

Министерство образования Республики Беларусь

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

Кафедра «Электроснабжение»

Л. И. Евминов

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
по одноименному курсу для студентов
специальностей 1-43 01 03 «Электроснабжение»
и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация
энергооборудования организаций»
дневной и заочной форм обучения
В двух частях
Часть 2**

Гомель 2013

УДК 621.316.925(075.8)
ББК 31.27-05я73
Е19

*Рекомендовано научно-методическим советом
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 6 от 26.02.2013 г.)*

Рецензент: зав. каф. «Теоретические основы электротехники» ГГТУ им. П. О. Сухого
канд. техн. наук, доц. *А. В. Козлов*

Евминов, Л. И.
Е19 Релейная защита и автоматика систем электроснабжения : лаборатор. практикум по одноим. курсу для студентов специальностей 1-43 01 03 «Электроснабжение» и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» днев. и заоч. форм обучения : в 2 ч. Ч. 2 / Л. И. Евминов. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2013. – 132 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://library.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Содержит восемь лабораторных работ по электромеханическим и микроэлектронным реле тока, напряжения, времени и др.

Для студентов специальностей 1-43 01 03 «Электроснабжение» и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования предприятий» дневной и заочной форм обучения.

УДК 621.316.925(075.8)
ББК 31.27-05я73

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2013

Лабораторная работа № 9

НАЗНАЧЕНИЕ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНОГО УСТРОЙСТВА ТОКОВЫХ ЗАЩИТ И АВТОМАТИКИ ПРИСОЕДИНЕНИЙ 6–35 КВ ТИПА УЗА–АТ

1. Цель работы

Ознакомление с техническим описанием, принципом действия, конструкцией, техническими характеристиками микроэлектронного устройства защиты типа УЗА–АТ.

2. Краткая теория

2.1. Назначение

Устройства типа УЗА–АТ предназначены для использования в схемах релейной защиты для защиты электрических машин, трансформаторов и линий электропередач при КЗ и перегрузках.

Устройства УЗА–АТ – это микроэлектронные реле без дополнительного источника питания. Питание элементов схемы осуществляется от входного тока. Дополнительное питание (постоянное или переменное напряжение 220В) требуется только для обеспечения функции АПВ, индикации и дистанционной блокировки отсечки.

2.2. Технические характеристики

Устройства обеспечивают:

- максимальную токовую защиту (МТЗ) с независимой и двумя зависимыми характеристиками срабатывания (по выбору с передней панели);
- токовую отсечку (ТО) с временной задержкой 70–100мс или 150–200мс, которая задается с передней панели;
- ненаправленную или направленную защиту от замыканий на землю (ЗНЗ);
- защиту от перегрузки;
- возможность задания общих для двух фаз входного тока уставок тока срабатывания МТЗ, тока срабатывания отсечки (в кратностях к току срабатывания МТЗ), времени срабатывания МТЗ;
- срабатывание МТЗ и (или) токовой отсечки по наибольшему из входных токов;
- функцию однократного АПВ;

- индикацию до сброса (с запоминанием) срабатывания МТЗ, ТО, АПВ, дискретного входа (только при наличии постоянного или переменного напряжения значением 220В на клеммах питания устройства);
- индикацию готовности АПВ;
- индикацию срабатывания ЗНЗ и защиты от перегрузки;
- индикацию наличия тока во входных цепях устройства;
- возможность сброса индикации срабатывания с передней панели;
- возможность внутреннего или внешнего пуска АПВ при срабатывании МТЗ или ТО;
- возможность внешнего сброса готовности АПВ;
- возможность внутреннего пуска АПВ при исчезновении питания 220В при срабатывании МТЗ или ТО, если:
- на момент пропадания напряжения 220В светился светодиод ГОТОВ АПВ и с момента пропадания напряжения 220В прошло не более 5 секунд.

После прохождения внутренней команды пуска АПВ схема АПВ останавливается до возобновления подачи напряжения питания, после чего схема АПВ продолжает работу.

Устройства УЗА–АТ содержат дискретный вход, обеспечивающий индикацию срабатывания, размножение и распространение выходного сигнала внешней защиты (например, дуговой).

Значения уставок тока срабатывания МТЗ, выдержки времени МТЗ, кратности тока отсечки, выдержки времени АПВ их количество и дискретность приведены в таблице.

Таблица

Уставки тока срабатывания, А			Уставки выдержки времени, с			Уставки тока отсечки, крат.			Уставки АПВ, с		
Диап.	Колич.	Дискр., А	Диап., с	Колич.	Дискр., с	Диап., крат.	Колич.	Дискр., крат.	Диап., с	Колич.	Дискр., с
И _н =5А		И _н =5А									
1-2,27 2-4,54 4-9,08 8-18,16	128	0,01 0,02 0,04 0,08	0,3-25,8	256	0,1	2-17,75	64	0,25	0,5-8	16	0,5

Значения уставок тока срабатывания ненаправленной ЗНЗ, их количество и дискретность приведены в таблице 9.2. Диапазон уставок выдержки времени ЗНЗ 0,1–6,4с, дискретность – 0,1с.

Таблица 9.2

Диапазон изменения уставок	Колич. дискретных уставок	Подключение к клеммам 9,10			Подключение к клеммам 8,9		
		Диап. изм-я уставок, mA	Дискретность изменения уставок	Номинальный ток, A	Диап. изм-я уставок, mA	Дискретность изменения уставок	Номинальный ток, A
0,05-0,415	64	50-207,5	2,5mA	0,25	100-415	5mA	0,5
0,15-1,245		150-622,5	7,5mA	0,75	300-1245	15mA	1,5
0,5-4,15		0,5-2,075 A	25 5mA	2,5	1,0-4,15 A	50mA	5,0

Диапазон уставок тока срабатывания защиты от перегрузки 1,0–7,3А с дискретностью 0,1А. Выдержка времени защиты от перегрузки находится в пределах 7–10с.

Устройства содержат девять замыкающих выходных контактов: два мгновенных контакта МТЗ; два контакта ТО+МТЗ; АПВ; ЗНЗ; защита от перегрузки; два выходных контакта, управляемых от дискретного входа.

Выходной контакт АПВ является проскальзывающим. Время удержания его в замкнутом состоянии находится в пределах 0,25–0,4 с.

Устройства обеспечивают следующие характеристики зависимости времени срабатывания МТЗ от кратности тока срабатывания (выбором с передней панели) в диапазоне входных токов $2I_y < I < 10I_y$ (рис.9.1):

а) независимая
$$t = t \cdot y \quad (9.1)$$

б) зависимая нормальная
$$t = \frac{0,14K}{(I/I_y)^{0,02} - 1} \cdot ty \quad (9.2)$$

в) зависимая крутая
$$t = \frac{13,5K}{(I/I_y) - 1} \cdot ty \quad (9.3)$$

где t – теоретическое время срабатывания, с;

ty – уставка времени срабатывания, т.е. теоретическое время срабатывания для $I=10I_y$, с;

I – входной ток устройства. А;

I_y – уставка тока срабатывания. А;

K – коэффициент, значение которого зависит от отношения I/I_y , для которого нормируется t_y , для $I/I_y=10$ характеристики (9.2) $K=0,3366$, а для характеристики (9.3) $K=0,6667$.

В диапазоне входных токов $I > 10I_y$, время срабатывания устройства не больше, чем время срабатывания при $I=10I_y$.

Для ЗНЗ обеспечивается зависимость (9.1).

Разброс тока срабатывания МТЗ, тока срабатывания отсечки, тока срабатывания ЗНЗ и защиты от перегрузки выраженный в процентах от среднего значения тока срабатывания, не больше чем $\pm 1,5\%$.

Относительная погрешность выдержки времени МТЗ при изменении температуры окружающей среды от минус 40°C до плюс 50°C не больше чем:

а) для характеристики (9.1) – $\pm 10\%$;

б) для характеристик (9.2), (9.3):

- $\pm 10\%$ – при отношении входного тока реле к току уставки, равном 10;

- $\pm 15\%$ – при отношении входного тока реле к току уставки, равном 5;

- $\pm 25\%$ – при отношении входного тока реле к току уставки, равном 2.

Относительная погрешность выдержки времени ЗНЗ и защиты от перегрузки не более $\pm 10\%$.

Относительная погрешность выдержки времени АПВ не более $\pm 20\%$.

Относительная погрешность тока срабатывания МТЗ, отсечки, ЗНЗ, защиты от перегрузки не более $\pm 10\%$.

Коэффициент возврата – не менее 0,95.

Мощность, потребляемая устройством по цепям тока при входном токе, равном минимальной уставке тока срабатывания, не превышает значения: для МТЗ – 1,5ВА на каждую фазу; и 1,0ВА – для ЗНЗ и защиты от перегрузки.

Сопротивление изоляции между цепями устройства при температуре окружающего воздуха $20\pm 5^\circ\text{C}$ – 50МОм. Время готовности АПВ при напряжении питания $220\pm 5\text{В}$ и температуре окружающего воздуха $20\pm 5^\circ\text{C}$ равно 30 ± 5 секунд.

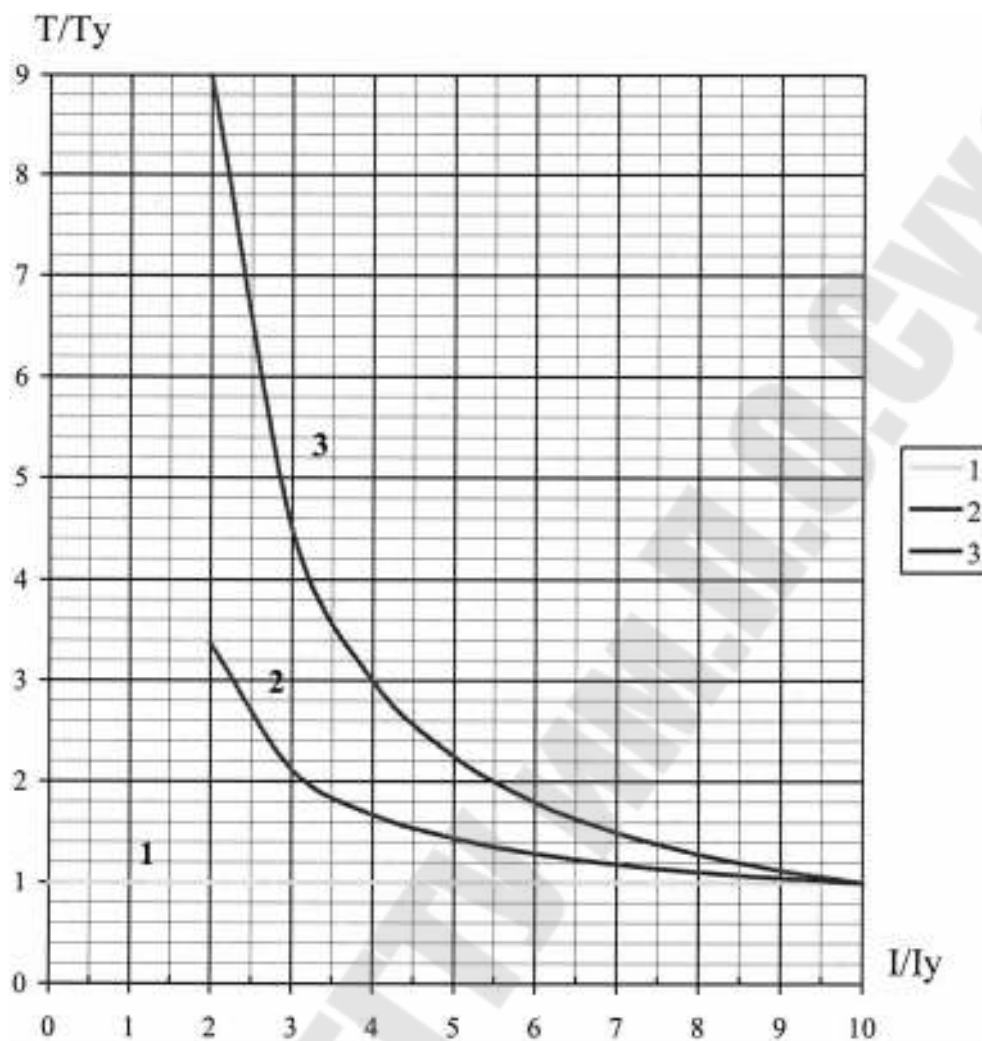


Рис. 9.1. Характеристики зависимости времени срабатывания от кратности тока срабатывания

2.3. Принцип действия реле

Функциональная схема основных защит устройства приведена на рис. 9.2.

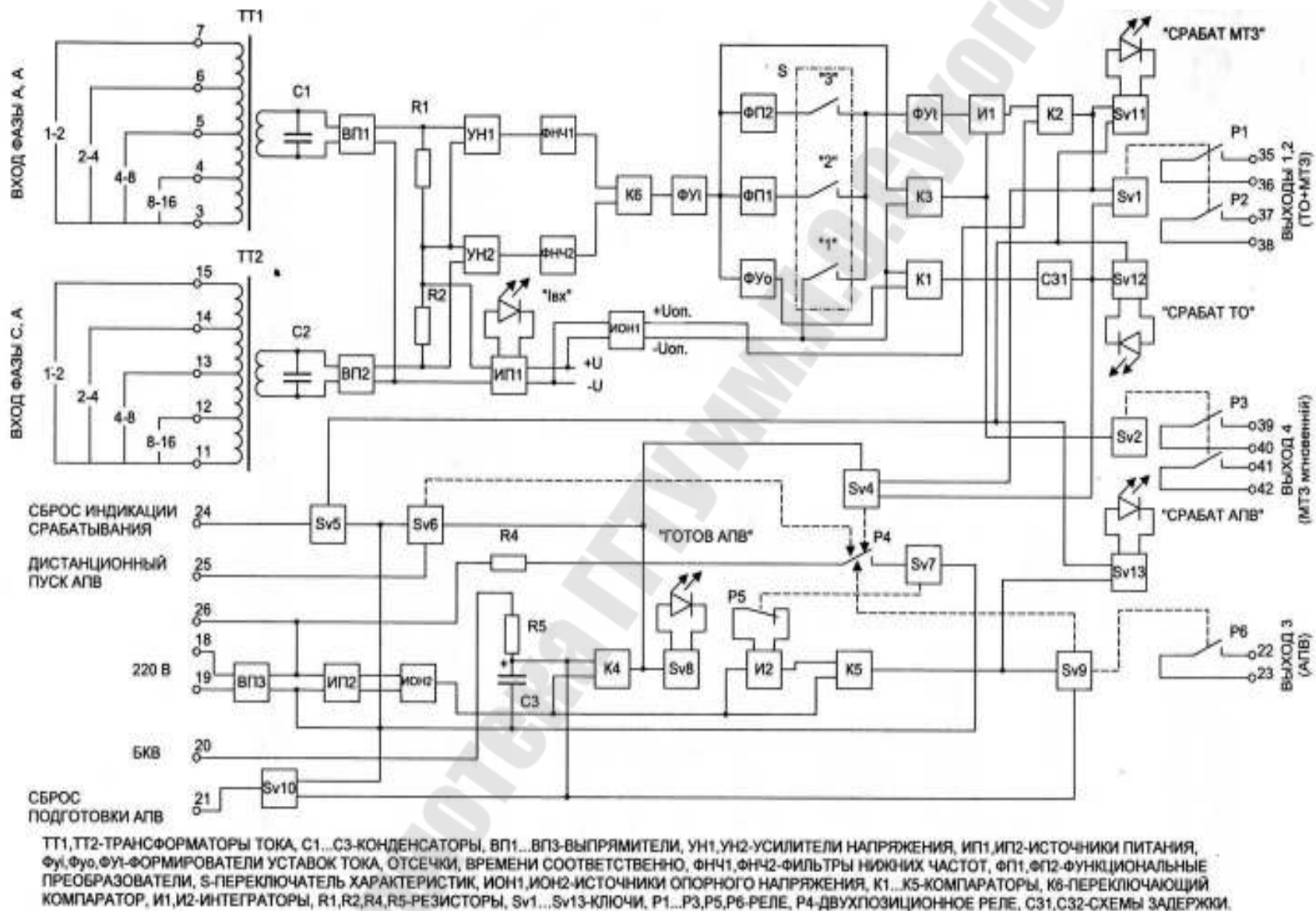


Рис. 9.2. Функциональная схема МТЗ, ТО, АПВ

Принцип действия МТЗ и ТО

Для функционирования МТЗ и ТО оперативное питание не требуется. Питание элементов схемы МТЗ и ТО осуществляется от входного тока.

Входной ток, в зависимости от выбранного диапазона, поступает на соответствующие выводы первичной обмотки трансформаторов тока ТТ1, ТТ2. Выпрямители ВП1 и ВП2 преобразуют переменный ток частотой 50Гц в выпрямленный пульсирующий ток с частотой 100Гц. При достижении входным током любой фазы значения 0,2–0,3 тока минимальной уставки на выходе источника питания ИП1 появляется достаточное для нормальной работы схемы напряжение питания. При этом на выходе ИОН1 появляются опорные напряжения –2В и +2В и загорается светодиод «1вх».

Резисторы R1 и R2 преобразуют пульсирующий ток в пульсирующее напряжение частотой 100Гц, которое усиливается усилителями УН1, УН2 и преобразуется фильтрами ФНЧ1, ФНЧ2 в постоянное напряжение, пропорциональное входному току «своей» фазы. С выходов ФНЧ1, ФНЧ2 напряжения поступают на переключающий компаратор Кб, который подключает на вход формирователя уставок тока ФУ1 большее из входных напряжений.

С выхода ФУ1 напряжение поступает на схему токовой отсечки (ФУо, К1, С31) и схему МТЗ с тремя характеристиками срабатывания (ФП1, ФП2, S, ФУ1, К3, И1, К2).

ФУо масштабирует выходной сигнал ФУ1 таким образом, что при достижении входным током значения уставки отсечки напряжение на выходе ФУо сравнивается с напряжением ИОН1–Uоп. Это приведет к срабатыванию компаратора К1. Выходной сигнал К1 запустит схему задержки С31. Значение времени задержки С31 задается оператором с передней панели и составляет 0–100мс или 150–200мс, по истечении которого С31 откроет ключ Sv1, что приведет к срабатыванию выходных реле Р1, Р2 (ВЫХОД ТО+МТЗ).

Одновременно, выходной сигнал С31 поступает на ключи Sv12, Sv4. Ключ Sv12 открывается и замыкает контакт реле, что вызывает загорание светодиода СРАБАТ. ТО (при наличии оперативного питания 220В). Ключ Sv4, при наличии разрешающего сигнала с компаратора К4, замыкает контакт реле Р4 схемы АПВ.

При достижении входным током значения уставки тока срабатывания МТЗ напряжение на выходе ФУ1 сравнивается с напряжением

ИОН1 – $U_{оп}$. Компаратор К3 срабатывает, открывает ключ Sv2 и включает интегратор И1. Открывание ключа Sv2 приведет к срабатыванию выходного реле Р3 (МТЗ мгновенный). Одновременно напряжение на выходе И1 начнет возрастать. Скорость возрастания зависит: для характеристики (9.1) – от заданной уставки времени ФУ1; для характеристик (9.2), (9.3) – от заданной уставки времени ФУ и значения входного тока.

Когда напряжение на выходе интегратора достигнет значения $+U_{оп}$ (ИОН1) сработает компаратор К2. Выходной сигнал К2 откроет ключ Sv1, что приведет к срабатыванию выходных реле Р1, Р2 (ВЫХОД ТО+МТЗ). Одновременно выходной сигнал К2 поступает на ключи Sv1 1, Sv4. Ключ Sv1 1 открывается и замыкает контакт реле, что вызывает загорание светодиода СРАБАТ. МТЗ (при наличии напряжения оперативного питания 220 В).

Ключ Sv4, при наличии разрешающего сигнала с компаратора К4, замыкает контакт реле Р4 схемы АПВ.

Преобразователи ФП1, ФП2 обеспечивают зависимые характеристики срабатывания, а переключатель S – возможность выбора нужной характеристики.

Принцип действия АПВ

Питание схемы АПВ обеспечивают выпрямитель ВПЗ и источник питания ИП2, на выходе которого формируются напряжения $+10В$ и $-10В$.

После включения высоковольтного выключателя (замкнется контакт БКВ), на клемме БКВ устройства появится положительное напряжение $+250В$.

Через резистор R5 начнется заряд конденсатора С3. Напряжение конденсатора С3 поступает на один из входов компаратора К4. На другой вход К4 поступает опорное напряжение с ИОН2. Примерно через 30с. после начала заряда С3 напряжение на нем сравнивается с опорным напряжением ИОН2, компаратор К4 работает. Выходной сигнал К4 откроет ключ Sv8 и на передней панели устройства загорится светодиод ГОТОВ АПВ. Одновременно выходной сигнал К4 снимет запрет на открывание ключей Sv4, Sv6.

В случае срабатывания МТЗ или ТО, на ключ Sv4 поступит открывающий сигнал с К2 или С31. Если светодиод ГОТОВ АПВ не светится, ключ Sv4 не откроется и АПВ работать не будет. Если же светодиод ГОТОВ АПВ светится, ключ Sv4 откроется и замкнет кон-

такт реле Р4. В результате, на ключ Sv7 через резистор R4 будет подано положительное напряжение, ключ Sv7 откроется и сработает реле Р5. Размыкающий контакт Р5 включит интегратор И2. Напряжение на выходе И2 начнет возрастать. Скорость возрастания зависит от заданной оператором на передней панели уставки АПВ. Выходное напряжение интегратора И2 поступает на один из входов компаратора К5, на другой вход которого поступает опорное напряжение с ИОН2. В момент равенства напряжений на входах К5 сработает, откроет ключ Sv9, который, в свою очередь, подключит к обмотке выходного реле Р6 напряжение заряженного конденсатора С3. Реле Р6 сработает, а конденсатор С3 начнет разряжаться. Через 0,25–0,4с. после включения Р6 конденсатор С3 почти полностью разрядится, компаратор К4 вернется в исходное состояние. При этом погаснет светодиод ГОТОВ АПВ и сформируется сигнал запрета на открывание ключей Sv4, Sv6. Размыкается контакт реле Р4, закрывается ключ Sv7, контакты реле Р5 возвращаются в исходное состояние. Цикл работы схемы АПВ завершен.

Пуск АПВ возможен также от внешних защит. Для этого выходной замыкающий контакт внешней защиты следует подключить к клеммам ПУСК АПВ устройства. В момент замыкания выходного контакта внешней защиты на клемме ПУСК АПВ появится напряжение +250В. Если светодиод ГОТОВ АПВ не светится, ключ Sv6 не откроется (из-за действия запрета с компаратора К4) и схема АПВ работать не будет. Если же светодиод ГОТОВ АПВ светится, ключ Sv6 откроется и замкнет контакты реле Р4. В дальнейшем, работа схемы АПВ аналогична описанному выше.

Для снятия извне сигнала подготовки АПВ (гашения светодиода ГОТОВ АПВ) необходимо кратковременно закоротить между собой клеммы СП (Рис.2). В этом случае, откроется ключ Sv10 и разрядит конденсатор С3.

Схема АПВ обеспечивает возможность внутреннего (при срабатывании МТЗ или ТО) пуска АПВ при пропадании напряжения питания 220В, если: на момент пропадания напряжения 220В светился светодиод ГОТОВ АПВ; с момента пропадания напряжения 220В прошло не более 5 с. В этом случае, за счет источника питания ИП1 обеспечивается открывание ключа Sv4 и замыкание контакта реле Р4. Открывание ключа Sv7 без напряжения питания 220В невозможно. Поэтому, далее без напряжения питания схема работать не будет. Но, как только напряжение питания восстановится, изложенный выше ал-

горитм будет выполнен до конца. В то же время, ключ Sv6 без напряжения 220В не может быть открыт, из-за чего внешний пуск АПВ в этом случае невозможен.

Принцип действия ненаправленной ЗНЗ

Функциональная схема приведена на рисунке 9.3.

Входной ток поступает на выводы первичной обмотки трансформатора тока ТТ. Выпрямитель ВП преобразует переменный ток частотой 50Гц в выпрямленный пульсирующий ток частотой 100Гц. При достижении входным током значения 0,2–0,3 тока мин. уставки на выходе источника питания ИП появляется достаточное для нормальной работы схемы напряжение питания. При этом на выходе ИОН появится опорное напряжение – 2В.

Резистор R преобразует пульсирующий ток в пульсирующее напряжение частотой 100Гц, которое усиливается усилителем УН и преобразуется фильтром ФНЧ в постоянное напряжение, пропорциональное входному току. С выхода ФНЧ напряжение поступает на первый вход компаратора напряжения Ки. На второй вход компаратора поступает выходное напряжение с формирователя уставок тока ФУ1. При достижении входным током значения уставки выходное напряжение ФНЧ будет равно выходному напряжению ФУ1, компаратора напряжения Ки сработает. Сработав, компаратор Ки запустит схему выдержки времени СЗ. Схема выдержки времени СЗ через интервал времени, равный значению уставки времени, замкнет ключ S2, что приведет к срабатыванию исполнительного реле К.

Принцип действия защиты от перегрузки аналогичен принципу действия ненаправленной ЗНЗ.

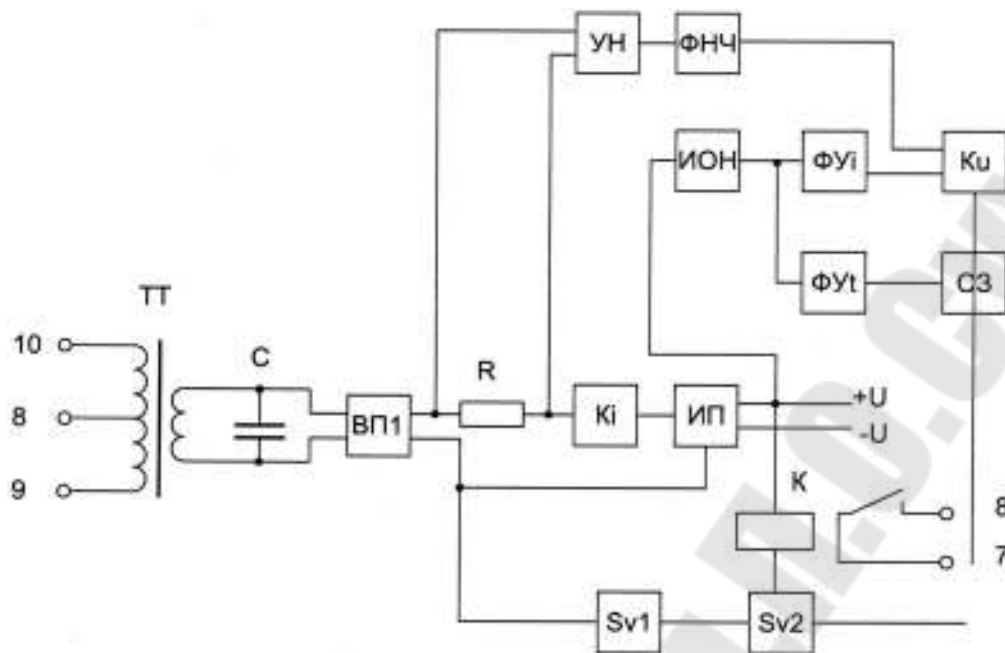


Рис. 9.3. Функциональная схема ненаправленной ЗНЗ:
 ТТ – трансформатор тока; ВП – выпрямитель;
 УН – усилитель напряжения; ФНЧ – фильтр нижних частот;
 Кі, Ку – компараторы тока и напряжения;
 ИП – источник питания; ИОН – источник опорного напряжения;
 Фуі, Фут – формирователи уставок тока и времени;
 СЗ – схема задержки; К – выходное реле; Sv1 и Sv2 –ключи.

2.4. Порядок установки и подключения устройства

Подключение устройства необходимо выполнять в соответствии с рисунком 9.4.

Подключение входного тока

Если уставка тока МТЗ должна находиться в пределах 1–2,27А необходимо подключить проводники входного тока к клеммам:

3,7 – фазы А; 11, 15 – фазы С.

Если уставка тока МТЗ должна находиться в пределах 2–4,54А необходимо подключить проводники входного тока к клеммам:

3, 6 – фазы А; 11, 14 – фазы С.

Если уставка тока МТЗ должна находиться в пределах 4–9,08А необходимо подключить проводники входного тока к клеммам:

3, 5 – фазы А; 11,13 – фазы С.

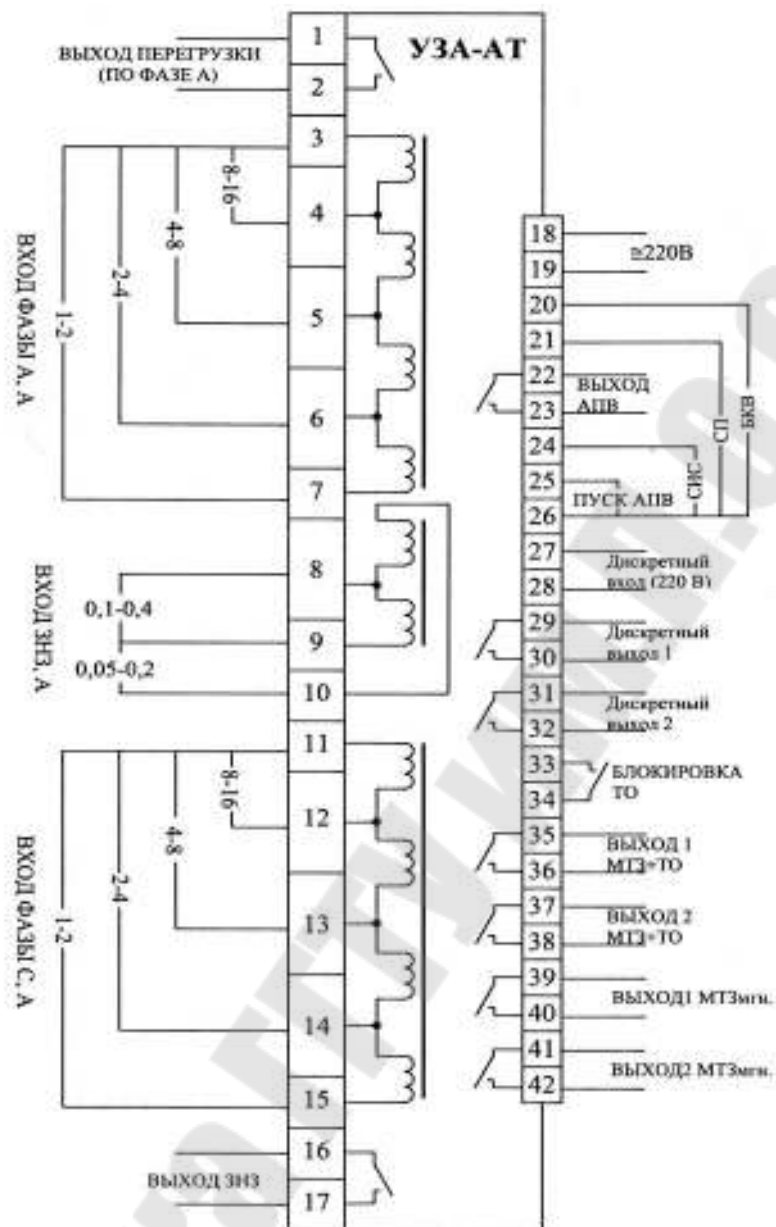


Рис. 9.4. Схема подключения УЗА-АТ:
 СИС – сброс индикации срабатывания;
 СП – сброс подготовки АПВ;
 БКВ НР – блок-контакты выключателя;
 L1, L2 – токовые электромагниты отключения.

Если уставка тока МТЗ должна находиться в пределах 8–18,16А необходимо подключить проводники входного тока к клеммам:

3,4 – фазы А; 11, 12 – фазы С.

Подключение проводников входного тока ЗНЗ следует выполнять согласно рис.9.4.

Подключение выходных цепей

Следует иметь в виду, что все выходные контакты устройства гальванически не связаны друг с другом и электрическая прочность изоляции между двумя любыми выходными контактами составляет 2000В. Поэтому, к выходным контактам реле можно подключать нагрузку от различных источников.

Подключение цепи питания

К клеммам 18, 19 подключают постоянное или переменное оперативное питание 220В.

Подключение цепей управления

В устройстве предусмотрен сброс индикации срабатывания с передней панели.

Для внешнего пуска АПВ от другой защиты необходимо к клеммам ПУСК АПВ подключить замыкающий сигнальный контакт этой защиты. Потребляемая мощность по цепи внешнего пуска АПВ не превышает 2ВА.

К клеммам БКВ следует подключить замыкающий блок–контакт высоковольтного выключателя.

Для обеспечения внешнего сброса подготовки АПВ (гашения светодиода ГОТОВ АПВ) необходимо к клеммам СП подключить стартовую замыкающую кнопку с рабочим напряжением не менее 250В.

Для обеспечения внешней блокировки отсечки необходимо к клеммам БЛОКИРОВКА ТО подключить замыкающий выходной контакт внешней защиты.

2.5. Подготовка к работе. Выставление и изменение уставок в процессе эксплуатации

После установки устройства на рабочем месте необходимо выставить на панели требуемые уставки и выбрать другие характеристики. Для доступа к микропереключателям задания уставок требуется снять накладную панель.

Задание основных уставок выполняется в соответствии с приложением. В нем указано, что рычажки микропереключателей имеют два положения – ON и OFF. На самих микропереключателях промаркировано только положение ON. Следует понимать, что положение OFF – это положение рычажка, противоположное положению ON.

1. Задание уставок тока МТЗ выполняется при помощи микропереключателя S4 в соответствии с таблицей П1.

2. Задание уставок отсечки задается в кратностях к току срабатывания МТЗ, заданному в соответствии с таблицей 1 и выполняется при помощи микропереключателя S2 согласно таблице П.3.

3. Задание уставок времени МТЗ выполняется при помощи микропереключателя S3 согласно таблице П.2.

4. Задание уставок АПВ выполняется при помощи микропереключателя S1 согласно таблице П.4.

5. Задание уставок тока ЗНЗ выполняется при помощи микропереключателя S8 согласно таблице П.5.

6. Задание уставок времени ЗНЗ выполняется при помощи микропереключателя S7 согласно таблице П.6.

7. Задание уставок тока защиты от перегрузки выполняется при помощи микропереключателя S6 согласно таблице П.7.

8. Задание задержки отсечки выполняется при помощи рычажка 8 микропереключателя S4. Положение ON соответствует времени срабатывания

70–100мс. Положение OFF соответствует времени срабатывания 150–200мс.

При необходимости отключить отсечку следует переместить рычажок 4 микропереключателя S5 в положение OFF.

Выбор характеристики срабатывания выполняется при помощи рычажков

1, 2, 3 микропереключателя S5. Рычажок 1 в положении ON задает независимую характеристику срабатывания (9.1). Рычажок 2 в положении ON задает нормальную зависимую характеристику срабатывания (9.2). Рычажок 3 в положении ON задает крутую зависимую характеристику срабатывания (9.3).

Следует помнить, что в положении ON одновременно может находиться только один из рычажков.

Изменение уставок в процессе эксплуатации

В процессе эксплуатации может возникнуть необходимость в изменении уставок и характеристик устройства. При этом источник входного тока устройства может быть выключен или включен.

1. Изменение уставок и характеристик при выключенном источнике тока.

Изменение осуществляется в соответствии с разделом 2.13.

2. Изменение уставок и характеристик устройства, находящихся под током.

2.1. Изменение уставок отсечки, времени МТЗ и ЗНЗ, АПВ, изменение времени задержки отсечки, введение или снятие блокировки отсечки, изменение характеристик срабатывания осуществляются аналогично п.1 раздела 2.14.

2.2. Для изменения уставок тока МТЗ и ЗНЗ сначала перемещают необходимые рычажки в положение ON, а затем перемещают необходимые рычажки в положение OFF.

Пример. Диапазон уставок МТЗ – 1–2,27А. Старая уставка – 1,24А, новая уставка – 1,12А. Для старой уставки в положении ON находятся рычажки 4,5 (микрореле S4).

1. Определяем рычажки, которые должны находиться в положении ON для новой уставки. Это рычажки 3, 4.

2. Перемещаем в положение ON рычажок 3. В результате в положении ON будут рычажки 3, 4, 5.

3. Перемещаем в положение OFF рычажок 5. Получаем требуемое положение рычажков.

2.6. Техническое обслуживание

Необходимо периодически осматривать состояние клемм для внешних подключений, не допускать их загрязнения.

Один раз в три года рекомендуется перепроверять основные технические характеристики.

3. Описание лабораторного стенда.



Рис. 9.5. Внешний вид лабораторного стенда

На стенде (рис.9.5) смонтированы цифровое реле УЗА–АТ, измерительные приборы, приведена схема внутренних соединений реле. На лицевой панели стенда изображена схема защищаемой линии.

4. Рабочее задание

1. Ознакомиться с техническим описанием, изучить принцип действия, конструкцию и технические характеристики микроэлектронного устройства защиты типа УЗА–АТ.

2. Изучить принципы действия защит, обеспечиваемых устройством защиты УЗА–АТ.

3. Изучить схему подключения устройства защиты УЗА–АТ.

4. Освоить методику выставления уставок на устройстве защиты УЗА–АТ.

5. Выставить уставки:

- а) тока МТЗ;
- б) тока отсечки;
- в) времени срабатывания МТЗ;
- г) АПВ;
- д) тока ЗНЗ;
- е) времени срабатывания ЗНЗ;
- ж) тока защиты от перегрузки.

Выбор варианта задается преподавателем.

5. Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Назначение устройства защиты типа УЗА–АТ.
3. Функции, выполняемые устройством защиты типа УЗА–АТ.

4. Схема привязки устройства УЗА–АТ к измерительным трансформаторам тока и напряжения для обеспечения защит отходящей линии напряжением 10кВ.

5. Набор уставок МТЗ, ТО, ЗНЗ и защиты от перегрузки (по варианту).

6. Контрольные вопросы

1. Назначение устройства защиты типа УЗА–АТ.
2. Функции, выполняемые устройством защиты типа УЗА–АТ.
3. Диапазоны уставок срабатывания, обеспечиваемые устройством защиты типа УЗА–АТ.

4. Характеристики зависимости времени срабатывания от кратности тока срабатывания.

5. В каких случаях применяются характеристики (9.1, 9.2 и 9.3)?

6. Принцип действия МТЗ и ТО.

7. Принцип действия АПВ.

8. Принцип действия ЗНЗ.

9. Принцип действия защиты от перегрузки.

10. Схема подключения устройства защиты типа УЗА–АТ к цепям тока и оперативным цепям.

11. Подготовка устройства защиты типа УЗА–АТ к работе и техническое обслуживание.

12. Как изменить уставки устройства защиты типа УЗА–АТ в процессе эксплуатации?

ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица П1

Положение рычажков микропереключателя S4
в зависимости от значения уставки тока МТЗ

Значения уставок				Рычажки переключателя S4								Значения уставок тока, А				Рычажки переключателя S4							
1-2	2-4	4-8	8-16	7	6	5	4	3	2	1	1-2	2-4	4-8	8-16	7	6	5	4	3	2	1		
1	2	4	8	-	-	-	-	-	-	-	1,7	3,4	6,8	13,6	+	-	-	-	+	+	-		
1,05	2,1	4,2	8,4	-	-	-	-	+	-	+	1,75	3,5	7	14	+	-	-	+	-	+	+		
1,1	2,2	4,4	8,8	-	-	-	+	-	+	-	1,8	3,6	7,2	14,4	+	-	+	-	-	-	-		
1,15	2,3	4,6	9,2	-	-	-	+	+	+	+	1,85	3,7	7,4	14,8	+	-	+	-	+	-	+		
1,2	2,4	4,8	9,6	-	-	+	-	+	-	-	1,9	3,8	7,6	15,2	+	-	+	+	-	+	-		
1,25	2,5	5	10	-	-	+	+	-	-	+	1,95	3,9	7,8	15,6	+	-	+	+	+	+	+		
1,3	2,6	5,2	10,4	-	-	+	+	+	+	-	2	4	8	16	+	+	-	-	+	-	-		
1,35	2,7	5,4	10,8	-	+	-	-	-	+	+	2,05	4,1	8,2	16,4	+	+	-	+	-	-	+		
1,4	2,8	5,6	11,2	-	+	-	+	-	-	-	2,1	4,2	8,4	16,8	+	+	-	+	+	+	-		
1,45	2,9	5,8	11,6	-	+	-	+	+	-	+	2,15	4,3	8,6	17,2	+	+	+	-	-	+	+		
1,5	3	6	12	-	+	+	-	-	+	-	2,2	4,4	8,8	17,6	+	+	+	+	-	-	-		
1,55	3,1	6,2	12,4	-	+	+	-	+	+	+	2,25	4,5	9	18	+	+	+	+	+	-	+		
1,6	3,2	6,4	12,8	-	+	+	+	+	-	-													
1,65	3,3	6,6	13,2	+	-	-	-	-	-	+													

Примечание. «+» – рычажок установлен в положение ON; «-» – рычажок установлен в положение OFF.

Таблица П2

Положение рычажков микропереключателя S3
в зависимости от значения уставки времени МТЗ

Уст. врем.									Рычажки переключателя S3								Уст. врем.									Рычажки переключателя S3									
с	8	7	6	5	4	3	2	1	с	8	7	6	5	4	3	2	1	с	8	7	6	5	4	3	2	1	с	8	7	6	5	4	3	2	1
0,3	+	+	+	+	+	+	+	+	9,0	+	-	+	-	+	-	-	-	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-							
0,5	+	+	+	+	+	+	+	+	9,5	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+							
0,7	+	+	+	+	+	+	+	+	10,0	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+							
1,0	+	+	+	+	+	+	+	+	10,5	+	-	+	-	+	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	+							
1,2	+	+	+	+	+	+	+	+	11,0	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-							
1,5	+	+	+	+	+	+	+	+	11,5	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+							
1,8	+	+	+	+	+	+	+	+	12,0	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-							
2,0	+	+	+	+	+	+	+	+	12,5	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-							
2,3	+	+	+	+	+	+	+	+	13,0	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-							
2,5	+	+	+	+	+	+	+	+	13,5	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-							
2,8	+	+	+	+	+	+	+	+	14,0	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-							
3,0	+	+	+	+	+	+	+	+	14,5	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-							
3,3	+	+	+	+	+	+	+	+	15,0	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-							

Окончание таблицы П2

Уст. врем.					Рычажки переключателя S3				Уст. врем.					Рычажки переключателя S3			
с	8	7	6	5	4	3	2	1	с	8	7	6	5	4	3	2	1
3,5	+	+	-	+	+	+	+	+	15,5	-	+	+	-	-	+	+	+
3,8	+	+	-	+	+	+	-	-	16,0	-	+	+	-	-	-	+	-
4,0	+	+	-	+	+	-	+	-	16,5	-	+	-	+	+	+	-	+
4,3	+	+	-	+	-	+	+	+	17,0	-	+	-	+	+	-	-	-
4,5	+	+	-	+	-	+	-	+	17,5	-	+	-	+	-	-	+	+
4,8	+	+	-	+	-	-	+	-	18,0	-	+	-	-	+	+	+	-
5,0	+	+	-	+	-	-	-	-	19,0	-	+	-	-	+	+	-	-

Примечание. «+» – рычажок установлен в положение ON; «-» – рычажок установлен в положение OFF.

Таблица П3

Положение рычажков микропереключателя S2
в зависимости от значения уставки ТО

Уставки отсечки	Рычажки переключателя S2						Уставки отсечки	Рычажки переключателя S2						Уставки отсечки	Рычажки переключателя S2						
	крат.	6	5	4	3	2		1	крат.	6	5	4	3		2	1	крат.	6	5	4	3
2	-	-	-	-	-	-	7,5	-	+	-	+	+	-	13	+	-	+	+	-	-	-
2,25	-	-	-	-	-	+	7,75	-	+	-	+	+	+	13,25	+	-	+	+	-	+	+
2,5	-	-	-	-	+	-	8	-	+	+	-	-	-	13,5	+	-	+	+	+	+	-
2,75	-	-	-	-	+	+	8,25	-	+	+	-	-	+	13,75	+	-	+	+	+	+	+
3	-	-	-	+	-	-	8,5	-	+	+	-	+	-	14	+	+	-	-	-	-	-
3,25	-	-	-	+	-	+	8,75	-	+	+	-	+	+	14,25	+	+	-	-	-	-	+
3,5	-	-	-	+	+	-	9	-	+	+	+	-	-	14,5	+	+	-	-	+	-	-
3,75	-	-	-	+	+	+	9,25	-	+	+	+	-	+	14,75	+	+	-	-	+	+	+
4	-	-	+	-	-	-	9,5	-	+	+	+	+	-	15	+	+	-	+	-	-	-
4,25	-	-	+	-	-	+	9,75	-	+	+	+	+	+	15,25	+	+	-	+	-	+	+
4,5	-	-	+	-	+	-	10	+	-	-	-	-	-	15,5	+	+	-	+	+	+	-
4,75	-	-	+	-	+	+	10,25	+	-	-	-	-	+	15,75	+	+	-	+	+	+	+
5	-	-	+	+	-	-	10,5	+	-	-	-	+	-	16	+	+	+	-	-	-	-
5,25	-	-	+	+	-	+	10,75	+	-	-	-	+	+	16,25	+	+	+	-	-	+	+
5,5	-	-	+	+	+	-	11	+	-	-	+	-	-	16,5	+	+	+	-	+	-	-
5,75	-	-	+	+	+	+	11,25	+	-	-	+	-	+	16,75	+	+	+	-	+	+	+
6	-	+	-	-	-	-	11,5	+	-	-	+	+	-	17	+	+	+	+	-	-	-
6,25	-	+	-	-	-	+	11,75	+	-	-	+	+	+	17,25	+	+	+	+	-	+	+
6,5	-	+	-	-	+	-	12	+	-	+	-	-	-	17,5	+	+	+	+	+	+	-
6,75	-	+	-	-	+	+	12,25	+	-	+	-	-	+	17,75	+	+	+	+	+	+	+
7	-	+	-	+	-	-	12,5	+	-	+	-	+	-								
7,25	-	+	-	+	-	+	12,75	+	-	+	-	+	+								

Примечание. «+» – рычажок установлен в положение ON; «-» – рычажок установлен в положение OFF.

Таблица П4

Положение рычажков микропереключателя S1
в зависимости от значения уставки АПВ

Уставки АПВ	Рычажки переключателя S1				Уставки АПВ	Рычажки переключателя S1				Уставки АПВ	Рычажки переключателя S1			
	4	3	2	1		с	4	3	2		1	с	4	3
С	+	+	+	+	с	+	-	-	+	6	-	+	-	-
0,5	+	+	+	+	3,5	+	-	-	+	6,5	-	-	+	+
1	+	+	+	-	4	+	-	-	-	7	-	-	+	-
1,5	+	+	-	+	4,5	-	+	+	+	7,5	-	-	-	+
2	+	+	-	-	5	-	+	+	-	8	-	-	-	-
2,5	+	-	+	+	5,5	-	+	-	+					
3	+	-	+	-										

Примечание. «+» – рычажок установлен в положение ON; «-» – рычажок установлен в положение OFF.

Таблица П5

Положение рычажков микропереключателя S8
в зависимости от значения уставки тока ЗНЗ

Значения уставок тока						Рычажки переключателя S8					
0,05/0,4 mA		0,15/1,2 mA		0,5/4 A							
9,10	8,9	9,10	8,9	9,10	8,9	6	5	4	3	2	1
50	100	150	300	0,5	1	-	-	-	-	-	-
55	110	165	330	0,55	1,1	-	-	-	-	+	-
60	120	180	360	0,6	1,2	-	-	-	+	-	-
65	130	195	390	0,65	1,3	-	-	-	+	+	-
70	140	210	420	0,7	1,4	-	-	+	-	-	-
75	150	225	450	0,75	1,5	-	-	+	-	+	-
80	160	240	480	0,8	1,6	-	-	+	+	-	-
85	170	255	510	0,85	1,7	-	-	+	+	+	-
90	180	270	540	0,9	1,8	-	+	-	-	-	-
95	190	285	570	0,95	1,9	-	+	-	-	+	-
100	200	300	600	1,0	2	-	+	-	+	-	-
105	210	315	630	1,05	2,1	-	+	-	+	+	-
110	220	330	660	1,1	2,2	-	+	+	-	-	-
115	230	345	690	1,15	2,3	-	+	+	-	+	-
120	240	360	720	1,2	2,4	-	+	+	+	-	-
125	250	375	750	1,225	2,5	-	+	+	+	+	-
130	260	390	780	1,3	2,6	+	-	-	-	-	-
135	270	405	810	1,35	2,7	+	-	-	-	+	-
140	280	420	840	1,4	2,8	+	-	-	+	-	-
145	290	435	870	1,45	2,9	+	-	-	+	+	-
150	300	450	900	1,5	3	+	-	+	-	-	-

Окончание таблицы П5

Значения уставок тока						Рычажки					
0,05/0,4 mA		0,15/1,2 mA		0,5/4 A		переключателя S8					
9,10	8,9	9,10	8,9	9,10	8,9	6	5	4	3	2	1
155	310	465	930	1,55	3,1	+	-	+	-	+	-
160	320	480	960	1,6	3,2	+	-	+	+	-	-
165	330	495	990	1,65	3,3	+	-	+	+	+	-
170	340	510	1020	1,7	3,4	+	+	-	-	-	-
175	350	525	1050	1,75	3,5	+	+	-	-	+	-
180	360	540	1080	1,8	3,6	+	+	-	+	-	-
185	370	555	1110	1,85	3,7	+	+	-	+	+	-
190	380	570	1140	1,9	3,8	+	+	+	-	-	-
195	390	585	1170	1,95	3,9	+	+	+	-	+	-
200	400	600	1200	2	4	+	+	+	+	-	-
205	410	615	1230	2,05	4,1	+	+	+	+	+	-

Примечание. «+» – рычажок установлен в положение ON; «-» – рычажок установлен в положение OFF; 9,10 – подключение 3Io к клеммам 9 и 10 (приложение 2); 8,9 – подключение 3Io к клеммам 8 и 9 (приложение 2).

Таблица П6

Положение рычажков микропереключателя S7
в зависимости от значения уставки времени ЗНЗ

Уставки времени	Рычажки						Уставки времени	Рычажки						Уставки времени	Рычажки					
	переключателя S7							переключателя S7							переключателя S7					
с	6	5	4	3	2	1	с	6	5	4	3	2	1	с	6	5	4	3	2	1
0,1	+	+	+	+	+	+	2,3	+	-	+	-	-	+	4,5	-	+	-	-	+	+
0,2	+	+	+	+	+	-	2,4	+	-	+	-	-	-	4,6	-	+	-	-	+	-
0,3	+	+	+	+	-	+	2,5	+	-	-	+	+	+	4,7	-	+	-	-	-	+
0,4	+	+	+	+	-	-	2,6	+	-	-	+	+	-	4,8	-	+	-	-	-	-
0,5	+	+	+	-	+	+	2,7	+	-	-	+	-	+	4,9	-	-	+	+	+	+
0,6	+	+	+	-	+	-	2,8	+	-	-	+	-	-	5,0	-	-	+	+	+	-
0,7	+	+	+	-	-	+	2,9	+	-	-	-	+	+	5,1	-	-	+	+	-	+
0,8	+	+	+	-	-	-	3,0	+	-	-	-	+	-	5,2	-	-	+	+	-	-
0,9	+	+	-	+	+	+	3,1	+	-	-	-	-	+	5,3	-	-	+	-	+	+
1,0	+	+	-	+	+	-	3,2	+	-	-	-	-	-	5,4	-	-	+	-	+	-
1,1	+	+	-	+	-	+	3,3	-	+	+	+	+	+	5,5	-	-	+	-	-	+
1,2	+	+	-	+	-	-	3,4	-	+	+	+	+	-	5,6	-	-	+	-	-	-
1,3	+	+	-	-	+	+	3,5	-	+	+	+	-	+	5,7	-	-	-	+	+	+
1,4	+	+	-	-	+	-	3,6	-	+	+	+	-	-	5,8	-	-	-	+	+	-
1,5	+	+	-	-	-	+	3,7	-	+	+	-	+	+	5,9	-	-	-	+	-	+
1,6	+	+	-	-	-	-	3,8	-	+	+	-	+	-	6,0	-	-	-	+	-	-
1,7	+	-	+	+	+	+	3,9	-	+	+	-	-	+	6,1	-	-	-	-	+	+

Окончание таблицы П6

Уставки времени	Рычажки переключателя S7						Уставки времени	Рычажки переключателя S7						Уставки времени	Рычажки переключателя S7					
с	6	5	4	3	2	1	с	6	5	4	3	2	1	с	6	5	4	3	2	1
1,8	+	-	+	+	+	-	4,0	-	+	+	-	-	-	6,2	-	-	-	-	+	-
1,9	+	-	+	+	-	+	4,1	-	+	-	+	+	+	6,3	-	-	-	-	-	+
2,0	+	-	+	+	-	-	4,2	-	+	-	+	+	-	6,4	-	-	-	-	-	-
2,1	+	-	+	-	+	+	4,3	-	+	-	+	-	+							
2,2	+	-	+	-	+	-	4,4	-	+	-	+	-	-							

Примечание. «+» – рычажок установлен в положение ON; «-» – рычажок установлен в положение OFF.

Таблица П7

Положение рычажков микропереключателя S6

в зависимости от значения уставки тока защиты от перегрузки

Уставки тока	Рычажки переключателя S6						Уставки тока	Рычажки переключателя S6						Уставки тока	Рычажки переключателя S6					
крат.	6	5	4	3	2	1	крат.	6	5	4	3	2	1	крат.	6	5	4	3	2	1
1	-	-	-	-	-	-	3,2	-	+	-	+	+	-	5,4	+	-	+	+	-	-
1,1	-	-	-	-	-	+	3,3	-	+	-	+	+	+	5,5	+	-	+	+	-	+
1,2	-	-	-	-	+	-	3,4	-	+	+	-	-	-	5,6	+	-	+	+	+	-
1,3	-	-	-	-	+	+	3,5	-	+	+	-	-	+	5,7	+	-	+	+	+	+
1,4	-	-	-	+	-	-	3,6	-	+	+	-	+	-	5,8	+	+	-	-	-	-
1,5	-	-	-	+	-	+	3,7	-	+	+	-	+	+	5,9	+	+	-	-	-	+
1,6	-	-	-	+	+	-	3,8	-	+	+	+	-	-	6	+	+	-	-	+	-
1,7	-	-	-	+	+	+	3,9	-	+	+	+	-	+	6,1	+	+	-	-	+	+
1,8	-	-	+	-	-	-	4	-	+	+	+	+	-	6,2	+	+	-	+	-	-
1,9	-	-	+	-	-	+	4,1	-	+	+	+	+	+	6,3	+	+	-	+	-	+
2	-	-	+	-	+	-	4,2	+	-	-	-	-	-	6,4	+	+	-	+	+	-
2,1	-	-	+	-	+	+	4,3	+	-	-	-	-	+	6,5	+	+	-	+	+	+
2,2	-	-	+	+	-	-	4,4	+	-	-	-	+	-	6,6	+	+	+	-	-	-
2,3	-	-	+	+	-	+	4,5	+	-	-	-	+	+	6,7	+	+	+	-	-	+
2,4	-	-	+	+	+	-	4,6	+	-	-	+	-	-	6,8	+	+	+	-	+	-
2,5	-	-	+	+	+	+	4,7	+	-	-	+	-	+	6,9	+	+	+	-	+	+
2,6	-	+	-	-	-	-	4,8	+	-	-	+	+	-	7	+	+	+	+	-	-
2,7	-	+	-	-	-	+	4,9	+	-	-	+	+	+	7,1	+	+	+	+	-	+
2,8	-	+	-	-	+	-	5	+	-	+	-	-	-	7,2	+	+	+	+	+	-
2,9	-	+	-	-	+	+	5,1	+	-	+	-	-	+	7,3	+	+	+	+	+	+
3	-	+	-	+	-	-	5,2	+	-	+	-	+	-							
3,1	-	+	-	+	-	+	5,3	+	-	+	-	+	+							

Примечание. «+» – рычажок установлен в положение ON; «-» – рычажок установлен в положение OFF.

Лабораторная работа № 10

МАКСИМАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА

1. Цель работы

Ознакомление с принципом действия, расчетом уставок, основными схемами максимальной токовой защиты отходящей линии, выполненной на постоянном оперативном токе.

2. Краткая теория

2.1. Принцип действия максимальной токовой защиты

Максимальная токовая защита (МТЗ) контролирует ток в защищаемом элементе, отстраивается от тока нагрузки и при превышении тока в защищаемом элементе тока уставки пускового органа реле, с выдержкой времени действует на отключение этого элемента. Как правило, МТЗ является основной, а иногда единственной защитой линий напряжением 6–35кВ. МТЗ – это защита, которая не только обеспечивает отключение КЗ на своей линии, но, если позволяет ее чувствительность, еще и резервирует отключение КЗ смежного участка.

Комплекты защит АК1, АК2, АК3 (рис. 10.1) установлены в начале каждой линии. Каждая из защит линий W1, W2 и W3 действует на отключение выключателя соответствующей линии при повреждении на ней или на шинах противоположной (смежной) подстанции. В нормальном режиме работы сети ни одна из защит не должна срабатывать. Для этого ток срабатывания защит $I_{сз}$ принимается большим, чем ток, проходящий по защищаемой линии в максимальном режиме $I_{нагр.мах}$.

При возникновении КЗ в точке К по участкам сети между источником G и точкой КЗ протекает ток КЗ. Этот ток протекает в защитах АК1, АК2, АК3, которые приходят в действие. При этом:

- срабатывает одно или несколько (в зависимости от вида КЗ) реле тока КА, замыкая цепь катушки реле времени КТ;
- срабатывает реле времени КТ и обеспечивает селективность действия МТЗ.

Однако для рассматриваемого случая по условию селективности на отключение КЗ должна подействовать защита АК1. Это достигается тем, что защита АК1 имеет наименьшую выдержку времени. Защита АК2 имеет выдержку времени на ступень селек-

тивности Δt большую, чем защита АК1, а защита АК3 имеет выдержку времени на ступень селективности Δt большую, чем защита АК2.

Таким образом, селективность МТЗ обеспечивается ее выдержкой времени. Выдержки времени смежных МТЗ отличаются на величину, называемую ступенью селективности. Ступень селективности Δt – это минимально возможная разница между временами срабатывания смежных защит, учитывающая точность работы реле. Для защит, выполненных на электромеханической базе ступень селективности Δt составляет 0,5–0,7с. Микропроцессорные защиты позволяют обеспечить ступень селективности равную 0,2–0,3с.

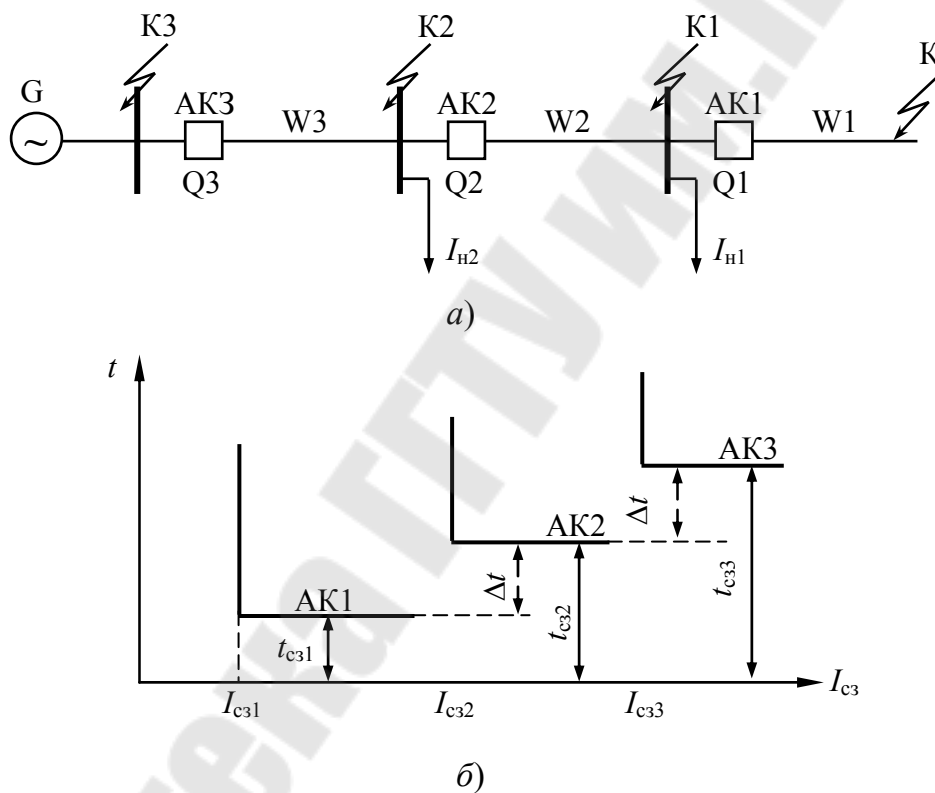


Рис. 10.1. Расчетная схема для выбора уставок токовых защит (а) и карта селективности для МТЗ с независимой выдержкой времени (б); АК2–последующая защита; АК1–предыдущая защита.

Недостатком МТЗ является то, что по мере приближения места установки защиты к источнику питания увеличивается ее выдержка времени. Так как при этом увеличивается и величина тока КЗ, объем повреждения возрастает.

МТЗ могут выполняться с выдержками времени, не зависящими

от тока в защищаемом участке (рис.10.2, кривая 1). Такие защиты при повреждении в любой точке защищаемого участка действуют с постоянной не зависящей от тока выдержкой времени. В таких МТЗ выдержка времени создается реле времени, а защиту называют МТЗ с независимой характеристикой времени срабатывания.

МТЗ могут выполняться с выдержками времени, зависящими от тока в защищаемом участке (рис.10.2, кривая 2). При этом время срабатывания МТЗ не остается постоянным при изменении в ней тока. По мере увеличения тока время срабатывания МТЗ уменьшается. Такой характер изменения выдержек времени имеют МТЗ с плавкими предохранителями, с индукционными реле тока или с цифровыми реле.

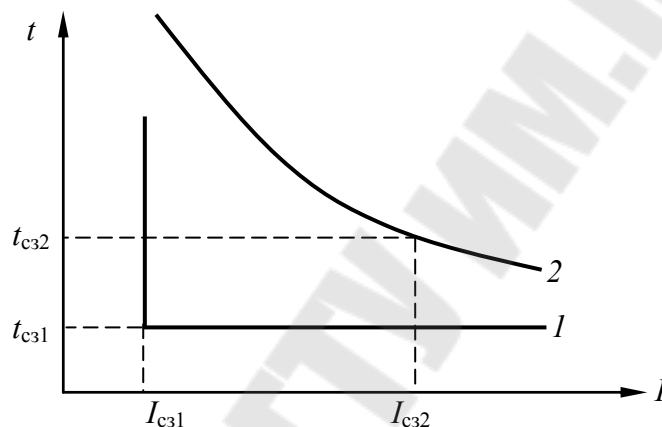


Рис. 10.2 Независимая (1) и зависящая (2) характеристики времени срабатывания МТЗ

Задачей МТЗ является не только защитить свою линию, но и обеспечить дальнейшее резервирование в случае отказа защиты или выключателя при повреждениях на нижестоящих (предыдущих) линиях.

Расчет уставок МТЗ с независимой характеристикой заключается в выборе тока срабатывания защиты (первичного), тока срабатывания реле (для принятой схемы защиты и типа реле), времени срабатывания защиты.

2.2. Расчет тока срабатывания МТЗ от междуфазных КЗ

Ток срабатывания МТЗ (первичный) выбирается по трем условиям:

1. Несрабатывание защиты на отключение защищаемой линии при послеаварийных перегрузках, т.е. после отключения КЗ на предыдущем элементе;

2.Согласование чувствительности защит последующего и предыдущего элементов;

3.Обеспечение достаточной чувствительности при КЗ в конце защищаемого элемента (основная зона) и в конце каждого из предыдущих элементов (зона дальнего резервирования).

По первому из этих условий ток срабатывания МТЗ выбирается по выражению:

$$I_{с.з} \geq \frac{K_n}{K_b} \cdot K_{сзн} \cdot I_{раб.макс} \quad (10.1)$$

где K_n – коэффициент надежности защиты, учитывающий погрешность и необходимый запас. Величина K_n принимается: $K_n=1,2$ для реле тока РТ–40, РТ–80, РСТ;

K_b – коэффициент возврата максимальных реле тока. Величина K_b принимается: $K_b=0,8$ для реле РТ–40, РТ–80; $K_b=0,9$ для реле РСТ;

$K_{сзн}$ – коэффициент самозапуска нагрузки, отражающий увеличение рабочего тока $I_{раб.макс}$ за счет одновременного пуска электродвигателей, которые затормозились при снижении напряжения во время КЗ.

Для общепромышленной нагрузки принимают $K_{сзн}=1,8–2,5$.

Максимальное значение рабочего тока защищаемого элемента $I_{раб.макс}$ определяется с учетом его допустимой перегрузки. Например, для трансформаторов с первичным напряжением 610кВ мощностью до 630кВ·А допускается перегрузка до 1,6–1,8 номинального тока, для трансформаторов 110кВ до 1,4–1,6.

Если максимальное значение рабочего тока нагрузки неизвестно, то его можно принять равным длительно допустимому току кабельной или воздушной линии, питающей эту нагрузку.

По второму условию согласования чувствительности защит последующего (защищаемого) и предыдущего элементов ток срабатывания последующей защиты выбирается по выражению:

$$I_{с.з.посл} \geq K_{н.с} (I_{с.з.пред} + \sum I'_{раб.макс}) \quad (10.2)$$

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

$I_{с.з.пред}$ – наибольшее значение тока срабатывания максимальных токовых защит предыдущих элементов, с которыми производятся согласования;

$\sum I'_{\text{раб.маx}}$ – арифметическая сумма значений рабочих токов нагрузки всех предыдущих элементов, за исключением того элемента, с защитой которого производится согласование.

Например, при согласовании защиты 3PЗ с защитой 2PЗ (рис.10.1), которая имеет ток срабатывания $I_{\text{с.з.2}} = 300 \text{ А}$, а суммарный ток нагрузки других линий $I_{\text{н.2}} = 100 \text{ А}$ должно выполняться условие:

$$I_{\text{с.з.3}} \geq 1,1(300 + 100) \geq 440 \text{ А}.$$

За расчетный ток срабатывания защиты принимается значение наибольшего тока, из условий 1 и 2.

Таким образом, уставка по току МТЗ предыдущего элемента должна всегда быть больше уставки МТЗ последующего элемента, что некоторым образом обеспечивает так называемую токовую селективность.

Для выполнения третьего условия необходимо знать значение токов КЗ в конце защищаемого элемента, например для защиты АКЗ необходимо знать ток $I_{\text{к2}}$ и ток $I_{\text{к1}}$ в конце зоны резервирования. Определение коэффициентов чувствительности защиты, например, АКЗ (рис.10.1) производят по выражениям:

$$K_{\text{ч.о}} = I_{\text{к2.min}} / I_{\text{с.з.}}; \quad K_{\text{ч.р}} = I_{\text{к1.min}} / I_{\text{с.з.}}, \quad (10.3)$$

где $K_{\text{ч.о}}$, $K_{\text{ч.р}}$ – коэффициенты чувствительности защиты соответственно в основной и резервной зонах;

$I_{\text{к1.min}}$, $I_{\text{к2.min}}$ – минимальные токи КЗ (обычно – двухфазные при минимальном режиме питающей системы).

Согласно ПУЭ должны выполняться требования:

$$K_{\text{ч.о}} \geq 1,5; \quad K_{\text{ч.р}} \geq 1,2.$$

Величина $K_{\text{ч}}$, ниже рекомендованных ПУЭ, не допускается, т.к. действительный ток в реле при КЗ может оказаться меньше расчетного $I_{\text{к min}}$ вследствие неточности расчетов токов КЗ, влияния сопротивления дуги в точке повреждения и погрешностей ТТ.

После выполнения трех вышеназванных условий определяется ток срабатывания реле (вторичный) $I_{\text{с.р}}$, который устанавливается на реле. Значение тока срабатывания реле рассчитывается по выражению:

$$I_{\text{с.р}} = I_{\text{с.з.}} \cdot K_{\text{сх}} / K_{\text{Т}}, \quad (10.4)$$

где $I_{\text{с.з.}}$ – ток срабатывания защиты (первичный);

K_T – коэффициент трансформации ТТ;

$K_{сх}$ – коэффициент схемы соединения вторичных обмоток ТТ и реле.

По значению $I_{с.р}$ выбирают тип электромеханического реле РТ–40 или его электронного аналога РСТ в зависимости от пределов регулирования уставок.

2.3. Выбор времени срабатывания МТЗ

Выдержка времени МТЗ вводится для замедления действия защиты с целью обеспечения временной селективности действия защиты последующего элемента по отношению к защитами предыдущих элементов. Для этого время срабатывания защиты последующей линии выбирается большей времени срабатывания защиты предыдущей линии (защита АК2 последующая по отношению к защите АК1, так же как и АК3 по отношению к АК2, рис.10.1):

$$t_{с.з.посл} = t_{с.з.пред} + \Delta t, \quad (10.5)$$

где $t_{с.з.пред}$ – время срабатывания предыдущей защиты (защита АК2 на рис.10.1);

Δt – ступень селективности. Значение Δt для защит с независимой характеристикой определяется точностью работы реле времени. Точность работы современных электромеханических реле времени с часовым механизмом серии РВ снижается с увеличением диапазона уставок по шкале. Поэтому не следует при значениях $t_{с.з.}$, составляющих менее 3,5с, применять реле с увеличенным диапазоном измерений (9 или 20с.). В практических расчетах для защит смежных элементов с использованием реле РВ–100 (пределы измерений 1,3 и 3,5с.) принимается среднее значение $\Delta t=0,4с$. Если предыдущая защита выполнена без реле времени, то допустимо при необходимости принимать $\Delta t=0,3с$. Если предыдущая защита выполнена с реле времени РВ–120, а последующая – с реле РВ–130 (предел измерений 9с), то $\Delta t=0,5с$. При выполнении обеих согласуемых защит с реле РВ–130 ступень $\Delta t=0,6с$.

В редких случаях установки в последующей защите реле РВ–140 (предел измерений 20с) рекомендуется ступень равная $\Delta t=0,5–0,6с$.

При использовании полупроводниковых реле времени ступень селективности определяется в зависимости от паспортных данных этих реле. Опыт применения полупроводниковых органов выдержки

времени указывает на возможность применения в расчетах $\Delta t=0,3-0,4\text{с}$.

Для защит с электромеханическими реле, имеющими зависимую характеристику времени срабатывания, $\Delta t=0,6\text{с}$. (РТ–80, РТ–90). При выполнении защит на смежных элементах с независимой характеристикой или без замедления Δt может принимать несколько меньшей (0,5–0,6с).

Недостатком МТЗ является накопление выдержек времени, особенно существенное для головных элементов в многоступенчатых электрических сетях. Так на карте селективности (рис.10.1, б) для МТЗ с независимой выдержкой времени выдержка времени защиты АК2 составит $t_{\text{с.зАК2}} = t_{\text{с.зАК1}} + \Delta t$, а для защиты АК3 $t_{\text{с.зАК3}} = t_{\text{с.зАК2}} + \Delta t$.

Выбранное по условию селективности время срабатывания защиты проверяется обеспечением термической стойкости защищаемого элемента. Такая проверка является обязательной для трансформаторов, кабелей и рекомендуется для воздушных линий 6 и 10кВ с проводами малых сечений.

2.4. Схемы и общая оценка токовых защит

Для осуществления измерительной части токовой защиты можно использовать любую схему соединения измерительных ТТ и измерительных реле. Выбор схемы определяется назначением защиты и предъявляемыми к ней требованиями. Для изображения устройств защиты и автоматики используются принципиальные схемы.

Принципиальные (полные) схемы изображают в совмещенном и развернутом видах. На рис.10.3 показана принципиальная совмещенная схема, одинаковая для второй и для третьей ступеней защиты на постоянном оперативном токе. На схеме контакты и выводы обмоток реле даны в совмещенном виде так, что видна их взаимная принадлежность. Обычно наряду со схемой релейной защиты изображают схему первичных соединений защищаемого присоединения. По мере усложнения схем релейной защиты появляется большое количество реле, контактов и пересекающихся цепей, поэтому принципиальные совмещенные схемы теряют наглядность и становятся сложными. Схему можно упростить путем раздельного построения цепей переменного тока, цепей напряжения, цепей управления и др. Такой способ изображения схем называется развернутым.

На рис.10.4 изображена та же схема токовой защиты развернутым способом. В этой схеме реле как единого условного обозначения

не существует. В частности, контакты и обмотки реле тока размещаются в разных местах (контакты – в цепях управления, обмотки – в цепях тока). Их взаимная принадлежность определяется соответствующими буквенными или цифровыми обозначениями.

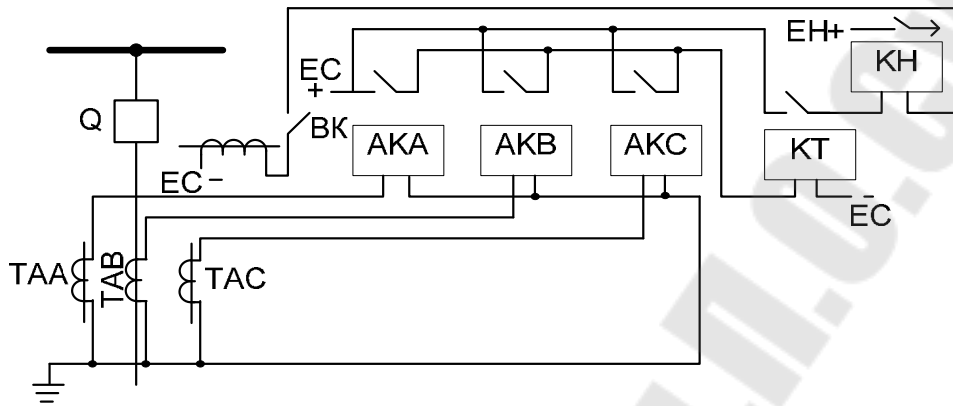


Рис.10.3. Пример принципиальной совмещенной схемы МТЗ

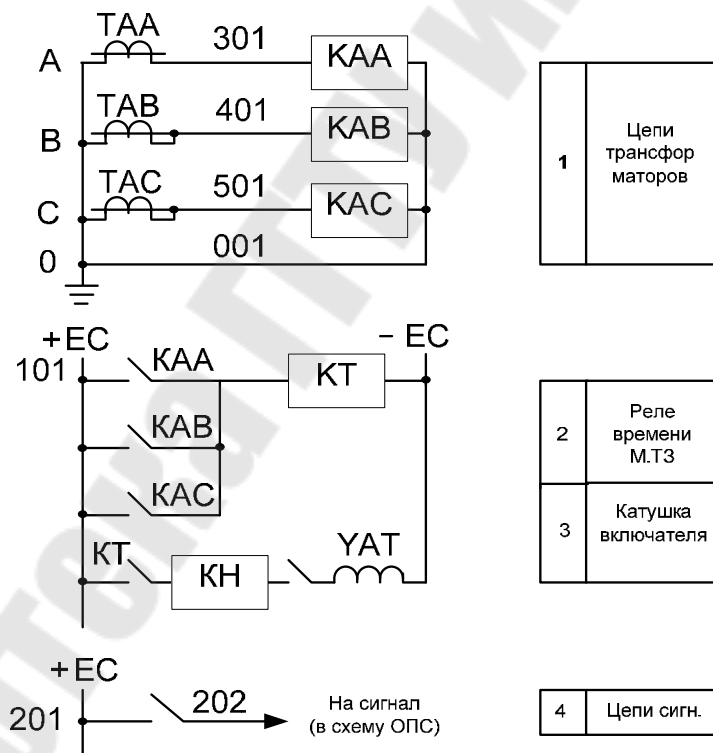


Рис.10.4. Пример принципиальной развернутой схемы МТЗ

Единые условные графические обозначения электрических аппаратов и их элементов, а также буквенно-цифровые обозначения регламентируются стандартами, в соответствии с которыми аппараты

обозначаются в положении, принятом за начальное, т.е. в отключенном (невозбужденном) состоянии.

Схема токовой защиты с независимой выдержкой времени на постоянном оперативном токе выполняется по схеме полной звезды (рис.10.8 или 10.9) с использованием трех ТТ ТАА, ТАВ и ТАС, установленных в фазах А, В и С за выключателем Q. Исходя из требований техники безопасности, вторичные обмотки ТТ заземляются. Измерительный орган защиты выполнен тремя максимальными реле тока КАА, КАВ и КАС типа РТ–40, а орган выдержки времени представляет собой реле времени КТ типа РВ–100. В схему защиты включено указательное реле КН типа РУ–1. При возникновении повреждения срабатывают реле тока КАА, КАВ, КАС (или одно, или два из них) и контактами КАА, КАВ, КАС (или одним из них) замыкают цепь обмотки реле времени КТ, приводя его в действие. По истечении установленной выдержки времени реле замыкает контакт КТ в цепи обмотки и отключает выключатель. При этом указательное реле КН фиксирует действие защиты на отключение. Контакт реле КТ не рассчитан на отключение тока, потребляемого электромагнитом отключения УАТ, поэтому в цепь электромагнита отключения последовательно с контактом реле КТ включен вспомогательный контакт выключателя Q, который размыкает цепь УАТ при отключении выключателя.

В защитах на основе полупроводниковой элементной базы используют те же схемы соединения измерительных органов, что и в рассмотренных защитах с электромеханическими реле, но для питания оперативных цепей применяют иные блоки питания.

В системах электроснабжения с изолированной нейтралью токовые защиты от междуфазных КЗ обычно выполняют по двухфазным двухрелейным схемам.

2.5. Общая оценка МТЗ

МТЗ сравнительно проста и достаточно надежна, поэтому она широко применяется в радиальных сетях всех напряжений с одним источником питания; в системах электроснабжения напряжением 6–35кВ она является основной защитой. Однако следует иметь в виду, что МТЗ со ступенчатой характеристикой выдержки времени обеспечивает селективное действие только в сетях с односторонним питанием. При этом чувствительность в ряде случаев оказывается недоста-

точной. Это Что часто имеет место в сетях сельскохозяйственного электроснабжения.

3. Описание лабораторного стенда

На лабораторном стенде (рис.10.5) смонтирована модель трехфазной радиальной системы электроснабжения с тремя промежуточными подстанциями, к шинам которых подключена нагрузка. Режим питающей системы электроснабжения можно изменять переключателем "Режим системы". Измерения тока производятся амперметрами. На стенде смонтирована МТЗ на трех подстанциях: на подстанции А, на подстанции Б и на подстанции В.



Рис.10.5 Внешний вид лабораторного стенда

4. Задание на работу

1. Тумблерами SA1, SA2 и SA3 вывести МТЗ из работы, прервав питание цепей оперативного тока.

2. Включить стенд. Измерить токи нагрузки, протекающие по защищаемым отходящим линиям в максимальном режиме работы системы, для чего:

– Переключатель «Режим работы системы» установить в положение МАКС.

– Включить выключатели Q1, Q2 и Q3.

– При включении выключателя Q3 определить ток самозапуска и установившийся ток, протекающие через комплекты МТЗ АК1, АК2 и АК3.

– Вычислить коэффициент самозапуска каждого комплекта защит по формуле $K_{сзн} = I_{сзн} / I_{\infty}$.

– Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 10.1.

Таблица 10.1

Токи, А	n/cm 1	Kсзн1	n/cm 2	Kсзн2	n/cm 3	Kсзн3
$I_{сзн}$						
I_{∞}						

3. Измерить токи КЗ в точках К1, К2 в минимальном режиме системы, для чего:

– Отключить стенд.

– Переключатель «Режим работы системы» установить в положение МИН.

– В точке К1 имитировать двухфазное КЗ.

– Включить стенд.

– Нажать кнопку КЗ и снять показания амперметра рА1. Кнопку КЗ нажимать кратковременно, чтобы не допустить перегрева током аппаратуры стенда.

– Отключить стенд.

– Снять перемычки с точки КЗ1 и в точке К2 имитировать двухфазное КЗ.

– Включить стенд.

– Нажать кнопку КЗ и снять показания амперметра рА2. Кнопку КЗ нажимать кратковременно, чтобы не допустить перегрева током аппаратуры стенда.

– Результаты измерений занести в таблицу 10.2.

Таблица 10.2

Точка КЗ	К1	К2
Ток двухфазного КЗ, А		

4. Рассчитать уставки срабатывания защиты и срабатывания реле подстанций А, Б по формуле (10.1), где

$K_n = 1,1$ – коэффициент надежности,

$K_{сзн1}$ – коэффициент самозапуска, который выбирается для соответствующего комплекта защит из таблицы 10.1,

$I_{\text{раб. макс.}} I = I_{\infty}$ – максимальный установившийся рабочий ток выбираемый из таблицы 10.1,

$K_v = 0,8$ – коэффициент возврата для реле типа РТ–40.

Рассчитанные $I_{сз}$ приводим к вторичной стороне трансформаторов тока через K_I :

$$I_{сз1} = \frac{K_{сх}}{K_{I1}} I_{сз1}; \quad I_{сз2} = \frac{K_{сх}}{K_{I2}} I_{сз2}; \quad I_{сз3} = \frac{K_{сх}}{K_{I3}} I_{сз3}.$$

где $K_{сх} = 1$ – коэффициент схемы (схема неполной звезды),

K_I – коэффициенты трансформации ТТ.

5. Рассчитать выдержки времени комплектов защит (МТЗ) АК1, АК2 и АК3 на подстанциях 1, 2 и 3, приняв степень селективности Δt в соответствии с рекомендациями 2.3.

6. Выставить рассчитанные уставки по току и времени срабатывания на соответствующих реле тока и времени .

7. Ввести МТЗ в работу тумблерами SA1, SA2 и SA3.

8. Произвести КЗ в точках К1 и К2 поочередно и описать взаимодействие реле каждого комплекта защит.

9. Составить карту селективности защит рассматриваемого участка сети, используя результаты расчетов по п.п. 4 и 5. Примерная карта селективности представлена на рис.10.6.

10. Определить коэффициент чувствительности защит по формуле (10.3) и сделать заключение о соответствии исследуемых защит требованиям ПУЭ.

Построение карты селективности для МТЗ с независимой характеристикой срабатывания.

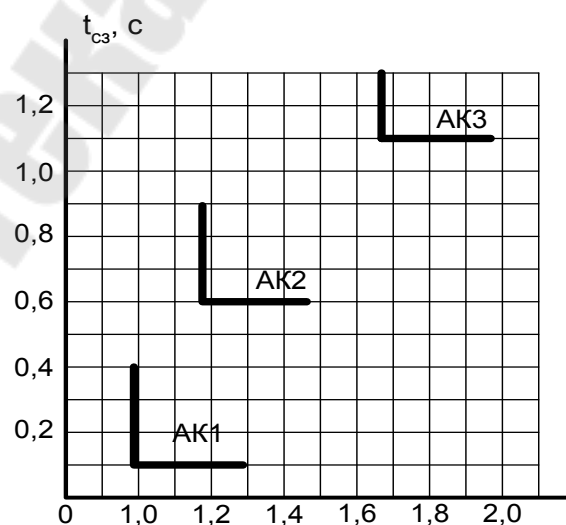


Рис.10.6. Карта селективности

5. Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Принципиальная совмещенная схема МТЗ для комплекта защиты 1.
3. Принципиальная развернутая схема МТЗ для комплекта защиты 2.
4. Результаты измерений в виде таблиц.
5. Расчет уставок МТЗ
6. Описание взаимодействия реле комплектов 1, 2 при КЗ в точках К1, К2.
7. Карта селективности в масштабе по результатам измерений и вычислений.
8. Расчет коэффициентов чувствительности и соответствие K_{ch} требованиям ПУЭ.
9. Выводы об области применения МТЗ.

6. Контрольные вопросы.

1. Область применения МТЗ.
2. Принцип действия МТЗ.
3. Что такое селективность защит?
4. Как в МТЗ обеспечивается селективность?
5. Как производится выбор тока срабатывания МТЗ?
6. Каков принцип выбора выдержек времени МТЗ?
7. Схема МТЗ на постоянном токе.
8. Что такое чувствительность МТЗ?
9. Требования ПУЭ к чувствительности МТЗ?
10. Достоинства МТЗ.
11. Недостатки МТЗ.

Лабораторная работа № 11

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ РЕЗЕРВНОГО ПИТАНИЯ

1. Цель работы

Ознакомление с принципом выполнения автоматического включения резервного питания (АВР) в системах электроснабжения.

2. Краткая теория

2.1. Общие сведения

Назначение. АВР предназначено для восстановления питания потребителей путем автоматического присоединения резервных источников питания при отключении рабочих источников, получивших повреждение, ошибочно отключенных и т.п.

Область применения. АВР применяется для автоматического включения резервного трансформатора, линии, секционного выключателя.

Недостатком одностороннего питания является то, что аварийное отключение рабочего источника приводит к прекращению питания потребителей, что может быть устранено быстрым автоматическим включением резервного источника. Простота схем и высокая эффективность обусловили широкое применение АВР в электрических сетях. Высокую степень надежности электроснабжения потребителей обеспечивают схемы питания одновременно от двух и более источников питания.

Для повышения надежности питания потребителей осуществляется их двухстороннее электроснабжение. В этом случае при повреждении одного из питающих элементов и его отключении работа потребителей будет продолжаться по исправным звеньям электрической системы. Вместе с тем, при двустороннем электроснабжении, выполненном путем кольцевания электрических сетей, релейная защита становится более сложной. Кроме того, усложняются условия работы аппаратуры вследствие увеличения токов КЗ.

Секционированная схема питания имеет следующие преимущества:

- существенно упрощает релейную защиту, повышает четкость ее работы;
- увеличивает остаточные напряжения подстанций при КЗ в распределительной сети;
- уменьшает величины токов КЗ;

- позволяет во многих случаях создавать необходимые режимы по условию уровня напряжения и перетоков мощности.

Основной недостаток секционированной схемы заключается в перерыве питания при повреждении питающих элементов. Этот недостаток в значительной степени устраняется автоматическим включением резервирующих элементов. Резервирующие элементы нормально могут быть отключены или находиться под напряжением, не имея нагрузки. Осуществление включения резерва при помощи ручных переключателей, производимых персоналом, приводит к длительному перерыву питания и сопряжено с нарушением технологического процесса производства.

Отключение источника основного питания вызывает торможение асинхронных электродвигателей, присоединенных к отключившейся секции шин, погасание осветительной нагрузки и поэтому, чем быстрее будет подано напряжение резервного источника, тем на меньшую величину снизится частота вращения электродвигателей, тем меньше будет ток при включении устройством АВР резервного источника и тем легче и быстрее произойдет самозапуск. Характер изменения во времени напряжения, частоты вращения двигателей и тока в процессе самозапуска показан на рис.11.1.

Для успешного самозапуска нужно, чтобы при подаче напряжения от резервного источника момент, развиваемый асинхронным двигателем, превышал момент сопротивления нагрузки.

Чрезмерно быстрая подача резервного напряжения (с временем менее 0,2с.) может привести к тому, что напряжение на зажимах асинхронных двигателей, поддерживаемое остаточным намагничиванием, еще не затухнет и произойдет несинхронное включение, опасное по условию механической сохранности двигателя. Поэтому минимальное значение бестоковой паузы АВР должно быть не менее 0,3–0,4с.

В качестве пускового органа АВР, выявляющего прекращение электропитания от основного источника и производящего отключение выключателя этого ввода, применяется реле напряжения, замыкающего свой контакт при снижении напряжения до 30–40% номинального значения. Реле напряжения действует на отключение со временем 0,5–2с. Это время отстроено от времени действия защит от КЗ. АВР производит включение резервного источника питания только при наличии на нем нормального напряжения, что проверяется при

помощи реле напряжения, подключенного к трансформатору напряжения резервного источника.

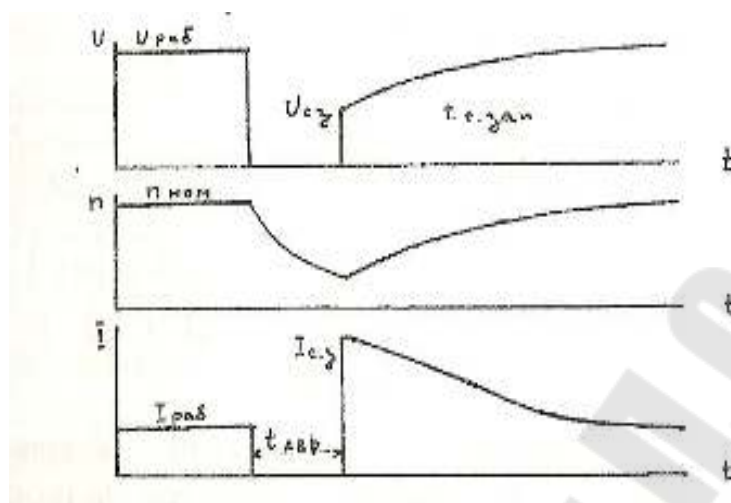


Рис.11.1. Характер изменения напряжения (а), частоты вращения (б) и тока статора (в) асинхронного электродвигателя в процессе самозапуска при действии АВР.

Следует иметь в виду, что пусковой орган АВР выполненный при помощи реле понижения напряжения оказывается неэффективным, если к шинам резервируемой секции подключены конденсаторные батареи или синхронные электродвигатели, которые при прекращении питания секции от основного источника поддерживают напряжение и замедляют действие АВР. Применение АВР для воздушных линий электропередачи не исключает установку на них АПВ и рассматривается как резервирующее мероприятие – отключаемая линия включается от устройства АПВ, а если работа АПВ оказывается неуспешной, то эта линия автоматически отключается со стороны источника и потребители устройством АВР получают питание от другой резервирующей линии.

Как показывает опыт эксплуатации, АВР является важным средством повышения надежности работы энергосистем. Успешность действия АВР составляет 90–95%.

Таким образом технический и экономический эффект применения АВР заключается в следующем:

- восстановление без серьезных нарушений нормального технологического процесса потребителей;
- упрощение релейной защиты, снижение токов КЗ.

2.2 Основные требования к устройствам АВР

К устройствам АВР предъявляются следующие основные требования:

1. АВР должно предусматриваться в случаях, когда исчезновение рабочего питания вызывает ограничение мощности потребителей.

2. АВР должны действовать при потере питания от рабочего источника по любой причине.

3. Действие АВР должно быть однократным.

4. Включение автоматического резервного питания должно происходить после отключения выключателя на вводе от источника в случае устойчивого КЗ в системе рабочего питания.

5. В случае недопустимой перегрузки резервного источника питания после АВР или если не обеспечивается самозапуск ответственных двигателей, предусматривается автоматическая разгрузка (за счет неответственных потребителей) длительная или только на время самозапуска с автоматическим обратным включением нагрузки после самозапуска электрических двигателей.

6. Если при неявном резерве, защита, действующая на резервирующие выключатели, имеет выдержку времени более 1–1,2с, целесообразно вводить ускорение действия этой защиты после АВР.

7. Выключатели, на которые действуют электрические АВР, должны иметь контроль исправности цепи включения.

2.3. Основные принципы выполнения устройств автоматического включения резервного электрического питания.

В соответствии с п.4 основных требований при пуске АВР команда на включение резервирующей цепи подается от размыкающего вспомогательного контакта выключателя рабочей цепи (рис.11.2) или замыкающего контакта его реле положения "Отключено". Так как рабочее питание может исчезнуть и без отключения выключателя рабочего ввода (при повреждении рабочего тракта вне данного объекта, ближе к источнику питания), предусматривается минимальный пусковой орган напряжения (ПОН), отключающий рабочий ввод при устойчивом исчезновении напряжения, после чего немедленно включается резервное питание. ПОН обычно содержит блокирующий элемент, запрещающий отключение выключателя рабочего ввода, если напряжение на резервирующем вводе отсутствует или оно ниже значения, обеспечивающего самозапуск электродвигателей после АВР.

Для отстройки от КЗ, не вызывающих потери рабочего питания (включая случаи восстановления рабочего питания действием соот-

ветствующего АПВ), ПОН снабжается выдержкой времени. Отстройка ПОН от понижения напряжения в процессе самозапуска после внешних КЗ и АПВ рабочего питания производится по напряжению.

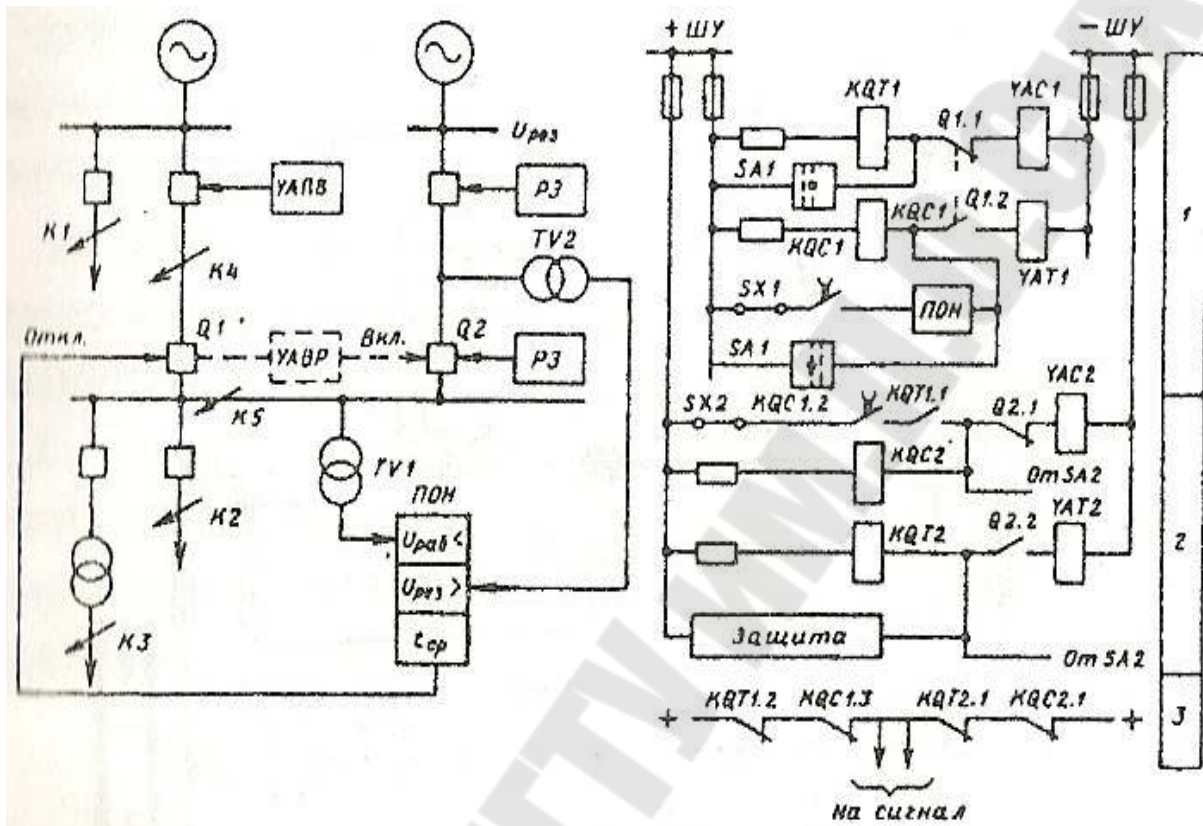


Рис.11.2. Принцип обеспечения однократности АВР и контроля исправности цепей включения резервного питания при постоянном оперативном токе: 1 и 2 – цепи управления выключателями $Q1$ и $Q2$; 3 – сигнал о неисправности цепей управления; YAC и YAT – электромагниты включения и отключения выключателей; KQC и KQT – реле положения выключателей соответственно "Включено" и "Отключено"; t_{cp} – выдержка времени ПОН; SA – ключи управления выключателями.

Однократность действия АВР обеспечивается различно в зависимости от конструкции привода выключателя и вида оперативного тока.

На рис.11.2 показан способ обеспечения однократности АВР и контроля исправности цепи включения от АВР с использованием реле положения выключателей на постоянном оперативном токе.

Реле $KQC1$ положения "Включено" выключателя рабочего ввода имеет замедление на возврат и служит в качестве реле однократности

действия УАВР. ПОН не действует при внешних КЗ в точках К1–К3 и срабатывает при КЗ в точке К4 и неуспешном АПВ линии, а также при КЗ в точке К5. После отключения $Q1$, ПОН автоматически выводится из действия. Накладка $SX1$ – для выведения УАВР при ремонтах и ревизиях. В цепи сигнала о неисправности цепи управления выключателем нормально разомкнут один из контактов реле положения "Включено" ($KQC1$) или "Отключено" ($KQT1$). При обрыве в цепях управления оба реле отпущены и в цепи сигнализации возникает сигнал. Задержка реле $KQC1$ на возврат должна быть достаточной для надежного включения $Q2$.

При напряжении не более $0,85 U_{ном}$ эти реле втягивают якорь и заводят пружины часового механизма. При исчезновении или достаточном снижении напряжения якорь реле отпадает и освобождает часовой механизм, ведущий подвижной контакт на замыкание. В схеме рис.11.3,д ПОН действует только при исчезновении тока через рабочий ввод. Ток срабатывания минимального реле тока KA выбирается меньшим минимального значения тока $I_{раб}$.

Предохранитель в одной из фаз A или C выбирается на номинальный ток, значительно больший, чем номинальный ток другого предохранителя, с тем чтобы при КЗ между фазами A и C успела расплавиться плавкая вставка только одного предохранителя. В схеме рис.11.3,б после перегорания одного предохранителя схема выпрямления становится однофазной, но выпрямленное напряжение остается больше уставки реле $KT2$. Уставка ПОН по напряжению $U_{раб}$ соответственно его назначению должна быть минимальной.

У реле РН–54 минимальная уставка по шкале равна $0,4 U_{ном}$, что приемлемо для отстройки от минимального напряжения самозапуска нагрузки, т.е. обычно $(0,6–0,7)U_{ном}$. Отпускание якоря и пуск часового механизма реле времени переменного тока (схемы рис.11.3, б–г) у разных экземпляров – от 5 до 55% $U_{ном}$, что позволяет подобрать подходящее реле.

Уставка реле $KV1$ контроля $U_{рез}$ принимается около $0,7 U_{ном}$. Если в схемах с переменным оперативным током к контактам реле ПОН, контролирующим $U_{раб}$, подводится непосредственно переменное напряжение $U_{рез}$, то надобность в реле контроля наличия последнего отпадает.

В случае неуспешного АВР выходная цепь ПОН остается подготовленной для отключения выключателя, что может воспрепятство-

вать последующему оперативному включению выключателя рабочего ввода.

Во избежание этого следует цепь отключения от ПОН заводить через замыкающий вспомогательный контакт выключателя с блокировкой на время подачи ключом управления команды "Включить" или через реле положения "Отключено", имеющее небольшую задержку на возврат.

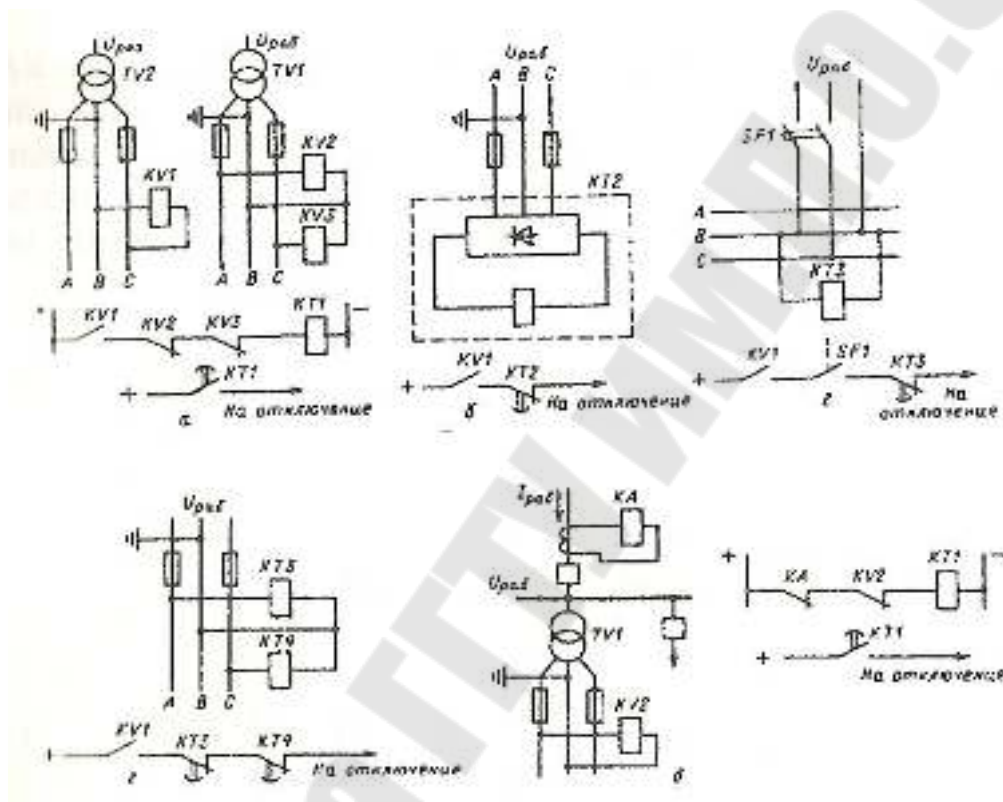


Рис.11.3. Варианты схем ПОН УАВР:

KV1–KV2 – реле напряжения типа РН–54;

KT1 – реле времени РВ–100; KT2 – реле времени РВ–215;

KT3, KT4 – реле времени РВ–215.

Блокировка между выключателями для ускорения действия УАВР. В случае рабочего питания объекта от трансформатора или короткой кабельной линии выключатель питающей стороны, отключаясь, действует своим вспомогательным контактом на отключение выключателя рабочего ввода объекта, что вызывает немедленное действие УАВР.

Пример схемы АВР. Схема устройства автоматического включения секционного выключателя на постоянном оперативном токе

показана на рис.11.4. Оперативные цепи выключателей разделены и питаются от отдельных предохранителей.

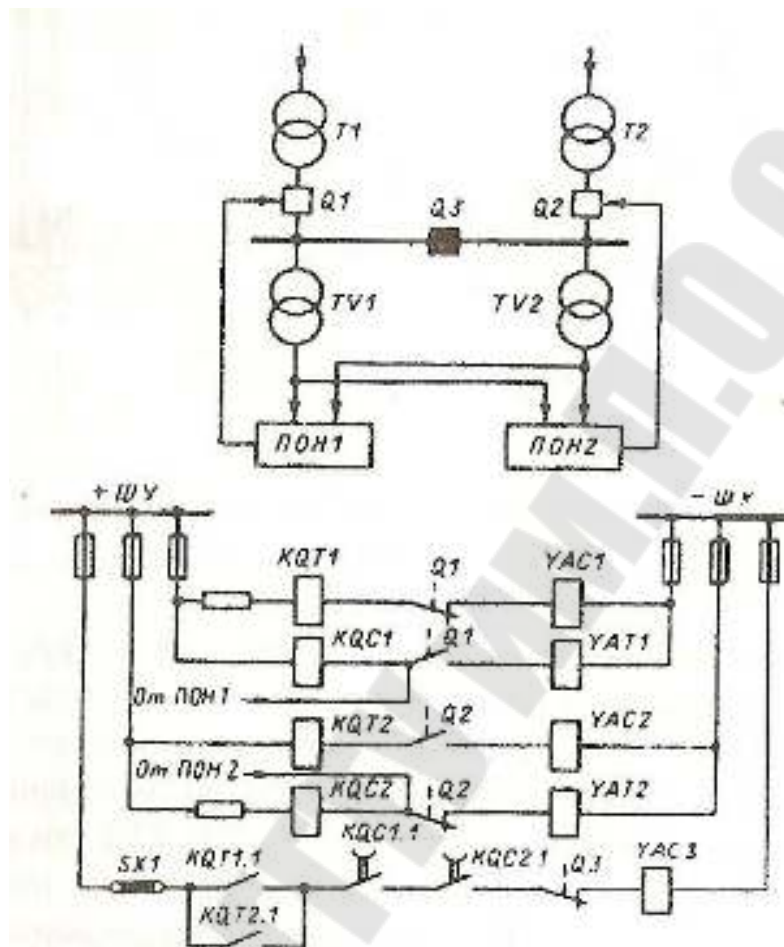


Рис.11.4.Схема устройства автоматического включения секционного выключателя на постоянном оперативном токе

2.4. Расчет уставок УАВР

Напряжение срабатывания реле минимального напряжения выбирается так, чтобы ПОН не приходил в действие при понижениях напряжения, вызванных КЗ или самозапуском электродвигателей.

$$\text{Тогда } U_{CP} = U_{ост.кз} / K_{отстр}, \quad (11.1)$$

$$U_{CP} = U_{сзап} / K_{отстр}, \quad (11.2)$$

где $U_{ост.кз}$ – наименьшее расчетное значение остаточного напряжения при КЗ,

$U_{сзап}$ – наименьшее напряжение при самозапуске электродвигателей,

$K_{отс}$ – коэффициент отстройки принимается равным 1,2.

При расчетах принимается меньшее значение напряжения срабатывания из полученных по формулам (11.1) и (11.2).

Выдержка времени ПОН должна быть на ступень селективности $\Delta t=0,5c$ больше выдержек времени защит $t_{сз\ max}$, действующих при КЗ на присоединениях, отходящих от шин рабочего источника и от шин, питающих резервируемый потребитель (шины высшего и низшего напряжений подстанции).

$$t_{ПОН} = t_{сз.макс} + \Delta t \quad (11.3)$$

При необходимости выдержка времени ПОН должна согласовываться с временем действия УАПВ рабочего источника. К установке принимается наибольшая выдержка времени.

2.5. Домашнее задание

Задача 11.1. Определить уставку реле времени устройства АВР на схеме рис. 11.5, если известны времена отключения присоединений с учетом времени действия релейной защиты и отключения выключателей $Q1$, $Q2$, $Q3$ и $Q4$. Ступень селективности $\Delta t=0,5c$. Номер варианта соответствует номеру бригады.

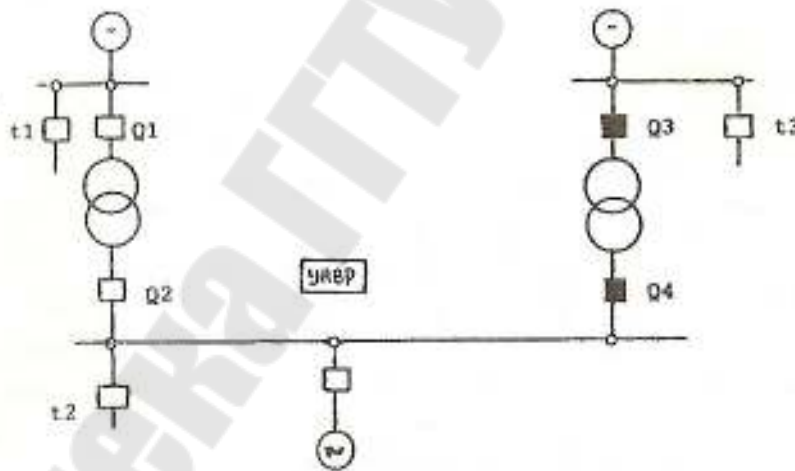


Рис.11.5. К задаче 11.1.

Таблица 1

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8
t1,c	1.6	0,6	1,5	2,0	1,1	2,1	1,2	2,2
t2,c	0.6	0.5	1.0	1.5	1,5	1,1	1,0	2,0
t3,c	2,0	1.1	1,6	1.0	2.1	2,5	0,5	1,2

Задача 11.2. Электропитание асинхронного двигателя мощностью $P_{дв.ном.}$, напряжением $U_{дв.ном.}=6кВ$, кратностью пускового тока $Kп$, осуществляется через трансформатор мощностью $S_{т.ном.}$, $110/6,3кВ$, $U_k=10,5\%$. Определить уставку минимального реле напряжения АВР. Номер варианта соответствует номеру бригады.

Таблица 2

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8
Рдв.ном, кВт	500	200	400	315	250	132		
cos	0,85	0,92	0,9	0,91	0,86	0,88		
Кп	6	7	6,5	7,5	5	5,5		
Ст.ном. кВА	560	250	500	400	400	160		

Задача 11.3. Каким будет напряжение на шинах асинхронного двигателя $U_{дв.}$ мощностью $P_{дв.ном.}$, напряжением $U_{дв.ном.}=6кВ$, номинальной частотой вращения n ном., кратностью пускового тока $Kп$ при переключении на резервный источник питания с трансформатором мощностью $S_{т.ном.}$, $110/6кВ$, $U_k=8\%$, если в момент включения скольжение двигателя s дв., а критическое скольжение $s_{кр.}=0,1$. Номер варианта соответствует номеру бригады.

Таблица 3

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8
Рдв.ном, кВт	132	500	315	400	200	250	500	450
cosφ	0,88	0,85	0,91	0,9	0,92	0,86	0,9	0,87
n ном, об/мин	985	1475		1485	985	985	1495	987
Кп	5,5	6	7,5	6,5	7	5	7,8	5,8
Ст.ном., кВА	160	560	400	500	250	400	630	630
s дв	0,2	0,25	0,3	0,15	0,35	0,28	0,26	0,28

Ответы к задачам 11.1,2,3 по вариантам

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8
1 задача	t_{ABP}, c	2,1	1,1	2,0	2,5	2,0	2,6	
2 задача	$U_{cp}, кВ$	3,0	3,0	3,2	3,0	3,7	3,2	
		4	8	9	0	0	9	
3 задача	$U_{дв}, кВ$	4,1	4,0	3,6	3,7	4,1	4,3	
		3	7	1	6	3	8	



Рис.11.6. Внешний вид лабораторного стенда

3. Описание лабораторного стенда

На лицевую часть лабораторного стенда (рис.11.6) нанесены: однолинейная схема подстанции, схема устройства АВР, размещены необходимые приборы, кнопки управления выключателями, лампы сигнализации их включенного и отключенного положений. От одной из шин подстанции питается асинхронная и осветительная нагрузка.

4. Задание на работу

1. Ознакомиться со схемой АВР, выполненной на стенде, списать паспортные данные всех установленных на стенде реле и приборов.

2. Начертить развернутую и совмещенную схемы АВР секционного выключателя QS лабораторного стенда.

3. Выбрать уставки реле минимального и максимального напряжения, в соответствии с рекомендациями п.2.3 и установить их на реле.

4. Выяснить зависимость изменения начального значения тока самозапуска от времени, установленного на реле времени пускового органа АВР, определяющего время бестоковой паузы при отключении основного питания. Для этого после того как выставлено заданное время на реле КТ:

– включить выключатели $Q1, Q2, Q3, Q4$;

- убедиться по сигнальным лампам, что выключатель QS отключен;
- включить выключателем $Q7$ осветительную нагрузку, убедиться в наличии нормального напряжения на трех фазах шин;
- включить выключатель $Q6$ запуска асинхронного двигателя;
- нажать кнопку "Выходное реле защит трансформатора", чем имитировать срабатывание защиты трансформатора на отключение выключателя $Q1$. При этом должно отпасть реле $KV1$ и сработать реле KT . На реле KT при первом опыте выдержка времени должна быть $0,5с$;
- по истечении заданной выдержки времени выключатель $Q2$ должен автоматически отключиться;
- реле KL , по обмотке которого до отключения выключателя $Q2$ проходил ток, обесточивается и с временем $0,3–0,6с$ замыкает свой контакт и подает сигнал на катушку включения YAC выключателя $Q5$;
- подается питание на секцию I и асинхронный двигатель само запускается.

5. Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Назначение АВР.
3. Развернутая и совмещенная схемы АВР лабораторного стенда с пояснением выполнения в ней основных требований, предъявляемых к АВР.
4. Выбор уставок ПОН и времени срабатывания АВР лабораторного стенда.
5. Решение задач 11.1, 11.2 и 11.3 по варианту, соответствующему номеру бригады.

6. Контрольные вопросы

1. Назначение АВР.
2. Область применения АВР.
3. Каковы основные требования к устройствам АВР.
4. Для чего необходима однократность действия АВР?
5. Как достигается однократность действия АВР?
6. Чем определяется минимальное и максимальное время АВР при наличии только осветительной нагрузки?
7. Чем определяется минимальное и максимальное время АВР при наличии только асинхронной или синхронной нагрузки?

8. Как согласовывается действие устройств АПВ и АВР?
9. Способы выявления прекращения питания по линии основного питания.
10. Дайте оценку различным вариантам ПОН.
11. Как отстроить действие устройств релейной защиты резервирующего источника от токов самозапуска?
12. Назначение и принцип введения ускорения действия защиты после АВР.
13. Каким должно быть время на возврат реле KL в схеме АВР для обеспечения однократности его действия?

Лабораторная работа №12

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОВТОРНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ

1. Цель работы

Изучение принципов построения, расчета уставок и схем устройств автоматического повторного включения (АПВ)

2. Краткая теория

2.1. Назначение АПВ и область применения

АПВ предназначены для восстановления питания потребителей или междусистемных электрических связей путем автоматического включения выключателей, отключенных устройствами релейной защиты при повреждениях элементов электроэнергетической системы или случайных отключениях

АПВ является одним из эффективных средств повышения надежности энергосистемы. Оно позволяет в большинстве случаев при аварийных отключениях быстро восстанавливать первоначальное состояние электрической сети путем повторного включения отключившихся выключателей.

Многолетний опыт эксплуатации показывает, что значительная часть отключений линий электропередачи релейной защитой вызывается такими нарушениями их изоляции, которые самоустраняются после снятия напряжения. Эти повреждения называются *неустойчивыми* и чаще всего проходят вследствие перекрытия изоляции линий при атмосферных перенапряжениях во время гроз. Неустойчивые повреждения часто возникают также в результате схлестывания проводов при сильном ветре и гололеде или в результате их замыкания проводящими предметами: движущимися механизмами, ветками деревьев и т.п.

Если в результате действия устройств релейной защиты, линия, на которой произошло неустойчивое повреждение, будет достаточно быстро отключена, то дуга, возникшая в месте повреждения погаснет, не успев вызвать повреждений, исключающих возможность нормальной работы линии после повторного включения под напряжение. В этом случае после отключения изоляция восстановится и, линия, будучи включенной повторно, останется в работе, благодаря чему восстановится первоначальная схема сети.

Устойчивые КЗ происходят на линиях значительно реже и возникают обычно при обрыве проводов, пробое изоляторов, поломке

траверс или опор и т.п., т.е. – при повреждениях, сопровождающихся устойчивыми нарушениями изоляции проводов линии. Отключение линии, на которой возникает устойчивое повреждение, не приводит к восстановлению изоляции в месте повреждения, поэтому в таких случаях повторное включение оказывается неуспешным и линия вновь отключается устройствами релейной защиты.

В некоторых случаях неустойчивые повреждения на линиях после первого повторного включения не устраняются и ликвидируются лишь после второго повторного включения. В связи с этим нашли применение устройства АПВ многократного действия, автоматически осуществляющие два цикла повторного включения. Однако, как показывает многолетний статистический материал, с увеличением кратности действия успешность каждого последующего цикла АПВ резко падает.

Область применения устройств АПВ: воздушные и кабельные линии, сборные шины станций и подстанций, силовые трансформаторы. АПВ обязательно для линий всех напряжений выше 1000В, для понижающих одиночных трансформаторов мощностью более 1000кВА, обходных и шиносоединительных выключателей. АПВ шин понижающих подстанций обязательно при отсутствии АВР. Применение частотного АПВ (ЧАПВ) желательно для всех потребителей, присоединяемых к устройствам АЧР. В первую очередь ЧАПВ используется для ответственных потребителей, а также на необслуживаемых подстанциях без телеуправления.

2.2. Техничко–экономический эффект АПВ

- Быстро ликвидируются перерывы в электроснабжении при КЗ на одиночных питающих линиях с подхватом двигательной нагрузки.
- Предотвращаются серьезные нарушения технологического процесса потребителей.
- Значительно повышается надежность электроснабжения по одиночным линиям, а также питание потребителей, присоединенных к необслуживаемым подстанциям. АПВ отключившихся межсистемных связей ускоряет возвращение к нормальной схеме электрической системы.
- Уменьшаются последствия ошибочного (не от ключа управления) или самопроизвольного отключения выключателя.

Количество успешных АПВ (%) воздушных линий по статистическим данным составляет:

– Первый цикл АПВ – 65–90% (большие цифры – для более высоких напряжений).

– Второй цикл АПВ (при неуспешном первом) – 10–15%.

– Третий цикл АПВ (при неуспешных первых двух) – 3–5%.

В кабельных сетях количество успешных АПВ может достигать 40%.

Кратность АПВ – возможное количество повторных действий АПВ, обеспечивается его схемой. Ввиду меньшей эффективности второго и особенно третьего цикла АПВ наиболее распространено однократное АПВ. Двухкратное АПВ применяется реже, когда оно диктуется требованиями повышения надежности питания по односторонним линиям и от подстанций без постоянного обслуживания. Трехкратное АПВ практически не применяется. На линиях с двусторонним питанием используется АПВ однократного действия.

Цикл АПВ – время от момента возникновения КЗ до момента замыкания контактов выключателя, отключенного РЗ.

2.3. Запуск электрических АПВ возможен:

1. *Пуск АПВ от несоответствия положения выключателя* предшествующей оперативной команде "Включить". Принцип выявления этого несоответствия показан на рис.12.1.

Контакт реле КQT (положения "Отключено") замкнут, когда выключатель отключен. Контакт ключа управления SA с фиксацией его положения замкнут после операции "Включить" (рис.12,1). После подачи команды "Отключить" контакт SA размыкается и пусковая цепь разрывается, что исключает АПВ.

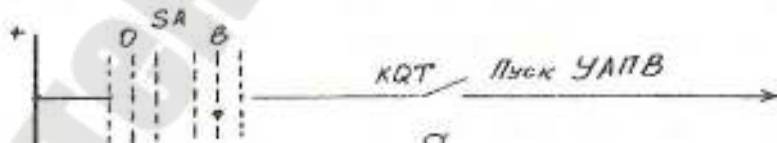


Рис.12.1. Принцип выполнения пуска АПВ от несоответствия положения выключателя предшествовавшей команде "Включить": а – ключ управления SA с фиксацией его положений "Включено", "Отключено".

Пуск "от несоответствия" прост и универсален (АПВ – при любом отключении выключателя без оперативной команды), а потому предпочтительнее.

2. Пуск АПВ от релейной защиты. Такой пуск не универсален, т.к. требует дополнительного реле, срабатывающего при действии защиты и самоудерживающегося до завершения АПВ. Применяется тогда, когда это упрощает схему автоматики.

2.4. Автоматический запрет АПВ обязателен:

1. При включении выключателя персоналом на КЗ;
2. При повреждении в УАПВ, могущем вызвать многократное АПВ на устойчивое КЗ;
3. Для присоединений, имеющих обычное АПВ и отключаемых устройством АЧР, впредь до разрешения обратного включения устройством частотного АПВ;
4. При внутренних повреждениях трансформаторов (исключение составляет блок линия – трансформатор при одностороннем питании с условием быстроты отключения).

Запрет действия УАПВ типа РПВ–58 осуществляется разрядкой емкости контактом ключа управления при подаче команды "Включить" (в случае "1") и контактом соответствующей защиты или автоматики (в случае "4"). В случае "2" запрет происходит при одновременном наличии длительной команды "Включить" от УАПВ (так и от ключа управления) и команды "Отключить" (от защиты или ключа управления). Съем запрета происходит после снятия команды "Включить".

2.5. Автоматический возврат устройства АПВ

После успешного АПВ устройство должно автоматически возвращаться в состояние готовности к новому действию. Время на самовозврат применяется с запасом, обычно порядка длительности, применяемой для последующего цикла АПВ (т.е. в однократном УАПВ 15–20с и в двукратном 60–120 с).

Под временем автоматического возврата устройства АПВ понимают интервал времени от момента пуска устройства до возвращения его в исходное положение. Иногда это время выбирают, исходя только из того, чтобы после АПВ выключателя на устойчивое КЗ релейная защита, действующая с максимально возможной выдержкой времени, успела снова его отключить до возвращения устройства АПВ в исходное положение. Это условие является необходимым, в противном случае после отключения выключателя снова произойдет АПВ на устойчивое повреждение, и так может

продолжаться многократно до тех пор, пока не повредится выключатель или не выгорит значительный участок провода линии.

Время автоматического возврата определяется, однако, не только максимальным временем повторного включения защиты, но и способностью выключателя через определенное время после успешного АПВ снова быть готовым к работе в цикле АПВ, причем это условие следует считать определяющим.

Однако, многолетний опыт энергосистем подтвердил возможности нормальной эксплуатации устройств АПВ на выключателях различных типов с временами автоматического возврата, равными: 15–25с.

2.6. Основные технические требования к устройствам АПВ

На основании изложенных выше соображений представляется возможным следующим образом сформулировать технические требования, предъявляемые к устройствам АПВ.

1. Устройства АПВ должны приводиться в действие во всех случаях аварийного отключения, за исключением случаев, когда аварийное отключение имеет место вследствие оперативного включения на короткое замыкание.

2. Устройства АПВ не должны приходить в действие во всех случаях оперативного отключения выключателя.

3. Устройства АПВ должны с необходимой выдержкой времени производить посылку командного импульса на повторное включение аварийно отключившегося выключателя.

4. Длительность включающего импульса, посылаемого устройством АПВ, должна быть достаточной для успешного повторного включения выключателя.

5. После осуществления успешного повторного включения устройство АПВ должно автоматически с необходимой выдержкой времени возвращаться в состояние готовности к новому действию.

6. Должна быть исключена возможность многократного включения выключателя на устойчивое КЗ при всех практически возможных неисправностях одного из элементов устройства АПВ (совпадения двух каких –либо неисправностей не учитывается).

7. Устройства АПВ должны допускать возможность блокирования их действия в необходимых случаях.

8. Должна быть обеспечена возможность сигнализации действия устройства АПВ.

Таковы основные технические требования, предъявляемые ко всем устройствам АПВ. Опыт эксплуатации устройств АПВ, отвечающих приведенным требованиям, показал высокую надежность этих устройств, которая характеризуется весьма незначительным процентом отказов – 0,3–0,4% общего числа срабатываний.

2.7. Классификация способов осуществления АПВ

Высокая эффективность АПВ как мероприятия для повышения надежности электроснабжения потребителей определила весьма широкую область его применения в самых различных элементах энергосистем.

В связи с этим в эксплуатационной практике нашло применение значительное число способов выполнения АПВ, различающихся по следующим основным признакам:

1. По виду оборудования, на которое повторно подается напряжение:

- АПВ линий;
- АПВ шин;
- АПВ трансформаторов;
- АПВ двигателей

2. По числу полюсов (фаз) выключателей, включаемых при АПВ:

- трехфазное АПВ (ТАПВ);
- однофазное АПВ (ОАПВ).

3. По числу циклов (кратности действия) устройства АПВ:

- АПВ однократного действия;
- АПВ многократного действия;

4. По способу воздействия на привод выключателя:

• механические устройства АПВ, встраиваемые в пружинный привод;

• электрические устройства АПВ, осуществляемые с помощью реле.

5. По способу пуска схем электрических устройств АПВ в действие:

• устройства, приходящие в действие при срабатывании релейной защиты;

• устройства, приходящие в действие при возникновении несоответствия положений выключателя и ключа управления;

- устройства, приходящие в действие при любом отключении выключателя, но дополненные блокировкой, запрещающей АПВ при оперативном отключении.

Особое место занимают устройства АПВ, характеризующихся дополнительными условиями пуска. К их числу относятся устройства, приходящие в действие после восстановления напряжения или частоты. Первые применяются для АПВ двигателей, отключаемых по условиям самозапуска, а второе – для АПВ линий или трансформаторов, отключаемых устройствами частотной разгрузки.

2.8. Примеры схем УАПВ

Схема устройства АПВ с реле времени и цепей управления выключателем приведена на рис.12.2. Оперативное дистанционное управление выключателем с электромагнитным приводом производится при помощи ключа SA.

Вертикальные линии на условных изображениях контактов ключа в схеме соответствуют положениям ключа, а точки на этих линиях под изображением контакта ключа показывают, при каком положении ключа данный контакт замкнут. В схеме на рис.12.2 показаны только два положения, соответствующие положениям подачи оперативных команд "включить" (В) и "отключить" (О).

Рассматриваемое устройство АПВ состоит из следующих реле: KL1, выполняющего функции пускового органа, реле KL2, осуществляющего блокирование при некоторых неисправностях в устройстве, реле КТ, обеспечивающего необходимую выдержку времени перед посылкой импульса на повторное включение и время возврата устройства в состояние готовности к новому действию.

Срабатывая при действии РЗ, реле KL1 своими замыкающими контактами включает реле времени КТ, которое благодаря замыканию своего мгновенного контакта КТ1 самоудерживается и начинает отсчет времени. Момент посылки команды на повторное включение выключателя определяется уставкой проскальзывающего контакта реле времени КТ, который кратковременно замыкается в процессе движения контактной системы реле. Он замыкает цепь обмотки выходного реле KL2, которое сработав, посылает импульс через указательное реле КН и накладку SX на контактор YAC включения выключателя. Контакты указательного реле КН производят замыкание цепи светового сигнала.

Автоматический запрет действия устройства АПВ, необходимость которого может возникнуть в определенных условиях, может быть осуществлен путем шунтирования обмотки реле времени КТ.

Схема АПВ однократного действия с автоматическим возвратом получили наиболее широкое распространение. Наиболее часто такие АПВ выполняются на базе комплектных устройств типа РПВ–58 (рис.12.3). В этом реле однократность АПВ обеспечивается за счет конденсатора C , который заряжается только при включенном положении выключателя.

В рассматриваемой схеме дистанционное управление выключателем производится ключом управления SA1, у которого предусмотрена фиксация положения последней операции. Указанные ключи управления имеют три положения: «Включить», «Отключить» и «Нейтральное», причем после операций включения и отключения ключ возвращается в нейтральное положение. Поэтому после операции включения ключ остается в положении «Включено» (B_2), а после операции отключения – в положении «Отключено» (O_2). Когда выключатель включен и ключ управления находится в положении «Включено», к конденсатору C подводится плюс оперативного тока через контакты ключа, а минус – через зарядный резистор R_2 . При этом конденсатор заряжается и схема АПВ находится в состоянии готовности к действию.

При включенном выключателе реле положения «Отключено» KL2, осуществляющее контроль исправности цепей включения, током не обтекается и его контакт в цепи пуска АПВ разомкнут.

Пуск АПВ происходит при отключении выключателя под действием релейной защиты в результате возникновения несоответствия между положением ключа, которое не изменилось, и положением выключателя, который теперь отключен. Несоответствие положений ключа управления и выключателя характеризуется тем, что через контакты ключа управления 1–3 на схему АПВ по-прежнему подается плюс оперативного тока, а ранее разомкнутый вспомогательный контакт (блок-контакт) выключателя QF переключился и замкнул цепь обмотки реле KL2, которое, срабатывая, подает минус на обмотку реле времени КТ1.

При срабатывании реле времени размыкается его мгновенный размыкающий контакт КТ1.1, вводя в цепь обмотки реле дополнительное сопротивление (резистор R_1). Это приводит к уменьшению

тока в обмотке реле, благодаря чему обеспечивается его термическая стойкость при длительном протекании тока.

Спустя установленную выдержку, реле времени замыкает замыкающий контакт КТ1.2 и подключает параллельную обмотку реле КЛ1 к конденсатору C . Реле КЛ1 при этом срабатывает от тока разряда конденсатора и самоудерживается через свою вторую обмотку, включенную последовательно с обмоткой контактора QAC, подает импульс на включение выключателя. Благодаря использованию последовательной обмотки реле КЛ1 обеспечивается необходимая длительность импульса для надежного включения выключателя, поскольку параллельная обмотка этого реле при разряде конденсатора обтекается током кратковременно. Выключатель включается, размыкается его вспомогательный контакт QF и реле КЛ2, КЛ1 и КТ1 возвращаются в исходное положение.

После размыкания контакта реле времени конденсатор C начнет заряжаться через зарядный резистор $R2$. Сопротивление этого резистора выбирается таким, чтобы время полного заряда составляло 20–25с. Таким образом, спустя указанное время, схема АПВ будет автоматически подготовлена к новому действию.

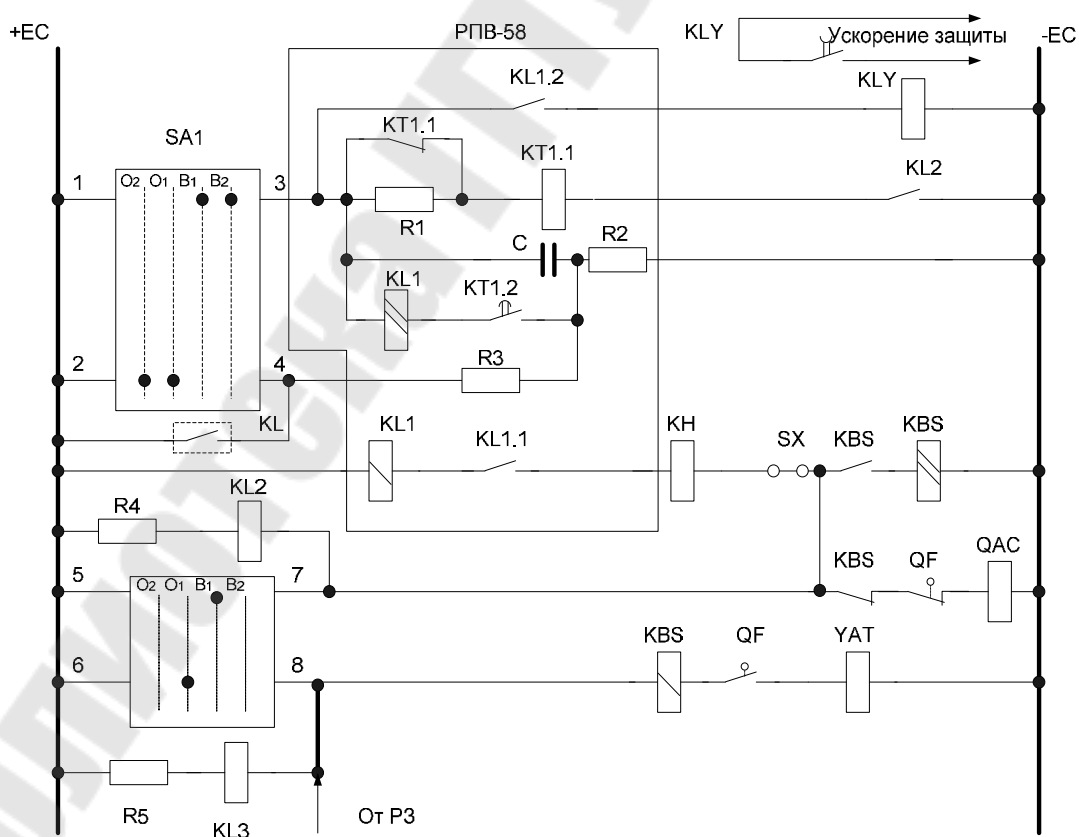


Рис. 12.3. Схема электрического АПВ однократного действия для линии

Если повреждение было устойчивым, то выключатель, включившись, снова отключится релейной защитой и вновь сработают реле KL2 и КТ1. Реле KL1, однако, при этом второй раз работать не будет, так как конденсатор С был разряжен при первом действии АПВ и зарядиться еще не успел. Таким образом, рассмотренная схема обеспечивает однократное действие при устойчивом КЗ на линии.

При оперативном отключении выключателя ключом управления SA1 несоответствия не возникает и АПВ не действует, так как одновременно с подачей импульса на отключение выключателя контактами 6–8 ключа SA1 размыкаются контакты 1–3, чем снимается плюс оперативного тока со схемы АПВ. Поэтому сработает только реле KL2, а реле КТ1 и KL1 не сработают. Одновременно со снятием оперативного тока контактами 1–3 QF замыкаются контакты 2–4 и конденсатор С разряжается через сопротивление R3. При оперативном включении выключателя ключом управления готовность АПВ к действию наступает после заряда конденсатора С через 20–25с.

При отключении линии РЗ, когда действие АПВ не требуется, через резистор R3 производится быстрый разряд конденсатора С.

Для предотвращения многократного включения выключателя на устойчивое КЗ, что могло бы иметь место в случае застревания контактов KL1.1 в замкнутом состоянии, в схеме управления (рис.3) устанавливается специальное промежуточное реле KBS типа РП–232с двумя обмотками: рабочей последовательной и удерживающей параллельной. Реле KBS срабатывает при прохождении тока по катушке отключения выключателя и удерживается в сработавшем положении до снятия команды на включение. При этом цепь обмотки QAC замыкается размыкающим контактом KBS, предотвращая включение выключателя.

Схема двухкратного АПВ с использованием комплектного реле типа РПВ–258 (рис.12.4)

Комплектное реле повторного включения типа РПВ–258 содержит реле времени КТ с проскальзывающим КТ.2 и упорным КТ.3 контактом, создающими необходимую выдержку времени перед посылкой импульса на повторное включение выключателя, выходные двухобмоточные реле KL1, осуществляющее подачу этого импульса, – контур, обеспечивающий нужное время автоматического возврата устройства в состояние готовности к новому действию и добавочное сопротивление к реле времени, двух указательных реле КН1 и КН2.

Управление выключателем осуществляется кнопками SB1 и SB2. SB1 служит для включения выключателя. При нажатии ее запитывается реле команды "включить" – КСС, которое своими замыкающими контактами запитывает цепь контактов включения YAC и перебрасывает реле фиксации команд KQ в положение, соответствующее поданной команде "включить". В случае неуспешного АПВ опять собирается цепь "несоответствия" и реле КТ начинает отсчитывать время. При замыкании его проскальзывающих контактов реле KL1 не срабатывает, так как конденсатор С1 не успел еще зарядиться. Срабатывание реле KL1 произойдет после замыкания упорных контактов КТ.3 реле времени благодаря разряду емкости С2.

При срабатывании каждого цикла АПВ выпадают указательные реле КН1, КН2, сигнализирующие о включении выключателя по АПВ. В случае, если второй цикл АПВ оказался неуспешным, после отключения выключателя вновь начинает работать реле времени КТ и с установленными выдержками времени замыкает проскальзывающий контакт. Однако это не приводит к срабатыванию реле KL1, так как оба конденсатора к этому времени еще не успевают зарядиться до необходимого напряжения. В этом случае реле времени КТ находится под напряжением до тех пор, пока дежурным персоналом не будет произведен переброс KQ кнопкой SB2, т.е. не будет схема приведена в соответствие.

Если после второго включения выключатель останется включенным, то реле КТ возвращается в исходное положение и через время, необходимое для заряда конденсаторов С1 и С2, устройство АПВ вновь оказывается подготовленным к совершению двух циклов АПВ.

Следует отметить, что емкости конденсаторов С1 и С2 первого и второго циклов в реле РПВ–258 приняты одинаковыми. Равны также величины их зарядных сопротивлений R31 и R32. В связи с этим подготовка устройства АПВ к выполнению первого и второго циклов АПВ заканчиваются в одно и то же время, которое составляет 60–100с.

В схеме предусматривается возможность разряда конденсаторов С1 С2 через разрядные резисторы Rp1 и Rp2, чем достигается запрет АПВ после отключения выключателей кнопкой КУ2.

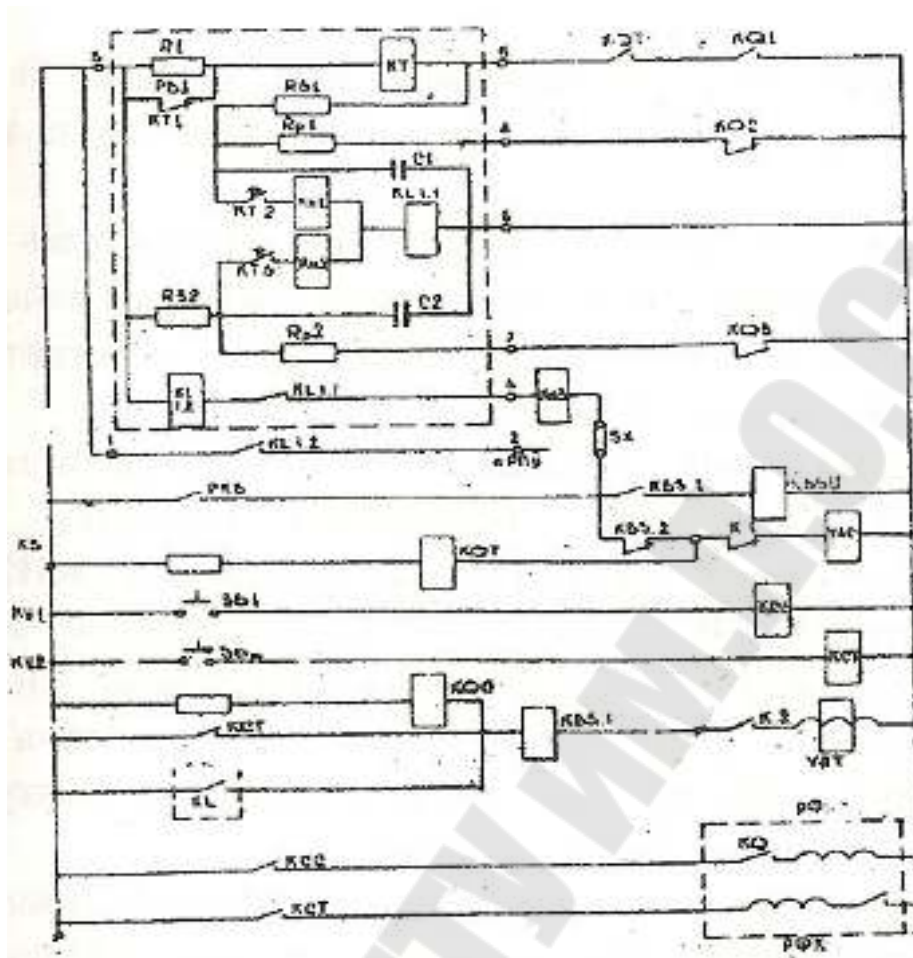


Рис.12.4. Схема устройства двухкратного действия с использованием комплектного реле типа РПВ-258.

Резисторы R3, R4 – для временного запрета АПВ в момент подачи ключом команды "включить". Накладкой SX1 выводится второй цикл из действия. Указательные реле КН1, КН2 встроены в корпус устройства.

При нажатии кнопки SB2 запитывается реле команды "отключить" – КСТ, которое замыкающими контактами запитывает цепь катушки отключения YAT и перебрасывает реле фиксации команд. Реле KBS осуществляет блокировку выключателя от "прыгания".

Для сигнализации положения выключателя установлены реле KQT и KQC, которые соответственно запитываются через контактор включения YAC или катушку отключения YAT и блок-контакты привода ВК. Пуск устройства АПВ производится при возникновении несоответствия положений выключателя и реле фиксации команд – KQ, т.е. во всех случаях аварийного отключения выключателей.

В случае, если предыдущая команда была "включить", а выключатель отключился аварийно, то замыкающие контакты реле КQT и КQ образуют цепь на срабатывание реле времени КТ, которое начинает отсчет времени и с заданной выдержкой времени замыкает свой проскальзывающий контакт КТ.2, создавая цепь разряда конденсатора С1.

Под действием энергии, накопленной в конденсаторе С1, выходное реле КL1 срабатывает и становится на самоудержание через свои замыкающие контакты КL1.1 и через токовую обмотку КL1.2 до включения выключателя. Реле КТ возвращается в исходное положение, т.к. реле КQT обесточивается.

2.9. Выбор уставок времени устройств АПВ

Возможность быстрого осуществления повторного включения ограничивается рядом условий. К их числу относятся:

- необходимость деионизации среды в месте повреждения;
- необходимость восстановления способности привода к работе на включение;
- необходимость восстановления отключений способности выключателя;
- необходимость обеспечения возврата реле защиты, установленной со стороны питания, по отношению к месту установки устройства АПВ.

При одностороннем питании время срабатывания УАПВ $t_{c,a}$ выбирается большим по четырем условиям:

$$t_{c,a} > t_{2,n} + t_{zan}; \quad t_{c,a} > t_{d,c} - t_{v,v} + t_{zan}; \quad (12.1)$$

$$t_{c,a} > t_{2,v} - t_{v,v} + t_{zan}; \quad t_{c,a} > t_{v,z} - t_{v,v} + t_{zan}, \quad (12.2)$$

где $t_{2,v}$, $t_{2,n}$ – времена готовности выключателя и его привода к включению;

$t_{d,c}$ – время деионизации среды;

$t_{v,v}$ – время включения выключателя;

$t_{v,z}$ – время возврата защиты смежного участка со стороны питания;

t_{zan} – время запаса (обычно 0,3–0,4с).

Приведенные условия составлены применительно к пуску УАПВ от несоответствия положения выключателя ("Отключен") и ключа управления ("Включен"). При пуске от защиты в правые части выражений добавляется время отключения выключателя $t_{o,v}$, $t_{v,v}$ – время включения выключателей.

Время $t_{2,в}$ зависит от типа и состояния привода и может иметь значения 0,2–1,0с.

Современные выключатели после отключения КЗ допускают немедленное АПВ на КЗ (устойчивое). Поэтому для первого цикла обычно определяющим является первое или второе условие.

Во втором цикле определяющим является время $t_{2,в}$ и время $t_{с,а}$ принимается обычно около 20с.

Время $t_{д,с}$ различно при ТАПВ и ОАПВ. В случае ТАПВ защита отключает все три фазы и условия деионизации среды наиболее благоприятны. В случае ОАПВ защита отключает только поврежденную фазу, условия деионизации ухудшаются за счет емкостей связи поврежденной фазы с находящимися под напряжением двумя неповрежденными фазами и $t_{д,с}$ увеличивается.

Таблица 12.1

Время деионизации при АПВ

Рабочее напряжение, кВ	Время деионизации	
	Периоды	Секунды
6–35	4	0,08
115	8,5	0,17
230	16	0,32
330	17.5	0.35

Время деионизации зависит от метеорологических условий, значения и длительности протекания тока КЗ, а также рабочего напряжения. Ориентировочные средние значения для случая ТАПВ даны в таблице 12.1.

3. Описание лабораторного стенда

На лабораторном стенде (рис.12.5) размещены основные реле устройств АПВ – реле времени РП–100 и комплектное реле АПВ двухкратного действия РПВ–258, а также промежуточные реле, указательные реле, ключи управления выключателем. Ввод схемы в работу осуществляется соединительными проводами.

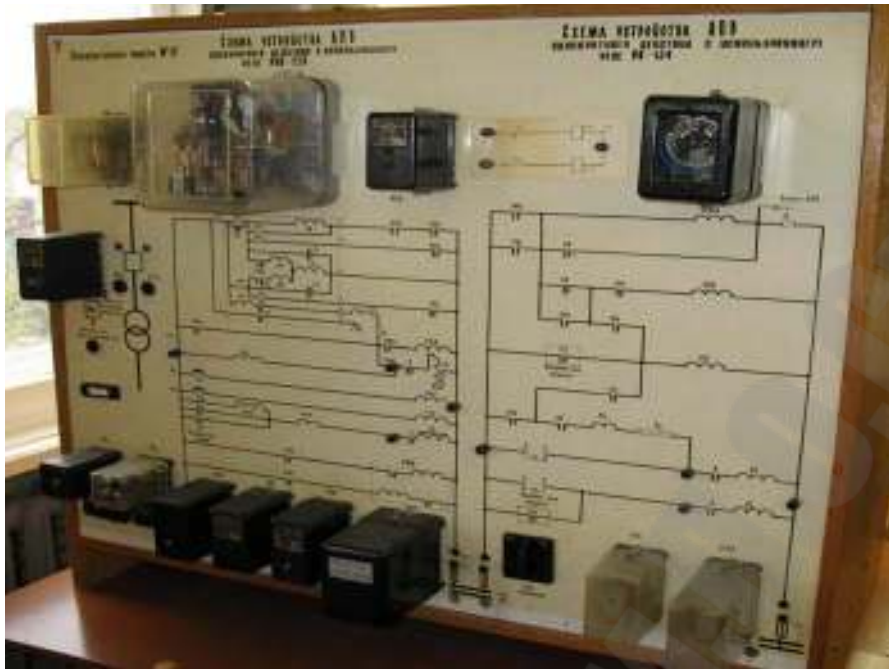


Рис. 12.5. Внешний вид лабораторного стенда

4. Порядок выполнения работы

1. Изучить краткую теорию и схемы АПВ. (раздел 2)
2. Выбрать уставки времени АПВ (п.2.9) для схем рис.12.2 и 12.4.
3. Собрать схему рис.12.2 для испытания АПВ с реле времени и выставить уставку времени АПВ. Проверить действие схемы:
 - а) при отключении выключателя релейной защитой. (Действие релейной защиты имитируется кнопкой срабатывания защиты и реле РП);
 - б) при отключении выключателя ключем управления;
 - в) при включении выключателя ключем управления на существующее короткое замыкание, для чего нажать кнопку срабатывания защиты и повернуть ключ управления в положение "включить";
 - г) при неуспешном АПВ, включить выключатель, нажать кнопку срабатывания защиты и держать ее все время действия АПВ.
4. Собрать схему рис.12.4 для испытания РПВ–258 и выставить уставки времени первого и второго цикла АПВ. Выполнить пункт 3 порядка выполнения работы.

5. Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Выбор уставок времени первого и второго циклов АПВ и возврата АПВ.
3. Принципиальные схемы устройства АПВ (с реле времени, с реле РП–258) со спецификацией применяемых реле.
4. Краткое описание поведения схем при ручном и аварийном отключении выключателя.

6. Контрольные вопросы

1. Назначение АПВ.
2. Область применения АПВ.
3. Определение кратности и циклов АПВ.
4. Перечислите основные требования, предъявляемые к устройствам АПВ.
5. Классификация устройств АПВ.
6. Принцип действия устройств АПВ с реле времени.
7. Принцип действия устройств АПВ с реле РПВ–258.
8. Каким образом и с какой целью осуществляется "запрет" АПВ?
9. Каким способом обеспечивается двухкратное действие устройства АПВ?
10. Какие способы пуска и возврата применяются для АПВ?
11. В каких случаях образуется цепь несоответствия положения ключа управления и выключателя?
12. Назначение всех реле, установленных в схеме АПВ с реле времени (рис.12.2).
13. Назначение всех резисторов, установленных в схеме двухкратного АПВ (рис.12.4).

Лабораторная работа № 13

ТОКОВАЯ ОТСЕЧКА

1. Цель работы

Изучение принципа действия токовой отсечки, порядком расчета уставок и практическим ее осуществлением.

2. Краткая теория

2.1. Расчет уставок и определение защищаемой зоны ТО без выдержки времени на линиях

Селективность действия токовой отсечки без выдержки времени достигается тем, что ее ток срабатывания принимается большим максимального тока КЗ, проходящего через защиту при повреждении вне защищаемого элемента. Действие защиты при КЗ на защищаемом участке обеспечивается благодаря тому, что ток КЗ в сети, а следовательно, и в защите увеличивается по мере приближения места КЗ к источнику питания (рис.13.1), причем кривые изменения тока КЗ имеют различную крутизну в зависимости от режима работы энергосистемы и вида КЗ (кривые 1 и 2 на рис. 13.1 соответственно для максимального (кривая 1) и минимального (кривая 2) режимов работы энергосистемы).

По условию селективности ток срабатывания токовой отсечки выбирается больше максимального тока трехфазного КЗ при внешнем КЗ $I_{К.ВН.макс}^{(3)}$ (точка К на рис. 13.1)

$$I_{СЗ} = K_H I_{К.ВН.макс}^{(3)} \quad (13.1)$$

Ток срабатывания реле при этом определяется

$$I_{СР} = K_H K_{СХ} I_{К.ВН.макс}^{(3)} / K_I, \quad (13.2)$$

где K_H – коэффициент надежности;

$K_{СХ}$ – коэффициент схемы;

K_I – коэффициент трансформации трансформаторов тока.

Ток $I_{К.ВН.макс}^{(3)}$ определяется при максимальном режиме питающей системы (когда сопротивление системы является минимально возможным).

Значения коэффициента надежности K_H для токовых отсечек без выдержки времени приведены в таблице 13.1.

Таблица 13.1

Коэффициент надежности K_n для токовых отсечек

Тип реле	Значение K_n	
	линий	трансформаторов
Цифровые реле	1,1	1,1–1,2
РСТ	1,1–1,2	1,2–1,3
РТ–40	1,2–1,3	1,3–1,4
РТ–80	1,5–1,6	1,6
РТМ	1,8–2,0	1,6

Так как ТО при внешних КЗ не срабатывает, коэффициент возврата K_v при выборе тока $I_{сз}$ не учитывается. При определении $I_{сз}$ необходимо иметь в виду, что ТО не имеет выдержки времени. Поэтому в выражении (13.1) ток $I^{(3)}_{К-ВН.макс}$ принимается равным начальному действующему значению периодической составляющей тока внешнего КЗ. Влияние апериодической составляющей тока КЗ учитывается коэффициентом надежности K_n . ТО срабатывает, когда ток, проходящий по защищаемой линии АВ (рис.13.1), больше или равен току срабатывания ТО. Это условие выполняется в пределах участка L_1 (максимальный режим), или участка L_2 (минимальный режим) защищаемой линии. Т.о. при минимальном режиме работы энергосистемы зона действия отсечки окажется меньше, чем при максимальном режиме. Зона действия отсечки тем больше, чем больше сопротивление защищаемой линии по сравнению с сопротивлением питающей энергосистемы.

Определение зон действия ТО линии W , отстроенной от КЗ в конце линии, показано на рис.13.1. Для графического определения должна быть построена кривая измерения тока, протекающего через защиту при перемещении точки трехфазного КЗ по линии (кривая спада тока КЗ) в максимальном режиме питающей энергосистемы. Зона действия отсечки определяется абсциссой точки пересечения кривой спада тока и ординаты, соответствующей выбранному току срабатывания отсечки.

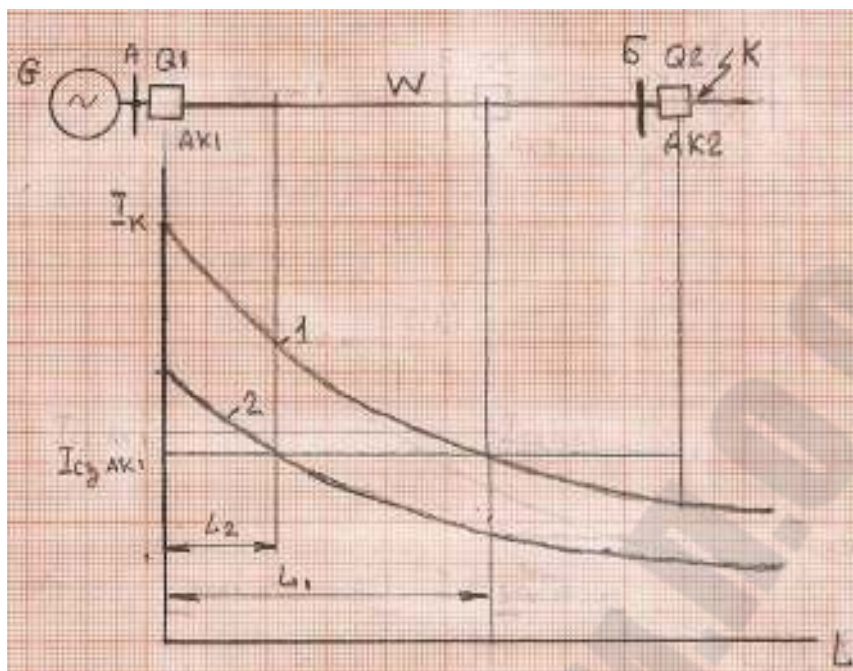


Рис.13.1. Выбор тока срабатывания и определение защищаемой зоны ТО без выдержки времени: а – схема сети; б – определение зоны действия токовой отсечки линий W ; L_1 – зона действия ТО при максимальном режиме системы; L_2 – зона действия ТО при минимальном режиме системы.

Для токовых отсечек без выдержки времени, устанавливаемых на линиях и выполняющих функции дополнительных защит, коэффициент чувствительности определяется по формуле:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{К.Мин}}^{(2)}}{I_{\text{сз}}}, \quad (13.3)$$

где $I_{\text{К.мин}}^{(2)}$ – ток двухфазного КЗ в месте установки ТО, определенный при минимальном режиме работы энергосистемы

В соответствии с требованием ПУЭ коэффициент чувствительности ТО должен быть не менее 1,2.

2.2. Расширение защищаемой зоны токовой отсечки. Токовая отсечка со ступенчатой характеристикой выдержки времени

Защищаемую токовой зону можно расширить путем создания у ТО выдержки времени. Такая защита называется токовой отсечкой с выдержкой времени.

Принцип работы отсечки со ступенчатой характеристикой выдержки времени рассматривается на примере использования ее для

защиты от многофазных КЗ в радиальной сети с односторонним питанием. Сеть имеет два последовательно соединенных участка АБ и БВ (рис.13.2). Для защиты этих участков со стороны подстанции А и подстанции Б устанавливаются токовые отсечки без выдержки времени. Токи срабатывания их $I_{с.з.АК1}$ и $I_{с.з.АК2}$ (прямые 3 и 2) выбираются по выражению (13.1). Отсечки имеют защищаемые зоны соответственно $L1отс.АК1$ и $L1отс.АК2$ (рис.13.2,б), которые охватывают только часть линий. Однако защищаемая зона токовой отсечки, например зона токовой отсечки, установленной со стороны подстанции А, может быть удлинена, если в действие этой отсечки ввести замедление с таким расчетом, чтобы время ее срабатывания было на ступень селективности больше времени действия токовой отсечки без выдержки времени, установленной у шин подстанции Б. Это замедление обычно не превосходит 0,3–0,6с. При этом представляется возможным ток срабатывания отсечки с выдержкой времени (подстанция А) уменьшить. В самом деле, для сохранения селективности достаточно, чтобы этот ток срабатывания был больше максимального тока КЗ, протекающего по линии АБ при повреждении в конце защищаемой зоны отсечки со стороны подстанции Б (в конце зоны $L1отс.АК2$). Этот ток равен току срабатывания защиты Б, поэтому

$$I_{с.з.АК1} = K_n I_{с.з.Б} \quad (13.3)$$

где K_n – коэффициент надежности принимается равным 1,05–1,1.

При таком выборе тока срабатывания и выдержки времени защищаемая зона отсечки $I_{отс.АК1}$ в рассматриваемом случае полностью охватывает линию АБ. Кроме того, защита действует как резервная в случае отказа отсечки Б при КЗ вблизи шин станции Б на участке $L2отс.АК1$.

В общем случае от шин подстанции Б могут отходить несколько линий, и к шинам могут быть включены понижающие трансформаторы. При этом отсечка с выдержкой времени подстанции А должна быть отстроена по времени от отсечек всех отходящих линий и от защит трансформаторов, действующих без замедления, а ее ток срабатывания должен быть выбран по наибольшему из токов КЗ, проходящих по линии АБ при повреждении в конце защищаемых зон отсечек отходящих линий и при КЗ на шинах низшего напряжения трансформаторов.

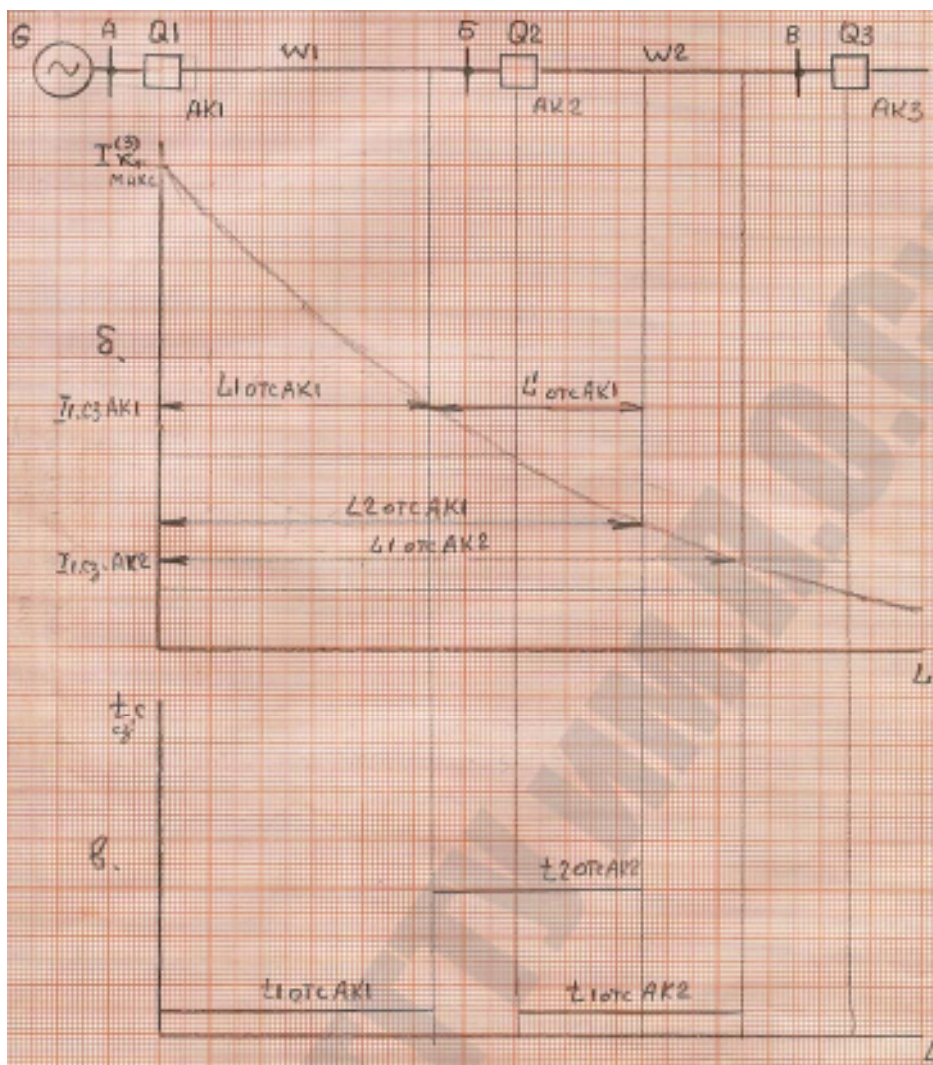


Рис.13.2. Выбор уставок, защищаемые зоны и время действия токовой защиты со ступенчатой характеристикой выдержки времени а – схема сети; б – определение зоны действия токовых отсечек линий $W1$ и $W2$. $L_{отс. AK1}$ – первая зона действия ТО защиты $AK1$; $L_{отс. AK2}$ – первая зона действия ТО защиты $AK2$; $L_{2отс. AK1}$ – вторая зона действия ТО защиты $AK1$, в – время действия токовой защиты $AK1$ по первой зоне – $t_{1отс. AK1}$ и по второй зоне – $t_{2отс. AK1}$

Токовая отсечка с выдержкой времени обычно применяется в сочетании с токовой отсечкой без выдержки времени и МТЗ. При этом получают токовую защиту со ступенчатой характеристикой выдержки времени. Защищаемые зоны и характеристика выдержки времени этой защиты, установленной на линии АБ, показаны на рис.13.2,в. Первой ступенью защиты является токовая отсечка без выдержки времени ($t_{1отс. AK1}=0, t_{c.}$). Защищаемая ею зона $L_{1отс. AK1}$ называется первой зоной защиты. При повреждении в первой зоне

линия отключается со временем, не превосходящим $0,1$ с. Токовая отсечка с выдержкой времени $t_a=0,3-0,6$ с. является второй ступенью, а ее защищаемая зона $L_{2отс.АК1}$ – второй зоной. Вторая зона защиты охватывает всю длину линии АБ и часть линии БВ. Однако нормально с выдержкой времени второй зоны защита будет действовать только при повреждении на участке $L'_{отс.АК1}$. При КЗ в других местах ее зоны она сможет срабатывать только в случае отказа первой ступени защиты АК1 или отсечки АК2, установленной у шин подстанции Б. Таким образом, в худшем случае КЗ на всей длине линии АБ будут отключаться со временем, не превосходящим $0,3-0,6$ с.

Чувствительность защиты со ступенчатой характеристикой определяется коэффициентами чувствительности первой зоны по выражению (13.3). Чувствительность второй ступени проверяется по металлическому КЗ в конце защищаемой линии АБ. При этом в соответствии с требованиями ПУЭ коэффициенты $K_{ч1}$ и $K_{ч2}$ должны быть не меньше 1,2.

Защищаемая зона токовой отсечки может быть также расширена в случае установки на линиях устройств АПВ или АВР. Известно, что на воздушных линиях до 70–90% повреждений самоустраняются после отключения поврежденного участка и вновь не возникают при повторном его включении. Это дает возможность широко использовать АПВ для воздушных линий и тем самым повысить надежность питания потребителей. В кабельных линиях успешное повторное включение не превышает 40%, и поэтому установка АПВ обычно бывает неоправданной. В данном случае более целесообразным является применение АВР. В распределительных сетях, составной частью которых и являются кабельные линии, питание распределительных пунктов и подстанций часто осуществляется двумя линиями. Для снижения токов КЗ в сети и выбора более легкой аппаратуры для потребителя, а также для упрощения релейной защиты линии с приемной стороны включаются на нормально несвязанные между собой секции шин (секционный выключатель отключен). В такой схеме электроснабжения надежность питания потребителей можно повысить путем использования АВР, действующего на отключение поврежденной линии с приемной стороны и включение секционного выключателя. Согласовывая действия АПВ и АВР с действием релейной защиты, можно, с одной стороны, повысить эффективность автоматического повторного включения и автоматического включения резерва, а с другой – расширить защищаемые зоны простых токовых быстродействующих

защит. При этом допускается неселективная работа защиты с последующим исправлением в результате действия устройств АПВ и АВР.

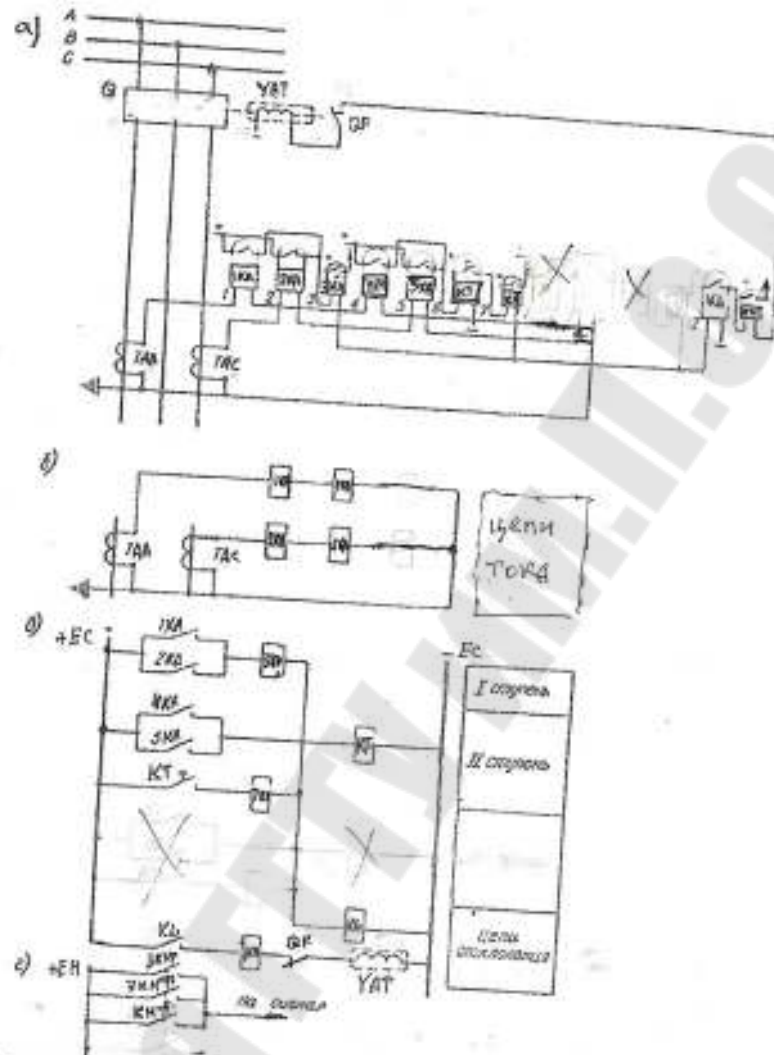


Рис.13.3. Трехступенчатая токовая защита от многофазных КЗ на постоянном оперативном токе а) совмещенная схема; б) развернутая схема цепей тока; в) развернутая схема цепей постоянного оперативного тока; г) развернутая схема цепей сигнализации

2.3. Схемы и область использования токовых отсеков

Схемы и область использования токовых отсеков, выполненных на постоянном и оперативном токе. Схемы отсеки с выдержкой времени ничем не отличаются от схем МТЗ. У токовых отсеков без выдержки времени необходимость в реле времени отпадает, поэтому их схемы отличаются от схем МТЗ и отсеков с выдержкой времени только тем, что они не имеют реле времени.

В качестве примера трехступенчатой токовой защиты на рис.13.3 приведена схема токовой защиты от многофазных КЗ на постоянном оперативном токе. Пусковыми органами в каждой ступени являются токовые реле типа РТ40 или РСТ. Выдержки времени второй и третьей ступеней создаются посредством реле времени типа РВ–134. Выходное промежуточное реле КЛ типа РП–23 является общим для всех ступеней защиты. Выбор промежуточного реле с временем срабатывания 0,1с определяет выдержку времени первой ступени.

В результате рассмотрения токовых отсечек можно сделать следующие выводы.

1. Основные достоинства токовых отсечек без выдержки времени:

- селективное действие иногда и в сетях сложной конфигурации с любым числом источников питания;
- быстрое отключение наиболее тяжелых КЗ, расположенных вблизи шин станций и подстанций;
- простота схемы.

2. Основные недостатки токовых отсечек:

- защита только части длины линии;
- зависимость защищаемой зоны от режима работы системы и переходного сопротивления в точке КЗ.

В связи с перечисленными недостатками ТО применяются или в качестве дополнительных защит, предназначенных для сокращения времени отключения наиболее тяжелых повреждений (при этом защищаемая зона должна быть не менее 15–20% длины линии), или в сочетании с токовой отсечкой с выдержкой времени и МТЗ (при этом обеспечивается отключение КЗ на всей длине линии со временем, не превосходящим 0,5–0,6с.). Использование защит со ступенчатыми характеристиками дает возможность сравнительно быстро отключать повреждения на всех участках сети и во многих случаях отказаться от более сложных защит.

3. Описание лабораторного стенда

Лабораторный стенд (рис.13.4) представляет собой модель радиальной линии, состоящей из двух участков, в начале каждого из которых установлены силовые выключатели Q1, Q2 с комплектом ТО (в начале участка АБ стоят два комплекта ТО), и подключенной в конце участка трехфазной нагрузки. Амперметры РА1, РА2 и РА3 измеряют

токи фаз на каждом из участке. Имеются три точки ($K1$, $K2$, $K3$) для имитации различных видов КЗ. Питание стенда осуществляется от сети 220 В.



Рис.13.4. Внешний вид лабораторного стенда

4. Задание на работу

1. Ознакомиться с целью работы, условиями расчета уставок ТО на линиях.
2. Изучить схемы ТО без выдержки времени и с выдержкой времени.
3. Ознакомиться с оборудованием и приборами лабораторного стенда, выяснить взаимодействия основных органов ТО. Составить развернутые схемы защит на выключателях Q1 и Q2.
4. Вывести действие защит на отключение тумблерами SA1, SA2 и SA3.
5. Включить стенд.
6. Измерить ток трехфазного КЗ в точке К3 в максимальном режиме. Для этого необходимо:
 - переключить в положение "max" рукоятку режима системы;
 - закоротить клеммы А–В–С точки К3;
 - включить выключатели Q1 и Q2;
 - нажать кнопку "КЗ" и записать показания приборов.
7. Аналогичную операцию проводим для замера трехфазного тока КЗ замыкания в точках К1 и К2. Полученные данные записать в таблицу 13.2.

Таблица 13.2

Ток короткого замыкания	Точка короткого замыкания		
	К1	К2	К3
МАКС			
МИН			

8. Отключить стенд.
9. Переключить в положение "min" рукоятку режима системы;
10. Измерить ток двухфазного КЗ в точках К1, К2, К3 в минимальном режиме.

Для этого необходимо:

- закоротить клеммы А–В точки К3;
- включить выключатели Q1 и Q2;
- нажать кнопку "КЗ" и записать показания приборов.

Аналогичные замеры двухфазного тока КЗ произвести в точках К2 и К1 и данные записать в таблицу 13.2.

11. Измерить рабочие токи каждого участка в максимальном режиме при включенных выключателях Q1, Q2 и Q3 и данные записать в таблицу 13.3.

Таблица 13.3

	Участок радиальной сети		
	А– Б	Б– В	Ток нагрузки
Величина рабочего тока, А			

12. Токи срабатывания каждого комплекта защиты определяются по следующим формулам:

- для ТО первой зоны комплекта защиты АК1 подстанции А:

$$I_{с.з.АК1} = K_n I^{(3)}_{максК2}$$

- для ТО первой зоны комплекта защиты АК2 подстанции Б:

$$I_{с.з.АК2} = K_n I^{(3)}_{max К3}$$

- для ТО второй зоны комплекта защиты АК1 подстанции А:

$$I_{с.з.АК1} = K I_{с.з.АК2}$$

13. Уставки токовых реле каждой зоны каждого комплекта защиты определяется по формулам:

$$I_p = (K_{сх} I_{с.з})/K_I$$

14. Коэффициенты чувствительности каждой зоны каждого комплекта защиты определяются по формуле

$$K_{ч} = I_{k.min}/I_{с.з}$$

где $K_{сх} = 1,0$ – коэффициент схемы для схемы неполной звезды.

K_n выбирается из таблицы 13.1, K_T – коэффициент трансформации трансформаторов тока, равный для каждого комплекта защиты максимальной величине тока, указанной на шкале амперметра, установленного в начале каждого участка деленному на 5.

15. Для построения карты селективности и расчета уставок защит выполнить построения, представленные на рис.13.2, используя в масштабе результаты измерений и вычислений, полученных в работе.

16. Выставить, полученные в п.7 уставки. на токовых реле и реле времени.

17. Опробовать действие защит радиальной электрической сети при имитации соответствующих видов КЗ в точках К1, К2, К3.

18. Описать работу схем.

5. Содержание отчета

1. Название и цель работы .
2. Принципиальные развернутые схемы ТО защит АК1 и АК2 лабораторного стенда.
3. Результаты измерений в виде таблиц и расчетов.
4. Карта селективности и определение $I_{сз}$, $t_{сз}$ и $K_{ч}$ для всех защит лабораторного стенда.
5. Описание работы схемы при различных видах КЗ в различных точках.
6. Выводы по работе о достоинствах и недостатках токовой отсечки.

6. Контрольные вопросы

1. Назначение токовой отсечки.
2. Какова область применения токовых отсечек?
3. Перечислите достоинства токовых отсечек.
4. Перечислите недостатки токовых отсечек.
5. Какой режим энергосистемы является расчетным для определения $I_{с.з}$?
6. Какие схемы токовой отсечки применяются в сетях различного напряжения?
7. Что вы понимаете под мертвой зоной токовой отсечки?

8. Какие типы токовых реле, реле времени, промежуточных и указательных реле применены в данной работе?

9. Перечислите назначение всех реле, примененных в данной работе.

10. Что вы понимаете под коэффициентом схемы?

11. Как определяются коэффициенты чувствительности ТО?

12. Какое минимальное значение коэффициента чувствительности регламентируется ПУЭ для ТО первой и второй зоны?

Лабораторная работа № 14
ЗАЩИТА ДВИГАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА
С ПРИМЕНЕНИЕМ МИКРОПРОЦЕССОРНОГО
БЛОКА ЗАЩИТ ТИПА БЗ–03

1. Цель работы

Ознакомление с устройством, принципом действия, и испытанием блока защит БЗ–03. Расчет уставок защит двигателя.

2. Краткие теоретические сведения

2.1. Назначение блока защит БЗ–03

Блок защиты электродвигателя БЗ–03 (БЗ) предназначен для защиты трёхфазных электродвигателей от перегрузок или обрыва фазы. Защита осуществляется путём отключения электродвигателя при возникновении аварийных режимов.

2.2. Основные технические данные и характеристики БЗ

- Диапазон рабочего тока (программируемый) – **(3–10) А**.
- Время срабатывания при перегрузке электродвигателя – программируемое, зависит от кратности перегрузки.
- Время разгона (контроля перегрузок пускового режима) – программируемое, в пределах **1–99с** с дискретностью **1с**.
- Время срабатывания при обрыве фазы – не более **2с**.
- Время блокировки пуска программируемое, в пределах **(0...98)мин.**, с дискретностью – **1 минута**. При установке значения **"99"** блокировка продолжается до нажатия кнопки **"Сброс"**.
- Емкость счётчиков количества срабатываний БЗ по перегрузке и по обрыву фазы – **99**.
- Число параметров и состояний, отражаемых на цифровом индикаторе – **13**.
- Число программируемых параметров **5**.
- Потребляемая мощность – **не более 2,5 Вт**.

2.3. Устройство и принцип действия

БЗ состоит из микроконтроллера и датчиков тока. Структурная схема БЗ приведена на рис. 14.1

Датчики тока служат для преобразования токов в цепях питания двигателя в напряжение. Первичные цепи датчиков тока образуются проводами, пропускаемыми через тороидальные магнитопроводы

датчиков тока. Микроконтроллер с помощью коммутатора, пикового детектора и АЦП измеряет токи в силовых проводах фаз А, В и С. При этом коммутатор подключает для измерения одну из фаз, а пиковый детектор усиливает и запоминает на время аналого–цифрового преобразования уровни сигналов, снимаемых с датчиков тока. Значение максимального значения из измеренных фазных токов отображается на индикаторе. По измеренным значениям токов выявляются аварийные режимы работы двигателя: обрыв фазы и перегрузка по току. При появлении аварийных режимов вырабатывается сигнал "Блокировка", срабатывает реле Р, с помощью которого производится отключение магнитного пускателя. Клавиатура в устройстве предназначена для установки параметров защиты в цифровой форме. Параметры в процессе ввода отображаются на индикаторе, а по окончании ввода записываются во внутреннюю энергонезависимую память данных. В этой же энергонезависимой памяти накапливаются сведения о количестве аварийных отключений двигателя отдельно по токовой перегрузке и по обрыву фазы. Количества отключений по названным причинам отображаются на индикаторе во время нажатия соответствующих кнопок. Расположение кнопок на панели управления показано на рис. 14.2.

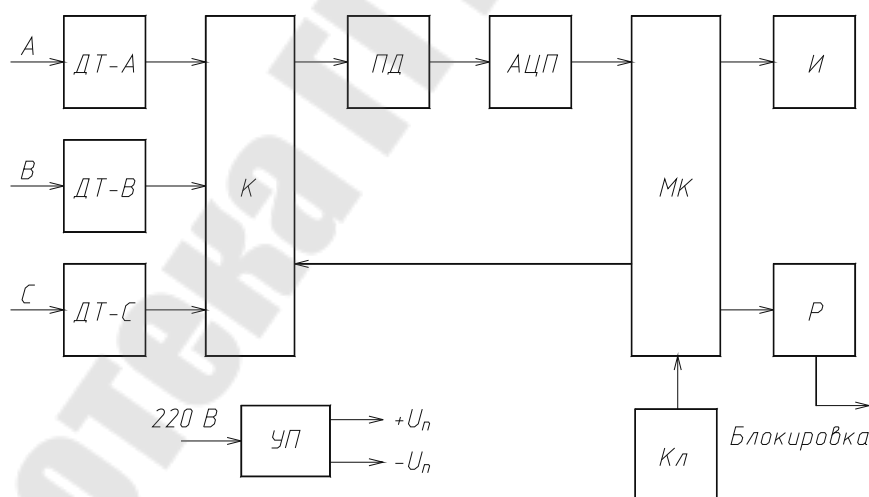


Рис.14.1. Структурная схема БЗ:

ДТ–А – датчик тока фазы А; ДТ–В – датчик тока фазы В;
 ДТ–С – датчик тока фазы С; К – коммутатор; ПД – пиковый детектор;
 АЦП – аналого–цифровой преобразователь; МК – микроконтроллер;
 И – индикатор; Р – реле; Кл – клавиатура; УП – узел питания.

2.4. Указания по применению и эксплуатации

1. Подключение и установка рабочего режима.

Подключить БЗ согласно схеме, приведенной на рис. 14.3, проводами с медной жилой сечением (1,5–2,5) мм².

Внимание – схема дана для подключения пускателя с катушкой, соответствующей междуфазному напряжению (на лабораторном стенде $u_{\text{мф}}=220\text{В}$), для подключения пускателя с катушкой на $U_{\text{кат}} = U_{\text{мф}}/\sqrt{3}$, контакт "4" блока защиты необходимо подключить к нулевому проводу сети.

Закрыть клеммник БЗ защитной крышкой и подать служебное питание $\sim 220\text{В}$ тумблером SA1;

2. Нажав кнопку "I max(A)" и, удерживая её в нажатом положении, кнопками "+1" и "-1" установить по индикатору величину тока максимально допустимого для защищаемого электродвигателя. Ток индицируется в десятых долях Ампера.

3. Нажав кнопку "С инт. (А·с)" и, удерживая её в нажатом положении, кнопками "+1" и "-1" установить по индикатору константу интегрирования, являющую собой произведение величины превышения максимально допустимого установленного тока в Амперах на время её действия в секундах:

$$C_{\text{инт.}}(\text{А}\cdot\text{с})=(I_{\text{перегрузки}} - I_{\text{max}})T_{\text{перегрузки}}.$$

Пример 14.1. Допустим, установленный максимально допустимый рабочий ток $I_{\text{max}}=5\text{А}$ и необходимо действие перегрузочного тока $I_{\text{перегрузки}}=8\text{А}$ ограничить временем $T_{\text{перегрузки}}=10\text{с}$.

Тогда необходимо установить величину $C_{\text{инт.}}(\text{А}\cdot\text{с})=(8\text{А}-5\text{А})\times 10\text{с}=30\text{А}\cdot\text{с}$. (Естественно что, при действии иной перегрузки, например $I_{\text{перегрузки}}=10\text{А}$, время действия перегрузки пропорционально сократится и составит: $T_{\text{перегрузки}}=30\text{А}\cdot\text{с}/(10\text{А}-5\text{А})=6\text{с}$. Константа индицируется в единицах А·с.

4. Нажав кнопку "Т бл.(мин)" и, удерживая её в нажатом положении, кнопками "+1" и "-1" установить по индикатору желаемое время блокировки (в минутах) – время, в течение которого БЗ после его срабатывания в аварийной ситуации не разрешает повторное включение защищаемого электродвигателя.

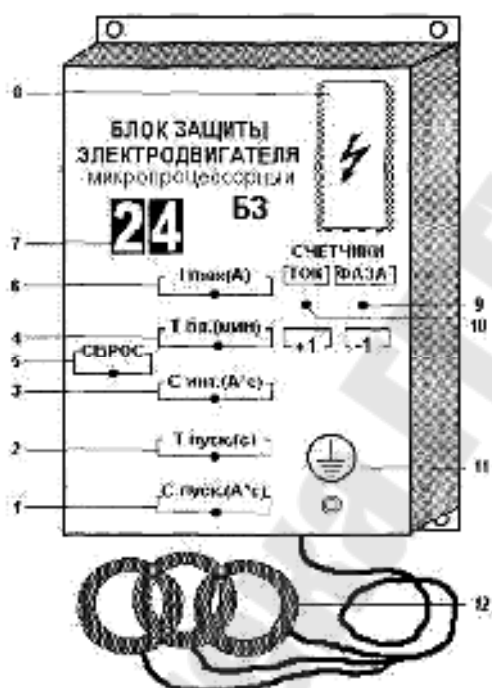
5. Нажав кнопку "Т пуск(с)" и, удерживая её в нажатом положении, кнопками "+1" и "-1" установить по индикатору время пуска электродвигателя (в секундах) – время, в течение которого БЗ работает по отдельной, пусковой программе. Для его правильной установки следует измерить реальное время разгона электродвигателя с обору-

дованием до номинальной частоты его вращения и измеренное значение времени установить описанным выше способом.

6. Нажав кнопку "С пуск (А·с)" и, удерживая её в нажатом положении, кнопками "+1" и "-1" установить по индикатору пусковую константу интегрирования, являющую собой произведение величины превышения максимально допустимого установленного тока при пуске электродвигателя на время её действия:

$$C \text{ пуск (А·с)} = I \text{ пуск ср.} \cdot T \text{ пуск}$$

C пуск(А·с) индицируется в единицах А·с.



- 1 – кнопка задания и вызова константы пусковой;
- 2 – кнопка задания и вызова времени пуска;
- 3 – кнопка задания и вызова константы рабочей;
- 4 – кнопка задания и вызова времени блокировки;
- 5 – кнопка сброса блокировки;
- 6 – кнопка задания и вызова максимального рабочего тока;
- 7 – индикатор двузначный;
- 8 – крышка защиты клемника;
- 9 – кнопка вызова индикации счётчика количества отключений по обрыву фазы и уменьшения значений параметров;
- 10 – кнопка вызова индикации счётчика количества отключений по токовой перегрузке и увеличения значений параметров;
- 11 – болт заземления;
- 12 – датчики тока.

Рис.14.2. Общий вид БЗ–03

Пример 14.2. Допустим пусковой ток двигателя составляет 15А, время пуска электродвигателя $T \text{ пуск (с)}=5\text{с}$, тогда необходимо уста-

НОВИТЬ:

С пуск (А·с)= 15 А · 5 с=75 А·с (Следует установить по индикатору значение «75»)

7. После установки параметров в соответствии с п.п. 3–6 БЗ готов к работе.

2.5. Индикация состояний БЗ

1. При подаче служебного напряжения 220В на БЗ загорается знак "□□".

2. При работе электродвигателя индицируется текущее значение рабочего тока электродвигателя в **десятих долях** Ампера.

3. При срабатывании БЗ по превышению рабочего тока индицируется (в мигающем режиме) значение тока электродвигателя перед моментом его отключения.

4. В течение времени от начала перегрузки по току до момента отключения электродвигателя индицируется знак "⚡".

5. Во время пуска электродвигателя индицируется текущее значение пускового тока в Амперах.

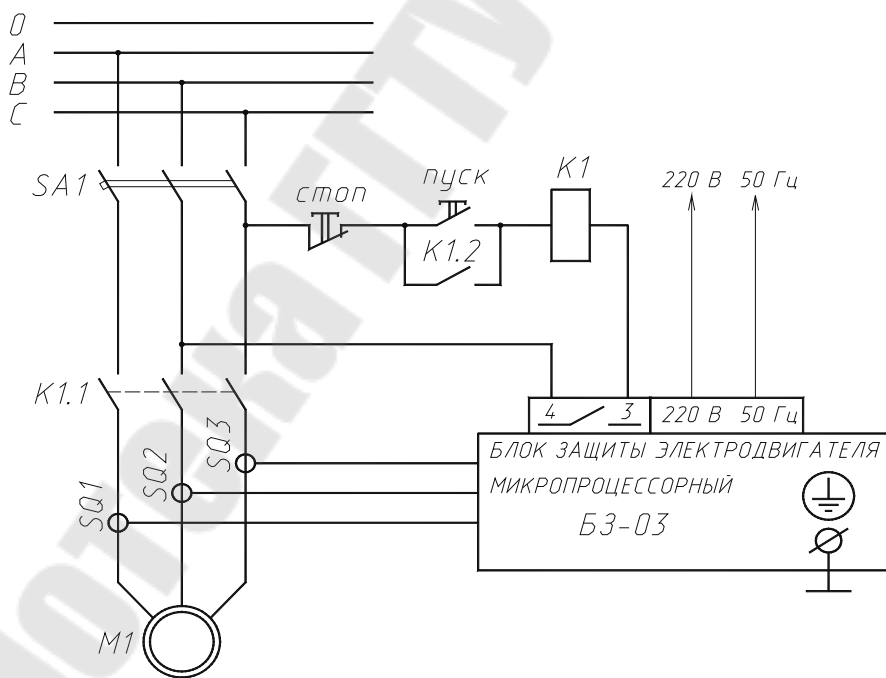


Рис. 14.3. Схема подключения БЗ

К1 – пускатель магнитный; М1 – электродвигатель;
SA1 – выключатель автоматический; SQ1...SQ3 – датчик тока

6. При обрыве фазы индицируется знак "==" в мигающем режиме.

7. При нажатии кнопки "ток" индицируется число, соответствующее количеству произведённых БЗ отключений по превышению тока.

8. При нажатии кнопки "фаза" индицируется число, соответствующее количеству произведённых БЗ отключений по обрыву фазы.

9. При нажатии кнопки " I_{\max} (А)" индицируется заданное значение максимально допустимого тока.

10. При нажатии кнопки "Т бл. (мин)" индицируется заданное значение времени блокировки повторного пуска в минутах.

11. При нажатии кнопки "С инт. (А·с·10)" индицируется заданное значение константы рабочей.

12. При нажатии кнопки "Т пуск" индицируется заданное значение времени пуска электродвигателя.

13. При нажатии кнопки "С пуск (А·с·10)" индицируется заданное значение константы пусковой.

14. При нажатии кнопки "Сброс" (после срабатывания БЗ) прекращается формирование заданного интервала времени блокировки, прекращается индикация символа обрыва фазы или значения тока в момент отключения электродвигателя (в зависимости от причины срабатывания БЗ) и блок готов к работе.

3. Описание лабораторного стенда

На лабораторном стенде (рис.14.4) смонтированы цифровой блок защит типа БЗ–03, магнитный пускатель, кнопки управления, электрический секундомер, асинхронный двигатель. Питание стенда осуществляется от сети 220В.



Рис.14.4. Внешний вид лабораторного стенда

4. Порядок выполнения работы

1. Собрать схему управления магнитным пускателем (рис. 14.3) и подключить амперметр (рис.14.6) в фазу, соответствующую заданию (таблица 14.1).

2. Кнопкой SB “Вкл” включить стенд, кнопкой SB1 "Пуск" запустить электродвигатель и зафиксировать ток при пуске и в установившемся режиме. Результаты измерений занести в таблицу 14.2. Отключить двигатель кнопкой SB1 "Стоп" (схему не разбирать).

3. Измерить время самозапуска, для чего:

- Кнопкой SBсек (сеть), расположенной на лицевой части, подать питание на секундомер СЭЦ–10000 (на шкале появятся цифры 00.00).

- Собрать схему подключения секундомера (рис.14.7)

- Кнопкой SB1 "Пуск" включить двигатель.

- По окончании пуска двигателя секундомер остановит отсчет. Время пуска занести в таблицу 14.2.

Таблица 14.1

Исходные данные для проведения испытаний

№ бригады	Измерение тока в фазе	Фазы управления магнитным пускателем	Ток перегрузки $I_{\text{перегрузки}}$	Время перегрузки $T_{\text{перегрузки}}, \text{с}$	Δt , мин
1	В	А–С	$1,1 \cdot I_{\text{уст}}$	2,0	1,0
2	С	А–В	$1,15 \cdot I_{\text{уст}}$	2,5	1,5
3	А	В–С	$1,2 \cdot I_{\text{уст}}$	3	2,0

Окончание таблицы 14.1

№ бригады	Измерение тока в фазе	Фазы управления магнитным пускателем	Ток перегрузки $I_{\text{перегрузки}}$	Время перегрузки $T_{\text{перегрузки}}, \text{с}$	Δt , мин
4	А	В–С	$1,3 \cdot I_{\text{уст}}$	5	3,0
5	В	А–С	$1,25 \cdot I_{\text{уст}}$	4	1,0
6	С	А–В	$1,35 \cdot I_{\text{уст}}$	3	2,0
7	В	А–С	$1,4 \cdot I_{\text{уст}}$	2,5	2,5
8	С	А–В	$1,5 \cdot I_{\text{уст}}$	2,0	3,0

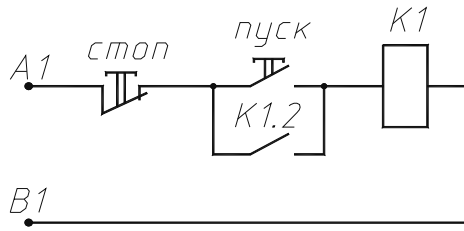


Рис.14.5.Схема управления магнитным пускателем с питанием от фаз А и В

4. До начала работы с БЗ необходимо рассчитать величины, входящие в табл. 14.2.

- **I max (А)** – значение максимально допустимого тока электродвигателя, которое устанавливается равным значению установившегося режима.

- **С инт (А·с)** – константа интегрирования, рассчитывается согласно п.2.5.2.3. Величины, входящие в формулу, взять из таблицы 14.2.

- **Т бл (мин)** – время блокировки, принимается равным значению Δt из табл.14. 2.

- **Т пуск (с)** – время пуска электродвигателя.

- **С пуск (А·с)** – пусковая константа интегрирования, рассчитывается согласно п. 2.5.1.6.

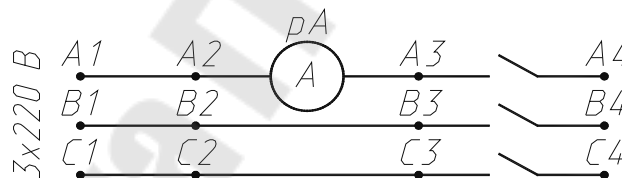


Рис.14.6. Подключение амперметра в фазу А

Таблица 14.2

Результаты измерений и вычислений

Ток при пуске $I_{\text{пуск}}$, А	Ток установившегося режима $I_{\text{уст}}$, А	Время пуска $t_{\text{пуска}}$, с	$I_{\text{перегрузки}}$, А	$T_{\text{перегрузки}}$, с	I max (А)	С инт (А·с)	Т бл (мин)	Т пуск (с)	С пуск (с)	Время действия защиты от перегрузки при включении нагрузки, с	
										Н1	Н1+Н2

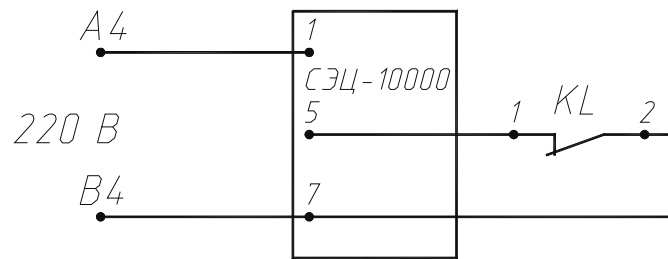


Рис.14.7. Схема подключения секундомера

5. Установить величины, определенные в п.3, на БЗ, руководствуясь указаниями п.2.5.2.
6. Подключить в схему управления магнитным пускателем двигателя выходные контакты БЗ (рис. 14.3).
7. Включить двигатель в работу кнопкой SB "Пуск". Показания индикатора БЗ по п.2.6.5 и п.2.6.2 занести в таблицу 14.3.
8. Кнопками SB1 и SB2 поочередно включить нагрузки Н1 и Н2. Показания индикатора занести в таблицу 14.3.
9. Произвести индикацию уставок БЗ по п.п.2.6.7–2.6.14. Показания индикации занести в таблицу 14.3.
10. Отключить магнитный пускатель двигателя, выполнить неполнофазный режим.
11. Включить магнитный пускатель двигателя в неполнофазном режиме, зафиксировать ток неполнофазного режима и время срабатывания БЗ.
12. Выполнить индикацию количества произведенных БЗ отключений по п.п.2.6.7–2.6.8. Результаты занести в таблицу 14.3.
13. Измерить время действия защиты от перегрузки.
 - Собрать схему и подключить секундомер по рис. 14.7, включив вместо контакта *KL* контакт *KL1*.
 - Кнопкой SB1 "Вкл" включить нагрузку Н1.
 - Кнопкой SB1 "Пуск" включить пускатель К1.
 - Измерить время срабатывания защиты и занести его в таблицу 14.2.
 - Включить нагрузки Н1 и Н2 и повторить опыт по п.п.3.13.3–3.13.4.
14. Разобрать схему, соединительные провода повесить на стенд.

Таблица 14.3

Индикация состояний БЗ

Действие	Показания индикатора
1. Подача служебного напряжения	
2. Ток при пуске, А	
3. Ток установившегося режима, А	
4. Индикация при перегрузке/количество отключений	
5. Индикация при обрыве фазы/количество отключений	
6. Значение максимального допустимого тока, А	
7. Значение времени блокировки повторного пуска, мин	
8. Значение рабочей константы, А·с	
9. Значение времени пуска, с	
10. Значение пусковой константы, А·с	
11. Значение тока/времени срабатывания защиты от перегрузки	при включении Н1
	при включении Н1+Н2

5. Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Основные технические характеристики блока защиты типа БЗ.
3. Схема управления и защиты двигателя.
4. Исходные данные по таблице 14.1.
5. Результаты вычислений и испытаний в виде таблиц 14.2 и 14.3.
6. Выводы.

6. Контрольные вопросы

1. Назначение блока защиты электродвигателя БЗ–03.
2. Перечислить основные технические данные и характеристики БЗ.
3. Для чего предназначены датчики тока и как они включаются в цепь защиты двигателя?
4. Какие величины относятся к уставкам БЗ? Поясните принцип выставления уставок.
5. Что индицируется на индикаторе при перегрузке двигателя?
6. Что индицируется на индикаторе при нормальном режиме?
7. 7.Что индицируется на индикаторе при пуске двигателя?
8. Как проверяются уставки защиты двигателя?
9. По каким параметрам проверяются уставки защиты двигателя?
10. Принцип работы БЗ.
11. 11.Приведите схему подключения БЗ для защиты двигателя.

Лабораторная работа № 15

УПРАВЛЕНИЕ И ЗАЩИТА АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000В

1.Цель работы

Изучение принципов выполнения электрических схем и устройств, применяемых для управления и защиты двигателей переменного тока напряжением до 1000 В.

2.Краткие теоретические сведения

Основными видами повреждений электродвигателей переменного тока являются многофазные КЗ в обмотках статора, однофазные замыкания обмотки статора на землю, замыкания части витков в одной фазе обмотки статора.

Защита от многофазных КЗ устанавливается на всех двигателях и действует без выдержки времени на отключение их от сети.

Для защиты от однофазных замыканий устанавливают защиту нулевой последовательности.

Основным видом ненормального режима электродвигателей является прохождение в статоре токов, превышающих номинальный.

Защита от перегрузки должна действовать на отключение, но с выдержкой времени, достаточной для пуска двигателя.

Для обеспечения самозапуска двигателей ответственных механизмов и предотвращения несинхронного включения после действия АПВ и АВР применяется защита от потери питания, в качестве которой используется минимальная защита напряжения, которая действует на отключение электродвигателей.

Функции защиты от обрыва фазы часто возлагается на защиту от перегрузок. Однако в ряде случаев предусматривается специальная защита от неполнофазного режима работы электродвигателя.

2.1.Защиты от КЗ в обмотках статора

Защита от многофазных КЗ устанавливается на всех электродвигателях и действует без выдержки времени на отключение двигателя от сети.

Для двигателей напряжением до 1000 В используются плавкие предохранители, а также электромагнитные и тепловые расцепители автоматических выключателей и тепловые реле магнитных пускателей.

Наиболее простой является защита плавкими предохранителями. При выборе предохранителя должны учитываться условия:

$I_{пр.ном.} = U_{сети}, I_{пр.откл.} = I_{кз.макс.},$

а его плавкая вставка выбирается с учетом:

1 условие: $I_{вс.ном.} = K_{зап.} I_{раб.макс.}$

2 условие: $I_{вс.ном.} = I_{пер.}/K_{пер.}$

3 условие: $I_{вс.ном.} = I_{к.з.}/10-15,$

где $I_{раб.макс.}$ – максимальный рабочий ток, проходящий через предохранитель, $K_{зап.} = 1,1...1,25$ – коэффициент запаса.

Выбор автоматов производится с соблюдением следующих требований:

1. Номинальное напряжение автомата $U_{а.ном}$ должно быть не ниже напряжения сети, а отключающая способность должна быть больше максимального тока КЗ, проходящего по защищаемому объекту.

2. Номинальный ток расцепителя $I_{расц.ном.}$ следует выбирать не менее расчетного тока нагрузки $I_{расч.}$, который представляет собой наибольшее значение тока, длительно протекающего по защищаемому объекту с учетом возможной перегрузки, для чего должно быть выполнено условие:

$$I_{уст.расц.} = (1,3-1,5 I_{расч.})$$

3. Автомат не должен отключаться при кратковременных перегрузках защищаемого элемента, что обеспечивается при выборе тока уставки мгновенного срабатывания электромагнитного расцепителя, осуществляющего защиту от КЗ $I_{уст.к.з.}$ по выражению:

$$I_{уст.к.з.} = (1,5...1,8) I_{пер.}$$

В качестве расчетного тока $I_{расч.}$ при выборе автоматов и предохранителей принимают номинальный ток двигателя $I_{дв.ном.}$ с учетом необходимости отстройки от токов допускаемой кратковременной перегрузки, токов пуска и самозапуска.

Автоматические выключатели могут снабжаться термическим и электромагнитным расцепителями максимального тока. Встроенный тепловой расцепитель обеспечивает отключение при перегрузках с зависимой от тока выдержкой времени. Электромагнитный расцепитель позволяет отключить электродвигатель при КЗ с независимой от тока выдержкой времени.

2.2. Защита от однофазных замыканий обмоток статора на землю

В сетях и электроустановках до 1000В с глухозаземленной нейтралью с целью обеспечения электробезопасности при замыканиях на землю применяют защитные отключающие устройства (УЗО).

Защитным отключением называется автоматическое отключение всех фаз участка сети, обеспечивающее безопасное для человека сочетание значений тока и времени его протекания при замыканиях на корпус или снижение сопротивления изоляции ниже определенного значения.

УЗО предназначены для защиты людей и животных. Они позволяют за время до 0,1с. автоматически отключить поврежденный участок сети при появлении тока утечки с электроустановок большего, чем уставка устройства по току срабатывания, т.е. при замыкании на корпус или на землю, прикосновении к токоведущей части, находящейся под напряжением, снижением сопротивления изоляции электрооборудования ниже опасного уровня.

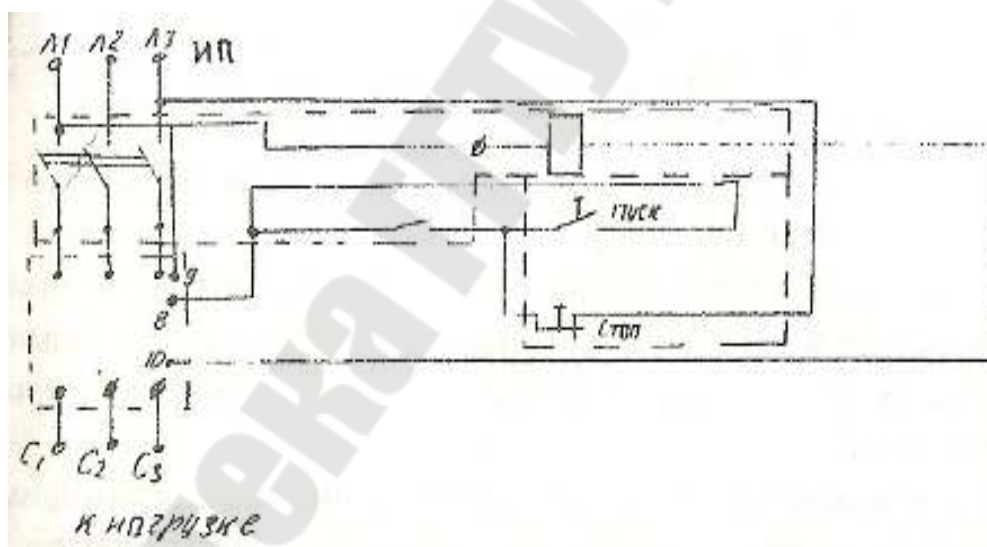


Рис.15.2. Схема включения устройства ЗОУП-25 в сеть 220/380В

2.3. Защита двигателей от перегрузки и от потери питания

Защита от потери питания выполняется обычно групповой (один комплект на несколько присоединений) и действует на отключение двигателей. В качестве защиты применяют минимальную защиту напряжения. Применительно к электродвигателям низкого напряжения минимальную защиту двигателей реализуют с помощью контактора с

удерживающей обмоткой, подключенной к силовой сети. Контактор отключает двигатель от сети, если напряжение на его зажимах снижается до значения $(0,4-0,5) U_{ном}$.

В качестве защиты от перегрузки применяют токовую защиту на основе токовых реле РТ-80.

Защита от перегрузки АД напряжением ниже 1000В выполняется токовой, тепловой или температурной (реагирует на повышение температуры обмотки или других частей двигателя).

Защита может выполняться автоматами или с помощью реле косвенного действия – тепловых, электромагнитных, полупроводниковых.

Магнитный пускатель содержит два тепловых реле КСТ (рис.15.3), которые отключают двигатель в зависимости от количества тепла, выделенного в них. Применяют тепловые реле типа ТРН, которые встраиваются в магнитные пускатели.

Защита от перегрузки действует на сигнал или на разгрузку приводимого механизма, либо на отключение двигателей с тяжелыми условиями пуска и самопуска.

Номинальный ток теплового реле и его сменного нагревателя для защиты двигателей до 1000В выбирают из условия:

$$I_{р.ном.} = I_{дв.пуск.} / n \text{ тт.}$$

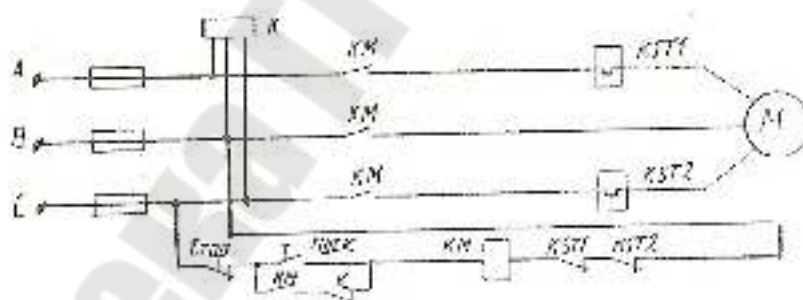


Рис.15.3. Защита от обрыва фазы и от перегрузки асинхронного двигателя напряжением до 1000В

При КЗ в двигателе нагреватель может перегореть раньше, чем реле отключит двигатель. Поэтому тепловые реле применяются только при наличии быстродействующей защиты от КЗ (в данном случае – плавких предохранителей).

Для двигателей, защищаемых от КЗ предохранителями и при необходимости осуществления защиты от перегрузок применяют реле обрыва фазы (реле К на рис.15.3), которое своими контактами разры-

ваает цепь самоудерживания пускателя при перегорании предохранителей.

На рис.15.4 показана принципиальная схема реле обрыва фаз типа Е-511.

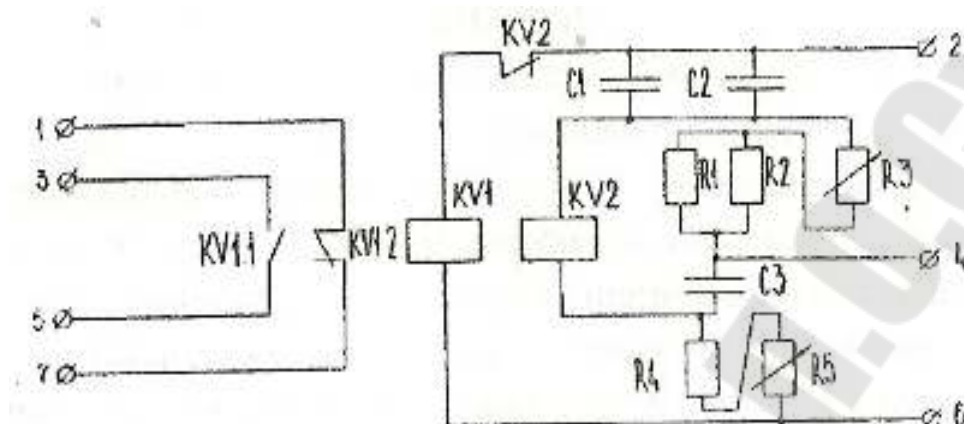


Рис.15.4. Схема реле обрыва фаз типа Е-511.

При включении реле в сеть должна соблюдаться правильность порядка чередования фаз. Фазы А,В,С трехфазной системы должны быть подключены соответственно к зажимам 2,4,6. В этом случае при симметрии напряжений будет замкнут замыкающий контакт KV1.1. Размыкающий контакт реле, включенный на сигнал или на отключение, будет разомкнут.

Конструкция Е-511 включает активно-емкостной фильтр напряжения обратной последовательности, а также реле напряжения KV1 (основное) и KV2 (вспомогательное).

Реле нормально работает при изменении напряжения сети от 0.85 до 1.1 $U_{ном}$.

Устройство встроенной температурной защиты типа УВТЗ-1 предназначено для предотвращения чрезмерного перегрева статорных обмоток асинхронных двигателей, работающих в помещениях с химически активной средой и на открытом воздухе. Работают совместно с любыми магнитными пускателями в сетях напряжением 220/380 В.

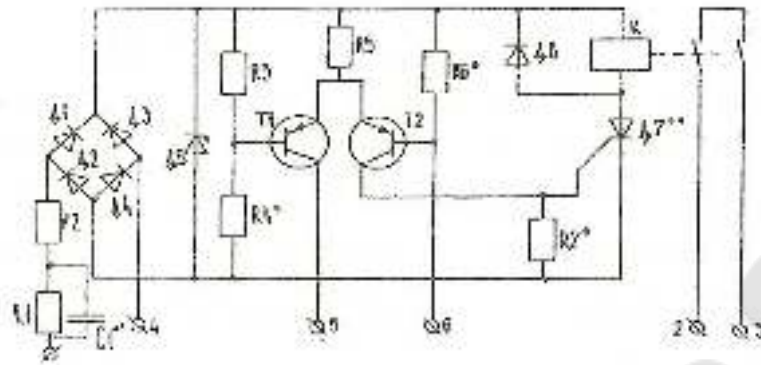


Рис.15.5. Схема УВТЗ-1.

Принципиальная схема УВТЗ-1 приведена на рис.15.5. Устройство защиты состоит из токового ключа, выполненного на транзисторах Т1 и Т2, исполнительного реле Р, управляемого тиристором Д7 и узла питания, состоящего из диодного моста Д1-Д4, стабилитрона Д5, конденсатора С1 для ограничения тока в цепи питания, резисторов R1 и R2 для ограничения тока в цепи стабилитрона Д5 в момент включения устройств защиты и разрядки конденсатора при отключении. Токковый ключ состоит из транзисторов Т1 и Т2 и резисторов R3-R6. Резисторы R3, R4 и R6 совместно с сопротивлением термодатчиков, подключаемых через клеммы 5 и 6 в цепь базы транзистора Т2, образуют делители напряжения, определяющие сопротивление срабатывания устройств защиты. Нагрузкой транзистора Т2 является управляющий переход тиристора Д7.

Схема подключения устройства показана на рис.15.6. При нажатии кнопки ("Пуск") подается напряжение питания на клеммы 1 и 4.

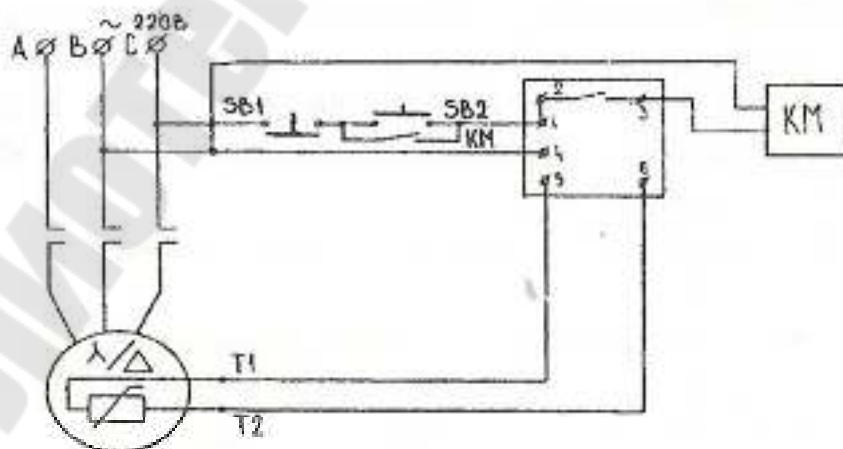


Рис. 15.6. Схема включения УВТЗ-1.

Если температура обмотки электродвигателя ниже рабочей температуры термодатчиков, то их сопротивление менее сопротивления срабатывания.

В этом случае транзистор Т1 закрыт, а транзистор Т2 открыт. Ток протекает через транзистор Т2 и управляющий переход тиристора Д7. Тиристор и реле включаются, контакты реле замыкают цепь катушки магнитного пускателя, на электродвигатель подается напряжение. При увеличении температуры обмотки сверх предельно допустимого значения сопротивление термодатчиков резко возрастает до величины, при которой происходит запираание транзистора Т2 и включение транзистора Т1. Управляющий переход тиристора Д7 обесточивается, реле Р отключается, разрывая цепь катушки магнитного пускателя и отключая электродвигатель от сети.

3. Описание лабораторного стенда

Лабораторный стенд (рис.15.7) включает трехфазный асинхронный двигатель напряжением 220 В, электрические аппараты, устройства и реле, используемые для защиты двигателей: автоматический выключатель, магнитный пускатель, устройство защитного отключения УЗО, устройство встроенной температурной защиты УВТЗ–1, реле защиты от обрыва фазы типа Е–511.

На лицевой панели изображены принципиальные схемы устройств и схемы их включения для защиты двигателя

Питание стенда осуществляется от сети 220В.



Рис.15.7. Внешний вид лабораторного стенда

4. Задание на работу

1. Ознакомиться с видами повреждений электродвигателей и применяемыми защитами.

2. Ознакомиться с принципами применяемых для защиты двигателей, конструкциями, номинальными данными и устройством плавких предохранителей, автоматических выключателей, магнитных пускателей, тепловых реле, а также с принципами выбора плавких предохранителей, автоматических выключателей и магнитных пускателей. Выбрать плавкие предохранители, автоматический выключатель и магнитный пускатель для двигателя мощностью P кВт, где P соответствует номеру бригады, напряжением 220/380 В с тяжелыми условиями пуска.

3. Собрать и опробовать схему управления и защиты двигателем с помощью магнитного пускателя и тепловых реле схема приведена на стенде.

4. Ознакомиться с назначением, конструкцией, принципом действия устройства защитного отключения УЗО.

5. Ознакомиться с назначением, конструкцией, принципом действия реле обрыва фазы Е-511 и устройства встроенной температурной защиты УВТЗ-1.

6. Проверить работоспособность двигателя, подключив его к трехфазной сети через автомат.

7. Снять крышку кожуха УЗО. Проверить наличие заземления, состояние пускателя и кнопок устройства.

8. Подключить двигатель к сети через устройство УЗО по схеме рис.15.2. Проверить работоспособность устройства защитного отключения нажатием кнопок "Пуск", "Контроль", "Стоп".

9. Собрать схему по рис.15.3. Проверить действие защиты, имитируя тепловую перегрузку двигателя и обрыв фазы питающей цепи.

10. Собрать схему по рис.15.6 и опробовать действие устройства встроенной температурной защиты двигателя.

5. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Схемы внутренних соединений устройств и реле защиты и схемы защиты двигателя.
3. Результаты испытания устройств защиты.

4. Результаты выбора плавких предохранителей, автоматического выключателя и магнитного пускателя для управления и защиты двигателя по заданному варианту. Привести схемы включения предохранителей с пускателем с цепями управления при $U_{кат.} = 220В$ и автоматического выключателя с магнитным пускателем при $U_{кат.} = 380В$.

6. Контрольные вопросы

1. Назовите основные виды повреждений и ненормальных режимов электродвигателей переменного тока.
2. Какие типы устройств защиты применяются на асинхронных двигателях напряжением до 1000 В?
3. Какими номинальными данными характеризуются плавкие предохранители?
4. Какими номинальными данными характеризуются автоматические выключатели?
5. В каких случаях применяются устройства защитного отключения?
6. Поясните принцип действия ЗОУП–25.
7. Как выполняется защита асинхронного двигателя от перегрузки?
8. Каково назначение устройства УВТЗ–1?
9. Поясните принцип действия устройства УВТЗ–1.
10. Каково назначение реле Е–511?
11. Поясните принцип действия реле Е–511.

Лабораторная работа № 16
ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ
НАПРЯЖЕНИЕМ ВЫШЕ 1000В

1.Цель работы

Изучение принципов выполнения защит двигателей переменного тока, расчет уставок защит и испытание защит электродвигателей напряжением выше 1000В.

2.Краткие теоретические сведения

2.1 Виды повреждений и ненормальных режимов работы двигателей

Основными видами повреждений электродвигателей переменного тока являются многофазные КЗ в обмотках статора, однофазные замыкания обмотки статора на землю, замыкания части витков в одной фазе обмотки статора.

Основным видом ненормального режима электродвигателей является перегрузка двигателей. Защита от перегрузки должна действовать на отключение, но с выдержкой времени, достаточной для пуска двигателя.

Основными защитами электродвигателей (ЭД) от междуфазных КЗ являются токовая отсечка (ТО) или дифференциальная защита (ДЗД).

Если мощность электродвигателя меньше 5МВт, то основной защитой электродвигателей (ЭД) от междуфазных КЗ является токовая отсечка. ТО устанавливается на всех двигателях и действует без выдержки времени на отключение их от сети.

Дифференциальная защита устанавливается на ЭД, если $P_{ЭД} \geq 5\text{МВт}$ и действует без выдержки времени на отключение их от сети. Дифференциальная защита может применяться и при меньшей мощности электродвигателя при условии, что обмотки этих двигателей имеют выводы со стороны нейтрали.

Кроме защит от междуфазных КЗ на двигателе должна быть предусмотрена защита от однофазных замыканий на землю нулевой последовательности.

Для обеспечения самозапуска двигателей ответственных механизмов и предотвращения несинхронного включения после действия АПВ и АВР применяется защита от потери питания, в качестве кото-

рой используется минимальная защита напряжения, которая действует на отключение электродвигателя.

Для электродвигателя выбираются уставки следующих видов защит: от междуфазных КЗ; от замыкания на землю; от перегрузки и защита минимального напряжения.

2.2 Расчет токовой отсечки двигателя

Рекомендуется придерживаться следующей последовательности расчета. Определяется номинальный ток двигателя:

$$I_{\text{ном.дв}} = \frac{P_{\text{дв}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \eta \cdot \cos \varphi} \quad (16.1)$$

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

Расчетное значение первичного тока срабатывания токовой отсечки определяется по выражению:

$$I_{\text{с.з}} \geq K_{\text{зап}} \cdot I_{\text{пуск}} = I_{\text{с.з}} \geq K_{\text{зап}} \cdot K_{\text{п}} \cdot I_{\text{ном.дв}} \quad (16.2)$$

где $I_{\text{пуск}}$ – пусковой ток ЭД;

$K_{\text{п}}$ – кратность пускового тока;

$K_{\text{зап}}$ – коэффициент запаса, принимается равным $1,8 \div 2$ для токового дискового реле РТ–80; $1,5 \div 1,6$ для реле РТ–40 и $1,3 \div 1,4$ для цифрового реле.

Коэффициент чувствительности ТОЛ проверяется по выражению

$$K_{\text{ч}} = I_{\text{к.мин}}^{(2)} / I_{\text{с.з}} \quad (16.3)$$

где $I_{\text{к.мин}}^{(2)}$ – минимальный двухфазный ток КЗ на линейных выводах ЭД.

Согласно ПУЭ должно выполняться условие $K_{\text{ч}} \geq 2$.

Если в выражении (16.1) в качестве $I_{\text{пуск}}$ принять паспортное значение пускового тока ЭД, то чувствительность отсечки может оказаться недостаточной. В этом случае следует рассчитать реальное значение пускового тока с учетом сопротивления питающего источника по выражению:

$$I_{\text{пуск}} = U_{\text{нн.ср}} / [\sqrt{3}(x_{\text{нн.мин}} + x'' d)] \quad (16.4)$$

Следует отметить, что ТО защищает только часть обмотки ЭД, расположенной ближе к линейным выводам. Указанную часть обмотки в процентах можно определить по формуле:

$$I_{\text{ТО}} = (I_{\text{к.мин}}^{(2)} - I_{\text{с.з}}) / I_{\text{кз.мин}}^{(2)} \cdot 100\% \quad (16.5)$$

Дифференциальная защита электродвигателя

Для 100% –го охвата всей обмотки двигателя или, если чувствительность ТО недостаточная (меньше 2) или, если мощность ЭД более 5МВт, то применяют дифференциальную защиту, при условии, что статорная обмотка двигателя имеет выводы со стороны нейтрали.

Ток срабатывания дифференциальной защиты:

$$I_{\text{сз}} \geq K_{\text{зап}} \cdot I_{\text{ном.дв}} \quad (16.6)$$

где $K_{\text{зап}} = 1,5 \div 2$ для дифференциальных реле типа РНТ–565 и ДЗТ –11;

$K_{\text{зап}} = 0,8 \div 1$ для РСТ–15 и $K_{\text{зап}} = 0,5$ для цифрового реле.

Т.Е. в цифровых реле ток срабатывания дифференциальной защиты принимается равным 50% номинального тока двигателя.

Повысить чувствительность токовой отсечки можно применив цифровое реле SPAC–802, у которого есть функция автоматического удвоения уставки токовой отсечки при пуске двигателя. Данная функция работает по следующему алгоритму.

В реле имеется три токовых пороговых органа (ПО):

Два первых ПО максимального тока с уставками $0,1I_{\text{ном}}$ и $1,5I_{\text{ном}}$, а третий ПО – минимального тока с уставкой $1,25I_{\text{ном}}$. При быстром нарастании тока два первых ПО последовательно срабатывают и если промежуток времени между срабатыванием ПО1 и срабатыванием ПО2 не превысит 60 мс, то это будет свидетельствовать о начале пуска двигателя, а не его перегрузке. В этот момент цифровое реле удваивает уставку ТО отсечки, которая в данном случае будет отстроена от максимального пускового тока. После окончания процесса пуска двигателя, его ток уменьшается до номинального значения. При достижении порога срабатывания ПО3 снимается удвоение уставки и токовая отсечка уже будет работать с повышенной чувствительностью к КЗ в работающем двигателе.

Однако данная функция имеет недостаток: она может необоснованно загрузить токовую отсечку в случае включения двигателя на КЗ.

На современных цифровых реле имеется возможность выполнить защиту двигателя от затяжного пуска и заклинивания ротора. Первая защита срабатывает и отключает двигатель, если ток двигателя от начала процесса пуска превышает значение $3I_{\text{ном}}$ в течение заданного времени $t_1 \approx 2t_{\text{пуск}}$. Начало пуска обнаруживается в момент увеличения потребляемого тока от 0 до значения более 5% номинального тока. Вторая защита срабатывает, если пуск завершен, двигатель работает нормально и в установившемся режиме неожиданно ток двигателя достигает значения более $3I_{\text{ном}}$ и держится в течение заданного времени, обычно $t_2 = 3-4\text{с}$.

2.4. Защита минимального напряжения

Защита минимального напряжения (ЗМН) применяется на всех без исключения двигателях. При наличии нескольких двигателей защита выполняется групповой. Если количество двигателей, подключенных к одной секции шины больше одного, то в общем случае применяется двухступенчатая ЗМН.

Напряжение срабатывания реле минимального напряжения (уставка реле напряжения) определяется по формуле:

$$U_{\text{с.р}} = (0,5 - 0,6)U_{2.\text{ном}} \quad (16.7)$$

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

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

Первая ступень ЗМН выполняет функцию отключения ответственных двигателей для обеспечения самозапуска ответственных по технологии агрегатов. Уставка ЗМН–1 выбирается по условию обеспечения возврата реле напряжения при восстановлении напряжения на шинах после отключения КЗ токовыми защитами присоединения. При этом необходимо, чтобы все защиты отходящих от шин линий имели ТО без выдержки времени. Если это условие не выполняется, двигатели могут затормозиться и последует одновременный самозапуск всех двигателей (групповой), который может оказаться неуспешным. Выдержка времени ЗМН–1 отстраивается от времени действия МТЗ отходящих линий и обычно равна по времени МТЗ питающего ввода. Таким образом, уставки ЗМН–1 следующие:

$$U_{\text{с.з}} \leq (0,6 \div 0,7)U_{\text{ном}}; \quad t_{\text{с.з}} \approx t_{\text{МТЗ.В}} \quad (16.8)$$

Вторая ступень ЗМН применяется для ответственных двигателей и уставка ее определяется значением напряжения на шинах, при

котором самозапуск двигателей не может быть обеспечен. Выдержка времени второй ступени определяется технологическими условиями работы механизмов.

Таким образом, уставки ЗМН–2 следующие:

$$U_{с.з} \leq (0,4 \div 0,5)U_{ном}; \quad t_{с.з} \approx (3-9)с., \quad (16.9)$$

Защита от потери питания выполняется обычно групповой (один комплект на несколько присоединений) и действует на отключение двигателей. В качестве защиты применяют минимальную защиту напряжения.

2.3. Защита двигателей от перегрузки

Защита от перегрузки (ЗП) АД напряжением выше 1000В выполняется токовой или температурной (реагирует на повышение температуры обмотки или других частей двигателя).

Защита от перегрузки выполняется с помощью одного реле максимального тока, контролирующего фазный ток двигателя. В качестве защиты от перегрузки может применяться токовая защита на основе токовых реле РТ–80.

Ток срабатывания защиты ЭД от перегрузки определяется по выражению:

$$I_{сз} \geq K_{зап} \cdot I_{ном.дв} / K_{в}, \quad (16.10)$$

где $K_{зап} = 1,05$; $K_{в} = 0,85$.

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

$$t_{сз} \geq (1,3 \dots 1,4)t_{пуск}, \quad (16.11)$$

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

Защита от перегрузки действует на сигнал или на разгрузку приводимого механизма, либо на отключение двигателей с тяжелыми условиями пуска и самопуска.

2.4. Защита от однофазных замыканий на землю

Защита от однофазных замыканий на землю двигателя устанавливается если суммарный емкостной ток замыкания на землю сети ($I_{\Sigma C}$) превышает 5А и действует на отключение двигателя. Данная защита выполняется на базе реле тока нулевой последовательности типа РТЗ–51.

Уставка по току защиты от замыкания на землю рассчитывается по условию несрабатывания защиты от собственного емкостного тока данного присоединения (линии или электродвигателя) по выражению:

$$I_{с.з} \geq K_{отс} \cdot K_{бр} \cdot I_{с.пр}, \quad (16.12)$$

где $K_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимаемый равным 1,2;

$K_{бр}$ – коэффициент, учитывающий бросок емкостного тока в момент зажигания дуги; для цифровых реле $K_{бр} = 1,8...2$; для аналогового реле типа РТЗ–51 $K_{бр} = 2,5$;

$I_{с.пр}$ – собственный емкостной ток защищаемого присоединения.

Ток срабатывания защиты необходимо проверить по условию чувствительности:

$$K_{ч} = (\sum I_c - I_{с.пр}) / I_{с.з} \geq 1,2...1,5, \quad (16.13)$$

где $\sum I_c$ – суммарный емкостной ток всех присоединений данной электрической сети, с учетом возможного отключения одного из них на ремонт.

Сравнив выражения (16.12) и (16.13) увидим, что выполнить достаточно чувствительную ненаправленную защиту можно лишь в том случае, если значение $\sum I_c$ превышает величину $I_{с.пр}$ более, чем в 5 раз. То есть такую защиту можно применить только в достаточно разветвленной электрической сети. В противном случае применяют направленную ЗЗ. Вместе с тем, надежность ненаправленной защиты выше, чем направленной.

Защиты по току нулевой последовательности, подключаемые к трансформаторам тока нулевой последовательности отечественного производства, нельзя настраивать, непосредственно выставляя уставку в реле. Коэффициент трансформации этих трансформаторов резко меняется в зависимости от нагрузки из-за их малой мощности. На уставку влияет даже сопротивление соединительных проводов. Поэтому, настройка ведется по первичному току, подаваемому через провод, пропущенный через зазор ТНП. Для начала можно принять коэффициент трансформации ТНП, равным 25.

Направленная защита применяется в сетях с токами замыкания на землю более 0,5–0,6А (первичных) в случае недостаточной чувствительности ненаправленной защиты.

Уставка по току выбирается по условию обеспечения гарантированного коэффициента чувствительности, равного 2:

$$I_{с.з} = (\sum I_c - I_{с.пр})/2 \quad (16.14)$$

Ток срабатывания защиты определяется по выражению (16.12), где к величине $I_{с.л.8}$ прибавляется значение собственного емкостного тока двигателя, ориентировочно определяемого по следующей формуле:

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

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

$$\text{где } S_{дв} = P_{дв} / (\eta \cdot \cos \varphi);$$

$P_{дв}$ – номинальная мощность ЭД в МВт.

Чувствительность защиты определяется по (16.13). Если чувствительность окажется недостаточной, то рекомендуется применить направленную защиту с реле ЗЗП–1М.

2.5. Особенности защит синхронных двигателей

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 не менее 0,6 с при возврате (устанавливается реле, например РП–252 или РП–18). При использовании цифровых реле защита от асинхронного хода реагирует на максимальное значение реактивной мощности ЭД: $Q_{с.з} \approx 0,5P_{ЭД}$.

3. Описание лабораторного стенда

Лабораторный стенд (рис.16.7) включает трехфазный асинхронный двигатель напряжением 220В, электрические аппараты, устройства и реле, используемые для защиты двигателей. Питание стенда осуществляется от сети 220В.

4. Задание на работу

1. Ознакомиться с видами повреждений электродвигателей.
2. Ознакомиться применяемыми защитами электродвигателей, используя паспортные данные электродвигателя:

$$P_n = 1000 \text{ кВт};$$

$$\eta = 95,2\%;$$

$$\cos \varphi = 0,92;$$

$$I_p/I_n=6,4;$$

$$U_n=6\text{кВ};$$

$$I_{к.з}=20\text{кА};$$

$$K_{тт} (TA1, TA3)=80;$$

3. Произвести расчет уставок защит двигателя

3.1. Защита от КЗ между фазами в виде токовой отсечки является основной защитой электродвигателей и установка её обязательна во всех случаях. В данной работе ТО осуществляется на реле типа РТ–84.

Ток срабатывания ТО

$$I_{ср}=(K_{сх}*K_n*1,8*I_n)/K_t, \quad (16.15)$$

где 1,8 – коэффициент, учитывающий апериодическую постоянную пускового тока:

$$K_{сх}=\sqrt{3} \text{ – коэффициент схемы.}$$

$$K_n=1,2 \text{ – коэффициент надёжности.}$$

Расчёт тока срабатывания ТО производится в следующей последовательности;

а) Определяется номинальный ток двигателя:

$$I_{ном}=P_{ном}/(\sqrt{3}*U_n*\eta*\cos\varphi) \quad (16.16)$$

б) Определяется ток срабатывания отсечки с отстройкой от пусковых токов при установке двух трансформаторов тока.

$$K_{сх}=\sqrt{3}; 160/2 (K_t=80)$$

$$I_{ср}=(\sqrt{3}*1,2*1,8*6,4*I_{ном})/80=33\text{А} \quad (16.17)$$

в) Определяется коэффициент чувствительности отсечки:

$$K_{ч}=(I_{кз}*0,87)/(I_{ср}*K_t) \quad (16.18)$$

3.2. Защита от перегрузки двухфазная, отстраивается от номинального тока электродвигателя.

$$I_{ср}=(K_n*I_n*K_{сх})/(K_v*K_t), \quad (16.19)$$

где $K_n=1.1-1.2$ – (для защит действующих на сигнал)

$K_n=1.5-1.75$ – (для защит действующих на отключение)

$$K_v=0.8-0.85$$

Принимаем для токовой отсечки и для защиты от перегрузки уставки тока срабатывания $I_{отс}$, $I_{пер}$.

5. Порядок выполнения лабораторной работы

5.1. Собрать схему защиты электродвигателя рис. 16.1.

5.2. После сборки схемы (рис. 16.1) и проверки её преподавателем, включить SA1 и SA7, осуществить пуск двигателя нажатием кнопки SB1. Отключить двигатель M1 нажатием кнопки SB2. Выключить тумблер SA7.

5.3. Произвести настройку защиты.

Снять кожух с реле РТ–84. Установить перемычку на минимальный ток срабатывания.

5.4. Последовательность операций при проведении лабораторной работы.

5.4.1. Перевести тумблер SA15 в верхнее положение, замкнуть SA5, замкнуть SA7, включить SA5, нажать SB1.

5.4.2. Уставку выдержки времени реле РТ–84 установить минимальной. Необходимо убедиться, что переключатель SA2 находится в положении 1 и на панели не осталось никаких "лишних" перемычек от выполнения предыдущих лабораторных работ и регуляторы RP3, RP4 находятся в крайнем против хода часовой стрелки положении. Для создания перегрузки необходимо замкнуть тумблер SA3 (SA4–отключен). Поворачивая регулятор RP3 по часовой стрелке добиться, того чтобы диск реле пришел во вращение, а зубчатый сектор вошел в зацепление с червячной передачей. После срабатывания контакта реле тока с замедлением включится реле блокировки KL1 и двигатель отключится. Отключить SA3. Затем опыт можно повторить.

5.4.3. Переставить перемычки в цепи питания блокировочного реле KL1 в положение, показанное пунктирными линиями. Для создания КЗ (двухфазного) необходимо разомкнуть SA3 и включить SA4 с соблюдением вышеуказанных предосторожностей. Настройка срабатывания электромагнитного элемента производится после того, как регулятором RP4 добились более быстрого вращения диска реле тока, чем при включении SA3, затем, удерживая поворотную рамку реле тока в положении, не позволяющем произвести зацепления зубчатого сектора с червячной передачей, поворотом регулировочного винта электромагнитного элемента добиться его срабатывания. Вновь блокировочное реле KL1 отключит двигатель уже без выдержки времени. Отключить SA4. Затем эксперимент можно повторить.

При желании перегрузку можно осуществить с выдержкой времени.

6. Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Схемы внутренних соединений реле защиты.
3. Полная развернутая схема защит двигателя на постоянном оперативном токе (ТО, ЗП, ЗМН).
4. Результаты расчета уставок защит двигателя.
5. Результаты испытания устройств защиты.

7. Контрольные вопросы

1. Назовите основные виды повреждений электродвигателей переменного тока.
2. Назовите основные виды ненормальных режимов электродвигателей переменного тока.
3. Какие виды защит устанавливаются на электродвигателях?
4. Какие виды защит от повреждений устанавливаются на электродвигателях?
5. Какие защиты на электродвигателях выполняются с выдержкой времени?
6. Каково назначение промежуточного реле в схемах защиты?
7. Каково назначение указательных реле в схемах защиты?
8. Какие защиты защищают двигатель от междуфазных замыканий?
9. Когда основной защитой двигателя является токовая отсечка?
10. Когда основной защитой двигателя является дифференциальная защита?
11. Каким образом производится выбор тока срабатывания защиты от междуфазных замыканий?
12. Каким образом производится выбор уставки срабатывания защиты минимального напряжения?
13. Как производится выбор уставки срабатывания дифференциальной защиты электродвигателей от междуфазных замыканий?
14. Как производится выбор уставки срабатывания ЗЗП электродвигателей от замыканий на землю?
15. Как производится вычисление коэффициента чувствительности ЗЗП?

Лабораторная работа № 17

ЗАЩИТА ОТ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ С ИЗОЛИРОВАННОЙ ИЛИ КОМПЕНСИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

1. Цель работы

Изучение принципов построения защиты сетей с изолированной или компенсированной нейтралью от замыкания на землю.

2. Краткие теоретические сведения

2.1. Установившийся режим однофазного замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью

Величина установившегося тока замыкания на землю определяются режимом работы нейтрали электрических систем. В сетях с изолированной нейтралью установившиеся значения токов в точке повреждения при однофазном замыкании обычно не превышают нескольких десятков ампер. Если нейтраль заземлить через дугогасящую катушку (ДГК), то ток замыкания на землю при соответствующей настройке ДГК можно значительно уменьшить. В связи с этим выполнение токовой защиты от однофазных замыканий на землю сетей вызывает определенные трудности. Это приводит к необходимости создания защит, действующих в зависимости от токов переходных процессов при замыкании на землю, а также устройств, реагирующих на высшие гармонические составляющие, содержащиеся в токе замыкания на землю.

В сетях с изолированной нейтралью при нормальной работе, наряду с рабочими токами нагрузки, по фазам проходят емкостные токи, обусловленные распределенными по длине проводов емкостями фаз относительно земли. Если не учитывать токи нагрузки, то напряжения во всех точках сети можно считать одинаковыми, так как емкостные токи малы и можно не учитывать падение напряжения в проводах от этих токов. При этом напряжения фаз относительно земли равны соответствующим фазным напряжениям \underline{U}_A , \underline{U}_B , \underline{U}_C относительно нейтрали системы, а распределенные емкости фаз в эквивалентной схеме можно заменить сосредоточенными емкостями C_A , C_B , C_C (рис.17.1, а). В симметричной трехфазной сети $C_A=C_B=C_C=C$.

В связи с отсутствием падения напряжения в проводах напряжения \underline{U}_A , \underline{U}_B , \underline{U}_C равны соответствующим ЭДС источника питания, а их векторы образуют симметричную звезду фазных напряжений

(рис.17.1, б). В результате напряжение нейтрали Н относительно земли равно нулю, а через сосредоточенные емкости проходят токи, опережающие по фазе соответствующие фазные напряжения на углы $\pi/2$ и образующие симметричную систему токов:

$$\underline{I}_A = j\underline{U}_A / X_C = j\omega C \underline{U}_A; \underline{I}_B = j\omega C \underline{U}_B; \underline{I}_C = j\omega C \underline{U}_C \quad (17.1)$$

При замыкании какой-либо фазы на землю в сети с изолированной нейтралью напряжения фаз относительно земли изменяются, оставаясь неизменными относительно нейтрали системы Н. Так, при металлических замыканиях на землю, например фазы А (рис.17.1, в), она получает потенциал земли ($U_A=0$). В связи с этим напряжения двух других фаз и нейтрали Н относительно земли становятся напряжениями относительно замкнувшейся на землю фазы А (рис.17.1, г):

$$\underline{U}_{AB} = \underline{U}_B; \underline{U}_{CA} = \underline{U}_C; \underline{U}_{HA} = \underline{U}_{HK} = -\underline{U}_A \quad (17.2)$$

Так как междуфазные напряжения остаются при этом неизменными, то напряжения неповрежденных фаз В и С относительно земли повышаются в $\sqrt{3}$ раз и становятся равными линейному напряжению.

Систему двух векторов \underline{U}_B и \underline{U}_C можно разложить на составляющие прямой \underline{U}_1 и нулевой \underline{U}_0 последовательностей (рис.17.1, д).

При $U_A=0$:

$$\begin{aligned} \underline{U}_{1A} &= (a\underline{U}_B + a^2\underline{U}_C) / 3 = \underline{U}_A; \\ \underline{U}_{0A} &= \underline{U}_{0B} = \underline{U}_{0C} = \underline{U}_{0K} = (\underline{U}_B + \underline{U}_C) / 3 = -\underline{U}_A; \\ \underline{U}_{2A} &= (a^2\underline{U}_B + a\underline{U}_C) / 3 = 0. \end{aligned} \quad (17.3)$$

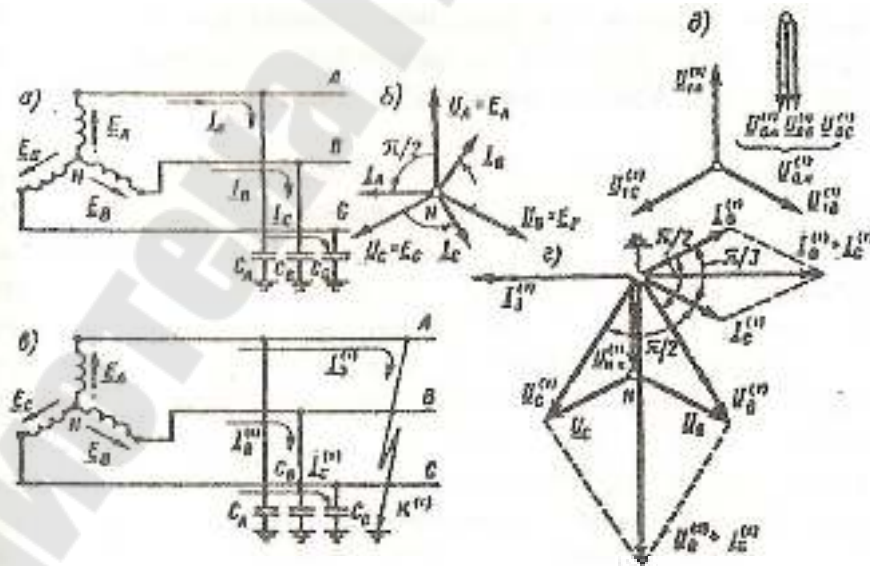


Рис. 17.1. Режимы сети (а, в) с изолированной нейтралью и векторные диаграммы токов и напряжений (б, г, д)

Таким образом, при металлическом замыкании на землю в сети появляется напряжение нулевой последовательности \underline{U}_{OK} , которое, как и напряжение смещения нейтрали $\underline{U}_{НК}$, равно абсолютному значению и противоположно по фазе напряжению, которое имеет поврежденная фаза относительно земли при нормальной работе (напряжению относительно нейтрали системы). Напряжение прямой последовательности равно напряжению фаз относительно земли при нормальной работе. Вследствие этого, изменение напряжения фаз при замыкании на землю можно рассматривать как результат наложения напряжения нулевой последовательности \underline{U}_{OK} на напряжение фаз сети при ее нормальной работе.

Изменения фазных напряжений и появление напряжения нулевой последовательности можно использовать для выполнения защиты от замыкания на землю. Одновременно с изменением фазных напряжений изменяются и полные фазные токи. Токи неповрежденных фаз замыкаются через точку К и поврежденную фазу, образуя ток I_3 (рис.17.1, в).

При металлическом замыкании на землю ток \underline{I}_A в емкости поврежденной фазы C_A отсутствует, так как напряжение поврежденной фазы относительно земли равно нулю. Токи \underline{I}_B , \underline{I}_C неповрежденных фаз определяются напряжениями фаз В и С относительно земли:

$$\underline{I}_B = j\omega C U_B = \sqrt{3}\omega C U_B e^{j\pi/3} \quad (17.4)$$

$$\underline{I}_C = j\omega C U_C = \sqrt{3}\omega C U_C e^{j2\pi/3} \quad (17.5)$$

При условном положительном направлении токов \underline{I}_B , \underline{I}_C , \underline{I}_3 , показанном на рис.17.1, в, $\underline{I}_3 = -(\underline{I}_B + \underline{I}_C)$ или с учетом (17.1) и соотношения $\underline{U}_B + \underline{U}_C = -3\underline{U}_A$

$$\underline{I}_3 = -(j\omega C U_B + j\omega C U_C) = j3\omega C U_A. \quad (17.6)$$

Полученный ток \underline{I}_3 опережает по фазе напряжение \underline{U}_A на угол $\pi/2$ и не зависит от расположения точки повреждения. Таким образом, при металлическом замыкании на землю фазы А токи через емкости неповрежденных фаз увеличиваются в $\sqrt{3}$ раз, а ток I_3 , проходящий через место повреждения в землю, равен утроенному значению емкостного тока фазы А при нормальной работе.

Токи I_3 , I_B и I_C проходят в соответствующих фазах поврежденной линии на участке между источником питания и местом присоединения конденсаторов эквивалентной схемы (рис.17.1, в).

2.2. Защиты от замыкания на землю, реагирующие на токи и напряжения нулевой последовательности установившегося режима

2.2.1. Устройство общей неселективной сигнализации от замыкания на землю

Замыкание на землю одной фазы в сетях с изолированной или заземленной через дугогасящий реактор нейтралью не является аварией. Потребители, включенные на междуфазные напряжения, продолжают нормально работать. Это дает возможность выполнять защиту от замыкания на землю, действующую на сигнал. В сетях простой конфигурации допускается применение только общего устройства неселективной сигнализации, контролирующего состояние изоляции в системе данного напряжения. Схема устройства состоит из трех минимальных реле напряжения, включенных на напряжения фаз относительно земли (рис.17.2,а), или из одного максимального реле напряжения, включенного на напряжение нулевой последовательности (рис.17.2,б). Устройство сигнализации обычно подключается к трансформатору напряжения TV, установленному на шинах.

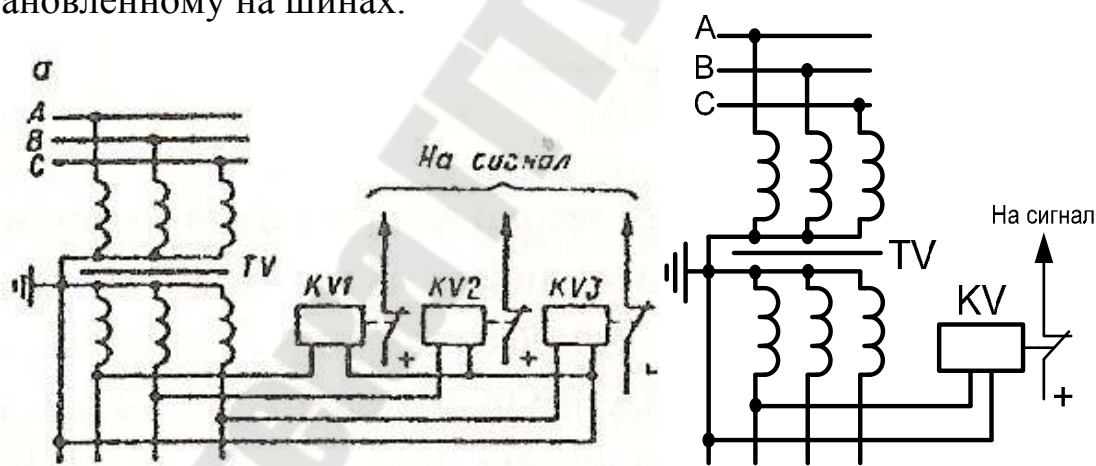


Рис.17.2. Схемы устройства неселективной сигнализации при замыканиях на землю

Токковая защита нулевой последовательности

Длительная работа сети при замыкании одной фазы на землю недопустима из-за возможности нарушения междуфазной изоляции в месте повреждения и перехода однофазного замыкания в многофазное КЗ. Возможны также случаи двойных замыканий на землю, кото-

рые происходят вследствие повышения в $\sqrt{3}$ раз напряжений поврежденных фаз относительно земли.

Вероятность повреждения междуфазной изоляции определяется не только продолжительностью прохождения тока через место замыкания на землю, но и величиной тока. Поэтому для предотвращения перехода однофазных замыканий в многофазные КЗ, максимальный ток замыкания на землю должен быть не более $I_{zmax} < 10A$ в сетях напряжением 6–35кВ, имеющих железобетонные и металлические опоры. В сетях, не имеющих железобетонных и металлических опор, максимальный ток замыкания на землю при напряжении 6кВ – не более $I_{zmax} < 30A$, при напряжении 10кВ – не более $I_{zmax} < 20A$. В протяженных и разветвленных сетях токи замыкания на землю могут быть больше указанных значений. В таких случаях для их компенсации применяются ДГК.

Таким образом, допустимые токи замыкания на землю обычно меньше рабочих токов защищаемого элемента, поэтому токовая защита от замыкания на землю, выполняется с включением реле на фильтр тока нулевой последовательности. Она приходит в действие благодаря прохождению по поврежденному участку тока нулевой последовательности $3I_{0эжв}$, обусловленного емкостью всей электрически связанной сети $C_{0ввк}$ без учета емкости C_{0l} поврежденной линии. Защита не должна срабатывать при повреждениях на других присоединениях сети, когда по защищаемой линии проходит ток $3I_{0лн}$ ($3I_{0l}$), обусловленный емкостью линии. При этом для обеспечения недействительности защиты ее ток срабатывания выбирают по условию

$$I_{с.з} = k_{отс} 3I_{0л} \quad (17.7)$$

Коэффициент отстройки определяется броском емкостного тока в момент замыкания. На основании опытных данных для защит без выдержки времени $k_{отс} = 4–5$; для защит с выдержкой времени с учетом перемежающегося характера замыкания коэффициент $k_{отс} = 2,0–2,5$. Без выдержки времени выполняются защиты, действующие на сигнал. Это – защиты линий торфоразработок и других сетей, находящихся в подобных условиях, где при замыкании на землю линии для безопасности должны отключаться без замедления. В таких сетях токи однофазного замыкания на землю обычно не превышают $I_z < 1,0–1,5A$. При этом напряжение прикосновения ограничивается на допустимом уровне (не более 40В) и однофазные замыкания на землю не представляют опасности для обслуживающего персонала.

Однако при возникновении второго замыкания на землю на другой фазе (двойного замыкания на землю) токи значительно возрастают, а напряжения прикосновения достигают недопустимых значений и могут явиться причиной несчастных случаев. Для уменьшения вероятности возникновения опасных двойных замыканий на землю в рассматриваемых сетях защита выполняется с действием на отключение без выдержки времени. Чувствительность защиты характеризуется коэффициентом чувствительности:

$$k_{\text{ч}} = 3I_{0_{\text{экв}}} / I_{\text{с.з.}} \quad (17.8)$$

Ток $I_{0_{\text{экв}}}$ определяется по режиму с минимально возможным числом включенных линий. Чувствительность защиты считается достаточной, если для воздушных линий $k_{\text{ч}} > 1,5$, а для кабельных линий $k_{\text{ч}} > 1,25$.

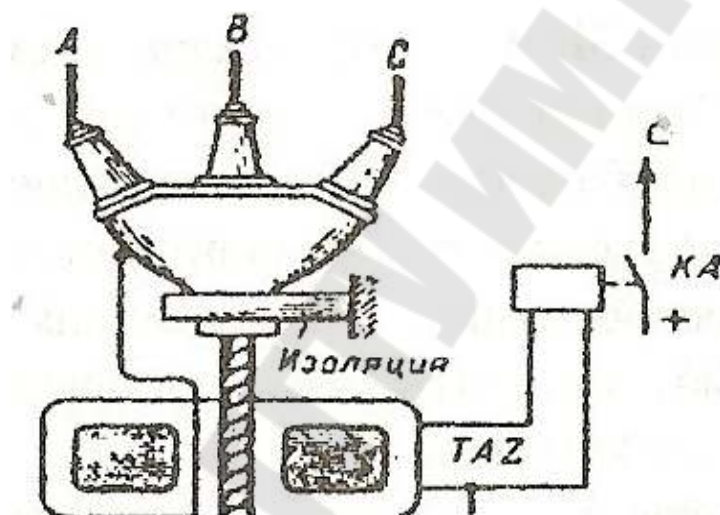


Рис.17.3 Защита от замыканий на землю с кабельным ТНП

Для выполнения защиты нулевой последовательности в качестве фильтра тока нулевой последовательности обычно используется трансформатор тока нулевой последовательности (ТНП) TAZ (рис.17.3). При замыкании на землю в сети токи повреждения могут замыкаться как через землю, так и по проводящей оболочке кабеля, в том числе и неповрежденного кабеля, что может вызвать неправильное действие защиты. Поэтому воронку и кабель на участке от ТНП до воронки изолируют от земли, а заземляющий провод присоединяют к воронке ТНП кабеля и пропускают через отверстие магнитопровода ТНП в направлении кабеля. При таком исполнении цепей защиты токи, проходящие по броне и проводящей оболочке кабеля, компенсируются токами, возвращающимися по заземленному проводу.

Чувствительность защиты характеризуется минимальным первичным током замыкания на землю. При использовании электромагнитного реле с трансформаторами тока нулевой последовательности можно выполнить защиту, действующую при минимальном первичном токе замыкания на землю $I_z=5A$, поэтому необходимо уменьшить ток $I_{ср}$, для чего применяется реле тока с повышенной чувствительностью типа РТЗ–51.

2.2.2. Реле тока с повышенной чувствительностью типа РТЗ–51

Реле тока с повышенной чувствительностью типа РТЗ–51 предназначено для сигнализации при однофазных замыканиях на землю в сетях 6–10 кВ с изолированной нейтралью. Используется совместно с трансформаторами тока нулевой последовательности (ТТНП) в качестве органа, реагирующего на ток нулевой последовательности в схемах защит при замыканиях на землю генераторов, двигателей и линий с изолированной нейтралью.

Устройство и принцип действия реле тока типа РТЗ–51

Все элементы, кроме резисторов R26 и R27 (рис.17.4), смонтированы в общем корпусе. Резисторы типа ПЭВ установлены на основании реле с наружной стороны. На цоколе установлена металлическая скоба, к которой крепятся трансформатор ТА, реле KL, плата с элементами и лицевая плата. На лицевой плате расположены переключатели SB1–SB5, имеющие фиксацию положения.

Схема электрическая принципиальная реле типа РТЗ–51 приведена на рис.17.4. Схема реле включает в себя воспринимающую, преобразующую и сравнивающую части.

Воспринимающая часть реле состоит из промежуточного трансформатора тока ТА, резисторов R2–R7, которые совместно с переключателями SB1...SB5 служат для дискретной регулировки уставки по току срабатывания.

Изменение уставки по току срабатывания может производиться следующими ступенями "п"–6, 12, 24, 36, 48, mA.

Величина тока срабатывания на соответствующей уставке определяется по формуле:

$$I=(20+n)10^{-3}A \quad (17.9)$$

Включение ступеней соответствует утопленному состоянию переключателей.

исключающими их возбуждение. Резистор R17 является элементом обратной связи.

Реле имеет шесть диапазонов срабатывания по току – от 0,02 до 0,12А. Основная погрешность – не более 10%. Разброс тока срабатывания – не более 3%. Коэффициент возврата – не ниже 0,93.

Для питания операционных усилителей в схеме реле применен параметрический стабилизатор, состоящий из резисторов R26 и R27, стабилитронов VD11 и VD12, конденсаторов C11 и C12, обеспечивающих напряжение +15В.

Схема питания реле от оперативного переменного тока включает в себя выпрямительный мост VS1, резистор R28 и конденсатор C13.

Исполнительный орган реле представляет собой усилительный каскад на транзисторе VT1, в цепь коллектора которого включено выходное быстродействующее реле KL. Резисторами R24, R25 задается ток, открывающий транзистор VT1 в режиме срабатывания.

Оперативные цепи реле могут подключаться как к источнику постоянного напряжения с номинальным напряжением 110 или 220В (выводы 6–10 и 12–10 соответственно), так и к источнику переменного тока с номинальным напряжением 100В (выводы 8–10).

Порог срабатывания порогового элемента задается резисторами R11–R14. Изменением сопротивления R11 обеспечивается настройка реле на минимальной уставке. Сигнал с выхода порогового элемента в зависимости от его полярности заряжает или разряжает конденсатор C8.

Для ускорения срабатывания и возврата реле предусмотрено ограничения уровня заряда и разряда конденсатора C8, которое выполнено на резисторах R18–R23 и диодах VD6–VD9.

При отсутствии входной воздействующей величины и в режиме, когда эта величина меньше установившегося порога срабатывания порогового элемента A2, конденсатор C8 времяизмерительной цепи заряжен до положительно потенциала, триггер Шмидта находится в неработном состоянии, транзистор VT1 закрыт и выходное реле не срабатывает.

При появлении входной воздействующей величины, превышающей порог срабатывания элемента A2, конденсатор C8 перезаряжается до напряжения достаточного для срабатывания триггера. Транзистор VT1 открывается и выходное реле KL срабатывает.

Переключатель SX должна быть замкнута только при питании схемы от источника переменного напряжения.

2.2.3. Направленная защита нулевой последовательности, реагирующая на установившиеся токи и напряжения

Если в установившемся режиме собственный емкостный ток линии $I_{0п}$ в сетях с изолированной нейтралью соизмерим с полным током замыкания на землю, то токовую защиту, реагирующую на установившееся значение емкостного тока, осуществить нельзя. В таких случаях применяется направленная защита нулевой последовательности или устройство сигнализации, контролирующее не только значение, но и направление тока замыкания на землю.

Промышленность выпускает направленную защиту нулевой последовательности от замыкания на землю типа ЗЗП-1 с током замыкания на землю от 0,2 до 20 А. Защита имеет малую потребляемую мощность и реагирует на ток замыкания, составляющий $I_z=0,07...2А$. Она состоит (рис.17.5,а) из вторичного измерительного преобразователя тока нулевой последовательности в виде промежуточного трансформатора ТЛА, нагруженного конденсатором С6 (называемого согласующим устройством), двухкаскадного избирательного усилителя переменного тока на транзисторах VT1 и VT2, схемы сравнения фаз на транзисторах VT3 и VT4 двух электрических величин, пропорциональных току $3I_0$ и напряжению $3U_0$ нулевой последовательности, и реагирующего элемента EA.

Согласующее устройство преобразует ток $3I_0$ в напряжение (на конденсаторе С6), сдвинутое по фазе на угол $\pi/2$ относительно тока нулевой последовательности, позволяет изменять ток срабатывания защиты (изменением числа витков обмотки трансформатора) и обеспечивает термическую стойкость защиты при двойных замыканиях на землю (разрядник VF).

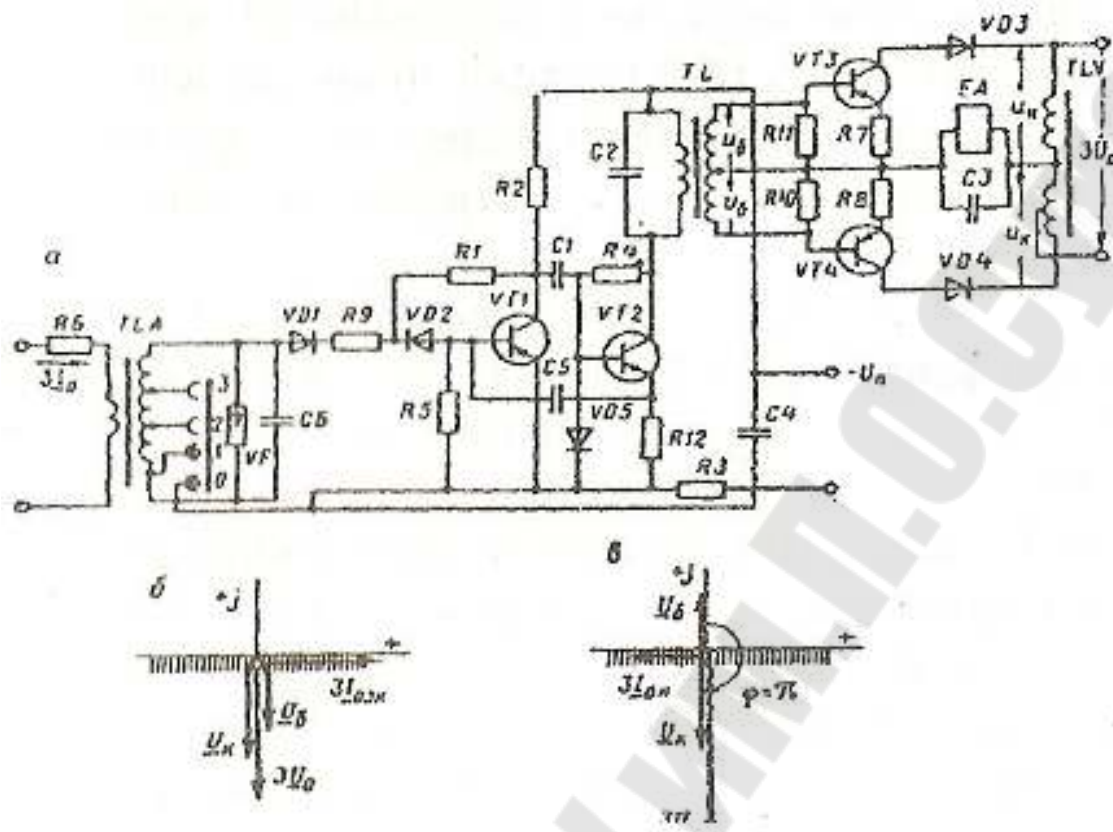


Рис. 17.5. Принципиальная схема реле типа ЗЗП-1 для направленной защиты от замыкания на землю и векторные диаграммы реле.

Двухкаскадный усилитель переменного тока выделяет и усиливает составляющую промышленной частоты выходного напряжения согласующего устройства. Для этой цели на выходе усилителя включен резонансный контур C2–TL с частотой 50Гц.

Схема сравнения осуществляет сравнение фаз двух синусоидальных величин: напряжения U_b вторичной обмотки трансформатора TL, пропорционального току нулевой последовательности $3I_0$ и смещенного по фазе относительно его на угол $\pi/2$, и напряжения U_k автотрансформатора TLV, пропорционального напряжению нулевой последовательности $3U_0$. Сравняется время совпадения tc их мгновенных значений по знаку с установленным временем ty . Реагирующий элемент EA срабатывает при $tc > ty$.

Из векторных диаграмм тока I_0 и напряжения U_0 (рис.17.5) следует, что при замыкании на защищаемой линии, когда через защиту к точке замыкания проходит ток $3I_0_{э.к.в.}$, обусловленный емкостями неповрежденных линий, сравниваемые напряжения U_b и U_k совпадают

по фазе (рис.17.5, б). На неповрежденной линии ток $I_{ол}$, обусловленный собственной емкостью линии, направлен к шинам, а сравнимые ее защитой напряжения смещены по фазе на угол φ (рис.17.5, в).

Из этого следует, что защита срабатывает, имея максимальную чувствительность, если угол φ сдвига фаз между U_b и U_k равен нулю, и не действует при $\varphi=\pi$. Таким образом, зона срабатывания определяется углом сдвига фаз $-\pi/2 < \varphi < \pi/2$. На рис.17.5,б,в она ограничена линией нулевой чувствительности.

Схема сравнения является двухполупериодной. На ее выходе включен реагирующий элемент EA в виде поляризованного реле. Ток в обмотке реле в один из полупериодов определяется состоянием транзистора $VT3$ и диода $VD3$, а в другой полупериод – состоянием транзистора $VT4$ и диода $VD4$. Для прохождения тока необходимо, чтобы в первом случае одновременно были открыты $VT3$ и $VD3$, а во втором – $VT4$ и $VD4$. Состояние транзисторов и диодов зависит от полярностей мгновенных напряжений u_b и u_k . Они открыты, если эти напряжения имеют одинаковую полярность. При совпадающих по фазе U_b и U_k (рис.17.5, б) в течение одного из полупериодов открыты $VT3$ и $VD3$, а в течение другого – $VT4$ и $VD4$. При этом ток в обмотке регулирующего элемента EA максимален. По мере увеличения угла сдвига фаз

между U_b и U_k время совместного открытого состояния соответствующих транзистора и диода в каждом полупериоде сокращается, поэтому среднее значение тока в обмотке EA уменьшается. Для получения указанной выше зоны срабатывания ток срабатывания реагирующего элемента выбран равным среднему значению тока при $\varphi=\pi/2$.

2.2.5. Устройство сигнализации однофазных замыканий на землю УСЗ 2/2

Устройство сигнализации однофазных замыканий на землю типа УСЗ 2/2 предназначено для селективной сигнализации однофазных замыканий на землю в кабельных сетях 6–10 кВ с компенсированной нейтралью. Устройство сигнализации устанавливается на головных участках, отходящих от шин станций и крупных подстанций с использованием кабельных трансформаторов тока нулевой последовательности типа ТЗ, ТЗЛ, ТФ и др.

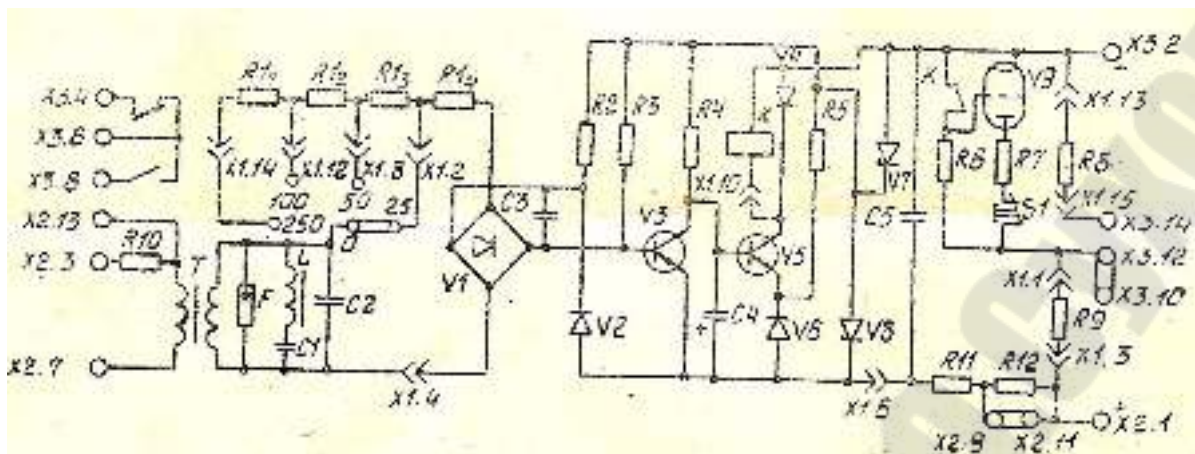


Рис.17.6. Принципиальная схема устройства сигнализации однофазных замыканий на землю типа УСЗ 2/2

Принцип действия и конструктивное оформление

Принцип действия устройства сигнализации однофазных замыканий на землю типа УСЗ 2/2 (рис.17.6) основан на том, что при однофазных замыканиях содержание высших гармоник в токе нулевой последовательности поврежденного присоединения всегда существенно выше, чем в токах нулевой последовательности каждого неповрежденного присоединения, независимо от режима компенсации сети, в том числе и при отсутствии компенсации.

3. Описание лабораторного стенда

На лабораторном стенде, внешний вид которого представлен на рис. 17.7, размещены модели двух радиальных линий с изолированной нейтралью с фильтрами тока и напряжения нулевой последовательности, коммутационная и сигнальная аппаратура, испытуемые реле типа ЗЗП-1, реле РТЗ-51 и реле УСЗ2/2.

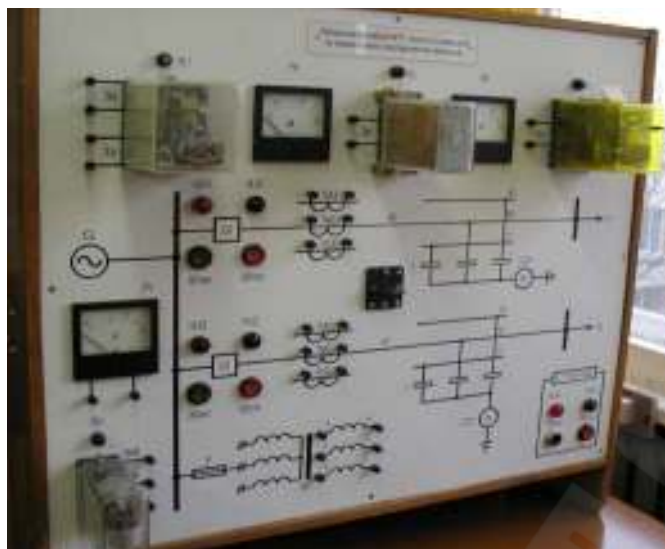


Рис.17.7. Внешний вид лабораторного стенда

4.Порядок выполнения работы

1. Изучить режимы работы сети с изолированной нейтралью и построение векторных диаграмм токов и напряжений при замыканиях на землю в сети с изолированной нейтралью (п.2.1).

2. Собрать схему (рис.17.8) для измерения междуфазных и фазных напряжений при нормальном режиме работы сети. Положение переключателя SB – нейтральное. Включить выключатель Q (в соответствии с заданием) и произвести измерения напряжений вольтметром PV. Результаты измерений занести в таблицу 17.1.

3. Не разбирая схемы п.2, перевести положение переключателя SB в положение, соответствующее замыканию на землю фазы по заданию (фаза замыкания на землю – в соответствии с номером бригады (табл.17.3)). Измерить междуфазные и фазные напряжения и ток замыкания на землю I_3 при замыкании одной фазы на землю. Результаты измерений занести в табл.17.1.

Таблица 17.1

	$U_{AB}, В$	$U_{BC}, В$	$U_{CA}, В$	$U_A, В$	$U_B, В$	$U_C, В$	$U_H, В$	$I_3, А$
Нормальный режим								
Режим замыкания на землю одной фазы								

4. По результатам измерений (табл.17.1) построить в масштабе векторные диаграммы напряжений при нормальном режиме и в режиме однофазного замыкания на землю.

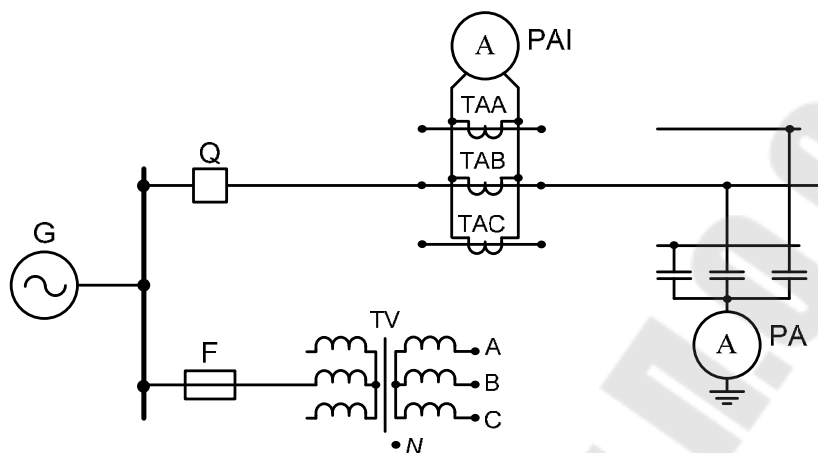


Рис. 17.8. Схема для измерения междуфазных и фазных напряжений при нормальном режиме работы сети и при замыкании одной фазы на землю при соединении вторичной обмотки трансформатора напряжения в звезду.

5. Собрать схему (рис.17.9) для измерения междуфазных и фазных напряжений при нормальном режиме работы сети. Положение переключателя SB – нейтральное. Включить выключатель Q (в соответствии с заданием) и произвести измерения напряжений вольтметром PV. Результаты измерений занести в таблицу 17.2.

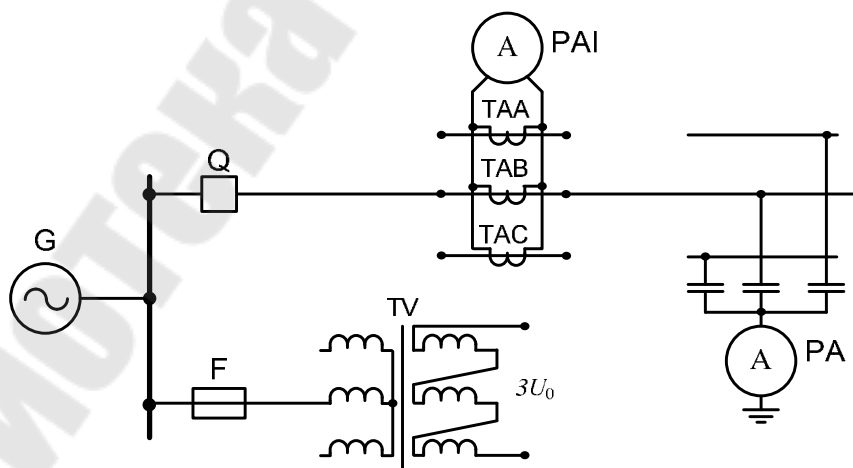


Рис. 17.9. Схема для измерения междуфазных и фазных напряжений при нормальном режиме работы сети и при замыкании одной фазы на землю при соединении вторичной обмотки трансформатора напряжения в разомкнутый треугольник

6. Не разбирая схемы п.5, перевести положение переключателя SB в положение, соответствующее замыканию на землю фазы по заданию (фаза замыкания на землю – в соответствии с номером бригады (табл.17.3). Измерить междуфазные и фазные напряжения и ток замыкания на землю I_3 и величину $3U_0$ при замыкании одной фазы на землю. Результаты измерений занести в табл.17.2.

7. По результатам измерений (табл.17.2) построить в масштабе векторные диаграммы напряжений при нормальном режиме и в режиме однофазного замыкания на землю.

Таблица 17.2

	$U_{AB}, В$	$U_{BC}, В$	$U_{CA}, В$	$U_A, В$	$U_B, В$	$U_C, В$	$3U_0, В$	$I_3, А$
Нормальный режим								
Режим замыкания одной фазы на землю								

8. Ознакомиться с принципами построения неселективной сигнализации от замыкания на землю с реле минимального напряжения KV1 – KV3 (рис.17.3,а). Собрать схему рис.17.10. Реле напряжения KV включить на поврежденную фазу. Выбрать уставку отпадания реле напряжения KV, (принять $U_{отп} = 0.6 U_{норм. фазн.}$). $U_{норм. фазн.}$ для поврежденной фазы выбирается из табл. 17.1. Выставить уставку отпадания на реле напряжения KV. Включить стенд при нормальном режиме работы сети. Убедиться, что в нормальном режиме реле напряжения KV находится в сработавшем состоянии. Произвести замыкание на землю переключателем SB. Убедиться, что при замыкании на землю реле напряжения KV отпадет и выдает световой сигнал.

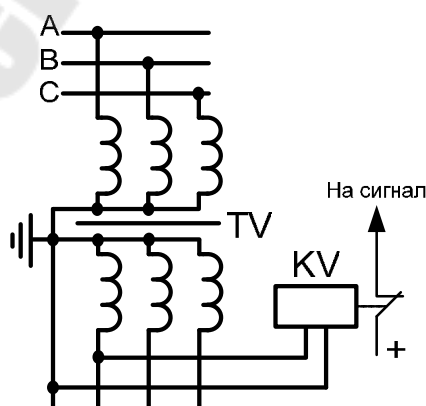


Рис.17.10. Схема неселективной сигнализации при замыканиях на землю с реле напряжения KV

9. Ознакомиться с принципами построения неселективной сигнализации от замыкания на землю с реле максимального напряжения KV (рис.17.2,б). Собрать схему рис. 17.2,б. Реле напряжения KV включить на выход фильтра нулевой последовательности. Выбрать уставку срабатывания реле напряжения KV, (принять $U_{ср}=0.6 U_{норм.фазн.}$). Унорм фазн для поврежденной фазы выбирается из табл. 17.2. Выставить уставку срабатывания на реле напряжения KV. Включить стенд при нормальном режиме работы сети. Убедиться, что в нормальном режиме реле напряжения KV находится в несработанном состоянии. Произвести замыкание на землю переключателем SB. Убедиться, что при замыкании на землю реле напряжения KV срабатывает и выдает световой сигнал.

10. Ознакомиться с принципами построения токовой защиты нулевой последовательности и рассчитать уставки для защиты линии по формуле (17.9) (величину $3I_0$ принять из табл. 17.1) и выставить $I_{ср}$ на реле РТЗ.

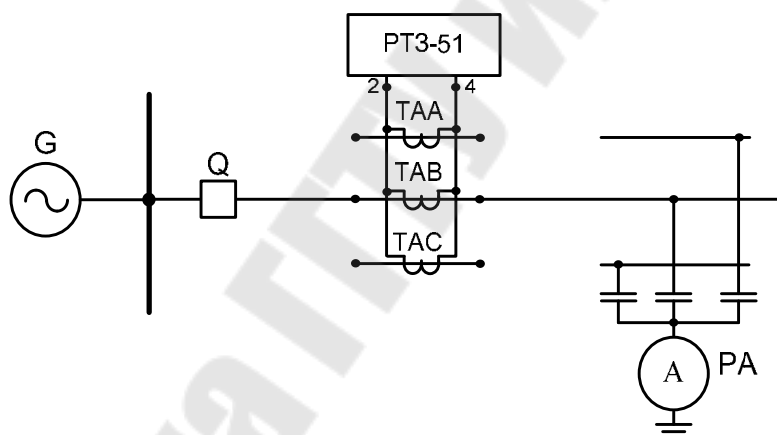


Рис.17.11. Схема подключения реле РТЗ–51

11. Подключить реле РТЗ–51 к трансформаторному фильтру токов нулевой последовательности (рис. 17.11). Тумблером подать питание оперативных цепей реле РТЗ–51. Произвести однофазное замыкание на землю в сети переключателем SB, при этом измеряя ток от трансформатора тока нулевой последовательности. Убедиться, что при замыкании на землю реле РТЗ срабатывает и выдает световой сигнал. Тумблером снять питание оперативных цепей реле РТЗ–51

12. Изучить принцип действия направленной защиты нулевой последовательности с реле ЗЗП–1.

13. Подключить реле 3ЗП–1 к трансформаторному фильтру токов нулевой последовательности и фильтру напряжения нулевой последовательности (рис. 17.12). Тумблером подать питание оперативных цепей реле 3ЗП–1. Произвести однофазное замыкание на землю в сети переключателем SB, при этом измеряя ток от трансформатора тока нулевой последовательности. Убедиться, что при замыкании на землю реле РТЗ срабатывает и выдает световой сигнал.

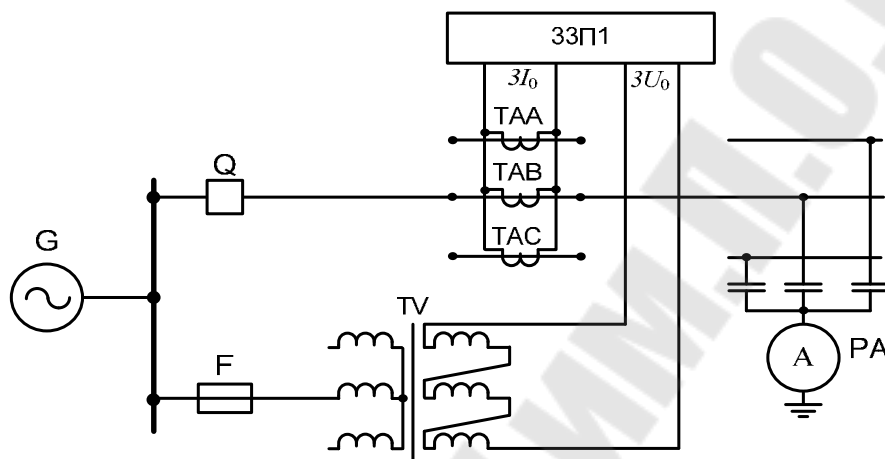


Рис.17.12. Схема подключения направленной защиты при замыканиях на землю с реле 3ЗП–1

14. Изучить принцип действия направленной защиты нулевой последовательности с реле УСЗ 2/2.

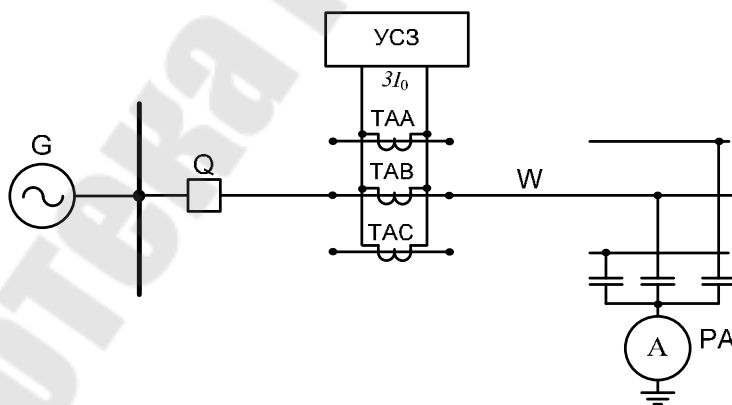


Рис.17.13. Схем подключения защиты при замыканиях на землю с реле УСЗ 2/2

15. Подключить реле УСЗ 2/2 к трансформаторному фильтру токов нулевой последовательности и фильтру напряжения нулевой последовательности (рис. 17.13). Тумблером подать питание оператив-

ных цепей реле УСЗ 2/2. Произвести однофазное замыкание на землю в сети переключателем SB, при этом измеряя ток от трансформатора тока нулевой последовательности. Убедиться, что при замыкании на землю реле УСЗ 2/2 срабатывает и выдает световой сигнал.

Таблица 17.3

Варианты заданий

№ бригады	Линия	Фаза замыкания на землю
1	W1	A
2	W2	A
3	W1	B
4	W2	B
5	W1	C
6	W2	C
7	W1+W2	A
8	W1+W2	B
9	W1+W2	C

5. Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Привести схемы измерений междуфазных и фазных напряжений нормального режима и режима замыкания на землю одной фазы, а также тока I_3 с расстановкой всех измерительных приборов.
3. Векторные диаграммы напряжений в масштабе нормального режима и режима замыкания на землю одной фазы по результатам измерений (табл. 17.1). На векторной диаграмме напряжения при замыкании одной фазы на землю показать в масштабе величину и направление вектора тока I_3 .
4. Схема неселективной сигнализации при замыканиях на землю с реле напряжения KV. Выбор уставок и реле. Описать результаты испытания.
5. Схема неселективной сигнализации нулевой последовательности при замыканиях на землю с реле напряжения KV. Выбор уставок и реле. Описать результаты испытания.
6. Схема направленной защиты при замыканиях на землю с реле ЗЗП-1. Выбор уставок. Описать результаты испытания.

7. Схема защиты при замыканиях на землю с реле РТЗ–51. Выбор уставок и реле. Описать результаты испытания.

8. Схема защиты при замыканиях на землю с реле УСЗ 2/2. Выбор уставок и реле. Описать результаты испытания.

6. Контрольные вопросы

1. Каковы режимы работы сети с изолированной нейтралью?
2. Нарисуйте векторные диаграммы токов и напряжений нормального режима.
3. Нарисуйте векторные диаграммы токов и напряжений режима однофазного замыкания на землю.
4. Перечислите основные требования к защите от замыканий в сетях с изолированной нейтралью.
5. Принципы выполнения защиты от замыканий на землю.
6. Область применения общей неселективной сигнализации от замыкания на землю. Выбор уставок срабатывания.
7. Защиты, реагирующие на токи нулевой последовательности.
8. Область применения защиты с реле РТЗ–51. Выбор уставок срабатывания.
9. Область применения защиты с реле ЗЗП–1. Выбор уставок срабатывания.
10. Область применения защиты с реле УСЗ2/2. Выбор уставок срабатывания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев, В.А. Релейная защита и автоматика система 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.
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 по 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.

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 9. Назначение и принцип действия микропроцессорного устройства токовых защит и автоматики присоединений 6–35кВ типа УЗА–АТ.....	3
Лабораторная работа № 10. Максимальная токовая защита.....	25
Лабораторная работа № 11. Автоматическое включение резервного питания.....	38
Лабораторная работа № 12. Автоматическое повторное включение.....	51
Лабораторная работа № 13. Токовая отсечка.....	68
Лабораторная работа № 14. защита двигателей переменного тока с применением микропроцессорного блока защит типа БЗ–03.....	80
Лабораторная работа № 15. Управление и защита асинхронных двигателей напряжением до 1000В.....	91
Лабораторная работа № 16. Защита электродвигателей напряжением выше 1000В.....	100
Лабораторная работа № 17. Защита от замыкания на землю в сетях с изолированной или компенсированной нейтралью.....	111

Евминов Леонид Иванович

**РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА
СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

**Лабораторный практикум
по одноименному курсу для студентов
специальностей 1-43 01 03 «Электроснабжение»
и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация
энергооборудования организаций»
дневной и заочной форм обучения
В двух частях
Часть 2**

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 04.11.13.

Рег. № 10Е.

<http://www.gstu.by>