

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Электротехнический факультет

Кафедра электрических станций

Н.Н.Якимчук

**РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ
И СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ**

Киров 2008

Н.Н.Якимчук

**РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ
И СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ**

Учебное пособие для курсового проектирования
по курсу «Релейная защита и автоматика в
системах электроснабжения»,

УДК 621.311.2
Я45

Якимчук Н.Н. Релейная защита воздушных линий и силовых трансформаторов: Учебное пособие / Н.Н.Якимчук. – Киров: Изд-во ВятГУ, 2008. – 65 с.

В учебном пособии приведены сведения по проектированию устройств релейной защиты в сетях 110 - 220 кВ. Пособие предназначено для студентов специальности 100400 заочного отделения и может использоваться при выполнении курсовых проектов и контрольных работ по курсам, связанным с изучением основ релейной защиты и автоматики.

© Н.Н.Якимчук, 2008

© Вятский государственный университет, 2008

1. ВВЕДЕНИЕ	5
2. ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ	6
3. СОСТАВЛЕНИЕ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ	7
4. ЗАЩИТА ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ	10
4.1. Защиты линий электропередачи с односторонним питанием	10
4.1.1. Рекомендуемый порядок расчета параметров трехступенчатой токовой защиты.	10
4.1.2. Принципиальная схема трехступенчатой токовой защиты	16
4.2. Защиты линий электропередачи в кольцевой сети	17
4.2.1. Расчет параметров I ступени дистанционной защиты	17
4.2.2. Расчет параметров II ступени дистанционной защиты	17
4.2.3. Расчет параметров III ступени дистанционной защиты.	20
4.2.4. Принципиальная схема дистанционной защиты	26
4.3. Защиты параллельных линий электропередачи	29
4.3.1. Рекомендуемый порядок расчета поперечной дифференциальной направленной защиты	29
4.3.2. Принципиальная схема поперечной дифференциальной направленной защиты	33
5. ЗАЩИТА ТРАНСФОРМАТОРА	34
5.1. Продольная дифференциальная защита трансформатора	35
5.2. Максимальная токовая защита трансформатора	38
5.3. Защита от перегрузки	40
5.4. Принципиальная схема защиты трансформатора	40
6. ЦЕПИ УПРАВЛЕНИЯ И СИГНАЛИЗАЦИИ В СХЕМАХ ЗАЩИТ	42
7. РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ АВТОМАТИКИ	44
7.1. Разработка устройства автоматического включения резерва	44
7.1.1. Общие требования	44
7.1.2. Расчет уставок пусковых органов АВР	47
7.2.3. Варианты исполнения схем АВР	47
7.2. Разработка устройства автоматического повторного включения	51
7.2.1. Выбор уставок срабатывания АПВ на параллельных линиях и линиях в кольцевой сети с одним источником питания.	53
7.2.2. Особенности АПВ на линиях с двухсторонним питанием	55
7.2.3. Варианты исполнения схем АПВ	56
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	65

1. ВВЕДЕНИЕ

Настоящее пособие предназначено для оказания помощи студентам специальностей 100400 заочного отделения при выполнении контрольной работы и курсового проекта по курсам «Основы релейной защиты и автоматики», «Защита и автоматика в СЭС». Целью курсового проекта является получение основных навыков разработки устройств противоаварийной автоматики и релейной защиты, углубление понимания их принципа действия, ознакомление с вариантами их практического исполнения.

Пособие составлено с учетом опыта проведения консультационных занятий по курсовому проектированию. Отдельным вопросам, обычно вызывающим затруднения, уделено более пристальное внимание. В частности, расширены разделы, посвященные разработке устройств противоаварийной автоматики (АВР, АПВ), расчету дистанционных защит воздушных линий электропередачи, поперечной дифференциальной защиты параллельных линий.

В учебном пособии даны общие методические рекомендации по выполнению всех разделов курсового проекта. Для каждой из рассматриваемых принципиальных схем приведены подробные разъяснения принципа их действия. Предлагаются примеры принципиальных схем устройств защиты, которые могут быть использованы при выполнении графической части проекта. Отмечаются ключевые этапы разработки устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики. По сравнению с предшествующими изданиями существенно переработаны разделы, посвященные дистанционной защите линий и устройствам противоаварийной автоматики. Пособие дополнено рядом новых принципиальных схем.

Задание на курсовой проект предусматривает разработку только защит от междуфазных коротких замыканий на воздушных линиях электропередачи и понижающих трансформаторах 110 - 220 кВ. Разработка защит от коротких замыканий на землю воздушных линий электропередачи в курсовом проекте не требуется, поэтому в учебном пособии данные вопросы не рассматриваются.

В соответствии с заданием в разделе «Противоаварийная автоматика» в разработке подлежит устройство одного из двух типов: АВР или АПВ. В пособии предложены варианты исполнения данных устройств, даны рекомендации по выбору схемы и расчету основных уставок.

2. ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

В расчетной части курсового проекта подлежат разработке следующие устройства:

- релейная защита линии электропередачи;
- релейная защита понижающего трансформатора;
- устройство противоаварийной автоматики (АПВ или АВР).

При выполнении курсового проекта осуществляется расчет токов КЗ в объеме, необходимом для определения всех уставок срабатывания защит, а также для проверки их чувствительности. Для выполнения расчетов необходимо пользоваться общими методиками, изученными в других курсах.

Пояснительная записка (ПЗ) к курсовому проекту выполняется на стандартных листах бумаги формата А4 и оформляется в соответствии с действующими правилами.

В перечень необходимых основных разделов пояснительной записки входят:

- 1) введение;
- 2) составление схемы замещения;
- 3) разработка релейной защиты линии электропередачи;
- 4) разработка релейной защиты понижающего трансформатора;
- 5) разработка устройства АВР (АПВ);
- 6) заключение.

Основные разделы для облегчения восприятия разбиваются на подразделы в соответствии с логикой изложения материала в ПЗ.

Расчет всех токов КЗ не рекомендуется выделять в особый раздел, так как не всегда заранее точно известно, какие именно токи КЗ необходимы для полноценной разработки и проверки той или иной защиты. Удобнее расчет токов КЗ приводить по мере необходимости непосредственно при определении параметров защит. При этом достигается наглядность и логичность расчетов. Каждая расчетная точка КЗ должна быть проиллюстрирована упрощенной свернутой схемой замещения, полученной из общей схемы замещения путем эквивалентирования. При этом обязательно должен быть приведен расчет сопротивлений и ЭДС упрощенной схемы таким образом, чтобы можно было проследить ход эквивалентирования.

Графическая часть проекта представляет собой один лист формата А1, на котором изображается принципиальная схема одной из разработанных защит (линии или трансформатора).

Принципиальная схема должна содержать:

- изображение защищаемого элемента;
- схему измерительных цепей переменного тока;
- схему измерительных цепей переменного напряжения;
- схему оперативных цепей;
- упрощенную схему сигнализации;
- схему управления выключателем.

В данном методическом пособии приводятся примеры схем отдельных защит. При выполнении графической части необходимо, исходя из перечня разработанных защит, из отдельных частей скомпоновать полную схему релейной защиты указанного элемента. При этом следует иметь ввиду следующее:

- вторичные цепи ТТ обязательно должны быть заземлены в одной точке для обеспечения безопасности персонала;
- в схему оперативных цепей вводится как минимум по одному промежуточному исполнительному реле KL на каждый отключаемый защитой выключатель; назначение исполнительного реле – подача команды на отключение выключателя; результатом срабатывания всех защит должна быть подача напряжения на обмотку этого реле;
- замыкающий контакт исполнительного реле вводится в схему управления выключателем параллельно с контактом ключа управления в цепи отключения;
- в цепи каждой защиты должно быть предусмотрено указательное реле КН; замыкающие контакты указательных реле объединяются в общую упрощенную схему сигнализации;
- ЛЭП должны изображаться на листе целиком (сборные шины, выключатели и измерительные трансформаторы с двух концов линии); если на обоих концах линии предусмотрены совершенно одинаковые комплекты защит, допускается логические цепи и цепи управления изображать только для одной стороны с пояснением «Цепи защиты со стороны п/ст «А» аналогичны цепям защиты со стороны п/ст «В».

3. СОСТАВЛЕНИЕ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ

Схема замещения составляется в соответствии с заданной расчетной схемой. При предварительном анализе задания может оказаться, что какая-то часть схемы никак не влияет на токи КЗ в элементах, защиты которых

разрабатываются. На основании этих соображений схема замещения может быть составлена только для определенного фрагмента общей расчетной схемы. Такое упрощение должно быть аргументировано в тексте ПЗ.

Расчет токов КЗ в курсовом проекте осуществляется без учета мощности нагрузки в узлах, поэтому ветви нагрузки в схему замещения вводить не надо.

При составлении схемы замещения могут применяться как относительные, так и именованные единицы. В данном курсовом проекте рекомендуется применение относительных единиц. Для этого должны быть выбраны базисная мощность и базисные напряжения на каждой ступени напряжения рассматриваемой схемы. Величина базисной мощности выбирается таким образом, чтобы полученные величины сопротивлений были удобны при расчетах (неудобными величинами являются, например, 1000000 или 0,000001). Базисные напряжения могут быть выбраны из стандартного ряда средних напряжений с приближенным учетом коэффициентов трансформации (приближенный метод расчета токов КЗ). В конечном итоге, независимо от применяемого метода, результаты расчета токов КЗ должны быть получены в именованных единицах (А, кА).

Для выбора тока срабатывания защиты необходимо знать **максимально возможный** ток в режиме, когда защита еще не должна срабатывать, а при проверке чувствительности используется **минимально возможный** ток в режиме, когда защита еще должна действовать. Поэтому при разработке каждой защиты должен быть проведен предварительный анализ схемы замещения и выявлены максимальный и минимальный возможные токи, протекающие через разрабатываемую защиту. К этому этапу необходимо отнестись наиболее ответственно, так как все дальнейшие расчеты базируются на корректно определенных величинах токов и напряжений в указанных режимах. При необходимости определить минимальный ток двухфазного КЗ, он рассчитывается по выражению

$$I_{\text{КЗ min}}^2 = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{\text{КЗ min}}^3, \text{ где } I_{\text{КЗ min}}^3 - \text{соответствующий минимальный ток}$$

трехфазного КЗ.

Следует иметь в виду, что максимальный ток, протекающий в одной из линий электропередачи кольцевой сети, имеет место при разомкнутом кольце, когда одна из линий, помимо той, для которой рассчитываются защиты, отключена. Это верно как для нагрузочного режима, так и для режима КЗ. Минимальный ток в линии, напротив, будет протекать при замкнутом кольце.

В случае двух параллельных линий электропередачи максимальный ток по одной из них будет протекать при отключенной другой, минимальный ток – в режиме совместной работы обеих линий.

Для двух параллельных трансформаторов осуществляется расчет защит каждого из них (обычно они одинаковы). Максимальный ток КЗ через трансформатор протекает в случае, когда второй параллельный трансформатор отключен, минимальный ток через трансформатор протекает, когда оба они находятся в работе. При этом для расчета параметров защиты одного из трансформаторов необходимо использовать ток КЗ, протекающий **только по одному трансформатору**, а не суммарный ток КЗ через оба параллельных трансформатора.

Сопротивление трансформатора изменяется в достаточно широких пределах при переключениях устройства РПН.

Минимальное сопротивление трансформатора, о.е:

$$x_{тр.мин} = \frac{u_k \%}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{ном.тр}} \left(1 - \frac{\Delta U \%}{100} \right)^2.$$

Максимальное сопротивление трансформатора, о.е:

$$x_{тр.макс} = \frac{u_k \%}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{ном.тр}} \left(1 + \frac{\Delta U \%}{100} \right)^2.$$

Здесь $u_k \%$ - напряжение короткого замыкания трансформатора, найденное по справочным данным; $\square U \%$ - половина предела регулирования РПН в процентах (например, если заданы пределы регулирования $\pm 15\%$, то $\square U \% = 15$).

При определении минимального тока через трансформатор в схему замещения вводится максимальное сопротивление, при нахождении максимального тока сопротивление должно быть минимальным.

При расчете определенных защит (к примеру, МТЗ) используется такой параметр, как максимально возможный ток нагрузки. Данный ток определяется по заданной мощности нагрузки потребителей. При этом проводится анализ схемы с целью выявления наибольшей величины нагрузочного тока. Чаще всего наибольший ток будет иметь место при отключении какого-либо элемента схемы, когда на оставшиеся в работе элементы ложится повышенная нагрузка. При этом следует помнить, что во всех рассматриваемых режимах защищаемая линия должна быть **включена**.

Величина тока нагрузки определяется по известной мощности нагрузки и номинальному напряжению:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U}.$$

Мощность, протекающая по элементам схемы, определяется расчетом потокораспределения при известных мощностях в узлах нагрузки и сопротивлениях линий электропередачи. Данный расчет делается упрощенно, без учета потерь в линиях и трансформаторах.

В ряде защит используется величина **номинального**, а не **максимального** тока нагрузки. При этом рассматривается режим, когда все элементы схемы находятся в работе.

4. ЗАЩИТА ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

4.1. Защиты линий электропередачи с односторонним питанием

На тупиковых линиях с односторонним питанием 110-220 кВ в курсовом проекте можно применять трехступенчатую токовую защиту: первая ступень – мгновенная токовая отсечка (МТО), вторая ступень – токовая отсечка с выдержкой времени (ТОВ), третья ступень – максимальная токовая защита (МТЗ). На линиях, работающих в блоке с трансформатором, рекомендуется применять двухступенчатую защиту (МТО, МТЗ). В зону действия МТО входит как сама ЛЭП, так и трансформатор.

4.1.1. Рекомендуемый порядок расчета параметров трехступенчатой токовой защиты.

Ток срабатывания МТО из условия несрабатывания при внешнем КЗ:

$$I_{сз} = k_{от} \cdot I_{кз}^3, \quad (4.1)$$

где $I_{кз}^3$ – максимальный ток трехфазного КЗ в конце защищаемого элемента (на шинах подстанции в конце линии или за трансформатором, если линия работает с ним в блоке); $k_{от} = 1.25$.

Ток срабатывания ТОВ из условия отстройки от тока срабатывания МТО следующего смежного элемента:

$$I_{сз} = k_{от} \cdot I_{кз.смеж}^3, \quad (4.2)$$

где $I_{кз смеж}^3$ - максимальный ток трехфазного КЗ в конце зоны действия быстродействующей защиты смежного элемента.

Для точного расчета данного параметра необходимо определить точку, где заканчивается зона действия быстродействующей защиты каждого смежного элемента, и осуществить расчет тока при трехфазном КЗ в этой точке. Для снижения объема расчетов в курсовом проекте допускаются следующие приближения и упрощения:

- если смежный элемент – линия или трансформатор с установленной на нем МТО, то $I_{кз смеж}^3$ - ток срабатывания МТО данного смежного элемента ($k_{от} = 1.15$);
- если смежный элемент – трансформатор с установленной на нем дифференциальной защитой, то $I_{кз смеж}^3$ - максимальный ток в линии при трехфазном КЗ за трансформатором ($k_{от} = 1.25$).

Если в конце защищаемой линии имеется несколько смежных элементов (как линий, так и трансформаторов), то производится отстройка от каждого из них и окончательно выбирается наибольшее из полученных значений тока срабатывания. Например, по схеме на рисунке 4.1 ток срабатывания ТОВ линии W1 должен быть отстроен по выражению (4.1) от токов срабатывания МТО линий W2 и W3, которые определяются максимальными токами трехфазного КЗ в точках K1 и K3 соответственно, а также от максимального тока трехфазного КЗ за трансформатором T1 (в точке K2).

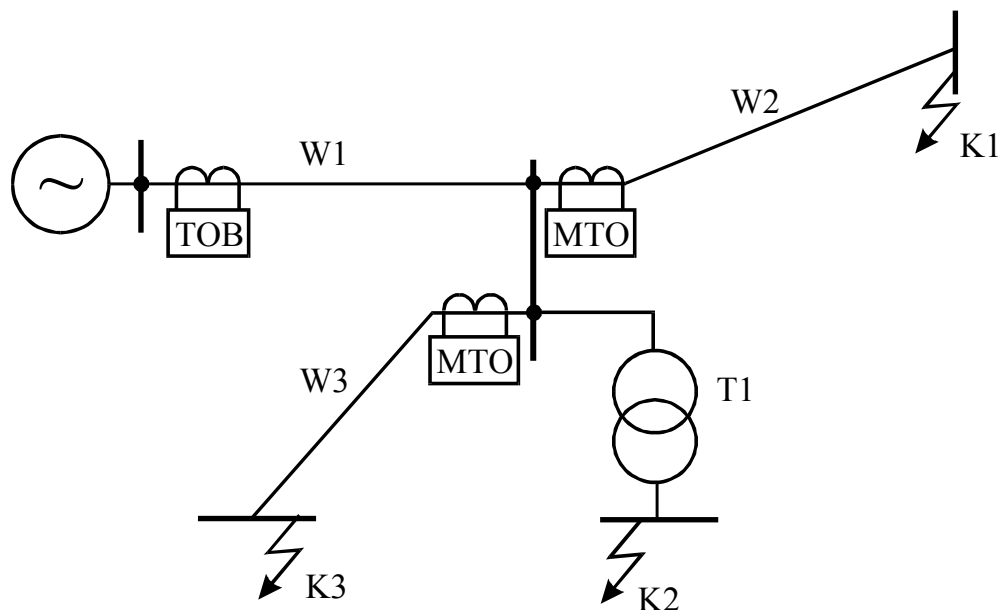


Рис. 4.1. Определение тока срабатывания ТОВ линии W1

Время срабатывания ТОВ из условия отстройки от быстродействующей защиты смежного элемента:

$$t_{сз} = 0,5с .$$

Ток срабатывания МТЗ из условия несрабатывания в нагрузочных режимах после отключения внешнего КЗ:

$$I_{сз} = \frac{k_{om} \cdot k_3}{k_6} I_{p.m}, \quad (4.3)$$

где $k_{om}=1,15$ – коэффициент отстройки; k_3 – коэффициент самозапуска; $k_6 = 0,85$ – коэффициент возврата реле; $I_{p.m}$ – максимальный рабочий ток, протекающий через защищаемый элемент.

Время срабатывания МТЗ из условия несрабатывания при внешних КЗ:

$t_{сз} = t_{сз\ смеж} + \Delta t$, где $t_{сз\ смеж}$ – максимальное время срабатывания МТЗ, выбранное из всех смежных последующих элементов; $\Delta t=0,5$ с – степень селективности.

Например, для схемы на рис. 4.2 время срабатывания МТЗ в головном участке линии W1 отстраивается от максимального времени срабатывания МТЗ, выбранного из всех смежных элементов (W2, W3, T1), в данном случае от МТЗ трансформатора T1.

Оценка чувствительности МТО и ТОВ линии производится графическим способом (рисунок 4.3). Для этого строится кривая зависимости **минимального тока двухфазного КЗ**, протекающего через защиту от положения точки КЗ на этой линии (горизонтальная ось – расстояние от места установки защиты до места КЗ, вертикальная ось – ток, протекающий через защиту). Для построения кривой осуществляется расчет токов двухфазного КЗ в трех точках линии (начало, середина, конец линии). Расчет оформляется в виде таблицы. Затем в этих же осях строятся горизонтальные линии, соответствующие току срабатывания МТО и ТОВ. Точки пересечения кривой тока КЗ с соответствующими горизонтальными линиями определяют границы зон действия защит. Чувствительность считается достаточной, если длина зоны действия МТО не менее 20% длины линии, ТОВ – не менее 40%.

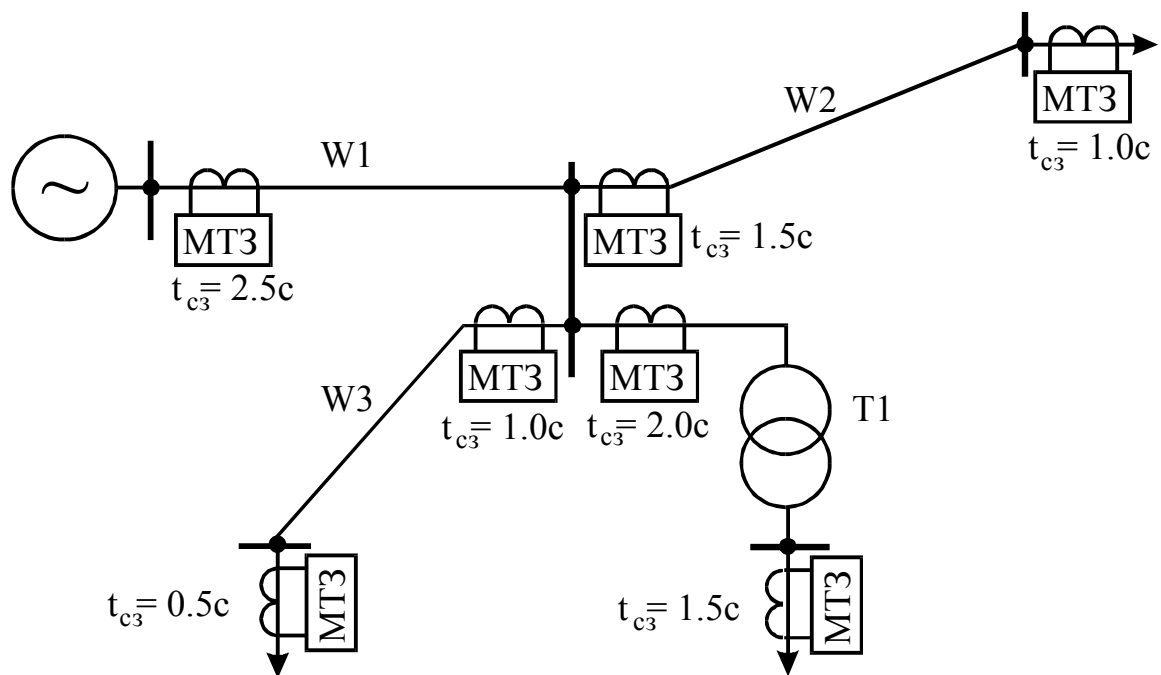


Рис. 4.2. Определение времени срабатывания МТЗ линии W1

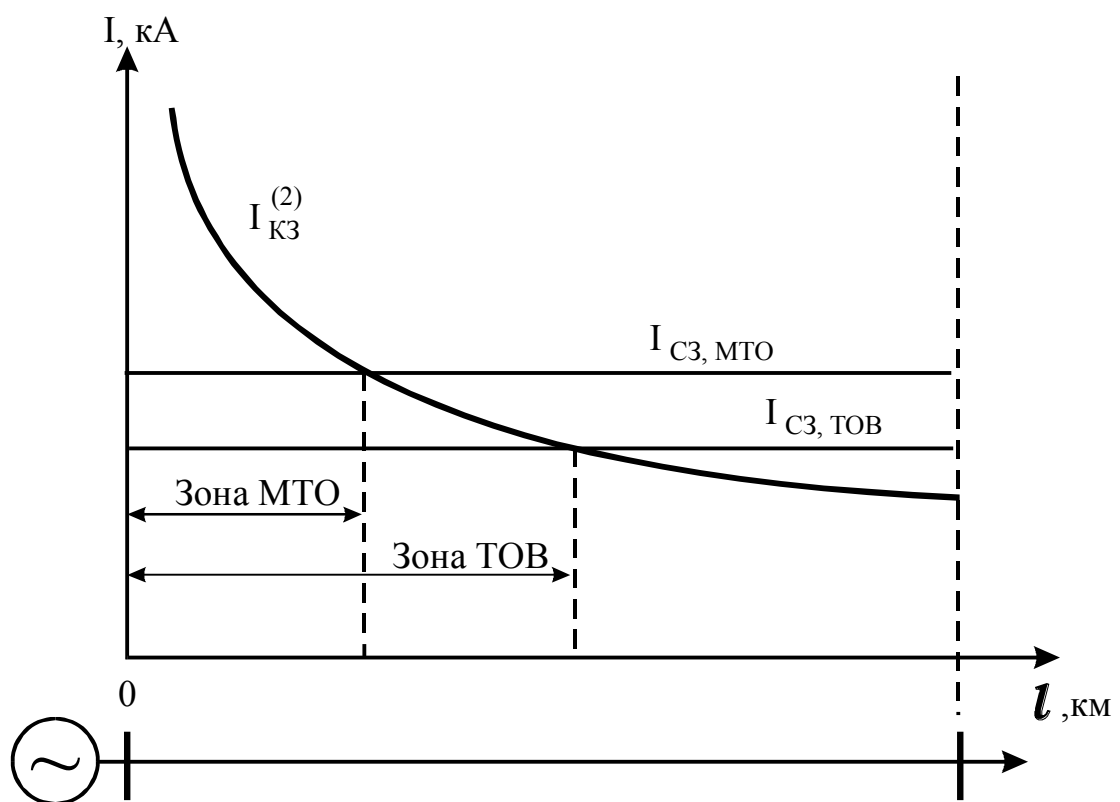


Рис. 4.3. Определение чувствительности МТО и ТОВ ЛЭП

Чувствительность МТЗ линии оценивается коэффициентом чувствительности:

$$k_q = \frac{I_{кз}^2}{I_{сз}} \geq 1,5, \quad (4.4)$$

где $I_{кз}^2$ - минимальный ток в месте установки МТЗ при двухфазном КЗ в конце защищаемой линии; $I_{сз}$ - ток срабатывания МТЗ.

Если МТЗ не удовлетворяет условию чувствительности, необходимо применять МТЗ с пуском по напряжению.

Определяются токи срабатывания реле (уставки, выставляемые на токовых реле).

$$I_{с.р} = \frac{I_{с.з} \cdot k_{сх}}{k_{ТТ}}, \quad (4.5)$$

где $k_{сх} = 1$ - коэффициент схемы (для всех токовых защит ЛЭП 110-220 кВ принимается схема соединения трансформаторов тока «звезда»); $k_{ТТ}$ - коэффициент трансформации трансформатора тока (ТТ).

При определении коэффициентов трансформации измерительных ТТ первичный ток выбирается по максимальному рабочему току линии, вторичный ток принимается равным 5А. Коэффициент трансформации должен быть выбран из стандартного ряда по справочникам. Следует иметь в виду, что токовые реле всех трех ступеней защит (МТО, ТОВ, МТЗ) подключаются к общим ТТ. Поэтому коэффициенты трансформации ТТ для всех ступеней защиты должны быть одинаковы. Существуют токовые реле с диапазоном уставок до 200 А, их можно применять для выполнения ступеней МТО и ТОВ. У ступени МТЗ уставка реле обычно значительно ниже.

Параметры срабатывания МТЗ с пуском по напряжению

Срабатывание защиты разрешается только, если одновременно с увеличением тока в месте установки защиты снижается напряжение ниже допустимого уровня. Для этого в защиту вводится дополнительно пусковой орган - минимальное реле напряжения.

Ток срабатывания из условия возврата в исходное положение при протекании нормального рабочего тока:

$$I_{с.з} = \frac{k_{от}}{k_6} I_{ном},$$

где $I_{ном}$ - номинальный рабочий ток линии в режиме, когда все элементы сети находятся в работе.

Напряжение срабатывания минимального реле напряжения из условия отстройки от режима самозапуска двигателей нагрузки при действии АВР:

$$U_{с.з} = 0,7 \cdot U_{ном},$$

где $U_{ном}$ - номинальное напряжение со стороны подключения пусковых органов напряжения.

Чувствительность по току оценивается по выражению (4.4).

Чувствительность по напряжению определяется коэффициентом чувствительности:

$$k_{\psi} = \frac{U_{с.з}}{U_{ост.макс}} \geq 1,5,$$

где $U_{ост.макс}$ - максимальное возможное значение остаточного междуфазного напряжения (кВ) в месте установки защиты при трехфазном КЗ в конце защищаемой линии, определяется по выражению $U_{ост.макс} = \sqrt{3} \cdot I_{КЗ} \cdot Z_{\Sigma}$, где $I_{КЗ}$ - ток трехфазного КЗ (кА), протекающий через защиту в указанном режиме, Z_{Σ} - эквивалентное сопротивление (Ом) от точки КЗ до места установки защиты.

Остаточное напряжение должно определяться в режиме, когда сопротивление Z_{Σ} имеет максимальную возможную величину.

Если не удастся добиться достаточной чувствительности какой-либо ступени трехступенчатой токовой защиты, вместо нее применяется дистанционная защита (см. п.4.2).

Рис. 4.4. Принципиальная схема трехступенчатой токовой защиты с пуском по напряжению

4.2. Защиты линий электропередачи в кольцевой сети

В кольцевой сети 110-220 кВ с одним источником питания или в сети с несколькими источниками питания в соответствии с ПУЭ для защиты от междуфазных КЗ на каждой линии электропередачи должна быть установлена дистанционная защита.

В курсовом проекте рекомендуется установка на каждом конце линии 110-220 кВ с двухсторонним питанием комплекта дистанционной защиты из трех ступеней (I, II и III). В кольцевой сети с одним источником питания не требуется установка I и II ступеней на приемных концах линий, непосредственно примыкающих к источнику (защиты 2 и 4 на рис.4.6а).

4.2.1. Расчет параметров I ступени дистанционной защиты

I ступень действует без выдержки времени. Условием выбора первичного сопротивления срабатывания $Z_{сз}^I$ является несрабатывание при КЗ за пределами защищаемой линии

Расчетное выражение для определения $Z_{сз}^I$:

$$Z_{сз}^I = \frac{Z_W}{k_{отс}}, \text{ Ом}, \quad (4.6)$$

где $Z_W = Z_{уд} \cdot l$ - сопротивление защищаемой линии, Ом; $Z_{уд}$ - удельное сопротивление линии, Ом/км; l - длина защищаемой линии, км; $k_{отс} = 1,15$ - коэффициент отстройки.

Проверка I ступени по чувствительности не требуется.

4.2.2. Расчет параметров II ступени дистанционной защиты

II ступень дистанционной защиты действует с выдержкой времени $t_{сз}^{II}$, равной сумме времени действия устройства резервирования при отказе выключателя (УРОВ) $t_{УРОВ}$ и ступени селективности Δt . В курсовом проекте приближенно можно принять $t_{сз}^{II} = 0,5 \text{ с}$.

Сопротивление срабатывания II ступени выбирается, исходя из условия согласования с быстродействующими защитами смежных элементов (I ступень дистанционной защиты или МТО, дифференциальная защита трансформатора). Например, по схеме рис. 4.5 необходима отстройка II

ступени дистанционной защиты линии W1 от К3 в зоне действия I ступени дистанционной защиты линии W3, МТО линии W2 и дифференциальной защиты трансформатора Т1.

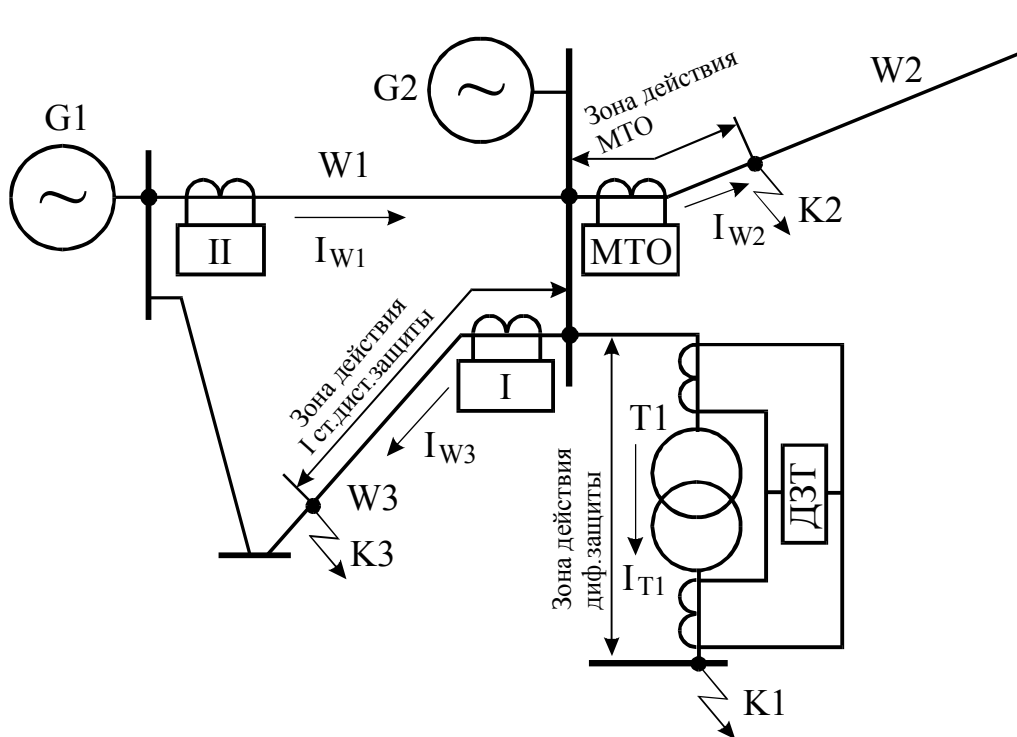


Рис. 4.5. Условия отстройки II ступени дистанционной защиты линии W1

Расчетные выражения для выбора сопротивления срабатывания II ступени дистанционной защиты линии W1 на примере схемы рис. 4.5 имеют следующий вид:

- Для отстройки от I ступени дистанционной защиты линии W3

$$Z_{сз}^{II} = \frac{1}{k_{омс}} \cdot \left(Z_{W1} + \frac{Z_{сзW3}^I}{k_{токW1}} \right), \quad (4.7)$$

где $k_{омс} = 1,15$ - коэффициент отстройки;

$Z_{сзW3}^I$ - сопротивление срабатывания первой ступени дистанционной защиты линии W3, определяется по выражению (4.6);

$k_{токW1} = \frac{I_{W1}}{I_{W3}}$ - коэффициент токораспределения, равен отношению тока I_{W1} в месте установки рассматриваемой защиты линии W1 к току I_{W3} в

зоне действия согласуемой защиты линии W3 при трехфазном или двухфазном КЗ в конце этой зоны (точка КЗ); необходим для учета того фактора, что из-за дополнительной подпитки места КЗ от источника G2 падение напряжения на участке от начала смежной линии W3 до места повреждения определяется током I_{W3} , отличающимся от тока I_{W1} .

Коэффициент токораспределения не может превышать максимального значения, равного 1.

- Для отстройки от дифференциальной защиты трансформатора T1

$$Z_{сз}^{\Pi} = \frac{1}{k_{омс}} \cdot \left(Z_{W1} + \frac{Z_{T1}}{k_{ток, T1}} \right), \quad (4.8)$$

где Z_{T1} - сопротивление трансформатора T1;

$k_{ток, T1} = \frac{I_{W1}}{I_{T1}}$ коэффициент токораспределения при трехфазном или двухфазном КЗ за трансформатором (в точке K1); ток I_{T1} протекает на питающей стороне трансформатора.

- Для отстройки от МТО линии W2

$$Z_{сз}^{\Pi} = \frac{1}{k_{омс}} \cdot \left(Z_{W1} + \frac{Z_{расч}}{k_{ток}} \right), \quad (4.9)$$

где $Z_{расч}$ - расчетное сопротивление участка линии W2, защищенного МТО, определяется, исходя из длины зоны действия МТО, которая может быть найдена графически (см. рис. 4.3);

$k_{ток} = \frac{I_{W1}}{I_{W2}}$ - коэффициент токораспределения при **двухфазном** КЗ в конце зоны действия МТО (в точке K2).

Окончательно в качестве $Z_{сз}^{\Pi}$ выбирается **минимальное** значение, полученное по выражениям (4.7) - (4.9). При этом следует учесть, что по каждому из выражений (4.7) - (4.9) должны быть получены минимально возможные сопротивления в случае протекания тока КЗ по защищаемой, а также одновременно по смежной линии, с защитой которой проводится согласование. Поэтому из всех реально возможных режимов работы сети за

расчетный принимается тот, при котором **защищаемая линия включена и коэффициенты токораспределения максимальны.**

Из всех вариантов следует попытаться выявить тот, при котором $k_{ток}=1$, если он возможен.

Чувствительность II ступени дистанционной защиты определяется по выражению

$$k_{\text{ч}} = \frac{Z_{\text{сз}}^{\text{II}}}{Z_{\text{W}}} \geq 1,25, \quad (4.10)$$

где Z_{W} - сопротивление защищаемой линии.

4.2.3. Расчет параметров III ступени дистанционной защиты.

III ступень дистанционной защиты предназначена для резервирования защит смежных присоединений (отходящих от шин противоположной по отношению к защите подстанции). Одновременно она выполняет функции пускового органа (запускает работу схемы дистанционной защиты при возникновении повреждения).

Сопротивление срабатывания III ступени по условию возврата защиты после отключения внешнего КЗ:

$$Z_{\text{с.з}}^{\text{III}} = \frac{U_{\text{раб.мин}}}{k_{\text{от}} k_{\text{в}} k_{\text{з}} I_{\text{раб.макс}} \sqrt{3}},$$

где $U_{\text{раб.мин}}$ - минимальное рабочее напряжение с учетом послеаварийного режима, можно в курсовом проекте принять равным $0,8 U_{\text{ном}}$;

$k_{\text{от}}=1,3$ - коэффициент отстройки;

$k_{\text{в}}=1,15$ – коэффициент возврата;

$k_{\text{з}}$ - коэффициент самозапуска, при отсутствии конкретного заданного значения может быть принят равным 1,5;

$I_{\text{раб.макс.}}$ - максимальный возможный рабочий ток, который может протекать через защиту в направлении от шин в защищаемую линию после отключения внешнего КЗ (рис. 4.6а, кольцо разомкнуто).

Коэффициент чувствительности при КЗ в конце защищаемой:

$$k_q = \frac{Z_{сз}^{III}}{Z_W} \geq 1,5,$$

где Z_W - сопротивление защищаемой линии.

Необходимо отметить, что в общем случае на каждом конце устанавливается комплект из трех ступеней дистанционной защиты. Для каждого комплекта выполняется индивидуальный расчет параметров срабатывания всех ступеней. В частном случае линии, примыкающей к шинам питающей системы (линии W1 и W2 на рис. 4.6,а), для приемного конца требуется установка и расчет параметров срабатывания только третьей ступени (первая и вторая ступени с этой стороны линии не устанавливаются).

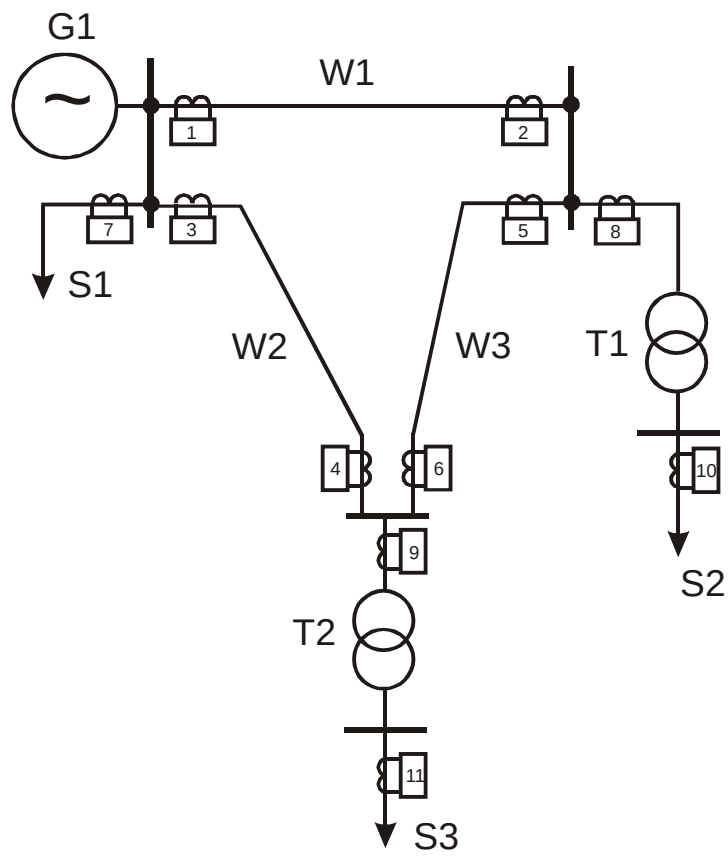
Вторичные сопротивления срабатывания (уставки реле сопротивления) определяются по выражению:

$$Z_{cp} = \frac{k_I}{k_U} Z_{сз},$$

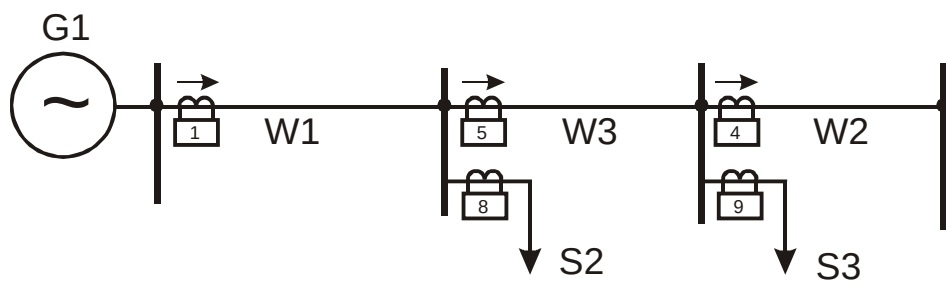
где k_I , k_U - коэффициенты трансформации измерительных трансформаторов тока и напряжения соответственно.

k_I определяется в соответствии с рекомендациями п. 4.1.1.

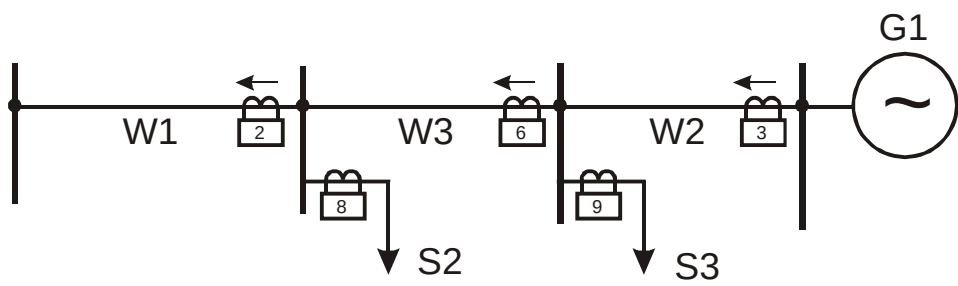
k_U выбирается из стандартных значений по справочникам электрооборудования. Следует обратить внимание, что в справочной литературе, как правило, коэффициентом трансформации является отношение **фазных** напряжений (например, первичное напряжение равно $110000/\sqrt{3}$ В, вторичное – $100/\sqrt{3}$ В, $k_U=1100$).



a)



b)



B)

Рис. 4.6. Выбор времени срабатывания III ступени дистанционной защиты:

- а – исходная кольцевая схема;
- б – согласование защит, действующих при протекании тока в кольце в направлении по часовой стрелке;
- в – согласование защит, действующих при протекании тока в кольце в направлении против часовой стрелки

В курсовом проекте принято, что третья ступень дистанционной защиты выполняется направленной. Время срабатывания III ступени определяется по ступенчатому принципу для всех защит, срабатывающих в одном направлении (от шин в линию). Между собой согласуются ступени защит смежных элементов сети, работающие с выдержкой времени (III ступень дистанционной защиты, МТЗ). Кольцевая сеть (рис. 4.6а) представляется в виде двух радиальных сетей (рис. 4.6 б,в). Определение уставок начинается от наиболее удаленной от источника питания защиты. Учитывая, что при КЗ на линии, отходящей к нагрузке S1, ток в кольце не протекает, отстройка защит кольца от защиты 7 не требуется. Поэтому время срабатывания III ступеней защит 2 и 4 можно принять равным нулю, а первую и вторую ступень на данных защитах не устанавливать. При согласовании защит не следует забывать про выдержки времени защит потребителей, подключенных к шинам подстанций (ступень селективности можно принять равной 0,5 с). Расчет времени срабатывания более подробно поясняется на следующем примере.

Пример. (по схеме рис.4.6)

Заданы следующие исходные данные:

$$Z_{W1}=12 \text{ Ом}; Z_{W2}=16 \text{ Ом}; Z_{W3}=14 \text{ Ом}; Z_{T1\min}=21 \text{ Ом}; Z_{T2\min}=42 \text{ Ом}; Z_c=0;$$

$$E_c=110 \text{ кВ}, t_{c.з.10}=0,5\text{с}, t_{c.з.11}=0,5\text{с}.$$

Необходимо выполнить расчет параметров срабатывания трех ступеней дистанционной защиты линии W1.

Комплект защиты 1 имеет три ступени.

I ступень.

$$Z_{c3}^I = \frac{Z_{W1}}{k_{омс}} = \frac{12}{1,15} = 10,435 \text{ Ом}.$$

II ступень.

Отстройка от I ступени дистанционной защиты линии W3:

$$Z_{c3W3}^I = \frac{Z_{W3}}{k_{омс}} = \frac{14}{1,15} = 12,174 \text{ Ом}.$$

$$Z_{c3}^{II} = \frac{1}{k_{омс}} \cdot \left(Z_{W1} + \frac{Z_{c3W3}^I}{k_{токW1}} \right) = \frac{1}{1,15} \cdot \left(12 + \frac{12,174}{1} \right) = 21,021 \text{ Ом}.$$

Коэффициент токораспределения принят для режима, когда отключена линия W2.

Отстройка от дифференциальной защиты T1

$$Z_{c3}^{II} = \frac{1}{k_{омс}} \cdot \left(Z_{W1} + \frac{Z_{T1}}{k_{ток,T1}} \right) = \frac{1}{1,15} \cdot \left(12 + \frac{21}{1} \right) = 28,696 \text{ Ом}.$$

Коэффициент токораспределения принят для режима, когда отключена линия W2 или W3.

Окончательно выбирается наименьшее значение $Z_{c3}^{II} = 21,021 \text{ Ом}$.

Проверка чувствительности II ступени:

$$k_q = \frac{Z_{c3}^{II}}{Z_{W1}} = \frac{21,021}{12} = 1,75 > 1,25$$

Чувствительность достаточна.

Время срабатывания II ступени без расчета принимается равным 0,5с.

III ступень.

Максимальный рабочий ток после отключения внешнего КЗ будет протекать через линию W1 в режиме, когда отключена линия W2:

$$I_{раб.макс} = \frac{S_2 + S_3}{\sqrt{3} \cdot 110} = \frac{60 + 30}{\sqrt{3} \cdot 110} = 0,472 \text{ кА}.$$

Сопротивление срабатывания III ступени по условию возврата защиты после отключения внешнего КЗ:

$$Z_{сз}^{III} = \frac{U_{\text{раб.мин}}}{k_{от} k_{\phi} k_3 I_{\text{раб.макс}} \sqrt{3}} = \frac{0,8 \cdot 110000}{1,3 \cdot 1,15 \cdot 1,5 \cdot 472 \cdot \sqrt{3}} = 48 \text{ Ом},$$

Коэффициент чувствительности III ступени при КЗ в конце защищаемой линии:

$$k_{\phi} = \frac{Z_{сз}^{III}}{Z_{W1}} = \frac{48}{12} = 4 > 1,5.$$

Чувствительность достаточна.

Время срабатывания.

$$t_9 = t_{11} + 0,5 = 0,5 + 0,5 = 1 \text{ с.}$$

$$t_8 = t_{10} + 0,5 = 0,5 + 0,5 = 1 \text{ с.}$$

По рисунку 4.6 б:

$$t_4 = 0;$$

$$t_5 = t_4 + 0,5 = 0 + 0,5 = 0,5 \text{ с};$$

$$t_5 = t_9 + 0,5 = 1 + 0,5 = 1,5 \text{ с};$$

из двух значений выбирается наибольшее $t_5 = 1,5 \text{ с};$

$$t_1 = t_5 + 0,5 = 1,5 + 0,5 = 2 \text{ с};$$

$$t_1 = t_8 + 0,5 = 1 + 0,5 = 1,5 \text{ с};$$

из двух значений выбирается наибольшее $t_1 = 2 \text{ с.}$

Расчет для комплекта 1 выполнен.

Комплект защиты 2 (на приемном конце линии, непосредственно примыкающей к шинам системы) имеет одну III ступень. Сопротивление срабатывания III ступени можно принять равным аналогичному параметру комплекта 1.

$$Z_{сз}^{III} = 48 \text{ Ом}.$$

$$k_u = \frac{Z_{сз}^{III}}{Z_{W1}} = \frac{48}{12} = 4 > 1,5.$$

Время срабатывания $t_2 = 0$.

Расчет для комплекта 2 выполнен.

4.2.4. Принципиальная схема дистанционной защиты

Пример выполнения принципиальной схемы дистанционной защиты приведен на рис. 4.7.

Защита содержит шесть направленных реле сопротивления: KZ1-KZ3 комплекта ДЗ-2 обеспечивают работу I и II ступеней, KZ1-KZ3 комплекта КРС-1 выполняют функции пускового органа и III ступени. Реле включены на разность токов двух фаз и на соответствующие междупазные напряжения (на петлю КЗ).

Реле KZ1-KZ3 комплекта ДЗ-2 имеют две уставки сопротивления срабатывания. В нормальном режиме действует уставка I ступени. При КЗ, по истечении времени, достаточного для действия I ступени (0,2с), реле автоматически переключаются на уставку II ступени с помощью контактов реле KL1 (KL1.1-KL1.3).

В схеме также предусмотрено два блокирующих устройства: блокировка при нарушениях в цепях напряжения, входящая в комплект ДЗ-2; блокировка при качаниях типа КРБ-126.

На схеме логических цепей (рис. 4.7,б) показаны контакты трех реле сопротивления, входящих в комплект КРС-1, выполняющие функции дистанционного органа III ступени и пускового органа. При КЗ контакты этих реле замыкаются и приводят в действие реле KL2. Это реле является повторителем пускового органа и производит запуск реле времени КТ1 и КТ2.

Реле времени КТ1 с двумя контактами (проскальзывающим и упорным) создает выдержку времени II ступени. Реле КТ2 обеспечивает выдержку времени III ступени.

Устройство блокировки при качаниях КРБ блокирует I ступень защиты контактами KL1.4 и II ступень контактами KL1.6, разомкнутыми в нормальном режиме. КРБ разрешает работу I и II ступеней защиты только при КЗ, когда появляется, хотя бы кратковременно, составляющая тока обратной последовательности, вызывающая срабатывание реле КТ обратной последовательности (рис. 4.7,а).

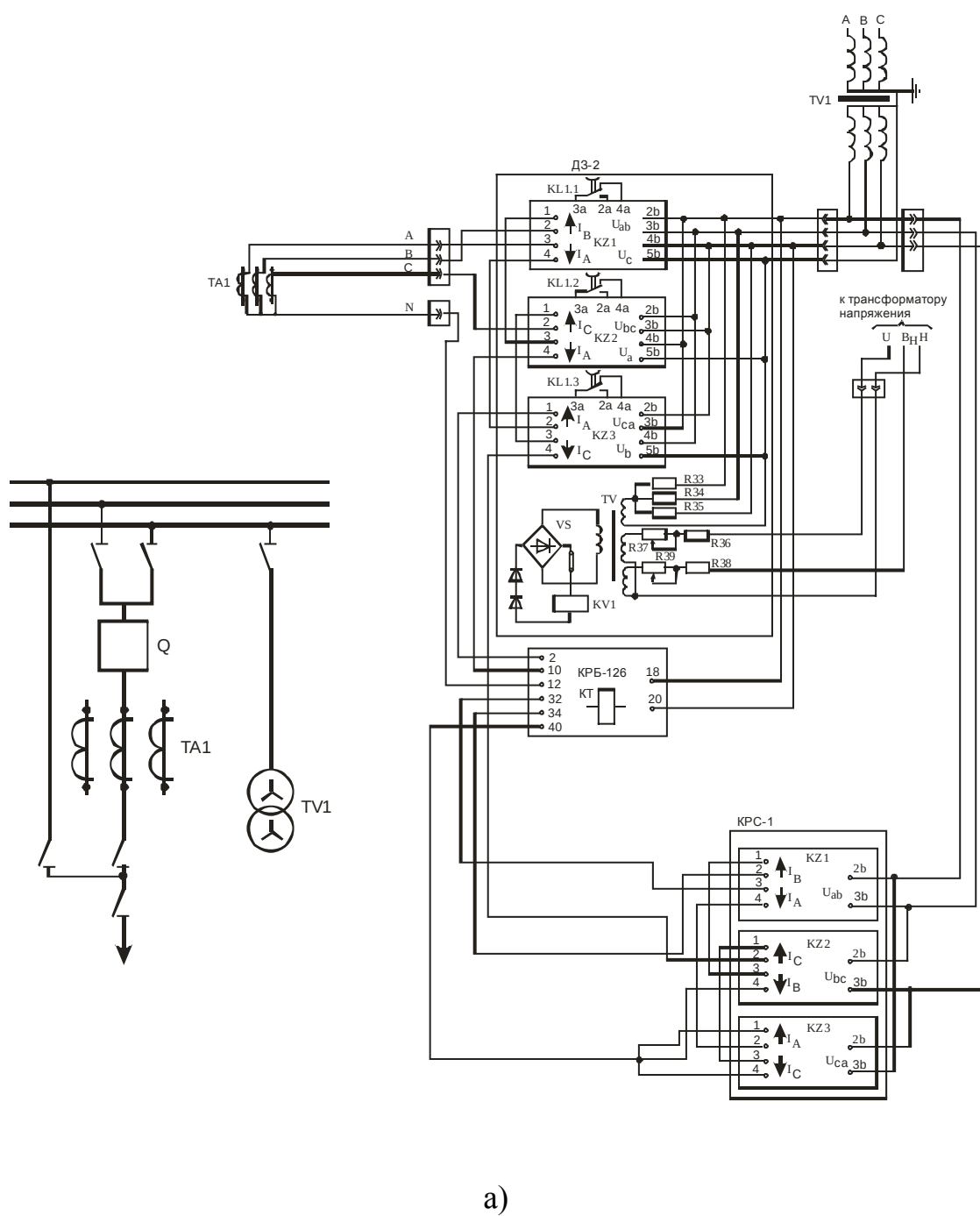
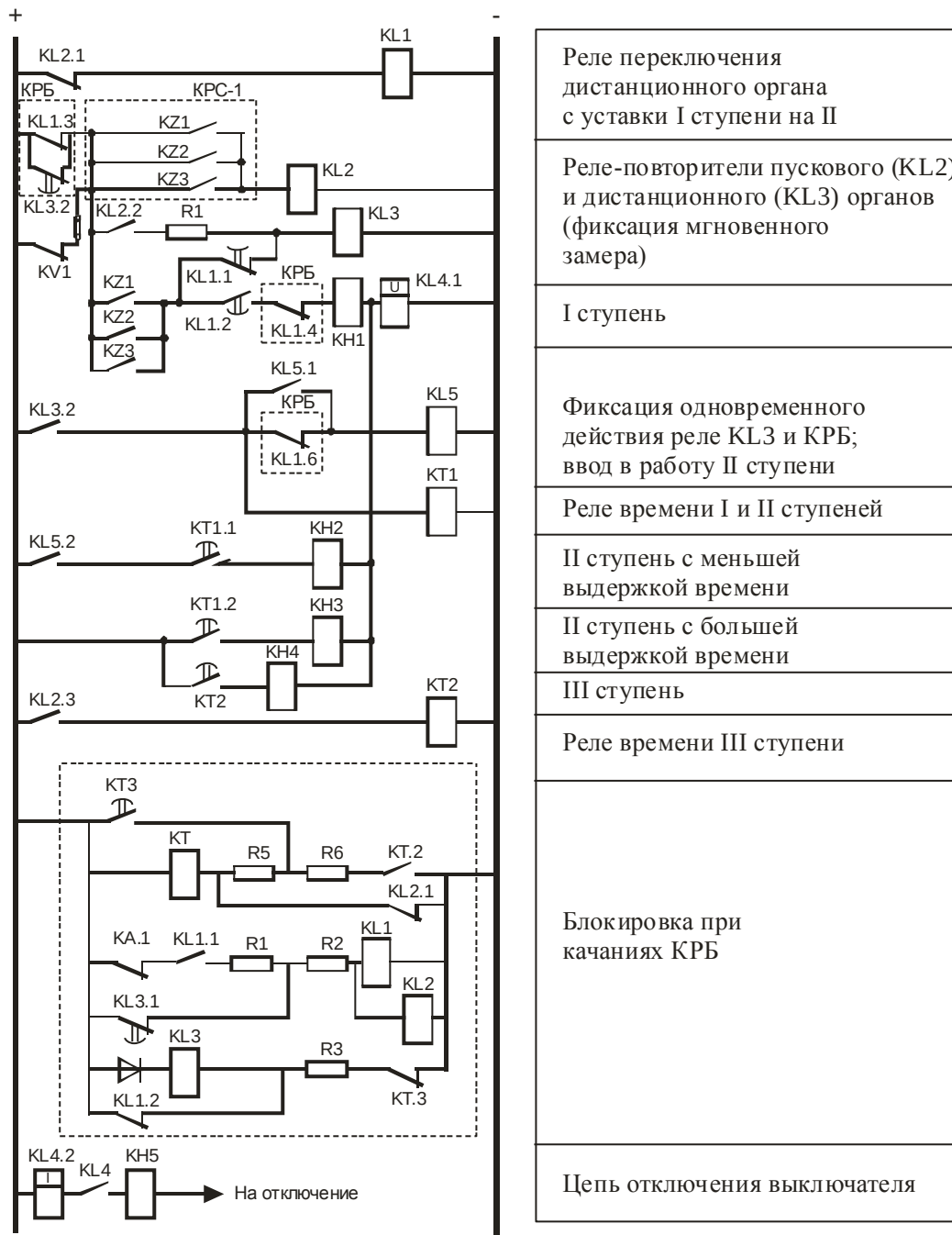


Рис. 4.7. Принципиальная схема дистанционной защиты ЛЭП:
а) цепи переменного тока; б) логические цепи.



б)

Рис. 4.7. Принципиальная схема дистанционной защиты ЛЭП:
а) цепи переменного тока; б) логические цепи.

Одновременно промежуточное реле KL3 устройства КРБ подает контактами KL3.2 плюс к реле сопротивления дистанционного органа I и II ступеней комплекта ДЗ-2 и комплекта КРС-1, выполняя этим функции пуска защиты на время до возврата блокировки в состояние готовности к

повторному действию. Реле KL4, имеющее рабочую KL4.1 и удерживающую KL4.2 обмотки, является выходным (исполнительным) реле защиты и своими контактами подает команду на отключение выключателя. На рабочую обмотку этого реле без выдержки времени действует I ступень и с соответствующими выдержками времени II и III ступени.

При неисправностях в измерительных цепях трансформатора напряжения TV соответствующая блокировка, предусмотренная в комплекте ДЗ-2, подает сигнал; защита при этом из действия не выводится, так как использован токовый пуск от КРБ-126.

4.3. Защиты параллельных линий электропередачи

В общем случае на параллельных линиях в качестве основной защиты следует применять поперечную дифференциальную направленную защиту, состоящую из двух комплектов, расположенных по концам защищаемой линии.

Дополнительно на параллельных линиях устанавливается токовая трехступенчатая защита (МТО, ТОВ, МТЗ), являющаяся резервной в режиме работы двух линий и основной в режиме работы одной линии. На линиях с двухсторонним питанием данная защита выполняется направленной и устанавливается с обеих сторон каждой линии.

На параллельных линиях без ответвлений с односторонним питанием со стороны приемной подстанции достаточно установить лишь одну защиту, которая необходима в режиме параллельной работы линий. В качестве такой защиты используется второй комплект поперечной дифференциальной направленной защиты.

На параллельных линиях с ответвлениями со стороны приемной подстанции необходима поперечная дифференциальная направленная защита, дополненная направленной максимальной токовой защитой.

Выбор параметров срабатывания и проверка токовых ступенчатых защит осуществляется по аналогии с одиночными и кольцевыми линиями (см. п. 4.1, 4.2). При расчете токов КЗ нужно учесть, что максимальный ток КЗ протекает через защиту в режиме работы одной линии, а минимальный в режиме работы двух линий.

4.3.1. Рекомендуемый порядок расчета поперечной дифференциальной направленной защиты

Ток срабатывания защиты из условия несрабатывания от токов небаланса при внешнем КЗ на шинах противоположной (по отношению к месту установки защиты) подстанции:

$$I_{сз1} = k_{от} \cdot I_{нб.рас},$$

где $k_{от} = 1,3$;

$I_{нб.рас} = I'_{нб} + I''_{нб}$ - расчетный ток небаланса;

$I'_{нб} = k_{одн} \cdot k_{ан} \cdot \varepsilon \cdot I_{кз}^3$ - обусловлен погрешностями ТТ;

$I''_{нб} = \frac{x_1 - x_2}{x_1 + x_2} \cdot I_{кз}^3$ - обусловлен различием сопротивлений параллель-

ных цепей;

$k_{одн}$ - коэффициент однотипности ТТ, принимается равным 0,5;

$k_{ан}$ - коэффициент, учитывающий наличие в токе КЗ апериодической составляющей, принимается равным $1,6 \div 1,9$;

ε - относительная полная погрешность ТТ, принимается равной 0,1 (то есть 10%);

$I_{кз}^3$ - максимальный ток внешнего трехфазного КЗ, равен половине полного тока, протекающего через обе параллельные линии при КЗ на шинах противоположной подстанции;

x_1, x_2 - сопротивления первой и второй цепи.

На линиях с двухсторонним питанием ток $I_{кз}^3$ определяется для каждого комплекта защиты отдельно, и окончательно выбирается для расчета $I_{сз1}$ наибольший из двух полученных результатов.

Ток срабатывания защиты из условия возврата в исходное положение при максимальной нагрузке после отключения внешнего КЗ:

$$I_{сз2} = \frac{k_{от} \cdot I_{раб.макс}}{k_{\varepsilon}},$$

где $k_{от} = 1,15$ - коэффициент отстройки;

$k_{\varepsilon} = 0,85$ - коэффициент возврата реле;

$I_{раб.макс}$ - максимальный рабочий ток в одной цепи при отключенной другой цепи.

Их двух токов срабатывания $I_{сз1}$ и $I_{сз2}$ для комплектов защиты, установленных с обоих концов линии, окончательно выбирается наибольший.

Проверка чувствительности поперечной дифференциальной направленной защиты делается в три этапа.

- Определение зоны каскадного действия

$$l_{\kappa\partial} = \frac{I_{c3}}{I_{K3}^3} l$$

где I_{K3}^3 - суммарный ток в двух цепях при трехфазном КЗ на шинах противоположной подстанции;
 l - длина линии, км.

На линиях с двухсторонним питанием длина зоны каскадного действия определяется для каждого комплекта защиты отдельно.

Суммарная длина зоны каскадного действия не должна превышать 25% длины линии.

- Определение коэффициента чувствительности в режиме каскадного действия

$$k_q = \frac{I_3^2}{I_{c3}} \geq 1,5, \quad (4.11)$$

где I_3^2 - минимальный ток, протекающий через защиту при двухфазном КЗ у шин противоположной подстанции и отключенном ближайшем выключателе (рис. 4.8). Условие (4.11) должно выполняться для всех случаев токораспределения, приведенных на рис. 4.8.

- Определение коэффициента чувствительности при КЗ в точке равной чувствительности

$$k_q = \frac{I_{3 \text{ нач}}}{I_{c3 \text{ нач}}} = \frac{I_{3 \text{ кон}}}{I_{c3 \text{ кон}}} \geq 2,$$

где $I_{3 \text{ нач}}$, $I_{3 \text{ кон}}$ - токи, протекающие в защитах начала и конца линий, при двухфазном КЗ в точке равной чувствительности.

Расположение точки равной чувствительности от начала линии, км:

$$l_{pc} = \frac{I_{c3 \text{ нач}}}{I_{c3 \text{ нач}} + I_{c3 \text{ кон}}} l.$$

Как правило, точка равной чувствительности расположена в середине линии, так как $I_{c3 \text{ нач}} = I_{c3 \text{ кон}}$.

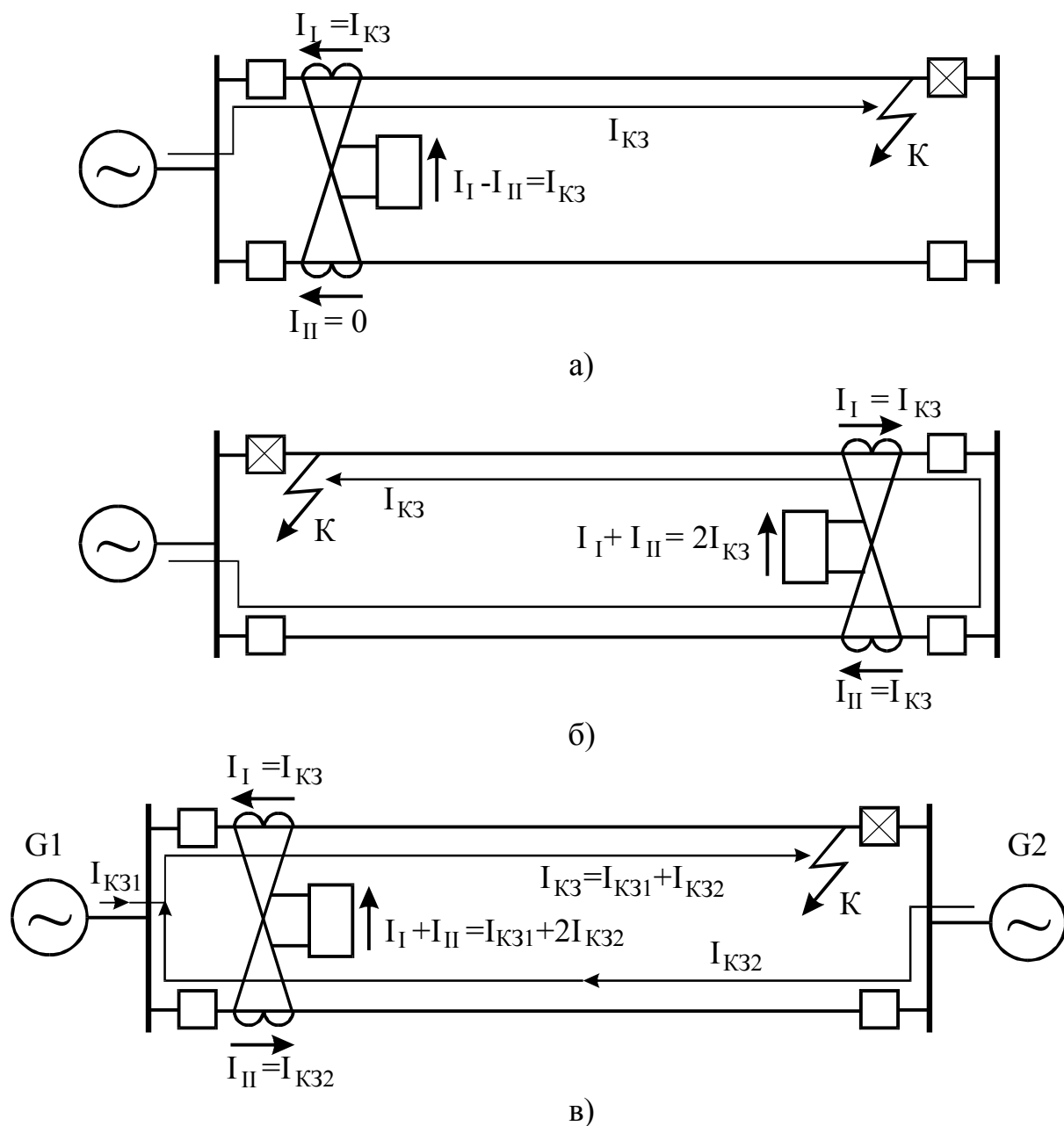


Рис. 4.8. Токораспределение в параллельных ЛЭП в режиме каскадного действия с односторонним питанием ($K_{ТТ}$ - коэффициент трансформации трансформаторов тока для упрощения принят равным 1): а) для комплекта питающей подстанции; б) для комплекта приемной подстанции; в) для одного из комплектов в ЛЭП с двухсторонним питанием

Составляется схема замещения в соответствии с рис. 4.9, производится расчет минимальных токов двухфазного КЗ, определяются токи в комплектах защит питающей (А) и приемной (Б) подстанций, определяются коэффициенты чувствительности для подстанций А и Б. Если расчеты проведены верно, k_{φ} в начале и в конце линии практически совпадают.

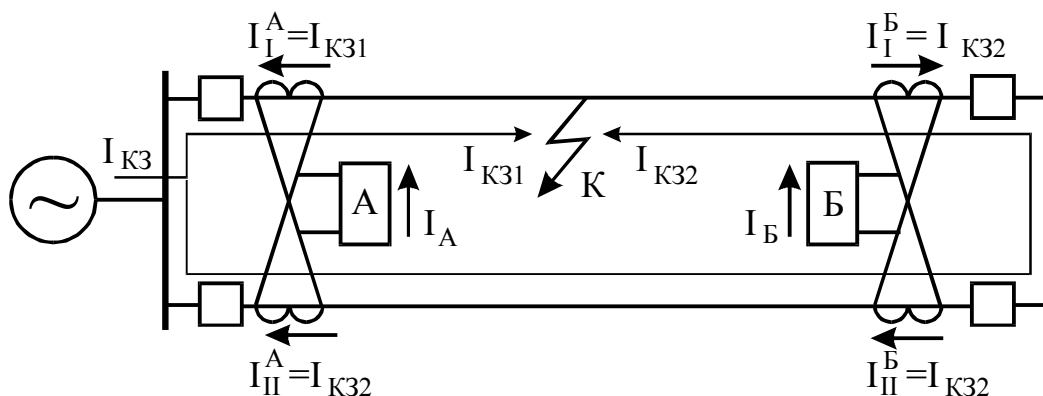


Рис. 4.9. Распределение токов в параллельных ЛЭП с односторонним питанием при КЗ в точке равной чувствительности. $I_{K3} = I_{K31} + I_{K32}$, $I_A = I_{K31} - I_{K32}$, $I_B = I_{II}^B + I_I^B = 2I_{K32}$

После оценки чувствительности определяются токи срабатывания реле с учетом коэффициентов трансформации и коэффициентов схемы (ТТ соединены в «звезду»).

4.3.2. Принципиальная схема поперечной дифференциальной направленной защиты

Пример выполнения принципиальной схемы поперечной дифференциальной направленной защиты приведен на рис. 4.10. Реле KL1 и KL2 служат для подачи команды на отключение выключателей Q1 и Q2 соответственно. При разработке полной принципиальной схемы защиты параллельных линий следует помнить, что на линиях с односторонним питанием со стороны питающей подстанции в дополнение к данной защите устанавливается трехступенчатая токовая защита (п.4.1.2), цепи которой необходимо включить в общую схему защиты.

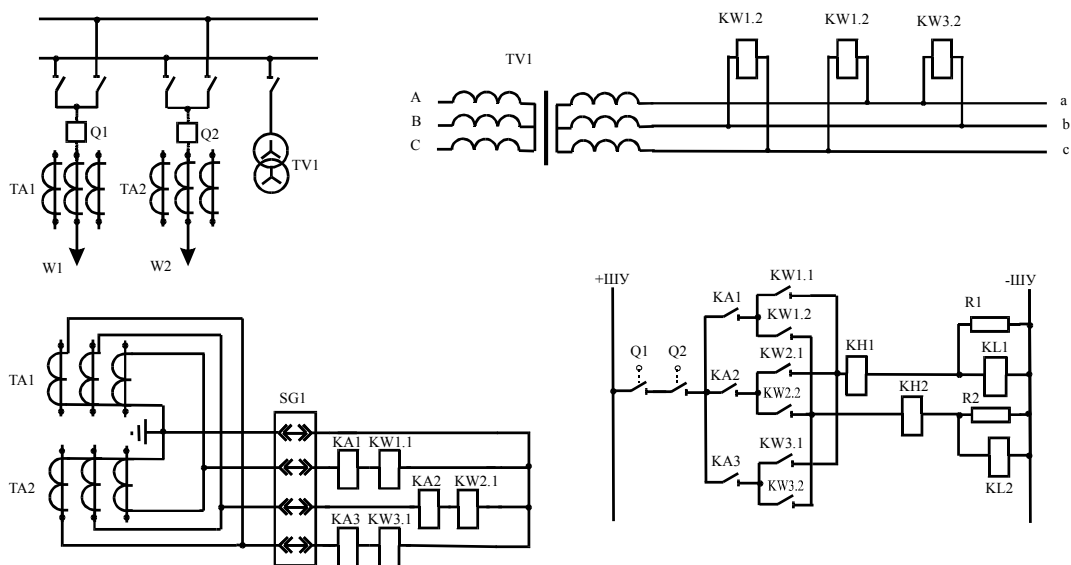


Рис. 4.10. Принципиальная схема поперечной дифференциальной направленной защиты

5. ЗАЩИТА ТРАНСФОРМАТОРА

Согласно ПУЭ, виды защиты трансформатора определяются его номинальной мощностью. В общем случае на трансформаторах мощностью выше 6 МВА устанавливаются следующие виды защит:

- от всех видов КЗ внутри обмоток и на выводах применяется продольная дифференциальная защита;
- для защиты от всех внутренних повреждений - газовая защита;
- от внешних КЗ и для резервирования основной защиты применяется МТЗ;
- от однофазных КЗ на трансформаторах, связанных с сетью напряжения 110 кВ и выше, применяется токовая защита нулевой последовательности;
- от перегрузки применяется специальная МТЗ в однофазном исполнении.

В курсовом проекте для газовой защиты и токовой защиты нулевой последовательности дается только описание принципа действия с указанием расчетных выражений для определения параметров срабатывания и проверки чувствительности, а также поясняющая схема, (для газовой защиты – эскиз газового реле). Расчет параметров срабатывания данных защит не требуется.

5.1. Продольная дифференциальная защита трансформатора

Продольная дифференциальная защита понижающих трансформаторов выполняется на базе реле ДЗТ-11. Применение реле типа РНТ-560 не рекомендуется.

Рекомендуемый порядок расчета защиты на базе реле ДЗТ-11

Номинальные первичные токи трансформатора

$$I_{ннI} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{номI}} - \text{первичная сторона};$$

$$I_{ннII} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{номII}} - \text{вторичная сторона.}$$

Вторичные токи в плечах защиты с учетом коэффициентов схемы

$$I_{\epsilon I} = \frac{I_{ннI} \cdot k_{схI}}{k_{ТТ I}}, \quad I_{\epsilon II} = \frac{I_{ннII} \cdot k_{схII}}{k_{ТТ II}}.$$

Коэффициент схемы равен 1 при соединении ТТ в «звезду», $\sqrt{3}$ - при соединении ТТ в «треугольник».

ТТ соединяются в «треугольник» на той стороне силового трансформатора, где обмотка соединена в «звезду», и наоборот.

Коэффициенты ТТ подбираются из стандартного ряда такими, чтобы полученные вторичные токи **с учетом коэффициента схемы** равнялись примерно 5 А и были по величине как можно ближе друг к другу.

Максимальный ток небаланса при внешнем трехфазном КЗ

$$I_{нб.рас} = I'_{нб} + I''_{нб}$$

где $I'_{нб}$ - составляющая тока небаланса, обусловленная погрешностью ТТ;

$I''_{нб}$ - составляющая тока небаланса, обусловленная наличием РПН на трансформаторе.

$$I'_{нб} = k_{одн} \cdot k_{ан} \cdot \varepsilon \cdot I_{кз}^3 ;$$

$$I''_{нб} = \Delta U \cdot I_{кз}^3 ;$$

$k_{одн} = 1$ - коэффициент одностипности ТТ, установленных на сторонах трансформатора;

$k_{ан} = 1,3$ - коэффициент, учитывающий наличие апериодической составляющей в токе КЗ;

$\varepsilon = 0,1$ - относительная погрешность ТТ (10%);

ΔU - половина диапазона регулирования РПН (например, если полный диапазон обозначен как $\pm 0,15$, то $\Delta U = 0,15$);

$I_{кз}^3$ - максимальный ток, протекающий через трансформатор при внешнем трехфазном КЗ (на шинах приемной подстанции).

Ток срабатывания защиты из условия отстройки от броска тока намагничивания

$$I_{сз} = k_{от} \cdot I_{ном} ,$$

где $k_{от} = 1,5$ - коэффициент отстройки;

$I_{ном}$ - номинальный ток трансформатора, определяется через его номинальную мощность и приводится к ступени напряжения, на которой были рассчитаны токи КЗ и токи небаланса.

Ток срабатывания реле ДЗТ-11 для основной стороны

За основную сторону защиты выбирается та, на которой будет установлена тормозная обмотка. Для двухобмоточного трансформатора с односторонним питанием это будет сторона нагрузки:

$$I_{ср} = \frac{I_{сз} \cdot k_{сх}}{k_{ТТ}} .$$

При этом ток $I_{сз}$ должен быть приведен к стороне нагрузки, коэффициент схемы и коэффициент трансформации ТТ также берутся со стороны нагрузки.

Расчетное число витков обмотки БНТ основной стороны

$$w_{осн.рас} = \frac{F}{I_{ср}} ,$$

где $F = 100 A \cdot вит$ - МДС срабатывания реле ДЗТ-11.

Полученное значение округляется до ближайшего меньшего целого $w_{осн}$.

Число витков обмотки неосновной стороны для компенсации различия токов плеч

$$w_{неосн.рас} = \frac{w_{осн} \cdot I_{в.осн}}{I_{в.неосн}}.$$

Полученное значение округляется до ближайшего целого значения $w_{неосн}$.

Дополнительный ток небаланса от округления числа витков обмотки реле неосновной стороны

$$I_{нб}''' = \frac{w_{неосн.рас} - w_{неосн}}{w_{неосн.рас}} I_{кз}^3.$$

Полный ток небаланса

$$I_{нб.рас} = I_{нб}' + I_{нб}'' + I_{нб}'''.$$

Коэффициент торможения, обеспечивающий несрабатывание защиты от максимального тока небаланса внешнего КЗ:

$$k_T = \frac{k_{от} \cdot I_{нб.рас}}{I_{кз}^3}.$$

Число витков тормозной обмотки

$$w_T = k_T \cdot \frac{w_{осн}}{0,75}.$$

Коэффициент чувствительности защиты

$$k_u = \frac{I_{\text{кз min}}^2 \cdot k_{\text{сх}}^2}{I_{\text{сз}} \cdot k_{\text{сх}}^3} \geq 2,$$

где $I_{\text{кз min}}^2$ - минимальный ток внешнего двухфазного КЗ;

$\frac{k_{\text{сх}}^2}{k_{\text{сх}}^3}$ - отношение коэффициентов схемы при двухфазном и трехфазном КЗ на выводах трансформатора, зависит от группы соединения обмоток трансформатора и схемы соединения ТТ, от места КЗ. При питании со стороны обмотки силового трансформатора, соединенной в «звезду», и КЗ со стороны обмотки, соединенной в «треугольник», $\frac{k_{\text{сх}}^2}{k_{\text{сх}}^3} = 1$.

Коэффициент чувствительности дифференциальной защиты трансформатора должен быть около 2, но допускается величина около 1,5, если не удастся добиться более высокой чувствительности без существенного усложнения и удорожания защиты. Если коэффициент чувствительности получается менее 1,5, принимается решение о применении более совершенного реле ДЗТ-21. В курсовом проекте для него допускается упрощенно выполнить только расчет тока срабатывания по выражению $I_{\text{с.з.}} = 0,3 I_{\text{ном}}$ и оценить коэффициент чувствительности.

5.2. Максимальная токовая защита трансформатора

Максимальная токовая защита на трансформаторе мощностью выше 6 МВА используется в качестве резервной. Защита на трансформаторах 110 - 220 кВ устанавливается со стороны питающей обмотки трансформатора, содержит два токовых реле и подключена к ТТ, соединенным в треугольник. Такое подключение предотвращает возможность неселективного срабатывания при КЗ на землю в сети 110-220 кВ. Простая МТЗ, запуск которой происходит при превышении тока сверх допустимой величины, на трансформаторах, как правило, не обеспечивает необходимой чувствительности. Поэтому наибольшее распространение получила МТЗ с комбинированным пуском по напряжению. Пусковые органы данной защиты выполнены на базе одного фильтр-реле напряжения обратной последовательности и одного минимального реле напряжения, подключенных к

трансформаторам напряжения на шинах приемной подстанции. При возникновении несимметричных междуфазных КЗ появляется составляющая напряжения обратной последовательности, срабатывает фильтр-реле и снимает напряжение с обмотки минимального реле напряжения, тем самым, разрешая запуск защиты. При симметричном трехфазном КЗ составляющей напряжения обратной последовательности нет, однако снижение напряжения настолько значительно, что происходит срабатывание минимального реле напряжения и запуск защиты.

Ток срабатывания защиты из условия возврата при протекании номинального тока:

$$I_{сз} = \frac{k_{от}}{k_{в}} I_{ном}$$

где $I_{ном}$ - номинальный ток трансформатора на стороне, где установлена защита;

$k_{от} = 1,2$ - коэффициент отстройки;

$k_{в} = 0,85$ - коэффициент возврата реле.

Напряжение срабатывания фильтр-реле напряжения обратной последовательности из условия отстройки от напряжения небаланса в нагрузочном режиме:

$$U_{2с.з} = 0,06 \cdot U_{ном},$$

где $U_{ном}$ - номинальное напряжение со стороны подключения пусковых органов.

Напряжение срабатывания минимального реле напряжения из условия отстройки от режима самозапуска двигателей нагрузки при действии АВР:

$$U_{с.з} = 0,7 \cdot U_{ном}.$$

Коэффициент чувствительности по току

$$k_u = \frac{I_{кз}^2}{I_{сз}^2} \geq 1,5.$$

где $I_{кз}^2$ - минимальный ток в месте установки трансформаторов тока МТЗ при двухфазном КЗ за трансформатором (на шинах приемной подстанции); $I_{сз}$ - ток срабатывания МТЗ.

ВНИМАНИЕ: При расчете коэффициента чувствительности токи в числителе и знаменателе должны быть приведены к одной ступени напряжения.

По напряжению чувствительность данной защиты не проверяется.

Время срабатывания данной защиты определяется так же как для МТЗ линии (см. п.4.1.1).

5.3. Защита от перегрузки

Для защиты трансформатора от перегрузки используется специальная защита, действующая с выдержкой времени на сигнал. Так как перегрузка является симметричным режимом, достаточно измерять ток только в одной (любой) фазе. Поэтому такая защита выполняется в однофазном исполнении.

Ток срабатывания защиты из условия возврата токового реле при номинальном токе трансформатора:

$$I_{сз} = \frac{k_{ом}}{k_{г}} I_{ном}$$

где $I_{ном}$ - номинальный ток трансформатора на стороне, где установлена защита;

$k_{ом} = 1,05$ - коэффициент отстройки;

$k_{г} = 0,85$ - коэффициент возврата реле.

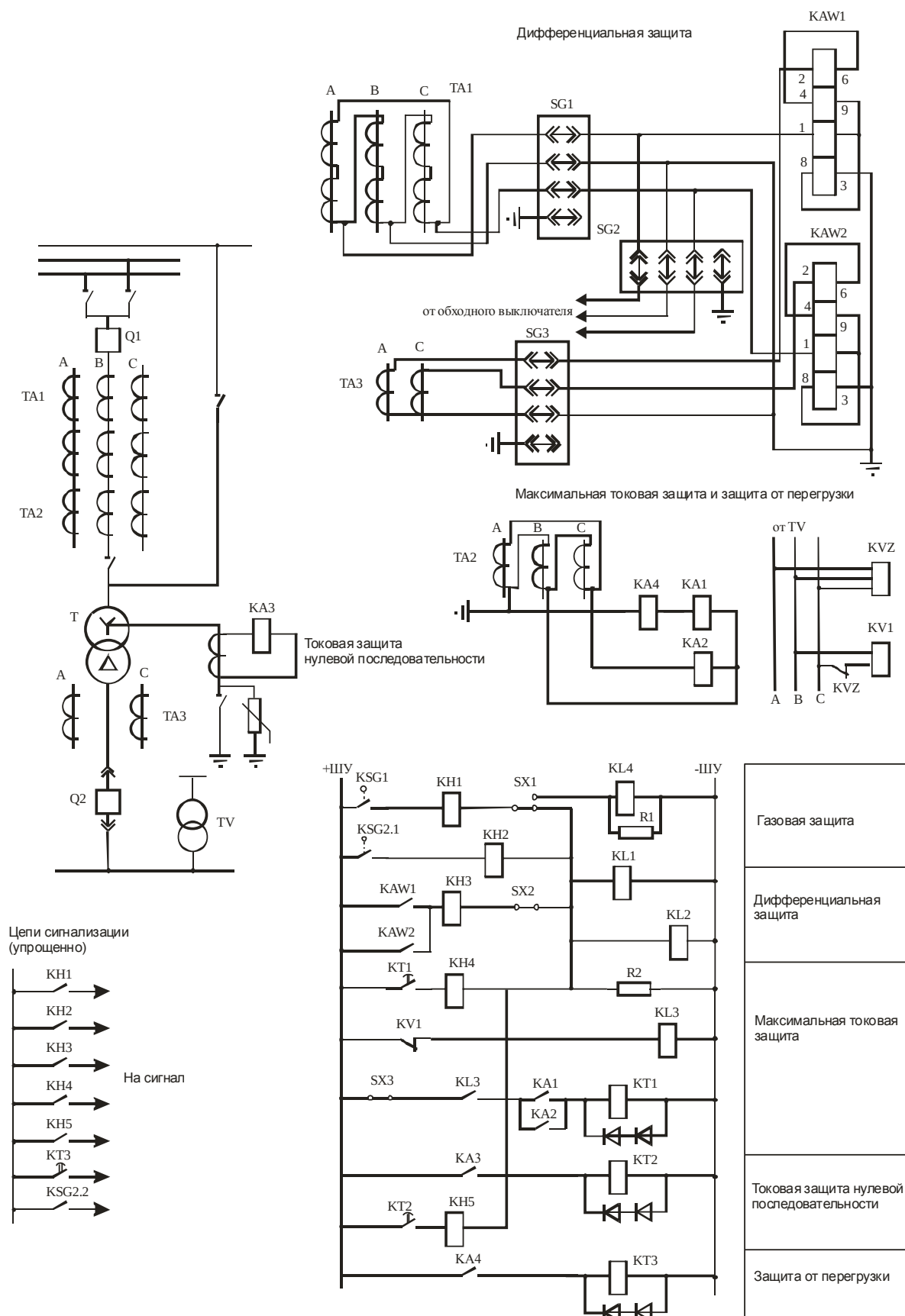
Время действия защиты выбирается на ступень больше времени срабатывания МТЗ:

$$t_{сз} = t_{сз\ МТЗ} + \Delta t.$$

Проверка по чувствительности для данной защиты не требуется.

5.4. Принципиальная схема защиты трансформатора

Дифференциальная защита трансформатора (рис. 5.1) выполнена на базе двух реле КАВ1, КАВ2 типа ДЗТ-11. Реле КА1, КА2 выполняют



функции МТЗ трансформатора. KVZ – фильтр-реле напряжения обратной последовательности. В схеме дифференциальной защиты предусмотрена возможность перехода с трансформаторов тока ТА1 на ТТ обходного выключателя в режиме питания трансформатора от обходной системы шин. Измерительный трансформатор напряжения TV подключен к шинам низшего напряжения со стороны потребителей. Контакт газового реле KSG1 служит для защиты отдельного бака РПН (если он имеется, для него предусматривается специальное газовое реле), KSG2.1 – для подачи команды на отключение трансформатора. Для подачи сигнала о слабом газообразовании в трансформаторе служит контакт KSG2.2 в цепях сигнализации.

Трансформатор при срабатывании любой защиты должен отключаться двумя выключателями Q1 и Q2. Для подачи общей команды на их отключение служат исполнительные реле KL1 и KL2, контакты которых включены параллельно в цепях управления обоими выключателями. Два реле используются для повышения надежности работы схемы.

6. ЦЕПИ УПРАВЛЕНИЯ И СИГНАЛИЗАЦИИ В СХЕМАХ ЗАЩИТ

Варианты исполнения цепей управления выключателями могут различаться в зависимости от типа выключателя. В сетях 110 – 220 кВ в курсовом проекте рекомендуется применять маломасляные выключатели. Выключатель на напряжение 110 кВ имеет общий привод на все три фазы, поэтому в схеме управления предусмотрено по одному электромагниту отключения и включения (рис. 6.1 а). В выключателе на 220 кВ устанавливается отдельный электромагнит на каждую фазу (рис. 6.1 б). В цепях управления обязательно должен присутствовать замыкающий контакт исполнительного реле защиты. Он включается параллельно с контактом ключа управления в цепи включения выключателя.

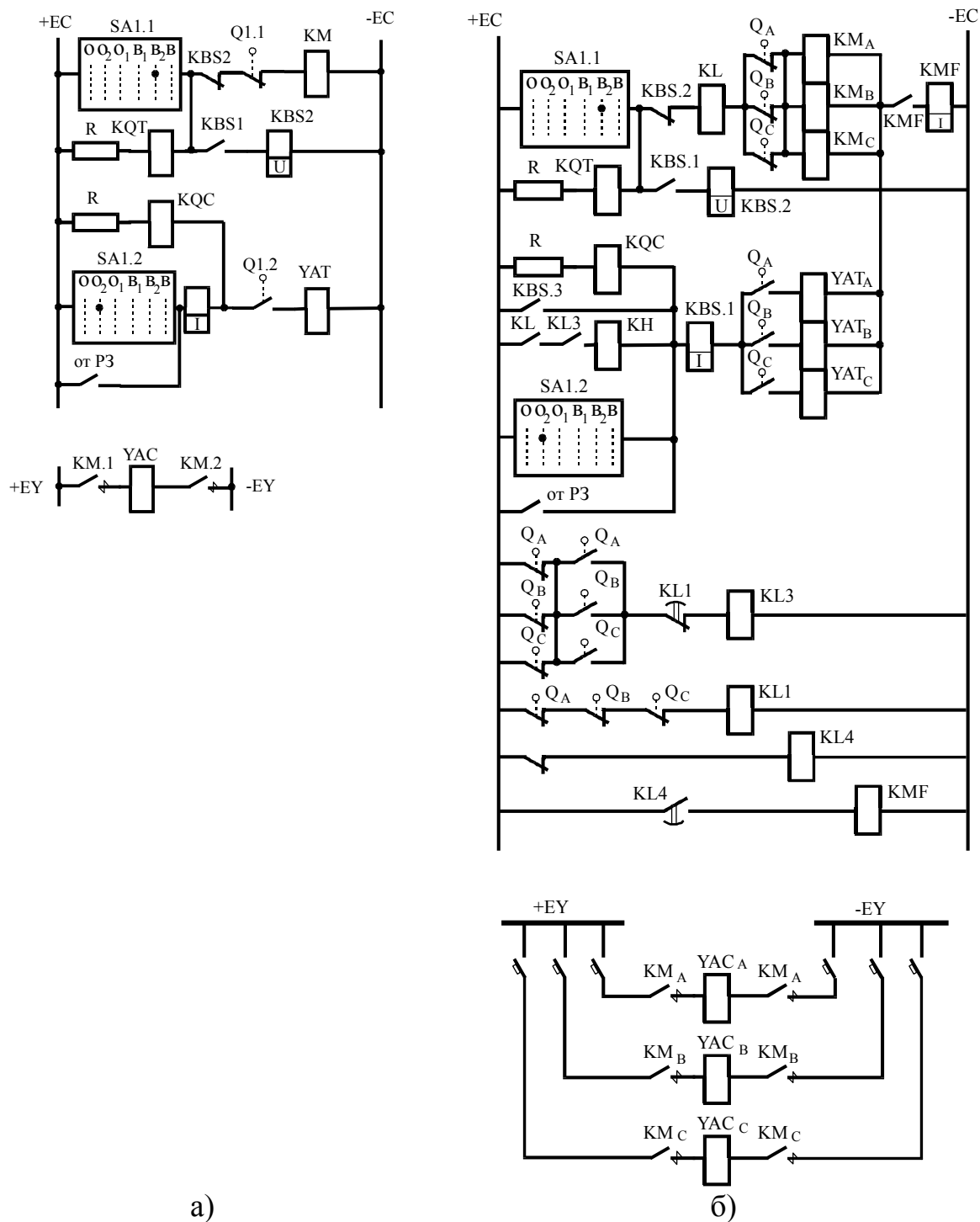


Рис. 6.1. Схема цепей управления выключателя с электромагнитным приводом: а – для выключателя 110 кВ (общий электромагнит управления на три фазы); б – для выключателя 220 кВ (отдельный электромагнит управления на каждую фазу)

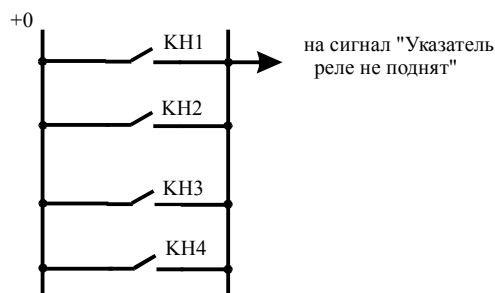


Рис. 6.2. Упрощенная схема сигнализации

В схеме защиты ЛЭП допускается изображать схему управления только для одного выключателя, с письменным указанием того факта, что для второго выключателя схема аналогична. В схеме защиты трансформатора допускается не изображать цепи управления выключателя со стороны низшего напряжения.

Упрощенная схема сигнализации содержит замыкающие контакты всех указательных реле КН схемы оперативных цепей, включенные параллельно (рис. 6.2). Замыкание любого из контактов приводит к включению системы сигнализации.

7. РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ АВТОМАТИКИ

В курсовом проекте в зависимости от выданного варианта задания разрабатывается устройство АВР или АПВ. В соответствующем разделе пояснительной записки необходимо:

- указать назначение устройства автоматики;
- пояснить принцип его действия;
- обосновать и осуществить выбор принципиальной схемы, привести ее на рисунке в ПЗ и подробно описать ее работу;
- рассчитать основные параметры срабатывания.

7.1. Разработка устройства автоматического включения резерва

7.1.1. Общие требования

Устройство автоматического включения резерва (АВР) является наиболее распространенным устройством автоматики в сетях электропитания предприятий. Назначение АВР – подключение потребителей к

резервному источнику питания в случае отключения рабочего источника. Благодаря использованию АВР сокращается время перерыва питания при повреждениях в рабочем источнике и повышается надежность электро-снабжения.

Применяемые на практике схемы АВР очень разнообразны и разрабатываются с учетом специфики схемы электроустановки, состава агрегатов потребителей, типа используемых выключателей и многих других факторов. Тем не менее, любая схема АВР должна удовлетворять следующим требованиям:

1. АВР должно предусматриваться в случаях, когда исчезновение рабочего питания вызывает обесточение или ограничение мощности потребителей.
2. АВР должно действовать при потере питания от рабочего источника по любой причине, включая КЗ на резервируемом элементе, за исключением потери питания вследствие действия устройства АЧР.
3. Действие АВР должно быть **однократным**.
4. Включение резервного питания должно происходить **после отключения выключателя** на вводе от источника рабочего питания во избежание отключения резервного источника в случае устойчивого КЗ в тракте рабочего питания.
5. Если при неявном резерве защита, действующая на резервирующие выключатели, имеет выдержку времени более 1-1,2 с, целесообразно вводить ускорение действия этой защиты после АВР. Для отстройки ускоренной защиты от бросков тока включения в цепь ускорения действия защиты вводится выдержка времени 0,5 с.
6. Выключатели, на которые действует АВР, должны иметь контроль исправности цепи включения.

Команда на включение резервного питания от АВР подается через блок-контакты выключателя рабочего источника, замкнутые при отключенном состоянии данного выключателя. Таким образом, для запуска АВР необходимо подать команду на отключение выключателя рабочего источника. Такая команда может быть подана вручную от схемы управления, от схемы релейной защиты или от специальных **пусковых органов**.

При выборе конкретного варианта схемы АВР необходимо учитывать перечисленные ниже факторы.

- Если рабочий и резервный источники питаются от различных секций с независимым питанием, схема АВР должна дополняться пусковыми органами. Назначение пусковых органов – подача команды на отключение выключателя рабочего источника (вместо релейной защиты) при исчезновении напряжения на шинах потребителей. Благодаря этому осуществляется запуск АВР даже при внешнем повреждении за пределами рабочего источника, когда его релейная защита не работает и не подает команду на отключение выключателя.

При наличии пусковых органов должны быть предусмотрены органы контроля наличия напряжения на резерве, исключающие бесполезный запуск АВР. Для отстройки от КЗ, не вызывающих потери рабочего питания, пусковые органы снабжаются выдержкой времени.

При питании резервного и рабочего источника от общих шин установка пусковых органов и органов контроля не требуется, так как в данном случае АВР должно запускаться только при повреждении в рабочем источнике. При внешних повреждениях его срабатывание будет бесполезным.

- Обеспечение однократности срабатывания АВР достигается разными способами в зависимости от типа выключателя и его привода. На выключателе с пружинно-грузовым приводом это требование выполняется за счет контактов привода. На выключателе с электромагнитным приводом однократность действия обеспечивается контактами специального реле с замедлением на размыкание.

- Если резервное оборудование в нормальном режиме находится в отключенном состоянии и включается только при отключении основного источника (явный резерв), схема АВР должна обеспечивать одностороннее действие. При применении скрытого резерва (все оборудование работает с недогрузкой, и при повреждении одного из источников другой берет на себя его нагрузку) применяется АВР двухстороннего действия.

- При отсутствии быстродействующей релейной защиты, осуществляющей полную защиту резервного источника (например, продольная дифференциальная защита резервного трансформатора) в схеме должно быть предусмотрено ускорение МТЗ после срабатывания АВР. Это позволяет уменьшить время протекания значительных токов при включении резервного источника на неустранившееся КЗ на шинах потребителей.

- Если АВР используется для включения резервных двигателей ответственных потребителей, например насосов, то их пуск должен осуществляться не только при полном выходе из строя основного насоса, но и при

недопустимом снижении контролируемого давления или расхода. Таким образом, в ряде случаев допускается параллельная работа рабочего и резервного оборудования, если это необходимо для поддержания технологического процесса.

7.1.2. Расчет уставок пусковых органов АВР

Если будет выбрана схема АВР с пусковыми органами, необходимо рассчитать уставки их срабатывания.

Напряжение срабатывания минимального реле напряжения пускового органа из условия отстройки от снижения напряжения в режиме самозапуска двигателей:

$$U_{ABP} = 0,4 \cdot U_{ном}, \quad (7.1)$$

где $U_{ном}$ - номинальное междуфазное напряжение на шинах в месте подключения пускового органа.

Напряжение срабатывания максимального реле напряжения органа контроля на резервном источнике, из условия отстройки от минимального напряжения в рабочем режиме:

$$U_{K\ ABP} = 0,7 \cdot U_{ном}. \quad (7.2)$$

Время выдержки реле тока пускового органа АВР из условия отстройки от времени срабатывания защит потребителей, питающихся от шин подстанции:

$$t_{ABP} = t_{PЗ} + \Delta t, \quad (7.3)$$

где $t_{PЗ}$ - максимальное время срабатывания защиты потребителей, питающихся от шин, к которым подключены пусковые органы;

$\Delta t = 0,5\text{с}$ - ступень селективности.

7.2.3. Варианты исполнения схем АВР

АВР выключателя с пружинно-грузовым приводом

На рис. 7.1 а приведена схема АВР одностороннего действия. В нормальном режиме выключатель Q1 включен, а Q2 отключен. Рабочая и резервная линии питаются от различных источников, поэтому в схеме

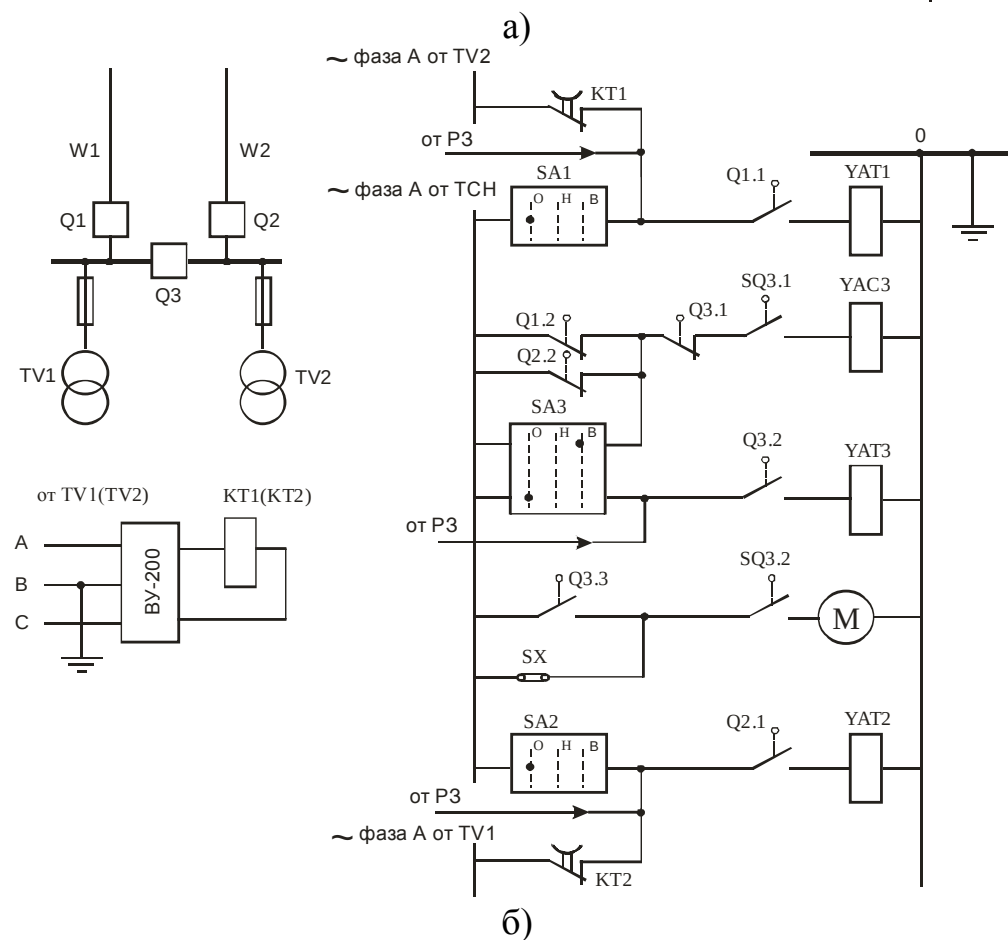
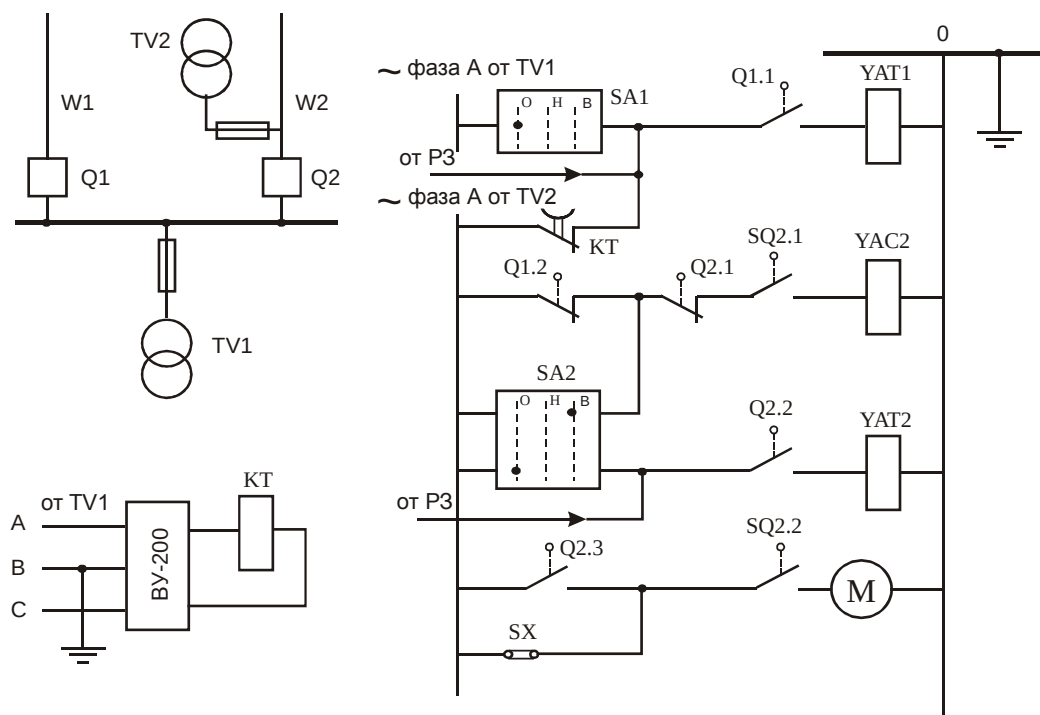


Рис. 7.1. Схема АВР выключателя с пружинно-грузовым приводом: а - при наличии явного резерва; б - при наличии неявного резерва.

присутствуют пусковые органы (в данном случае реле времени ЭВ-235К с трехфазным выпрямительным блоком ВУ-200). Выключатель Q1 может отключиться от релейной защиты линии W1, в результате ошибочных оперативных переключений или от действия пусковых органов. После отключения Q1 замыкается его блок-контакт Q1.2 и подается команда на включение Q2.

Однократность действия обеспечивается контактом готовности пружинно-грузового привода SQ2.1. Если сразу после включения резервной линии произошло ее отключение от релейной защиты (неустраняемое КЗ), повторного включения не произойдет, так как привод еще не будет готов к выполнению операции включения и контакт SQ2.1 будет разомкнут.

Контакт SQ2.2 предназначен для завода пружины привода двигателем М и автоматически замыкается, когда пружина полностью раскручена.

Исключение бесполезной работы АВР при отсутствии напряжения на резерве обеспечивается тем, что цепи включения выключателя Q2 действием АВР запитаны от трансформатора напряжения TV2, который выполняет функции органа контроля.

В схеме АВР двухстороннего действия (рис. 7.1 б) при отключении любого из выключателей Q1 или Q2 соответственно контактом Q1.2 или Q2.2 подается команда на включение секционного выключателя Q3. В остальной схеме мало отличается от схемы рис. 7.1 а.

АВР выключателя с электромагнитным приводом

На рис. 7.2 показан пример схемы АВР двухстороннего действия при наличии скрытого резерва с применением пусковых органов минимального напряжения и органов контроля наличия напряжения на резерве. В нормальном режиме обе секции находятся в работе, секционный выключатель Q3 отключен для снижения токов короткого замыкания в системе. При исчезновении напряжения на одной секции и при наличии напряжения на другой действием АВР включается выключатель Q3. Если на секции имеется КЗ, релейная защита КА отключает выключатель.

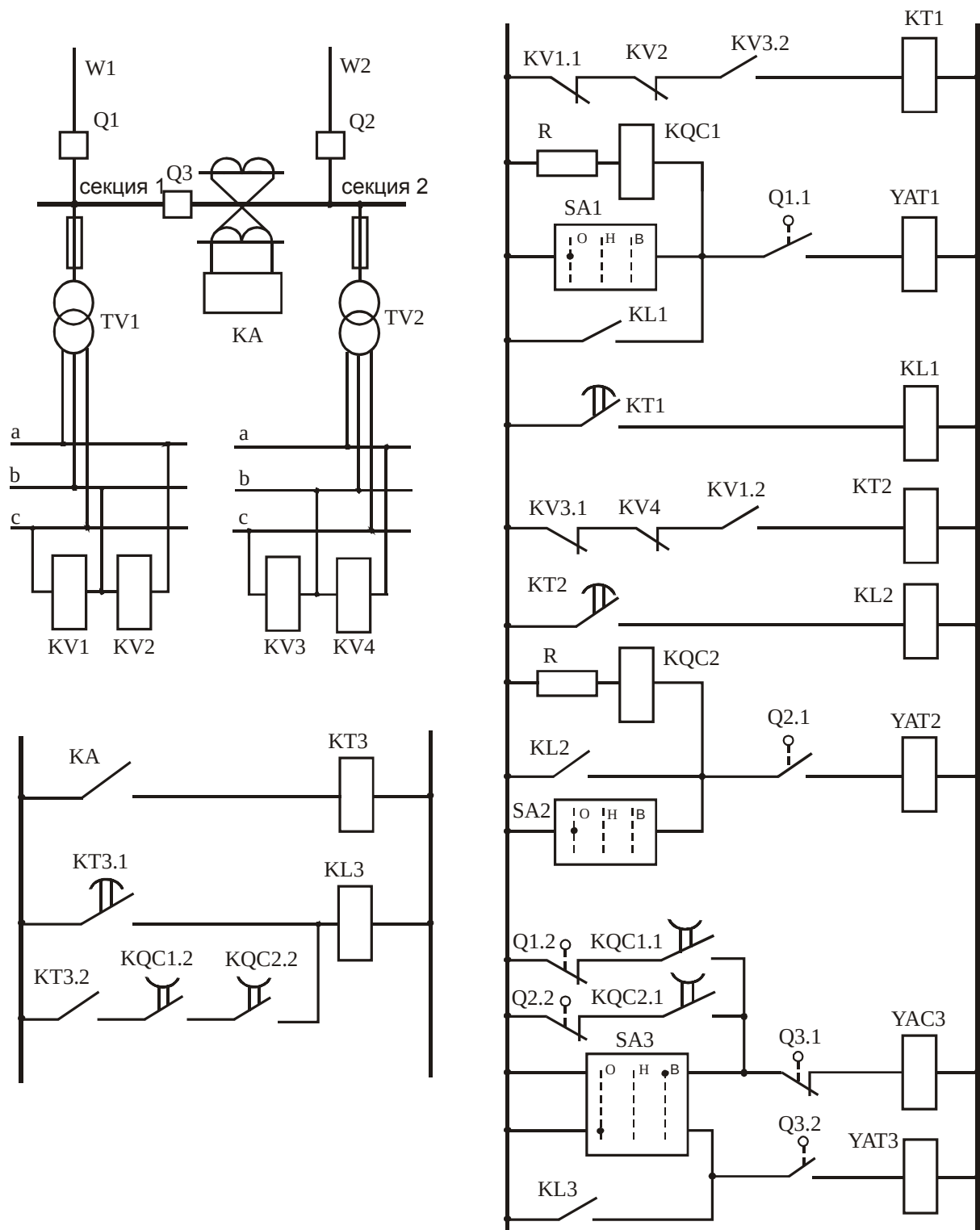


Рис. 7.2. Схема двухстороннего АВР секционного выключателя с электромагнитным приводом при наличии скрытого резерва

Срабатывание релейной защиты после действия АВР происходит без выдержки времени, так как в схеме предусмотрены цепи ускорения.

При отключении любого из выключателей питающих присоединений (Q1, Q2) блок-контактами Q1.2 или Q2.2 подается команда на включение секционного выключателя Q3. Однократность действия АВР обеспечивается контактами KQC1.1 и KQC2.1 реле положения «Включено» выключателей Q1 и Q2, имеющими выдержку времени на размыкание. После отключения любого из выключателей Q1 и Q2 соответствующее реле KQC теряет питание, но его контакт остается замкнутым какое-то время, достаточное для подачи команды на включение Q3 **только один раз**. При срабатывании релейной защиты и повторной попытке АВР включить Q3 контакт KQC будет уже разомкнут, и второго включения не произойдет.

Если, например, исчезло напряжение на секции 1, но релейная защита не отключила выключатель Q1 (внешнее отключение), то замкнутся контакты пусковых органов KV1.1 и KV2.1. Если при этом на секции 2 имеется напряжение (контакт органа контроля KV3.2 замкнут), запустится реле КТ1 и после выдержки времени подаст команду на отключение Q1 вместо релейной защиты. В результате сработает схема АВР, и включится Q3. При исчезновении напряжения на секции 2 схема работает аналогично лишь с тем отличием, что пусковыми органами являются реле KV3 и KV4, а органом контроля реле KV1.

7.2. Разработка устройства автоматического повторного включения

Устройство автоматического повторного включения (АПВ) предназначено для автоматического включения элемента сети после отключения его действием релейной защиты. На воздушных линиях большинство КЗ являются самоустраняющимися, и нормальная работа линии может быть восстановлена после ее отключения и повторного включения после бестоковой паузы, достаточной для восстановления изоляции в месте повреждения (деионизации среды). Поэтому АПВ является одним из самых эффективных средств повышения надежности электроснабжения. Оно применяется на всех воздушных ЛЭП, а также в ряде случаев на силовых трансформаторах и шинах подстанций.

К АПВ применяются следующие основные требования:

1. АПВ должно приходить в действие во всех случаях аварийного отключения выключателя за исключением ситуаций, когда действие АПВ специально запрещается.

2. Действие АПВ должно запрещаться при оперативном отключении выключателя персоналом, при отключении выключателя релейной защитой сразу после его включения персоналом, при срабатывании газовой и дифференциальной защиты трансформатора.
3. АПВ должно обеспечивать заданное количество повторных включений выключателя.
4. АПВ должно обладать достаточным быстродействием для сокращения перерыва питания потребителей и для обеспечения приемлемых условий самозапуска двигателей.
5. Схема АПВ должна обеспечивать автоматический и достаточно быстрый возврат в состояние готовности после включения выключателя.

При выборе конкретной схемы АПВ необходимо учитывать следующие факторы:

1. **Тип выключателя и его привода.** Для выключателей с пружинно-грузовыми приводами в схемах АПВ используются контакты готовности привода. Если используются масляные выключатели с электромагнитными приводами, к применению рекомендуются АПВ конденсаторного типа (РПВ-58, РПВ-258, РПВ-358). В схеме АПВ воздушного выключателя должен быть введен контакт специального манометра для контроля давления в резервуаре сжатого воздуха, так как повторное включение может разрешаться только при достаточном давлении.

2. **Кратность включения.** Для линий в кольцевых сетях или линий с двухсторонним питанием рекомендуется однократное АПВ, для тупиковых линий с односторонним питанием – двукратное АПВ. Трехкратное АПВ в нашей стране не получило широкого применения из-за малой эффективности.

3. **Схема управления выключателем.** Если на подстанции имеется схема телеуправления, то АПВ должно дополняться специальным двухпозиционным реле для фиксации последней команды, поданной на выключатель.

4. **Схема соединений участка сети.** На линиях с односторонним питанием используются простые схемы АПВ. На линиях с двухсторонним питанием схема АПВ дополняется устройствами, контролирующими наличие напряжения на линии в цикле АПВ, а также обеспечивающими повторное включение линии только при наличии синхронизма напряжений на шинах противоположных подстанций.

После выбора схемы АПВ требуется рассчитать уставки времени его срабатывания. Команда на повторное включение должна продаваться после выдержки времени, которая **для линии с односторонним питанием** определяется по следующим условиям:

1. Повторное включение выключателя должно произойти только после полной деионизации среды в месте повреждения.

$$t_{АПВ} = t_{\delta} + t_{зан}, \quad (7.1)$$

где t_{δ} - время деионизации среды, главным образом зависит от номинального напряжения сети и может быть принято следующим:

до 35 кВ - 0,08 с;
 110 кВ - 0,17 с;
 220 кВ - 0,25 с;
 500 кВ - 0,3÷0,4 с;

$t_{зан}$ - время запаса 0,1с.

2. После отключения выключателя должно пройти некоторое время, за которое его привод придет в готовность к новому включению:

$$t_{АПВ} = t_{г.н.} + t_{зан}, \quad (7.2)$$

где $t_{г.н.}$ - время готовности привода, зависит от типа привода, его исполнения, качества регулировки, температуры окружающей среды и т.д.; для электромагнитного привода масляного выключателя это время может быть принято равным 0,2с.

Из условий (7.1) и (7.2) окончательно выбирается наибольшее.

При разработке двукратного АПВ можно упрощенно без расчетов принять время срабатывания второго цикла АПВ равным 15с.

7.2.1. Выбор уставок срабатывания АПВ на параллельных линиях и линиях в кольцевой сети с одним источником питания.

На параллельных линиях или линиях в кольцевой сети АПВ выполняется однократным. Для обеспечения бестоковой паузы должны быть отключены выключатели с обеих сторон. С целью повышения быстродействия АПВ повторное включение должно осуществляться в следующем порядке: сначала включается выключатель с одной стороны при отсутствии напряжения на линии; если КЗ устранилось, включение будет успешным и на линии появится напряжение; на противоположном конце линии имеется устройство отбора напряжения (УОН), которое фиксирует наличие напряжения на линии и разрешает запуск АПВ соответствующего выключателя. Если КЗ не устранилось, напряжение на линии после выключения первого выключателя не появится, и УОН запретит бесполезное включение второго выключателя.

Временная диаграмма цикла АПВ для такой схемы приведена на рис. 7.4. Здесь $t_{32 \max}$ - максимальное возможное время срабатывания релейной защиты с противоположного конца линии в режиме, когда не срабатывает быстродействующая защита, принимается равным времени срабатывания III ступени дистанционной защиты или МТЗ; $t_{31 \min} = 0,1 \text{ с}$ - минимальное возможное время срабатывания быстродействующей релейной защиты данного конца линии, принимается равным времени срабатывания I ступени дистанционной защиты или МТО; $t_{B1} = 0,2 \text{ с}$ - время включения выключателя данного конца линии; $t_{\text{зан}1} = 0,4 \text{ с}$ - время запаса; $t_{O1} = 0,1 \text{ с}$ - время отключения выключателя, включаемого первым; $t_{\text{зан}2} = 0,2 \text{ с}$ - время запаса.

При КЗ в точке К первым отключится выключатель Q1, со стороны которого сработает быстродействующая первая ступень защиты. Самое позднее отключение выключателя Q2 может быть выполнено действием последней ступени защиты при отказе быстродействующих ступеней. Повторное включение выключателя Q1 должно произойти после отключения линии с противоположной стороны и деионизации среды в месте КЗ. Для надежности добавляется некоторое время запаса. После включения выключателя Q1 на линии появляется напряжение. Специальные органы фиксируют это, АПВ на стороне выключателя Q2 выжидает время, достаточное для повторного срабатывания защиты со стороны Q1, и если напряжение после этого не исчезает, делается вывод об успешном АПВ Q1 и подается команда на включение Q2.

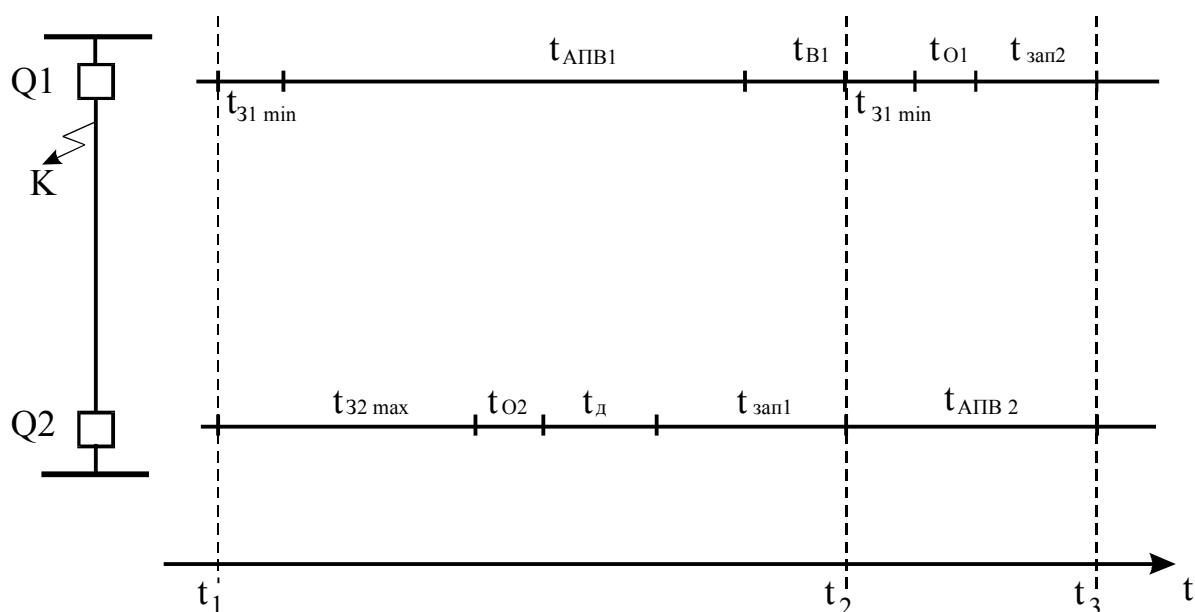


Рис. 7.4. Временная диаграмма цикла АПВ с контролем напряжения на линии с двухсторонним питанием: t_1 - момент возникновения КЗ в точке К; t_2 - момент повторного замыкания контактов выключателя Q1; t_3 - момент подачи команды на повторное включение выключателя Q2

Проанализировав диаграмму на рис. 7.1, можно записать условие выбора уставки АПВ выключателя Q1:

$$t_{31 \min} + t_{O1} + t_{АПВ1} + t_{B1} = t_{32 \max} + t_{O2} + t_{\partial} + t_{зап1}. \quad (7.3)$$

Следовательно, если $t_{O1} = t_{O2}$, время срабатывания АПВ выключателя, включаемого первым при отсутствии напряжения на линии будет равно:

$$t_{АПВ1} = t_{32 \max} - t_{31 \min} - t_{B1} + t_{\partial} + t_{зап1}. \quad (7.4)$$

Время срабатывания АПВ выключателя, включаемого вторым после появления напряжения на линии:

$$t_{АПВ2} = t_{31 \min} + t_{O1} + t_{зап2}. \quad (7.5)$$

7.2.2. Особенности АПВ на линиях с двухсторонним питанием

Особенностью АПВ линий с двухсторонним питанием является возможность нарушения синхронной работы двух источников питания за время бестоковой паузы, если отсутствуют надежные обходные парал-

тельные связи между источниками. Повторное несинхронное включение линии может вызвать бросок тока, превышающего по величине ток трехфазного КЗ приблизительно в два раза. Поэтому применяется ряд мер, предотвращающих несинхронное АПВ.

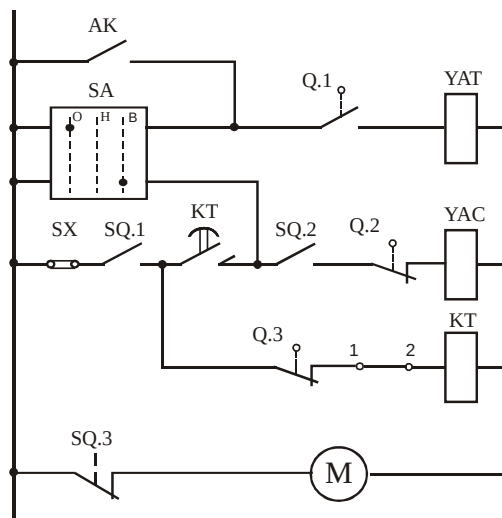
Если имеются обходные связи между двумя источниками питания, но существует вероятность наложения ремонтного режима на аварийный, когда одна ЛЭП выведена в ремонт, а на другой происходит КЗ, возможно несинхронное включение. На таких линиях устанавливается АПВ с ожиданием синхронизма (АПВОС). Данное АПВ разрешает включение линии, только если разность частот источников (скольжение) не превышает некоторой незначительной величины. Если синхронизм между системами нарушен, скольжение достигает значительной величины, и АПВ блокируется.

7.2.3. Варианты исполнения схем АПВ

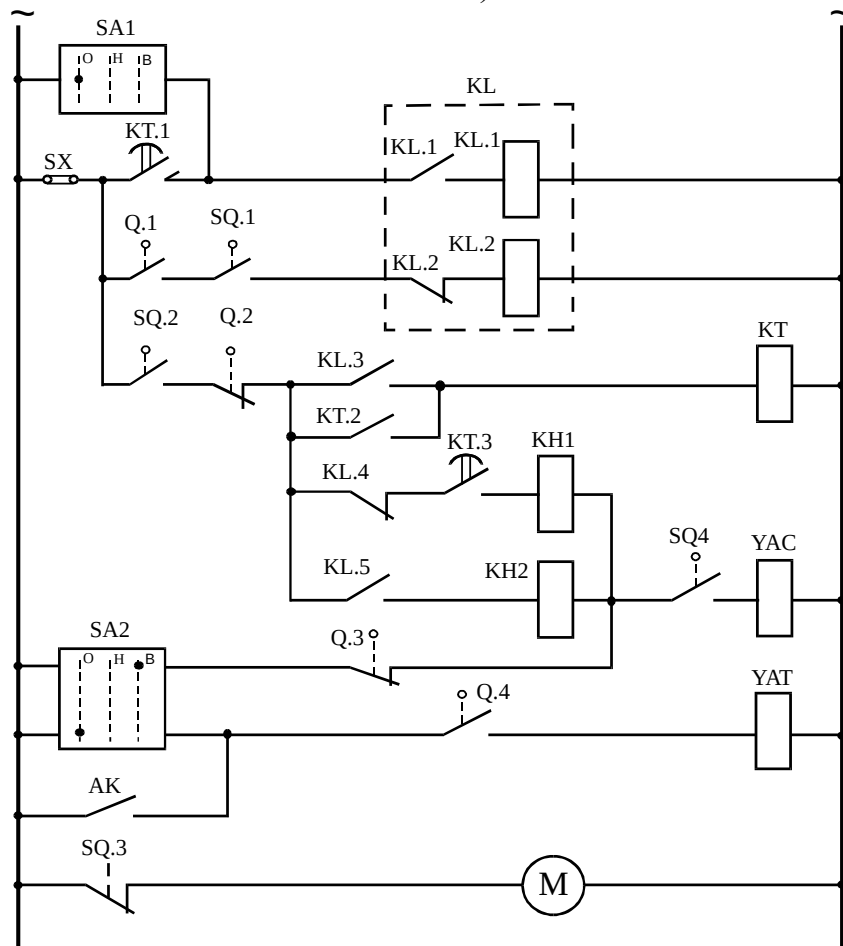
Далее приводятся некоторые возможные варианты исполнения схем АПВ с кратким описанием их принципа действия.

АПВ выключателя с пружинно-грузовым приводом

Схема на рис. 7.5 а приходит в действие после отключения выключателя защитой (замыкается контакт АК). Запускается и срабатывает реле времени КТ1. Если в данный момент привод готов к действию (замкнут контакт готовности привода SQ.2), произойдет повторное включение выключателя. Если отключение производится ключом управления (оперативное отключение), то при этом размыкается контакт SQ.1 и АПВ не происходит. Концевой контакт SQ.3 замыкается, когда пружина привода полностью раскручена, и предназначен для автоматического запуска двигателя и завода пружины.



а)



б)

Рис. 7.5. АПВ выключателя с пружинно-грузовым приводом: а – однократное АПВ; б – двукратное АПВ

Импульсный контакт реле времени КТ замыкается кратковременно. За счет этого достигается однократность действия АПВ, так как после неуспешного АПВ при повторном замыкании контакта КТ привод не готов к действию и вторая попытка АПВ не происходит.

В схеме двукратного АПВ (рис. 7.5 б) первое повторное включение происходит без выдержки времени. Схема приходит в состояние готовности сразу после оперативного включения выключателя и подготовки привода к действию. Замыкаются контакты Q.1 (включение выключателя) и SQ.1 (готовность привода), получает питание обмотка двухпозиционного реле KL, замыкаются контакты KL.1, KL.3, KL.5, схема готова к действию.

При срабатывании релейной защиты замыкается контакт АК, блок-контакты выключателя меняют свое положение (Q.2 замыкается, Q.1 размыкается), через замкнутые контакты SQ.2, Q.2, KL.5, SQ.4 подается команда на включение выключателя (YAC – электромагнит включения). Если АПВ успешно, после завода пружины привода схема снова готова к действию. При неуспешном АПВ срабатывает релейная защита, выключатель отключается, блок-контакт Q.2 замыкается, запускается реле времени КТ, после выдержки времени кратковременно замыкается импульсный контакт КТ.1, двухпозиционное реле переключает все свои контакты. После замыкания упорного контакта КТ.3 будет подана команда на включение выключателя по цепи SQ.2-Q.2-KL.4-SQ.4 (контакт SQ.4 замкнут когда привод готов к действию).

АПВ выключателя с электромагнитным приводом

В схеме однократного АПВ РПВ-58 (рис. 7.6) после оперативного включения выключателя начинается заряд конденсатора С по цепи SA1.1-R2. После окончания заряда (через 10 - 20 с) схема готова к действию. Контакт ключа SA1.1 остается замкнутым, фиксируя последнюю поданную команду. При срабатывании релейной защиты замыкается контакт АК, электромагнитом YAT отключается выключатель. Блок-контакт Q.2 размыкается, Q.1 замыкается, срабатывает реле положения выключателя «Отключено» KQT. Создается цепь запуска АПВ контактами SA1.1, KQT. Запускается реле времени КТ, дешунтируется резистор R1 для снижения тока через обмотку реле КТ во избежание его перегрева при длительных выдержках времени. Через некоторое время контакт КТ.2 замыкается, через него разряжается конденсатор С на обмотку KL.1. Реле KL срабатывает, замыкает контакты KL.1 и KL.2, через них подается напряжение в цепи ускорения защиты после АПВ и на электромагнит включения YAC, выключатель включается. При этом обмотка KL.2 обтекается током, реле KL встает на самоудержание.

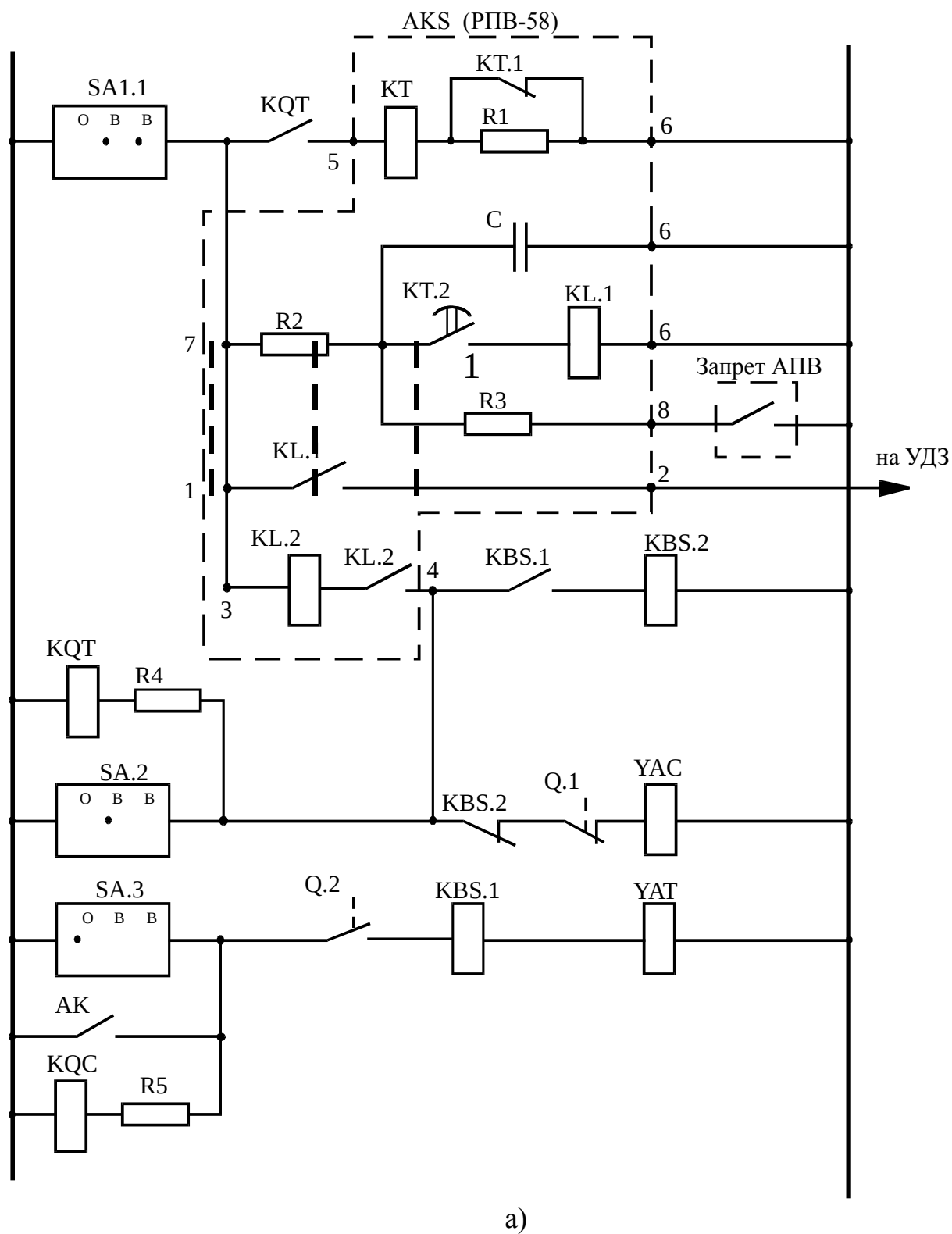
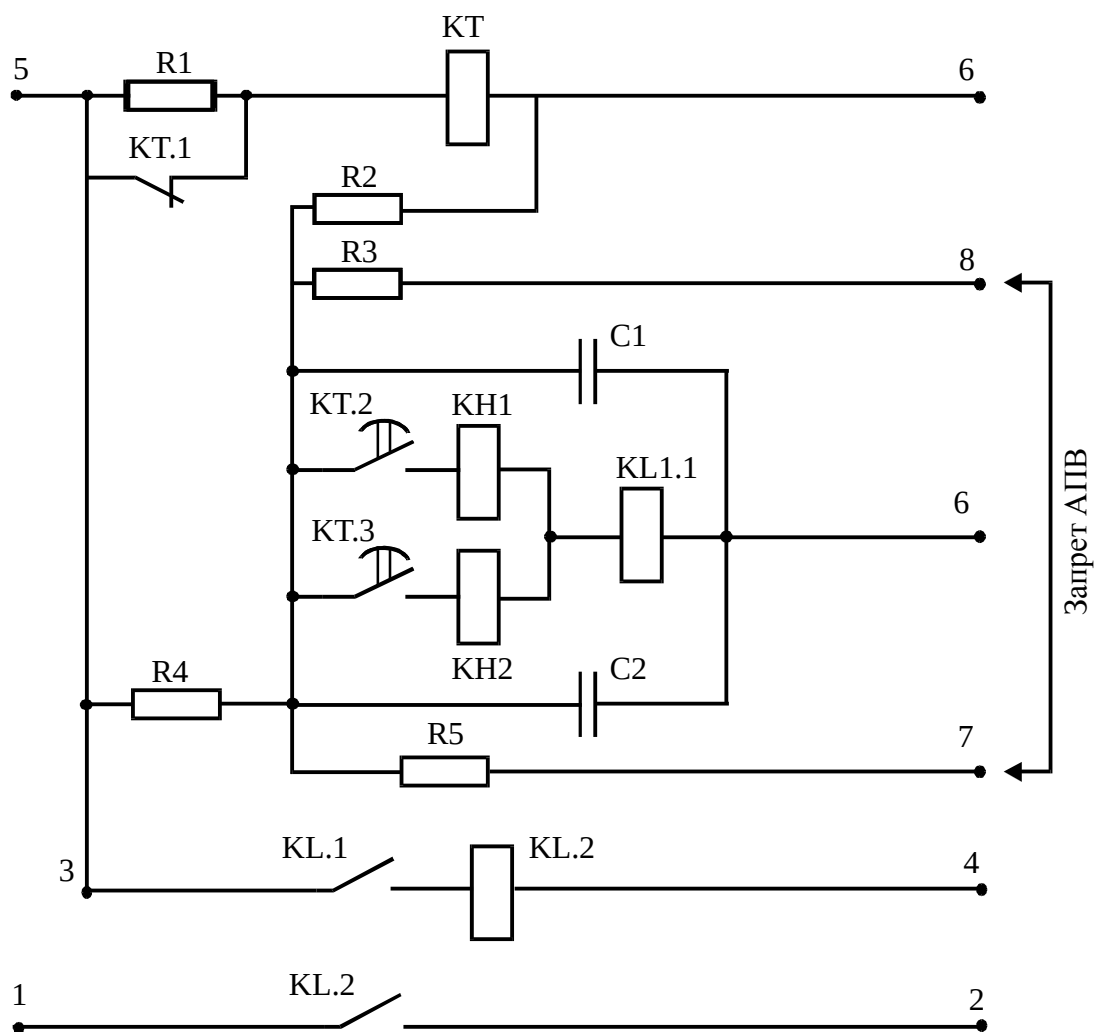


Рис. 7.6. АПВ выключателя с электромагнитным приводом: а – схема однократного АПВ с применением блока РПВ-58



б)

Рис. 7.6 (продолжение). АПУ выключателя с электромагнитным приводом; б – схема блока двукратного АПУ РПВ-258

Без самоудержания реле KL срабатывало бы кратковременно (разрядный ток конденсатора имеет импульсный характер), и электромагнит УАС не успел бы включить выключатель.

Если АПУ не успешно, снова срабатывает релейная защита, выключатель отключается, создается цепь запуска АПУ, срабатывает реле KT, однако к этому моменту конденсатор C еще не успел зарядиться и включения не произойдет. Таким образом, выполняется требование однократности.

Блок двукратного АПУ РПВ-258 (рис. 7.6 б) отличается от блока РПВ-58 наличием второго конденсатора и контакта реле времени KT.3.

При первой попытке включения разряжается конденсатор С1, при второй – С2. Контакт КТ.3 замыкается последним и имеет выдержку времени второго цикла АПВ. В остальном схема аналогична рассмотренной ранее.

Если схема АПВ применяется для воздушного выключателя, она должна быть дополнена цепями контроля давления воздуха в резервуарах. Если давление падает ниже допустимого предела, АПВ запрещается. Один из вариантов схемы контроля давления приведен на рис. 7.7.

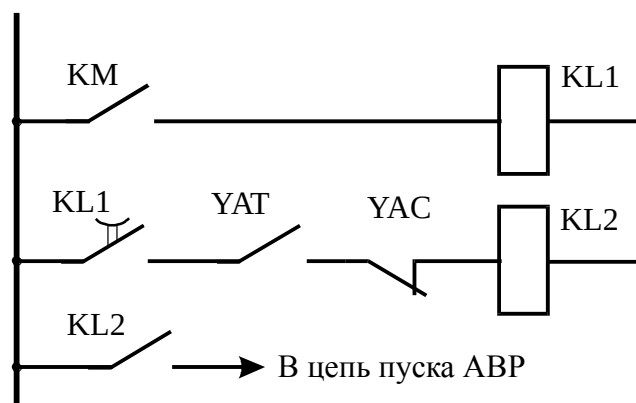


Рис. 7.7. Схема контроля давления в резервуарах воздушного выключателя

При нормальном давлении контакт КМ замкнут, обмотка реле КЛ1 при отключенном положении выключателя находится под напряжением, контакт КЛ1 замкнут. При снижении давления контакт КЛ1 с выдержкой времени размыкается, контакт КЛ2 в цепи запуска АПВ размыкается, запрещая включение выключателя. Выдержка времени на размыкание контакта КЛ1 необходима для отстройки от кратковременных колебаний давления при отключении выключателя.

Если на подстанции применяется телеуправление, выключатель может быть включен как от ключа непосредственно на подстанции, так и дистанционно. Поэтому положение контактов ключа управления может не соответствовать реальному положению выключателя, то есть ключ не обеспечивает фиксацию последней поданной команды. В данном случае в цепь запуска АПВ вместо контактов ключа SA вводятся контакты специального двухпозиционного реле фиксации положения выключателя КQ. Схема АПВ при наличии телеуправления приведена на рис. 7.8.

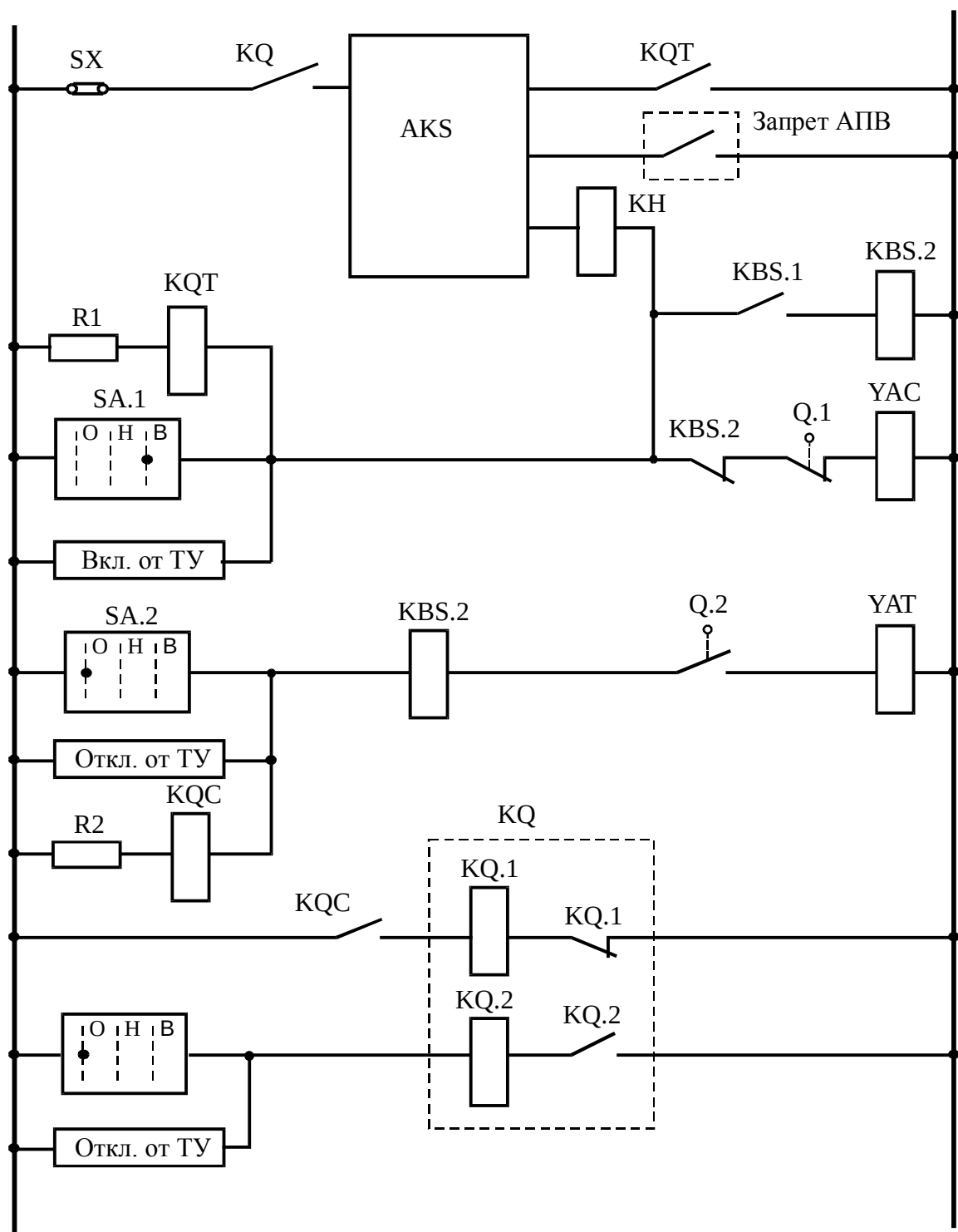


Рис. 7.8. АПВ при наличии на подстанции телеуправления (ТУ)
(KQ – реле фиксации положения выключателя)

АПВ с ожиданием синхронизма (АПВОС)

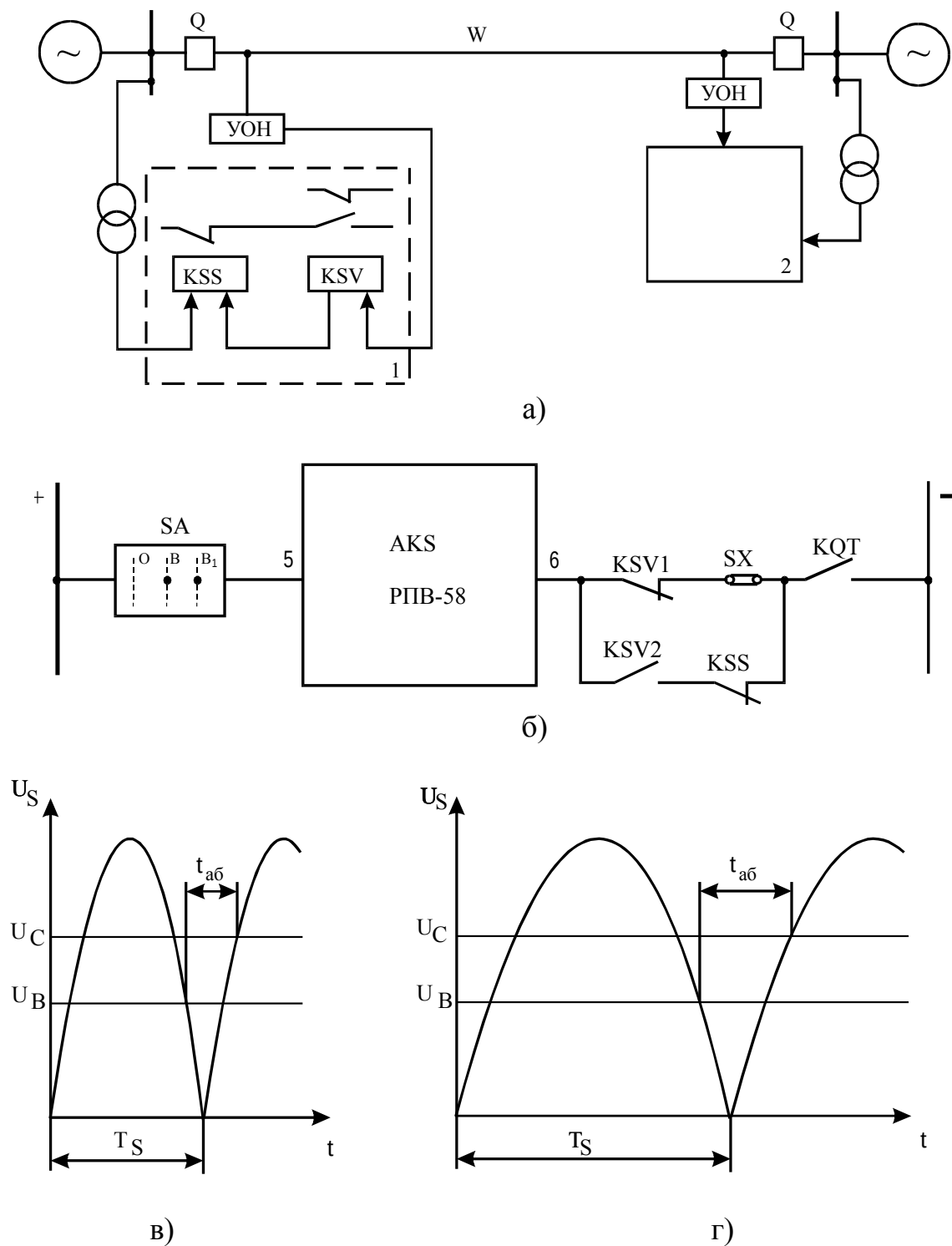


Рис. 7.9. Схема АПВОС: а— подключение пусковых органов; б— цепь запуска АПВОС на базе блока РПВ-58; в, г— диаграммы работы реле KSS в режимах с нарушением (в) и без нарушения (г) синхронизма

Для выполнения АПВОС обычная схема РПВ-58 дополняется специальными пусковыми органами, запрещающими АПВ при нарушении синхронизма между источниками, связанными рассматриваемой линией. Возле выключателей со стороны линии устанавливаются устройства отбора напряжения (УОН). Пусковые органы состоят из реле KSV, контролирующего наличие напряжения на линии, и реле KSS, оценивающего величину скольжения. Реле KSS имеет две обмотки, на которые подаются напряжения с двух сторон выключателя: от шин подстанции через трансформатор напряжения TV и от линии через УОН. Данное реле измеряет разность напряжений двух источников, то есть напряжение скольжения U_s , величина которого зависит от угла сдвига фаз этих напряжений δ . Если в цикле АПВ синхронизм нарушается, угол δ и напряжение U_s скольжения изменяется быстро (рис. 7.9 в). Время t_{ab} , в течение которого контакт реле KSS замкнут, меньше уставки срабатывания реле времени КТ, запуск АПВ не произойдет. Если угол δ и скольжение меняется медленно (рис. 7.9 г), то есть нарушения синхронизма нет, U_s также меняется медленно, время t_{ab} достаточно для срабатывания реле КТ, запуск АПВ будет выполнен.

Если в кольцевой сети имеется только один источник питания, нарушения синхронизма быть не может. В данном случае нет необходимости осуществлять контроль синхронизма (реле KSS из схемы АПВ исключается, см. рис. 7.10), достаточно предусмотреть только контроль напряжения на линии (реле KSV).

В схеме АПВ с пружинно-грузовым приводом на рис. 7.5 а контакты контроля синхронизма и напряжения могут быть включены вместо перемычки 1-2.

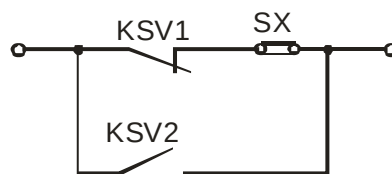


Рис. 7.9. Вариант реализации контроля напряжения без контроля синхронизма в схеме АПВ (для электрических сетей с одним источником питания).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернобровов Н.В. Релейная защита / Н.В.Чернобровов. - М.: Энергия, 1971.
2. Федосеев А.М. Релейная защита электроэнергетических систем. Релейная защита сетей / А.М.Федосеев. - М.: Энергоатомиздат, 1984.
3. Беркович М.А. Основы техники релейной защиты / М.А.Беркович, В.В.Молчанов, В.А.Семенов. - М.: Энергоатомиздат, 1984.
4. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения / В.А.Андреев. - М.: Высш. шк., 1991.
5. Беркович М.А. Основы автоматизации энергосистем / М.А.Беркович, А.Н.Комаров, В.А.Семенов. – М.: Энергоиздат, 1981.
6. Баркан Я.Д. Автоматизация энергосистем: Учебное пособие для студентов вузов / Я.Д.Баркан, Л.А.Орехов – М.: Высш. шк., 1981.
7. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 13А. Релейная защита понижающих трансформаторов и автотрансформаторов 110-500 кВ. Расчеты. - М.: Энергоатомиздат, 1985.
8. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 13Б. Релейная защита понижающих трансформаторов и автотрансформаторов 110-500 кВ. Расчеты. - М.: Энергоатомиздат, 1985.