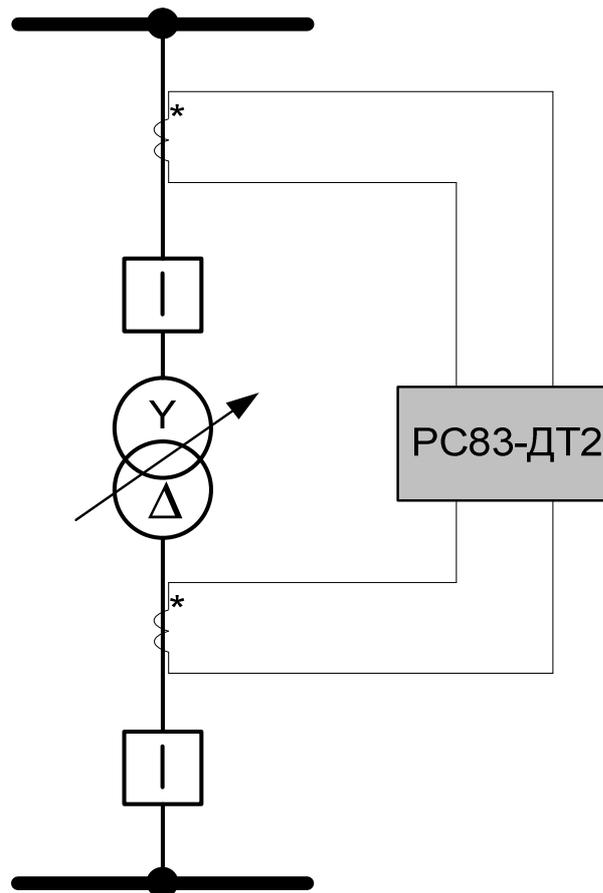


Методические указания

по выбору уставок дифференциальной защиты трансформаторов,
реализуемой при помощи устройств РС83-ДТ2



Содержание

1. Условные обозначения	5
2. Порядок определения уставок.....	7
Дополнение А	
Библиография.....	15
Дополнение Б	
Описание дифференциальной защиты на базе устройства РС83-ДТ2	16
Дополнение В	
Пример расчета уставок дифференциальной защиты двухобмоточного трансформатора на базе устройства РС83-ДТ2	21
Дополнение Г	
Пример расчета уставок дифференциальной защиты трехобмоточного трансформатора (с расщепленной обмоткой стороны НН) на базе устройства РС83-ДТ2.....	25

Жереб А.А., Герман Е.П. – Методические указания по выбору уставок дифференциальной защиты трансформаторов, реализуемой при помощи устройств. С АБР.656112.005МУ РС 83-ДТ2. КБ ООО «РЗАСИСТЕМЗ», 2011. – 36с.

В данных методических указаниях приведены сведения по выбору уставок дифференциальной защиты, которая реализована в РС83-ДТ2.

Методические указания рассчитаны на широкий круг инженеров и техников, занятых проектированием, монтажом, наладкой и эксплуатацией станций и подстанций, а также может быть использовано в высших и средних учебных заведениях.

Отзывы и пожелания направляйте по адресу: german.kbrza@gmail.com

1. Условные обозначения

$n_{ТТН}$ – коэффициент трансформации трансформаторов тока стороны низшего напряжения силового трансформатора

$n_{ТТВ}$ – коэффициент трансформации трансформаторов тока стороны высшего напряжения силового трансформатора

$I_{\max н}$ – максимальный рабочий ток стороны низшего напряжения

$U_{нн}$ – номинальное напряжение стороны низшего напряжения трансформатора

$U_{ср вн}$ – номинальное напряжение в среднем положении РПН стороны высшего напряжения трансформатора

$K_{вр н}$ – коэффициент выравнивания стороны низшего напряжения

$K_{вр в}$ – коэффициент выравнивания стороны высшего напряжения

$I_{дотс}$ – ток срабатывания 1ст защиты

$I_{дт0}$ – начальный ток срабатывания 2ст защиты

$I_{т0}$ – начальный ток торможения 2ст защиты

$I_{нв}$ – первичный номинальный ток трансформатора (стороны высшего напряжения)

$I_{нн}$ – номинальный ток стороны низшего напряжения трансформатора

K – коэффициент распределения тока торможения между сторонами низшего и высшего напряжения

$I_{т огр}$ – уставка ограничения тока торможения 2ст защиты

$I_{к \max}$ – максимальный ток короткого замыкания в конце зоны защиты, приведенный к стороне низшего напряжения трансформатора

$I_{огр}$ – ток срабатывания 2ст защиты в точке ограничения торможения

$I_{\text{нб}}$ – ток небаланса

$I_{\text{нб}}^{\prime}$ – составляющая небаланса, вызванная погрешностями трансформаторов тока

$I_{\text{нб}}^{\prime\prime}$ – составляющая небаланса, вызванная изменениями коэффициента трансформации трансформатора при работе РПН

$I_{\text{нб}}^{\prime\prime\prime}$ – составляющая баланса, вызванная неточностью выравнивания выбранных коэффициентов трансформации трансформаторов тока

$K_{\text{ап}}$ – коэффициент учитывающий повышение погрешности трансформаторов тока за счет аperiodической составляющей

$K_{\text{одн}}$ – коэффициент однотипности трансформаторов тока

ε – относительная погрешность трансформаторов тока

$\Delta U_{\text{РПН}}$ – половина диапазона регулирования РПН в относительных единицах

$K_{\text{ч дзт}}$ – коэффициент чувствительности 2 ст. дифференциальной защиты

$I_{\text{т ч}}$ – ток торможения, при котором определяется коэффициент чувствительности, ($I = I_{\text{к min}}$) при повреждении в зоне защиты (трансформаторы тока стороны низшего напряжения не обтекаются током КЗ)

$I_{\text{р max}}$ – максимальный рабочий ток трансформатора (ток нагрузки), приведенный к стороне низшего напряжения

$I_{\text{д ср ч}}$ – ток срабатывания защиты в точке характеристики, в которой определяется коэффициент чувствительности

$K_{\text{т}}$ – уставка коэффициента торможения в относительных единицах

$I_{\text{д отс}}$ – уставка тока срабатывания дифференциальной отсечки (1ст)

$I_{\text{д ср ч отс}}$ – ток срабатывания дифференциальной отсечки в точке определения ее коэффициента чувствительности.

$K_{\text{ч отс}}$ – коэффициент чувствительности отсечки.

2. Порядок определения уставок

Приведенные методические указания ориентированы на выбор уставок дифференциальной защиты понижающего трансформатора, поэтому выражения первичная сторона – сторона высшего напряжения и вторичная сторона – сторона низшего напряжения следует рассматривать как эквиваленты (синонимы)

1. Коэффициент трансформации трансформаторов тока для стороны низшего $n_{ТТ Н}$ (уставка – диапазон от 1 до 4000 с шагом 1) и высшего $n_{ТТ В}$ (уставка – диапазон от 1 до 4000 с шагом 1) напряжения силового трансформатора, если они еще не выбраны и отсутствуют другие соображения (например ограничения относительно допустимого значения вторичного тока), принимаются минимально возможными в соответствии с выражением:

$$n_{ТТ Н} \geq \frac{I_{МАХ Н}}{I_{НОМ Н}} ;$$
$$n_{ТТ В} \approx \frac{K_{СХ}^{(3)} n_{ТТ Н} U_{НН}}{U_{СР ВН}} , \quad (1)$$

где:

- $I_{МАХ Н}$ – максимально рабочий ток (первичное значение) стороны низшего напряжения, А;

- $I_{НОМ Н}$ – номинальный вторичный ток трансформаторного тока стороны низшего напряжения (обычно 5 А);

- $K_{СХ}^{(3)}$ - коэффициент схемы соединения трансформаторов тока и реле (токовых входов устройства) на стороне ВН защищаемого трансформатора в трехфазном режиме;

- $U_{НН}$ – номинальное напряжение стороны низшего напряжения трансформатора;

- $U_{СР ВН}$ – номинальное напряжение в среднем положении РПН стороны высшего напряжения трансформатора.

$n_{ТТ В}$ принимается ближайшим к расчетному по выражению 1 и проверяется на отсутствие перегрузки максимальным рабочим током в соответствии с выражением

$$n_{\text{ТТ В}} \geq \frac{K_{\text{СХ}}^{(3)} I_{\text{МАХ В}}}{I_{\text{НОМ В}}}.$$

При соединении ТТ и токовых входов в звезду $K_{\text{СХ}}^{(3)} = 1$. При соединении ТТ в треугольник, а токовых входов в звезду $K_{\text{СХ}}^{(3)} = \sqrt{3}$. Последнее может быть использовано на стороне высшего напряжения трансформатора с группой соединений Y/Δ-11 при выполнении уставки по группе соединений 0.

В общем случае кроме коэффициента схемы на стороне высшего напряжения в расчетных формулах следовало бы учитывать коэффициент схемы на стороне низшего напряжения, однако в связи с тем, что в реальных случаях этот коэффициент всегда равен 1 (соединение ТТ и токовых входов в звезду), с целью упрощения выражений он опущен.

2. Коэффициент выравнивания стороны низшего напряжения $K_{\text{ВР Н}}$ (уставка – диапазон от 0,25 до 4 с шагом 0,01) определяется в зависимости от принятого значения коэффициента трансформации трансформаторов тока

$n_{\text{ТТ Н}}$ в соответствии с выражением:

$$K_{\text{ВР Н}} = n_{\text{ТТ Н}} \frac{I_{\text{НОМ Н}}}{I_{\text{МАХ Н}}}. \quad (2)$$

Выполнение уставки коэффициента выравнивания по выражению (2) эквивалентно приведению номинального тока стороны низшего напряжения трансформатора к значению $I_{\text{МАХ Н}}$.

3. Коэффициент выравнивания стороны высшего напряжения $K_{\text{ВР В}}$ (уставка – диапазон от 0,25 до 4 с шагом 0,01) при принятых значениях $K_{\text{ВР Н}}$, $n_{\text{ТТ Н}}$ и $n_{\text{ТТ В}}$ определяется в соответствии с выражением:

$$K_{\text{ВР В}} = \frac{K_{\text{ВР Н}} n_{\text{ТТ В}}}{K_{\text{СХ}}^{(3)} n_{\text{ТТ Н}}} \frac{U_{\text{СР ВН}}}{U_{\text{НН}}} \quad (3)$$

Точный выбор уставки $K_{\text{ВР В}}$ в соответствии с выражением (3) более важный чем уставки $K_{\text{ВР Н}}$ в соответствии с (2), поэтому в случае невозможности исполнения условий (3), например за счет выхода за диапазон рассчитанного значения $K_{\text{ВР В}}$, принятое значение $K_{\text{ВР Н}}$ может быть соответственно отредактировано с последующим пересчетом значения $K_{\text{ВР В}}$. Аналогично в случае получения согласно (2) значения $K_{\text{ВР Н}}$, выходящего за его диапазон

изменения, его можно принять равным значению на границе диапазона с последующим точным расчетом $K_{вр}$ в соответствии с выражением (3).

Принятые значения коэффициентов выравнивания проверяются на допустимое отклонение от расчетных путем определения относительной погрешности вычисления устройством дифференциального тока δI_d , возникающей за счет неточности указанных принятых значений:

$$\delta I_d = \left(K_{вр} \cdot K_{сх}^{(3)} \frac{I_{НВ}}{n_{ТТВ}} - K_{вр} \cdot \frac{I_{НН}}{n_{ТТН}} \right) / K_{вр} \cdot K_{сх}^{(3)} \frac{I_{НВ}}{n_{ТТВ}} \quad (4)$$

При правильном выборе коэффициентов выравнивания указанная относительная погрешность не должна превышать значение 0,01

4. Уставку тока второй гармоники (по отношению к первой) для блокировки бросков тока намагничивания при включении ненагруженного трансформатора $I_{2 бл}$ (уставка – диапазон от 10% до 100% с шагом 1%) – рекомендуется принять 12-15%. Типовое значение этой величины в некоторых зарубежных устройствах составляет 12 % (л.6).

5. Уставку тока пятой гармоники (по отношению к первой) для предотвращения излишнего срабатывания за счет повышенного тока намагничивания силового трансформатора от перевозбуждения (значительно повышенного по сравнению с номинальным первичного напряжения) $I_{5 бл}$ (уставка – диапазон от 10% до 100% с шагом 1%) – рекомендуется принять 10%.

6. Уставка начального тока срабатывания $I_{дт0}$ (2ст защиты, уставка – диапазон от 0,5А до 5А с шагом 0,01А) выбирается по условию отстройки от броска тока намагничивания. При наличии временно-импульсного принципа отстройки от апериодической составляющей (как в реле ДЗТ-21 или ЯРЭ 2201) или блокировки по второй гармонике как в нашем устройстве, указанную уставку рекомендуется принимать с коэффициентом 0,3 по отношению к первичному номинальному току трансформатора $I_{НВ}$ (л.2, л.3). При этом учитываются принятые значения коэффициента трансформации трансформаторов тока $n_{ТТВ}$ и коэффициента выравнивания $K_{вр}$, отличие которого от 1 изменяет чувствительность. На рис.1. красной утолщенной линией показан участок начального тока срабатывания $I_{дт0}$.

$$I_{дт0} = 0,3 K_{вр} \cdot K_{сх}^{(3)} \frac{I_{НВ}}{n_{ТТВ}}, \quad (5)$$

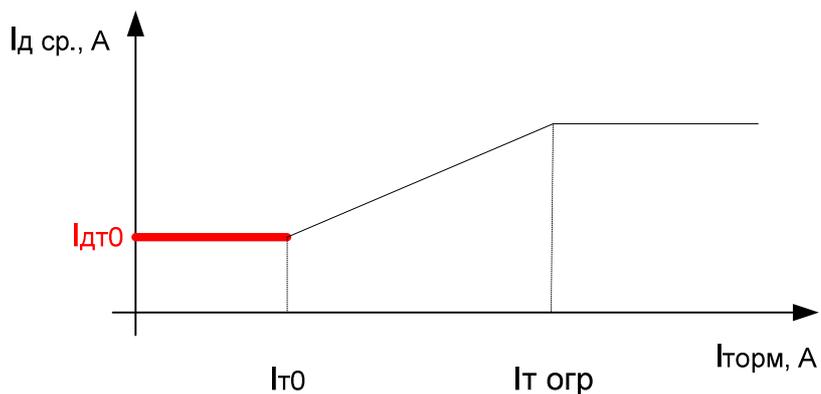


Рис.1.

7. Коэффициент распределения тока торможения между сторонами низшего и высшего напряжения K (уставка – диапазон от 0 до 1 с шагом 0,1). Для трансформаторов с наличием питания только со стороны ВН рекомендуется принять равным $K=1$. Для трансформаторов с наличием питания со стороны ВН и НН рекомендуется принять равным $K=0,5$.

8. Уставка ограничения тока торможения $I_{т огр}$ (2ст защиты, уставка – диапазон от 10А до 80А с шагом 0,1А) выбирается в зависимости от максимального тока короткого замыкания в конце зоны защиты приведенного к стороне низшего напряжения трансформатора $I_{к max}$ с учетом коэффициентов трансформации трансформаторов тока $n_{ТТ Н}$, $n_{ТТ В}$ и коэффициента распределения тока торможения между высшей и низшей сторонами K .

$$I_{т огр} = I_{к max} \left(\frac{K}{n_{ТТ Н}} + K_{сх}^{(3)} \frac{1-K}{n_{ТТ В}} \cdot \frac{U_{НН}}{U_{СРВН}} \right), \quad (6)$$

При выборе рекомендованного значения $K=1$ выражение (6) упрощается:

$$I_{тогр} = \frac{I_{к max}}{n_{ТТ Н}}, \quad (7)$$

На рис.2. красной утолщенной линией показан участок ограничения тока торможения, начинающийся со значения $I_{т огр}$.

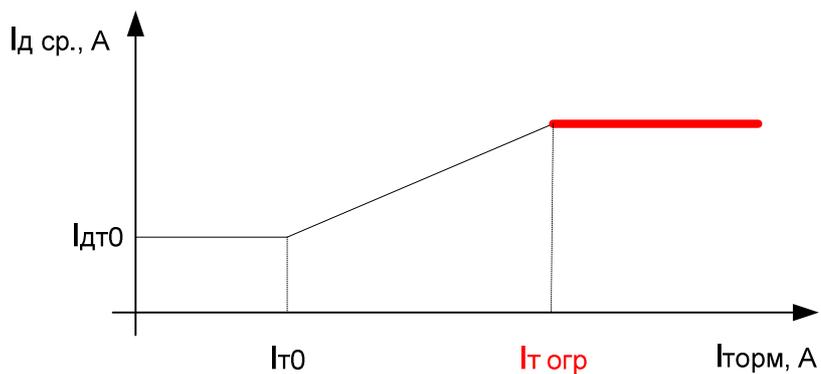


Рис.2.

9. Ток срабатывания 2ст защиты в точке ограничения тока торможения (рис.3) определяется с учетом отстройки от тока небаланса $I_{НБ}$.

$$I_{огр} = \frac{K_H K_{ВЫР} I_{НБ}}{n_{ТТ}}, \quad (8)$$

где K_H – коэффициент надёжности отстройки, который учитывает погрешности защиты и необходимый запас надёжности, $K_H=1,2$.

В этом выражении учитывается изменение чувствительности за счет выбора уставки $K_{ВР}$, отличающейся от 1.

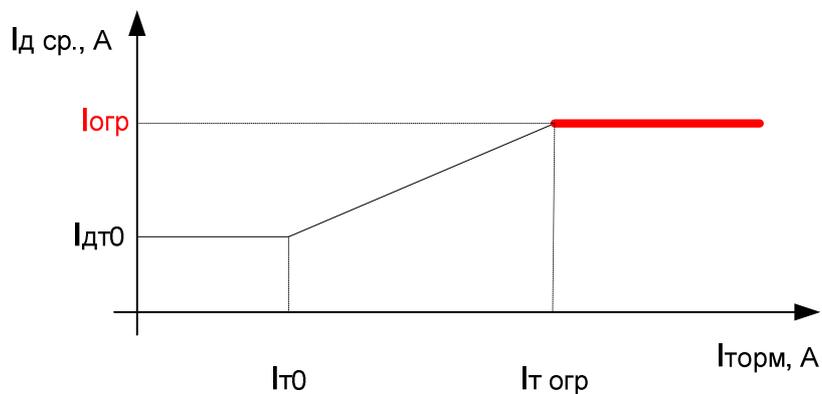


Рис.3.

10. Ток небаланса $I_{НБ}$ (приведенный к стороне низшего напряжения трансформатора) определяется тремя составляющими:

$$I_{НБ} = I_{НБ}' + I_{НБ}'' + I_{НБ}''' , \quad (9)$$

10.1. Составляющая небаланса $I_{НБ}'$, вызванная погрешностями трансформаторов тока:

$$I_{НБ}' = K_{ап} K_{одн} \varepsilon I_{к \max} , \quad (10)$$

где: $K_{ап}$ – коэффициент, который учитывает повышение погрешности за счет аperiodической составляющей и переходного режима, при наличии средств отстройки от небаланса в переходном режиме (в нашем случае блокировка по второй гармонике) $K_{ап}=1$ (л.5);

$K_{одн}$ – коэффициент однотипности трансформаторов тока. Для двух обмоточного понижающего трансформатора рекомендуется принять $K_{одн}=1$. Для понижающего трансформатора с расщепленными обмотками рекомендуется принять $K_{одн}=0,5$ (л.5);

ε – относительная погрешность трансформаторов тока, с учетом требования проверки трансформаторов тока в режиме КЗ на 10% погрешность, принимается $\varepsilon=0,1$;

$I_{к \max}$ – максимальный ток КЗ как в п.8.

10.2. Составляющая небаланса $I_{НБ}''$ вызванная изменениями коэффициента трансформации трансформатора при работе РПН:

$$I_{НБ}'' = \Delta U_{РПН} I_{к \max} , \quad (11)$$

где $\Delta U_{РПН}$ – половина диапазона регулирования РПН в относительных единицах.

10.3. Составляющая небаланса $I_{НБ}'''$ вызванная неточностью выравнивания выбранных коэффициентов трансформации трансформаторов тока:

$$I_{\text{нб}}''' = \delta I_{\text{д}} I_{\text{к макс}} , \quad (12)$$

При исполнении уставок $I_{\text{вр в}}$, $I_{\text{вр н}}$ такими, которые точно отвечают выражению (3), эта составляющая отсутствует. При полученном значении $\delta I_{\text{д}}$ по выражению (4) меньше 0,01, что обычно имеет место при расчетах по этой методике и реальной дискретности задания коэффициентов выравнивания, указанной составляющей можно пренебречь.

11. Коэффициент торможения $K_{\text{т}}$ (уставка – диапазон от 0 до 0,9 с шагом 0,01)

$$K_{\text{т}} = \frac{I_{\text{огр}} - I_{\text{дт0}}}{I_{\text{т огр}} - I_{\text{т0}}} , \quad (13)$$

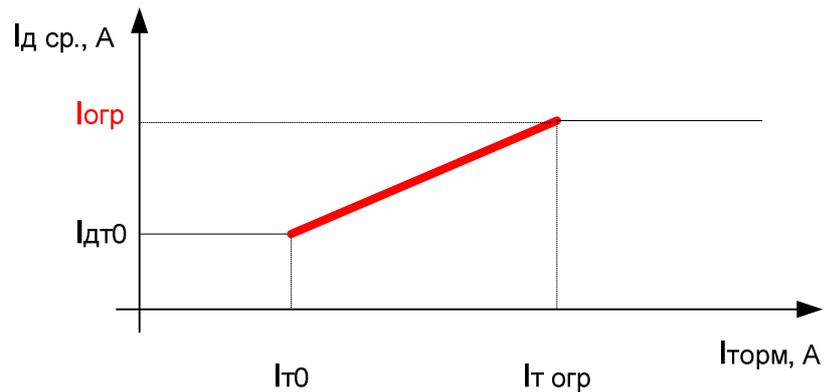


Рис.4.

На рис.4. красной утолщенной линией показан наклонный участок торможения.

12. Коэффициент чувствительности 2 ст. дифференциальной защиты $K_{\text{ч дзт}}$ определяется при минимальном токе короткого замыкания в конце зоны действия защиты – на шинах низшего напряжения трансформатора – $I_{\text{к мин}}$ (приведенного к стороне низшего напряжения трансформатора).

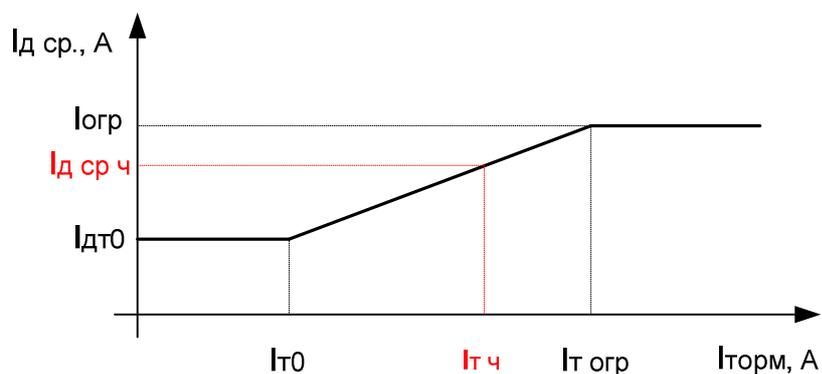


Рис.5.

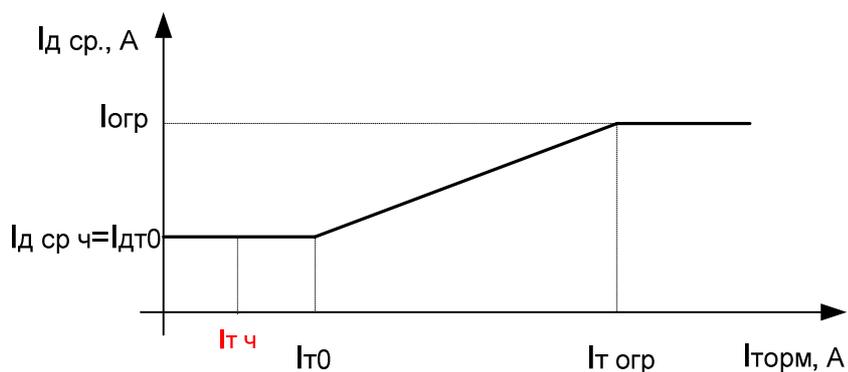


Рис.6.

На пересечении $I_{д ср ч}$ и $T ч$ (рис.5., рис.6.) показана точка, для которой определяется коэффициент чувствительности.

12.1. Ток торможения $I_{Т ч}$, при котором определяется коэффициент чувствительности, ($I = I_{к min}$) при повреждении в зоне защиты (трансформаторы тока стороны низшего напряжения не обтекаются током КЗ)

$$I_{Т ч} = I_{к min} K_{сх}^{(3)} \frac{1-K}{n_{ТТ в}} \cdot \frac{U_{нн}}{U_{ср вн}} + I_{р max} \frac{K}{n_{ТТ н}}, \quad (14)$$

где $I_{р max}$ – максимально рабочий ток трансформатора (ток нагрузки),
приведенный к стороне низшего напряжения.

В случае исполнения торможения только током стороны низшего напряжения трансформатора ($K=1$)

$$I_{T\text{ ч}} = \frac{I_{P\text{ MAX}}}{n_{TТН}}$$

12.2. Ток срабатывания защиты в точке характеристики, в которой определяется коэффициент чувствительности, рассчитывается в соответствии со следующим выражением:

$$I_{д\text{ ср ч}} = I_{дт0} + K_T(I_{T\text{ ч}} - I_{T0}), \text{ если } I_{T\text{ ч}} \geq I_{T0} \text{ (рис.5),}$$

$$\text{где } I_{T0} = 4A,$$

иначе

$$I_{д\text{ ср ч}} = I_{дт0} \text{ (рис.6).} \quad (16)$$

Где K_T – коэффициент торможения в относительных единицах,

12.3. Ток, на который реагирует защита в таком режиме,

$$I_{д\text{ ч}} = I_{K\text{ min}} K_{сх}^{(3)} \frac{U_{HН}}{U_{срВН}} \cdot \frac{K_{ВВН}}{n_{TТВ}} \quad (17)$$

Следует иметь в виду, что в выражении (17) $I_{K\text{ min}}$ может иметь место не в трехфазном режиме, но коэффициент схемы всегда должен использоваться для трехфазного режима. Это связано с тем, что изменение коэффициента схемы при изменении вида КЗ компенсируется соответствующими изменениями условий трансформации токов КЗ в защищаемом трансформаторе с группой соединений, для которой выполняется соответствующее соединение трансформаторов тока.

12.4. Коэффициент чувствительности 2ст. защиты

$$K_{ч\text{ дзт}} = \frac{I_{д\text{ ч}}}{I_{д\text{ ср ч}}} \quad (18)$$

13. Уставка тока срабатывания дифференциальной отсечки $I_{д\text{ отс}}$ (1-я ст, **уставка** – диапазон от 5А до 60А с шагом 0,01А) выбирается по условию отстройки от полного значения броска тока намагничивания. При этом ток срабатывания отсечки принимается равным 3-4

номинального тока трансформатора (л.1). Выбирая середину указанного диапазона (значение 3,5) аналогично выражению (5), уставка тока срабатывания дифференциальной отсечки

$$I_{д\ отс} = 3,5 K_{вн} K_{сх}^{(3)} \frac{I_{нв}}{n_{тгв}} \quad (19)$$

14. Коэффициент чувствительности дифференциальной отсечки $K_{ч\ отс}$ определяется по ее току срабатывания в той же точке, что и $K_{ч\ дзт}$.

Если $I_{д\ отс} \geq I_{д\ ср\ ч}$, то

$$K_{ч\ отс} = \frac{I_{дч}}{I_{д\ отс}} \quad (\text{рис.7}) ,$$

иначе (20)

$$K_{ч\ отс} = K_{ч\ дзт} \quad (\text{рис.8}) ,$$

Где $I_{дч}$ - тот ток, который используется при определении коэффициента чувствительности $K_{ч\ дзт}$ и определяется в соответствии с выражением (17).

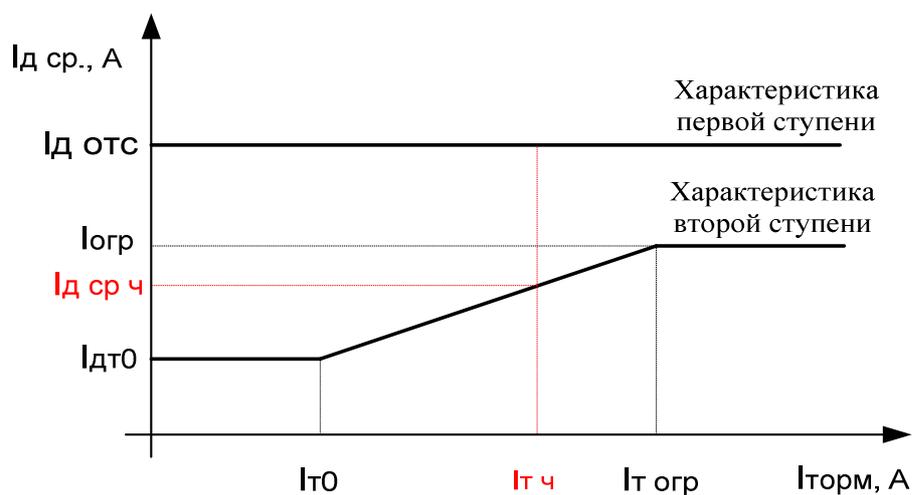


Рис.7.

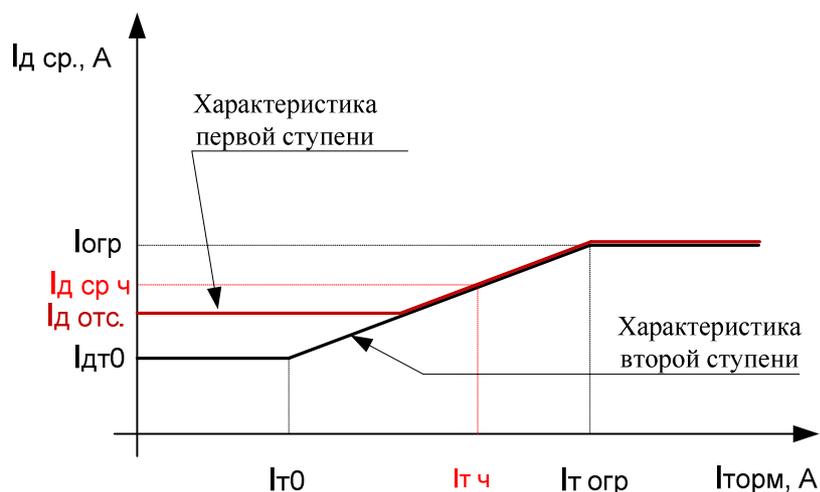


Рис.8.

Следует отметить, что в отличие от распространенной точки зрения, что дифференциальная отсечка должна использоваться при коэффициенте чувствительности больше 2 (л.2), отсечку устройств ДТ2 целесообразно вводить в действие даже при коэффициенте чувствительности меньше единицы. Это объясняется тем, что в таком случае отсечка обеспечит охват более эффективной быстродействующей защитой хотя бы часть трансформатора, а затрат на ее применение никаких не нужно, поскольку она выполнена комплексно в составе другой защиты.

15. Время срабатывания ступеней $T_{до}$ (**уставка** – диапазон от 0 до 1 сек с шагом 0,01сек) и $T_{дт}$ (**уставка** – диапазон от 0 до 1 сек с шагом 0,01сек) дифференциальной защиты в случае использования РС83-ДТ2 как основной защиты рекомендуется ставить $T=0с$. При использовании терминала РС83-ДТ2 для работы на сигнал можно вводить задержку по времени срабатывания.

16. Таблицы задания уставок. Для упрощения процесса наладки рекомендуется по окончании расчета все данные внести в таблицы, форма которых приведены ниже. В данных таблицах прописаны все уставки и параметры, которые относятся к дифференциальной защите. Параметры, которые в методике не рассчитываются в таблицах выделены жирным, эти параметры и уставки необходимо ввести такими как они показаны в таблице.

Таблица.1.- уставки в меню конфигурация

1	Коэффициент трансформации Ктт нн	
2	Коэффициент трансформации Ктт вн	
3	Группа трансформатора	
4	Коэффициент выравнивания Кв вн	
5	Коэффициент выравнивания Кв нн	

Таблица.2.- уставки в меню ДО(1-я ступень диф. защиты)

1	Работа ДО	Вкл
2	$I_{дотс}$, А	
3	$T_{до}$, с	
4	Блок. по 2-й гармонике I_2	Откл
5	Уровень второй гармоники I_2	12%
6	Блок. по 5-й гармонике I_5	Откл
7	Уровень пятой гармоники I_5	10%

Таблица.3.- уставки в меню ДТ(2-я ступень диф. защиты)

1	Работа ДТ	Вкл
2	$I_{дт0}$, А	
3	$I_{т огр}$, А	
4	$T_{до}$, с	
5	Кт	
6	К	
7	Блок. по 2-й гармонике I_2	Вкл
8	Уровень второй гармоники I_2	12%
9	Блок. по 5-й гармонике I_5	Вкл
10	Уровень пятой гармоники I_5	10%

Библиография

1. Шабад М.А.. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. Ленинград, «Энергоатомиздат», 1985.
2. Жереб А.А., Герман Е.П. РС83-ДТ2. Устройство дифференциальной защиты и автоматики по току. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. ЄАБР.656112.005ТО. Техническая библиотека РЗА Б09ТО83ДТ2-5. РЗАСИСТЕМ3, 2011. – 124с.
3. Беркович М.А. и др. Основы техники релейной защиты. М. Энергоатомиздат, 1984.
4. Федосеев А.М. Релейная защита электрических систем. Учебник для вузов. М. «Энергия», 1976.
5. Руководящие материалы по проектированию электроснабжения сельского хозяйства. М. ВГПИ и НИИ «Сельэнергопроект», 1978, декабрь.
6. Руководящие указания по релейной защите, выпуск 13Б. Релейная защита понижающих трансформаторов 110-500 кВ. Расчеты. М. «Энергоатомиздат», 1985.
7. Рекомендации по выбору уставок защит электротехнического оборудования с использованием микропроцессорных устройств концерна ALSTOM, 2000.

Описание дифференциальной защиты на базе устройства РС83-ДТ2

Трехфазная по действующим значениям первых гармоник дифференциальных токов, двухступенчатая. В устройстве есть две ступени защиты дифференциальная отсечка (ДО) и дифференциальная защита с торможением (ДТ).

Каждая из двух ступеней ДТЗ(диф. защиты) работает с учетом коэффициента возврата 0,95.

От каждой ступени может работать функция ЛЗШ. Разрешение ЛЗШ задается уставками из меню. На время превышения уставки по току включается светодиод соответствующий данной ступени ДТЗ зеленым цветом и реле назначенное на ЛЗШ. Функция ЛЗШ при работе дифференциальной защиты обычно не используется и предусмотрена только для нетрадиционного случая выполнения дифзащиты с выдержкой времени.

Каждая из двух ступеней ДТЗ может блокироваться по дискретному входу (DI 3 ... DI16). Разрешение блокирования по DI задается из меню. Если блокировка ступени по DI разрешена и с учетом инверсии и демпфирования на этот вход приходит сигнал логической «единицы», то на время наличия «единицы» работа ступени блокируется: реле, назначенное на ЛЗШ отключается, соответствующий данной ступени светодиод возвращается в предыдущее состояние, реле, назначенное на работу ступени ДТЗ отключается.

Для всех ступеней диф защиты возможен выбор режима с блокировкой от броска намагничивающего тока (БНТ). При включенном режиме «Блокировка от БНТ» ступень будет срабатывать только в том случае, если измеренное значение второй гармонической составляющей дифференциального тока не превышает уставку в % от первой гармонической составляющей дифференциального тока.

Для всех ступеней диф защиты возможен выбор режима с блокировкой от перевозбуждения. При включенном режиме «Блокировка от перевозбуждения» ступень будет срабатывать только в том случае, если измеренное значение пятой гармонической составляющей дифференциального тока не превышает уставку в % от первой гармонической составляющей дифференциального тока. Для дифференциальной защиты введена функция «группа соединения трансформатора». Что позволяет собирать схему соединений вторичных цепей измерительных трансформаторов тока со стороны НН и со стороны ВН в звезду(согласно приложению Б) не зависимо от группы соединения трансформатора.

При работе любой из четырех ступеней на реле KL1, включается реле аварийного отключения KL5. Отключается реле по факту квитирования или по появлению перехода дискретного входа DI 1 из состояния логического нуля в состояние логической единицы.

После работы каждой из ступеней ДТЗ может работать УРОВ. Разрешение работы УРОВ для каждой ступени ДТЗ задается из меню.

После работы любой из ступеней ДТЗ может работать АПВ. Разрешение работы АПВ для каждой ступени ДТЗ задается из меню.

После завершения времени выдержки ступени ДТЗ включается красным цветом светодиод, назначенный на работу данной ступени и включается реле, назначенные на работу этой ступени ДТЗ.

Дифференциальный ток определяется как геометрическая (с учетом фазы) сумма первых гармоник токов, одноименных фаз двух комплектов трансформаторов тока для определения дифференциального тока срабатывания по каждой из трех фаз. Устройство работает с любой из групп соединения обмоток силового трансформатора, при этом фазовый сдвиг токов стороны НН по отношению ВН компенсируется согласно заданной уставке «Группа соединения трансформатора» - от 0 до 11 с шагом 1. Вторичные обмотки трансформаторов тока всегда собираются в звезду.

Диф. ток. определяется для каждой из трех фаз А,В и С как:

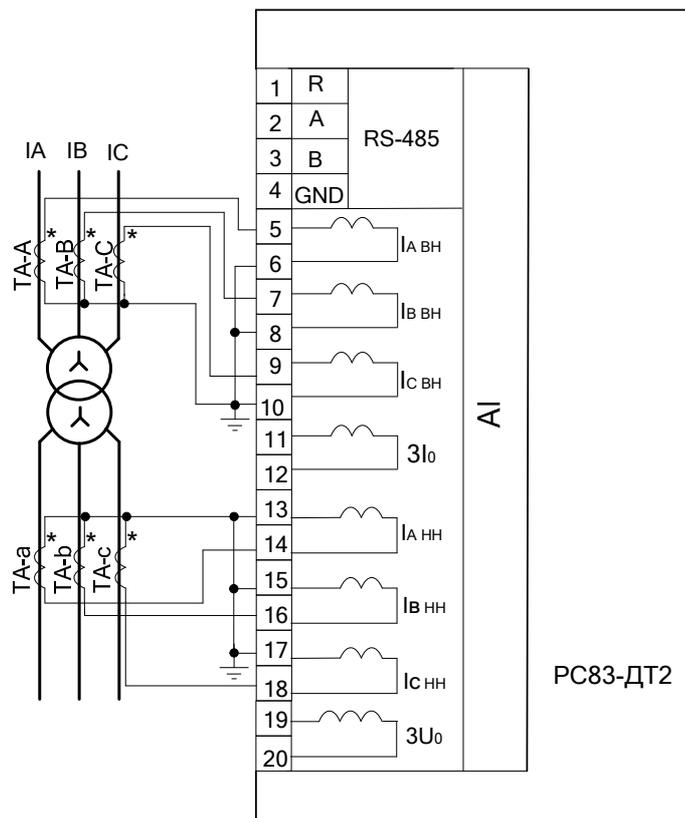
$$I_{\Delta} = I_{ВН} K_{В\ ВН} - I_{НН} K_{В\ НН}$$

где I_{Δ} – определяемый дифференциальный ток;

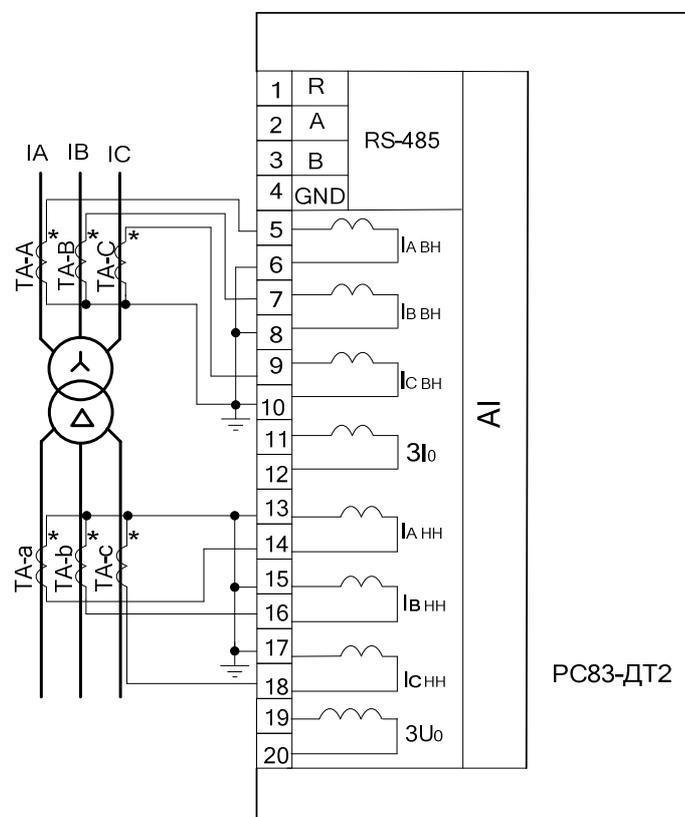
$I_{ВН}$ – ток в реле со стороны ВН в ортогональных составляющих для первой гармоники;

$I_{НН}$ – ток в реле со стороны НН в ортогональных составляющих для первой гармоники;

$K_{В\ ВН}$, $K_{В\ НН}$ – коэффициенты выравнивания со стороны ВН и НН соответственно, которые изменяются от 0,25 до 4 с шагом 0,01. При этом следует считать, что векторы токов стороны высшего напряжения направлены в сторону защищаемого трансформатора, а стороны низшего напряжения – от трансформатора.



Пример схемы подключения трансформатора со схемой соединения Y/Y-0 к измерительным трансформаторам тока PC83-ДТ2 с уставкой по группе трансформатора «0».



Пример схемы подключения трансформатора со схемой соединения Y/Δ-11 к измерительным трансформаторам тока PC83-ДТ2 с уставкой по группе трансформатора «11».

Первая ступень (дифференциальная отсечка) имеет независимую характеристику с током срабатывания $I_{д\ отс}$. Это справедливо всегда, когда уставка $I_{д\ отс}$ больше тока ограничения $I_{огр}$ второй ступени.

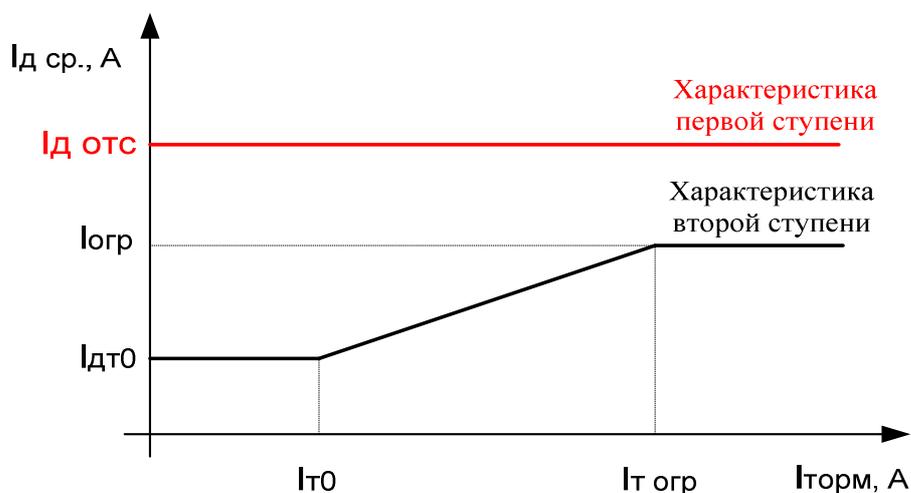


Рис. 9. Тормозные характеристики ступеней дифференциальной защиты

Ток срабатывания второй ступени определяется соответствующими уставками и зависит от тока торможения.

Ток торможения $I_{торм}$ определяется током стороны низшего напряжения $I_{нн}$ и током стороны высшего напряжения $I_{вн}$ с учетом коэффициента распределения между ними k в соответствии с выражением:

$$I_{торм} = k I_{нн} + (1 - k) I_{вн}$$

Коэффициент распределения тока торможения между стороной низшего напряжения и стороной высшего напряжения K задается уставкой. Для понижающего трансформатора можно принимать $K=1$ (торможение со стороны вторичной обмотки, повышающее чувствительность при КЗ в зоне срабатывания).

Тормозная характеристика дифференциальной защиты (вторая ступень) состоит из трех линейных участков:

- начальный горизонтальный участок с током срабатывания дифференциальной защиты $I_{дт0}$ длиной до начального тока торможения $I_{т0}$;
- наклонный участок – от начального тока торможения $I_{т0}$ до тока ограничения торможения $I_{т\ огр}$ – с током срабатывания, определяемым по формуле:

$$I_{д\ ср} = I_{дт0} + k_T(I_{торм} - I_{т0}),$$

- конечный горизонтальный участок с током срабатывания дифференциальной защиты $I_{огр}$ - от тока ограничения торможения $I_{т\ огр}$.

Начальный ток срабатывания дифференциальной защиты $I_{д0}$ задается уставкой. Начальный ток торможения $I_{т0}$ равен 0,8 от номинального тока и при номинальном токе 5 А составляет 4А.

Ток срабатывания дифференциальной отсечки принимается как большее из двух значений – уставки дифференциальной отсечки $I_{д\text{ отс}}$ и тока срабатывания второй ступени дифференциальной защиты. Вариант характеристики, при котором второе значение оказывается преобладающим при некоторых значениях тока торможения приведен на рис. 2.



Рис. 10. Тормозные характеристики ступеней дифференциальной защиты при уставке отсечки $I_{д\text{ отс}}$ меньше тока ограничения $I_{огр}$.

Собственное время срабатывания дифференциальной отсечки при токе, равном двукратной уставке тока срабатывания, не превышает 50 мс.

Пример расчета уставок дифференциальной защиты двухобмоточного трансформатора на базе устройства РС83-ДТ2

Исходные данные:

Тип трансформатора: ТДНС – 6300.

Номинальная мощность: 6,3 МВА.

Номинальное напряжение стороны ВН: $U_{ном\ вн} = 35 \pm 9\%$ кВ

Номинальное напряжение стороны НН $U_{ном\ нн} = 11$ кВ

Схема соединения: Y/Δ – 11.

Напряжение короткого замыкания: $U_k = 7,5\%$.

Максимальный ток нагрузки стороны НН: $I_{мах\ н} = 270$ А.

Максимальный ток КЗ стороны НН: 4,1 кА.

Минимальный ток КЗ стороны НН: 2,15 кА.

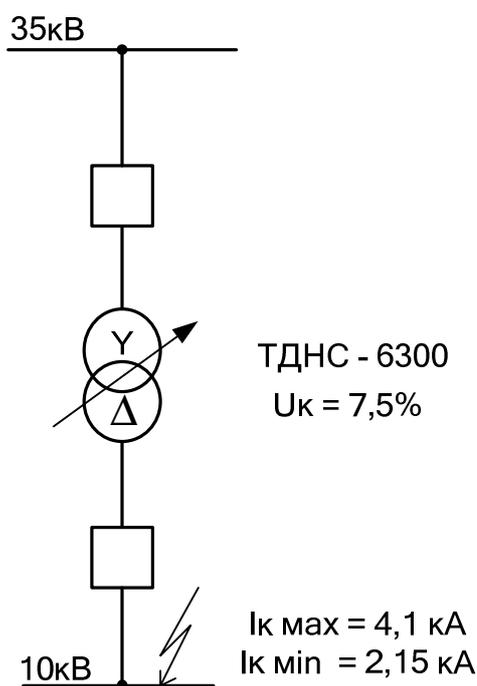


Рис.11. – Однолинейная схема трансформатора

Расчет при схеме соединений трансформаторов тока и токовых входов устройства в звезду с уставкой по группе соединений трансформатора 11 ($K^{(3)}_{сх} = 1$)

(С целью упрощения выкладок значения $K^{(3)}_{сх}$ в расчетных выражениях опущены)

1. Выбор коэффициентов трансформации трансформаторов тока:

$$n_{ТТН} \geq \frac{I_{МАХН}}{I_{НОМН}} = \frac{270}{5} = 54, \text{ принимаем } \frac{300}{5} = 60;$$

$$n_{ТТВ} \geq \frac{n_{ТТН} U_{НН}}{U_{СРВН}} = \frac{60 \cdot 11}{35} = 18,9, \text{ принимаем } \frac{100}{5} = 20.$$

2. Коэффициент выравнивания стороны низшего напряжения:

$$K_{врН} = n_{ТТН} \frac{I_{НОМН}}{I_{МАХН}} = 60 \frac{5}{270} = 1,11.$$

3. Коэффициент выравнивания стороны высшего напряжения:

$$K_{врВ} = K_{врН} \frac{n_{ТТВ}}{n_{ТТН}} \frac{U_{СРВН}}{U_{НН}} = 1,11 \frac{20}{60} \frac{35}{11} = 1,18.$$

4. Принятые значения коэффициентов выравнивания проверяются на допустимое отклонение от расчетных:

$$\delta I_d = \left(K_{врВ} \frac{I_{НВ}}{n_{ТТВ}} - K_{врН} \frac{I_{НН}}{n_{ТТН}} \right) / K_{врВ} \frac{I_{НВ}}{n_{ТТВ}} = \left(1,18 \frac{104}{20} - 1,11 \frac{330}{60} \right) / 1,18 \frac{104}{20} = 0,005 < 0,01$$

5. Уставка начального тока срабатывания $I_{д0}$ (2ст защиты):

$$I_{д0} = 0,3 K_{врВ} \frac{I_{НВ}}{n_{ТТВ}} = 0,3 \cdot 1,18 \frac{104}{20} = 1,84 \text{ А}$$

6. Уставка ограничения тока торможения $I_{Тогр}$ (2ст защиты):

Принимаем коэффициент распределения тока торможения между сторонами низшего и высшего напряжения $K=1$. Тогда $I_{Тогр}$ определяется по выражению 7:

$$I_{Тогр} = \frac{I_{КМАХ}}{n_{ТТН}} = \frac{4100}{60} = 68 \text{ А.}$$

7. Ток небаланса $I_{НБ}$ (приведенный к стороне низшего напряжения трансформатора) определяется тремя составляющими:

$$I_{НБ} = I_{НБ}' + I_{НБ}'' + I_{НБ}'''$$

7.1. Составляющая небаланса $I_{НБ}'$, вызванная погрешностями трансформаторов тока:

$$I_{НБ}' = K_{ап} K_{одн} \varepsilon I_{к\text{ max}} = 1 \cdot 1 \cdot 0,1 \cdot 4100 = 410 \text{ А}$$

где: $K_{ап}=1$; $K_{одн}=1$; $\varepsilon=10\%$.

7.2. Составляющая небаланса $I_{НБ}''$ вызванная изменениями коэффициента трансформации трансформатора при работе РПН:

$$I_{НБ}'' = \Delta U_{РПН} I_{к\text{ max}} = 0,09 \cdot 4100 = 369 \text{ А.}$$

7.3. Составляющая небаланса $I_{НБ}'''$ вызванная неточностью выравнивания выбранных коэффициентов трансформации трансформаторов тока:

$$I_{НБ}''' = \delta I_{д} I_{к\text{ max}}$$

При полученном значении $\delta I_{д}=0,005$ указанной составляющей можно пренебречь.

7.4. Ток небаланса $I_{НБ}$:

$$I_{НБ} = I_{НБ}' + I_{НБ}'' + I_{НБ}''' = 410 + 369 = 779 \text{ А}$$

8. Ток срабатывания 2ст защиты в точке ограничения тока торможения (рис.3) определяется с учетом отстройки от тока небаланса $I_{НБ}$.

$$I_{огр} = \frac{K_{н} K_{выр\ н} I_{НБ}}{n_{тт\ н}} = \frac{1,2 \cdot 1,11 \cdot 779}{60} = 17,3 \text{ А}$$

где $K_{н}$ – коэффициент надёжности отстройки, который учитывает погрешности защиты и необходимый запас надёжности, $K_{н}=1,2$.

9. Уставка коэффициента торможения

$$K_{т} = \frac{I_{огр} - I_{дт0}}{I_{т\ огр} - I_{т0}} = \frac{17,3 - 1,84}{68 - 4} = 0,242, \text{ принимаем } 0,25.$$

10. Коэффициент чувствительности 2 ст. дифференциальной защиты $K_{ч\ дзт}$ определяется при минимальном токе короткого замыкания в конце зоны действия защиты – на шинах

низшего напряжения трансформатора – $I_{K \min}$ (приведенного к стороне низшего напряжения трансформатора).

10.1. Ток торможения $I_{T \text{ ч}}$, при котором определяется коэффициент чувствительности, ($I = I_{K \min}$) при повреждении в зоне защиты (трансформаторы тока стороны низшего напряжения не обтекаются током КЗ)

В нашем случае т.к. значение коэффициента распределения тока торможения между сторонами нн и вн принято $K=1$, торможение идет только по току стороны низшего напряжения трансформатора.

$$I_{T \text{ ч}} = \frac{I_{P \text{ MAX}}}{n_{TТ \text{ Н}}} = \frac{270}{60} = 4,5.$$

10.2. Ток срабатывания защиты в точке характеристики, в которой определяется коэффициент чувствительности, рассчитывается в соответствии со следующим выражением:

$$I_{д \text{ ср ч}} = I_{дт0} + K_T(I_{T \text{ ч}} - I_{T0}) = 1,84 + 0,25(4,5 - 4) = 1,97.$$

10.3. Ток, на который реагирует защита в таком режиме,

$$I_{д \text{ ч}} = I_{K \min} \frac{U_{\text{нн}}}{U_{\text{срвн}}} \cdot \frac{K_{\text{вн}}}{n_{TТ \text{ в}}} = 2150 \frac{11}{35} \cdot \frac{1,18}{20} = 39,9 \text{ А}$$

10.4. Коэффициент чувствительности 2ст. защиты

$$K_{\text{ч дзт}} = \frac{I_{д \text{ ч}}}{I_{д \text{ ср ч}}} = \frac{39,9}{1,97} = 20,2.$$

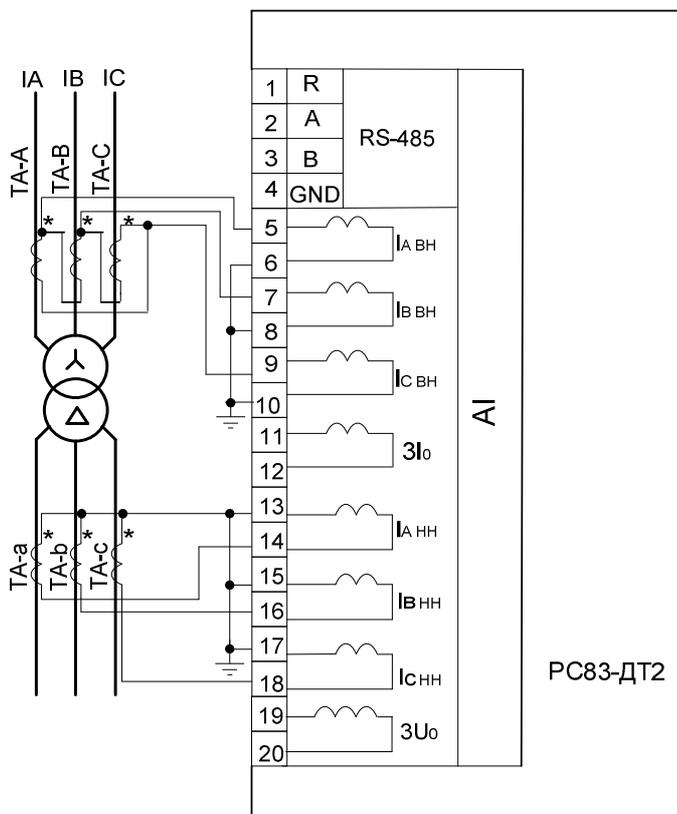
11. Уставка тока срабатывания дифференциальной отсечки (1ст):

$$I_{д \text{ отс}} = 3,5 K_{\text{вн}} K_{\text{сх}}^{(3)} \frac{I_{\text{нв}}}{n_{TТ \text{ в}}} = 3,5 \times 1,18 \times 1 \times \frac{104}{20} = 21,5 \text{ А}.$$

12. Коэффициент чувствительности дифференциальной отсечки $K_{\text{ч отс}}$:

$$K_{\text{ч отс}} = \frac{I_{д \text{ ч}}}{I_{д \text{ отс}}} = \frac{39,9}{21,5} = 1,86$$

Расчет при схеме соединений трансформаторов тока в треугольник, а токовых входов устройства в звезду с уставкой по группе соединений трансформатора 0 ($K^{(3)}_{CX}=\sqrt{3}$)



1. Выбор коэффициентов трансформации трансформаторов тока:

$$n_{ТТ Н} \geq \frac{I_{MAX Н}}{I_{НОМ Н}} = \frac{270}{5} = 54, \text{ принимаем } \frac{300}{5} = 60;$$

$$n_{ТТ В} \approx \frac{K_{CX}^{(3)} n_{ТТ Н} U_{НН}}{U_{CP ВН}} = \frac{\sqrt{3} \times 60 \times 11}{35} = 32,7, \text{ принимаем } \frac{150}{5} = 30.$$

Проверка:

$$I_{MAX В} = I_{MAX Н} \frac{U_{НН}}{U_{CP ВН}} = 270 \frac{11}{35} = 84,9 \text{ А.}$$

$$n_{ТТ В} \geq \frac{K_{CX}^{(3)} I_{MAX В}}{I_{НОМ В}} = \frac{\sqrt{3} \times 84,9}{5} = 29,4$$

2. Коэффициент выравнивания стороны низшего напряжения:

$$K_{ВР Н} = n_{ТТ Н} \frac{I_{НОМ Н}}{I_{MAX Н}} = 60 \frac{5}{270} = 1,11 .$$

3. Коэффициент выравнивания стороны высшего напряжения:

$$K_{вр в} = \frac{K_{вр н}}{K_{сх}^{(3)}} \frac{n_{ттв}}{n_{ттн}} \frac{U_{срвн}}{U_{нн}} = \frac{1,11}{\sqrt{3}} \frac{30}{60} \frac{35}{11} = 1,02.$$

4. Принятые значения коэффициентов выравнивания проверяются на допустимое отклонение от расчетных:

$$\delta I_{д} = \left(K_{вр в} K_{сх}^{(3)} \frac{I_{нв}}{n_{ттв}} - K_{вр н} \frac{I_{нн}}{n_{ттн}} \right) / K_{вр в} K_{сх}^{(3)} \frac{I_{нв}}{n_{ттв}} = \left(1,02 \times \sqrt{3} \frac{104}{30} - 1,11 \frac{330}{60} \right) / 1,02 \times \sqrt{3} \frac{104}{30} = 0,003 < 0,01$$

5. Уставка начального тока срабатывания $I_{д0}$ (2ст защиты):

$$I_{дт0} = 0,3 K_{вр в} K_{сх}^{(3)} \frac{I_{нв}}{n_{ттв}} = 0,3 \times 1,02 \times \sqrt{3} \frac{104}{30} = 1,84 \text{ А}$$

6. Уставка ограничения тока торможения $I_{т огр}$ (2ст защиты):

Принимаем коэффициент распределения тока торможения между сторонами низшего и высшего напряжения $K=1$. Тогда $I_{т огр}$ определяется по выражению 7:

$$I_{т огр} = \frac{I_{к max}}{n_{ттн}} = \frac{4100}{60} = 68 \text{ А.}$$

7. Ток небаланса $I_{нб}$ (приведенный к стороне низшего напряжения трансформатора) определяется тремя составляющими:

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

7.1. Составляющая небаланса $I_{нб}'$, вызванная погрешностями трансформаторов тока:

$$I_{нб}' = K_{ап} K_{одн} \varepsilon I_{к max} = 1 \cdot 1 \cdot 0,1 \cdot 4100 = 410 \text{ А}$$

где: $K_{ап}=1$; $K_{одн}=1$; $\varepsilon=10\%$.

7.2. Составляющая небаланса $I_{нб}''$ вызванная изменениями коэффициента трансформации трансформатора при работе РПН:

$$I_{НБ}'' = \Delta U_{РПН} I_{К \max} = 0,09 \cdot 4100 = 369 \text{ А.}$$

7.3. Составляющая небаланса $I_{НБ}'''$ вызванная неточностью выравнивания выбранных коэффициентов трансформации трансформаторов тока:

$$I_{НБ}''' = \delta I_{Д} I_{К \max}$$

При полученном значении $\delta I_{Д} = 0,003$ указанной составляющей можно пренебречь.

7.4. Ток небаланса $I_{НБ}$:

$$I_{НБ} = I_{НБ}' + I_{НБ}'' + I_{НБ}''' = 410 + 369 = 779 \text{ А}$$

8. Ток срабатывания 2ст защиты в точке ограничения тока торможения (рис.3) определяется с учетом отстройки от тока небаланса $I_{НБ}$.

$$I_{огр} = \frac{K_{Н} K_{ВЫР \text{ Н}} I_{НБ}}{n_{ТТ \text{ Н}}} = \frac{1,2 \cdot 1,11 \cdot 779}{60} = 17,3 \text{ А}$$

где $K_{Н}$ – коэффициент надёжности отстройки, который учитывает погрешности защиты и необходимый запас надёжности, $K_{Н} = 1,2$.

9. Уставка коэффициента торможения

$$K_{Т} = \frac{I_{огр} - I_{дт0}}{I_{Тогр} - I_{т0}} = \frac{17,3 - 1,84}{68 - 4} = 0,242, \text{ принимаем } 0,25.$$

10. Коэффициент чувствительности 2 ст. дифференциальной защиты $K_{ч \text{ дзт}}$ определяется при минимальном токе короткого замыкания в конце зоны действия защиты – на шинах низшего напряжения трансформатора – $I_{К \min}$ (приведенного к стороне низшего напряжения трансформатора).

10.1. Ток торможения $I_{Тч}$, при котором определяется коэффициент чувствительности, ($I = I_{К \min}$) при повреждении в зоне защиты (трансформаторы тока стороны низшего напряжения не обтекаются током КЗ)

В нашем случае т.к. значение коэффициента распределения тока торможения между сторонами нн и вн принято $K = 1$, торможение идет только по току стороны низшего напряжения трансформатора.

$$I_{Тч} = \frac{I_{P \max}}{n_{ТТ \text{ Н}}} = \frac{270}{60} = 4,5.$$

10.2. Ток срабатывания защиты в точке характеристики, в которой определяется коэффициент чувствительности, рассчитывается в соответствии со следующим выражением:

$$I_{д ср ч} = I_{дт0} + K_T(I_{Т ч} - I_{Т0}) = 1,84 + 0,25(4,5 - 4) = 1,97.$$

10.3. Ток, на который реагирует защита в таком режиме,

$$I_{д ч} = I_{к \min} K_{сх}^{(3)} \frac{U_{нн}}{U_{ср вн}} \cdot \frac{K_{в вн}}{n_{тг в}} = 2150\sqrt{3} \frac{11}{35} \times \frac{1,02}{30} = 39,8 \text{ А}$$

10.4. Коэффициент чувствительности 2ст. защиты

$$K_{ч дзт} = \frac{I_{д ч}}{I_{д ср ч}} = \frac{39,8}{1,97} = 20,2.$$

11. Уставка тока срабатывания дифференциальной отсечки (1ст):

$$I_{д отс} = 3,5 K_{в вн} K_{сх}^{(3)} \frac{I_{нв}}{n_{тг в}} = 3,5 \times 1,02 \times \sqrt{3} \frac{104}{30} = 21,4 \text{ А}.$$

12. Коэффициент чувствительности дифференциальной отсечки $K_{ч отс}$:

$$K_{ч отс} = \frac{I_{д ч}}{I_{д отс}} = \frac{39,8}{21,4} = 1,86.$$

В результате сравнения расчетов уставок устройства дифференциальной защиты, выполненных для разных схем подключения трансформаторов тока стороны высшего напряжения, необходимо сделать вывод о том, что неодинаковость коэффициента схемы может быть скомпенсирована соответствующим выбором коэффициентов трансформации трансформаторов тока и коэффициентов выравнивания. Остальные уставки защиты могут оставаться одинаковыми в обоих вариантах подключения.

**Пример расчета уставок дифференциальной защиты трехобмоточного трансформатора
(с расщепленной обмоткой стороны НН) на базе устройства РС83-ДТ2**

Исходные данные:

Тип трансформатора: ТРДН – 40000.

Номинальная мощность: 40 МВА.

Номинальное напряжение стороны ВН: $U_{ном\ вн} = 110 \pm 18\%$ кВ

Номинальное напряжение стороны НН $U_{ном\ нн} = 10,5$ кВ

Схема соединения: $Y_0/\Delta/\Delta - 11-11$.

Напряжение короткого замыкания: $U_k = 10,51\%$.

Максимальный ток нагрузки стороны НН: $I_{мах\ н\ 1} = 900$ А (первой обмотки), $I_{мах\ н\ 2} = 800$ А (второй обмотки).

Максимальный ток КЗ стороны НН: 12,3 кА.

Минимальный ток КЗ стороны НН: 10,4 кА.

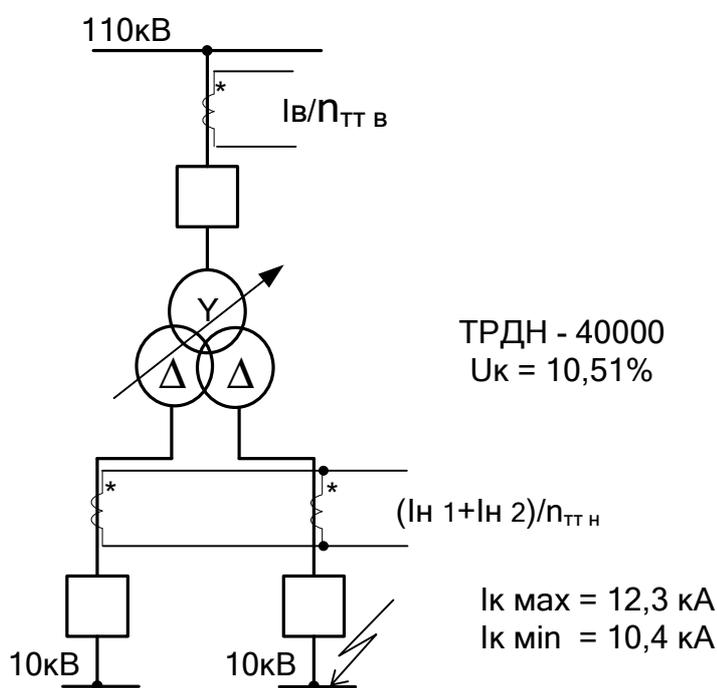


Рис.11. – Однолинейная схема трансформатора

Принята схема соединений трансформаторов тока и токовых входов устройства в звезду с уставкой по группе соединений трансформатора 11 ($K^{(3)}_{сх} = 1$). С целью упрощения выкладок значения $K^{(3)}_{сх}$ в расчетных выражениях опущены.

Трансформатор с расщепленными обмотками может быть защищен устройством РС83-ДТ2 так же, как двухобмоточный трансформатор, если токи от расщепленных обмоток просуммировать путем параллельного соединения вторичных обмоток трансформаторов тока.

Для трехобмоточного трансформатора расчет имеет особенности и его надо начинать с обмотки с максимальной нагрузкой. Для неё по расчетной нагрузке выбирается коэффициент трансформации трансформаторов тока, а коэффициенты трансформации трансформаторов тока, включенных в других обмотках, должны строго соответствовать указанному с учетом коэффициента трансформации защищаемого трансформатора. Такой обмоткой в нашем случае является обмотка высшего напряжения (110 кВ). При этом выражения 1-3 Методики изменятся и примут следующий вид.

Коэффициенты трансформации трансформаторов тока $n_{ТТ В}$ и $n_{ТТ Н}$:

$$\begin{aligned} n_{ТТ В} &\geq \frac{I_{МАХ В}}{I_{НОМ В}}; \\ n_{ТТ Н} &\approx \frac{n_{ТТ В} U_{СР ВН}}{U_{НН}}; \\ n_{ТТ Н} &\geq \frac{I_{МАХ Н}}{I_{НОМ Н}}, \end{aligned} \quad (1)$$

где:

- $I_{мах в}$ – максимально рабочий ток стороны высшего напряжения, А;
- $I_{ном в}$ – номинальный вторичный ток трансформаторного тока стороны высшего напряжения (обычно 5 А);
- $U_{нн}$ – номинальное напряжение стороны низшего напряжения трансформатора;
- $U_{ср вн}$ – номинальное напряжение в среднем положении РПН стороны высшего напряжения трансформатора.

Коэффициент выравнивания стороны высшего напряжения $K_{вр в}$:

$$K_{вр в} = n_{ТТ В} \frac{I_{НОМ В}}{I_{мах в}}. \quad (2)$$

Коэффициент выравнивания стороны низшего напряжения $K_{вр н}$:

$$K_{вр н} = K_{вр в} \frac{n_{тт н}}{n_{тт в}} \frac{U_{нн}}{U_{ср вн}} \quad (3)$$

Перед началом расчета определим максимальный рабочий и номинальный ток стороны высшего напряжения, а также суммарный номинальный ток обмоток стороны низшего напряжения трансформатора.

$$I_{макс в} = (I_{макс н 1} + I_{макс н 2}) \frac{U_{нн}}{U_{ср вн}} = (900 + 800) \frac{10,5}{110} = 162,3 \text{ А}$$

$$I_{нв} = \frac{S}{\sqrt{3} U_{ср вн}} = \frac{40000}{\sqrt{3} \times 110} = 210,19 \text{ А}$$

$$I_{нн\Sigma} = \frac{S}{\sqrt{3} U_{нн}} = \frac{40000}{\sqrt{3} \times 10,5} = 2202 \text{ А}$$

1. Выбор коэффициентов трансформации трансформаторов тока:

$$n_{тт в} \geq \frac{I_{макс в}}{I_{ном в}} = \frac{162,3}{5} = 32,5, \text{ принимаем } \frac{200}{5} = 40.$$

$$n_{тт н} \approx \frac{n_{тт в} U_{ср вн}}{U_{нн}} = \frac{40 \times 110}{10,5} = 419, \text{ принимаем } 2000/5 = 400, \text{ это допустимо, т.к. условие}$$

$$n_{тт н} \geq \frac{I_{макс н}}{I_{ном н}} = \frac{900}{5} = 180 \text{ выполняется.}$$

Для трехобмоточного трансформатора полученный $n_{тт н}$ по отношению к токам нагрузки каждой из обмоток низшего напряжения оказывается сильно завышенным, но это необходимо для правильной работы дифференциальной защиты при сквозных токах.

2. Коэффициент выравнивания стороны высшего напряжения:

$$K_{вр в} = n_{тт в} \frac{I_{ном в}}{I_{макс в}} = 40 \frac{5}{162,3} = 1,23.$$

3. Коэффициент выравнивания стороны низшего напряжения :

$$K_{вр н} = K_{вр в} \frac{n_{тт н}}{n_{тт в}} \frac{U_{нн}}{U_{ср вн}} = 1,23 \frac{400}{40} \frac{10,5}{110} = 1,17.$$

4. Принятые значения коэффициентов выравнивания проверяются на допустимое отклонение от расчетных:

$$\delta I_D = \left(K_{вр в} \frac{I_{НВ}}{n_{ТТВ}} - K_{вр н} \frac{I_{НН}}{n_{ТТН}} \right) / K_{вр в} \frac{I_{НВ}}{n_{ТТВ}} = \left(1,23 \frac{210,19}{40} - 1,17 \frac{2202}{400} \right) / 1,23 \frac{210,19}{40} = 0,0034$$

$$0,0034 < 0,01$$

5. Уставка начального тока срабатывания $I_{д0}$ (2ст защиты):

$$I_{дт0} = 0,3 K_{вр в} \frac{I_{НВ}}{n_{ТТВ}} = 0,3 \cdot 1,23 \frac{210,19}{40} = 1,94 \text{ А}$$

6. Уставка ограничения тока торможения $I_{т огр}$ (2ст защиты):

Принимаем коэффициент распределения тока торможения между сторонами низшего и высшего напряжения $K=1$.

$$I_{т огр} = \frac{I_{К МАХ}}{n_{ТТ Н}} = \frac{12300}{400} = 30,75 \text{ А.}$$

7. Ток небаланса $I_{Нб}$ (приведенный к стороне низшего напряжения трансформатора) определяется тремя составляющими:

$$I_{НБ} = I_{Нб}' + I_{Нб}'' + I_{Нб}'''$$

7.1. Составляющая небаланса $I_{Нб}'$, вызванная погрешностями трансформаторов тока:

$$I_{Нб}' = K_{ап} K_{одн} \varepsilon I_{К мах} = 1 \cdot 0,5 \cdot 0,1 \cdot 12300 = 615 \text{ А}$$

где: $K_{ап}=1$; $K_{одн}=0,5$; $\varepsilon=10\%$.

7.2. Составляющая небаланса $I_{Нб}''$ вызванная изменениями коэффициента трансформации трансформатора при работе РПН:

$$I_{Нб}'' = \Delta U_{РПН} I_{К мах} = 0,18 \cdot 12300 = 2214 \text{ А.}$$

7.3. Составляющая небаланса $I_{Нб}'''$ вызванная неточностью выравнивания выбранных коэффициентов трансформации трансформаторов тока:

$$I_{Нб}''' = \delta I_D I_{К мах}$$

При полученном значении $\delta I_D=0,0034$ указанной составляющей можно пренебречь.

7.4. Ток небаланса $I_{НБ}$:

$$I_{НБ} = I_{НБ}' + I_{НБ}'' + I_{НБ}''' = 615 + 2214 = 2829 \text{ А}$$

8. Ток срабатывания 2ст защиты в точке ограничения тока торможения (рис.3) определяется с учетом отстройки от тока небаланса $I_{НБ}$.

$$I_{ОГР} = \frac{K_H K_{ВЫР Н} I_{НБ}}{n_{ТТ Н}} = \frac{1,2 \times 1,17 \times 2829}{400} = 9,93 \text{ А}$$

где K_H – коэффициент надёжности отстройки, который учитывает погрешности защиты и необходимый запас надёжности, $K_H = 1,2$.

9. Уставка коэффициента торможения:

$$K_T = \frac{I_{ОГР} - I_{ДТО}}{I_{Т ОГР} - I_{Т0}} = \frac{9,93 - 1,94}{30,75 - 4} = 0,3.$$

10. Коэффициент чувствительности 2 ст. дифференциальной защиты $K_{ч ДЗТ}$ определяется при минимальном токе короткого замыкания в конце зоны действия защиты – на шинах низшего напряжения трансформатора – $I_{к \min}$ (приведенного к стороне низшего напряжения трансформатора).

10.1. Ток торможения $I_{Т ч}$, при котором определяется коэффициент чувствительности, ($I = I_{к \min}$) при повреждении в зоне защиты (трансформаторы тока стороны низшего напряжения не обтекаются током КЗ)

В нашем исполнении торможение идет только по току стороны низшего напряжения трансформатора ($K=1$).

$$I_{Т ч} = \frac{I_{P \text{ MAX}}}{n_{ТТ Н}} = \frac{900}{400} = 2,25 \text{ А}$$

10.2. Ток срабатывания защиты в точке характеристики, в которой определяется коэффициент чувствительности, так как условие $I_{Т ч} \geq I_{Т0}$ не выполняется, согласно варажению 16, принимается:

$$I_{д ср ч} = I_{ДТО} = 1,94 \text{ А.}$$

10.3. Ток, на который реагирует защита в таком режиме,

$$I_{д ч} = I_{к \min} \frac{U_{НН}}{U_{СРВН}} \cdot \frac{K_{В ВН}}{n_{ТТ В}} = 10400 \frac{10,5}{110} \cdot \frac{1,23}{40} = 30,53 \text{ А}$$

10.4. Коэффициент чувствительности 2ст. защиты

$$K_{ч\ дзт} = \frac{I_{дч}}{I_{д\ ср\ ч}} = \frac{30,53}{1,94} = 15,7.$$

11. Уставка тока срабатывания дифференциальной отсечки (1ст):

$$I_{д\ отс} = 3,5 K_{в\ вн} K_{сх}^{(3)} \frac{I_{нв}}{n_{ттв}} = 3,5 \times 1,23 \times 1 \times \frac{210,19}{40} = 22,6 \text{ А.}$$

12. Коэффициент чувствительности дифференциальной отсечки $K_{ч\ отс}$:

$$K_{ч\ отс} = \frac{I_{дч}}{I_{д\ отс}} = \frac{30,53}{22,6} = 1,35.$$