

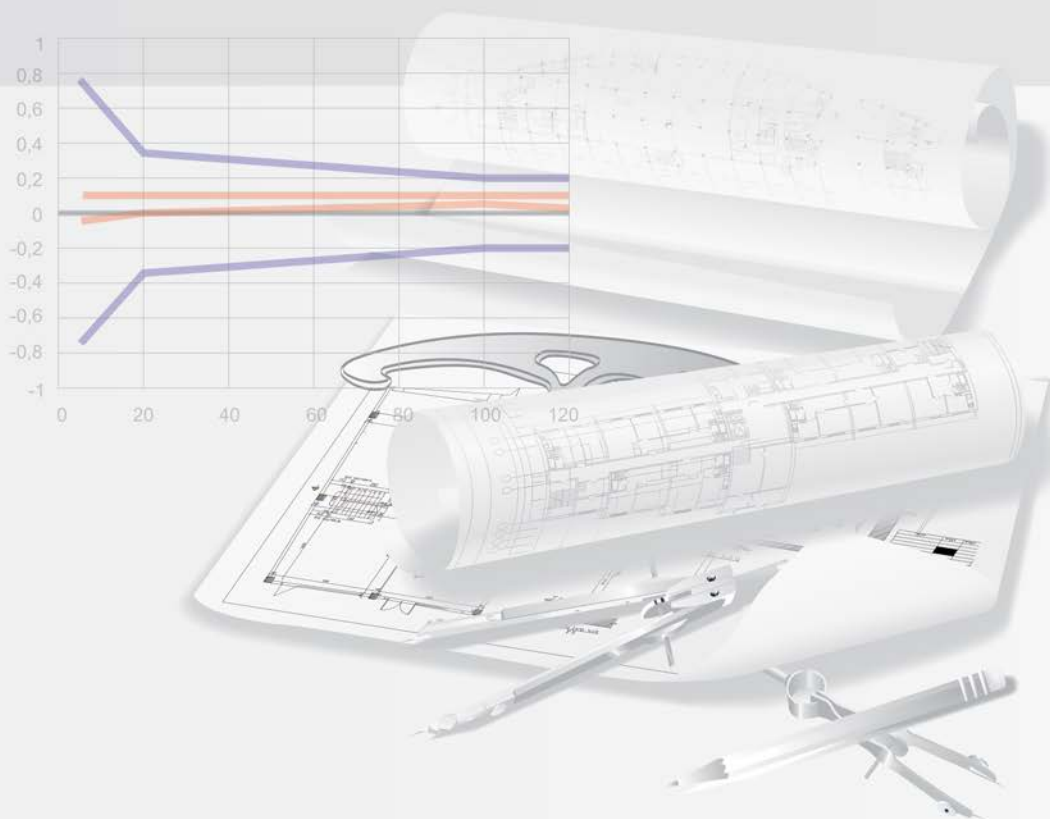


ЭЛЕКТРОЩИТ-К^о

ТРАНСФОРМЭЛЕКТРО

ПОСОБИЕ ДЛЯ ИНЖЕНЕРОВ-ПРОЕКТИРОВЩИКОВ СИСТЕМЫ АИИС КУЭ

ВЫБОР ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ



Коллеги!
Надеемся, что данная информация «под рукой»
будет полезна в Вашей работе.

Мы произведём расчёт любого трансформатора
на возможность изготовления в соответствии
с требуемыми параметрами в заданном габарите.

С уважением,
специалисты бюро расчётов трансформаторов
технического отдела ООО «Электроцит-К^о»:

+7 495 9999-415

+7 495 9999-424

info@tf-el.ru

Грамотный выбор параметров трансформаторов
позволит избежать материальных потерь
при учёте электроэнергии.

ВВЕДЕНИЕ

Трансформаторы тока устанавливаются или заменяются для решения сразу двух задач:

- использование для защиты электроустановки и производства измерений в новых проектируемых сооружениях;
- создание системы коммерческого или технологического учёта, где высокоточные трансформаторы тока с расчётными проектными параметрами используются как часть информационно-измерительного канала АИИС КУЭ (ТУЭ).

При создании системы АИИС КУЭ с использованием или с заменой существующих трансформаторов тока выполняются следующие операции:

1. Должны быть заменены существующие измерительные трансформаторы тока класса точности ниже 0,5, находящиеся на границе балансовой принадлежности, на трансформаторы тока с классом точности обмотки учёта 0,5S для присоединений 6-10-35кВ.

2. Должны быть заменены трансформаторы тока, к обмоткам измерения которых производилось подключение счётчиков через промежуточные трансформаторы.

3. Должны быть заменены трансформаторы тока, имеющие нагрузку обмотки измерений, к которой подключены счётчики, более номинальной, а реконструкция вторичных цепей не обеспечивает необходимую разгрузку.

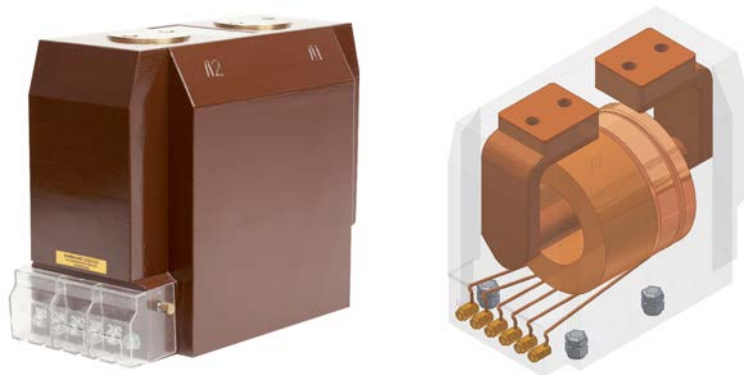
3. Должны быть заменены трансформаторы тока, не внесённые в Государственный реестр средств измерений и не имеющие свидетельства о поверке.

4. Должны быть заменены трансформаторы тока, используемые для расчётного коммерческого учёта, коэффициенты трансформации которых не соответствуют значениям рабочих токов присоединения: максимального тока – более 40% и минимального тока – не менее 5% нагрузки.

5. Должны быть заменены трансформаторы тока со сроком эксплуатации более 25 лет.

6. Должна быть исключена возможность несанкционированного доступа к обмотке коммерческого учёта.

ВЫБОР ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА



ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ВЫБОР ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА

1. номинальное напряжение;
2. номинальный первичный ток;
3. класс точности;
4. коэффициент трансформации трансформатора;
5. диапазон изменения фактической нагрузки присоединения;
6. номинальный вторичный ток обмотки учёта;
7. номинальные вторичные токи обмотки измерения и обмоток РЗА;
8. нагрузка вторичной обмотки учёта и величина догрузочных резисторов;
9. нагрузка вторичной обмотки измерения и обмоток РЗА;
10. конструкция и геометрические размеры трансформатора;
11. условия работы защит по коэффициенту предельной кратности обмотки РЗА;
12. максимальный вторичный ток по фактическим коэффициентам безопасности приборов обмотки учёта и обмотки измерения;
13. термическая стойкость при заданном токе короткого замыкания;
14. электродинамическая стойкость при заданном токе короткого замыкания.

1. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ШАГОВ ПРИ ВЫБОРЕ ТРАНСФОРМАТОРА ТОКА:

1.1. Выбор номинального напряжения $U_{\text{ном}}$

Значение номинального напряжения оборудования следует указывать в «В» или «кВ», например: 0,66 кВ, 3 кВ, 6 кВ, 10 кВ, 24 кВ, 35 кВ.

1.2. Выбор номинального первичного тока $I_{1\text{ном}}$ (А).

Определение диапазона измеряемого тока обмотки учёта.

Первичный ток $I_{1\text{ном}}$ определяется из уравнения:

$$S_{\text{ном}} = \sqrt{3} * U_{\text{ном}} * I_{1\text{ном}}, \text{ где}$$

$S_{\text{ном}}$ – номинальная реактивная мощность основного распределительного трансформатора (кВ*А)

$U_{\text{ном}}$ – номинальное (фазное) напряжение (кВ)

$I_{1\text{ном}}$ – первичный (фазный) ток (А)

Стандартные значения номинального первичного тока установлены ГОСТ 7746-2001 в таблице 10:

5; 10; 15; 20; 30; 40; 50; 75; 80; 100; 150; 200; 300; 400; 500; 600; 750; 800; 1000; 1200; 1500; 2000; 3000; 4000; 5000; 6000; 8000; 10000 А.

Возможно изготовление трансформаторов с номинальными первичными токами отличными от установленных ГОСТ 7746-2001, например:

3900; 3800; 3750; 3700; 3650; 3600; 3550; 3500; 3300; 3250; 3200; 3100; 2900; 2800; 2750; 2700; 2650; 2600; 2550; 2500; 2300; 2250; 2200; 2100; 1900; 1800; 1750; 1700; 1650; 1600; 1550; 1400; 1300; 1250; 1150; 1100; 1050; 900; 700; 650; 550; 350; 250; 90; 70; 65; 60; 55; 37,5; 35; 32,5; 27,5; 25; 22; 18; 16; 14; 13; 12; 11; 7,5 А.

Номинальный первичный ток обмоток измерения и защит выбирается по характеристикам существующих или проектируемых приборов и устройств РЗА.

Выбранный номинальный первичный ток обмотки учёта должен:

- обеспечивать надёжную работу ТТ и учёт электроэнергии в аварийных режимах по расчётам РДУ энергосистемы;
- обеспечивать прохождение рабочих токов присоединения при росте нагрузок, т.е. номинальный первичный ток ТТ не должен быть меньше номинальных токов выключателя и разъединителя этого присоединения;
- обеспечивать измерение не менее 40% наибольшего рабочего тока, полученного по результатам замеров максимума нагрузок в режимные дни;
- обеспечивать измерение наименьшего рабочего тока, полученного по результатам замеров минимума нагрузок в режимные дни, т.е. 1% от величины номинального тока ТТ должен быть не менее минимального рабочего тока.

ВАЖНО

Фактическая нагрузка присоединения может быть значительно (в десятки раз) ниже номинального тока трансформатора тока, как часто случается в сетях распределительных компаний – сети были построены с учётом перспективы развития, которое так и не произошло. В таких случаях нужно обеспечить легитимный учёт в области фактических нагрузок и предусмотреть возможность работы присоединения в режиме максимальной пропускной способности, чтобы в случае увеличения объемов потребления электрической энергии не пришлось менять ТТ, а так же сохранить КТТ существующих обмоток защиты и измерений.

Задача обеспечения легитимного учёта при малых нагрузках и одновременно при номинальных нагрузках присоединений решается. Магнитопроводы обмоток учёта из современных нанокристаллических и других специальных материалов с высокой магнитной проницаемостью позволяют производить трансформаторы тока с заявленным классом точности в расширенном диапазоне измерений – **от 0,2% до 200% $I_{ном}$** . Погрешности этого диапазона регламентируются международным стандартом IEC 60044-1 (3). В частности, для первичных токов свыше 120% и до 200% номинального тока погрешности приравнены к значениям, достигаемым при 120% номинала.

Отдельно необходимо рассмотреть вопрос замены существующих ТТ. Наряду с задачей выбора коэффициента трансформации обмотки АИИС КУЭ существует проблема сохранения коэффициентов трансформации других обмоток – к ним подключены существующие измерительные приборы, устройства противоаварийной автоматики, телемеханики и релейной защиты. Это, как правило, значительные по величине коэффициенты, определяемые максимальной пропускной способностью присоединений. Таким образом, требуются трансформаторы тока с меньшими коэффициентами трансформации обмоток АИИС КУЭ, чем КТТ обмоток измерений и РЗА. Необходимое отношение КТТ этих обмоток может составлять 1:2 или 1:3. Применение ТТ с размещёнными в одном корпусе магнитопроводами с разными КТТ обмоток учёта, обмоток измерений и РЗА в различных соотношениях и диапазоном измерения 200% $I_{ном}$ обмотки учёта решает все проблемы учёта и измерений при малых и номинальных нагрузках.

Кроме ТТ с расширенным диапазоном измерения обмотки учёта и отличающимися коэффициентами трансформации, изготавливаются ТТ с возможностью увеличения коэффициентов трансформации всех обмоток одновременно, в соотношении, например, 1:2 путем переключения количества витков первичной обмотки, а так же ТТ с дополнительными отводами (отпайками) на вторичных обмотках.

1.3. Выбор номинального вторичного тока $I_{2\text{ном}}$ (А):

Выбор номинального тока вторичных обмоток определяется:

- номинальным током существующего и проектируемого микропроцессорного счётчика;
- номинальным током существующих приборов измерения и РЗА;
- расстоянием от трансформатора тока до места установки счётчика (длина кабеля);
- мощностью вторичной обмотки учёта (см. таблицу 1).

Согласно ГОСТ 7746-2001 выбирают значения 1 А, 2А или 5 А.

1.3.1. Номинальный ток обмотки учёта 5А следует выбирать для РУ-35, РУ-10(6), РУ-0,4 кВ из-за коротких токовых цепей и если используются существующие микропроцессорные счётчики с номинальным током 5А.

1.3.2. Номинальный ток обмотки учёта 1А следует выбирать, как правило, для ОРУ-110 и выше по условию использования минимального сечения жил контрольного кабеля 2,5мм² (медь) для работы в классе точности при длине кабеля более 171 метров и условию установки микропроцессорных счётчиков с номинальным током 1А.

1.3.3. Номинальный ток обмотки измерения и обмоток защиты устанавливается по величине тока заменяемых трансформаторов тока, а при новом строительстве – по согласованию с Заказчиком.

1.4. Выбор номинальной мощности $S_{2\text{ном}}$ вторичной обмотки учёта.

Выбор номинальной мощности $S_{2\text{ном}}$ вторичной обмотки учёта (В*А) для работы в заданном классе точности при заданном расстоянии от ТТ до счётчика и без применения догрузочного резистора производится по (см. таблицу 1).

$$I_{2\text{НОМ}}=5\text{А: } S_{2\text{НОМ}} = I_{2\text{НОМ}}^2 * R = 25 * R \text{ (В*А)}$$

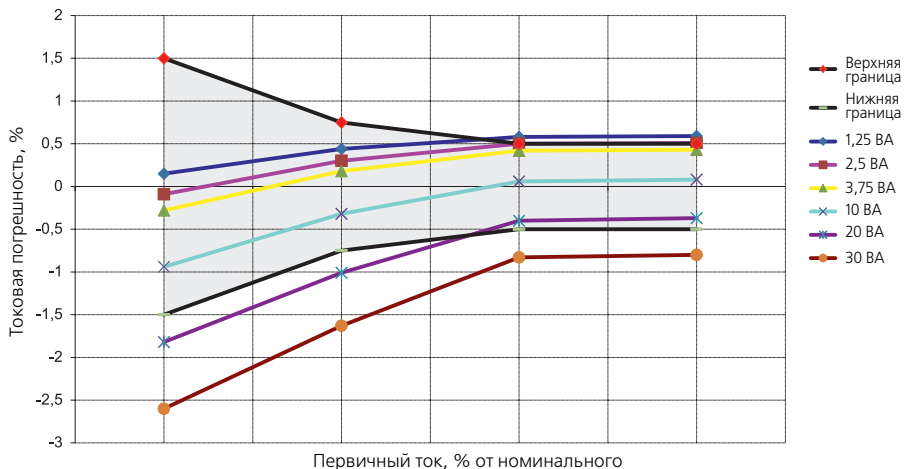
$$I_{2\text{НОМ}}=1\text{А: } S_{2\text{НОМ}} = I_{2\text{НОМ}}^2 * R = R \text{ (В*А)}$$

R-полное сопротивление вторичной цепи.

При одинаковом сопротивлении вторичной цепи мощность обмотки при токе 5А в 25 раз больше, чем при вторичном токе 1А. И наоборот, при одинаковой мощности обмотки и сечении кабеля длина кабеля при вторичном токе 5А в 25 раз меньше, чем при токе 1А.

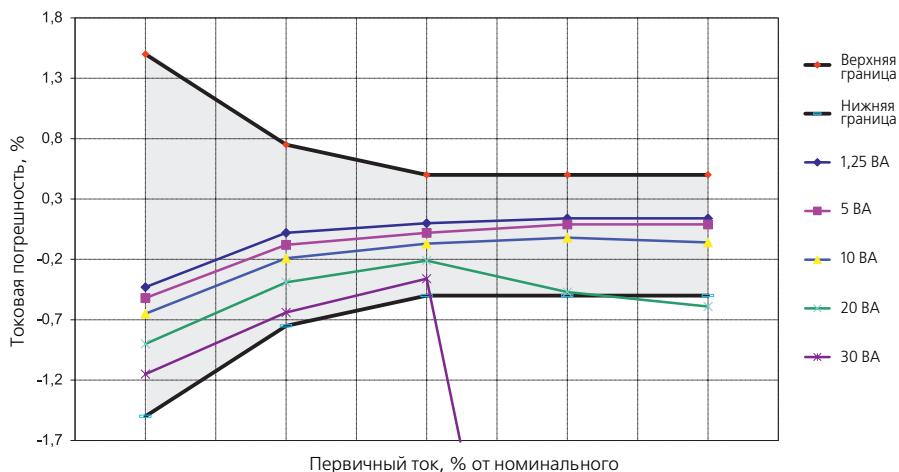
При снижении вторичной нагрузки менее 25% номинального значения мощности обмотки, трансформаторы класса точности 0,5 могут выходить за пределы допускаемых погрешностей при номинальных значениях первичного тока. Это доказано экспериментально.

Зависимость погрешности измерительной обмотки трансформатора тока 100/5, 10ВА, кл.0,5 от величины первичного тока при различных значениях вторичной нагрузки



У трансформаторов тока класса точности 0,5S картина несколько иная. При снижении вторичной нагрузки до нуля, класс точности этих трансформаторов сохраняется при любых нормируемых значениях первичного тока.

Зависимость погрешности измерительной обмотки трансформатора тока 400/5, 10ВА, кл.0,5S от величины первичного тока при различных значениях вторичной нагрузки



Испытания показали, что серийные трансформаторы тока российского производства работают в заданном классе точности при нагрузке от 0 ВА до номинальной в диапазоне токов от 1% до 200% $I_{ном}$.

ВАЖНО

Электронные счётчики имеют значительно меньшую индуктивность и сопротивление токовой обмотки в сравнении с аналоговыми, и чтобы обеспечить точность измерений, необходимо использовать трансформаторы с мощностью и нагрузкой в измерительной цепи, максимально соответствующими друг другу, при этом характеристики обмотки измерений и РЗА оставить существующими.

Таблица 1. Выбор номинальной мощности и вторичного тока обмоток учёта трансформаторов тока, сечения медных жил контрольных кабелей по фактической длине кабелей для исключения из токовой цепи догрузочных резисторов (при обеспечении нижнего и номинального размера вторичной нагрузки по п.6.4.2. ГОСТ 7746-2001).

Выбранный номинальный ток обмотки учёта, А	Минимально допустимая мощность нагрузки	Выбранная номинальная мощность обмотки учёта S _{ном} , ВА	Сопротивление нагрузки, Ом		Сопротивление всех контактов, Ом	Сопротивление жил кабеля, Ом		Длина кабеля от ТТ до счётчика, м												
			мин.	ном.		мин.	ном.	2,5				4,0				6,0				10,0
								макс.	мин.	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16					
1	1,25	2	1,25	2,0	0,05	1,2	1,95	171	278	274	445	411	668	685	1114					
1	1,5	2,5	1,5	2,5	0,05	1,45	2,45	207	350	331	560	497	840	828	1400					
1	1,75	3	1,75	3	0,05	1,7	2,95	243	421	389	674	582	1011	971	1685					
5	1,75	3	0,07	0,12	0,05	0,02	0,07	2,8	10	4,6	16	6,8	24	11,4	40					
5	3,75	5	0,15	0,2	0,05	0,1	0,15	14	21	22	34	34	51	57	85					
5	3,75	10	0,15	0,4	0,05	0,1	0,35	14	50	22	80	34	120	57	200					
5	5,0	20	0,2	0,8	0,05	0,15	0,75	21	107	34	171	51	257	85	428					
5	7,5	30	0,3	1,2	0,05	0,25	1,15	35	164	57	262	85	394	142	657					
5	12,5	50	0,5	2,0	0,05	0,45	1,95	65	278	103	446	154	669	257	1114					

■ - требуется догрузка

$$\rho = 0,0175 \frac{\text{Ом} * \text{мм}^2}{\text{м}}$$

$$l = \frac{R * S}{\rho} \text{ (м)}$$

$$K_{\text{схемы}} = 1$$

$$K_{\text{схемы}} = 1,7$$



1.5. Установка догрузочных резисторов в обмотку учёта.

Догрузочные резисторы в цепь обмотки учёта вновь устанавливаемых трансформаторов тока желательно не проектировать, обеспечивая необходимую нагрузку обмотки для работы в классе точности за счёт подбора величины номинальной мощности обмотки и сечения жил кабеля, при заданной длине и соблюдения требования ГОСТ 7746-2001. При этом величина вторичной нагрузки обмотки учёта для отдельных типов трансформаторов тока может составлять величину от условного нуля до номинальной, при сохранении класса точности. Эта характеристика должна быть указана в описании типа средств измерения или подтверждена официальным письмом завода-изготовителя и приложена к проекту.

1.5.1. Необходимость применения догрузочных резисторов в цепях обмоток учёта трансформаторов тока определяется согласно следующим условиям:

- если существующие трансформаторы тока имеют обмотку учёта класса точности 0,5S с номинальной мощностью более 2ВА при номинальном токе 1А;
- если длина контрольного кабеля с сечением жил 2,5мм² между существующим счётчиком и обмоткой учёта ТТ, (класс точности 0,5S, номинальная мощность 2ВА при номинальном токе 1А), составляет менее 171 метра.

1.5.2. После принятия решения об установке догрузочных резисторов в цепи обмотки учёта ТТ, определения величины его мощности и сопротивления, необходимо:

- определить фактический коэффициент безопасности, отличающийся от номинального в сторону увеличения из-за отличия расчётной (проектной) величины вторичной нагрузки от номинальной;
- по фактическому коэффициенту безопасности определить величину и продолжительность импульсного тока в обмотке учёта при коротком замыкании в первичной цепи и величине тока КЗ,

полученного в РДУ энергосистемы, и сравнить с допустимым импульсным током существующих и вновь устанавливаемых микропроцессорных счётчиков по ГОСТ 52323-2005, п.7.2 и догрузочных резисторов;

- указанные проверки особенно необходимы для обмоток учёта с вторичным током 5А и вторичной нагрузкой 25% и менее от номинальной нагрузки, а так же для встроенных трансформаторов тока типа ТВ, имеющих большую величину коэффициента безопасности..

1.6. Класс точности

Для обмотки учёта: 0,2S; 0,5S .

Для обмотки измерений: 0,2S; 0,2; 0,5S; 0,5; 1.

Для обмотки защиты: 5P; 10P.

В ГОСТ 7746-2001 для трансформаторов тока установлены классы точности: 0,2S; 0,2; 0,5S; 0,5.

Современные трансформаторы тока могут обеспечивать любое сочетание класса точности (до 0,2S, 0,5S, 0,5 и 5P; 10P) и нагрузки (от 0 ВА и выше до номинальной), а также любые нагрузки каждой из обмоток.

Основное отличие ТТ класса точности 0,5 от 0,5S и 0,2 от 0,2S: допускаемые пределы погрешностей в области малых первичных токов разные. Так для классов точности 0,5 и 0,2 токовая погрешность нормируется с 5 % первичного тока, а для классов точности 0,2S и 0,5S с 1 %. При токах 5% и 20% от номинального, погрешности трансформаторов тока 0,5S и 0,2S меньше, чем у трансформаторов тока классов точности 0,5 и 0,2.

В связи с тем, что ТТ с магнитопроводом из электротехнической стали могут оставаться в насыщенном состоянии длительное время, что приводит к недоучёту электроэнергии, для коммерческого учёта электроэнергии на напряжение 6-10-35 кВ необходимо использовать ТТ классов точности 0,5S; 0,2S с магнитопроводами из аморфных (нанокристаллических) или специальных сплавов, не подверженных влиянию токов короткого замыкания.

ВАЖНО

Разница в погрешности между классами точности 0,2 и 0,5, между 0,5 и 0,5S составляет 2 раза, легко сосчитать, какая сумма при покупке электроэнергии будет потеряна из-за неправильного подбора класса точности трансформаторов тока.

Нижний предел нормированной погрешности большинства установленных ныне трансформаторов тока класса точности 0,5 при 5% номинального тока составляет 1,5%, а вновь установленных с классом точности 0,5S – в два раза меньше – 0,75%. В совокупности с погрешностями измерений трансформаторов напряжения и счётчиков **общая погрешность измерительного канала может составлять 2,9–3%.**

Точность измерений трансформаторов тока:

Погрешности ТТ в состоянии намагничивания не соответствуют классу точности 0,5.

Наибольшее влияние намагничивание оказывает на погрешности ТТ в области малых первичных токов (менее 20 % номинального). При работе ТТ при первичном токе 100 и 120 % номинального первичного тока и при номинальной мощности вторичной нагрузки время размагничивания составляет примерно 30 мин для ТТ на напряжение 10 кВ. При первичном токе, составляющем 50% от номинального первичного тока, токовая погрешность в течение примерно 10 секунд резко уменьшается, после чего процесс замедляется и в дальнейшем погрешность во времени меняется медленно и доходит до первоначальной приблизительно за 3 часа для ТТ на напряжение 10 кВ. При токах 5 % и 20% номинального первичного тока размагничивания практически не происходит и погрешности не восстанавливаются **за время более 8 ч.**

При замене ТТ с магнитопроводами из электротехнической стали на ТТ классов точности 0,5S и 0,2S с магнитопроводами из аморфных сплавов погрешность измерения электроэнергии улучшается в несколько раз и практически не зависит от влияния первичного тока и токов КЗ в первичной цепи.

Таблица 2.

Пределы допускаемых погрешностей:

Класс точности	Первичный ток, % номинал. значения	Предел допускаемой погрешности			Предел вторичной нагрузки, % номинал. значения
		токовой, %	угловой, %		25-100
0,2	5 20 100-120	$\pm 0,75$ $\pm 0,35$ $\pm 0,2$	$\pm 15'$ $\pm 8'$ $\pm 5'$	$\pm 0,9$ срад $\pm 0,45$ срад $\pm 0,3$ срад	
0,2S	1 5 20 100 120	$\pm 0,75$ $\pm 0,35$ $\pm 0,2$ $\pm 0,2$ $\pm 0,2$	$\pm 30'$ $\pm 15'$ $\pm 10'$ $\pm 10'$ $\pm 10'$	$\pm 0,9$ срад $\pm 0,45$ срад $\pm 0,3$ срад $\pm 0,3$ срад $\pm 0,3$ срад	
0,5	5 20 100-120	$\pm 1,5$ $\pm 0,75$ $\pm 0,5$	$\pm 90'$ $\pm 45'$ $\pm 30'$	$\pm 2,7$ срад $\pm 1,35$ срад $\pm 0,9$ срад	
0,5S	1 5 20 100 120	$\pm 1,5$ $\pm 0,75$ $\pm 0,5$ $\pm 0,5$ $\pm 0,5$	$\pm 90'$ $\pm 45'$ $\pm 30'$ $\pm 30'$ $\pm 30'$	$\pm 2,7$ срад $\pm 1,35$ срад $\pm 0,9$ срад $\pm 0,9$ срад $\pm 0,9$ срад	
1	5 20 100-120	$\pm 3,0$ $\pm 1,5$ $\pm 1,0$	$\pm 180'$ $\pm 90'$ $\pm 60'$	$\pm 5,4$ срад $\pm 2,7$ срад $\pm 1,8$ срад	
3	50-120	$\pm 3,0$	Не нормируют		50-100
10		± 10			

Для трансформаторов с номинальными вторичными нагрузками 1; 2; 2,5; 3; 5 и 10 В·А нижний предел вторичных нагрузок — 0,8; 1,25; 1,5; 1,75; 3,75 и 3,75 В·А соответственно.

Для обмоток РЗА пределы допускаемых погрешностей составляют:

Таблица 3.

Класс точности	Предел допускаемой погрешности			При токе номинал. предельной кратности
	токовой, %	угловой, %		полной, %
5Р	±1	±60'	±1,8 срад	5
10Р	±3	Не нормируют		10

1.7. Выбор номинального коэффициента безопасности приборов $K_{\text{бном}}$ и номинальной предельной кратности $K_{\text{ном}}$

1.7.1. Коэффициент безопасности ТТ.

Межгосударственный стандарт ГОСТ 7746-2001 «Трансформаторы тока. Общие технические условия» устанавливает среди основных параметров ИТТ и такой, как номинальный коэффициент безопасности $K_{\text{нб}}$. Этот коэффициент определяется через отношение номинального тока безопасности приборов $I_{\text{нп}}$ к номинальному первичному току трансформатора $I_{\text{нт}}$: $K_{\text{нб}} = I_{\text{нп}} / I_{\text{нт}}$, где $I_{\text{нп}}$ – это минимальное значение первичного тока трансформатора, при котором его полная погрешность составляет не менее 10% при номинальной вторичной нагрузке трансформатора.

Иными словами, коэффициент безопасности устанавливает ту минимальную кратность повышения первичного тока (а повышение происходит, как правило, при коротком замыкании первичной цепи), при котором сердечник трансформатора входит в насыщение, блокируя тем самым рост тока во вторичной цепи и, как следствие, предохраняя выход из строя подключенного к этой цепи прибора учёта.

ГОСТ оговаривает, что значение коэффициента безопасности устанавливается в стандартах на трансформаторы конкретных типов. Производители трансформаторов всегда стремились уменьшить этот коэффициент, так как тем самым обеспечивали более безопасные условия функционирования вторичных приборов: например, для ТТ с $K_{\text{нб}}=10$ и $I_{2\text{н}}=5$ А максимальный вторичный ток мог достигать 50 А при 10-кратном возрастании первичного тока трансформатора, что могло вывести прибор учёта, подключённый

к его вторичной обмотке и рассчитанный на номинальный ток 5 А, из строя. Меньший коэффициент всегда выступал как дополнительное преимущество в конкурентной борьбе на рынке сбыта своих изделий. Но для ТТ с сердечниками из электротехнической стали не удавалось получить коэффициент меньше 5-10.

Для ТТ с сердечниками из нанокристаллических сплавов удалось снизить коэффициент безопасности до 1,5-2 (в зависимости от модели и номинального коэффициента трансформации).

С помощью заводских кривых определяется максимальное значение вторичной нагрузки при нужных значениях коэффициента безопасности. Если вторичная нагрузка оказывается меньше требуемой по проекту, то с помощью варьирования сечения и длины соединяющих проводов или установки догрузочных резисторов проектировщики добиваются необходимых значений вторичной нагрузки. Таким образом, технически проблема решена, однако часто это решение оказывается экономически невыгодным из-за необходимости увеличения сечения проводов и уменьшения расстояния, за счёт переноса релейных шкафов.

Поэтому необходимо предусматривать измерительный трансформатор тока с определенным коэффициентом безопасности прибора, чтобы одновременно с измерением обеспечить защиту счётчика и догрузочного резистора (при наличии) в случае короткого замыкания в первичной цепи.

На практике требуемые значения коэффициента безопасности прибора обычно равно 5 или 10, а отдельные серийные трансформаторы часто имеют значения 20,30 и более. При таких значениях необходимо производить учёт величины тока вторичной обмотки при КЗ в первичной сети и сопоставлять с величиной импульсного максимального тока счётчиков $20 I_{\max}$ (200 А) и тока других приборов, включённых по проекту в цепь обмотки трансформатора тока. Поэтому в обмотку учёта должны быть включены только микропроцессорные счётчики (ГОСТ 52323-2005).

ГОСТ 52323-2005 устанавливает перегрузку всех микропроцессорных счётчиков $20 I_{\max}$ ($20 \cdot 10 \text{ А} = 200 \text{ А}$) в течение 0,5 с. Следовательно, максимальный $K_{\text{без}}$ для обмотки учёта вторичным током 5 А и с включённым только счётчиком составит $K_{\text{без}}^{\text{макс}} = 200 \text{ А} : 5 \text{ А} = 40$. Поэтому при вторичной нагрузке меньше номинальной, необходимо производить расчёт фактического коэффициента безопасности.

Важно

Особенно актуален пересчёт $K_{\text{без}}^{\text{факт}}$ при установке микропроцессорных 5 А счётчиков в ячейки КРУ с короткими кабелями подключения и трансформаторами тока с $K_{\text{без}}^{\text{ном}}=25$ и более.

Для счётчиков с номинальным током 1 А увеличение $K_{\text{без}}^{\text{факт}}$ не представляет опасности.

$$K_{\text{без}}^{\text{факт}} = K_{\text{без}}^{\text{ном}} \times [(Z_2 + Z_{\text{ном}}) / (Z_2 + Z_{(\text{ном.факт(расч))})}],$$

где Z_2 – полное сопротивление вторичной обмотки ТТ.

1.8. Электродинамическая и термическая стойкость ТТ.

1.8.1. Определение номинального тока термической стойкости ($I_{\text{терм}}$).

Обычно номинальный ток термической стойкости с длительностью приложения 1 или 3 сек. должен быть до 100 раз больше номинального первичного тока, т.е.

$$I_{\text{терм}(1\text{с})} = 100 \times I_{\text{ном}}.$$

где:

$I_{\text{терм}(1\text{с})}$ – одnoseкундный ток термической стойкости, кА;

$I_{\text{ном}}$ – номинальный первичный ток трансформатора, А.

Например:

Для трансформатора тока с номинальным первичным током $I_{\text{ном}}=150$ А, минимальный ток одnoseкундной термической стойкости ($I_{\text{терм}(1\text{с})}$) будет равен:

$$I_{\text{терм}(1\text{с})} = 100 \times 150 \text{ А} = 15000 \text{ А} = 15 \text{ кА}.$$

Значения термических токов государственными стандартами не нормируются.

1.8.2. Методика проверки выбранных трансформаторов тока по условию электродинамической стойкости (согласно РД 153-34.0-20.527-98).

По условию динамической стойкости:

$$I_{\text{д}} > I_{\text{уд}},$$

где:

$I_{\text{д}}$ – ток динамической стойкости трансформатора тока, кА;

$I_{\text{уд}}$ – ударный ток, кА.

Значение ударного тока рассчитывается по формуле:

$$I_{уд} = K_{уд} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{кз},$$

где: $K_{уд}$ – ударный коэффициент;

Принимаем $K_{уд} = 1,8$ ($1,8 \cdot 1,41 = 2,54$)

1.8.3. Методика проверки выбранных трансформаторов тока на термическую стойкость (согласно РД 153-34.0-20.527-98).

По условию термической устойчивости:

$$I_{тер.норм}^2 \cdot t_{тер.норм} > B_{кз},$$

где: $I_{тер.норм}$ – ток термической стойкости трансформатора тока по каталогу, кА;

$t_{тер.норм}$ – нормируемое время термической устойчивости трансформатора тока, с;

$B_{кз}$ – полный тепловой импульс тока к.з., кА²с.

$t_{откл}$ – $B_{кз} = I_{кз}^2 \cdot t_{откл}$ расчётное время отключения присоединения при к.з., с, принимаем $t_{откл} = 1$ с и 3 с.

Проверка электрического аппарата на термическую стойкость при КЗ заключается в сравнении найденного при расчётных условиях значения интеграла Джоуля B_k с его допустимым для проверяемого аппарата значением $B_{тер.доп.}$. Электрический аппарат удовлетворяет условию термической стойкости, если выполняется условие:

$$B_k \leq B_{тер.доп.}$$

1.9. Выбор уровня изоляции ТТ.

В ГОСТ 7746 – 2001 указано, что измерение частичных разрядов необходимо проводить лишь для трансформаторов, электрическая прочность изоляции которых испытывается по уровню «а», согласно ГОСТ 1516.3. Если же прочность изоляции испытывается по уровню «б», то испытаний на частичный разряд проводить не требуется. Подобное утверждение не только ошибочно, но оно также позволяет производить и поставлять некачественную продукцию.

Большинство производителей предпочитают испытывать изоляцию трансформаторов по уровню «б», вместо «а», мотивируя тем, что испытание более высоким напряжением по уровню «б» позволяет им гарантировать более высокое качество трансформаторов.

В лаборатории завода ООО «Электрощит-К°» были проведены испытания, которые позволили установить, что у испытанных по уровню «б» трансформаторов в количестве 100 штук различных производителей, уровень частичных разрядов во много раз превышал допустимые для литой изоляции – 20 пКл (ГОСТ 7746-2001, раздел 6.3.6, таблица 6). Все трансформаторы без исключения успешно выдержали эти испытания, несмотря на то, что они были не пригодны к эксплуатации по уровню «а».

Величина частичных разрядов, в первую очередь характеризует старение твердой изоляции литых трансформаторов и лишь косвенно связана с величиной одноминутного напряжения испытания изоляции.

Эта величина принципиально важна для характеристики качества литой изоляции трансформаторов, поскольку только с помощью этих измерений можно установить наличие опасной концентрации дефектов в изоляции.

Как пример, можно привести европейские нормы на измерительные трансформаторы (IEC 66044-1 и IEC 66044-2). В них однозначно указано, что измерение частичного разряда является обязательным пунктом всех приёмо-сдаточных испытаний.

И это необходимо, несмотря на применение сегодня самых современных технологий для производства литых измерительных трансформаторов. Поскольку в процессе производства всегда возможно попадание воздушных включений в изоляцию, что называется дефектом изоляции. Минимум или практическое отсутствие воздушных включений гарантирует метод заливки трансформаторов под давлением.

В чём заключается опасность, если в изоляции будут воздушные включения? Поскольку диэлектрическая проницаемость воздуха меньше чем у диэлектрика, то напряженность поля в газовой

полости значительно превосходит среднюю напряженность поля в изоляции. Поэтому в газовой полости, даже при рабочем напряжении, возникают ионизационные процессы, из-за которых постепенно происходит локальное обугливание изоляции и возникновение в этих областях микротрещин. А последние могут привести к возникновению внутри изоляции короткого замыкания. Этот процесс может развиваться месяцами и даже годами и практически остается не заметным, вплоть до момента аварии.

То есть, не зависимо по какому уровню «а» или «б» испытываются трансформаторы, испытание на частичный разряд должно быть обязательным, иначе не обеспечивается должное качество измерительных трансформаторов.

ВАЖНО

Применение серийных трансформаторов с определёнными, уже заранее установленными номинальными параметрами (например, 0,5\10Р; 10\15ВА), приводит как к увеличению погрешности измерений, так и значительному удорожанию всей системы измерения и защиты.

Решение проблемы достаточно простое – необходимо заказывать трансформаторы с номинальными параметрами, соответствующими требованиям системы.

Сегодня это совершенно реально и не требует специальной дорогостоящей разработки.

В течение нескольких минут специалисты расчётного бюро ООО «Электрощит-К°» рассчитают модель необходимого Вам трансформатора, современные методы производства позволяют изготовить нестандартный трансформатор в те же сроки как и серийные трансформаторы.

Пример расчета и выбора трансформатора тока ТЛО-10.

1. Заказчик выдал Проектной организации Задание на разработку проекта по созданию автоматизированной информационно-измерительной системы коммерческого учёта электроэнергии, в соответствии с требованиями нормативных документов и выполнением условий оптового рынка электроэнергии в РУ-10кВ.

2. Проектная организация произвела предпроектное обследование РУ-10 кВ, состоящее из 18 ячеек коммерческих присоединений, требующих коммерческого учёта электроэнергии.

3. Для примера расчёта взята характеристика одного присоединения:

- в ячейке 10кВ установлены два трансформатора тока в фазах А и С типа ТОЛ-10, двухобмоточные, класса точности 0,5/10Р, мощность обмоток 10/15 ВА, КТТ 50/5, коэффициент безопасности не указан, номинальная предельная кратность – 15, год изготовления – 1986г (срок эксплуатации – более 25 лет);
- по результатам замеров в режимные дни зафиксирована максимальная нагрузка – 7А, минимальная нагрузка – 2А;
- у потребителей предусмотрен рост токовой нагрузки до 145 А;
- потребители подключены к ячейке кабелем АСБ 3х70 с допустимым током 165 А;
- к трансформатору тока подключён микропроцессорный счётчик типа А – 1800 с номинальным током 5А;
- длина токовых цепей составляет 3 метра;
- вторичные обмотки ТОЛ-10 выведены с торца.

4. Определяем основные характеристики нового трансформатора тока:

4.1. Существующий ТОЛ-10 – опорный трансформатор. Выбираем новый опорный трансформатор ТЛО-10, номинальное напряжение 10кВ.

4.2. Поскольку величина перспективного роста нагрузок 145А превышает номинальный ток 50А, предварительно выбираем номинальный ток ТЛО-10 равным 200 А, с учётом величины допускаемого тока кабеля 165 А. При этом необходимо проверять уставки и характеристики токовых реле в схемах максимальной защиты и токовой отсечки из-за изменения КТТ.

Окончательное решение примем после проверки соответствия этого тока остальным критериям надежной работы.

4.3. У существующего ТОЛ-10 вторичный ток 5А, и поскольку необходимо использовать существующий счётчик А-1800, выбираем ТЛО-10 с КТТ 200/5.

4.4. Класс точности у обмоток измерения и защиты старого ТОЛ-10-0,5/10Р – эти величины сохраняем для обмоток измерения и защиты ТЛО-10 и добавляем отдельную пломбируемую обмотку учёта класса точности 0,5S. По нормативным документам для трансформаторов тока напряжения 10кВ достаточен класс точности 0,5S, а класс точности 0,2S установлен для оборудования на напряжения выше 110кВ.

В некоторых случаях класс точности 0,2S для ТЛО-10 устанавливается по требованию заказчика для более точного учёта.

4.5. Номинальный вторичный ток обмоток измерения и защиты нового ТЛО-10 выбираем по аналогии с вторичным током старого ТОЛ-10, равный – 5А.

4.6. Номинальные вторичные мощности обмоток измерения и защиты выбираем по аналогии с величинами старого ТОЛ-10-10/15ВА. Если при предпроектном обследовании из существующих протоколов проверки старого ТОЛ-10 установлено, что обмотки перегружены, то в таком случае величина мощности обмотки должна быть установлена по фактической величине нагрузки.

4.7. Номинальные предельная кратность и коэффициент безопасности обмотки измерения ТЛО-10 устанавливаются по данным старого ТОЛ-10, если иное не указано в задании на проектирование или при согласовании проекта со службой РЗА предприятия.

4.8. Определяем процент максимальной и минимальной величины первичного тока старого ТОЛ-10 по отношению к нормативным величинам по ПУЭ: более 40% при максимальной рабочей нагрузке и более 5% при минимальной рабочей нагрузке, для КТТ 50/5 и класса точности 0,5:

Макс. – $7A : 50A \times 100\% = 14\%$ – менее 40%;

Мин. – $2A : 50A \times 100\% = 4\%$ – **менее 5%,**

т.е. имеются условия **для безучётного потребления** электроэнергии при минимальных нагрузках.

Условия работы старого ТОЛ-10 50/5 не обеспечивают работы в соответствии с требованиями ПУЭ 1.5.17, необходимо изменить КТТ, заменив трансформатор с учётом роста нагрузки до 145А в будущем.

4.9. Проверяем КТТ 200/5 класса точности 0,5S проектируемого ТЛО-10 по этим же параметрам, с учётом измерения тока нагрузки не от 5%, а от 1% номинального тока, и с учётом величины тока перспективного роста 145А:

Макс. – $145\text{А} : 200 \times 100\% = 72,5\%$ – более 40%;

Мин. – $2\text{А} : 200 \times 100\% = 1\%$ – норма 1%.

Делаем заключение:

- 1 Выбранный ТЛО-10 с КТТ 200/5 обмотки учёта обеспечит измерение электроэнергии во всём диапазоне изменения нагрузки присоединения.
- 2 Для измерения при меньших нагрузках предусмотреть переключение первичных обмоток в отношении 1:2 (100 А и 200А).

Характеристики ТЛО-10 можно записать:

ТЛО –10 М1АСF 0,5S/0,5/10P – 100(200)/5.

Полная запись формулы заказа будет произведена после определения мощности и коэффициента безопасности обмотки учёта.

4.10. Для определения мощности обмотки учёта необходимо вычислить величину сопротивления токовой петли счётчика А – $1800 - 0,00012\text{ Ом}$, переходного сопротивления контактов $0,05\text{ Ом}$ (клемм трансформатора, испытательного блока, счётчика) и сопротивления проводов вторичной цепи, с учётом коэффициента схемы включения:

при трёхфазном включении $K = 1$; при двухфазном включении $K = 1,73$.

Сопротивление проводов равно: $R = K * (\rho * l) / S$.

4.10.1. Существующая схема ячейки – трансформаторы тока установлены в двух фазах А и С, что предполагает использование для измерения напряжения трансформатор напряжения, измеряющего линейное (межфазное) напряжение.

По требованию отдельных Заказчиков может устанавливаться третий трансформатор тока в фазу «В» для создания условий

по контролю качества электроэнергии с подключением специальных приборов. Тогда необходимо, кроме реконструкции токовых цепей, устанавливать трансформаторы напряжения, измеряющие фазное напряжение в классе точности 0,5 (три однофазных трансформатора напряжения).

В нашем случае установка третьего трансформатора тока была указана в задании на проектирование, поэтому при расчёте сопротивления проводов применяется $K = 1$.

4.11. При длине проводов 3 метра и сечении $2,5 \text{ мм}^2$ (минимально допустимого сечения медных проводов) сопротивление составляет:

$$R = 1,73 * 0,0175 * 3/2,5 = 0,036 \text{ Ом.}$$

4.12. Тогда общее сопротивление токовой цепи составит:

$$R_{\Sigma} = 0,00012 + 0,05 + 0,036 = 0,086 \text{ Ом, а её мощность:}$$

$$S = I^2 * R_{\Sigma} = 25 * 0,086 = 2,15 \text{ ВА} \approx 2,2 \text{ ВА.}$$

Примечание: При установке ТТ в двух фазах и $K=1,73$ мощность нагрузки составит 2,15 ВА.

4.13. Для обеспечения работы ТЛО-10 в классе точности 0,5S необходимо, чтобы нагрузка составляла около 50% номинальной мощности обмотки. Берём мощность обмотки учёта ЗВА, нагрузка составляет 60%. Проверяем по ГОСТ 7746-2001 п.6.4.2: нижний предел вторичной нагрузки для трансформатора с номинальной нагрузкой 3 ВА составляет 1,75 ВА. Следовательно, выбранная мощность обмотки учёта 3 ВА удовлетворяет всем нормативным требованиям и установка догрузочных резисторов не требуется.

4.14. Выбираем коэффициент безопасности обмоток учёта и измерения нового трансформатора ТЛО-10 $K_{\text{без}} = 5$, а номинальную кратность обмоток защиты $K_{\text{ном}} = 15$ как у старого ТОЛ-10.

4.15. Произведём проверку выбранного ТЛО-10 с КТТ 200/5 по термической и электродинамической стойкости.

По каталогу ООО «Электрощит-К» выясняем ток односекундной термической стойкости при номинальном первичном токе 200А-20; 31,5; 40-60кА, при стандартной величине 20кА.

Выбираем $I_{\text{терм}} = 20 \text{ кА}$, поскольку выбран трансформатор с переключением обмоток по первичному току и с выводами от средней

точки вторичных обмоток. Тогда электродинамическая стойкость составит 52кА.

4.15. 1. По данным энергосистемы ток трёхфазного короткого замыкания на шинах РУ-10 кВ составляет 12,94 кА. Время работы защит составляет 2 секунды.

Тогда тепловой импульс тока К.З. составит $W_{кз} = 12,94 * 12,94 * 2 = 334,9 \text{ кА}^2\text{с}$, что меньше допустимого теплового импульса ТЛО-10 $W_{доп} = 20 * 20 * 1 = 400 \text{ кА}^2\text{с}$.

Значение ударного тока составляет $I_{уд} = 1,8 * \sqrt{2} * 12,94 = 32,84 \text{ кА}$, что меньше допустимого тока 52 кА.

Таким образом, трансформатор ТЛО-10 200/5 устойчив к термическому и электродинамическому воздействию при установке в РУ-10 заказчика.

4.16. Проверка допустимого тока приборов, включённых в обмотку учёта после определения фактической величины вторичной нагрузки, меньшей номинальной.

$$K_{б.факт} = K_{б.ном} * \frac{Z_2 + Z_{ном.}}{Z_2 + Z_{расч.}}$$

$$K_{б.ном} = 5$$

Z_2 – полное сопротивление вторичной обмотки:

$$Z_2 = \sqrt{(x^2 + R^2)}, \text{ Ом}$$

При отсутствии данных о величине X , возможно с достаточной степенью точности подставлять в формулу расчёта величину активного сопротивления обмотки учёта.

Для ТЛО-10 200/5:

$$R = 0,063 \text{ Ом (из паспорта)}, \text{ тогда } K_{б.факт} = 5 * (0,063 + 0,12) / (0,063 + 0,071) = 6,8$$

Следовательно, максимальный импульсный ток в обмотке учёта составит $5А * 6,8 = 34А$ и безопасность счётчика обеспечена.

4.17. Категорию размещения и климатическое исполнение ТЛО-10 выбираем согласно ГОСТ 15150 и по каталогу ООО «Электроцит-К°» УХЛ2.

5. По результатам расчётов заполняется опросный лист ТЛО-10 по формуле заказа:

ТЛО-10 М1 АCF 0,5SF55/0,5FS5/10P15-3/10/15-100(200)/5 УХЛ2 6 20кА.

М1 – габарит исполнения;

А – выводы обмоток с торца трансформатора;

С – наличие крышки пломбирования;

F – с переключением по первичной обмотке;

0,5SF55 – класс точности и $K_{\text{без}}$ обмотки измерения;

10P15 – класс точности и предельная кратность обмотки защиты;

3/10/15 – номинальная мощность обмоток учёта/измерения/защиты;

100(200)/5 – КТТ обмоток измерения и защиты при наличии переключения по первичной обмотке;

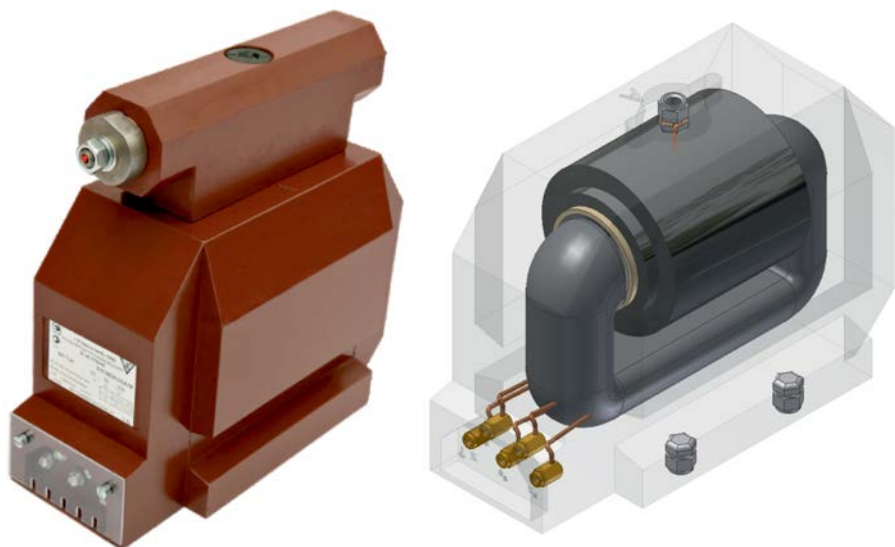
УХЛ2 – климатическое исполнение и категория размещения;

6 – уровень частичных разрядов изоляции;

20 кА – ток термической стойкости при К.З.



ВЫБОР ТРАНСФОРМАТОРА НАПЯЖЕНИЯ



Последовательность шагов при выборе трансформатора напряжения из нашего каталога

1. Выбор номинального первичного напряжения $U_{\text{ном}}$.

Значение номинального первичного напряжения следует указывать в « В » или « кВ », для трансформатора напряжения с одним выводом напряжения фаза-земля (ноль) может быть представлена в виде: $3000\sqrt{3}\text{В}$, $3300\sqrt{3}\text{В}$, $6000\sqrt{3}\text{В}$, $6300\sqrt{3}\text{В}$, $6600\sqrt{3}\text{В}$, $10000\sqrt{3}\text{В}$, $10500\sqrt{3}\text{В}$, $11000\sqrt{3}\text{В}$, $13800\sqrt{3}\text{В}$, $15000\sqrt{3}\text{В}$, $15750\sqrt{3}\text{В}$.

2. Выбор номинального вторичного напряжения.

Значение номинального вторичного напряжения следует указывать в « В » или « кВ ».

Например, для трансформатора напряжения вторичное напряжение следует представлять как

$100\sqrt{3}\text{В}$, или $110\sqrt{3}\text{В}$ для основной вторичной обмотки и
 $100/3\text{В}$, 100В , $110/3\text{В}$ или 110В для дополнительной обмотки.

3. Номинальная мощность вторичной обмотки.

Номинальную мощность следует указывать в В*А для каждой вторичной обмотки.

Номинальная потребляемая мощность определяется подсоединёнными приборами. Суммарная мощность для 2 вторичных обмоток измерения не должна превышать допустимую максимальную мощность, указанную в каталоге.

4. Выбор класса точности.

Для измерительных цепей: 0.2; 0.5; 1.0; 3.0.

Для защитных цепей: 3Р; 6Р

(дополнительная вторичная обмотка).

Дополнительная вторичная обмотка может изготавливаться с классом точности 3.0.

Точность измерений трансформатора напряжения:

$$f_U = \frac{U_2 * n_n - U_1}{U_1} * 100; \quad n_n = \frac{U_{1n}}{U_{2n}}, \quad \text{где}$$

U_1 – значение первичного напряжения

U_2 – значение вторичного напряжения

n_n – номинальный коэффициент трансформации

Угловая погрешность:

Угловой погрешностью трансформатора тока называется угол между векторами первичного и вторичного токов.

Угловая погрешность считается положительной, когда вектор вторичного тока, повернутый на 180°, опережает вектор первичного тока.

Пределы допускаемых погрешностей:

Класс точности	Предел допускаемой погрешности		
	токовой, %	угловой, %	
0,2	±0,2	±10'	±0,3 срад
0,5	±0,5	±20'	±0,6 срад
1	±1,0	±40'	±1,2 срад
3	±3,0	Не нормируют	
3Р	±3,0	±120'	±3,5 срад
6Р	±6,0	±240'	±7,0 срад

5. Предельная мощность.

Выбрать из каталога предельную мощность вне класса точности.

Предельную мощность следует указывать в «В*А».

Например: 250 В*А, 400 В*А, 630 В*А.

6. Выбор климатического исполнения и категории размещения.

Для трансформаторов напряжения внутренней установки различают следующие категории размещения:

2 – для установки под крышей,

3 – для установки внутри помещения.

А так же указывается климатическое исполнение:

У – умеренный климат,

УХЛ – умеренный и холодный климат,

Т – тропический климат.

7. Выбор уровня изоляции «а» или «б».

Согласно ГОСТ 1983-2001 существует несколько уровней основной изоляции трансформаторов напряжения.

Уровень изоляции «а» – при проведении высоковольтных испытаний, производится проверка изоляции на наличие частичных разрядов по ГОСТ 20074-83.

Уровень изоляции «б» – проведение только высоковольтных испытаний без проверки изоляции на наличие частичных разрядов.

8. Полный комплект технических данных.

Пример:

$U_{ном} = 6/\sqrt{3} \text{ кВ} : 100/\sqrt{3} \text{ В} : 100/3 \text{ В}$

класс точности = 0,2/3,0

$S_{2ном} = 30/200 \text{ В*А}$

$I_{терм} = 10 \text{ кА}$

климатическое исполнение = У

категория размещения = 2

уровень изоляции = б

ООО «Электроцит-К^о»

ТРАНСФОРМЭЛЕКТРО

249210, Калужская область, Бабынинский район,
п. Бабынино, ул. Советская, 24

Тел.: + 7 48448 21751

Факс: + 7 48448 22458

Тел./факс: +7 495 9999424

e-mail: info@tf-el.ru

info@transformelectro.ru

http:// www.kztt.ru

www.transformelectro.ru