

Особенности применения цифровых трансформаторов тока для целей релейной защиты

Р.С. Плакидин, Д.Н. Ульянов, А.В. Мокеев

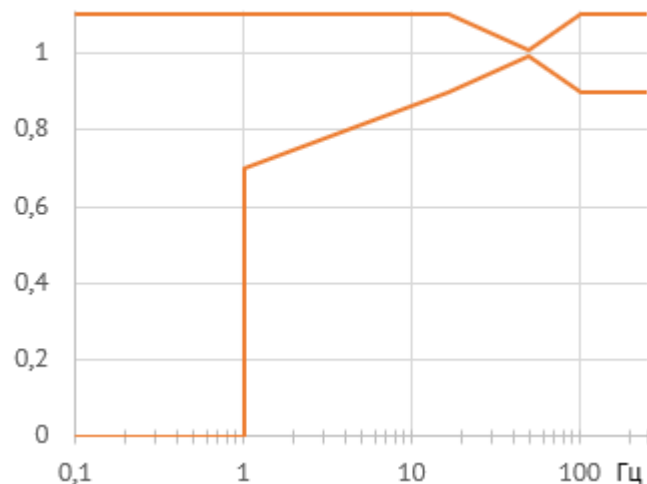
**ООО «Инженерный центр «Энергосервис»,
Северный (Арктический) федеральный университет**

Всероссийская научно-техническая конференция
по релейной защите и автоматизации энергетических систем

Чебоксары, 24 апреля 2024

IEC	ГОСТ
IEC 60044-1:1996 Instrument transformers – Current transformers	ГОСТ 7746-2001 Трансформаторы тока. Общие технические условия ГОСТ IEC 60044-1-2013 Трансформаторы измерительные. Часть 1. Трансформаторы тока
IEC 60044-6:1992 Instrument transformers – Requirements for protective current transformers for transient performance	?
IEC 60044-8:2002 Instrument transformers – Electronic current transformers	ГОСТ Р МЭК 60044-8-2010 Трансформаторы измерительные. Часть 8. Электронные трансформаторы тока
IEC 61869-1:2007 Instrument transformers – general requirements	ГОСТ 7746-2015 Трансформаторы тока. Общие технические условия ГОСТ IEC 61869-1-2015 Трансформаторы измерительные. Часть 1. Общие требования
IEC 61869-6:2016 Additional general requirements for low-power instrument transformers	ГОСТ Р МЭК 61869-6-2021
IEC 61869-1:2023 ED2.0 Instrument transformers – general requirements	?
IEC 61869-2:2012 Instrument transformers – Part 2: Additional requirements for current transformers	ГОСТ 7746-2015 Трансформаторы тока. Общие технические условия ГОСТ Р МЭК 61869-2-2015 Дополнительные требования к трансформаторам тока
IEC 61869-9:2016 Digital interface for instrument transformers	Проект (?)
IEC 61869-10:2017 Additional requirements for low-power passive current transformers	ГОСТ Р 59408-2021 Трансформаторы измерительные. Часть 10. Дополнительные общие требования к маломощным пассивным трансформаторам (преобразователям) тока

АЧХ



ФЧХ

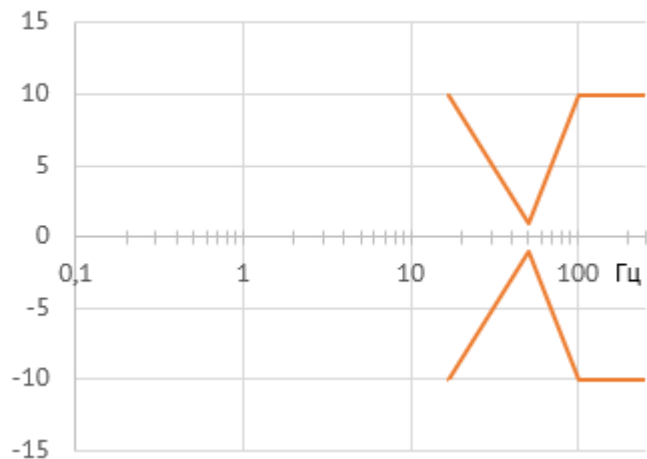


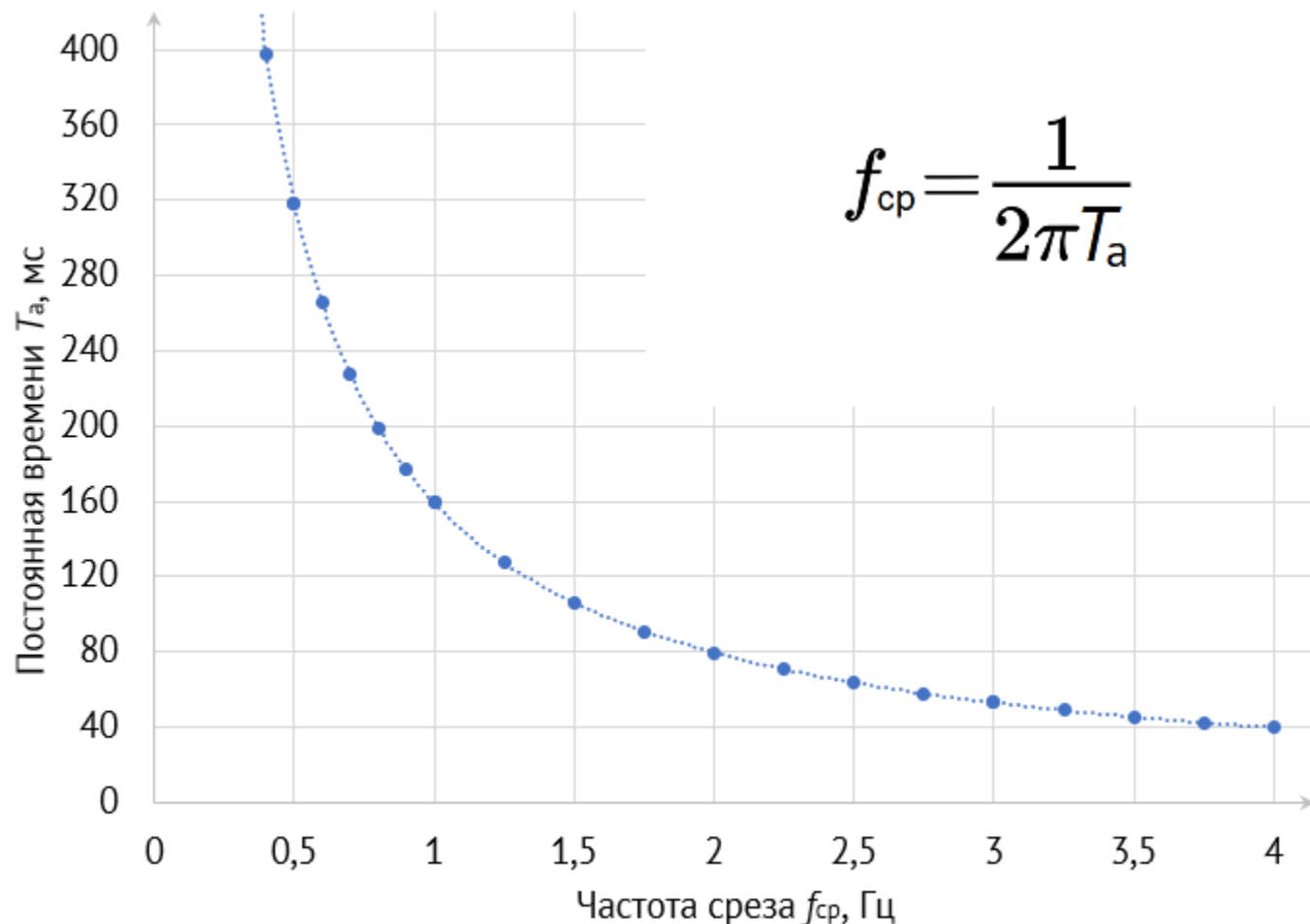
Таблица 9 – Требования к гармоникам для защитных классов точности

Относительная погрешность на низких частотах		Относительная погрешность на гармониках кратных f_r		Угловая погрешность на низких частотах	Угловая погрешность на гармониках кратных f_r	
%				°		
DC	1 Гц	1/3 (16,7 Гц или 20 Гц)	2 – 5	1 Гц	1/3 (16,7 Гц или 20 Гц)	2 – 5
+10 –100	+10 –30	±10	±10	-	±10	±10

Для всех защитных классов точности требования к частотной характеристике из таблицы 9 являются обязательными.

Частоты 16,7 Гц или 20 Гц требуются для работы с воздействиями, исходящими от оборудования железнодорожной сети (для электрических сетей с номинальными частотами 50 Гц или 60 Гц соответственно).

Требования к частотной характеристике



Значения постоянной времени затухания апериодической составляющей тока КЗ T_a

Элемент или часть энергосистемы	T_a , с
Турбогенератор мощностью, МВт:	
12—60	0,16—0,25
100—1000	0,4—0,54
Блок, состоящий из турбогенератора мощностью 60 МВт и трансформатора, при номинальном напряжении генератора, кВ:	
6,3	0,15
10	
Блок, состоящий из турбогенератора и повышающего трансформатора, при мощности генератора, МВт:	
100—200	0,26
300	0,32
500	0,35
800	0,3

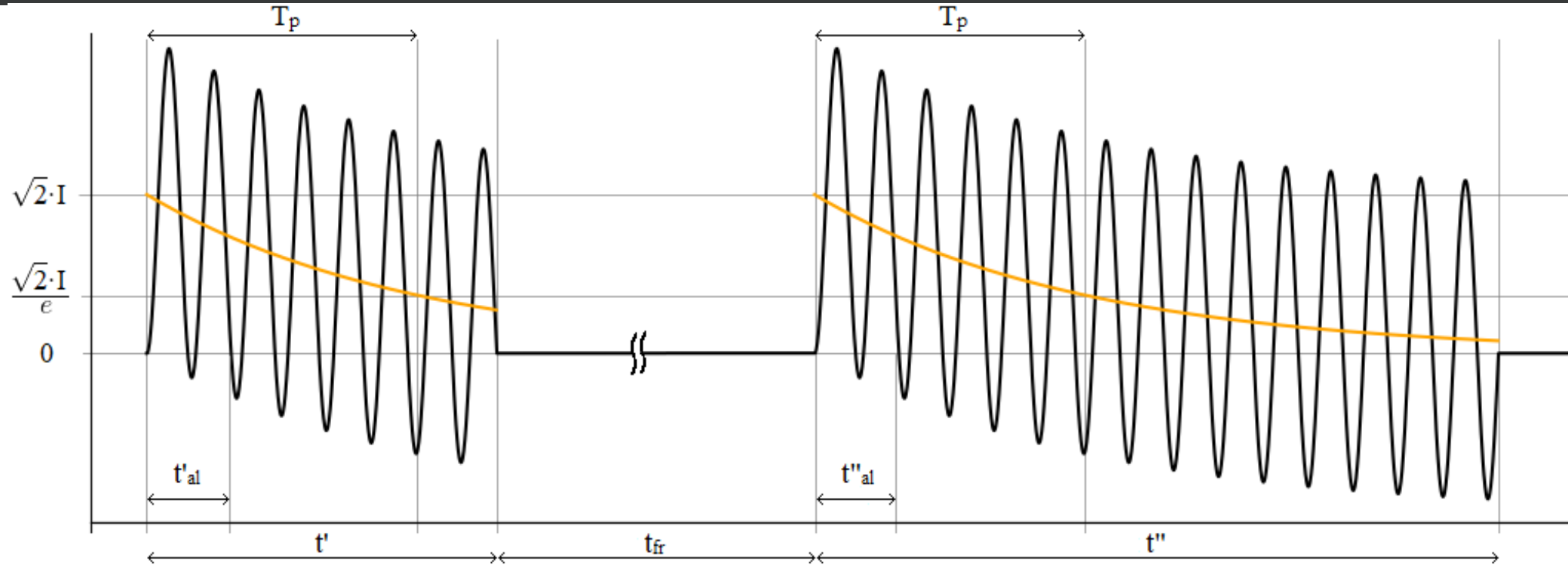
Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. – М.: Энергоатомиздат. – 1987. – С. 150

IEC 61869:

The manufacturer shall declare the specified current input time constant τ for which the transient performance specification applies. Preferred values are, ms:

50; 120; 180; 250; DC

Нормированный рабочий цикл В-О-В-О (C-O-C-O duty cycle)

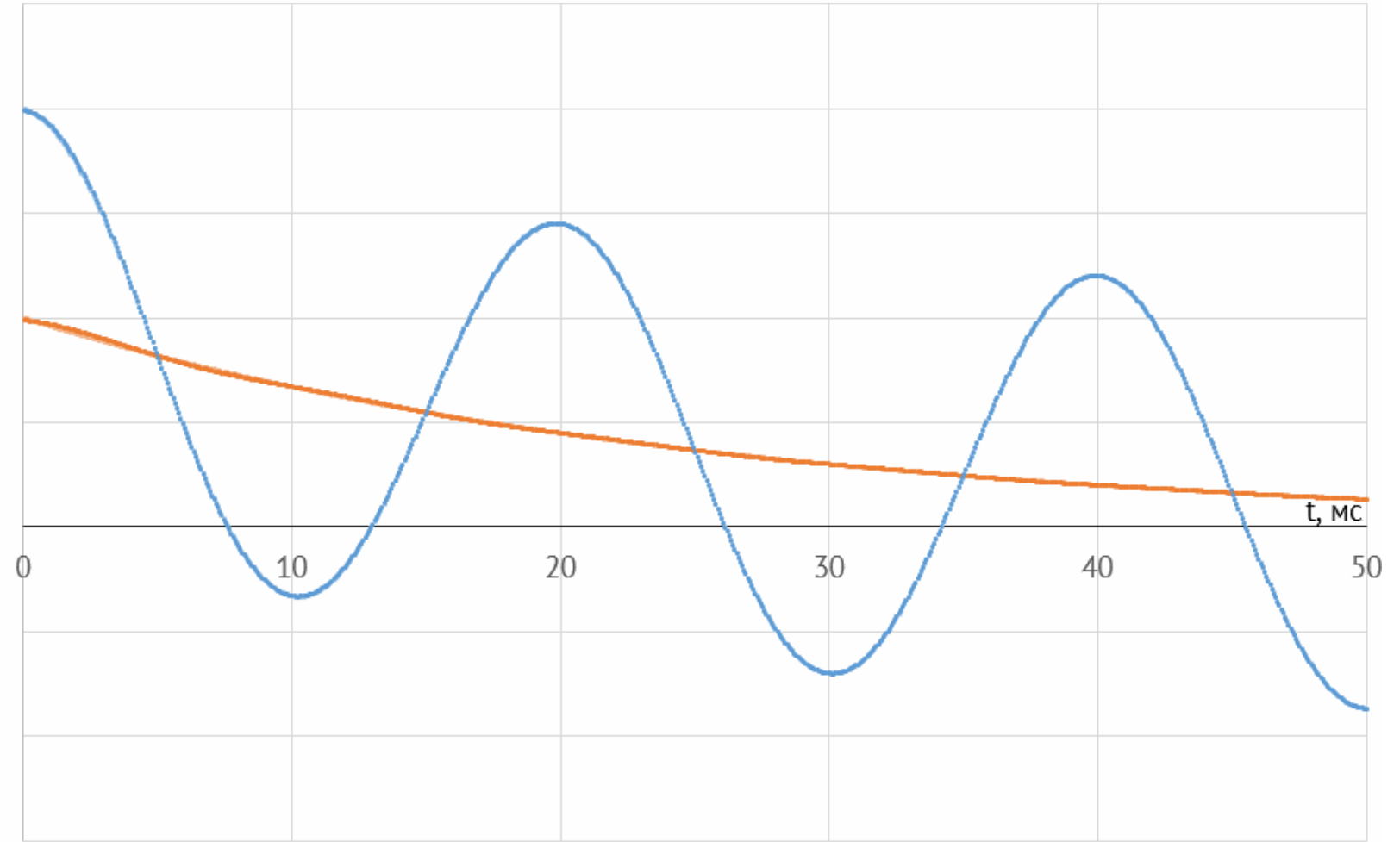
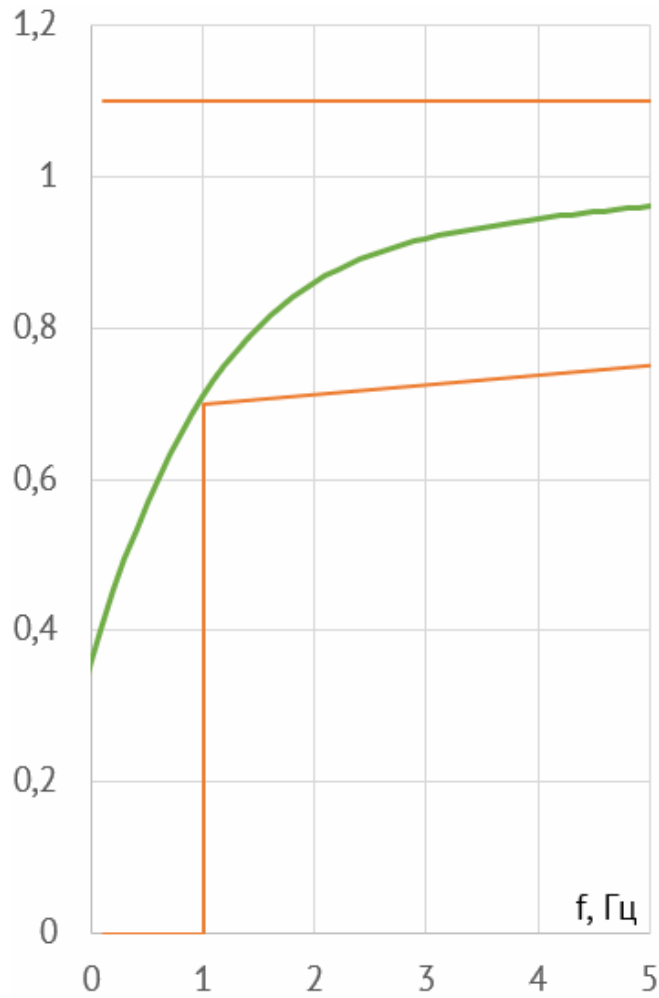


t' и t'' – продолжительность первого и второго включения;

t_{fr} (fault repetition time) – временной интервал между прерыванием и повторным возникновением тока короткого замыкания в первичной обмотке (время отдыха между срабатываниями);

t'_{al} и t''_{al} (time to accuracy limit) – минимальное время, в течение которого точность измерений остается в пределах заявленной точности (время до насыщения) во время первого и второго включения;

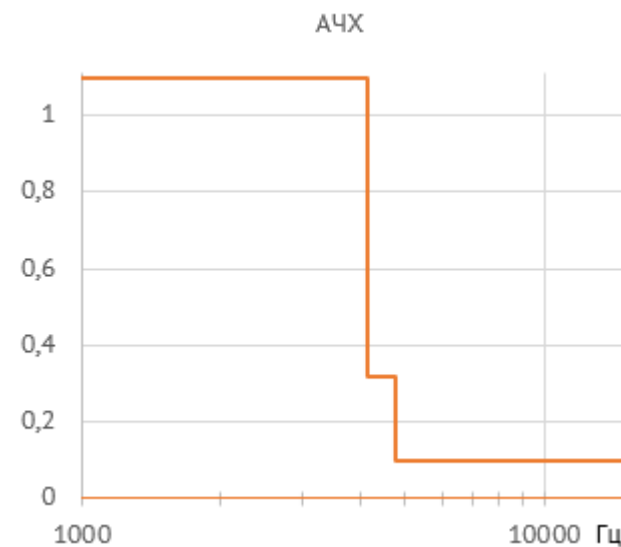
T_p – постоянная времени (время, за которое апериодическая составляющая уменьшается в e раз).



Искажение входного сигнала содержащего апериодическую составляющую с постоянной времени 200 мс при изменении АЧХ в области малых частот.

Таблица 10 – Требования к антиалиасинговому фильтру

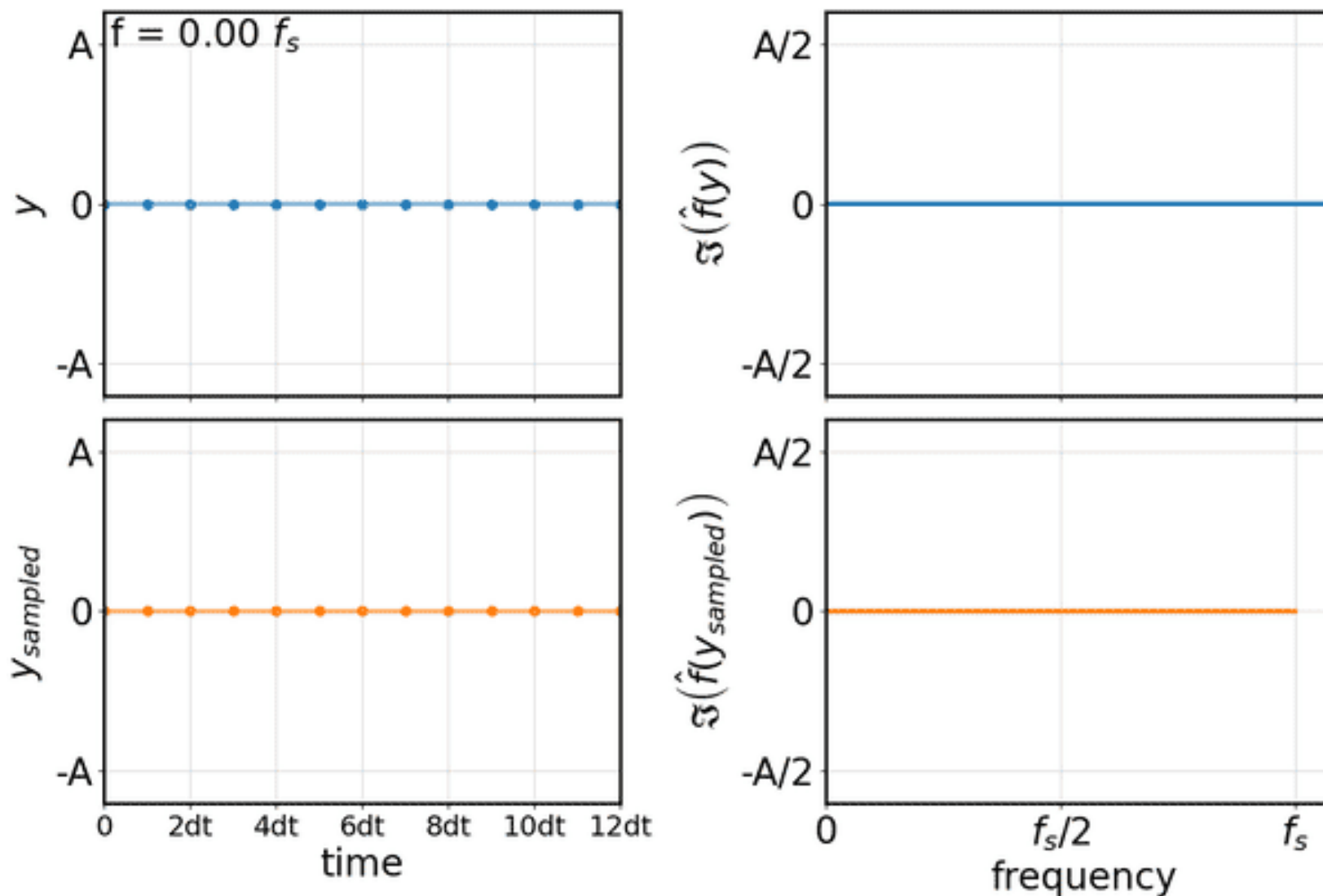
Класс точности	Затухание антиалиасингового фильтра для частот до 13 гармоники $(f_s - 13 \times f_r \leq f < f_s - f_r)$	Затухание антиалиасингового фильтра для основной частоты $(f_s - f_r \leq f)$
0,1	≥ 17 дБ	≥ 34 дБ
0,2	≥ 14 дБ	≥ 28 дБ
0,5	≥ 10 дБ	≥ 20 дБ
1	≥ 10 дБ	≥ 20 дБ
Защита	≥ 10 дБ	≥ 20 дБ



Частоты выше $f_s/2$ зеркально отображаются на частотах ниже $f_s/2$.

С точки зрения точности наиболее критическими являются частоты кратные $f_r = 50$ Гц (кратные гармоникам).

Требования к частотной характеристике



(GIF by [Omnicon11](#), 7 April 2021. [CC BY-SA 4.0](#), via [Wikimedia Commons](#))

Требования к частотной характеристике

Таблица 7 – Расширенный класс точности WB0 для гармоник

Класс точности	Относительная погрешность на низких частотах		Относительная погрешность на гармониках кратных f_r				Угловая погрешность на низких частотах	Угловая погрешность на гармониках кратных f_r			
	%		%				°	°			
	DC ^a	1 Гц	2 – 4	5 – 6	7 – 9	10 – 13	1 Гц	2 – 4	5 – 6	7 – 9	10 – 13
0,1	+1 –100	+1 –30	±1	±2	±4	±8	±45	±1	±2	±4	±8
0,2 – 0,2S ^b	+2 –100	+2 –30	±2	±4	±8	±16	±45	±2	±4	±8	±16
0,5 – 0,5S ^b	+5 –100	+5 –30	±5	±10	±20	±20	±45	±5	±10	±20	±20
1 – 3 – 5	+10 –100	+10 –30	±10	±20	±20	±20	±45	±10	±20	±20	±20
^a Измерение постоянного тока допускается, но не является обязательным. ^b Классы точности 0,2S и 0,5S применимы только для трансформаторов тока.											

Обозначение расширения класса точности для гармоник (для широкой полосы пропускания) указывается совместно с классом точности трансформатора. Например, класс точности 0,5S-WB1 или 5P-WB0.

Таблица 8 - Обозначение класса точности для устройств с широкой полосой пропускания

Класс точности	Относительная погрешность, % на частотах			Угловая погрешность, ° на частотах		
WB1	$f_r < f \leq 1 \text{ кГц}$	$1 < f \leq 1,5 \text{ кГц}$	$1,5 < f \leq 3 \text{ кГц}$	$f_r < f \leq 1 \text{ кГц}$	$1 < f \leq 1,5 \text{ кГц}$	$1,5 < f \leq 3 \text{ кГц}$
WB2	$f_r < f \leq 5 \text{ кГц}$	$5 < f \leq 10 \text{ кГц}$	$10 < f \leq 20 \text{ кГц}$	$f_r < f \leq 5 \text{ кГц}$	$5 < f \leq 10 \text{ кГц}$	$10 < f \leq 20 \text{ кГц}$
WB3	$f_r < f \leq 20 \text{ кГц}$	$20 < f \leq 50 \text{ кГц}$	$50 < f \leq 150 \text{ кГц}$	$f_r < f \leq 20 \text{ кГц}$	$20 < f \leq 50 \text{ кГц}$	$50 < f \leq 150 \text{ кГц}$
WB4	$f_r < f \leq 50 \text{ кГц}$	$50 < f \leq 150 \text{ кГц}$	$150 < f \leq 500 \text{ кГц}$	$f_r < f \leq 50 \text{ кГц}$	$50 < f \leq 150 \text{ кГц}$	$150 < f \leq 500 \text{ кГц}$
0,1	±1	±2	±5	±1	±2	±5
0,2 – 0,2S	±2	±4	±5	±2	±4	±5
0,5 – 0,5S	±5	±10	±10	±5	±10	±20
1	±10	±20	±20	±10	±20	±20
Защита	±10	±20	±30	-	-	-
Классы точности 0,2S и 0,5S применимы только для трансформаторов тока.						

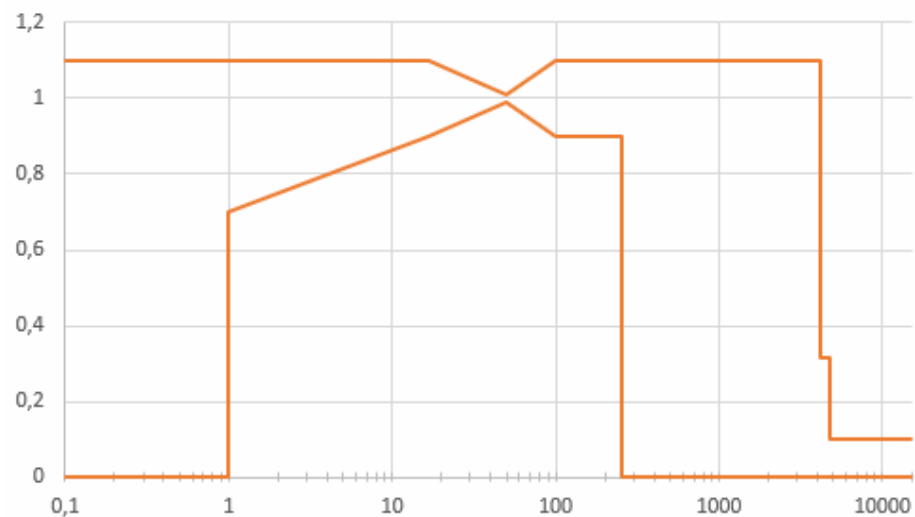
Расширение классов точности WB2 – WB4 несовместимы с цифровыми сигналами, предназначенными для целей защиты, предусмотренными в стандарте IEC 61869-9 из-за низкой частоты дискретизации (4800 Гц).

Частотная маска

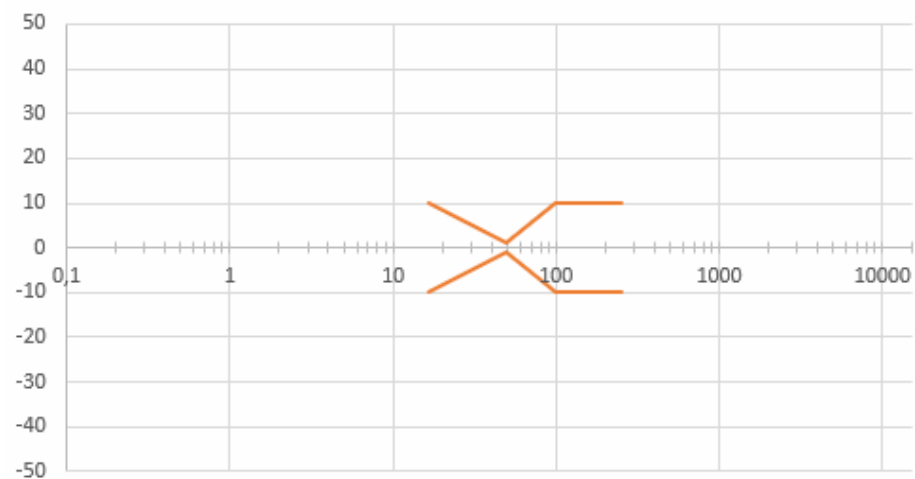
Класс точности 5P

Дискретизация 4800 Гц

АЧХ



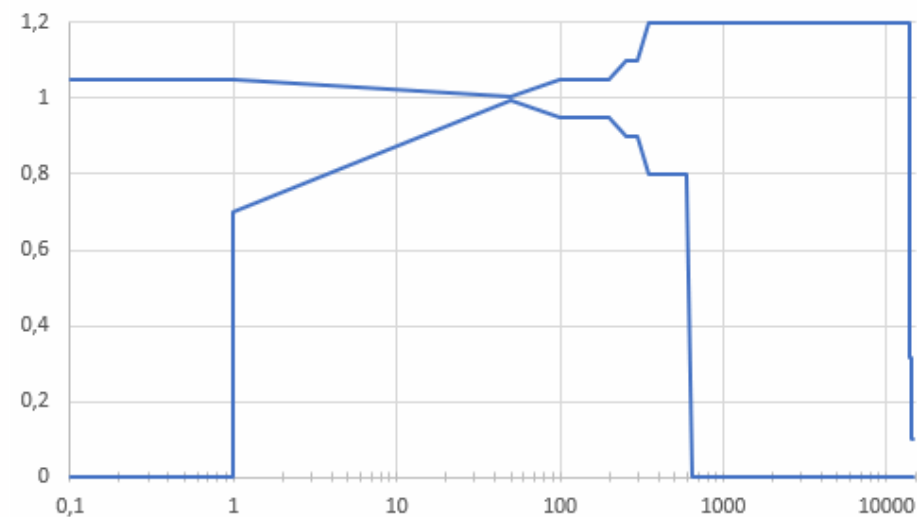
ФЧХ



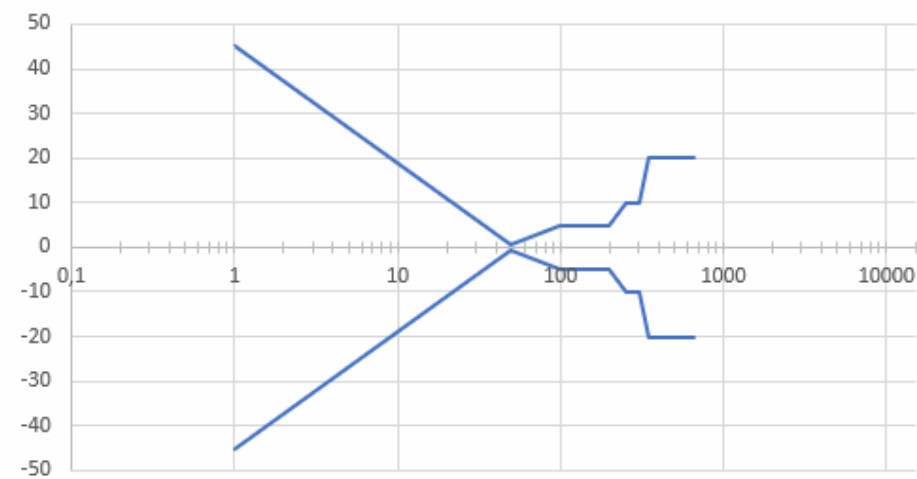
Класс точности 0,5S-WB0

Дискретизация 14400 Гц

АЧХ



ФЧХ



7.7.4 Curve shape setting (CSG)

Table 59 – Curve shape setting

CSG class					
Data attribute name	Type	FC	TrgOp	Value/Value range	M/O/C
dataName	Inherited from GenDataObject Class or from GenSubDataObject Class (see IEC 61850-7-2)				
DataAttribute					
setting					
pointZ	FLOAT32	SP			AC_NSG_O
numPts	INT16U	SP		1 < numPts ≤ maxPts	AC_NSG_M
crvPts	ARRAY 0..maxPts-1 OF Point	SP			AC_NSG_M
pointZ	FLOAT32	SG, SE			AC_SG_O
numPts	INT16U	SG, SE		1 < numPts ≤ maxPts	AC_SG_M
crvPts	ARRAY 0..maxPts-1 OF Point	SG, SE			AC_SG_M
configuration, description and extension					
xUnits	Unit	CF			M
yUnits	Unit	CF			
zUnits	Unit	CF			
maxPts	INT16U	CF			
xD	VISIBLE STRING255	DC			
xDU	UNICODE STRING255	DC			
yD	VISIBLE STRING255	DC			
yDU	UNICODE STRING255	DC			
zD	VISIBLE STRING255	DC			
zDU	UNICODE STRING255	DC			
d	VISIBLE STRING255	DC			
dU	UNICODE STRING255	DC			
cdcNs	VISIBLE STRING255	EX			
cdcName	VISIBLE STRING255	EX			
dataNs	VISIBLE STRING255	EX			AC_DLN_M

Figure 6 – Two-dimensional

The curve is created by the connection of crvPts(n) with crvPts(n+1) with $0 < n < \text{numPts}$. See Figure 6.

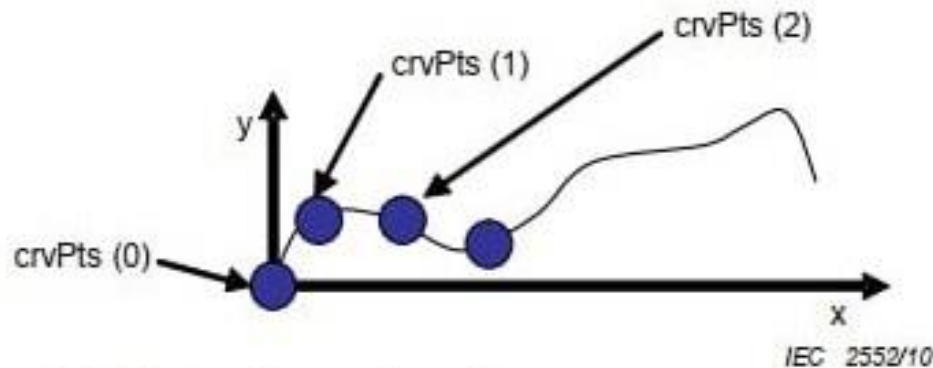
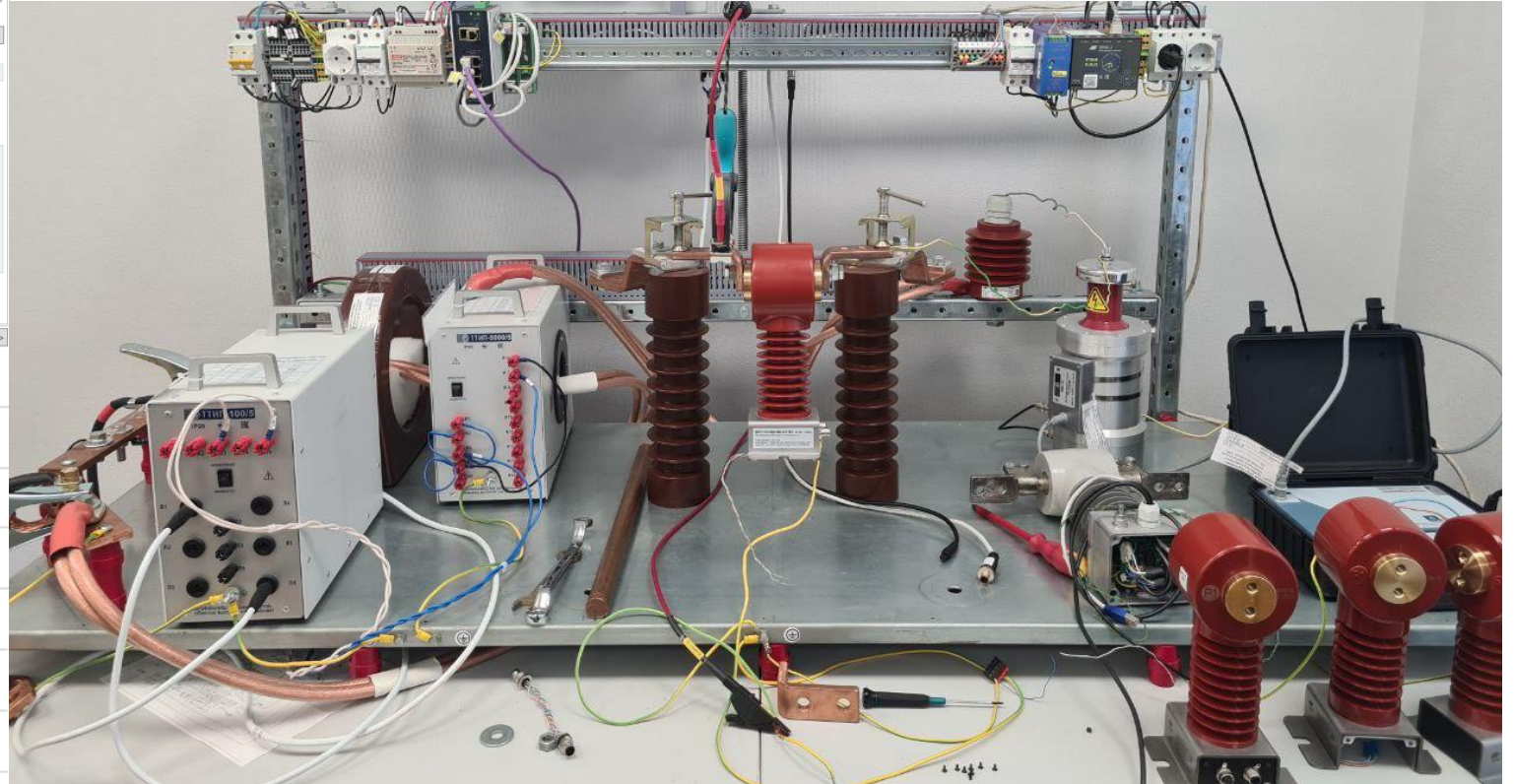
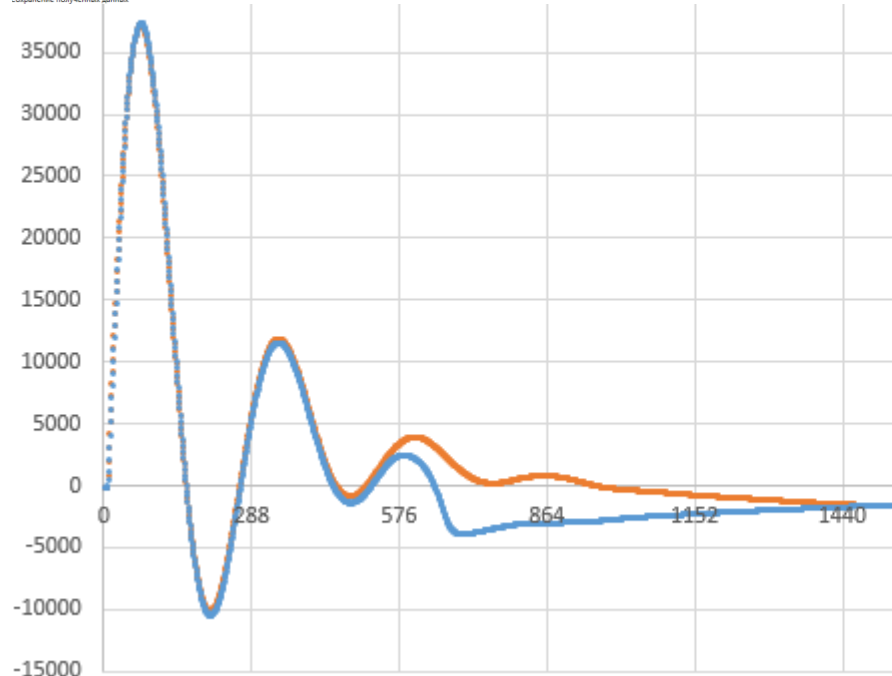
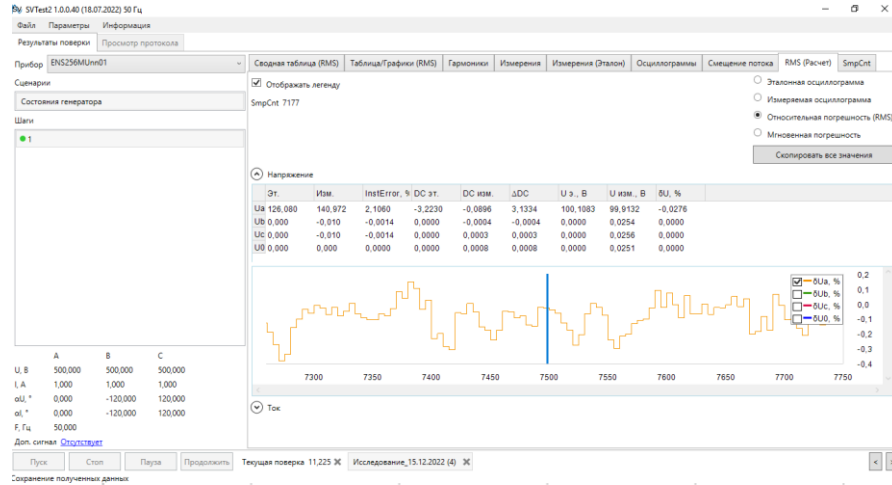


Figure 6 – Two-dimensional curve represented by CSG

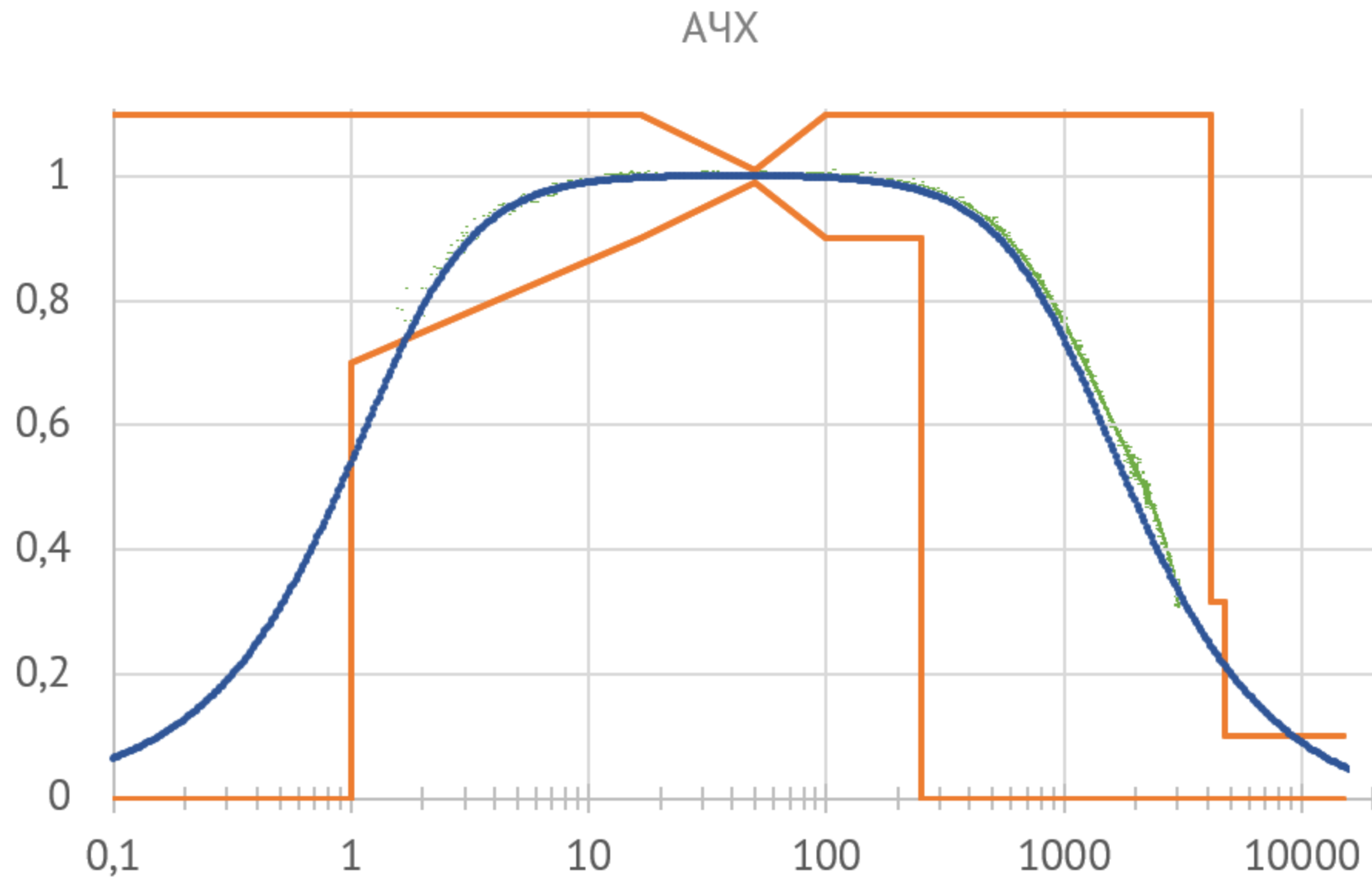
5.15.4 LN: Current transformer Name: TCTR

For a description of this LN, see IEC 61850-5. The current is delivered as sampled values. The sampled values are transmitted as engineering values, i.e. as “true” (corrected) primary current values. Therefore, the transformer ratio and the correction factors are of no interest for the transmitted samples, but for maintenance purposes of an external conventional (magnetic) transducer only. In addition, status information is provided and some other settings are accepted from the LN TCTR.

TCTR class				
Data object name	Common data class	Explanation	T	M/O/C
LNName		The name shall be composed of the class name, the LN-Prefix and LN-Instance-ID according to IEC 61850-7-2, Clause 22.		
Equipment name plate				O
Equipment health				O
me				O
Sampled value)				C1
nt				O
ency				O
io of an external current transformer (transducer) if applicable				O
isor magnitude correction of an external current transformer				C2
AngCor	ASG	Current phasor angle correction of an external current transformer		C2
CorCrv	CSG	Curve phasor magnitude and angle correction		C2
Condition C1: The data object is mandatory if the data object is transmitted over a communication link and therefore it is visible.				
Condition C2: If there are two or more correction pairs necessary, CorCrv should be used.				



АЧХ ЕСИТ-1-10-100(1000)



Строгое соблюдение требований стандартов и декларирование указанных характеристик позволит разрабатывать и применять новые алгоритмы релейной защиты.

Без информации о действительных частотных характеристиках измерительных трансформаторов невозможна правильная работа некоторых видов защит.

Для современных маломощных измерительных трансформаторов и трансформаторов с цифровым выходом стандартами требуется соблюдение определенной маски АЧХ и ФЧХ. Производители ТТ, ПАС, РЗА должны исследовать и указывать АЧХ и ФЧХ устройства.

Стандарты предлагают механизм по корректировке частотных характеристик измерительных трансформаторов в терминале защиты.

Спасибо за внимание

стенде №20 ООО «Инженерный центр «Энергосервис»



Плакидин Роман Сергеевич
инженер по метрологии
rplakidin@ens.ru