МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ - 2022

Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина

ООО НПО Цифровые измерительные трансформаторы

Теория и практика применения цифровых измерительных трансформаторов тока и напряжения

Докладчик: Лебедев Владимир

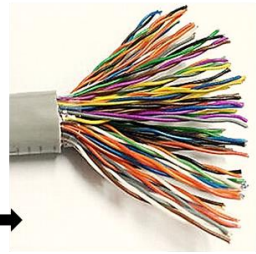
Москва 2022

Актуальность внедрения цифровых трансформаторов тока и напряжения (ЦТТН)

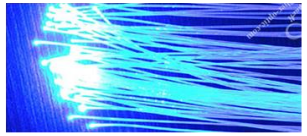
Существующие в настоящее время решения имеют следующие **недостатки**:

Недостаточная точность измерения токов и напряжений

Аналоговый сигнал



ПАС



Цифровой сигнал

Необходимость использования дополнительных преобразователей адаптации к цифровым технологиям

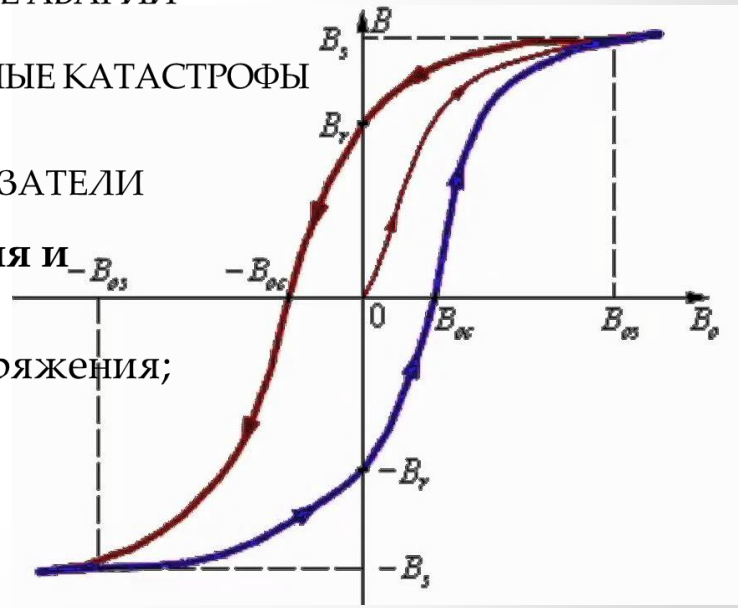
Некорректная работа релейной защиты и автоматики, Феррорезонансные явления

Проблемы высоковольтной изоляции. Взрыво- и пожаро- опасность

➡ СИСТЕМНЫЕ АВАРИИ

➡ ТЕХНОГЕННЫЕ КАТАСТРОФЫ

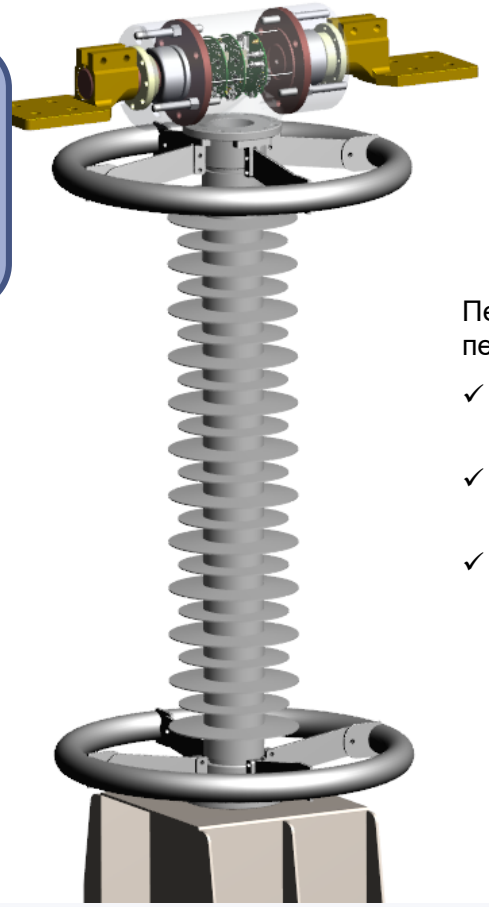
НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНЫЕ МАССОГАБАРИТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ



- **Насыщение магнитопроводов приводящее к увеличению времени срабатывания и неселективной работе РЗ;**
- **Воздействие электромагнитных наводок на провода** вторичных цепей тока и напряжения;
- Недостаточная точность и **стабильность характеристик** ёмкостных ТН;
- **Большое количество вторичных кабельных цепей**;
- **Высокая стоимость** оптических трансформаторов.

Актуальность внедрения цифровых трансформаторов тока и напряжения (ЦТТН)

Проектирование и внедрение цифровых подстанций является одним из ключевых направлений Программы цифровой трансформации ПАО «Россети»



Передача цифровой информации по оптоволоконному каналу с передатчика, установленного на первичной стороне, позволяет:

- ✓ исключить электромагнитные наводки и как следствие исключить искажения в канале связи;
- ✓ использовать стандартные протоколы, в том числе IEC 61850-9-2;
- ✓ применить твердый диэлектрик в качестве основной изоляции, исключив масло или элегаз.

! Требования к обеспечению работы РЗА и достижению основных требований к ней
! Резервирование источников информации (датчиков) для устройств РЗА
! Использование фундаментальных физических законов

Реализацию ЦТТН осуществляет

МИП «НПО Цифровые измерительные трансформаторы»

Ивановский энергетический университет (ИГЭУ)

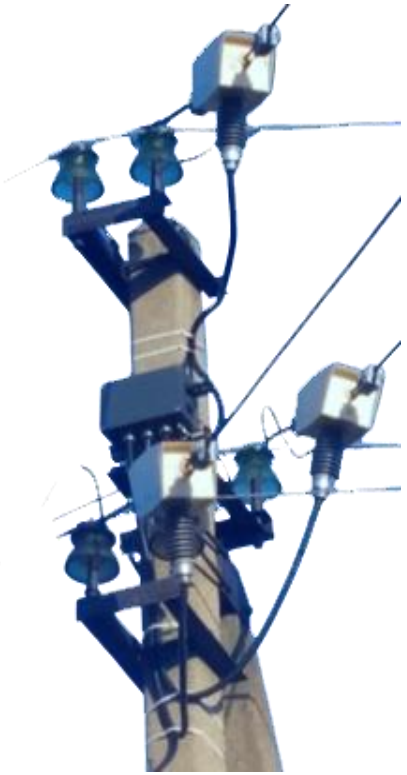
Малое инновационное предприятие, резидент фонда «Сколково»

ЦИТ воплощает идеи, рожденные в ИГЭУ

6 (10) кВ

35 кВ

110 - 220 кВ



АТКУЭ 6-10 кВ

2015 — 2022 — t

Физические эффекты используемые в альтернативных измерительных трансформаторах

Альтернативные первичные преобразователи

***трансформаторов напряжения*:**

- **преобразователи на оптических эффектах;**
- **преобразователи на основе делителей:**
  - ***емкостные делители;***
  - ***резистивные делители;***
  - ***резистивно-емкостные делители.***

***трансформаторов тока*:**

- **преобразователи на оптических эффектах;**
- **преобразователи на основе гальваномагнитных датчиков (Холла, магнитотранзисторов):**
- **преобразователи на основе безиндуктивных шунтов**

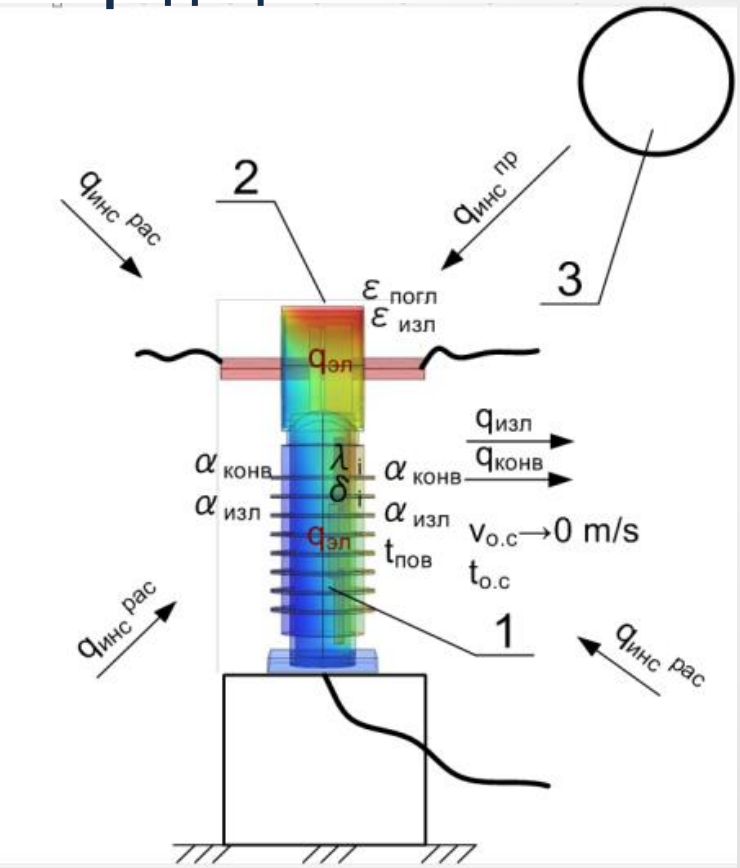
Первичные преобразователи дополнены электронными модулями осуществляющими преобразование аналогового сигнала в цифровой код

Физические эффекты используемые в альтернативных измерительных трансформаторах

Альтернативные первичные преобразователи

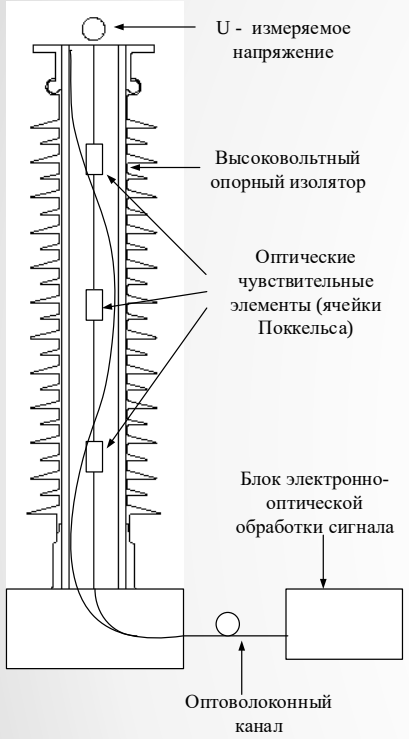
могут иметь дополнительные погрешности, несвойственные традиционным трансформаторам:

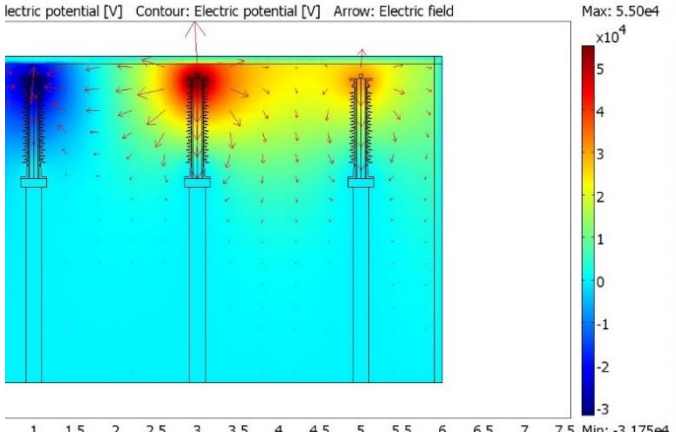
- **Выраженные температурные зависимости;**
- **зависимость от вибрации;**
- **зависимость от электромагнитной обстановки (влияния соседних высоковольтных токопроводящих элементов);**
- **остаточный заряд на емкостных элементах**
- **и др.**

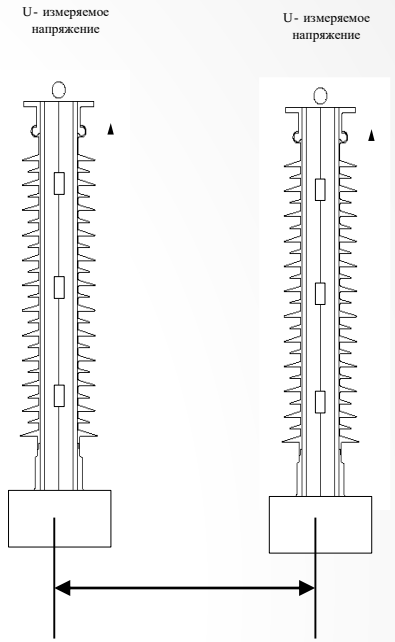


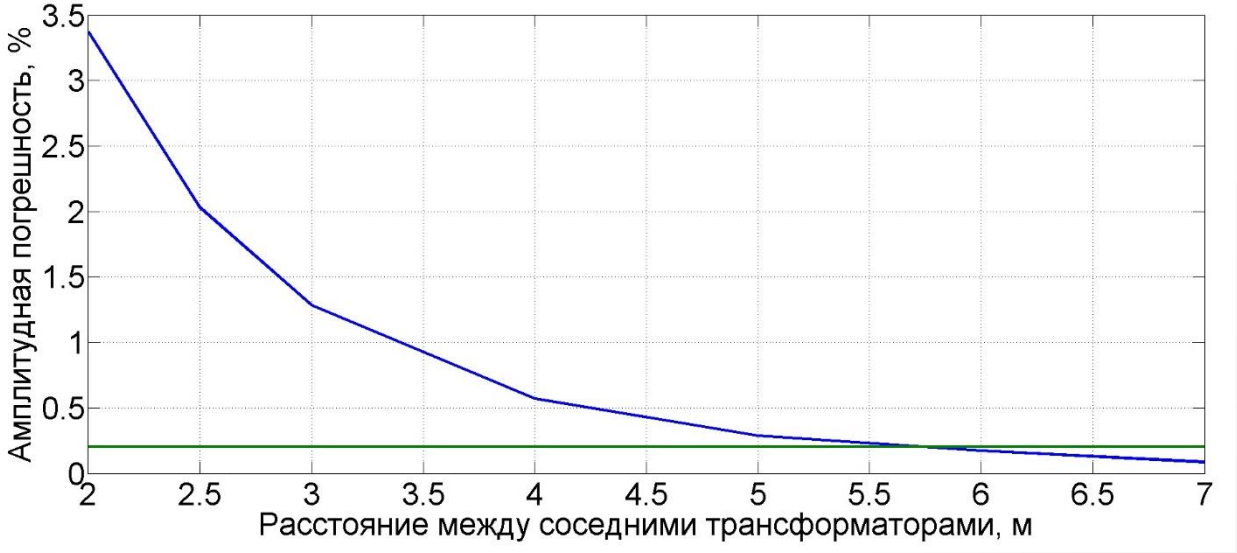
Указанные погрешности устраняются аналоговой и цифровой обработкой сигналов

К исследованию влияния поля на оптические трансформаторы напряжения





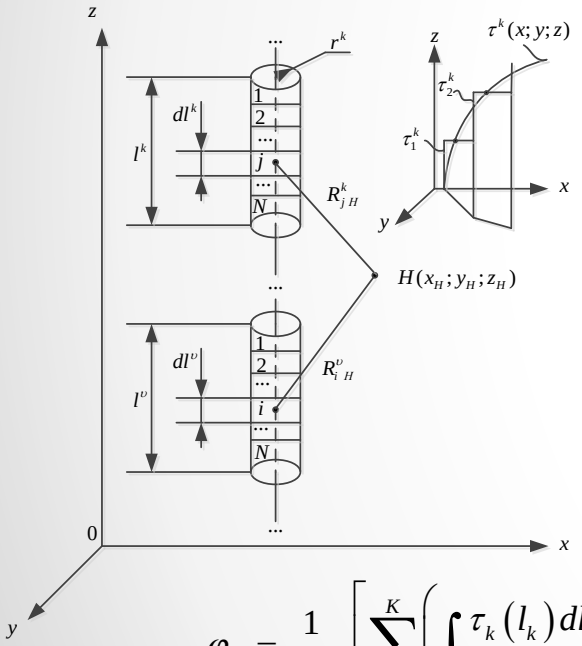




К исследованию влияния поля на делители напряжения

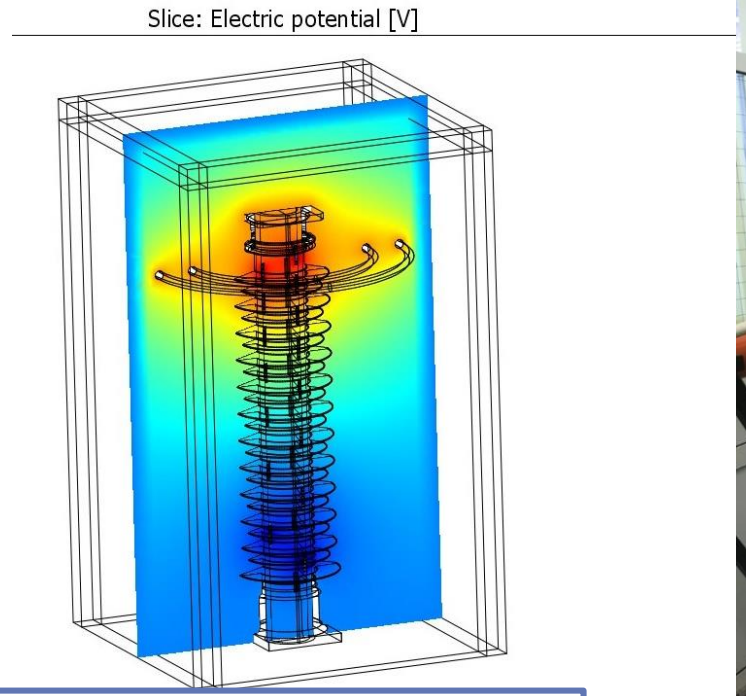
Делители напряжения также подвержены влиянию электрического поля (независимо: резистивные или емкостные)

Распределение электрического поля резистивного делителя цифрового трансформатора напряжения



$$\varphi_H = \frac{1}{4\pi\varepsilon_a}\left[\sum_{k=1}^{K}\left(\int_{L_k}\frac{\tau_k(l_k)\,dl_k}{R_{kH}}\right)\right] \qquad (1)$$

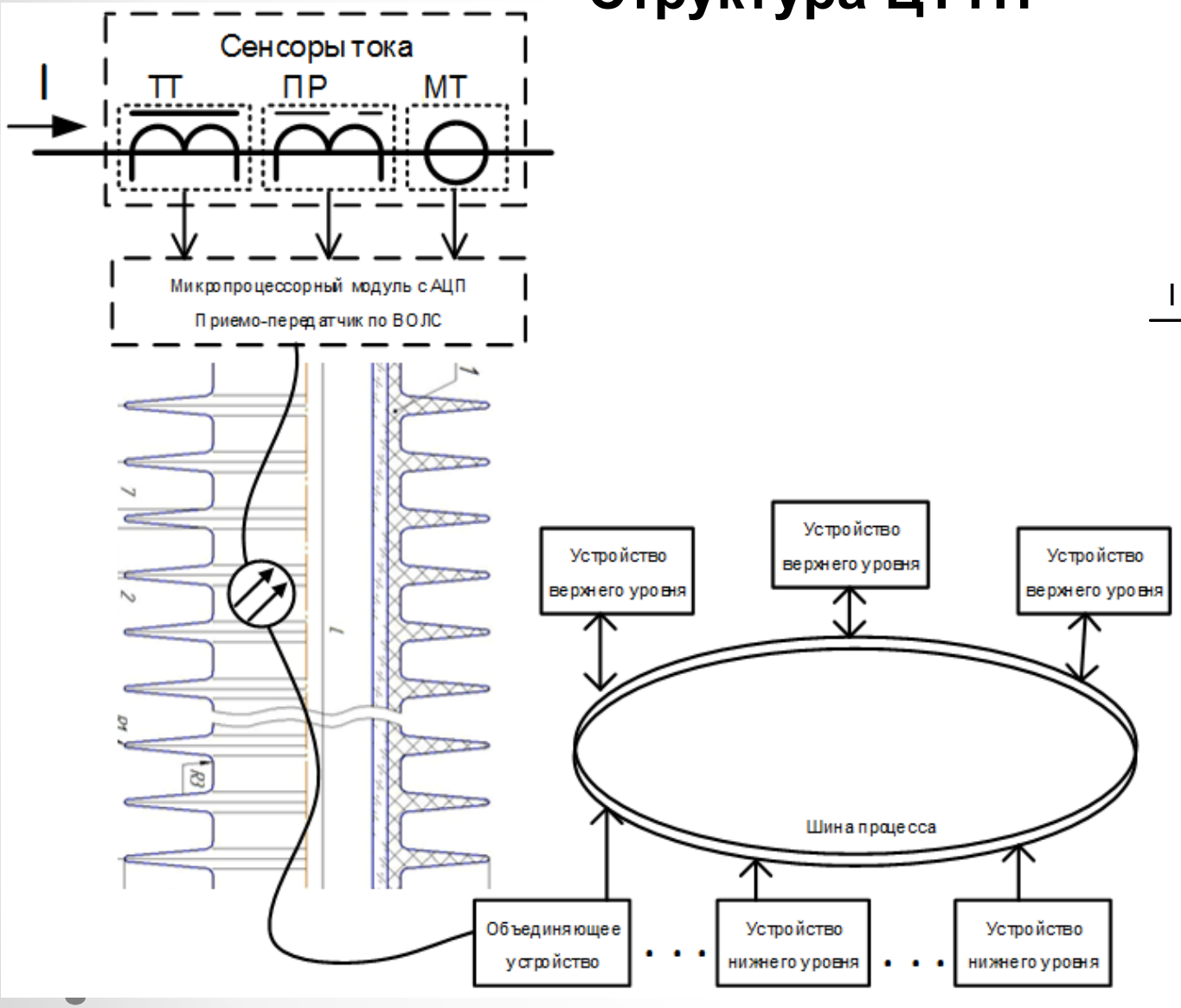
$$\varphi'^{k}_{cp.j} = \sum_{\upsilon=1}^{K}\left[\sum_{i=1}^{N}\left(\tau^{\upsilon}_{i}\alpha^{\upsilon k}_{ij}\right)\right] \qquad (2)$$



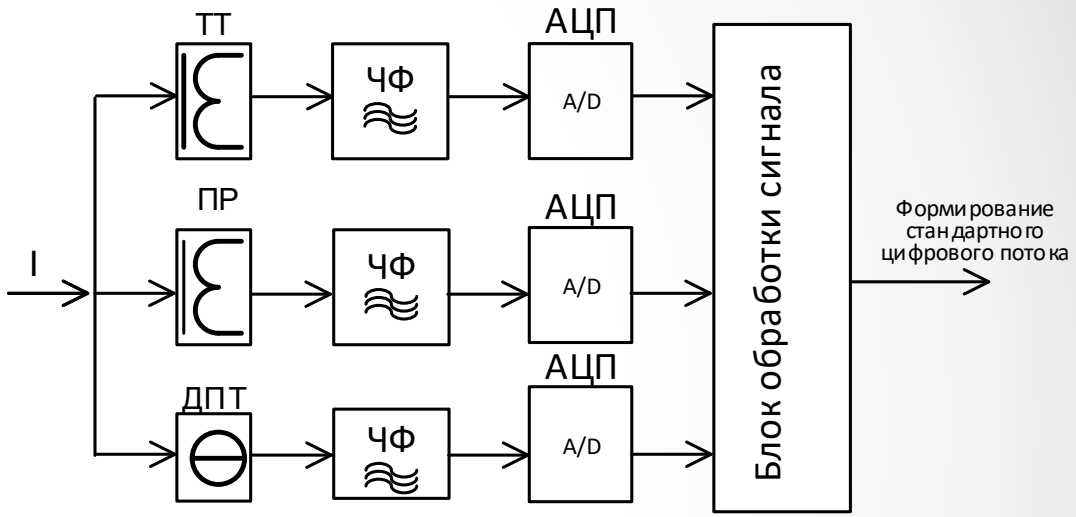
Математическая модель распределения электрического поля

Комбинированные ЦТТН – (6-220 кВ)

Структура ЦТТН



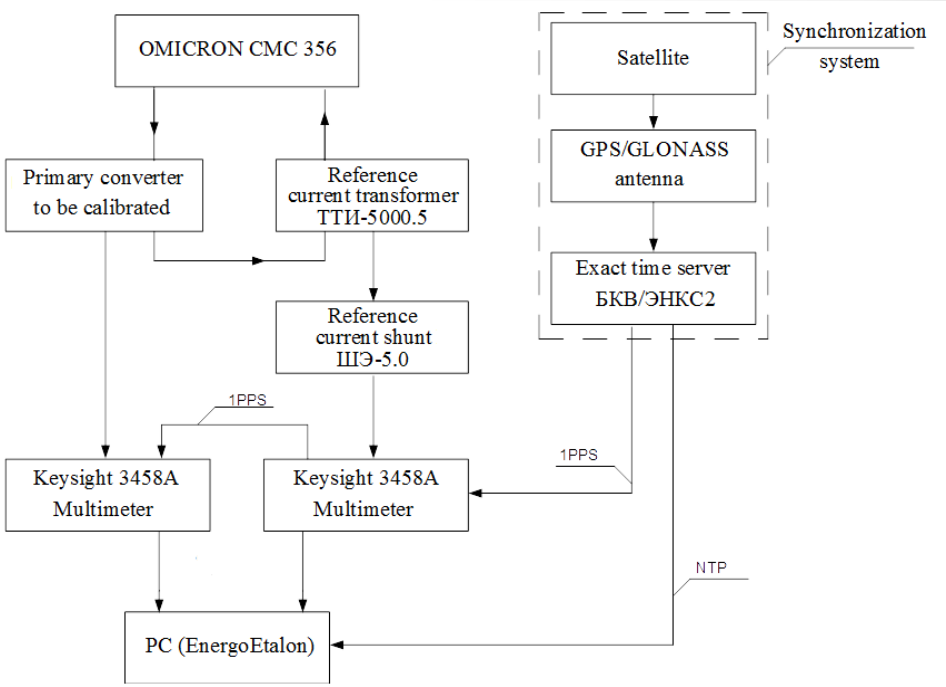
Реализация измерений на нескольких физических принципах позволяет достигнуть максимального эффекта



Система, основанная на физических принципах измерения тока и напряжения, позволяет:

- ✓ повысить класс точности по току до 0,1s и напряжению до 0,2;
- ✓ исключить искажения форм вторичных токов и напряжений как в установившихся, так и в переходных режимах;
- ✓ расширить частотный спектр измеряемых электрических величин в сторону низких частот вплоть до постоянной составляющей (0 Гц) и в сторону высоких частот (до 10^6 Гц).

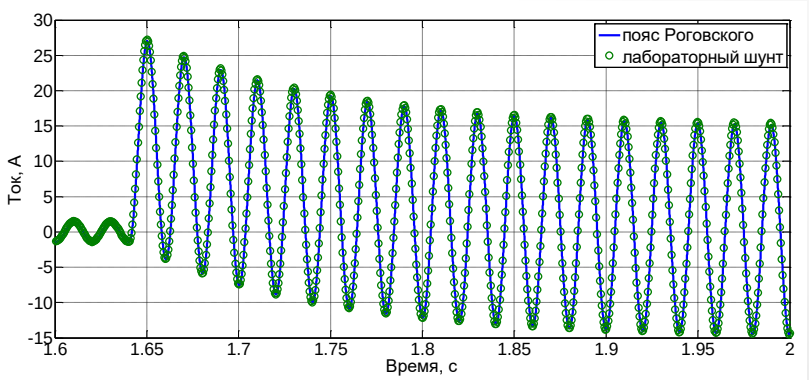
Полигон «Цифровая подстанция» в ИГЭУ - площадка для испытаний ЦТТН



Испытания в статических и динамических режимах

- на метрологию и соответствие типа
- повышенными токами и напряжениями
- на электромагнитную совместимость

и др.



Внедрение и опытная эксплуатация ЦТТН

Филиал ПАО «МРСК Центра и Приволжья» - «Ивэнерго», г. Иваново

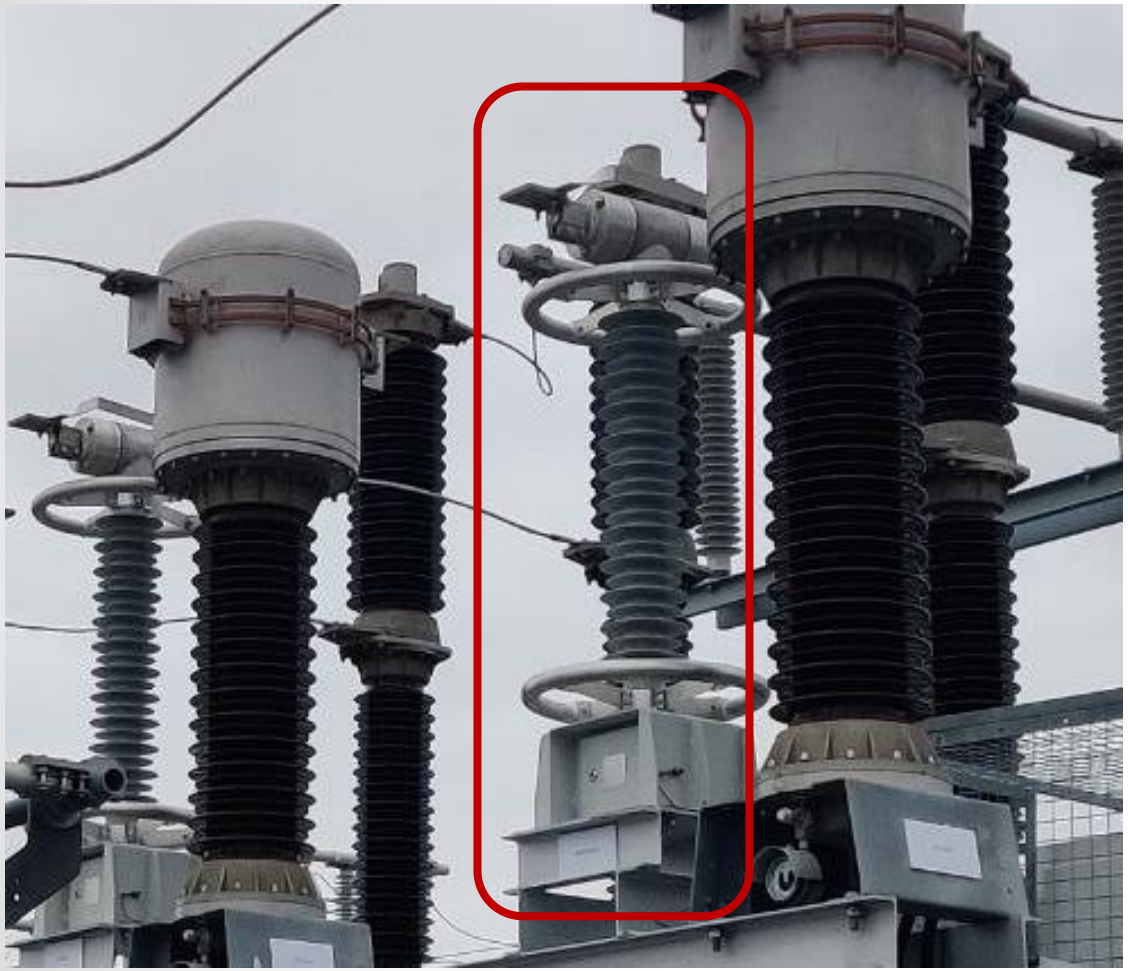
НТЦ ФСК, г. Москва

ООО «Ноябрьскэнергонефть» г. Ноябрьск

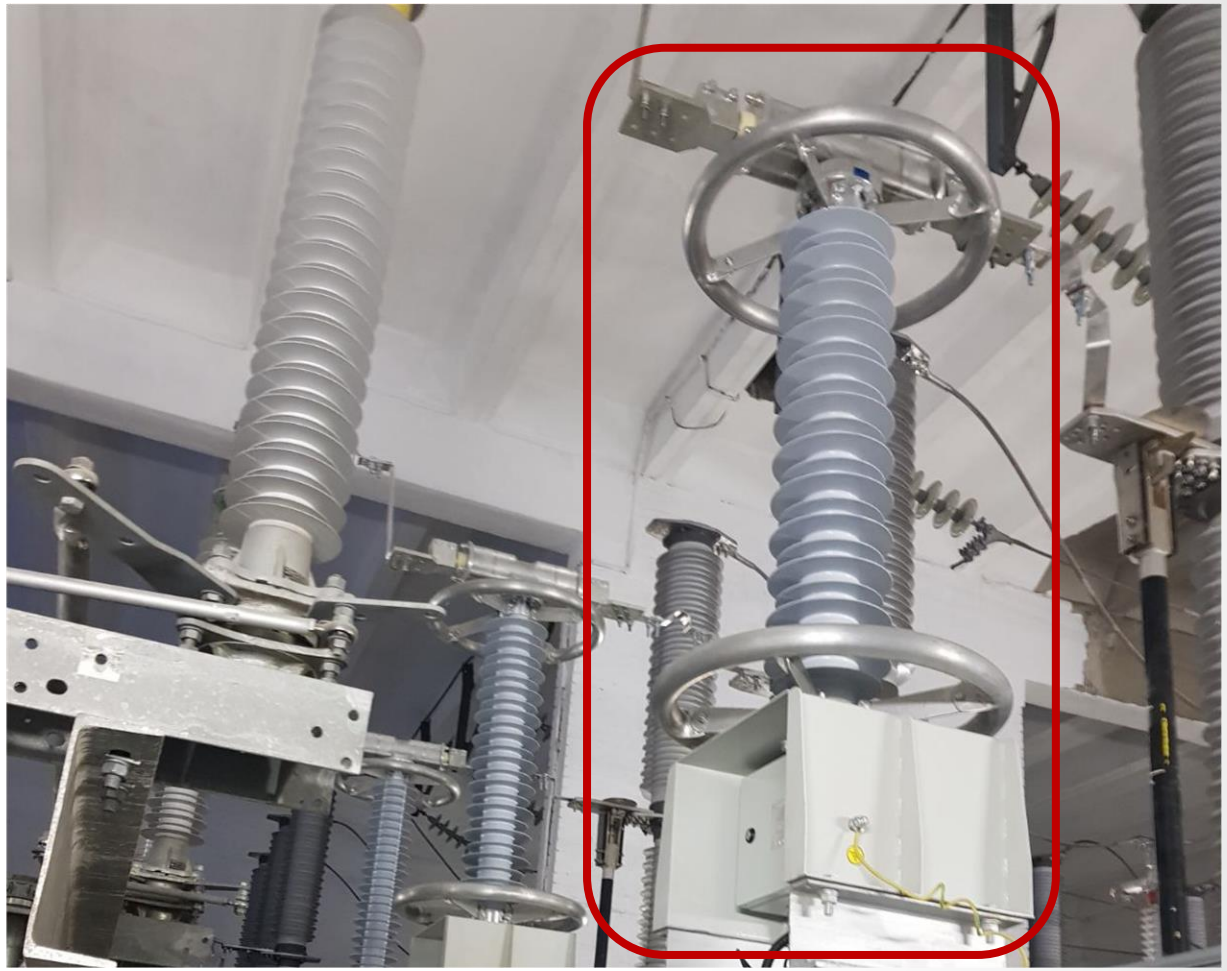
АО «Тюменьэнерго», г. Нижневартовск

Филиал ПАО «МРСК Центра» - «Костромаэнерго» г. Кострома

Внедрение и опытная эксплуатация ЦТТН



«ЗапСибНефтехим»- Сибур, г. Тобольск, 2022 г.

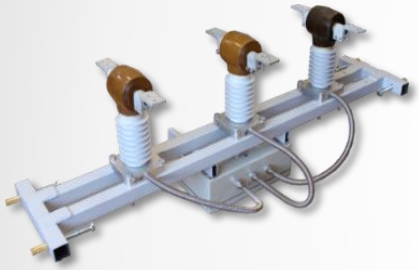


ПАО «Россети Ленэнерго» ПС 369, С. Петербург, август 2020

Оборудование для цифровизации сетей, ПКУ для ПС и ЛЭП 6/10/35/110 кВ

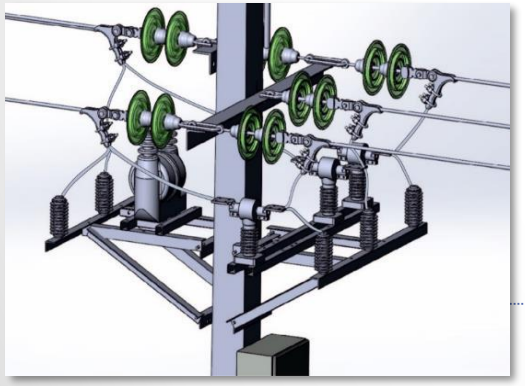
Интеллектуальный учет и передача информации с функциями:

- ✓ определение направление повреждения;
- ✓ определение смещения нейтрали.



Не инвазивная установка на ВЛЭП 6(10) кВ

110 кВ



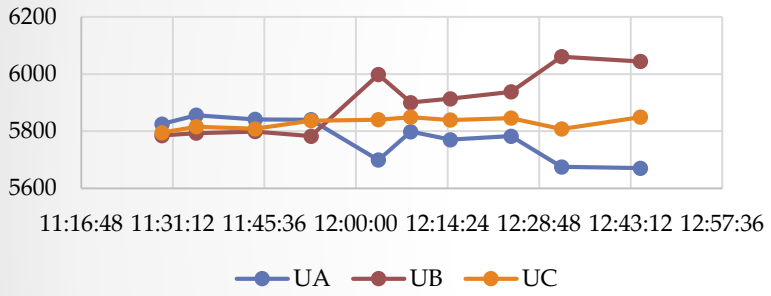
6 -35 кВ

Разработка автоматизированной точки коммерческого учета электроэнергии 6(10) кВ в рамках НИОКР ПАО «МРСК Центра» в филиале «Рязаньэнерго»

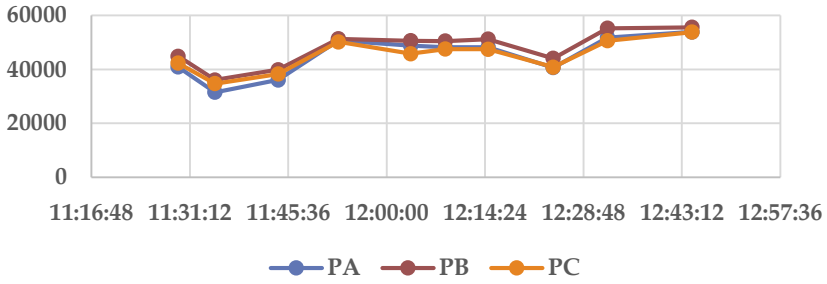
Внедрение и опытная эксплуатация ЦТТН и АТКУЭ в сетях 6(10) кВ

Опытная эксплуатация пункта коммерческого учета в филиале «Рязаньэнерго» ПАО «МРСК Центра» с функциями определения однофазных замыканий и передачей информации по каналам связи

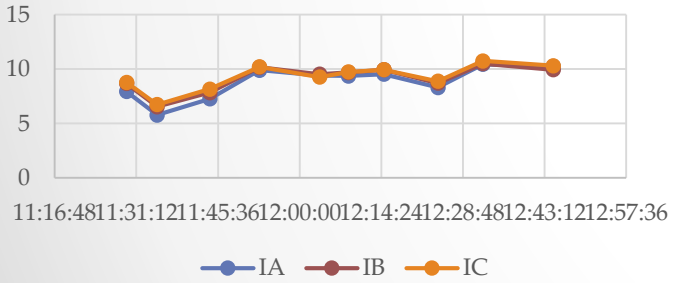
Контроль напряжения в ЛЭП



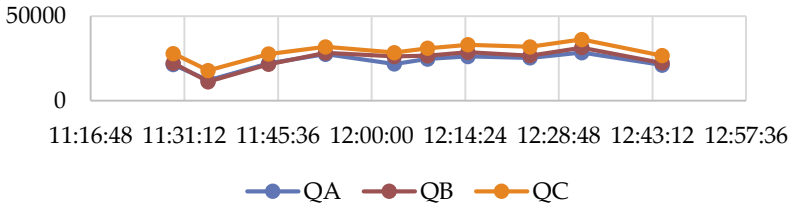
Активная мощность передаваемая по ЛЭП



Контроль тока в ЛЭП



Реактивная мощность передаваемая по ЛЭП



Контроль более 20 параметров электроэнергии передаваемой по ЛЭП

Преимущества применения ЦТТН для организации дистанционных органов РЗ и ОМП

Значимый искажающий фактор при определении места повреждения – переходное сопротивление дуги

Расчетные выражения по мгновенным значениям:

для междуфазных КЗ:

$$n = \frac{(u'_{AB} - u''_{AB}) + R \cdot i''_{AB} + L_L \cdot \frac{di''_{AB}}{dt}}{R \cdot (i'_{AB} + i''_{AB}) + L_L \cdot \left(\frac{di'_{AB}}{dt} + \frac{di''_{AB}}{dt} \right)}$$

для однофазных КЗ:

$$n = \frac{(u'_A - u''_A) + R \cdot i''_A + L_L \cdot \frac{di''_A}{dt} + R_E \cdot 3i''_0 + L_E \cdot \frac{d3i''_0}{dt}}{R \cdot (i'_A + i''_A) + L_L \cdot \left(\frac{di'_A}{dt} + \frac{di''_A}{dt} \right) + R_E \cdot (3i'_0 + 3i''_0) + L_E \cdot \left(\frac{d3i'_0}{dt} + \frac{d3i''_0}{dt} \right)}$$

Преимущества применения ЦТТН для организации дистанционных органов РЗ и ОМП

Значимый искажающий фактор при определении места повреждения – переходное сопротивление дуги

Расчетные выражения по мгновенным значениям:

для междуфазных КЗ:

$$n = \frac{(u'_{AB} - u''_{AB}) + R \cdot i''_{AB} + L_L \cdot \frac{di''_{AB}}{dt}}{R \cdot (i'_{AB} + i''_{AB}) + L_L \cdot \left(\frac{di'_{AB}}{dt} + \frac{di''_{AB}}{dt} \right)}$$

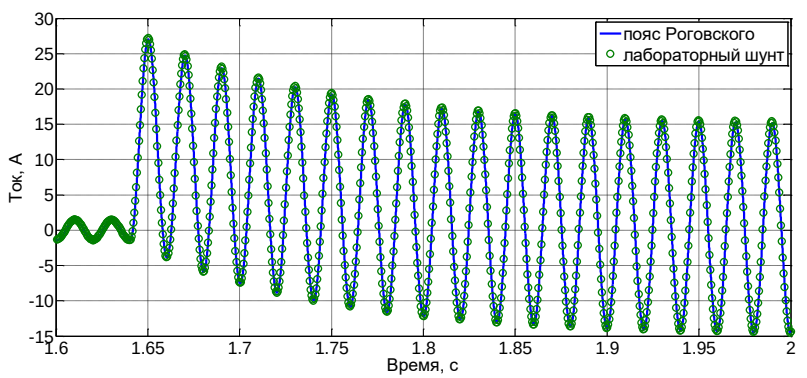
для однофазных КЗ:

$$n = \frac{(u'_A - u''_A) + R \cdot i''_A + L_L \cdot \frac{di''_A}{dt} + R_E \cdot 3i''_0 + L_E \cdot \frac{d3i''_0}{dt}}{R \cdot (i'_A + i''_A) + L_L \cdot \left(\frac{di'_A}{dt} + \frac{di''_A}{dt} \right) + R_E \cdot (3i'_0 + 3i''_0) + L_E \cdot \left(\frac{d3i'_0}{dt} + \frac{d3i''_0}{dt} \right)}$$

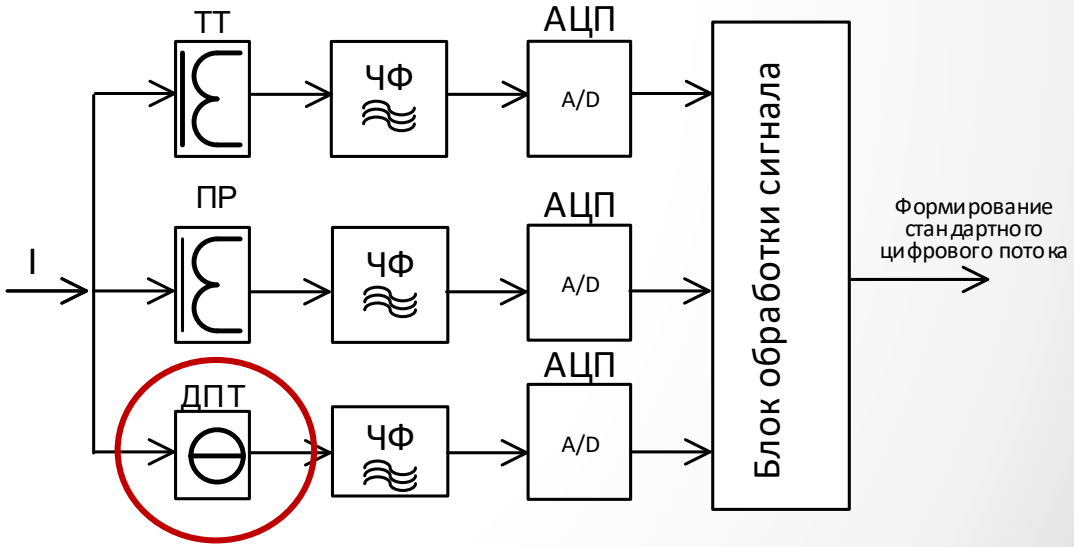
Исключение влияния переходного сопротивления дуги – измерение тока при переходе через ноль

Преимущества применения ЦТТН для организации дистанционных органов РЗ и ОМП

Токи КЗ сопровождаются апериодическими составляющими – что усложняет определение перехода тока через ноль



Датчик постоянного тока – ДПТ в структуре ЦТТ позволяет точно определить и предсказать переход тока через ноль



МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ - 2022

Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина

ООО НПО Цифровые измерительные трансформаторы

Теория и практика применения цифровых измерительных трансформаторов тока и напряжения

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Докладчик: Лебедев Владимир Дмитриевич

Контактная информация:
vd_Lebedev@mail.ru +7 910-691-97-76

Москва 2022 г.