

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ**  
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

КАФЕДРА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

## **РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА**

**Методические указания**

к лабораторным работам по курсу «Энергоснабжение сельского хозяйства»  
для студентов специальности 74 06 05

**Минск 2007**

УДК 621.316.925(07)  
ББК 31.27-05я7  
Р 36

Рекомендовано методической комиссией агроэнергетического факультета БГАТУ.

Протокол № 10 от 15 мая 2007 года.

Составители: канд. техн. наук, профессор Янукович Генрих Иосифович  
ст. преподаватель Кожарнович Галина Ивановна  
ст. преподаватель Зеленькевич Александр Иосифович  
ст. преподаватель Усов Георгий Георгиевич

Рецензент: канд. техн. наук., доцент каф. “Электротехнология” БГАТУ  
П.В. Кардашов

Ответственный за выпуск: Н.Е. Шевчик

УДК 621.316.925(07)  
ББК 31.27-05я7

© БГАТУ, 2007

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>1</b>	<b>Лабораторная работа № 8</b> Электромагнитные реле тока и напряжения ..	4
<b>2</b>	<b>Лабораторная работа № 9</b> Комбинированное реле серии РТ-80, РТ-90 ...	14
<b>3</b>	<b>Лабораторная работа № 10</b> Максимальные токовые защиты на оперативном переменном токе .....	23
<b>4</b>	<b>Лабораторная работа № 11</b> Схемы соединений трансформаторов тока и реле .....	33
<b>5</b>	<b>Лабораторная работа № 12</b> Согласование, максимальных токовых защит с независимыми выдержками времени .....	40
<b>6</b>	<b>Лабораторная работа № 13</b> Исследование схемы автоматического включения резервного питания .....	50
<b>7</b>	<b>Лабораторная работа № 14</b> Устройства автоматического повторного включения .....	63
	<b>Литература</b> .....	72

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8**

### **ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ РЕЛЕ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ**

Общее время занятия – 2 часа.

#### **Мотивационная характеристика темы**

Для решения основных задач, связанных с электроснабжением сельскохозяйственных предприятий и сельских населенных пунктов, в практической работе инженера-электрика необходимо знать устройство и принцип действия электромагнитных реле тока и напряжения. Поэтому тема занятий актуальна для будущей работы инженера.

#### **Цель занятия**

Изучить устройство и принцип действия электромагнитных реле тока и напряжения, применяемых в сельском хозяйстве.

#### **Задачи занятия**

Изучить устройство и принцип действия реле РТВ, РТ-40, РН-50.

#### **Контрольные вопросы для самоподготовки**

1. Что называется электромагнитным реле?
2. Что называется током срабатывания, током возврата, коэффициентом возврата реле максимального тока?
3. Где устанавливаются реле прямого действия?

#### **План занятия**

1. Изучить устройство электромагнитных реле РТВ, РТ-40, РН-50.
2. Ознакомиться с технической характеристикой каждого типа реле и их разновидностями.

3. Изучить способы регулирования уставок, произвести проверку шкал реле тока и напряжения.
4. Снять временные характеристики реле РТВ.

### **Методические указания к самостоятельной работе студента**

Электромагнитные реле тока и напряжения по назначению относятся к *основным реле*, непосредственно контролирующим изменение электрических величин.

**По способу включения** в защищаемую сеть реле делятся на *первичные*, включаемые непосредственно в цепь, которую они контролируют, и *вторичные*, включаемые через измерительные трансформаторы тока и напряжения.

По способу воздействия на приводы выключателей различают реле прямого действия, механически воздействующие на защелку отключающего механизма привода, и реле косвенного воздействия, замыкающие электрическую цепь отключающего электромагнитного привода. Реле прямого действия встраиваются в приводы выключателей.

Конструкция электромагнитного реле максимального тока с механической выдержкой времени РТВ дана на рисунок 8.1. Реле обладает ограниченно-зависимой временной характеристикой (рисунок 8.2). Если ток в катушке превышает ток срабатывания реле, сердечник 15 притягивается к неподвижному полюсу 3, сжимает пружину 8. Усилие пружины передается на ударник 2, связанный тягой 9 с часовым механизмом 13, замедляющим скорость перемещения ударника. Скорость движения ударника определяется силой тока в реле. С увеличением тока время срабатывания реле уменьшается, что обуславливает зависимую часть характеристики. По истечении выдержки времени ударник выходит из зацепления с часовым механизмом и, ударяя по рычагу расцепителя привода выключателя, освобождает механизм включения.

При определенном значении тока реле создается усилие, достаточное для мгновенного втягивания сердечника 15 до упора с неподвижным полюсом 3. В этом случае скорость движения ударника определяется жесткостью

пружины и тормозным действием часового механизма, следовательно, не зависит от тока реле, что обеспечивает независимую часть характеристики. Различные модификации реле РТВ имеет независимую характеристику, начиная от кратности тока реле 1,6–3,0.

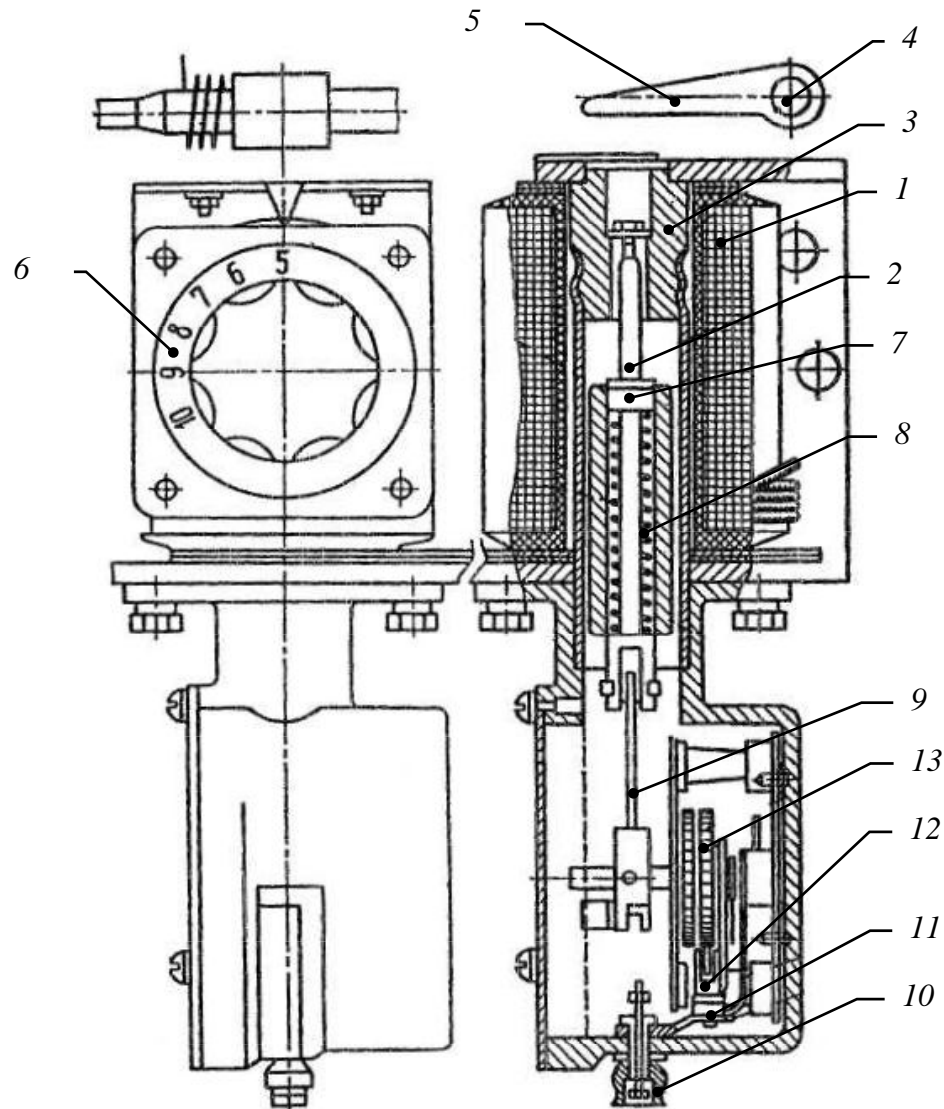


Рисунок 8.1 — Встроенное реле типа РТВ:

1 — обмотка; 2 — ударник; 3 — неподвижный полюс (стоп); 4 — отключающий валик; 5 — рычаг отключающего валика; 6 — поворотный переключатель отпаек; 7 — стопорное колесо; 8 — спиральная пружина; 9 — тяга связи часового механизма и сердечника; 10, 11, 12 — установочный винт для изменения выдержки времени, пластина и рычаг; 13 — часовой механизм; 14 — корпус часового механизма; 15 — сердечник

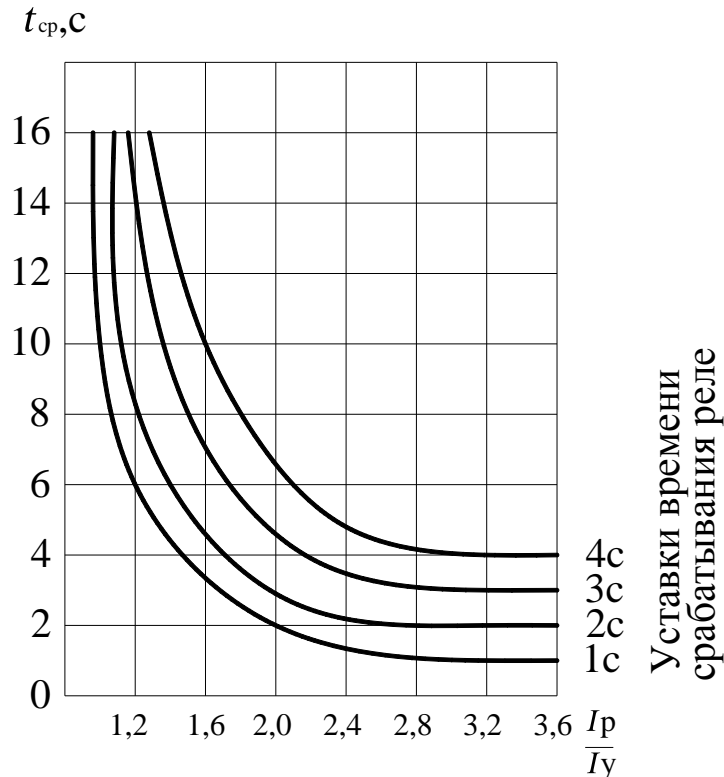


Рисунок 8.2 — Характеристики времени срабатывания реле типа РТВ при разных уставках по времени

На каждой уставке реле характеризуется током срабатывания  $I_{с.р.}$ , током возврата  $I_{в.р.}$  и коэффициентом возврата:

$$K_B = \frac{I_{в.р.}}{I_{с.р.}}. \quad (8.1)$$

**Током срабатывания** называется наименьшее значение тока, при котором реле срабатывает, **ток возврата** — это наибольшее значение тока, при котором подвижная система реле возвращается в исходное положение. Точность работы реле на одной и той же уставке характеризуется разбросом в токах срабатывания:

$$I = \frac{I_{с.р.} - I_y}{I_y} 100\%, \quad (8.2)$$

где  $I_{с.р.}$  — фактический ток срабатывания реле при данной уставке по шкале  $I_y$ , определяемый как среднее арифметическое из трех замеров.

Уставку тока срабатывания  $I_y$  регулируют изменением числа витков обмотки реле при помощи поворотного или штепсельного выключателя. Диапазон изменения тока уставки 1:2, пределы тока уставки — 5–35 А.

Уставку времени срабатывания регулируют установочным винтом на часовом механизме в пределах 0,7–4 с. Уставка по времени численно, равна времени срабатывания в независимой части характеристики.

Реле РТВ потребляют большую мощность (30–50 ВА), имеют значительные погрешности по току ( $\pm 10\%$ ), большой разброс выдержек времени (0,3–0,5 с в независимой части характеристики) и низкий коэффициент возврата (0,5 при максимальной уставке времени срабатывания, 0,7–0,8 — при минимальной уставке).

Достоинства реле РТВ — простота, надежность, низкая стоимость.

Реле РТВ отличаются пределами уставок тока срабатывания и временными характеристиками.

Реле максимального тока мгновенного действия РТМ не имеют часового механизма и отличаются от РТВ расширенной шкалой уставок токов срабатывания (до 150 А).

Реле РТВ и РТМ находят широкое применение для защиты сельских электроустановок. Применяются также реле прямого действия минимального напряжения с выдержкой времени РНВ и мгновенного действия РОД.

Электромагнитное токовое реле косвенного действия типа РТ-40 имеет П-образную магнитную систему с вращающимся якорем. Конструкция реле представлена на рисунке 8.3.

При увеличении тока в обмотках реле, электромагнитный момент превышает противодействующий момент пружины, якорь поворачивает ось с подвижным контактом-мостиком, который переключает контакты. Для гашения вибрации контактов на подвижной системе реле установлен гаситель колебаний (барабанчик с дробью).



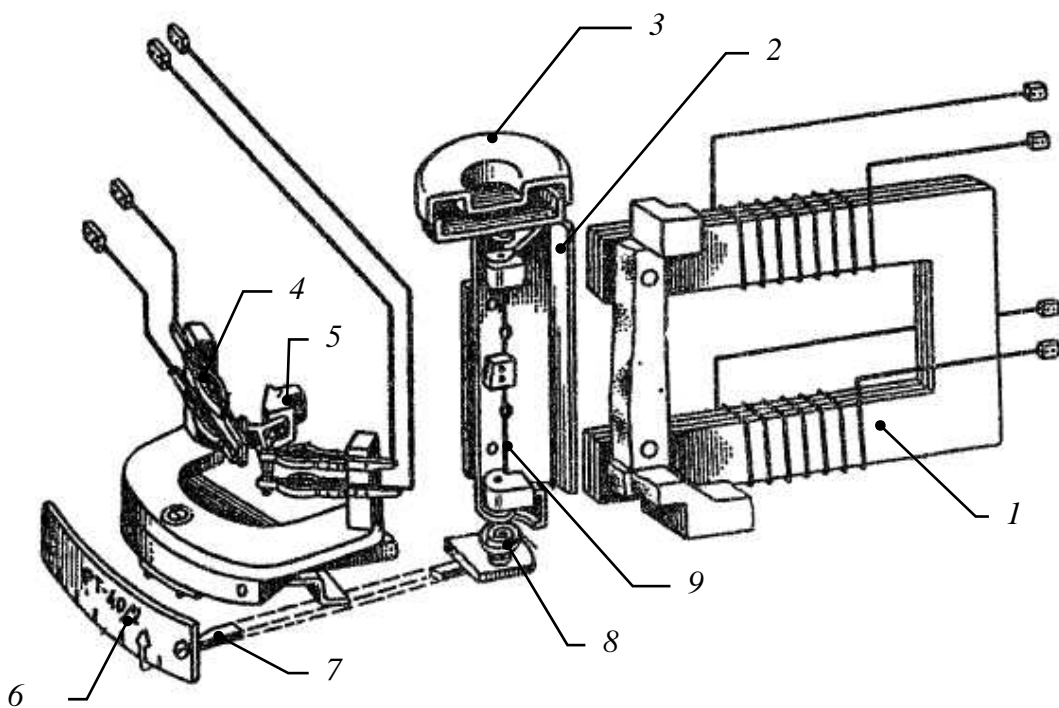


Рисунок 8.3 — Электромагнитное токовое реле РТ-40:

1 — электромагнит; 2 — вращающийся якорь; 3 — гаситель колебаний; 4 — неподвижный контакт; 5 — подвижный контактный мостик; 6 — шкала уставок тока срабатывания; 7 — поводок для регулирования тока срабатывания; 8 — противодействующая пружина; 9 — ось якоря

Уставку тока срабатывания реле РТ-40 можно плавно изменять в 2 раза, регулируя напряжение противодействующей пружины, для чего следует передвигать поводок вдоль шкалы уставок. Кроме того, включая секции обмотки реле последовательно или параллельно, можно изменять пределы шкалы в 2 раза.

Реле РТ-40 изготавливают на уставки от 0,2 до 200 А. Контактная система состоит из одного размыкающего и одного замыкающего контакта. Реле потребляет 3 ВА на минимальной уставке.

Погрешности реле не превышают 5% тока уставки, коэффициент возврата не ниже 0,8–0,85.

Реле напряжения косвенного действия серии РН-50 имеют в конструкции много общего с реле РТ-40. Отличаются они способом питания обмоток, которые включаются через выпрямительный мост из четырех кремниевых диодов. Вследствие питания обмотки постоянным током отпала необходимость установки гасителя колебаний контактов. Плавная регулировка уста-

вок напряжения срабатывания осуществляется аналогично реле РТ-40, ступенчатое изменение пределов шкалы в 2 раза — введением добавочного сопротивления в цепь обмотки реле. Реле максимального напряжения отличается от реле минимального напряжения градуировкой шкалы уставок напряжения срабатывания. В реле минимального напряжения срабатыванию реле соответствует отпадение якоря, возврату — притягивание якоря к полюсам.

### Указания к выполнению работы

1. Изучить устройство реле прямого действия РТВ, реле косвенного действия РТ-40, РН-50. Обратить внимание на конструкцию магнитопроводов, катушек, контактной системы. Записать технические данные реле.

2. Изучить способы регулировки уставок токов срабатывания и выдержки времени реле РТВ. Проверить шкалу уставок тока срабатывания. Для этого собрать схему, представленную на рисунке 8.4 а. Уставку выдержки времени реле принять равной нулю. Изменяя уставки тока срабатывания, измерить ток срабатывания на каждой уставке.

Определить коэффициент возврата реле (по формуле 1) и разброс токов срабатывания (по трем замерам). Сравнить полученные данные.

Таблица 8.1

Номер опыта	Ток уставки $I_y, A$	Ток срабатывания реле $I_{с.р.}, A$	Ток возврата реле $I_{в.р.}, A$	Коэффициент возврата $K_B$
1				
2				
3				

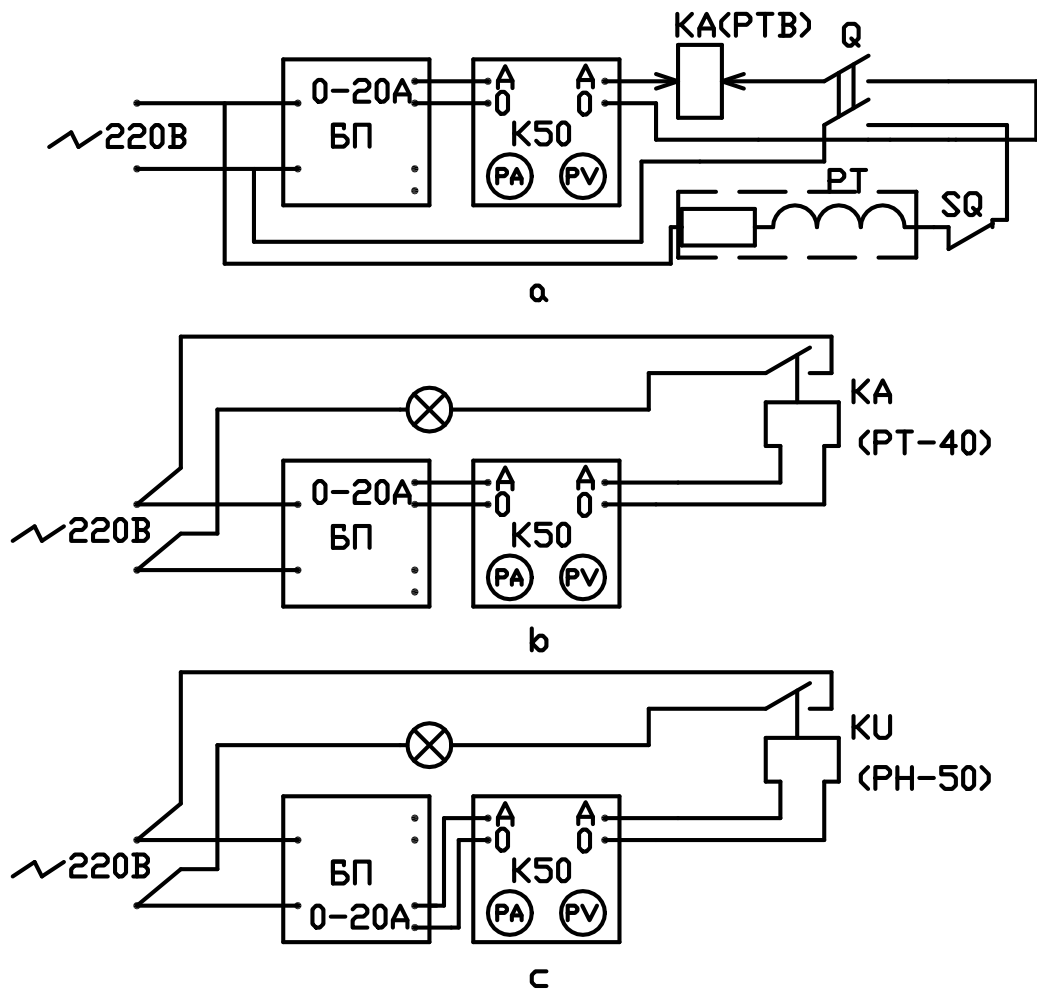


Рисунок 8.4 — Схемы испытания реле

3. Снять временную характеристику реле РТВ для одной из уставок времени срабатывания. Ток в реле изменять в пределах от 1,2 до 2,8 кратного тока уставки. Уставки по времени и току срабатывания задаются преподавателем. По результатам опыта построить характеристику  $t_{c.p.} = f\left(\frac{I_p}{I_y}\right)$ .

Полученную характеристику сравнить с типовой. Обратит внимание на кратность тока, с которой начинается независимая часть характеристики.

Снятие временной характеристики выполнять по следующей методике. Установить требуемое значение тока реле при опущенном якоре. Во время регулировки тока якорь удерживается рукой. Затем отключить вводной рубильник и установить стрелку секундомера на нуль, после чего снова подать питание. На протяжении опыта ток реле поддерживать неизменным при по-

мощи автотрансформатора. После остановки секундомера отключить рубильник и приступить к следующему опыту.

Результаты измерений внести в таблицу 8.2.

Таблица 8.2

	$I_y = \dots A,$				$t_y = \dots c.$				
$\frac{I_p}{I_y}$	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8
$I_p, A$									
$t_{c.p.}, c$									

4. Изучить способы плавной и ступенчатой регулировки тока и напряжения срабатывания реле РТ-40 и РН-50. Обратит внимание на различие в ступенчатой регулировке РТ-40 и РН-50.

5. Проверить шкалу токов срабатывания реле РТ-40 и определить коэффициенты возврата  $K_v$  на крайних уставках. Для этого необходимо собрать схему согласно рисунка 8.4 в, отрегулировать уставку реле и, плавно увеличивая ток от нуля, определить наименьшее значение тока, при котором реле срабатывает (ток срабатывания  $I_{c.p.}$ ); уменьшая ток, измерить наибольшее значение тока, при котором реле возвращается в исходное положение (ток возврата  $I_{в.р.}$ ). Ток срабатывания реле определяется по загоранию контрольной лампы, ток возврата — по возврату подвижной системы реле в исходное положение. Полученное значение  $K_v$  сравнить с каталожным. При проверке шкалы, измерение делать три раза. Отклонение  $I_{c.p.}$  от тока уставки  $I_y$  не должно превышать 5%.

5. Аналогично предыдущему пункту проверить шкалу уставок напряжений срабатывания и определить  $K_v$  реле напряжения РН-50. Опыт проводить по схеме на рисунке 8.4 с.

### **Содержание отчета**

1. Технические данные реле (тип, диапазоны уставок, потребляемая мощность, коэффициент возврата, нагрузочная способность контактов).
2. Результаты испытаний, обработка опытных данных, сравнение полученных результатов с каталожными данными.
3. Временная характеристика реле РТВ.

### **Контрольные вопросы**

1. Чем и в каких пределах регулируется ток срабатывания реле РТВ и РТМ?
2. Почему реле РТВ имеет ограниченно зависимую характеристику?
3. От каких факторов зависит коэффициент возврата реле РТВ? В каких пределах он изменяется?
4. Достоинства и недостатки реле прямого действия.
5. Как регулируются уставки по току срабатывания реле РТ-40, уставки по напряжению срабатывания реле РН-50?
6. Как устраняется вибрация контактов реле РТ-40?
7. Сравнить основные технические данные реле РТВ и РТ-40.

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9**

### **КОМБИНИРОВАННЫЕ ТОКОВЫЕ РЕЛЕ СЕРИИ РТ-80, РТ-90**

Общее время занятия – 2 часа.

#### **Мотивационная характеристика темы**

В практической работе инженера-электрика для решения основных задач, связанных с электроснабжением сельскохозяйственных предприятий и сельских населенных пунктов, необходимо знать устройство и принцип действия комбинированных реле. Поэтому тема занятий актуальна для будущей работы инженера.

#### **Цель занятия**

Изучить устройство и принцип действия комбинированных реле, применяемых в сельском хозяйстве.

#### **Задачи занятия**

Изучить устройство и принцип действия реле серии РТ-80.

#### **Контрольные вопросы самоподготовки**

1. Что называется комбинированным реле?
2. Сформулируйте закон электромагнитной индукции.

#### **План занятия**

1. Изучить принцип работы и устройство реле серии РТ-80.
2. Проверить шкалу уставок тока срабатывания индукционного элемента.
3. Проверить шкалу уставок кратности отсечки.
4. Снять временные характеристики реле.

#### **Методические указания к самостоятельной работе студента**

Комбинированное токовое реле серии РТ-80 состоит из двух элементов: индукционного и электромагнитного (рисунок 9.1).

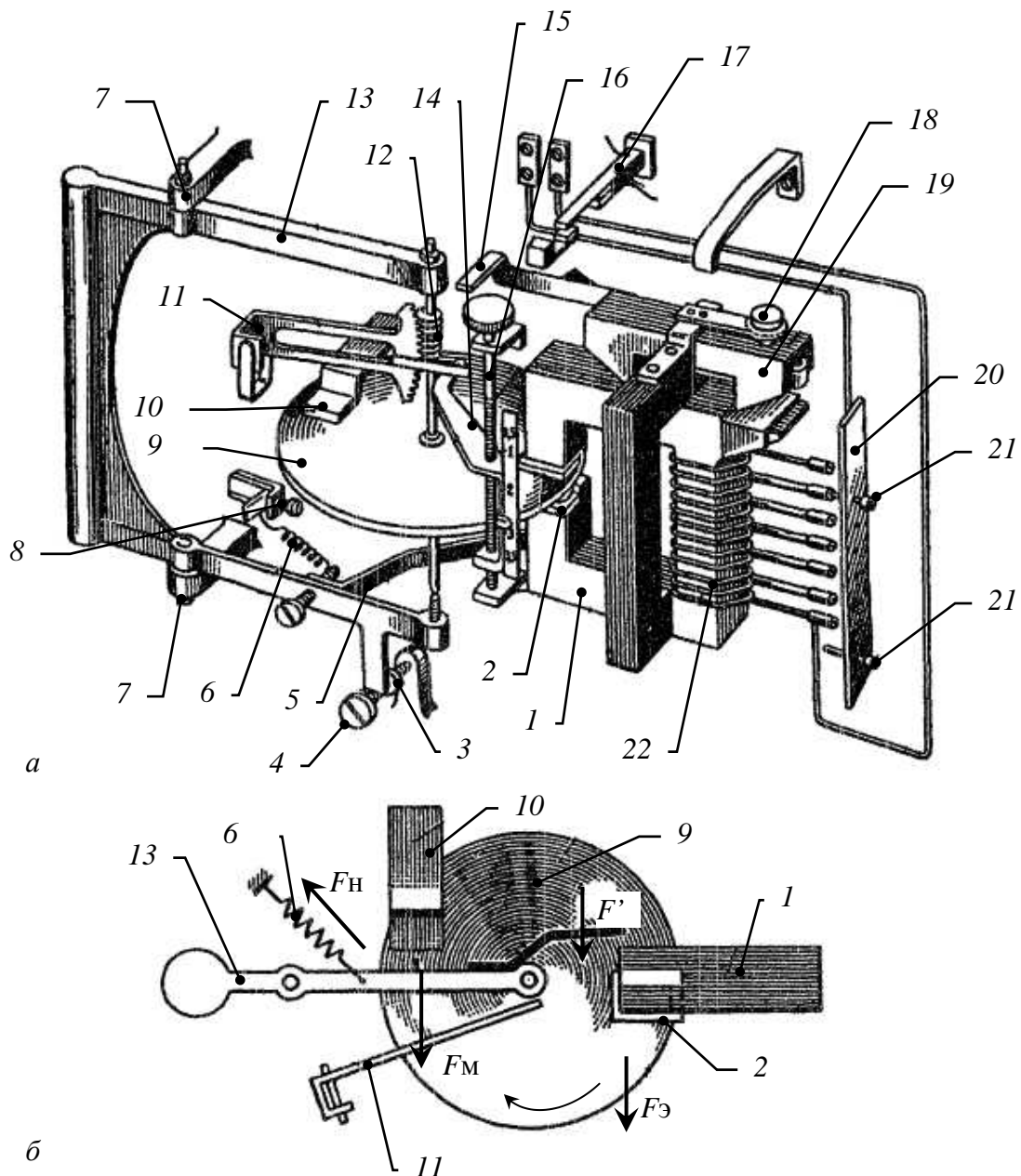


Рисунок 9.1 — Комбинированное токовое реле РТ-80:

*a* — конструкция реле; *б* — силы, действующие на диск;

1 — электромагнит; 2 — короткозамкнутые витки; 3 — гайка упорного винта для регулирования поворота рамки; 4 — фасонный упорный винт; 5 — стальная скоба; 6 — пружина; 7 — ось рамки; 8 — регулировочный винт пружины; 9 — вращающийся диск; 10 — постоянный магнит; 11 — сегмент с контактным рычагом; 12 — червяк на оси диска; 13 — подвижная рамка; 14 — движок шкалы уставок времени; 15 — коромысло якоря; 16 — винт регулировки уставки выдержки времени; 17 — контакты; 18 — регулировочный винт отсечки; 19 — якорь; 20 — контактная колодка; 21 — контактные винты; 22 — обмотка реле;  $F_Э$  — электромагнитная сила;  $F$  — притягивающая сила стальной скобы;  $F_M$  — сила постоянного магнита;  $F_П$  — противодействующая сила пружины

Принцип действия индукционного элемента заключается во взаимодействии бегущего магнитного поля с индуцированными в диске 9 вихревыми токами. Бегущее магнитное поле создается расщеплением переменного магнитного потока электромагнита 1 короткозамкнутыми витками 2, экрани-

рующими часть сечения магнитопровода. При этом образуются два переменных магнитных потока, сдвинутых в пространстве и по фазе. Электромагнитное усилие образует момент относительно оси диска, приводящий диск во вращение. Для стабилизации скорости вращения, край диска помещается в поле постоянного магнита 10, осуществляющего электродинамическое торможение. Ось диска закреплена на подвижной рамке 13, которая может поворачиваться вокруг оси 7. Когда момент силы  $F_3$  относительно оси 7 превосходит противодействующий момент пружины 6, рамка с диском поворачивается. Червяк 12 на оси диска входит в зацепление с зубчатым сегментом 11. Последний начинает перемещаться по червяку. В верхнем положении сегмент упирается своим рычагом в коромысло якоря электромагнитного элемента 15, поворачивая его. При этом происходит переключение контактов реле. Скорость вращения диска зависит от протекающего по обмотке реле тока, поэтому индукционный элемент имеет зависимую часть характеристики. При 6–8-кратном токе срабатывания реле, магнитопровод насыщается и характеристика становится независимой (рисунок 9.2). Характеристика реле, имеющая зависимую и независимую части, называется **ограниченно зависимой**.

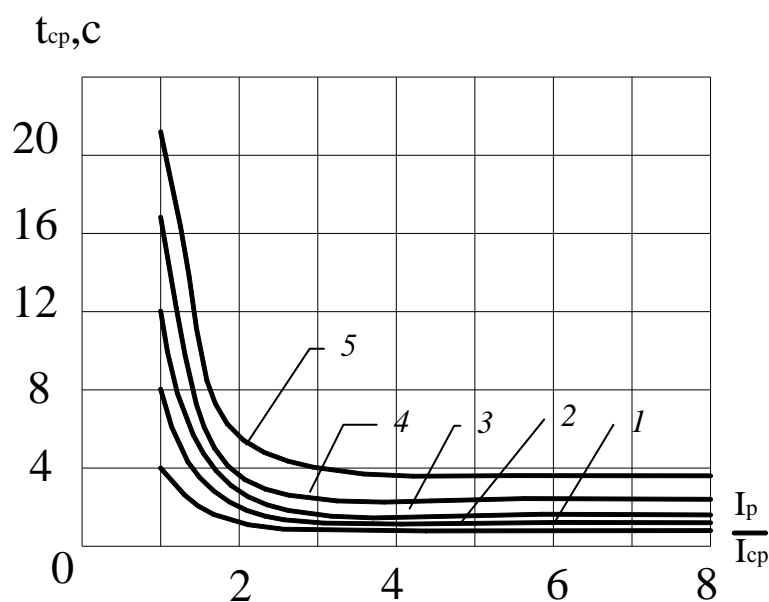


Рисунок 9.2 — Характеристика выдержек времени реле РТ-80

- |                        |                      |
|------------------------|----------------------|
| 1 — при уставке 0,5 с; | 4 — при уставке 3 с; |
| 2 — при уставке 1 с;   | 5 — при уставке 4 с; |
| 3 — при уставке 2 с;   |                      |



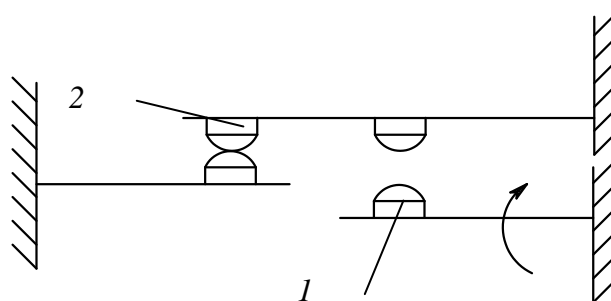


Рисунок 9.3 — Кинематическая схема переключающего контакта усиленного исполнения

Если к реле подвести сразу большой ток, достаточный для притягивания электромагнитного элемента к магнитопроводу, то реле будет срабатывать без выдержки времени. Такая максимальная токовая защита мгновенного действия называется **отсечкой**. При использовании отсечки, реле РТ-80 имеет комбинированную временную характеристику (рисунок 9.2).

Конструкция сцепления червяка с сегментом обеспечивает небольшое время инерционного выбега диска, так как после исчезновения тока в реле червяк быстро расцепляется с сегментом и вращение диска по инерции не может привести к замыканию контактов реле.

Сочетание работы индукционного элемента с электромагнитным элементом клапанного типа обуславливает в момент замыкания контактов большой избыточный момент и хорошее нажатие контактов за счет уменьшения зазора.

Реле имеет три регулируемые уставки.

Уставку тока срабатывания  $I_y$  регулируют изменением числа витков катушки электромагнита, переставляя контактные винты  $2I$  на контактной колодке  $20$ . В целях предотвращения размыкания вторичной цепи трансформатора тока, к которому подключается обмотка реле, переключение делают в следующем порядке: при помощи дополнительного контактного винта устанавливают требуемую новую уставку и лишь затем перемещают контактный винт с прежней уставки на запасное холостое гнездо колодки.

При изменении  $I_y$  изменяются токи срабатывания индукционного элемента  $I_{с.р.}$  и электромагнитного элемента  $I_{с.отс.}$ .

Уставку кратности отсечки

$$K_{\text{отс.}} = \frac{I_{\text{с.отс.}}}{I_{\text{y}}} \quad (9.1)$$

регулируют в пределах от 2 до 8, изменяя зазор между якорем и электромагнитом при помощи регулировочного винта 18.

Уставку выдержки времени  $t_{\text{y}}$ , отсчитываемую по независимой части характеристики реле, наносят на шкале времени и регулируют винтом 18, изменяющим величину перемещения сегмента 11 с рычагом, вызывающим замыкание контактов реле.

Потребление реле при срабатывании индукционного элемента и минимальной уставке тока составляет 10–15 ВА.

**Варианты исполнения.** Реле серии РТ-80 выпускаются в нескольких исполнениях на различные пределы уставок тока (2–6 А через 0,5 А; 4–10 А через 1 А), уставок выдержки времени (0,5–4 с; 4–16 с) с различным исполнением контактов.

Реле типа РТ-81 и РТ-82 имеют один размыкающий контакт. У реле РТ-83 и РТ-84 индукционный и электромагнитный элементы имеют отдельные контакты. Реле РТ-85 и РТ-86 имеют размыкающие и замыкающие контакты с общей точкой (рисунок 9.3), так называемый контакт *безобрывного переключения*. При срабатывании реле вначале замыкается контакт 1 и лишь затем размыкается контакт 2, чем обеспечивается подключение отключающего электромагнита УАЕ без разрыва цепи тока. Такой способ подключения используется при питании отключающего электромагнита от измерительных трансформаторов тока, где разрыв вторичной обмотки недопустим. Контакты реле РТ-85 и РТ-86 способны шунтировать и дешунтировать цепь с сопротивлением до 4,5 Ом при токе до 150 А.

Реле серии РТ-90 имеют в отличие от реле РТ-80 малозависимую от тока выдержку времени (рисунок 9.2) и в три раза большую потребляемую мощность. Выпускаются реле РТ-91 и РТ-95, аналогичные РТ-84 и РТ-85.

Коэффициент возврата индукционного элемента реле, равный отношению тока возврата реле к току срабатывания, составляет не менее 0,8.

### Указания к выполнению работы

1. Записать технические данные реле.

2. Изучить устройство реле, обратив внимание на магнитную систему, короткозамкнутые витки, диск, подвижную раму, оттягивающую пружину, постоянный магнит, червяк на оси диска, зубчатый сегмент, якорь электромагнита мгновенного действия, устройство регулирования тока срабатывания, винт регулировки времени действия, контакты, винт регулировки срабатывания отсечки, ограничитель возврата рамы. Уяснить принцип действия реле.

3. Провести проверку шкалы уставок тока срабатывания реле.

Собрать схему представленную на рисунке 9.4, не подключая секундомер. Поставить уставку тока реле и, плавно увеличивая ток от нуля, определить ток, при котором срабатывает реле (червяк войдет в зацепление с зубчатым сегментом). Опыт провести для уставки тока в 2, 3, 4 и 5 А.

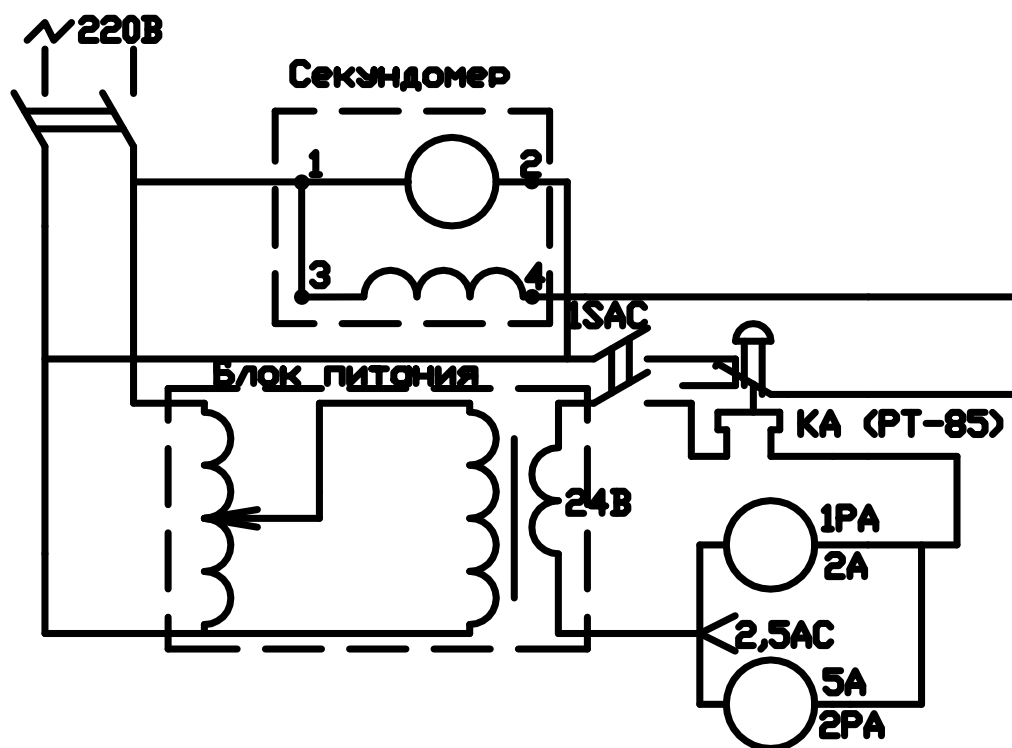


Рисунок 9.4 — Магнитная схема реле РТ-80

Для исключения влияния отсечки установочный винт кратности отсечки поставить на «8». Уставка выдержки времени может быть любой. Для каждого значения уставки по шкале токов срабатывания  $I_y$  определить значение действительных токов срабатывания реле  $I_{с.р.}$  и возврата  $I_{в.р.}$ . Результаты измерений занести в таблицу 9.1. Определить коэффициент возврата реле.

Для одной из уставок путем пятикратного измерения тока определить значения относительной погрешности и разброса тока срабатывания.

Относительная погрешность или относительное отклонение определяется по выражению

$$\gamma_{с.р.} = \frac{I_{с.р.ср} - I_y}{I_y}, \quad (9.2)$$

где  $I_{с.р.ср}$  — среднее значение из заданного количества измерений, А;

$I_y$  — уставка тока по шкале реле, А.

Относительное значение разброса определяется как отношение абсолютного значения разброса к среднему, выраженное в процентах:

$$I_{с.р.} = \frac{I_{с.р.макс} - I_{с.р.мин}}{I_{с.р.ср}} 100\%, \quad (9.3)$$

где  $I_{с.р.макс}$ ,  $I_{с.р.мин}$  — соответственно, наибольшее и наименьшее значения действительного тока срабатывания реле из серии измерений, А.

Таблица 9.1

Номер опыта	Ток уставки $I_y$ , А	Ток срабатывания реле $I_{с.р.}$ , А	Ток возврата реле $I_{в.р.}$ , А	Коэффициент возврата $K_B$
1				
2				
3				

4. Проверить шкалу уставок кратности отсечки. Измерить ток срабатывания отсечки для кратностей 2, 4, 6 и 8. Уставка тока срабатывания задается

преподавателем. Чтобы исключить срабатывание индукционного элемента во время опыта, следует удерживать рукой подвижную рамку 13 (рисунок 9.1).

Сравнить измеренный ток срабатывания отсечки с расчетным:

$$I_{с.отс.} = I_y K_{отс} \quad (9.4)$$

Результаты измерений свести в таблицу 9.2.

Таблица 9.2

$I_y = \dots A$		
$K_{отс}$	$I_{с.отс.}, A$	
	Расчетное значение	Действительное значение
2		
4		
6		
8		

5. Снять характеристику РТ-80 (зависимость времени срабатывания реле от тока) при заданной уставке выдержки времени  $t_{с.р.} = f\left(\frac{I_p}{I_y}\right)$ .

Ток в реле времени изменять в пределах от полуторакратного тока срабатывания до величины, превышающей ток срабатывания отсечки.

Значения  $t_y$ ,  $I_y$ ,  $K_{отс}$  задаются преподавателем.

Порядок выполнения работы следующий. Поставить исходные уставки  $t_y$ ,  $I_y$ ,  $K_{отс}$ .

Включить рубильник  $S$  и переключатель 1SAC. Удерживая рукой подвижную рамку реле 13 (рисунок 9.1), установить требуемый ток. Отключить переключатель 1SAC. Установить стрелку секундомера на нуль, после чего включить переключатель 1SAC, вводя в действие одновременно реле и секундомер. После срабатывания реле отключить переключатель 1SAC и снять показания секундомера.

Результаты измерений свести в таблицу 9.3.

Таблица 9.3

Уставка реле $I_y = \dots A, t_y = \dots c, K_{отс} = \dots$								
Кратность тока, $\frac{I_p}{I_y}$	1,5	2	3	4	5	6	7	8
Ток, $I_p, A$								
Время срабатывания $t_{с.р.}, c$								

### Содержание отчета

1. Технические данные реле (тип, диапазоны уставок, потребляемая мощность, коэффициент возврата).
2. Схема испытания реле.
3. Результаты испытаний, обработка опытных данных.
4. Временная характеристика реле.

### Контрольные вопросы

1. Устройство и принцип действия комбинированного реле РТ-80.
2. Как создается вращающий момент индукционного элемента реле?
3. Почему реле РТ-80 имеет ограниченно зависимую временную характеристику?
4. Что такое кратность отсечки? Как она регулируется?
5. Как регулируется уставка тока срабатывания реле?
6. Как регулируется уставка выдержки времени реле? По какой части временной характеристики ведется отсчет?
7. Как работают контакты безобрывного переключения?

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10**  
**МАКСИМАЛЬНЫЕ ТОКОВЫЕ ЗАЩИТЫ**  
**НА ОПЕРАТИВНОМ ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ**

Общее время занятия – 2 часа.

**Мотивационная характеристика темы**

В практической работе инженера-электрика для решения основных задач, связанных с электроснабжением сельскохозяйственных предприятий и сельских населенных пунктов, необходимо знать устройство и принцип действия максимальных токовых защит на переменном оперативном токе. Поэтому тема занятий актуальна для будущей работы инженера.

**Цель занятия**

Изучить устройство и принцип действия максимальных токовых защит, применяемых в сельском хозяйстве.

**Задачи занятия**

Изучить устройство и принцип действия максимальных токовых защит на переменном оперативном токе.

**Контрольные вопросы самоподготовки**

1. Что называется максимальной токовой защитой?
2. Какие необходимы реле для выполнения максимальной токовой защиты?
3. Что называется чувствительностью защиты?

**План занятия**

1. Ознакомиться со схемами максимальных токовых защит на оперативном переменном токе;
  - а) с реле прямого действия;

- б) с дешунтированием электромагнита отключения привода (с ограниченно-зависимой и независимой характеристиками).
2. Для каждой из схем произвести расчет уставок тока срабатываний, отрегулировать реле.
  3. Проверить работу схем при коротких замыканиях в удаленной точке сети.
  4. Определить коэффициенты чувствительности защит.

### **Методические указания к самостоятельной работе студента**

Оперативный переменный ток используется для различных типов релейной защиты — максимальной токовой, от замыкания на землю, газовой, дифференциальной и других.

Наиболее широко оперативный переменный ток применяется в схемах максимальных токовых защит. Основными источниками питания оперативных цепей защиты на оперативном переменном токе являются трансформаторы тока и трансформаторы собственных нужд.

Во многих схемах релейной защиты на оперативном переменном токе одни и те же трансформаторы тока питают токовые обмотки реле и оперативные цепи выключателей. Вследствие этого трансформаторы тока имеют дополнительную нагрузку по сравнению со схемами, где питание оперативных цепей производится от независимого источника. Дополнительная нагрузка увеличивает их токовую погрешность; это обстоятельство имеет весьма существенное значение, когда нагрузка на трансформатор тока настолько велика, что погрешности в коэффициенте трансформации превышают 10%, вследствие чего точность работы защиты становится ниже допустимого предела.

В сельской электрификации преимущественное распространение получили максимальные токовые защиты, выполненные с реле прямого действия. Эти реле встраиваются в приводы выключателей и механически воздействуют на расцепляющий механизм привода, обеспечивая отключение соответствующего коммутационного аппарата. Пример защиты реле прямого действия дан на рисунке 10.2.



Защиты с реле прямого действия просты, надежны, дешевы. Они не имеют размыкающих контактов, содержат минимальное количество аппаратов и соединительных проводов, к недостаткам таких защит следует отнести пониженную чувствительность. Объясняется это тем, что реле прямого действия имеют большой разброс по току и низкий коэффициент возврата, поэтому ток срабатывания защиты получается выше, чем у защит, выполненных с реле косвенного действия. Реле прямого действия потребляет сравнительно большую мощность, что увеличивает нагрузку на трансформаторы тока.

Большие погрешности по времени срабатывания реле прямого действия РТВ увеличивают время действия максимальных токовых защит.

Следующими по распространению являются защиты с дешунтированием отключающего электромагнита (рисунок 10.3, 10.4). Эти защиты выполняются с токовыми реле косвенного действия.

В защитах с дешунтированием при срабатывании последовательно с обмоткой токового реле включается во вторичную цепь трансформатора тока электромагнит отключения. Поскольку вторичные цепи трансформаторов тока нельзя разрывать, то для переключения в них используются контакты безобрывного переключения. Они представляют собой сблокированные размыкающий и замыкающий контакты, причем замыкающий контакт включается раньше, чем отключается размыкающий. В нормальном режиме обмотка токового реле включена в цепь трансформатора тока через размыкающий контакт (рисунок 10.3). При срабатывании реле, вначале включается замыкающий контакт, при этом цепь электромагнита отключения включена параллельно размыкающему контакту, шунтирующему электромагнит. Затем шунтирующий контакт размыкается, т.е. происходит дешунтирование электромагнита отключения и отключение выключателя.

Защиты с дешунтированием могут иметь ограниченно-зависимую характеристику (выполняются с реле типа РТ-80) или независимую характеристику (выполняются с токовым реле РТ-40 электромагнитными или моторными реле времени и промежуточным серийным реле с шунтирующими контак-

тами РП-341). Защиты с дешунтированием имеют по сравнению с защитами, выполненными с реле прямого действия, более высокую чувствительность, меньшее время действия и малую нагрузку на трансформаторы тока. Они более сложны и дороги, требуют установки в приводах дополнительных электромагнитов и проводов, соединяющих их с источником оперативного тока. Слабым местом этих защит является наличие нормально замкнутого контакта, постоянного обтекаемого током, что снижает надежность действия.

### Указания к выполнению работы

На стенде смоделирована схема понижающей подстанции с отходящей от нее линией (рисунок 10.1). Все варианты защит на оперативном переменном токе проверяются на примере защиты линии, отходящей от подстанции.

В привод ПРБА выключателя линии помещены:

1. Реле максимального тока прямого действия с ограниченно-зависимой характеристикой РТВ.
2. Реле максимального тока прямого действия мгновенного действия РТМ.
3. Отключающий электромагнит переменного тока с минимальным током отключения 3,5 А.

Для каждой из исследуемых схем работу выполнять в следующем порядке:

1. Изучить принцип выполнения и вычертить схему; уяснить назначение отдельных элементов, записать каталожные данные реле.
2. Рассчитать токи срабатывания защиты и токи уставки реле.

Ток срабатывания защиты определяется из зависимости:

$$I_{с.з.} = \frac{K_n K_{с.зап.}}{K_B} I_{раб. макс.} \quad (10.1)$$

где  $K_n$  — коэффициент надежности, принимается в зависимости от погрешностей по току срабатывания токового реле;

$K_B$  — коэффициент возврата реле, равный отношению тока возврата к току срабатывания;

$K_{с.зап.}$  — коэффициент самозапуска, учитывающий увеличения тока нагрузки при самозапуске двигателей после кратковременного исчезновения напряжения; в зависимости от характера нагрузки изменяется в пределах от 1 до 3;

$I_{раб. макс.}$  — максимальный рабочий ток линии, А.

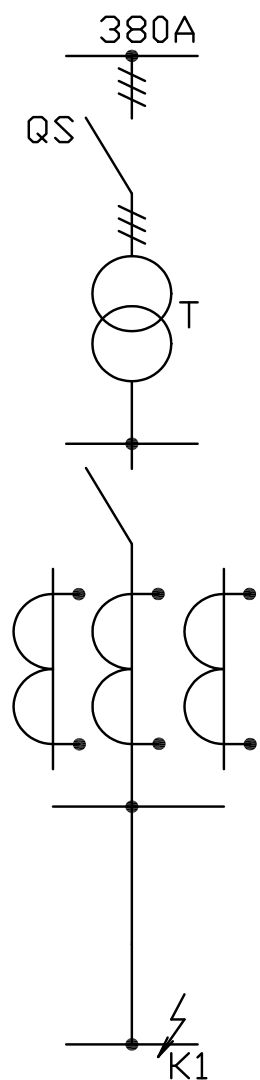


Рисунок 10.1 — Схема защищаемого участка сети

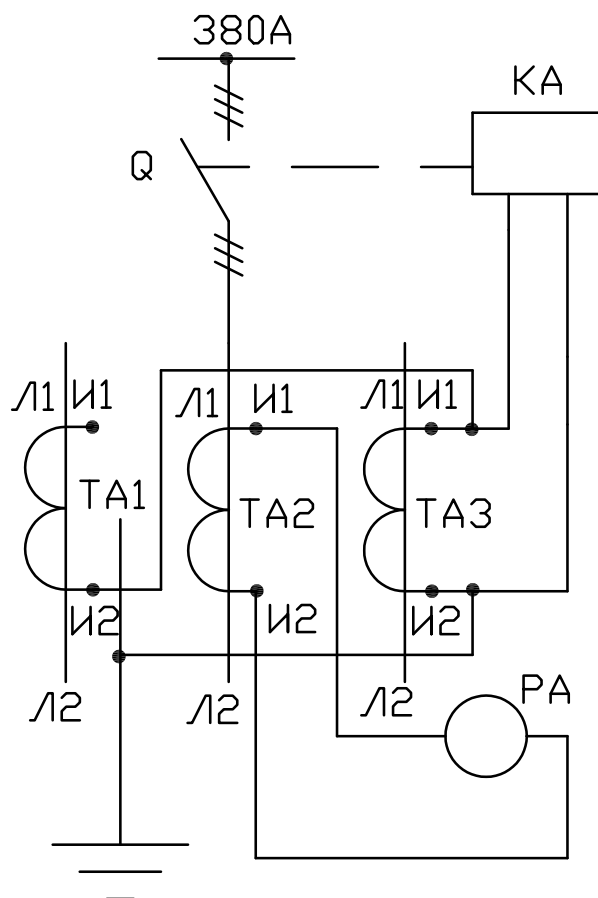


Рисунок 10.2 — Схема защиты с реле прямого действия РТВ

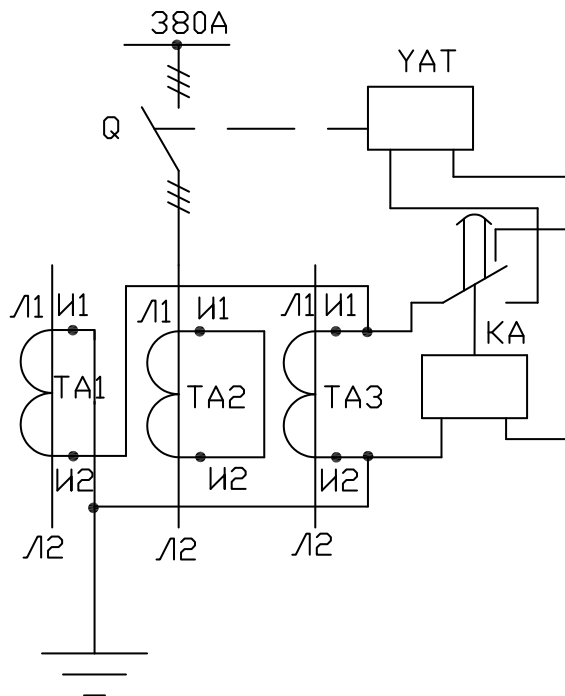


Рисунок 10.3 — Схема защиты с дешунтированием отключающего электромагнита с ограниченно-зависимой характеристикой YAT — отключающий электромагнит; KA — реле РТ-85

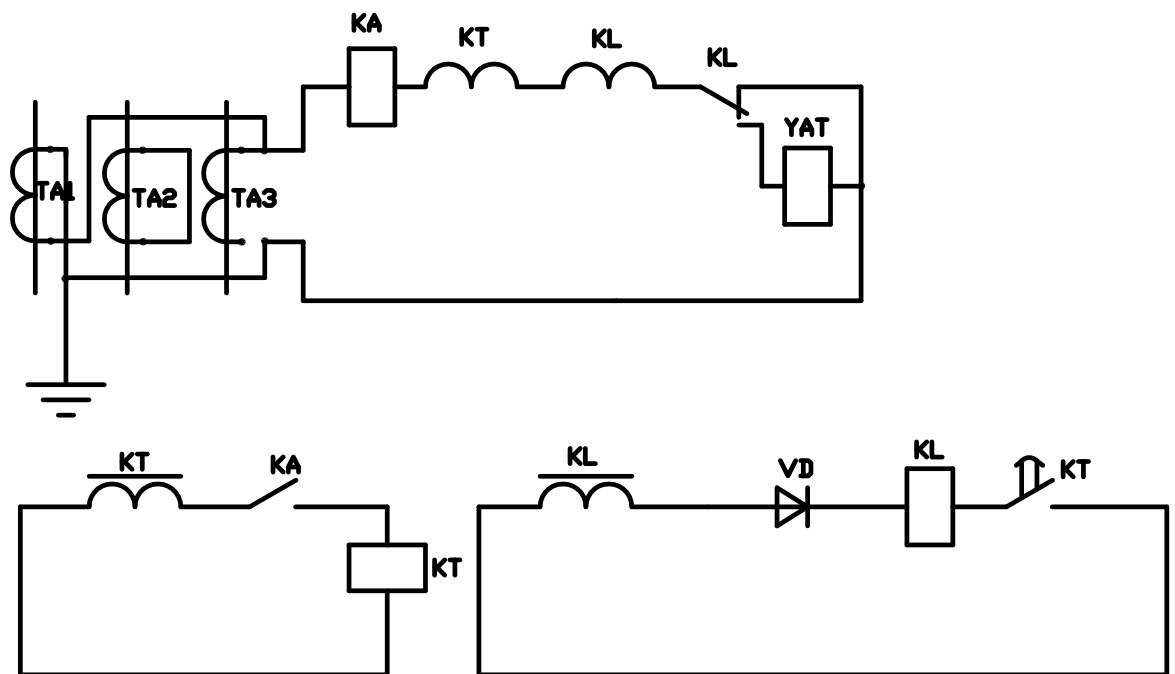


Рисунок 10.4 — Схема защиты с дешунтированием отключающего электромагнита с независимой характеристикой: KA — токовое реле РТ-40; KT — реле времени РВМ-13; KL — промежуточное реле РП-341

Ток срабатывания реле

$$I_{\text{с.р.}} = \frac{K_{\text{сх}}}{n_{\text{Т}}} I_{\text{с.з.}} \quad (10.2)$$

где  $K_{\text{сх}}$  — коэффициент схемы, равный отношению тока, протекающего по реле, к вторичному току трансформаторов тока;

$n_{\text{Т}}$  — коэффициент трансформации трансформаторов тока.

Ток уставки реле  $I_{\text{у}} > I_{\text{с.р.}}$ . Для реле, имеющих плавную регулировку тока уставки, принимается  $I_{\text{у}} = I_{\text{с.р.}}$ . Для реле со ступенчатой регулировкой тока уставки принимается ближайшее большее значение  $I_{\text{у}}$ . В последнем случае изменяется значение тока срабатывания защиты по сравнению с расчетным. Действительное значение тока срабатывания защиты пересчитывается из выражения:

$$I_{\text{с.з.действ.}} = \frac{n_{\text{Т}}}{K_{\text{сх}}} I_{\text{у}} \quad (10.3)$$

Во всех схемах токовые реле включаются на разность токов двух фаз. Для такой схемы соединения реле и трансформаторов тока  $K_{\text{сх}} = 1,73$ .

Расчетные значения  $I_{\text{раб. макс.}}$ ,  $K_{\text{зап}}$ ,  $n_{\text{Т}}$  приведены в таблице 11.1. Вариант расчета задается преподавателем.

Указания по выбору  $K_{\text{н}}$  и  $K_{\text{в}}$  приведены в дополнительных указаниях по схемам.

Таблица 10.1

Вариант расчета	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
$I_{\text{раб. макс.}}$	16	18	20	40	50	70
$K_{\text{зап}}$	1	1,4	1,7	1,2	1,3	1,4
$n_{\text{Т}}$	50/5	75/5	100/5	150/5	200/5	300/5

3. Отрегулировать уставки по току срабатывания и по времени действия реле (см. дополнительные указания по схемам).

4. Собрать схему опыта. Включить привод выключателя.

5. Проверить действие схемы защиты при коротких замыканиях в конце защищаемой линии. Режим короткого замыкания в конце защищаемой линии имитируется нажатием кнопки  $K1$ . По амперметру, включенному в цепь трансформатора  $TA2$ , измерить величину тока короткого замыкания.

6. Определить значение коэффициента чувствительности защиты при замыкании в конце защищаемой линии. Коэффициент чувствительности равен отношению тока короткого замыкания к току срабатывания защиты.

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к}}}{I_{\text{с.з.}}} \quad (10.4)$$

где  $I_{\text{к}}$  — ток короткого замыкания в конце защищаемой линии, А.

#### **Дополнительные указания по схемам**

а) Схема с реле прямого действия (рисунок 10.2).

Для реле РТВ в расчете тока срабатывания защиты принять коэффициенты  $K_{\text{н}} = 1,3 - 1,4$ ,  $K_{\text{в}} = 0,6 - 0,7$ . Уставка по току срабатывания реле регулируется включением соответствующего числа витков катушки реле на коммутационном щитке.

Уставка по времени изменяется перемещением скобы на часовом механизме реле. Принять  $t_{\text{y}} = 1$  с. Поскольку регулировка  $I_{\text{y}}$  ступенчатая, необходимо рассчитать  $I_{\text{с.з.действ.}}$  и по току  $I_{\text{к}}$  определить  $K_{\text{ч}}$ .

б) Схема с дешунтированием электромагнита отключения с ограниченной характеристикой (рисунок 10.3).

Защита выполнена комбинированным токовым реле (размыкающим и замыкающим контактами, сблокированными таким образом, что вначале замыкается разомкнутый контакт, а затем размыкается замкнутый).

Регулировка уставки тока срабатывания осуществляется изменением числа витков катушки реле посредством соответствующей установки контактного винта на контактной колодке.

Регулировка  $I_{\text{y}}$  ступенчатая, поэтому следует уточнить действительный ток срабатывания защиты  $I_{\text{с.з.действ.}}$  по формуле (10.3). Уставка по времени

срабатывания регулируется передвижением установочного винта на шкале уставок. Принять  $t_y=1-2$  с,  $K_n=1,1-1,2$ ,  $K_b=0,8-0,85$ .

в) Схема с дешунтированием электромагнита отключения с независимой выдержкой времени.

Защита выполнена электромагнитным токовым реле РТ-40, моторным серийным реле времени РВМ-13, и промежуточным серийным реле с дешунтирующими контактами РП-341. Реле РВМ-13 и РП-341 питаются от встроенных в них промежуточных насыщающихся трансформаторов (ПНТ), первичные обмотки которых включаются в цепи трансформаторов тока защищаемого элемента. Для срабатывания этих реле необходимы два условия:

1. Ток, протекающий по первичной обмотке ПНТ, должен быть больше тока срабатывания реле  $I_{с.р.}$ . Токи срабатывания реле РВМ-13 и РП-341 составляют 2,5 А при последовательном соединении секций первичной обмотки ПНТ и 5 А — при параллельном соединении.

2. Должны быть замкнуты пусковые цепи реле (цепи, содержащие вторичную обмотку ПНТ и обмотку реле). В схеме (рисунок 10.4) пусковая цепь реле РВМ-13 замыкается контактами реле РТ-40, пусковая цепь реле РП-341 - контактами реле РВМ-13.

Схему соединения секций первичных обмоток ПНТ реле РВМ-13 и РП-341 следует выбирать из условия, чтобы ток срабатывания этих реле был меньше тока уставки реле РТ-40.

Уставку времени срабатывания реле РВМ-13 принять равной  $t_y = 1 - 2$  с,  $K_n = 1,1 - 1,2$ ,  $K_b = 0,8 - 0,85$ .

### **Контрольные вопросы**

1. Назовите источники питания оперативных цепей защит переменным током.
2. Оцените каждую из исследуемых схем, ее достоинства и недостатки с точки зрения:

- а) простоты исполнения;
  - б) нагрузки на трансформаторы тока;
  - в) надежности действия, условий работы контактов реле;
  - г) чувствительность защиты.
3. Какие другие типы защит (кроме максимальной токовой) выполняются на оперативном переменном токе?
4. По защите с реле прямого действия ответьте на следующие вопросы:
- а) чем и в каких пределах регулируется ток срабатывания?
  - б) чем достигается выдержка времени?
  - в) почему при одном и том же рабочем токе заведомого элемента максимальная токовая защита с реле прямого действия получается более грубой ( $I_{с.з.}$ ), чем со вторичными, реле косвенного действия?
5. В чем заключается принцип действия защит с дешунтированием?
6. Какие виды защит с дешунтированием электромагнита отключения вам известны?

### **Содержание отчета**

Отчет должен содержать:

1. Схемы максимальных токовых защит на оперативном переменном токе.
2. Расчеты уставок реле.
3. Расчет коэффициентов чувствительности защит при коротком замыкании в конце линии.



## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11**

### **СХЕМЫ СОЕДИНЕНИЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА И РЕЛЕ**

Общее время занятия – 2 часа.

#### **Мотивационная характеристика темы**

В практической работе инженера-электрика для решения основных задач, связанных с электроснабжением сельскохозяйственных предприятий и сельских населенных пунктов, необходимо знать схемы соединений трансформаторов тока и реле. Поэтому тема занятий актуальна для будущей работы инженера.

#### **Цель занятия**

Изучить схемы соединений трансформаторов тока и реле, применяемые в сельском хозяйстве.

#### **Задачи занятия**

Исследовать схемы соединений трансформаторов тока и реле в полную звезду, неполную звезду и на разность токов двух фаз.

#### **Контрольные вопросы самоподготовки**

1. Поясните принцип действия трансформатора тока.
2. Какие режимы заземления нейтрали Вы знаете?
3. Что называется чувствительностью защиты?

#### **План занятия**

1. Исследовать соединения трансформаторов тока и реле по схемам полной звезды, неполной звезды и включения реле на разность токов двух фаз.
2. Измерить токи в первичных цепях и в цепях защит при различных видах коротких замыканий (КЗ).
3. Рассчитать коэффициенты схемы для междуфазных и однофазных КЗ.

4. Выяснить влияние схем соединения трансформаторов тока и реле на чувствительность защит к различным видам КЗ.

### Методические указания к самостоятельной работе студента

При выполнении защит могут быть использованы различные схемы, соединения вторичных обмоток трансформаторов тока и реле: полной звезды, неполной звезды, включение реле на разность токов двух фаз, соединение обмоток трансформаторов тока в треугольник и обмоток реле в звезду, включение обмоток реле на сумму токов трех фаз и другие (рисунок 11.1).

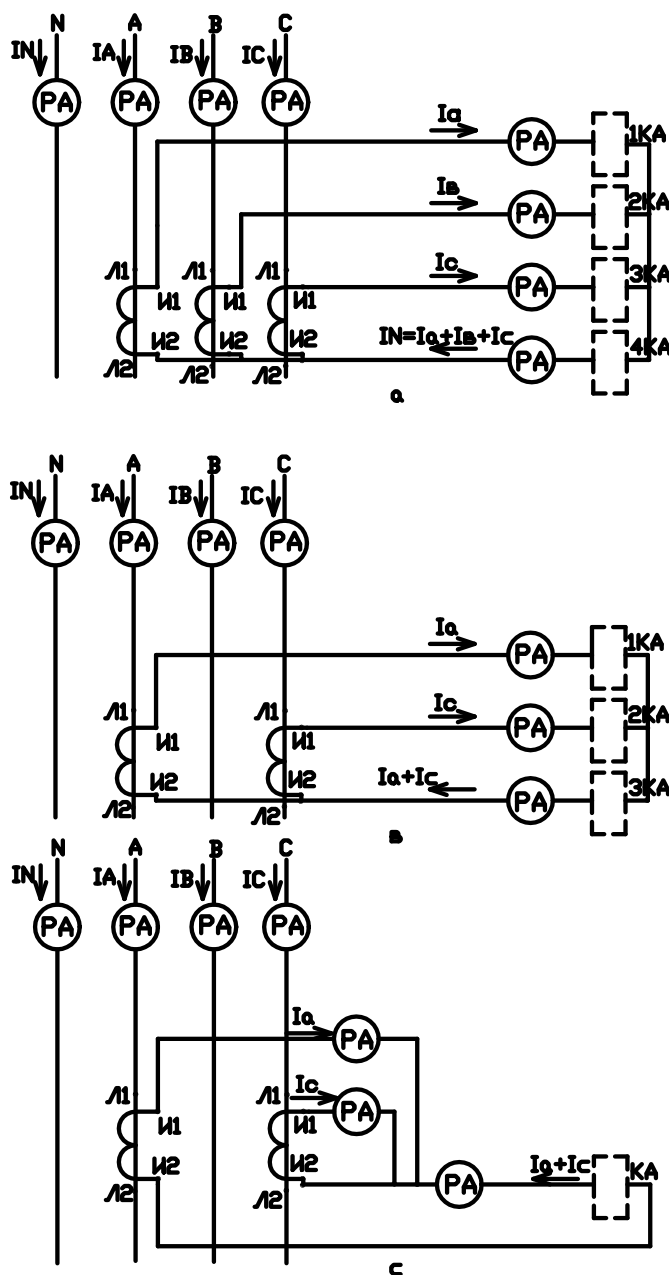


Рисунок 11.1 — Схемы соединений трансформаторов тока и реле

Выбор схемы соединения определяется рядом факторов: назначением защиты (виды КЗ, при которых она должна действовать), условиями чувствительности, требованиями простоты выполнения и эксплуатации и т.д.

В некоторых схемах ток, протекающий в обмотке реле, может отличаться от вторичного тока трансформатора тока. Отношение этих токов называется коэффициентом схемы:

$$K_{\text{сх}} = \frac{I_{\text{р}}}{I_{2\text{тт}}}, \quad (11.1)$$

где  $I_{\text{р}}$  — ток, протекающий в обмотке реле, А;

$I_{2\text{тт}}$  — вторичный ток трансформатора тока, А.

Коэффициент схемы зависит от схемы соединения трансформатора тока и реле, вида КЗ и сочетания поврежденных фаз. В схемах, где реле включаются на фазные токи,  $K_{\text{сх}} = 1$ . Для других схем  $K_{\text{сх}}$  может отличаться от единицы. Так, для схемы включения одного реле на разность токов фаз А и С.

$$K_{\text{сх}}^{(3)} = \sqrt{3}, \quad K_{\text{сх} \text{ AC}}^{(2)} = 2, \quad K_{\text{сх} \text{ AB}}^{(2)} = 1.$$

Чувствительность максимальной токовой защиты оценивается коэффициентом чувствительности:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к}}}{I_{\text{с.з.}}}, \quad (11.2)$$

где  $I_{\text{к}}$  — ток короткого замыкания, А;

$I_{\text{с.з.}}$  — ток срабатывания защиты, А.

Ток срабатывания защиты:

$$I_{\text{с.з.}} = \frac{n_{\text{т}}}{K_{\text{сх}}} I_{\text{у}}, \quad (11.3)$$

где  $I_{\text{у}}$  — ток уставки реле, А;

$n_{\text{т}}$  — коэффициент трансформации трансформатора тока.

Из (11.2) и (11.3) получим:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к}}}{n_{\text{T}} I_{\text{y}}} K_{\text{сх}}. \quad (11.4)$$

Таким образом, коэффициент схемы влияет на чувствительность защиты. Для схемы включения одного реле на разность токов фаз А и С наибольшая чувствительность будет при двухфазном КЗ фаз А и С ( $K_{\text{сх AC}}^{(2)} = 2$ ), наименьшая при двухфазном КЗ фаз АВ или ВС ( $K_{\text{сх АВ}}^{(2)} = 1$ ).

В сетях с глухозаземленной нейтралью (0,38 и 110 кВ) однофазное замыкание на землю является коротким замыканием и должно отключаться защитой. В таких сетях необходимо применять схемы, обеспечивающие контроль тока в трех фазах или выделяющие токи нулевой последовательности.

В сетях с изолированной нейтралью (6, 10, 35 кВ) однофазные замыкания на землю сопровождаются относительно небольшими емкостными токами и обычно не требуют отключения линии. Такие сети защищаются только от междуфазных КЗ, поэтому в их защитах можно применять схемы с включением трансформаторов тока в две фазы.

В сельских электроустановках наибольшее применение получили схемы полной звезды, неполной звезды и включения реле на разность токов двух фаз.

### **Указания по выполнению работы**

На стенде установлен вводной рубильник 5, присоединенный к вторичной обмотке понижающего трансформатора со схемой соединения Y/Y, 220/24 В, и три трансформатора тока с коэффициентом трансформации  $n_{\text{T}} = 10/5$ .

Для определения  $K_{\text{сх}}$  при различных видах короткого замыкания реле в схемах заменяются амперметрами со шкалой 0–5 А. Указанные на рисунке 11.1 пунктиром реле не включаются.

В первичных цепях ток измеряется амперметрами со шкалой 0–10 А. Имитация различных видов КЗ осуществляется закорачиванием соответствующих фаз на выходах амперметров, измеряющих первичные токи.

Результаты опытов заносятся в таблицу 11.1. По данным опытов рассчитываются значения  $K_{сх}$  для различных видов КЗ.

Таблица 11.1

Название схемы									
Тип КЗ	Показания амперметров в цепях, А								$K_{сх}$
	первичных				вторичных				
	$I_A$	$I_B$	$I_C$	$I_N$	$I_a$	$I_b$	$I_c$	$I_N$	
схема полной звезды									
трехфазное (ABC)									
трехфазное на землю (ABCN)									
двухфазное (AB)									
двухфазное на землю (ABN)									
однофазное (AN)									
схема неполной звезды									
трехфазное (ABC)									
трехфазное на землю (ABCN)									
двухфазное (AB)									
двухфазное на землю (ABN)									
однофазное (AN)									
однофазное (BN)									
однофазное (CN)									
схема включения реле на разность токов двух фаз									
трехфазное (ABC)									
трехфазное на землю (ABCN)									
двухфазное (AB)									
двухфазное (AC)									
однофазное (AN)									
однофазное (BN)									

### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с аппаратурой, установленной на стенде. Записать паспортные данные трансформаторов тока.

2. Собрать схему полной звезды (рисунок 11.1 а).

Измерить токи короткого замыкания в фазах и нулевом проводе в первичных цепях, а также токи, протекающие во вторичных обмотках трансформаторов тока ( $I_a, I_b, I_c$ ), и токи реле ( $I_{pa}, I_{pb}, I_{pc}, I_{po}$ ). Учесть, что для реле, включенных на фазные токи, токи реле совпадают с вторичными тока-

ми трансформаторов тока ( $I_a = I_{pa}, I_b = I_{pb}, I_c = I_{pc}$ ). По реле, включенному в нулевой провод, протекает сумма токов трех фаз, т.е. утроенный ток нулевой последовательности.  $K_{cx}$  определить по трехфазному КЗ.

3. Собрать схему неполной звезды (рисунок 11.1 в).

Аналогично предыдущему опыту исследовать токораспределение при всех видах КЗ, указанных в таблице 11.1. Определить  $K_{cx}$  для трехфазного и однофазных КЗ.

4. Собрать схему включения реле на разность токов двух фаз (рисунок 11.1 с).

В выбранном масштабе тока построить векторные диаграммы вторичных токов для коротких замыканий ABC; AB; AC.

Векторные диаграммы при симметричной системе напряжений и идентичных сопротивлениях фаз линии будут иметь вид, указанный на рисунке 11.2.

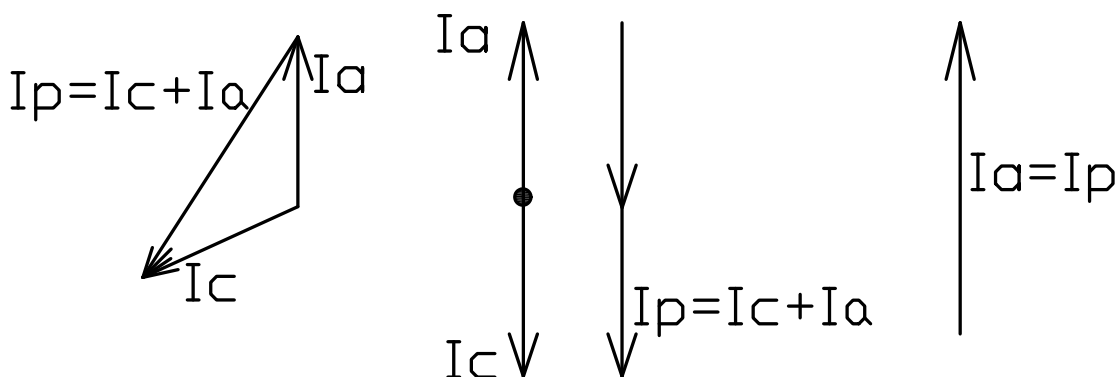


Рисунок 11.2 — Векторные диаграммы токов при включении реле на разность токов фаз А и С

### Содержание отчета

1. Схемы испытания для определения  $K_{cx}$ .
2. Таблицы результатов испытания.
3. Векторные диаграммы токов вторичных цепей для схемы включения реле на разность токов двух фаз.

## Контрольные вопросы

1. Какое число трансформаторов тока и реле требуется для выполнения каждой из исследуемых схем?
2. Какие схемы применяются для защиты электроустановок в сетях с изолированной нейтралью?
3. Почему в сетях 0,38 кВ необходимы схемы защиты от КЗ с контролем тока трех фаз?
4. Какое назначение нулевого провода в схеме полной звезды? Чему будет равен ток в нулевом проводе в нормальном режиме и при обрыве вторичной цепи одной фазы?
5. Для какой из исследуемых схем коэффициент схемы может быть равен единице?
6. Как влияет  $K_{сх}$  на чувствительность максимальной токовой защиты?
7. Сравнить чувствительность защиты по схеме включения реле на разность токов двух фаз при трехфазном КЗ и различных двухфазных.

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12**  
**СОГЛАСОВАНИЕ МАКСИМАЛЬНЫХ ТОКОВЫХ ЗАЩИТ**  
**С НЕЗАВИСИМЫМИ ВЫДЕРЖКАМИ ВРЕМЕНИ**

Общее время занятия – 2 часа.

**Мотивационная характеристика темы**

В практической работе инженера-электрика для решения основных задач, связанных с электроснабжением сельскохозяйственных предприятий и сельских населенных пунктов, необходимо уметь согласовывать защиты. Поэтому тема занятий актуальна для будущей работы инженера.

**Цель занятия**

Изучить согласование максимальных токовых защит с независимыми выдержками времени.

**Задачи занятия**

Научиться рассчитывать токи срабатывания реле, согласовывать МТЗ и токовые отсечки.

**Контрольные вопросы самоподготовки**

1. Что называется селективностью защит?
2. В чем принципиальное отличие МТЗ и токовой отсечки?
3. Что называется чувствительностью защиты?

**План занятия**

1. Рассчитать токи срабатывания МТЗ.
2. Согласовать на селективность МТЗ последовательно включенных элементов сети (линий Л1, Л2 и трансформатора).
3. Произвести расчет тока срабатывания токовой отсечки.



4. Определить коэффициенты чувствительности защит и сравнить с допустимыми значениями.
5. Отрегулировать реле согласно рассчитанным уставкам.
6. Проверить селективность защит при коротких замыканиях в различных точках сети.
7. Построить график согласования защит (карту селективности).

### **Методические указания к самостоятельной работе студента**

Токовые защиты широко используются для защиты от коротких замыканий линий, трансформаторов, генераторов, электродвигателей. В сельскохозяйственных электроустановках преимущественно применяются два вида токовых защит: максимальная токовая защита (МТЗ) и токовая отсечка. Основное различие этих защит в способе согласования на селективность. МТЗ отстраивается на селективность по времени действия. Токовая отсечка — защита мгновенного действия. Селективность ее обеспечивается отстройкой по току срабатывания.

Ток срабатывания максимальной токовой защиты отстраивается от максимального тока нагрузки по следующему выражению:

$$I_{с.з.} = \frac{K_H K_{с.зап.} I_{раб. макс.}}{K_B} I_y, \quad (12.1)$$

где  $K_H$  — коэффициент надежности;

$K_{с.зап.}$  — коэффициент самозапуска;

$K_B$  — коэффициент возврата токового реле;

$I_{раб. макс.}$  — максимально возможная величина тока нагрузки с учетом возможных перегрузок в ремонтных и в аварийных режимах, А.

Коэффициент надежности  $K_H$  учитывает разброс по току срабатывания реле, погрешности трансформаторов тока, погрешности при регулировке тока срабатывания.

Для защит, выполненных электромагнитными реле косвенного действия, принимается значение  $K_H = 1,1 - 1,2$ .

Коэффициент самозапуска учитывает увеличение тока нагрузки при самозапуске двигателей после восстановления напряжения в результате отключения короткого замыкания на смежном участке или действия АПВ. Величина его рассчитывается по суммарной мощности двигателей защищаемого элемента сети, которые могут работать в режиме самозапуска. Максимальная величина  $K_{с.зап} = 1$  относится к нагрузке, состоящей из освещения, бытовых приборов; максимальная  $K_{с.зап} = 2,6 - 3,0$  — для линий и трансформаторов, питающих силовую нагрузку. Для линий 10 кВ сельских районов —  $K_{с.зап} = 1,2 - 1,3$ .

Коэффициент возврата зависит от типа токового реле. Для электромагнитных реле РТ-40 заводы-изготовители гарантируют величину  $K_B$  не ниже 0,80; при наладке защиты можно получить величину  $K_B = 0,85$  и даже больше.

Ток срабатывания реле определяют по выражению:

$$I_{с.р.} = \frac{I_{с.з.} K_{сх}}{n_T}, \quad (12.2)$$

где  $K_{сх}$  — коэффициент схемы при симметричном режиме; для схем соединения трансформаторов тока в полную и неполную  $K_{сх} = 1$  при включении реле на разность токов двух фаз  $K_{сх} = \sqrt{3}$ .

$n_T$  — коэффициент трансформации трансформаторов тока.

Ток уставки реле:

$$I_y > I_{с.р.} \cdot \quad (12.3)$$

Последовательно расположенные максимальные токовые защиты согласуются на селективность по времени действия. Выдержка времени защиты, расположенной ближе к источнику питания, принимается большей выдержки времени следующей, расположенной дальше защиты.

Уставки по времени срабатывания для МТЗ с независимыми характеристиками выбираются по ступенчатому принципу и рассчитываются по выражению:

$$t_n = t_{n-1} + \Delta t, \quad (12.4)$$

где индекс  $n$  — последовательный номер защиты, считая от наиболее удаленной от источника питания точки (рисунок 12.1).

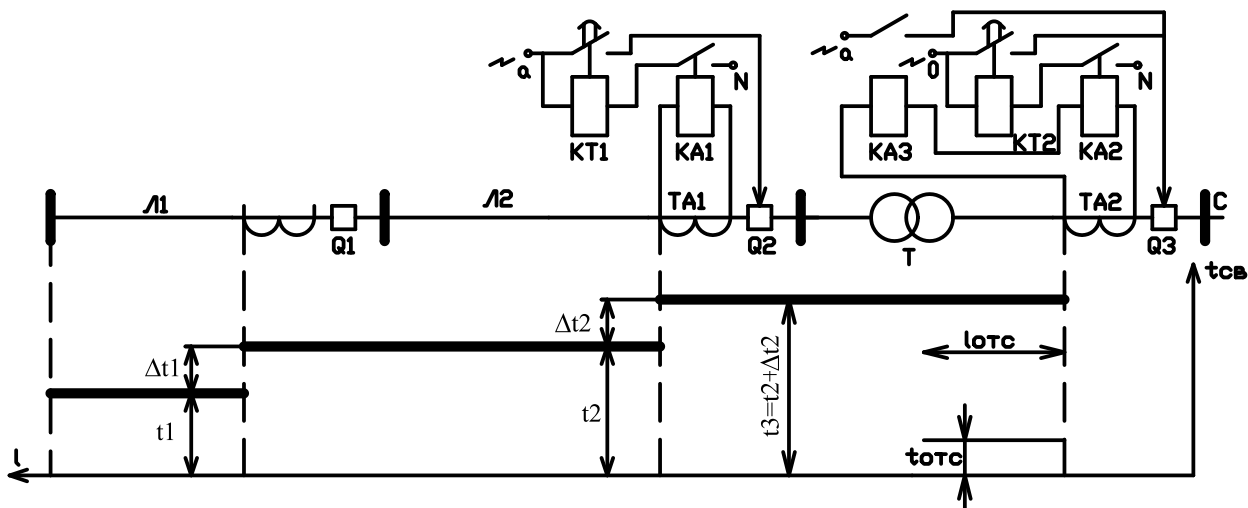


Рисунок 12.1 — График согласования защит

Разница между уставками по времени срабатывания последовательно расположенных защит  $\Delta t$ , называемая **ступенью селективности**, должна учитывать возможные отклонения времени действия двух согласуемых защит от уставок по времени срабатывания. Степень селективности рассчитывается уравнению:

$$\Delta t = t_{в\ n-1} + t_{р\ n} + t_{р\ n-1} + t_{и} + t_{зап}. \quad (12.5)$$

где  $t_{в\ n-1}$  — полное время отключения КЗ выключателем от подачи оперативного тока, в электромагнит отключения до окончания гашения дуги, с;

$t_{р\ n}$ ,  $t_{р\ n-1}$  — соответственно разброс по времени срабатывания каждой из защит, с;

$t_{и}$  — время инерционного выбега реле (учитывается только для инерционных реле), с;

$t_{\text{зап}}$  — время запаса, учитывающее неточности, допускаемые при регулировке реле времени, а также увеличение времени действия выключателя в зимнее время, с.

Полное время отключения  $t_{\text{в}}$  выбирается в зависимости от выключателя. Для масляных выключателей  $t_{\text{в}} = 0,15 - 0,2$  с, для быстродействующих (воздушных, вакуумных)  $t_{\text{в}} = 0,07 - 0,1$  с.

Разброс по времени срабатывания реле времени  $t_{\text{р}}$  зависит от типа реле времени и предела регулировки уставки по времени. Для электромагнитных реле времени с часовым механизмом разброс приведен в таблице 12.1.

Таблица 12.1

Пределы регулировки, с	$t_{\text{р}}$ разброс для реле, с	
	с нормальным разбросом	с повышенным разбросом
0,1–1,3	0,06	0,10
0,3–3,5	0,12	0,25
0,5–9,0	0,25	0,40
2,0–20,0	0,50	1,0

Для реле типов РТ-80 и РТ-90  $t_{\text{н}} = 0,1 - 0,15$  с. Время запаса  $t_{\text{зап}} = 0,1$  с.

Ток срабатывания отсечки рассчитывается по двум условиям: селективности и отстройки от бросков, намагничивающего тока сетевых трансформаторов, возникающих при включении линии на напряжение.

По условию селективности действия ток срабатывания отсечки отстраивается от максимального тока короткого замыкания в конце защищаемого участка

$$I_{\text{с.з.}} = K_{\text{н}} I_{\text{кз}}, \quad (12.6)$$

где  $I_{\text{кз}}$  — периодическая составляющая тока короткого замыкания для  $t = 0$ , А. Для отсечки, выполненной вторичными токовыми реле мгновенного действия, и промежуточным реле, имеющим время срабатывания порядка 0,1 с, коэффициент надежности принимается в пределах  $K_{\text{н}} = 1,2 - 1,3$ .

Для отсечки, встроенной в реле РТ-85 или РТ-90, разброс по току срабатывания доходит до  $\pm 15\%$ . Эти реле работают непосредственно на электро-

магнит отключений, время их действия очень мало. Поэтому  $K_H$  должен учитывать наличие апериодической составляющей в токе КЗ, вследствие чего он принимается равным по величине 1,5–1,6.

Для отсечки, выполненной реле прямого действия типа РТМ, у которых разброс по току не превышает 4%,  $K_H = 1,4 - 1,5$ .

В распределительных сетях необходимо отстраивать ток срабатывания отсечки, также от броска намагничивающих токов сетевых трансформаторов. Для мгновенных отсечек с реле РТ-40 и промежуточными выходными реле

$$I_{с.з.о} \geq (3...4)I_{н тр.} \quad (12.7)$$

Для отсечек, выполненных реле РТ-85 и РТМ,

$$I_{с.з.о} \geq (4...5)I_{н тр.}, \quad (12.8)$$

где  $I_{н тр.} = \frac{S_{н тр.}}{\sqrt{3}U_H}$  — номинальный ток трансформатора, А.

$S_{н тр.}$  — номинальная мощность трансформатора, кВА;

$U_H$  — номинальное напряжение сети, кВ.

Из полученных двух значений тока срабатывания отсечки принимается большее.

Для отсечек с временем действия порядка 0,5 с и более отстройка тока срабатывания от намагничивающего тока не требуется, поскольку намагничивающий ток трансформатора быстро исчезает.

Чувствительность МТЗ оценивается коэффициентом чувствительности:

$$K_{ч} = \frac{I_{КЗ мин}}{I_{с.з.}}, \quad (12.9)$$

где  $I_{КЗ мин}$  — минимальное значение тока КЗ (в конце защищаемого участка или в конце зоны резервирования) при виде КЗ, дающем наименьшее значение тока, А.

Для сельских сетей 10–35 кВ это двухфазное КЗ.

Нормируемые ПУЭ значения для основной зоны  $K_{ч\text{ доп}} = 1,5$ , для зоны резервирования  $K_{ч\text{ доп}} = 1,2$ . Если по расчету  $K_{ч} < K_{ч\text{ доп}}$ , то необходимо повысить чувствительность защиты или заменить ее более совершенной.

Коэффициент чувствительности отсечки в отличие от коэффициента чувствительности МТЗ проверяют при КЗ не в конце защищаемой зоны, где отсечка не действует, а по току КЗ в месте установки отсечки

$$K_{ч\text{ отс}} = \frac{I_{\text{КЗ мин в месте установки отс.}}}{I_{\text{с.з. отс.}}} . \quad (12.10)$$

Для трансформатора  $K_{ч\text{ отс. доп}} = 2$ .

Для использования отсечки для защиты линий (в качестве резервной защиты) допускается  $K_{ч\text{ отс.}} < 2$  при условии, что отсечка защищает не менее 15–20% длины линии.

### **Указания по выполнению работы**

На стенде представлена схема радиальной сети с односторонним питанием, состоящая из трех участков — трансформатора и линий Л1 и Л2. Там же смонтирована релейная аппаратура защит трансформатора и линии Л2. На линии Л2 установлена МТЗ (реле  $КА1$  и  $КТ$ ), на трансформаторе МТЗ (реле  $КА2$  и  $КТ2$ ) и отсечка (реле  $КА3$ ). Защита линии Л1 на стенде не дана. Все необходимые сведения об этой защите приведены в таблице 12.3. В той же таблице имеются параметры элементов сети, необходимые для расчетов. Вариант задания указывается преподавателем.

*Рекомендуется выполнять работу в следующей последовательности:*

1. Ознакомиться со схемой сети, схемами защит, релейной аппаратурой.
2. Включить все участки сети и измерить максимальные токи нагрузки линии Л2 и трансформатора. Для определения первичных токов нагрузки измеренные вторичные токи трансформатора тока необходимо умножить на коэффициент трансформации. Коэффициенты трансформации трансформаторов тока принять по таблице 12.3.

3. Рассчитать токи срабатывания МТЗ линии Л2 и трансформатора, определить уставки реле по току срабатывания.

Ток срабатывания защиты рассчитывается по формуле (1). В расчете принять:  $K_{сх} = 1$  (включение реле на фазный ток),  $K_{с.зап.} = 1$  (бытовая нагрузка). Уставки токовых реле рассчитываются по формулам (2) и (3).

4. Измерить токи трехфазного короткого замыкания в точках К1, К2, К3. Режим короткого замыкания устанавливается нажатием на соответствующие кнопки, вмонтированные в мнемоническую схему. Чтобы исключить действие защиты в режимах КЗ, необходимо уставки реле времени защит установить максимальными, ток срабатывания реле отсечки также максимально загрузить ( $I_y = 5 \text{ A}$ ).

По результатам измерения определить первичные токи КЗ:

$$I_k = I_2 n_T \quad (12.11)$$

где  $I_2$  — вторичный ток измерительных трансформаторов тока, А;

$n_T$  — коэффициент трансформации трансформатора тока.

Результаты свести в таблицу 12.2.

5. Рассчитать ток срабатывания отсечки по условиям отстройки от токов внешнего короткого замыкания (6) и бросков намагничивающего тока сетевого трансформатора (7) и (8). По большему из полученных значений определить уставку токового реле отсечки и отрегулировать реле в соответствии с уставкой.

6. Проверить чувствительность МТЗ и отсечки.

Проверка чувствительности МТЗ осуществляется по зависимости (9), отсечка — по зависимости (10).

Токи двухфазного КЗ для сельских сетей могут быть рассчитаны из выражения  $I_k^{(2)} = 0,876 I_k^{(3)}$ .

Результаты расчета сравнить с минимальными значениями  $K_{ч}$  по ПУЭ. Токи трехфазного КЗ взять из таблицы 12.2.

7. Согласовать на селективность МТЗ Л2 и трансформатора, для чего:

а) рассчитать ступени селективности защит по выражению (5);  
 б) определить уставки по времени срабатывания защит по (4);  
 в) отрегулировать реле времени на соответствующие уставки. Необходимые для расчетов сведения об уставках и оборудовании защиты Л1 приводятся в таблице 12.3.

8. Построить график согласования МТЗ  $t = f(l)$ .

9. Проверить работу защит при КЗ в точках К1, К2, К3.

Таблица 12.2

Точка короткого замыкания	Токи короткого замыкания, А	
	Л2	сторона ВН трансформатора
К1		
К2	—	
К3	—	$8n_T$

Таблица 12.3

Вид оборудования, обозначение на схеме	Характеристика	варианты					
		1	2	3	4	5	6
Тр-р $T$	напряжение, кВ	110/10	35/10	35/10	35/10	35/10	110/10
	мощность, кВА	10000	4000	2500	1600	1000	6300
Тр-р тока $TA1$	$n_T = \frac{I_{1H}}{I_{2H}}$	$\frac{60}{5}$	$\frac{100}{5}$	$\frac{200}{5}$	$\frac{150}{5}$	$\frac{50}{5}$	$\frac{200}{5}$
Тр-р тока $TA2$	$n_T = \frac{I_{1H}}{I_{2H}}$	$\frac{50}{5}$	$\frac{300}{5}$	$\frac{200}{5}$	$\frac{100}{5}$	$\frac{75}{5}$	$\frac{150}{5}$
Выключатель $Q1$	Время отключения, с	0,15	0,2	0,1	0,2	0,15	0,15
Защита линии Л1	Вид защиты	МТЗ	МТЗ	МТЗ	МТЗ	МТЗ	МТЗ
	Время действия, с	0,7	1,3	1,5	2,0	1,2	1,4
	Реле времени	ЭВ-200	ЭВ-200	РВМ-12	ЭВ-200	ЭВ-200	РВМ-12

### Содержание отчета

1. Результаты измерений токов нагрузки и КЗ.
2. Расчеты уставок защит.
3. Расчеты чувствительности защит.
4. График согласования МТЗ.



### Контрольные вопросы

1. Способы согласования на селективность МТЗ и токовых отсечек.
2. Из каких условий определяется ток срабатывания МТЗ?
3. Что учитывают коэффициенты, входящие в формулу расчета  $I_{с.з.}$  ?
4. Из каких условий рассчитывается ток срабатывания отсечки?
5. От каких факторов зависит  $K_n$  в формуле для определения  $I_{с.отс.}$  ?
6. Объяснить различия в расчете чувствительности МТЗ и отсечки.
7. Достоинства и недостатки МТЗ, токовой отсечки.
8. Область применения МТЗ, токовой отсечки.

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13**  
**ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО**  
**ВКЛЮЧЕНИЯ РЕЗЕРВНОГО ПИТАНИЯ**

Общее время занятия – 2 часа.

**Мотивационная характеристика темы**

В практической работе инженера-электрика для решения основных задач, связанных с электроснабжением сельскохозяйственных предприятий и сельских населенных пунктов, необходимо знать работу схемы автоматического включения резервного питания. Поэтому тема занятий актуальна для будущей работы инженера.

**Цель занятия**

Изучить работу схем автоматического включения резервного питания, применяемых в сельском хозяйстве.

**Задачи занятия**

Изучить схему ручного включения и отключения трансформаторов и секционного автомата на стороне 0,4 кВ. Изучить схему АВР секционного автомата и линии.

**Контрольные вопросы самоподготовки**

1. Что называется надежностью электроснабжения?
2. Как подразделяются потребители по надежности электроснабжения?
3. Какие мероприятия по повышению надежности электроснабжения вы знаете?

## План занятия

1. Изучить схему ручного включения и отключения трансформаторов и секционного автомата на стороне 0,4 кВ.
2. Изучить схему автоматического включения резервного питания на стороне 0,4 кВ (АВР секционного автомата).
3. Изучить схему автоматического включения резервной линии на стороне 10 кВ (АВР линии).

## Методические указания к самостоятельной работе

Автоматическое включение резервного питания (АВР) применяется в электроустановках с целью повышения надежности электроснабжения потребителей.

В случае питания двухтрансформаторной подстанции по радиальной сети (одностороннее питание) АВР может быть выполнено по схеме, представленной на рисунке 13.1 *а* (АВР трансформатора), или по схеме — рисунок 13.1 *б* (АВР секционного выключателя).

По схеме на рисунке 13.1 *а* в нормальном режиме все потребители питаются от трансформатора  $1T$ , а трансформатор  $2T$  находится в резерве (выключатели  $3Q$  и  $4Q$  отключены).

В аварийном режиме отключаются выключатели  $1Q$  и  $2Q$ , и включаются  $3Q$  и  $4Q$  — все потребители питаются от резервного трансформатора  $2T$ .

В нормальном режиме питания по схеме на рисунке 13.1 *б* оба трансформатора включены, и секционный выключатель  $5Q$  отключен. В случае отключения трансформатора  $1T$  ( $2T$ ) включается выключатель  $5Q$  и все потребители питаются от трансформатора  $2T$  ( $1T$ ).

Высокая надежность электроснабжения потребителей может быть достигнута на трансформаторной подстанции с двухсторонним питанием (рисунок 13.1 *в*). В этой схеме, кроме АВР трансформатора, АВР секционного выключателя  $5Q$  предусмотрено АВР линии. По этой схеме в нормальном режиме питания осуществляется по рабочей линии (выключатель  $6Q$  включен,

а 7Q отключен). В случае отключения выключателя 6Q от защиты и других причин, а также исчезновения напряжения на рабочей линии, включается выключатель 7Q, и питание ТП осуществляется от резервной линии (при исчезновении напряжения на рабочей линии перед включением 7Q обязательно должен быть отключен выключатель 6Q).

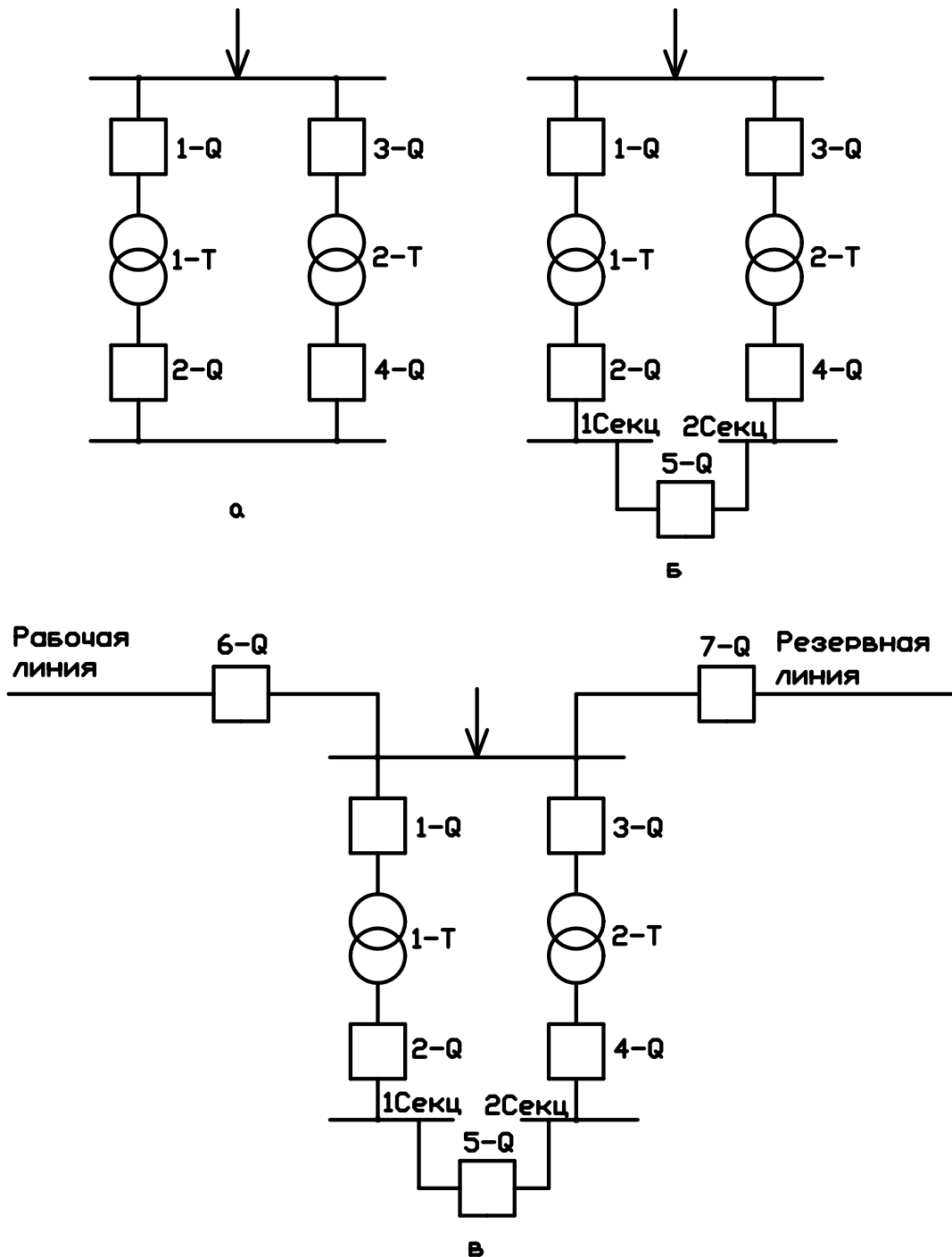


Рисунок 13.1 — Примеры использования АВР:  
*а* — трансформатора; *б* — секционного выключателя; *в* — линии.

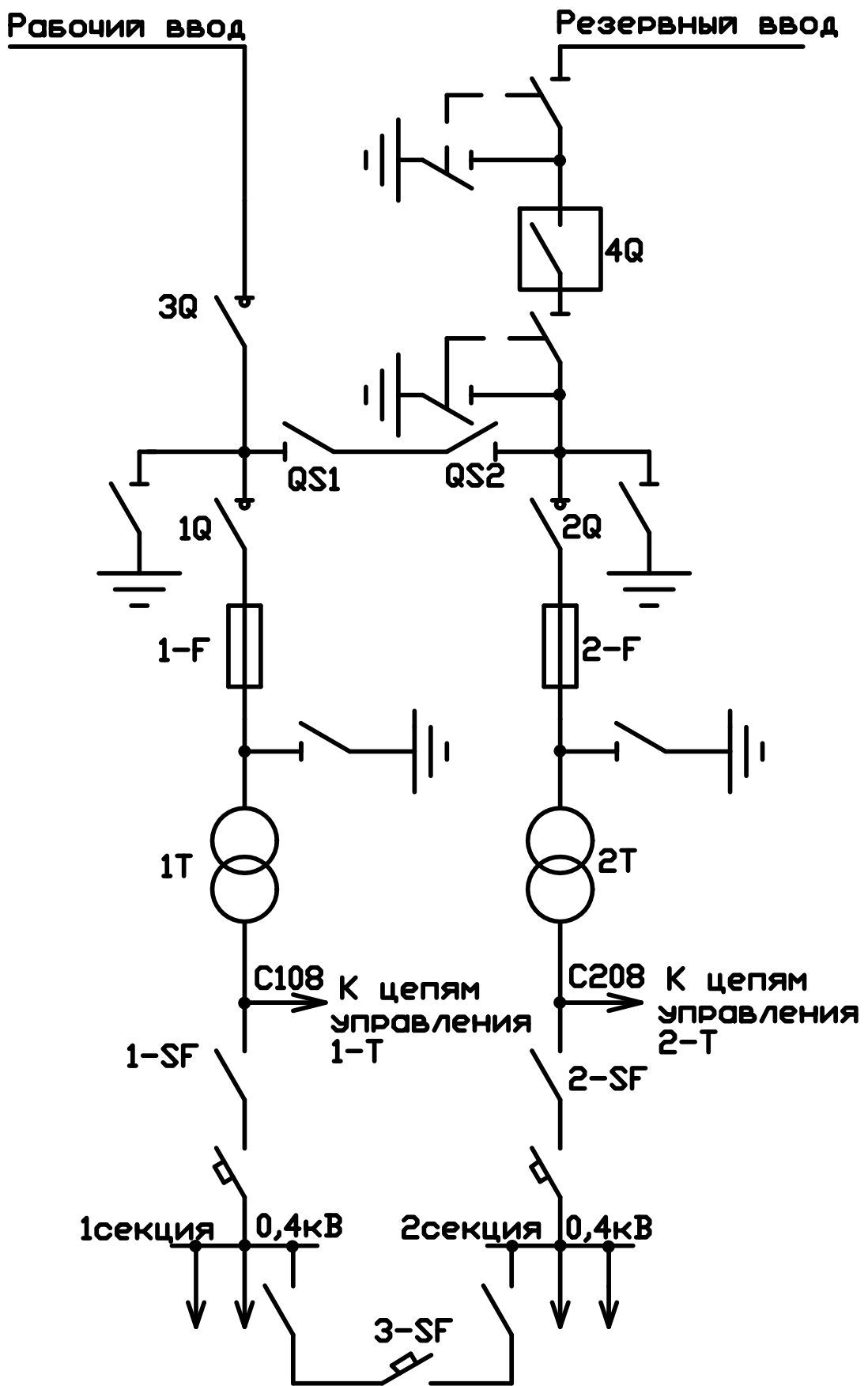


Рисунок 13.2 — Схема электрических соединений трансформаторной подстанции на два трансформатора с рабочим и резервным вводом

В зависимости от местных условий схем АВР имеют свои особенности, однако каждая из них должна отвечать следующим **требованиям**:

- схема АВР должна действовать при исчезновении напряжения на шинах потребителя;
- включение резервного источника питания должно происходить непосредственно сразу же после отключения рабочего источника питания;
- действие схемы АВР должно быть однократным;
- включение резервного источника питания должно быть произведено только после отключения источника рабочего питания.

В настоящей лабораторной работе рассматривается АВР секционного выключателя и АВР линии на примере типовой трансформаторной подстанции В-42-400-М4. Схема первичных соединений приведена на рисунке 13.2.

### **Режим ручного управления**

Включение трансформатора 1Т (2Т).

При ручном управлении ключ 3-SAC (рисунок 13.3) устанавливается в положение *P*. Ключом 1-SA (2-SA), (рисунок 13.3 и 13.4, положение *B1* (команда «Включить»)) подается питание на реле 1-KL2 (2-KL2). Его контакты, замыкаясь, подают питание на электромагнит включения автомата 1-SF (2-SF), и он включается. Обесточивается реле 1-KL2, а замыкающий контакт этого реле с течением времени размыкается и обесточивает цепь включения автомата 1-SF. Ключ 1-SA (2-SA) возвращается в положение *B* – «Включено».

При этом замыкается вспомогательный контакт 1-SSF (2-SSF) автомата 1-SF (2-SF) и включается реле-повторитель 1-KL1 (2-KL1) положения автомата. Замыкающий контакт этого реле включает лампу 1-HLB (2-HLB), которая сигнализирует о включенном положении автомата, а размыкающий контакт — отключает лампу 1-HLO (2-HLO). Второй размыкающий контакт этого реле размыкает цепь реле 1-KL2, (2-KL2) и обесточивает его независимо от положения ключа 1-SA (2-HLA). При включенном положении выключателя 1-SF (2-SF) размыкается контакт 1-SSF (2-SSF) и отключается реле 1-KT2,

2-*KT2*). Этим самым блокирована возможность подачи питания на электромагнит включения при включенном положении автомата 1-*SF* (2-*SF*).

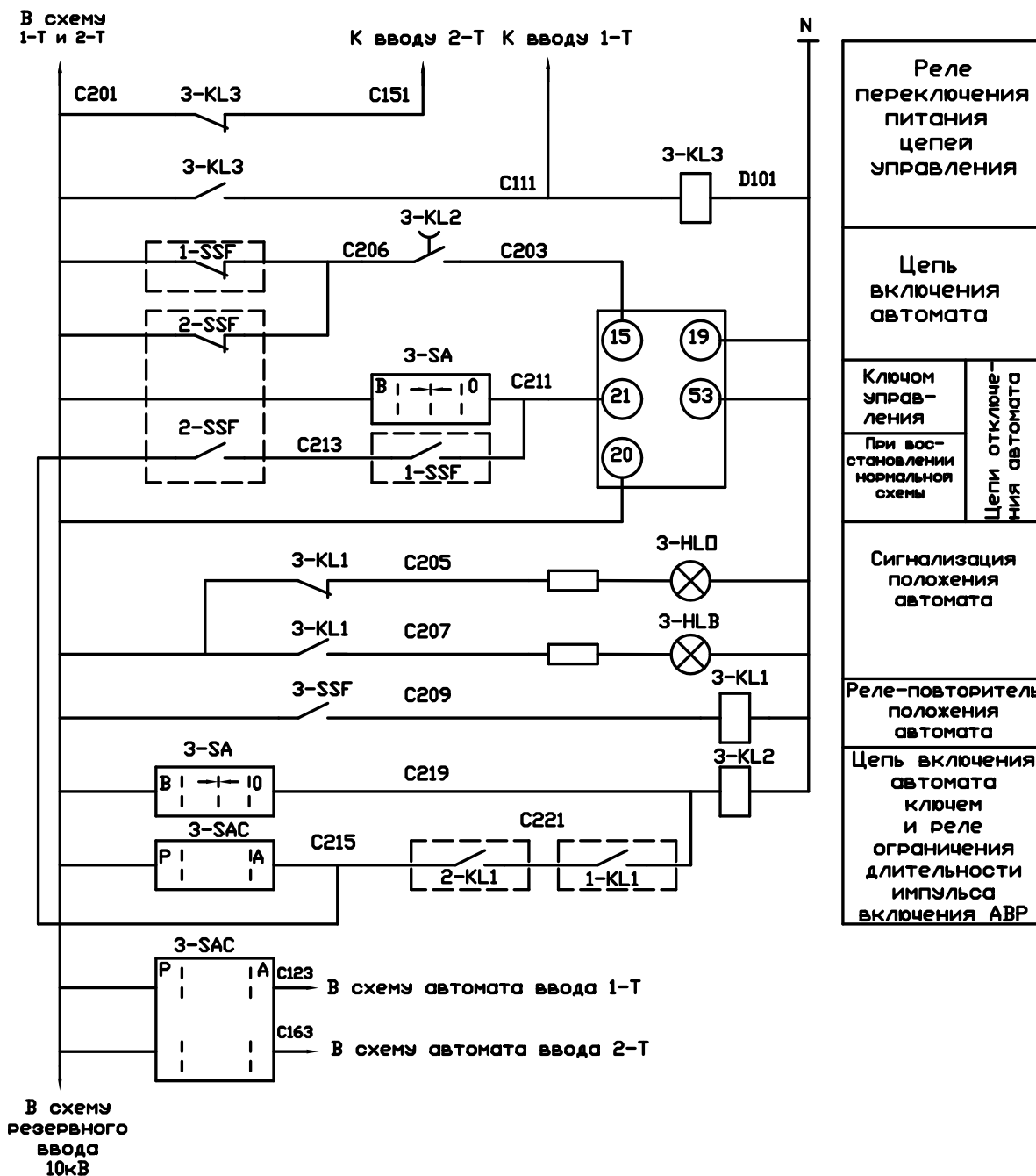


Рисунок 13.3 — Схема электрическая принципиальная секционного автомата 3-*SF* на шинах 0,4 кВ (аппараты 1-*SSF* и 1-*KL1* находятся в схеме ввода 1-*T*, а 2-*SSF* и 2-*KL1* находятся в схеме ввода 2-*T*)

Отключение трансформатора 1Т (2Т).

Ключом 1-*SA* (2-*SA*) (рисунки 13.4, 13.5) подается питание на электромагнит отключения автомат 1-*SF* (2-*SF*) в положении О «Отключить» и он отключается. Напряжение с автомата снимается этим же ключом в положе-

ние О «Отключено». При этом размыкается блокирующий контакт автомата 1-SSF (2-SSF), отключается реле-повторитель положения автомата 1-KL1 (2-KL1), отключается лампа 1-HLB (2-HLB) и включается 1-HLO (2-HLO). Одновременно замыкается контакт в цепи реле 1-KL2 (2-KL2) и подготавливается цепь для включения автомата. Вместе с отключением автомата замыкается вспомогательный контакт 1-SSF (2-SSF) в цепи реле контроля восстановления напряжения 1-KT2 (2-KT2).

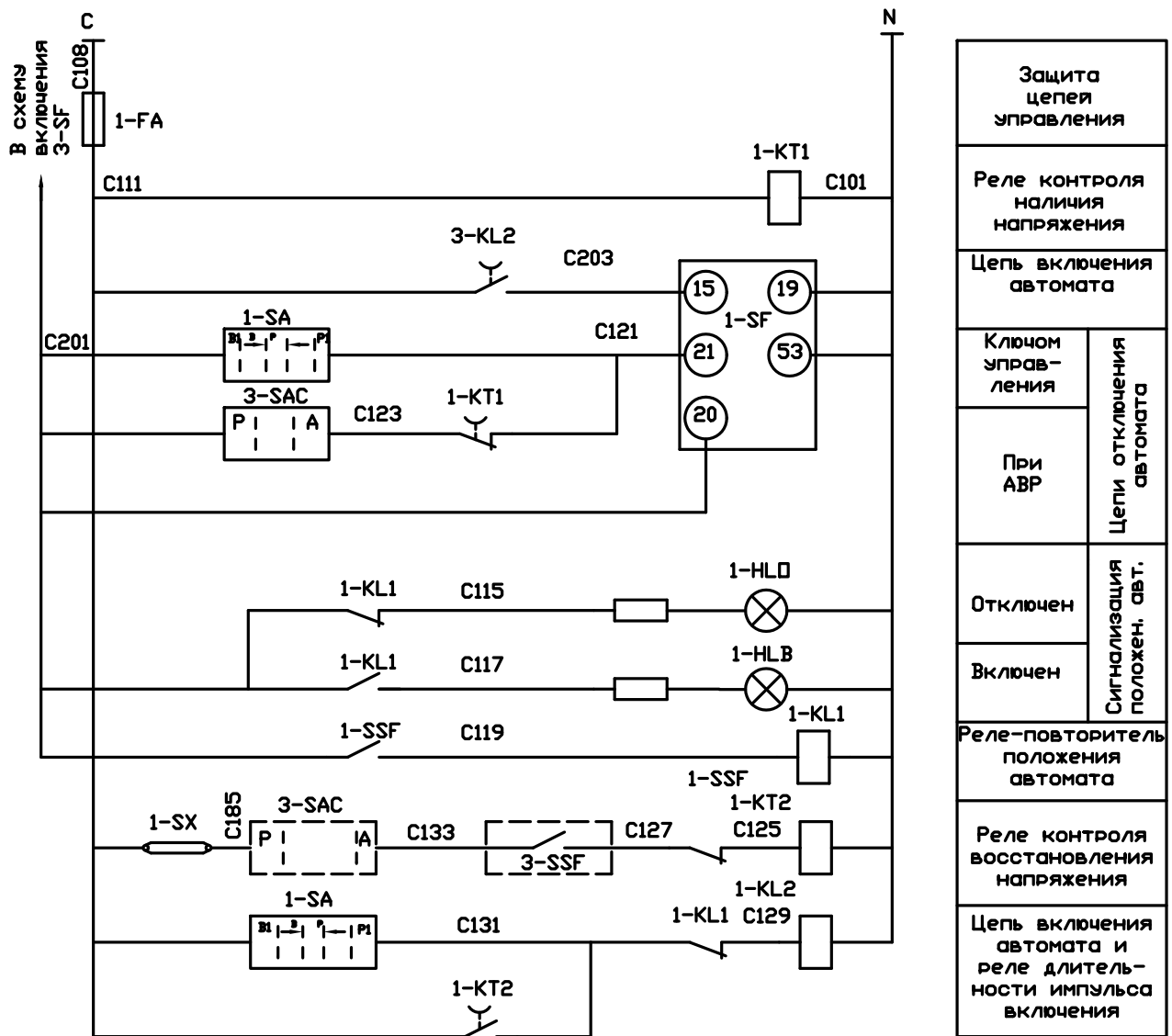


Рисунок 13.4 — Схема электрическая принципиальная ввода трансформатора 1Т с АВР (пунктиром на схеме указаны элементы аппаратов, установленных на схеме секционного автомата 3-SF)



### Включение секционного автомата 3 SF

В нормальном режиме работы автоматические выключатели 1-SF и 2-SF включены, а 3-SF — отключен. В схеме секционного автомата 3-SF (рисунок 13.5) размыкающиеся вспомогательные контакты реле 1-SSF и 2-SSF разомкнуты, а замыкающиеся — замкнуты. Замкнуты также контакты реле 1-KL1 и 2-KL1. Так как при ручном управлении переключатель 3-SAC находится в положении P — «Ручное», а 3-SA в положении O — «Отключено», то, несмотря на то, что замкнуты контакты 1-SSF, 2-SSF, 1-KL1 и 2-KL2 реле 3-KL2 отключено.

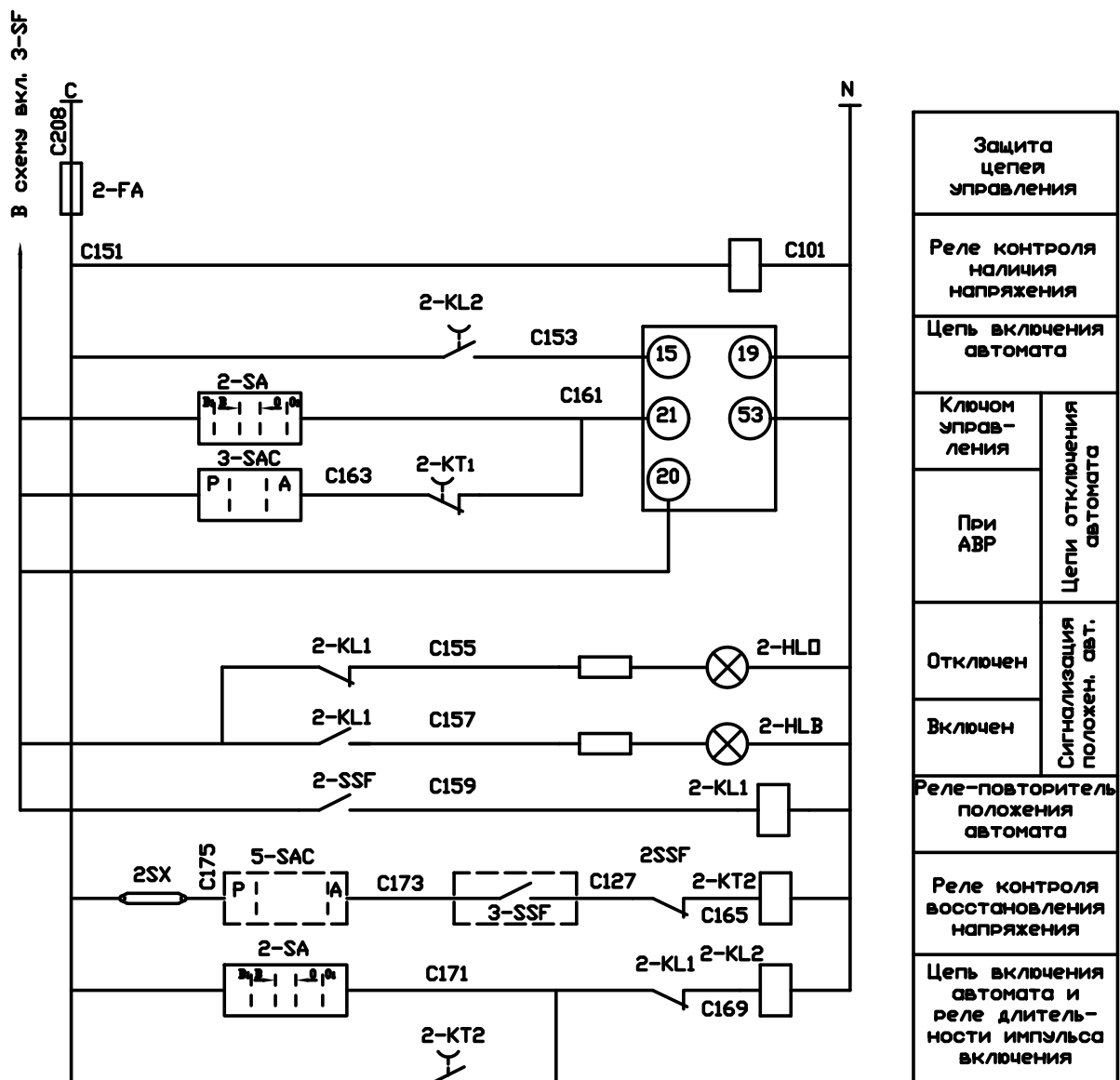


Рисунок 13.5 — Схема электрическая принципиальная ввода трансформатора 2Т с АВР (пунктиром на схеме указаны элементы аппаратов, установленных на схеме секционного автомата 3-SF)

В случае отключения одного из трансформаторов в цепи включения автомата  $3-SF$  замыкается соответствующий размыкающий контакт  $1-SSF$  или  $2-SSF$  подготавливает цепь для включения  $3-SF$ . В положении В – «Включено» ключа  $3-SA$  реле  $3-KL2$  включатся, замыкает свой контакт в цепи включения автомата  $3-SF$  и включает его. После включения ключ  $3-SF$  возвращается в среднее положение, снимает напряжение с реле  $3-KL2$  и с некоторой задержкой размыкается контакт этого реле в цепи электромагнита включения автомата  $3-SF$ .

Одновременно с включением  $3-SF$  замыкается вспомогательный контакт  $3-SSF$  в цепи реле-повторителя положения автомата и своими контактами включает соответствующую лампу  $3-HLB$  или  $3-HLO$  («включено» или «отключено»).

### **Отключение секционного автомата $3-SF$**

Отключение автомата  $3-SF$  (рисунок 13.3) в ручном режиме осуществляется переводом ключа  $3-SA$  в положение  $0$  – «отключено». Размыкаясь, контакт  $3-SSF$  отключает реле-повторитель положения автомата  $3-KL1$  и через соответствующий контакт загорается сигнальная лампа «отключено».

### **Автоматический режим**

Для работы схемы в автоматическом режиме переключатель  $3-SAC$  переводится в положение «А».

### **Питание оперативных цепей управления**

В нормальном режиме питание оперативных цепей управления осуществляется от трансформатора  $1T$ . При этом реле  $3-KL3$  своим замыкающим контактом переводит питание от  $1T$ . Если трансформатор  $1T$  будет отключен, то реле  $3-KL3$  обесточится, замкнет размыкающий контакт и переведет питание от трансформатора  $2T$ . При восстановлении напряжения на  $1T$  питание оперативных цепей переключается на  $1T$ .

### **Автоматическое включение секционного автомата 3-SF**

При исчезновении напряжения на стороне 0,4 кВ трансформатора 1T (2T), которое может быть вызвано отключением выключателя нагрузки в результате перегорания плавкой вставки, обесточивается реле контроля наличия напряжения 1-KT1 (2-KT1) и с некоторой задержкой времени размыкающий контакт 1-KT1 (2-KT2) замкнется и отключит автомат 1-SF (2-SF). Вспомогательный контакт 1-SSF (2-SSF) автомата 1-SF (2-SF) отключает реле-повторитель 1-KL1 (2-KL1) положения автомата (рисунки 13.4 и 13.5). В результате лампа 1-HLB (2-HLB) отключается, а 1-HLO (2-HLO) включается и сигнализирует об отключенном положении автомата 1-SF (2-SF). Одновременно с этим замыкается размыкающий вспомогательный контакт 1-SSF (2-SSF) в цепи реле 1-KT2 (2-KT2) контроля восстановления напряжения и 1-KL1 (2-KL2) в цепи реле 1-KL2 (2-KL2) включения автомата и реле длительности импульса включения. Таким образом подготавливается цепь включения автомата 1-SF (2-SF) для включения его при восстановлении напряжения.

В нормальном режиме питания в схеме секционного автомата 3-SF замыкающиеся контакты 1-KL1 и 2-KL1 замкнуты, реле 3-KL2 включено. Его контакт 3-KL2 в цепи включения автомата включен.

При исчезновении напряжения на стороне 0,4 кВ одного из трансформаторов, замыкается соответствующий контакт и обесточивается реле 3-KL2. Одновременно с отключением автомата 1-SF (2-SF) в цепи контакта включения автомата 3-SF замыкается размыкающий вспомогательный контакт 1-SSF (2-SSF). Так как контакт 3-KL2 размыкается с задержкой времени, то электромагнит включения получает питание и автомат 3-SF включается. После размыкания контакта 3-KL2 обесточивается катушка электромагнита включения, а автомат 3-SF остается включенным. Вспомогательный контакт 3-SSF включает реле-повторитель положения автомата 3-KL1, своими контактами, отключает лампу 3-HLO и включает лампу 3-HLB, которая сигнализирует об включенном положении автомата 3-SF. Одновременно с включением автомата 3-SF замыкается второй вспомогательный контакт 3-SSF в цепи реле кон-

троля восстановления напряжения в схеме трансформатора 1Т (2Т) — цепь включения реле 1-КТ1 (2-КТ2) подготовлена.

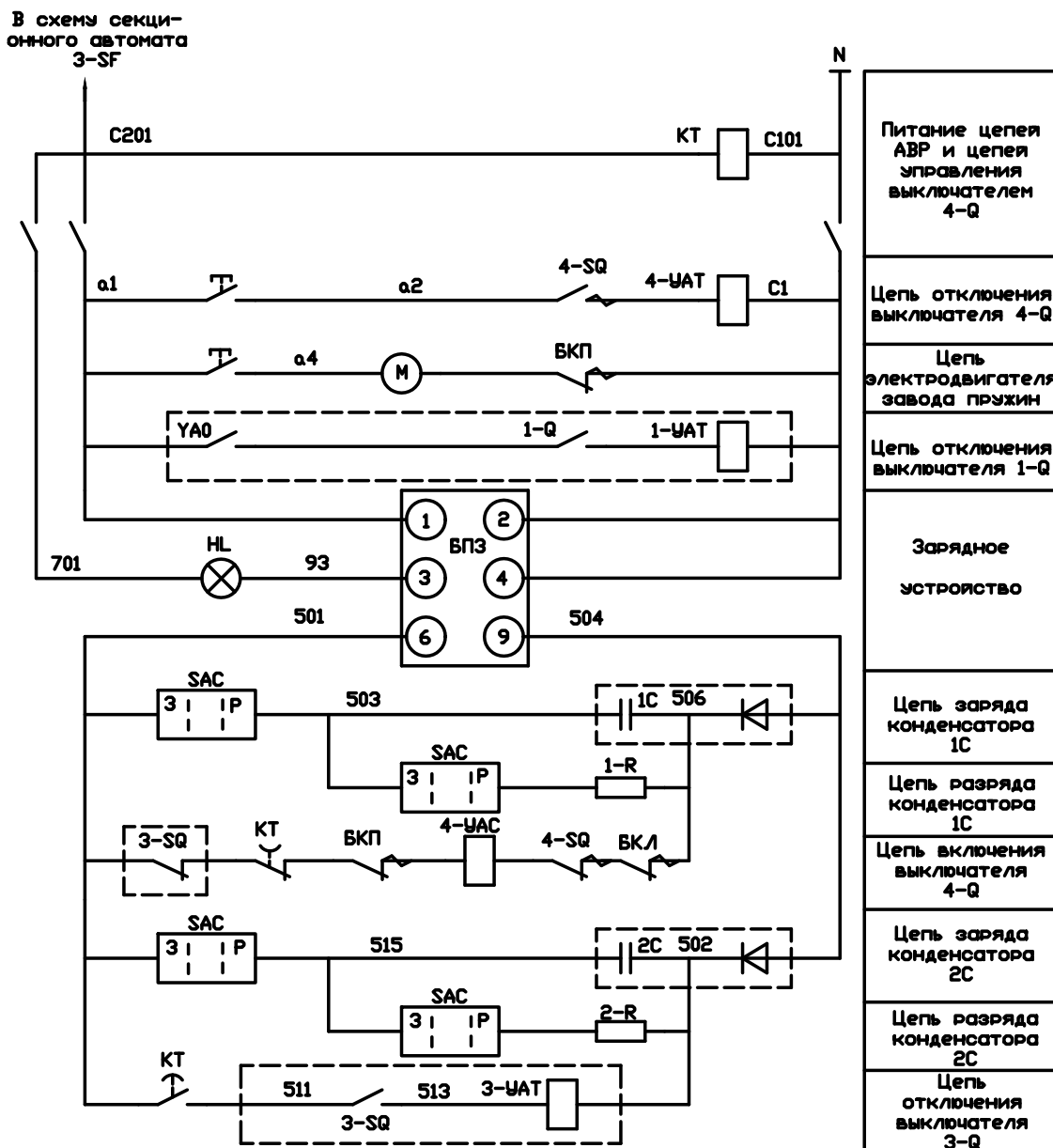


Рисунок 13.6 — Схема электрическая принципиальная резервного ввода 10 кВ с АВР

### Восстановление схемы нормального режима

При восстановлении напряжения на стороне 0,4 кВ трансформатора 1Т (2Т) получает питание реле 1-КТ1 (2-КТ1), которое размыкает цепь электромагнита отключения 1-SF (2-SF) и реле контроля восстановления напряжения 1-КТ2 (2-КТ2), которое с некоторым замедлением подает кратковременный импульс на реле 1-КЛ2 и одним замыкающим контактом включает автомат 1-SF (2-SF).

Одновременно в схеме секционного автомата 3-*SF* замыкаются вспомогательные контакты 1-*SSF* и (2-*SSF*), подают питание на электромагнит отключения автомата 3-*SF* и отключают его. Восстанавливается схема нормального режима.

### **Автоматическое включение резервной линии 10 кВ (АВР линии)**

Пример АВР линии приведен на рисунке 13.1 б.

В нормальном режиме питания переключатель 3-*SAC* находится в положении 3 (зарядка) и конденсаторы 1*C* и 2*C* заряжаются.

При исчезновении напряжения на рабочем вводе, якорь реле *KT* отпадает, а прокладывающий контакт этого реле с замедлением подает кратковременно питание от конденсатора 2*C* на электромагнит отключения 3-*YAT* выключателя 3*Q* и отключает его. Контакт 3-*SQ* в цепи электромагнита 3-*YAT* размыкает и обесточивает его, а в цепи включения 4*Q* замыкается и подготавливает цепь для включения 4*Q*. Далее с замедлением замыкается размыкающий нож *KT* в цепи включения выключателя 4*Q* и включает его. Питание электромагнит включения 4-*YAC* получает от конденсатора 1*C*. После включения 4*Q* размыкаются контакты 4-*SQ*, обесточивают электромагнит включения 4-*YAC* и замыкаются в цепи отключения, подготавливая цепь для отключения 4*Q* вручную кнопкой управления *SBO*. Для включения двигателя завода пружин привода выключателя используется кнопка *SBM*. В конце завода пружин размыкающий контакт БКП в цепи двигателя размыкается, а замыкающий в цепи отключения 4*Q* замыкается и подготавливает цепь для включения 4*Q* от АВР. Разрядка конденсаторов 1*C* и 2*C* осуществляется переключателем *SAC* в положение *P* (разряд).

### **Содержание отчета**

Отчет должен содержать схему АВР и перечень вопросов, рассмотренных студентом по указанию преподавателя. Студент должен устно ответить на контрольные вопросы и объяснить работу приведенной в отчете схемы АВР.

## Контрольные вопросы

1. Требования, предъявляемые к АВР.
2. Объясните работу схемы ручного включения трансформатора  $1T$  ( $2T$ ).
3. Объясните работу схемы ручного отключения трансформатора  $1T$  ( $2T$ ).
4. Объясните работу схемы ручного включения и отключения секционного автомата  $3-SF$ .
5. Объясните работу схемы автоматического включения секционного автомата  $3-SF$ .
6. Объясните работу схемы АВР секционного автомата  $0,4$  кВ при перегорании плавкой вставки  $1F$  ( $2F$ ) при отключении автоматического выключателя  $1-SF$  ( $2-SF$ ).
7. Объясните работу схемы АВР секционного автомата  $0,4$  кВ при восстановлении напряжения на рабочей линии.
8. Объясните работу схемы АВР линии.
9. Объясните работу схемы АВР линии при восстановлении напряжения на рабочей линии.
10. Почему действие схемы АВР должно быть однократным?
11. Почему перед включением резервного источника питания должен быть отключен источник рабочего питания?

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 14**

### **УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОВТОРНОГО ВКЛЮЧЕНИЯ**

Общее время занятия – 2 часа.

#### **Мотивационная характеристика темы**

В практической работе инженера-электрика для решения основных задач, связанных с электроснабжением сельскохозяйственных предприятий и сельских населенных пунктов, необходимо знать работу устройства автоматического повторного включения. Поэтому тема занятий актуальна для будущей работы инженера.

#### **Цель занятия**

Изучить работу устройства автоматического повторного включения, применяемого в сельском хозяйстве.

#### **Задачи занятия**

Изучить назначение, область применения, классификацию и работу устройства автоматического повторного включения.

#### **Контрольные вопросы самоподготовки**

1. Какие причины нарушения целостности изоляции электроустановок вы знаете?
2. Расскажите устройство реле РПВ-58.

#### **План занятия**

1. Ознакомиться с назначением, областью применения, классификацией устройств автоматического повторного включения (АПВ).
2. Изучить принцип работы автоматического повторного включения однократного действия с комплектным реле типа РПВ-58.

3. Отрегулировать уставку времени на срабатывание АПВ для одностороннего и двухстороннего питания.
4. Проверить работу АПВ с односторонним и двусторонним питанием.

### **Методические указания к самостоятельной работе студента**

Автоматическое повторное включение выключателей является одним из основных средств повышения надежности электроснабжения потребителей.

Опыт эксплуатации показал, что значительное количество нарушений изоляции электроустановок является неустойчивым и самоустраняется после снятия напряжения. **Самоустраняющиеся повреждения** возникают в результате грозových перенапряжений, схлестывания проводов при ветре, набросах веток и различных предметов на провода, задевания проводов линии движущимися механизмами и других причин.

Если время защиты не велико, то электрическая дуга, возникшая в месте нарушения изоляции, не успеет нанести значительные повреждения и включенная повторно линия останется в работе, т.е. происходит **успешное АПВ**. При устойчивых повреждениях АПВ является неуспешным, и линия снова отключается защитой.

Как показал многолетний опыт эксплуатации линий электропередачи, большинство повреждений (60–80%) являются самоустраняющимися, т.е. неустойчивыми, и происходит успешное срабатывание АПВ.

В соответствии с ПУЭ применение устройств АПВ является обязательным для всех воздушных и воздушно-кабельных линий напряжением выше 1000 В.

### **Классификация устройств АПВ**

В эксплуатации применяются устройства АПВ, различающиеся по следующим основным признакам:

- По количеству фаз:
  - трехфазное (ТАПВ);
  - однофазное (ОАПВ).



- По способу воздействия на привод выключателя:
  - механические;
  - электрические.
- По кратности действия:
  - однократного;
  - многократного.
- По назначению:
  - для линий с односторонним питанием;
  - для линий с двусторонним питанием.

### **Требования, предъявляемые к устройствам АПВ**

1. Устройства АПВ не должны действовать при оперативном отключении выключателя вручную, от ключа управления и по телеуправлению, а также при оперативном включении выключателя на короткое замыкание.

2. Должна быть исключена возможность многократного включения на устойчивое короткое замыкание.

3. Устройства АПВ должны иметь минимальное возможное время срабатывания для того, чтобы сократить продолжительность перерыва питания потребителей.

4. Должен обеспечиваться автоматический возврат — готовность к новому действию через небольшой интервал времени после успешного срабатывания.

Выдержкой времени на срабатывание АПВ ( $t_{\text{АПВ}}$ ) называется время от пуска устройства АПВ до замыкания цепи включения выключателя. По условиям бесперебойности питания потребителей это время желательно иметь минимальным. Однако минимально возможное значение  $t_{\text{АПВ}}$  ограничивается рядом факторов: конструкцией привода и выключателя, типом реле, входящих в схему АПВ; временем ликвидации самоустраняющихся повреждений и др. Согласно ПУЭ, устройства АПВ должны иметь время срабатывания

0,5–1 с. В последние годы для воздушных линий с односторонним питанием значение  $t_{\text{АПВ}}$  принимается примерно 3–5 с.

Время возврата в исходное положение АПВ зависит от его конструкции и не выбирается, а проверяется при наладке АПВ. Обычно это время для однократных АПВ лежит в пределах 20–30 с. Для АПВ двукратного действия время возврата в состояние готовности после второго цикла принимается равным 60–100 с.

### **Принцип работы АПВ на основе комплектного реле РПВ-58**

Реле типа РПВ-58 состоит из следующих элементов (рисунок 14.1):

— реле времени  $KT$ , создающее выдержку времени  $t_{\text{АПВ}}$  от момента пуска устройства АПВ до замыкания цепи контактора включения выключателя;

— промежуточное реле  $KL1$  с двумя обмотками — обмоткой тока  $KL1.1$  и обмоткой напряжения  $KL1.2$ ; реле при срабатывании замыкает цепь включения выключателя;

— конденсатор  $C$ , в результате разряда которого срабатывает реле  $KL1$  и обеспечивается однократность действия УАПВ;

— резисторы:  $R1$  — обеспечивает термическую стойкость реле времени;  $R2$  — ограничивает скорость заряда конденсатора  $C1$  при срабатывании устройств защиты, после действия которых не должно происходить срабатывание АПВ, и при отключении выключателя ключом управления  $SA$  (запрет АПВ).

**Работа схемы.** При отключении выключателя по любой причине, вследствие замыкания его вспомогательных контактов срабатывает реле положения выключателя  $KQT$  и замыкает свой контакт в цепи пуска устройства АПВ. Если отключение произошло не от ключа управления  $SA$ , то он остается в положении «Включено», а его контакт  $SA1$  замкнут. Таким образом фиксируется несоответствие положений ключа управления и выключателя, необходимое для пуска реле времени  $KT$ . Его контакт  $KT1$ , размыкаясь без выдержки времени, включает резистор  $R1$ , обеспечивая термическую стойкость

реле, а контакт *KT2* с заданной выдержкой времени подключает обмотку *KL1.2* промежуточного реле к конденсатору *C1*.

Вследствие разряда конденсатора, реле *KL1* срабатывает и замыкает контакт *KL1.1* в цепи контактора включения выключателя *KM*, в которую включена последовательная обмотка *KL1.1* реле. Она удерживает реле *KL1* в возбужденном состоянии до полного включения выключателя. При успешном АПВ выключатель остается во включенном положении. Действие устройства АПВ фиксируется указательным реле *KH*.

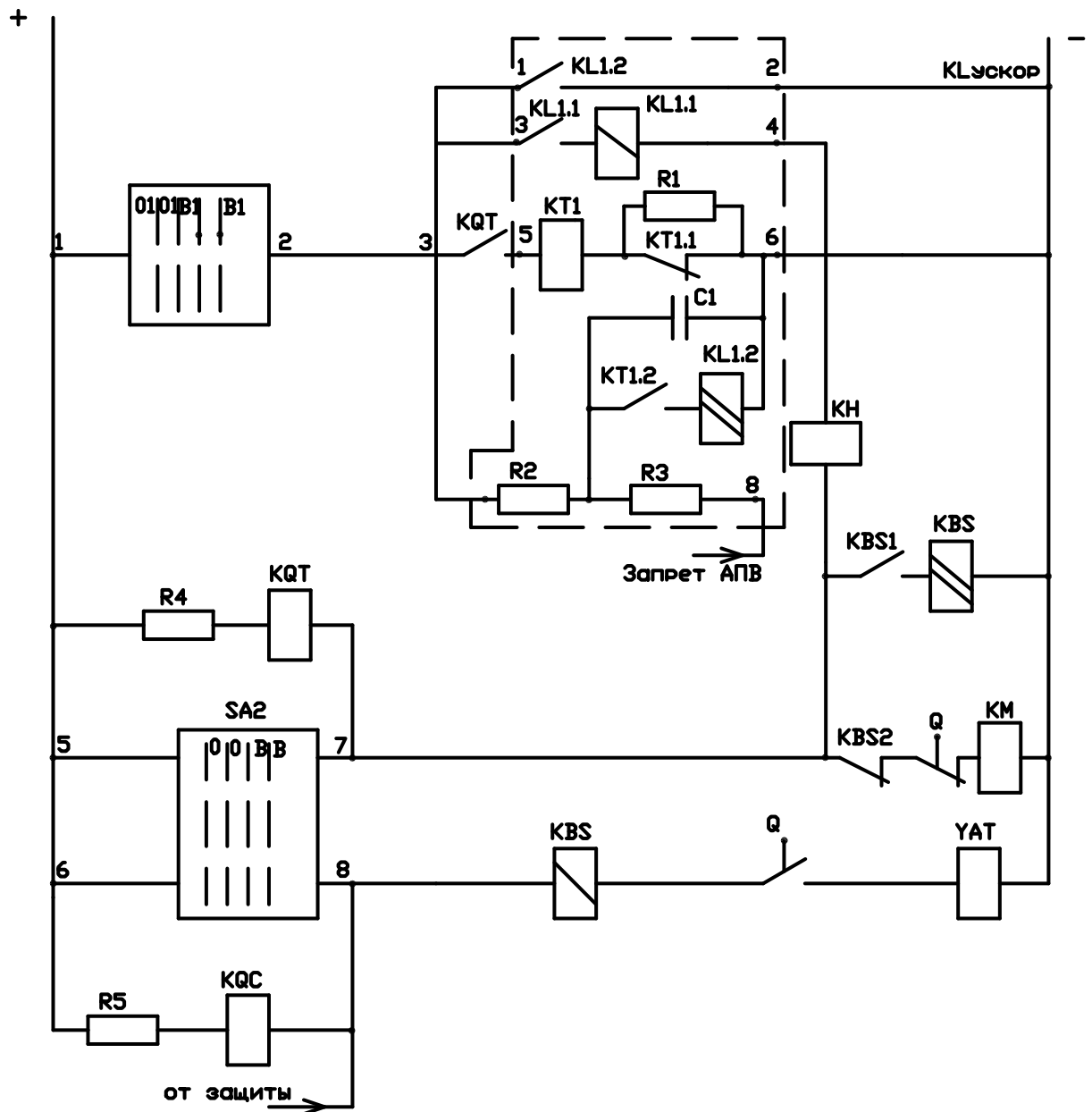


Рисунок 14.1 — Схема электрическая принципиальная АПВ однократного действия с реле РПВ-58

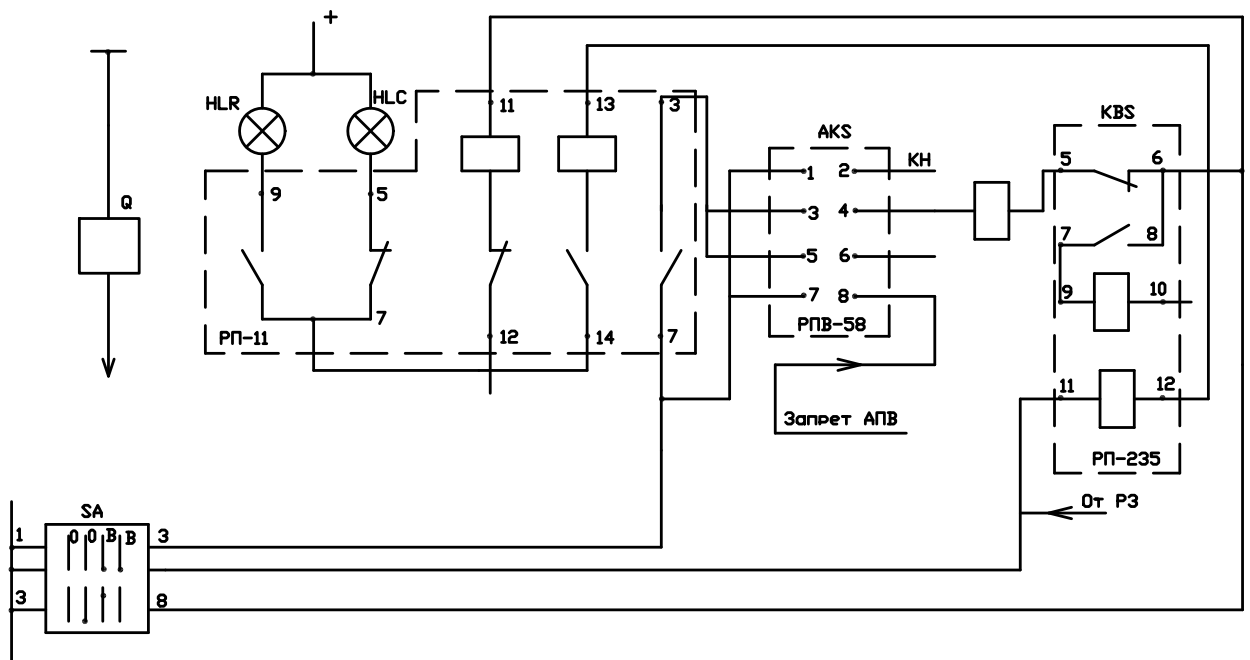


Рисунок 14.2 — Схема проверки работы АРВ

Схема становится готовой к новому повторному действию после заряда конденсатора  $C1$ . Время заряда принимается  $t_{АРВ2} = 20$  с. При этом обеспечивается однократность действия устройства АРВ, так как конденсатор заряжается только при включенном положении выключателя.

Включения выключателя при неуспешном АРВ не происходит, так как за время действия защиты линии конденсатор не успевает зарядиться до напряжения срабатывания реле  $KL$ .

При установке устройств АРВ на линиях с двухсторонним питанием необходимо учитывать, что для восстановления работоспособности поврежденной линии требуется ее отключение и включение с двух сторон. В связи с этим устройства АРВ устанавливают на выключателях с двух сторон защищаемого элемента. Схемы этих устройств АРВ аналогичны схеме АРВ, предназначенного для линий с односторонним питанием. Отличие заключается лишь в выборе времени срабатывания  $t_{АРВ}$   $AKS1$  и  $AKS2$  на включение выключателей  $Q1$  и  $Q2$  соответственно (рисунок 14.3).

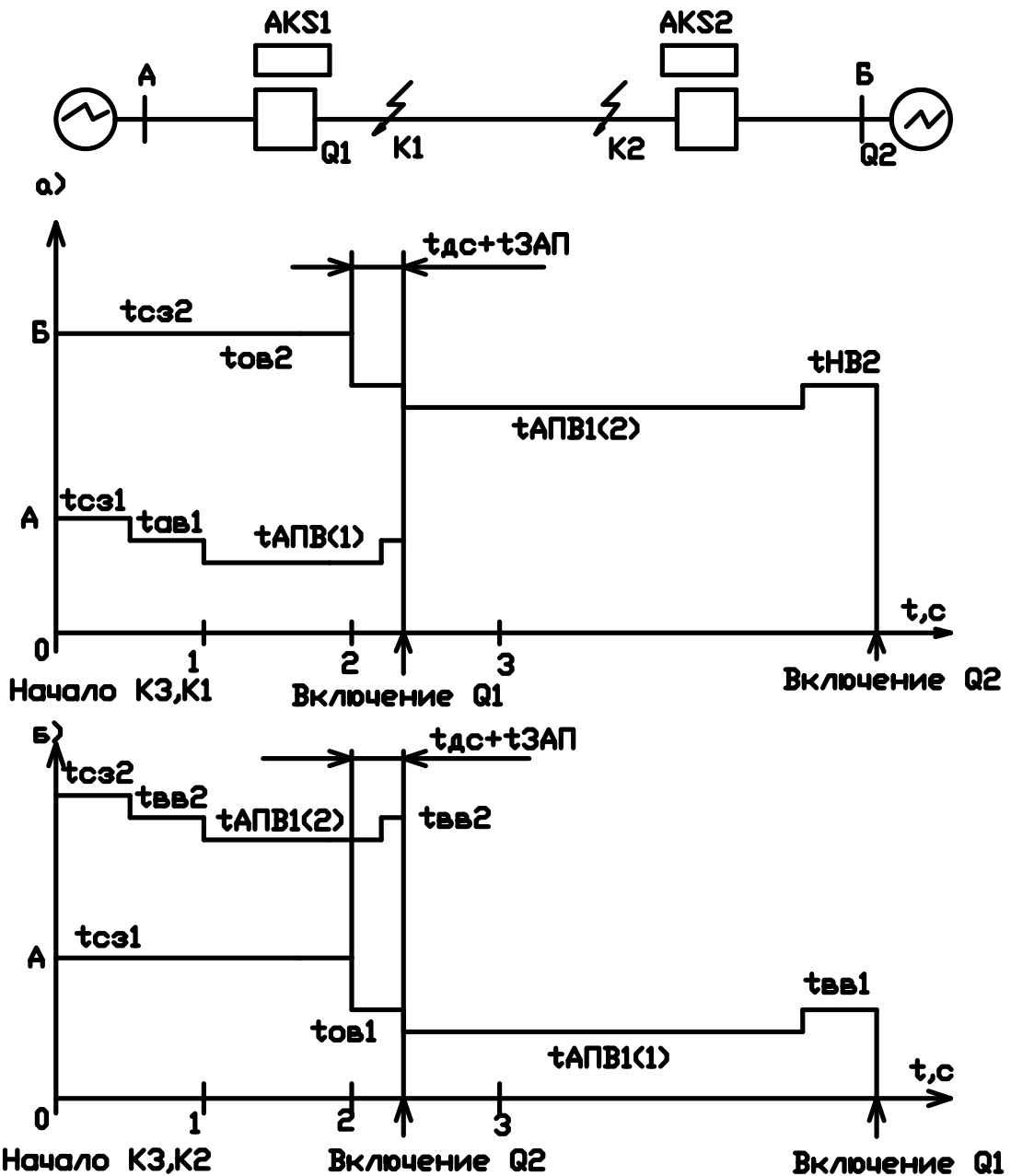


Рисунок 14.3 — Временные диаграммы для выбора установок устройств АПВ

В данном случае отключение поврежденной линии происходит каскадно, поэтому время  $t_{АПВ(1)}$ ,  $t_{АПВ(2)}$  для выключателей  $Q1$  и  $Q2$  не одинаково. На рисунке 14.3 построены временные диаграммы для выбора времени срабатывания  $t_{АПВ(1)}$  устройства АПВ выключателя  $Q1$  и  $t_{АПВ(2)}$  устройства АПВ выключателя  $Q2$  с учетом каскадного отключения линии. Эта значит, что расчетным условием для каждого комплекта устройств защиты и АПВ является короткое замыкание в местах их установки (точка  $K1$  для защиты и для выключателя  $Q1$ , точка  $K2$  для защиты и АПВ выключателя  $Q2$ ). В этом случае

защита рассматриваемого комплекта имеет минимальную выдержку времени, а противоположный выключатель отключается с максимальной выдержкой времени.

Из временных диаграмм следует:

$$t_{\text{АПВ (1)}} = t_{\text{с.з.2}} + t_{\text{д.с.}} + t_{\text{зап}} + (t_{\text{с.з.1}} + t_{\text{вв1}}), \quad (14.1)$$

$$t_{\text{АПВ (2)}} = t_{\text{с.з.1}} + t_{\text{д.с.}} + t_{\text{зап}} + (t_{\text{с.з.2}} + t_{\text{вв2}}). \quad (14.2)$$

### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомиться с комплектом реле типа РПВ-58 и изучить принцип работы.
2. Проверить работу комплектного реле РПВ-58 в полной схеме АПВ при имитации неустойчивого и устойчивого КЗ на линии.
3. Проверить надежность «запрета» АПВ при замыкании цепи разрядного резистора  $R_3$ .
4. Выставить уставки устройств АПВ для линии с односторонним и двухсторонним питанием. Проверить правильность срабатывания.

### **Содержание отчета**

1. Краткие сведения о назначении, области применения и эффективности автоматического повторного включения.
2. Принципиальная схема АПВ.
3. Временные диаграммы для выбора устройств АПВ.

### **Контрольные вопросы**

1. Назначение, область применения и эффективность АПВ.
2. Классификация устройств АПВ.
3. Чем обеспечивается однократность действия АПВ?
4. Почему в комплектном реле типа РПВ-80 должно быть использовано промежуточное реле с самоудерживанием?

5. Зачем в комплекте РПВ-58 предусмотрено реле времени? Какая на нем должна быть принята уставка для линий с односторонним и двухсторонним питанием?

6. В каких случаях используется цепь «запрета» АПВ?

## Литература

1. Будзко, И.А. Электроснабжение сельского хозяйства [Текст] / И.А. Будзко, Т.Б. Лещинская, В.И. Сукманов. — М.: Колос, 2000. — С. 495.
2. Будзко, И.А. Электроснабжение сельского хозяйства [Текст] / И.А. Будзко, Н.М. Зуль. — М.: Агропромиздат, 2000. — С. 500.
3. Янукович, Г.И. Электроснабжение сельскохозяйственных потребителей [Текст] / Г.И. Янукович, В.П. Счастный — М.: Дизайн ПРО, 2000. — С. 172.
4. Постников, Н.Т. Электроснабжение промышленных предприятий [Текст] / Н.Т. Постников, Г.М. Рубашов. — Л.: Стройиздат, 1999. — С. 350.
5. Андреев, В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения [Текст] / В.А. Андреев. — М.: Высшая школа, 1991. — С. 354.
6. Голубев, М.А. Автоматическое повторное включение в распределительных сетях [Текст] / М.А. Голубев. — М.: Энергоиздат, 1992. — С. 150.