



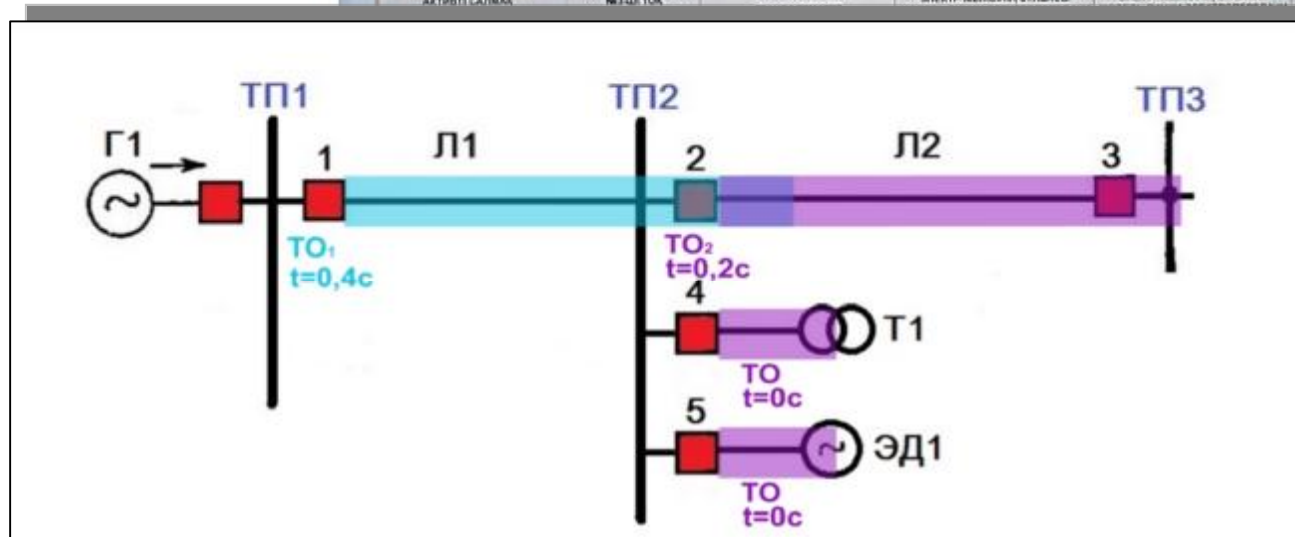
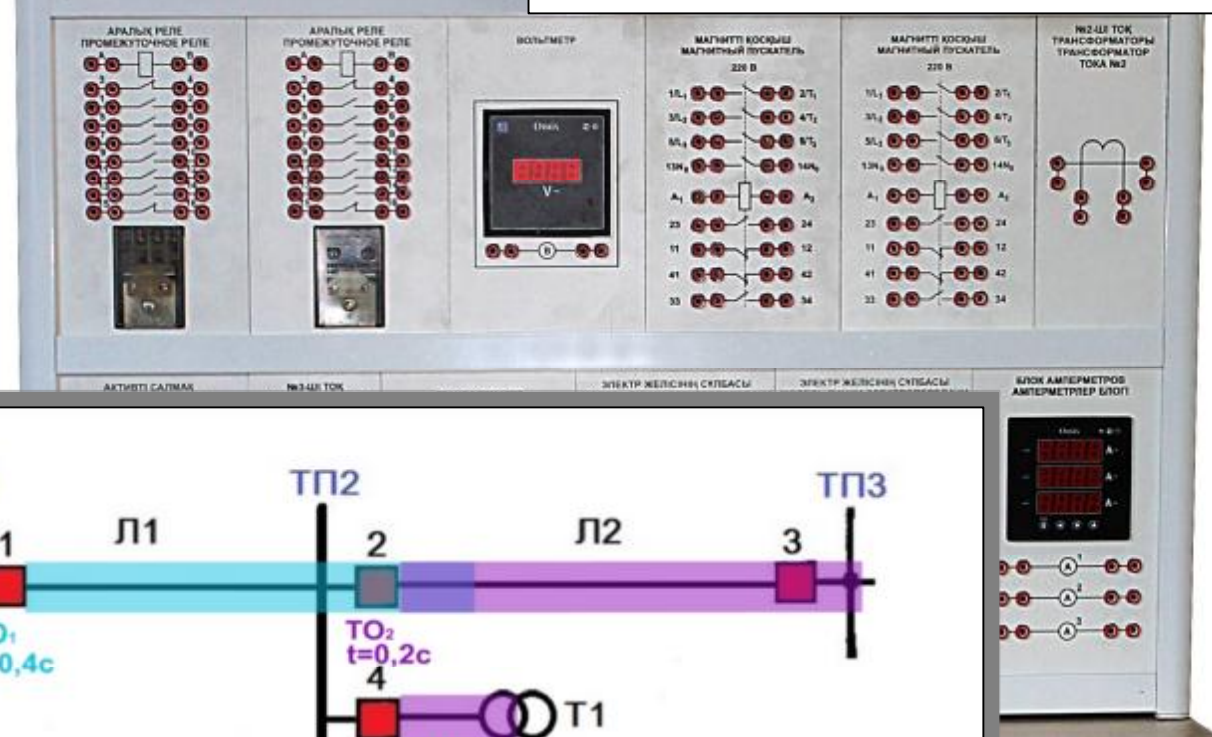
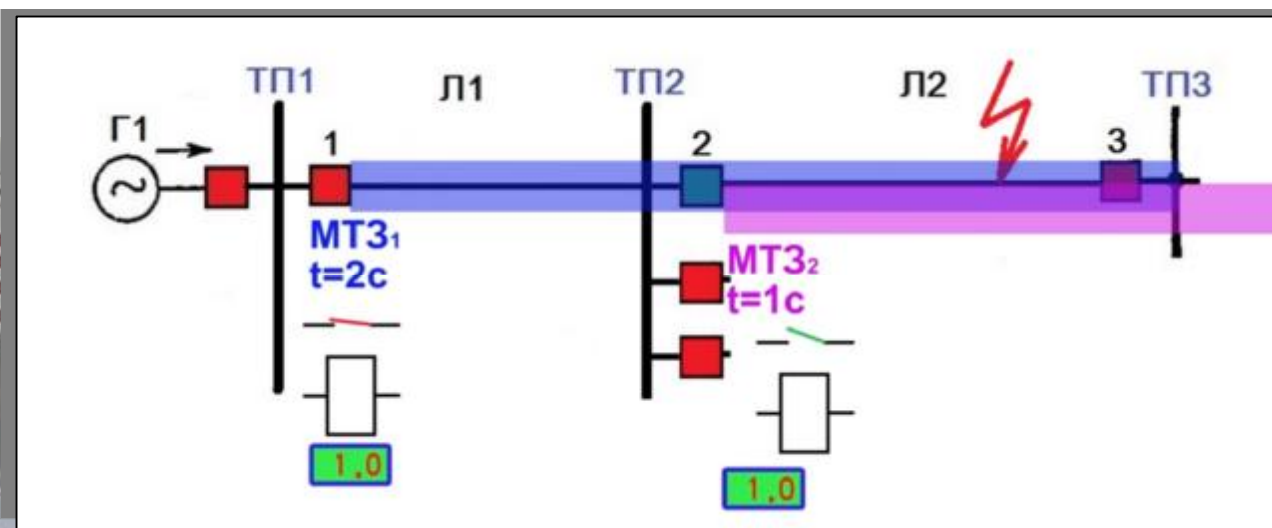
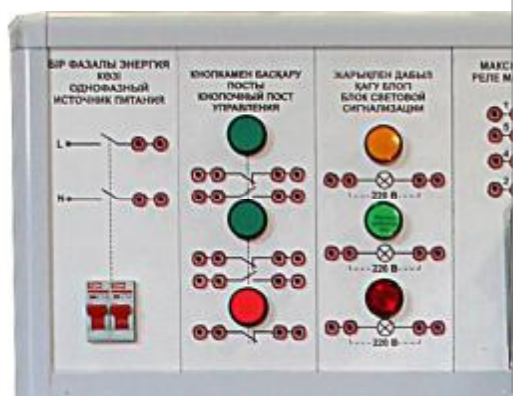
Институт энергетики,
информационных технологий
и управляющих систем

Релейная защита и автоматика систем электрообеспечения

Лекция №__

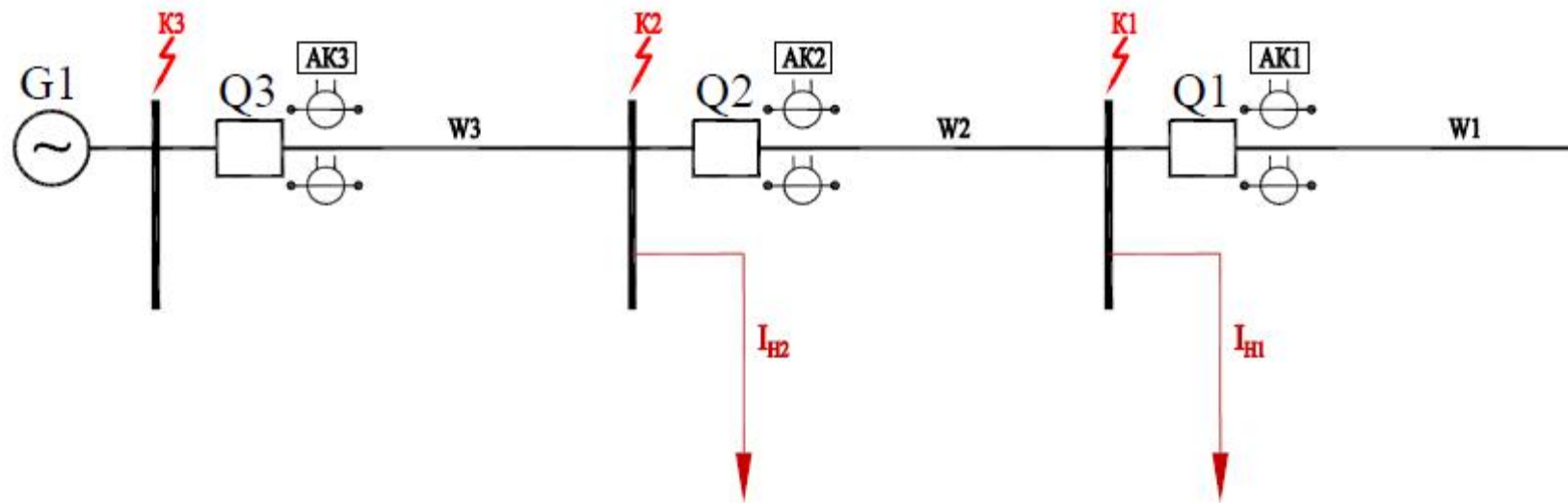
Токовые защиты

Составил: Кузнецов Д. Б.



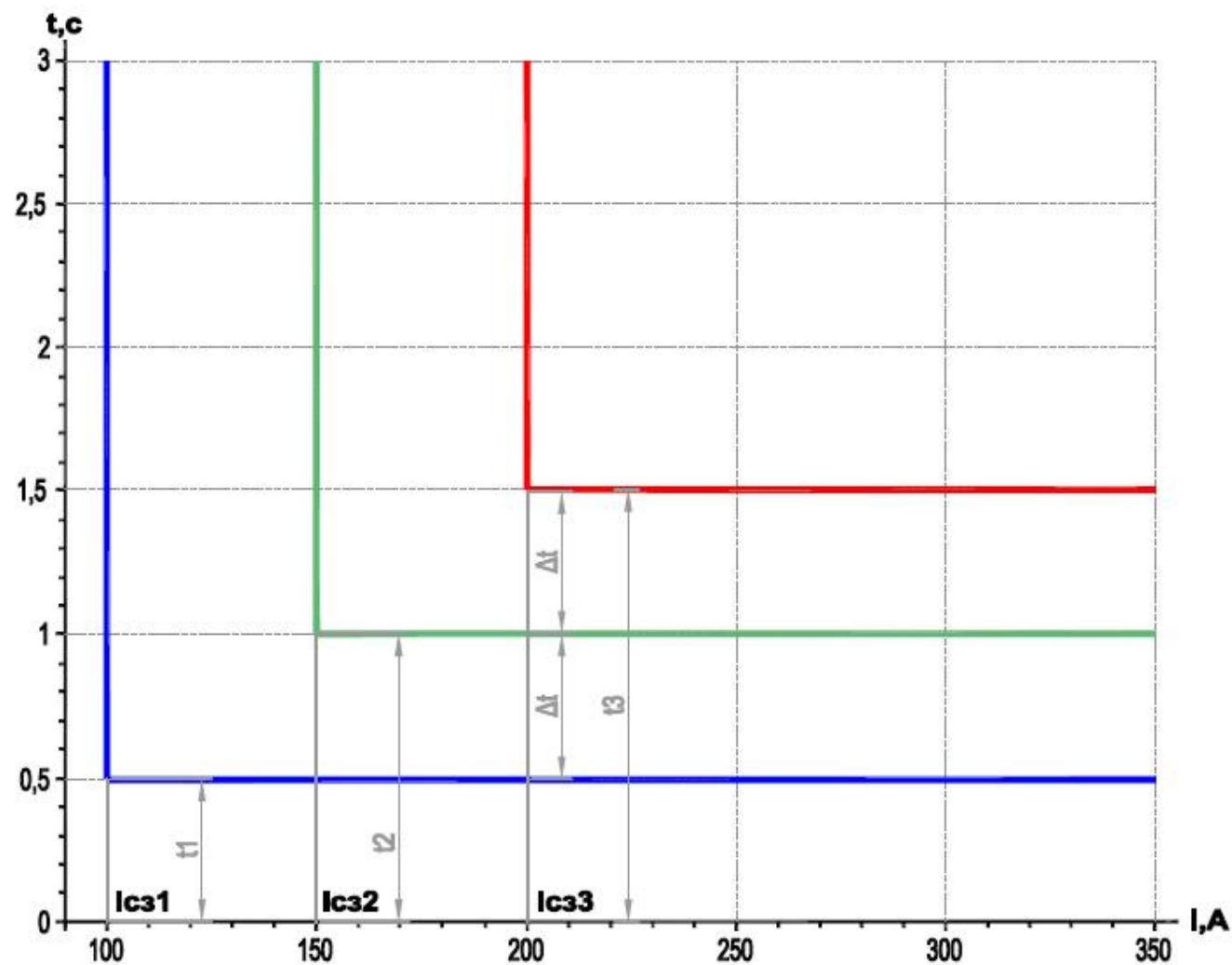
Принцип действия максимальной токовой защиты

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



Комплекты защит АК1, АК2, АК3 (рис.) установлены в начале каждой линии. Каждая из защит линий W1, W2 и W3 действует на отключение выключателя соответствующей линии при повреждении на ней или на шинах противоположной (смежной) подстанции.

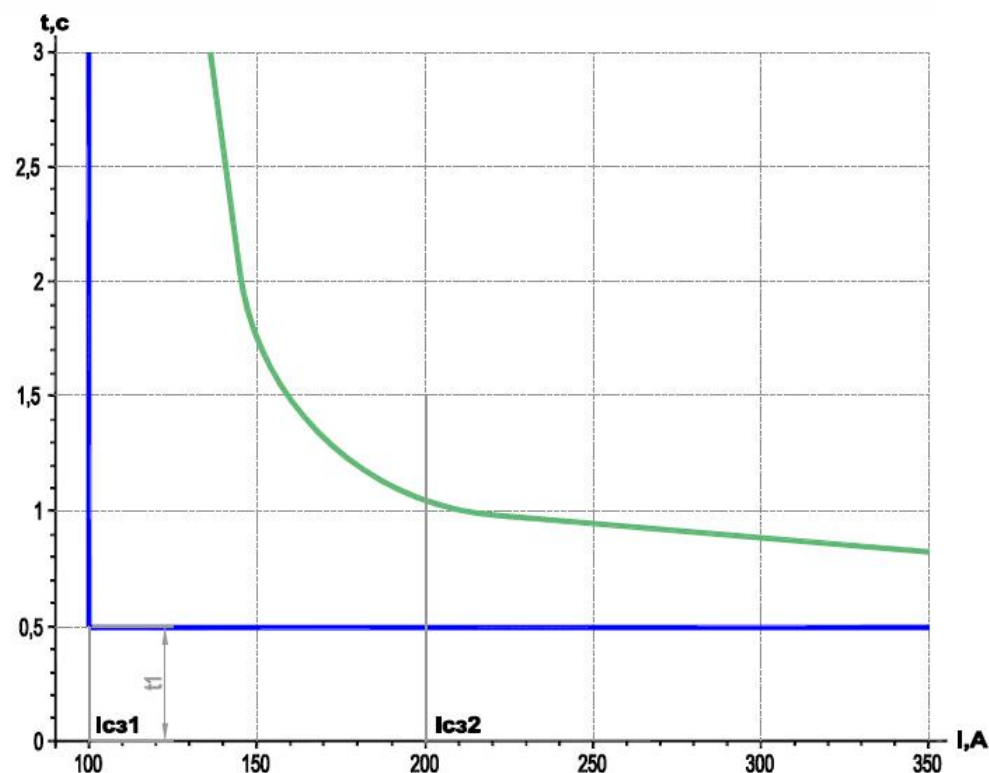
В нормальном режиме работы сети ни одна из защит не должна срабатывать. Для этого ток срабатывания защит $I_{сз}$ принимается большим, чем ток, проходящий по защищаемой линии в максимальном режиме $I_{нагр. макс.}$.



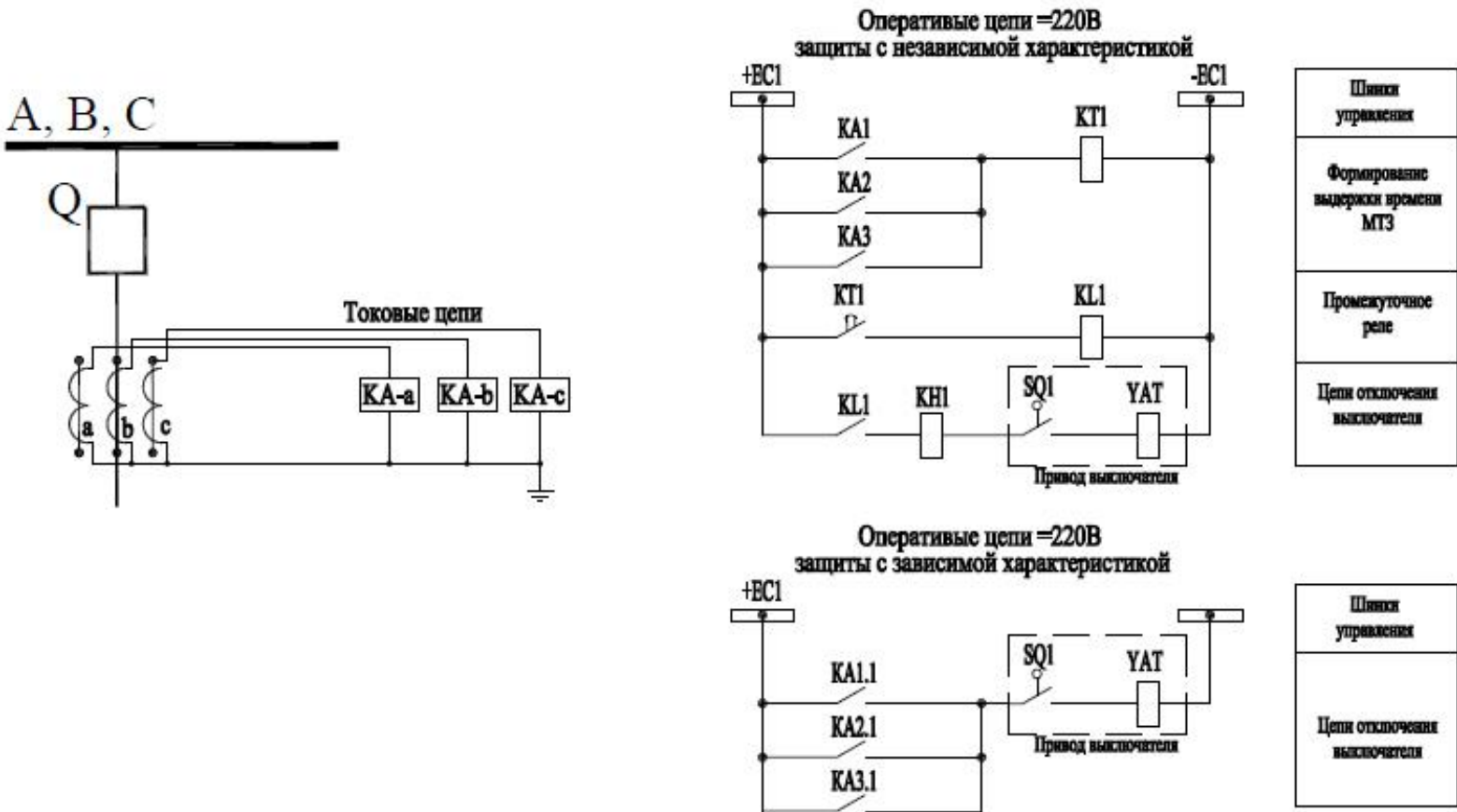
Недостатком МТЗ является то, что по мере приближения места установки защиты к источнику питания увеличивается ее выдержка времени. Так как при этом увеличивается и величина тока КЗ, объем повреждения возрастает.

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

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



Для быстрого отключения КЗ и уменьшения объема повреждения, токовая защита выполняется ступенчатой: кроме МТЗ применяется и токовая отсечка.



Ток срабатывания МТЗ (первичный) выбирается по трем условиям:

1. Несрабатывание защиты при сверхтоках после аварийных перегрузок, т.е. после отключения КЗ на предыдущем элементе;
2. Согласование чувствительности защит последующего и предыдущего элементов;
3. Обеспечение достаточной чувствительности при КЗ в конце защищаемого элемента (основная зона) и в конце каждого из предыдущих элементов (зона дальнего резервирования).

Ток срабатывания МТЗ выбирается по выражению:

$$I_{сз}^{МТЗ} \geq \frac{\kappa_H * \kappa_{сзн}}{\kappa_B} * I_{раб. max}$$

где ***K_н*** – коэффициент надежности защиты, учитывающий погрешность и необходимый запас. Величина ***K_н*** принимается:

K_н = 1.1-1.2 для цифровых реле;

K_н = 1.2 для реле РТ-40, РТ-80, РСТ;

K_н = 1.3 для реле прямого действия РТВ.

K_в – коэффициент возврата максимальных реле тока. Величина ***K_в*** принимается:

K_в = 0,95-0,96 для цифровых реле;

K_в = 0,8 для реле РТ-40, РТ-80;

K_в = 0,9 для реле РСТ;

K_в = 0,65 для реле прямого действия РТВ.

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

Для бытовой нагрузки принимается **$K_{сзн} = 1,2-1,3$** , для сельскохозяйственных потребителей принимается **$K_{сзн} = 1,1-1,2$** , для общепромышленной нагрузки принимают **$K_{сзн} = 1,8 \dots 2,5$** . Промышленную нагрузку с большой долей (более 50 %) электродвигателей 0,4 кВ принято считать обобщенной нагрузкой, у которой сопротивление, отнесенное к максимальной рабочей нагрузке составляет $X_{об*} = 0,35$. Например, коэффициент самозапуска обобщенной нагрузки, питающейся от трансформатора с напряжением короткого замыкания $u_k = 10,5 \%$ составит при бесконечной мощности питающей системы: **$K_{сзн} = 1/(0,105+0,35) = 2,2$** . Если $u_k = 4,5 \%$, то **$K_{сзн} = 1/(0,045+0,35) = 2,53$** .

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

$$I_{сз.посл} \geq K_{нс} * (I_{сз.пред} + \sum I'_{\text{раб. тах}})$$

где ***Кн.с*** – коэффициент надежности согласования, значение которого принимается равным в зависимости от типа токовых реле: 1,1 - для цифрового защит, 1,2 - для реле РТ-40, РТ-80 и 1,3...1,4 - для реле типа РТВ;

Iс.з.пред. – наибольшее значение тока срабатывания максимальных токовых защит предыдущих элементов, с которыми производятся согласования;

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

За расчетный ток срабатывания защиты принимается значение наибольшего тока, из условий 1 и 2. Таким образом, уставка по току МТЗ предыдущего элемента должна всегда быть больше уставки МТЗ последующего элемента, что некоторым образом обеспечивает так называемую токовую селективность.

Для выполнения третьего условия необходимо знать значение токов КЗ в конце защищаемого элемента, например для защиты АКЗ необходимо знать ток $I_{к2}$ и ток $I_{к1}$ в конце зоны резервирования.

$$K_{ч}^{MTЗ} = \frac{I_{2\min}}{I_{сз}^{MTЗ}}$$

Согласно ПУЭ должны выполняться условия:

$$K_{чосн} \geq 1,5 \quad K_{чрез} \geq 1,2$$

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

Выдержка времени МТЗ вводится для замедления действия защиты с целью обеспечения временной селективности действия защиты последующего элемента по отношению к защитами предыдущих элементов. Для этого время срабатывания защиты последующей линии выбирается

большей времени срабатывания защиты предыдущей линии (защита АК2 последующая по отношению к защите АК1, так же как и АК3 по отношению к АК2):

$$t_{сз\ посл} = t_{сз\ пред} + \Delta t$$

где Δt – ступень селективности.

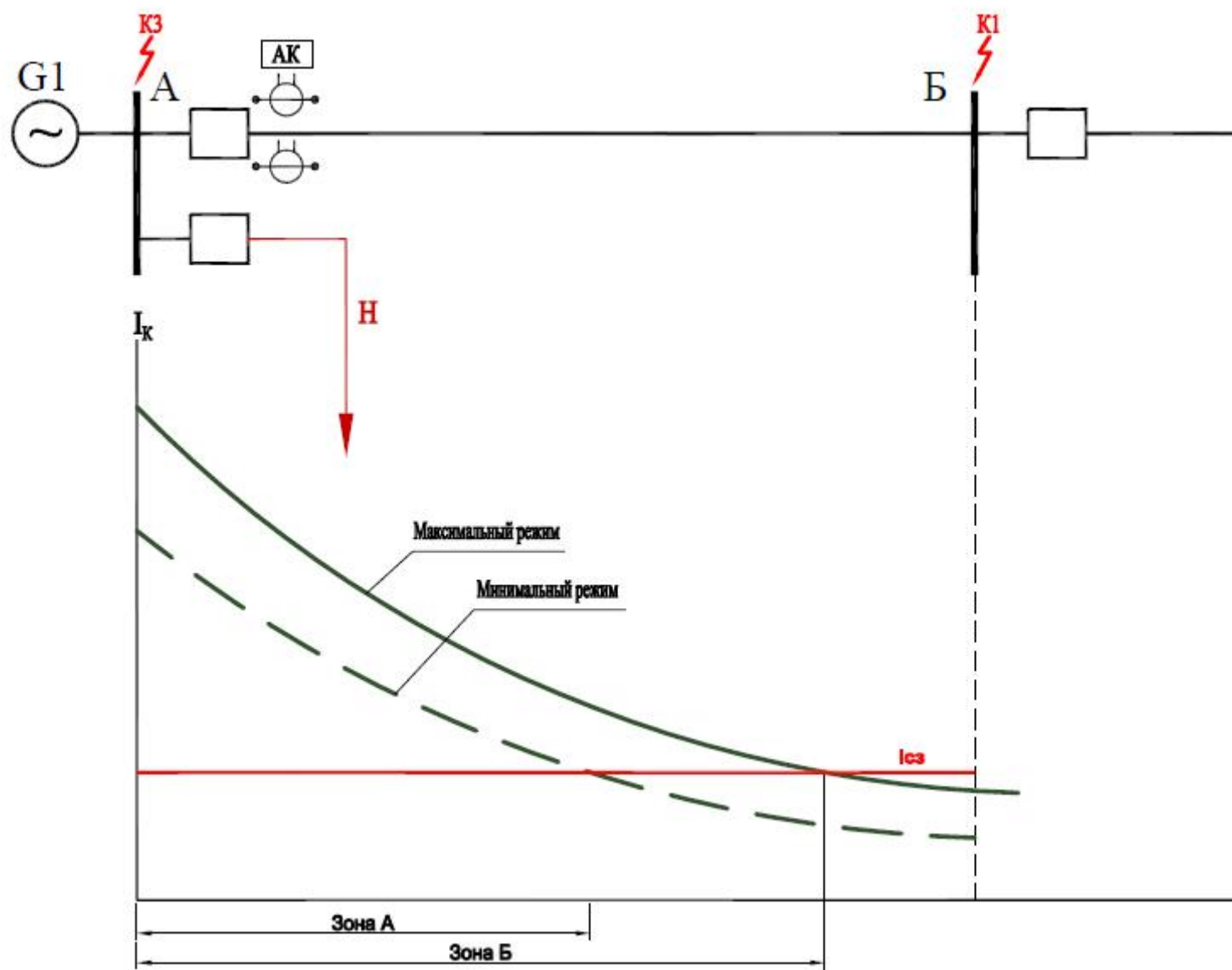
Величина Δt состоит из следующих слагаемых: времени отключения выключателя (0,05...0,1 с), времени возврата защиты (0,05 с), погрешности по времени последующей и предыдущей защит (3...5%) и необходимого запаса (0,05...0,1 с).

Недостатком МТЗ является накопление выдержек времени, особенно существенное для головных элементов в многоступенчатых электрических сетях.

Токовая отсечка (ТО)

Ее назначение: максимально быстрая ликвидация коротких замыканий, возникающих в начале (минимум порядка 20% протяженности) рабочей зоны, хотя она в отдельных случаях может применяться и для всей линии полностью. Зона действия ТО охватывает только часть линии и изменяется в зависимости от режима питающей системы (рис.8.1). Поэтому ТО рекомендуется применять в том случае, если зона ее действия составляет не менее 20% длины линии. Чем больше длина линии, тем больше разница в значениях токов КЗ в начале и конце защищаемой линии и тем больше зона действия ТО. ТО применяется на относительно длинных линиях, а также на линиях с реакторами и трансформаторами.

ТО является простой и надежной защитой и поэтому ее применение является обязательным. Обычно ТО применяют совместно с МТЗ, чем устраняют основной недостаток МТЗ – большие выдержки времени при отключении КЗ вблизи источников питания. Иногда применяется еще и ТО с небольшой выдержкой времени для защиты участка линии не входящего в зону действия отсечки без выдержки времени. В этом случае защита называется трехступенчатой токовой защитой. Такие защиты (МТЗ и ТО) входят в состав микропроцессорных реле.



Расчет уставок токовой отсечки.

Токовая отсечка без выдержки времени (первая ступень токовой защиты) предназначена для ускорения отключения близких КЗ. Ее уставка (ток срабатывания) выбирается из условия отстройки (несрабатывания) от КЗ на смежных присоединениях: линиях, трансформаторах, т.е. от максимального трехфазного тока КЗ в конце защищаемой линии или на выводах НН трансформатора.

Ток срабатывания ТО выбирается больше максимального тока, протекающего по защищаемой линии АБ при внешних повреждениях (точка К1, рис.)

Для токовой отсечки АК ток срабатывания

$$I_{сз}^{ТО} \geq K_H * I_{К1.макс}^{(3)}$$

где K_n – коэффициент надежности, принимаемый для цифровых реле 1,15...1,2; для реле РТ40 или РСТ – $K_n = 1,2...1,3$; при использовании электромагнитного элемента реле РТ-80 $K_n = 1,5...1,6$; для реле РТМ – $K_n = 1,8...2,0$.

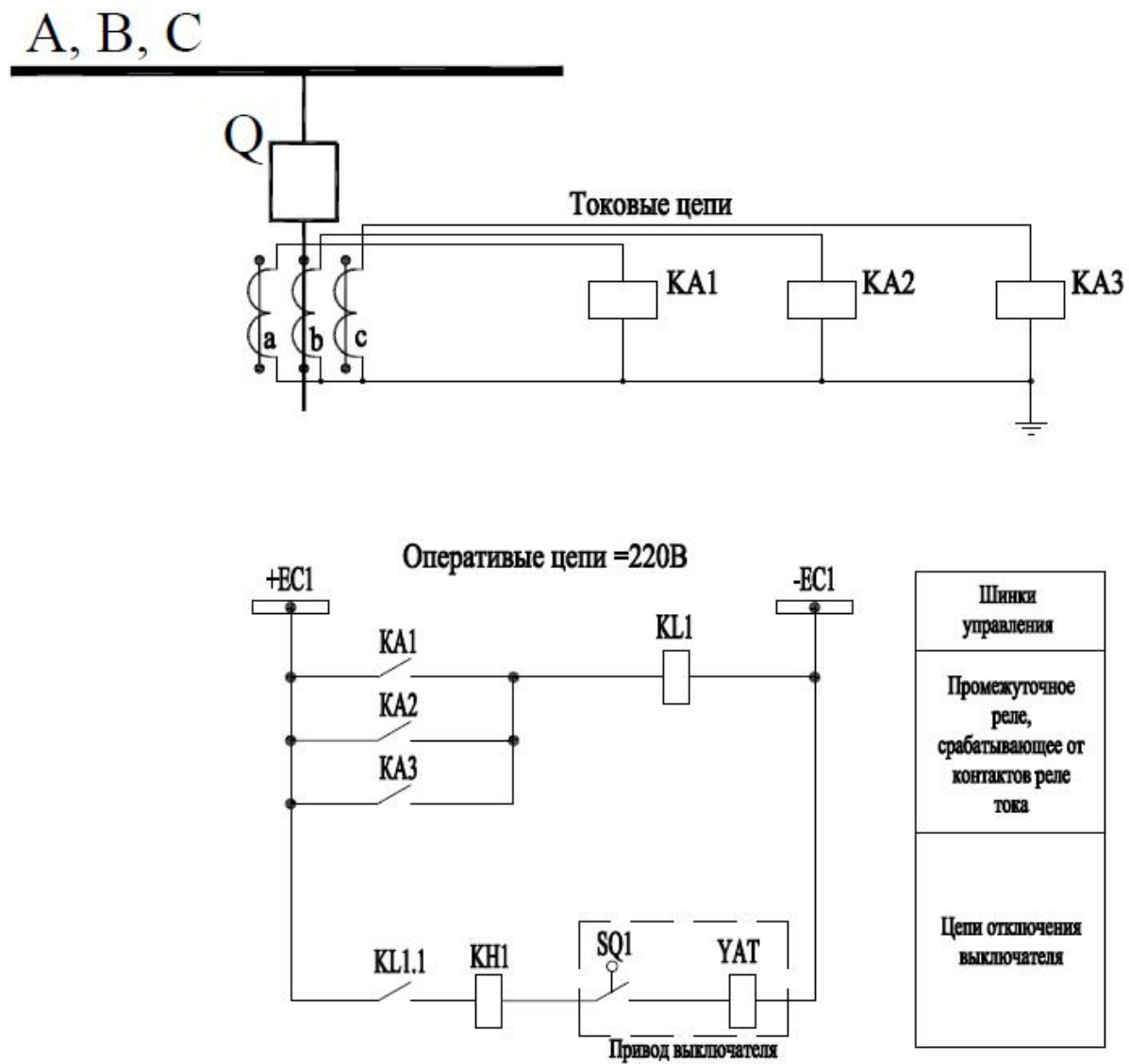
Величина K_n определяется погрешностью при расчете токов КЗ, погрешностью реле и наличием апериодической составляющей в токе КЗ.

Отсюда следует вывод, что применить отсечку можно только на тех линиях, где отношение токов КЗ в начале и в конце защищаемой линии превышает величину K_n . Очевидно, что на коротких линиях применить отсечку без выдержки времени невозможно. В этом случае используется реле только одна защита – МТЗ.

Чувствительность отсечек проверяется по току двухфазного КЗ в месте установки защиты при минимальном режиме работы питающей системы, т.е. при токах КЗ в начале защищаемой линии, соответственно

$$K_{\varphi} = \frac{I_{K2}^{(2)}}{I_{\Sigma}^{(T0)}} \geq 1,2$$

Схема ТО



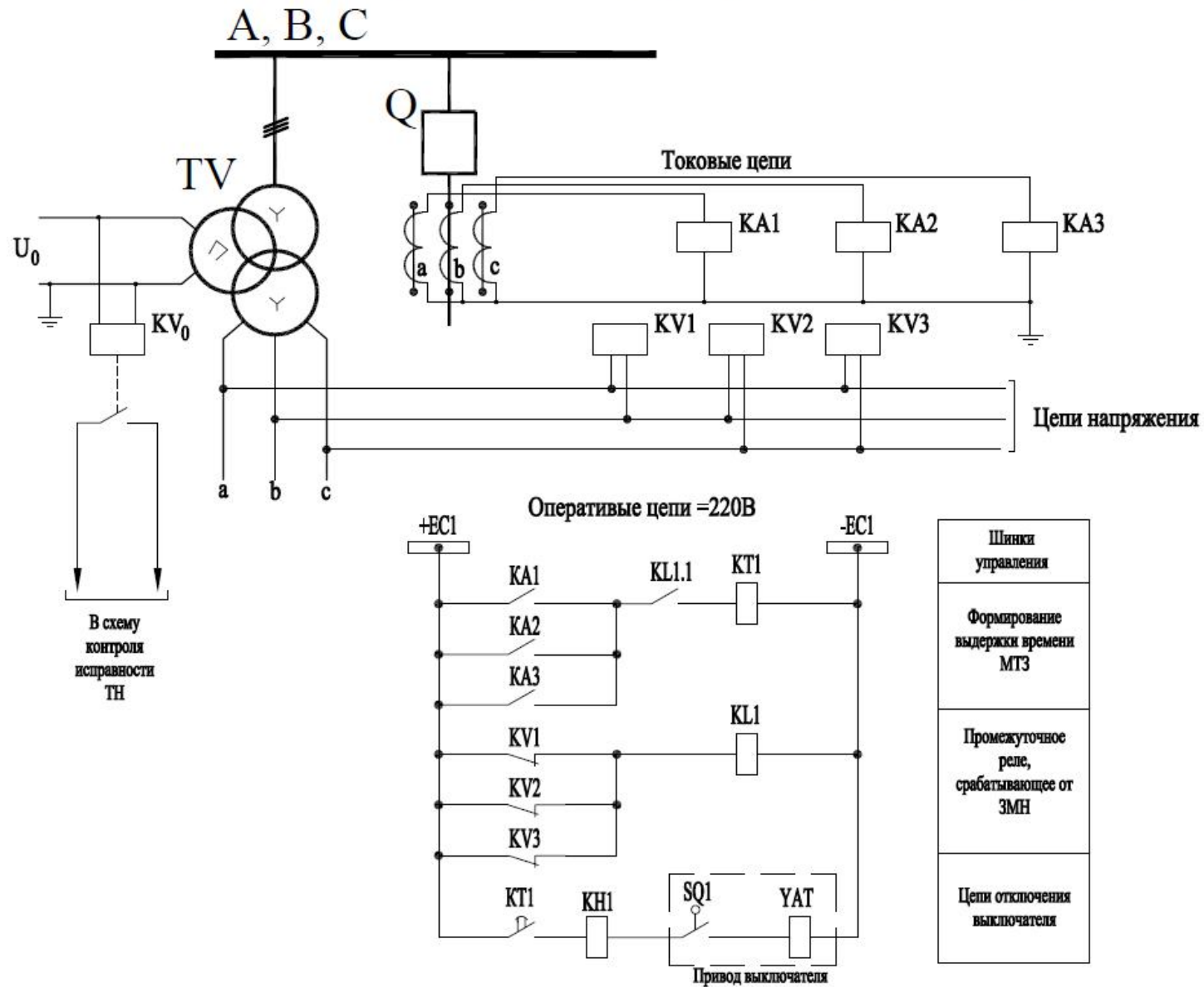
Максимальная токовая защита с блокировкой по напряжению применяется для повышения чувствительности МТЗ при КЗ и улучшения отстройки её от токов нагрузки применяется пуск при помощи реле минимального напряжения.

Защита может действовать на отключение только при условии срабатывания реле напряжения.

При перегрузках ток возрастает, но защита не действует, даже если токовые реле КА приходят в действие. При КЗ напряжение на шинах подстанции снижается, реле минимального напряжения срабатывают, разрешая защите действовать на отключение.

Для надежной работы блокировки при 2 – фазных КЗ устанавливаются 3 реле напряжения KV, подключаемые на линейные напряжения. В этом случае при двухфазном КЗ, например ВС, напряжение **UBC** будет равным нулю и реле KV2 замкнет свои контакты, разрешая защите действовать на отключение. При обрыве цепей напряжения реле KV замыкают свои контакты и защита лишается блокировки, поэтому комплект защиты должен оснащаться устройствами контроля цепей напряжения, либо сигнализировать оперативному персоналу о снятии блокировки.

Схема МТЗ с блокировкой по напряжению



Напряжение срабатывания реле минимального напряжения $U_{сз}$ выбирается исходя из двух условий:

1. **$U_{сз} < U_{раб.мин}$** – минимальное рабочее напряжение.
2. **$U_{воз} < U_{раб.мин}$** – реле напряжения должны возвращаться после отключения КЗ и восстановления напряжения до уровня **$U_{раб.мин}$** .

$$U_{воз} = \frac{U_{раб.мин}}{K_H}; K_B = \frac{U_{воз}}{U_{сз}} \Rightarrow U_{сз} = \frac{U_{воз}}{K_B} = \frac{U_{раб.мин}}{K_H * K_B}$$

Обычно **$U_{раб.мин}$** – на 5...10% ниже нормального уровня. Чувствительность реле проверяется по формуле:

$$K_{\eta} = \frac{U_{сз}}{U_{раб.мах}} \geq 1,5$$

Ток срабатывания токовых реле отстраивается не от максимальной нагрузки линии, а от длительной нормальной нагрузки **$I_{н.норм}$** в 1,5...2 раза меньшей максимальной:

$$I_{сз} = \frac{K_H}{K_B} * I_{н.норм}$$

Защита с блокировкой применяется на линиях короткой и средней протяженности, на длинных линиях падение напряжения на шинах подстанции при КЗ в конце линии невелико и коэффициент чувствительности не удовлетворяет норме.

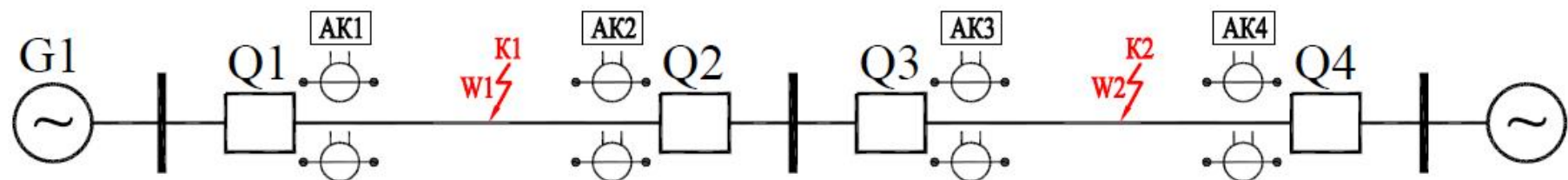
Токовые направленные защиты.

Направленной называется РЗ, действующая только при определенном направлении (знаке) мощности КЗ. Необходимость в применении направленных РЗ возникает в сетях с двусторонним питанием и в кольцевых сетях с одним источником питания. При двустороннем питании места КЗ для ликвидации повреждения РЗ должна устанавливаться с обеих сторон защищаемой ЛЭП. Поясним это на примере. На рис. стр. 3 приведена схема системы электроснабжения с двумя источниками питания G1 и G2.

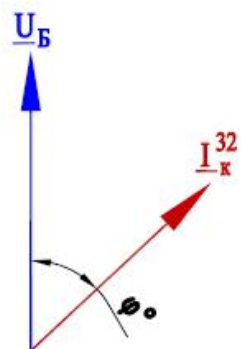
В случае МТЗ при КЗ в точке К1 придут в действие все защиты. При этом для селективного отключения поврежденного участка АБ необходимо, чтобы выдержка времени t_2 комплекта защиты АК2 была меньше выдержки времени t_3 комплекта защиты АК3 и выдержки времени t_4 защиты АК4, т.е. $t_2 < t_3$ и $t_2 < t_4$. При КЗ в точке К2 $t_3 < t_2$ и $t_3 < t_1$. Из этих неравенств видно, что к защитами АК2 и АК3 предъявляются противоречивые требования. Невозможно выполнить условие, чтобы в одно и то же время выдержка времени защиты АК2 была бы и больше и меньше выдержки времени защиты АК3. Поэтому в таких сетях МТЗ не может быть селективной.

Токовые отсечки могут быть селективными в сетях с двухсторонним питанием, но при этом они, как правило, имеют недостаточную чувствительность.

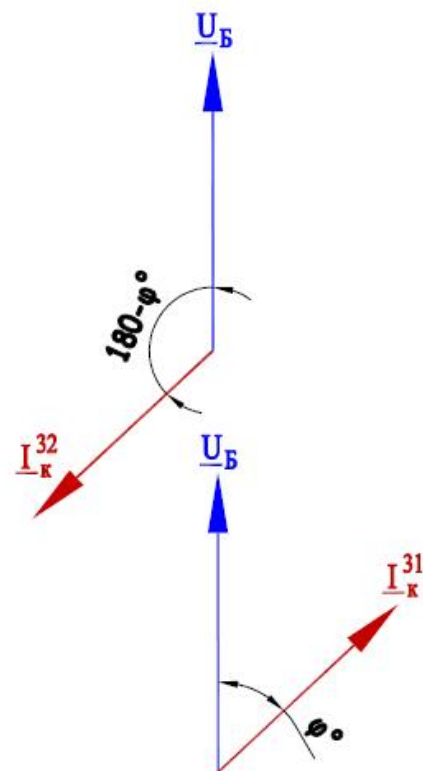
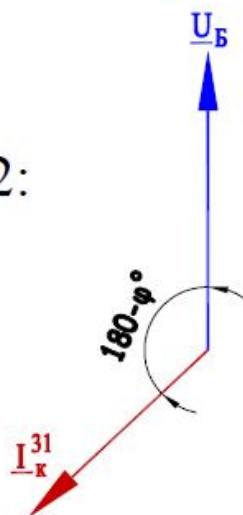
Всеми перечисленными недостатками не обладает максимальная токовая направленная защита (МТНЗ) линий.



КЗ в точке К1:



КЗ в точке К2:



МТНЗ реагирует не только на абсолютную величину тока в защищаемой линии, но и на фазу этого тока относительно напряжения на шинах у места установки защиты, т.е. действует в зависимости от направления мощности при КЗ. Такое ее действие обеспечивается благодаря включению в схему защиты реле направления мощности. Рассмотрим векторные диаграммы токов и напряжений при КЗ в точках К1 и К2.

При построении векторных диаграмм за положительное направление тока принято его направление от шин в сторону линии. Угол сдвига фаз тока относительно вектора напряжения считается положительным при отстающем токе и отрицательным при опережающем токе.

Из векторных диаграмм видно, что фаза тока в месте включения защит АК2 и АК3 относительно напряжения U_b при перемещении повреждения из точки К2 в точку К3 сдвинулась на 180° .

Таким образом, защиту АК2 необходимо выполнить так, чтобы она действовала на отключение только при углах между током и напряжением, соответствующих КЗ в точке К1, а защиту АК3 - при повреждении в точке К2. Из этого следует, что реле мощности при подведении к нему напряжения $U_p = U_b$ и тока $I_p = I_{k3}$ должно замыкать контакты при угле φ и не замыкать их при угле $\varphi - 180^\circ$.

В качестве реле мощности чаще применяют реле типа РБМ, на индукционном принципе действия и электронное реле типа РМ.



Реле мощности РБМ

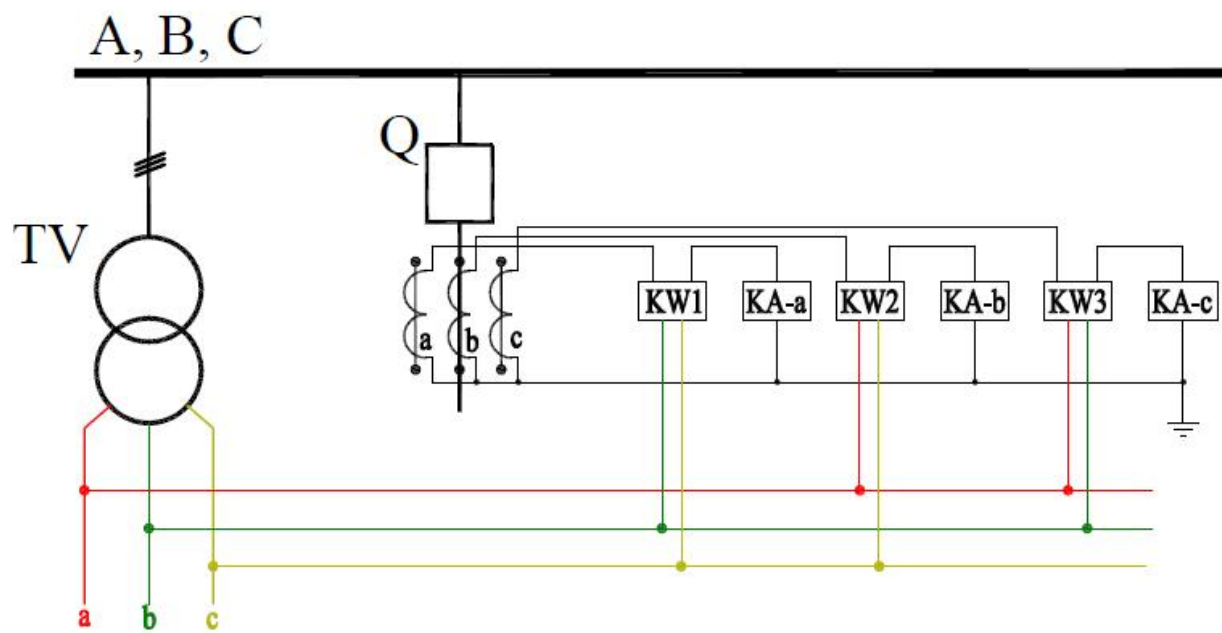
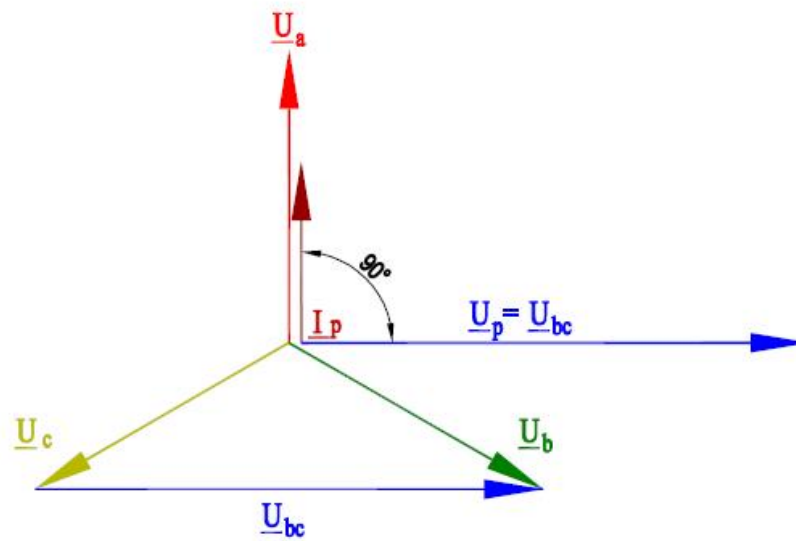


Реле мощности РМ

Реле мощности включается таким образом, чтобы сочетания напряжений и токов по величине и фазе были бы достаточными для срабатывания реле при различных видах КЗ.

В энергосистемах чаще применяются схемы включения реле и на полные напряжения и токи фаз, из которых наиболее распространена 90° схема. Название схемы носит условный характер и определяет угол $\varphi = 90^\circ$ между напряжением U_p и опережающим его током I_p .

При 90° схеме к реле фазы А подводят ток I_a и напряжение U_{bc} , к реле фазы В - ток I_b и напряжение U_{ca} , а к реле фазы С ток I_c и напряжение U_{ab} как показано на рисунке:

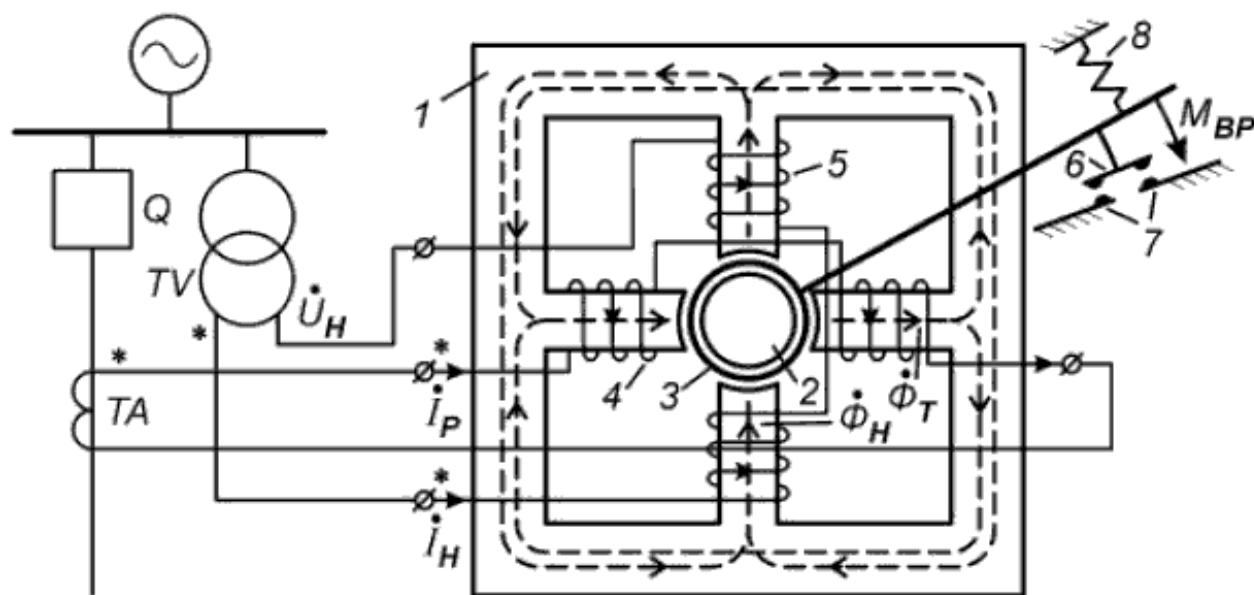


Рассмотрим более подробно свойства 90° схемы. Реле мощности может отказать в действии, если U_p снижается настолько, что мощность, подводимая к реле, меньше мощности срабатывания реле S_{cr} . *Такие условия имеют место при трехфазных КЗ вблизи места установки защиты, когда U_p близко по значению к нулю, т.е. появляется мертвая зона.*

Длина мертвой зоны тем больше, чем меньше чувствительность реле (чем больше S_{cr}). Реле может отказать в случае, если мал угол $\varphi = \alpha - \varphi_r$. Угол φ_k в зависимости от условий КЗ может меняться от 0° до 90° . При этом надежная работа реле мощности обеспечивается выбором схемы его включения.

Устройство реле РБМ-170. Индукционное реле направления мощности имеет две обмотки, размещенные на полюсах замкнутого стального магнитопровода I (17). Одна из них, токовая (4) включается во вторичные цепи ТТ, и ток в ней (I_p) определяется вторичным током ТТ. Вторая — потенциальная (5) — подключается ко вторичной обмотке трансформатора напряжения (ТН), и ток в ней (I_n) пропорционален подведенному напряжению (U_n). Между полюсами расположен внутренний

стальной сердечник 2 цилиндрической формы и алюминиевый ротор 3, имеющий форму стакана. На роторе укреплен контактный мостик 6. При направлении мощности КЗ от шин в линию этот мостик замыкает неподвижные выходные контакты 7 (реле срабатывает). Возврат реле происходит под воздействием противодействующей пружины 8.

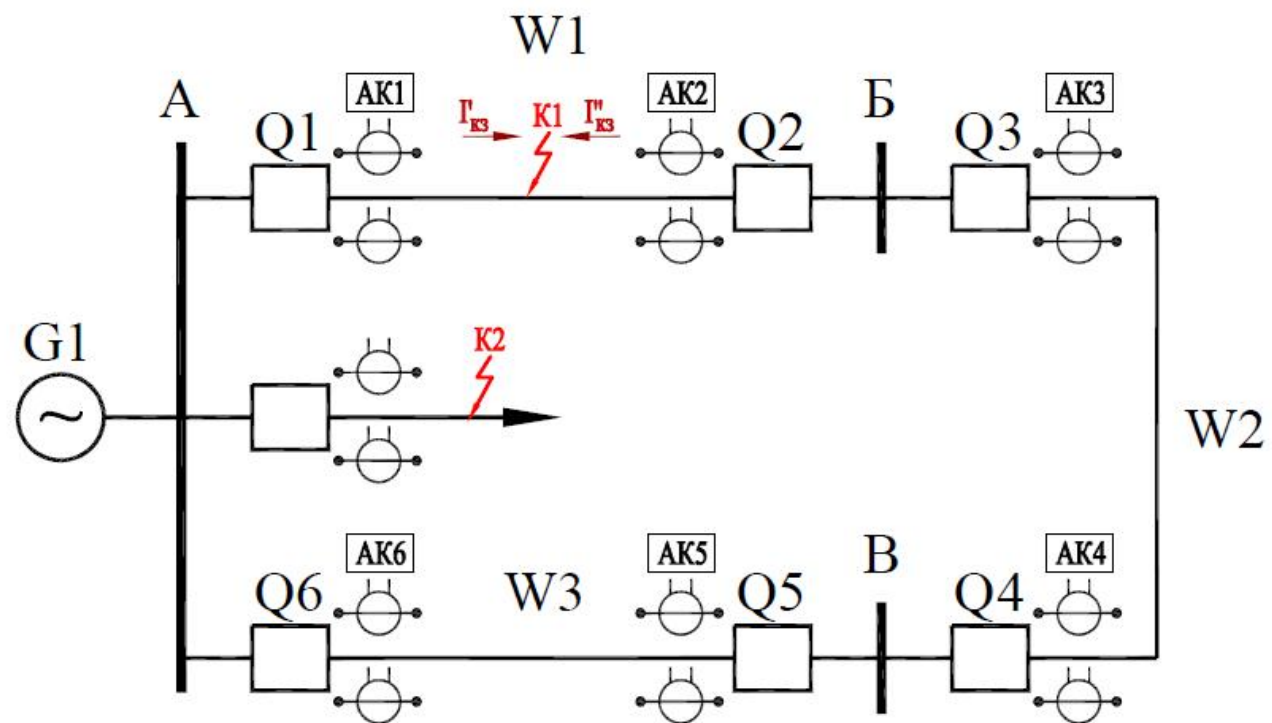


Структурная схема индукционного реле направления мощности

Магнитные потоки, создаваемые катушками с соответствующими токами, сдвинуты в пространстве на угол 90° . Взаимодействие потоков с токами, индуцированными ими в роторе, создает вращающий момент, который заставляет ротор поворачиваться. Если магнитные потоки имеют синусоидальную форму, то вращающий момент $M_{BP} \sim \Phi I \times \Phi U \times \sin \Psi$. Здесь ΦI и ΦU — магнитные потоки, создаваемые токовой и потенциальной катушками соответственно; Ψ — электрический угол между магнитными потоками ΦI и ΦU .

Подробнее – перейти по ссылке: http://retro-rzia.narod.ru/Sprav_rele/sprav_rele_2_GL2.htm

МТНЗ в кольцевых сетях.



Защиты АК2 и АК5, установленные на приемных сторонах головных участков АБ и АВ, выполняются без замедлений. Такая возможность определена тем, что при внешних КЗ мощность у места установки защит АК2 и АК5 всегда направлена от линий к шинам. Поэтому их органы направления мощности препятствуют срабатыванию защит. Защиты АК2 и АК5 также не будут срабатывать при повреждениях вне кольца на других присоединениях подстанции А (точка К2), т.к. ток повреждения при этом по кольцу не проходит.

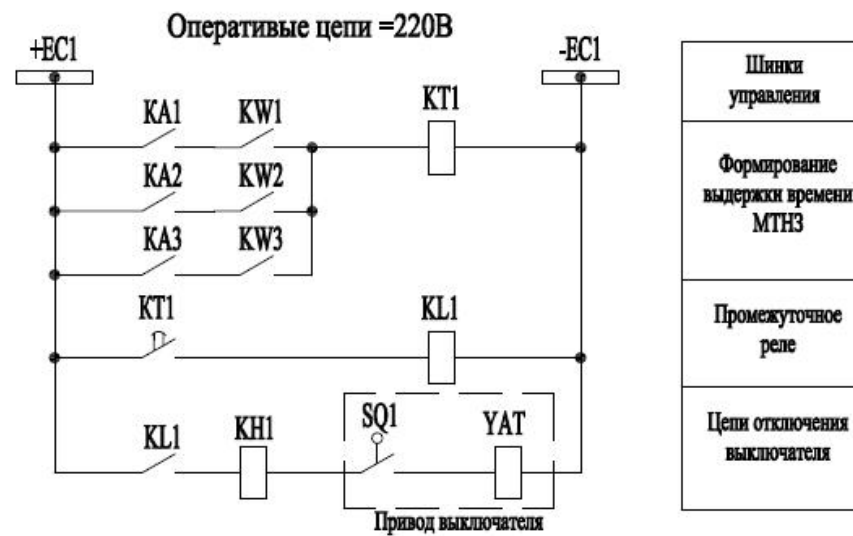
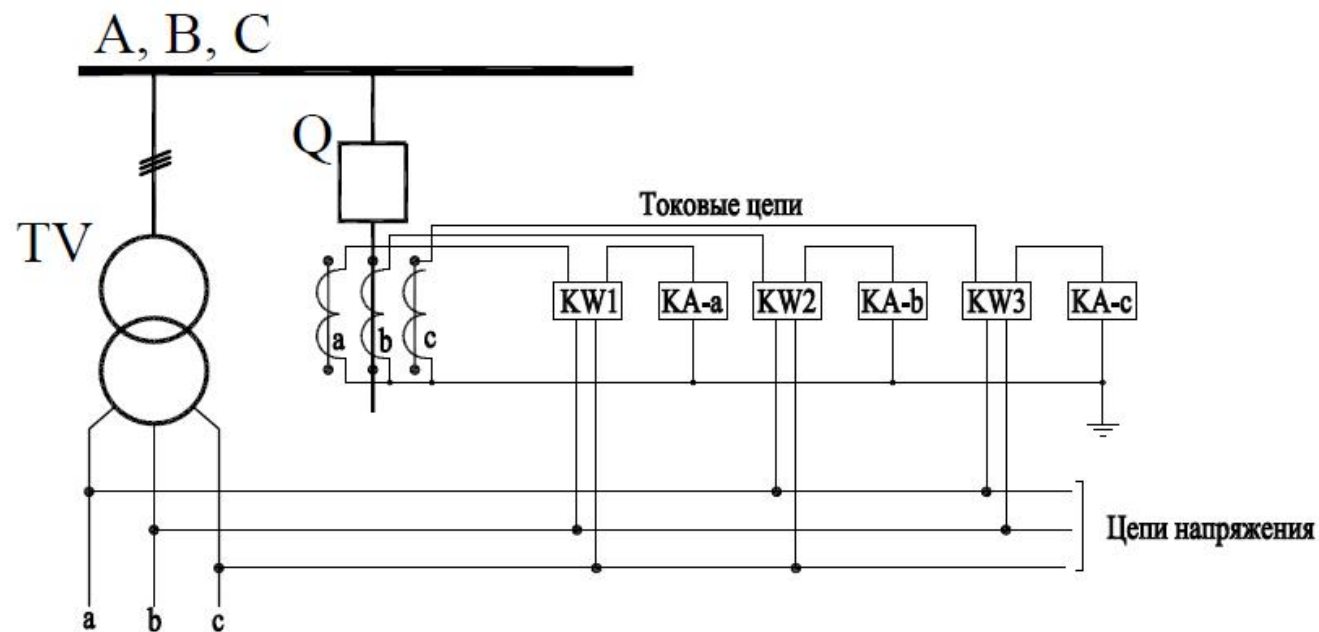
Только при КЗ на линиях АБ или АВ органы направления мощности защит АК2 и АК5 будут срабатывать и защиты смогут подействовать на отключение. Это дает возможность выполнить их действие без замедления.

При КЗ на линии АБ вблизи шин подстанции А ток в точку КЗ проходит в основном через выключатель 1 и только небольшая доля тока КЗ замыкается по кольцу. По мере приближения точки КЗ к шинам подстанции А этот ток станет меньше тока срабатывания защиты АК2. Защита АК2 сможет сработать

только после отключения выключателя 1, когда весь ток повреждения будет замыкаться по кольцу и проходить через защиту АК2.

Таким образом, при повреждениях в пределах некоторой зоны защита АК2 действует всегда только после срабатывания защиты АК1. Такое поочередное действие защит называется каскадным, а зона зоной каскадного действия.

Схема МТНЗ



Выбор уставок максимальных токовых направленных защит.

$$I_{cp} = \frac{K_{отс} * K_3 * K_{сх}}{K_B * K_I} * I_{н.макс}$$

де $I_{н.макс}$ – максимальный ток нагрузки защищаемой линии с учетом возможности размыкания сети или отключения одного источника питания.

При определении $I_{н.макс}$ принимается только максимальный режим, соответствующий направлению мощности от шин в линию.

В сетях с двухсторонним питанием токи срабатывания защит, действующих в одном направлении, должны согласовываться по чувствительности, возрастая при приближении к источнику питания. Это согласование производится только для защит, входящих в одну группу (например – защиты АК2, АК4 и АК6). Причем защита, имеющая меньшую выдержку времени, должна иметь и меньший ток срабатывания, т.е.

$$I_{сз2} < I_{сз4} < I_{сз6}.$$

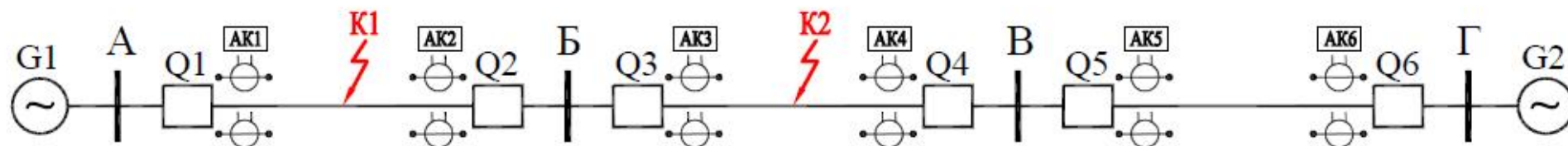
В общем случае

$$I_{сзн} = K_{зап} * I_{сз(n-1)},$$

где $K_{зап}$ принимается равным 1,1.

Таким образом токи срабатывания должны удовлетворять встречно-ступенчатому принципу и выбираться по условию, дающему большее значение тока.

Выбор времени срабатывания МТНЗ.



Наличие реле мощности в схемах МТНЗ АК2 и АК3 дает возможность не согласовывать между собой их выдержки времени.

Из рисунка видно, что при КЗ в точке К1 токи будут одинаковы у защит АК2, АК4 и АК6 и эти защиты придут в действие.

Для селективного действия защит необходимо, чтобы выдержка времени t_2 защиты АК2 была меньше выдержки времени t_4 защиты АК4, а выдержка времени t_4 защиты АК4 была меньше выдержки времени t_6 защиты АК6.

Точно также должны быть согласованы между собой выдержки времени защит АК1, АК3 и АК5 при КЗ в точке К2.

Таким образом, защиты рассматриваемого участка разбиваются на две группы – четную и нечетную, не связанные между собой выдержками времени.

В пределах каждой группы выдержки времени выбираются по ступенчатому принципу

$$t_4 = t_2 + \Delta t \text{ и } t_1 = t_3 + \Delta t,$$

где Δt – степень селективности.

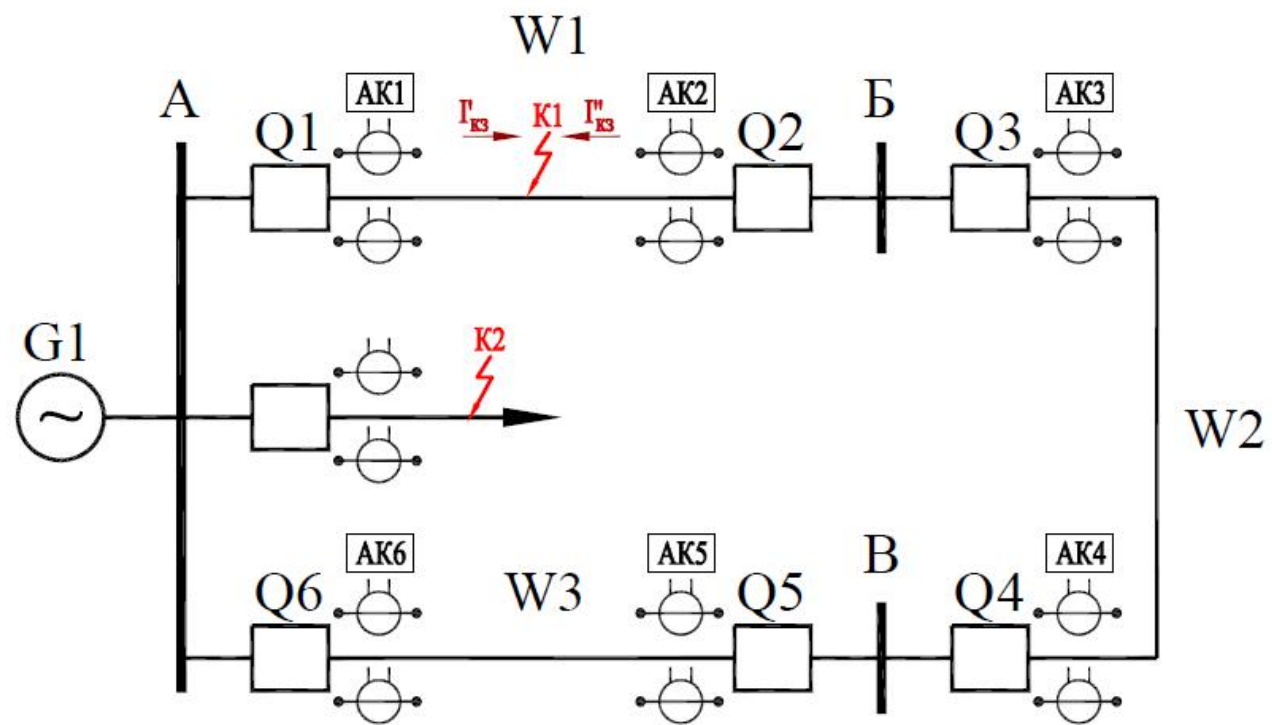
Минимальную выдержку времени имеют защиты АК2 и АК5. Они отстраиваются от защит других присоединений подстанций А и Г. В каждой группе защит время срабатывания увеличивается по мере приближения к источникам питания. Принято называть выбор выдержек времени МТНЗ по встречно-ступенчатому принципу.

Учитывая наличие реле направления мощности, защиты будут работать селективно при КЗ в любой точке сети.

Селективность не нарушится, если защиты АК2 и АК5 не снабжать органом направления мощности.

В общем случае при наличии на подстанции нескольких присоединений, защита, имеющая наибольшую выдержку времени, может не иметь органа направления мощности, т.к. селективность ее действия при КЗ на других присоединениях будет обеспечиваться выдержкой времени.

МТНЗ в кольцевых сетях.



В кольцевых сетях с одним источником питания выдержки времени МТНЗ выбираются по встречно-ступенчатому принципу.

Защиты АК2 и АК5, установленные на приемных сторонах головных участков АБ и АВ, выполняются без замедлений. Такая возможность определена тем, что при внешних КЗ мощность у места установки защит АК2 и АК5 всегда направлена от линий к шинам. Поэтому их органы направления мощности препятствуют срабатыванию защит. Защиты АК2 и АК5 также не будут срабатывать при повреждениях вне кольца на других присоединениях подстанции А (точка К2), т.к. ток повреждения при этом по кольцу не проходит.

Только при КЗ на линиях АБ или АВ органы направления мощности защит АК2 и АК5 будут срабатывать и защиты смогут подействовать на отключение. Это дает возможность выполнить их действие без замедления.

При КЗ на линии АБ вблизи шин подстанции А ток в точку КЗ проходит в основном через выключатель 1 и только небольшая доля тока КЗ замыкается по кольцу. По мере приближения точки КЗ к шинам подстанции А этот ток станет меньше тока срабатывания защиты АК2. Защита АК2 сможет сработать только после отключения выключателя 1, когда весь ток повреждения будет замыкаться по кольцу и проходить через защиту АК2.

Таким образом, при повреждениях в пределах некоторой зоны защита АК2 действует всегда только после срабатывания защиты АК1. Такое поочередное действие защит называется каскадным, а зона зоной каскадного действия.

При каскадном действии защит время отключения поврежденного участка увеличивается.

Кроме того может иметь место неправильная работа защит АК4 и АК6, органы направления мощности которых при КЗ в точке К1 находятся в сработавшем состоянии. Неправильное действие защит может произойти в том случае, если их токи срабатывания АК4 и АК: окажутся меньше тока КЗ в точке К1.