

# Технические аспекты практики испытаний измерительных ТТ для цифровых подстанций

Максим Янин, Технический директор АО «Профотек», Россия, [Yanin@Profotech.ru](mailto:Yanin@Profotech.ru)

Benjamin Baum, KEMA Laboratories Arnhem, DNV GL – Energy, Neverlands, [Benjamin.Baum@dnvgl.com](mailto:Benjamin.Baum@dnvgl.com)

# Основные особенности электронных трансформаторов

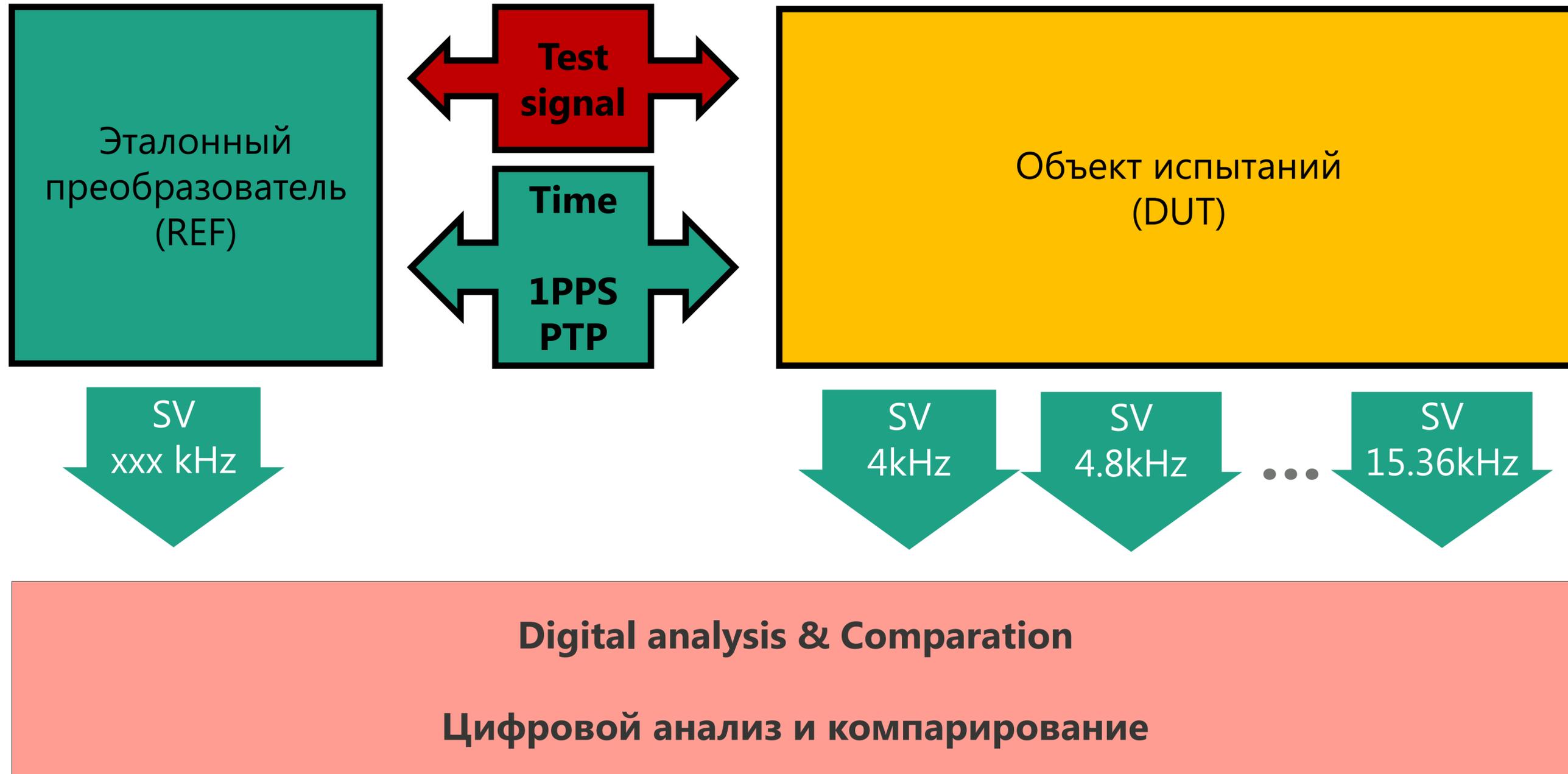
KEMA Laboratories

DNV·GL



- Цифровые измерительные интерфейсы (в соответствии со стандартами IEC61850);
  - Оборудование испытательного центра обязано иметь ПО осциллографирования, анализа и компарирования цифровых потоков IEC61850-9-2
- Отсутствие намагниченности, ограничений по измеряемому току вплоть до токов КЗ на шинах подстанции, работа при любой апериодической составляющей;
  - Испытательное оборудование должно обладать такими же свойствами и не вносить дополнительных искажений
- Отсутствие аналоговой связи между током в первичной сети и цифровым выходным интерфейсом;
  - Классические принципы испытаний, предполагающие наличие потоко-сцепления в магнитопроводах не применимы
- Возникновение возможных побочных эффектов в измерительном потоке при внешних воздействиях
  - Применяемые при испытаниях классических измерительных трансформаторов критерии недостаточны для оценки объекта испытаний

# Работа с цифровыми интерфейсами

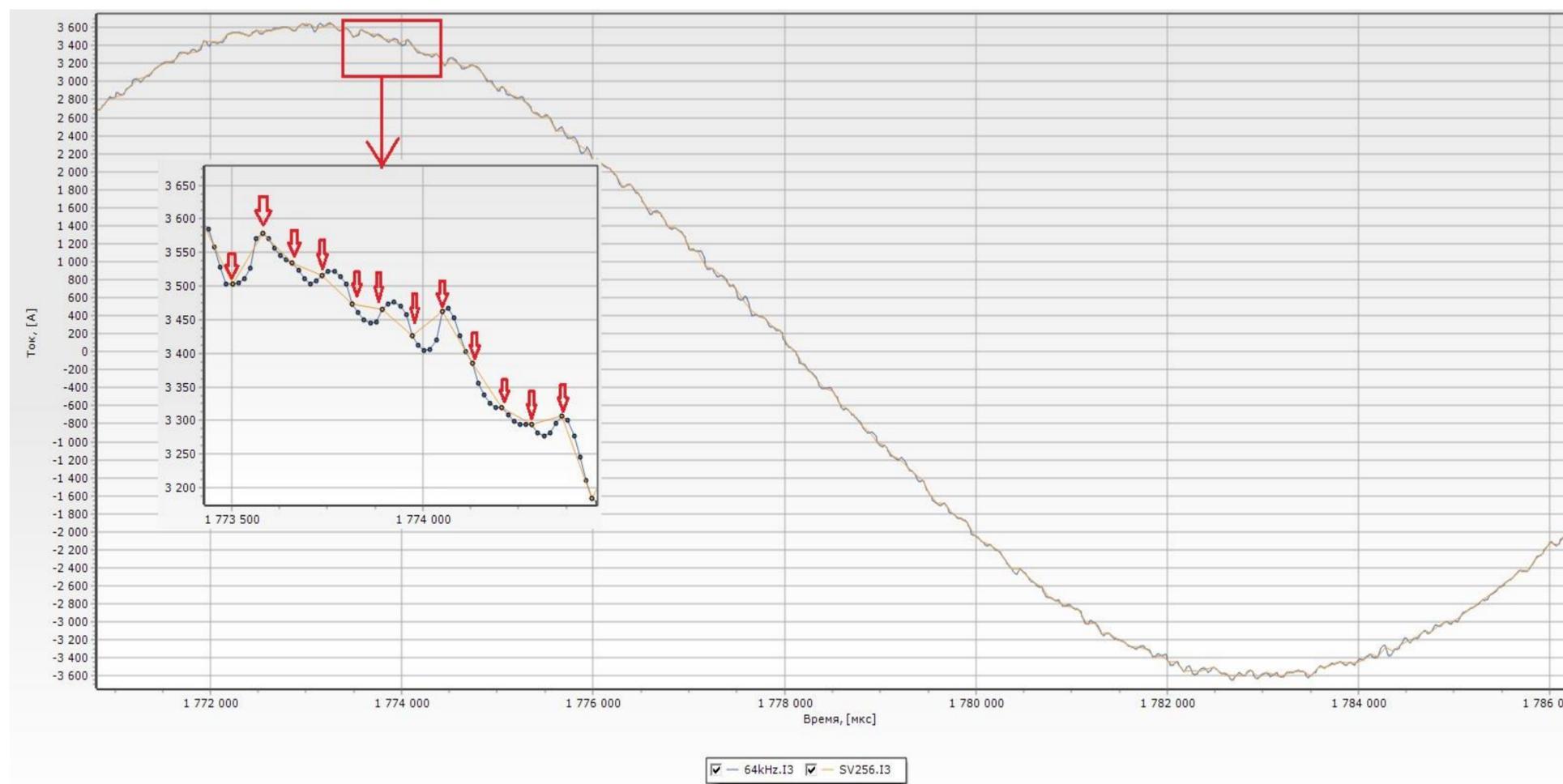


# Особенности работы с цифровыми потоками данных – 1

KEMA Laboratories

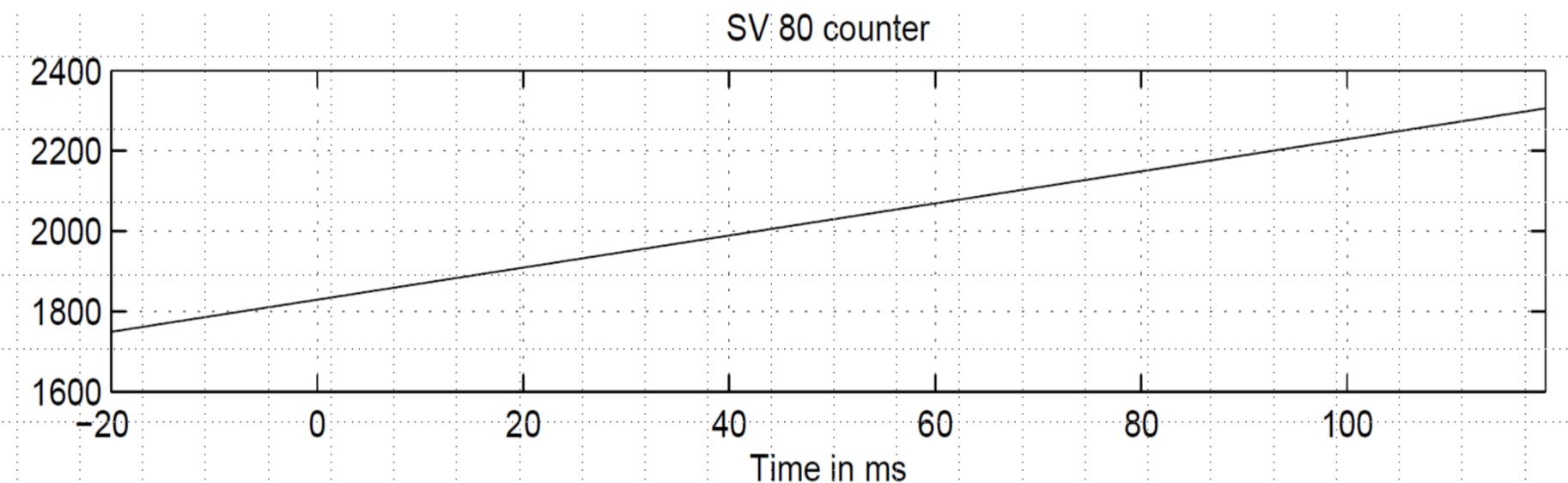
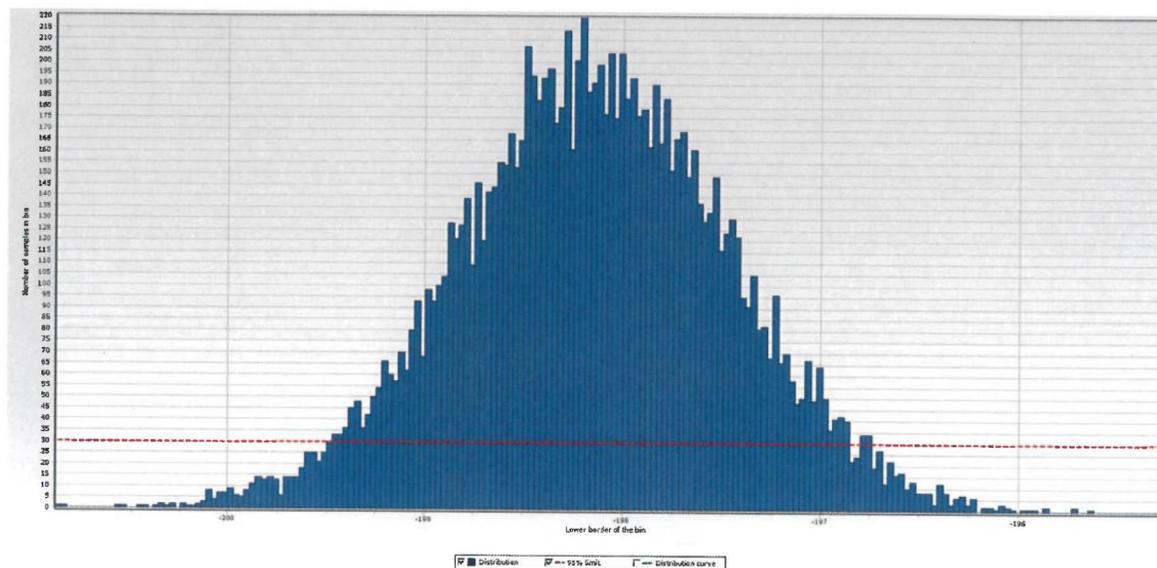


- Измерительные трансформаторы и МУ могут иметь несколько частот дискретизации, каждая из которых должна проверяться отдельно. При типовых испытаниях должно быть экспериментальным путем доказано тождество измерений при формировании потоков IEC61850-9-2 с разными настройками SV для определения состава калибровочных работ.
- Аналоговые испытательные сигналы должны оцифровываться с достаточной точностью и в той же шкале времени
- Система компарирования должна быть цифровой



# Особенности работы с цифровыми потоками данных – 2

- В процессе испытаний необходимо контролировать последовательность прихода сэмплов и целостность анализируемой выборки
- Необходимо производить оценку стабильности погрешности не только при работающей синхронизации, но и при ее отсутствии
- Необходимо помнить о наличии постоянного белого шума в результатах цифровых измерений и уметь его оценивать



# Требования к испытательному оборудованию

KEMA Laboratories

DNV·GL



- Испытательные стенды должны иметь возможность выдавать взаимно синхронизированные сигналы в протоколах 1PPS (оптический и электрический) и PTP
- Измерительное оборудование должно иметь возможность выдавать данные в виде, удобном для цифрового компарирования (SV80 50Hz, SV80 60Hz, SV256 50Hz...) с возможностью оперативного переключения при испытаниях
- Динамический диапазон измерительных эталонных трансформаторов должен обеспечить работу во всем диапазоне измеряемых токов (от десятков ампер до сотен килоампер) без потери точности измерения
- Измерительное эталонное оборудование должно не иметь зависимости:
  - от насыщения (как электромагнитные трансформаторы)
  - от наличия апериодической составляющей (как катушки с воздушным сердечником)
  - от скин-эффекта, нагрева и наведенных электромагнитных помех (как шунтовые датчики)

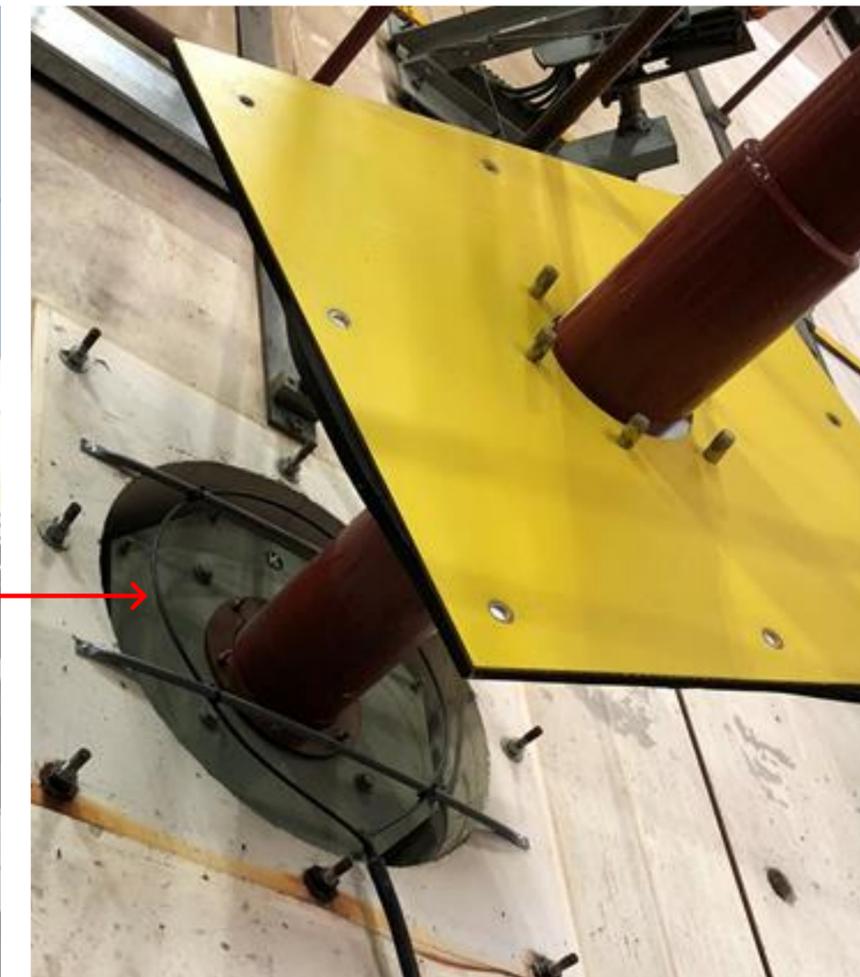
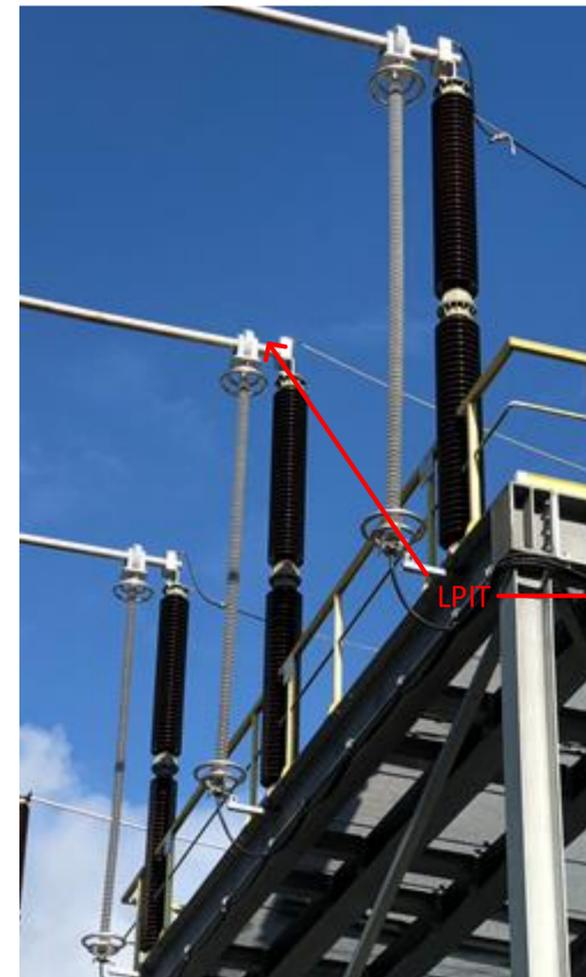
# Испытательные стенды для типовых испытаний оборудования - KEMA

KEMA Laboratories

DNV·GL



Location	Arnhem, the Netherlands KEMA DNV-GL, High Power Laboratories
Type of installation	AIS (indoor & outdoor)
Voltage level	System 1) 550kV System 2) 245kV
Project details	System 1) 3-phases busbar mounted EFOCT with 2 optical loops to cover current ranges 0-5kA & 5-150kA System 2) 3-phase flexible EFOCT around wall bushings. Precise measuring (<0.2%) of shortcut currents 1 – 200 kA rms with any aperiodic, duration and CO-CO cycles. The OCTs are used during certification tests of power transformers, ITs, switchgear etc.)
Scope of supply	Instrument transformers, MU and commissioning service
Installed LPIT	CONDIS Profotech EFOCT-B-550 kV CONDIS Profotech F-EFOCT-245 kV
Integration in control system	Customer integrated the devices in their IEC 61850 network Time synchronization via IEEE 1588 (PTPv.2)
Operating since	September 2018



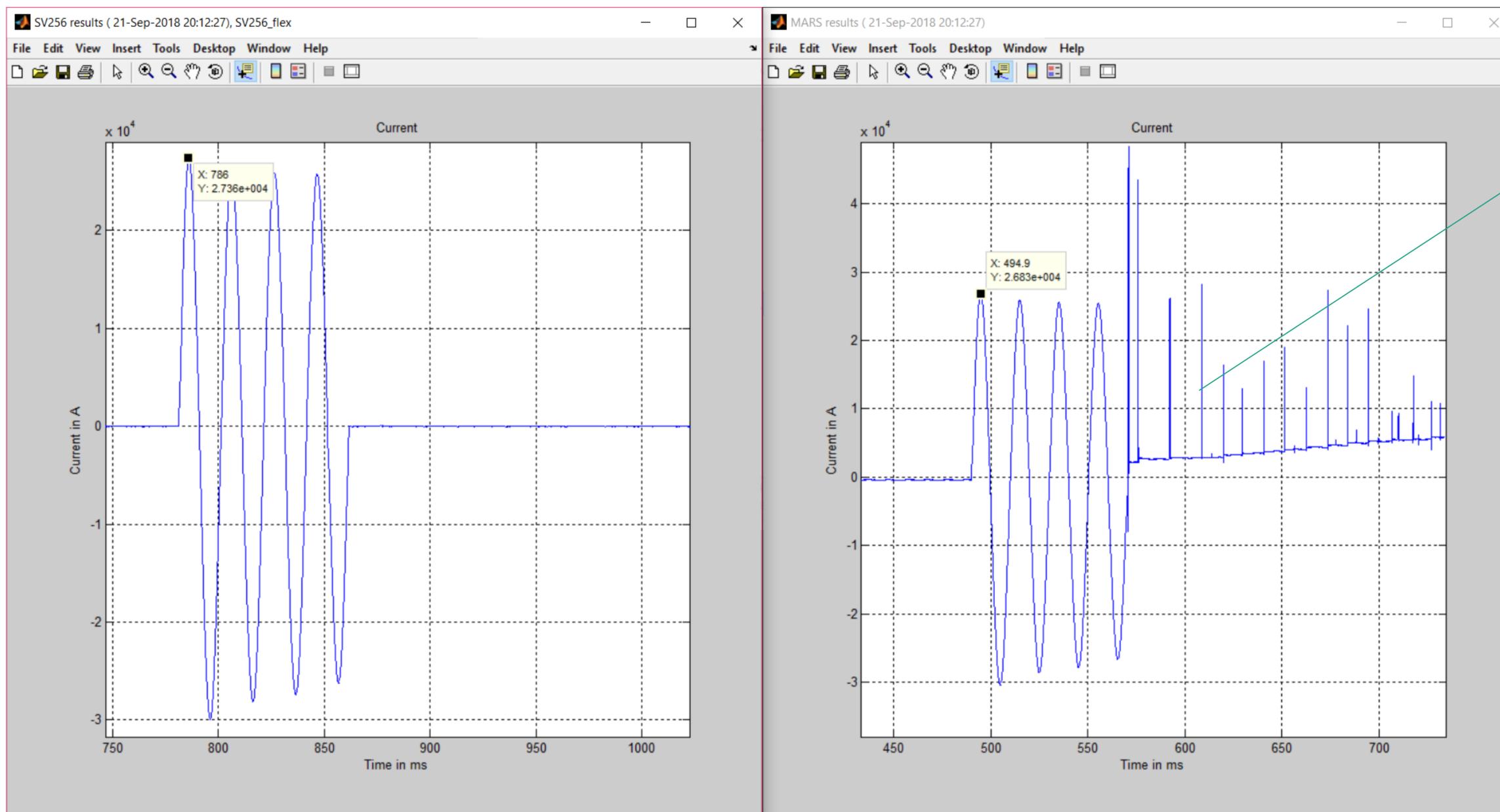
EFOCT-B-550 kV installed at the transformer test bay (see left image)

F-EFOCT-245 kV installed in series with an existing inductive current transformer (see right image)

# Преимущества цифровых эталонных систем измерений - КЕМА

KEMA Laboratories

DNV·GL



Переход на цифровую систему измерений позволил исключить возникновение искажений в эталонном сигнале, вследствие наведенной коммутационными перенапряжениями помехами и существенно повысить эффективность проведения работ и точность измерений

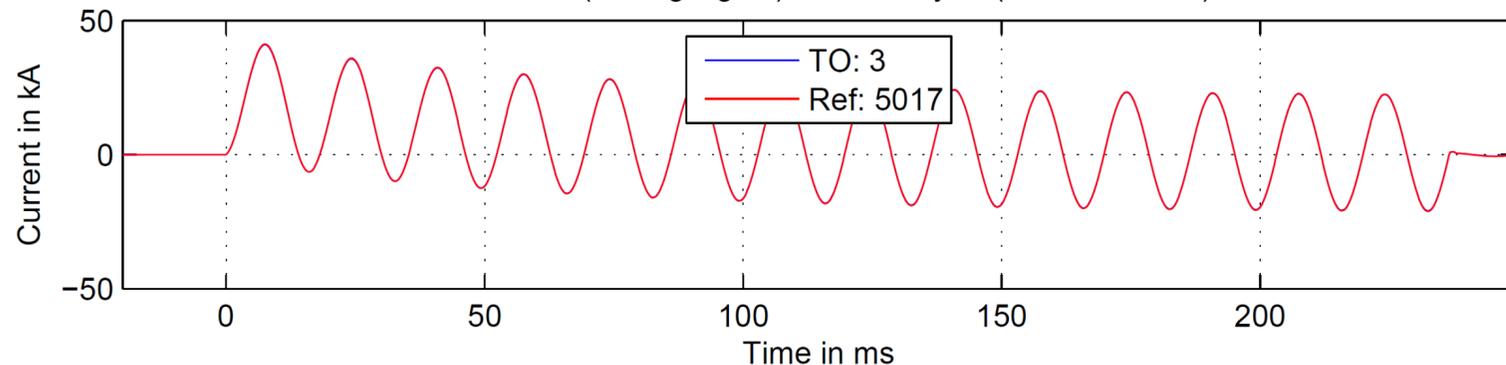
# Возможности цифрового измерительного комплекса - КЕМА

KEMA Laboratories

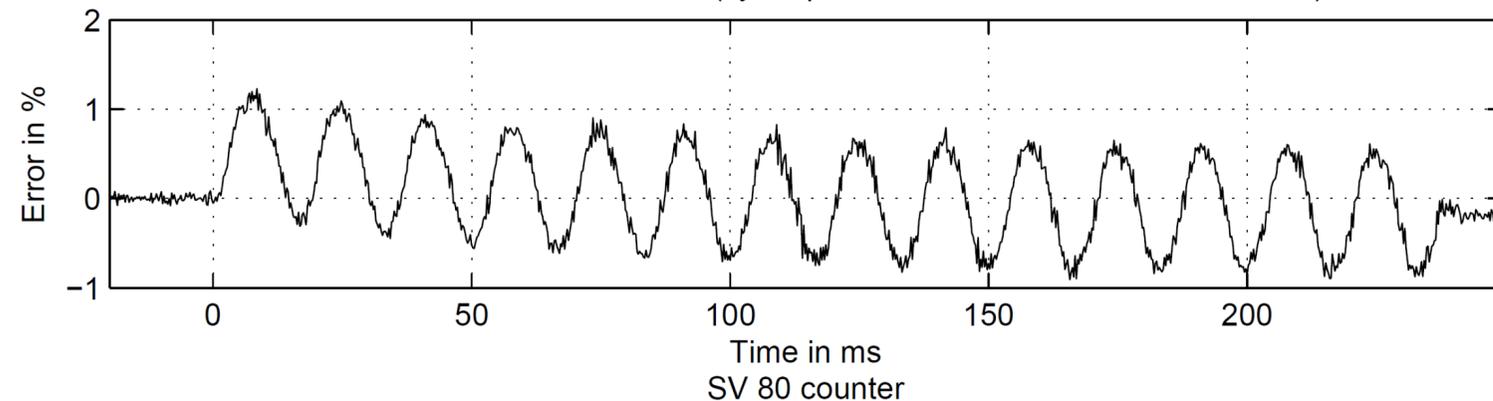


Цифровой измерительный комплекс, дополненный специально разработанным ПО анализа потоков IEC61850-9-2 позволил проводить точные измерения в лабораториях высоких токов при испытаниях как классического, так и электронного оборудования ЦПС. Дополнительно добавлена возможность оценки точности защитных трансформаторов для переходных процессов класса TRF, с определением полной и мгновенных погрешностей в диапазоне токов релейной защиты непосредственно в процессе испытаний токами термической и динамической стойкости, а так же при испытаниях на циклы В-О-В-О

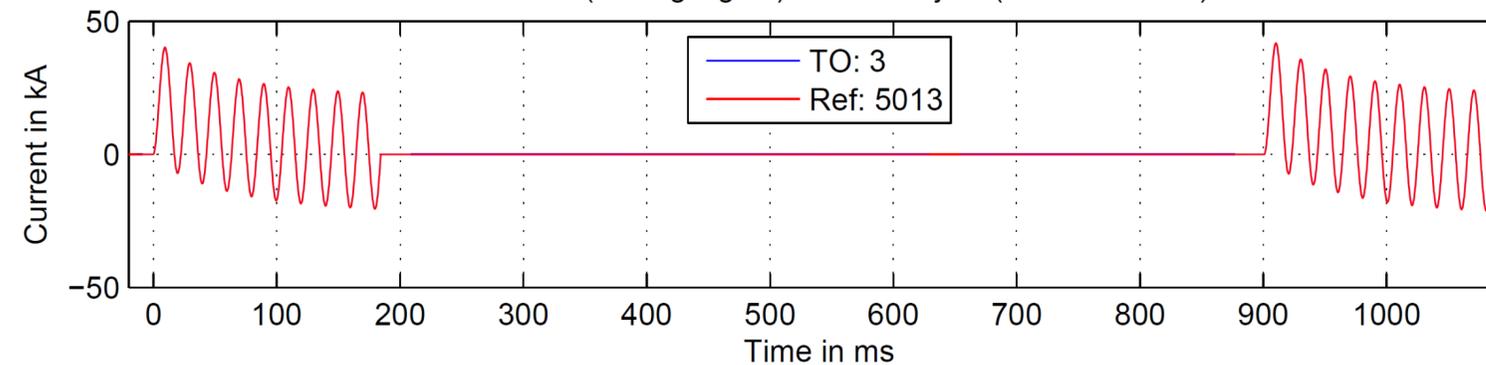
Reference (analog signal) vs. test object (IEC 61850 SV)



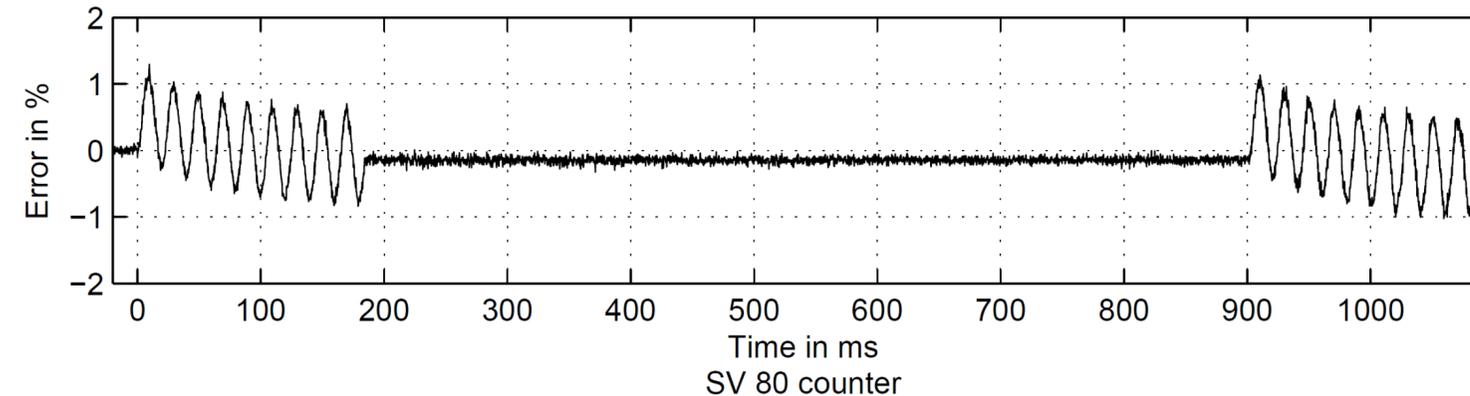
Transient instantaneous error (sym amplitude: 22015 A; max. error: 1.23 %;)



Reference (analog signal) vs. test object (IEC 61850 SV)



Transient instantaneous error (sym amplitude: 21674 A; max. error: 1.3 %;)



# Особенности приемо-сдаточных испытаний и калибровки ЦТТ

KEMA Laboratories

DNV·GL



**Конструктивные особенности цифровых трансформаторов тока дают массу преимуществ, но ставят ряд задач перед лабораториями:**

Проблема 1 – электронные трансформаторы это приборы с компенсированной погрешностью

→ Заводские испытания, настройка и первичная проверка метрологических характеристик должны производиться в полном диапазоне

Проблема 2 – классические способы измерения погрешностей с использованием ВАХ неприменимы

→ Для оценки погрешности имеется только один способ – подать первичный ток в полном диапазоне

Проблема 3 – работа в релейных классах точности означает необходимость определения его погрешности в диапазоне токов предельной кратности, в том числе – оценку полной и мгновенной погрешности для класса TPE

→ Для первичной поверки необходим источник и средства сравнения, работающие на токах предельной кратности

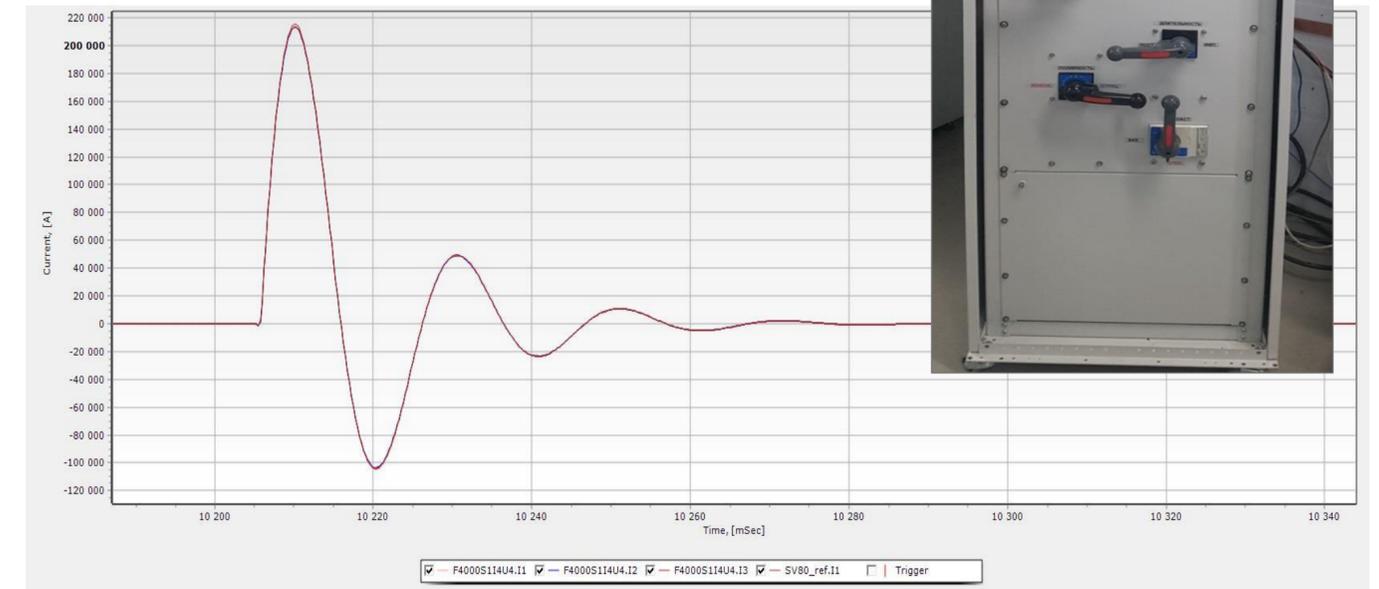
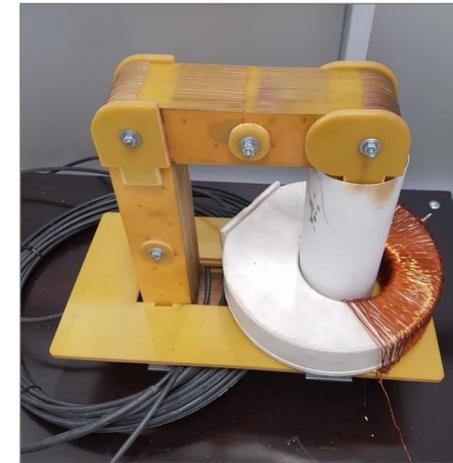
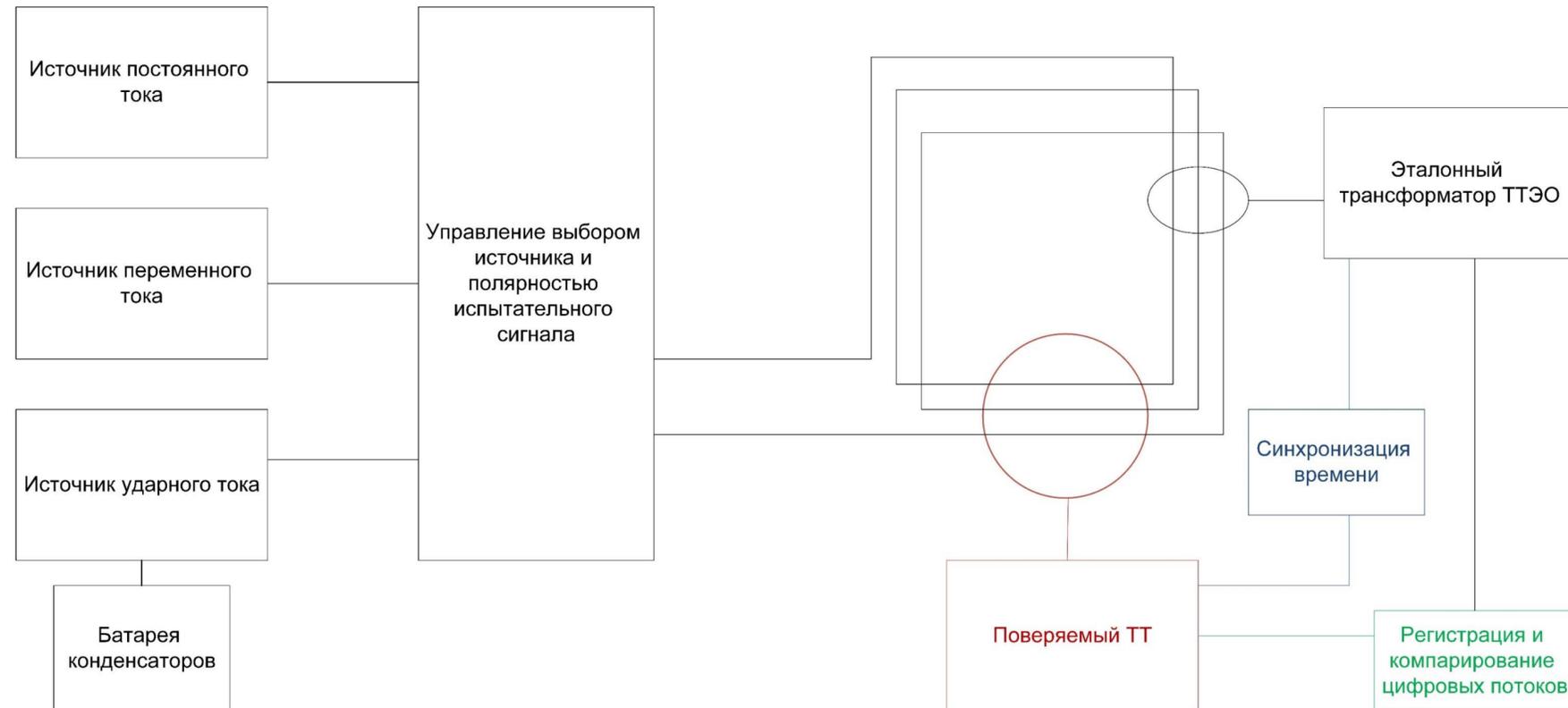
Проблема 4 – электронные трансформаторы должны работать не только на токах предельной кратности, но и на токах короткого замыкания с амплитудой не менее тока динамической стойкости

→ Все требования к вышеупомянутым средствам испытаний должны быть существенно увеличены, т.к. наиболее принятые значения токов динамической стойкости составляют 80 и 195кА.

# Испытательные стенды для производителей средств измерений - Profotech

KEMA Laboratories

DNV·GL



## Основные характеристики

Воспроизведение силы переменного тока 0 – 6000А (длительно)

Воспроизведение силы постоянного тока 0 – 1000А (длительно)

Воспроизведение силы переменного тока затухающей синусоидальной формы 0 – 200кА

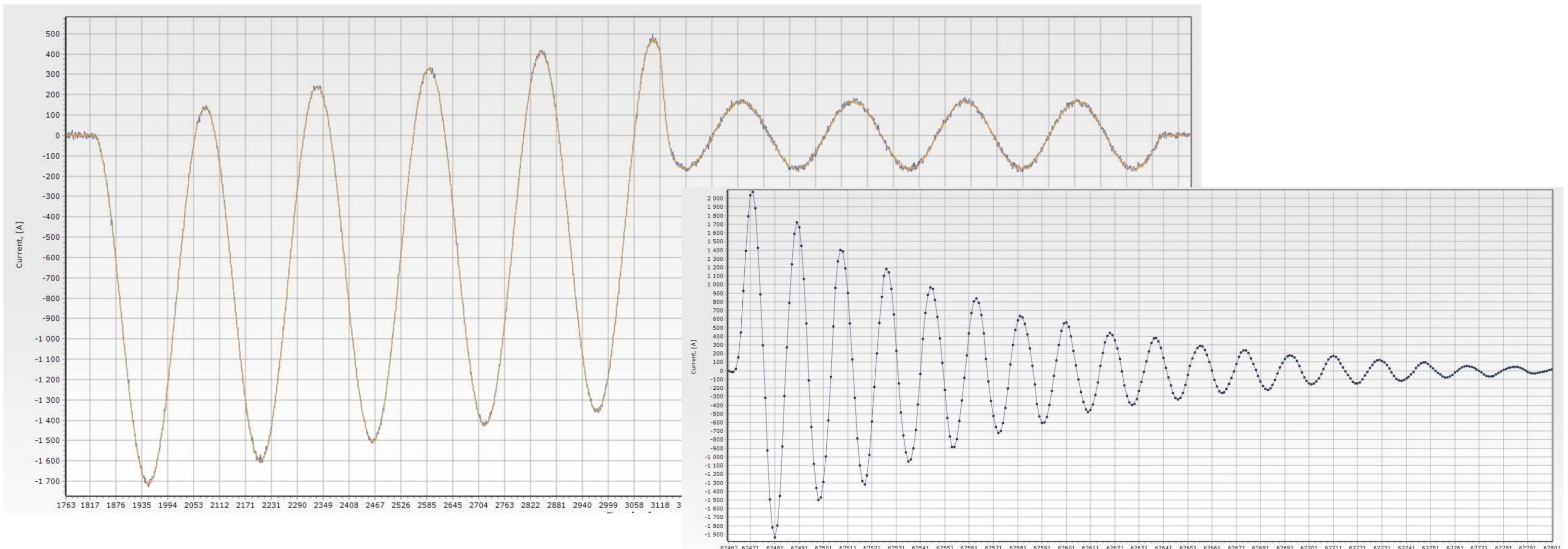
Класс точности эталонного трансформатора 0.05

# Испытательное ПО для оборудования ЦПС - Profotech

KEMA Laboratories



- Работа с любыми потоками IEC61850-9-2 (в том числе: не –LE, с Российским профилем 9-2 и т.д.)
- Анализ распределения шумов, наложение и компарирование потоков различной дискретизации и др.
- Режимы осциллографирования для испытаний ТКЗ и контроля работы при типовых испытаниях.



# Требования к испытаниям электронных трансформаторов

- Электронные трансформаторы должны испытываться во включенном состоянии с контролем погрешности и/или формы цифрового потока в процессе испытаний. Должны формироваться комплексные протоколы испытаний, включающие в себя отчет о выходном потоке IEC61850-9-2
- Для успешного прохождения типовых испытаний состав, объем и контролируемые параметры в процессе Предварительных испытаний должны быть скоординированы
- При наличии цифровых фильтров в электронных трансформаторах/MU должны регистрироваться одновременно формы сигналов с фильтрами и без фильтров для определения рекомендаций по применению



# Взаимное сотрудничество KEMA - Profotech



- KEMA и Profotech имеют значительный опыт взаимного сотрудничества при проведении испытаний оборудования цифровых подстанций и собственные испытательные центры в Нидерландах (Арнем) и России (Москва)
- KEMA и Profotech достигли договоренностей о возможности использования лабораторий друг друга в целях расширения области возможных испытаний
- Для сертификационных испытаний оборудования в лабораториях KEMA Profotech предоставляет эталонную базу и специалистов по цифровой метрологии для обеспечения прослеживаемости измерений к первичным эталонам РФ
- Profotech может обеспечивать необходимую калибровку и поверку оборудования, сертифицированного KEMA для продажи на рынки РФ и СНГ
- KEMA и Profotech могут выступать как партнеры при консультировании Заказчиков и проведения предварительных тестов на своей территории для обеспечения наиболее эффективного прохождения основных типовых испытаний оборудования