

Релейная защита и автоматизация ЭЭС

Семестр 8

Тема 3 «Расчет и выбор защит трансформаторов»

Подготовил: ст. преподаватель кафедры ЭГиПП

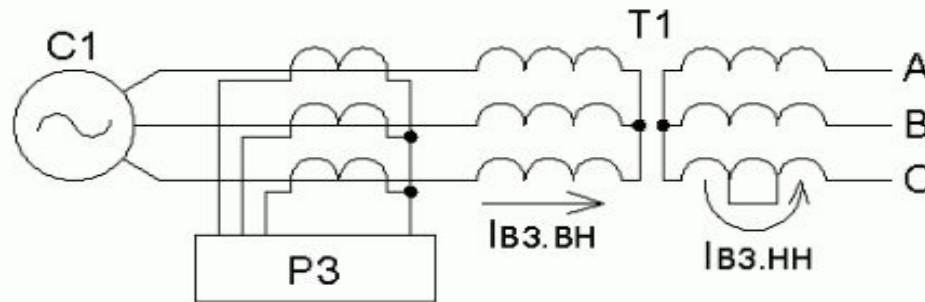
Непша Федор Сергеевич

сот. тел. 8-904-994-25-15

e-mail: nepshafs@gmail.com

Виды внутренних повреждений трансформаторов

- многофазные замыкания в обмотках и на выводах;
- однофазные замыкания в обмотках и на выводах;
- повышение напряжения на неповрежденных фазах (для трансформаторов 110 кВ, работающих в режиме изолированной нейтрали);
- частичные пробои изоляции вводов напряжением 500 кВ и более;
- «пожар» стали магнитопровода.
- витковые замыкания в обмотках;



Виды ненормальных режимов трансформаторов

- прохождение сверхтоков в обмотках при внешних КЗ (однофазные, двухфазные, трехфазные, КЗ на землю);**
- прохождение сверхтоков в обмотках при перегрузках трансформатора (допустимые перегрузки трансформаторов регламентируются п. 5.3.14, 5.3.15 ПТЭЭиС, ГОСТ 14209-85, а также стандартами организаций);**
- понижение уровня масла.**
- отключения принудительной системы охлаждения**

Статистика повреждаемости силовых трансформаторов

На 100 трансформаторов приходится 3-5 повреждений, из них:

- витковая изоляция – 60%.
- отводы – 8%.
- вводы – 7%.
- главная изоляция – 7%.
- магнитопровод – 2%
- прочее



Функции защит трансформаторов и автотрансформаторов

- отключение трансформатора при его повреждении от всех источников питания;
- отключение трансформатора при внешних замыканиях в случае отказа защит или выключателей смежных присоединений;
- подача сообщений дежурному персоналу о возникновении перегрузок или выполнять необходимые операции для их устранения.

Выбор типа защит (согласно требованиям ПУЭ п. 3.2.51-3.2.71)

1. От повреждений на выводах и внутренних повреждениях – токовая отсечка ($S_{тр} < 6,3$ МВА) или продольная дифференциальная защита (ДЗ) ($S_{тр} \geq 6,3$ МВА).

ДЗТ также может быть предусмотрена на трансформаторах с мощностью $1 \text{ МВА} < S_{тр} < 6,3 \text{ МВА}$ в случае если:

- ТО не удовлетворяет требованиям чувствительности, а МТЗ имеет $t_{ср} > 0,5$ с;
- трансформатор установлен в районе, подверженном землетрясениям.

2. От повреждений внутри кожуха, сопровождающихся выделением газа и (или) понижением уровня масла — газовая защита с действием на сигнал и отключение:

- $S_{\text{тр}} \geq 6,3$ МВА;
- для внутрицеховых понижающих трансформаторов $S_{\text{тр}} \geq 630$ кВА;
- $S_{\text{тр}} = (1000 \dots 4000)$ кВА, если отсутствует быстросрабатывающая защита.

Допускается выполнение газовой защиты с действием только на сигнал:

- в районах, подверженных землетрясениям;
- на внутрицеховых понижающих трансформаторах $S_{\text{тр}} \leq 2,5$ МВА, не имеющих выключателей со стороны высшего напряжения.

3. От токов внешних коротких замыканий должны быть установлены следующие защиты с действием на отключение:

□ *МТЗ ($S_{тр} < 1000$ кВА);*

□ *МТЗ, МТЗ с пуском по U , токовая защита обратной последовательности ($S_{тр} \geq 1000$ кВА);*

□ *ДЗ на понижающих автотрансформаторах напряжением 220 кВ и более, если это необходимо по условиям дальнего резервирования.*

4. От возможной перегрузки на трансформаторах ($S_{\text{тр}} \geq 400$ кВА) следует предусматривать максимальную токовую защиту с действием на сигнал или на разгрузку и на отключение.

5. От токов внешних замыканий на землю при наличии заземленной нейтрали ($S_{\text{тр}} \geq 1000$ кВА) устанавливается максимальная токовая защита нулевой последовательности, если это необходимо по условиям дальнего резервирования.

Основные защиты трансформатора

...

Схема токовой отсечки силового трансформатора ($S_{тр} < 6,3 \text{ МВА}$)

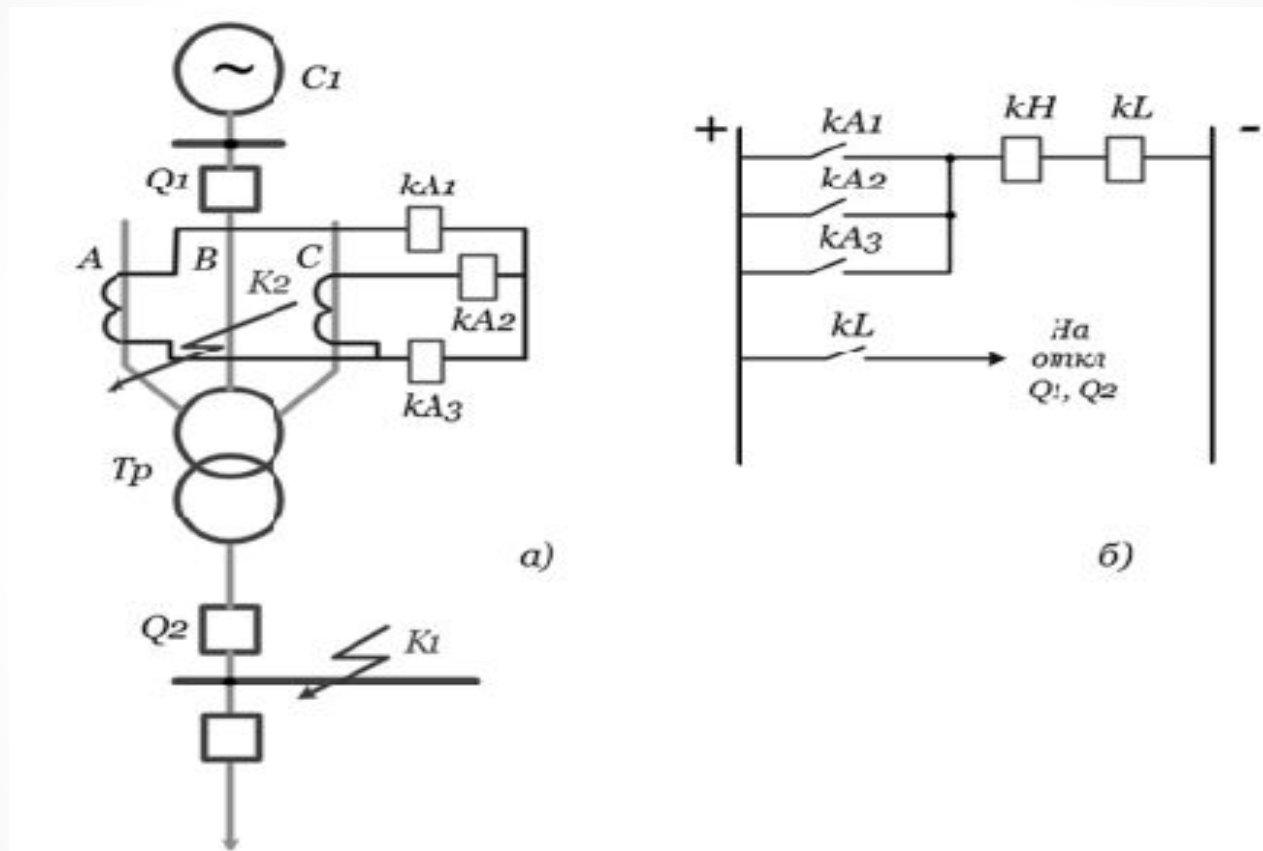


Рис. 1-Схема токовой отсечки трансформатора:
а) цепи переменного тока; б) цепи постоянного тока.

Выбор тока срабатывания ТО

Отстраивается от максимального тока КЗ за трансформатором (точка К1) и броска тока намагничивания:

$$I_{сз} \geq k_n \cdot I_{кз.макс.к1}^{(3)} \quad (1.1)$$

$$I_{сз} > I_{нам} \quad (1.2)$$

$$I_{нам} = 3...5I_{ном} \quad (1.3)$$

$k_n = 1,2-1,6$ – в зависимости от типа реле на котором выполнена токовая отсечка.

Коэффициент чувствительности ТО

Чувствительность отсечки проверяется по току двухфазного короткого замыкания на вводах трансформатора со стороны источника питания, точка К2:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз.мин.к2}}^{(2)}}{I_{\text{сз}}} \geq 2 \quad (1.4)$$

Достоинства и недостатки ТО

Достоинства:

- простота,
- высокое быстродействие.

Недостатки:

- невысокая чувствительность,
- защищает только часть трансформатора.

Продольная дифференциальная защита ($S_{mn} \geq 6,3 \text{ MVA}$)

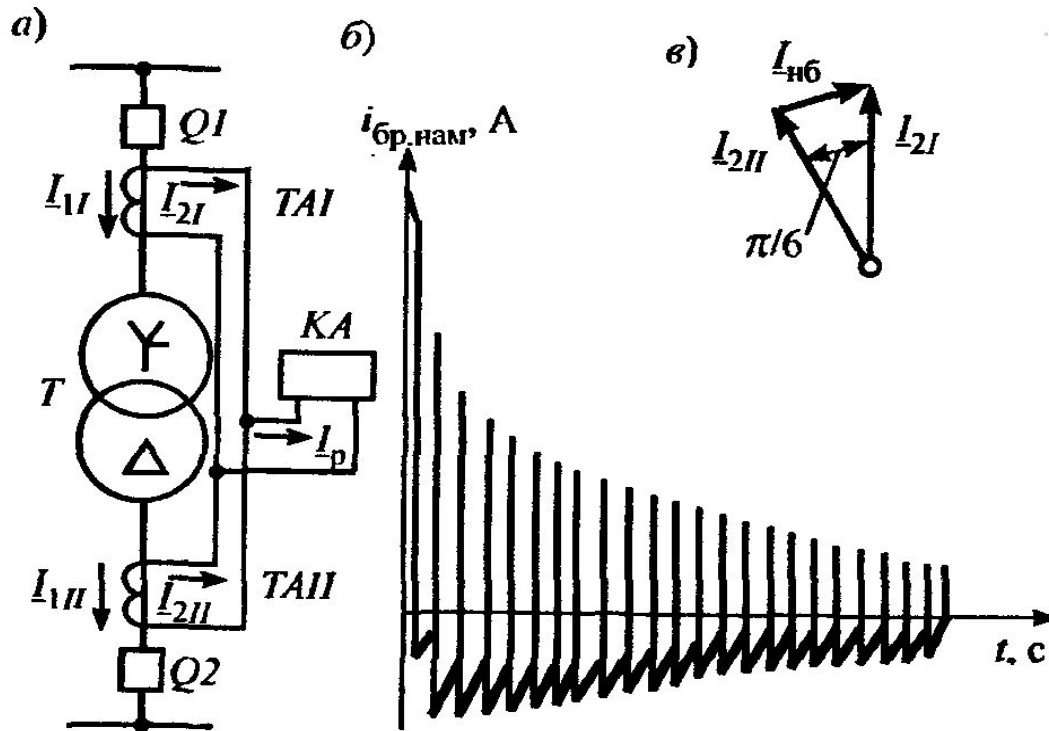


Рис. 2. ДЗТ двухобмоточного трансформатора
а-принципиальная схема, **б**- график изменения тока намагничивания после включения, **в** – векторная диаграмма вторичных токов ТТ

Причины, приводящие к увеличению тока срабатывания ДЗТ

1. Бросок тока намагничивания трансформатора (при включении).

Способы отстройки:

- принять $I_{с.з.} \geq I_{нам. макс.}$
- ввести замедление в действие защиты на время броска тока намагничивания.
- использовать признак наличия апериодической составляющей в токе намагничивания.
- идентифицировать момент включения по наличию второй гармоники.

2. Неодинаковость вторичных токов защиты с разных сторон защищаемого трансформатора.

Например, для трансформатора 25 МВА 115/10,5 кВ номинальные первичные токи равны (А):

$$I_{BH(перв).НОМ.} = \frac{25000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 126 \text{ А} \quad I_{HH(перв).НОМ.} = \frac{25000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 1370 \text{ А}$$

$$I_{BH(втор).НОМ.} = \frac{126}{150/5} = 4,2 \text{ А} \quad I_{HH(втор).НОМ.} = \frac{1370}{1500/5} = 4,57 \text{ А}$$

$$I_{НБ} = I_{BH(втор).ном} - I_{HH(втор).ном} = 0,37 \text{ А}$$

Ток небаланса связанный с неточностью выравнивания
ТОКОВ:

$$I_{нб.вр} = (\Delta f_{вр} / 100)(I_{к.вн.мах}^{(3)} / K_I) \quad (1.5)$$

Погрешность от неточности при выравнивании токов

$$\Delta f_{вр} = [(I_{2I} - I_{2II}) / I_{2I}] 100 \quad (1.6)$$

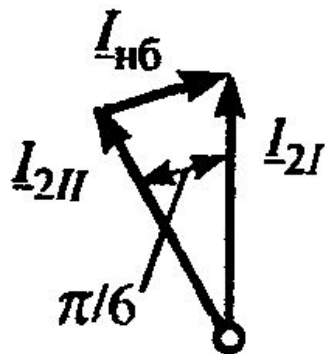
3. Наличие РПН у защищаемого трансформатора.

$$I_{\text{нб.рег}} = (\Delta U_{\text{рег}} / 100)(I_{\text{к.вн max}}^{(3)} / K_I). \quad (1.7)$$

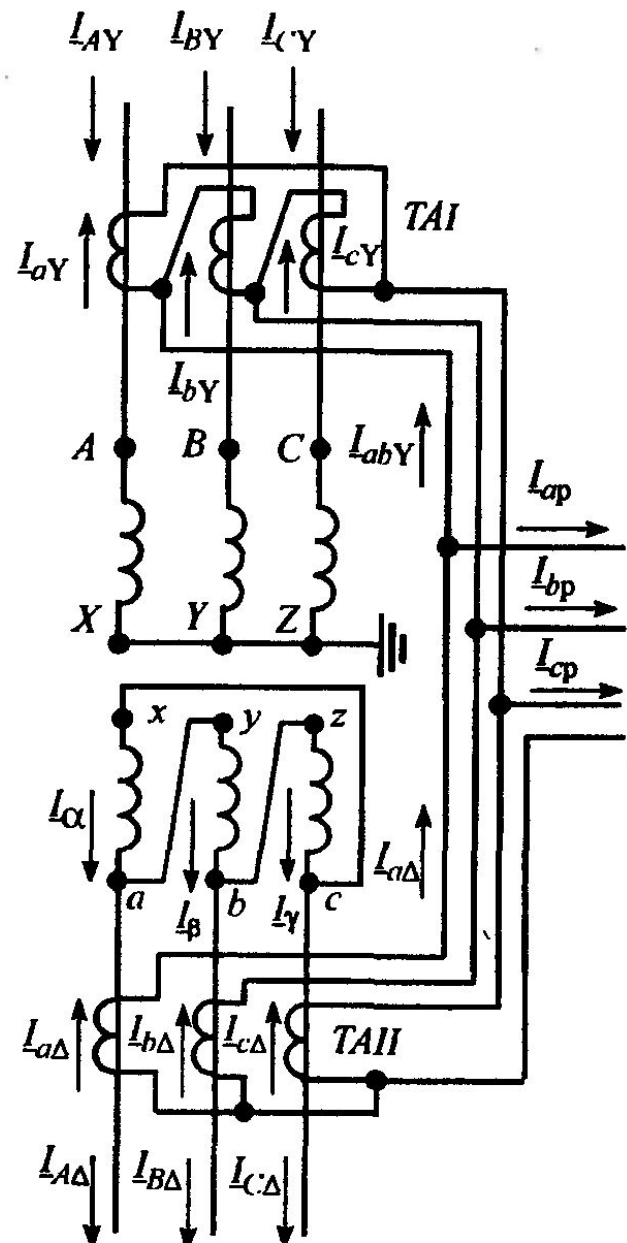
4. Разнотипность трансформаторов тока

$$I_{\text{нб.пгр}} = (k_{\text{одн}} k_{\text{ап}} \varepsilon / 100)(I_{\text{к.вн max}}^{(3)} / K_I). \quad (1.8)$$

5. Неодинаковость схем соединения обмоток силового трансформатора



$$\left. \begin{aligned} \underline{I}_{A\Delta} &= n_T (\underline{I}_{AY} - \underline{I}_{BY}) / \sqrt{3}; \\ \underline{I}_{B\Delta} &= n_T (\underline{I}_{BY} - \underline{I}_{CY}) / \sqrt{3}; \\ \underline{I}_{C\Delta} &= n_T (\underline{I}_{CY} - \underline{I}_{AY}) / \sqrt{3}. \end{aligned} \right\}$$



Суммарный ток небаланса ДЗТ

$$\begin{aligned} I_{\text{нб.рсч макс}} &= I_{\text{нб.пгр}} + I_{\text{нб.рег}} + I_{\text{нб.вр}} = \\ &= [(k_{\text{ап}} \varepsilon + \Delta U_{\text{рег}} + \Delta f_{\text{вр}}) / 100] (I_{\text{к.вн макс}}^{(3)} / K_I). \end{aligned}$$

При максимальных

$$\Delta U_{\text{рег}} = \pm 16\%, \varepsilon = 10\%, \Delta f_{\text{вр}} = 5\% \text{ и } k_{\text{ап}} = 2,0$$

$$I_{\text{нб.рсч макс}} = 0,41 I_{\text{к.вн макс}}^{(3)} / K_I.$$

Выбор тока срабатывания ДЗТ

По броску тока намагничивания

$$K_{в.} \leq k_{отс} \cdot I_{нб\text{ рсч}} \cdot k_{рсч} I_{\max} =_{отс} \cdot_{нб\text{ рсч}} \max 1, \quad (1.9)$$

По суммарному току небаланса

$$I_{в.} \leq k_{отс} \cdot I_{т\text{ ном}}, \quad (1.10)$$

где $k_{отс} = 0,4 \dots 4$

Если $I_{с.з.}$ по суммарному току небаланса наибольший и $k_{ч} < 2$, то применяются дифференциальные защиты с торможением.

Схемы дифференциальной защиты трансформаторов

1. Дифференциальная токовая отсечка (РТ-40).
2. Дифференциальная токовая защита с промежуточными быстронасыщающимися трансформаторами тока, реле РНТ-565
3. Защита с реле, имеющими торможение, ДЗТ-11

Дифференциальная токовая отсечка (РТ-40)

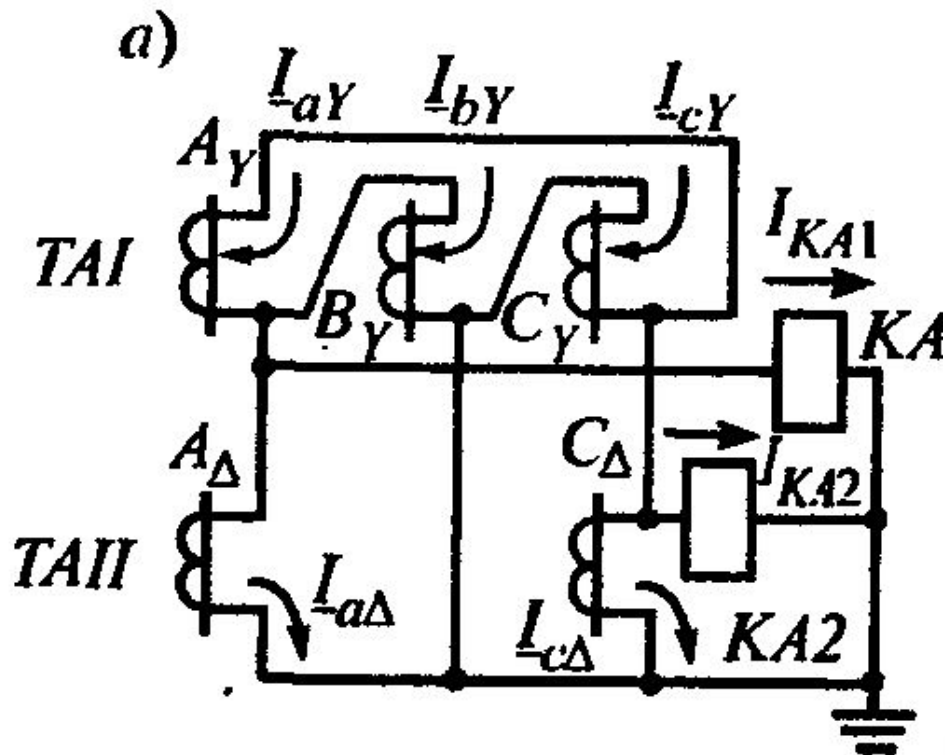
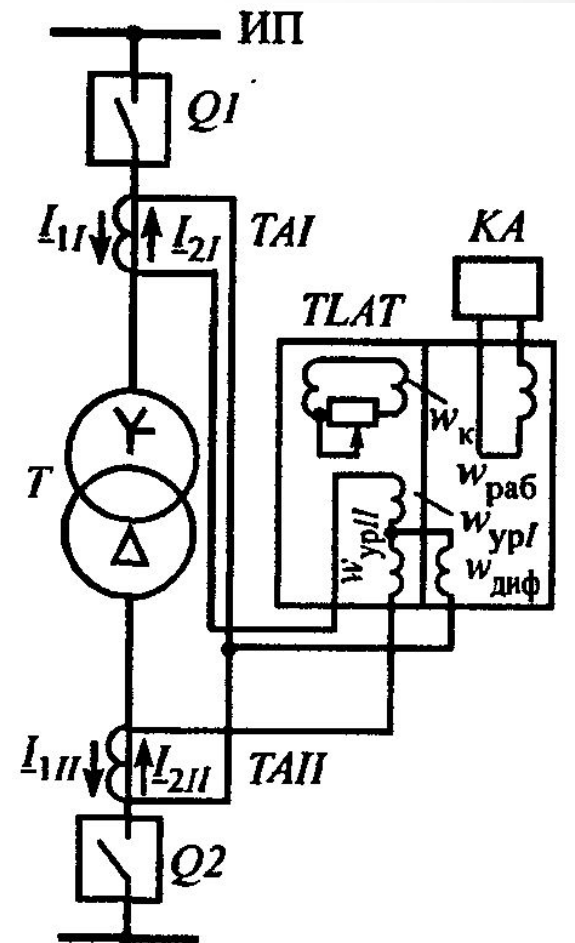


Рис. 3. Схема дифференциальной токовой отсечки

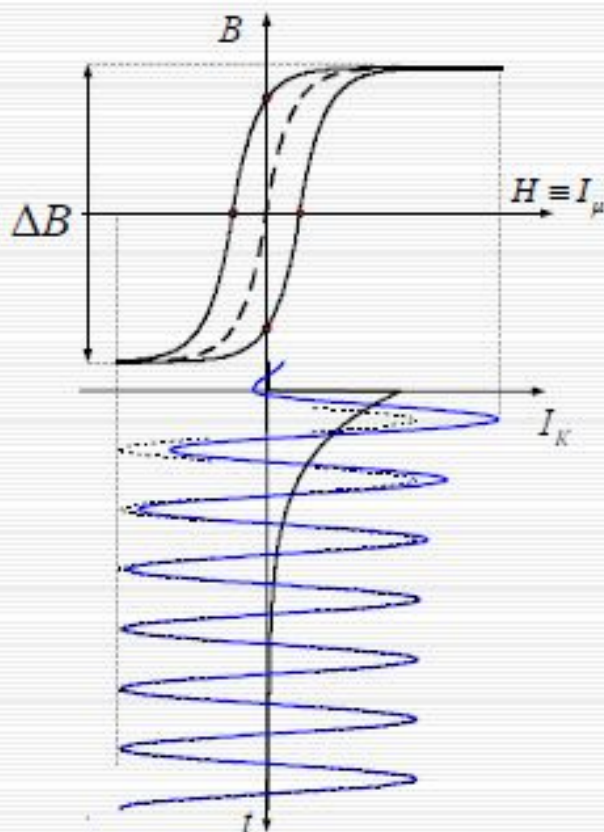
Дифференциальная защита трансформатора на реле РНТ-565

Принцип торможения реле РНТ-565:

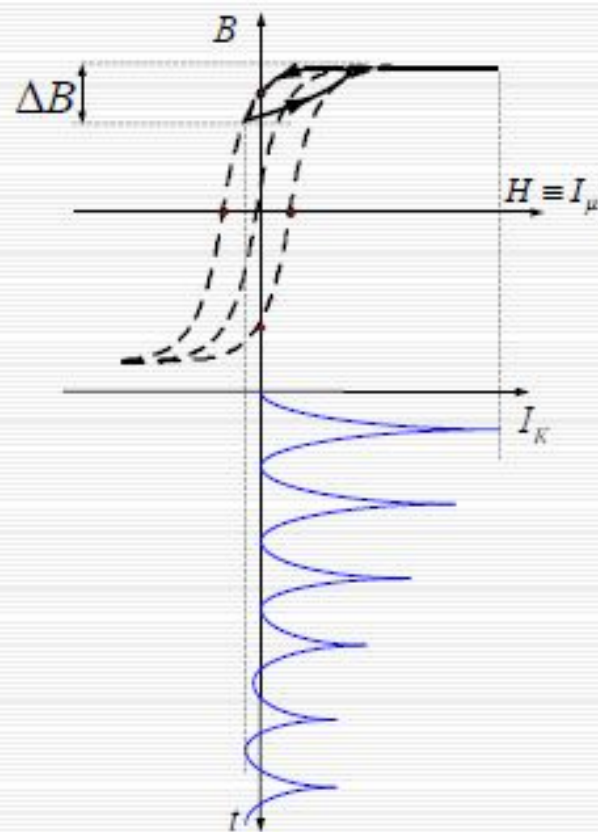
1. В токе появляется апериодическая составляющая;
2. Магнитопровод БНТ сильно насыщается. Сопротивление ветви намагничивания резко падает. Весь первичный ток замыкается через эту ветвь. Чувствительность защиты уменьшается.
3. Нормальная работа БНТ восстанавливается, как только исчезает апериодическая составляющая.
4. При синусоидальном токе БНТ не оказывает влияния на работу реле.



Принцип действия БНТ (процессы перемагничивания)

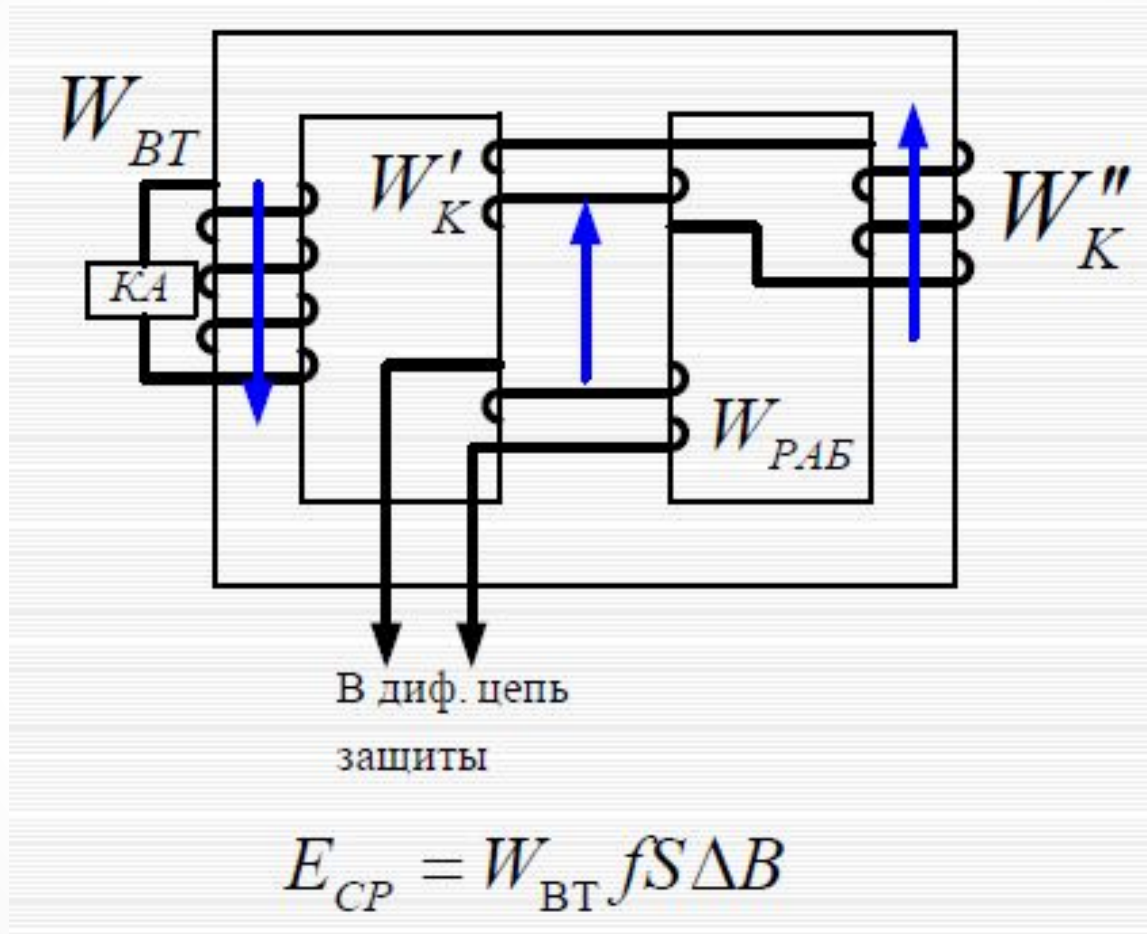


При КЗ в защищаемой зоне

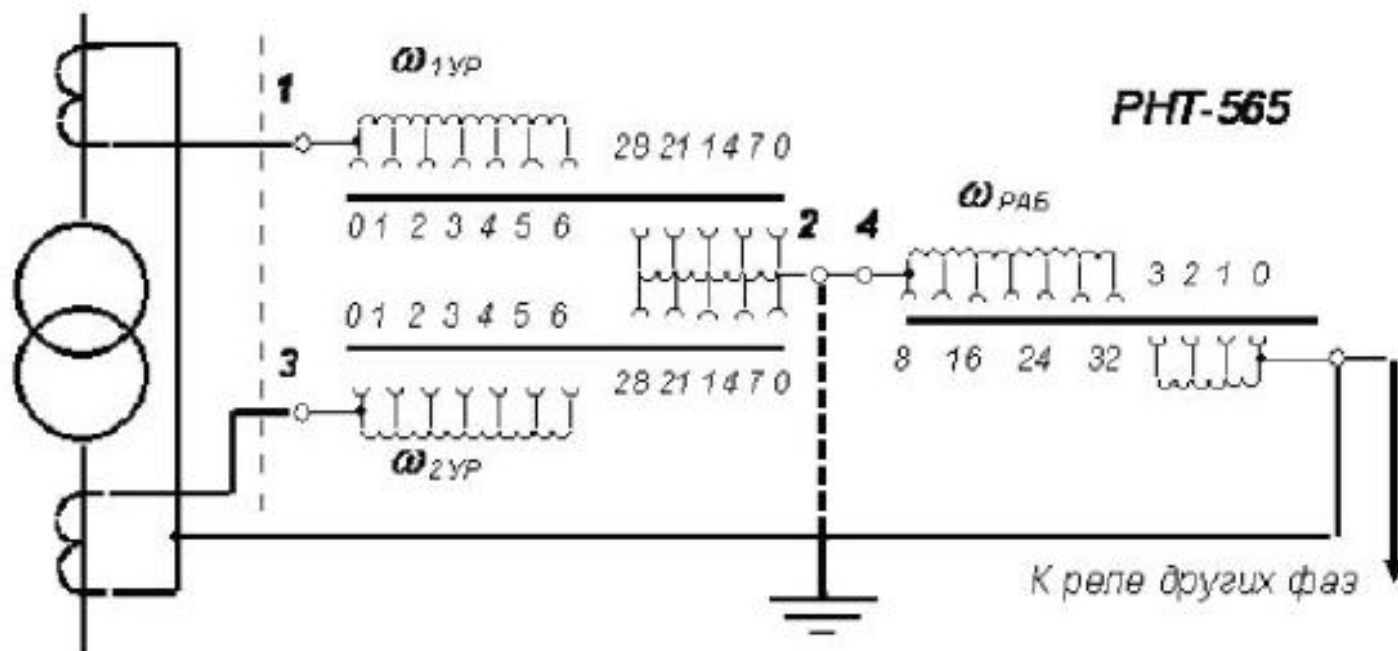


При включении под напряжение

Принцип выполнения реле РНТ-565



Принципиальная схема токовых цепей дифференциальной защиты трансформатора с реле РНТ-565



$W_{1ур}$, $W_{2ур}$ – уравнивательные обмотки реле;

$W_{раб.}$ – рабочая обмотка реле.

Достоинства и недостатки защиты на РНТ-565

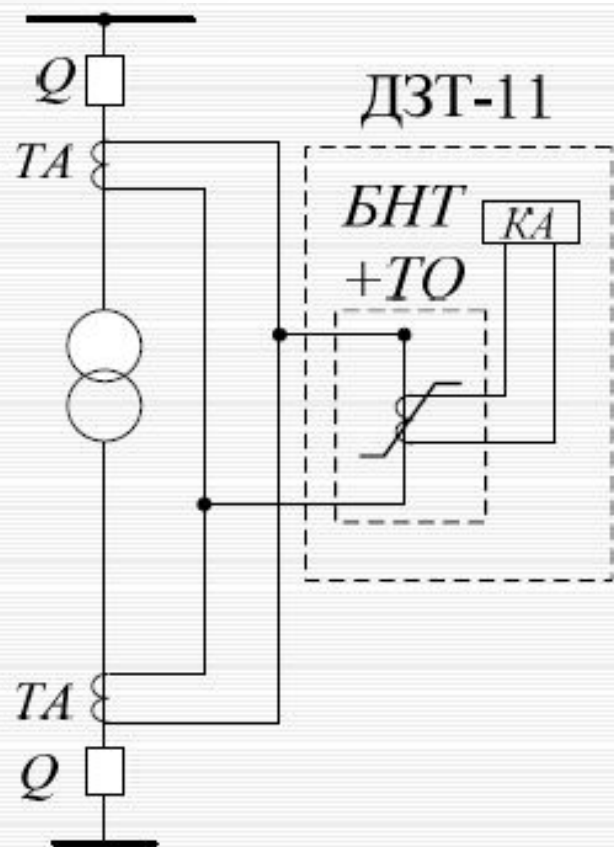
Достоинства защиты:

- Обеспечивает достаточную чувствительность защиты к токам КЗ.
- Обеспечивает минимальный ток небаланса

Недостатки:

- Минимум тока небаланса достигается только в среднем положении РПН

Дифференциальная токовая защита с реле, имеющими торможение (ДЗТ-11)



В тормозных обмотках создается дополнительный поток, который насыщает сталь сердечника и загроубляет защиту.

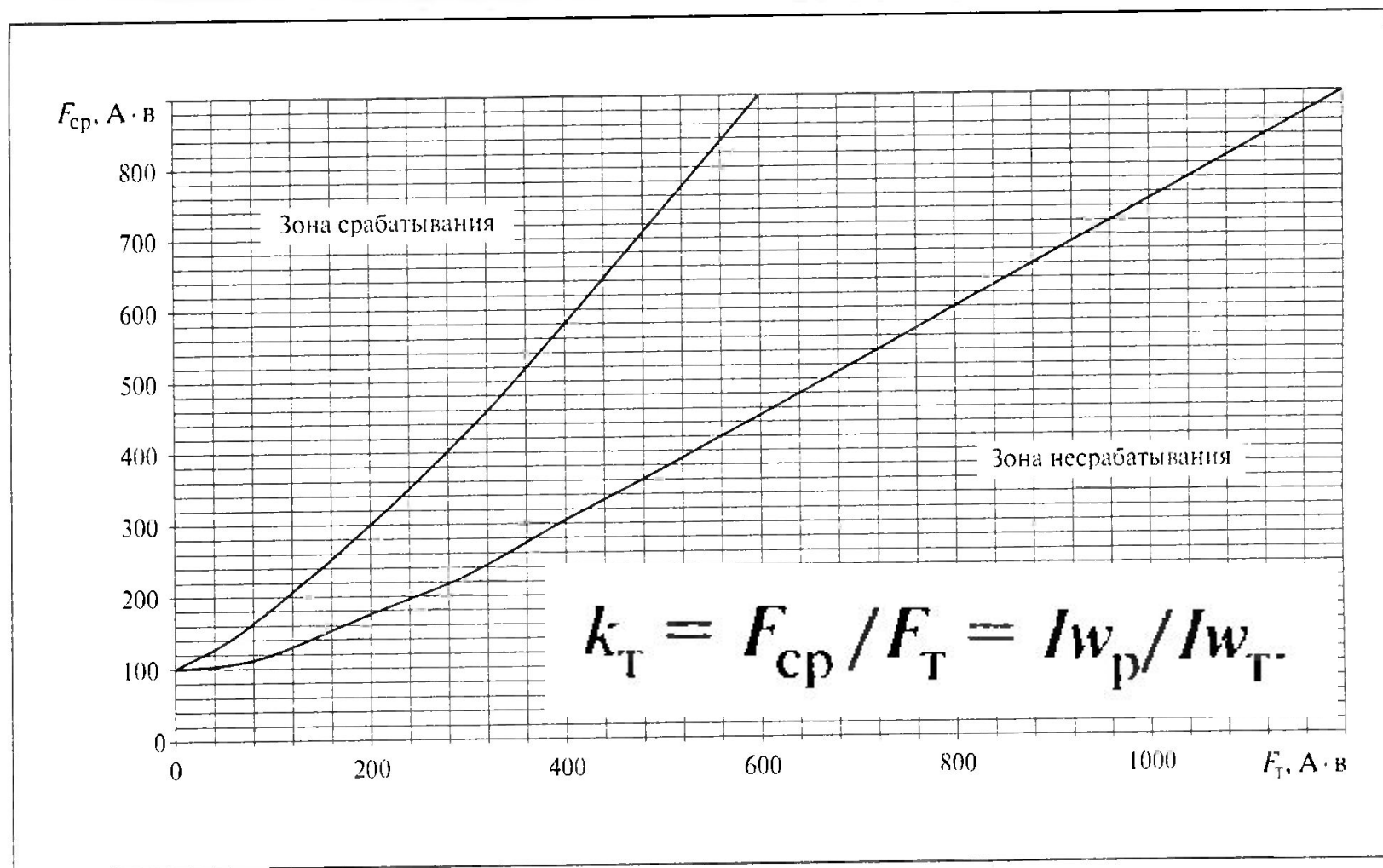
$$I_{сз} = (1 \div 1,5) I_{Тном}$$

Характеристика реле тока с торможением

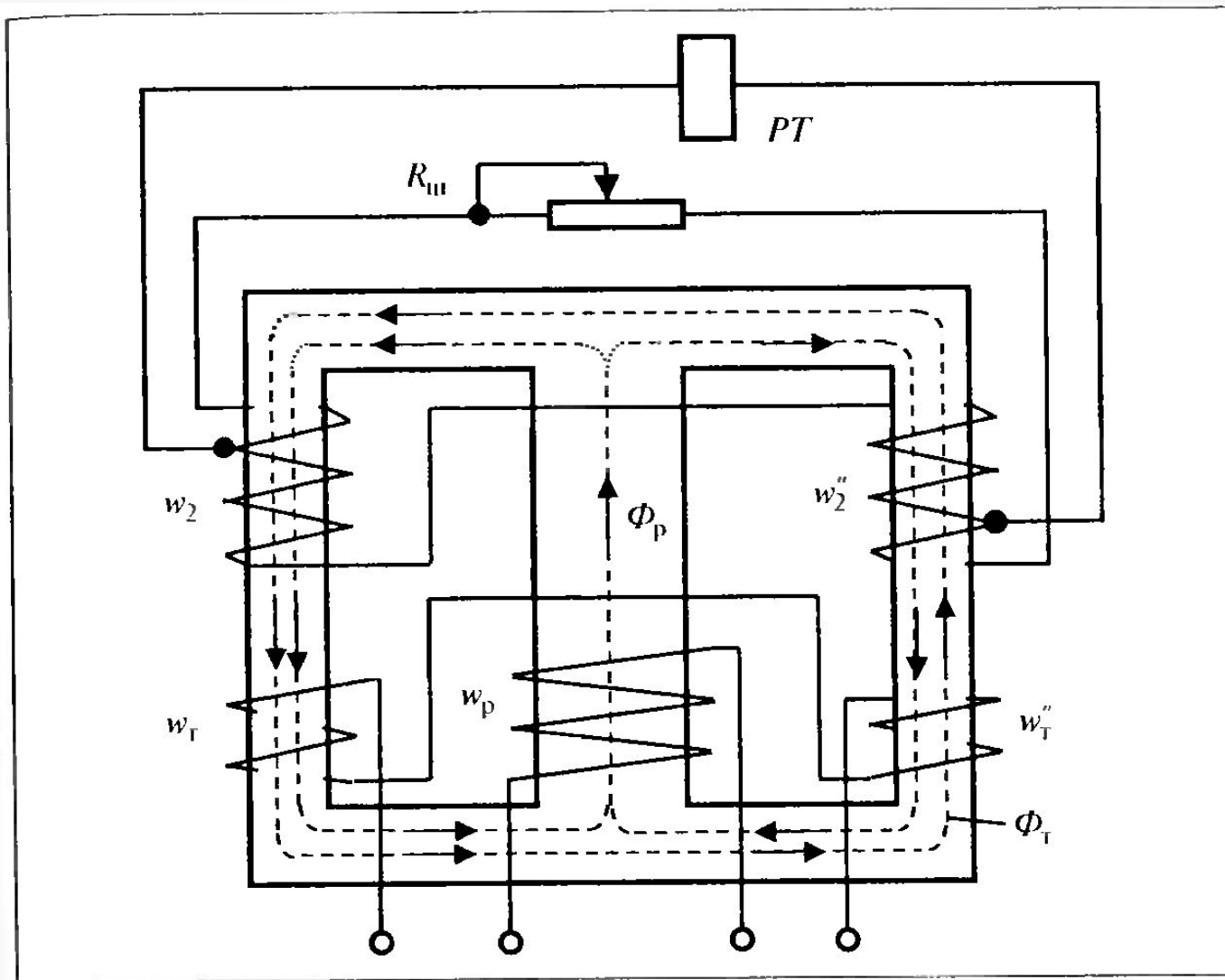


Рис. 17. Характеристика реле тока с торможением

Тормозная характеристика реле ДЗТ - 11



Принцип выполнения реле ДЗТ-11



Литература по ДЗТ

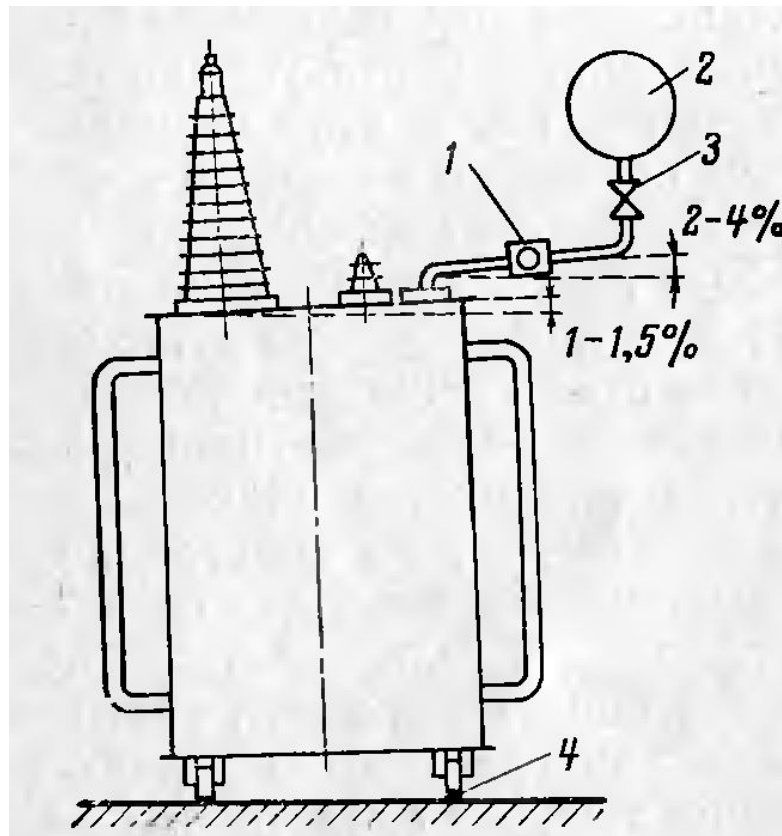
1. Овчинников В. В., Удрис А. П. Реле РНТ и ДЗТ в схемах дифференциальных защит. Часть 1. Устройство и конструкция. – М.:НТФ «Энергопрогресс», 2004. – 88 с.; ил. [Библиотечка электротехника, приложение к журналу «Энергетик». Вып. 11(71)].
2. Овчинников В. В., Удрис А. П. Реле РНТ и ДЗТ в схемах дифференциальных защит. Часть 2. Принципы расчета уставок и тех. обслуживание. – М.:НТФ «Энергопрогресс», 2004. – 88 с.; ил. [Библиотечка электротехника, приложение к журналу «Энергетик». Вып. 11(71)].

Газовая защита (ГЗ)

Газовая защита устанавливается на трансформаторах и АТ с масляной системой охлаждения.

Принцип действия защиты основан на том, что при любом, даже незначительном повреждении обмоток, за счет выделяющегося тепла происходит разложение масла. Разложение масла сопровождается выделением газа, интенсивность выделения которого зависит от тяжести повреждения.

Схема монтажа газовой защиты

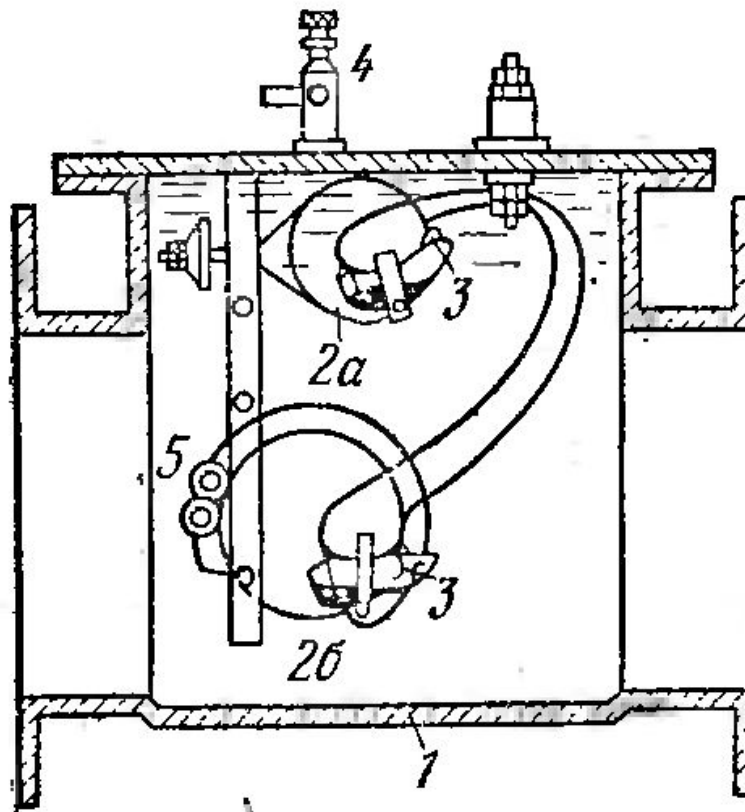


1 - газовое реле; 2 - расширитель, 3 - кран в трубопроводе, 4 - подкладка под катки.

Виды газовых реле

- поплавковые (BF-80/Q, РГТ-80, ПГЗ-22)
- лопастные (используются за рубежом)
- с чашкообразными элементами (РГЧЗ-66)

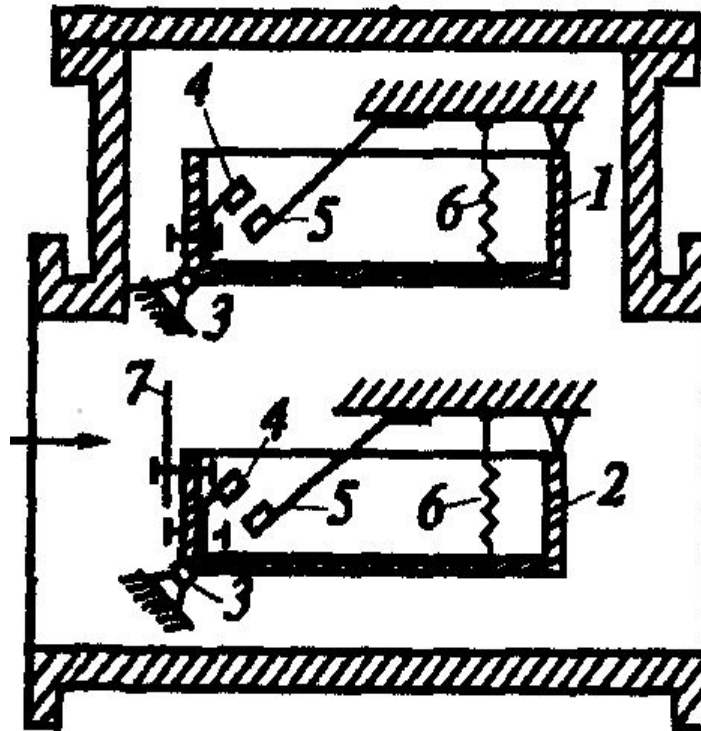
Устройство поплавкового газового реле (ПГЗ-22)



1 – чугунный кожух, 2а,2б – подвижные поплавки, 3 – ртутные контакты

Реле с чашкообразными элементами (РГЧЗ-66)

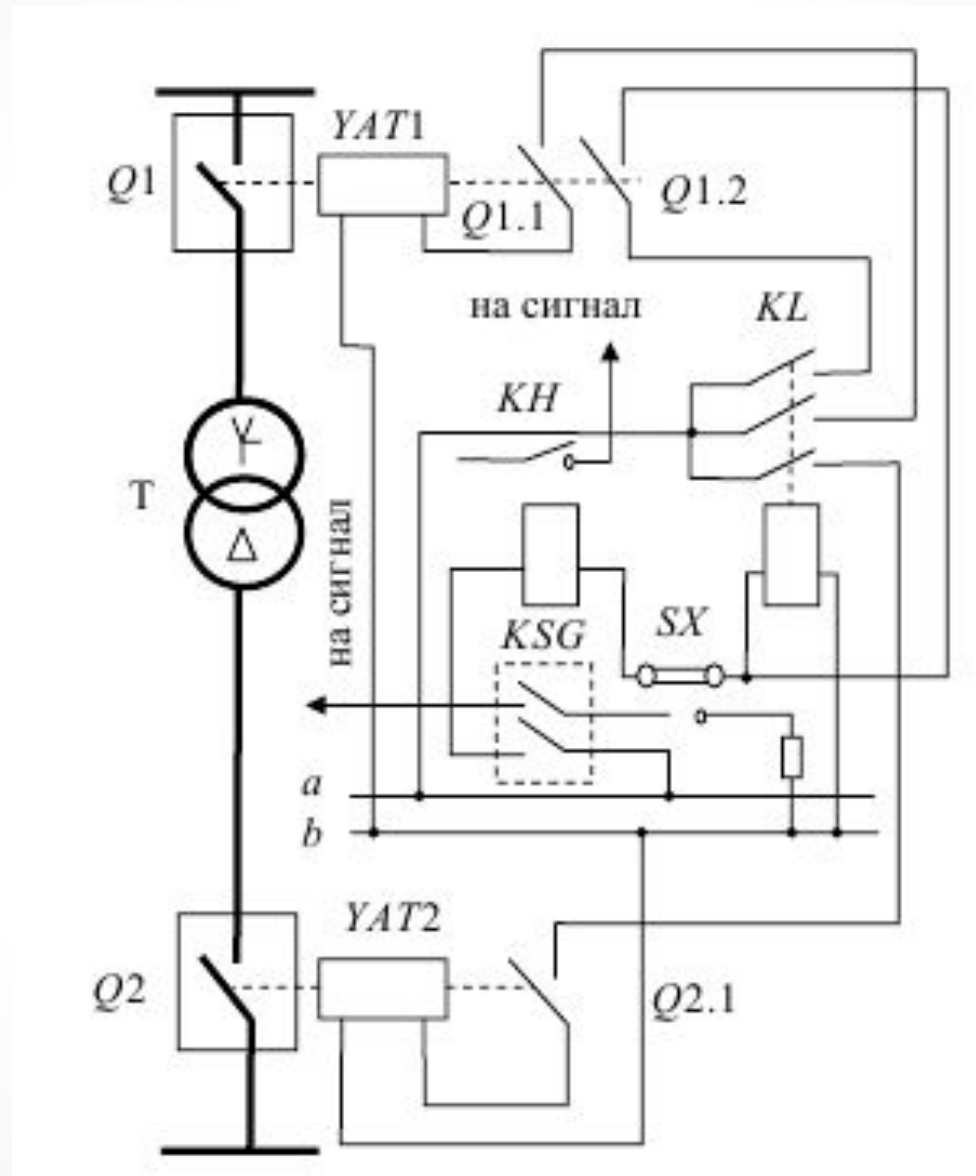
$$v_{cp} = 0,6; 0,9; 1,2 \text{ м/с}$$



$$t_{c.p} \geq 0,05 \dots 0,5 \text{ с}$$

1,2 – чашкообразные элементы, 3 – ось вращения, 4 – подвижные контакты, 5 – неподвижные контакты, 6 – пружина, 7 – лопасть

Схема газовой защиты



Газовая защита переводится на сигнал в следующих случаях:

- при проверке газовой защиты;
- при неисправности газовой защиты;
- при неисправностях масляной системы или других элементов трансформатора,
- при доливке масла, если его уровень оказывался ниже газового реле;
- при временных взрывных работах вблизи места установки трансформатора.

Действия при работе ГЗ на сигнал

При срабатывании газовой защиты на сигнал:

- трансформатор должен быть немедленно отключен;
- внешний осмотр трансформатора, произвести отбор проб газа из газового реле, отбор масла;
- возможность ввода в работу трансформатора определяется на основании результатов анализа газа, масла, измерений и испытаний.

Достоинства и недостатки ГЗ

Достоинства газовой защиты:

- высокая чувствительность и реагирование практически на все виды повреждения внутри бака;
- сравнительно небольшое время срабатывания;
- простота выполнения
- способность защищать трансформатор при недопустимом понижении уровня масла по любым причинам.

Недостатки газовой защиты:

- нереагирование на повреждения, расположенные вне бака
- Защита может подействовать ложно при попадании воздуха в бак трансформатора
- возможны ложные срабатывания защиты на трансформаторах, установленных в районах, подверженных землетрясениям

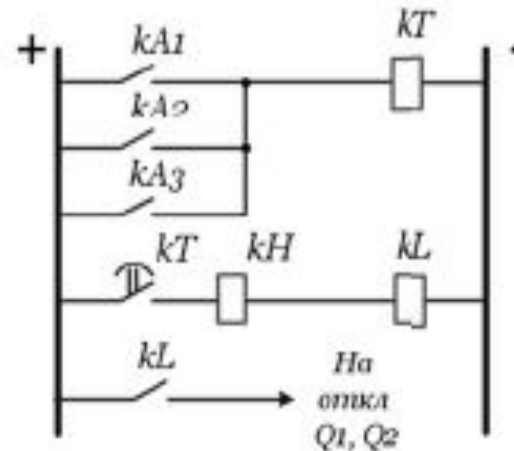
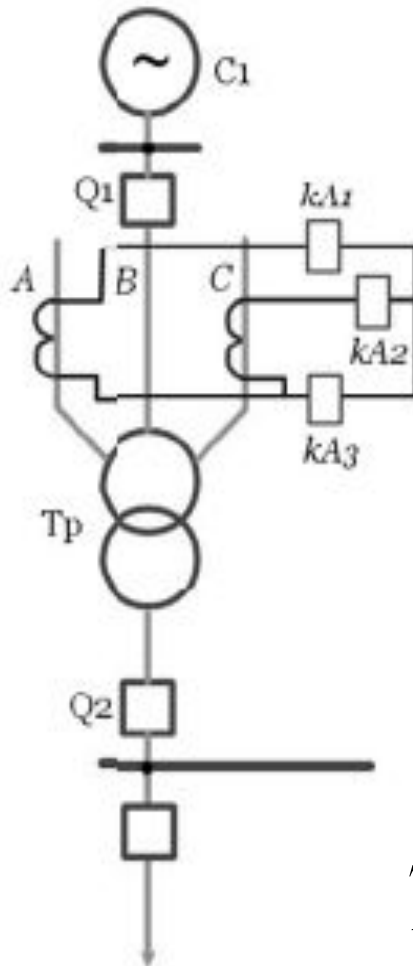
Дополнительная литература

1. РД 153-34.0-35.518-2001. Инструкция по эксплуатации газовой защиты.
2. Сулимова М.И. Газовая защита с реле РГЧЗ-66. М., «Энергия», 1976.

Резервные защиты трансформатора

...

Максимальная токовая защита ($S_{тр} < 1000$ кВА)



МТЗ должна обеспечивать отключение только того выключателя, со стороны которого произошло КЗ.

Для трансформаторов до 6,3 МВА МТЗ является основной защитой.

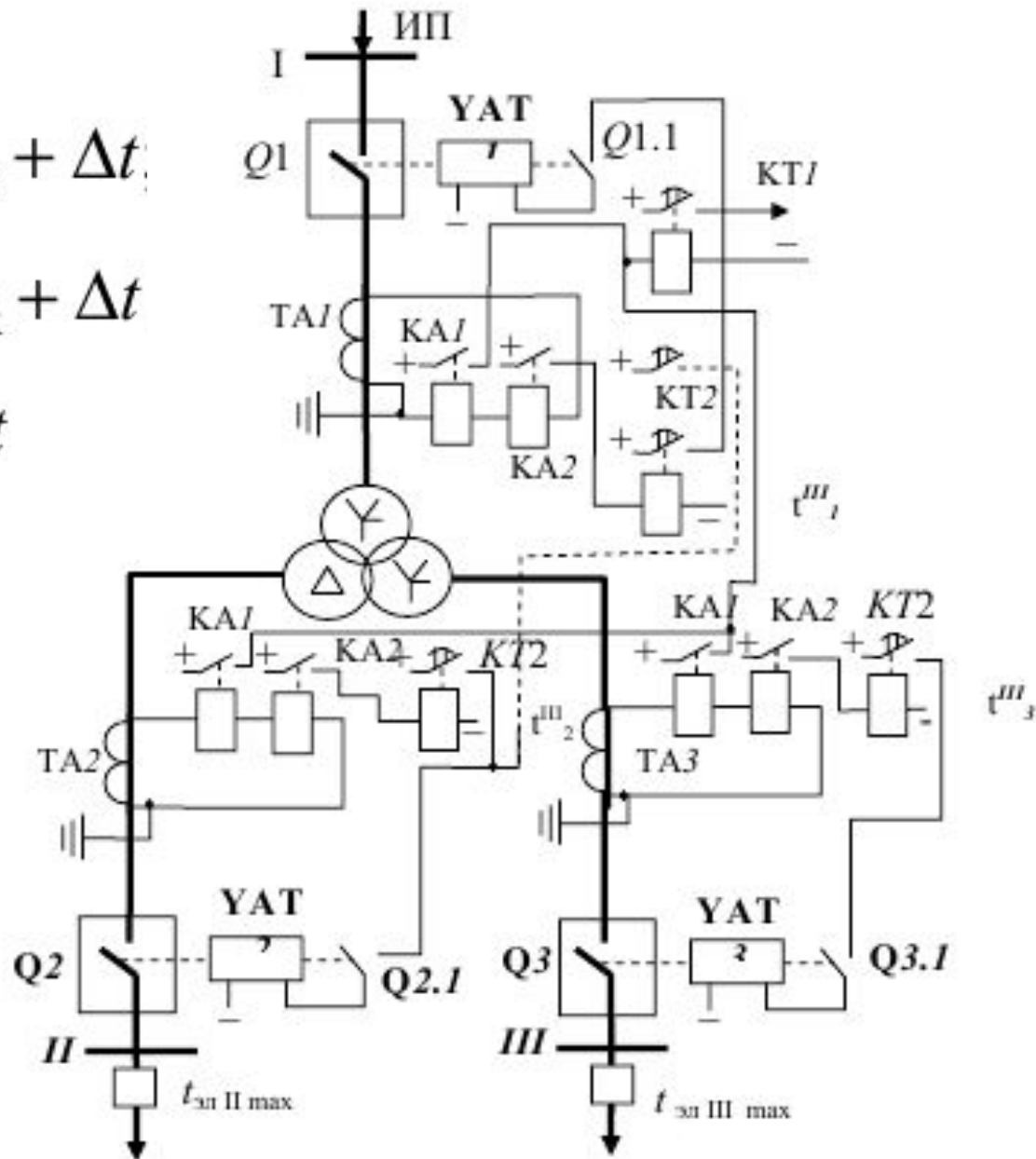
МТЗ трехобмоточного трансформатора

$$t_2''' = t_{эл II max} + \Delta t$$

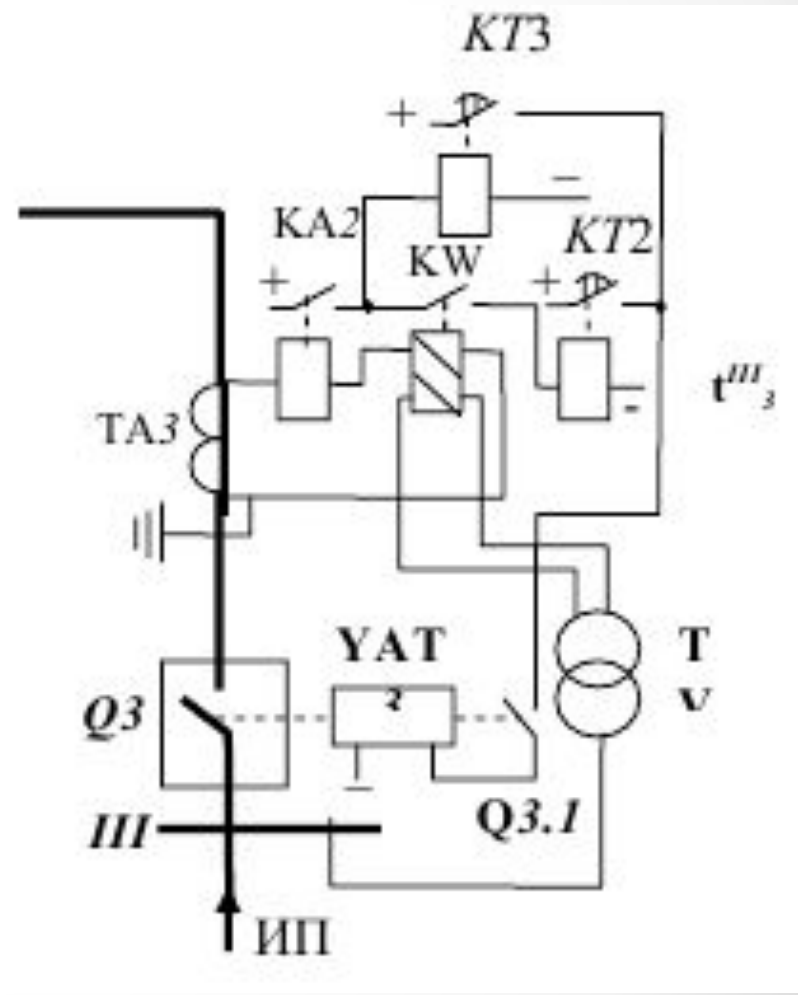
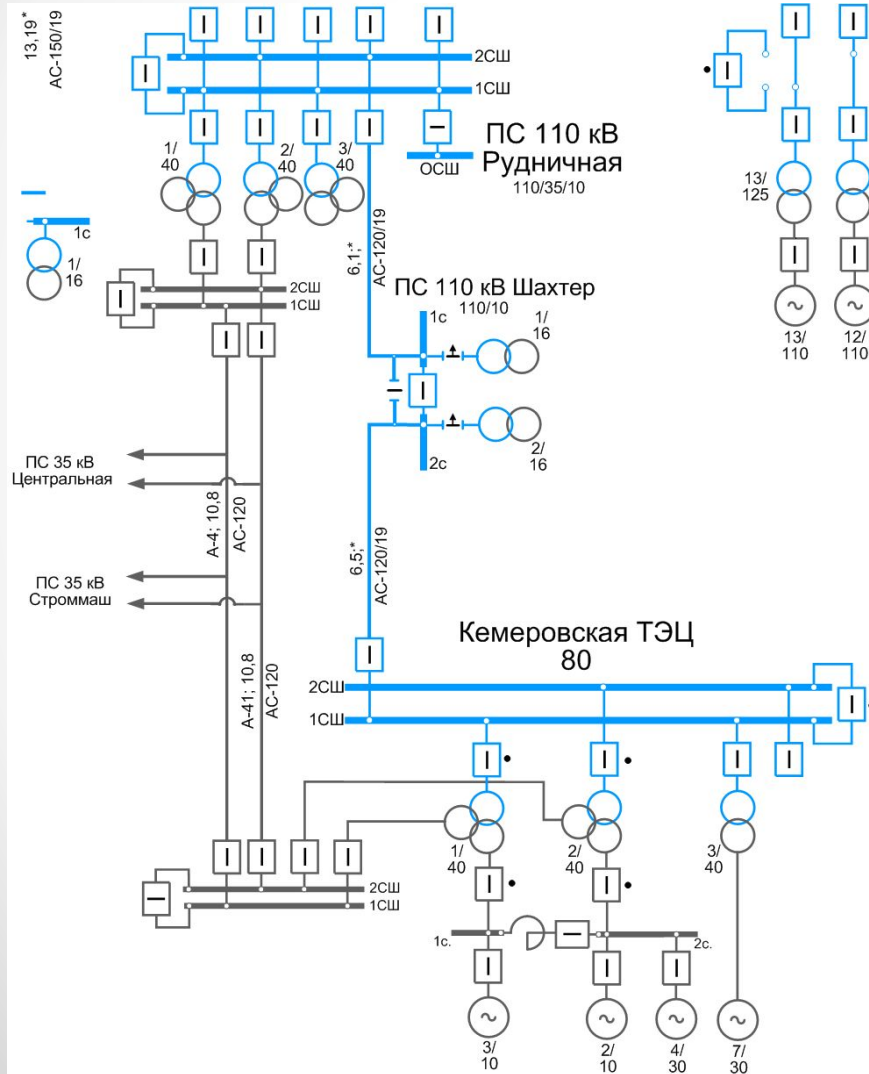
$$t_3''' = t_{эл III max} + \Delta t$$

$$t_1''' \geq t_2''' + \Delta t$$

$$t_1''' \geq t_3''' + \Delta t$$

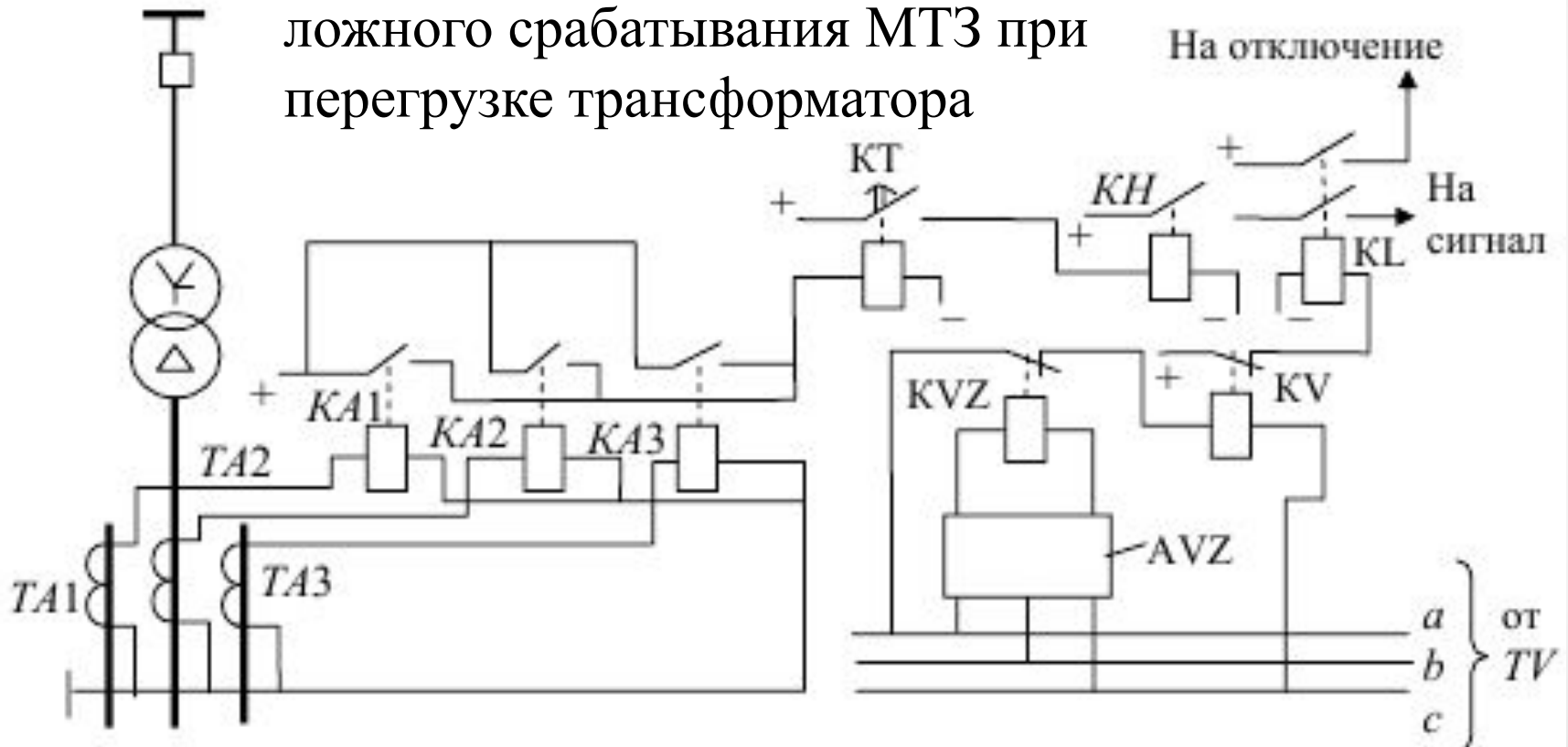


МТЗ на трансформаторах с двухсторонним питанием



МТЗ с комбинированным пуском по напряжению ($S_{тр} > 1000$ кВА)

Применяется для исключения ложного срабатывания МТЗ при перегрузке трансформатора



AVZ - фильтр напряжения обратной последовательности

Уставки срабатывания МТЗ с пуском по U

Уставки по току

по условию отстройки от номинального тока трансформатора:

$$I_{с.з.}''' = K_{отс}''' \cdot I_{н.тр} / K_B$$

по условию согласования с предыдущей защитой:

$$I_{с.з.посл}''' = K_{нс} \cdot I_{с.з.пр}$$

где $K_{отс}''' = 1,2$, а $K_B = 0,8$, $K_{нс} = 1,3$ – коэффициент надежности согласования.

Уставки по напряжению

1. Для минимального реле напряжения KV

-по критерию обеспечения самозапуска после отключения внешнего КЗ

$$U_{с.з} \leq U_{раб.мин} / (K_{отс} \cdot K_B)$$

-по критерию отстройки от напряжения $U_{сзп}$ при УАПВ или УАВР заторможенных двигателей нагрузки

$$U_{с.з} \leq U_{сзп} / K_{отс}$$

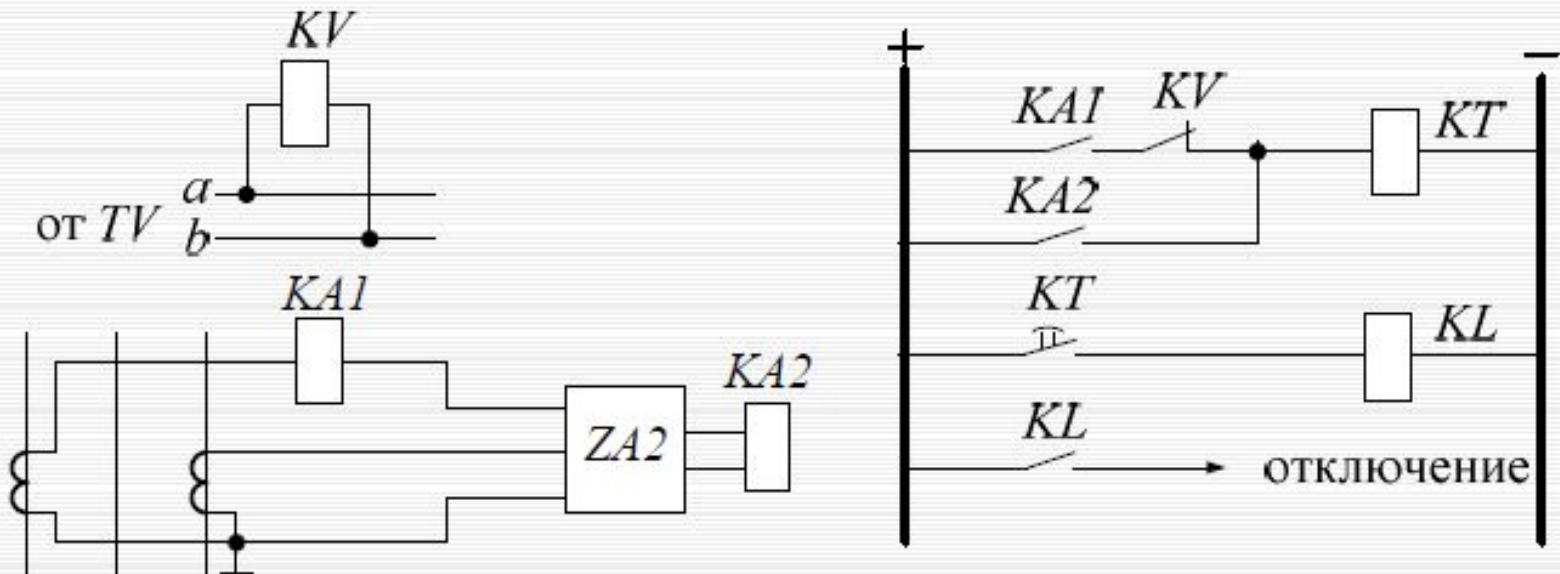
$U_{раб.мин}$ принимают равным $(0,9...0,85) U_H$, а $U_{сзп}$ примерно $0,7 U_H$. $K_{отс}$ и K_B рекомендуется принимать равными 1,2.

2. Для реле напряжения обратной последовательности KVZ

$$U_{2с.з} = 0,06 \cdot U_H = 6 \text{ В.}$$

Токовая защита обратной последовательности ($S_{тр} > 1000$ кВА)

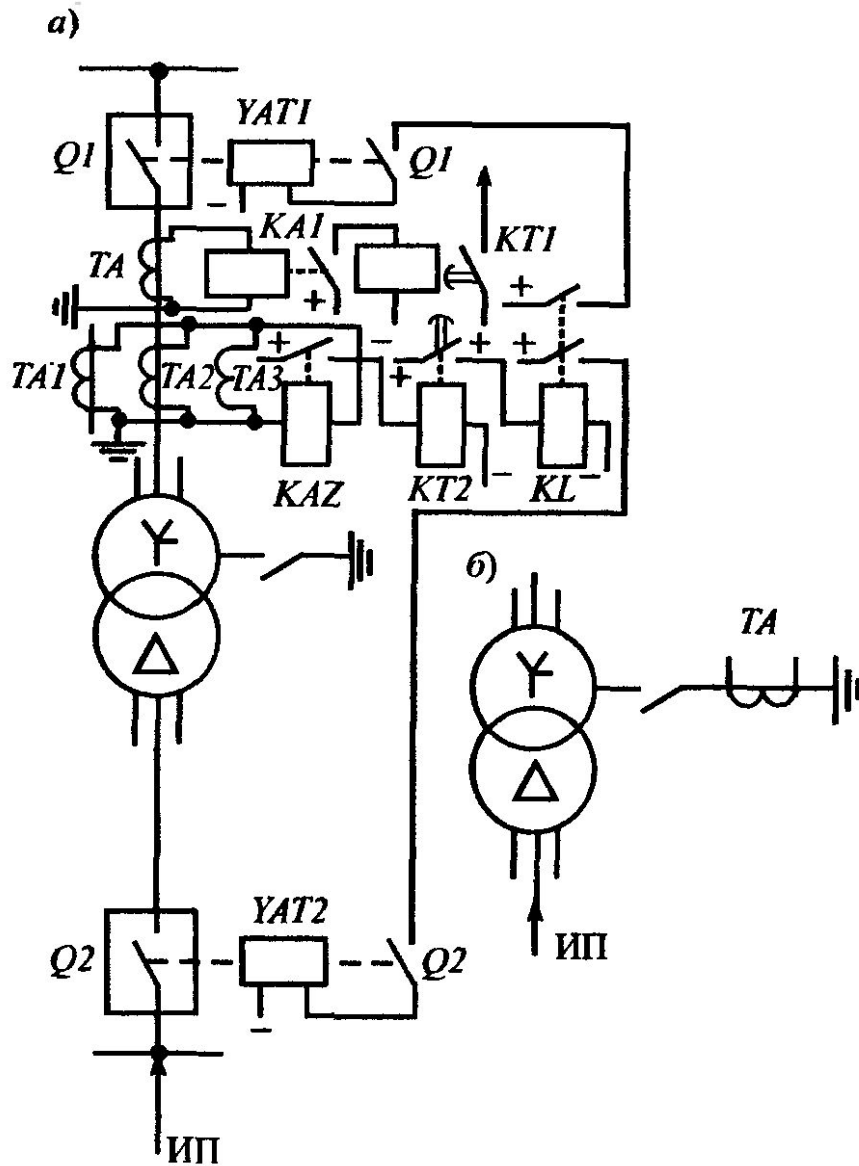
Устанавливается на повышающих трансформаторах и автотрансформаторах для обеспечения дальнего резервирования при несимметричных КЗ.



$$I_{2сз} \geq (0,1 - 0,2) I_{ном}$$

Ток срабатывания защиты отстраивается от тока небаланса протекающего через реле KA2 в максимальном режиме.

Токовая защита нулевой последовательности



$$(t_{с.з}''' = t_{эл.мах} + \Delta t)$$

$$I_{с.з} \cong (0,4 \dots 0,8) I_{н.тр}$$

Защита от возможной перегрузки на трансформаторах

Ток срабатывания реле определяется по выражению:

$$I_{с.р} = (K_{отс} / K_B) (I_{н.тр} / K_A) .$$

Коэффициент $K_{отс}$ учитывает только погрешность в токе срабатывания и принимается равным $K_{отс} = 1,05$.

Структурная схема защиты трансформатора 110-220/6,6-11 кВ $S_{\text{НОМ}} \geq 6,3$ МВА

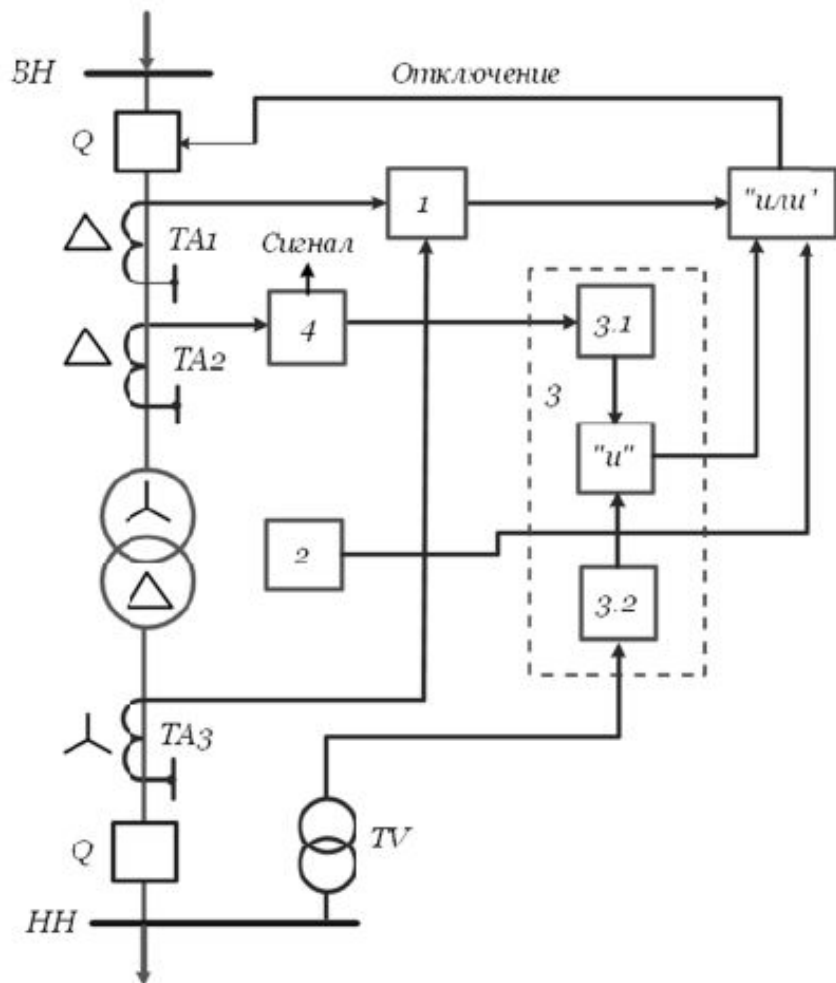


Рис. 4 Схема защиты понижающего трансформатора 110-220/6,6-11 кВ мощностью 6,3 МВА и более:

- 1- ДЗТ,
- 2 – ГЗ,
- 3- МТЗ с блокировкой по U,
- 4 – защита от перегрузки.

Примеры карт уставок силовых трансформаторов

Силовой трансформатор 35/6 кВ

Т-1-16 (Т-2-16)					
Защита	Уставки		Тип реле	Тип Ктт	Технические данные
	I_1/ I_2 (А), U (В)	t (с)			
ДЗТ	494,7/7,14	0	РНТ-565 – 3 шт.	ТФНД-35 600/5 - Δ ТПОФ-10 1500/5 - Y	ТДНС-16000/35 Y/Δ - 11 36,75 кВ ± 9×1,5 % 6,3 кВ 251/1466,3 А U _к = 10,2 % РГт – ВF-80/Q Ø 80 РГр – RS-1000 Ø 25 (251,3/1466,2 А U _к = 10,2 %)
	ТТ-35 заж. 1 ТТ-6 заж. 4 1120 заж. 6 перемычка: 2-4	W _р = 10 вит W _{ур1} = 4 вит R _{кз} = 3 Ом			
МТЗ-35 кВ	430/6,2	2,5	РТ-40/20 – 3 шт. ЭВ-122	ТФНД-35 600/5 - Δ	
ЛЗШ-6 кВ		0			
Перегрузка	314/4,5	9	РТ-40/6 ЭВ-133	ТПОФ-10 1500/5 - Y	
Обдув	1470/4,9	9	РТ-40/6 ЭВ-133		
АПВ		2 (выведено)	РПВ-58		

Силовой трехобмоточный трансформатор 110/35/10

Т-1-40 (Т-2-40)					
Защита	Уставки		Тип реле	Тип Ктт	Технические данные
	I_1/I_2 (А), U (В)	t (с)			
ДЗТ	334,7/1,45	0	ДЗТ-11 – 3 шт.	ТФЗМ-110М 2000/5 - Δ (1000/5 - Y изм., учет) ТВ-35/25 (3000) 1000/5 - Δ ТВЛМ-10 1500/5 - Y	Т-1 РГТ-РГТ-80-201 №5330 уст-0,65 м/с РГр-РСТ-25 №2228 уст-0,9 м/с
	ТТ-110 заж. 8 ТТ-35 заж. 2 ТТ-10 заж. 2 ⊥ заж. 6 перемычки: 3-4, 1-6	$W_{ур1} = 34$ вит $W_{ур2} = 10$ вит $W_p = 35$ вит $W_T = 11$ вит $R_{кз} = 3$ Ом			
ТЗНП	240 /4	$T2_{cp} = 7,1$ Откл В-110 или ОМВ-110	17РВ1 (1шт)	ТВТ-110 300/5	
		$T3_{cp} = 7,6$ откл. тр-ра	17РВ2 (1шт)		
		$T1_{cp} = 6,6$ откл. МШВ-110			
МТЗ-110 кВ с БМН ст. 10 и 35 кВ	231/5 * 330/7,13	4,5	РТ-40/20 - 3 шт. ЭВ-133	400/5 - Δ (защита)	
МТЗ-35 кВ с БМН ст. 35 кВ	624/5,2 * 840/7	3,6-отк. МСВ- 35 кВ 4-откл. ввода 35 кВ 4,5 - откл. тр-ра 0,25 - уск.	КЗ-12 РТ-40/10 ЭВ-132	ТВ-35/20 (600+1500) 600/5 - Y (защита, изм.)	

Продолжение

МТЗ-10 кВ с БМН ст. 10 кВ	2100/7,0	3-откл. ввода 10 кВ 3,5 - откл. тр-ра 0,25 - уск.	РТ-40/10 - 2 шт. ЭВ-132	ТВЛМ-10 1500/5 - Y (защита, изм.)	ТДТН-40000/110 Y/Y/Δ - 0-11 115 кВ ± 9×1,78 % 38,5 кВ ± 2×2,5 % 11 кВ 200,8/600/2100 А U _{B-C} = 10,3 % U _{B-H} = 18,1 % U _{C-H} = 6,88 % РГТ - РГТ-80/2 Ø 80 РГр - RS-1000 Ø 25 (U _{B-C} = 10 % U _{B-H} = 17,8 % U _{C-H} = 6,98 %)	
БМН ст. 35 кВ	21000/60 7000/20		РН-54/160 РНФ-1М	ЗНОМ-35		
БМН ст. 10 кВ	6000/60 2000/20		РН-54/160 РНФ-1М	2 НОМ-10		
ЗМН-35 кВ	25 (-U _ш) 65 (+U _ш)	8,3	РН-53/60Д-2 шт. РН-54/160 РВ-142	ЗНОМ-35		
ЗМН-10 кВ	25 (-U _ш) 65 (+U _ш)	8,3	РН-53/60Д-2 шт. РН-54/160 РВ-142	НАМИ-10		
Перегрузка 110 кВ	245/5,3	9	РТ-40/6 ЭВ-133	400/5 - Δ		
Перегрузка 10 кВ	1280/4,25	9	РТ-40/10 ЭВ-133	1500/5 - Y		
Обдув	110 кВ	210/4,5	9	РТ-40/6		400/5 - Δ
	10 кВ	2100/7		РТ40/10		1500/5 - Y
АПВ-35 кВ		1 - введено	РПВ-58			
АПВ-10 кВ		1 - выведено	РПВ-58			
АРКТ	Задержка по времени, с	180	АРТ-1Н БАР	ТВ-110/600 400/5 - Δ ЗНОМ-35		
	По напряжению, В	37000/105,5				
	Зона нечувствит., %	2,5				
	Блок. по U ст.35 кВ, В	50	РН-54/160			
	Блок. по I ст.110 кВ, А	401,6/8,65	РТ-40/10			
	Блок. при застрев., с	20	ВС-10-31			
Токовая компенсация	выведена	ДТ				

Благодарю за внимание!
...