

3.1 Классификация защит

К защитам с относительной селективностью относятся максимальные токовые защиты, максимальные токовые направленные защиты, токовые отсечки, защиты минимального или максимального напряжения, дистанционные защиты.

3.2 Максимальные токовые защиты



3.2.1 Схемы включения трансформаторов тока и токовых реле

3.2.2 Пример выполнения максимальной токовой защиты

3.2.3 Расчет параметров максимальной токовой защиты

Принцип действия максимальной токовой защиты основан на фиксации увеличения тока при возникновении короткого замыкания. Структурно схему максимальной токовой защиты, выполняющей функции защиты линии, можно представить в следующем виде (Рис.15).

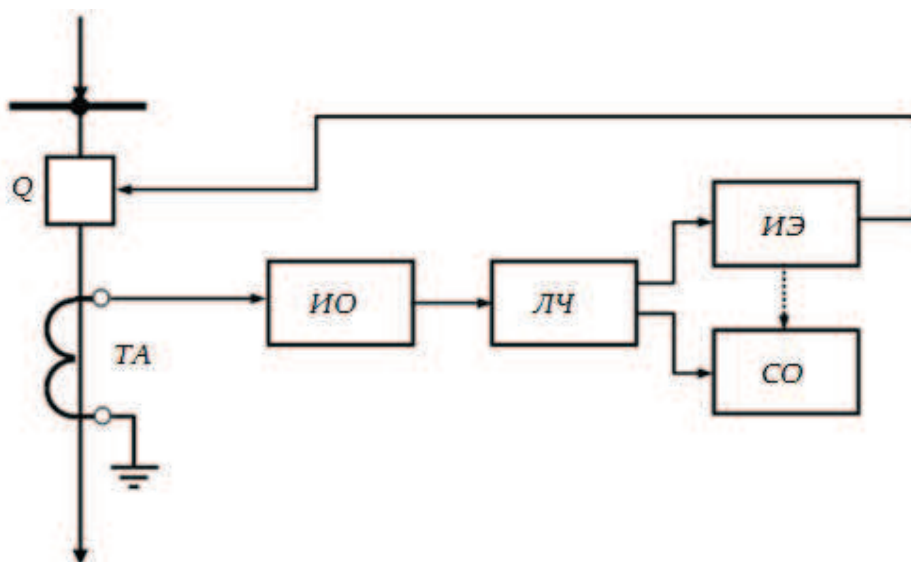


Рис.15 Структурная схема максимальной токовой защиты

Ток защищаемого объекта контролируется измерительным (пусковым) органом защиты **ИО**. Пусковой орган срабатывает, если контролируемая величина тока $I_{контр}$ становится больше максимально возможного рабочего значения $I_{раб\max}$

$$I_{контр} > I_{раб\max}$$

Хотя любое короткое замыкание сопровождается увеличением тока, фиксация данного признака не позволяет сделать однозначного вывода о повреждении объекта.

Пусть линии сетевого участка, представленного на Рис.16, оборудованы максимальной токовой защитой.

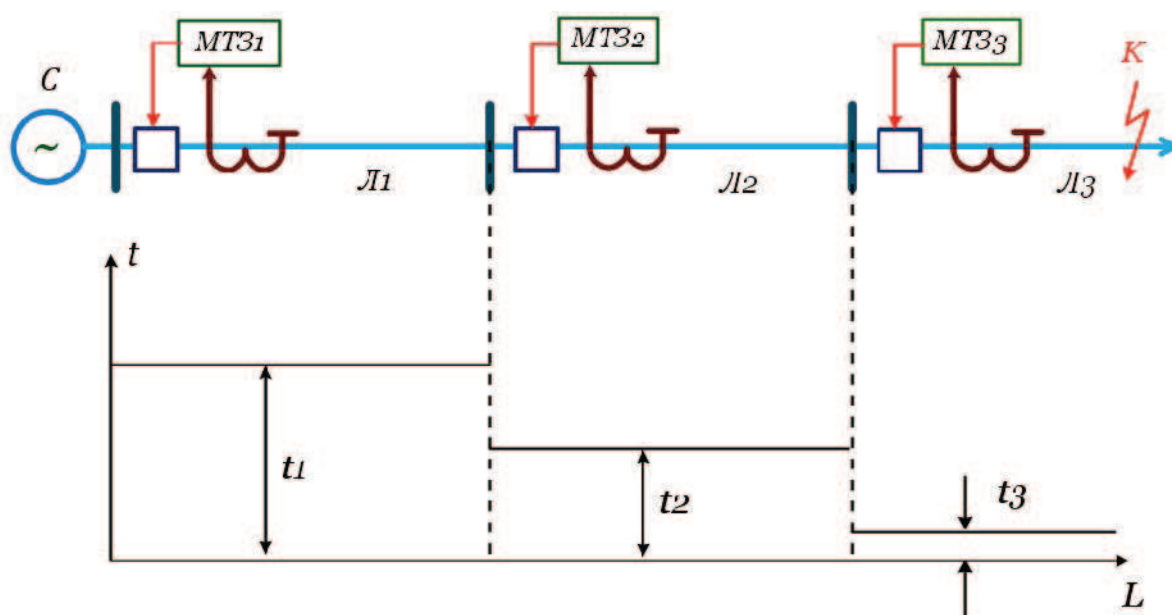


Рис.16 Пример выбора выдержек времени

В случае возникновения короткого замыкания на линии $Л_3$ в точке $К$ по условиям селективности должна быть подана команда на отключение выключателя Q_3 . Короткое замыкание приводит к протеканию тока повреждения по всем линиям, что вызывает срабатывание пусковых органов всех трех защит. Требование селективности обеспечивается логическая часть **ЛЧ** путем создания задержки на срабатывание, выбираемой по следующему правилу. Защита, наиболее удаленная от источника питания, должна иметь минимальное время срабатывания. По мере приближения к источнику питания выдержки времени защит увеличиваются на величину Δt , называемую ступенью селективности. Для приведенного примера

$$t_3 \approx 0; t_2 = t_3 + \Delta t; t_1 = t_2 + \Delta t.$$

Степень селективности учитывает время отключения выключателей, погрешности элемента задержки на срабатывание. Обычно Δt принимается равной (0,4 – 0,6) сек.

Исполнительный элемент **ИЭ** воспринимает сигнал логической части и формирует команду на отключение выключателя. Сигнальный орган **СО** фиксирует срабатывание защиты.

Элементы максимальной токовой защиты - пусковой, логический, исполнительный, сигнальный выполняются на реле. Под термином «реле» понимается группа приборов автоматического управления, скачкообразно меняющих свое состояние при достижении входной величины определенного значения, то есть обладающих релейной характеристикой срабатывания (Рис.17).

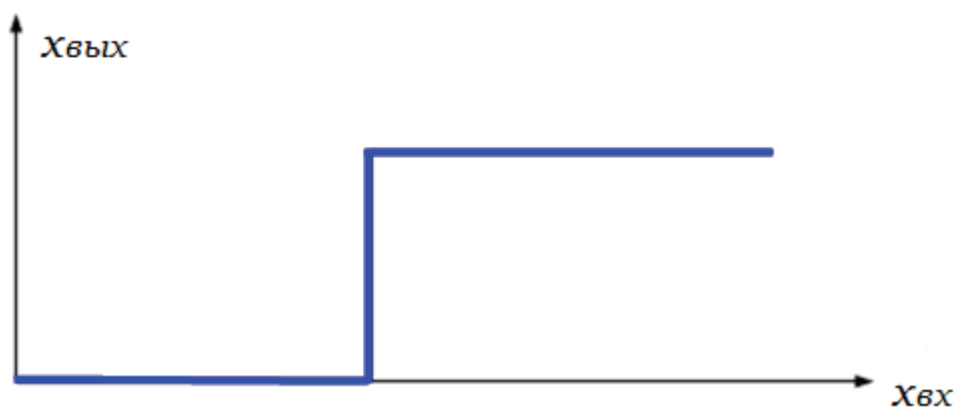


Рис.17 Релейная характеристика срабатывания:
 $x_{вх}$ - входная величина; $x_{вых}$ - выходная величина.

Реле могут выполняться на электромагнитном и индукционном принципах, на аналоговой или цифровой микроэлектронике.

Электромагнитные реле тока

Конструктивно реле представляет стальной сердечник **1**, с размещенными на нем обмотками **2** (Рис.18). В зазоре между полюсами электромагнита размещен стальной подвижный якорь **3** с закрепленным на нем контактом **4**. В исходном состоянии якорь удерживается за счет пружины **6** и упора **7**. При протекании тока по обмотке реле создается электромагнитная сила

$$F_{\text{э}} = k \frac{I^2 w^2}{R_m^2}$$

где k - коэффициент пропорциональности, учитывающий особенности конструктивного выполнения реле тока;

I_p - ток в реле;

w - число витков обмоток;

R_m - сопротивление магнитной цепи.

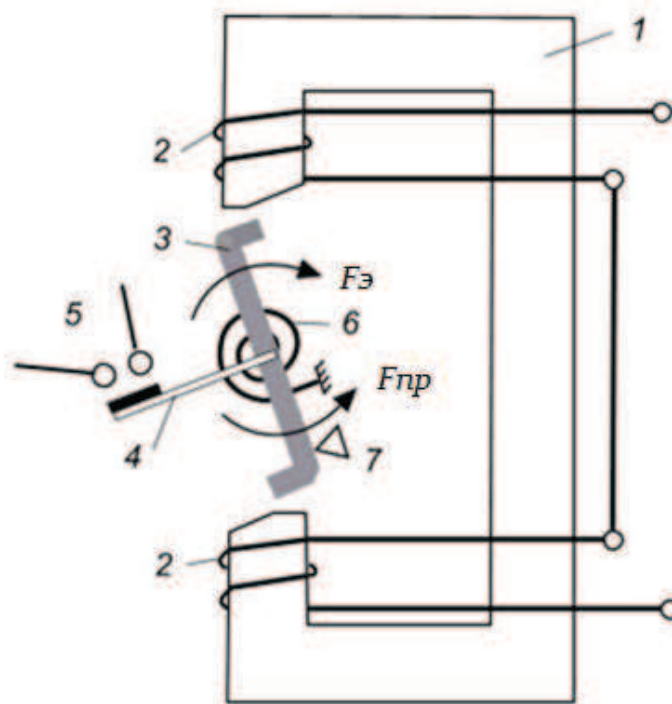


Рис.18 Схема электромагнитного реле тока

Реле срабатывает, когда электромагнитная сила $F_э$ преодолет момент, создаваемый противодействующей пружиной, и контакты **4, 5** замкнутся. Ток, при котором срабатывает реле, называется током срабатывания реле $I_{ср}$. В момент срабатывания $F_э = F_{пр}$, тогда

$$I_{ср}^2 = \frac{F_{пр} R_m^2}{k w^2} \quad \text{и} \quad I_{ср} = \frac{R_m}{k_1 w} \sqrt{F_{пр}}.$$

Из последнего выражения следует, что оперативно величину тока срабатывания реле можно регулировать, меняя сопротивление противодействующей пружины и число витков обмоток реле.

Если после срабатывания реле уменьшать ток в обмотке, то при некотором значении тока, называемом током возврата реле, якорь реле вернется в исходное состояние. Отношение тока возврата реле $I_{вр}$ к току срабатывания $I_{ср}$ является нормативным параметром и называется коэффициентом возврата реле:

$$k_{\sigma} = \frac{I_{\sigma p}}{I_{\sigma p}}$$

Полупроводниковые реле

В настоящее время выпускается большое количество статических реле различных модификаций. Однако принцип их действия практически одинаков и сводится к сравнению подводимого измеряемого сигнала с опорным (Рис.19).

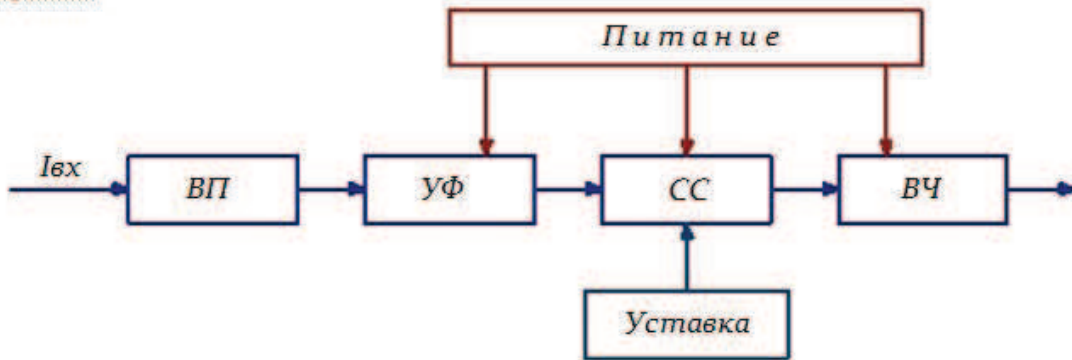


Рис.19 Структурная схема статического реле защиты

Реле состоит из следующих основных блоков:

1. Входной преобразователь **ВП** содержит измерительный преобразователь, на вход которого подается сигнал от трансформаторов тока защищаемого объекта. Измерительные преобразователи представляют собой промежуточные трансформаторы или трансреакторы, которые трансформируют входной сигнал до величины, определяемой условиями управления операционными усилителями. Одновременно преобразователи отделяют полупроводниковую часть реле от вторичных цепей защищаемого объекта. Наряду с основными функциями они решают задачу защиты реле от высокочастотных наводок. Пример простейшего преобразователя тока представлен на Рис.20.

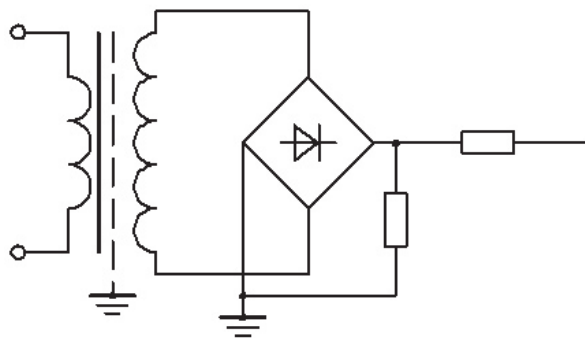


Рис.20 Преобразователь тока с выпрямителем

2. Для получения нужной характеристики реле выходной сигнал, подаваемый с преобразователя, необходимо подвергнуть специальной обработке в узле формирования $УФ$. Способ и объем такой обработки определяется конкретным типом реле.

Типовые звенья $УФ$ и их характеристики рассмотрены ниже.

Повторитель напряжения. Повторитель напряжения образуется путем соединения выхода операционного усилителя с его инвертирующим входом (Рис.21). Подобный вид обратной связи называют 100% отрицательной обратной связью. Для схемы характерно высокое входное сопротивление и малое выходное. Повторитель напряжения обычно включают между источником сигнала и нагрузкой с целью исключить влияние нагрузки на выходное напряжение источника.

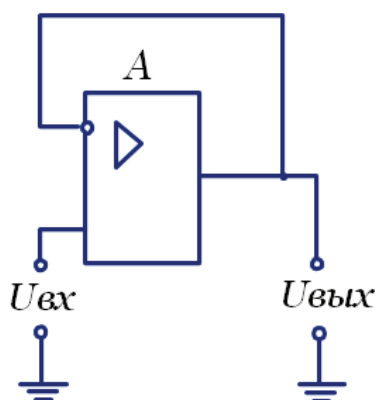


Рис.21 Повторитель напряжения

Коэффициент усиления повторителя напряжения $k_U = U_{вых}/U_{вх} = 1$.

Инвертирующий усилитель. Схема простейшего инвертирующего усилителя показана на Рис.22.

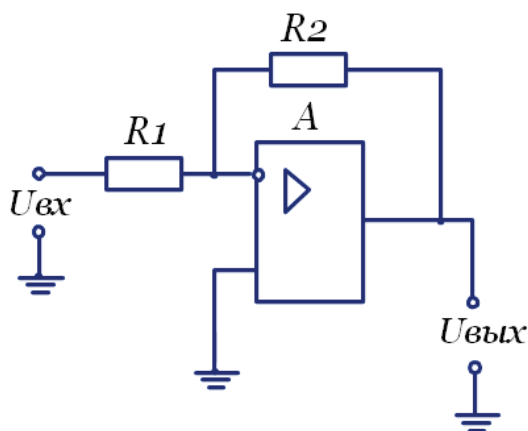


Рис.22 Инвертирующий усилитель

Коэффициент усиления схемы определяется соотношением сопротивлений в цепях входа и обратной связи $k_U = -R_2/R_1$. Это соотношение с достаточной степенью точности может быть применено к реальным операционным усилителям.

Инвертирующий усилитель применяется в основном в тех случаях, когда нужен усилитель, к которому не предъявляются требования высокого входного сопротивления, и когда нужно проинвертировать или просуммировать несколько входных сигналов.

Неинвертирующий усилитель. Схема неинвертирующего усилителя показана на Рис.23.

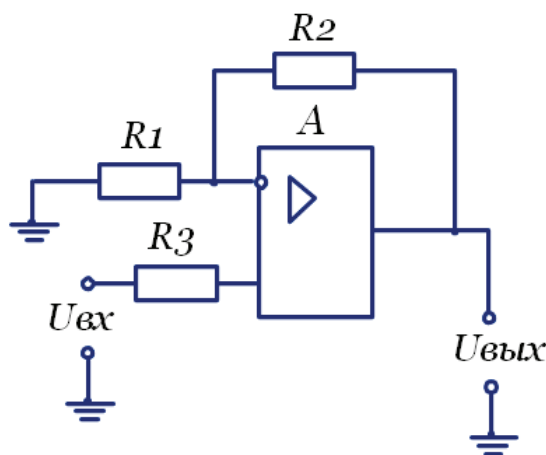


Рис.23 Неинвертирующий усилитель

Входной сигнал подается на неинвертирующий вход операционного усилителя. На инвертирующий вход подается часть выходного напряжения с помощью отрицательной обратной связи и резистивного делителя. Коэффициент усиления схемы с идеальным операционным усилителем может быть определен из выражения $k_U = 1 + \frac{R_2}{R_1}$.

Благодаря высокому входному сопротивлению неинвертирующий усилитель часто применяют в качестве масштабирующего усилителя.

Усилители-ограничители. В реле защиты часто требуется ограничить уровень выходного напряжения. Ограничения можно выполнить за счет включения в цепь обратной связи параллельно сопротивлению двух встречно включенных стабилитронов (Рис.24).

При подъеме выходного напряжения более $U_{см} + 0,7В$ сопротивление обратной связи шунтируется и рост выходного напряжения прекращается.

Схемы сумматоров. Выходное напряжение в схеме сумматора пропорционально сумме входных напряжений. Они обладают малым собственным потреблением и успешно применяются в схемах формирователей сигналов. В качестве примера на Рис.25 показана схема сумматора для трех сигналов на основе инвертирующего усилителя.

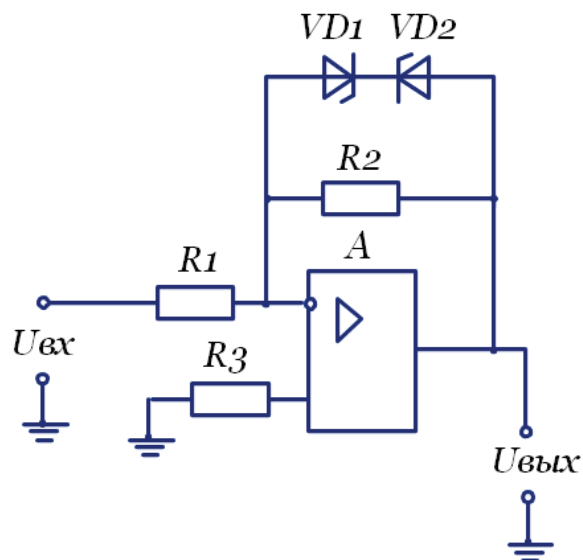


Рис.24 Усилитель-ограничитель

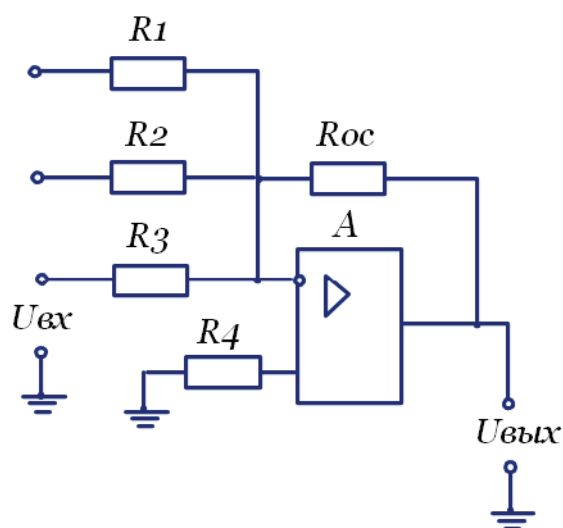


Рис.25 Схема сумматора

Выходное напряжение для этой схемы

$$U_{вых} = -(U_1/R_1 + U_2/R_2 + U_3/R_3)R_{OC}.$$

Активные фильтры. Активные фильтры часто применяются в технике релейной защиты в силу своей простоты при настройке, отсутствии нелинейных индуктивностей, малых габаритов и потребления.

В силу своего назначения могут выполняться как фильтры нижних частот **ФНЧ**, фильтры верхних частот **ФВЧ**, полосовые фильтры **ПФ**, режекторные фильтры **РФ**. На Рис.26 показаны примеры амплитудно-частотных характеристик таких фильтров, представляющих собой зависимость выходного напряжения от частоты входного.

На каждой их характеристик могут быть выделены три полосы частот: **a** - полоса пропускания, где выходное напряжение имеет наибольшее значение; **c** - полоса подавления, где выходное напряжение минимально; **b** - переходная полоса, полоса частот в пределах которой выходное напряжение меняется от максимального до минимального значения или наоборот. Чем уже переходная характеристика, тем ближе характеристика фильтра к идеальной.

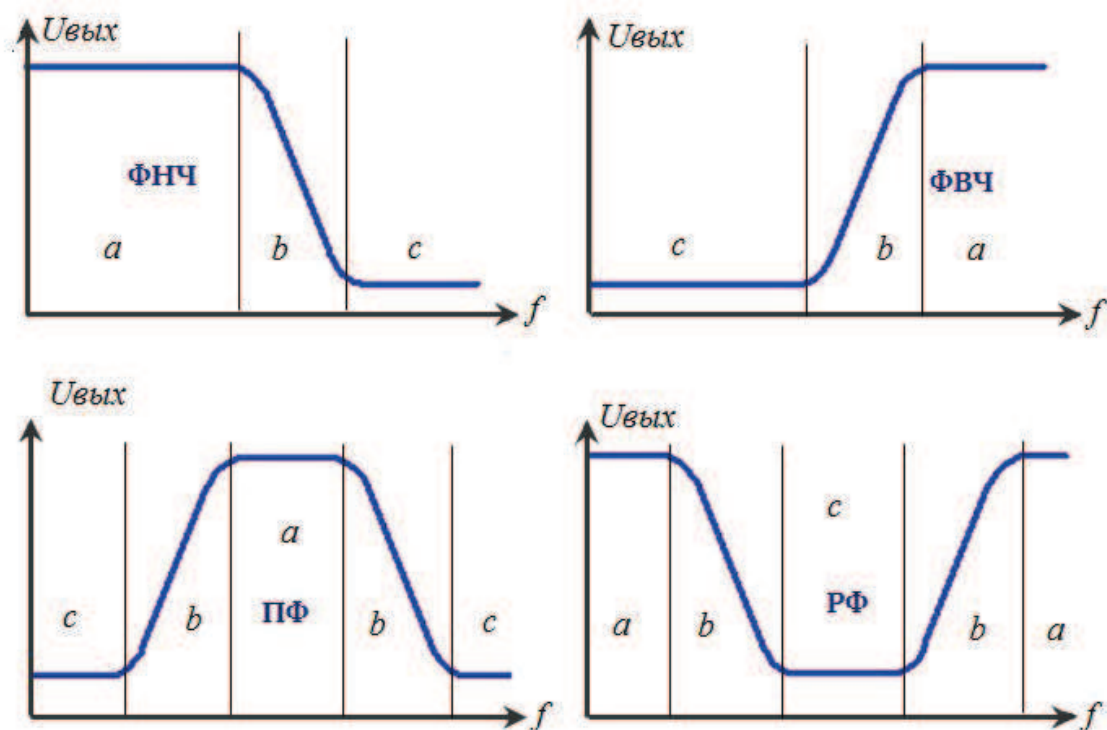
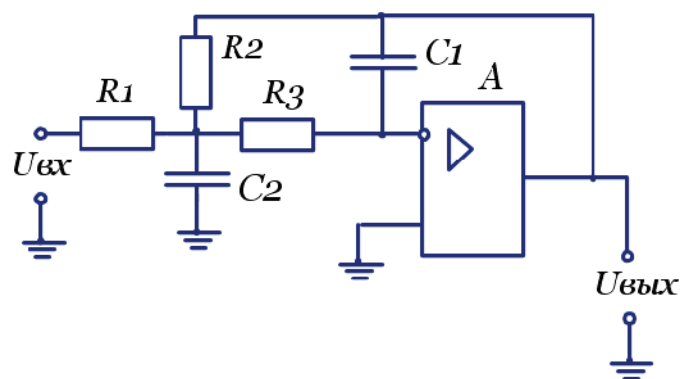
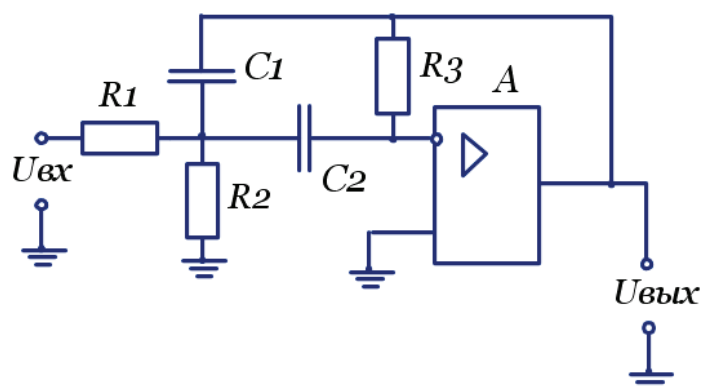


Рис.26 Амплитудно-частотные характеристики активных фильтров

В реле защиты широко применяются активные фильтры второго порядка, в которых содержится два **RC**-звена. Такой выбор считается оптимальным с точки зрения функциональных возможностей фильтра С и обеспечения требований быстродействия защиты. На Рис.27 представлены примеры фильтра нижних частот с многопетлевой обратной связи и полосно-пропускающего фильтра.



a)



б)

Рис.27 Примеры активных фильтров:

а) фильтр нижних частот с многонетлевой обратной связью;

б) полосно-пропускающий фильтр.

Описанные схемы охватывают только часть наиболее часто встречающихся вариантов выполнения блоков узла формирования.

3. В схеме сравнения *СС* сформированные сигналы измерительного тракта сравниваются с опорным напряжением, называемым уставкой реле. Для срабатывания реле необходимо, чтобы входной сигнал превысил заданное значение опорного сигнала. В релейной защите в качестве элементов схемы сравнения широко используются компараторы. Напряжение на выходе компаратора находится на одном из двух фиксированных уровней: на верхнем, если напряжение на неинвертирующем входе компаратора больше напряжения на инвертирующем входе; и на нижнем, при противоположных соотношениях напряжений.

Для работы в качестве компаратора может быть применен обычный операционный усилитель. Одна из типовых схем компаратора приведена на Рис.28.

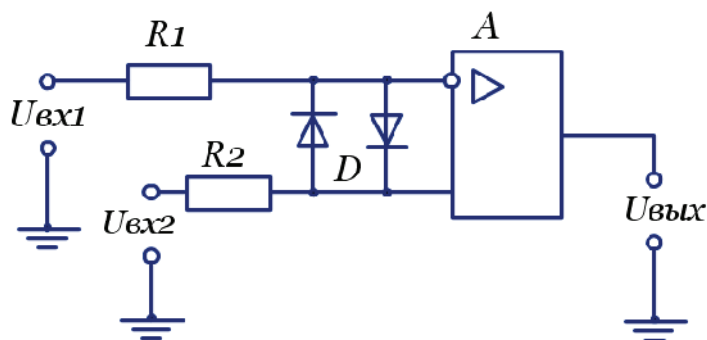


Рис.28 Пример выполнения компаратора для однополярных сигналов

На первый вход подается измеряемый сигнал, на второй - опорный. Если измеряемое напряжение меньше опорного, то на выходе схемы держится максимальное выходное напряжение, совпадающее по знаку с опорным. Как только измеряемое напряжение превысит опорное полярность выходного сигнала меняется на противоположную. Диоды защищают входы операционного усилителя от повышенных значений разности сравниваемых напряжений.

Приведенная схема обладает существенным недостатком, который проявляется в случае примерного равенства сравниваемых напряжений - неустойчивость опрокидывания. Для устранения "дребезга" компаратора широко применяется схема инвертирующего триггера Шмитта, Рис.29. Триггер Шмитта представляет собой компаратор с одним заземленным входом, заданным опорным напряжением и положительной обратной связью.

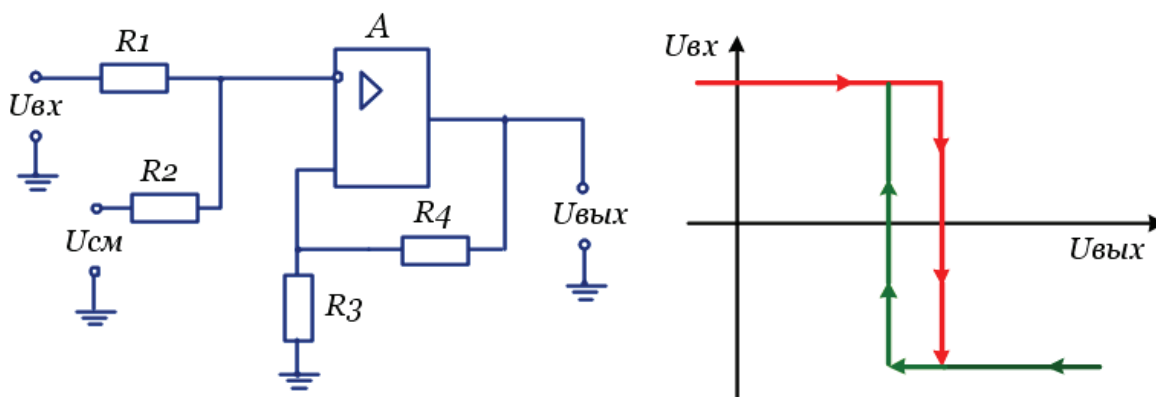


Рис.29 Триггер Шмитта и его передаточная характеристика

Передаточная характеристика такой схемы имеет четко выраженный "релейный" характер.

4. Выходная часть **ВЧ** выполняется с помощью электромагнитного или герконового реле. Одна из возможных схем выходной части статического реле показана на Рис.30. На один из концов обмотки реле K_1 подается "плюс" оперативного тока 220 В , а другой подключается к коллектору транзистора VT_1 . Транзистор управляется сигналом от схемы сравнения.

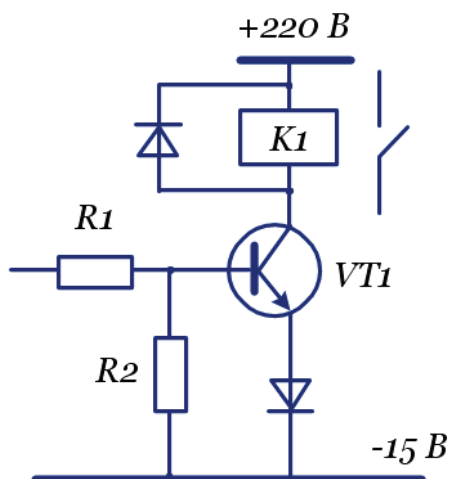


Рис.30 Схема выходной части статического реле

5. Для питания полупроводниковых элементов на схему реле должно быть подано напряжение $\pm 15\text{ В}$. Если источником оперативного питания является аккумуляторная батарея на 220 В , то применяются специальные интегральные микросхемы, или питание может быть организовано с помощью стабилитронов, Рис. 31.

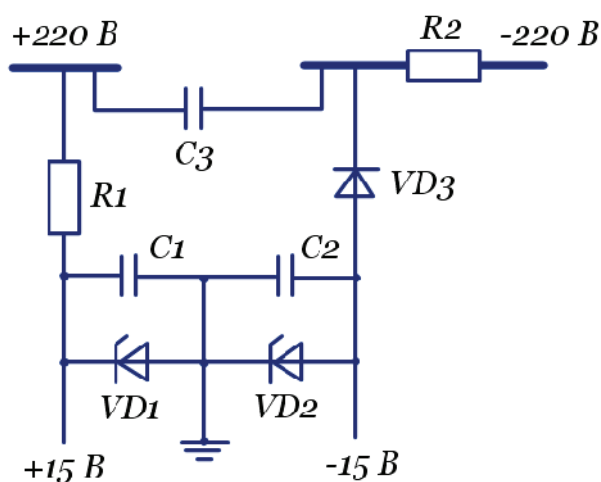


Рис.31 Схема питания реле от сети постоянного оперативного тока 220 В

В качестве примера на Рис.32 приведена структурная схема токового реле типа РСТ-13, выпускаемого отечественной промышленностью.

Ток от трансформаторов тока через промежуточный трансформатор TLA подается на выпрямительный мост V_1 , работающий на активную нагрузку R_1 . Далее контролируемый сигнал в виде выпрямленного напряжения, пропорционального току, поступает на инвертирующий вход однопорогового компаратора A_1 . На неинвертирующий вход компаратора подается опорный сигнал с блока задания уставок. Блок задания уставок представляет собой делитель напряжения с переключателями, которыми шунтируются резисторы делителя. При изменении положения переключателей изменяется доля напряжения, подаваемая на вход компаратора. Если значение поступающего сигнала меньше опорного, то конденсатор C заряжен положительным напряжением насыщения усилителя A_1 , примерно на 1-2 В отличающимся от уровня напряжения питания, до напряжения стабилизации стабилитрона VD_3 . На выходе компаратора A_2 напряжение отрицательно, и транзистор VT_1 закрыт.

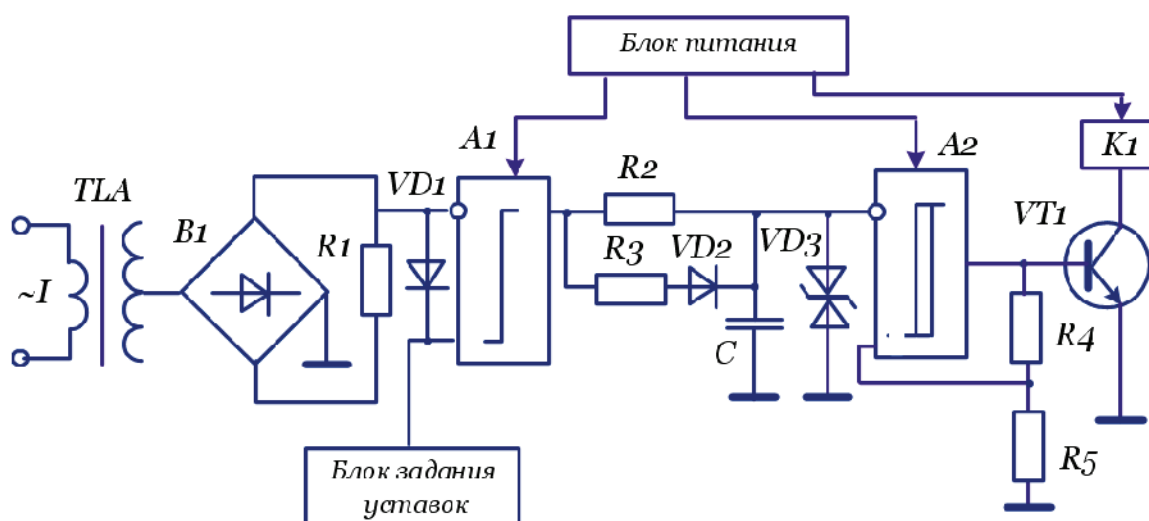


Рис.32 Структурная схема реле тока типа РСТ 13

При увеличении входного сигнала до значения больше опорного напряжения компаратор A_1 меняет свое состояние, конденсатор перезаряжается через сопротивление R_2 , на выходе компаратора A_2 появляется напряжение положительной полярности, транзистор VT_1 открывается, реле срабатывает.

Времязадающая цепочка, содержащая резисторы R_2, R_3 , конденсатор C и стабилитрон VD_3 обеспечивает отстройку реле от помех, приводящих

к кратковременному опрокидыванию компаратора A_1 . Положительная обратная связь усилителя A_2 , выполненная на резисторах R_4, R_5 , обеспечивает гистерезис в переходной характеристике для исключения неопределенности момента переключения, т.е. для предотвращения "дребезга".

По своим техническим данным реле типа РСТ 13 близко к электромагнитным реле. Так коэффициент возврата превышает 0,9, время действия при $1,2I_{срр}$ не более 60 мс, при $3I_{срр}$ - не более 35 мс.

Микропроцессорные реле тока

Цифровое реле тока имеет много общего с цифровыми реле различного назначения и структурно его можно представить в виде, представленном на Рис.33.

Общими для всех цифровых реле являются входные преобразователи, аналого-цифровые преобразователи **АЦП**, один или несколько микропроцессоров для обработки поступившей информации, клавиатура, дисплей, блок питания и выходной блок.

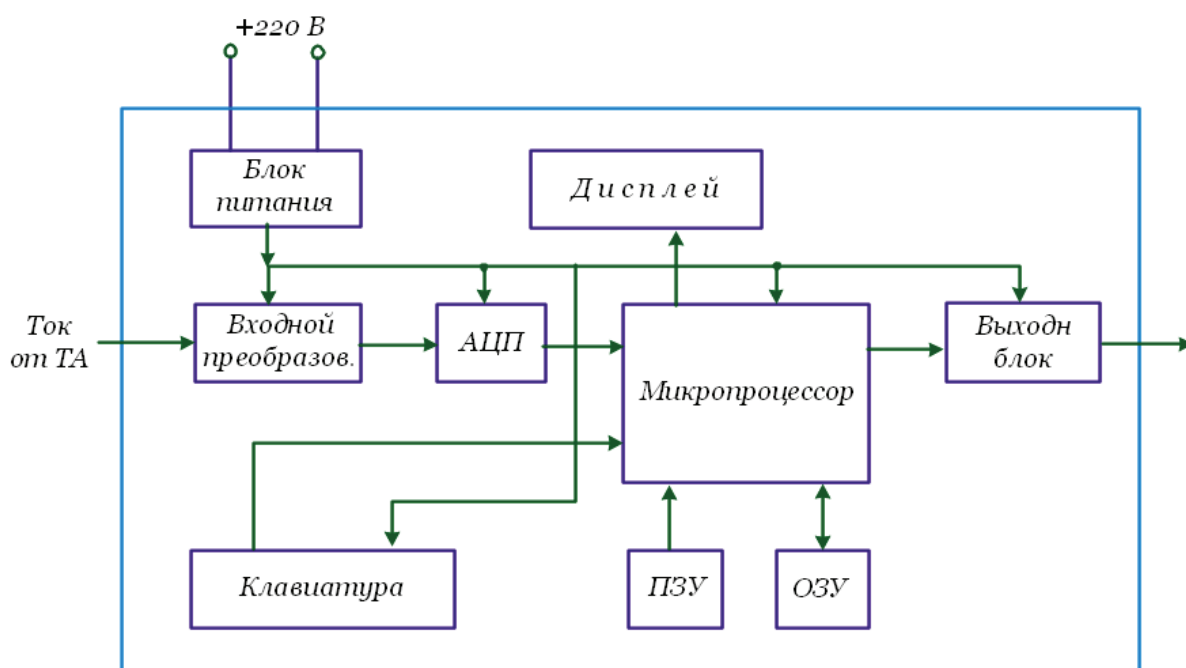


Рис.33 Структурная схема цифрового реле тока

Входные преобразователи обеспечивают гальваническую развязку схемы реле от внешних цепей, нормируют входной сигнал и выполняют его предварительную фильтрацию.

Аналого-цифровой преобразователь АЦП выполняет преобразование мгновенного значения входного сигнала в пропорциональное ему цифровое значение. Процесс перехода от аналогового сигнала к дискретному называется *квантованием* сигнала, Рис.34. Квантование всегда происходит с некоторой потерей информации из-за того, что для точного восстановления первоначального сигнала из его дискретного представления частота выборок должна по крайней мере вдвое превышать самую высокочастотную гармоническую составляющую входного сигнала и, соответственно, из входного сигнала должны быть исключены все гармоники с частотой, более высокой чем частота квантования. В устройствах релейной защиты и автоматики применяют **АЦП** с частотой выборок от 600 до 2000 Гц.

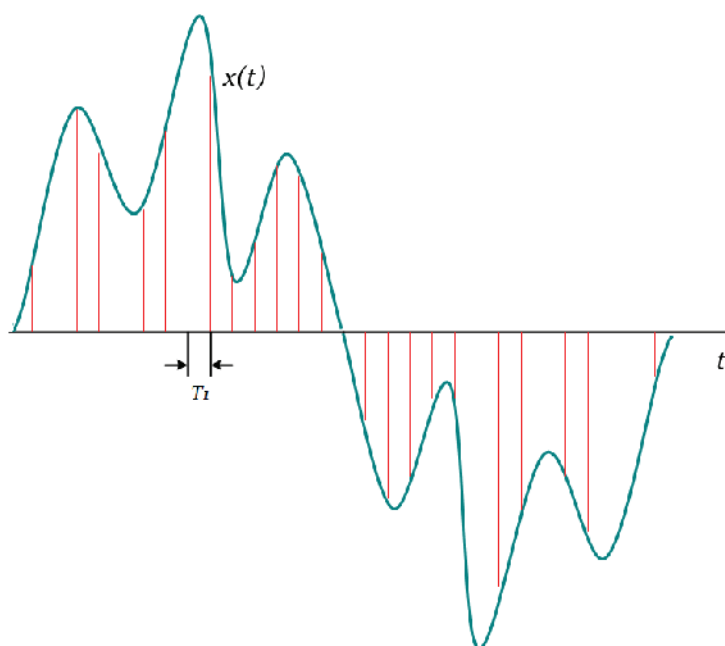


Рис.34 Квантование входного сигнала
 $x(t)$ - входной аналоговый сигнал; T_1 - время дискретизации.

Блок питания предназначен для обеспечения стабилизированным напряжением всех узлов реле, независимо от возможных изменений питающей сети. Блок питания может работать от сети постоянного или переменного тока.

Дисплей и клавиатура позволяют оператору получить информацию от устройства, изменить режим его работы, вводить информацию в реле. Дисплей и клавиатура в цифровых реле реализуются в максимально упрощенном виде: дисплей – цифробуквенный, однострочный; клавиатура – несколько кнопок.

Выходной блок формирует дискретный сигнал управления на защищаемый объект с гальванической развязкой коммутируемых цепей.

Микропроцессор является управляющим и решающим блоком реле. Программа его работы хранится в постоянном запоминающем устройстве **ПЗУ**. Для хранения промежуточных результатов вычислений применяется оперативное запоминающее устройство **ОЗУ**.

Определение контролируемого параметра, тока, основано на вычислении среднего или действующего значения периодической временной функции $x(t)$

$$x_{cp}(t) = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} |x(t)| dt;$$

$$x(t) = \sqrt{\left(\frac{1}{T} \int_t^{t+T} x^2(t) dt \right)}.$$

В реальном времени результат вычисления этого интеграла может быть получен только после наблюдения за контролируемым сигналом $x(t)$ в течение периода T , поэтому собственное время срабатывания цифровых реле осталось практически таким же, как у их электромеханических аналогов.

Теоретически можно мгновенно определить для любого момента времени амплитуду и фазу синусоидального сигнала $x(t) = X \sin(\omega_n t + \varphi)$ частоты ω_n по известному его мгновенному значению и значению производной. Решение системы уравнений

$$\begin{cases} x(t) = X \sin(\omega_n t + \varphi); \\ x'(t) = \omega_n X \cos(\omega_n t + \varphi) \end{cases}$$

относительно X и φ дает ответ

$$X = \sqrt{x^2(t) + \left[\frac{x'(t)}{\omega_n} \right]^2};$$

$$\varphi = \arctg \frac{\omega_n x(t)}{x'(t)} - \omega_n t.$$

Практически такой алгоритм требует усреднения нескольких выборок из-за неточности измерения производной, наличия помех и реального увеличения быстродействия достичь не удается.

Однако в целом, полупроводниковые реле, по сравнению с электромагнитными и индукционными, обладают более высокой точностью, требуют меньших затрат на эксплуатацию, более просты в наладке. Важным достоинством полупроводниковых реле является наличие сервисных функций, таких, как тестирование и самодиагностика.

3.2.1 Схемы включения трансформаторов тока и токовых реле

Практически все электроэнергетические объекты выполняются в трехфазном исполнении. Это обстоятельство должно быть учтено при проектировании устройств релейной защиты и, в частности, при выборе схем соединения обмоток трансформаторов тока и измерительных органов реле.

Наиболее распространенные схемы рассмотрены ниже.

Схема полной звезды

При таком способе соединения трансформаторы тока устанавливаются на все фазы. Во вторичную цепь каждого трансформатора тока подключаются реле, кроме того, одно реле ставится в нулевом проводе (Рис.35).

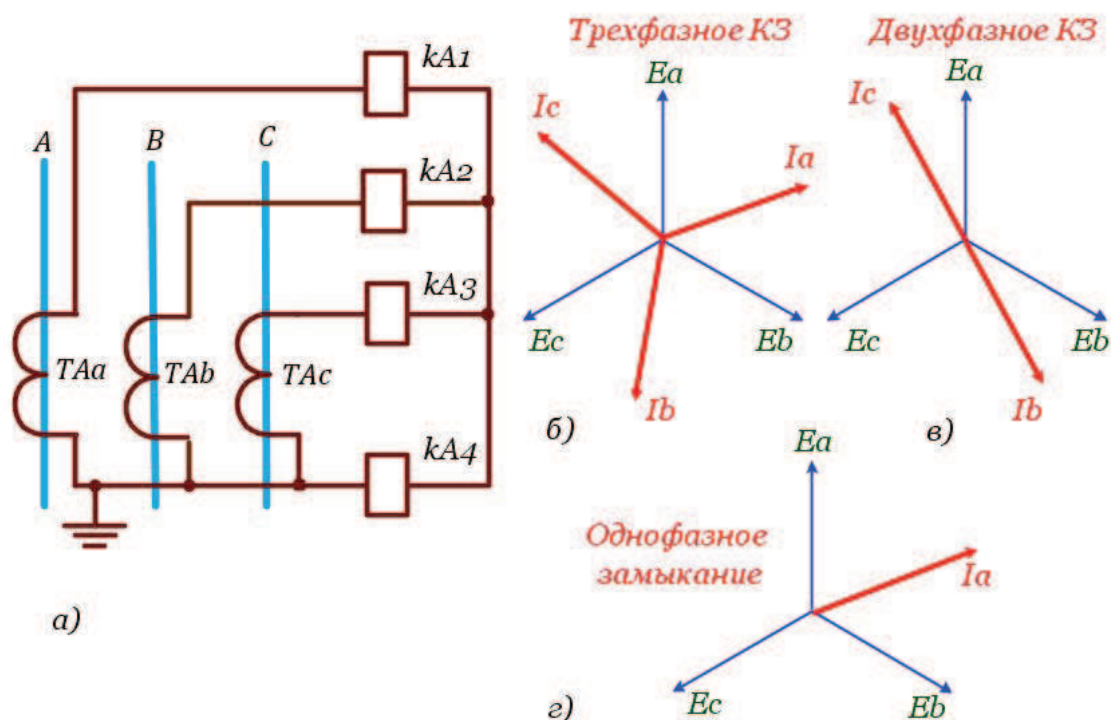


Рис.35 Соединение трансформаторов тока и реле по схеме полной звезды: а) схема полной звезды; б) векторная диаграмма токов при трехфазном замыкании; в) векторная диаграмма токов при замыкании фаз А и С; г) векторная диаграмма токов при замыкании фазы А на землю.

При трехфазном замыкании (Рис.35,б) срабатывают три реле: KA_1 , KA_2 , KA_3 ; при двухфазном (Рис.35,в) - два реле; при однофазном, (Рис.35,г) – два реле.

Выводы:

1. Схема полной звезды реагирует на все виды замыканий.
2. Схема одинакова чувствительна ко всем видам повреждений.
3. Схема отличается надежностью, так как при любом замыкании срабатывают, по крайней мере, два реле.

Схема неполной звезды

Трансформаторы тока устанавливаются на двух фазах, обычно на фазах A и C , к ним подключаются реле. Дополнительно, в нулевой провод устанавливается еще одно реле (Рис.36,а).

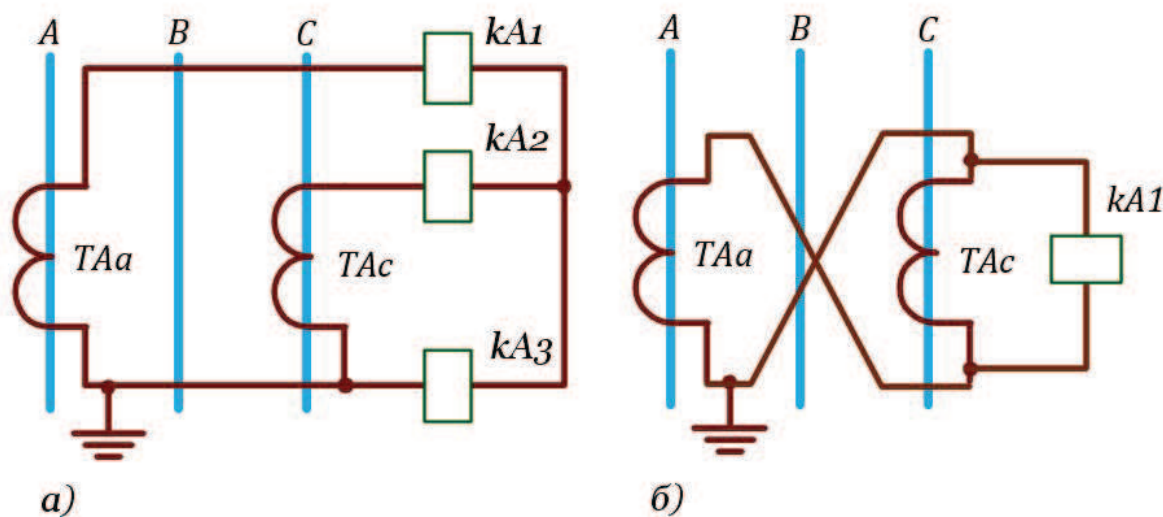


Рис.36 Схемы соединения трансформаторов тока и реле:
 а) в неполную звезду; б) на разность токов двух фаз

Рассмотрев поведение защиты при различных видах замыканий, нетрудно заметить, что при трехфазном замыкании работают три реле, при двухфазном - два; при замыкании фазы B на землю защита не работает.

Выводы

1. Схема неполной звезды реагирует на все виды междуфазных замыканий.
2. Схема достаточно надежна - при любом междуфазном замыкании срабатывают, по крайней мере, два реле.
3. Для ликвидации однофазных замыканий требуется установка дополнительной защиты.

Схема включения трансформаторов тока и реле на разность токов двух фаз

Для реализации этой схемы трансформаторы тока устанавливаются в двух фазах, начало каждой обмотки трансформатора тока соединяется с концом другой, и параллельно обмоткам подключается реле (Рис.36,б).

Анализ поведения схемы при различных повреждениях показывает, что такое соединение позволяет выполнить защиту от всех видов междуфазных замыканий. Схема отличается экономичностью, но в то же время обладает сравнительно невысокой надежностью - отказ реле ведет к отказу защиты. Защита имеет разную чувствительность к различным видам междуфазных замыканий.

Схема включения трансформаторов тока и реле в фильтр токов нулевой последовательности

Трансформаторы токов устанавливаются во всех трех фазах, их вторичные обмотки соединяются между собой параллельно (Рис. 37).

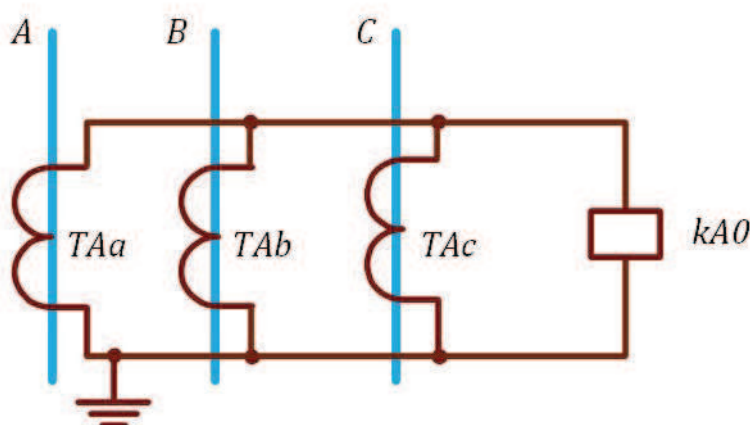


Рис.37 Схема соединения трансформаторов тока и реле в фильтр токов нулевой последовательности

При возникновении трехфазного замыкания - реле не сработает.

При двухфазном замыкании, например фаз *A* и *B* - реле не сработает.

При возникновении однофазного короткого замыкания, например, фазы *A* на землю - реле сработает.

Выводы

1.Схема работает только при замыканиях на землю.

2.Схема находит применение для защиты от замыканий на землю в сетях с глухозаземленной нейтралью.

3.2.2 Пример выполнения схемы максимальной токовой защиты

На Рис.38 показана полная схема максимальной токовой защиты на постоянном оперативном токе с электромеханическими токовыми реле. Трансформаторы тока и реле соединены по схеме неполной звезды.

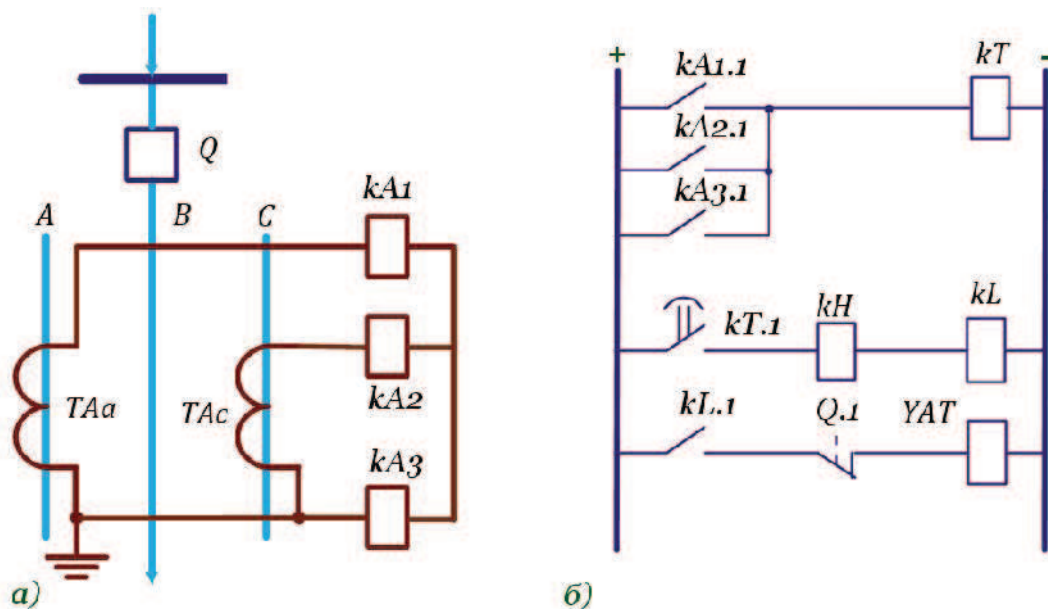


Рис.38 Схема максимальной токовой защиты:

а) схема цепей переменного тока; б) схема цепей постоянного тока

Оперативный ток нужен для питания реле в схемах релейной защиты, сигнализации, управления выключателями. В качестве источников оперативного тока применяются аккумуляторные батареи, трансформаторы тока и напряжения, трансформаторы собственных нужд. Аккумуляторные батареи используются на крупных энергетических объектах, так как их применение требует специально оборудованных помещений и наличие обслуживающего персонала. Остальные источники оперативного тока используются в системах энергоснабжения промышленных объектов, объектов сельского хозяйства и т. д.

Работа схемы. При возникновении короткого замыкания срабатывают два или три токовых реле и подают питание на реле времени **KT**. Реле времени, отработав установленную выдержку, подает "плюс" на выходное промежуточное реле **KL**. Срабатывание выходного реле приводит к подаче питания через блок-контакт выключателя **Q.1** на электромагнит отключения **YAT**. Указательное реле **KH** сигнализирует о срабатывании защиты.

В более общем виде, без учета конкретной элементной базы, принцип и алгоритм работы максимальной токовой защиты можно проиллюстрировать с помощью алгебры логики, Рис.39.

Контролируемый сигнал от трансформаторов тока TA подается на токовые реле $KA1$, $KA2$, $KA3$. Сигнал на выходе каждого из этих реле в режиме дежурства равен нулю, а при возникновении короткого замыкания сработавшие токовые реле формируют на выходе единицу. DW - логический элемент ИЛИ; сигнал на его выходе становится равным единице, если хотя бы один входной сигнал равен единице. В элементе DT реализуется выдержка времени защиты, необходимая для обеспечения требований селективности защиты; KL - выходной орган защиты; KH - элемент сигнализации

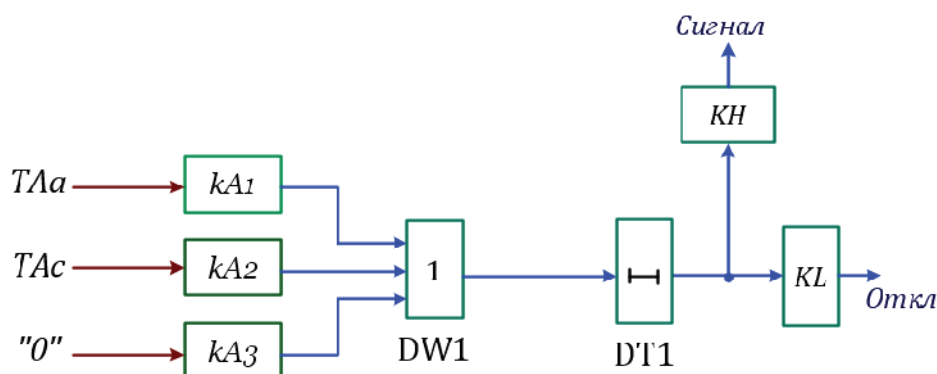


Рис.39 Представление работы максимальной токовой защиты с использованием элементов логики

Если поведение защиты представить в виде логической функции T , то условие срабатывания можно записать в виде

$$T = (KA1 \text{ OR } KA2 \text{ OR } KA3) \text{ AND } DT1 \uparrow = 1,$$

где KA_1 , KA_2 , KA_3 - логические сигналы на выходах токовых измерительных органов защиты; $DT1 \uparrow$ - оператор временной задержки

3.2.3 Расчет параметров максимальной токовой защиты

Расчет параметров максимальной токовой защиты сводится к выбору тока срабатывания и выдержки времени и оценке чувствительности защиты.

Выбор тока срабатывания

При выборе тока срабатывания $I_{сз}$ нужно учесть следующие факторы:

1. Защита не должна работать от максимально возможного рабочего тока

$$I_{сз} > I_{\text{раб макс}}$$

2. После отключения внешнего короткого замыкания пусковые органы защиты должны вернуться в исходное состояние

$$I_{сз} > \frac{I_{раб макс}}{k_{в}},$$

где $k_{в} = \frac{I_{вр}}{I_{ср}}$ - коэффициент возврата реле; $I_{вр}$ - ток возврата реле;

$I_{ср}$ - ток срабатывания реле.

3. При выборе тока срабатывания необходимо учесть увеличение тока при пуске двигателей:

$$I_{сз} > \frac{k_{сз}}{k_{в}} I_{раб макс},$$

где $k_{сз} = I_{пуск д} / I_{ном д}$ - коэффициент самозапуска, равный отношению пускового тока двигателя $I_{пуск д}$ к его номинальному значению $I_{ном д}$.

Обычно значение $k_{сз}$ находится в пределах (1- 4). Точное значение определяется расчетом или задается в качестве исходных данных.

4. Учитывая погрешности расчета, погрешности трансформаторов тока и реле, выражение для тока срабатывания защиты окончательно запишется в виде:

$$I_{сз} > \frac{k_{н} k_{сз}}{k_{в}} I_{раб макс},$$

где $k_{н}$ - коэффициент надежности;

$k_{н} = (1.15 - 1.3)$ - для полупроводниковых реле;

$k_{н} = (1.2 - 1.3)$ - для электромагнитных реле;

$k_{н} = 1.5$ - для индукционных реле.

Для того чтобы определить ток срабатывания реле, достаточно учесть коэффициент трансформации трансформаторов тока и схему соединения трансформаторов тока и реле:

$$I_{сз} > \frac{k_{н} k_{сз} k_{сх}}{k_{в} n_{тт}} I_{раб макс}$$

где $n_{тт}$ - коэффициент трансформации трансформаторов тока;

$k_{сх}$ - коэффициент схемы, равный отношению тока в реле к вторичному току трансформатора тока.

Выбор времени срабатывания

Максимальные токовые защиты могут иметь независимую и зависимые характеристики срабатывания.

Максимальные токовые защиты с независимой характеристикой срабатывания. Для обеспечения правильной работы защит время срабатывания защиты, наиболее удаленной от источника питания, принимается минимальным. Выдержка времени каждой предыдущей увеличивается на ступень селективности Δt

$$t_n = t_{n-1} + \Delta t.$$

Ступень селективности должна учитывать тип установленных выключателей и элементную базу, на основании которой выполняется задержка на срабатывание защиты и обычно составляет

$$\Delta t = (0,4 - 0,6) \text{ с.}$$

Максимальные токовые защиты с зависимой характеристикой срабатывания, Наличие зависимой от значения тока выдержки времени позволяет повысить быстродействие и эффективность максимальной токовой защиты, например, при необходимости учета перегрузочной характеристики оборудования.

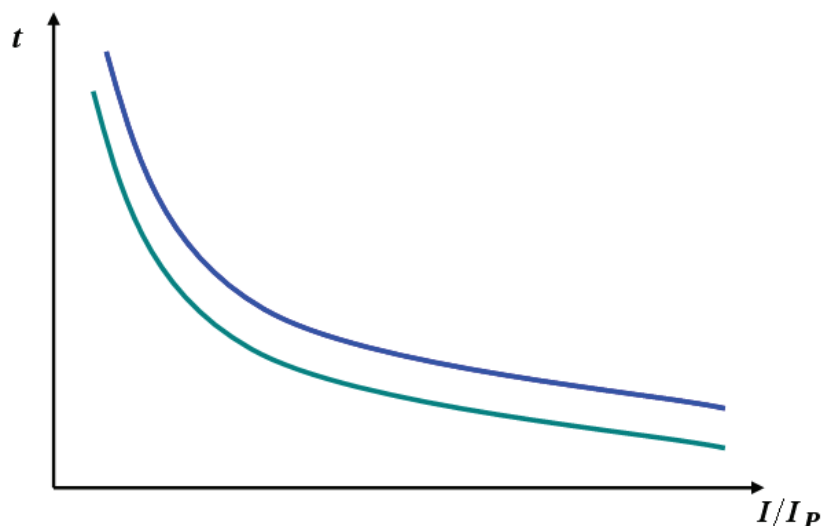


Рис.40 Пример характеристик времени срабатывания максимальной токовой защиты с зависимой выдержкой времени

Структура защиты практически совпадает со схемой, представленной на Рис. 39, с заменой элемента с независимой выдержкой времени элементом с зависимым временем работы. В соответствии со стандартами IEC и ANSI/IEEE основные характеристики можно описать выражением

$$t = \left[\frac{G}{(I / I_P)^\alpha - 1} + H \right] D,$$

где G, α, H – коэффициенты, определяющие форму требуемой характеристики;

I - ток короткого замыкания;
 I_P - уставка реле;
 D - постоянная времени.

Расчет выдержек времени защит с зависимыми выдержками времени для сети можно проиллюстрировать на примере радиальной сети, Рис.41:

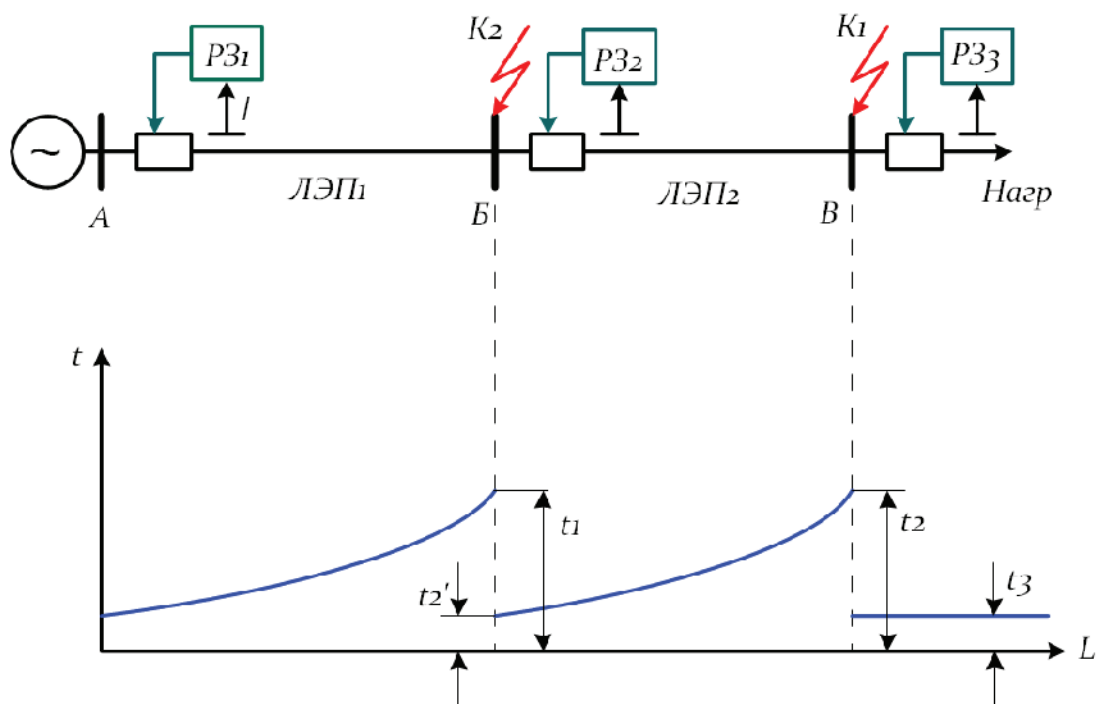


Рис.41 Согласование защит с зависимыми выдержками срабатывания

1. Рассчитывается время срабатывания защиты $PЗ_2$ исходя из условия отстройки от времени работы защиты $PЗ_3$

$$t_2 = t_3 + \Delta t.$$
2. Рассчитывается значение тока трехфазного короткого замыкания I_{K1} в точке K_1 .
3. Выбирается требуемая характеристика срабатывания измерительного органа защиты $PЗ_2$, которая бы проходила через точку с координатами $\{t_2; I_{K1}/I_P\}$.
4. Рассчитывается значение тока трехфазного короткого замыкания I_{K2} в точке K_2 и по выбранной характеристике определяется время t_2' .

5. Рассчитывается время срабатывания защиты $PЗ_1$ исходя из условия отстройки от времени работы защиты $PЗ_2$

$$t_1 = t_2' + \Delta t.$$

6. Выбирается требуемая характеристика срабатывания измерительного органа защиты $PЗ_1$, которая бы проходила через точку с координатами $\{t_1; I_{K2}/I_P\}$.

Оценка чувствительности защиты

Чувствительность защиты оценивается значением коэффициента чувствительности:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз мин}}^{(2)}}{I_{\text{сз}}},$$

где $I_{\text{кз мин}}^{(2)}$ - минимальное значение тока двухфазного короткого замыкания.

Чувствительность проверяется для двух режимов - основного и режима резервирования (Рис.42).

Если защита $PЗ_1$ работает как основная, то ее чувствительность проверяется по короткому замыканию в конце защищаемой линии, точка K_1 . Для максимальных токовых защит значение коэффициента чувствительности должно быть больше или равно 1.5.

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз мин}}^{(2)}(K_1)}{I_{\text{сз}}} \geq 1,5$$

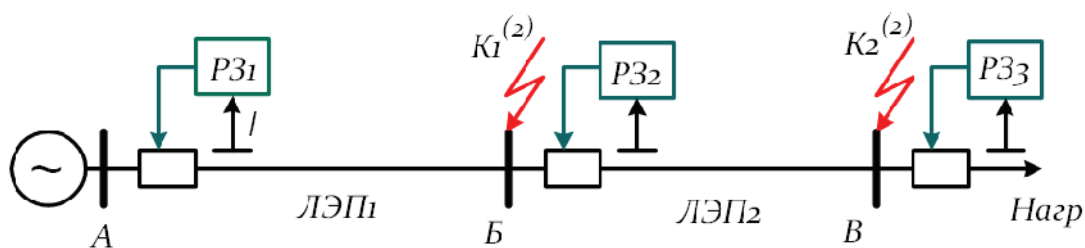


Рис. 42 Оценка чувствительности защиты

Если защита $PЗ_1$ работает в режиме дальнего резервирования, то чувствительность проверяется по короткому замыканию в конце резервируемой линии, точка K_2 :