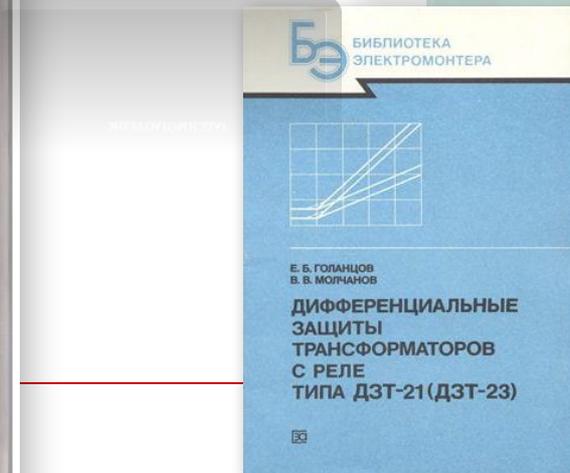
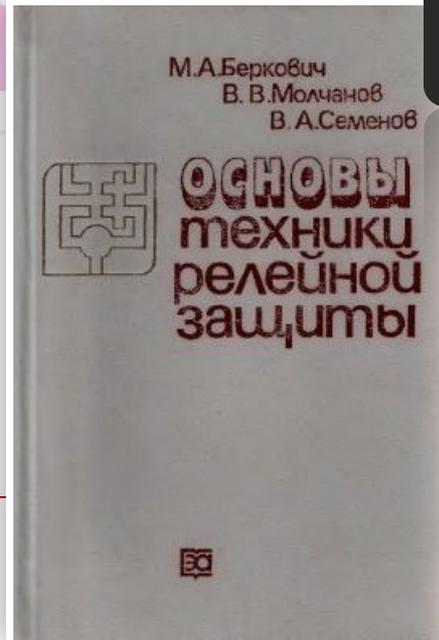
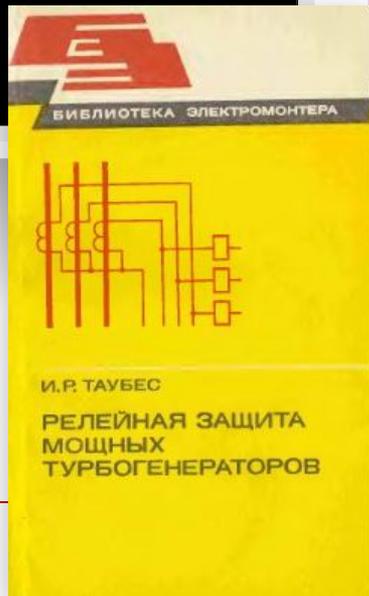
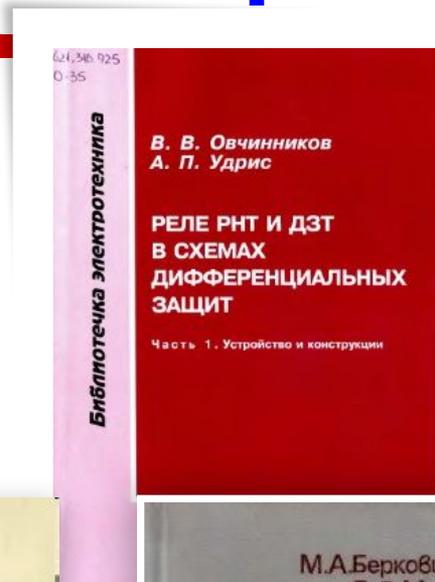
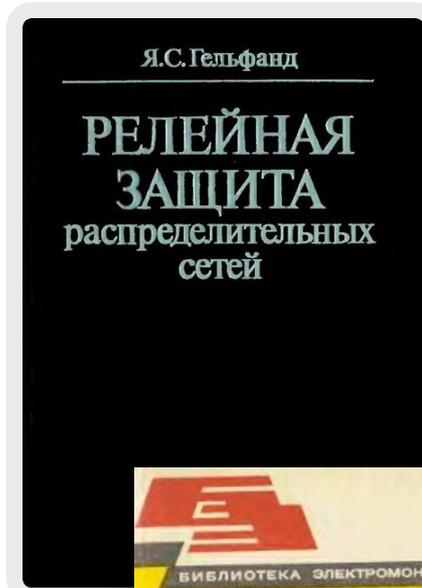


Релейная защита электроэнергетических систем

СИСТЕМ



Релейная защита электроэнергетических систем



Многоцепная воздушная линия



Монтаж опоры ВЛ



Двухцепная воздушная линия



Переход через реку

Опоры воздушных линий



Поворотная опора



Концевая опора

ОТКРЫТОЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО



ОТКРЫТОЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО



ОТКРЫТОЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО



Повреждения на подстанциях



Повреждения на подстанциях



Повреждения ВЛ



Шкафы микропроцессорных защит ООО «НПП ЭКРА»



Шкафы микропроцессорных защит ООО «НПП ЭКРА»



Продольные и поперечные дифференциальные защиты воздушных линий

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОДОЛЬНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ЛИНИИ

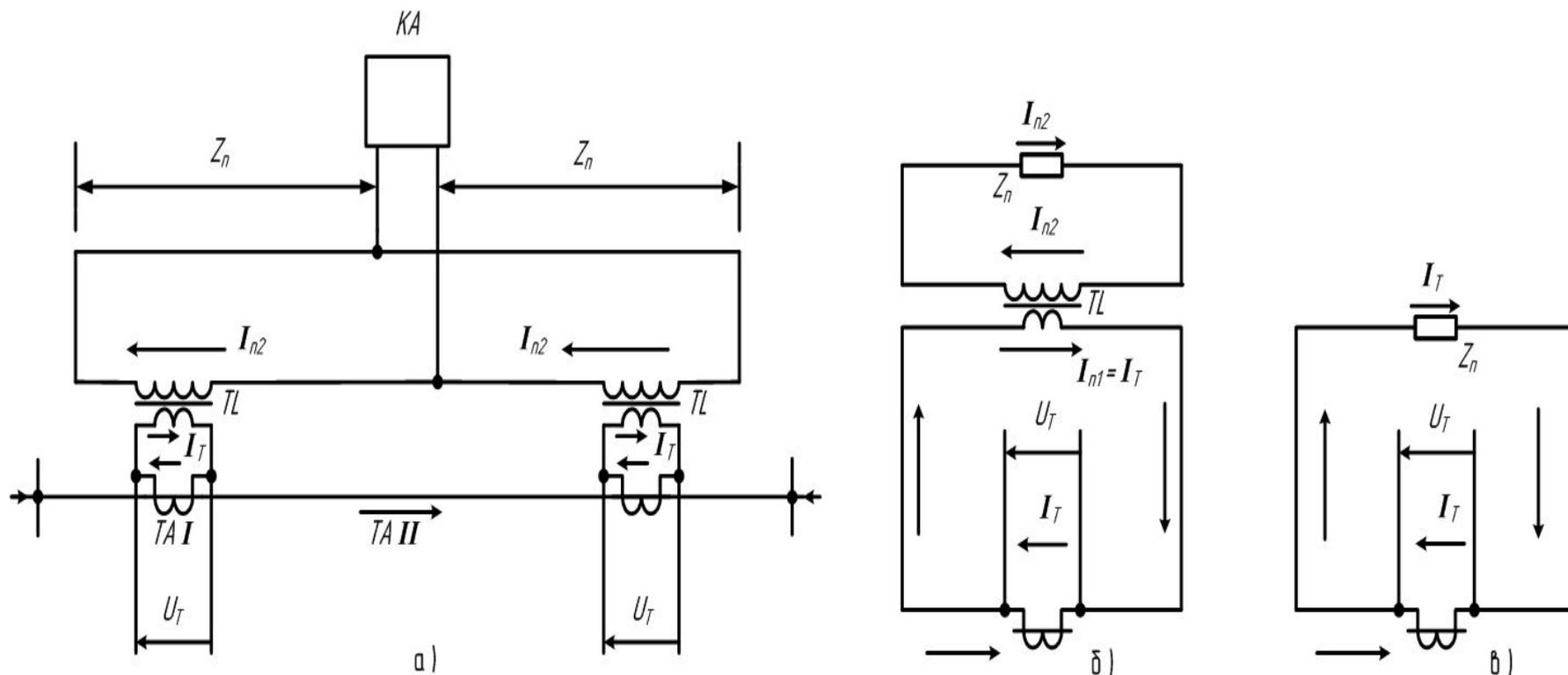
В основе всех схем дифференциальных РЗ лежат общие принципы, учитывающие особенности работы этих РЗ на ЛЭП.

1 Трансформаторы тока дифференциальной РЗ, устанавливаемые на концах защищаемой ЛЭП, находятся на значительном расстоянии друг от друга. Поэтому связывающие их соединительные провода имеют большое сопротивление, во много раз превышающее предельно допустимые нагрузки TT .

Например, медный соединительный провод сечением 1,5 мм на ЛЭП длиной 10 км имеет $R = 130 \text{ Ом}$, в то время как допустимая нагрузка TT составляет 1-3 Ом (25-75 В • А).

Для снижения нагрузки на TT до допустимых значений применяются понизительные промежуточные трансформаторы тока TL . Они уменьшают значение тока в соединительных проводах в раз K_{TL}^2 и снижают благодаря этому нагрузку соединительных проводов, приведенную к зажимам основных TT в K_{TL}^2 раз, поскольку нагрузка TT пропорциональна $I_B^2 R$.

Продольная дифференциальная защита ВЛ



Применение промежуточных ТТ ТЛ для снижения нагрузки на основные ТТ :
а – схема включения ТЛ; б, в – загрузка ТТ при наличии ТЛ и без него.

Продольная дифференциальная защита ВЛ

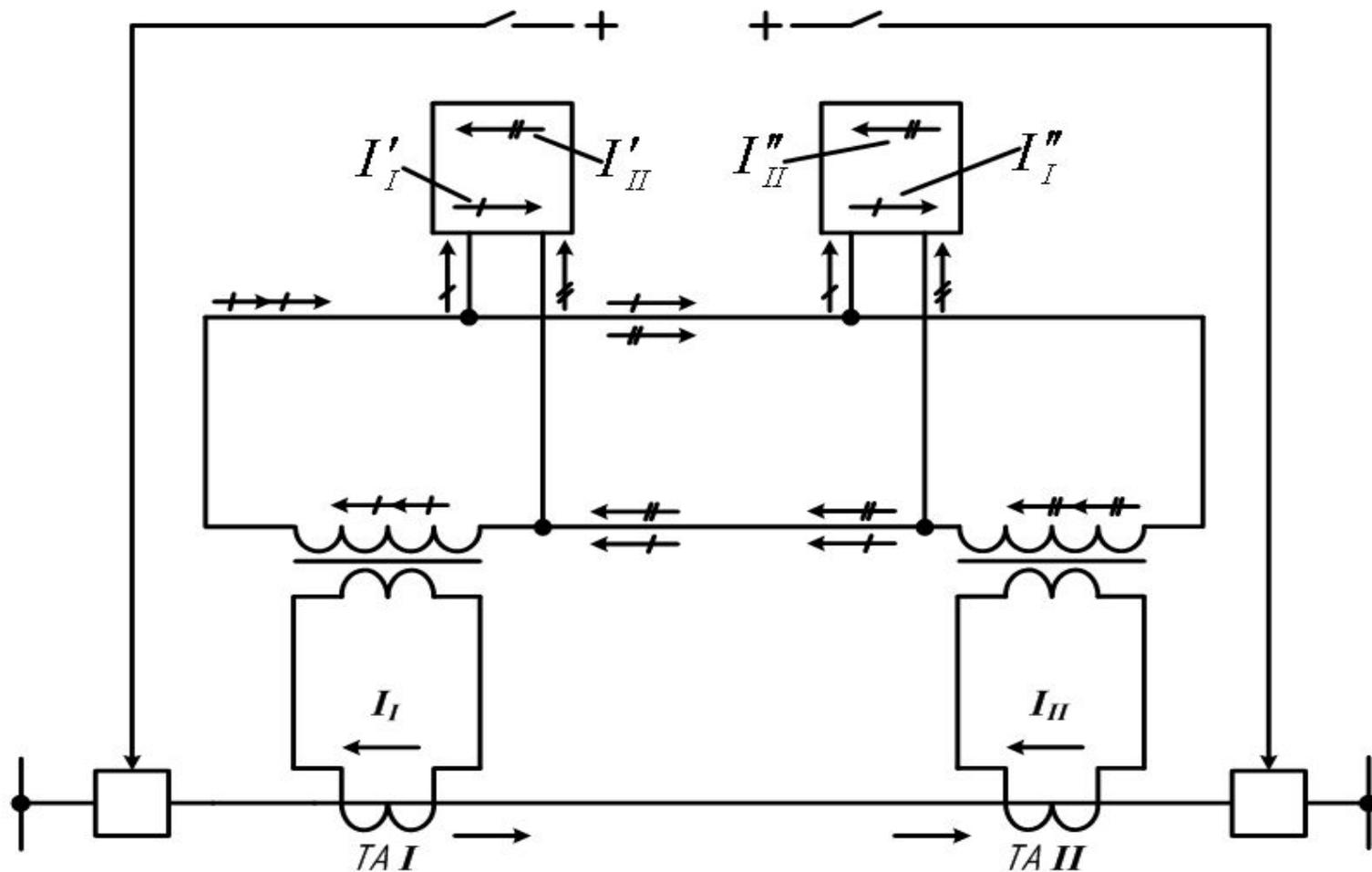


Схема продольной дифференциальной защиты с установкой реле на обоих концах защищаемой ЛЭП

Продольная дифференциальная защита ВЛ

2. Дифференциальная РЗ должна воздействовать на отключение выключателей на обоих концах защищаемой ЛЭП. Для осуществления этого устанавливаются два дифференциальных реле 1 и 2 - по одному на каждом конце ЛЭП. Каждое из этих реле действует на свой выключатель. Введение в схему второго, параллельно включенного реле вносит следующие изменения в условия работы РЗ:

а) ток, поступающий от ТА I и ТА II, распределяется между ближним и дальним реле обратно пропорционально сопротивлениям их цепей. В контуре дальнего реле участвуют соединительные провода, а поэтому ток, направляющийся в дальнее реле, меньше, чем ток, поступающий в реле, расположенное вблизи данных ТТ. В результате этого токи, поступающие в реле, не балансируются, и поэтому при внешнем КЗ даже при работе ТТ без погрешностей в реле 1 появляется дополнительный ток небаланса

$\underline{I}'_{\text{РЗ } p} = \underline{I}'_I - \underline{I}'_{II} = \underline{I}'_{\text{нб}}$, а в реле $\underline{I}'_{\text{РЗ } p} = \underline{I}'_I - \underline{I}'_{II} = \underline{I}'_{\text{нб}}$. Значение пропорционально току КЗ, для уменьшения его необходимо уменьшать сопротивление соединительных проводов Z_{np} . У каждой РЗ в зависимости от ее чувствительности имеется предельно допустимое значение Z_{np} . При превышении его РЗ работает неправильно от возросших токов небаланса.

б) при КЗ в зоне и схеме с одним реле в последнее поступает сумма токов ТТ $\underline{I}'_R = \underline{I}'_I - \underline{I}'_{II} = \underline{I}'_{\text{нб}}$, а в схеме с двумя реле в каждое

Продольная дифференциальная защита ВЛ

из них попадает только часть вторичного тока от $TA I$ и $TA II$. Если сопротивление проводов равно нулю, то ток в каждом из реле $I_P = I_I / 2 - I_{II} / 2 = I_K / 2$, т. е. в 2 раза меньше, чем в схеме с одним реле. Вследствие этого чувствительность РЗ уменьшается.

Токи небаланса в дифференциальных РЗ ЛЭП при внешних КЗ могут достигать значительных величин. Для отстройки $I_{нб}$ от получили распространение дифференциальные реле с торможением.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ РЕЛЕ С ТОРМОЖЕНИЕМ

Реле с торможением, в отличие от простого дифференциального токового реле, выполняется таким образом, чтобы его ток срабатывания возрастал при увеличении тока внешнего КЗ согласно выражению

$$I_{с.р} = kI_{ВН.К}$$

Продольная дифференциальная защита ВЛ

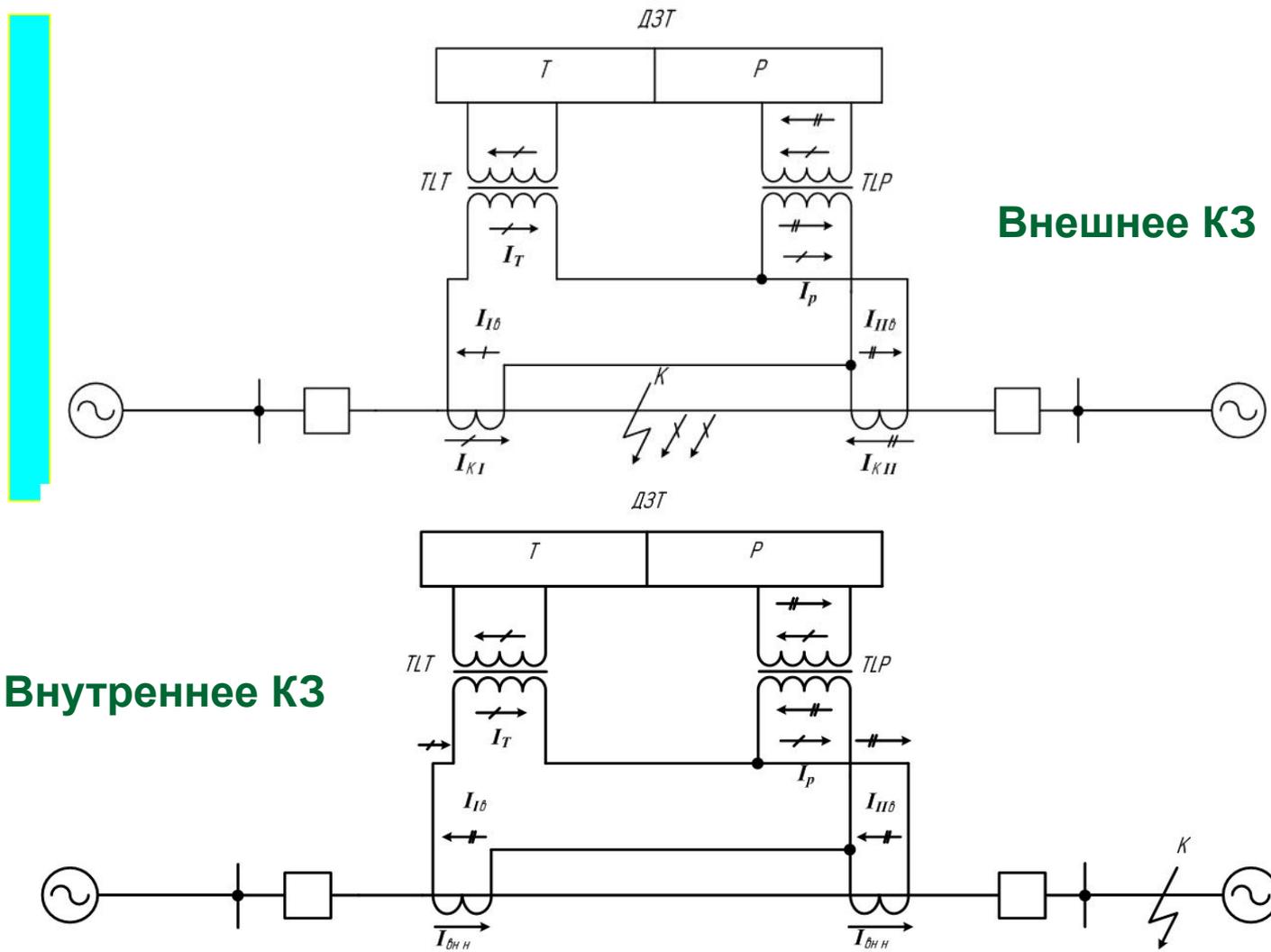
Принцип действия дифференциальной РЗ и реле с торможением (ДЗТ) поясняется схемами. Реле с торможением имеет два элемента: рабочий P и тормозной T . Рабочий элемент включен через промежуточный трансформатор TLP по дифференциальной схеме, так же как и простое токовое реле в схемах, приведенных ранее. Ток, протекающий по рабочему элементу, называется рабочим I_P : при внешнем КЗ этот ток равен разности, а при КЗ в зоне - сумме вторичных токов I_B и I_H . Тормозной элемент включается в рассечку соединительных проводов на ток I_B , или I_H . Ток, питающий тормозной элемент реле, препятствует срабатыванию реле и называется тормозным I_T . При внешнем КЗ или качаниях $I_T = I_{BH.K}$. Реле приходит в действие, если $I_p > k_T I_T$. Следовательно, рабочий ток, необходимый для срабатывания реле:

$$I_{c.p} = k_T I_T = k_T I_{BH}$$

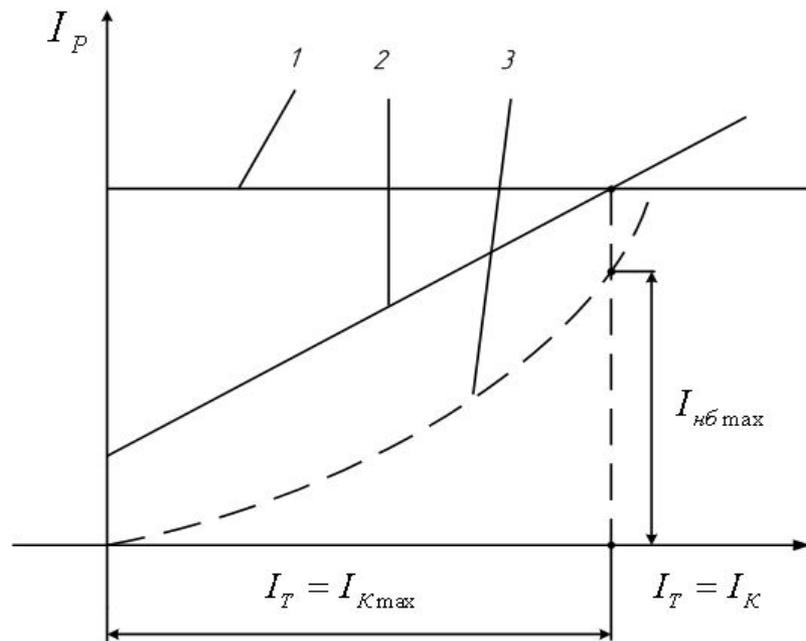
Коэффициент k_T называется коэффициентом торможения, он характеризует степень загробления реле под действием I_T . Обычно

$$k_T = 0,3 \div 0,6$$
$$k_T I_T > I_{нб} \quad \text{или} \quad k_T I_T = k_{зап} I_{нб}$$

Продольная дифференциальная защита ВЛ



Продольная дифференциальная защита ВЛ



Характеристика срабатывания ДЗТ приведена на рис.

При внешнем КЗ

$$I_{\text{нб}} = I_I - I_{\text{кII}} = I ; I = I$$

при выполнении условия селективности $I_p < k_T I_T$ и реле не срабатывает. При КЗ в зоне РЗ $I_B = I_{\text{кПВ}} - I^p$. Так как при этом $I_p > k_T I_T$ срабатывает и отключает поврежденную ЛЭП.

Продольная дифференциальная защита ВЛ

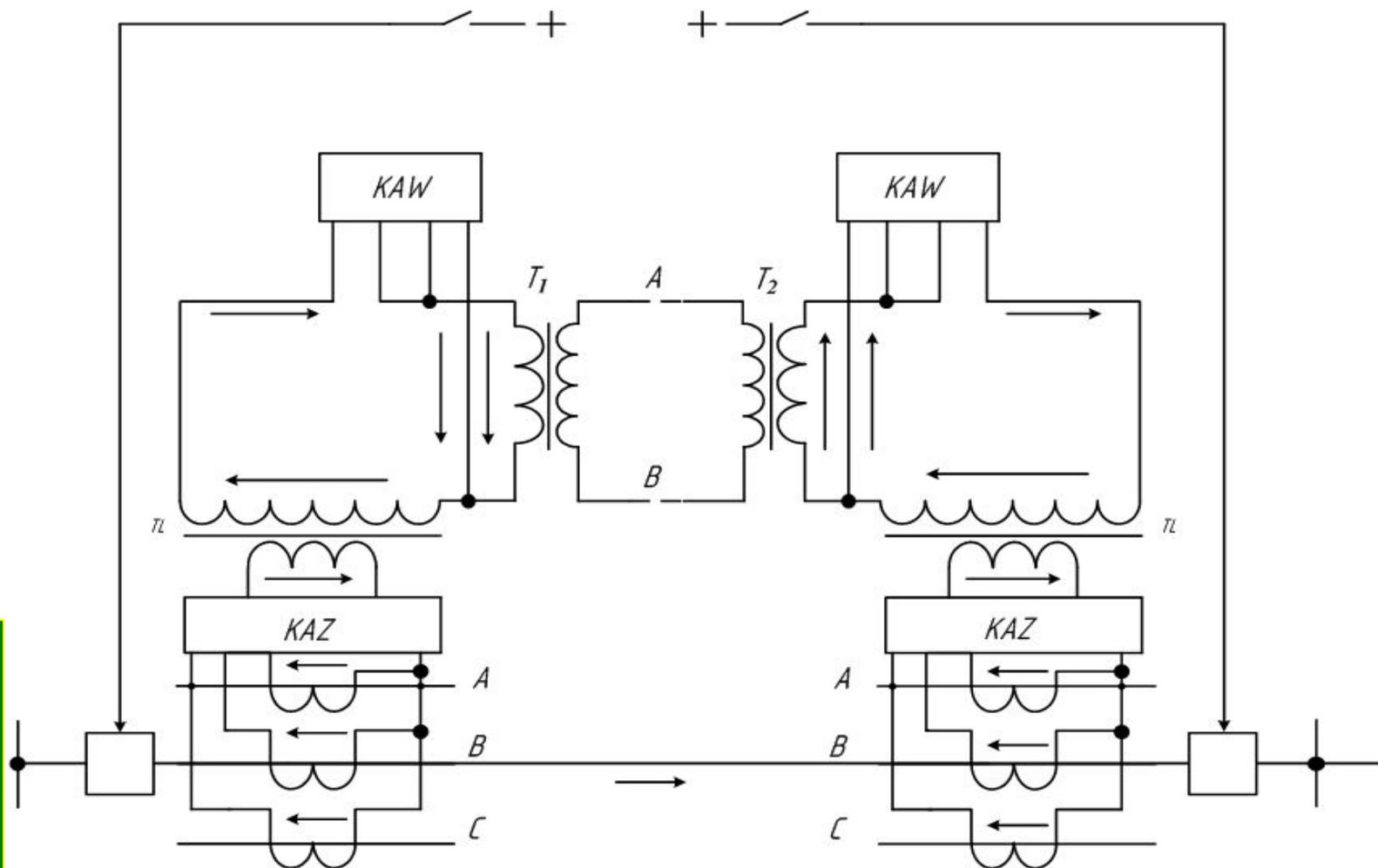
ПОЛНАЯ СХЕМА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ЛИНИЙ

Во всех рассмотренных схемах подразумевалась установка на трех фазах в тех случаях, когда РЗ должна реагировать на все виды КЗ. Для выполнения таких схем необходимо шесть дифференциальных реле и не менее четырех соединительных проводов. Для уменьшения числа реле и соединительных проводов реле включаются через фильтры симметричных составляющих или суммирующие трансформаторы, как показано на принципиальной схеме.

Помимо уже рассмотренных элементов в этой схеме предусмотрены разделительные (изолирующие) трансформаторы TI , с помощью которых цепь соединительного кабеля AB отделяется от цепей реле. Такое разделение исключает появление в цепях реле высоких напряжений, наведенных в жилах кабеля при протекании токов КЗ по защищаемой ЛЭП или возникающих в них по любым другим причинам.

На практике получили распространение РЗ с комбинированными фильтрами прямой и обратной последовательностей или прямой и нулевой последовательностей. Ток (или напряжение) на выходе таких фильтров пропорционален $I_1 + kI_2$ или $I_1 + kI_0$. Составляющая прямой последовательности имеется при всех видах КЗ.

Продольная дифференциальная защита ВЛ



Полная принципиальная схема однофазной продольной дифференциальной РЗ ЛЭП

Продольная дифференциальная защита ВЛ

10.6. УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ ИСПРАВНОСТИ СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ ПРОВОДОВ

Повреждения проводов. Повреждение соединительных проводов может вызвать неправильную работу дифференциальной РЗ. Возможны обрывы проводов, КЗ между ними и замыкания на землю одного из проводов.

При обрыве соединительного провода весь ток, поступающий от ТТ, замыкается через рабочие обмотки дифференциальных реле. Ток в тормозной Г и рабочей Р обмотках реле становится одинаковым, вследствие чего **реле может сработать при нормальной нагрузке или внешнем КЗ. Замыкание между соединительными проводами шунтирует рабочие обмотки реле**, благодаря чему **РЗ может не подействовать и отказать в работе при КЗ в зоне. Замыкание на землю** не нарушает токораспределения и не угрожает поэтому непосредственной опасностью неправильного действия или отказа РЗ. Однако если в жилах соединительного кабеля появляется ЭДС, наведенная токами вблизи расположенных ЛЭП, то создаются условия для ложной работы РЗ в режиме нагрузки или внешнего КЗ.

Продольная дифференциальная защита ВЛ

Устройство контроля. Для повышения надежности РЗ ее снабжают устройствами, контролирующими исправное состояние соединительных проводов. Устройство контроля может автоматически выводить РЗ из действия, разрывая ее цепь отключения при повреждении соединительных проводов, или подавать сигнал о неисправности.

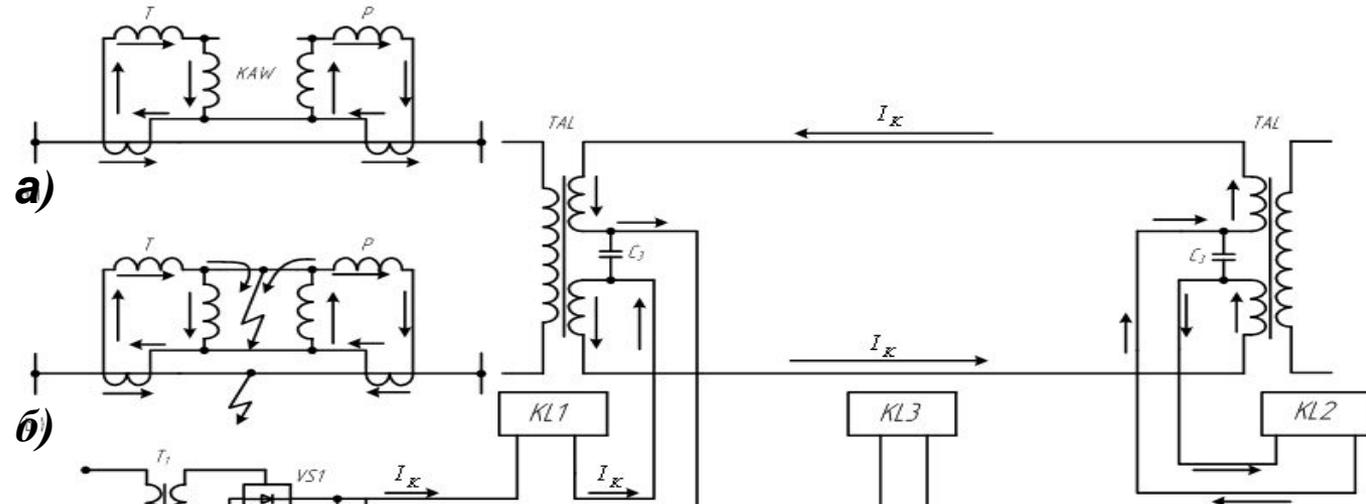
Получило распространение устройство контроля, основанное на наложении на рабочий ток, протекающий в соединительных проводах РЗ, непрерывно циркулирующего контрольного постоянного тока. Принцип выполнения устройства показан на рисунке. К соединительным проводам А и В подводится контрольное напряжение от выпрямителя VS1, который питается от ТСН подстанции. Для создания контура контрольного тока вторичные обмотки изолирующих трансформаторов ТАЛ на обоих концах ЛЭП, состоящие из двух секций, соединяются через конденсатор СЗ, который пропускает переменный ток, но запирает путь постоянному току контроля. Ток контроля I_k , поступающий от выпрямителя VS1, замыкается через обмотку реле KL1, провод А, реле KL2, провод В и возвращается в выпрямитель, как показано стрелками на рис. Ток контроля не трансформируется в первичные обмотки трансформаторов ТАЛ и поэтому не влияет на работу РЗ. Под действием этого тока якоря реле KL1 и KL2 подтянуты.

При обрыве соединительного провода ток контроля исчезает, и реле срабатывают, подавая сигнал и разрывая оперативную цепь РЗ.

Продольная дифференциальная защита ВЛ

Контроль соединительных проводов

Обрыв



Короткое замыкание

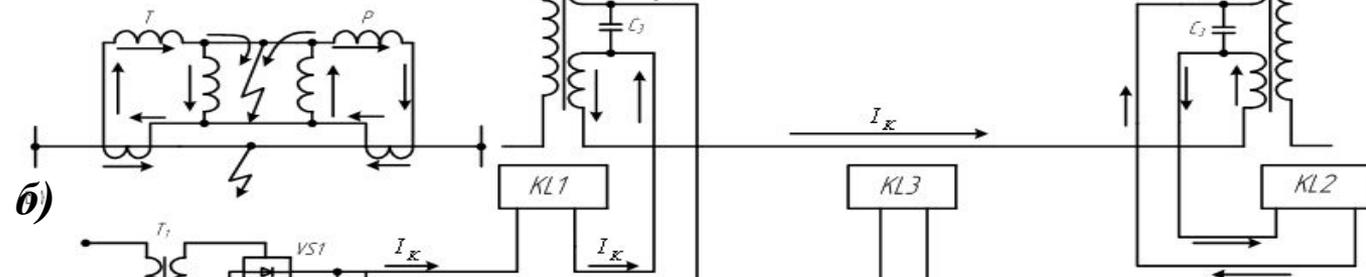
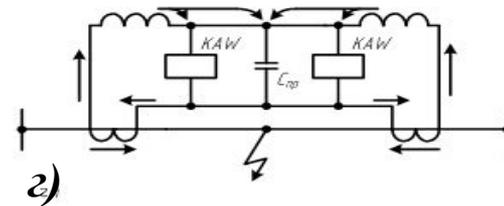
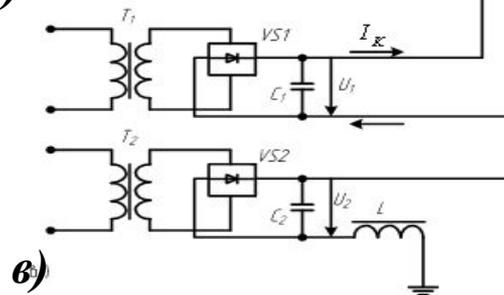


Схема контроля



Продольная дифференциальная защита ВЛ

При замыкании между проводами А и Б обмотка реле $KL2$ шунтируется. Ток I_k в реле $KL2$ исчезает, и реле срабатывает подавая сигнал о неисправности и выключая РЗ на своем конце ЛЭП.

Такое действие контроля допустимо, поскольку при возникновении КЗ между соединительными проводами автоматическое отключение ЛЭП не требуется. Обычно нормальное значение тока $I_k = 5 \text{ мА}$, а напряжение $U_k = 80 \text{ В}$.

Для сигнализации о замыкании на землю в соединительных проводах предусматривается второй выпрямитель $VS2$. Он подключается одним полюсом к соединительным проводам, а вторым - к земле, через заземляющий дроссель L .

При отсутствии замыкания на землю цепь реле $KL3$ разомкнута и оно не работает. В случае нарушения изоляции относительно земли одного из проводов под действием напряжения U_2 возникает искусственный ток замыкания на землю I_3 , который проходит через реле $KL3$, место повреждения и возвращается в выпрямитель $VS2$ через землю и дроссель L . Реле $KL3$ срабатывает и дает сигнал. В качестве реле $KL1-KL3$ используются поляризованные реле типа РП-7.

Продольная дифференциальная защита ВЛ

Соединительные провода. Связь между комплектами РЗ, расположенными по концам защищаемой ЛЭП, осуществляется с помощью бронированного кабеля, прокладываемого по трассе, обеспечивающей его сохранность. В целях удешевления обычно применяется многожильный кордельный телефонный кабель типов ТЗБ, ТБ и ТЗСБ, используемый одновременно для телефонной связи и телемеханики.

Для обеспечения правильной работы РЗ жилы кабеля должны иметь возможно меньшее сопротивление и небольшую емкость. Первое необходимо для ограничения $I_{нб}$, обуславливаемых влиянием сопротивления соединительных проводов, а второе - для повышения чувствительности РЗ, так как емкость между жилами и на землю шунтирует рабочую обмотку дифференциального реле и уменьшает поступающий в нее ток при КЗ на защищаемой ЛЭП.

Продольная дифференциальная защита ВЛ

Схема ДЗЛ построена по такому же принципу, как и схема РЗ, рассмотренная ранее. Она основана на сравнении значения и фазы токов $\underline{I}_1 + k\underline{I}_2$ на концах защищаемой ЛЭП. Защита состоит из двух полукомплектов, установленных на каждой стороне ЛЭП и соединенных с помощью двух жил соединительного кабеля.

В каждый полукомплект ДЗЛ входят следующие компоненты: комбинированный фильтр 1 ($\underline{I}_1 + k\underline{I}_2$) промежуточный трансформатор 2 со стабилизатором напряжения 3, дифференциальное реле с торможением 4, состоящее из поляризованного реле КА и питающих его выпрямителей 5 и 6, промежуточное и указательное реле (на схеме не показаны), изолирующий трансформатор 7 (в трансформатор *TAL*).

Комбинированный активно-индуктивный фильтр $\underline{I}_1 + k\underline{I}_2$ состоит из трансреактора *TAV* и резисторов *R1* и *R2*.

Трансреактор имеет две первичные обмотки w_1 и w_0 , одну вторичную w_2 . Обмотка w_1 питается током фазы В I_B , а w_0 - $3I_0$. Обмотки включены на питающий ток разной полярностью.

Продольная дифференциальная защита ВЛ

5, 6 –
выпрямители

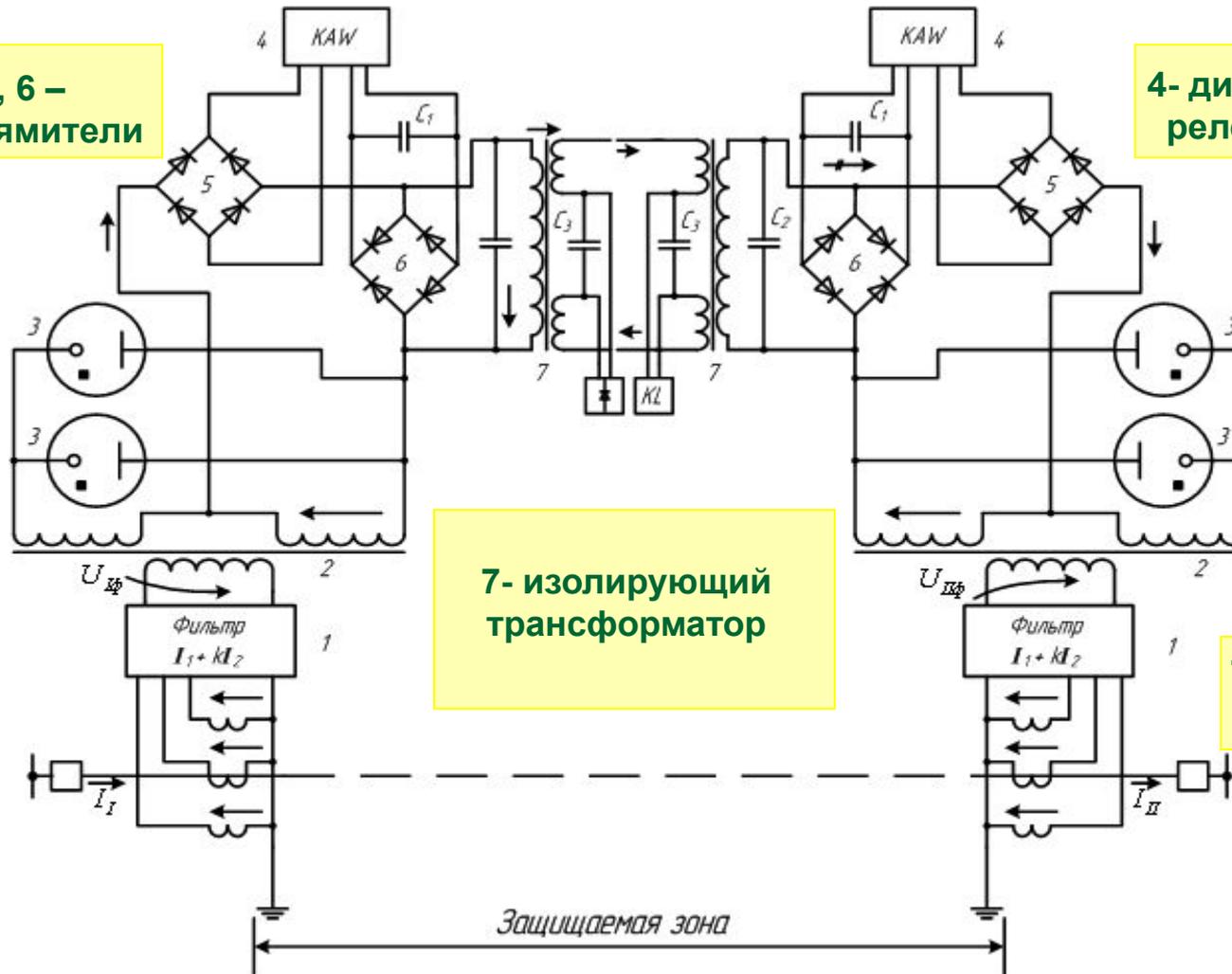
4- дифференциальное
реле с торможением

3- стабилизатор
напряжения

2- промежуточный
трансформатор

1- комбинированный
фильтр

7- изолирующий
трансформатор



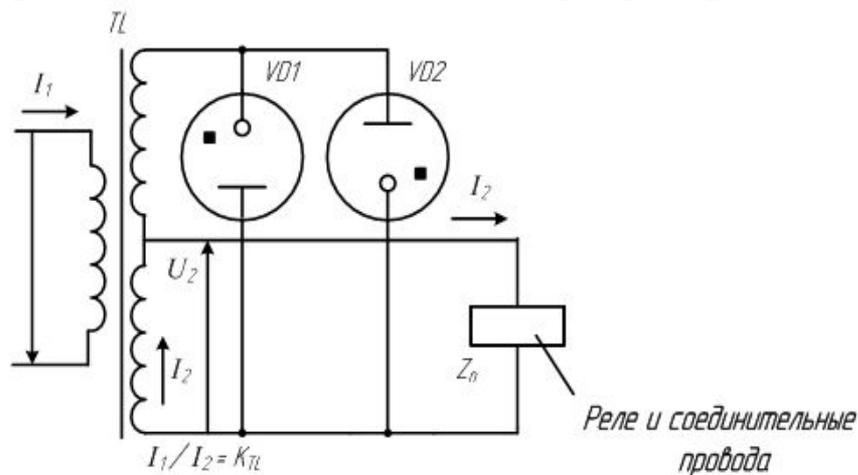
Принципиальная схема защиты ДЭЛ

Продольная дифференциальная защита ВЛ

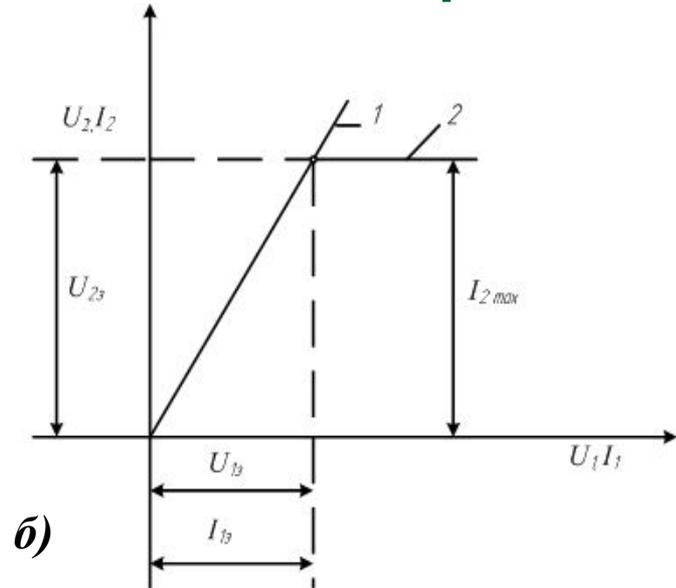
Промежуточный трансформатор TL является понижающим ТТ. Вторичная обмотка трансформатора имеет две секции. От одной питается РЗ, а от второй газонаполненные стабилизаторы $VD1$ и $VD2$. Коэффициент трансформации секции TL, питающей реле, $K_{TL} = I_1 / I_2$. При определенном напряжении (около 110 В) на вторичной стороне TL стабилитроны зажигаются. В результате скачкообразно возрастает нагрузка трансформатора, дальнейшее увеличение вторичного напряжения U_2 и тока I_2 прекращается.

Промежуточный трансформатор в сочетании со стабилизатором ограничивает: напряжение на выпрямителях и соединительных проводах до допустимого для них значения при токах КЗ; ток небаланса в дифференциальном реле, поскольку при больших токах после зажигания стабилитронов ток, поступающий в дифференциальное реле 4, остается неизменным (в этих условиях работа РЗ зависит практически только от фазы сравниваемых токов в начале и конце ЛЭП); нагрузку на ТТ. При малых токах (пока не сказывается влияние стабилитронов) нагрузка уменьшается в K_{TL}^2 раз. После зажигания стабилитронов рост тока в соединительных проводах прекращается, перестает также расти мощность, потребляемая соединительными проводами $I_2^2 Z_{с.л}$

Продольная дифференциальная защита ВЛ



а)



б)

Промежуточный трансформатор:

а - схема; б - характеристики: 1 - при отсутствии стабилизатора; 2 - при наличии стабилизатора

Дифференциальное реле. В качестве дифференциального реле 4 применено поляризованное реле, питающееся выпрямленным током. Выпрямитель тормозной обмотки 5 питается током насыщающегося трансформатора. Выпрямитель рабочей обмотки 6 включен дифференциально, т. е. на разницу токов в начале и конце ЛЭП.

Продольная дифференциальная защита ВЛ

Конденсатор $C1$ сглаживает пульсацию выпрямленного тока, питающего рабочую обмотку реле, устраняя вибрацию его контактов. В конструкции реле 4 не предусматривается приспособление для регулировки токов срабатывания и коэффициента торможения. При отсутствии торможения $I_{cp} = 2,5 \text{ мА}$. Время действия реле равно 0,04 с.

Промежуточное выходное реле имеет шунтовую обмотку, в которую подается ток при срабатывании РЗ, и дополнительную обмотку, включаемую последовательно с катушкой отключения выключателя, для удержания реле в сработавшем состоянии до отключения выключателя. Время действия реле 0,02с.

Изолирующий трансформатор 7 выполняет две функции: отделяет цепь реле от соединительных проводов, на которых могут возникать повышенные напряжения, наводимые извне; уменьшает ток в соединительных проводах, чтобы дополнительно снизить нагрузку от них на ТТ. Коэффициент трансформации трансформатора 7 равен 3.

Для уменьшения погрешности, вносимой изолирующими трансформаторами при внешнем КЗ, и уменьшения отсоса в них при КЗ в зоне параллельно первичной обмотки изолирующего трансформатора включен конденсатор $C2$.

Продольная дифференциальная защита ВЛ

Устройство контроля выполняется.

Защита ДЗЛ-2 выпускается либо для РЗ одной ЛЭП 110-220 кВ (панели ЭПЗ 1638-73/1 и ЭПЗ 1639-73/1), либо для РЗ двух ЛЭП (панели ЭПЗ 1638-73/2, ЭПЗ 1630-73/2). Панели ЭПЗ 1638-73/1 оснащены дополнительно устройствами контроля соединительных проводов.

Ток срабатывания РЗ. В ДЗЛ предусмотрены три ответвления на обмотке w_1 фильтра с помощью которых можно получить три уставки тока срабатывания, условно выражаемые в относительных единицах коэффициентом h , имеющим три значения: 1; 1,5 и 2. Ток срабатывания h равен 1, когда включены все витки обмотки w_1 . Одновременно с изменением числа витков предусматривается пропорциональное изменение значений сопротивления R_1 и R_2 так, чтобы изменение X_ϕ не влияло на коэффициент k .

Продольная дифференциальная защита ВЛ

Регулирование k осуществляется изменением сопротивлений R_1 и R_2 при этом X_ϕ остается неизменным. Предусмотрены четыре значения k (-4, -6, -8, -10). Ток срабатывания РЗ при одном и том же значении k зависит от вида КЗ и поврежденных фаз. Согласно заводским данным, ток срабатывания РЗ на входе фильтра при $h = 1$, $k = -4$ и одностороннем питании КЗ на фазе В равен 3,8 А. Значения $I_{c.з}$ для других значений h и k определяются по выражению

$$I_{c.з} = \frac{3,8}{n} h,$$

где $1/n$ берется из данных завода-изготовителя.

Выбор уставок РЗ сводится к выбору коэффициентов, по которым определяется $I_{c.з}$, а затем находится коэффициент чувствительности при $I_{к min}$ при повреждениях на ЛЭП. Коэффициент k выбирается так, чтобы при несимметричных КЗ составляющая kI_2 преобладала над I_1 , обеспечивая значение E_ϕ достаточное для действия РЗ:

$$k = k_n \frac{I_{1B}}{I_{2B}},$$

где k_n - коэффициент надежности, учитывающий возможные погрешности в определении I_{1B} .

Продольная дифференциальная защита ВЛ

За расчетный режим при определении k принимается двухфазное КЗ на землю на защищаемой ЛЭП.

Коэффициент h выбирается из условия, чтобы магнитодвижущая сила $I_B w_1$ вызывала насыщения трансреактора. Если вторичный ток $I_{Kmax} < 100 A$, то $h = 1$. При $I_K > 100$, но меньше $150 A / 7 = 1,5$. При $I_K = 150 A$, $h = 2$.

Вторичный ток срабатывания РЗ при одностороннем питании КЗ для разных его видов вычисляется по (10.18).

ОЦЕНКА ПРОДОЛЬНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ

Основными достоинствами защиты являются: **быстродействие, простота и надежность схемы и конструкции измерительного органа.**

Защита не реагирует на качания и перегрузки, действует при КЗ в любой точке ЛЭП. К недостаткам РЗ следует отнести **высокую стоимость соединительного кабеля и работ по его прокладке, а также возможность ложной работы при повреждении соединительных проводов.** При наличии автоматического контроля повреждения кабеля обнаруживаются своевременно, и случаи ложной работы РЗ по этой причине редки. **Защита получила распространение в качестве основной на ЛЭП 110 и 220 кВ длиной до 10-15 км.**

Для расширения области применения и повышения надежности вместо соединительного кабеля предполагается использовать **оптоволоконный канал связи.**

Поперечная дифференциальная защита ВЛ

Принцип действия поперечной дифференциальной защиты ВЛ

Поперечные дифференциальные РЗ применяются на параллельных ЛЭП, имеющих одинаковое сопротивление, и основаны на сравнении значений и фаз токов, протекающих по обеим ЛЭП. Благодаря равенству сопротивлений ЛЭП в нормальном режиме и при внешнем КЗ токи в них равны по значению и фазе ($I_I = I_{II}$). В случае КЗ на одной из ЛЭП равенство токов нарушается. На питающем конце ЛЭП А токи I_I и I_{II} совпадают по фазе, но различаются по значению, а на приемном В - противоположны по фазе, что следует из токораспределения приведенного на *рисунке*. Таким образом, нарушение равенства токов в параллельных ЛЭП по значению или фазе является признаком повреждения одной из них. Поперечные дифференциальные РЗ применяются двух видов: на параллельных ЛЭП, включенных под один общий выключатель - токовая поперечная дифференциальная РЗ; на параллельных ЛЭП с самостоятельными выключателями - направленная поперечная дифференциальная РЗ.

Поперечная дифференциальная защита ВЛ

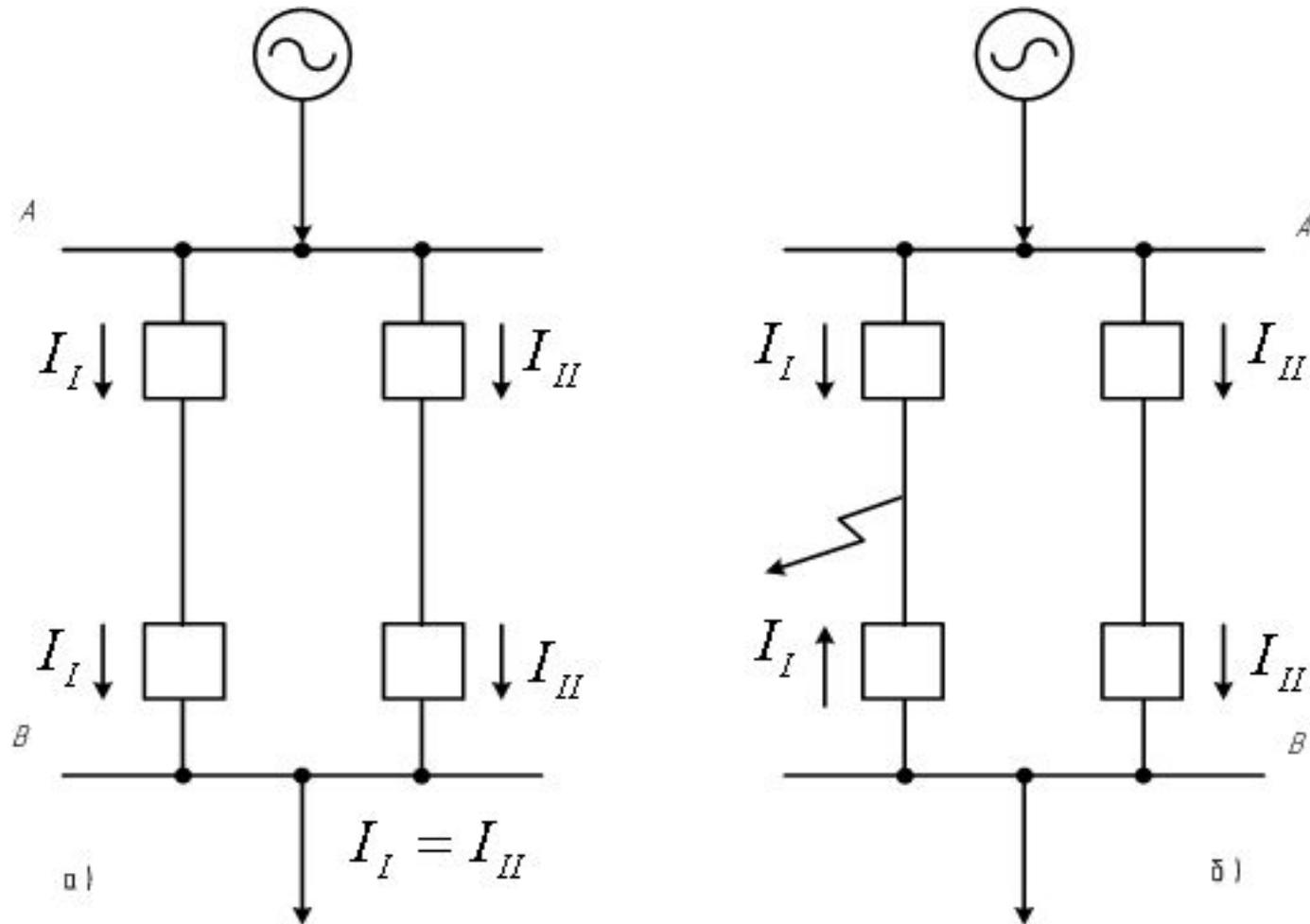


Рис. Распределение токов в параллельных ЛЭП:
а - при нормальной нагрузке; б - при КЗ на одной ЛЭП

Поперечная дифференциальная защита ВЛ

ТОКОВАЯ ПОПЕРЕЧНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА

Принципы действия защиты. Токовая поперечная дифференциальная РЗ предназначена для параллельных ЛЭП с общим выключателем. При одностороннем питании параллельных ЛЭП РЗ устанавливается только со стороны источника питания, а в сети с двусторонним питанием - с обеих сторон параллельных ЛЭП.

Схема РЗ для одной фазы изображена на *рисунке*. На одноименных фазах каждой ЛЭП устанавливаются ТТ с одинаковым коэффициентом трансформации $K_{I I} = K_{I II} = K_I$. Вторичные обмотки трансформаторов тока *I* и *II* соединяются разноименными зажимами по схеме с циркуляцией токов в соединительных проводах, и параллельно к ним включается обмотка токового реле *I*. Из токораспределения, приведенного на *рисунке* для нормального режима, внешнего КЗ и качаний, видно, что ток в реле

$$\underline{I}_P = \underline{I}_{BI} - \underline{I}_{BII} = \frac{I_I}{K_I} - \frac{I_{II}}{K_I}.$$

Поперечная дифференциальная защита ВЛ

При токе в реле $I_p > I_{c.p}$ РЗ действует и отключает общий выключатель обеих ЛЭП.

Мертвая зона защиты. По мере удаления точки КЗ от места установки РЗ соотношение токов I_I и I_{II} по поврежденной и неповрежденной ЛЭП изменяется. Эти токи направляются к точке К по двум параллельным ветвям и распределяются по ним обратно пропорционально их сопротивлениям Z_I и Z_{II} :

$$I_I / I_{II} = Z_{II} / Z_I,$$

где $Z_I = Z_L - Z_{BK}$, а $Z_{II} = Z_L + Z_{BK}$.

При перемещении точки К в сторону подстанции В сопротивление Z_I возрастает, а Z_{II} снижается, соответственно этому I_I уменьшается, I_{II} увеличивается, а ток в реле РЗ $I_p = I_I - I_{II}$ постепенно понижается и при КЗ на шинах В становится равным нулю. В результате этого, при повреждениях на некотором участке вблизи подстанции В

Поперечная дифференциальная защита ВЛ

Ток I_p оказывается меньше тока срабатывания РЗ $I_{c.3}$, и она перестает работать. Границей действия РЗ является точка КЗ, отстоящая от шин противоположной подстанции B на расстояние m , где $I_p = I_{c.3}$. Таким образом, РЗ, реагирующая на разность токов параллельных ЛЭП $I_I - I_{II}$, не может охватить своей зоной действия защищаемые ЛЭП полностью. Участок ЛЭП вблизи шин противоположной подстанции, при КЗ в пределах которого ток в реле недостаточен для его срабатывания, называется мертвой зоной РЗ. Наличие мертвой зоны является недостатком поперечной дифференциальной РЗ. Для отключения КЗ в мертвой зоне требуется дополнительная РЗ.

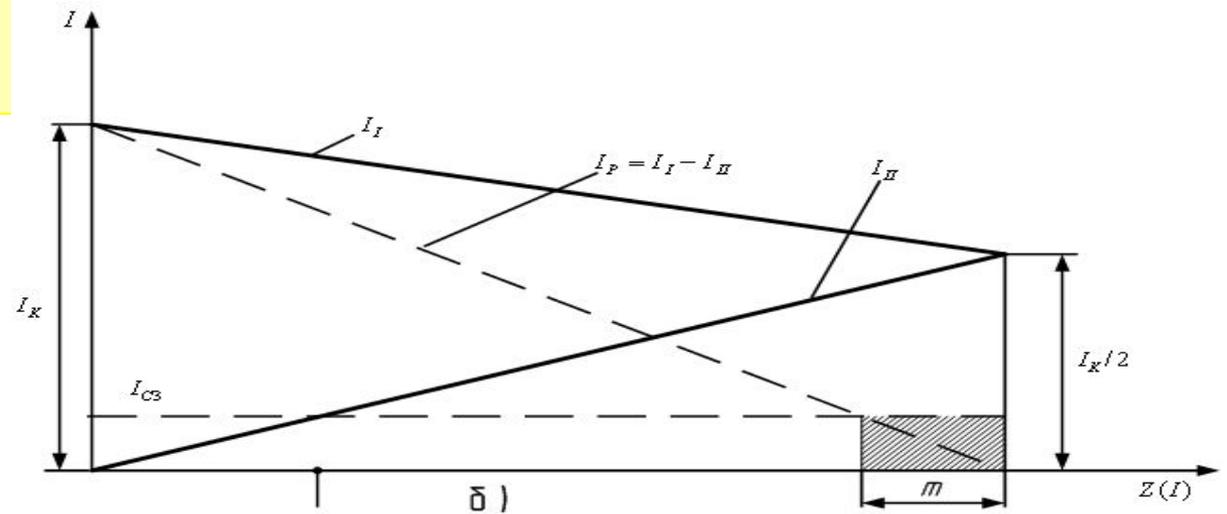
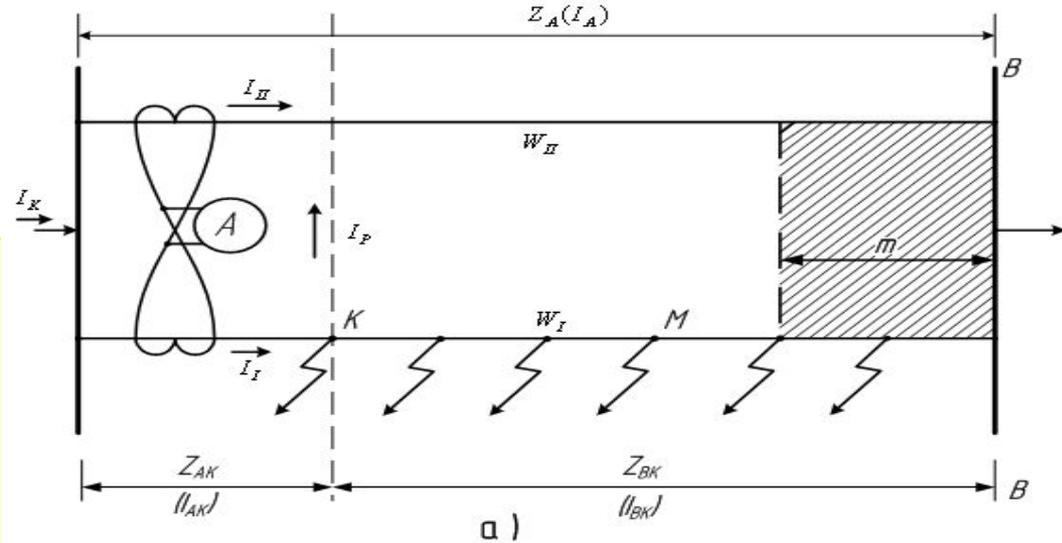
Длина мертвой зоны определяется на основе следующих соображений. Токи по WI и WII обратно пропорциональны сопротивлениям или длинам ветвей от шин, где установлена РЗ, до точки КЗ. При КЗ на границе мертвой зоны в точке M $I_I/I_{II} = (l + m)/(l - m)$, где l - длина ЛЭП.

Преобразуя это выражение, находим $m(I_I + I_{II}) = l(I_I - I_{II})$. Учитывая, что $I_I + I_{II} = I_K$ и что при КЗ на границе мертвой зоны ток в реле равен $I_I - I_{II} = I_{c.3}$ получаем $mI_K = lI_{c.3}$, откуда длина мертвой зоны l

$$m = \frac{I_{c.3}}{I_K} l.$$

Поперечная дифференциальная защита ВЛ

Рис. Мертвая зона
токовой поперечной
дифференциальной РЗ:
 $Z_{Л}$ и $l_{Л}$ -сопротивление и
 длина ЛЭП; Z_{AK} и Z_{BK} –
 сопротивления от
 шин A и B до точки КЗ



Поперечная дифференциальная защита ВЛ

Для упрощения расчета мертвой зоны ток I_K определяется при КЗ на шинах противоположной подстанции, а не на границе мертвой зоны. Защиту принято считать эффективной, если мертвая зона ее не превосходит 10%. При отключении одной из параллельных ЛЭП поперечная дифференциальная защита должна выводиться из действия.

Схема защиты. В сетях с малым током замыкания на землю (*т. е. с изолированной нейтралью или заземленной через ДГР*) РЗ выполняется на двух фазах. В сетях с глухозаземленной нейтралью РЗ устанавливается на трех фазах. В этом случае ТТ на каждой ЛЭП соединяются по схеме полной звезды с нулевым проводом. Для отключения РЗ при отключении одной из параллельных ЛЭП устанавливается отключающее устройство (*SX на рис.*). В дополнение к отключающему устройству можно предусматривать автоматическое отключение РЗ вспомогательными контактами $SQ1$ и $SQ2$ на разъединителях.

Оценка защиты. Токовая поперечная дифференциальная РЗ относится к числу простых и надежных устройств, важным достоинством ее является быстрое действие. Недостатком РЗ являются наличие мертвой зоны и необходимость отключения РЗ при отключении одной из параллельных ЛЭП.

Поперечная дифференциальная защита ВЛ

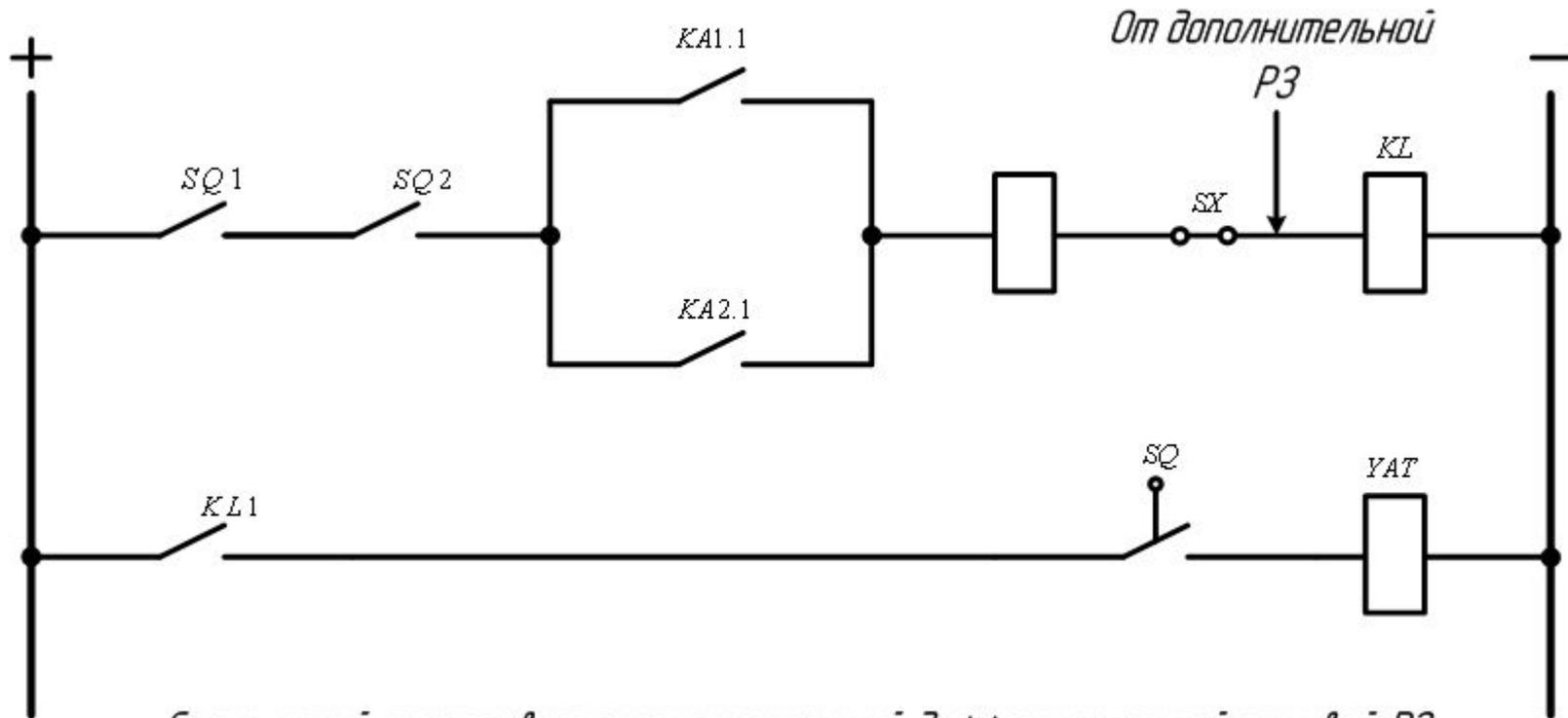


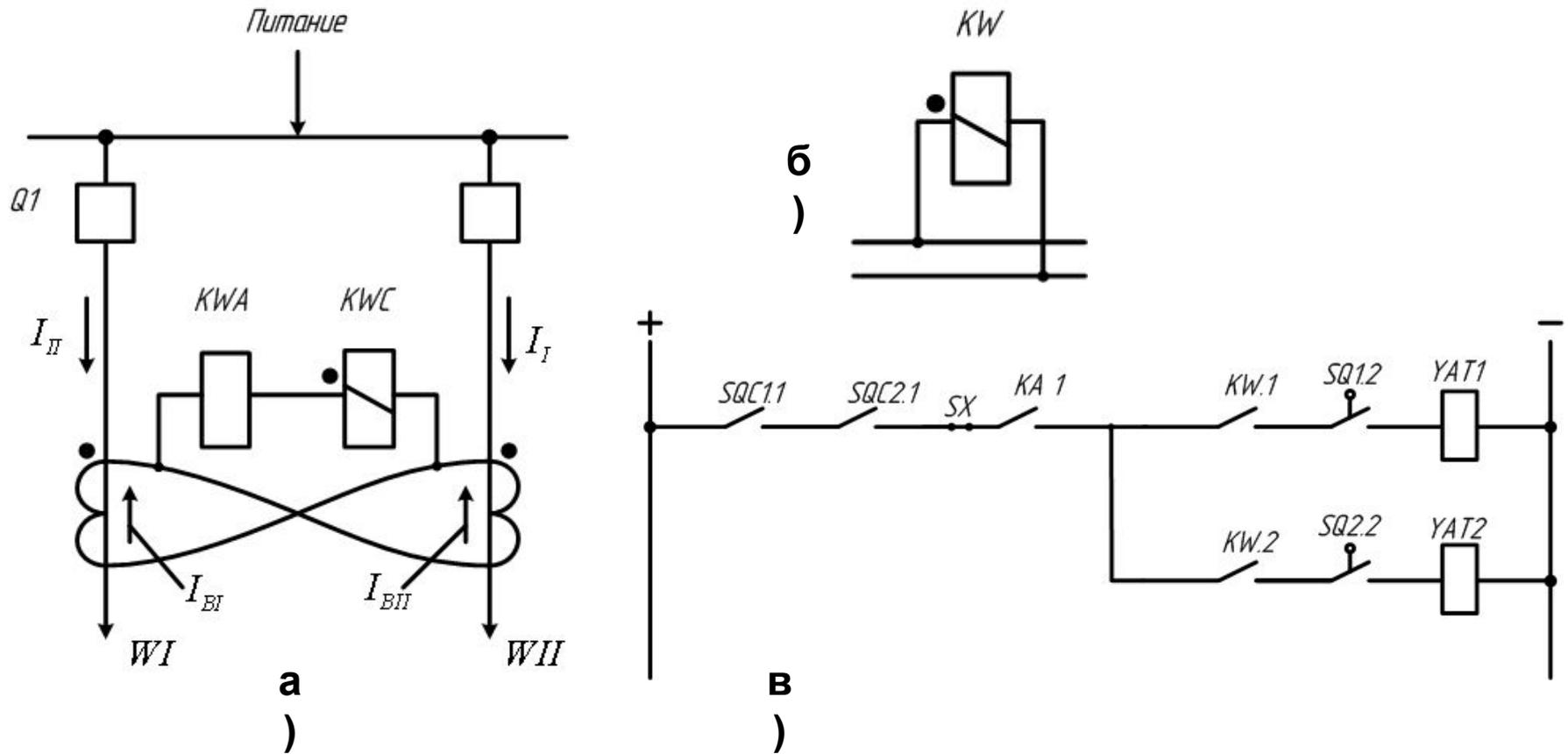
Схема цепей оперативного тока поперечной дифференциальной токовой P3

Кроме поперечной дифференциальной P3 на параллельных ЛЭП необходимо предусматривать дополнительную P3, действующую при КЗ на шинах противоположной подстанции, в мертвой зоне, а также при выводе из работы одной ЛЭП

НАПРАВЛЕННАЯ ПОПЕРЕЧНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА

Принцип действия. Направленная поперечная дифференциальная РЗ применяется на параллельных ЛЭП с самостоятельными выключателями на каждой ЛЭП. К РЗ таких ЛЭП предъявляется требование отключать только ту из двух ЛЭП, которая повредилась. Для выполнения этого требования токовая поперечная дифференциальная РЗ дополняется РНМ двустороннего действия или двумя РНМ одностороннего действия, каждое из которых предназначено для отключения одной ЛЭП. Принципиальная схема одной фазы дана на *рис.* Токовые цепи РЗ выполняются так же, как и у токовой поперечной дифференциальной РЗ. Токовые обмотки РНМ *KW* и токового реле *КА* соединяются последовательно и включаются параллельно вторичным обмоткам *ТТ* на разность токов параллельных ЛЭП: $I_p = I_I - I_{II}$. Токовые реле выполняют функции пусковых органов, реагирующих на КЗ и разрешающих РЗ действовать. РНМ служит для определения поврежденной ЛЭП по знаку мощности. Напряжение к реле подводится от *ТН* шин подстанции. Оперативный ток к РЗ подается через вспомогательные контакты выключателей. При срабатывании *КА* плюс постоянного тока подводится к контактам *KW*, которое замыкает верхний или нижний контакт, в зависимости от того, какая из двух ЛЭП повреждена.

Поперечная дифференциальная защита ВЛ



Упрощенная схема и принцип действия направленной поперечной дифференциальной РЗ параллельных ЛЭП:

а – первичная схема и цепи тока ; б – цепи напряжения ; в – оперативные цепи

Поперечная дифференциальная защита ВЛ

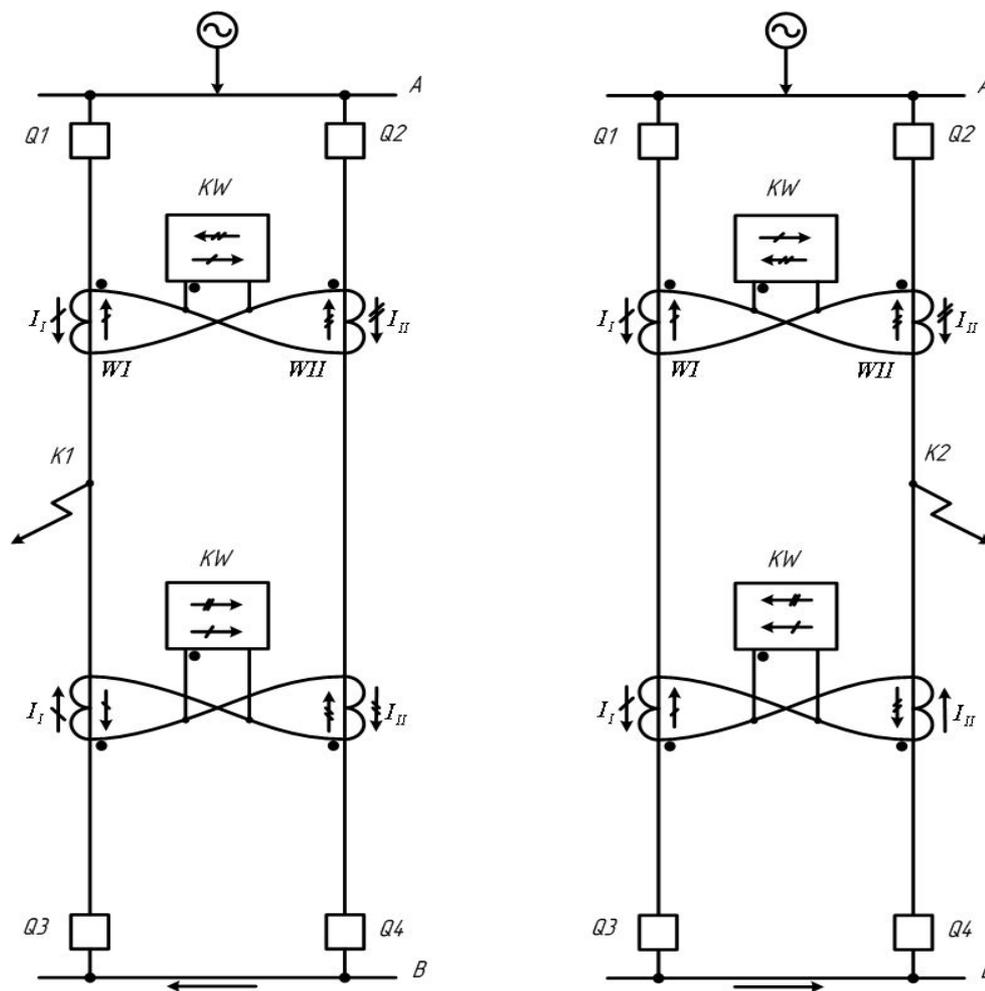
Для отключения поврежденной ЛЭП РЗ устанавливается с обеих сторон параллельных ЛЭП.

Внешние КЗ. При внешних КЗ, нагрузке и качаниях первичные токи I_I и I_{II} равны по значению и совпадают по направлению на обоих концах ЛЭП. При равенстве $K_{I I}$ и $K_{I II}$ и идеальной работе $\underline{I}_P = \underline{I}_{I \epsilon} - \underline{I}_{II \epsilon} = 0$. При внешних КЗ, нагрузке и качаниях РЗ не действует. Вследствие погрешности $\underline{I I}$ и неравенства сопротивлений параллельных ЛЭП $\underline{I}_{I \epsilon}$ и $\underline{I}_{II \epsilon}$ различаются по значению и фазе, в результате чего в реле появляется ток небаланса $I_P = I_{н.б.}$. Для исключения работы РЗ при внешних КЗ ее ток срабатывания должен удовлетворять условию: $I_{с.з.} > I_{н.б.}$

Короткое замыкание на одной из параллельных ЛЭП (WI и WII). На питающем конце (ПС А) в случае повреждения на WI или WII первичные токи \underline{I}_I и \underline{I}_{II} имеют одинаковое направление. При этом токи I_I и I_{II} различаются по значению: в поврежденной ЛЭП ток всегда больше, так как сопротивление от ПС А до точки К для тока в поврежденной ЛЭП всегда меньше, чем в неповрежденной. В результате $\underline{I}_P = \underline{I}_{I \epsilon} - \underline{I}_{II \epsilon} \neq 0$, а его знак и направление зависят от того, какая ЛЭП повреждена. На приемном конце (ПС В) первичные токи I_I и I_{II} имеют противоположное направление: на поврежденной ЛЭП ток идет от шин ПС В, а на неповрежденной - к шинам. В соответствии с этим

$$\underline{I}_P = \underline{I}_{I \epsilon} + \underline{I}_{II \epsilon}$$

Поперечная дифференциальная защита ВЛ



Токараспределение в цепях поперечной направленной дифференциальной РЗ при КЗ :
а – на WI, б – на WII

Поперечная дифференциальная защита ВЛ

Из *рис.* видно, что I_p будет изменять направление в зависимости от того, какая ЛЭП повреждена. Как и в предыдущем случае, I_p будет совпадать по направлению с током в поврежденной ЛЭП.

На *рис.* приведены векторные диаграммы, поясняющие действие РНМ при повреждениях на WI и WII . Поскольку ток в поляризующей цепи РНМ, питаемой от TN шин, имеет одинаковое направление при КЗ на обеих ЛЭП, все диаграммы построены относительно вектора U_p , предполагаемого совпадающим с вектором соответствующего первичного напряжения. Векторы вторичных токов приняты положительными, когда ток втекает в зажим токового элемента реле KW , обозначенный точкой. Вектор тока в реле при этом отстает от вектора U_p на $\phi_p = \phi_k$. При КЗ на WI ($\phi_p < 90^\circ$) замыкается контакт $KW.1$ в цепи отключения поврежденной ЛЭП WI , а при КЗ на WII ($\phi_p < 180^\circ$) замыкается $KW.2$ в цепи отключения поврежденной линии WII .

Таким образом, при КЗ на одной из параллельных ЛЭП под действием тока I_p срабатывают пусковые реле РЗ, подводя оперативный ток к контактам РНМ. Последнее по знаку S_p определяет поврежденную ЛЭП и замыкает цепь отключения ее выключателя.

Поперечная дифференциальная защита ВЛ



Рис. Векторные диаграммы U_p и I_p на реле мощности:
а - при КЗ на WI, на питающем конце; б - то же на приемном конце; в — при КЗ на WII, на питающем конце; г - то же на приемном конце

Поперечная дифференциальная защита ВЛ

Автоматическая блокировка выводит из действия РЗ при отключении по любой причине выключателей одной из параллельных ЛЭП на стороне, где установлена РЗ. Для этого оперативная цепь РЗ заводится через вспомогательные контакты $SQ1$ и $SQ2$ выключателей $Q1$ и $Q2$ параллельных ЛЭП (рис.). В современных схемах вместо вспомогательных контактов используются реле-повторители выключателей, сигнализирующие их положение "Включено". Блокировка действия РЗ необходима для предупреждения и неправильной работы ее в двух случаях:

если при КЗ на параллельной ЛЭП, например WI (рис.), выключатель этой ЛЭП $Q1$ отключается раньше выключателя $Q3$, то реле мощности РЗ подстанции А под действием тока КЗ, проходящего к месту повреждения на WII , разрешит РЗ подстанции А отключить неповрежденную линию WII ;

при отключении одной из параллельных ЛЭП РЗ превращается в МТЗ мгновенного действия и может работать ложно при внешних КЗ.

В обоих случаях ложные действия РЗ исключаются с помощью рассмотренной блокировки.

Поперечная дифференциальная защита ВЛ

Однако если во втором случае РЗ отключается только на противоположном конце, то автоматическая блокировка РЗ, установленной на стороне где выключатель остается в работе, не подействует. Поэтому для исключения ложной работы этой РЗ ее необходимо отключать вручную с помощью отключающего устройства *SX* (см. рис.).

Зона каскадного действия. Ранее было показано, что разница токов в параллельных ЛЭП I_I и I_{II} уменьшается при удалении точки КЗ от места установки РЗ (см. рис.). В результате этого каждый комплект направленной поперечной дифференциальной РЗ, так же и токовой дифференциальной РЗ, имеет зону m , при КЗ в пределах которой ток $I_p < I_{c.з}$, вследствие чего этот комплект РЗ не может сработать. Однако после отключения поврежденной ЛЭП с противоположной стороны не работавшая до этого РЗ приходит в действие и отключает поврежденную ЛЭП. Так, например, при КЗ на *WI* в точке *К* вблизи шин подстанции *В* РЗ *Л* не работает, так как $I_p < I_{c.з}$.

Поперечная дифференциальная защита ВЛ

После отключения поврежденной линии WI со стороны подстанции В (где ток I_p достаточен для надежного действия поперечной дифференциальной РЗ В) весь I_k направится от подстанции А к месту повреждения K по WI . В этом случае $I_I = I_k$,

$I_{II} = 0$, а ток в пусковых реле РЗ А резко возрастет и станет больше $I_{с.з.}$.

Пусковые реле РЗ Л сработают, РНМ выберет поврежденную линию $IV/$, и РЗ подействует на ее отключение. Такое поочередное действие РЗ называется каскадным, а зоны m_A и m_B , в пределах которых соответствующие РЗ действуют каскадно, зоной каскадного действия (*рис.*). При каскадном действии полное время отключения КЗ удваивается, что является недостатком РЗ.

Мертвая зона по напряжению. При трехфазном КЗ вблизи места установки РЗ остаточное напряжение U_p , подводимое к РНМ, очень мало. При этом РНМ может отказать. Таким образом, направленная поперечная дифференциальная РЗ имеет мертвую зону по напряжению. Мертвая зона невелика, она определяется расчетом.

Поперечная дифференциальная защита ВЛ

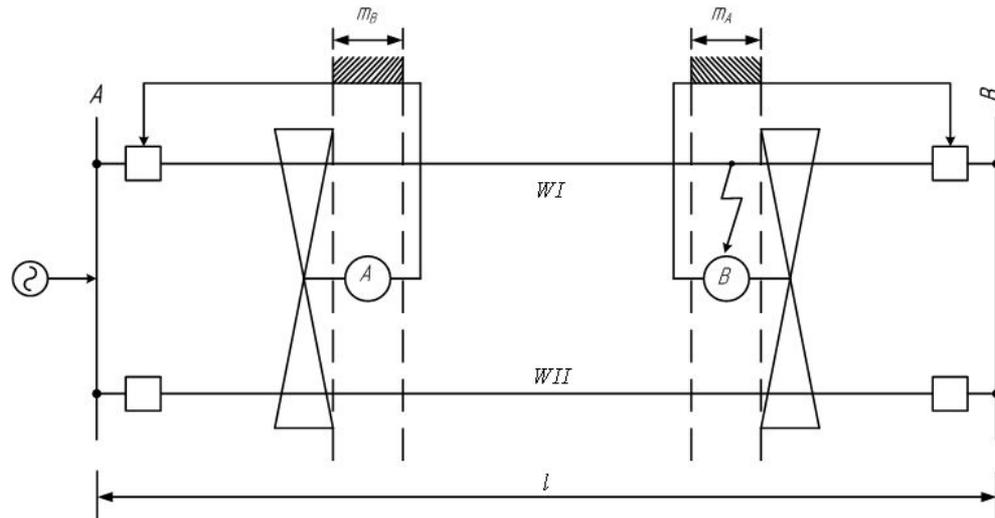


Рис. Зоны каскадного действия направленной поперечной дифференциальной РЗ

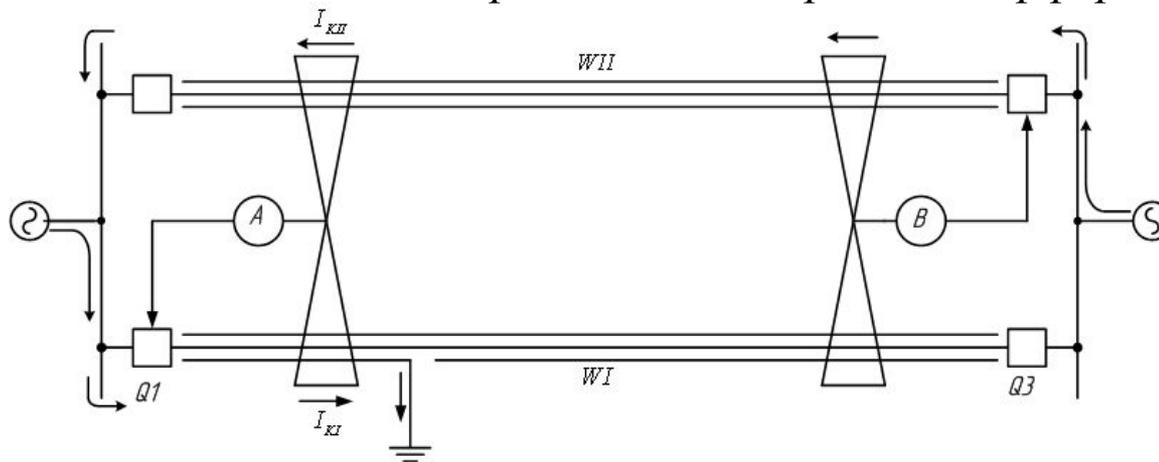


Рис. Схема, поясняющая возможность неправильного действия направленной поперечной дифференциальной РЗ при обрыве одного провода с односторонним заземлением

Поперечная дифференциальная защита ВЛ

Работа защиты при обрыве провода ЛЭП с односторонним заземлением. Протекание токов КЗ при этом виде повреждения показано на *рис.* Направленная поперечная дифференциальная релейная защита А под действием тока $I_{kI} + I_{kII}$, совпадающего по направлению с током в поврежденной ЛЭП WI , отключит поврежденную ЛЭП. Одновременно от тока в ЛЭП WII I_{kII} сработает РЗ В и неправильно отключит неповрежденную ЛЭП WII . Опыт эксплуатации показывает, что рассмотренный вид повреждения бывает редко, поэтому специальных мер к исключению неправильной работы РЗ не применяют.

Схемы направленной поперечной дифференциальной защиты выполняются с учетом следующих положений: в сети с изолированной нейтралью в двухфазном исполнении от междуфазных КЗ и от двойных замыканий на землю; в сети с глухозаземленной нейтралью двумя комплектами - в двухфазном исполнении от междуфазных КЗ и нулевой последовательности от КЗ на землю; РЗ выполняется без выдержки времени.

Поперечная дифференциальная защита ВЛ

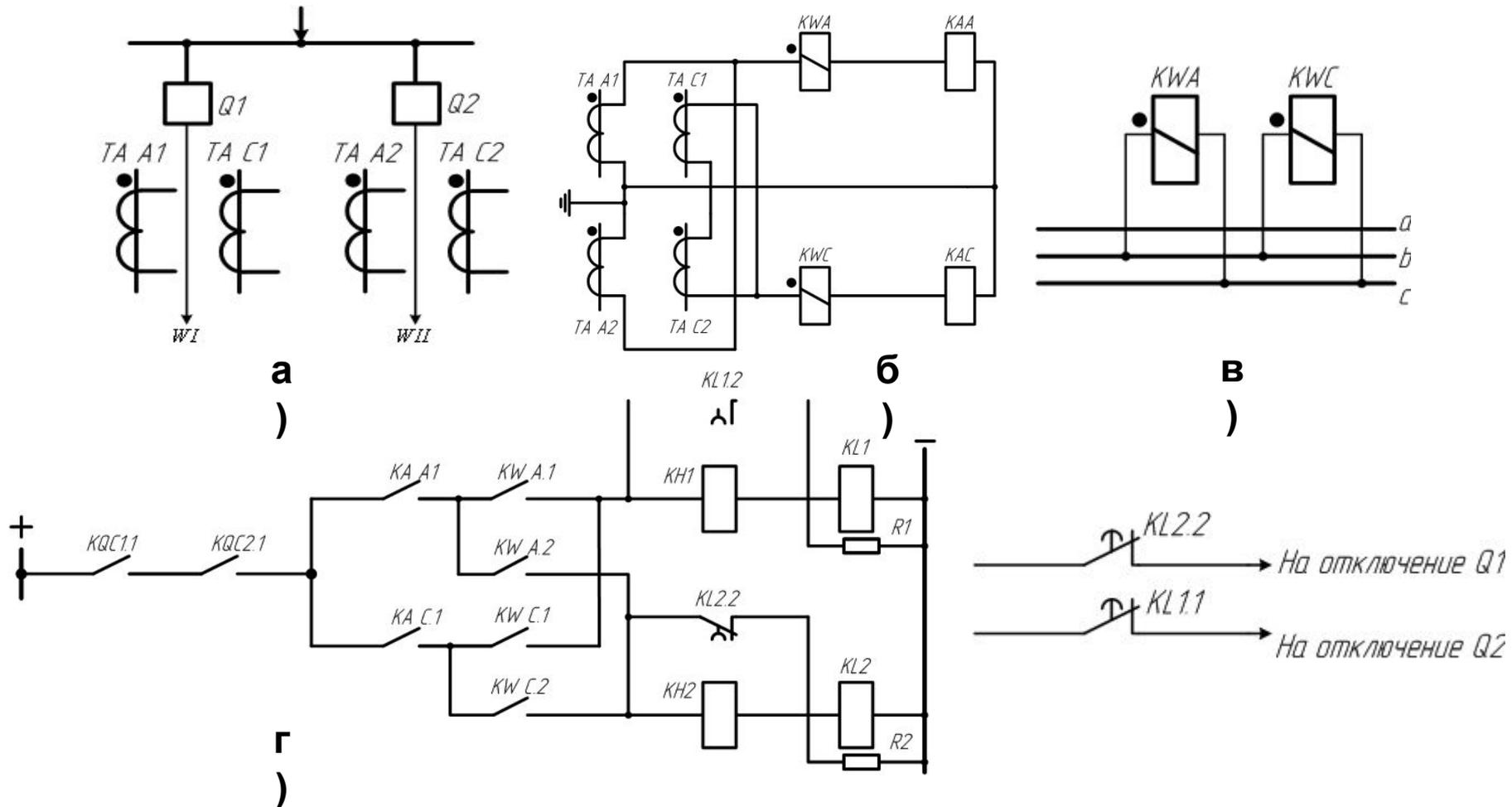


Рис. Схема поперечной дифференциальной токовой направленной РЗ для параллельных ЛЭП в сети с изолированной нейтралью:

а — первичная схема; б — цепи тока; в — цепи напряжения; г — цепи оперативного тока

Поперечная дифференциальная защита ВЛ

Пусковые токовые органы $КА.А$ и $КА.С$ включены на разность токов соответствующих фаз ЛЭП WI и WII . В качестве РНМ используются реле KWA и KWC двустороннего действия типа РБМ-271, имеющие рабочую характеристику $M_{\text{вр}} = kU_p I_p \cos(\phi_p + 45^\circ)$. Контакт $KWA.1$ ($KWC.1$) замыкается при КЗ на WI , когда S_p на зажимах KW имеет положительный знак, а контакт $KWA.2$ ($KWC.2$) - когда повредится WII (при отрицательном знаке S_p). При использовании РНМ одностороннего действия типа РМ-11 на каждую фазу устанавливается по два реле. В схеме предусмотрено два выходных промежуточных реле $KL1$ и $KL2$, действующие на отключение WI и WII . Плюс подается на оперативные цепи РЗ контактами $KQC1.1$ и $KQC2.1$

Поперечная дифференциальная защита ВЛ

Реле положения "Включено" *KQC* выключателей *Q1* и *Q2* ЛЭП *WI* и *WII*, чем обеспечивается автоматическая блокировка РЗ при отключении одного из выключателей. Необходимо отметить, что при использовании показанной на *рис.* схемы вывода РЗ из действия для надежного отключения поврежденной ЛЭП в схеме управления обязательно требуется запоминание отключающей команды.

В качестве выходных реле в схеме на *рис.* используются промежуточные реле типа РП-251 или РП-253 (*KL1* и *KL2*), имеющие небольшое замедление на срабатывание, что предотвращает действие защиты при срабатывании трубчатых разрядников. Срабатывание в этом случае указательных реле *KH1* и *KH2* исключается благодаря шунтированию их обмоток размыкающими контактами выходных промежуточных реле *KL1.2*, *KL2.2*.

Поперечная дифференциальная защита ВЛ

Комплект РЗ от междуфазных КЗ выполняется так же, как и в предыдущей схеме РЗ на *рис.*, по двухфазной схеме с двумя пусковыми реле КАЛ и КЛС и двумя реле направления мощности *KWA* и *KWC*. Комплект РЗ от КЗ на землю реагирует на токи и напряжения нулевой последовательности и включает пусковые реле - тока *KA0*, включенное на разность токов *НП* параллельных ЛЭП, и напряжения *KV0*, подключенное к обмоткам *ТН*, соединенным в разомкнутый треугольник, представляющий собой фильтр напряжения *НП*; РНМ, включенное на разность токов *НП* и напряжение *НП*.

Реле *KW0* реагирует на мощность:

$$S_p = U_p I_p \sin(\phi_p + 20^\circ).$$

здесь $U_p = 3U_0$; $I_p = 3I_0$.

Пуск комплекта РЗ от КЗ на землю осуществляется последовательно включенными замыкающими контактами реле *KA0.1* и *KV0.1*.

Дополнение схемы контактами реле напряжения *НП* позволяет не отстраивать $I_{с.з}$ от тока небаланса, проходящего в обмотке *KA0* при междуфазных КЗ на защищаемых ЛЭП и благодаря этому повысить чувствительность комплекта.

Поперечная дифференциальная защита ВЛ

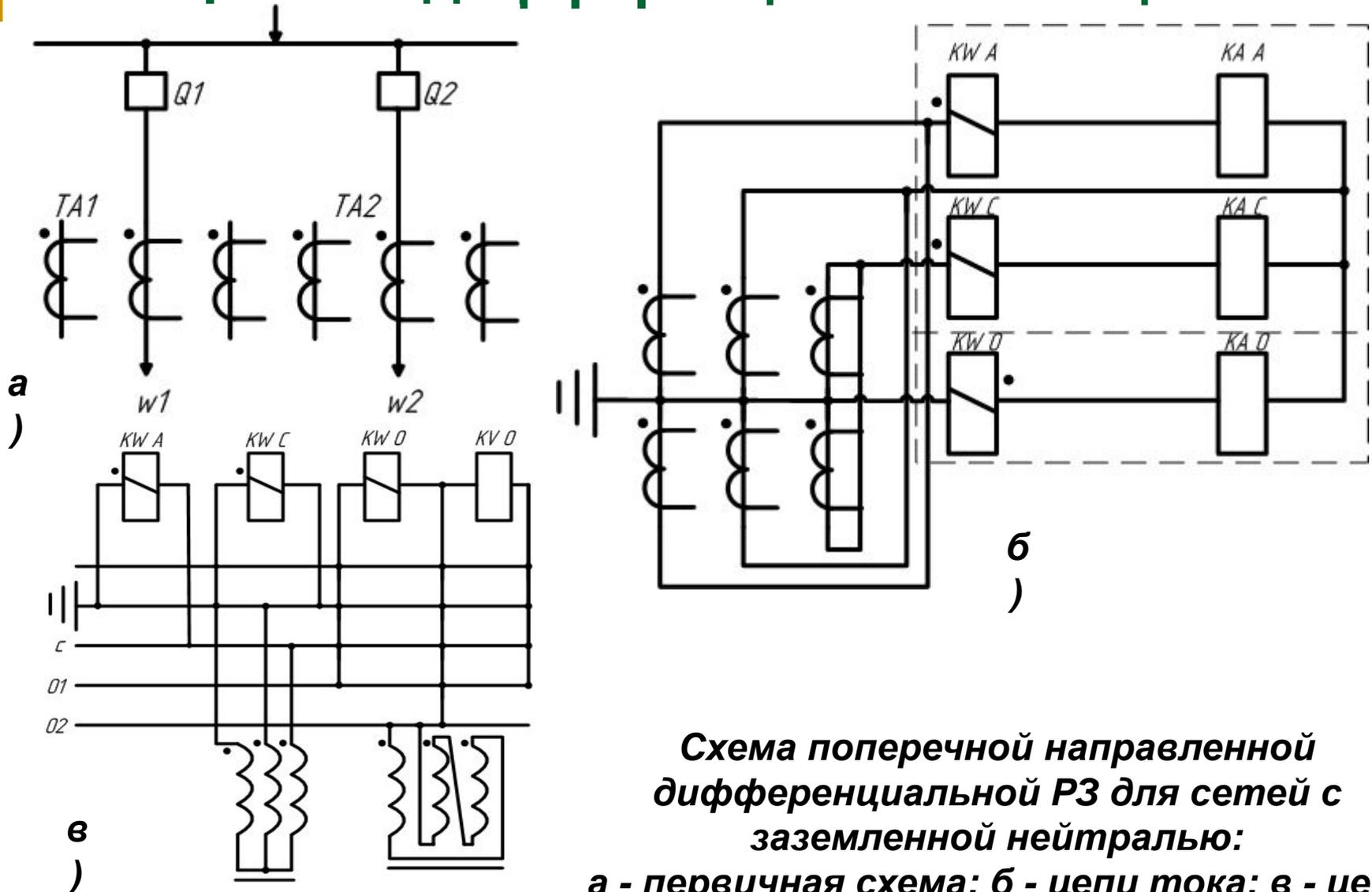
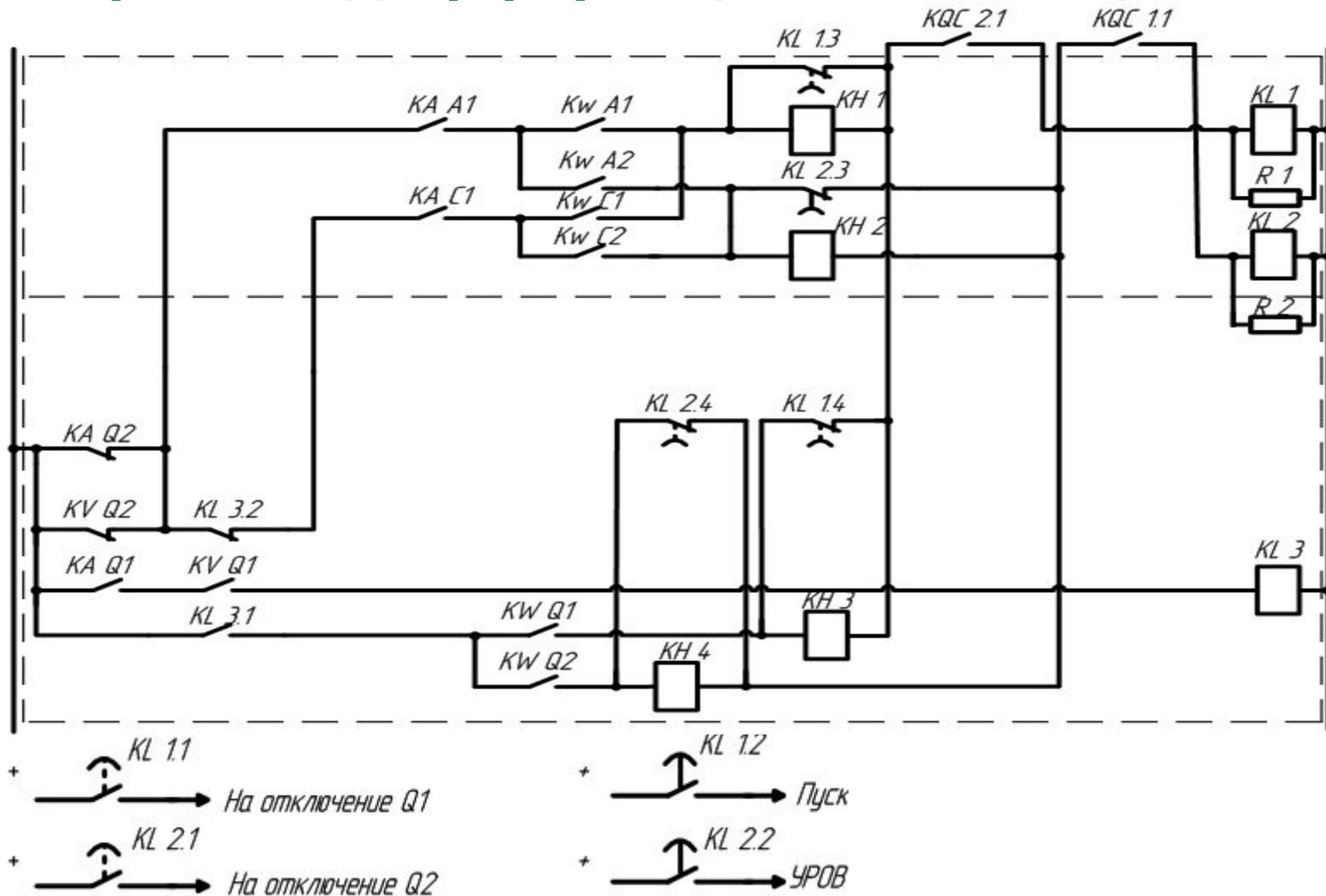


Схема поперечной направленной дифференциальной РЗ для сетей с заземленной нейтралью:
а - первичная схема; б - цепи тока; в - цепи напряжения

Поперечная дифференциальная защита ВЛ



**Схема поперечной направленной дифференциальной РЗ для сетей с заземленной нейтралью :
Цепи оперативного тока**

Поперечная дифференциальная защита ВЛ

В схеме на *рис.* предусмотрено выведение из действия комплекта РЗ от междуфазных КЗ при КЗ на землю на защищаемых ЛЭП. Это необходимо в связи с тем, что блокируемый комплект может действовать в неповрежденных фазах от токов неповрежденной ЛЭП при каскадном отключении КЗ на землю со стороны, противоположной месту установки рассматриваемого комплекта РЗ, что могло бы привести к неправильному (ложному) отключению неповрежденной ЛЭП. Вывод из действия комплекта от междуфазных КЗ осуществляется размыкающими контактами реле *KA0.2* и *KV0.2*. Дополнительно в цепь блокировки включен также размыкающий контакт *KL3.2* выходного промежуточного реле *KL3*, что повышает надежность защиты на несрабатывание при каскадном отключении КЗ на землю на одной из параллельных ЛЭП.

В рассматриваемой схеме выведение РЗ из действия при отключении выключателя одной из ЛЭП осуществляется разрывом цепи обмотки каждого выходного промежуточного реле *KL1* и *KL2* контактами реле положения "Включено" выключателя параллельной ЛЭП (*KQС1.1* и *KQС2.1* соответственно).

Поперечная дифференциальная защита ВЛ

Такое выполнение схемы взамен последовательности включения контактов $KQC1.1$ и $KQC2.1$ в цепи подведения к РЗ "плюса" оперативного постоянного тока принято в предположении наличия на подстанции (электростанции) устройства резервирования при отказе выключателей - УРОВ в случае, когда в его цепях не предусматривается удерживание сигнала от РЗ на определенное время. Указанное выполнение схемы необходимо для обеспечения подачи длительного сигнала на пуск УРОВ от выходного промежуточного реле РЗ параллельных ЛЭП при КЗ на одной из них и отказе ее выключателя.

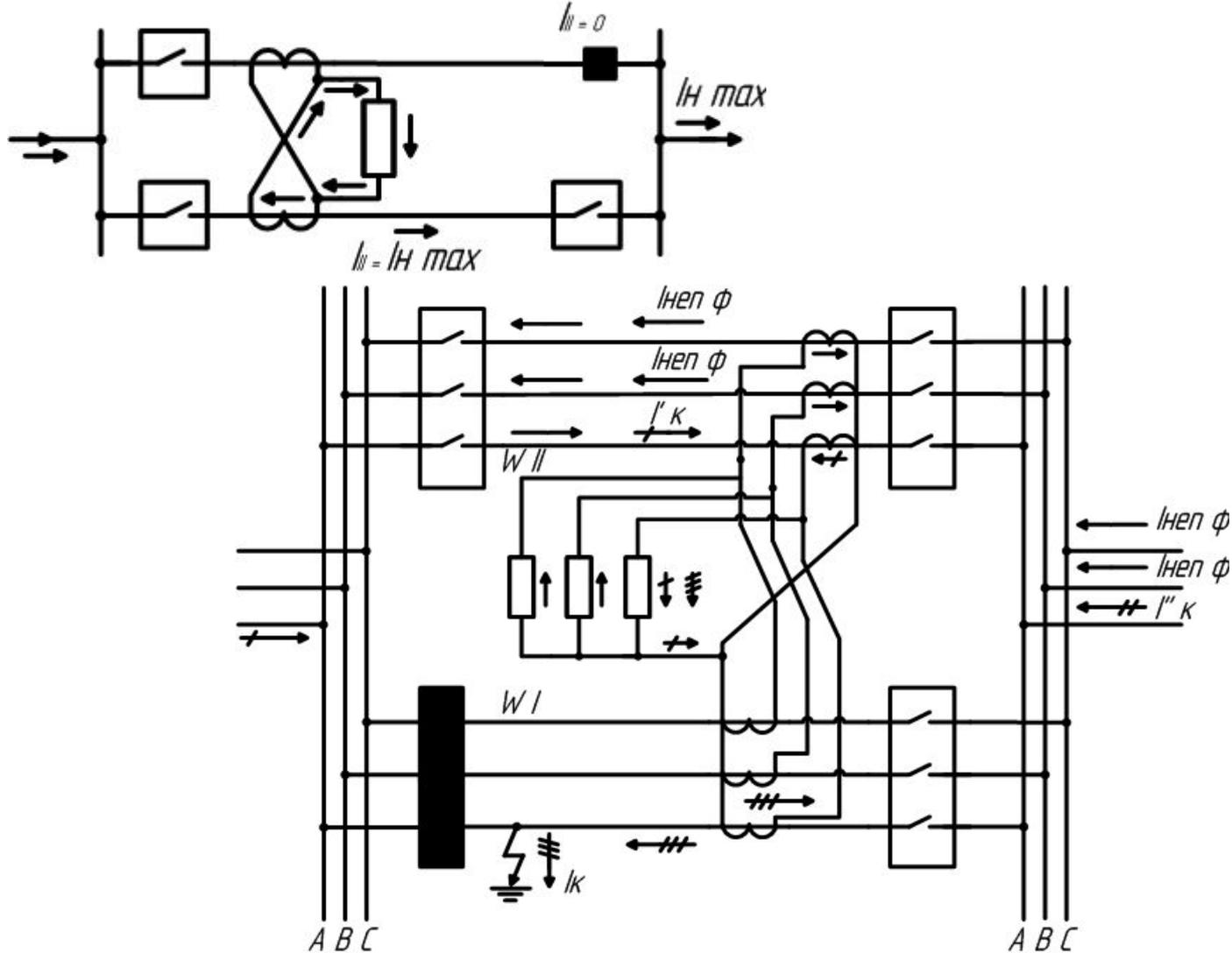
Выбор уставок направленной поперечной дифференциальной защиты, включенной на фазные токи (см. рис.). Ток срабатывания пусковых реле РЗ должен удовлетворять четырем требованиям:

1) пусковые реле не должны действовать от тока небаланса $I_{н.б}$ возникающего при КЗ на шинах противоположной подстанции:

$$I_{в.} = k_{отс} I_{нб} \max$$

, где $k_{отс} = 1.5 \div 2$;

Поперечная дифференциальная защита ВЛ



Токараспределение в РЗ при каскадном отключении поврежденной ЛЭП с учетом токов нагрузки

Поперечная дифференциальная защита ВЛ

2) пусковые реле должны быть отстроены от суммарного тока нагрузки $I_{н\ max}$ параллельных ЛЭП для предотвращения ложного действия РЗ в случае отключения одной из ЛЭП с противоположной стороны в нормальном режиме (рис.):

$$I_{в.} = k_{отс} I_{н\ max} ;$$

3) пусковые реле должны отстраиваться от токов в неповрежденных фазах $I_{неп.\ ф}$ при двухфазных и однофазных КЗ:

$$I_{в.} = k_{отс} I_{неп.\ ф} ,$$

где, $I_{неп.\ ф} = I_H + kI_K$.

Токи в неповрежденных фазах (В и С) влияют на работу РЗ при каскадном отключении поврежденной ЛЭП (рис.), так как в этом режиме они текут только по одной оставшейся в работе линии WII . При пофазном пуске РЗ неселективное отключение ЛЭП в рассматриваемом случае исключается;

4) пусковые реле должны надежно возвращаться при максимальной нагрузке параллельных ЛЭП. Условия возврата обеспечиваются, если

$$I_{в.} = \frac{k_{отс} I_{н\ max}}{k_B}$$

где $I_{н\ max}$ - суммарный максимальный ток нагрузки параллельных ЛЭП.

Поперечная дифференциальная защита ВЛ

Ток срабатывания, выбранный по четвертому условию, обычно удовлетворяет всем остальным требованиям.

Ток небаланса поперечной дифференциальной РЗ принимается равным арифметической сумме тока небаланса обусловленного погрешностью ТТ, и тока небаланса $I_{нб}$, вызванного неравенством сопротивлений параллельных ЛЭП. При выборе уставок по необходимо исходить из максимального значения суммарного тока небаланса

$$I_{нб \max} = I'_{нб \max} + I''_{нб \max} \cdot$$

Поперечная дифференциальная защита ВЛ

Для уменьшения $I_{нб}$ ТТ, питающие РЗ, выбираются по кривым предельной кратности или 10%-ной погрешности при максимальном значении тока внешнего КЗ на шинах противоположной подстанции, текущего по каждой параллельной ЛЭП $I_{k \max}$. Расчетная кратность тока

$$m_p = \frac{k_a I_{k \max}}{l_{ном} ТТ},$$

где k_a - коэффициент, учитывающий влияние апериодической слагающей тока КЗ, принимается равным 2.

Рекомендуется оценивать приближенное значение по выражению

$I_{k \max}$ - максимальный ток при трехфазном КЗ на шинах подстанций А и В проходящий по одной из параллельной ЛЭП при работе обеих; 0,1 - погрешность ТТ, равная 10%; $k_{одн}$ - коэффициент однотипности, принимаемый при однотипных ТТ и одинаковых сопротивлениях плеч равным 0,5;

$$k_a = 1.5 \div 2.$$

Поперечная дифференциальная защита ВЛ

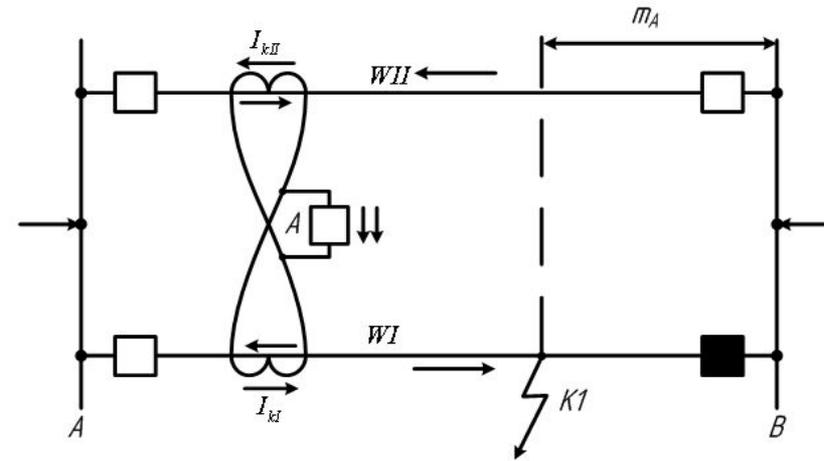
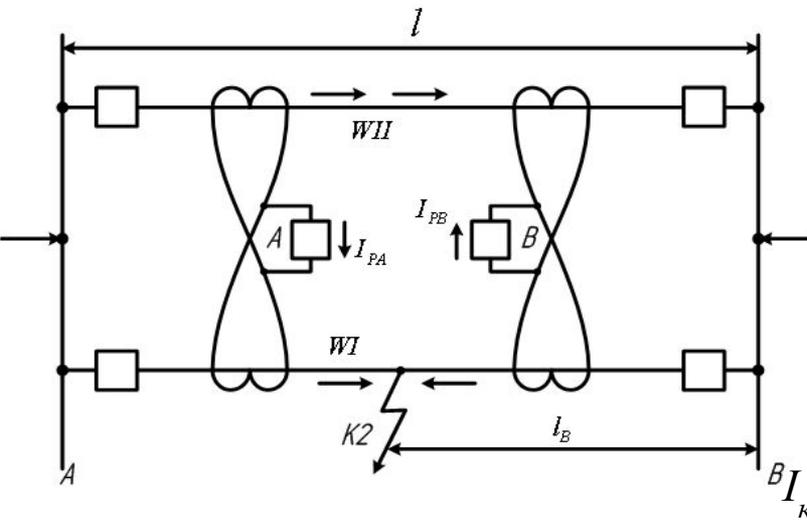


Рис. Расчетные схемы для проверки чувствительности дифференциальной РЗ:
 а - при каскадном отключении поврежденной ЛЭП; б - при КЗ в точке равной чувствительности.

Вторую составляющую тока небаланса $I_{нб}$ можно оценивать по формуле

$$I''_{нб \max} = \frac{\Delta Z\% k_a I_{k \max}}{100 k_I},$$



где $\Delta Z\% = \frac{Z_I - Z_{II}}{Z_I} \cdot 100$ — разница в процентах между

сопротивлениями прямой последовательности обеих ЛЭП;

$I_{k \max}$ — максимальное значение суммарного тока КЗ.

Обычно сопротивления ЛЭП одинаковы .

Поперечная дифференциальная защита ВЛ

Чувствительность защиты характеризуется зоной каскадного действия РЗ, коэффициентом чувствительности пусковых реле и мертвой зоной по напряжению.

Зона каскадного действия подсчитывается для РЗ на каждом конце параллельных ЛЭП и не должна превышать 25% длины ЛЭП.

Чувствительность пусковых реле проверяется, для двух случаев:

а) при КЗ в точке $K1$ на границе зоны каскадного действия РЗ А после отключения поврежденной ЛЭП с противоположной стороны В

$$k'_q = I_{pK1} / I_{c.з},$$

I_{pK1} - минимальный ток в реле; в этих условиях рекомендуется иметь $k'_q > 1.5$

Поперечная дифференциальная защита ВЛ

б) в случае установки поперечных дифференциальных РЗ обеих сторон ЛЭП (рис.) определяется при повреждении в точке равной чувствительности обеих РЗ, которая находится из условия

$$\frac{I_{pA}}{I_{вB}} = \frac{I_{pB}}{I_{зB}},$$

где I_{pA} и I_{pB} – токи в реле РЗ A и B в точке $K2$.

Если обозначить расстояние от РЗ B до точки $K2$ через l_B , то, приравнявая падение напряжения в параллельных ветвях от подстанции B до точки $K2$ по контуру линий WI и WII и учитывая, получаем

$$l_B = \frac{I_{вA}}{I_{вA} + I_{зB}} l.$$

Определив местоположение точки $K2$, рассчитываем токи $K3$ и токи в реле РЗ A и B , после чего находим

$$k_{\text{ч}}'' = \frac{I_{KA()}}{I_{вA}} = \frac{I_{KB()}}{I_{зB}}.$$

Рекомендуется иметь $k_{\text{ч}} \geq 2$.

Поперечная дифференциальная защита ВЛ

Мертвую зону по напряжению определяют исходя из чувствительности РНМ.

Выбор уставок поперечной дифференциальной токовой направленной защиты нулевой последовательности. Ток срабатывания токового реле НП выбирается по выражению

$$I_{с.з.,нп} = k_n I_{нб \max}.$$

Ток небаланса. Расчет ведется при одно- или двухфазных КЗ на землю на шинах противоположной подстанции по наибольшему току I_k .

Напряжение срабатывания реле напряжения НП принимается равным 5-10 В.

Ток срабатывания токового реле НП при наличии в схеме РЗ реле напряжения НП отстраивается только от тока небаланса при внешних КЗ. Благодаря этому чувствительность пускового органа повышается.

Поперечная дифференциальная защита ВЛ

ОЦЕНКА НАПРАВЛЕННЫХ ПОПЕРЕЧНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ЗАЩИТ

Положительными особенностями РЗ являются простота схемы, меньшая стоимость по сравнению с продольной дифференциальной РЗ, отсутствие выдержки времени, нереагирование на качания, простота выбора параметров.

К недостаткам РЗ нужно отнести каскадное действие, вызывающее замедленное отключение КЗ в зоне каскадного действия, мертвую зону по напряжению, необходимость вывода из действия РЗ при отключении одной ЛЭП, в связи с чем требуется дополнительная полноценная РЗ для оставшейся в работе ЛЭП; неправильную работу РЗ при обрыве провода ЛЭП с односторонним заземлением.

Защита применяется в сетях 110-220 кВ как дополнительная к основной быстродействующей защите. В сетях 6-10 кВ эта защита используется как основная, ускоряющая отключение повреждения.

Поперечная дифференциальная защита ВЛ

Вопросы для самопроверки

1. Почему дифференциальная защита выполняется без выдержки времени?
2. Чем опасен обрыв соединительного провода в плече дифференциальной защиты?
3. Каковы причины, вызывающие ток небаланса в реле в нормальном режиме и при внешнем КЗ?
4. Как выполнить схему направленной поперечной дифференциальной защиты при отсутствии специального реле направления мощности двустороннего действия?
5. В чем недостаток каскадного действия защиты?
6. Почему наличие блокировки по напряжению повышает чувствительность направленной поперечной дифференциальной защиты?

**□ Благодарю за
внимание!**
