп}}$ следует руководствоваться [3, с. 147–152].

Коэффициент чувствительности МТЗ трансформатора в зависимости от схемы соединения его обмоток определяется по формуле:

- при схеме соединения $\Upsilon / \Upsilon^{\circ}$: $K_{\text{ч}} = (2/3) I_{\text{к.т}}^{(1)} / I_{\text{сз.1}}$;
- при схеме соединения $\Delta / \Upsilon^{\circ}$: $K_{\text{ч}} = (1/\sqrt{3}) I_{\text{к.т}}^{(1)} / I_{\text{сз.1}}$.

Допускается $K_{\text{ч}} \geq 1,5$ для трансформатора со схемой соединения обмоток Δ / Y и $K_{\text{ч}} \geq 1,2$ – для Y / Y или применяют специальную защиту.

По аналогии п. 2.1 выбирается тип токового реле.

Выдержку времени срабатывания МТЗ с реле РТ-40 или РСТ принять $t_{\text{с.з.1}} = 0,4-0,5$ с. Тип реле времени: ЭВ-100 (ЭВ-200) или РВ-01.

2.3. Защита от перегрузки трансформатора:

$$I_{\text{сз(п)}} \approx (1,3 - 1,4)I_{\text{ном.тр}};$$

$$t_{\text{сз(п)}} \approx 9 - 12 \text{ с с действием на сигнал.}$$

Тип реле тока выбирается по п. 2.1.

В заключении составляется карта уставок защит по следующей форме:

Карта уставок защит трансформатора Тр – кВ · А – 10/0,4 кВ – Y / Y (табл. 5).

Таблица 5

Наименование защиты	ТТ	Тип реле тока	Уставка по току, А	Уставка по времени, с	Действие защиты
Токовая отсечка	100/5	РСТ11-29	46,5	0,1	На откл. тр-ра
МТЗ	100/5	РСТ11-19	4,8	0,4	На откл. тр-ра
Защита от перегрузки	100/5	РТ 40/6	2,5	9	На сигнал

3. Выбираются уставки защит линий Л1 и Л2. В общем случае защита линии от междуфазных КЗ состоит из 3-х ступеней: токовой отсечки мгновенного действия, т. е. без выдержки времени ТО(м), отсечки с выдержкой времени ТО(в) и МТЗ. На линиях небольшой длины защита может состоять из 2-х ступеней ТО(м) и МТЗ или 1-й ступени – МТЗ.

3.1. Ток срабатывания МТЗ выбирают по двум условиям: из условия отстройки защиты от токов самозапуска по выражению (1.4), где в качестве $I_{\text{нагр.мах}}$ принимается полная нагрузка линии с учетом сторонних потребителей $I_{\text{н1}}$, $I_{\text{н2}}$, и из условия согласования по чувствительности последующей и предыдущей защит:

$$\begin{aligned}
 & \text{– для защиты Л1: } I_{сз.2} \geq K_{н.с} (I_{сз.1} + I_{н.1}); \\
 & \text{– для защиты Л2: } I_{сз.3} \geq K_{н.с} (I_{сз.2} + I_{н.2}),
 \end{aligned}
 \tag{1.5}$$

где $K_{н.с} = 1,2-1,3$ – коэффициент надежности согласования.

За расчетный ток принимается большее значение, полученное из двух условий (1.4) и (1.5).

Проверяется чувствительность МТЗ при КЗ в основной зоне:

$$\begin{aligned}
 & \text{– для линии Л1: } K_{ч.о} = I_{к.1}^{(2)} / I_{сз.2} \geq 1,5; \\
 & \text{– для линии Л2: } K_{ч.о} = I_{к.2}^{(2)} / I_{сз.3} \geq 1,5.
 \end{aligned}$$

Проверяется чувствительность защиты при КЗ в зоне резервирования (только для линии Л2):

$$K_{ч.р} = I_{к.1}^{(2)} / I_{сз.3} \geq 1,2.$$

Выдержка времени срабатывания МТЗ определяется по формуле

$$t_{сз.послд} = t_{сз.пред} + \Delta t,$$

где $\Delta t = 0,5$ с для защит с реле РТ-40 и РСТ; $\Delta t = 0,2 \div 0,3$ с для цифровых реле.

Расчет МТЗ завершается выбором типа и уставок токовых реле (см. п. 2.1).

3.2. Выбор тока срабатывания токовой отсечки мгновенного действия (без выдержки времени):

$$\begin{aligned}
 & \text{– для линии Л1: } I_{то(м)2} = K_{зап} \cdot I_{к.1}^{(3)}; \\
 & \text{– для линии Л2: } I_{то(м)3} = K_{зап} \cdot I_{к.2}^{(3)},
 \end{aligned}$$

где $K_{зап} = 1,2-1,3$.

Чувствительность защиты:

$$\begin{aligned}
 & \text{– для Л1: } K_{ч} = I_{к.2}^{(3)} / I_{то(м)2} \geq 1,2; \\
 & \text{– для Л2: } K_{ч} = I_{к.3}^{(3)} / I_{то(м)3} \geq 1,2.
 \end{aligned}$$

Время срабатывания ТО(м) принимается равным 0,05–0,1 с для отстройки защиты от работы трубчатых разрядников на линии.

3.3. Расчет тока срабатывания токовой отсечки с выдержкой времени (только для защиты линии Л2):

$$I_{то(в)3} = K_{зап} \cdot I_{то(м)2}.$$

Чувствительность ТО(в) определяется по формуле

$$K_{ч} = I_{к.2}^{(3)} / I_{то(в)3} \geq 1,2.$$

Время срабатывания защиты ТУ(в) принимается равным 0,4–0,5 с.

Далее выбираются типы и уставки токовых реле и в заключении составляются карты уставок защит линий Л1 и Л2 по подобию карты уставок защиты трансформатора (см. п. 2.3).

В задании № 2 максимальные токовые защиты линий имеют обратнозависимые от тока характеристики срабатывания, которые хорошо согласуются с время-токовыми характеристиками плавких предохранителей трансформаторов, подключенных к линиям с помощью отпаек (табл. П.2.5).

Защита с зависимой характеристикой срабатывания по типу «нормально-инверсная» описывается математическим выражением [4]:

$$t_{cз} = 0,14 \cdot K / (I_*^{0,02} - 1), \quad (2.1)$$

где K – временной коэффициент (уставка по времени на цифровом реле); I_* – кратность тока КЗ относительно тока срабатывания защиты.

Согласование последующей и предыдущей защит осуществляется при максимальном значении тока КЗ, одновременно проходящего по обеим защитами, т. е. расчетным значением является ток КЗ в начале предыдущей линии. При данном токе КЗ по зависимой характеристике защиты предыдущей линии определяют время ее срабатывания. Последующая защита при том же токе КЗ должна иметь время срабатывания $t_{cз}$ на ступень селективности $\Delta t = 0,3$ с больше предыдущей защиты.

Зная значение $t_{cз}$ из выражения (2.1) выводят формулу для определения временного коэффициента последующей защиты:

$$K = t_{cз} \cdot (I_*^{0,02} - 1) / 0,14. \quad (2.2)$$

Затем по (2.1) определяют время срабатывания последующей защиты при КЗ в начале своей линии. Теперь уже эта защита является предыдущей по отношению к защите следующей линии и порядок расчета повторяется.

Для наглядности согласования защит с зависимыми характеристиками срабатывания строят, так называемую, карту селективности (рис. 2.1).

Ниже приводится пример расчета коэффициентов K и порядок построения карты селективности для задачи с вариантом А (см. табл. 2).

Защита 1 (см. рис. 1) имеет следующие уставки по току и по времени $I_{cз.1} = 110$ А; $K_1 = 0,08$. Следовательно, задаваясь произвольными значениями тока короткого замыкания I_k , по выражению (2.1) опре-

деляем выдержки времени срабатывания этой защиты и на рис. 2.1 строим кривую 1 зависимости $t_{сз} = f(I_k)$:

$$I_k = 200 \text{ А} \quad t_{сз} = 0,14 \cdot 0,08 / \left[(200/110)^{0,02} - 1 \right] = 0,93 \text{ с};$$

$$I_k = 450 \text{ А} \quad t_{сз} = 0,14 \cdot 0,08 / \left[(450/110)^{0,02} - 1 \right] = 0,39 \text{ с};$$

$$I_k = 630 \text{ А} \quad t_{сз} = 0,14 \cdot 0,08 / \left[(630/110)^{0,02} - 1 \right] = 0,31 \text{ с};$$

$$I_k = 1000 \text{ А} \quad t_{сз} = 0,14 \cdot 0,08 / \left[(1000/110)^{0,02} - 1 \right] = 0,25 \text{ с}.$$

Таким образом, время срабатывания защиты 1 при КЗ вблизи выключателя 1 ($I_{к1} = 630 \text{ А}$) равно $t_{сз.1} = 0,31 \text{ с}$. Последующая защита 2 при КЗ в рассматриваемой точке, т. е. в конце своей линии, должна иметь время срабатывания на ступень селективности больше, т. е.

$$t_{сз.2(к)} = t_{сз.1} + \Delta t = 0,31 + 0,3 = 0,61 \text{ с}.$$

По выражению (2.2) при $I_{сз.2} = 140 \text{ А}$ определим временной коэффициент защиты 2:

$$K_2 = 0,61 \left[(630/140)^{0,02} - 1 \right] / 0,14 = 0,133.$$

На цифровом реле величину K можно выставить в пределах от 0,05 до 1,0 с шагом дискретизации 0,01, поэтому принимаем $K_2 = 0,13$.

Защита 2 при КЗ в начале своей линии, т. е. вблизи выключателя 2 ($I_{к.2} = 780 \text{ А}$), срабатывает с выдержкой времени:

$$t_{сз.2(н)} = 0,14 \cdot 0,13 / \left[(780/140)^{0,02} - 1 \right] = 0,52 \text{ с}.$$

При отказе защиты 1 или ее выключателя должна сработать защита 2, которая является резервной к коротким замыканиям на предыдущей линии. Предположим, что при повреждении на данной линии (Л1) ток КЗ равен 450А, тогда время срабатывания защиты 2 в зоне резервирования составит:

$$t_{сз.2(р)} = 0,14 \cdot 0,13 / \left[(450/140)^{0,02} - 1 \right] = 0,77 \text{ с}.$$

При данном токе время срабатывания защиты 1 равно 0,39 с, следовательно, $\Delta t = 0,77 - 0,39 = 0,38 > 0,3 \text{ с}$, т. е. селективность соблюдается.

По трем полученным значениям $t_{сз.2}$ строится характеристика защиты 2 (кривая 2 на рис. 2.1).

Далее без подробных пояснений аналогично выполняются расчеты для всех последующих защит.

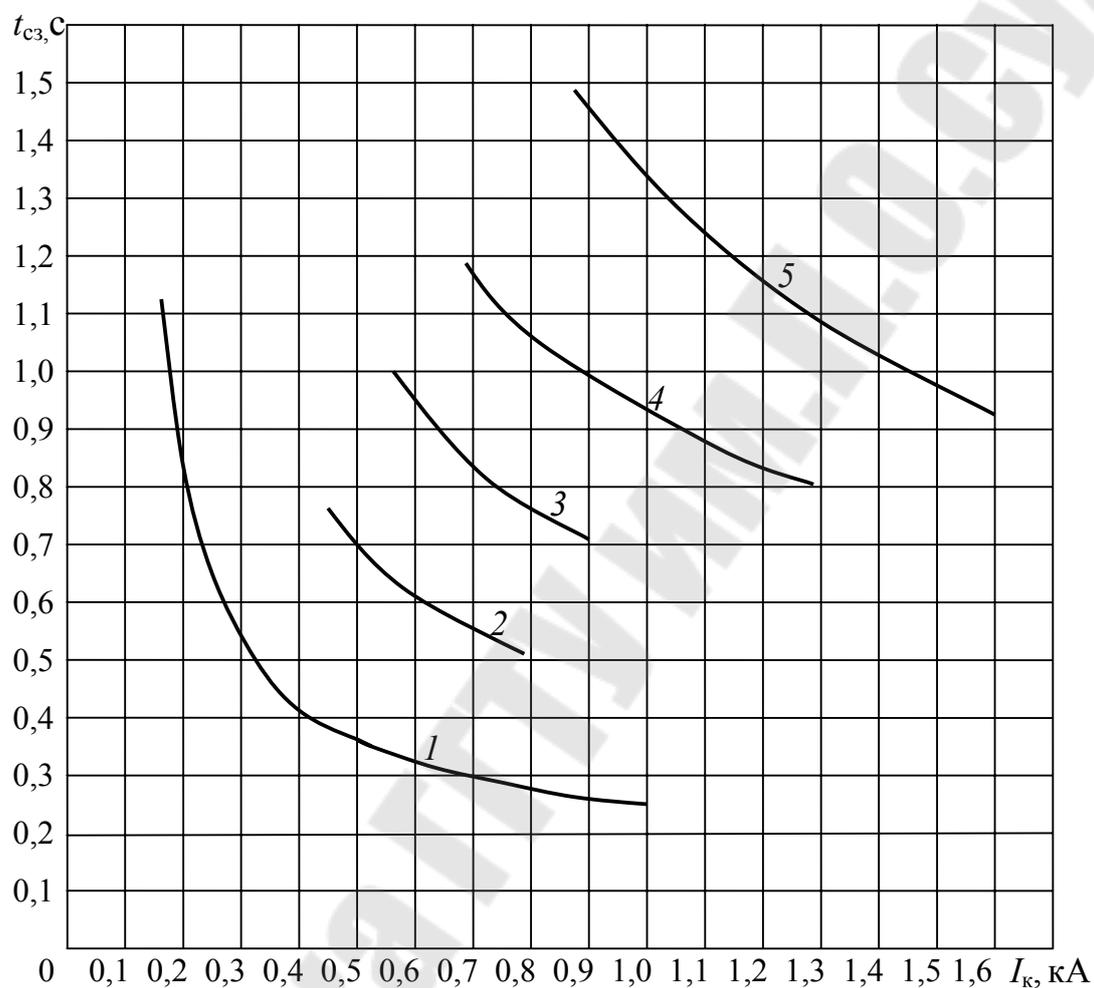


Рис. 2.1. Карта селективности защит к заданию № 2

Защита 3: $t_{сз.3(к)} = t_{сз.2} + \Delta t = 0,52 + 0,3 = 0,82$ с;

$$K_3 = 0,82 \left[\left(\frac{780}{140} \right)^{0,02} - 1 \right] / 0,14 = 0,17;$$

$$t_{сз.3(н)} = 0,14 \cdot 0,17 / \left[\left(\frac{890}{180} \right)^{0,02} - 1 \right] = 0,73$$
 с;

$$t_{сз.2(р)} = 0,14 \cdot 0,17 / \left[\left(\frac{630}{180} \right)^{0,02} - 1 \right] = 0,94$$
 с.

Защита 4: $t_{\text{сз.4(к)}} = t_{\text{сз.3}} + \Delta t = 0,73 + 0,3 = 1,03 \text{ с};$

$$K_4 = 1,03 \left[(890 / 230)^{0,02} - 1 \right] / 0,14 = 0,2;$$

$$t_{\text{сз.4(н)}} = 0,14 \cdot 0,2 / \left[(1270 / 230)^{0,02} - 1 \right] = 0,8 \text{ с};$$

$$t_{\text{сз.4(р)}} = 0,14 \cdot 0,2 / \left[(780 / 230)^{0,02} - 1 \right] = 1,13 \text{ с}.$$

Защита 5: $t_{\text{сз.5(к)}} = t_{\text{сз.4}} + \Delta t = 0,8 + 0,3 = 1,1 \text{ с};$

$$K_5 = 1,1 \left[(1270 / 330)^{0,02} - 1 \right] / 0,14 = 0,21;$$

$$t_{\text{сз.5(н)}} = 0,14 \cdot 0,21 / \left[(1600 / 330)^{0,02} - 1 \right] = 0,92 \text{ с};$$

$$t_{\text{сз.5(р)}} = 0,14 \cdot 0,21 / \left[(890 / 330)^{0,02} - 1 \right] = 1,47 \text{ с}.$$

Таким образом, при КЗ на головном участке линии (Л15) защита 5 с зависимой характеристикой сработает за время 0,92–1,1 с, а если применить на всех защитах независимые характеристики, то выдержка времени срабатывания защиты 5 составит:

$$t_{\text{сз.5}} = t_{\text{сз.1(н)}} + \Delta t (5 - 1) = 0,31 + 0,3 \cdot 4 = 1,51 \text{ с}, \text{ т. е. значительно больше.}$$

Ответы к заданию № 2: $K_2 = 0,13$; $K_3 = 0,17$; $K_4 = 0,2$; $K_5 = 0,21$.

В задании № 3 необходимо рассчитать значения емкостных токов замыкания на землю и уставки защит нулевой последовательности (НП). В сетях 6÷35 кВ эти защиты в основном действуют на сигнал, селективно определяя поврежденную линию [1, с. 207–214]; [2, с. 288–308].

1. Значение собственного емкостного тока кабельной линии определяется по табл. П.1.4 (см. приложение): $I_{\text{с.л}} = I_{\text{уд}} \cdot l$.

При параллельной прокладке двух кабелей, например 2(240), величина $I_{\text{с.л}}$ удваивается.

Суммарный емкостной ток заданной электрической сети:

$$I_{\Sigma\text{С}} = I_{\text{с.л1}} + I_{\text{с.л2}} + \dots + I_{\text{с.л8}}.$$

По величине суммарного тока $I_{\Sigma\text{С}}$ в соответствии с ПУЭ делается вывод о целесообразности применения компенсированной нейтрали с помощью дугогасительного реактора. Компенсированная нейтраль применяется, если $I_{\Sigma\text{С}} \geq 30 \text{ А}$ в сетях 6 кВ и $I_{\Sigma\text{С}} \geq 20 \text{ А}$ в сетях 10 кВ.

2. Уставку ненаправленной токовой защиты НП определяют по формуле [4]:

$$I_{сз.i} \geq K_{отс} \cdot K_{бр} \cdot I_{с.л.i}, \quad (3.1)$$

где $K_{отс} = 1,2 - 1,3$; $K_{бр} = 2,5$ для реле типа РТЗ-51 – коэффициент броска зарядного тока.

Чувствительность защиты оценивается по формуле

$$K_{ч} = (I_{\Sigma C} - I_{с.л.i}) / I_{сз.i} \geq 1,25. \quad (3.2)$$

3. Направленная защита НП типа ЗЗП-1М применяется на тех линиях, где токовая защита НП не удовлетворяет требованию чувствительности. Ток срабатывания направленной защиты определяется по выражению

$$I_{сз.i} = (I_{\Sigma C} - I_{с.л.i}) / 2.$$

По величине $I_{сз.i}$ выбирают ближайшее меньшее значение тока срабатывания реле ЗЗП-1М по шкале уставок: 0,07А; 0,5А или 2А.

С учетом допустимой 30 % погрешности реле ЗЗП-1М определяют коэффициент чувствительности защиты:

$$K_{ч} = (I_{\Sigma C} - I_{с.л.i}) / (1,3 \cdot I_{сз.i}) \geq 2.$$

Далее необходимо изобразить схему включения реле ЗЗП-1М [2, с. 305].

В заключении результаты расчета сводятся в следующую таблицу:

Параметры	Л1	Л2	Л3	Л4	Л5	Л6	Л7	Л8	$I_{\Sigma C}, A$
$I_{с}, A$									
$I_{сз} (РТЗ), A$									
$I_{сз} (ЗЗП), A$									
$K_{ч}$									

В задании № 4 для электродвигателя выбираются уставки следующих видов защит: от междуфазных КЗ; от замыкания на землю; от перегрузки; минимального напряжения [1, с. 431–449]; [2, с. 699–718].

Рекомендуется придерживаться следующей последовательности расчета. Определяется номинальный ток двигателя:

$$I_{ном.дв} = \frac{P_{дв}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \eta \cdot \cos \varphi}.$$

1. В качестве защиты от междуфазных КЗ в обмотке статора применяют токовую отсечку при мощности ЭД меньше 5 МВт или дифференциальную защиту при $P_{\text{дв}} \geq 5$ МВт. Токовую отсечку рекомендуют принимать в двухфазном или трехфазном исполнении ($K_{\text{сх}} = 1$).

Расчетное значение первичного тока срабатывания токовой отсечки определяется по выражению

$$I_{\text{сз}} \geq K_{\text{зап}} \cdot K_{\text{п}} \cdot I_{\text{ном.дв}},$$

где $K_{\text{п}}$ – кратность пускового тока ЭД; $K_{\text{зап}}$ – коэффициент запаса, принимается равным 1,8–2 для токового дискового реле РТ-80; 1,5–1,6 для реле РТ-40 и 1,3–1,4 для цифрового реле.

Чувствительность защиты оценивается по формуле

$$K_{\text{ч}} = I_{\text{к}}^{(2)} / I_{\text{сз}} \geq 2. \quad (4.1)$$

Если чувствительность отсечки недостаточная (меньше 2) или мощность ЭД более 5 МВт, то применяют дифференциальную защиту, при условии, что обмотка этого двигателя имеет выводы со стороны нейтрали.

Ток срабатывания дифференциальной защиты:

$$I_{\text{сз}} \geq K_{\text{зап}} \cdot I_{\text{ном.дв}},$$

где $K_{\text{зап}} = 1,5–2$ для дифференциальных реле типа РНТ-565 и ДЗТ-11; $K_{\text{зап}} = 0,8–1$ для РСТ-15 и $K_{\text{зап}} = 0,5$ для цифрового реле.

Чувствительность защиты оценивается по (4.1).

2. Защита от однофазных замыканий на землю двигателя устанавливается, если суммарный емкостной ток замыкания на землю сети ($I_{\Sigma\text{с}}$) превышает 5 А. Она выполняется аналогично защите линии, но в отличие от последней защита ЭД действует на отключение двигателя. Данная защита выполняется на базе реле тока нулевой последовательности типа РТЗ-51 (см. задание № 3).

Ток срабатывания защиты определяется по выражению (3.1), где к величине $I_{\text{с.л.8}}$ прибавляется значение собственного емкостного тока двигателя, ориентировочно определяемого по следующей формуле:

$$\text{при } U_{\text{ном}} = 6 \text{ кВ} \quad I_{\text{с.дв}} = 0,017 \cdot S_{\text{дв}};$$

$$\text{при } U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ} \quad I_{\text{с.дв}} = 0,03 \cdot S_{\text{дв}},$$

где $S_{\text{дв}} = P_{\text{дв}} / (\eta \cdot \cos \varphi)$; $P_{\text{дв}}$ – номинальная мощность ЭД в МВт.

Чувствительность защиты определяется по (3.2), где $I_{\Sigma C}$ принять из задания № 3. Если чувствительность окажется недостаточной, то рекомендуется применить направленную защиту с реле ЗЗП-1М.

3. Защита от перегрузки выполняется с помощью одного реле максимального тока, контролирующего фазный ток двигателя.

Ток срабатывания защиты ЭД от перегрузки определяется по выражению

$$I_{сз} \geq K_{зап} \cdot I_{ном.дв} / K_{в} ,$$

где $K_{зап} = 1,05$; $K_{в} = 0,85$.

Выдержка времени срабатывания защиты выбирается по условию отстройки от времени пуска двигателя:

$$t_{сз} \geq (1,3 - 1,4)t_{пуск} ,$$

где $t_{пуск}$ в задаче принять 6–12 с в зависимости от мощности двигателя.

В цифровых реле, кроме вышеназванных, предусмотрена специальная защита от перегрузки ЭД на основе тепловой модели [4, с. 44].

4. Защита минимального напряжения (ЗМН) применяется на всех без исключения двигателях. При наличии нескольких двигателей защита выполняется групповой.

Напряжение срабатывания реле минимального напряжения (уставка реле напряжения) принимается равной

$$U_{с.р} = (0,5 - 0,6)U_{2.ном} ,$$

где $U_{2.ном}$ – номинальное напряжение вторичной обмотки измерительного трансформатора напряжения (ТН), равное 100 В.

Выдержка времени срабатывания ЗМН двигателей, на которых самозапуск не предусмотрен принимается равной 1–3 с.

Синхронные двигатели имеют еще защиту от асинхронного хода, которая обычно выполняется в возбуждательном устройстве, либо для этой цели используется защита от перегрузки. В последнем случае для исключения отказа при пульсации тока статора эта защита должна иметь выдержку времени при возврате не менее 0,6 с, которую выполняют с помощью реле типа РП-250). При использовании цифровых реле защита от асинхронного хода реагирует на максимальное значение реактивной мощности ЭД: $Q_{с.з} \approx 0,5P_{эд}$.

В заключении выбираются трансформаторы тока и уставки реле защит от междуфазных КЗ и перегрузки (см. задачу № 1), а также составляется карта уставок защит электродвигателя (см. п. 2.3).

Рекомендуемая литература

Основная

1. Андреев, В. А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения / В. А. Андреев. – 3-е изд. – Москва : Высш. шк., 1991.
2. Чернобровов, Н. В. Релейная защита энергетических систем / Н. В. Чернобровов, В. А. Семенов. – Москва : Энергоатомиздат, 1998.

Дополнительная

3. Шабад, М. А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей / М. А. Шабад. – Ленинград : Энергоатомиздат, 1985.
4. Курганов, В. В. Выбор защитных характеристик и расчет уставок цифровых реле : пособие к курсовому и дипломному проектированию / В. В. Курганов. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2005.
5. Курганов, В. В. Электронные устройства систем электроснабжения : курс лекций / В. В. Курганов. – Гомель, 2006.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П.1.1

**Ориентировочные значения максимальных токов в фазах
на стороне высокого напряжения при трехфазном и однофазном КЗ
за трансформатором напряжением 10/0,4 кВ**

$S_{тр}, \text{кВ}\cdot\text{А}$	$I_{ном}, \text{А}$	Схема соединения обмоток	$I_{к.т.}^{(3)}, \text{А}$	$I_{к.т.}^{(1)}, \text{А}$
100	5,8	Δ / Y	123	71
		Y / Y	129	24
160	9,2	Δ / Y	197	114
		Y / Y	206	39
250	14,4	Δ / Y	514	178
		Y / Y	322	61
400	23,1	Δ / Y	858	297
		Y / Y	514	95
630	36,4	Δ / Y	1120	387
		Y / Y	670	147
1000	58	Δ / Y	1620	560
		Y / Y	970	230
1600	92	Δ / Y	2390	826
		Y / Y	1430	360
2500	144	Δ / Y	2200	1270
		Y / Y	2200	540

Примечание. Для трансформаторов с заданным напряжением 6/0,4 кВ приведенные в таблице значения токов увеличиваются в 1,67 раза.

Таблица П.1.2

Типы и пределы уставок токовых реле РТ-40 и РСТ 11(13)

Тип реле тока	Пределы уставок реле при соединении катушек, А	
	последовательное	параллельное
РТ 40/0,2	0,05–1	0,1–0,2
РТ 40/0,6	0,15–0,3	0,3–0,6
РТ 40/2	0,5–1	1–2
РТ 40/6	1,5–3	3–6
РТ 40/10	2,5–5	5–10
РТ 40/10	2,5–5	5–10

Тип реле тока	Пределы уставок реле при соединении катушек, А	
	последовательное	параллельное
РТ 40/20	5–10	10–20
РТ 40/50	12,5–25	25–50
РТ 40/100	25–50	50–100
РТ 40/200	50–100	100–200
РСТ 11(13) – 04	0,05–0,2 (шаг дискретизации 0,005 А)	
РСТ 11(13) – 09	0,15–0,6 (шаг дискретизации 0,015 А)	
РСТ 11(13) – 14	0,5–2 (шаг дискретизации 0,05 А)	
РСТ 11(13) – 19	1,5–6 (шаг дискретизации 0,15 А)	
РСТ 11(13) – 24	5–20 (шаг дискретизации 0,5 А)	
РСТ 11(13) – 29	15–60 (шаг дискретизации 1,5 А)	
РСТ 11(13) – 32	30–120 (шаг дискретизации 3 А)	

Таблица П.1.3

Типы стандартных по МЭК 225-4 обратнозависимых от тока характеристик срабатывания максимальных токовых защит, выполненных на цифровых (микропроцессорных) реле

Тип зависимой характеристики времени срабатывания защиты	Расчетное выражение
Нормальная инверсная	$t_{c3} = t_y \frac{0,14}{I_*^{0,02} - 1}$
Очень зависимая	$t_{c3} = t_y \frac{13,5}{I_* - 1}$
Чрезвычайно зависимая	$t_{c3} = t_y \frac{80}{I_*^2 - 1}$
Ультразависимая	$t_{c3} = t_y \frac{315}{I_*^{2,5} - 1}$
Аналог реле тока РТ-80	$t_{c3} = t_y + \frac{1,258}{(I_* - 1)^{1,8}}$
Специальная (аналог реле R1)	$t_{c3} = t_y / (0,339 - 0,236/I_*)$

Примечание. В таблице обозначены: t_y – уставка защиты по времени, с (временной коэффициент K); $I_* = I_{кз}/I_{c3}$ – кратность тока в реле относительно тока срабатывания реле; t_{c3} – время срабатывания защиты при данной кратности, с.

Таблица П.1.4

Удельные значения емкостных токов в кабельных линиях

Сечение жилы кабеля, мм ²	Удельное значение емкостного тока, А/км, при напряжении сети	
	6 кВ	10 кВ
16	0,40	0,55
25	0,50	0,65
35	0,58	0,72
50	0,68	0,80
70	0,80	0,92
95	0,90	1,04
120	1,00	1,16
150	1,18	1,30
185	1,25	1,47
240	1,45	1,70

Таблица П.1.5

Рекомендуемые значения номинальных токов плавких вставок $I_{\text{ном.вс}}$ предохранителей типа ПКТ для трехфазных силовых трансформаторов напряжением 6/0,4 и 10/0,4 кВ

Мощность трансформатора, кВА	Номинальный ток, А					
	трансформатора на стороне			плавкой вставки на стороне		
	0,4 кВ	6 кВ	10 кВ	0,4 кВ	6 кВ	10 кВ
25	36	2,40	1,44	40	8	5
40	58	3,83	2,30	60	10	8
63	91	6,05	3,64	100	16	10
100	145	9,60	5,80	150	20	16
160	231	15,40	9,25	250	32	20
250	360	24,00	14,40	400	50	40
400	580	38,30	23,10	600	80	50
630	910	60,50	36,40	1000	160	80

Содержание

Введение.....	3
Программа курса	4
Варианты заданий контрольной и курсовой работ.....	7
Задания к контрольной работе	8
Методические рекомендации по выполнению контрольной работы .	13
Литература	24
Приложение	25

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

Курганов Владимир Васильевич

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА

**Методические указания
к контрольным работам по одноименному курсу
для студентов специальности 1-43 01 03
«Электроснабжение» заочной формы обучения**

Электронный аналог печатного издания

Редактор *Н. В. Гладкова*
Компьютерная верстка *Н. Б. Козловская*

Подписано в печать 28.11.08.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Цифровая печать. Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 2,06.

Изд. № 12.

E-mail: ic@gstu.gomel.by

<http://www.gstu.gomel.by>

Издатель и полиграфическое исполнение:
Издательский центр учреждения образования
«Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого».

ЛИ № 02330/0131916 от 30.04.2004 г.

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.