

О стандартизации требований к трансформаторам тока и быстродействующим устройствам релейной защиты в переходных режимах коротких замыканий





Ноябрь 2022

## НОВЫЕ СТАНДАРТЫ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ГОСТ Р (окончательная редакция)

Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы

#### РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА

Методические указания по определению параметров электромагнитных трансформаторов тока для обеспечения правильного функционирования релейной защиты в переходных режимах

Настоящий проект стандарта не подлежит применению до его утверждения ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ГОСТ Р (окончательная редакция)

Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы

#### РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА

Требования к работе устройств релейной защиты линий электропередачи классом напряжения 110 кВ и выше в переходных режимах, сопровождающихся насыщением трансформаторов тока

Настоящий проект стандарта не подлежит применению до его утверждения

Москва

2022

Москва 2022





## новые стандарты

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ **FOCT P** 

(проект, первая редакция)

ТРАНСФОРМАТОРЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ

Часть 2

Технические условия на трансформаторы тока

(IEC 61869-2:2012, NEQ)

Настоящий проект стандарта не подлежит применению до его утверждения

> Москва 2021

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ГОСТ Р 58669— 2019

Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА.
ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ИНДУКТИВНЫЕ С ЗАМКНУТЫМ МАГНИТОПРОВОДОМ ДЛЯ ЗАЩИТЫ

Методические указания по определению времени до насыщения при коротких замыканиях

Издание официальное



москва Стандартинфорн 2020





## **ЗАДАЧА**

В руководящих документах по обеспечению правильного функционирования УРЗ не учтено различие требований к ТТ без немагнитного зазора и с немагнитным зазором при КЗ в зоне и вне зоны действия.

Требуется анализ положений, выдвинутых в проектах стандартов, относящихся к характеристикам, а также к методикам выбора ТТ для релейной защиты и испытаний быстродействующих УРЗ в переходных режимах КЗ с наличием в токе апериодической составляющей.





### В проекте ГОСТ Р МУ по выбору ТТ:

1. Не учитываются разные режимы КЗ для разных типов защит.

В стандарте  $K_{\text{ном}}$  ТТ определяется при наибольшем значении тока КЗ через ТТ. Данное условие для некоторых типов защит (например, для ДЗ) не является наихудшим.

Для выбора наихудшего режима предлагается рассматривать следующие расчетные условия относительно типа защиты:

#### Токовые защиты:

- близкое КЗ в зоне действия ТО и первой ступени ТНЗНП;
- близкое КЗ «за спиной» ТО и первой ступени ТНЗНП.

#### Дистанционные защиты:

- близкое КЗ в зоне действия первой ступени ДЗ;
- близкое КЗ «за спиной» первой ступени ДЗ;
- удаленное КЗ в конце зоны действия первой ступени ДЗ.

#### Дифференциальные токовые и дифференциально-фазные защиты:

- близкое КЗ в зоне действия защиты;
- близкое КЗ вне зоны действия защиты.





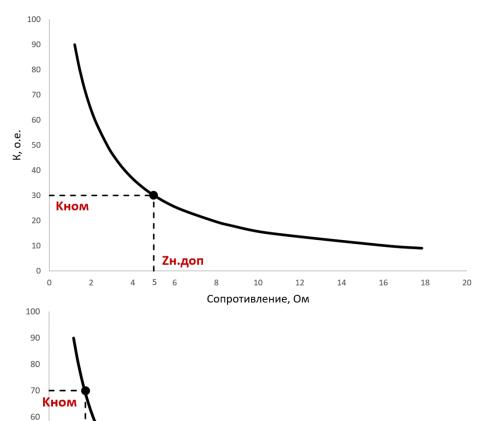
## В проекте ГОСТ Р МУ по выбору ТТ:

**2.** При определении номинальной предельной кратности ТТ ( $K_{\text{ном}}$ ) классов P, PR <u>не учитываются</u> сопротивления вторичной обмотки ТТ, номинальной нагрузки ТТ и фактической нагрузки, подключаемой к ТТ, что приводит к неоправданному завышению  $K_{\text{ном}}$ .

Если учесть положение **ГОСТ Р «Трансформаторы тока. Часть 2. Технические условия на трансформаторы тока»** который регламентирует значение  $K_{\text{ном}}$  до **30** о.е., то в подавляющем большинстве случаях (если не во всех) ТТ класса Р выбрать <u>невозможно</u>. Повышение номинального первичного тока ТТ (для соблюдения  $K_{\text{ном}}$  до **30** о.е.) с учетом  $I_{2\text{ном.ТТ}} = \mathbf{1}$  А может привести к невозможности параметрирования уставок чувствительных ступеней защит, а их вынужденное загрубление – к неэффективности работы защит.







30

10

**Zн.доп** 

20

Сопротивление, Ом

40

50

## В проекте ГОСТ Р МУ по выбору ТТ:

3. Требуется принимать:

$$I_{2\text{HOM.TT}} = 1 \text{ A}$$

т.е. 5A TT со временем предлагается заменить полностью? 1A TT с учетом рекомендаций по увеличению  $I_{1\text{ном.TT}}$  для соблюдения  $K_{\text{ном}} \leq 30$  может привести к невозможности параметрирования уставок защит.

**4.** Требуется принимать <u>ближайшее</u> <u>большее</u> по величине значение  $z_{\rm 2h. Hom}$  по условию:

$$z_{2\text{H.HOM}} \ge z_{2\text{H.}\phi a \text{KT}}$$

Возможность перспективных подключений?





60

## ПРЕДЕЛЫ ДОПУСКАЕМЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ

#### **M9**K 61869-2

Таблица 205 — Предельные погрешности для защитных трансформаторов тока класса P и PR

Класс точности	Токовая погрешность при номинальном первичном токе		Угловая погрешность при номинальном первичном токе ± Мпнуты ± Сантирадианы	
5P и 5PR	1	60	1,8	5
10P и 10PR	3	-	-	10

#### Таблица 206 – Предельные погрешности для трансформаторов тока ТРХ, ТРУ и ТРХ

Класс	При но	Максимальное		
	Погрешность коэффициента трансформации	Угловая погрешность		мгновенное амплитудное значение погрешности
	± %	Минуты	Сантирадианы	
TPX	0,5	± 30	± 0,9	$\dot{\varepsilon} = 10\%$
TPY	1,0	± 60	± 1,8	$\dot{\varepsilon} = 10\%$
TPZ	1,0	$180 \pm 18$	$5,3 \pm 0,6$	$\dot{\varepsilon}_{ac} = 10\%$

# ГОСТ Р «Трансформаторы тока. Часть 2. Технические условия на трансформаторы тока»

Таблица 3 – Пределы допускаемых погрешностей вторичных обмоток для защиты

	Первичный ток, % номинального значения	Предел допускаемой погрешности					
Класс точности		при номинальном первичном токе			полной при		
			угловой, $\delta$		токе	при	
		токовой, f <sub>i</sub> , %	мин	срад	номинальной предельной кратности $\varepsilon$ , %	переходном режиме, %	
5P,5PR	10 <sup>1)</sup> 100	±1	±60	±1,8	5	Не нормируют	
10P,10PR	10 <sup>1)</sup> 100	±3	Не нормируют	Не нормируют	10	Не нормируют	
TPY,TPE	10 <sup>1)</sup> 100	±1	±60	±1,8	10	ε <sub>max</sub> ≤10	
TPZ	10 <sup>1)</sup> 100	±1	180±18	5,3±0,6	10	ε <sub>ac max</sub> ≤10	



Выбор характеристик ТТ класса Р и с немагнитным зазором в проекте **ГОСТ Р по выбору ТТ** базируется на использовании выражений для номинальной предельной кратности ТТ класса Р:

$$K_{\text{HOM}} \ge \frac{\omega T_a \left(1 - e^{-\frac{t_{\text{P3}}}{T_a}}\right) + 1}{1 - K_r} \cdot \frac{I_{\text{K3}}}{I_{1.\text{HOM}}}$$

$$K_{\text{HOM}} \ge \max \left\{ \frac{\omega T_a \left( 1 - e^{-\frac{t_{\text{P3}}}{T_a}} \right) - \sin(\omega \cdot t_{\text{P3}})}{1 - K_r} \cdot \frac{I_{\text{K3}}}{I_{1.\text{HOM}}} \right\}$$

Первая формула это выражение для огибающей, вторая – для максимального содержания апериодической составляющей.

Следовательно, в общем случае выражения можно записать в виде:

$$K_{\text{HOM}} \ge \frac{K_{\text{п.p}}(t_{\text{P3}})}{1 - K_r} \cdot \frac{I_{\text{K3}}}{I_{1.\text{HOM}}}$$





Проект ГОСТ Р «Трансформаторы тока. Часть 2. Технические условия на трансформаторы тока» требует выбирать значение  $K_{\rm ном}$  из ряда стандартных значений. При получении  $K_{\rm ном} > 30$  предлагается увеличить номинальный первичный ток ТТ и повторить расчет.

Так как часто значение  $K_{\rm hom} > 30$ , то предлагается выбирать  $K_{\rm hom}$  по выражению:

$$K_{\text{HOM}} \ge \frac{K_{\text{п.р}}(t_{\text{P3}})}{1 - K_r} \cdot \frac{I_{\text{K3}}}{I_{1.\text{HOM}}} \cdot \frac{|z_2 + z_{\text{н.факт}}|}{|z_2 + z_{\text{н.ном}}|}$$



## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЯ $Z_2$

Значение  $z_2$  определяется производителем ТТ по следующим формулам:

$$R_2 = \frac{\rho l_2 w_2}{q_2}$$

где *р* — удельное сопротивление провода вторичной обмотки при наибольшей температуре, которую она может иметь во время работы TT, Oм·м;

 $l_2$  — длина провода вторичной обмотки, м;

 $w_2$  — номинальное число витков вторичной обмотки;

 $q_2$ — поперечное сечение провода вторичной обмотки, м<sup>2</sup>.

$$X_2 = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot f \cdot w_2^2 \cdot h_{\scriptscriptstyle \mathrm{H}} \cdot ln \frac{D_{\scriptscriptstyle \mathrm{H}}}{D_{\scriptscriptstyle \mathrm{BH}}} \approx 0$$

где f— частота тока,  $\Gamma$ ц;

 $h_{\mu}$  — высота магнитопровода с наложенной вторичной обмоткой и изоляцией, м;

 $D_{\rm H}$ ,  $D_{\rm BH}$  — наружный и внутренний диаметры магнитопровода с наложенной вторичной обмоткой и с изоляцией соответственно, м.





## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЯ $Z_2$

На этапе проектирования, при выборе ТТ, предлагается воспользоваться одним из двух выражений:

$$z_2 \approx R_2 = K_{R2} \cdot Z_{\text{H.HOM}}$$

где  $K_{R2} = 20 - 80\%$  от номинальной нагрузки TT.

или

По формуле CTDim (Siemens):

$$z_2 \approx R_2 = \frac{1}{I_{2\text{hom.TT}}^2} \cdot \left(\frac{I_{1\text{hom.TT}} \cdot w_1}{350}\right)^{1,15}$$



### ПРИМЕР

**Задача:** Определить  $K_{\text{ном}}$  для ТТ в схеме дистанционной защиты от КЗ на землю в режиме удаленного КЗ.

#### Исходные данные:

$$I_{\rm K3}=5000~{\rm A};$$
  $T_a=0.03~{\rm c};$   $t_{\rm P3}=10~{\rm mc};$   $I_{\rm 1. Hom}=2000~{\rm A};$   $z_{\rm H. факт}=2.5~{\rm Om}$ 

1. Расчет по выражению для огибающей (из проекта стандарта):

$$K_{\text{\tiny HOM}} \geq \frac{\omega T_a \left(1 - e^{-\frac{t_{\text{\tiny P3}}}{T_a}}\right) + 1}{1 - K_r} \cdot \frac{I_{\text{\tiny K3}}}{I_{\text{\tiny 1.HOM}}} = \frac{314 \cdot 0.03 \cdot \left(1 - e^{-\frac{0.01}{0.03}}\right) + 1}{1 - 0.86} \cdot \frac{5000}{2000} \approx 66$$

т.е. больше максимального значения, равного 30.

2. Расчет с учётом сопротивлений  $z_2 \rightarrow 0,5~Z_{\rm H.HOM},~z_{\rm H.факт},~z_{\rm H.HOM}$ :

$$z_{ ext{h.hom}}$$
 примем 40 Ом;  $z_2 pprox R_2 = K_{R2} \cdot Z_{ ext{h.hom}} = 0.5 \cdot 40 = 20$  Ом, тогда

$$K_{\text{HOM}} \ge \frac{\omega T_a \left(1 - e^{-\frac{t_{\text{P3}}}{T_a}}\right) + 1}{1 - K_r} \cdot \frac{I_{\text{K3}}}{I_{1.\text{HOM}}} \cdot \frac{|z_2 + z_{\text{H.$\phi akt}}|}{|z_2 + z_{\text{H.$HOM}}|} = \frac{314 \cdot 0,03 \cdot \left(1 - e^{-\frac{0,01}{0,03}}\right) + 1}{1 - 0,86} \cdot \frac{5000}{2000} \cdot \frac{|20 + 2,5|}{|20 + 40|} \approx 25$$



### ПРИМЕР

3. Расчет с учётом сопротивлений  $z_2 \rightarrow 0.8 \cdot Z_{\text{H.HOM}}$ ,  $z_{\text{H.факт}}$ ,  $z_{\text{H.HOM}}$ :

$$z_{ ext{h.Hom}}$$
 примем 40 Ом;  $z_2 pprox R_2 = K_{R2} \cdot Z_{ ext{h.Hom}} = 0.8 \cdot 40 = 32$  Ом, тогда

$$K_{\text{\tiny HOM}} \geq \frac{314 \cdot 0.03 \cdot \left(1 - e^{-\frac{0.01}{0.03}}\right) + 1}{1 - 0.86} \cdot \frac{5000}{2000} \cdot \frac{|32 + 2.5|}{|32 + 40|} \approx 31$$

**4. Расчет с учётом сопротивлений**  $z_2$ ,  $z_{\text{н.факт}}$ ,  $z_{\text{н.ном}}$  ( $z_2$  определена по CTDim):

$$z_{\text{н.ном}}$$
 примем 40 Ом;  $z_2 \approx R_2 = 7,42 \text{ Ом},$  тогда

$$K_{\text{\tiny HOM}} \ge \frac{314 \cdot 0.03 \cdot \left(1 - e^{-\frac{0.01}{0.03}}\right) + 1}{1 - 0.86} \cdot \frac{5000}{2000} \cdot \frac{|7.42 + 2.5|}{|7.42 + 40|} \approx 13.71$$

Как можно видеть, указанная доработка формул в ряде случаев позволит подобрать  $K_{\rm ном}$  из ряда допустимых значений (т.е. не более 30), в том числе за счет увеличения номинальной вторичной нагрузки TT.



## ВЫВОДЫ ПО ВЫБОРУ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСФОРМАТОРА ТОКА

## При определении значения $K_{\scriptscriptstyle \mathrm{HOM}}$ ТТ рекомендуется следующее:

- 1. Учитывать разные режимы КЗ в соответствии с особенностями работы разных типов защит.
- **2.** Учитывать сопротивления вторичной обмотки ТТ, номинальной нагрузки ТТ и фактической нагрузки, подключаемой к ТТ.
- **3.** При получении  $K_{\text{ном}} > 30$  увеличить номинальный первичный ток ТТ, но только до величины, позволяющей параметрировать чувствительные уставки защит.
- **4.** При получении  $K_{\text{ном}} > 30$  и невозможности увеличения номинального первичного тока ТТ, увеличить номинальную вторичную нагрузку ТТ, при этом выполнить проверку на соответствие допустимой токовой погрешности.



# МЕТОДИКА ВЫЧИСЛЕНИЯ $K_{\text{ном.} \phi \text{акт}}$ ПО ВАХ

В технических характеристиках существующих ТТ класса Р встречаются заниженные паспортные значения  $K_{\text{ном}}$  (в ряде случаев до 40% и более), в связи с чем расчетные значения времени до насыщения ТТ, полученные по паспортным данным, могут быть существенно занижены, что приводит к необоснованному выводу о необходимости замены ТТ класса Р.

По этой причине следует различать паспортное  $K_{\text{ном.пасп}}$  и фактическое  $K_{\text{ном.факт}}$  значения номинальной предельной кратности.

Предлагается методика вычисления фактического значения номинальной предельной кратности первичного тока, базирующаяся на использовании ВАХ.



## МЕТОДИКА ВЫЧИСЛЕНИЯ $K_{\text{ном.факт}}$ ПО ВАХ

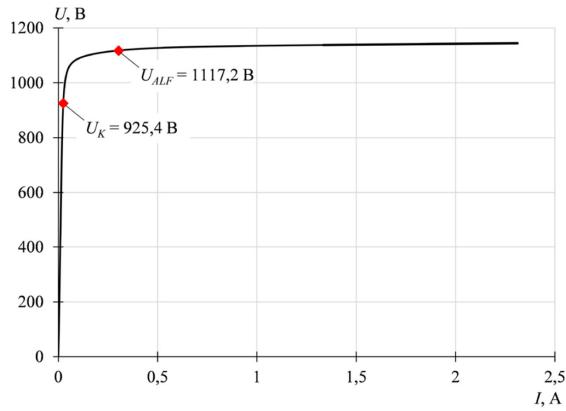
Методика рассматривается на примере определения  $K_{\rm ном. факт}$  и  $U_{ALF}$  для TT типа SAS 500/5G 2000/1. BAX TT, полученная с помощью прибора CT-Analyzer:

Паспортные данные TT:

$$I_{1.\text{HOM}} = 2000 \text{ A}, \ I_{2.\text{HOM}} = 1 \text{ A},$$
  $z_{\text{H.HOM}} = 40 \text{ Om}, \ K_{\text{HOM}} = 20$ 

Показания прибора CT-Analyzer:

$$R_2 = 5,55 \,\mathrm{OM}, K_{\mathrm{HOM.} \phi \mathrm{akt}} = 25,7$$





# МЕТОДИКА ВЫЧИСЛЕНИЯ $K_{\text{ном.} \phi \text{акт}}$ ПО ВАХ

- **1.** Определяется точка  $U_K$  на BAX, соответствующая точке перегиба (излома), путем расчетов с помощью следующего критерия из МЭК 61869-2: ЭДС ТТ при номинальной частоте, которая, будучи увеличенной на 10%, приводит к увеличению среднеквадратичного значения намагничивающего тока на 50%.  $U_K = 925,4$  В.
- **2.** Определяется точка  $U_{ALF}$  на BAX (фактическое напряжение насыщения TT при синусоидальном токе) путем расчетов с помощью следующего критерия из IEC 61869-100: это точка на BAX, в которой уменьшение напряжения на 5% приводит к уменьшению намагничивающего тока в 5 раз.  $U_{ALF} = 1117,2$  В.
- 3. Вычисляется паспортное значение напряжения  $U_{ALF.\pi ac\pi}$ , соответствующее нормированной погрешности  $\varepsilon$  (10 или 5%)

$$U_{ALF.\Pi ac\Pi} = K_{\text{HOM.}\Pi ac\Pi} \cdot I_{2.\text{HOM}} \cdot \sqrt{(R_2 + 0.8 \cdot Z_{\text{H.HOM}})^2 + (X_2 + 0.6 \cdot Z_{\text{H.HOM}})^2} =$$

$$= 20 \cdot 1 \cdot \sqrt{(5.55 + 0.8 \cdot 40)^2 + (0 + 0.6 \cdot 40)^2} = 891.3 \text{ B}$$





## МЕТОДИКА ВЫЧИСЛЕНИЯ $K_{\text{ном.факт}}$ ПО ВАХ

**4.** Определяется коэффициент пересчета  $U_K$  в  $U_{ALF}$  (из МЭК 61869-2)

$$F = \frac{U_{ALF}}{U_K} = \frac{1117,2}{925,4} \approx 1,21$$

где F по данным IEC 61869-100 зависит от свойств материала сердечника (от 1,2 до 1,3 для сердечника без зазора, около 1,1 для сердечника с зазором).

5. Вычисляется отношение фактического и паспортного значений напряжений

$$K_{U.ALF} = \frac{U_{ALF}}{U_{ALF,\Pi acm}} = \frac{U_K \cdot F}{U_{ALF,\Pi acm}} = \frac{925,4 \cdot 1,21}{891,3} \approx 1,26$$

6. Производится расчет фактической номинальной предельной кратности тока ТТ

$$K_{\text{ном.факт}} = K_{U.ALF} \cdot K_{\text{ном.пасп}} = 1,26 \cdot 20 = 25,2$$

По показаниям прибора СТ-Analyzer  $K_{\text{ном.} \phi \text{акт}} = 25$ , 7 (расчетная погрешность составляет 2%).





# РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ ДО НАСЫЩЕНИЯ ТТ КЛАССА Р В ПЕРЕХОДНОМ РЕЖИМЕ С УЧЕТОМ $K_{{ m HOM.} {\rm факт}}$

Расчет времени до насыщения ТТ должен производится с использованием  $U_{ALF, \varphi_{AKT}}$  при наличии в токе апериодической составляющей и фактической нагрузке  $z_{{\scriptscriptstyle H}, \varphi_{AKT}}$ .

**1.** Вычисляется фактическое напряжение  $U_{2.\mathrm{sin}}$  на вторичной обмотке при протекании периодического тока К3

$$U_{2.\sin} = K_{\phi a \kappa \tau} \cdot I_{2.\text{HOM}} \cdot z_{2\Sigma \phi a \kappa \tau}$$

**2.** Вычисляется фактическое номинальное значение напряжения  $U_{ALF. \varphi a \kappa au}$  , соответствующее нормированному значению  $\varepsilon_{c}$  (10 или 5%)

$$U_{ALF.\phi akt} = K_{\text{ном.}\phi akt} \cdot I_{2.\text{ном}} \cdot \sqrt{(R_2 + 0.8 \cdot z_{\text{н.}\text{ном}})^2 + (X_2 + 0.6 \cdot z_{\text{н.}\text{ном}})^2} = K_{\text{ном.}\phi akt} \cdot I_{2.\text{ном}} \cdot Z_{2\Sigma \text{ном}}$$

**3.** Вычисляется значение параметра режима **A** без учёта и с учётом остаточной магнитной индукции

$$A = \frac{U_{ALF,\phi a\kappa T}}{U_{2,\sin}}; \qquad A_r = A \cdot (1 - K_r)$$

**4.** По зависимости  $K_{\text{п.р}}(t)$  при полученных значениях  ${\pmb A}$  и  ${\pmb A}_{\pmb r}$  определяется  $t_{\text{нас}}$ .





- 1. Полноценные тестовые испытания устройств РЗА в переходных режимах с реальными ТТ возможны только в условиях специального испытательного центра, который в России отсутствует. Использование математических моделей ТТ при аттестационных испытаниях допустимо только после их соответствующей верификации, например, путем предварительной проверки совместной работы реальных ТТ, с параметрами, соответствующими их математической модели, с реальными УРЗ в условиях опытной эксплуатации.
- 2. При положительных результатах опытной эксплуатации представляется, что тестовые испытания с применением ПАК РВ должен осуществлять не специализированный испытательный центр с ничем не обоснованным условием исключения вмешательства разработчика устройств, как предлагается в проекте стандарта, а производитель УРЗ в ходе работы межведомственной комиссии (МВК). Они должны представлять собой дополнительные функциональные испытания на этапе подготовки УРЗ к аттестации у потребителя.





3. Требование проекта стандарта по настройке модели для каждого отдельного опыта (расчёт напряжения насыщения или параметров магнитопровода) приводит к тому, что при КЗ в разных точках ВЛ или разных видах КЗ в одной точке испытания защит проводятся фактически с новыми ТТ, что противоречит реальным условиям эксплуатации.

Правильно было бы в соответствии с требованиями производителя УРЗ определить требуемые параметры ТТ для всех расчетных режимов и видов КЗ по времени  $t_{\rm P3}$  (для данного объекта защиты), а затем выбрать из них наихудшие, которые и следует использовать при настройке модели ТТ для испытаний. Сами же испытания должны проводиться для всех режимов и видов КЗ для одной модели ТТ.

**4.** Собственник или иной законный владелец объекта электроэнергетики, на котором планируются к установке быстродействующие защиты ЛЭП 110 кВ и выше, или владелец УРЗ не должен быть лицом, заинтересованным в проведении испытаний. Он должен приобретать аттестованную продукцию.





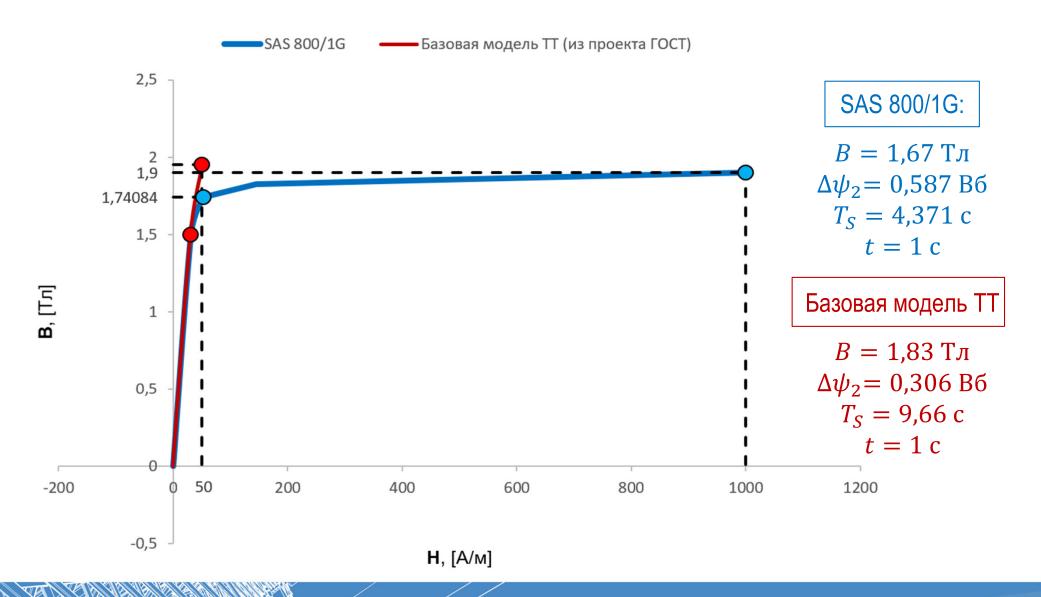
**5.** В качестве базовых приняты модели <u>ТТ с нереальными габаритами</u> (сечение сердечника, длина силовой линии). Например, в **табл. А.21** длина силовой линии сердечника равна **5 см**, при этом первичный ток равен **10 кА**.

При напряжённости магнитного поля **50 A/м** амплитуда магнитной индукции в сердечнике ТТ равна **1,95 Тл**. Однако у реальной холоднокатаной электротехнической стали марки **3408** амплитуда магнитной индукции при такой напряжённости магнитного поля составляет **1,55 Тл**. По данным компании TRENGH у аналогичной электротехнической стали при амплитуде магнитной индукции **1,9 Тл** напряжённость магнитного поля равна **1000 A/м**, т.е. <u>ошибка в напряжённости магнитного поля достигает **2000%**.</u>

Более целесообразно выбрать реальные ТТ для защиты, затем по их параметрам разработать математические модели последних, как это используется в отраслевом стандарте ПАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007-29.120.70.241. Не ясно, по какой причине в проекте стандарта не использовался такой подход.



## АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИКИ БАЗОВОЙ МОДЕЛИ ТТ





6. Требуется пояснение, на основании чего в табл. А.23 приведены значения полных погрешностей ТТ разных классов при их совместной работе. Очевидно, что для формулирования таких положений должны быть проведены исследования поведения устройств релейной защиты различных производителей в широком диапазоне условий. По этой причине эти данные, приведённые в табл. А.23, представляются недостаточно обоснованными.

Например, в условиях испытаний погрешность ТТ класса 10Р должна составлять 2%.

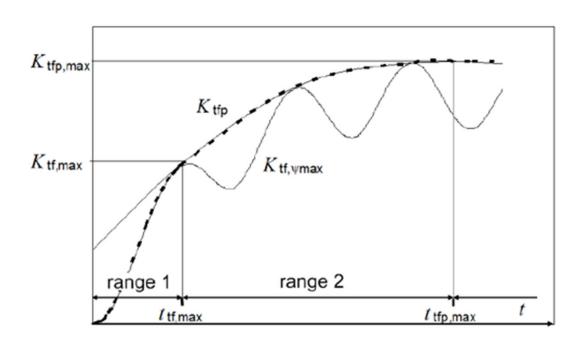


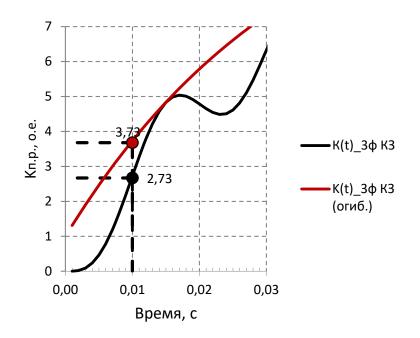


## РЕКОМЕНДАЦИИ

В проекте стандарта отсутствуют четкие рекомендации, в каком случае нужно использовать то или иное выражение. Причем оба выражения не учитывают наихудшее значение угла  $m{ heta}$ , что особенно важно на начальном участке кривой  $m{K}_{\mathrm{п.p}}(m{t})$ .

Для определения  $K_{\text{п.р}}(t)$  рекомендуется разбить кривую коэффициента переходного режима по оси времени на два участка:





Первый участок кривой — это интервал от нуля до момента времени, соответствующего первому касанию кривой  $K_{\rm n.p}(t_{\rm P3})$  (учитывающей наихудший угол  $m{ heta}$  в каждый момент времени) своей огибающей. Ориентировочно интервал равен от 0 до 14 мс.



## РЕКОМЕНДАЦИИ

Использование на первом участке кривой  $K_{\rm п.p}(t_{\rm P3})$  выражения для огибающей приведет к неоправданному завышению требуемого значения  $K_{\rm ном}$  (и часто к невозможности выбора TT класса P, а в некоторых случаях и TT класса PR).

## Предлагаются три варианта расчета $K_{\text{п.р}}(t_{\text{P3}})$ :

- рассчитывать  $K_{\text{п.р}}(t_{\text{P3}})$  по методике и формулам, приведенным в **6 разделе IEC 61869-100.** Недостаток высокая трудоемкость выполнения расчетов.
- при  $t_{\rm P3} \leq 10$  мс  $K_{\rm п.p}(t_{\rm P3})$  для ТТ классов P, PR, TPY определяется с помощью диаграмм зависимости, приведенных в **Приложении A ГОСТ P 58669** (данные кривые построены с учётом наихудшего угла  $\theta$  в каждый момент времени). При этом значение погрешности определения из-за не учёта  $T_S$  не превышает 2,5%. При  $t_{\rm P3} > 10$  мс расчет выполняется по выражению для огибающей (для ТТ классов PR, TPY в выражении должно учитываться  $T_S$ ).
- при  $t_{\rm P3} \leq 10~{\rm M}c$  выполняется по выражению для максимального содержания апериодической составляющей (т.е. без учёта наихудшего значения угла heta в каждый момент времени). При  $t_{\rm P3} > 10~{\rm M}c$  расчет выполняется по выражению для огибающей (для TT классов PR, TPY в выражении должно учитываться  $T_{\rm S}$ ).





## ПРИМЕР

**Задача:** Определить  $K_{\text{ном}}$  для ТТ стороны ВН дифференциальной защиты трансформатора в режиме трехфазного КЗ в зоне действия.

#### Исходные данные:

$$I_{\text{K3}} = 4239 \text{ A}; \quad T_a = 0.05 \text{ c}; \quad t_{\text{P3}} = 3 \text{ Mc}; \quad I_{1.\text{HOM}} = 400 \text{ A}$$

### Расчет по 1 варианту:

Наихудшее значение угла  $\boldsymbol{\theta}$  в момент времени  $t_{\mathrm{P3}}=3$  мс равно **75,6°**, а  $\boldsymbol{K}_{\mathrm{п.p}}(\boldsymbol{t}_{\mathrm{P3}})$  при  $\theta=75,6^{\mathrm{o}}$  равно **0,426**.

$$K_{\text{HOM}} \ge \frac{K_{\text{п.р}}(t_{\text{P3}})}{1 - K_r} \cdot \frac{I_{\text{K3}}}{I_{1,\text{HOM}}} = \frac{0,426}{1 - 0,86} \cdot \frac{4239}{400} \approx 32$$

## Расчет по 2 варианту:

По диаграмме зависимости  $K_{\rm n.p}(t)$  из **Приложения A ГОСТ Р 58669**  $K_{\rm n.p}(t_{\rm P3}) \approx 0.41.$ 

$$K_{\text{HOM}} \ge \frac{K_{\text{п.р}}(t_{\text{P3}})}{1 - K_r} \cdot \frac{I_{\text{K3}}}{I_{1,\text{HOM}}} = \frac{0.41}{1 - 0.86} \cdot \frac{4239}{400} \approx 31$$





## ПРИМЕР

### Расчет по 3 варианту:

Расчет выполняется по выражению для максимального содержания апериодической составляющей (из проекта стандарта):

$$K_{\text{HOM}} \ge \frac{\omega T_a \left(1 - e^{-\frac{t_{\text{P3}}}{T_a}}\right) - \sin(\omega \cdot t_{\text{P3}})}{1 - K_r} \cdot \frac{I_{\text{K3}}}{I_{1.\text{HOM}}} =$$

$$= \frac{314 \cdot 0,05 \cdot \left(1 - e^{-\frac{0,003}{0,05}}\right) - \sin(314 \cdot 0,003)}{1 - 0,86} \cdot \frac{4239}{400} \approx 8$$

Расчет по выражению для огибающей (из проекта стандарта):

$$K_{\text{HOM}} \geq \frac{\omega T_a \left(1 - e^{-\frac{t_{\text{P3}}}{T_a}}\right) + 1}{1 - K_r} \cdot \frac{I_{\text{K3}}}{I_{1,\text{HOM}}} = \frac{314 \cdot 0.05 \cdot \left(1 - e^{-\frac{0.003}{0.05}}\right) + 1}{1 - 0.86} \cdot \frac{4239}{400} \approx 145$$

Таким образом, наилучшим по трудоемкости и обоснованности из всех вариантов определения  $K_{\mathrm{n.p}}(t_{\mathrm{P3}})$  является второй.





## РЕКОМЕНДАЦИИ

Исследования НПП «ЭКРА» и НПФ «КВАЗАР» показали, что у ТТ класса 10PR требуемое значение  $T_S$  должно составлять:

- для первых ступеней дистанционных защит линий электропередачи по условию правильной работы при КЗ в конце зоны не менее **270 мс**;
- для остальных быстродействующих защит, в первую очередь, дифференциальных, не менее **182 мс**, (т.е. как у ТТ класса ТРҮ).

Таким образом, минимальное значение  $T_S$  для быстродействующих защит с учётом расчётного запаса целесообразно принять равным 300 мс.



## РЕКОМЕНДАЦИИ

## ОСТАТОЧНАЯ МАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ В СЕРДЕЧНИКЕ ТТ

Согласно исследованиям, при включении на второе КЗ в цикле АПВ остаточная магнитная индукция в сердечнике ТТ класса Р может достигать  $0.86 \cdot B_{SAT}$ . Однако при внезапном КЗ, в том числе, при первом КЗ в цикле АПВ значение остаточной магнитной индукции может снизиться под действием токов нагрузочных режимов до значений  $(0.65...0.7) \cdot B_{SAT}$ .



## ВЫВОДЫ

- 1. Показано, что при выборе номинальной предельной кратности первичного тока ТТ необходимо учитывать отношение модулей фактического и номинального сопротивлений ветви вторичного тока ТТ при разных режимах КЗ относительно определенного типа защиты.
- **2.** С целью использования при проверке соответствия характеристик ТТ класса P, установленных на объектах защиты, условиям функционирования быстродействующих УРЗ предложена методика вычисления фактического значения номинальной предельной кратности первичного тока, базирующаяся на использовании напряжения в точке перегиба и коэффициента перехода к  $U_{\alpha I}$ .



## ВЫВОДЫ

- 4. Показана необходимость доработки проекта ГОСТ Р «Требования к работе устройств релейной защиты линий электропередачи классом напряжения 110 кВ и выше в переходных режимах, сопровождающихся насыщением трансформаторов тока» в части определения параметров базовых моделей, их ВАХ и характеристик намагничивания.
- **5.** На базе результатов исследований предложено в расчетах времени до насыщения ТТ <u>учитывать снижение значений остаточной магнитной индукции в магнитопроводах ТТ класса Р при внезапных КЗ за счет размагничивающего влияния нагрузочных токов.</u>



# Спасибо за внимание!

