



Диагностические испытания измерительных трансформаторов

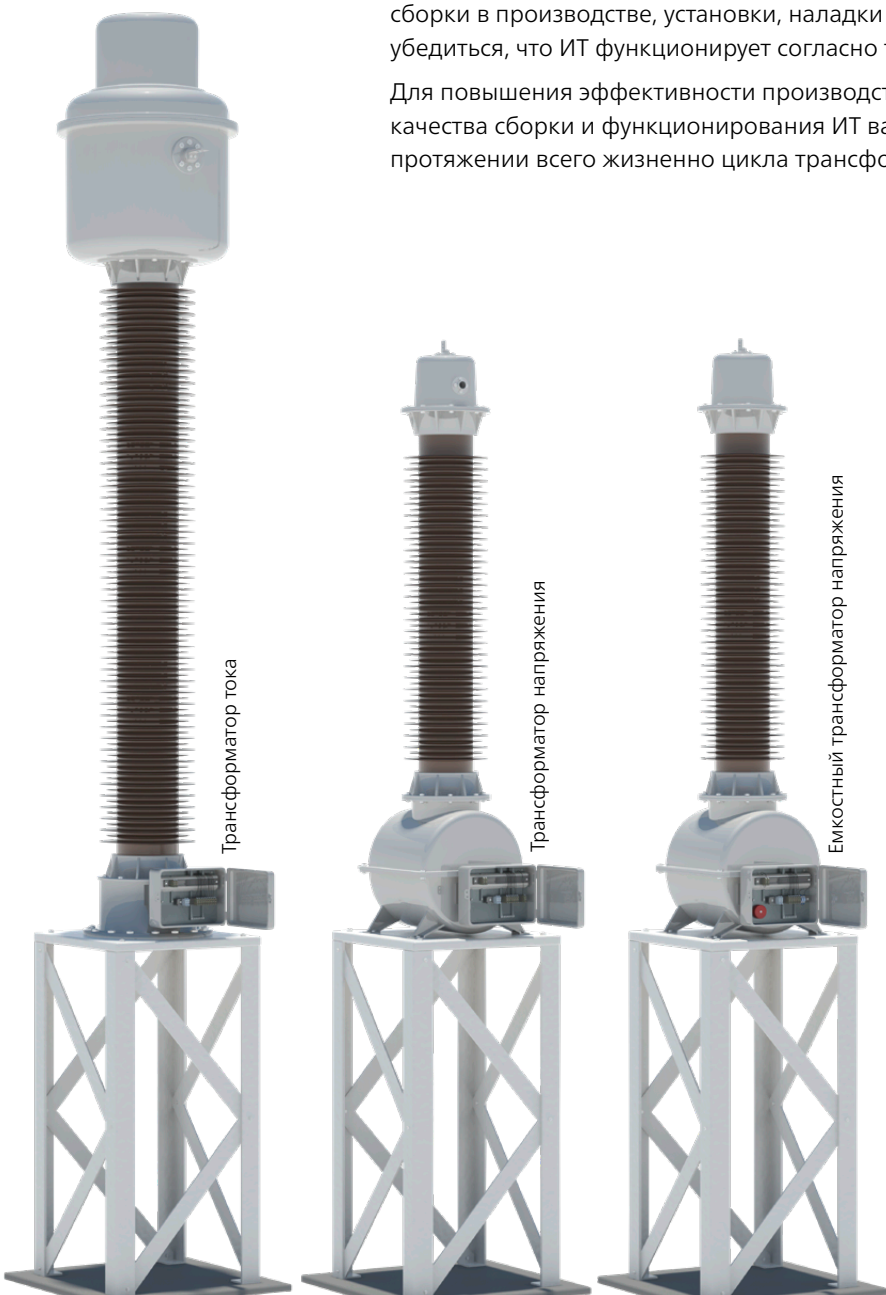


Проверка исправности и качества работы измерительных трансформаторов

Измерительные трансформаторы (ИТ) являются ключевым фактором безопасной и бесперебойной поставки энергоресурсов, выступая связующим звеном между первичным и вторичным оборудованием.

Испытания ИТ крайне важны, поскольку помогают проверить качество их сборки в производстве, установки, наладки и запуска в эксплуатацию, а также убедиться, что ИТ функционирует согласно техническим характеристикам.

Для повышения эффективности производства и обеспечения высокого качества сборки и функционирования ИТ важно проводить измерения на протяжении всего жизненного цикла трансформаторов.



Типовые причины сбоев в работе ИТ

- > **Дефекты разработки**
Чаще всего связаны с магнитным сердечником, системой изоляции или коэффициентом трансформации
- > **Дефекты производства**
Обрывы цепи, КЗ, пробой изоляции
- > **Неправильное применение**
Слишком низкая/высокая нагрузка, неправильные показатели тока/напряжения
- > **Электрические воздействия**
Коммутационное или электрическое перенапряжение, ток КЗ
- > **Износ/старение/коррозия**
Влага, кислоты, кислород, загрязнения, утечки

Изготовление

Заводские
приемочные
испытания

Транспор

форматоров на протяжении всего жизненного цикла

Испытания и корректировочные меры

- > **В процессе производства**
Получите точные данные о состоянии и работе ИТ на определенных стадиях его изготовления, чтобы избежать выпуска неточных или бракованных единиц и соответственно повысить эффективность производства.
- > **После изготовления**
Определите фактические характеристики работы ИТ согласно стандартам и получите эталонные показатели, с которыми можно будет сравнивать результаты последующих проверок.
- > **После транспортировки**
Испытайте ИТ после транспортировки и убедитесь, что ему не нанесены механические повреждения и он по-прежнему работает согласно техническим характеристикам.
- > **Во время установки и пусконаладки**
Убедитесь, что ИТ установлен надлежащим образом и работает в среде эксплуатации согласно техническим характеристикам.
- > **Во время плановых проверок**
Регулярная диагностика состояния ИТ позволяет избежать поломок, аварий и длительных простоев оборудования.

Жизненный цикл измерительных трансформаторов

тировка

Установка и ввод
в эксплуатацию

Эксплуатация

Компоненты измерительных трансформаторов и их неисправности



| Компонент | Обнаруживаемые неисправности |
|--|---|
| Изоляция | Частичные разряды |
| | Влага в бумажной изоляции |
| | Старение, повышенная влажность, загрязнение изоляции |
| Обмотки | Дефекты в емкостных слоях системы выравнивания потенциалов |
| | Короткое замыкание (межвитковое) |
| | Обрыв |
| Сердечник | Проблемы с контактами |
| | Механическая деформация |
| | Плавающее заземление сердечника |
| | Ослабление зажимов |
| Емкостный делитель напряжения | Магнитное короткое замыкание |
| | Предварительное намагничивание / остаточная намагниченность |
| Компенсационный реактор (только комбинированные ТТН) | Частичный пробой отдельных емкостных слоев |
| | Витковое КЗ |
| Электромагнитная цепь | Точность (погрешность K_t и угловая погрешность) |
| | Отклонение K_t (полное) |
| | Полярность |
| Нагрузка | Проверка маркировок |
| | Неправильное номинальное значение |
| | Неисправное подключение между ИТ и счетчиком / |

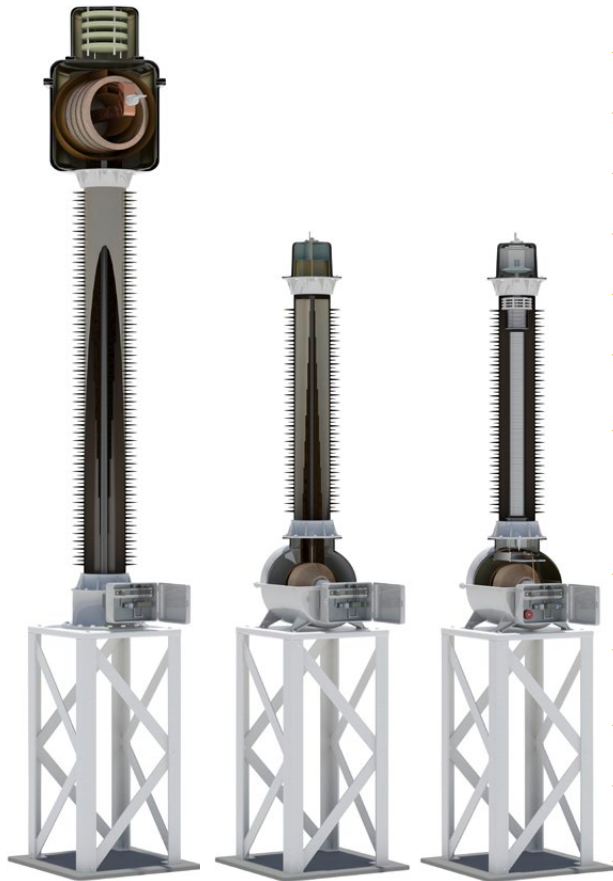
■¹: Неисправности снижают точность ИТ

■²: Обнаружить эти неисправности зачастую очень сложно, они становятся очевидными лишь при сравнении показателей с предыдущими результатами измерений.

СТИ

| Возможные методы измерения | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|--|------------|-------------------------------|-----------------------|----------|---------------------------|---|--|------------------------|---|---------------------------------------|---|---|
| | | | | | | | ■ | | ■ | | | | |
| ляционной жидкости | | | | | | | | ■ | ■ | | | | |
| | | | | | | | | | ■ | ■ | | | |
| | ■ ¹ | ■ | | ■ ² | ■ | | | | | | | | ■ |
| | ■ ¹ | ■ | | ■ ² | ■ | | | | | | | | ■ |
| | ■ ¹ | ■ | | | ■ | | | | | | | | ■ |
| | ■ ¹ | | | ■ ² | | | | | | | | | |
| | ■ ¹ | | | ■ ² | | | | | | | | | |
| | ■ ¹ | | | ■ ² | | | | | | | | | |
| магнитичность | ■ | ■ | | | | | | | | | | ■ | ■ |
| | ■ ¹ | ■ | | | | | | | ■ | | | | ■ |
| | ■ ¹ | | | | | | | | | | | | |
| | ■ | | | | | | | | | | | | |
| | ■ | ■ | | | | | | | | | ■ | | ■ |
| | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | ■ |
| | ■ | ■ | | | | | | | | | ■ | | ■ |
| реле | | | ■ | | | | ■ | | | | | | ■ |
| | | | | | | | ■ | | | | | | ■ |
| | Точность (погрешность КТ и угловая погрешность) КТ / отклонение КТ | Полярность | Характеристики намагничивания | Сопротивление обмотки | Нагрузка | Анализ частичных разрядов | Анализ диэлектрической частотной характеристики | Измерение коэффициента мощности / тангенса угла диэлектрических потерь | Сопротивление изоляции | Остаточная кратность тока (ALF) и напряжение на клеммах | Параметры ТТ при переходных процессах | Широкополосная точность коэффициента трансформации и фазы | |

Идеальное испытательное решение для конкретных потребностей



CT ANALYZER

VOTANO 100

| | | |
|---|----------------|----------------|
| Точность (отклонение Кт и угловая погрешность) | ■ | ■ |
| Кт / отклонение Кт | ■ ¹ | ■ ¹ |
| Полярность | ■ | ■ |
| Характеристики намагничивания | ■ | ■ |
| Сопротивление обмотки | ■ | ■ |
| Нагрузка | ■ | ■ |
| Анализ частичных разрядов | | |
| Анализ диэлектрической частотной характеристики | | |
| Емкость и тангенс угла диэлектрических потерь: при 50 Гц или 60 Гц при регулируемой частоте | | |
| Сопротивление изоляции | | |
| Предельная кратность тока и напряжение на клеммах | ■ | |
| Остаточная намагниченность | ■ | |
| Параметры ТТ при переходных процессах | ■ | |
| Широкополосная точность коэффициента трансформации и фазы | | |

¹ Измеряет коэффициент трансформации ТТ и ТН.

² CPX 200 измеряет коэффициент трансформации ТТ и ТН; для испытаний с большими амплитудами требуется HVX10.

³ Только для ТТ.

⁴ Требуется дополнительная принадлежность HVX10.

⁵ С ограниченной точностью.

⁶ Требуется дополнительный источник питания и эталонный конденсатор.

⁷ С 200 V_{peak}

Удобный, легкий и предельно точный испытательный комплект для тестирования и калибровки трансформаторов тока

Высокоточное переносное устройство для испытания и калибровки трансформаторов напряжения



Методы испытаний измерительных трансформаторов

Прямой электрический метод испытания

Первичные величины (напряжение/ток) подаются на первичную (ВН) сторону ИТ, а затем на вторичной (НН) стороне измеряются соответствующие значения. Определяются такие параметры, как коэффициент трансформации, погрешность, полярность и т. д.

Во время измерения погрешности к ИТ необходимо подключать различную нагрузку, чтобы учесть в расчетах её влияние на работу трансформатора. Может применяться как к стандартным, так и к нестандартным ИТ.

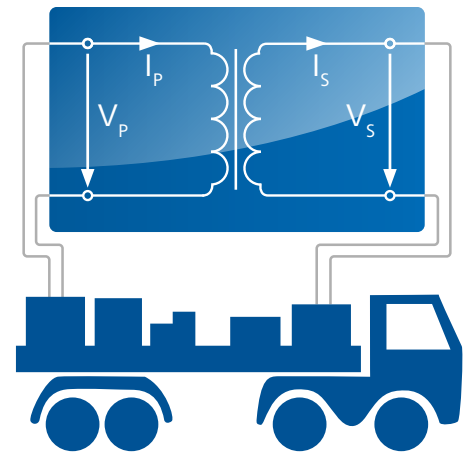
Этот вид испытаний с номинальным током/напряжением является обязательным при заводских испытаниях ИТ.

Подача номинального тока/напряжения на первичную обмотку

Используются испытательные сигналы с номинальным значением (ток/напряжение). Во время измерения к ИТ подключена рабочая нагрузка.

Этот метод используется в калибровочных лабораториях, а иногда и на месте эксплуатации, где испытательное оборудование высокой точности монтируется на огромные платформы.

Испытательные системы, как правило, громоздкие и тяжелые, перевозить их дорого и хлопотно, поэтому они не очень подходят для тестирования на месте эксплуатации.



Подача номинального тока/напряжения на первичную обмотку

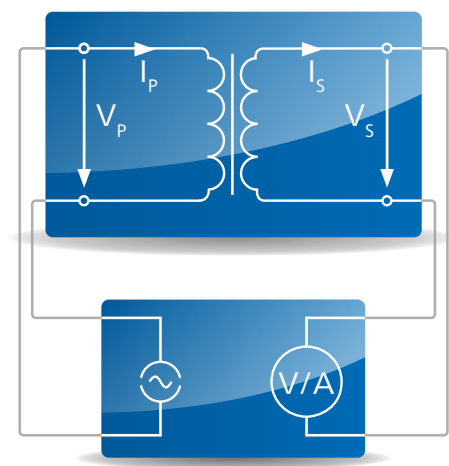
Подача сигналов на первичную обмотку

В этом испытании на первичное оборудование подаются проверочные сигналы напряжения или тока (не обязательно номинальные значения). Испытание применяется только для проверки работы ИТ и не подходит для калибровки или проверки класса трансформатора (нелинейность ИТ).

Для испытания нестандартных измерительных трансформаторов (НИТ) могут быть применены сигналы небольшой амплитуды в соответствии с данными производителя о нелинейности ИТ.

Как правило, для испытаний используются переносные системы, но их точность обычно ограничена.

Следовательно, этот метод вполне подходит для пусконаладочных испытаний на месте эксплуатации оборудования.



Подача сигналов на первичную обмотку

Непрямой электрический метод испытания

По этому методу измерения выполняются с вторичной стороны, а испытательные сигналы отличаются от первичных значений. Этот метод применяется к стандартным ИТ (ТТ, ТН, ТТН).

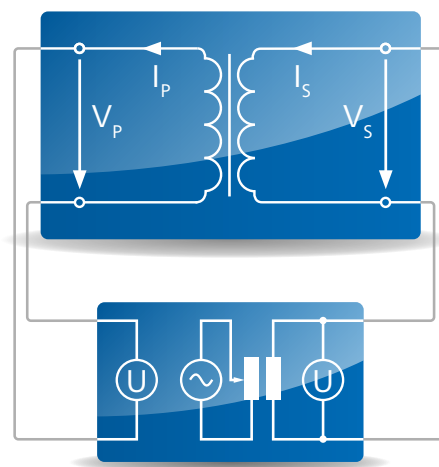
Подача напряжения на вторичную обмотку

Специальное испытание для трансформаторов тока с подачей напряжения на вторичную сторону. Испытательное напряжение равно рабочему напряжению на клеммах при номинальной нагрузке.

Измерение кривой намагничивания выполняется в соответствии с международными стандартами.

Для определения полной погрешности необходимо подать напряжение в соответствии с конкретными условиями работы ТТ, измерить соответствующий ток намагничивания и рассчитать погрешность.

Важным преимуществом этого испытания является применение компактной и легкой испытательной системы (вместо громоздкого оборудования для подачи первичного тока), которую можно без труда доставить на место эксплуатации.



Подача напряжения на вторичную обмотку

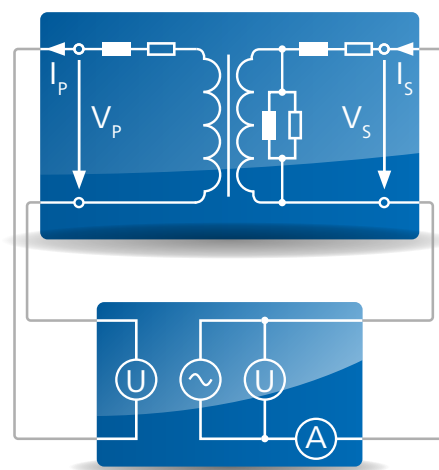
Испытания на основе моделирования

Для подачи сигналов с низкими значениями, которые используются в этом испытании, создаются компактные легкие и безопасные приборы.

По этому методу измерительные трансформаторы моделируются с использованием их эквивалентных схем (ЭС). На основе всех измеренных и выявленных параметров ЭС рассчитываются необходимые значения ИТ, такие как точность, коэффициент трансформации и полярность.

Метод может использоваться как для калибровки, так и для диагностики оборудования, поскольку параметры ЭС обеспечивают точную информацию об устройстве и даже позволяют определить ключевую причину отказа.

Кроме того, благодаря точным и портативным приборам такие испытания можно проводить как в лаборатории, так и на месте эксплуатации.



Испытания на основе моделирования

Точность (согласно стандартам IEC и IEEE)

Что можно протестировать?

- Изоляция
- ✓ Обмотки
- Сердечник
- Емкостный делитель напряжения
- Компенсационный реактор
- ✓ Вся электромагнитная цепь
- Нагрузка
- Качество электроэнергии

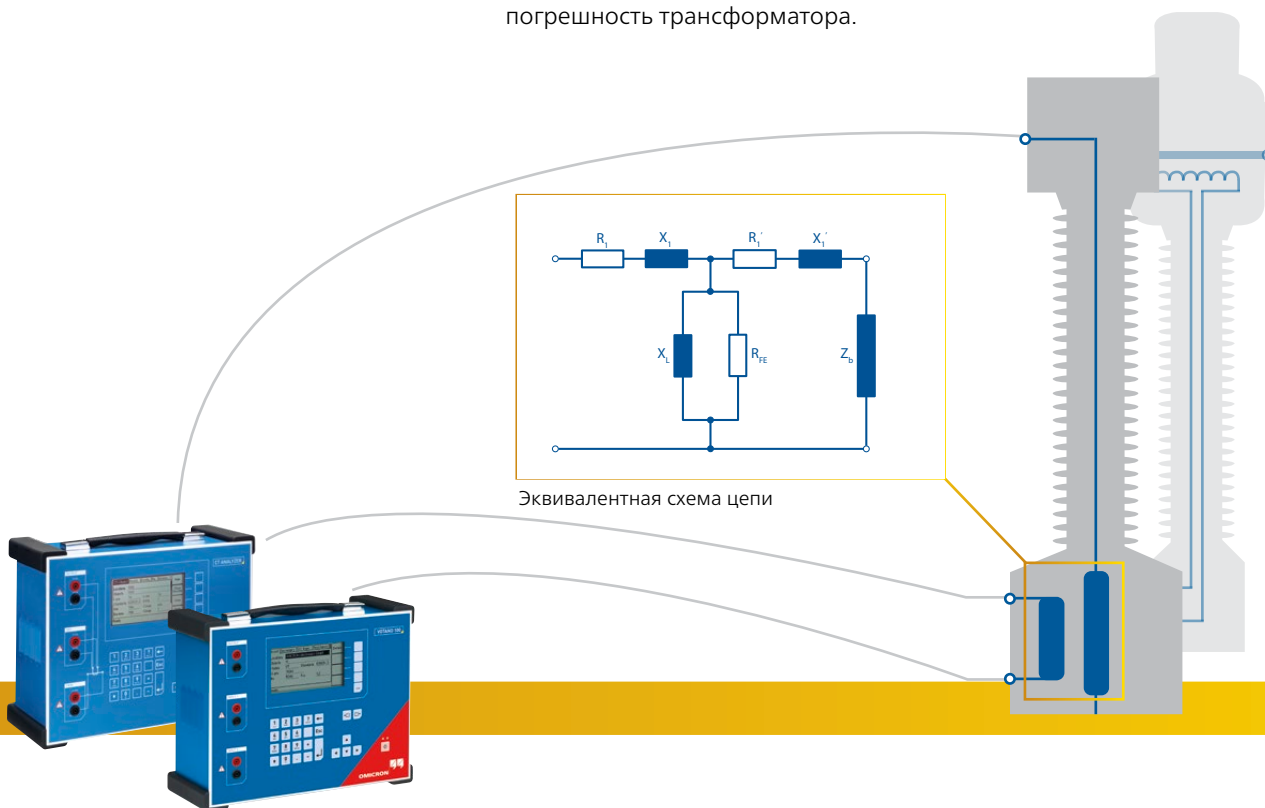
Зачем нужны измерения?

Измерения позволяют оценивать исправность измерительного трансформатора, как части надёжной, безопасной и экономически выгодной системы электроснабжения. Благодаря точной работе ИТ вторичные цепи подстанции обтекаются токами и напряжениями, пропорциональными первичным.

В индуктивных трансформаторах тока и напряжения (ТТ и ТН) и емкостных трансформаторах напряжения (ЕТН) могут со временем возникать отклонения от коэффициента трансформации и качания фазового угла. В ходе работы, под воздействием разных нагрузок, токов и напряжений, в ИТ могут измениться значения отклонения коэффициента трансформации и сдвига фаз, что повлияет на способность трансформатора выполнять свои функции согласно заявленной точности. Кроме того, такие дефекты, как КЗ в витках трансформаторов тока и пробой емкостных слоев в пакетном конденсаторе ЕТН, часто остаются незамеченными. Все это ведет к ошибкам показателей, финансовым убыткам, а иногда и к полному отказу оборудования. Измерение точности можно проводить на этапе производства, в испытательных лабораториях или на месте эксплуатации.

Как это работает?

Точность работы трансформатора (погрешность КТ и сдвиг фазы) определяется методом моделирования. Моделируется ИТ по его эквивалентной схеме с применением встроенных математических алгоритмов. Параметры цепи определяются по результатам полуавтоматических измерений на месте эксплуатации оборудования с подачей низковольтного напряжения. Затем, на основе измеренных параметров и с учетом режима нагрузки, рассчитывается погрешность трансформатора.



Познавательная информация

Только метод на основе моделирования позволяет учесть и смоделировать влияние различных нагрузок и рабочих диапазонов на точность работы трансформатора.

Измерение точности можно также выполнять с подачей первичных сигналов с подключенной нагрузкой. В стандартных испытаниях используются ток и напряжение больших величин.

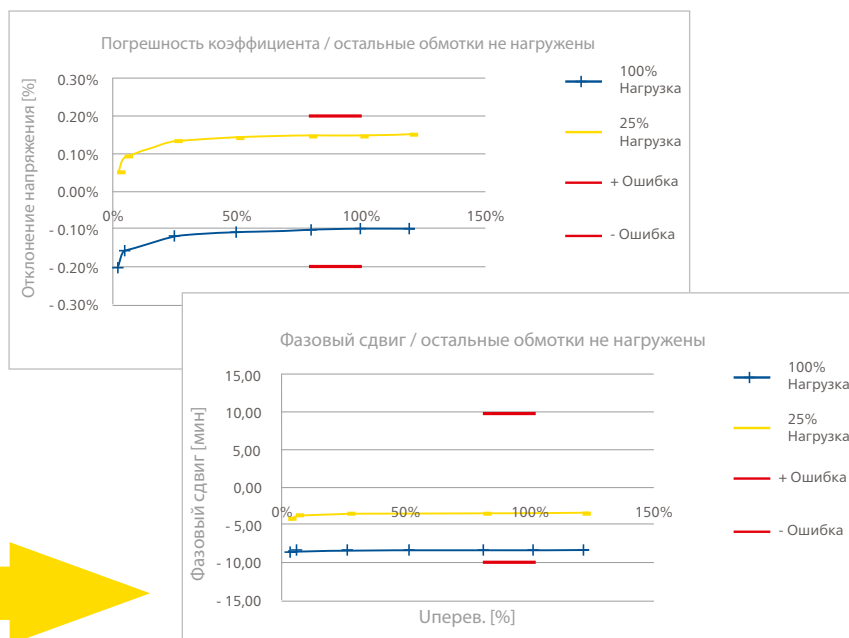
Измерения точности на основе моделирования могут применяться для дальнейшей диагностики трансформаторов, особенно ТТН. Помимо измерения отклонения Кт и фазового сдвига, при испытаниях определяются параметры цепи ЭС. Проанализировав эти параметры, можно выявить основную причину снижения точности трансформатора.

Поскольку метод предполагает использование тока исключительно малых амплитуд и низкого напряжения, измерения можно проводить даже на этапе производства при отсутствии основной изоляции.

Пользователи могут переносить измеренные параметры ИТ в программы сетевого моделирования для учета реального поведения трансформаторов тока и напряжения.

Преимущества CT Analyzer / VOTANO 100

- > Результаты испытаний и калибровки защитных и измерительных трансформаторов вы получаете сразу на месте эксплуатации
- > Быстрые измерения без эталонных объектов с помощью небольших установок
- > Возможность смоделировать различные режимы работы после измерений
- > Автоматическая оценка результатов со значениями, которые определены в выбранном стандарте: IEEE, ANSI или IEC



Отклонение коэффициента и фазовый сдвиг измерительного трансформатора

Что можно протестировать?

- Изоляция
- ✓ Обмотки
- Сердечник
- ✓ Емкостный делитель напряжения
- Компенсационный реактор
- ✓ Вся электромагнитная цепь
- Нагрузка
- Качество электроэнергии

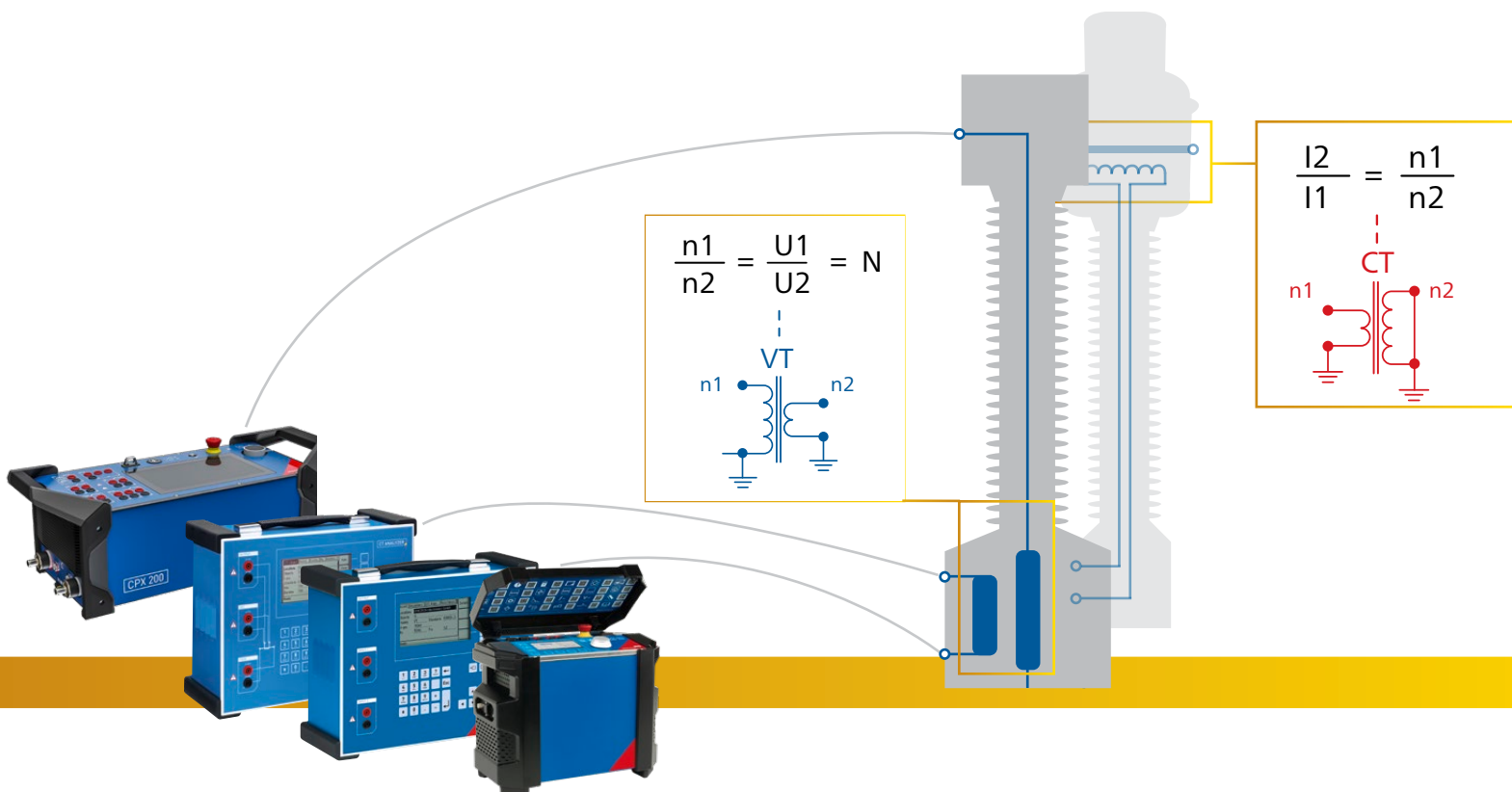
Зачем нужны измерения?

Измерение коэффициента трансформации (КТ) или его отклонения выполняется для функциональной проверки ИТ в процессе производства, во время заводских приемочных испытаний и пусконаладочных работ, а также оценки работы ИТ после повреждений в системе. Измеренный коэффициент трансформации ИТ сравнивается с данными в паспортной табличке и спецификациях, а также с результатами предыдущих измерений. Погрешность можно рассчитать для каждой контрольной точки. Отклонение от значений в спецификации может свидетельствовать о внутренних неполадках системы (например, обрыве цепи или наличии КЗ). Отклонение коэффициента трансформации может привести к сбоям в работе устройств защиты и неправильной оценке напряжения и тока в системе.

Как это работает?

Объектом испытания выступает ТТ или ТН с подключенной нагрузкой или без нее. Если к измерительному трансформатору не подключена нагрузка, вторичная обмотка ТТ должна быть замкнута, а вторичная обмотка ТН — разомкнута. Проверочный сигнал подается на высокую или низкую сторону. А измерения выполняются на другой стороне ИТ.

Метод подачи напряжения на вторичную обмотку подходит, помимо прочего, для измерения коэффициента трансформации по соотношению витков, отклонения КТ и полного отклонения. При этом измеряются вторичное напряжение, ток намагничивания и индуцированное напряжение на первичной обмотке.



Познавательная информация

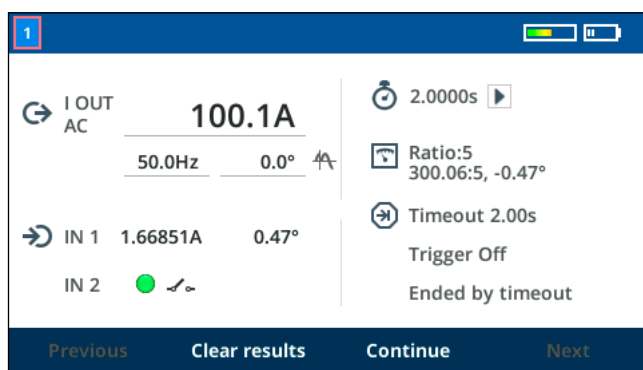
Проверка коэффициента трансформации является обычным функциональным испытанием и не может использоваться для определения точности по стандартам IEC/IEEE.

Для емкостных ТН стоит отдельно проводить измерения коэффициента емкостного делителя и коэффициента трансформации индуктивного промежуточного ТН. Это позволит точнее определить, где возникла неисправность: в емкостном делителе или в электромагнитной цепи.

Если результаты получились неоднозначными, рекомендуется выполнить дополнительные испытания измерительных трансформаторов по методу моделирования.

КТ трансформаторов тока также можно определить с помощью испытаний с подачей сигналов на вторичную обмотку. Для правильного расчета коэффициента трансформации по соотношению витков необходимо учитывать падение напряжения на сопротивлении вторичной обмотки.

Благодаря точным фазовым измерениям можно даже выявлять КЗ магнитной цепи (что особенно важно на этапе изготовления оборудования).



Результаты измерения коэффициента трансформации ТТ

Преимущества CT Analyzer

- > Возможность измерения КТ и комплексная оценка точности
- > Восстановление параметров паспортной таблички, если эти данные неизвестны
- > Гарантированная безопасность испытаний благодаря применению низковольтных проверочных сигналов
- > Высокая точность измерений (0,05 %)

Преимущества VOTANO 100

- > Возможность измерения КТ и комплексная оценка точности
- > Возможность отдельно измерять коэффициент трансформации в емкостных и индуктивных ЕТН
- > Высокая точность измерений (погрешность 0,05–0,2 %)

Преимущества CPX 200

- > Высокая точность измерений (0,1 %) до 1 кА и 10 кВ (АС)
- > Поддержка 3-фазного испытания ТТ с использованием CPXpert
- > Один испытательный комплект для подачи сигналов как на первичную обмотку (прямой метод испытания), так и на вторичную (непрямой метод)

Преимущества COMPANO 100

- > Позволяет определять коэффициент трансформации ТТ/ТН и одновременно выполнять проверку целостности электрической цепи и полярности, а также измерять параметры нагрузки

Полярность

Что можно протестировать?

- Изоляция
- ✓ Обмотки
- Сердечник
- Емкостный делитель напряжения
- Компенсационный реактор
- ✓ Вся электромагнитная цепь
- Нагрузка
- Качество электроэнергии

Зачем нужны измерения?

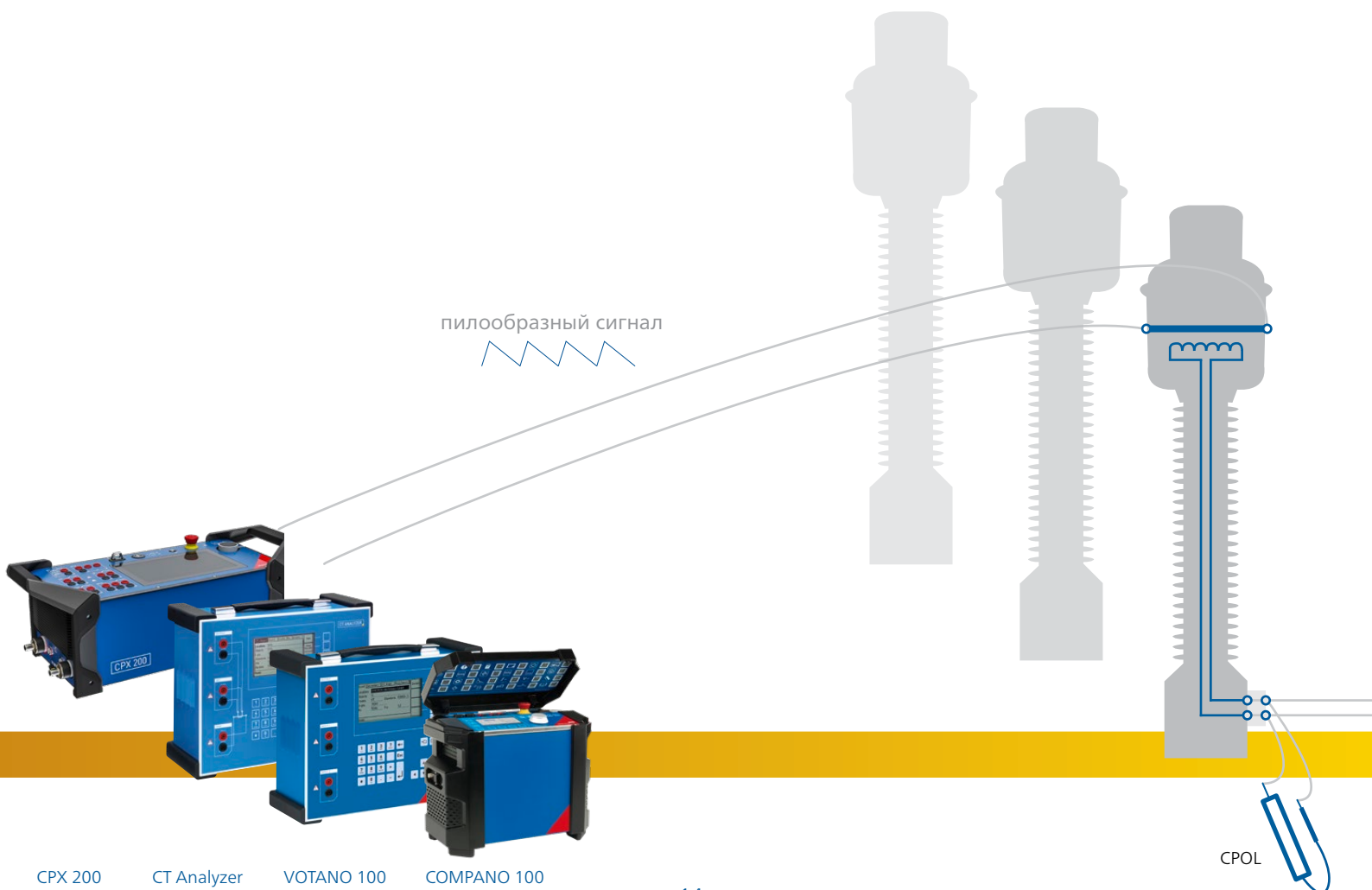
Проверка полярности позволяет убедиться, что полярность между первичной и вторичной обмотками ИТ правильна, а значит, и переток электроэнергии имеет правильное направление. Это необходимо для правильного функционирования подключенных устройств защиты. Селективность дистанционной и других защит можно обеспечить только при правильной полярности вторичных цепей. Эти испытания также дают возможность убедиться, что вторичные устройства надлежащим образом и с правильной полярностью подключены к ИТ.

Как это работает?

Существует два метода такой проверки.

Согласно первому, в систему подается пилообразный сигнал. Это может быть как сигнал тока, так и напряжения. Тестером полярности (CPOL) проверяется полярность поданного сигнала вдоль всей цепи — он точно показывает, правильна ли полярность. Таким образом можно проверять ИТ или подключенные кабели.

При использовании второго метода на ИТ подается синусоидальное напряжение, на другой стороне измеряется сигнал, а затем сравниваются векторы напряжения/тока на первичной и вторичной сторонах.



Познавательная информация

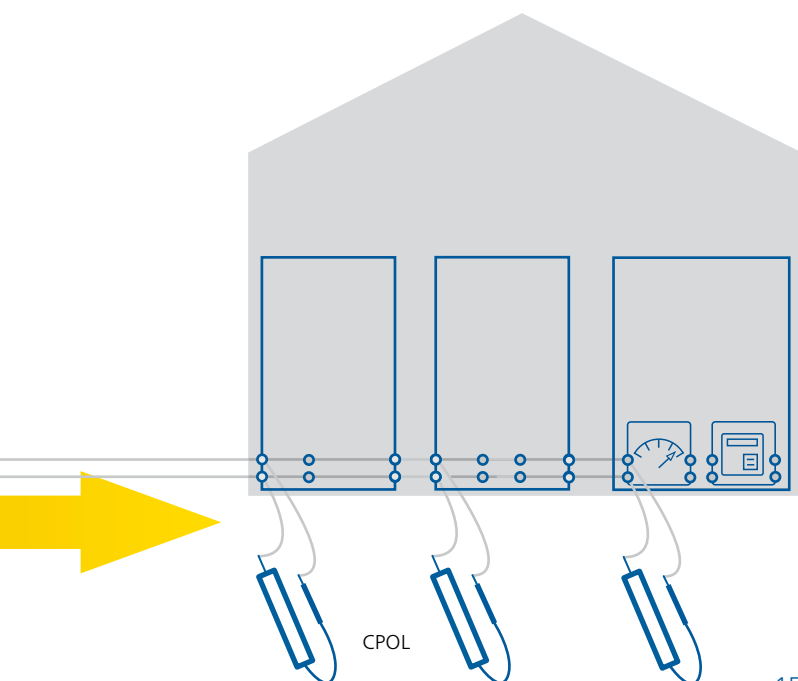
Проверку полярности рекомендуется включать в пусконаладочные испытания, чтобы верифицировать правильность подключений установленных ИТ и гарантировать их надлежащую работу.

При наличии в системе трансформаторов тока такая проверка позволяет убедиться, что эти ТТ правильно установлены и подключены.

Прежде полярность часто проверяли с помощью батарей и традиционных мультиметров. В ходе проверки происходило насыщение сердечника, после которого могло произойти неправильное срабатывание устройства защиты. При применении переменного ток или пилообразного сигнала насыщения сердечника не происходит.

При появлении короткого замыкания в цепях ТН он выйдет из строя, поскольку не предназначен для работы на короткое замыкание.

При разрыве вторичной цепи ТТ он также выйдет из строя, поскольку не предназначен для работы в условиях обрыва вторичной цепи.



Преимущества CT Analyzer

- > Определение полярности ТТ по сравнению векторов синусоидального напряжения
- > Дополнительное измерение таких важных параметров, как КТ и сдвиг фазы
- > Используется несимметричный сигнал без постоянной составляющей и тестер CPOL

Преимущества VOTANO 100

- > Измерение полярности ТН без тестера CPOL с подачей синусоидального напряжения
- > Одновременное измерение коэффициента трансформации и полярности
- > Специальная установка для ТН

Преимущества CPX 200

- > Проверка полярности по всей цепи, включая ТТ, ТН и соединительные кабели, а также проверка направленности реле
- > Одновременное измерение коэффициента трансформации и полярности
- > Используется несимметричный сигнал без постоянной составляющей и тестер CPOL

Преимущества COMPANO 100

- > Проверка полярности по всей цепи, включая ТТ, ТН и соединительные кабели, а также проверка направленности реле
- > Используется несимметричный сигнал без постоянной составляющей и тестер CPOL

Характеристики намагничивания

Что можно протестировать?

- ✓ Изоляция
- ✓ Обмотки
- ✓ Сердечник
- Емкостный делитель напряжения
- Компенсационный реактор
- ✓ Вся электромагнитная цепь
- Нагрузка
- Качество электроэнергии

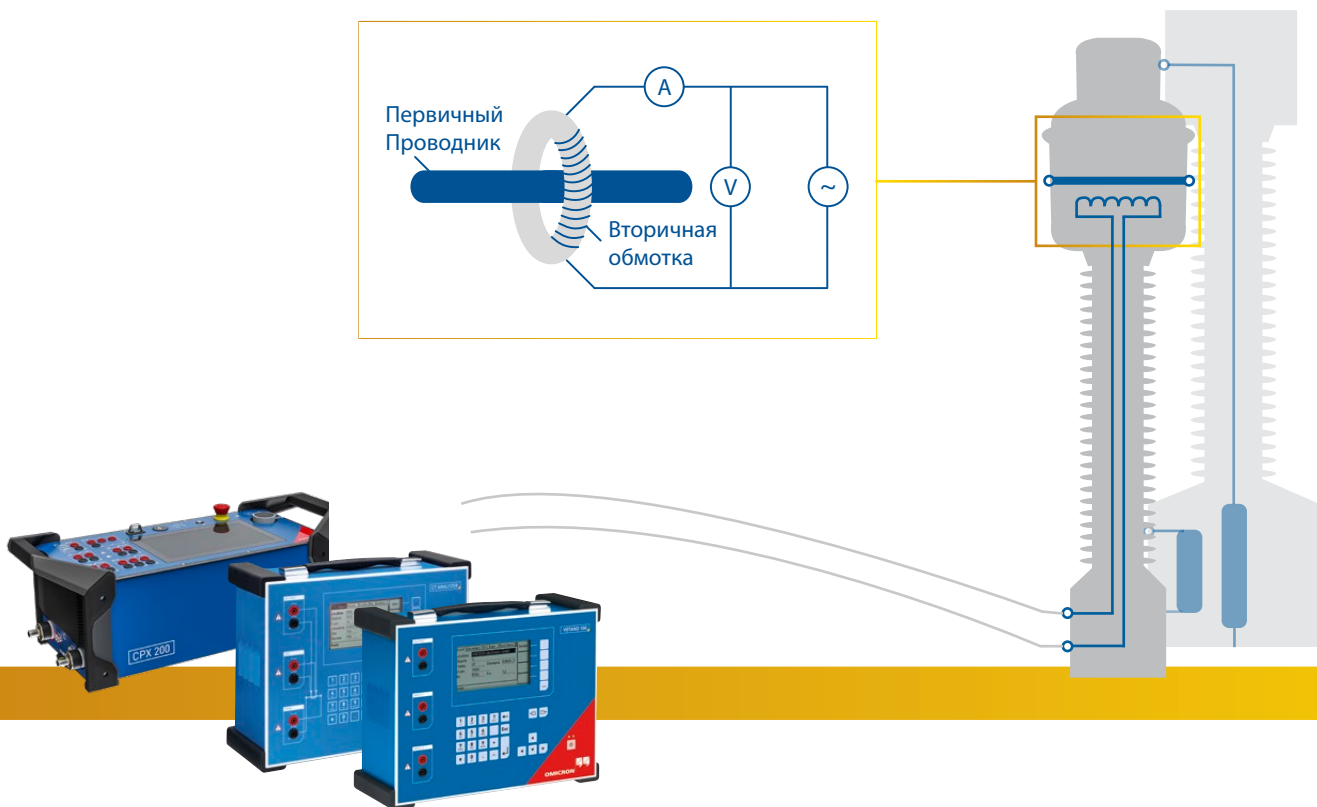
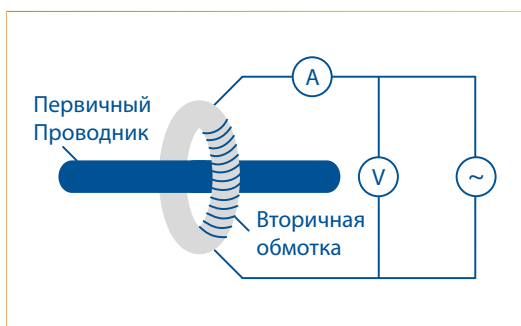
Зачем нужны измерения?

Ток намагничивания связан с погрешностью ИТ и является показателем его правильной работы. Напряжение в точке перегиба важно для правильного функционирования подключенного устройства защиты. При тестировании измерительных ТТ кривая намагничивания может использоваться для анализа предельной кратности тока. Параметры защитных ТТ по стандартам IEC и IEEE задаются с учетом характеристик намагничивания. Кривая намагничивания ТН может использоваться для анализа феррорезонансных процессов и моделирования сети и позволяет выявить короткозамкнутые витки и повреждения сердечников.

Как это работает?

Намагничивание измеряется непрямым способом — со вторичной стороны ИТ. На вторичные обмотки подается напряжение, а затем измеряется напряжение намагничивания. Испытание выполняется на номинальной частоте или переменной частоте, что позволяет сократить время испытания и измерить значения напряжения в точках перегиба напряжением до нескольких киловольт при низких значениях подаваемого напряжения.

После этого рассчитываются точки перегиба для ТТ по техническим характеристикам на базе стандартов IEC или IEEE.



Познавательная информация

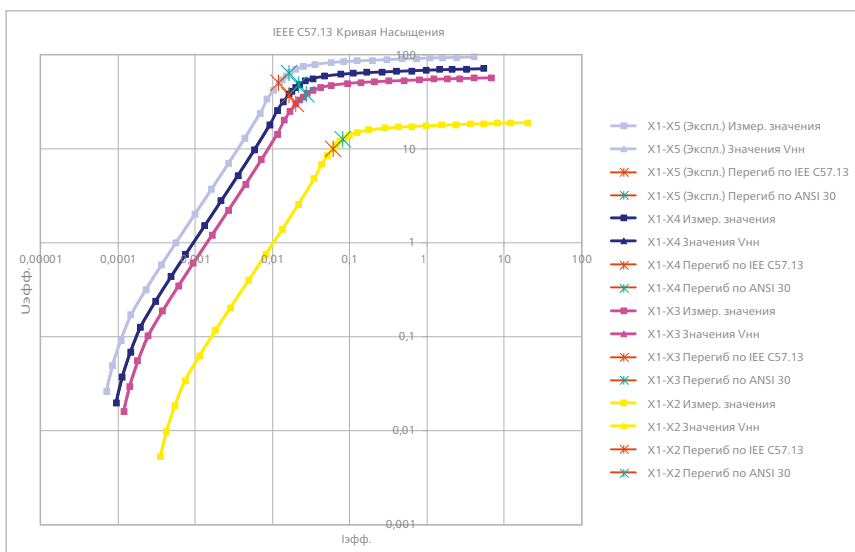
Применяя различные методы испытания, мы разными способами получаем одни и те же данные.

Преимуществом измерений на переменной частоте является использование низковольтных проверочных сигналов, сокращение длительности испытаний и возможность тестировать ТТ со сравнительно высокими значениями напряжения в точках перегиба (до 40 кВ).

Очень важно размагничивать измерительные трансформаторы до и после испытания, чтобы остаточная индукция не нарушила их работу.

Преимущества CT Analyzer / VOTANO 100 и CPX 200

- > Испытание на намагничивание с использованием безопасных низковольтных сигналов
- > Интеграция измерения намагничивания в комплексный рабочий процесс испытания ТТ/ТН
- > Возможность измерения точек перегиба ТТ с высоким напряжением (до 40 кВ) с использованием переменной частоты
- > Невосприимчивость к помехам от силовых линий под напряжением, расположенных рядом с местом измерения
- > Пофазное сравнение для детального анализа



Кривые намагничивания многодиапазонного трансформатора тока

Сопротивление обмотки

Что можно протестировать?

- Изоляция
- ✓ Обмотки
- Сердечник
- Емкостный делитель напряжения
- Компенсационный реактор
- Вся электромагнитная цепь
- Нагрузка
- Качество электроэнергии

Зачем нужны измерения?

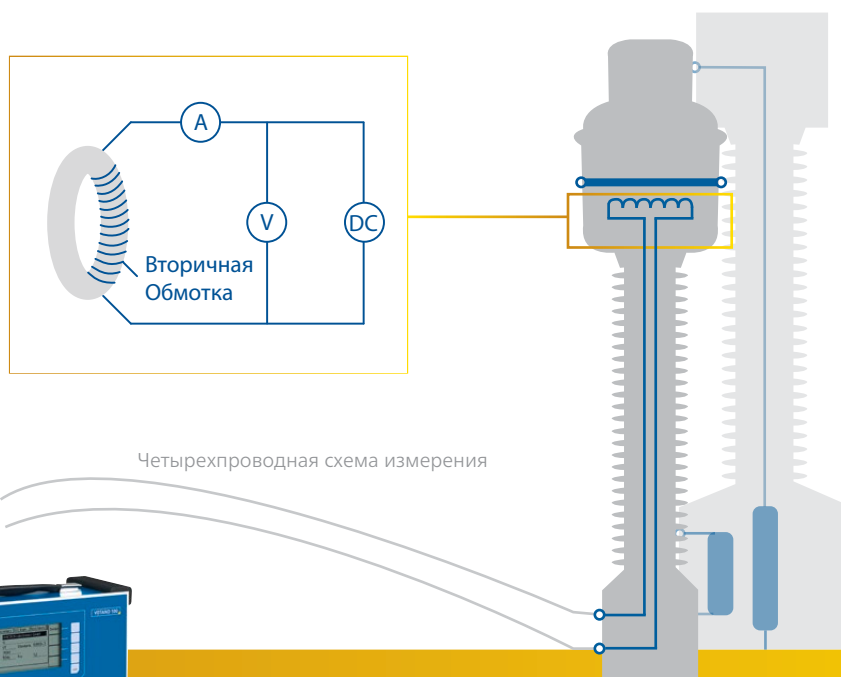
Эти измерения позволяют выявить возможное электрическое повреждение в обмотках или неисправные контакты. Уровень индукции в трансформаторах тока зависит от значения сопротивления вторичной обмотки. Для определения индукции используется показатель падения напряжения на сопротивлении вторичной обмотки, а также значение нагрузки. Если сопротивление вторичной обмотки отличается от заявленного в технических характеристиках из-за конструктивных дефектов, неправильного подключения или функциональных нарушений, индукция может быть слишком велика, а это может привести к перегреву или рабочим ограничениям.

Сопротивление вторичной обмотки влияет на предельную кратность тока и погрешность ТТ. Чем выше сопротивление, тем меньше кратность. Наличие КЗ в витках влияет на значение сопротивления обмотки и ставит под угрозу работу ИТ (обычно в трансформаторах напряжения). Обрывы цепи во вторичных обмотках ТТ очень опасны. Они могут привести к отказу трансформатора вследствие перегрева или повышения напряжения.

Как это работает?

На вторичную обмотку ИТ подается постоянный ток или напряжение постоянного тока. Для проверки целостности цепи стоит также измерить сопротивление первичной обмотки ТТ при наличии в ней нескольких витков.

После насыщения сердечника будет достигнуто стабильное значение для измеряемого тока. Коэффициент сопротивления обмотки рассчитывается как соотношение между подаваемым напряжением и измеряемым током.



Четырехпроводная схема измерения



Познавательная информация

Эти измерения позволяют проверить правильность установки трансформаторов тока, встроенных в силовое оборудование (например, силовые трансформаторы или выключатели).

По некоторым стандартам сопротивление обмоток ТТ указывается в технических характеристиках.

При измерениях с подачей постоянного тока происходит насыщение сердечника, следовательно, после измерений сопротивления обмоток постоянному току необходимо обязательно размагнитить сердечник.

Во время намагничивания постоянным током невозможность достичь стабильных показателей сопротивления. Поэтому необходимо задать допустимое отклонение — $R_{откл}$. Если измеренное значение на протяжении некоторого времени находится в пределах заданного отклонения, его можно использовать для измерений (см. график ниже).

Преимущества CT Analyzer

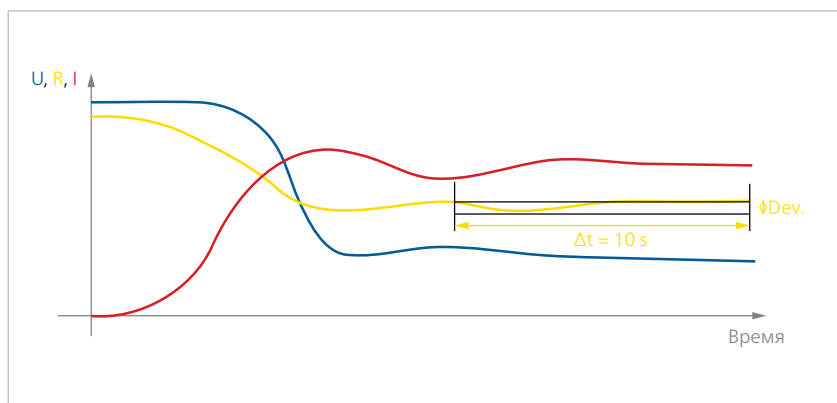
- > Измерение можно интегрировать в комплексную процедуру испытания ТТ, которая, помимо прочего, включает верификацию точности, измерение намагничивания, расчет коэффициента безопасности прибора и т. д.
- > Высокая точность с типовой погрешностью 0,05 % + 1 мОм с разрешением 1 мОм
- > По завершении комплексного испытания ТТ сердечник ТТ размагничивается

Преимущества VOTANO 100

- > Благодаря обязательным внешним подключениям и коммутатору VBO2 оператор может выполнять испытания, находясь в безопасной зоне. При этом не используются длинные кабели, которые могут снизить точность измерений.
- > Измерение интегрировано в процедуру стандартного тестирования трансформаторов напряжения
- > По завершении комплексного испытания ТН сердечник ТН размагничивается

Преимущества CPX 200

- > Встроенное размагничивание
- > Нечувствительность к внешнему шуму
- > Высокая точность измерений (0,05 %)
- > Та же схема подключения, что и для испытаний на намагничивание и коэффициент трансформации (V), переподключение не требуется



Изменение сопротивления обмотки во времени

Нагрузка

Что можно протестировать?

- Изоляция
- Обмотки
- Сердечник
- Емкостный делитель напряжения
- Компенсационный реактор
- Вся электромагнитная цепь
- ✓ Нагрузка
- Качество электроэнергии

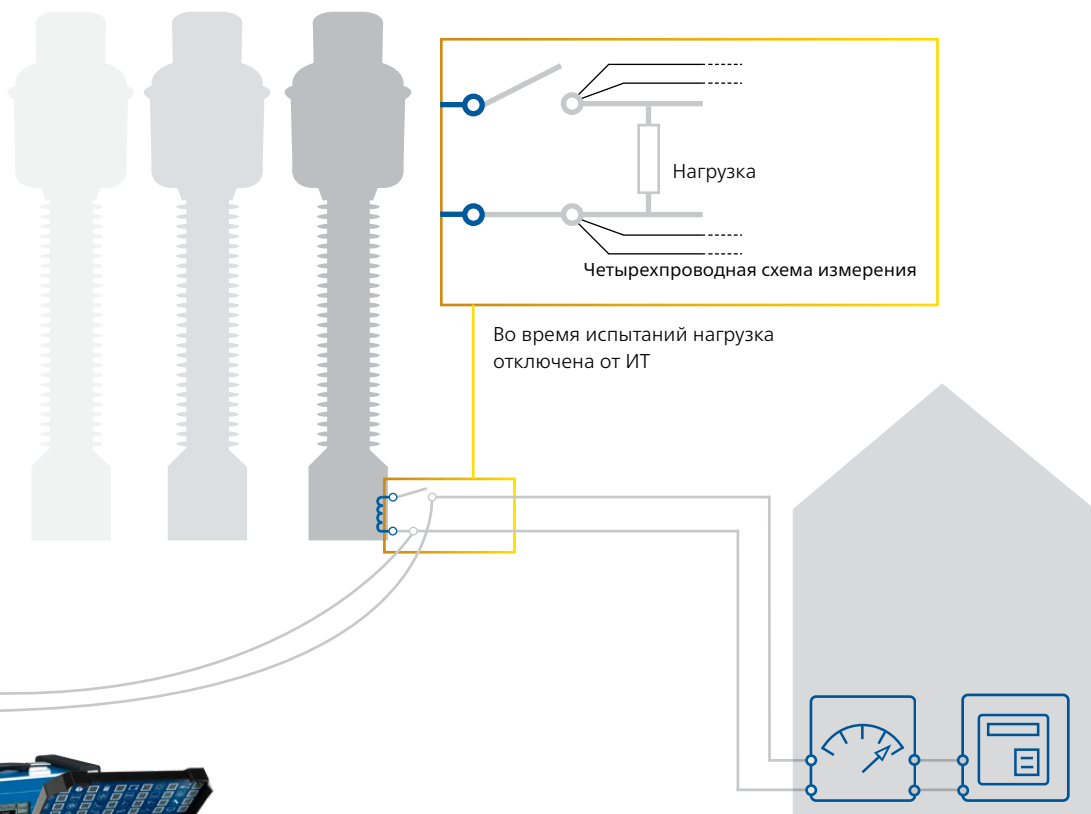
Зачем нужны измерения?

Поскольку подключенная нагрузка существенно влияет на работу ИТ, не зная ее параметров, невозможно обеспечить правильное функционирование трансформатора. Данное измерение позволяет определить влияние кабелей и подключений на импеданс нагрузки. Поскольку именно от нагрузки во многом зависит точность ИТ, необходимо знать ее параметры. При этом рабочее значение не должно выходить за заданные пределы.

По результатам измерения нагрузки можно также определить наличие неправильных подключений или КЗ в соединениях, чтобы не допустить повреждения ТТ вследствие работы при обрыве цепи и избежать повреждения ТН при работе в условиях короткого замыкания.

Как это работает?

Нагрузка подключается к измерительному устройству вместо ИТ. посредством комплексного измерения импеданса (включая амплитуду и фазу) определяется рабочая нагрузка. Значение нагрузки отображается в вольт-амперах и в формате импеданса. Номинальное значение в вольт-амперах всегда связано с номинальным значением вторичного напряжения или тока.



CPX 200

CT Analyzer

VOTANO 100

COMPANO 100

Познавательная информация

При изменении рабочей точки нагрузка ухудшает предельную кратность тока защитных ТТ из-за преждевременного насыщения сердечника. В случае измерительных ТТ неправильно заданная или неправильно подключенная нагрузка может вызвать повреждение подключенного счетчика из-за позднего насыщения сердечника.

Что касается трансформаторов напряжения, ток нагрузки и ток намагничивания могут привести к погрешностям в их работе. При этом влияние тока намагничивания обычно не столь велико и компенсируется еще на этапе производства, в то время как ток нагрузки играет решающую роль. Поэтому важно проверять значения рабочей нагрузки.

Если в соединениях возникли короткие замыкания (для ТН) или обрывы цепи (для ТТ), возможно повреждение ИТ.

Преимущества CT Analyzer или VOTANO 100

- > Измерение нагрузки можно встроить в процедуру комплексного тестирования ИТ, включающую измерение всех значимых параметров согласно стандарту
- > Возможность выполнить повторный расчет и моделирование погрешности ИТ для разных нагрузок, а также первичных токов или напряжений
- > Существующие данные измерений можно в любое время загрузить в измерительное устройство

Преимущества CPX 200

- > Поддержка измерения нагрузки в автономном и комбинированном режимах
- > Высокая точность измерений (0,05 %)

Преимущества COMPANO 100

- > Комбинированная процедура проверки подключений и измерений нагрузок
- > Идеально подходит для проведения испытаний на месте эксплуатации благодаря своей портативной конструкции и работе от аккумулятора

| Мощность | | | Погрешность Ктн в % при % номинального напряжения | | | | |
|----------|---------|--------------|---|--------|---------|--------|---------|
| ВА | cos Phi | Нагрузка в % | 2% | 5% | 80% | 100% | 120% |
| 15 | 0.8 | 100 | 0.088% | 0.123% | 0.177% | 0.177% | 0.176% |
| | | 25 | 0.033% | 0.362% | 0.415% | 0.417% | 0.415% |
| 15 | 0.8 | 100 | 4.825 | 4.287 | 3.180 | 3.186 | 3.245 |
| | | 25 | 2.802 | 2.263 | 1.155 | 1.161 | 1.220 |
| 15 | 0.8 | 100 | -0.57% | -0.54% | -0.482% | -0.481 | -0.483% |
| | | 25 | -0.33% | -0.30% | -0.246% | -0.245 | -0.246% |
| 15 | 0.8 | 100 | 2.320 | 1.7825 | 0.678 | 0.683 | 0.737 |
| | | 25 | 0.302 | -0.235 | -1.340 | -1.335 | -1.300 |

Влияние нагрузки на точность

| Мощность | | | Отклонение Ктт в % при % номинального тока | | | | | | | |
|----------|---------|--------------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ВА | cos Phi | Нагрузка в % | 1 % | 5 % | 10 % | 20 % | 50 % | 100 % | 120 % | 200 % |
| 15 | 0.8 | 100 | -0,023 | -0,023 | -0,021 | -0,018 | -0,013 | -0,010 | -0,009 | -0,008 |
| | | 25 | -0,023 | -0,023 | -0,021 | -0,018 | -0,013 | -0,010 | -0,009 | -0,008 |
| 7,5 | 0.8 | 100 | -0,008 | -0,010 | -0,010 | -0,008 | -0,006 | -0,004 | -0,003 | -0,002 |
| | | 25 | -0,008 | -0,010 | -0,010 | -0,008 | -0,006 | -0,004 | -0,003 | -0,002 |
| 3,75 | 1 | 100 | 0,005 | 0,001 | 0,000 | -0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,001 |
| | | 25 | 0,005 | 0,001 | 0,000 | -0,001 | -0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,001 |
| 0 | 1 | 100 | 0,007 | 0,005 | 0,004 | 0,003 | 0,003 | 0,003 | 0,004 | 0,004 |
| | | 25 | 0,007 | 0,005 | 0,004 | 0,003 | 0,003 | 0,003 | 0,004 | 0,004 |

Влияние нагрузки на точность

Анализ частичных разрядов

Что можно протестировать?

- ✓ Изоляция
- Обмотки
- Сердечник
- Емкостный делитель напряжения
- Компенсационный реактор
- Вся электромагнитная цепь
- Нагрузка
- Качество электроэнергии

Зачем нужны измерения?

Частичные разряды (ЧР) могут повредить изоляцию измерительных трансформаторов. ЧР возникают при наличии полостей и пустот в бумажной, пропитанной смолой изоляции ИТ, а также при возникновении участков чрезмерного нагрева, при существовании неровностей поверхности или при попадании влаги в ИТ (при любом типе изоляции). Конструктивные дефекты также ведут к локальному повышению напряженности электрического поля и возрастанию активности ЧР. Это может стать причиной выхода ИТ из строя и привести к затратному простоям оборудования.

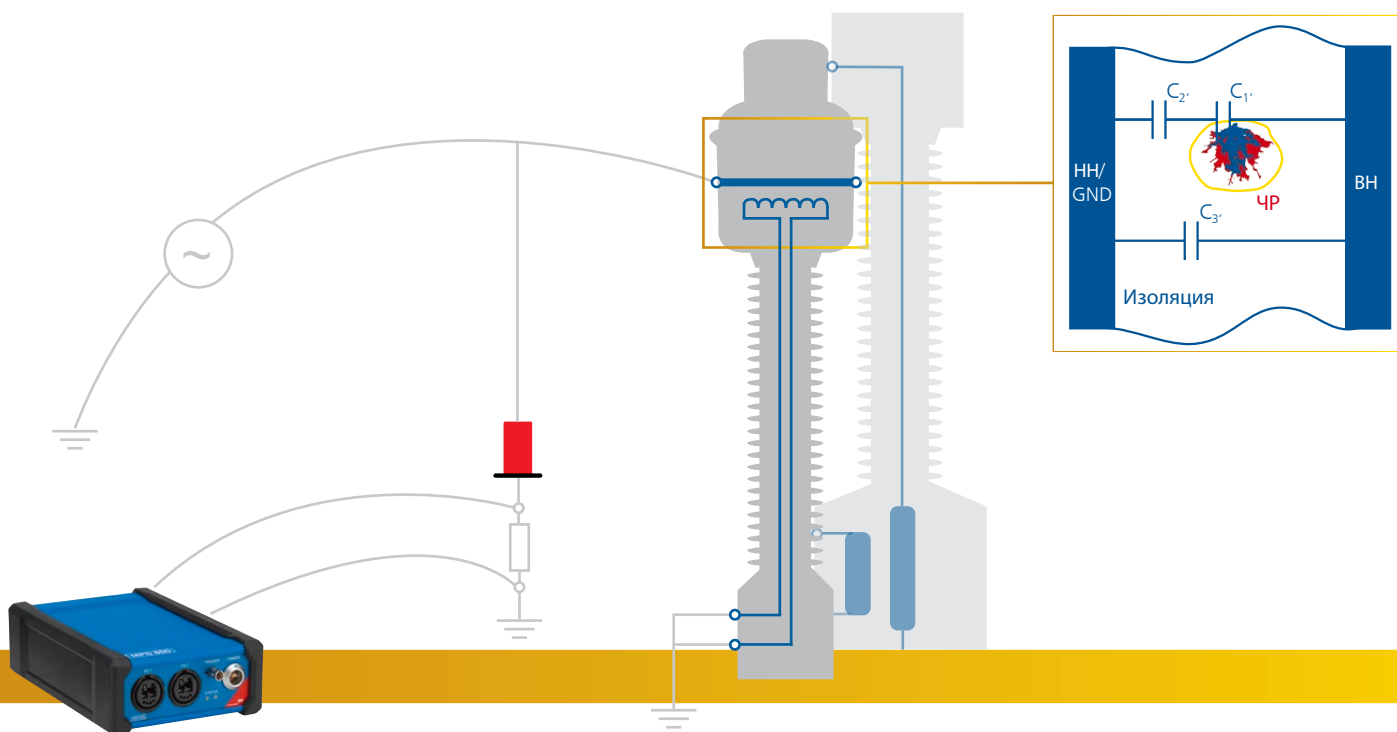
ЧР также возникают при старении, загрязнении или пробое материала изоляции между компонентами с разными электрическими потенциалами.

Измерение ЧР — это надежный неинвазивный метод диагностики состояния изоляции ИТ. Его можно использовать как в лабораторных условиях (в ходе заводских приемочных испытаний), так и во время плановой диагностики на месте эксплуатации для выявления критических дефектов и оценки рисков повреждения.

Как это работает?

Методы измерения и анализа активности ЧР в ИТ зависят от типа трансформатора и применяемых стандартов. В зависимости от типа измерительного трансформатора система анализа ЧР подключается либо к конденсатору связи, либо к заземляющему контуру ИТ.

ЧР обычно измеряются в пикокулонах. Современные технологии подавления шумов позволяют выполнять измерения при наличии высокого уровня помех.



MPD 800

Познавательная информация

Частичные разряды (ЧР) представляют собой локальные электрические разряды, которые шунтируют только часть твердой или жидкой изоляции под воздействием высокого напряжения.

Испытательная цепь устанавливается так, чтобы шунтированная ёмкость перезаряжалась от конденсатора связи. В процессе передачи энергии можно измерить ток и соотнести его с уровнем разрядов.

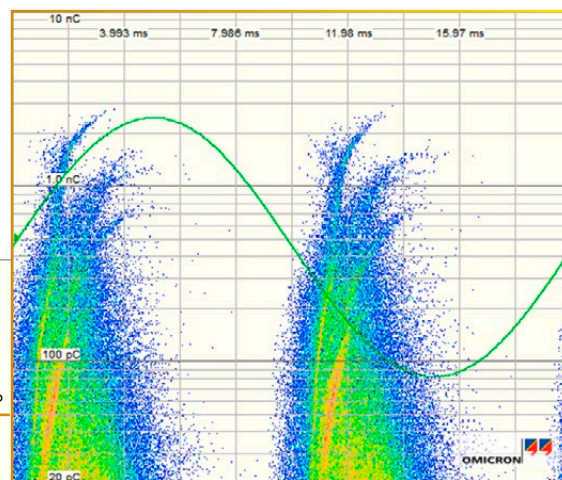
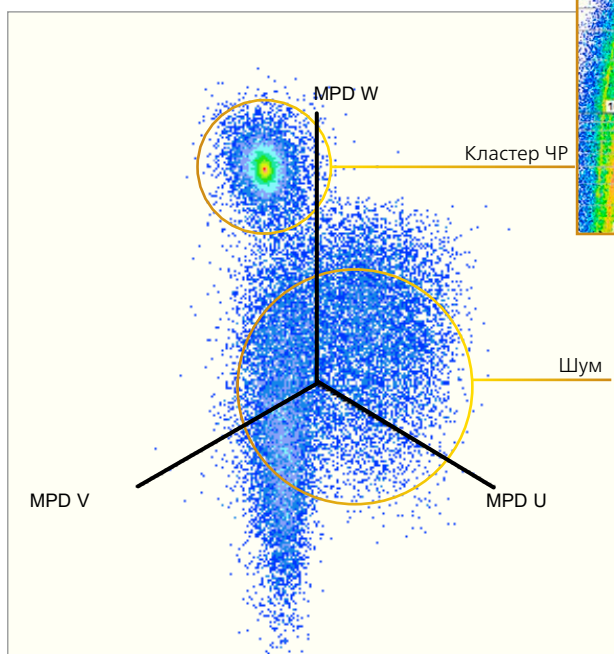
Благодаря анализу очагов возникновения можно разделить внутренние и внешние ЧР, а также отделить скользящие разряды и плавающий потенциал.

Мультиспектральный анализ частотных откликов ЧР, называемый ЗCFRD, позволяет разделять источники ЧР при использовании только одного измерительного канала.

Уравновешенный измерительный мост (МВВ1) обеспечивает возможность пофазного тестирования ЧР с помощью установок, использующих переменный либо постоянный ток, и может использоваться как в лабораторных условиях, так и на месте эксплуатации оборудования. Это особенно важно для измерений средах с высокой интерференцией.

Преимущества MPD 800

- > Измерения ЧР по стандарту IEC на измерительных трансформаторах
- > Гальваническая изоляция с помощью волоконно-оптических кабелей обеспечивает безопасную эксплуатацию
- > Предоставляется возможность выполнения синхронных многоканальных измерений и стробирования ЧР
- > Запись и воспроизведение наборов данных ЧР для последующего анализа
- > Для повышения точности в условиях повышенной интерференции применяются методы активного подавления шума и стробирования
- > Настраиваемое программное обеспечение позволяет выбирать только те инструменты анализа ЧР, которые нужны



Обнаруженный кластер ЧР можно визуализировать на гистограмме PRPD.

Инструмент ЗPARD (диаграмма соотношения по амплитудам трех фаз) отделяет источники ЧР от шума

Анализ диэлектрической частотной характеристики

Что можно протестировать?

- ✓ Изоляция
- Обмотки
- Сердечник
- Емкостный делитель напряжения
- Компенсационный реактор
- Вся электромагнитная цепь
- Нагрузка
- Качество электроэнергии

Зачем нужны измерения?

Анализ диэлектрической частотной (или, как еще говорят, диэлектрической) характеристики обмоток применяется на индуктивных ИТ с бумажно-масляной изоляцией для оценки содержания влаги в целлюлозной изоляции и, соответственно, определения ее состояния.

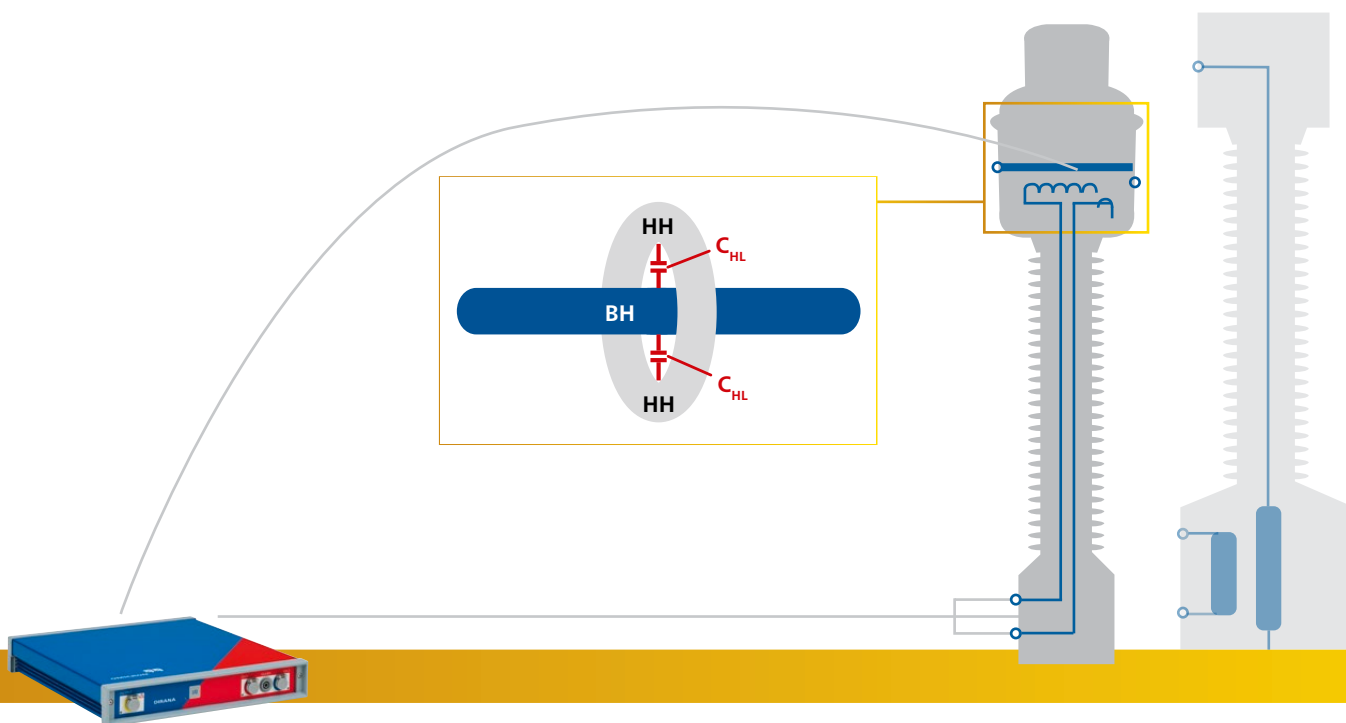
Причиной повышения влажности в бумажно-масляной изоляции ИТ может стать недостаточное просушивание на этапе производства либо наличие утечек. Избыточная влажность повышает вероятность пробоя масляной изоляции и увеличивает электрические потери.

В случае ИТ с бумажно-масляной изоляцией это может привести к короткому замыканию и полному отказу трансформатора. Поэтому так важно замерять содержание влаги в изоляции в ходе оценки ее состояния.

Как это работает?

На ТТ необходимые измерения можно выполнять в изоляции напрямую. На ТН невозможно получить доступ сразу ко всей массе основной изоляции, поскольку она представляет собой совокупность изоляций отдельных витков первичной обмотки. В этом случае измеряется диэлектрический отклик между первичной и вторичной обмотками, а также между первичной обмоткой и заземлением.

Коэффициент мощности / тангенс угла диэлектрических потерь такой изоляции измеряется в широком диапазоне частот. Полученная в результате кривая отображает данные о состоянии изоляции.



DIRANA

Познавательная информация

Других сравнительно точных неинвазивных методов измерения влажности в ИТ не существует.

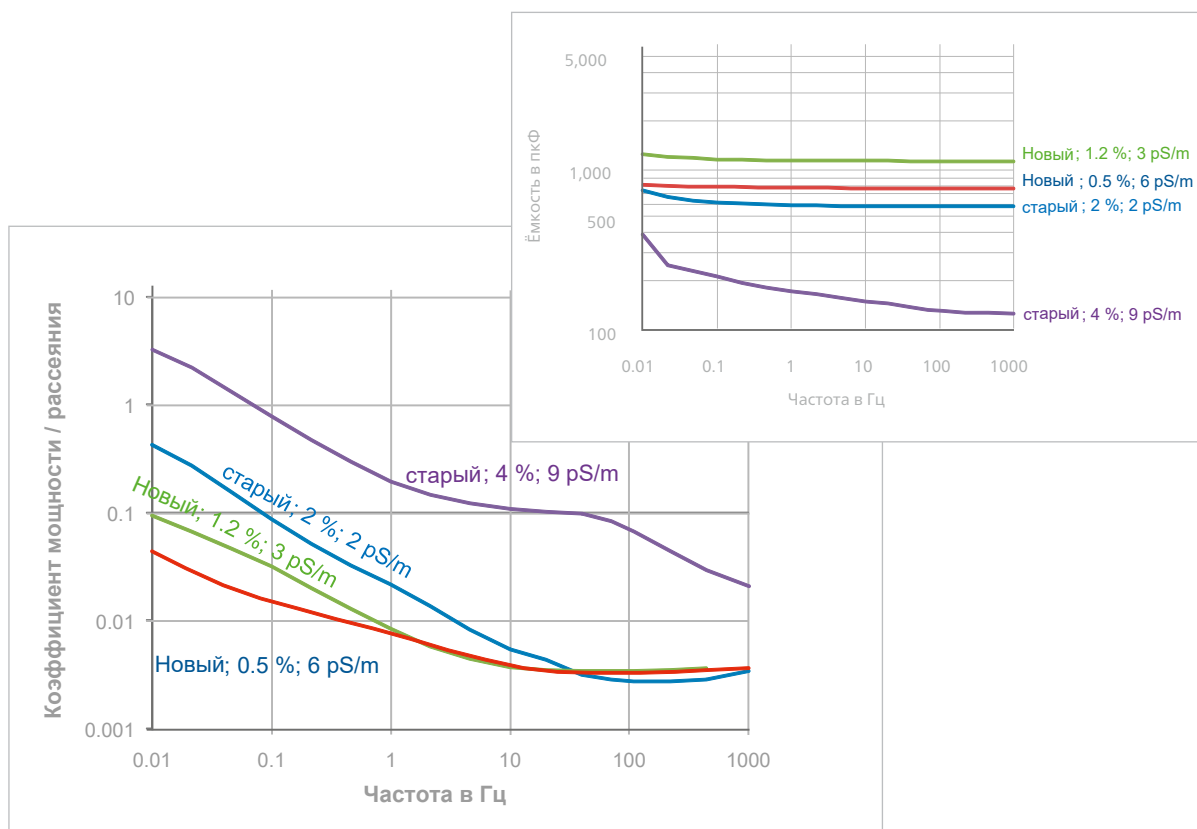
Содержание влаги измеряется напрямую в целлюлозе, а не вычисляется по уровню влаги в масле. Поэтому метод может использоваться при любой температуре и нет необходимости ждать, пока уравнивается влажность бумаги и масла.

Чтобы еще больше повысить надежность результатов измерения, стоит выполнить несколько измерений на отдельных ИТ и дополнительно как можно больше измерений на аналогичных ИТ, а затем сравнить результаты.

Измерения емкости на разных частотах позволяет выявить износ изоляции. На новых ИТ значение емкости остается на одном уровне, а на старых снижается с повышением частоты.

Преимущества DIRANA

- > Надежное определение уровня влажности в измерительных трансформаторах
- > Сочетание нескольких методов измерения (FDS и PDC) позволяет значительно сократить длительность испытания
- > Широкий частотный диапазон (от 10 мкГц до 5 кГц)



Диэлектрический отклик и показатель емкости измерительных трансформаторов с разным периодом эксплуатации и разным состоянием

Емкость и тангенс угла диэлектрических потерь

Что можно протестировать?

- ✓ Изоляция
- Обмотки
- Сердечник
- ✓ Емкостный делитель напряжения
- Компенсационный реактор
- Вся электромагнитная цепь
- Нагрузка
- Качество электроэнергии

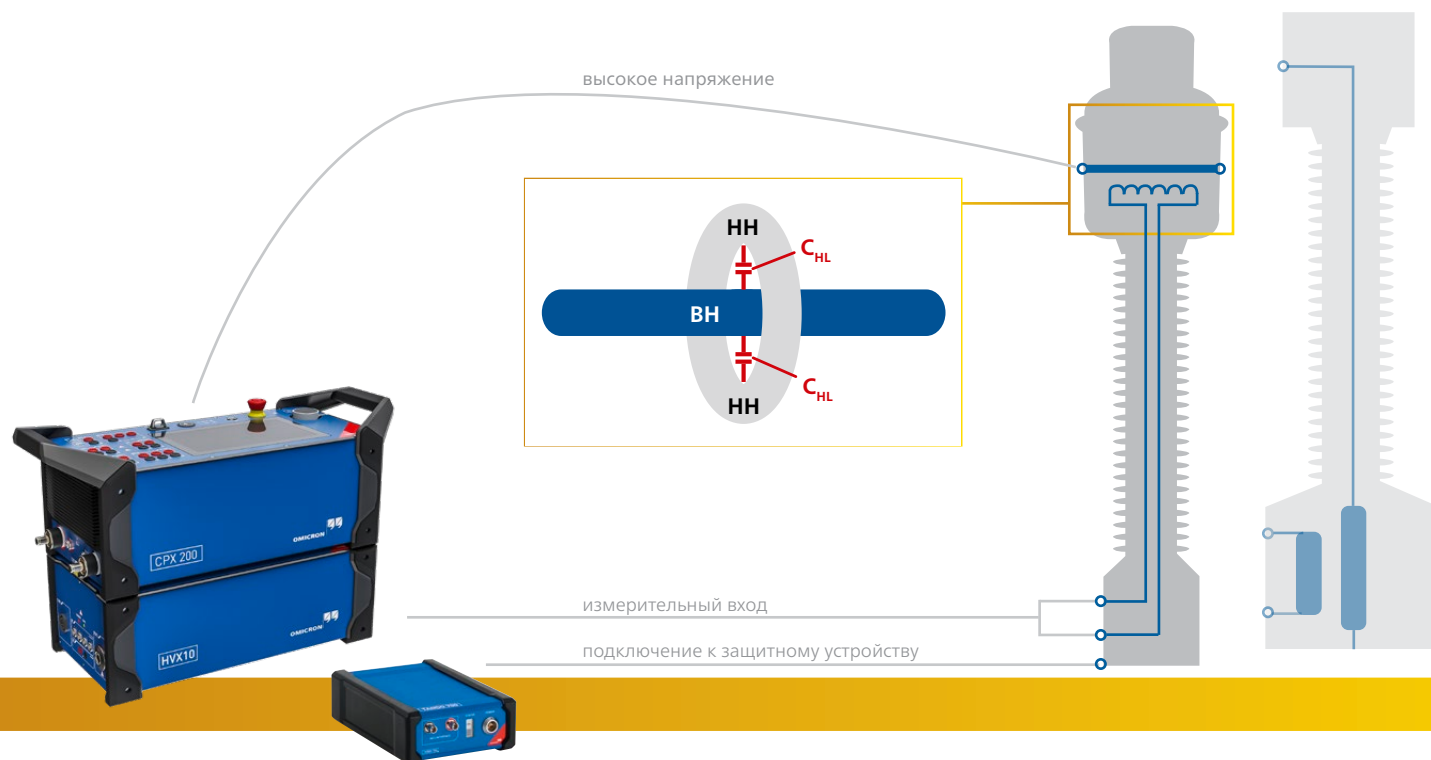
Зачем нужны измерения?

Измерение коэффициента мощности / тангенса угла диэлектрических потерь (PF/DF) позволяет оценить состояние изоляции ИТ, от которого зависит надежность работы трансформатора.

Поступление воды повышает потери в диэлектрике. Измерение коэффициента мощности / тангенса угла диэлектрических потерь обеспечивает количественное выражение этих потерь. В пакетном конденсаторе ЕТН такое измерение выявляет пробой емкостных слоев. Одной из наиболее распространенных причин неправильного функционирования измерительного трансформатора является КЗ в изоляции.

Как это работает?

Измерения выполняются на основной изоляции ИТ, которая доступна на участке между первичным и вторичным проводниками. Для ТТ обмотки закорачиваются, и на одну из них подается испытательное напряжение. При этом измеряется ток в изоляции противоположной обмотки. На ТН доступ к основной изоляции затруднен, поэтому измерения проводятся между первичной и вторичной обмотками либо между первичной обмоткой и заземлением.



CPX 200 + HVX10

TANDO 700
(требуется источник напряжения)

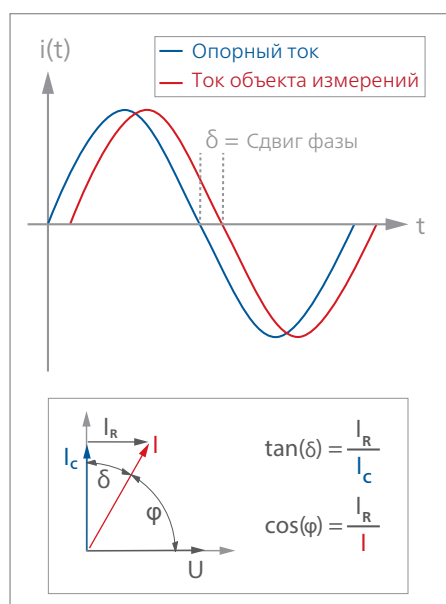
Познавательная информация

Для более точной оценки полученные показатели стоит сравнить с результатами предыдущих испытаний, результатами измерений аналогичных ИТи эталонными данными, указанными для испытуемого оборудования в соответствующих стандартах.

Повышение емкости на 10 % по сравнению с результатами предыдущих измерений обычно считается тревожным симптомом. Это означает, что часть изоляции шунтирована, а оставшаяся изоляция подвергается слишком высокой нагрузке напряжением.

Стандартные измерения коэффициента мощности / тангенса угла диэлектрических потерь, выполняемые на частоте 50 или 60 Гц, помогают выявить повышенную влажность или износ изоляции только на довольно поздних стадиях. Чтобы обнаружить эти нарушения как можно раньше и вовремя принять меры, указанные измерения проводятся в более широком диапазоне частоты.

При высоком коэффициенте мощности / тангенсе угла диэлектрических потерь следует перепроверить результат, выполнив дополнительно анализ диэлектрического отклика обмоток. Широкодиапазонное испытание диэлектрического отклика позволит судить о том, не влага ли стала причиной высокого коэффициента мощности / тангенса угла диэлектрических потерь.



Потери в диэлектрике вызывают фазовый сдвиг

Преимущества CPX 200 + HVX10

- > Высокая точность измерений
- > Широкая частота испытаний (от 1 до... 600 Гц)
- > Та же схема подключения, что и для испытаний сопротивления изоляции, переподключение не требуется
- > Общий вес менее 30 кг

Почему TANDO 700?

- > Высоковольтные испытания в лабораторных условиях, например для стандартных и типовых испытаний различного оборудования или испытаний материалов

Сопротивление изоляции

Что можно протестировать?

- ✓ Изоляция
- Обмотки
- Сердечник
- Емкостный делитель напряжения
- Компенсационный реактор
- Вся электромагнитная цепь
- Нагрузка
- Качество электроэнергии

Зачем нужны измерения?

Измерение сопротивления изоляции позволяет выявить потенциальные уязвимости изоляции ИТ, которые могут возникнуть из-за проникновения влаги, старения материалов или механических воздействий на оборудование. Повреждение изоляции может привести к электрическим пробоям, выходу оборудования из строя и затратному простоям.

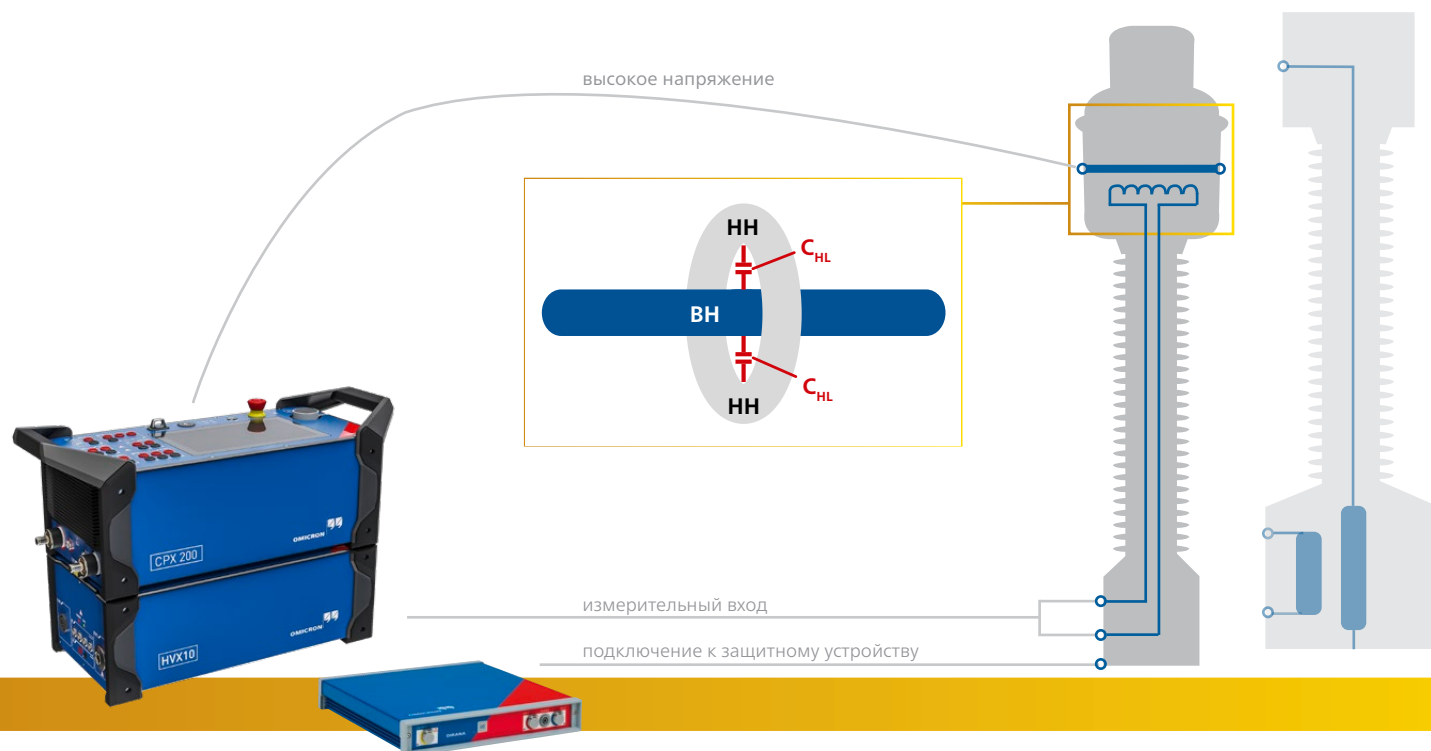
Регулярное измерение сопротивления изоляции дает возможность заблаговременно обнаружить слабые места, что помогает предотвратить серьезные поломки, сократить число внеплановых простоев и продлить срок службы оборудования.

Как это работает?

Сопротивление изоляции оценивается путем подачи постоянного напряжения 500–1000 В в течение 60 секунд между обмотками и заземлением, а также между отдельными обмотками.

В ТТ закорачиваются первичные и вторичные клеммы и заземляется вторичная обмотка. Испытательное напряжение DC подается на первичную обмотку по той же схеме, что и для испытаний емкости и коэффициента мощности / тангенса угла диэлектрических потерь.

Трансформаторы напряжения испытываются путем подачи напряжения на вторичную обмотку при заземленной первичной нейтрали. Благодаря HVX10 можно измерить сопротивление изоляции между возбужденной вторичной обмоткой и до четырех дополнительных вторичных обмоток, а также заземленной первичной обмоткой, используя одну схему подключения.



Познавательная информация

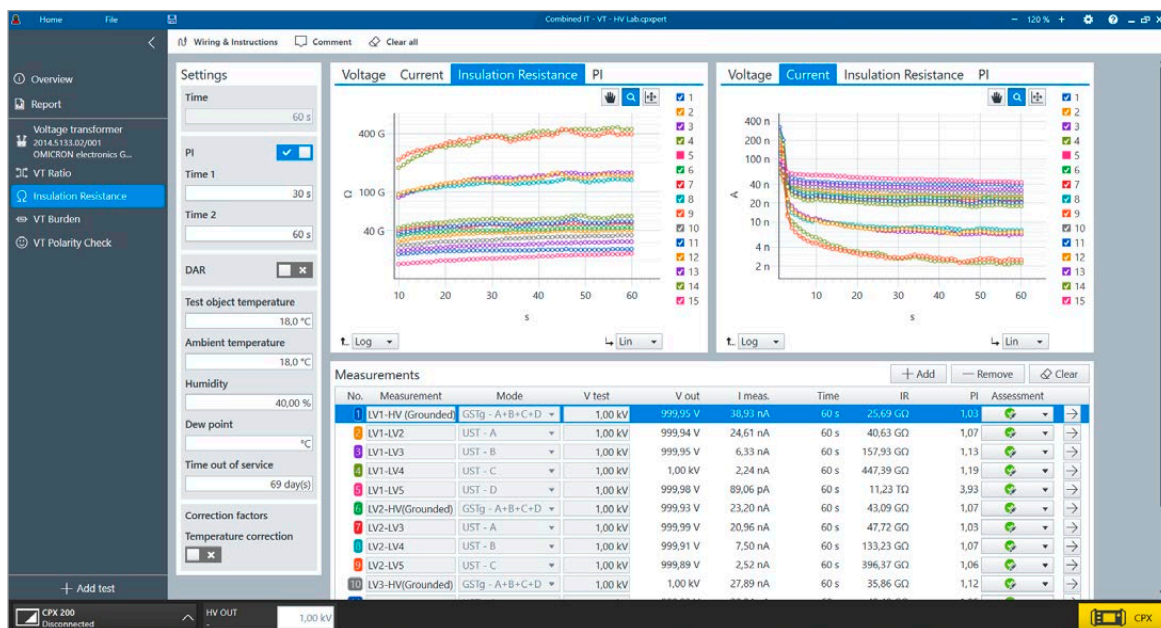
Некоторые измерительные трансформаторы оснащены экранирующим электродом, который повышает точность измерения сопротивления изоляции за счет снижения влияния паразитных емкостей и силы токов поверхностных утечек. Если экранирующий электрод присутствует, не допускается прямое испытание между первичной и вторичной обмотками. Вместо этого измерения проводятся между обмотками и экранирующим электродом.

Если экранирующий электрод нельзя отключить, подается испытательное напряжение на незаземленную обмотку и проводится измерение между этой обмоткой и заземленным экранирующим электродом. Важно соблюдать допустимый уровень напряжения, указанный для трансформатора, чтобы избежать повреждений.

Если экранирующий электрод ТТ можно отключить, испытательное напряжение (в пределах допустимых значений) подается на первичную обмотку, отключенную от заземления. Измерение производится между первичной обмоткой и незаземленным экранирующим электродом.

Преимущества CPX 200 + HVX10

- > Та же схема подключения, что и для измерений емкости и тангенса угла диэлектрических потерь
- > Запись кривых для детального анализа
- > Автоматический расчет PI и DAR
- > Настраиваемая длительность измерения (например, 60 с, 600 с)
- > Измерение до четырех вводов без перепоключения



Испытание сопротивления изоляции ИТ с использованием программы CPXpert

Предельная кратность тока (ALF) и напряжение на выводах (V_b)

Что можно протестировать?

- Изоляция
- ✓ Обмотки
- ✓ Сердечник
- Емкостный делитель напряжения
- Компенсационный реактор
- ✓ Вся электромагнитная цепь
- ✓ Нагрузка
- Качество электроэнергии

Зачем нужны измерения?

Ввиду нелинейности магнитного сердечника, точность ТТ во многом зависит от условий его работы. Когда вследствие насыщения сердечника его индуктивность снижается, то погрешность возрастает. Следовательно, в условиях перегрузки по току точность трансформатора снижена. По значениям предельной кратности тока (IEC) и напряжения на выводах (IEEE) можно определить, будет ли защитный ТТ замерять токи КЗ с достаточной точностью и с учетом указанной/подключенной нагрузки.

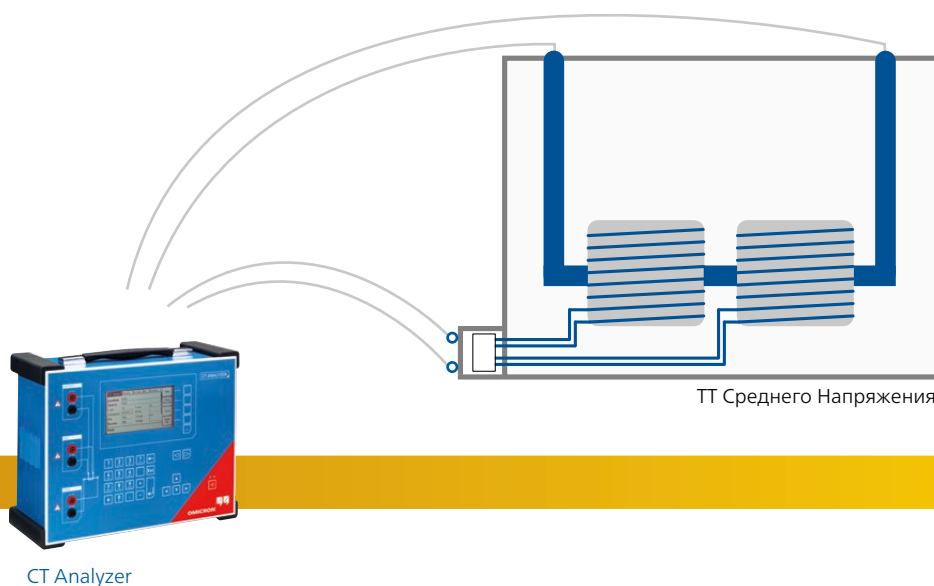
Предельная кратность тока описывается как наибольшая кратность рабочего тока к номинальному току, при которой полная погрешность не превышает заданные пределы. Напряжение на клеммах (V_b) представляет собой напряжение при стандартной нагрузке при 20-кратном номинальном токе и полной погрешностью, не превышающей 10 %.

Как это работает?

При использовании непрямого метода по стандарту IEC выполняется прямое измерение сопротивления обмоток, нагрузки и кривой намагниченности. По этим данным на основе упрощенной эквивалентной схемы цепи можно рассчитать предельную кратность.

Чтобы проверить, отвечает ли ТТ класса «С» стандарта IEEE требованиям в отношении напряжения на выводах (например, 400 В), на основе кривой намагничивания и нагрузки рассчитывается поправка к коэффициенту трансформаторов тока (или полная погрешность) при 20-кратном значении номинального вторичного тока. Если поправка к коэффициенту трансформации ниже 10 %, работа ТТ удовлетворяет требованиям стандарта.

При прямом методе на первичную обмотку ТТ подается синусоидальный ток, равный первичному току предельной кратности. Вторичная обмотка подключена к номинальной нагрузке. При этом определяется точность ТТ.



Познавательная информация

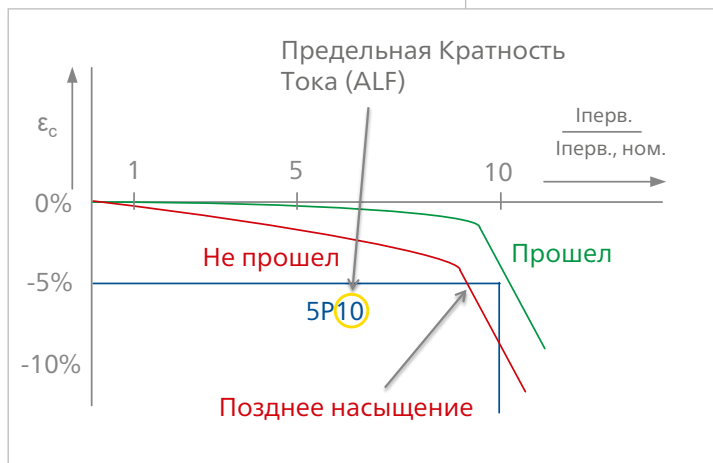
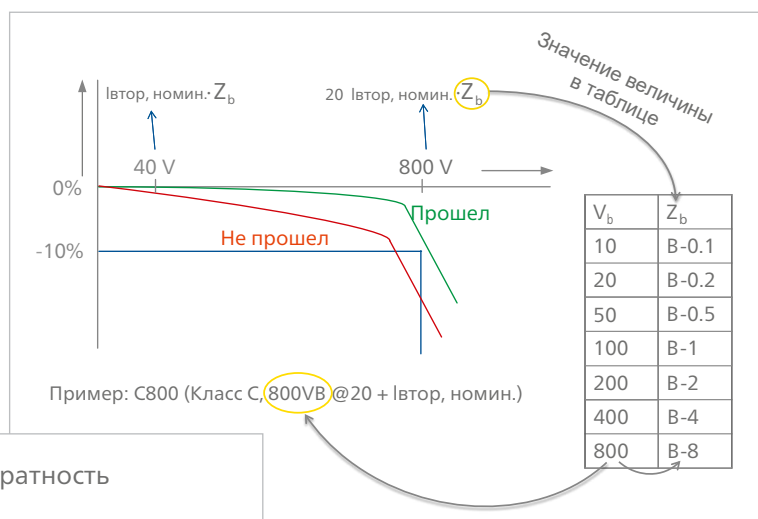
Параметр IPL — это номинальный первичный ток предельной кратности для измерительных трансформаторов, а также ток предельной кратности для защитных трансформаторов. Отношение тока I_{PL} к номинальному первичному току I_{PR} называется предельной кратностью тока (ALF) для защитных ТТ и коэффициентом безопасности (FS) для измерительных ТТ.

К измерительным и защитным трансформаторам выдвигаются разные требования. Измерительные ТТ работают в линейном диапазоне и должны насыщаться при перегрузке по току для защиты подключенных устройств. Защитные ТТ должны работать на линейном участке характеристики как при номинальном токе, так и при больших токах при большем насыщении.

Для определения напряжения на выводах V_b , если оно неизвестно, необходимо измерить напряжение на нагрузке, при котором погрешность составляет ровно 10%. Если полученное напряжение равно, допустим, 480 В, класс точности ТТ определяется как ТТ «С» 400.

Преимущества CT Analyzer

- > Оценка предельной кратности с помощью прямого метода (как описано в стандартах IEC 60044-1 и IEC 61869-2)
- > Измерение включено в комплексное испытание ТТ с применением низких напряжений
- > Определение предельной кратности тока прямым и непрямым методом
- > Оценка напряжения на выходах, если этот показатель неизвестен
- > Возможность оценить состояние ТТ согласно требованиям стандартов



Погрешность ТТ, связанная с первичным током:
для объяснения требований к показателям предельной кратности и напряжения на выводах

Остаточная намагниченность

Что можно протестировать?

- Изоляция
- Обмотки
- ✓ Сердечник
- Емкостный делитель напряжения
- Компенсационный реактор
- Вся электромагнитная цепь
- Нагрузка
- Качество электроэнергии

Зачем нужны измерения?

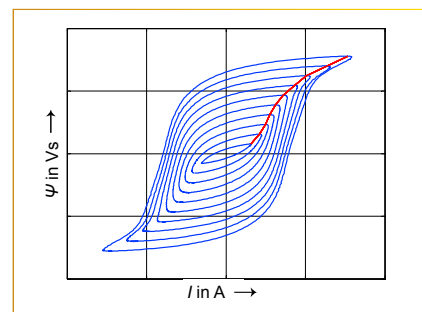
Измерение позволяет выявить остаточную намагниченность в магнитном сердечнике, появившуюся из-за воздействия токов КЗ, составляющих постоянного тока при переключениях, после удара молнии и после измерений с подачей постоянного тока.

Остаточная намагниченность в ТТ может вызвать сдвиг рабочей точки, что нарушит работу защитных реле или приведет к неправильной оценке токов в системе в целом.

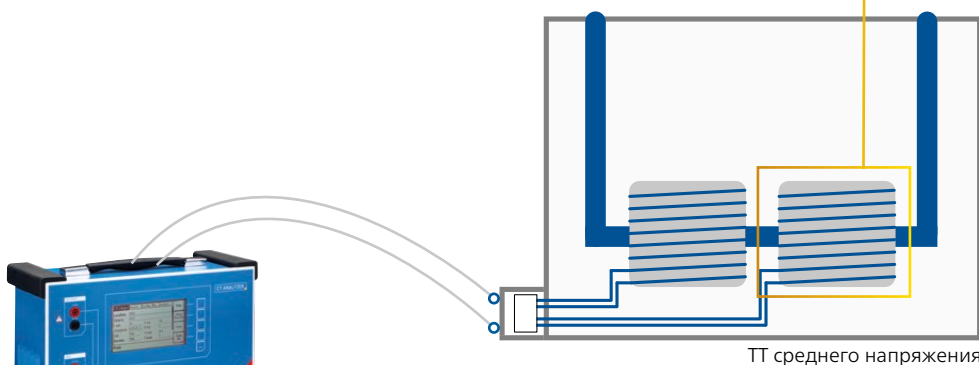
Измерение и анализ остаточной намагниченности необходимо проводить перед вводом ТТ в эксплуатацию (для обеспечения его надлежащего функционирования), после событий в системе или воздействия составляющих постоянного тока, а также после измерения сопротивления обмоток постоянному току.

Как это работает?

Программный инструмент определяет значение остаточной намагниченности в сердечнике ТТ. На вторичную обмотку подается напряжение постоянного тока изменяемой полярности для насыщения сердечника и определения насыщения. Теперь поток насыщения известен. Затем рассчитывается остаточный магнитный поток как разность начальной характеристики намагничивания и характеристики, полученной после нескольких циклов напряжения постоянного тока, когда система опять стала симметричной. По завершении измерения сердечник ТТ размагничивается.



Описание сердечника ТТ с помощью кривой гистерезиса



ТТ среднего напряжения



CT Analyzer

Познавательная информация

При возникновении короткого замыкания в системе устройства защиты, подключенные к ИТ, отключают поврежденные участки сети, чтобы не допустить более серьезных повреждений.

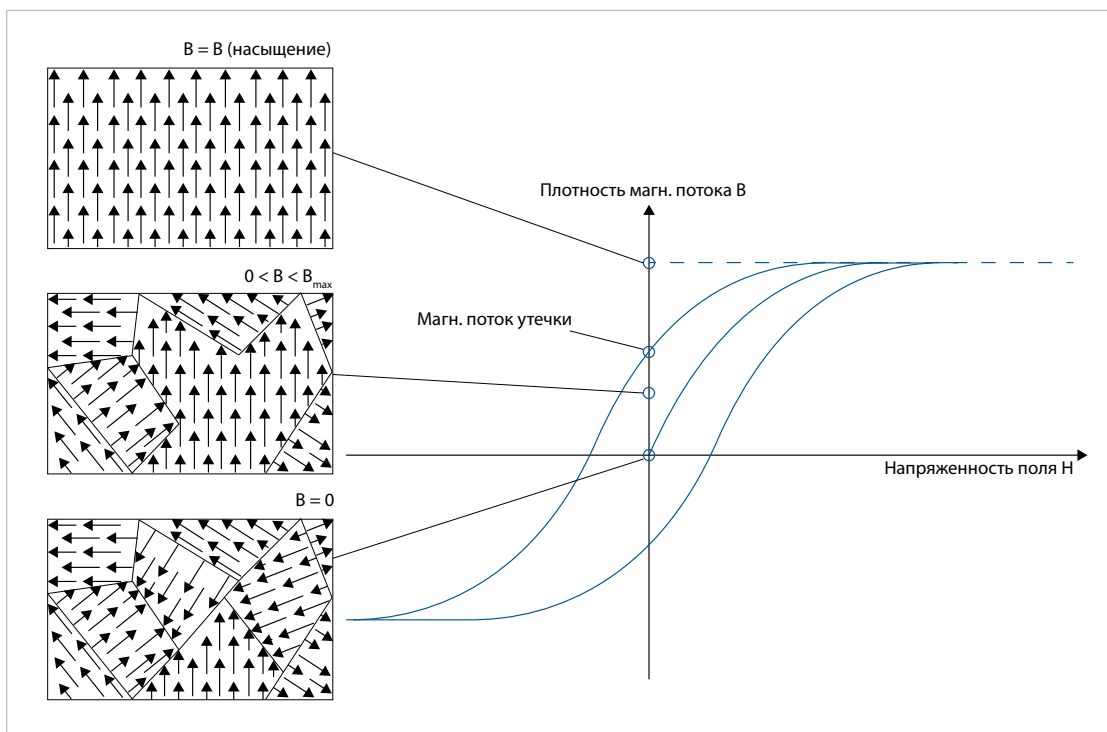
Однако иногда происходит неселективное отключение систем защиты при отсутствии фактического КЗ на защищаемом участке (т. н. ошибочное отключение), которое нарушает нормальную работу электросети, снижая ее надежность и ухудшая селективность.

Остаточный магнитный поток снижает запас увеличения потока намагничивания в одном направлении и повышает вероятность насыщения сердечника при КЗ, поэтому важно знать о наличии такого потока в сердечнике ТТ.

Для предотвращения отрицательного воздействия остаточной намагниченности могут применяться сердечники увеличенного размера либо с воздушными зазорами в конструкции. Воздушные зазоры позволяют сгладить кривую гистерезиса: насыщение сердечника начинается при более высоком магнитном поле и уровень остаточной намагниченности снижается. Чем больше воздушные зазоры, тем меньше остаточная намагниченность. Лучше, если несколько таких зазоров будут расположены вокруг сердечника.

Преимущества CT Analyzer

- > Точное измерение коэффициента остаточной индукции и остаточной намагниченности
- > Определение коэффициента остаточной индукции K_r и остаточного магнитного потока в одном автоматическом цикле испытания
- > Размагничивание сердечника ТТ после измерений позволяет быть уверенным в том, что в сердечнике нет остаточной индукции
- > Результаты за несколько секунд



Кривая намагничивания / гистерезиса в соответствии с внутренними процессами намагничивания сердечника

Параметры ТТ при переходных процессах

Что можно протестировать?

- Изоляция
- Обмотки
- ✓ Сердечник
- Емкостный делитель напряжения
- Компенсационный реактор
- ✓ Вся электромагнитная цепь
- Нагрузка
- Качество электроэнергии

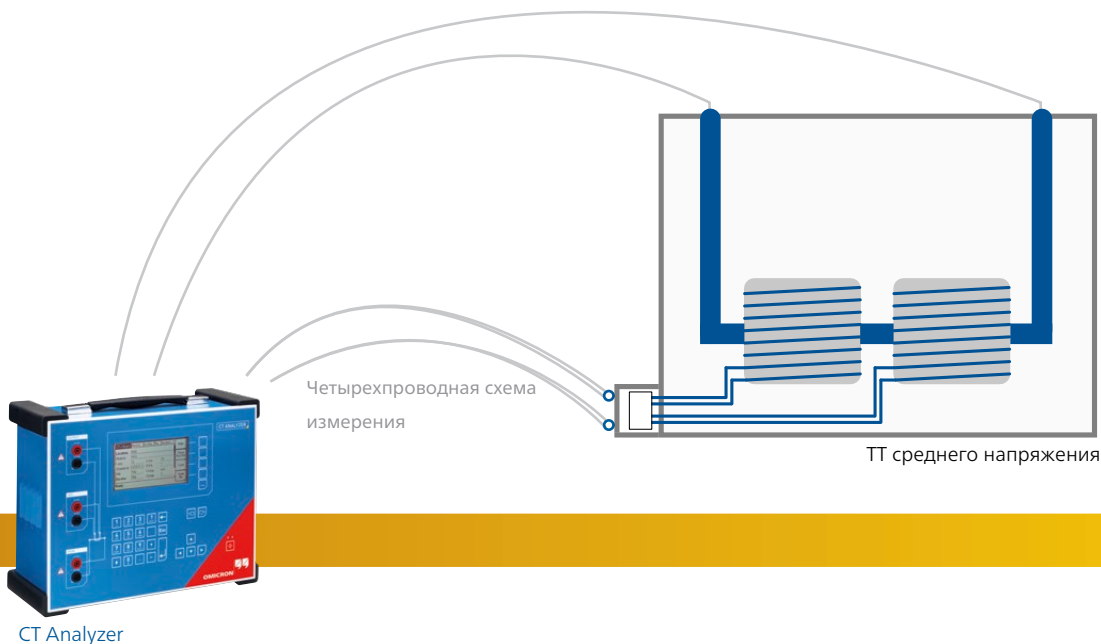
Зачем нужны измерения?

Трансформаторы тока работают в условиях симметричной нагрузки переменным током, однако под влиянием рабочей среды, а также в ходе эксплуатации или ремонта могут подвергаться воздействиям составляющих постоянного тока. Во время переходных событий, таких как короткие замыкания, АПВ или переключения, ТТ может подвергаться воздействию экспоненциально снижающейся составляющей постоянного тока. Это ведет к асимметричному намагничиванию и, как результат, к появлению остаточной индукции в сердечнике ТТ. Асимметричное намагничивание и остаточная индукция могут нарушить работу защитных устройств.

Сердечник защитного ТТ должен быть достаточных размеров чтобы обеспечить правильную работу как в нормальном режиме, так и при коротких замыканиях и даже при воздействии составляющих постоянного тока. Составляющие постоянного тока намагничивают и могут насыщать сердечник ТТ (это зависит от материала и конструкции сердечника). Это ведет к несимметричной работе трансформатора. Это ведет к несимметричной работе. Чтобы описать поведение ТТ в таких условиях, определен целый ряд параметров. Ключевыми параметрами переходных процессов являются: K_{td} , t_{al} , K_{tr} , K_x , K_{ssc}

Как это работает?

Измерив параметры эквивалентной схемы ТТ, можно рассчитать параметры переходных процессов на основе входных значений и величины вторичной нагрузки.



Познавательная информация

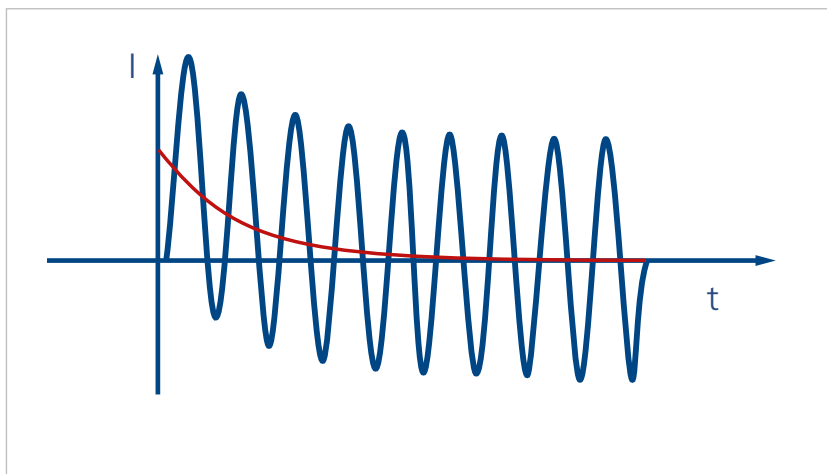
Стандарт IEC определяет классы защитных ТТ. Для классов TRX, TPY и TPZ предусмотрены особые требования к работе в условиях переходных процессов. Постоянная составляющая не должна влиять на работу трансформаторов этих классов при коротком замыкании и в циклах АПВ.

Этого можно достичь, увеличив размер сердечника ТТ, используя материалы с невысоким показателем магнитной индукции или предусмотрев воздушные зазоры в конструкции сердечника. Зазоры обеспечивают линейность работы. Компонент постоянного тока не может полностью трансформироваться и не вредит ТТ.

Для определения потока остаточной намагниченности в сердечнике ТТ выполняется ряд специальных измерений (см. разделы, посвященные потоку остаточной намагниченности). После каждого испытания ТТ, в особенности измерения сопротивления обмоток постоянному току, необходимо размагнитить сердечник.

Преимущества CT Analyzer

- > Определение параметров поведения ТТ при различных коротких замыканиях — в том числе, на самых ранних этапах производства трансформатора
- > Возможность определить, подходит ли ТТ для конкретной сети с определёнными расчетными токами КЗ
- > Возможность определить, подходит ли ТТ для конкретных рабочих нагрузок
- > Понимание поведения ТТ при переходных процессах для правильного задания параметров работы релейной защиты



Ток короткого замыкания со снижающейся составляющей постоянного тока (красная линия)

Широкополосная коэффициент трансформации и фазы

Что можно протестировать?

- Изоляция
- Обмотки
- Сердечник
- Емкостный делитель напряжения
- Компенсационный реактор
- Вся электромагнитная цепь
- Нагрузка
- ✓ Качество электроэнергии

Зачем нужны измерения?

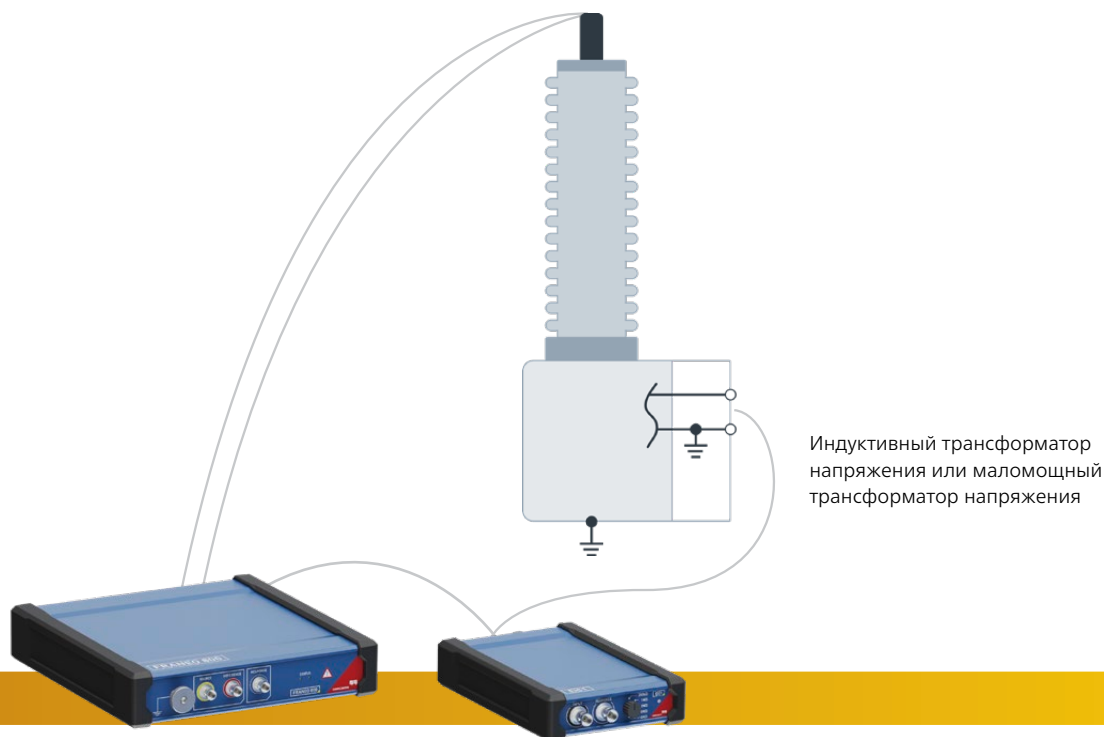
Измерительные трансформаторы понижают высокие значения напряжения и тока до уровней, пригодных для измерения. Их точность напрямую влияет на надежность цепи измерения качества энергии. Качество энергии имеет решающее значение для надежности системы, так как отражает, насколько форма сигналов напряжения и тока соответствует эталону. Низкое качество энергии может привести к выходу оборудования из строя, потерям энергии и простоям.

Традиционные номинальные значения точности учитывают только поведение на основной частоте. Однако многие искажения качества энергии возникают на более высоких частотах, в диапазоне гармоник. Измерение широкополосной точности коэффициента трансформации и фазы во всем диапазоне частот позволяет обеспечить максимальную доступность оборудования и надежность работы сети.

Как это работает?

Для подачи сигнала в широком диапазоне частот (до 500 кГц) и анализа выходного сигнала с минимальной измерительной неопределенностью требуется высокоточная испытательная система. Кроме источника высокочастотного испытательного напряжения, система имеет конвертер импеданса, адаптированный к номинальной нагрузке объекта испытания.

Он точно измеряет амплитудные и фазовые погрешности во всем спектре частот, обеспечивая комплексную оценку эксплуатационных характеристик измерительного трансформатора в реальных условиях сети.



Познавательная информация

Стандарт IEC 61869-1 (редакция 2.0) определяет широкополосные классы точности для измерительных трансформаторов, применяемых в цепях контроля качества энергии. Эти классы охватывают как синусоидальные сигналы высокой частоты, так и искаженные формы тока и напряжения в диапазоне гармоник.

Программное обеспечение дает возможность пользователям визуализировать и сравнивать результаты испытаний с заданными пределами соответствующих классов точности.

Измерения широкополосной точности обычно проводятся в лабораторных условиях или на специализированных испытательных стендах. Они проводятся на этапе разработки измерительных трансформаторов, типовых испытаний, пусконаладочных испытаний и в ходе проверки на месте.

Преимущества FRANEO 800 + EIC1

- > Измерение широкополосной точности коэффициента трансформации и фазы измерительных трансформаторов для контроля качества энергии
- > Простой и удобный рабочий процесс испытаний в специализированном программном обеспечении
- > Согласование импеданса нагрузки с помощью электронного конвертера импеданса EIC1



Наше программное обеспечение PQlyzer обеспечивает оптимальную поддержку для измерения передаточных характеристик измерительных трансформаторов и предоставляет вам доступ к настраиваемым параметрам развертки, схемам подключения и отчетам, гарантирующим удобство использования.

Мы предлагаем нашим клиентам только лучшее...

— Качество —

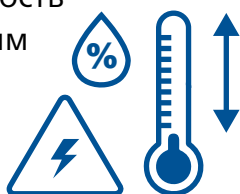
Обеспечение высоких стандартов безопасности



Максимальная надежность благодаря проведенным на протяжении

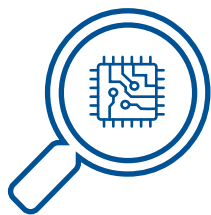
72

часов заводским испытаниям



100%

стандартных испытаний всех компонентов оборудования

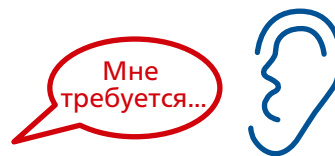


ISO 9001
TÜV & EMAS
ISO 14001
OHSAS 18001



Соответствие международным стандартам

— Инновации —

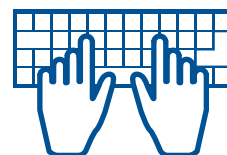


... продукция, соответствующая моим требованиям

Более

200

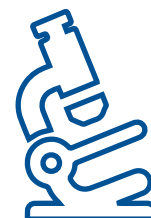
разработчиков обеспечивают актуальность решений



Более

15%

годового дохода инвестируется в исследования и разработки



Экономия до

80%

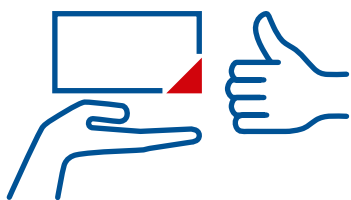
времени на испытания благодаря использованию шаблонов и автоматизации



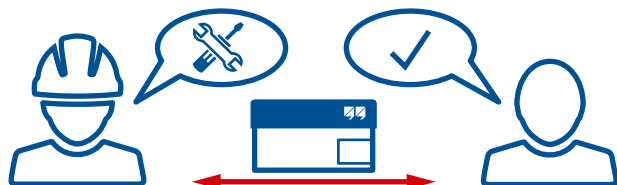
— Поддержка —

24/7

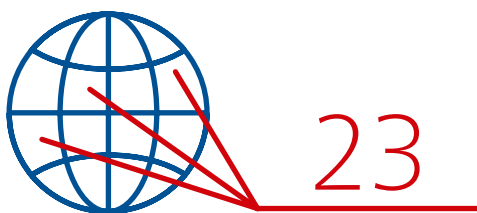
Круглосуточная профессиональная техподдержка



Аренда установок для сокращения времени простоя



Рентабельность и простота обслуживания/калибровки



представительства по всему миру

— Знания —

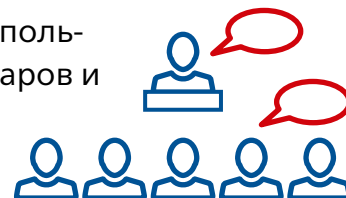
Более

300

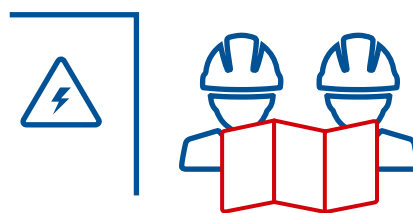


учебных курсов и множество практических тренингов на протяжении года

Проведение компанией OMICRON встреч пользователей, семинаров и конференций



к тысячам пособий и указаний по применению



Огромный опыт в сфере консалтинга, испытаний и диагностики

OMICRON — ведущий международный поставщик решений, которые призваны повысить надежность и безопасность энергосистем. Это наша главная цель и задача. Наши новаторские разработки позволяют решать самые актуальные на сегодня проблемы и подготовиться к вызовам, которые принесет завтрашний день. Мы всегда делаем еще больше для наших пользователей: оперативно реагируем на потребности, обеспечиваем высококачественную поддержку на местах и делимся своими знаниями и наработками.

Опытные специалисты OMICRON проводят исследования и разрабатывают инновационные технологии для всех областей электроэнергетики. Пользователи со всего мира полагаются на точность, качество и быстродействие наших надежных и удобных решений для электрических испытаний оборудования среднего и высокого напряжения, проверки систем защиты, тестирования цифровых подстанций и обеспечения кибербезопасности.

С момента основания в 1984 году компания OMICRON накопила значительный опыт в области электроэнергетики. Команда из более чем 1300 специалистов в 23 офисах по всему миру обеспечивает поддержку наших продуктов в режиме 24/7 для клиентов из более чем 170 стран.



Emotions are energy. Our energy moves.

Развивайтесь вместе с нами! Отсканируйте QR-код, чтобы узнать о наших мероприятиях, учебных курсах и продуктах. Оставайтесь на связи в социальных сетях.