

**УТВЕРЖДАЮ**

Главный конструктор  
ТОВ "РЗА СИСТЕМЗ"

\_\_\_\_\_ Милюшин Н.Н.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

***Методические указания***

**по выбору уставок дифференциальной защиты  
трансформаторов, реализуемой при помощи  
устройств РС 830-ДТЗ**

**ЕАБР.656122.003 Д1**

Киев 2018

|              |              |
|--------------|--------------|
| Ине. № подл. | Подп. и дата |
| Ине. № дубл. | Взам. инв. № |
| Подп. и дата | Подп. и дата |



## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

$n_{тт}$  – коэффициент трансформации трансформаторов тока рассматриваемой стороны силового трансформатора

$I_{\max}$  – максимальный рабочий ток рассматриваемой стороны трансформатора

$U_{ср}$  – номинальное напряжение в среднем положении РПН рассматриваемой стороны трансформатора

$K_{вр\ вн}$  – коэффициент выравнивания стороны высшего напряжения

$K_{вр\ сн}$  – коэффициент выравнивания стороны среднего напряжения

$K_{вр\ нн}$  – коэффициент выравнивания стороны низшего напряжения

$K_{сх}^{(3)}$  – коэффициент схемы соединения трансформаторов тока и реле

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

$K_{вн} (сн, нн)$  – коэффициент участия тока стороны ВН (СН, НН) в токе торможения

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

$I_{2\ к\ МАХ}$  – максимальный из вторичных сквозных токов КЗ сторон ВН, СН, НН на который реагирует устройство

$I_{2\ к\ min}$  – минимальный из вторичных токов КЗ сторон ВН, СН, НН в конце зоны защиты на который реагирует устройство

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

$I_{нб}$  – ток небаланса

$I_{нб}'$  – составляющая небаланса, вызванная погрешностями трансформаторов тока

$I_{нб}''$  – составляющая небаланса, вызванная изменениями коэффициента трансформации трансформатора при работе РПН

$I_{нб}'''$  – составляющая баланса, вызванная неточностью выравнивания выбранных коэффициентов трансформации трансформаторов тока

$\varepsilon$  – относительная погрешность трансформаторов тока

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

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

$I_{т\ ч}$  – ток торможения, при котором определяется коэффициент чувствительности, при повреждении в зоне защиты

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

$k_t$  – уставка коэффициента торможения в относительных единицах

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

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

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

|              |
|--------------|
| Подп. и дата |
| Взам. инв. № |
| Инв. № дубл. |
| Подп. и дата |
| Инв. № подл. |

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|-----|------|----------|-------|------|

ЕАБР.656122.003 Д1

|      |
|------|
| Лист |
| 3    |

## ПОРЯДОК ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСТАВОК

*Перед определением уставок необходимо выбрать коэффициенты трансформации трансформаторов тока (если они еще не выбраны). Коэффициенты трансформации трансформаторов тока и коэффициенты выравнивания плеч защиты начинают выбирать с максимально загруженной (100%) стороны защищаемого трансформатора, принимаемой за основную. Часто это сторона ВН, подключенная к энергосистеме. В общем случае это может быть сторона СН или НН, если с указанной стороны рассчитаны на 100% нагрузки трансформатора..*

|                    |              |              |              |              |               |      |          |       |      |      |
|--------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|------|----------|-------|------|------|
| Ине. № подп        | Подп. и дата | Ине. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Ине. № докум. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | Лист |
|                    |              |              |              |              |               |      |          |       |      |      |
| ЕАБР.656122.003 Д1 |              |              |              |              |               |      |          |       |      |      |

## 1. КОЭФФИЦИЕНТЫ ТРАНСФОРМАЦИИ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА

1.1. Коэффициенты трансформации трансформаторов тока для основной стороны силового трансформатора  $n_{т\ o}$ , если они еще не выбраны и отсутствуют другие соображения (например, ограничения относительно допустимого значения вторичного тока), принимаются минимально возможными в соответствии с выражением:

$$n_{т\ o} \geq \frac{K_{сх\ o}^{(3)} I_{маx\ o}}{I_{ном\ o}} \quad (1)$$

где:

-  $K_{сх\ o}^{(3)}$  – коэффициент схемы соединения трансформаторов тока и реле (токовых входов устройства) в трехфазном режиме на основной стороне;

-  $I_{маx\ o}$  – максимально рабочий ток (первичное значение) основной стороны, А;

-  $I_{ном\ o}$  – номинальный вторичный ток трансформаторов тока основной стороны (обычно 5 А).

При соединении ТТ и токовых входов в звезду  $K_{сх}^{(3)} = 1$ . При соединении ТТ в треугольник, а токовых входов в звезду  $K_{сх}^{(3)} = \sqrt{3}$ .

При определении коэффициента трансформации трансформаторов тока по выражению (1) также необходимо учитывать общие правила и критерии выбора трансформаторов тока.

1.2. Коэффициенты трансформации трансформаторов тока для любой другой (кроме основной) стороны защищаемого трансформатора  $n_{т\ o}$  определяются по условию максимального приближения вторичного тока указанной стороны к току основной стороны при сквозных токах через защищаемый трансформатор в соответствие с выражением:

$$n_{т\ o} \approx n_{т\ o} \frac{U_{ср\ o} K_{сх}^{(3)}}{U_{ср} K_{сх\ o}^{(3)}} \quad (2)$$

где:

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

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

-  $U_{ср\ o}$  – номинальное напряжение (в среднем положении РПН) основной стороны защищаемого трансформатора;

-  $U_{ср}$  – номинальное напряжение (в среднем положении РПН) рассматриваемой стороны защищаемого трансформатора;

$n_{т\ o}$  для каждой из сторон защищаемого трансформатора принимаются ближайшими к расчетным по выражению 2 и проверяются на отсутствие перегрузки входов терминала РЗА максимальным рабочим током этой стороны в соответствии с выражением

|             |              |          |       |      |                    |      |
|-------------|--------------|----------|-------|------|--------------------|------|
| Име. № подл | Подп. и дата |          |       |      |                    |      |
|             | Взам. име. № |          |       |      |                    |      |
|             | Име. № дубл. |          |       |      |                    |      |
|             | Подп. и дата |          |       |      |                    |      |
|             | Име. № подл  |          |       |      |                    |      |
| Изм         | Лист         | № докум. | Подп. | Дата | ЕАБР.656122.003 Д1 | Лист |
|             |              |          |       |      |                    | 5    |

$$n_{тт} \geq \frac{K_{сх}^{(3)} I_{max}}{I_{ном}}$$

где:

- $I_{max}$  – максимальный первичный ток нагрузки на рассматриваемой стороне защищаемого трансформатора;
- $I_{ном}$  – номинальный вторичный ток трансформаторов тока.

Значение  $I_{max}$  обычно не превышает значение номинального тока рассматриваемой стороны защищаемого трансформатора. В случае отсутствия достоверных данных о максимальном токе нагрузки в качестве  $I_{max}$  можно использовать значение номинального тока трансформатора на его соответствующей стороне.

|                    |              |              |              |              |      |
|--------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------|
| Инв. № подл        | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Лист |
|                    |              |              |              |              |      |
| ЕАБР.656122.003 Д1 |              |              |              |              | Лист |

## 2. КОЭФФИЦИЕНТЫ ВЫРАВНИВАНИЯ

2.1. Коэффициент выравнивания основной стороны  $K_{вр о}$  (уставка – диапазон от 0,25 до 4 с шагом 0,01), если отсутствуют другие соображения, может быть принят равным единице.

2.2. Коэффициенты выравнивания остальных сторон при принятых значениях  $K_{вр о}$ ,  $n_{т о}$  основной стороны и  $n_{т}$  рассматриваемой стороны определяются в соответствии с выражением:

$$K_{вр} = K_{вр о} \frac{K_{сх о}^{(3)} n_{тт} U_{ср}}{K_{сх}^{(3)} n_{тт о} U_{ср о}} \quad (3)$$

Точный выбор уставки  $K_{вр}$  в соответствии с выражением (3) является обязательным, поэтому в случае невозможности выполнения условий (3) для какой то из сторон, например за счет выхода рассчитанного значения  $K_{вр}$  за диапазон уставок, принятое значение  $K_{вр}$  должно быть соответственно скорректировано с последующим пересчетом значения  $K_{вр}$  для рассматриваемой стороны (таким образом, чтоб  $K_{вр}$  всех сторон трансформатора были в границах допустимых значений уставок).

2.3. Отличие принятых уставок по коэффициентам выравнивания  $K_{вр у}$  по отношению к их расчетным значениям  $K_{вр}$  по выражению (3) определяет относительную погрешность вычисления дифференциального тока  $\delta I_d$

$$\delta I_d = \frac{K_{вр у} - K_{вр}}{K_{вр у}} \quad (4)$$

При правильном выборе уставок по коэффициентам выравнивания указанная относительная погрешность для каждой из принятых двух уставок коэффициентов выравнивания не должна превышать значение 0,01.

|             |              |              |              |              |               |       |      |      |   |
|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|-------|------|------|---|
| Име. № подл | Подп. и дата | Име. № дубл. | Взам. име. № | Подп. и дата | Име. № докум. | Подп. | Дата | Лист | 7 |
|             |              |              |              |              |               |       |      |      |   |

### 3. БЛОКИРОВКА ОТ БРОСКОВ ТОКА НАМАГНИЧИВАНИЯ И ПЕРЕВОЗБУЖДЕНИЯ СТУПЕНИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ С ТОРМОЖЕНИЕМ (ДТ)

3.1. Уставку тока второй гармоники (по отношению к первой) для блокировки бросков тока намагничивания при включении ненагруженного трансформатора  $I_{2 \text{ бл}}$  (уставка – диапазон от 5% до 50% с шагом 1%) – рекомендуется принять 12-15%. Типовое значение этой величины в некоторых зарубежных устройствах составляет 12 % (л.6).

3.2. Уставку тока пятой гармоники (по отношению к первой) для предотвращения излишнего срабатывания за счет повышения тока намагничивания силового трансформатора от перевозбуждения (значительно повышенного по сравнению с номинальным первичного напряжения)  $I_{5 \text{ бл}}$  (уставка – диапазон от 5% до 20% с шагом 1%) – рекомендуется принять 10%.

3.3. Уставку по времени ввода блокировки по второй гармонике и уставку по времени ввода блокировки по пятой гармонике следует принимать по условиям отстройки от длительности переходных процессов при возникновении броска тока намагничивания и перевозбуждения трансформатора. Если данные о длительности указанных переходных процессах отсутствуют, то рекомендуется принимать максимальные значения этих уставок – 2 с.

|             |              |              |              |              |             |              |     |      |          |       |      |      |   |
|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|-----|------|----------|-------|------|------|---|
| Ине. № подл | Подп. и дата | Ине. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Ине. № инв. | Подп. и дата | Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата | Лист | 8 |
|             |              |              |              |              |             |              |     |      |          |       |      |      |   |

#### 4. НАЧАЛЬНЫЙ ТОК СРАБАТЫВАНИЯ ДТ $I_{до}$

Уставка начального тока срабатывания  $I_{до}$  (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 номинальному току стороны трансформатора, рассчитанной на его полную нагрузку (100%) – основной стороны трансформатора –  $I_{НО}$  (л.2, л.3). При этом учитываются принятые значения коэффициента трансформации трансформаторов тока  $n_{ТТО}$ , коэффициента выравнивания Квр о и коэффициента схемы  $K_{сх о}^{(3)}$  основной стороны. На рис.1. красной утолщенной линией показан участок начального тока срабатывания  $I_{до}$ .

$$I_{до} = 0,3 \text{ Квр о } K_{сх о}^{(3)} \frac{I_{НО}}{n_{ТТО}}, \quad (5)$$

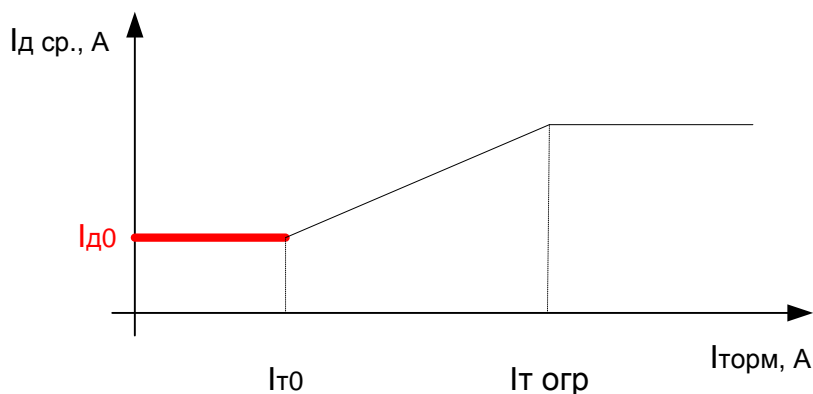


Рис.1.

|              |
|--------------|
| Подп. и дата |
| Взам. инв. № |
| Инв. № дубл. |
| Подп. и дата |
| Инв. № подп  |

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|-----|------|----------|-------|------|

## 5. ПАРАМЕТРЫ ТОРМОЖЕНИЯ ДТ

5.1. Вторичные токи  $I_2 K$ , на которые реагирует устройство, при сквозных токах КЗ  $I_k$  (первичное значение) на шинах стороны трансформатора ВН, СН, или НН (рис. 2),

|             |              |              |              |              |                    |
|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|
| Инв. № подл | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Лист               |
|             |              |              |              |              |                    |
| Изм         | Лист         | № докум.     | Подп.        | Дата         | ЕАБР.656122.003 Д1 |

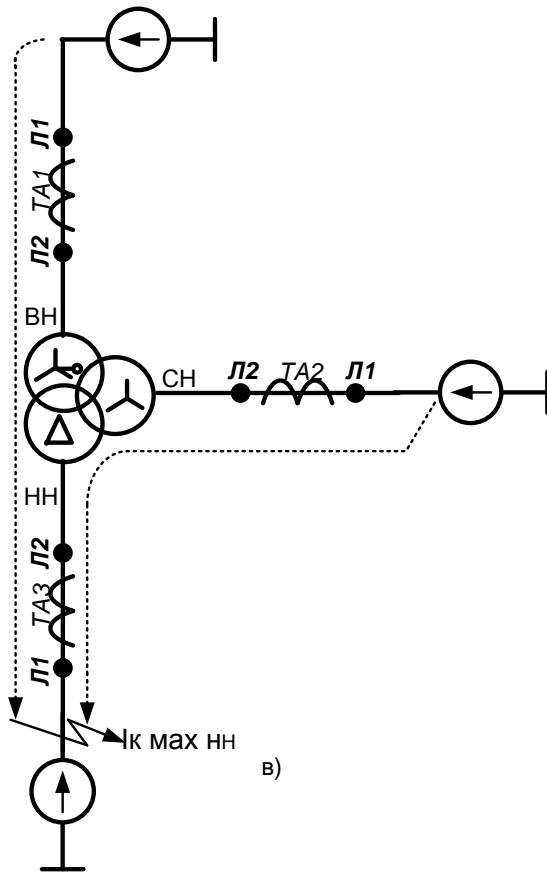
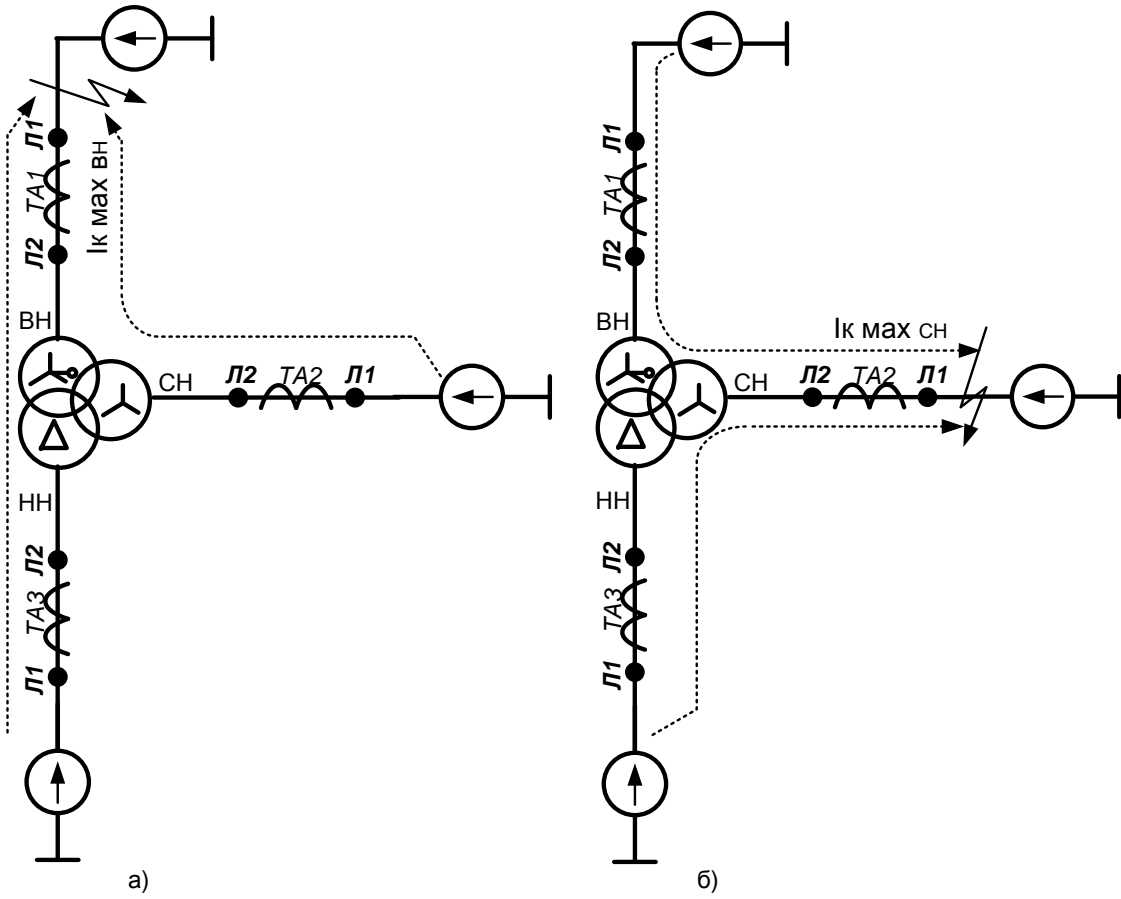


Рис.2

|              |              |
|--------------|--------------|
| Ине. № подп  | Подп. и дата |
| Ине. № дубл. | Взам. инв. № |
| Ине. № инв.  | Подп. и дата |
| Изм          | Лист         |
| № докум.     | Подп.        |
| Дата         | Дата         |

ЕАБР.656122.003 Д1

определяются собственно этими токами КЗ, значениями коэффициентов схемы в трехфазном режиме  $K_{сх}^{(3)}$ , коэффициентов выравнивания  $K_{вр}$  и коэффициентов трансформации трансформаторов тока  $n_{тт}$  рассматриваемой стороны трансформатора в соответствии с выражениями

$$\left\{ \begin{array}{l} I_{2\text{ К ВН}} = (I_{к\text{ Ксх}}^{(3)} K_{вр} / n_{тт}) \text{ВН}; \\ I_{2\text{ К СН}} = (I_{к\text{ Ксх}}^{(3)} K_{вр} / n_{тт}) \text{СН}; \\ I_{2\text{ К НН}} = (I_{к\text{ Ксх}}^{(3)} K_{вр} / n_{тт}) \text{НН}. \end{array} \right. \quad (6)$$

Обращаем внимание, что под первичными токами  $I_k$  соответствующей стороны трансформатора в выражениях (6) следует понимать именно сквозные токи при внешнем КЗ на своей стороне, протекающие через трансформаторы тока этой стороны, приведенные к номинальному напряжению этой же (**своей**) стороны (**ВН, СН, НН**) силового трансформатора. Также следует понимать, что сквозной ток КЗ на той стороне трансформатора, с которой может подаваться питание, это ток, создаваемый источниками двух других сторон (**рис 2**), и он отличается от полного тока КЗ в соответствующей точке на составляющую, создаваемую источником своей стороны. Указанная составляющая тока от источника своей стороны не протекает через трансформаторы тока рассматриваемой стороны и не должна учитываться в расчете. На рис.2 показан общий случай формирования сквозных токов КЗ при питании трансформатора от источников со всех сторон (ВН, СН, НН). В частных случаях возможно отсутствие источника на любой из сторон трансформатора и соответствующее изменение изображения картины формирования сквозных токов КЗ от источников разных сторон.

5.2. Коэффициенты  $K_{вн}$ ,  $K_{сн}$  и  $K_{нн}$  участия токов сторон ВН, СН и НН в токе торможения (**уставки** – диапазон от 0 до 1 с шагом 0,01), если отсутствуют особые соображения, рекомендуется принимать следующим образом.

5.2.1. Для трансформаторов с наличием питания только с одной стороны, так чтобы со стороны питания торможение отсутствовало, а коэффициенты участия токов в токах торможения двух других сторон были равными и в сумме давали единицу. Так для трансформатора с питанием со стороны ВН:

$$\left\{ \begin{array}{l} K_{вн}=0; \\ K_{сн}= 0,5; \\ K_{нн}=0,5, \end{array} \right. \quad (7)$$

5.2.2. Для трансформаторов с наличием питания с нескольких сторон так, что бы коэффициенты участия токов в токах торможения всех сторон были равными и в сумме давали единицу:

$$\left\{ \begin{array}{l} K_{вн}=0,33; \\ K_{сн}= 0,33; \\ K_{нн}= 0,33. \end{array} \right. \quad (8)$$

|              |              |
|--------------|--------------|
| Име. № подл. | Подп. и дата |
| Име. № дубл. | Взам. инв. № |
| Име. № подл. | Подп. и дата |
| Име. № подл. | Подп. и дата |

|      |      |          |       |      |
|------|------|----------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|------|------|----------|-------|------|

5.3. Для определения параметров торможения выбирают режим сквозного КЗ (рис.2) на одной из сторон трансформатора (ВН, СН или НН) с максимальным из вторичных значений тока, на который реагирует устройство по выражениям (6)

$$I_{2\text{ К МАХ}} = (I_{\text{К}} K_{\text{СХ}}^{(3)} K_{\text{ВР}} / n_{\text{ТТ}})_{\text{МАХ}}. \quad (9)$$

Этот режим будем называть максимальным режимом. Токи, на которые реагирует устройство на сторонах ВН, СН и НН в максимальном режиме обозначим

$$\left\{ \begin{array}{l} I_{2\text{ К ВН МАХ}}; \\ I_{2\text{ К СН МАХ}}; \\ I_{2\text{ К НН МАХ}}. \end{array} \right. \quad (10)$$

Сторону трансформатора (ВН, СН или НН) с максимальным из вторичных значений сквозных токов КЗ в максимальном режиме согласно выражениям (10) назовем базисной стороной. Вторичный ток, на который реагирует устройство при КЗ на базисной стороне в максимальном режиме:

$$I_{2\text{ К МАХ Б}} = (I_{2\text{ К ВН МАХ}}, I_{2\text{ К СН МАХ}}, I_{2\text{ К НН МАХ}})_{\text{МАХ}} = I_{\text{К Б}} K_{\text{СХ Б}}^{(3)} K_{\text{ВР Б}} / n_{\text{ТТ Б}}. \quad (11)$$

5.4. Вторичное значение тока торможения в любом режиме, когда стороны трансформатора обтекаются токами  $I_{\text{К ВН}}$ ,  $I_{\text{К СН}}$ ,  $I_{\text{К НН}}$  с учетом принятых коэффициентов участия токов сторон в токах торможения  $K_{\text{ВН}}$ ,  $K_{\text{СН}}$ ,  $K_{\text{НН}}$  определяется выражением

$$I_{\text{Т}} = I_{\text{К ВН}} K_{\text{ВН}} (K_{\text{СХ}}^{(3)} K_{\text{ВР}} / n_{\text{ТТ}})_{\text{ВН}} + I_{\text{К СН}} K_{\text{СН}} (K_{\text{СХ}}^{(3)} K_{\text{ВР}} / n_{\text{ТТ}})_{\text{СН}} + I_{\text{К НН}} K_{\text{НН}} (K_{\text{СХ}}^{(3)} K_{\text{ВР}} / n_{\text{ТТ}})_{\text{НН}}. \quad (12)$$

Тогда уставку ограничения тока торможения  $I_{\text{Т ОГР}}$  (2ст защиты, уставка – диапазон от 10А до 80А с шагом 0,1А) выбирают как ток торможения при сквозном КЗ на базисной стороне при питании со всех сторон, с которых может быть подано питание трансформатора, значениях токов, которыми обтекаются стороны трансформатора в этом режиме  $I_{\text{К Б ВН}}$ ,  $I_{\text{К Б СН}}$ ,  $I_{\text{К Б НН}}$  и принятых значениях коэффициентов участия токов сторон в токах торможения  $K_{\text{ВН}}$ ,  $K_{\text{СН}}$ ,  $K_{\text{НН}}$ :

$$I_{\text{Т ОГР}} = I_{\text{К Б ВН}} K_{\text{ВН}} (K_{\text{СХ}}^{(3)} K_{\text{ВР}} / n_{\text{ТТ}})_{\text{ВН}} + I_{\text{К Б СН}} K_{\text{СН}} (K_{\text{СХ}}^{(3)} K_{\text{ВР}} / n_{\text{ТТ}})_{\text{СН}} + I_{\text{К Б НН}} K_{\text{НН}} (K_{\text{СХ}}^{(3)} K_{\text{ВР}} / n_{\text{ТТ}})_{\text{НН}}.$$

На рис.3. красной утолщенной линией показан участок ограничения тока торможения, начинающийся со значения  $I_{\text{Т ОГР}}$ .

|              |
|--------------|
| Подп. и дата |
| Взам. инв. № |
| Инв. № дубл. |
| Подп. и дата |
| Инв. № подл. |

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|-----|------|----------|-------|------|

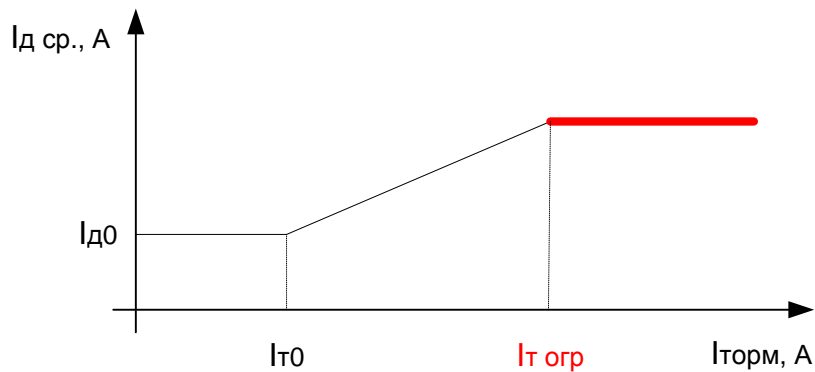


Рис.3.

5.5.Ток срабатывания 2ст защиты в  $I_{ср}$  (рис.4) в рассматриваемом режиме определяется с учетом отстройки от тока небаланса  $I_{нб}$  в максимальном режиме при КЗ на стороне, для которой получается максимальный вторичный сквозной ток КЗ:

$$I_{ср} = K_H I_{нб} \quad (13)$$

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

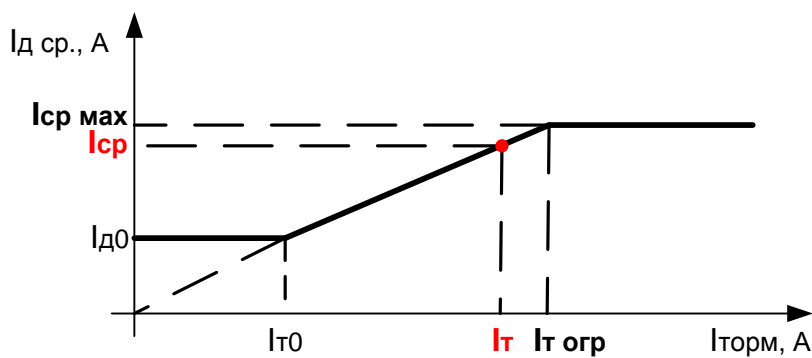


Рис.4.

5.6.Ток небаланса  $I_{нб}$  :

$$I_{нб} = I_{нб}' + I_{нб}'' + I_{нб}''', \quad (14)$$

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

|              |
|--------------|
| Подп. и дата |
| Взам. инв. № |
| Инв. № дубл. |
| Подп. и дата |
| Инв. № подл  |

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|-----|------|----------|-------|------|

$$I_{нб}' = K_{ап} K_{одн} \varepsilon I_{2к}, \quad (15)$$

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 условий работы трансформаторов тока, в случае обтекания трансформаторов тока близкими по значению вторичными токами при сквозном КЗ  $K_{одн}=0,5$ , в других случаях  $K_{одн}=1$ (л.2);

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

$I_{2к}$  – вторичный ток при сквозном КЗ на рассматриваемой стороне в максимальном режиме.

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

$$I_{нб}'' = \Delta U_{рпн} I_{2к}, \quad (16)$$

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

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

$$I_{нб}''' = \delta I_d I_{2к}, \quad (17)$$

При выборе уставок  $K_{врв}$ ,  $K_{врс}$ ,  $K_{врн}$ , такими, которые точно отвечают выражению (3), эта составляющая отсутствует. При полученном значении  $\delta I_d$  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.

5.7. Коэффициент торможения  $K_T$  (уставка – диапазон от 0 до 0,9 с шагом 0,01)

|             |              |              |              |              |             |      |          |       |      |                    |      |
|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|------|----------|-------|------|--------------------|------|
| Ине. № подл | Подп. и дата | Ине. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Ине. № инв. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | ЕАБР.656122.003 Д1 | Лист |
|             |              |              |              |              |             |      |          |       |      |                    | 15   |

$$K_T = I_{cp} / I_T$$

(18)

Здесь  $I_T$  определяется по выражению 12 с учетом того, какие трансформаторы тока обтекаются какими токами для рассматриваемого режима питания трансформатора.

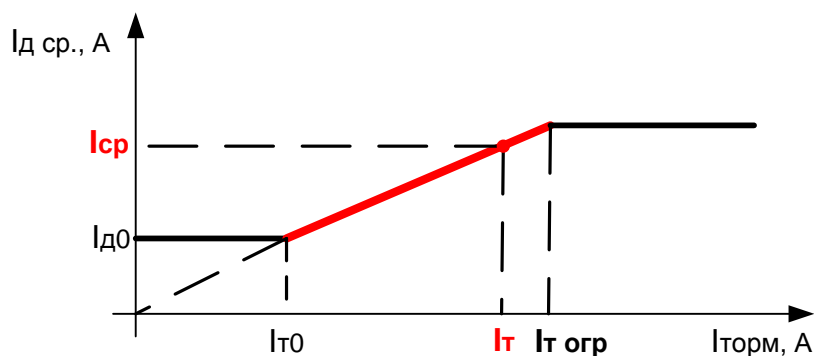


Рис.5.

На рис.5. красной утолщенной линией показан наклонный участок торможения.

5.8. Полученное значение коэффициента торможения в соответствии с выражением 18 обеспечивает отстройку от максимального небаланса при токе сквозного КЗ. Его вначале определяют для режима питания трансформатора по нормальной схеме от источников со всех сторон трансформатора, с которых может быть подано питание. При отключении питания с любой или любых из сторон трансформатора составляющая тока торможения от соответствующей стороны исчезает и, несмотря на уменьшение значений сквозных токов КЗ при этом, условие отстройки от небаланса может нарушиться. Поэтому для всех возможных режимов питания с разных сторон трансформатора следует повторить расчеты  $K_T$  по пунктам 5.5-5.7 при новых значениях токов КЗ на сторонах  $I_k$  вн,  $I_k$  сн,  $I_k$  нн и вновь определенному значению тока торможения по выражению 11. Из полученных значений  $K_T$  для всех расчетных режимов в качестве уставки следует принять максимальное значение. При этом значение тока ограничения торможения  $I_T$  огр по пункту 5.4 так же принимается максимальным, причем режим, по которому принимается максимальное значение тока  $I_T$  огр и режим, по которому принимается максимальное значение коэффициента торможения  $K_T$ , могут не совпадать.

5.9. Для того, что бы условие отстройки от небаланса в каждой точке наклонного участка тормозной характеристики выполнялось так же как в расчетной точке, выберем значение уставки  $I_{т0}$  так, что бы продолжение наклонного участка тормозной характеристики проходило через начало координат:

$$I_{т0} = I_{д0} / K_T. \quad (19)$$

Если полученное в соответствии с выражением (19) значение  $I_{т0}$  выходит за пределы допустимых величин (1,5...4А), то следует принять  $I_{т0}$  равное ближайшему допустимому значению уставки (1,5 или 4А) и пересчитать значения  $I_{д0}$  или коэффициента торможения  $K_T$  в соответствии с выражениями:

|              |              |
|--------------|--------------|
| Ине. № подл. | Подп. и дата |
| Ине. № дубл. | Взам. инв. № |
| Ине. № подл. | Подп. и дата |
| Ине. № подл. | Подп. и дата |

|      |      |          |       |      |
|------|------|----------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|------|------|----------|-------|------|

$$I_{д0} = K_T I_{т0};$$

$$K_T = (I_{ср} - I_{д0}) / (I_{т} - I_{т0}).$$

Здесь  $I_{ср}$  и  $I_{т}$  – параметры, по которым был исходно рассчитан коэффициент торможения.

|             |              |              |              |              |      |
|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------|
| Инв. № подл | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Лист |
|             |              |              |              |              |      |
| Инв. № подл | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Лист |
| Изм         | Лист         | № докум.     | Подп.        | Дата         | 17   |

ЕАБР.656122.003 Д1

## 6. КОЭФФИЦИЕНТ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ДТ

Для определения коэффициента чувствительности рассматривают режимы питания с разных сторон трансформатора и для каждого режима определяют минимальные значения вторичного тока, на который реагирует устройство при КЗ в конце зоны защиты (рис. 6):

$$I_2 \text{ к min} = (I_k K_{сх}^{(3)} K_{вр} / n_{тТ}) \text{ min.} \quad (20)$$

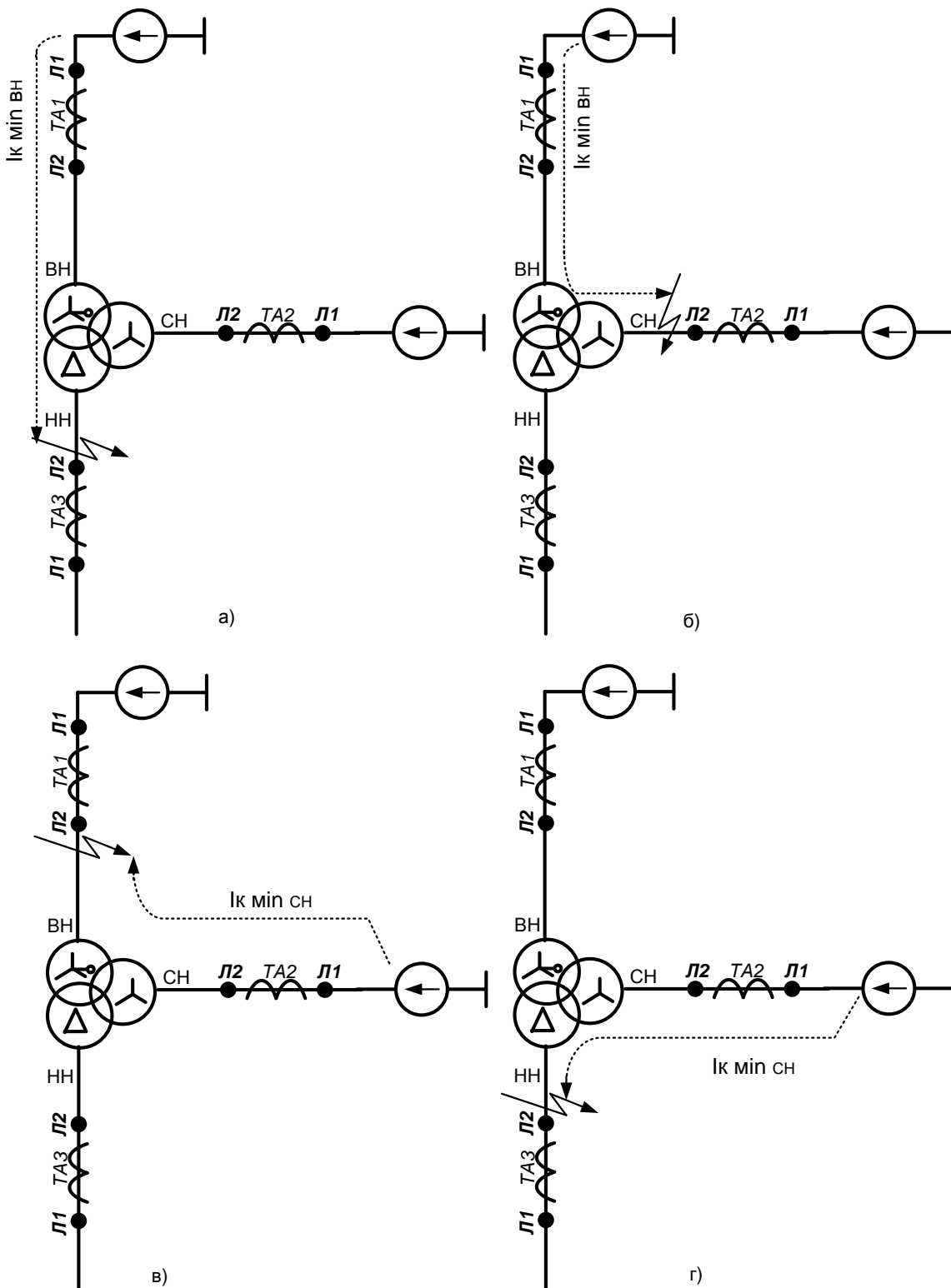


Рис.6

|              |              |
|--------------|--------------|
| Ине. № подл. | Подп. и дата |
| Ине. № дубл. | Взам. инв. № |
| Ине. № инв.  | Подп. и дата |
| Изм.         | Лист         |
| № докум.     | Подп.        |
| Дата         | Дата         |

Обращаем внимание, что токи по выражениям 20 это не токи при КЗ на сторонах ВН, СН и НН трансформатора, а токи, которыми обтекаются указанные стороны в минимальном режиме, т.е. при КЗ на одной из других сторон, КЗ на которой дает минимальное значение тока по выражению 20. Соответственно минимальный ток стороны ВН  $I_{k \min \text{ вн}}$  может иметь место при КЗ на стороне НН (рис.6а) или на стороне СН (рис.6б). Минимальный ток стороны СН  $I_{k \min \text{ сн}}$  может иметь место при КЗ на стороне ВН (рис.6в) или на стороне НН (рис.6г). В общем случае, если возможно питание со стороны НН, то при выборе минимального тока следует рассматривать и токи этой стороны.

Для каждого из режимов питания определим значения вторичных токов, на которые реагирует устройство  $I_{2к}$ , ток торможения в точке определения чувствительности  $I_{тч}$ , ток срабатывания ДЗТ в этой же точке  $I_{дсрч}$  и коэффициент чувствительности  $K_{ч \text{ дзт}}$ :

$$I_{2к} = I_k K_{сх}^{(3)} K_{вр} / n_{тт}; \quad (21)$$

$$I_{тч} = K_{вн} I_{2к \text{ вн} \min} + K_{сн} I_{2к \text{ сн} \min} + K_{нн} I_{2к \text{ нн} \min} \quad (22)$$

$$I_{дсрч} = I_{д0} + K_{т}(I_{тч} - I_{т0}), \text{ если } I_{тч} \geq I_{т0} \text{ (рис.7),}$$

$$\text{Иначе } I_{дсрч} = I_{д0} \text{ (рис.8),} \quad (23)$$

$$K_{ч \text{ дзт}} = I_{2к} / I_{дсрч} \quad (24)$$

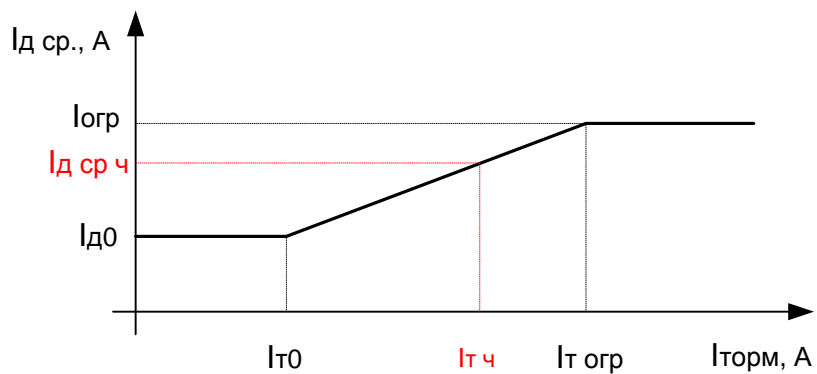


Рис.7.

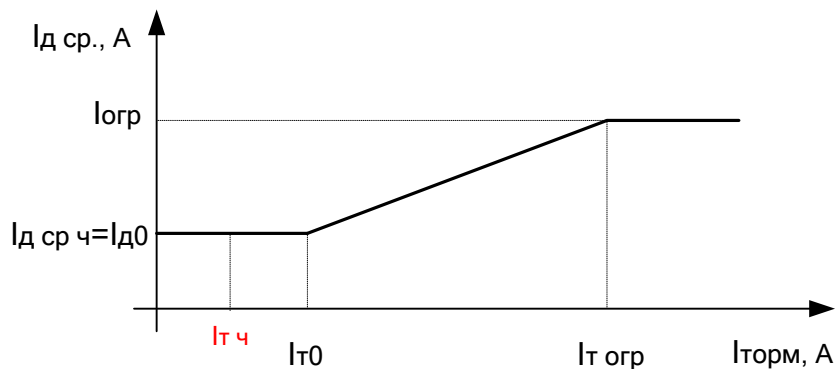


Рис.8.

|              |
|--------------|
| Подп. и дата |
| Взам. инв. № |
| Инв. № дубл. |
| Подп. и дата |
| Инв. № подл  |

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|-----|------|----------|-------|------|



## 7. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ОТСЕЧКА (ДО)

7.1. Уставка тока срабатывания дифференциальной отсечки  $I_{д\ отс}$  (1-я ст, уставка – диапазон от 5А до 60А с шагом 0,01А) выбирается по условию отстройки от полного значения броска тока намагничивания. Согласно (л.1) ток срабатывания ДО рекомендуется принимать равным 3-4 номинального тока стороны трансформатора, рассчитанной на его полную нагрузку (100%) – основной стороны трансформатора –  $I_{н\ о}$ . При этом предполагается в первый момент броска тока намагничивания возможность наличия тока, превышающего уставку ДО, а ее несрабатывание должно обеспечиваться быстрым затуханием тока за время действия отсечки. Учитывая повышенное быстродействие отсечки устройства РС830-ДТЗ (0,035 с), изготовителем рекомендуются более жесткие условия выбора тока срабатывания ДО с коэффициентом отстройки 5-6. Аналогично выражению (5), уставка тока срабатывания дифференциальной отсечки

$$I_{д\ отс} = (5-6) K_{вр\ о} K_{сх\ о}^{(3)} \frac{I_{н\ о}}{n_{т\ то}} \quad (25)$$

При этом меньшие значения коэффициента отстройки следует принимать, если коэффициент чувствительности по выражению (26) оказывается меньше 2.

7.2. В особых случаях при необходимости повысить чувствительность отсечки минимальное значение коэффициента отстройки в выражении (25) может быть понижено до 3,5, но при этом, для обеспечения затухания броска тока намагничивания, следует установить отличное от нуля время срабатывания ДО. Рекомендуемое время не менее 0,05с. В каждом отдельном случае решение о введении задержки срабатывания ДО принимается индивидуально, если рекомендованной величины коэффициента отстройки не достаточно для обеспечения чувствительности, а при его снижении становится возможными излишние срабатывания ДО.

7.3. При выбранных параметрах срабатывания ДО, она оказывается отстроенной от броска тока намагничивания и небаланса вызванного перевозбуждением, поэтому с целью предотвращения замедления действия ДО для нее блокировка по второй и пятой гармонике не вводится.

7.4. Коэффициент чувствительности дифференциальной отсечки  $K_{ч\ отс}$  определяется при минимальных значениях вторичных токов, на которые реагирует устройство в разных режимах питания  $I_2\ к\ min$

$$K_{ч\ отс} = I_2\ к\ min / I_{д\ отс} \quad , \quad (26)$$

Следует отметить, что в отличие от распространенной точки зрения, что дифференциальная отсечка должна использоваться при коэффициенте чувствительности больше 2 (л.2), отсечку устройства РС830-ДТЗ 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

|              |              |
|--------------|--------------|
| Ине. № подл. | Подп. и дата |
| Ине. № дубл. | Взам. инв. № |
| Ине. № инв.  | Подп. и дата |
| Ине. № инв.  | Подп. и дата |

|      |      |          |       |      |
|------|------|----------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|------|------|----------|-------|------|

ЕАБР.656122.003 Д1

Лист  
21

трансформатора, а затрат на ее применение никаких не нужно, поскольку она выполнена комплексно в составе другой защиты.

|             |              |              |              |              |     |      |          |       |      |                    |      |
|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----|------|----------|-------|------|--------------------|------|
| Инв. № подл | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата | ЕАБР.656122.003 Д1 | Лист |
|             |              |              |              |              |     |      |          |       |      |                    | 22   |

## 8. ВРЕМЯ СРАБАТЫВАНИЯ СТУПЕНЕЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ

Время срабатывания ступеней  $T_{до}$  (уставка – диапазон от 0 до 1сек с шагом 0,01сек) и  $T_{дт}$  (уставка – диапазон от 0 до 1сек с шагом 0,01сек) дифференциальной защиты в случае использования РС830-ДТЗ как основной защиты трансформатора рекомендуется ставить  $T=0с$ . Для других особых случаев использования терминала РС830-ДТЗ (например, согласно п. 7.2) можно вводить задержку по времени срабатывания.

|             |              |              |              |              |      |
|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------|
| Ине. № подп | Подп. и дата | Ине. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Лист |
|             |              |              |              |              |      |

ЕАБР.656122.003 Д1

## 9. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА ОТ НЕБАЛАНСА

9.1. Ток срабатывания ступени дифференциальной защиты от небаланса выбирается по условию отстройки от небаланса, вызванного максимальным током нагрузки

$$I_{д нб} = \frac{K_H K_{сх о}^{(3)} K_{вр о} I_{нб} (I_H MAX)}{П_{т т о}} \quad (28)$$

где:

- $K_H$  – коэффициент надежности,  $K_H=1,2$ ;
- $I_{нб}(I_H MAX)$  – ток небаланса, вызванный током нагрузки на максимально нагруженной стороне (основной стороне);
- $K_{сх о}^{(3)}$ ,  $K_{вр о}$ ,  $П_{т т о}$  – параметры для основной стороны.

Ток небаланса  $I_{нб}(I_H MAX)$  определяется в соответствии с выражениями 14-17, но в зависимости не от максимального сквозного тока КЗ, а от максимального тока нагрузки  $I_H MAX$  на основной стороне.

9.2. Время срабатывания ступени дифференциальной защиты от небаланса выбирается по условию отстройки от времени действия ступеней защит от КЗ, включенных на всех сторонах защищаемого трансформатора:

$$T_{д нб} \geq T_{ср max} + \Delta T;$$

где:

$T_{ср max}$  – максимальное из времен срабатывания любой из защит с действием на отключение, включенных на всех сторонах трансформатора;

$\Delta T$  – степень селективности,  $\Delta T=1с$ .

|                    |              |              |              |              |      |
|--------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------|
| Инв. № подл        | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Лист |
|                    |              |              |              |              |      |
| ЕАБР.656122.003 Д1 |              |              |              |              | Лист |

## ТАБЛИЦА ЗАДАНИЯ УСТАВОК

Для упрощения процесса наладки рекомендуется по окончанию расчета все данные внести в таблицу, форма которой приведена ниже. В данной таблице прописаны все уставки и параметры, которые относятся к дифференциальной защите.

### Уставки дифференциальной защиты

| Наименование уставки   | Диапазон                        |
|--|---------------------------------|
| Разрешение работы дифференциальной отсечки (ДО)  | Вкл, Откл                       |
| Тестовый (однофазный) режим работы ДО  | Откл, Вкл ф.А, Вкл ф.В, Вкл ф.С |
| Разрешение работы дифференциальной защиты с торможением (ДТ)   | Вкл, Откл                       |
| Тестовый (однофазный) режим работы ДТ  | Откл, Вкл ф.А, Вкл ф.В, Вкл ф.С |
| Группа соединений защищаемого трансформатора   | 0/0, 0/11, 11/11                |
| Коэффициент выравнивания стороны ВН  | 0,25-4, шаг 0,01                |
| Коэффициент выравнивания стороны СН  | 0,25-4, шаг 0,01                |
| Коэффициент выравнивания стороны НН  | 0,25-4, шаг 0,01                |
| Ток срабатывания дифотсечки $I_d$ отс, А   | 5-60, шаг 0,1                   |
| Начальный ток срабатывания дифференциальной защиты с торможением $I_{d0}$ , А  | 0,5-5, шаг 0,01                 |
| Начальный ток торможения $I_{t0}$ , А  | 1,5-4, шаг 0,01                 |
| Коэффициент торможения $k_t$ , о.е.  | 0-0,9, шаг 0,01                 |
| Коэффициент участия тока стороны ВН в токе торможения $K_{вн}$ , о.е.  | 0-1, шаг 0,01                   |
| Коэффициент участия тока стороны СН в токе торможения $K_{сн}$ , о.е.  | 0-1, шаг 0,01                   |
| Коэффициент участия тока стороны НН в токе торможения $K_{нн}$ , о.е.  | 0-1, шаг 0,01                   |
| Ток ограничения торможения $I_t$ огр, А  | 10-80, шаг 1                    |
| Уставка по времени ДО, с   | 0-1, шаг 0,01                   |
| Уставка по времени ДТ, с   | 0-1, шаг 0,01                   |
| Блокировка и ДО по второй гармонике от броска тока намагничивания  | Вкл, Откл                       |
| Ток блокировки ДО по второй гармонике дифференциального тока $I_2$ бл до, % от максимального значения первой гармоники токов трех фаз. | 5-50, шаг 1                     |
| Время ввода блокировки по 2 гармонике диф тока   | 100-2000, шаг 10 мс             |
| Блокировка ДО по пятой гармонике от перевозбуждения  | Вкл, Откл                       |
| Ток блокировки ДО по пятой гармонике дифференциального тока $I_5$ бл до, % от максимального значения первой гармоники токов трех фаз.  | 5-20, шаг 1                     |
| Блокировка ДТ по второй гармонике от броска тока   | Вкл, Откл                       |

Подп. и дата  
 Взам. инв. №  
 Инв. № дубл.  
 Подп. и дата  
 Инв. № подл.

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|-----|------|----------|-------|------|

ЕАБР.656122.003 Д1

Лист  
25

|   |                     |
|---|---------------------|
| намагничивания  |                     |
| Ток блокировки ДТ по второй гармонике дифференциального тока I2 бл дт, % от максимального значения первой гармоники токов трех фаз. | 5-50, шаг 1         |
| Время ввода блокировки по 2 гармонике диф тока  | 100-2000, шаг 10 мс |
| Блокировка ДТ по пятой гармонике от перевозбуждения   | Вкл, Откл           |
| Ток блокировки ДТ по пятой гармонике дифференциального тока I5 бл дт, % от максимального значения первой гармоники токов трех фаз.  | 5-20, шаг 1         |
| Время ввода блокировки по 5 гармонике диф тока  | 100-2000, шаг 10 мс |
| Разрешение работы дифзащиты от небаланса (ДН)   | Вкл, Откл           |
| Ток срабатывания дифзащиты от небаланса Iдн, А  | 0,05-20, шаг 0,01   |
| Уставка по времени срабатывания дифзащиты от небаланса Тдн, с   | 0-20, шаг 0,01      |

|             |              |              |              |              |
|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Ине. № подп | Подп. и дата | Ине. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата |
|             |              |              |              |              |

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|     |      |          |       |      |

ЕАБР.656122.003 Д1

Лист

26

## ПРИМЕРЫ ВЫБОРА УСТАВОК

### Пример 1

Выбрать уставки дифзащиты трансформатора ТДТН25000/110 в соответствии со схемой рис.П1.

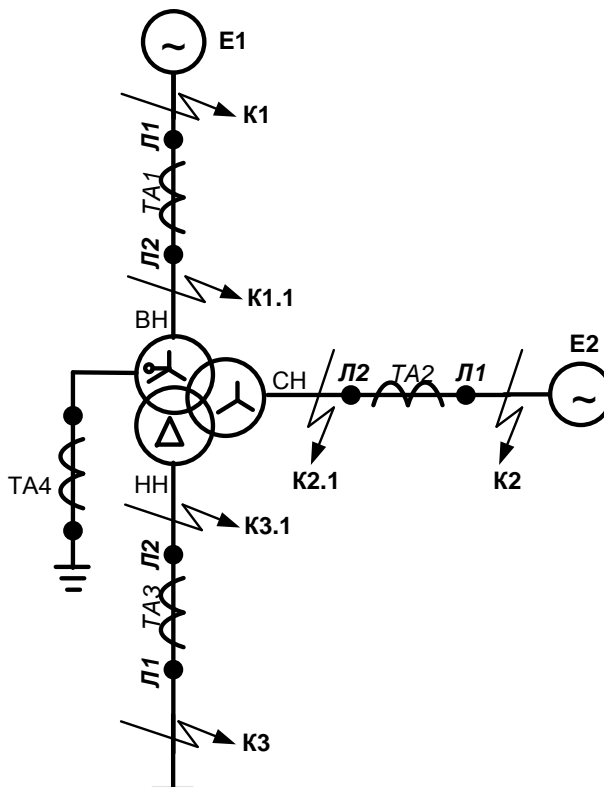


Рис.П1

Параметры трансформатора:

Номинальные напряжения обмоток 115/38,5/11кВ

Соединение обмоток  $Y_0/Y/\Delta -0/11$

РПН на стороне ВН  $\pm 9 \times 1,78\% = \pm 16\%$

ПБВ на стороне СН  $\pm 2 \times 2,5\%$ , установлено в положение  $+2,5\%$ . Тогда напряжение стороны СН по виткам =  $38,5 \times 1,025 = 39,5$  кВ.

Напряжение короткого замыкания  $U_k$  вс=10,5%,  $U_k$  вн=17,5%,  $U_k$  сн=6,5%

Трансформаторы тока:

ТА1 (сторона ВН) – 600/5; ТА2 (сторона СН) – 600/5; ТА3 (сторона НН) – 2000/5.

На всех сторонах трансформаторы тока соединены в звезду

Максимальный ток нагрузки имеет место по стороне ВН при питании только со стороны ВН и составляет 95А

Подп. и дата

Взам. инв. №

Инв. № дубл.

Подп. и дата

Инв. № подл

|      |      |          |       |      |
|------|------|----------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|      |      |          |       |      |

ЕАБР.656122.003 Д1

Лист

27

Максимальные токи КЗ на сторонах трансформатора при КЗ в точках, в соответствии с рис. П1

| Точка КЗ                           | Максимальные сквозные токи (первичные) при КЗ в точках К1, К2, К3 и минимальные токи при КЗ в зоне срабатывания (в точках К1.1, К2.1, К3.1), которыми обтекаются трансформаторы тока ТА1, ТА2, ТА3, А |              |            |
|------------------------------------|---|--------------|------------|
|                                    | ТА1 (115кВ)   | ТА2 (38,5кВ) | ТА3 (11кВ) |
| Питание со стороны ВН              |   |              |            |
| К1                                 | -   | -            | -          |
| К1.1                               | 5300  | -            | -          |
| К2                                 | 1150  | 3430         | -          |
| К2.1                               | 1000  | -            | -          |
| К3                                 | 710   | -            | 7420       |
| К3.1                               | 610   | -            | -          |
| Питание со стороны СН              |   |              |            |
| К1                                 | 490   | 1450         | -          |
| К1.1                               | 425   | 1250         | -          |
| К2                                 | -   | -            | -          |
| К2.1                               | -   | 2130         | -          |
| К3                                 | -   | 1680         | 5900       |
| К3.1                               | -   | 1460         | -          |
| Питание со стороны ВН и стороны СН |   |              |            |
| К1                                 | 490   | 1450         | -          |
| К1.1                               | 5300  | 1250         | -          |
| К2                                 | 1150  | 3430         | -          |
| К2.1                               | 1000  | 2130         | -          |
| К3                                 | 710   | 1680         | 13300      |
| К3.1                               | 710   | 1460         | -          |

### П1.Расчет уставок

П1.1.Уставку по группе соединений защищаемого трансформатора примем 0/11. Это определяется заданным соединением трансформаторов тока в звезду на всех сторонах трансформатора. Как следствие, необходима компенсация поворотов фаз токов на сторонах трансформатора внутренним алгоритмом устройства РС830-ДТЗ. Эта компенсация включается при задании указанной группы соединений. Коэффициенты схемы соединения трансформаторов тока и реле при этом  $K_{сх\text{ВН}}^{(3)} = K_{сх\text{СН}}^{(3)} = K_{сх\text{НН}}^{(3)} = 1$ .

П1.2.За основную сторону примем сторону НН. С целью уменьшения отличия от 1 коэффициентов выравнивания других сторон коэффициент выравнивания для основной стороны занижим по сравнению с 1 и примем  $K_{вр\text{О}} = K_{вр\text{НН}} = 0,7$ .

Коэффициенты выравнивания для сторон ВН и СН определим в соответствии с выражением (3):

$$K_{вр} = K_{вр\text{О}} \frac{K_{сх\text{О}}^{(3)} n_{тт\text{О}} U_{ср}}{K_{сх}^{(3)} n_{тт\text{О}} U_{ср\text{О}}}$$

ЕАБР.656122.003 Д1

Лист

28

Изм. № подл. Подп. и дата. Инв. № дубл. Инв. №. №. Подп. и дата. Инв. № подл.

|      |      |          |       |      |
|------|------|----------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|      |      |          |       |      |

$K_{ВР ВН} = 0,7 \times 120 \times 115 / 400 \times 11 = 2,195$ . Примем  $K_{ВР ВН} = 2,2$ .

$K_{ВР СН} = 0,7 \times 120 \times 39,5 / 400 \times 11 = 0,754$ . Примем  $K_{ВР СН} = 0,75$ .

Погрешность установки коэффициентов выравнивания по сравнению с расчетными значениями, вызывающая небаланс, в соответствии с выражением (4)

$$\delta I_D = \frac{K_{ВР у} - K_{ВР}}{K_{ВР у}}$$

Для  $K_{ВР ВН}$   $\delta I_D = (2,2 - 2,195) / 2,2 = 0,0023$ ;

Для  $K_{ВР СН}$   $\delta I_D = (0,75 - 0,754) / 0,75 = -0,005$ .

Полученные значения погрешностей меньше 0,01, поэтому в соответствии с рекомендациями ими можно пренебречь.

П1.3. Блокировку от броска тока намагничивания по 2 гармонике дифференциального тока для ступени ДТ вводят, а для ступени ДО выводят.

Уставку по 2 гармонике дифференциального тока принимаем 12%

Время ввода блокировки по 2 гармонике принимаем 2с.

Блокировку от перевозбуждения по 5 гармонике дифференциального тока для ступени ДТ вводят, а для ступени ДО выводят.

Уставку по 5 гармонике дифференциального тока принимаем 10%

Время ввода блокировки по 5 гармонике принимаем 2с.

П1.4. Начальный ток срабатывания дифзащиты с торможением  $I_{ДО}$  выбираем в соответствии с выражением (5) в зависимости от номинального тока стороны НН, принятой за основную,  $I_{НО}$ :

$$I_{НО} = 25000 / \sqrt{3} \times 11 = 1312 \text{ А};$$

$$I_{ДО} = 0,3 K_{ВР О} K_{СХ}^{(3)} \frac{I_{НО}}{n_{ТТО}} = 0,3 \times 0,7 \times 1 \times 1312 / 400 = 0,69 \text{ А}.$$

П1.5. Выбор параметров торможения

П1.5.1. Вторичные токи  $I_{2 К}$ , на которые реагирует устройство, при сквозных токах  $K3 I_K$  (первичное значение) в соответствии с выражениями (6)

$$\left\{ \begin{array}{l} I_{2 К ВН} = (I_K K_{СХ}^{(3)} K_{ВР} / n_{ТТ}) ВН; \\ I_{2 К СН} = (I_K K_{СХ}^{(3)} K_{ВР} / n_{ТТ}) СН; \\ I_{2 К НН} = (I_K K_{СХ}^{(3)} K_{ВР} / n_{ТТ}) НН. \end{array} \right.$$

Определим их значения в разных режимах питания (со стороны ВН, стороны СН, стороны ВН и стороны СН одновременно).

**Питание со стороны ВН и СН:**

$$I_{2 К ВН} = 490 \times 2,2 / 120 = 9 \text{ А};$$

$$I_{2 К СН} = 3430 \times 0,75 / 120 = 21,4 \text{ А};$$

$$I_{2 К НН} = 13300 \times 0,7 / 400 = 23,3 \text{ А (точка К3)}.$$

**Питание со стороны ВН:**

$$I_{2 К ВН} = 0;$$

$$I_{2 К СН} = 3430 \times 0,75 / 120 = 21,4 \text{ А (точка К2)};$$

|              |
|--------------|
| Подп. и дата |
| Взам. инв. № |
| Инв. № дубл. |
| Подп. и дата |
| Инв. № подл. |

|      |      |          |       |      |
|------|------|----------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|------|------|----------|-------|------|



**Питание со стороны ВН (точка К2):**

$$I_{нб}' = 1 \times 1 \times 0,1 \times 21,4 = 2,14 \text{ А};$$

$$I_{нб}'' = 0,16 \times 21,4 = 3,42 \text{ А};$$

Значением  $I_{нб}'''$  пренебрегаем;

$$I_{нб} = 2,14 + 3,42 = 5,56 \text{ А};$$

$$I_{ср} = 1,2 \times 5,56 = 6,67 \text{ А};$$

$$I_T = 1150 \times 0,33 \times 2,2 / 120 + 3430 \times 0,33 \times 0,75 / 120 = 14,02 \text{ А};$$

$$K_T = 6,67 / 14,02 = 0,47.$$

**Питание со стороны СН (точка К3):**

$$I_{нб}' = 1 \times 1 \times 0,1 \times 10,3 = 1,03 \text{ А};$$

$$I_{нб}'' = 0,16 \times 10,3 = 1,65 \text{ А};$$

Значением  $I_{нб}'''$  пренебрегаем;

$$I_{нб} = 1,03 + 1,65 = 2,68 \text{ А};$$

$$I_{ср} = 1,2 \times 2,68 = 3,22 \text{ А};$$

$$I_T = 1680 \times 0,33 \times 0,75 / 120 + 5900 \times 0,33 \times 0,7 / 400 = 6,87 \text{ А};$$

$$K_T = 3,22 / 6,87 = 0,47.$$

Для обеспечения отстройки от небаланса во всех режимах следует в общем случае принимать худшее из полученных значений  $K_T$ . Полученные одинаковые значения  $K_T$  являются частным случаем, который имеет место при принятых рекомендованных одинаковых значениях коэффициентов участия токов сторон в токе торможения.

П1.6. Уставку  $I_{T0}$  выбираем в соответствии с выражением (19)

$$I_{T0} = I_{д0} / K_T = 0,69 / 0,55 = 1,25 \text{ А}.$$

Принимаем ближайшее возможное значение  $I_{T0} = 1,5 \text{ А}$ .

П1.7. С учетом измененного значения  $I_{T0}$  уточняем значение уставки  $I_{д0}$

$$I_{д0} = K_T I_{T0} = 0,48 \times 1,5 = 0,72$$

П1.8. Для каждого из режимов питания определим минимальные значения вторичных токов, на которые реагирует устройство  $I_{2 \text{ к min}}$ , ток торможения в точке определения чувствительности  $I_{Тч}$ , ток срабатывания ДЗТ в этой же точке  $I_{д \text{ ср ч}}$  и коэффициент чувствительности

$$I_{2 \text{ к min}} = (I_k K_{сх}^{(3)} K_{вр} / n_{тТ}) \text{ min}$$

$$I_{Тч} = K_{вн} I_{2 \text{ к вн min}} + K_{сн} I_{2 \text{ к сн min}} + K_{нн} I_{2 \text{ к нн min}}$$

$$I_{д \text{ ср ч}} = I_{д0} + K_T (I_{Тч} - I_{T0}), \text{ если } I_{Тч} \geq I_{T0}$$

**Питание со стороны ВН и СН (точка К3.1)**

$$\text{ТА1: } I_{2 \text{ к1}} = 610 \times 2,2 / 120 = 11,2 \text{ А};$$

$$\text{ТА2: } I_{2 \text{ к2}} = 1460 \times 0,75 / 120 = 9,1 \text{ А};$$

$$I_{2 \text{ к}} = 11,2 + 9,1 = 20,3 \text{ А};$$

$$I_{Тч} = 610 \times 0,33 \times 2,2 / 120 + 1460 \times 0,33 \times 0,75 / 120 = 6,7 \text{ А};$$

$$I_{д \text{ ср ч}} = 0,72 + 0,47(6,7 - 1,5) = 3,22 \text{ А};$$

$$K_{ч \text{ ДЗТ}} = I_{2 \text{ к}} / I_{д \text{ ср ч}} = 20,3 / 3,22 = 6,3.$$

|              |
|--------------|
| Подп. и дата |
| Взам. инв. № |
| Инв. № дубл. |
| Подп. и дата |
| Инв. № подп  |

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|-----|------|----------|-------|------|

**Питание со стороны ВН (точка К2.1)**

$$I_2 K = 1000 \times 2.2 / 120 = 18,3A;$$

$$I_{TЧ} = 1000 \times 0,33 \times 2,2 / 120 = 6,05A;$$

$$I_{д ср ч} = 0,72 + 0,47(6,05 - 1,5) = 2,86A;$$

$$K_{ч дэт} = I_2 K / I_{д ср ч} = 18,3 / 2,86 = 6,4.$$

**Питание со стороны ВН (точка К3.1)**

$$I_2 K = 610 \times 2.2 / 120 = 11,2A;$$

$$I_{TЧ} = 610 \times 0,33 \times 2,2 / 120 = 3,69A;$$

$$I_{д ср ч} = 0,72 + 0,47(3,69 - 1,5) = 1,75A;$$

$$K_{ч дэт} = I_2 K / I_{д ср ч} = 11,2 / 1,75 = 6,4.$$

**Питание со стороны СН (точка К3.1)**

$$I_2 K = 1460 \times 0,75 / 120 = 9,1A;$$

$$I_{TЧ} = 1460 \times 0,33 \times 0,75 / 120 = 3,01A;$$

$$I_{д ср ч} = 0,72 + 0,47(3,01 - 1,5) = 1,43A;$$

$$K_{ч дэт} = I_2 K / I_{д ср ч} = 9,1 / 1,43 = 6,4.$$

П1.9. Ток срабатывания дифференциальной отсечки выбираем в соответствии с выражением (25) в зависимости от номинального тока стороны НН, принятой за основную,  $I_{НО}$ :

$$I_{НО} = 25000 / \sqrt{3} \times 11 = 1312A;$$

$$I_{д отс} = (5-6) \text{ Квр о } K_{сх о}^{(3)} \frac{I_{НО}}{n_{ТТ О}} = 5 \times 0,7 \times 1 \times 1312 / 400 = 11,5A$$

П1.10. Коэффициент чувствительности дифотсечки в соответствии с выражением (26)

$$K_{ч отс} = I_2 K \text{ min} / I_{д отс}$$

**Для режима питания со стороны ВН и СН**

$$K_{ч отс} = 20,3 / 11,5 = 1,77$$

**Для режима питания со стороны ВН**

$$K_{ч отс} = 11,2 / 11,5 = 0,97$$

**Для режима питания со стороны СН**

$$K_{ч отс} = 9,1 / 11,5 = 0,79$$

С целью повышения чувствительности дифференциальной отсечки, согласно рекомендаций пункта 7.2, можно ввести выдержку времени отсечки 0,05с и уменьшить коэффициент отстройки до 3,5. Тогда

$$I_{д отс} = 3,5 \text{ Квр о } K_{сх о}^{(3)} \frac{I_{НО}}{n_{ТТ О}} = 3,5 \times 0,7 \times 1 \times 1312 / 400 = 8,0A$$

**Для режима питания со стороны ВН и СН**

$$K_{ч отс} = 20,3 / 8,0 = 2,54$$

**Для режима питания со стороны ВН**

$$K_{ч отс} = 11,2 / 8,0 = 1,4$$

|              |
|--------------|
| Подп. и дата |
| Взам. инв. № |
| Инв. № дубл. |
| Подп. и дата |
| Инв. № подл. |

|      |      |          |       |      |
|------|------|----------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|------|------|----------|-------|------|

### Для режима питания со стороны СН

$$K_{ч\text{ отс}}=9,1/8,0=1,14$$

Из полученных значений коэффициента чувствительности дифференциальной отсечки не следует отсутствие целесообразности ее использования, так как при КЗ не в конце зоны защиты, а в середине обмоток трансформатора отсечка сможет эффективно локализовать повреждение без любых задержек.

П1.11.Ток срабатывания дифференциальной защиты от небаланса определяем по условиям отстройки от небаланса, вызванного током нагрузки 95 А на стороне ВН.

Небалансы вызванные этим током (первичные значения)

$$I_{нб}^{\prime}=0,1 \times 95=9,5 \text{ А}$$

$$I_{нб}^{\prime\prime}=0,16 \times 95=15,2 \text{ А}$$

$$I_{нб}=9,5+15,2=24,7 \text{ А}$$

$$I_{д\text{ нб}} = \frac{K_H K_{сх}^{(3)} K_{вр} I_{нб} (I_H \text{ МАХ})}{n_{тт}}$$

$$I_{д\text{ нб}} = 1,2 \times 2,2 \times 24,7 / 120 = 0,54 \text{ А}$$

П1.12.Время срабатывания ступени дифзащиты от небаланса с учетом отстройки от времен действия любых защит от КЗ в связанных сетях заведомо с запасом примем 6с.

|             |              |              |              |              |      |
|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------|
| Инв. № подл | Подп. и дата | Име. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Лист |
|             |              |              |              |              |      |
| Изм         | Лист         | № докум.     | Подп.        | Дата         | 33   |

ЕАБР.656122.003 Д1



Максимальные токи КЗ на сторонах трансформатора при КЗ в точках, в соответствии с рис. П2

|                       |   |              |            |
|-----------------------|---|--------------|------------|
| Точка КЗ              | Максимальные сквозные токи (первичные) при КЗ в точках К1, К2, К3 и минимальные токи при КЗ в зоне срабатывания (в точках К1.1, К2.1, К3.1), которыми обтекаются трансформаторы тока ТА1, ТА2, ТА3, А |              |            |
|                       | ТА1 (115кВ)   | ТА2 (38,5кВ) | ТА3 (11кВ) |
| Питание со стороны ВН |   |              |            |
| К1                    | -   | -            | -          |
| К1.1                  | 5300  | -            | -          |
| К2                    | 1150  | 3430         | -          |
| К2.1                  | 1000  | -            | -          |
| К3                    | 710   | -            | 7420       |
| К3.1                  | 610   | -            | -          |

## П2.Расчет уставок

П2.1.Уставку по группе соединений защищаемого трансформатора примем 0/11. Это определяется заданным соединением трансформаторов тока в звезду на всех сторонах трансформатора. Как следствие, необходима компенсация поворотов фаз токов на сторонах трансформатора внутренним алгоритмом устройства РС830-ДТЗ. Эта компенсация включается при задании указанной группы соединений. Коэффициенты схемы соединения трансформаторов тока и реле при этом  $K_{сх\ ВН}^{(3)} = K_{сх\ СН}^{(3)} = K_{сх\ НН}^{(3)} = 1$ .

П2.2.За основную сторону примем сторону НН. С целью уменьшения отличия от 1 коэффициентов выравнивания других сторон коэффициент выравнивания для основной стороны занижим по сравнению с 1 и примем  $K_{вр\ о} = K_{вр\ НН} = 0,7$ .

Коэффициенты выравнивания для сторон ВН и СН определим в соответствии с выражением (3):

$$K_{вр} = K_{вр\ о} \frac{K_{сх\ о}^{(3)} n_{тт\ о} U_{ср}}{K_{сх}^{(3)} n_{тт\ о} U_{ср\ о}}$$

$K_{вр\ ВН} = 0,7 \times 120 \times 115 / 400 \times 11 = 2,195$ . Примем  $K_{вр\ ВН} = 2,2$ .

$K_{вр\ СН} = 0,7 \times 120 \times 39,5 / 400 \times 11 = 0,754$ . Примем  $K_{вр\ СН} = 0,75$ .

Погрешность установки коэффициентов выравнивания по сравнению с расчетными значениями, вызывающая небаланс, в соответствии с выражением (4)

$$\delta Id = \frac{K_{вр\ у} - K_{вр}}{K_{вр\ у}}$$

Для  $K_{вр\ ВН}$   $\delta Id = (2,2 - 2,195) / 2,2 = 0,0023$ ;

Для  $K_{вр\ СН}$   $\delta Id = (0,75 - 0,754) / 0,75 = -0,005$ .

Полученные значения погрешностей меньше 0,01, поэтому в соответствии с рекомендациями ими можно пренебречь.

П2.3.Блокировку от броска тока намагничивания по 2 гармонике дифференциального тока для ступени ДТ вводят, а для ступени ДО выводят.

Уставку по 2 гармонике дифференциального тока принимаем 12%

Изм. № подл. Подп. и дата. Инв. № дубл. Инв. №. №. Подп. и дата. Инв. № подл.

|      |      |          |       |      |
|------|------|----------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|------|------|----------|-------|------|



$$I_T = I_k \text{ ВНКВН } (K_{CX}^{(3)} K_{Вр} / n_{TT}) \text{ ВН} + I_k \text{ СНКСН } (K_{CX}^{(3)} K_{Вр} / n_{TT}) \text{ СН} + I_k \text{ ННКНН } (K_{CX}^{(3)} K_{Вр} / n_{TT}) \text{ НН};$$

$$K_T = I_{CP} / I_T$$

### Точка К2

$$I_{НБ}' = 1 \times 1 \times 0,1 \times 21,4 = 2,14 \text{ А};$$

$$I_{НБ}'' = 0,16 \times 21,4 = 3,42 \text{ А};$$

Значением  $I_{НБ}'''$  пренебрегаем;

$$I_{НБ} = 2,14 + 3,42 = 5,56 \text{ А};$$

$$I_{CP} = 1,2 \times 5,56 = 6,67 \text{ А};$$

$$I_T = 3430 \times 0,5 \times 0,75 / 120 = 10,7 \text{ А};$$

$$K_T = 6,67 / 10,7 = 0,62.$$

### Точка К3

$$I_{НБ}' = 1 \times 1 \times 0,1 \times 13 = 1,3 \text{ А};$$

$$I_{НБ}'' = 0,16 \times 13 = 2,08 \text{ А};$$

Значением  $I_{НБ}'''$  пренебрегаем;

$$I_{НБ} = 1,3 + 2,08 = 3,38 \text{ А};$$

$$I_{CP} = 1,2 \times 3,38 = 4,06 \text{ А};$$

$$I_T = 7420 \times 0,5 \times 0,7 / 400 = 6,49 \text{ А};$$

$$K_T = 4,06 / 6,49 = 0,62.$$

Для обеспечения отстройки от небаланса во всех режимах следует в общем случае принимать худшее из полученных значений  $K_T$ . Полученные одинаковые значения  $K_T$  являются частным случаем, который имеет место при принятых рекоиндованных одинаковых значениях коэффициентов участия токов сторон СН и НН в токе торможения.

П2.6. Уставку  $I_{T0}$  выбираем в соответствии с выражением (19)

$$I_{T0} = I_{D0} / K_T = 0,69 / 0,62 = 1,11 \text{ А}.$$

Принимаем ближайшее возможное значение  $I_{T0} = 1,5 \text{ А}$ .

П1.7. С учетом измененного значения  $I_{T0}$  уточняем значение уставки  $I_{D0}$

$$I_{D0} = K_T I_{T0} = 0,62 \times 1,5 = 0,93$$

П2.8. Определим минимальное значение вторичного тока, на который реагирует устройство  $I_{2k \text{ min}}$  при КЗ в точках К2.1 и К3.1

$$I_{2k \text{ min}} = (I_k K_{CX}^{(3)} K_{Вр} / n_{TT}) \text{ min}$$

### Точка К2.1

$$I_{2k} = 1000 \times 2,2 / 120 = 18,3 \text{ А};$$

### Точка К3.1

$$I_{2k} = 610 \times 2,2 / 120 = 11,2 \text{ А}.$$

$$I_{2k \text{ min}} = 11,2 \text{ А}$$

П2.9. С учетом принятого значения коэффициента участия тока стороны ВН в токе торможения  $K_{ВН} = 0$  и отсутствия обтекания током КЗ трансформаторов тока других сторон,

|                    |              |              |              |              |               |       |      |      |    |
|--------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|-------|------|------|----|
| Име. № подл        | Подп. и дата | Име. № дубл. | Взам. име. № | Подп. и дата | Име. № докум. | Подп. | Дата | Лист | 37 |
|                    |              |              |              |              |               |       |      |      |    |
| ЕАБР.656122.003 Д1 |              |              |              |              |               |       |      | Лист | 37 |

торможение отсутствует и ток срабатывания дифзащиты в точке определения чувствительности

$$I_{д ср ч} = I_{до} = 0,93A.$$

Тогда значение коэффициента чувствительности

$$K_{ч дэт} = I_2 K / I_{д ср ч} = 11,2 / 0,93 = 12.$$

П2.10. Ток срабатывания дифференциальной отсечки выбираем в соответствии с выражением (25) в зависимости от номинального тока стороны НН, принятой за основную,  $I_{НО}$ :

$$I_{НО} = 25000 / \sqrt{3} \times 11 = 1312A;$$

$$I_{д отс} = (5-6) K_{вр о} K_{сх о}^{(3)} \frac{I_{НО}}{n_{тто}} = 5 \times 0,7 \times 1 \times 1312 / 400 = 11,5A$$

П2.11. Коэффициент чувствительности дифотсечки в соответствии с выражением (26)

$$K_{ч отс} = I_2 K_{min} / I_{д отс}$$

$$K_{ч отс} = 11,2 / 11,5 = 0,97$$

С целью повышения чувствительности дифференциальной отсечки, согласно рекомендаций пункта 7.2, можно ввести выдержку времени отсечки 0,05с и уменьшить коэффициент отстройки до 3,5. Тогда

$$I_{д отс} = 3,5 K_{вр о} K_{сх о}^{(3)} \frac{I_{НО}}{n_{тто}} = 3,5 \times 0,7 \times 1 \times 1312 / 400 = 8,0A$$

$$K_{ч отс} = 11,2 / 8,0 = 1,4$$

Из полученных значений коэффициента чувствительности дифференциальной отсечки не следует отсутствие целесообразности ее использования, так как при КЗ не в конце зоны защиты, а в середине обмоток трансформатора отсечка сможет эффективно локализовать повреждение без любых задержек.

П2.12. Ток срабатывания дифференциальной защиты от небаланса определяем по условиям отстройки от небаланса, вызванного током нагрузки 95 А на стороне ВН.

Небалансы вызванные этим током (первичные значения)

$$I_{нб}' = 0,1 \times 95 = 9,5 A$$

$$I_{нб}'' = 0,16 \times 95 = 15,2A$$

$$I_{нб} = 9,5 + 15,2 = 24,7A$$

$$I_{д нб} = \frac{K_H K_{сх}^{(3)} K_{вр} I_{нб} (I_H MAX)}{n_{тт}}$$

$$I_{д нб} = 1,2 \times 2,2 \times 24,7 / 120 = 0,54A$$

Время срабатывания ступени дифзащиты от небаланса с учетом отстройки от времен действия любых защит от КЗ в связанных сетях заведомо с запасом примем бс.

|              |
|--------------|
| Подп. и дата |
| Взам. инв. № |
| Инв. № дубл. |
| Подп. и дата |
| Инв. № подл. |

|      |      |          |       |      |
|------|------|----------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|------|------|----------|-------|------|

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шабад М.А.. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. Ленинград, «Энергоатомиздат», 1985.
2. Беркович М.А. и др. Основы техники релейной защиты. М. Энергоатомиздат, 1984.
3. Федосеев А.М. Релейная защита электрических систем. Учебник для вузов. М. «Энергия», 1976.
4. Руководящие материалы по проектированию электроснабжения сельского хозяйства. М. ВГПИ и НИИ «Сельэнергопроект», 1978, декабрь.
5. Руководящие указания по релейной защите, выпуск 13Б. Релейная защита понижающих трансформаторов 110-500 кВ. Расчеты. М. «Энергоатомиздат», 1985.
6. Рекомендации по выбору уставок защит электротехнического оборудования с использованием микропроцессорных устройств концерна ALSTOM, 2000.

|             |              |              |              |              |      |
|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------|
| Ине. № подл | Подп. и дата | Ине. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Лист |
|             |              |              |              |              |      |

ЕАБР.656122.003 Д1

