



## ЛЕКЦИЯ 8

# Дифференциальные защиты

Дифференциальные защиты – это защиты с абсолютной селективностью.

Они бывают на базе ТТ с измерительной схемой на **циркулирующих токах** и на базе измерительных трансреакторов (ТР) с измерительной схемой **на уравновешенных напряжениях**.

Для работы абсолютно селективной защиты необходима информация о значениях электрических величин одновременно во всех присоединениях элемента к электрической сети.

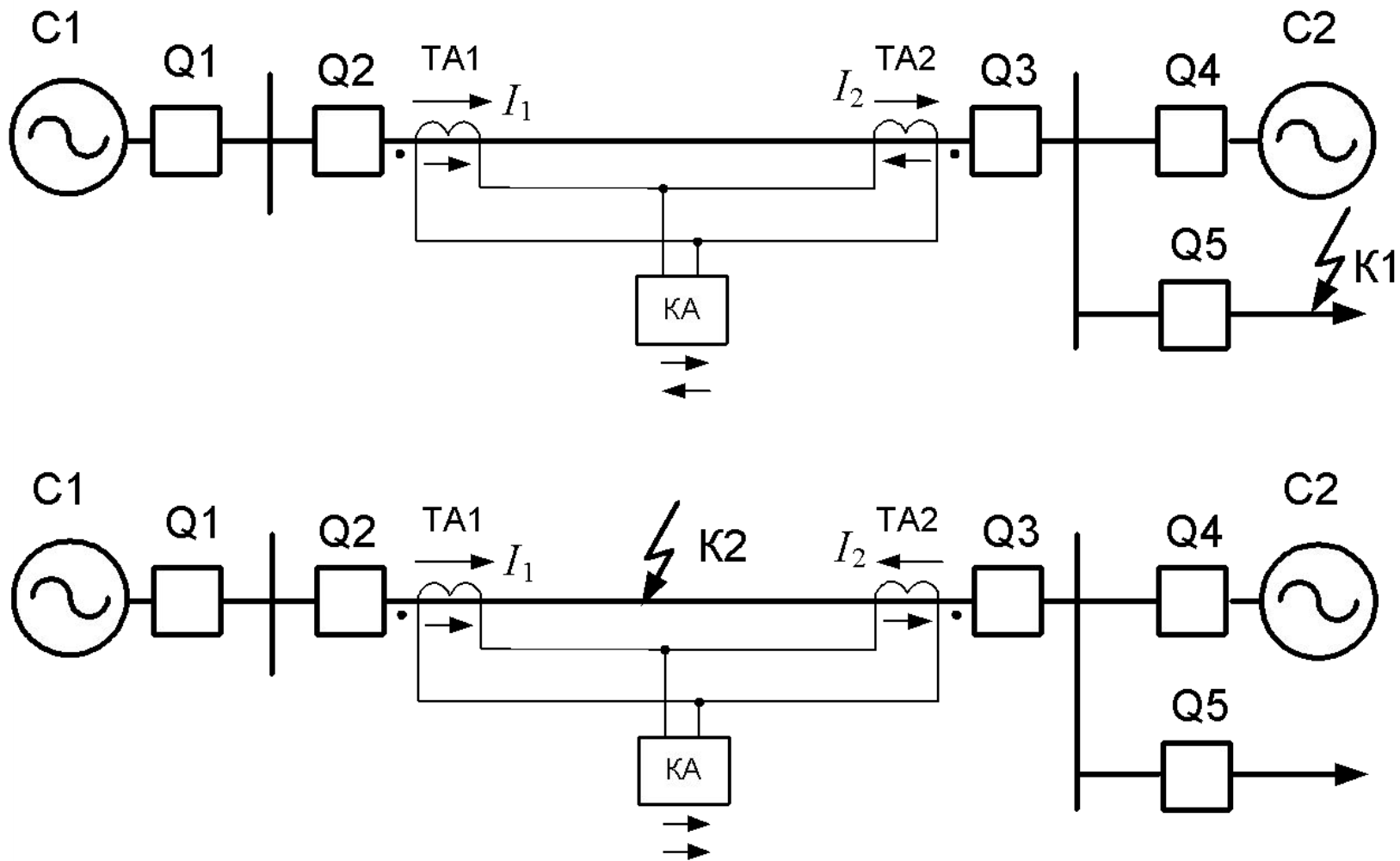
Поэтому абсолютно селективные защиты используют специальные каналы связи, объединяющие все стороны защищаемого элемента.

В дифференциальных защитах с проводными каналами связи определяется геометрическая сумма или разность токов всех сторон защищаемого элемента: всех концов защищаемой линии;

всех сторон защищаемого силового трансформатора (автотрансформатора);

двух сторон (в нейтрали и на выводах) генератора;

всех присоединений сборных шин.



**Принцип действия продольной дифференциальной защиты:**

**K1 – внешнее КЗ; K2 – внутреннее КЗ**

По концам линии ставятся трансформаторы тока с одинаковыми

коэффициентами трансформации.

Вторичные обмотки соединяются между собой, параллельно обмоткам включается токовое реле.

В нормальном режиме работы или при внешнем КЗ в точке  $K1$ , в обоих трансформаторах тока проходит одинаковый

первичный ток.

Ток в реле, определяется как разность вторичных токов и приблизительно равен нулю:

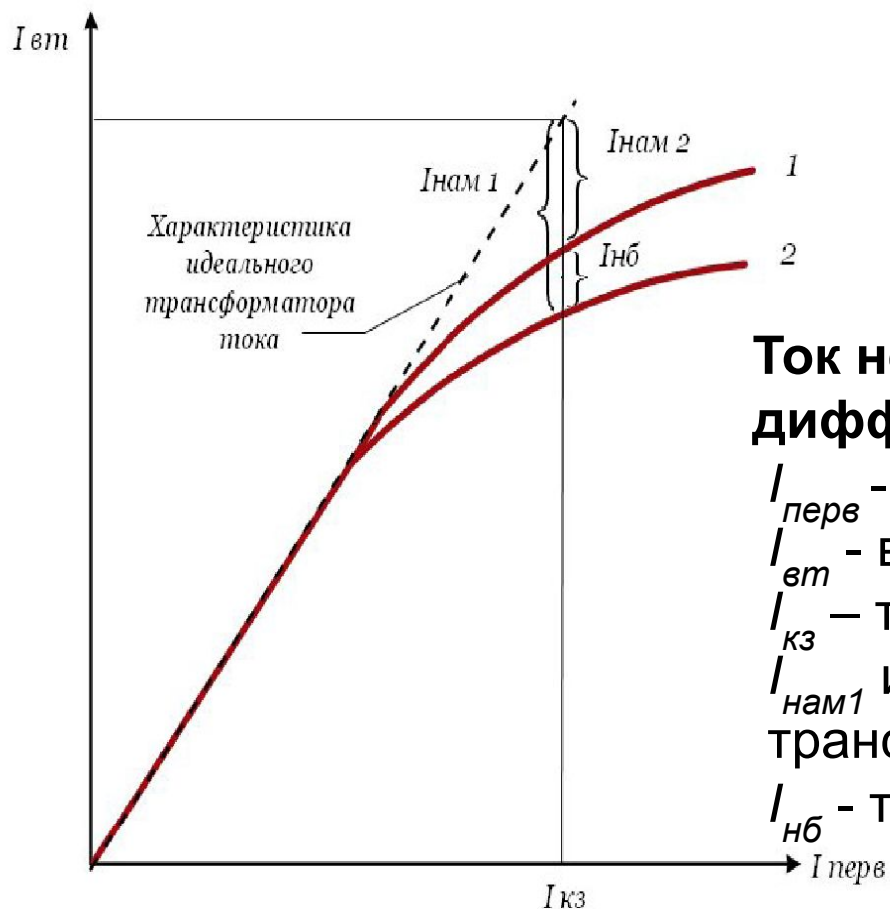
$$I_p = \frac{I_1}{k_I} - \frac{I_2}{k_I} \approx 0$$

При коротком замыкании в защищаемой зоне, точка  $K2$ , в реле протекает сумма вторичных токов, и реле сработает:

$$I_p = \frac{I_1}{k_I} + \frac{I_2}{k_I} \neq 0$$

В режиме внешнего замыкания ток в реле равен нулю только для идеальных трансформаторов тока.

Реальные трансформаторы тока обладают погрешностями, и через реле протекает ток небаланса. Основная причина возникновения тока небаланса пояснена на рис.



### Ток небаланса дифференциальной защиты:

$I_{перв}$  - первичный ток;  
 $I_{вт}$  - вторичный ток ТТ;  
 $I_{кз}$  - ток короткого замыкания;  
 $I_{нам1}$  и  $I_{нам2}$  - токи намагничивания трансформаторов тока  $TA1$  и  $TA2$ ;  
 $I_{нб}$  - ток небаланса

Из сопоставления характеристик 1 и 2 следует,

что ток небаланса

$$I_{нб} = I_{нам1} - I_{нам2}$$

будет равен нулю только при полном совпадении характеристик, что реально никогда не бывает.

Поэтому, чтобы защита не сработала ложно при внешних замыканиях, её ток срабатывания должен быть

больше максимально возможного тока небаланса:

$$I_{сз} = k_n I_{нб \max}$$

Для определения тока небаланса пользуются приближённой зависимостью

$$I_{нб} = k_a k_{одн} f_i I_{кз \text{ вн } \max}$$

где  $k_a$  – коэффициент, учитывающий наличие апериодической составляющей в токе короткого замыкания;

$k_{одн} = (0,5 \div 1)$  коэффициент однотипности условий работы трансформаторов тока. Значение 0.5 принимается при примерно

$f_i = 0,1$  – относительная погрешность трансформаторов тока;

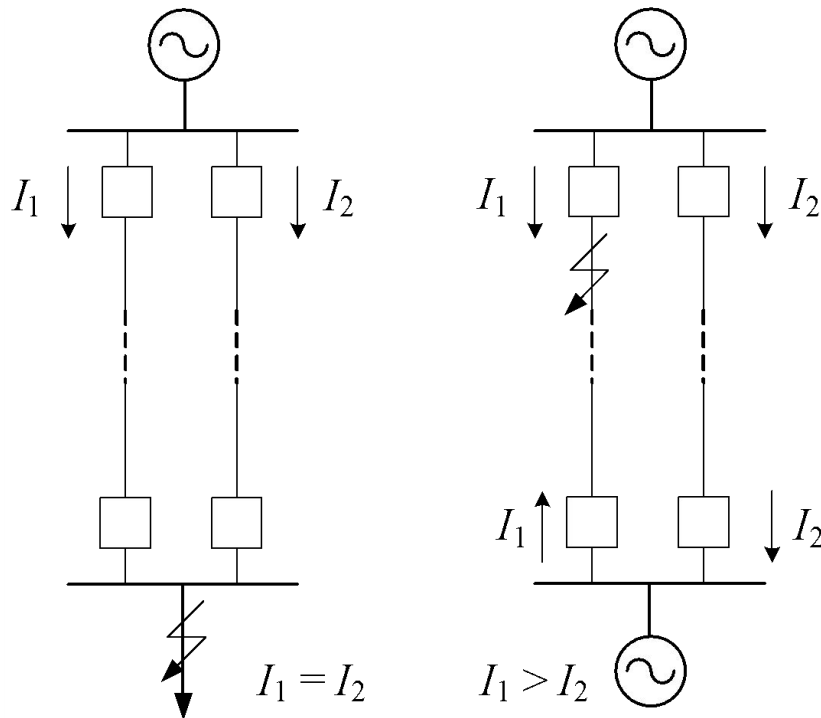
$I_{кз вн max}$  – максимальное значение тока внешнего короткого замыкания.



# Поперечная дифференциальная защита

Применяется на параллельных линиях, имеющих одинаковые сопротивления. Основаны на сравнении величин и фаз токов, протекающих по обеим линиям.

Благодаря равенству сопротивлений в нормальном режиме и при внешнем КЗ токи в линиях равны по величине и фазе.

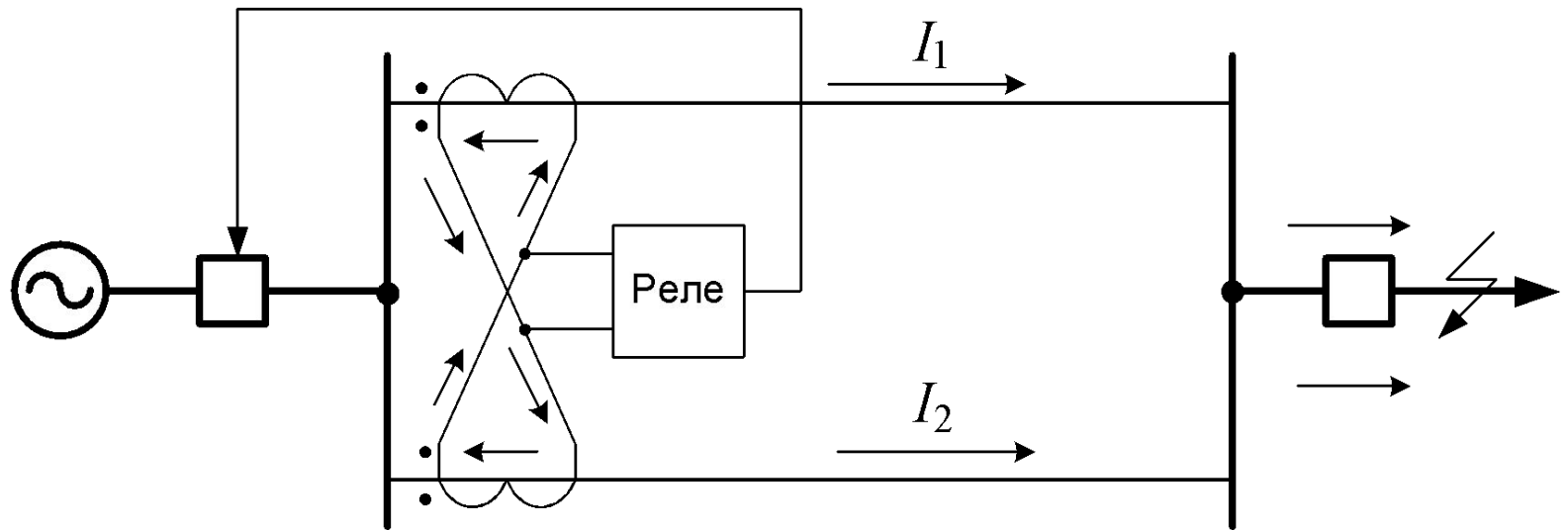


Нарушение равенства токов в параллельных линиях по величине или фазе является признаком повреждения одной из них.

Применяется двух типов:

на параллельных линиях, включенных под один общий АВ;  
с самостоятельными АВ – направленная поперечная диф.  
защита.

При одностороннем питании параллельных линий защита  
устанавливается только со стороны источника питания, а  
в сети с двухсторонним питанием – с обеих сторон  
параллельных линий.



На одноименных фазах каждой линии устанавливаются ТТ с одинаковыми коэффициентами трансформации. Вторичные обмотки ТТ соединяются разноименными зажимами по схеме с циркулирующими токами. Параллельно к соединительным проводам подключается реле.

В нормальном режиме и внешнем КЗ ток в реле практически отсутствует

$$I_{p1} = \left( \frac{I_1}{k_I} - I_{нам1} \right) - \left( \frac{I_2}{k_I} - I_{нам1} \right) = I_{нб}$$

Через реле проходит лишь ток небаланса, вызываемый погрешностью трансформаторов тока, и защита не работает.

Защита по принципу действия не реагирует в режимах нагрузки, внешних КЗ и качаниях, поэтому ее выполняют без выдержки времени и не отстраивают от токов нагрузки. Ток срабатывания должен быть больше максимального тока небаланса.

При КЗ на одной из линий баланс токов в реле нарушается.

При токе в реле  $I_p > I_{с.р.}$  защита действует и отключает общий АВ обеих линий.

## Мертвая зона защиты

Часть линий вблизи шин противоположной подстанции не охватывается защитой из-за недостаточной величины тока в реле, вследствие уменьшения различия в величине токов, на разность  $I_1 - I_2$  которых реагирует защита.

Границей действия защиты является точка КЗ, отстоящая от шин противоположной п/ст  $B$  на расстоянии  $t$ , в которой  $I_p = I_{с.з.}$

*Участок  $t$  линий при КЗ, в пределах которого ток в защите недостаточен для ее срабатывания, называется мертвой зоной защиты.*

Для отключения КЗ в мертвой зоне требуется дополнительная защита.

$m$  определяется исходя из следующего.


Токи по линиям обратно пропорциональны сопротивлениям или длинам ветвей от шин, где установлена защита, до точки КЗ. При КЗ на границе мертвой зоны в точке  $m$

$$I_1 / I_2 = (l+m)/(l-m), \text{ где } l \text{ длина линий.}$$

Преобразуя это выражение и учитывая, что  $I_1 + I_2 = I_{КЗ}$  и что при КЗ на границе мертвой зоны в точке  $m$  ток в реле равен  $I_1 - I_2 = I_{с.з.}$ , получим  $m I_{КЗ} = l I_{с.з.}$ , откуда длина мертвой зоны  $m = l I_{с.з.} / I_{КЗ}$ .

Для упрощения расчета мертвой зоны ток  $I_{КЗ}$  определяется на шинах противоположной п/ст, а не на границе мертвой зоны.

Защиту принято считать эффективной, если мертвая зона ее не превосходит 10%.



При отключении одной из параллельных  
линий поперечная диф. защита  
превращается в мгновенную МТЗ  
оставшейся в работе линии и действует  
неселективно. Поэтому в этом случае  
поперечная диф. защита должна  
выводиться из действия.

## Схема защиты

В сетях с малым током замыкания на землю защита выполняется на двух фазах.

В сетях с большим током замыкания на землю защита выполняется на трех фазах. В этом случае ТТ на каждой линии соединяются по схеме полной звезды с нулевым проводом.

Для отключения защиты при выводе из действия одной из параллельных линий предусматривают автоматическое отключение защиты посредством блок-контактов на разъединителях. При отключении одного из разъединителей его блок-контакт разрывает цепь, по которой подается плюс к защите.

## Оценка поперечной дифференциальной защиты

Относится к числу простых и надежных. Является быстродействующей.

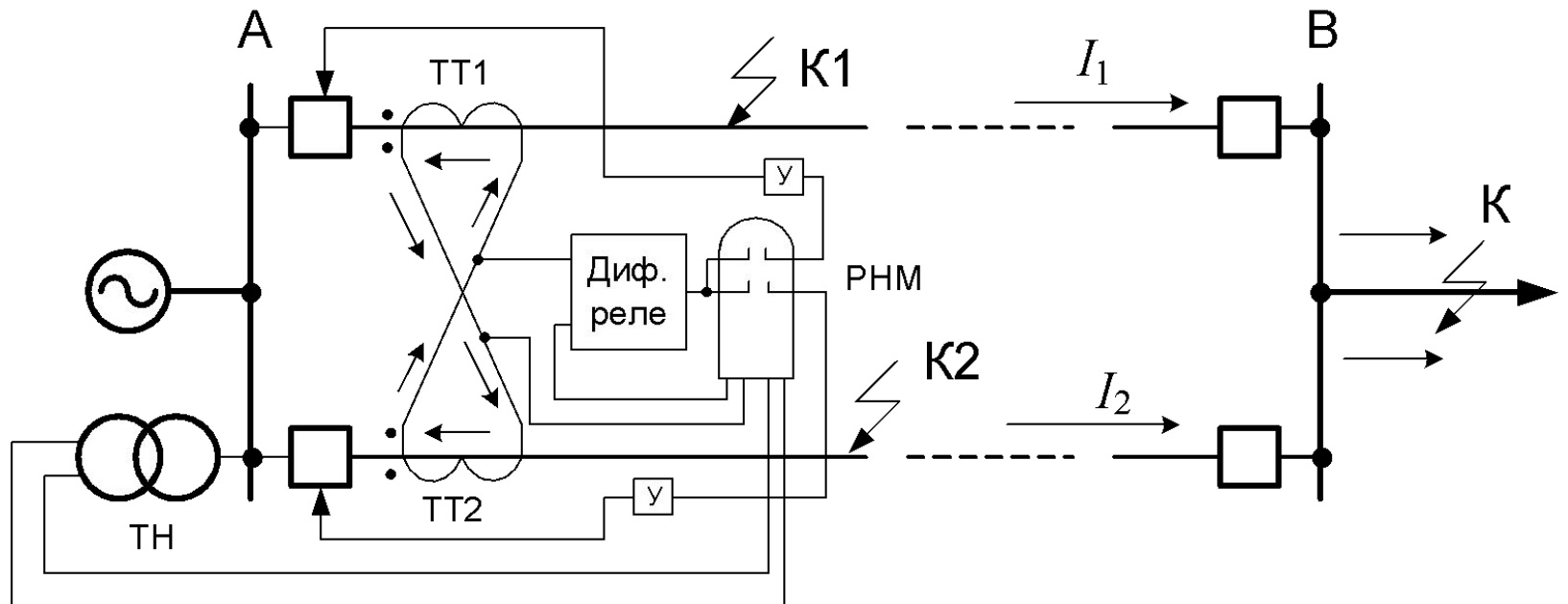
Недостаток – наличие мертвой зоны, а также необходимость отключения при выводе из действия одной из параллельных линий.

С учетом этого, кроме поперечной диф. защиты, на параллельных линиях необходимо предусматривать дополнительную защиту, действующую при КЗ на шинах противоположной п/ст, в мертвой зоне, а также при выводе из работы одной из линий.



# Направленная поперечная дифференциальная защита

Применяется на параллельных линиях с самостоятельными АВ на каждой из них. Защита дополняется реле направления мощности двухстороннего действия или двумя реле направления мощности одностороннего действия, каждое из которых предназначается для отключения только одной линии.



РНМ замыкает верхний или нижний контакт в зависимости от того, какая из двух линий повреждена.

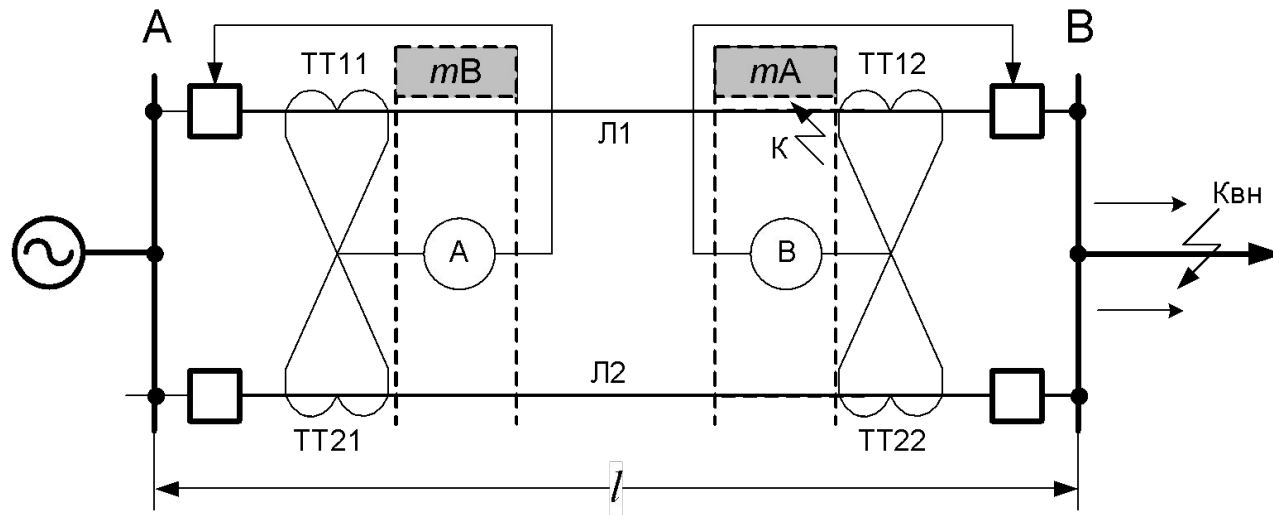
При КЗ на любой из линий в защите появляется ток  $I_p$  и она срабатывает. При КЗ на Л1 ток  $I_p$  имеет положительное направление, а при КЗ на Л2 он направлен в другую сторону.

Поскольку ток в поляризующей цепи РНМ, питаемой напряжением шин, имеет в обоих случаях одинаковое направление, то знак мощности на зажимах РНМ при КЗ на Л1 и Л2 будет различным. РНМ по знаку мощности определяет поврежденную линию и замыкает цепь отключения ее АВ.

*Для двухстороннего отключения поврежденной линии защита устанавливается с обеих сторон параллельных линий.*

## Каскадное действие поперечной диф. защиты

Направленная поперечная защита также как и токовая диф. защита имеет мертвую зону  $m$ .



После отключения поврежденной линии с противоположной стороны не работающая до этого защита приходит в действие и отключает поврежденную линию. Например, при КЗ на Л1 в точке вблизи шин п/ст В защита А не работает, т.к.  $I_p < I_{с.з.}$ . После отключения поврежденной Л1 со стороны п/ст В (где ток  $I_p$  достаточен для надежного действия защиты В) весь ток  $I_{кз}$  направится от п/ст А к месту повреждения по Л1.

В этом случае  $I_1 = I_{K3}$ ,  $I_2 = 0$ , а ток в диф. реле защиты А резко возрастает и становится больше  $I_{c.3}$ . Диф. реле А срабатывают, РНМ выбирает поврежденную линию Л1 и защита действует на ее отключение.

При КЗ вблизи шин п/ст А, отключение поврежденной линии происходит аналогично: сначала работает ближняя к месту КЗ защита А, а затем защита В.

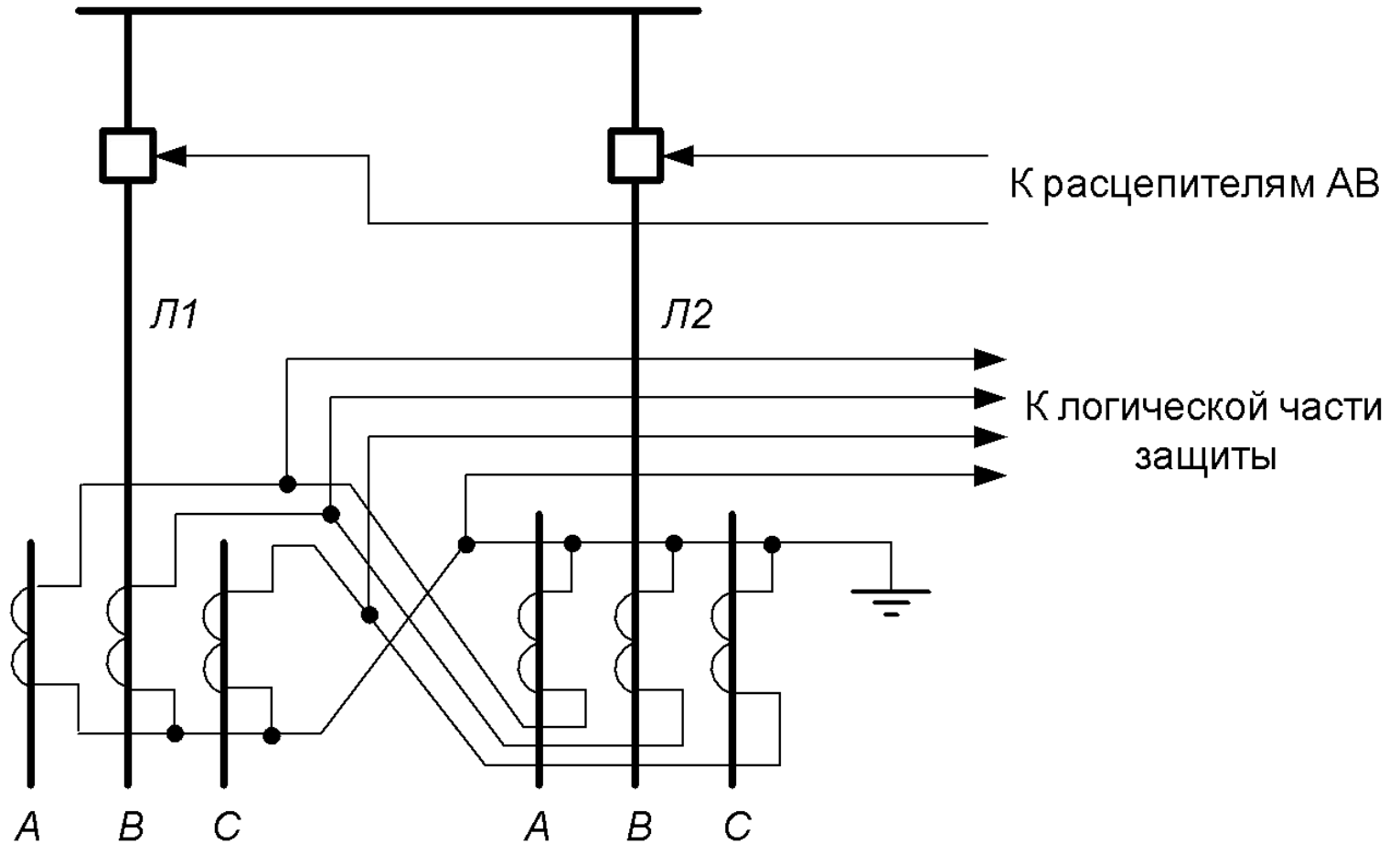
Такое поочередное действие защит называется *каскадным*, а зона  $mА$  и  $mВ$ , в пределах которой диф. защита не действует, пока поврежденная линия не отключится с противоположной стороны, называется *зоной каскадного действия* защиты.

При каскадном действии защиты полное время отключения КЗ удваивается, что является недостатком защиты, поэтому зону каскадного действия стремятся сократить, для чего следует уменьшать  $I_{c.3}$ .

## Мертвая зона по напряжению

При КЗ вблизи места установки защиты остаточное напряжение очень мало, а у КЗ у шин п/ст оно вообще равно 0. В этом случае мощность на зажимах РНМ оказывается недостаточной для его действия и защита отказывает в работе. Таким образом направленная поперечная защита имеет мертвую зону по напряжению. Ее величина не велика.

# Схемы направленной поперечной дифференциальной защиты



Схемы выполняются с учетом следующих общих положений.

1. ТТ на каждой линии соединяются по схеме полной звезды для трехфазных защит и по схеме неполной звезды – для двухфазных.
2. РНМ включается на ток и напряжение по типовым схемам, обеспечивающим наивыгоднейшие условия для их работы.
3. Пуск защиты производится пофазно. При этом пуск РНМ, включенные на ток неповрежденных фаз, не получают оперативного тока, вследствие этого не могут подействовать на отключение.
4. В случае обрыва или перегорания предохранителя в цепи напряжения реле может неправильно подействовать при КЗ на одной из параллельных линий. Поэтому должно быть предусмотрено устройство контроля исправности цепи напряжения.
5. Защита выполняется без выдержки времени, поскольку она не реагирует на внешние КЗ.

# Выбор уставок направленной поперечной дифференциальной защиты

Ток срабатывания пусковых органов защиты должен удовлетворять четырем требованиям.

1. Реле не должны действовать при внешних КЗ. Для этого их ток срабатывания должен выбираться больше тока небаланса при КЗ на шинах противоположной п/ст:

$$I_{с.з} = k_H I_{нб.мах}, \quad \text{где } k_H = 1,5 - 2.$$

2. Реле должны быть отстроены от суммарного тока нагрузки  $I_{н.мах}$  параллельных линий для предотвращения ложного действия защиты при отключении одной из линий с противоположной стороны в нормальном режиме. При этом по оставшейся в работе линии протекает суммарный ток  $I_{н.мах}$  обеих параллельных линий, который поступает в дифреле и РНМ. Если нагрузка передается от шин в сторону линии, то РНМ срабатывает, разрешая защите отключить оставшуюся линию. Необходимо иметь  $I_{с.з} > I_{н.мах}$ , или

$$I_{с.з} = k_H I_{н.мах},$$



3. Реле должны отстраиваться от токов в неповрежденных фазах  $I_{\text{неп.ф}} = I_H + kI_{\text{кз}}$  при двухфазных и однофазных КЗ.

Токи в неповрежденных фазах влияют на работу защиты при каскадном отключении поврежденной линии, т.к. в этом случае они текут только по одной оставшейся в работе линии.

4. Реле должны надежно возвращаться при максимальной нагрузке параллельных линий. Условия возврата обеспечиваются, если

$$I_{\text{с.з}} = k_{\text{зап}} I_{\text{н..max}} / k_{\text{воз}}.$$

(основная формула)

$$\text{Суммарный ток небаланса } I_{\text{нб.max}} = I_{\text{нб.maxTT}} + I_{\text{нб.maxR}}.$$

Для уменьшения  $I_{\text{нб.TT}}$  трансформаторы тока, выбираются по кривым 10% погрешности при максимальном значении тока внешнего КЗ на шинах противоположной п/ст, текущего по каждой параллельной линии  $I_{\text{кз.max}}$ .

При этом расчетная кратность тока КЗ

$$m_p = k_a I_{н..max} / I_{ном.ТТ},$$

где  $k_a$  - коэффициент, учитывающий влияние аperiodической составляющей тока КЗ, принимается равным 2.

Вторую составляющую тока небаланса  $I_{нб.maxR}$  определяют по формуле

$$I_{нб.maxR} = \Delta Z\% / 100 \times k_a I_{кз.max} / n_T,$$

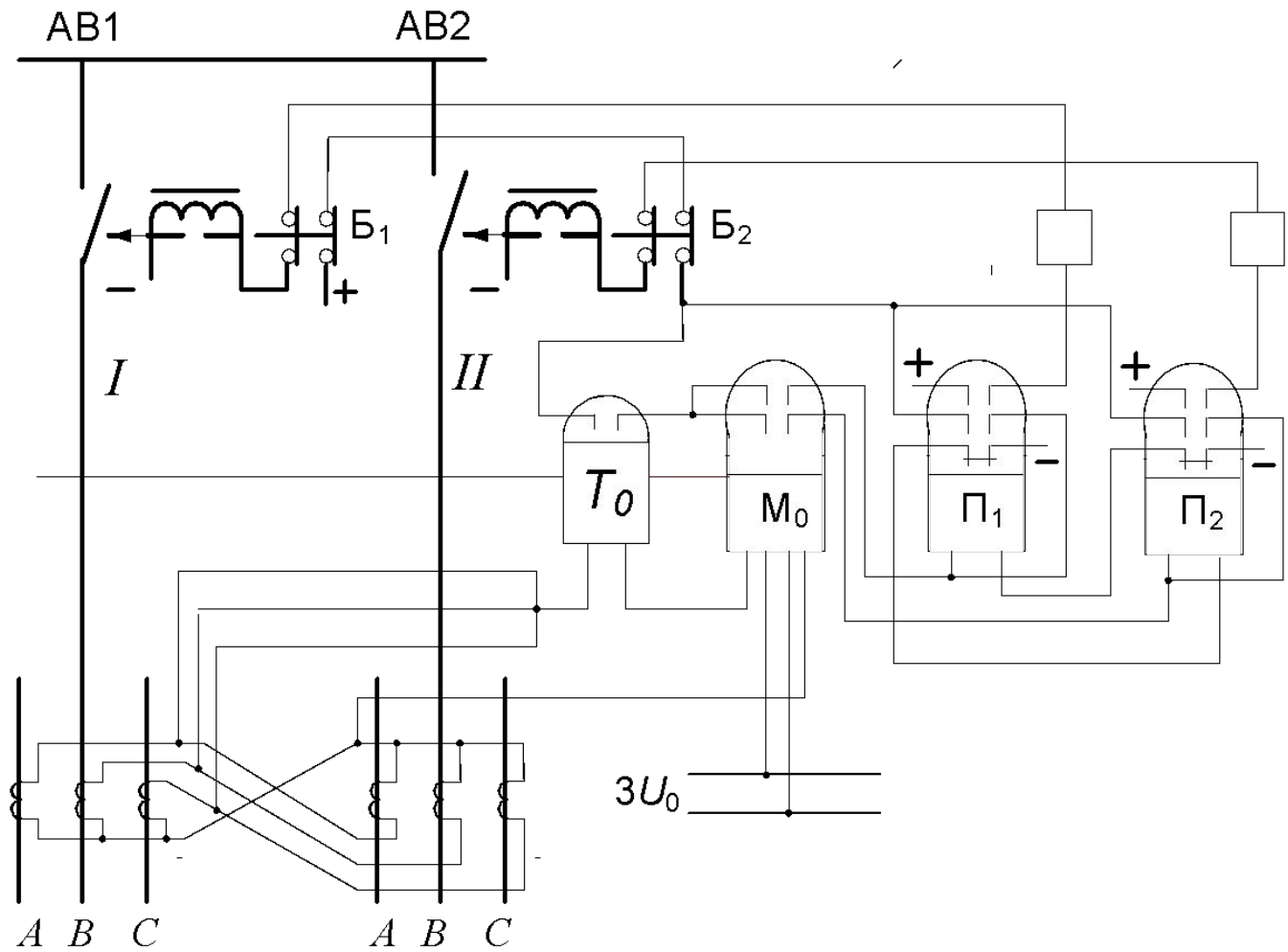
где  $\Delta Z\% = (z_{л1} - z_{л2}) / z_{л1} \times 100$  — разница в процентах между сопротивлениями прямой последовательности обеих линий;

$I_{кз.max}$  — максимальное значение суммарного тока КЗ (по обеим линиям) при повреждении на шинах противоположной п/ст.

Чувствительность защиты определяется по коротким замыканиям на границе зоны каскадного действия и в точке равной чувствительности. За точку равной чувствительности принимается точка короткого замыкания, при замыкании в которой токи в реле обоих комплектов равны. Защита удовлетворяет требованиям чувствительности при

$$k_{\text{ч}} > 2$$

# Направленная поперечная диф. защита нулевой последовательности



Защита основана на сравнении величины и направления токов нулевой последовательности, протекающим по параллельным линиям при КЗ на землю. Схема защиты состоит из пускового токового реле  $T_0$  и РНМ двухстороннего действия, включенных на разность токов  $3I_0$  параллельных линий  $I_p = 3I_{01} - 3I_{02}$ . Для получения  $3I_0$  используется нулевой провод ТТ, соединенный по схеме трехфазной звезды. Обмотка напряжения РНМ запитана от разомкнутого треугольника ТН. Угол сдвига между  $I_0$  и  $U_0$  близок к  $90^\circ$ , вследствие чего применяется РНМ синусного или смешанного типа, имеющее максимальную чувствительность при угле приблизительно  $90^\circ$ .

Защита отстраивается от максимального тока небаланса, который подсчитывается при однофазных или двухфазных КЗ на землю на шинах противоположной подстанции.

Защита обладает большей чувствительностью при КЗ на землю, чем защита, реагирующая на фазный ток.