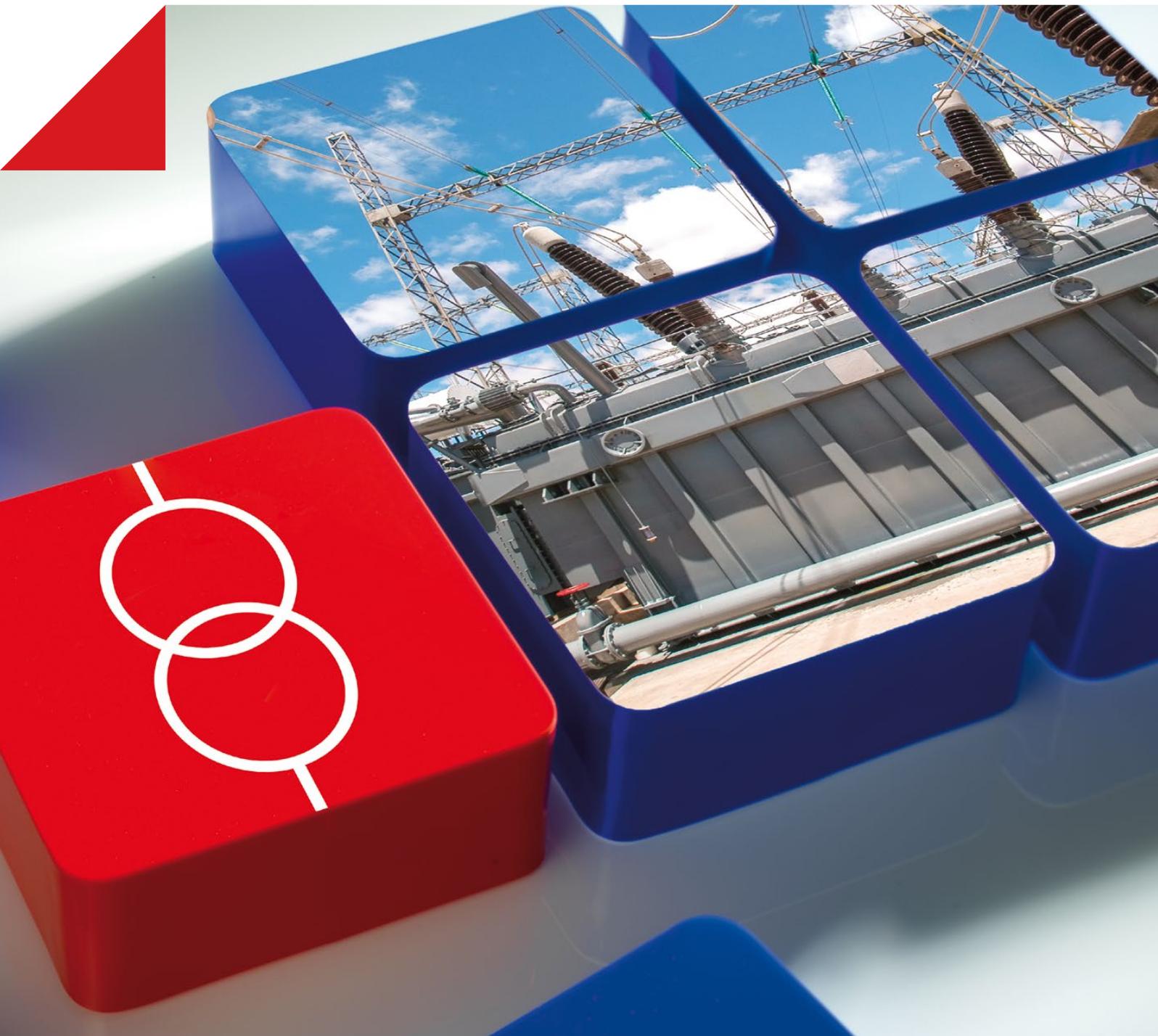




# Диагностические испытания и мониторинг силовых трансформаторов



# Правильная оценка состояния трансформатора позволяет макси

Важно, чтобы во время ввода в эксплуатацию и последующей работы трансформатор был в хорошем состоянии. Множество факторов влияют на работоспособность такого оборудования и могут сократить расчетный срок его службы.

Диагностические испытания и мониторинг помогут определить состояние трансформатора и выбрать правильные методы корректировки, которые повысят надежность работы и продлят срок его службы.

## Факторы, сокращающие срок службы трансформатора

- > **Температурное воздействие**  
Перегруз, перегрев, условия окружающей среды
- > **Износ/старение**  
Влага, кислоты, кислород, загрязнения, утечки
- > **Механическое воздействие**  
Повреждения при транспортировке, усилия при коротком замыкании, сейсмическая активность
- > **Электрические воздействия**  
Коммутационное или электрическое перенапряжение, ток КЗ
- > **Проблемы с защитой**  
Отказ, неправильная работа РЗА



Изготовление

Ввод в эксплуатацию

мально рационально использовать его ресурс.

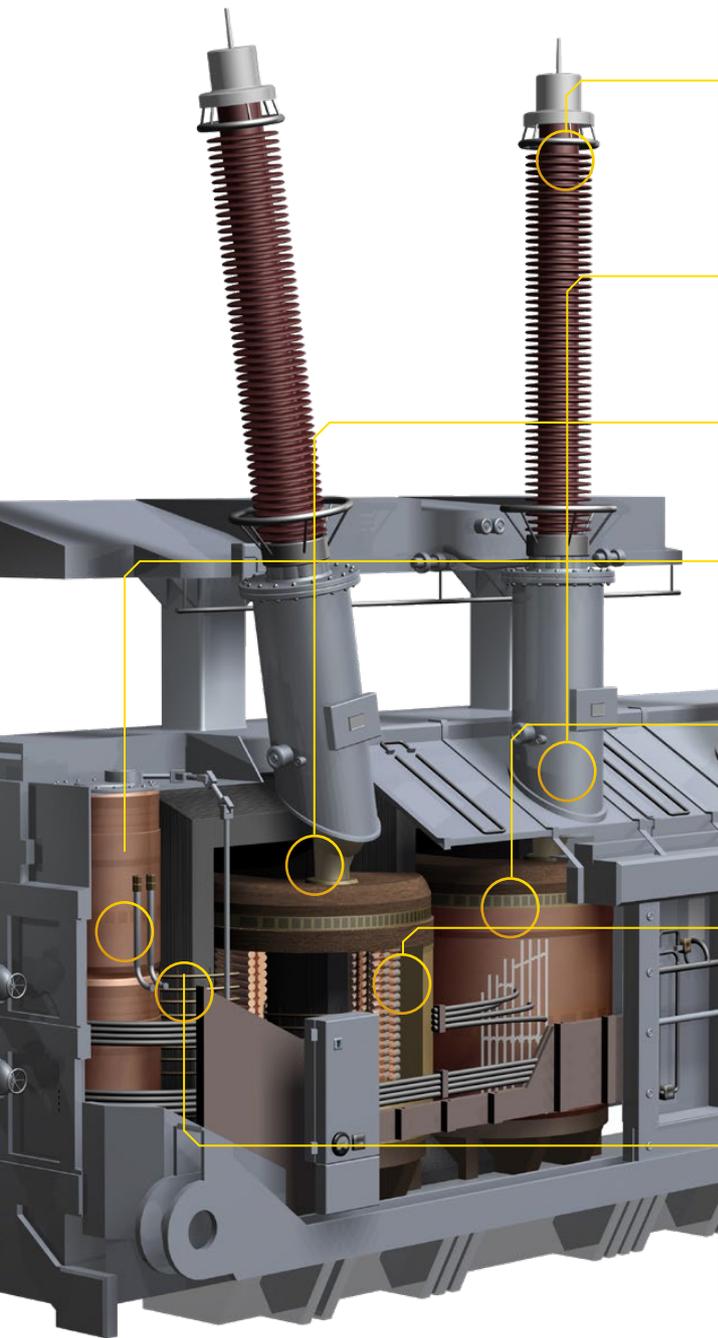
### Испытания и корректировочные меры для увеличения срока службы трансформатора

- > **Техобслуживание вспомогательных компонентов**  
Переключателей ответвлений, системы охлаждения, поглотителей влаги
- > **Восстановление изоляции**  
Сушка, обработка масла, замена масла
- > **Замена частей**  
Высоковольтных вводов, разрядников, уплотнений, насосов и вентиляторов



Работа

# Компоненты трансформаторов и их неисправности



Компонент	Обнаруживаемые неисправности
Высоковольтные вводы	Частичный пробой между уравнительными обкладками, трещины в бумажной изоляции, склеенной смолой
	Износ и попадание влаги
	Открытое или неисправное измерительное ответвление Частичные разряды в изоляции
ТТ	Погрешность коэффициента трансформации или угловая погрешность с учетом нагрузки, чрезмерная остаточная намагниченность, несоответствие требуемым стандартам IEEE или IEC
	Влияние нагрузки на Ктт и угловой сдвиг
	Витковое КЗ
Выводы	Проблемы с контактами
	Механическая деформация
Переключатель ответвлений	Проблемы с контактами в переключателе ответвлений и в дивертерном переключателе
	Обрыв цепи, короткозамкнутые витки, увеличенное контактное сопротивление в РПН
	Проблемы с контактами в ПБВ
Изоляция	Влага в твердой изоляции
	Старение, повышенная влажность, загрязнение изоляцион
	Частичные разряды
Обмотки	КЗ между обмотками или витками
	Короткие замыкания между параллельными проводниками
	Обрывы цепи в параллельных проводниках
	Короткое замыкание на землю
	Механическая деформация
	Проблемы с контактами, обрывы цепи
Сердечник	Механическая деформация
	Плавающее заземление сердечника
	Короткие замыкания пластин сердечника
	Остаточная намагниченность



# Идеальное решение для конкретных требований, условий и задач

TESTRANO 600

CPC 100

CPC 80 +  
CP TD12/15

TANDO 700

<b>Измерение емкости и коэффициента мощности / тангенса угла диэлектрических потерь:</b>				
при 50 или 60 Гц	■ <sup>1</sup>	■ <sup>1</sup>	■	■ <sup>4</sup>
при изменении напряжения	■ <sup>1</sup>	■ <sup>1</sup>	■	■ <sup>4</sup>
при переменной частоте	■ <sup>1</sup>	■ <sup>1</sup>	■	■ <sup>4</sup>
<b>Измерение сопротивления обмоток постоянному току и проверка состояния переключателей РПН</b>	■	■ <sup>2</sup>		
<b>Измерение коэффициента трансформации</b>	■	■ <sup>3</sup>		
<b>Измерение тока намагничивания</b>	■	■ <sup>1</sup>		
<b>Измерение импеданса короткого замыкания / реактивного сопротивления утечки</b>	■	■		
<b>Измерение частотной характеристики потерь рассеяния (FRSL)</b>	■	■		
<b>Измерение тока и потерь холостого хода при малом напряжении</b>	■	■		
<b>Размагничивание</b>	■	■ <sup>2</sup>		
<b>Анализ диэлектрического (частотного) отклика обмоток</b>				
<b>Анализ частотных характеристик обмоток (SFRA)</b>				
<b>Анализ трансформатора тока</b>			■	
<b>Анализ частичных разрядов</b>				
<b>Локализация частичного разряда</b>				
<b>Онлайн измерения и временный мониторинг частичных разрядов</b>				

<sup>1</sup> Требуется вспомогательный блок CP TD12/15

<sup>2</sup> Требуется вспомогательный блок CP SB1

<sup>3</sup> Для более быстрого выполнения испытаний можно использовать дополнительный блок CP SB1

<sup>4</sup> Требуется дополнительный источник ВН и эталонный конденсатор

Трехфазная испытательная установка для быстрого выполнения комплексной диагностики силовых трансформаторов и оценки их состояния.



Многофункциональный испытательный комплект для комплексной диагностики и оценки состояния различного высоковольтного оборудования.



Испытательный комплект (со встроенным источником ВН и эталонным конденсатором) для измерения емкости и тангенса угла диэлектрических потерь различного высоковольтного оборудования.



Исключительно точный испытательный комплект для измерения емкости и коэффициента мощности / тангенса угла диэлектрических потерь высоковольтного оборудования (с применением внешнего источника ВН и эталонного конденсатора).



DIRANA

FRANEO 800

CT ANALYZER

MPD 800

PDL 650

MONTESTO 200

■

■

■

■

■

■

■

Портативный испытательный комплект для быстрого и точного определения содержания влаги в силовых трансформаторах с бумажно-масляной изоляцией.

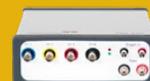
Автоматическая установка для анализа частотного отклика (SFRA) сердечника и обмоток силового трансформатора.

Удобный, легкий и предельно точный испытательный комплект для калибровки и проверки силового трансформаторов тока.

Универсальная система измерения и анализа частичных разрядов (ЧР)

Испытательный комплект для локализации частичных разрядов на силовых трансформаторах.

Портативная система для онлайн измерений и временного мониторинга частичных разрядов.



# Измерение емкости и коэффициента мощности / тангенса угла

## Что можно протестировать?

- ✓ Высоковольтные вводы
- ТТ
- Выводы
- Переключатель ответвлений
- ✓ Изоляция
- Обмотки
- Сердечник

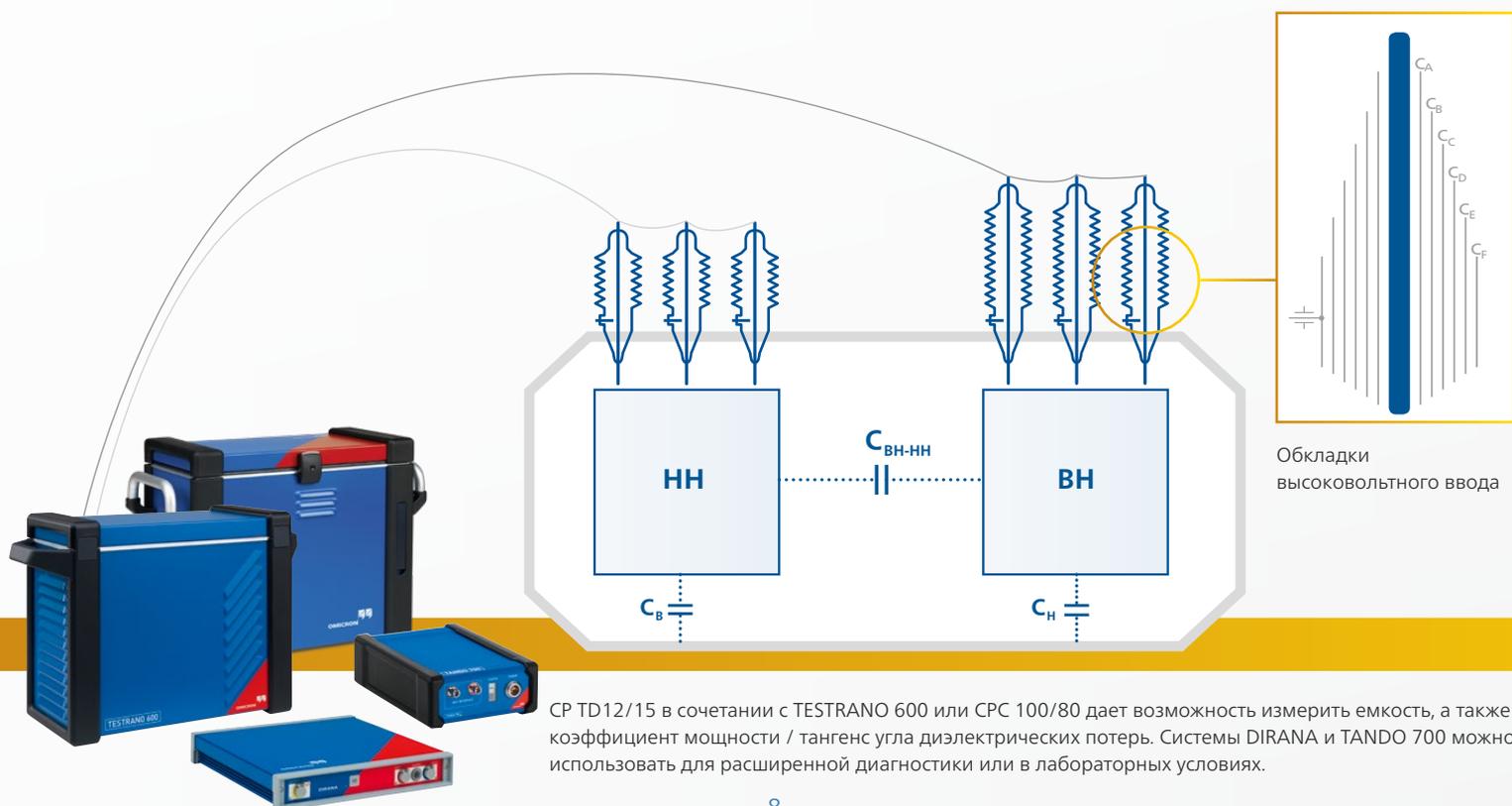
## Зачем нужны измерения?

По результатам измерений емкости и коэффициента мощности / тангенса угла диэлектрических потерь (PF/DF) можно оценить состояние изоляции силовых трансформаторов и высоковольтных вводов. Эти две системы изоляции крайне важны для обеспечения стабильной работы трансформатора.

Высокая электропроводность масла, износ материала и увеличение влагосодержания свидетельствуют об ухудшении свойств изоляции. Эти симптомы также ведут к увеличению потерь, которые можно определить, измерив коэффициент мощности / тангенс угла диэлектрических потерь.

Изменение значений емкости указывает на возможный пробой изоляции между обкладками в высоковольтном вводе. Измеряя емкость и потери, можно выявлять износившуюся изоляцию до того, как случится отказ.

Одной из наиболее распространенных причин простоев трансформатора является замена высоковольтных вводов из-за повреждения или пробоя изоляции.



# диэлектрических потерь

## Как это работает?

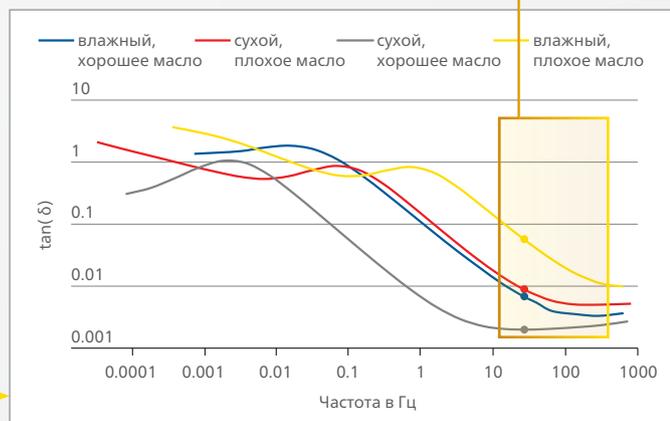
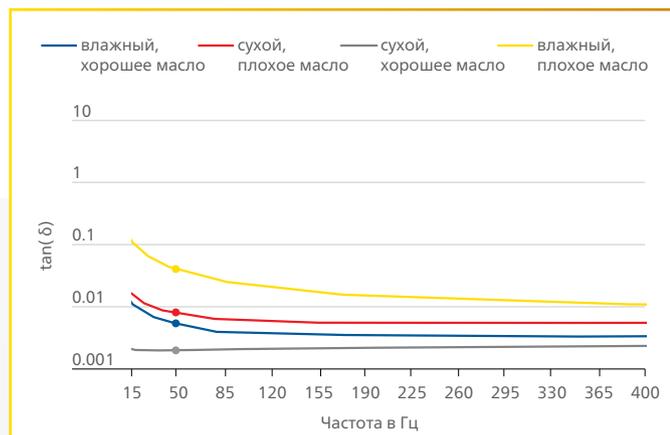
Измерения на силовых трансформаторах производятся на основной изоляции между обмотками ( $C_{ВН}$ ) и на изоляции между обмотками и баком ( $C_{В}, C_{Н}$ ). Обмотки закорачиваются, и на одну из них подается испытательное напряжение. Ток через изоляцию измеряется на противоположной обмотке или баке.

На высоковольтных вводах напряжение подается на основной проводник, а ток измеряется на измерительном ответвлении.

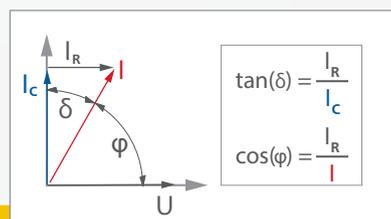
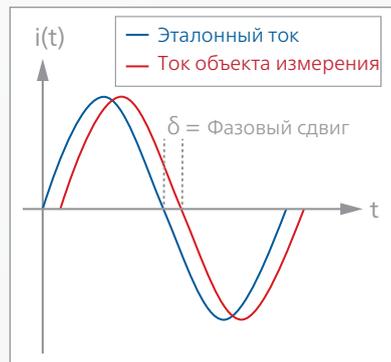
Коэффициент рассеяния, также называемый  $\tan(\delta)$ , вычисляется через тангенс угла  $\delta$  между измеренным значением тока и идеальным значением тока, который протекал бы при отсутствии потерь. Коэффициент мощности — косинус угла  $\phi$ , или  $\cos(\phi)$ , между выходным напряжением и измеренным значением тока.

Использование частот, отличных от частоты сети, повышает чувствительность измерения, так как многие проблемы сначала проявляются на таких частотах. Современное испытательное оборудование обеспечивает автоматическое изменение частоты или напряжения.

Значения  $\tan(\delta)$  четырех трансформаторов на частоте выше или ниже значения частоты сети (50 Гц).



Потери в диэлектрике вызывают фазовый сдвиг



В зависимости от испытательного устройства для измерения доступны различные диапазоны частот — 15–400 Гц в случае использования TESTRANO 600 и от 10 мГц до 5 кГц при использовании DIRANA.

# Измерение емкости и коэффициента мощности / тангенса угла

## Полезная информация

После завершения измерений полученные показатели стоит сравнить с результатами предыдущих испытаний и эталонными данными, указанными для испытываемого оборудования в соответствующих стандартах.

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

В результате дополнительного испытания при изменении приложенного напряжения может быть выявлено плохое состояние контактов в обкладках высоковольтного ввода или на измерительном ответвлении. О нем свидетельствует понижение коэффициента мощности / тангенса угла диэлектрических потерь.

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 / тангенса угла диэлектрических потерь следует перепроверить результат, выполнив дополнительно анализ диэлектрического отклика обмоток. Широкодиапазонное испытание диэлектрического отклика позволит судить о том, влага либо же высокая электропроводимость масла стали причиной высокого коэффициента мощности / тангенса угла диэлектрических потерь.

Изоляционная жидкость	Уровень напряжения	Номинальное значение $\tan(\delta)$	Предельно допустимое значение
Минеральное масло	< 230 кВ	0,5 %	1,0 %
Минеральное масло	$\geq$ 230 кВ	0,5 %	1,0 %
Обычное масло	Все	1,0 %	1,0 %

Типовые значения коэффициента мощности / тангенса угла диэлектрических потерь трансформаторов в зависимости от типа изоляционной жидкости при температуре 20 °C / 68 °F и в соответствии с международными стандартами (IEEE C.57-152)

Тип изоляции	Новые высоковольтные вводы	IEEE C57.19.01	IEC 60137
Бумажная изоляция, пропитанная смолой (RIP)	от 0,3 % до 0,4 %	< 0,85 %	< 0,70 %
Бумажно- масляная изоляция (OIP)	от 0,2 % до 0,4 %	< 0,50 %	< 0,70 %
Бумажная изоляция, склеенная смолой (RBP)	от 0,5 % до 0,6 %	< 2,00 %	< 1,50 %

Типовые значения коэффициента мощности / тангенса угла диэлектрических потерь высоковольтных вводов на частоте сети при температуре 20 °C / 68 °F и в соответствии с международными стандартами

# диэлектрических потерь

## Наше решение...

Наша компания предлагает широкий диапазон устройств для измерения емкости и коэффициента мощности / тангенса угла диэлектрических потерь ( $\tan \delta$ ). В их число входят как компактные устройства для удобного проведения испытания на месте эксплуатации, так и высокоточные системы для использования в лабораторных условиях, а также специализированные испытательные комплекты, позволяющие выполнить расширенную диагностику состояния силовых трансформаторов, в частности определить уровень влажности.

	Диапазон измерений	Типовое применение
<b>TESTRANO 600 + CP TD12/15</b>	от 0 до 12 кВ / 15 кВ от 15 Гц до 400 Гц	Оценка состояния силовых трансформаторов на месте их эксплуатации или в процессе производства
<b>CPC 100 + CP TD12/15</b>	от 0 до 12 кВ / 15 кВ от 15 Гц до 400 Гц	Общая оценка состояния различного оборудования на месте его эксплуатации или в процессе производства
<b>CPC 80 + CP TD12/15</b>	от 0 до 12 кВ / 15 кВ от 15 Гц до 400 Гц	Измерение коэффициента мощности / тангенса угла диэлектрических потерь различного оборудования на месте его эксплуатации или в процессе производства
<b>TANDO 700</b>	Значение напряжения в зависимости от внешнего источника от 5 Гц до 400 Гц	Высоковольтные испытания в лабораторных условиях, например для контрольных и типовых испытаний различного оборудования или испытаний материалов
<b>DIRANA</b>	макс. 200 В <sub>пик.</sub> от 50 мкГц до 5 кГц	Расширенная диагностика масляно-бумажной изоляции и определение уровня ее влажности

# Измерение сопротивления обмоток постоянному току и проверка

## Что можно протестировать?

- Высоковольтные вводы
- ТТ
- ✓ Выводы
- ✓ Переключатель ответвлений
- Изоляция
- ✓ Обмотки
- Сердечник

## Зачем нужны измерения?

Измерения сопротивления обмотки выполняются для того, чтобы проверить наличие потенциальных повреждений обмоток или проблем с контактами, соединяющими, например, высоковольтные вводы с обмотками, обмотки с переключателем ответвлений и т. д.

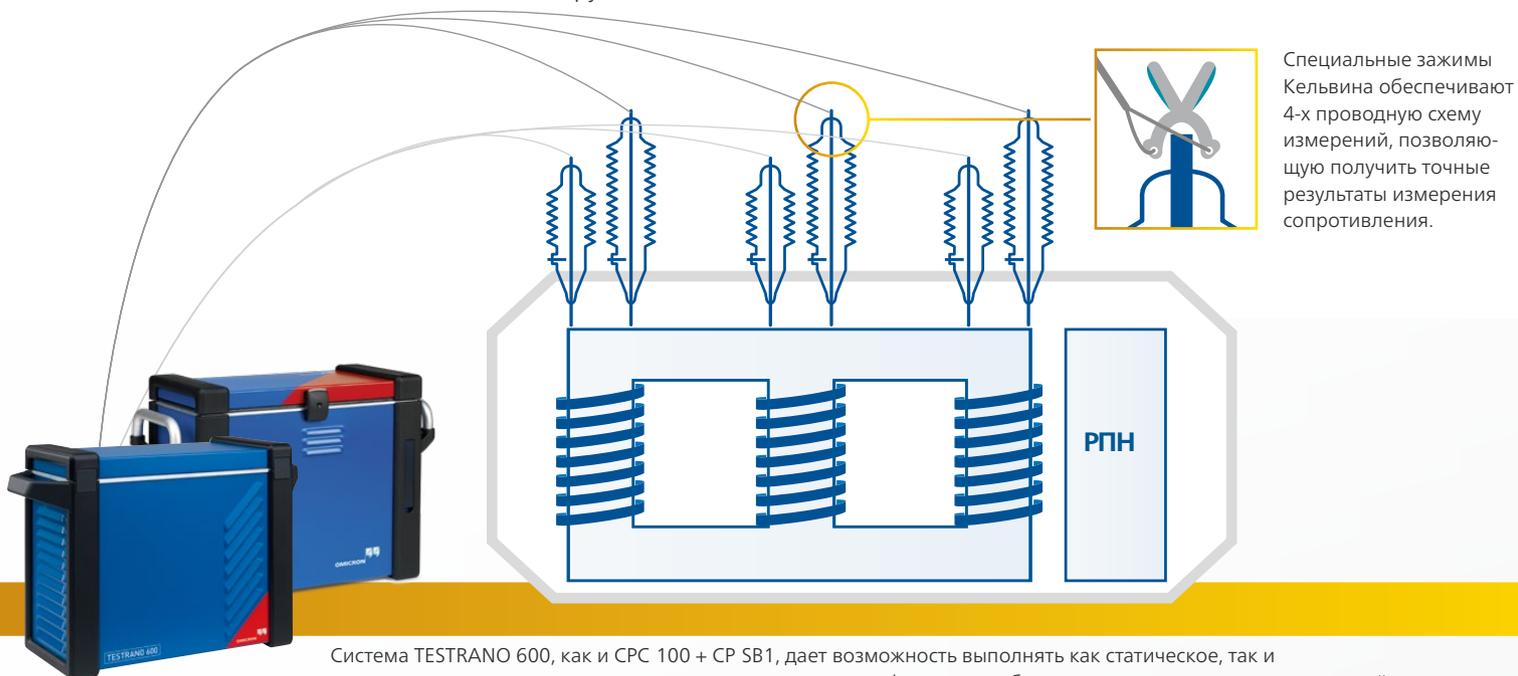
Оно также используется для проверки РПН с целью определить необходимость ремонта или замены этих устройств либо очистки/обновления их контактов. Повреждения можно выявить, не вскрывая корпус переключателя ответвлений.

## Как это работает?

Прежде чем измерять сопротивление обмотки, её следует зарядить до насыщения сердечника. Сопротивление определяют по результатам измерения тока и падения напряжения DC. При проверке обмоток с ответвлениями такие измерения следует выполнять для каждого ответвления отдельно, проводя, таким образом, одновременное испытание состояния обмоток и переключателей РПН. Обычно пользуются одним из двух распространенных способов проведения испытания: статическим либо динамическим измерением сопротивления обмотки.

Проще всего определить проблемы с обмоткой и переключателями РПН, выполнив **статическое измерение сопротивления обмотки**. При этом оценивается уровень сопротивления в каждом положении при последовательном переключении РПН. Затем результаты сравниваются с эталонными значениями, которые указаны производителем.

**Динамическое измерение сопротивления** проводят дополнительно для исследования переходных процессов при переключении дивертерных РПН резистивного типа. Такое измерение позволяет оценить работу самого дивертерного переключателя. При переключении положений РПН во время измерения сопротивления обмоток значение постоянного тока временно повышается. Эти изменения записываются и анализируются.



Система TESTRANO 600, как и CPC 100 + CP SB1, дает возможность выполнять как статическое, так и динамическое измерение сопротивления в силовых трансформаторах без дополнительных переключений проводов.

# состояния переключателей РПН

## Полезная информация

Результаты измерения сопротивления обмоток постоянному току не должны более чем на 1 % отличаться от эталонного измерения. Кроме того, разница между фазами обычно составляет менее 2–3 %.

При сравнении результатов измерений сопротивления обмоток следует учитывать поправку на температуру. Обычно эталонная температура 20 °C или 75 °C.

Обнаруженные обрывы цепи можно перепроверить измерением коэффициента трансформации, а проблемы с контактами — анализом частотного отклика.

При обеих этих неисправностях появляется точка нагрева, что может быть выявлено анализом газа. Однако результаты газового анализа не являются однозначными и не могут использоваться для определения причины неполадки.

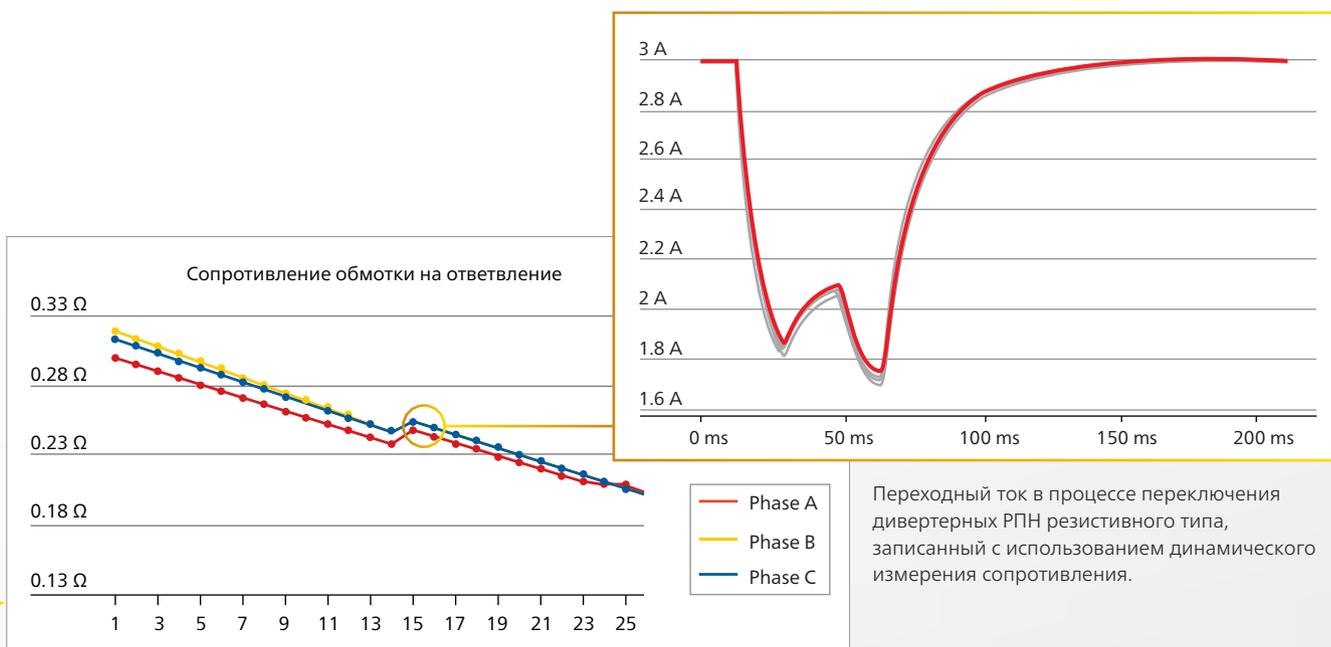
Во время измерения сопротивления обмоток постоянному току намагничивается сердечник трансформатора. Поэтому по завершении процедуры его рекомендуется размагнитить.

## Почему TESTRANO 600

- > Трехфазное измерение обмоток ВН и НН без перепоключения проводов при токе до 33 А DC
- > Однофазное измерение обмоток малым омическим сопротивлением при токе до 100 А DC
- > Автоматическое управление РПН и измерение тока и напряжения двигателя РПН
- > Размагничивание сердечника и измерение коэффициента трансформации без перепоключения проводов

## Почему CPC 100 + CP TD1

- > Измерение всех трех фаз без перепоключения при использовании CP SB1 при токе до 6 А DC
- > Однофазное измерение обмоток малым омическим сопротивлением при токе до 100 А DC
- > Автоматическое управление РПН при помощи CP SB1



Сопrotивление обмотки по ответвлениям записанное при статическом измерении сопротивления обмотки.

# Измерение коэффициента трансформации

## Что можно протестировать?

- Высоковольтные вводы
- ТТ
- Выводы
- Переключатель ответвлений
- Изоляция
- ✓ Обмотки
- Сердечник

## Зачем нужны измерения?

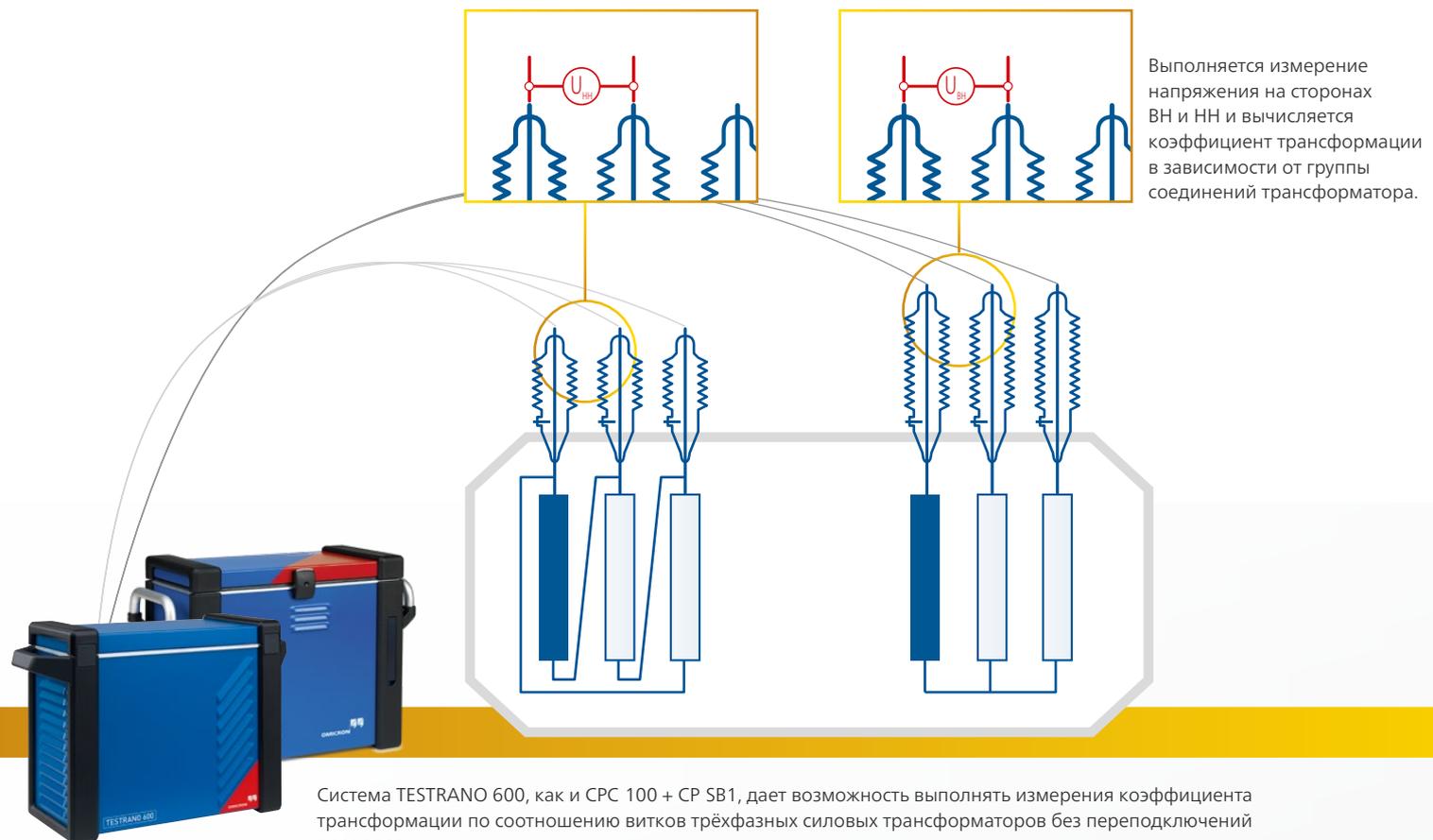
Коэффициент трансформации по соотношению витков измеряется для проверки основной функции силового трансформатора. Измерения коэффициента трансформации и фазового угла между обмотками позволяют обнаруживать обрывы цепи и короткие замыкания в витках.

Коэффициент трансформации измеряется во время приемочных испытаний, и затем его следует регулярно проверять в рамках планового обслуживания. Это измерение может также оказаться необходимым после проведения других диагностических испытаний, таких как анализ растворенных газов, и измерения коэффициента мощности и тангенса угла диэлектрических потерь.

## Как это работает?

При использовании **однофазного источника** испытательное напряжение подается на каждую фазу обмотки и измеряется на высоковольтной и соответствующей низковольтной обмотке одного и того же стержня.

В случае использования **трехфазного источника** это же измерение производится для всех трех фаз одновременно. Измеренный коэффициент трансформации сравнивается с результатами заводских испытаний, имеющимися на паспортной табличке.



## Полезная информация

Результаты измерения сравниваются с данными в паспортной табличке и показателями по остальным фазам. В соответствии со стандартами IEC 60076-1 и IEEE C57.152, полученные результаты не должны отличаться от номинального коэффициента более чем на 0,5 %.

Коэффициент трансформации обычно измеряется от стороны ВН к стороне НН, чтобы избежать опасного напряжения на измерительных входах.

На результаты измерения могут отрицательно повлиять такие факторы, как намагниченность сердечника и отсутствие подключения к заземлению. Поэтому очень важно убедиться, что сердечник размагничен, а каждая обмотка должным образом заземлена.

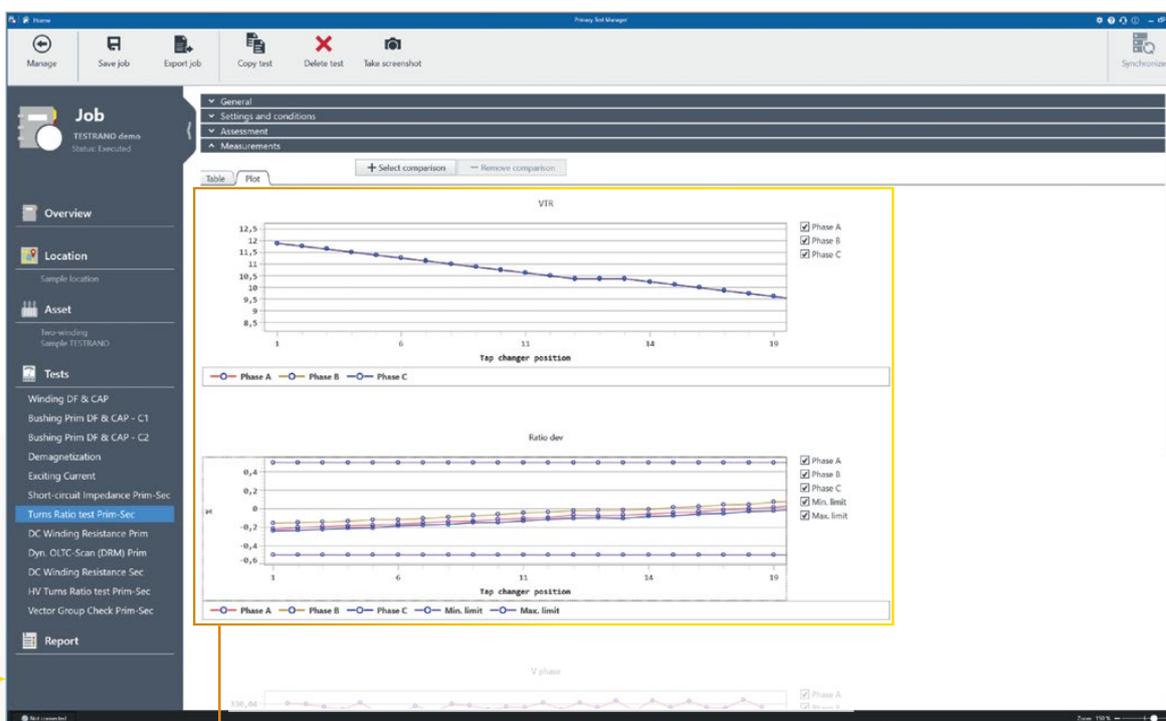
Чтобы подтвердить или опровергнуть наличие выявленных проблем, при подозрении короткого замыкания дополнительно выполняется измерение тока намагничивания, при подозрении обрыва цепи - измерение сопротивления обмотки постоянному току.

## Почему TESTRANO 600

- > Действительное трехфазное измерение для определения погрешности коэффициента трансформации и фазового сдвига обмоток любой конфигурации
- > Измерения при напряжении до 400 В переменного тока (L-L) без перепоключения
- > Использование той же схемы подключения для измерения сопротивления обмотки постоянному току; перепоключение не требуется
- > Автоматическое переключение РПН в процессе измерений

## Почему CPC 100 + CP SB1

- > Измерение трех фаз без перепоключения при напряжении до 300 В переменного тока (L-L) при использовании CP SB1
- > Выполнение однофазных измерений при напряжении до 2 кВ переменного тока
- > Автоматическое управление РПН при помощи CP SB1



Коэффициент трансформации по соотношению витков измеряется для всех трех фаз в каждом положении РПН. В соответствии с международными стандартами, полученные результаты не должны отличаться от номинального коэффициента более чем на 0,5 %.

# Измерение тока намагничивания

## Что можно протестировать?

Высоковольтные вводы

ТТ

Выводы

Переключатель ответвлений

Изоляция

✓ Обмотки

✓ Сердечник

## Зачем нужны измерения?

Ток намагничивания измеряется для оценки состояния межвитковой изоляции обмоток, магнитной цепи трансформатора, а также переключателя ответвлений.

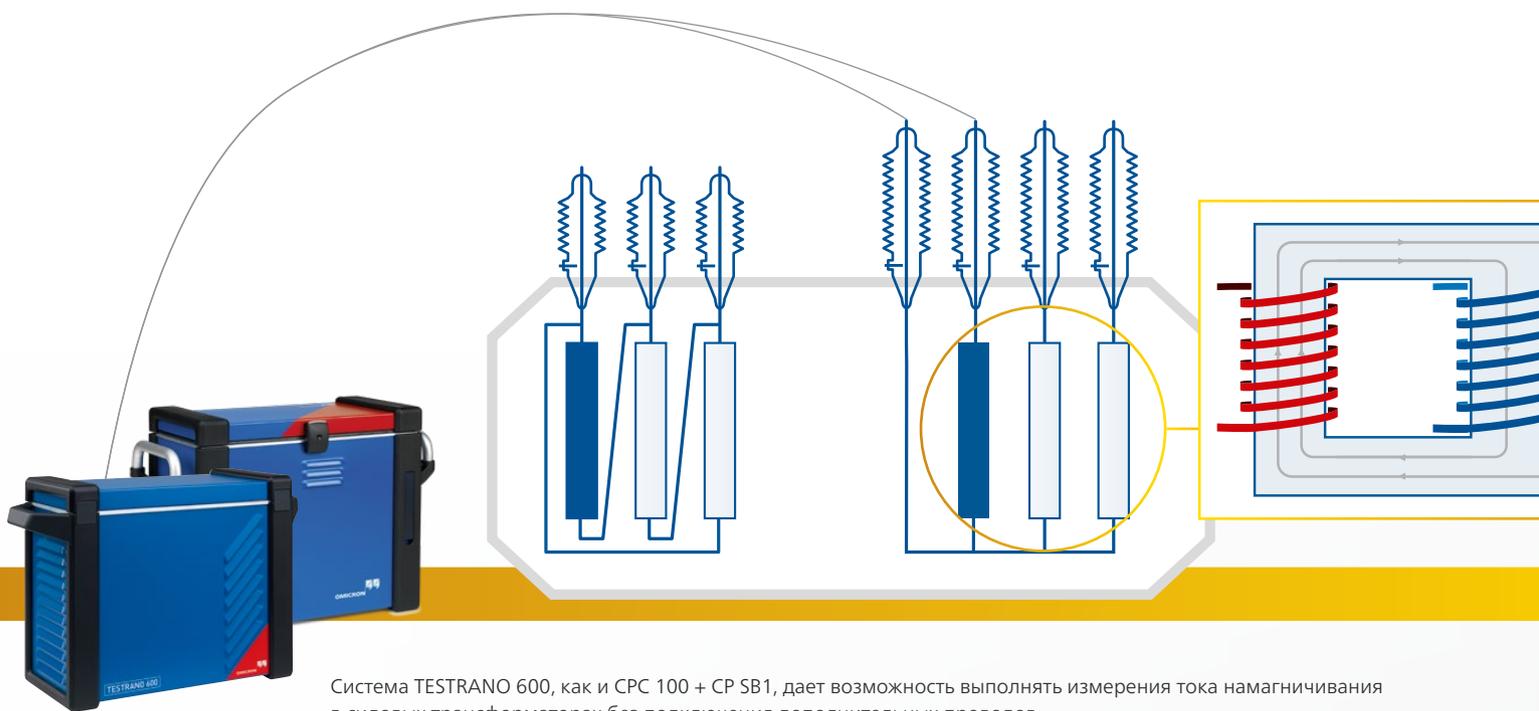
Особенно ценной является возможность выявлять межвитковые замыкания в обмотках. Физическое смещение пластин или серьезное повреждение сердечника может повлиять на показатели магнитного сопротивления и изменить значение тока намагничивания. Изменения в значениях этого параметра могут также свидетельствовать об износе контактов или неправильном подключении проводов переключателя ответвлений.

## Как это работает?

Измерение тока намагничивания выполняется без нагрузки. Переменное напряжение подается на одну (обычно высоковольтную) сторону трансформатора, а противоположная сторона остается разомкнутой. Амплитуда тока, протекающего в первичной обмотке, прямо пропорциональна энергии, которая требуется для возбуждения трансформатора, т. е. для индуцирования напряжения на вторичной обмотке.

Для выявления межвитковых коротких замыканий рекомендуется выбирать самое высокое испытательное напряжение, допустимое по ограничениям испытательного комплекта и обмоток. Стандартное испытательное напряжение — 10 кВ.

Схема подключения зависит от конфигурации обмоток. Обычно ввод нейтрали обмотки, на которую подается напряжение (при ее наличии), следует подключать к обратному проводу. Ввод нейтрали разомкнутой обмотки следует заземлить, если заземление предусмотрено при эксплуатации.



Система TESTRANO 600, как и CPC 100 + CP SB1, дает возможность выполнять измерения тока намагничивания в силовых трансформаторах без подключения дополнительных проводов.

## Полезная информация

Результаты испытания тока намагничивания следует сравнивать по фазам и положению переключателя РПН. В зависимости от конструкции трансформатора и количества стержней результаты фазных измерений должны соответствовать определенному типу с двумя или тремя идентичными фазами (В-Н-В, Н-В-Н, В-В-В). Значения для идентичных фаз не должны отличаться друг от друга более чем на 5–10 %.

Если для всех трех фаз получены разные значения тока намагничивания, следует выполнить дополнительные проверки. Отличия в фазных измерениях могут быть вызваны намагничённостью сердечника или проблемой с обмотками.

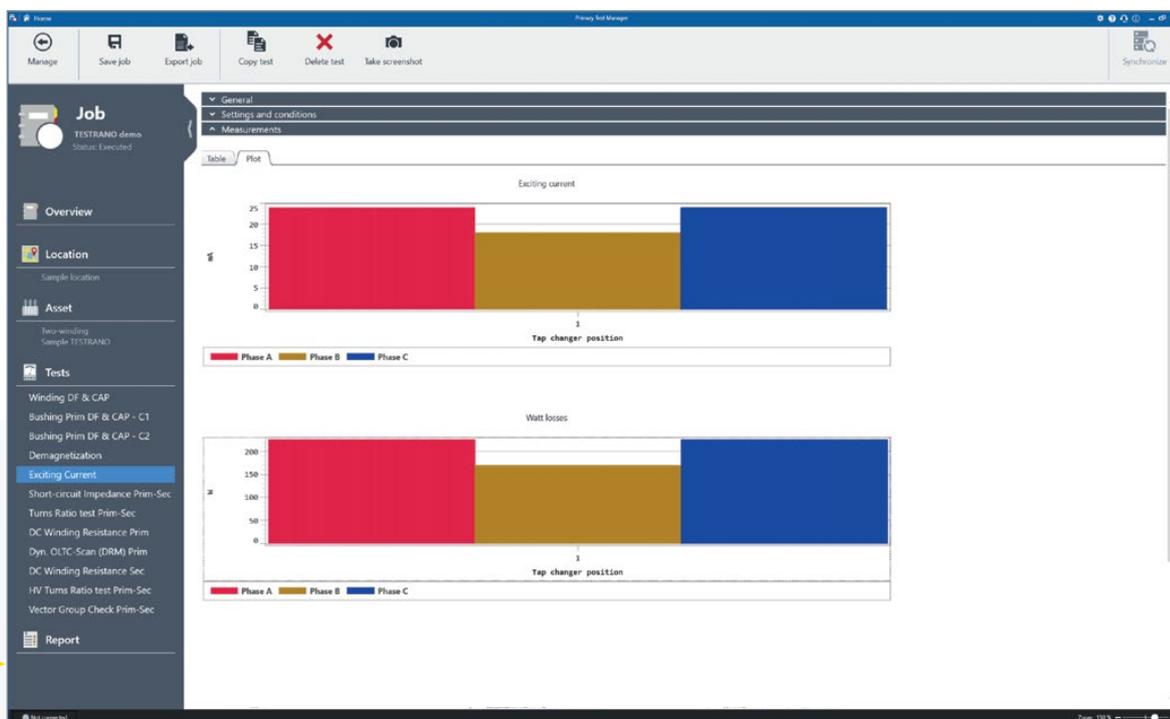
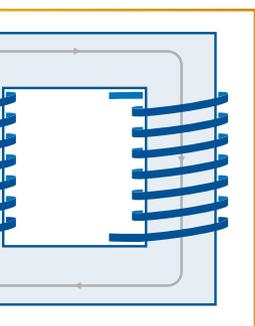
Напоминаем, остаточная намагничённость сердечника влияет на результаты измерения. В этом случае требуется размагнитить трансформатор и повторить испытание.

Кроме результатов фазных измерений можно получить и результаты измерений во всех положениях РПН, которые различаются для разных типов РПН. Даже если типовые результаты для определённого РПН не известны, они должны оставаться одинаковыми для всех фаз.

Наличие короткозамкнутых витков подтверждается затем измерением коэффициента трансформации (ТТН), а анализ частотного отклика (SFRA) помогает провести дополнительную диагностику сердечника и подтвердить наличие повреждений в нём.

## Почему TESTRANO 600 или CPC 100

- > Проведение измерения тока намагничивания при обычном испытательном напряжении 10 кВ при использовании CP TD12/15
- > Определение значений тока намагничивания при измерении коэффициента трансформации
- > Определение значений тока намагничивания на всех трех фазах без перепоключения



Стандартная диаграмма фазы В-Н-В трехстержневого трансформатора с двумя идентичными высокими значениями на внешних фазах и одним более низким значением на центральной фазе.

# Измерение импеданса короткого замыкания / реактивного сопр

## Что можно протестировать?

- Высоковольтные вводы
- ТТ
- Выводы
- Переключатель ответвлений
- Изоляция
- ✓ Обмотки
- Сердечник

## Зачем нужны измерения?

Измерения импеданса короткого замыкания / реактивного сопротивления утечки — это действенные методы оценки наличия деформаций или смещения обмоток.

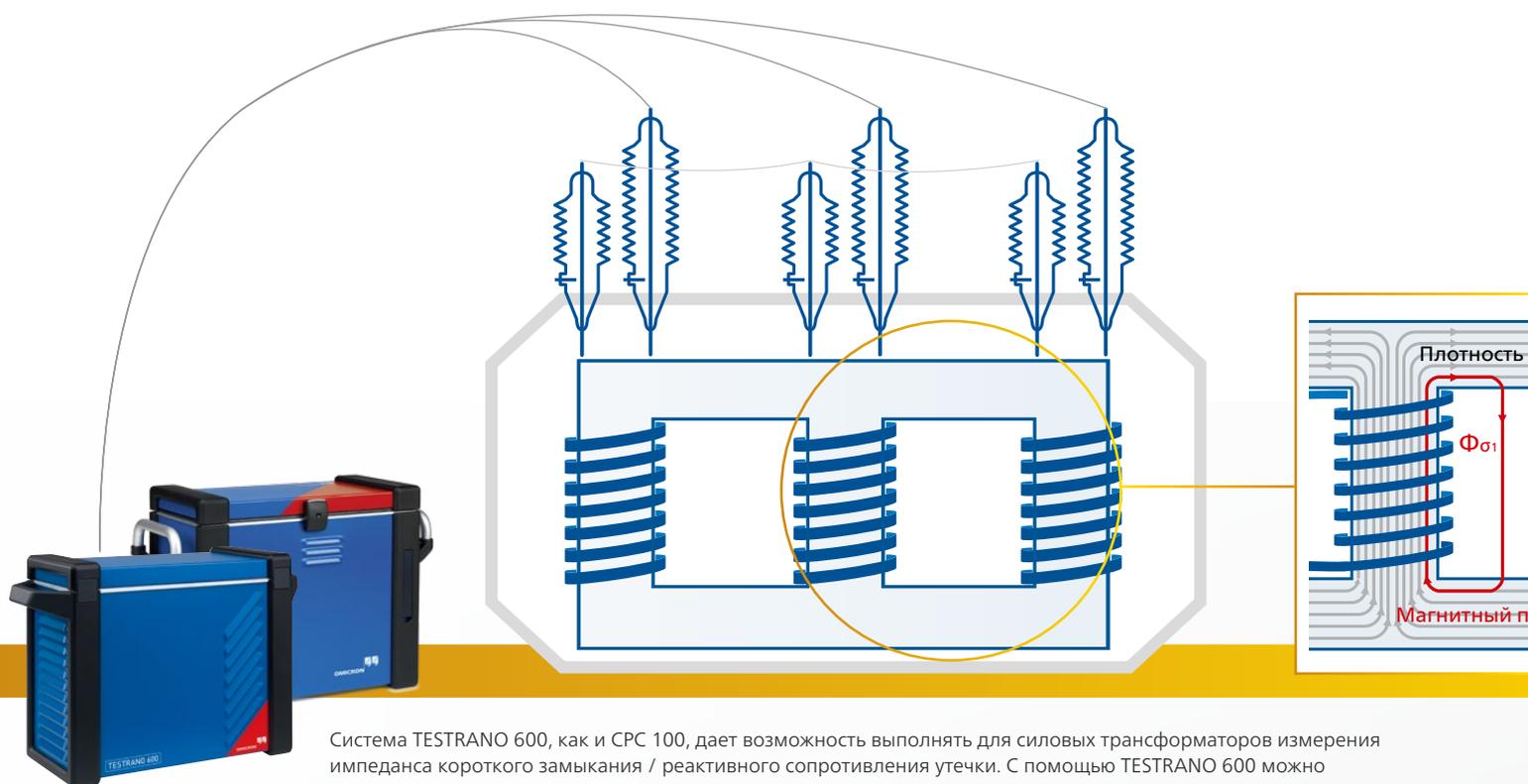
Подобные дефекты возникают при перемещении силового трансформатора или в результате мощных коротких замыканий. Поэтому в таких случаях рекомендуется измерять импеданс короткого замыкания / реактивное сопротивление утечки.

Эти испытания обычно проводятся в виде трехфазного измерения, результат которого можно сравнить со значением, установленным производителем во время заводских приемочных испытаний. Поскольку этот показатель является средним значением для всех трех фаз, на обмотках рекомендуется также выполнить пофазные измерения.

## Как это работает?

К каждой фазе высоковольтной обмотки подсоединен источник переменного тока. Во время трехфазного измерения все три фазы на низкой стороне закорачиваются без подключения к нейтрали (при ее наличии). При пофазном испытании закорачивается только соответствующая обмотка на низкой стороне.

Таким образом, ток и напряжение на высоковольтной обмотке измерены по амплитуде и фазе. После этого в соответствии с определенными значениями номинальной мощности трансформатора вычисляется значение импеданса КЗ.



# Отклонения от номинального значения

## Полезная информация

Значение импеданса КЗ, полученное в результате трехфазных измерений, не должно отличаться от значения, указанного в паспортной табличке, более чем на 3 %.

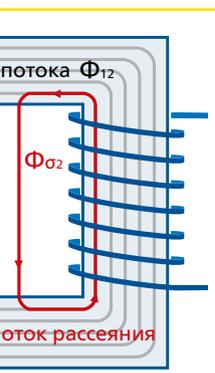
Однако более существенные отклонения значения все же нельзя автоматически расценивать как признак деформации обмотки. Признаком деформации служит существенное отклонение результата по меньшей мере одного испытания пофазного реактивного сопротивления утечки.

Результат по каждой фазе следует сравнить со средним значением всех трех пофазных измерений. В большинстве случаев отклонения от усредненного значения будут составлять менее 1 % и не превысят порог 2–3 %. Результаты пофазного испытания нельзя сравнивать со значением на паспортной табличке.

Реактивное сопротивление утечки свидетельствует лишь о реактивной части импеданса короткого замыкания. Хотя эти названия часто используют как синонимы для той же испытательной методики.

Для более детального исследования сдвига и деформации обмоток дополнительно выполняется анализ частотного отклика (SFRA).

Реактивное сопротивление утечки указывает на поток рассеяния, который проходит не только по сердечнику. Сдвиг или деформация обмоток влияют на магнитное сопротивление пути утечки и, соответственно, на сопротивление.



Short circuit impedance results (Zk)					
	Phase	I AC	V1 AC	V1 AC phase	Wat
Start	A	941,02 mA	164,73 V	87,09 °	7,87
Start	B	959,90 mA	168,62 V	87,08 °	8,24
Start	C	970,41 mA	168,56 V	86,97 °	8,64

Assessment uk		
Phase	uk meas (%)	uk ref (%)
	8,67 %	8,45 %

Импеданс КЗ вычисляется на основе результатов трехфазного измерения и номинальных мощностей трансформатора. После этого полученное значение сравнивается со значениями, указанными в паспортной табличке трансформатора.

## Почему TESTRANO 600

- > Трехфазное измерение для определения импеданса КЗ без переподключения.
- > Тот же метод испытания, который использовался во время заводских приемочных испытаний
- > Та же схема подключения, которая применялась для измерения частотной характеристики потерь рассеяния

## Почему CPC 100

- > Однофазные измерения для определения трехфазного эквивалентного и пофазного импеданса КЗ
- > Та же схема подключения, которая применялась для измерения частотной характеристики потерь рассеяния

Transformer Type	ODL 16 000 / 110	Serial No.	561525
Year: Manufacturing	1966	Operation	DB
50 Hz	Cooling S	Vector Group	Yd11
Power P:	PRIM 12 000	TERT	SEC 12 000 kVA
Rated Voltage	1 12 62 00 V	13 11 00 00 V	25 9 38 00 V
	54.9 A	53.0 A	73.9 A
Impedances:	PRIM-TERT	TERT-SEC	PRIM-SEC 8.45 %
			9.45 %
			8.15 %
Weight:	Total 424	Oil 17.6	Active Part 18 Shipping 41 t

# Измерение частотной характеристики потерь рассеяния (FRSL)

## Что можно протестировать?

- Высоковольтные вводы
- ТТ
- Выводы
- Переключатель ответвлений
- Изоляция
- ✓ Обмотки
- Сердечник

## Зачем нужны измерения?

Испытание состоит в измерении активной составляющей импеданса КЗ на различных частотах. Это единственное электрическое испытание, позволяющее выявлять короткие замыкания между параллельными проводниками и участки нагрева вследствие чрезмерных потерь на вихревые токи.

Измерение частотной характеристики потерь рассеяния (как и измерения импеданса короткого замыкания и реактивного сопротивления утечки) рекомендуется выполнять во время приемо-сдаточных и пусконаладочных испытаний для определения эталонных показателей. Упомянутые процедуры обычно не входят в программу плановых испытаний и выполняются лишь для расширенной диагностики. Это испытание также выполняется как трехфазное или однофазное.

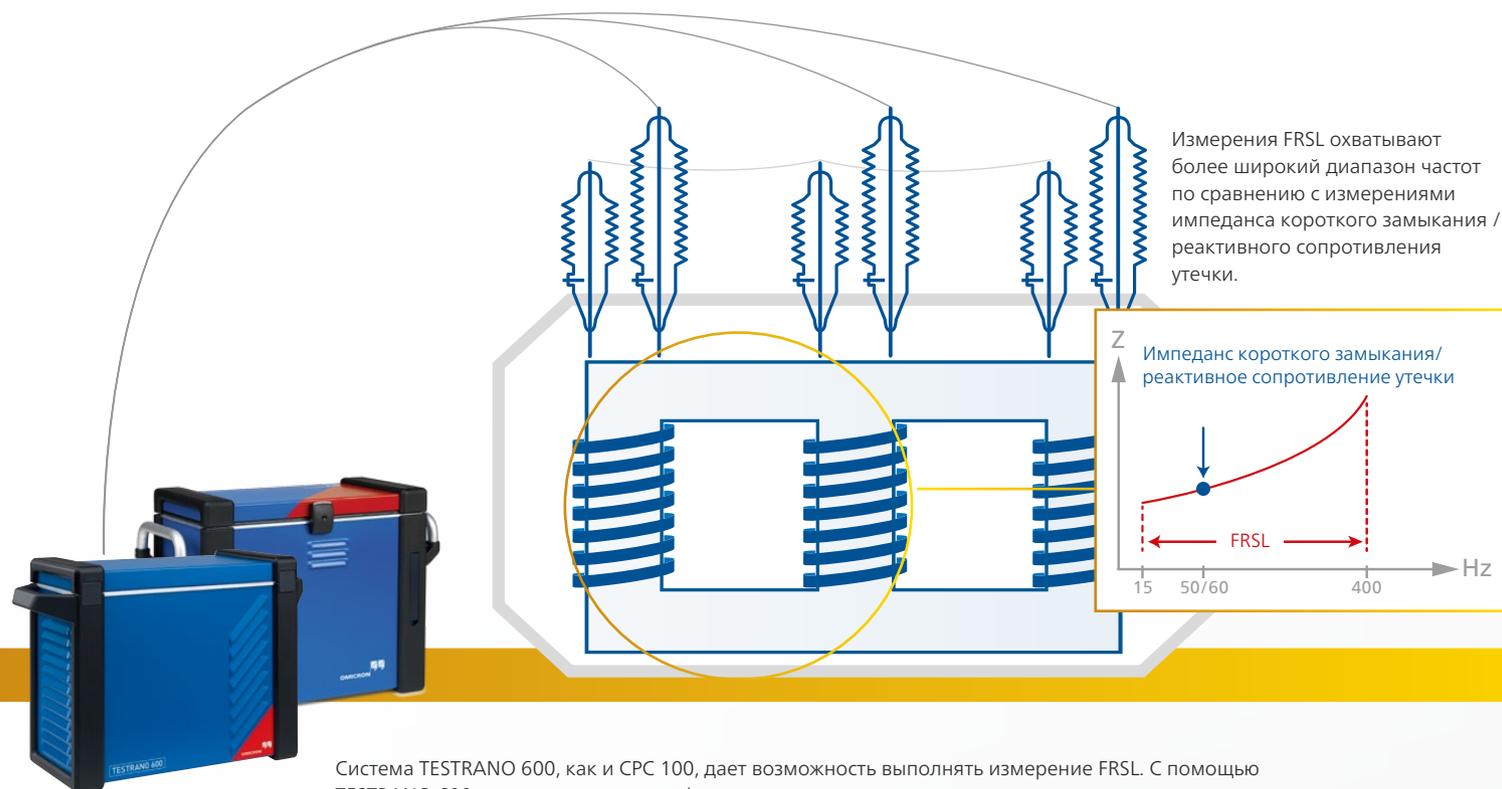
## Как это работает?

Настройки и процедура для испытания FRSL будут такими же, как и для измерения сопротивления короткого замыкания / реактивного сопротивления утечки, поэтому эти два испытания могут выполняться одновременно.

К каждой фазе высоковольтной обмотки подсоединен источник переменного тока. Во время трехфазного измерения все три фазы на низкой стороне закорачиваются без подключения к нейтрали (при ее наличии). При пофазном испытании закорачивается только соответствующая обмотка на низкой стороне.

По результатам измеренного значения тока, напряжения и угловой погрешности вычисляется резистивная составляющая импеданса КЗ при дискретных частотах в диапазоне 15–400 Гц.

Поскольку на высоких частотах больше потерь на вихревые токи, рост резистивной составляющей легко заметить при наложении результатов на диапазон частот.



Система TESTRANO 600, как и CPC 100, дает возможность выполнять измерение FRSL. С помощью TESTRANO 600 можно провести трехфазное измерение, не изменяя подключение проводов.

## Полезная информация

Анализ результатов отображается в графическом виде и включает сравнение данных пофазных измерений и с результатами предыдущих измерений. Поскольку величина потерь на вихревые токи зависит от частоты, рост импеданса заметен по всему диапазону частот.

Это повышение должно быть одинаковым для всех трех фаз, отображаясь в виде плавной экспоненциальной кривой.

Отклонения в пределах 3 %, особенно на высоких частотах, могут быть признаком коротких замыканий параллельных проводников.

Результаты измерения частотной характеристики потерь рассеяния следует перепроверить, выполнив анализ растворенных газов. Многие неполадки, диагностируемые в результате измерения FRSL, продуцируют горючий газ. К примеру, КЗ в проводниках могут вызвать слишком сильный перегрев, на который укажут результаты анализа растворенных в масле газов.

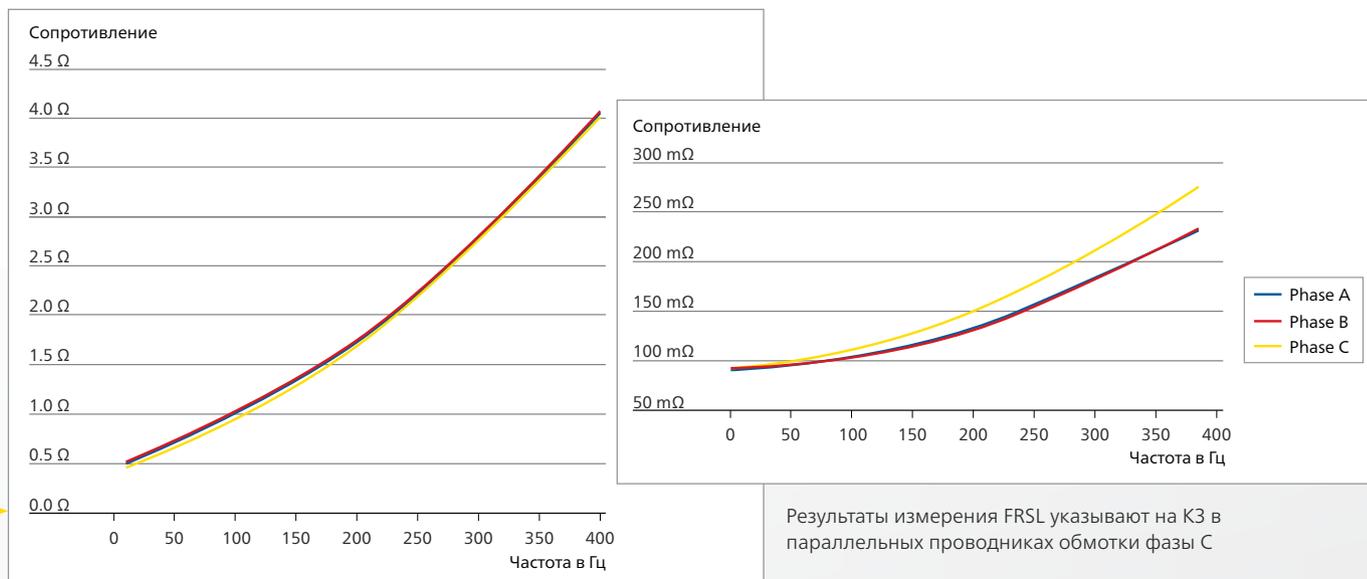
Наиболее распространенные проблемы, которые могут исказить результаты FRSL, — плохое соединение и малые закоротки. В этом случае между фазами наблюдается вертикальное смещение.

## Почему TESTRANO 600

- > Трехфазное измерение для выполнения измерения FRSL без переподключения
- > Использование той же схемы подключения для измерения импеданса КЗ / реактивного сопротивления утечки

## Почему CPC 100

- > Однофазные измерения для определения трехфазного эквивалента и пофазного FRSL
- > Использование той же схемы подключения для измерения импеданса КЗ / реактивного сопротивления утечки



Приемлемые результаты FRSL

# Измерение тока и потерь холостого хода при малом напряжении

## Что можно протестировать?

Высоковольтные вводы

ТТ

Выводы

Переключатель ответвлений

Изоляция

✓ Обмотки

✓ Сердечник

## Зачем нужны измерения?

Ток и потери холостого хода при малом напряжении измеряются с целью выявления возможных замыканий магнитопровода на бак трансформатора, замыканий в магнитопроводе, а также витковых замыканий в обмотках.

Испытание проводится в соответствии с ГОСТ 3484.1-88.

Как правило, данное испытание проводят одним из первых, что позволяет сразу же оценить состояние всей электромагнитной системы трансформатора в целом.

Испытание рекомендуется проводить при том же напряжении, что и при испытаниях на заводе-изготовителе.

## Как это работает?

Испытание холостого хода при малом напряжении проводится без нагрузки, переменное напряжение подается, как правило, с низкой стороны трансформатора, а остальные обмотки трансформатора остаются свободными.

Стандартное напряжение для проведения испытания – 220 или 380 В.

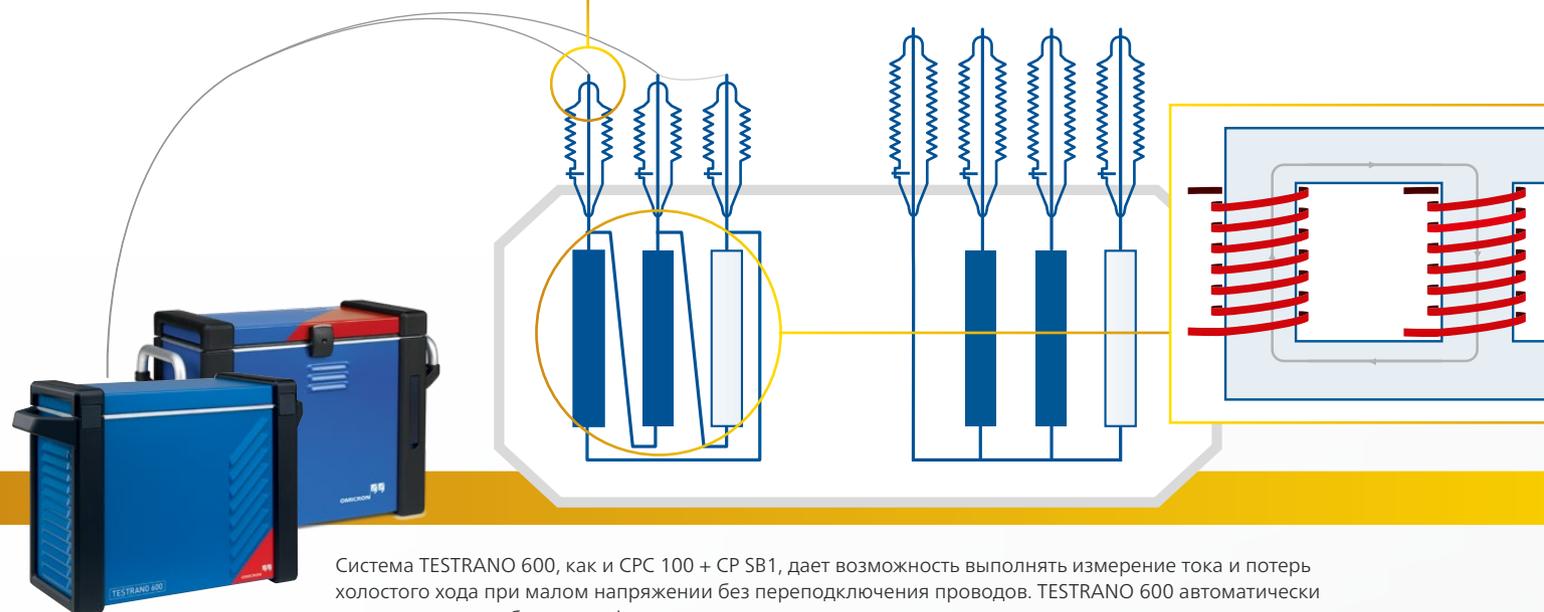
Для трехфазных трансформаторов измерения выполняют пофазно. Для этого поочередно выкорачивают одну из фаз, а напряжение подается на две другие фазы.

В нормальном состоянии потери  $P_{ab}$  и  $P_{bc}$  отличаются не более 5%, потери  $P_{ac}$  – на 25-50% превышают потери  $P_{ab}$  и  $P_{bc}$ .

При сравнении полученных результатов с предыдущими рекомендуется опираться на соотношение потерь, а также на абсолютные величины.



Специальные зажимы Кельвина обеспечивают 4-х проводную схему измерений, позволяющую получить точные результаты измерения сопротивления.



Система TESTRANO 600, как и CPC 100 + CP SB1, дает возможность выполнять измерение тока и потерь холостого хода при малом напряжении без переподключения проводов. TESTRANO 600 автоматически выкорачивает необходимые фазы при проведении измерения и рассчитывает соотношение потерь.

## Полезная информация

Перед проведением измерения магнитопровод трансформатора необходимо размагнитить. Остаточная намагниченность может оказывать влияние на результаты и сделать корректную оценку состояния трансформатора невозможной.

Со временем происходит старение межлистовой изоляции, что приводит к увеличению потерь холостого хода по сравнению с заводскими данными. В таком случае потери увеличиваются пропорционально во всех фазах. По динамике изменений можно оценить степень старения магнитопровода.

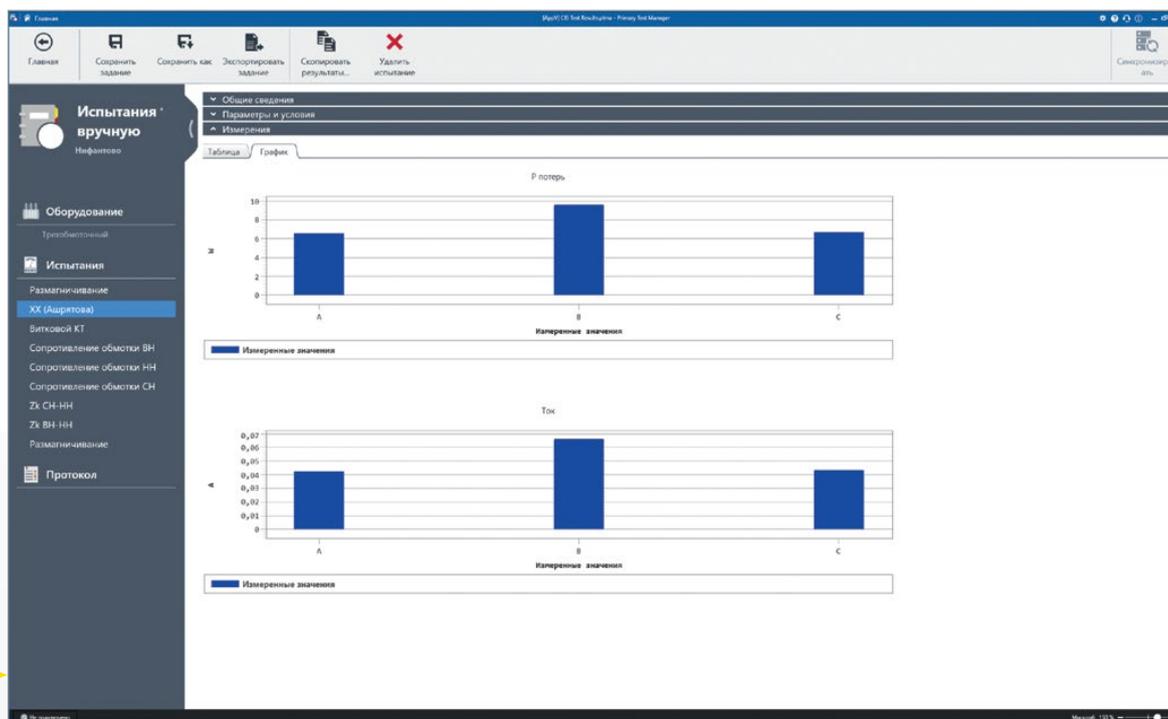
При невозможности проведения испытания при том же напряжении, что и завод-изготовитель, испытание можно проводить при другом напряжении. В этом случае сравниваются соотношения потерь, полученные в обоих опытах, в то время как абсолютные значения могут существенно отличаться. В некоторых случаях возможно применение формул приведения абсолютных значений к другому напряжению.

## Почему TESTRANO 600

- > Трёхфазное подключение к трансформатору, автоматическое выкорачивание фаз внутри установки
- > Автоматический расчет соотношения потерь
- > Четырехпроводное измерение в соответствии с ГОСТ 3484.1-88
- > Размагничивание трансформатора перед измерением

## Почему CPC 100

- > Напряжение до 2кВ
- > Размагничивание трансформатора перед измерением



Типовая диаграмма результатов измерения трехстержневого трансформатора с двумя близкими значениями на внешних фазах и одним более высоким значением на центральной фазе.

## Что можно протестировать?

- Высоковольтные вводы
- ТТ
- Выводы
- Переключатель ответвлений
- Изоляция
- Обмотки
- ✓ Сердечник

## Зачем нужны измерения?

При отключении силового трансформатора от энергосистемы на сердечнике остается остаточное намагничивание из-за фазового сдвига. Остаточный магнетизм также остается после подачи напряжения постоянного тока на обмотку трансформатора, например, во время типового испытания сопротивления обмотки в полевых или заводских условиях.

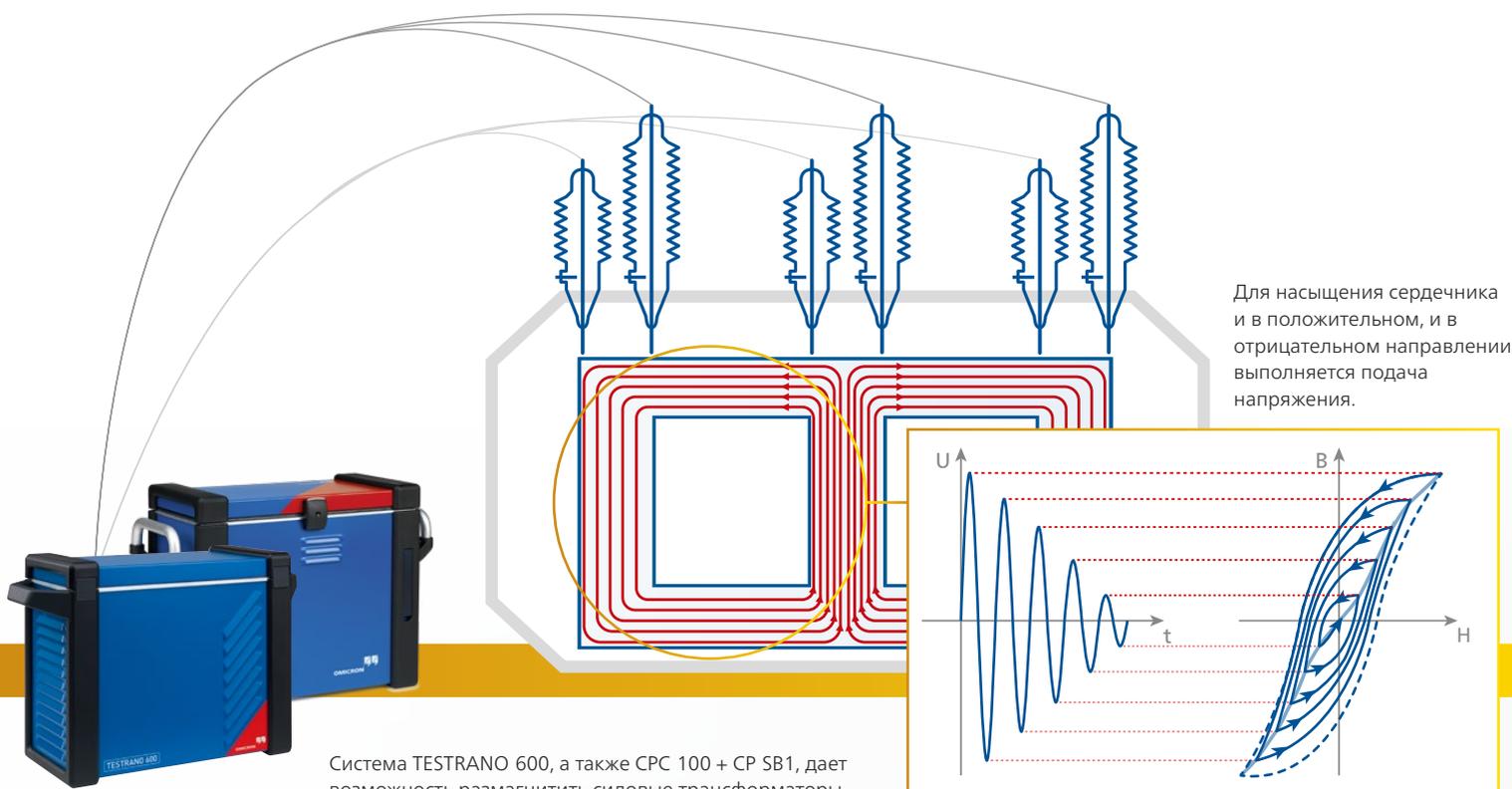
Из-за наличия в сердечнике остаточной намагниченности пусковой ток трансформатора резко возрастает и может достигать тока КЗ. Это подвергает трансформатор ненужному напряжению при повторном вводе его в эксплуатацию. Кроме того, остаточное намагничивание может повлиять на многие диагностические измерения, усложняя получение достоверной оценки.

Поэтому рекомендуется размагнитить сердечник как перед включением трансформатора в работу, так и после диагностического испытания с применением постоянного тока.

## Как это работает?

Сначала сердечник насыщается в обоих направлениях, после чего определяются параметры гистерезиса и вычисляется исходный поток. На основании этих параметров используется итеративный алгоритм, позволяющий сократить поток путем соответствующего изменения напряжения и частоты. После нескольких итераций сердечник размагничивается до менее чем 1 % от максимального показателя.

Описанный подход для размагничивания сердечника силового трансформатора применим как для малых, так и для больших силовых трансформаторов.



## Полезная информация

Размагничивание сердечника силового трансформатора при возвращении трансформатора в работу сводит к минимуму риск для персонала и для оборудования.

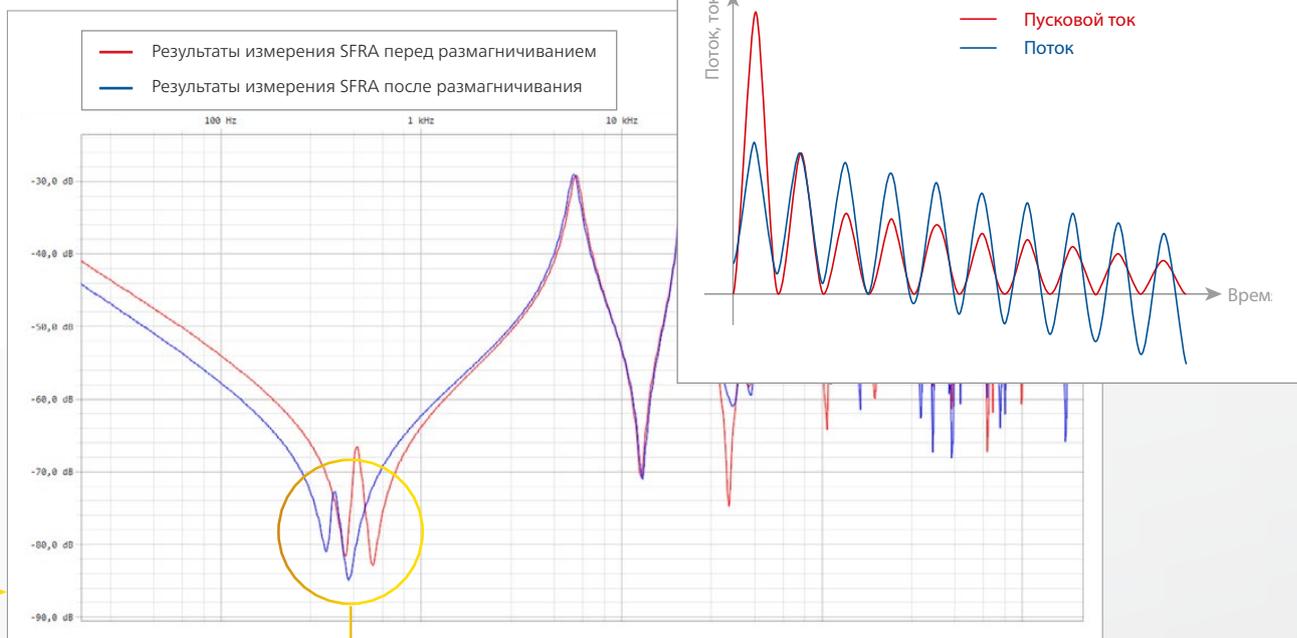
Эта процедура также рекомендуется перед измерением тока намагничивания, измерения потерь холостого хода при малом напряжении, выполнением анализа частотного отклика (SFRA) или измерения магнитного баланса. На все эти измерения может повлиять намагниченность сердечника трансформатора, что приведет к неверной интерпретации их результатов.

Залог успеха размагничивания состоит в постоянном мониторинге состояния магнитного потока ( $\Phi$ ) в сердечнике при размагничивании.

## Почему TESTRANO 600 или CPC 100 + CP SB1

- > Быстрое и надежное размагничивание сердечника силового трансформатора
- > Измерение остаточной намагниченности для дальнейшей диагностики, в частности неожиданных результатов измерения тока намагничивания
- > Размагничивание до уровня менее 1 % максимальной намагниченности сердечника

Из-за остаточного магнетизма возникает высокий пусковой ток, который может подвергнуть опасности трансформатор при повторном включении его в работу.



Результаты измерения SFRA фазы А: Смещение точки резонанса указывает на влияние намагниченности сердечника на измерение.

# Анализ частотных характеристик (SFRA)

## Что можно протестировать?

- Высоковольтные вводы
- ТТ
- ✓ Выводы
- Переключатель ответвлений
- Изоляция
- ✓ Обмотки
- ✓ Сердечник

## Зачем нужны измерения?

Анализ частотного отклика (Sweep Frequency Response Analysis, SFRA) используется для выявления механических или электрических повреждений в обмотках, контактах или сердечниках силовых трансформаторов. Сдвиг или деформация обмоток возникают при перемещении силового трансформатора или в результате мощных коротких замыканий.

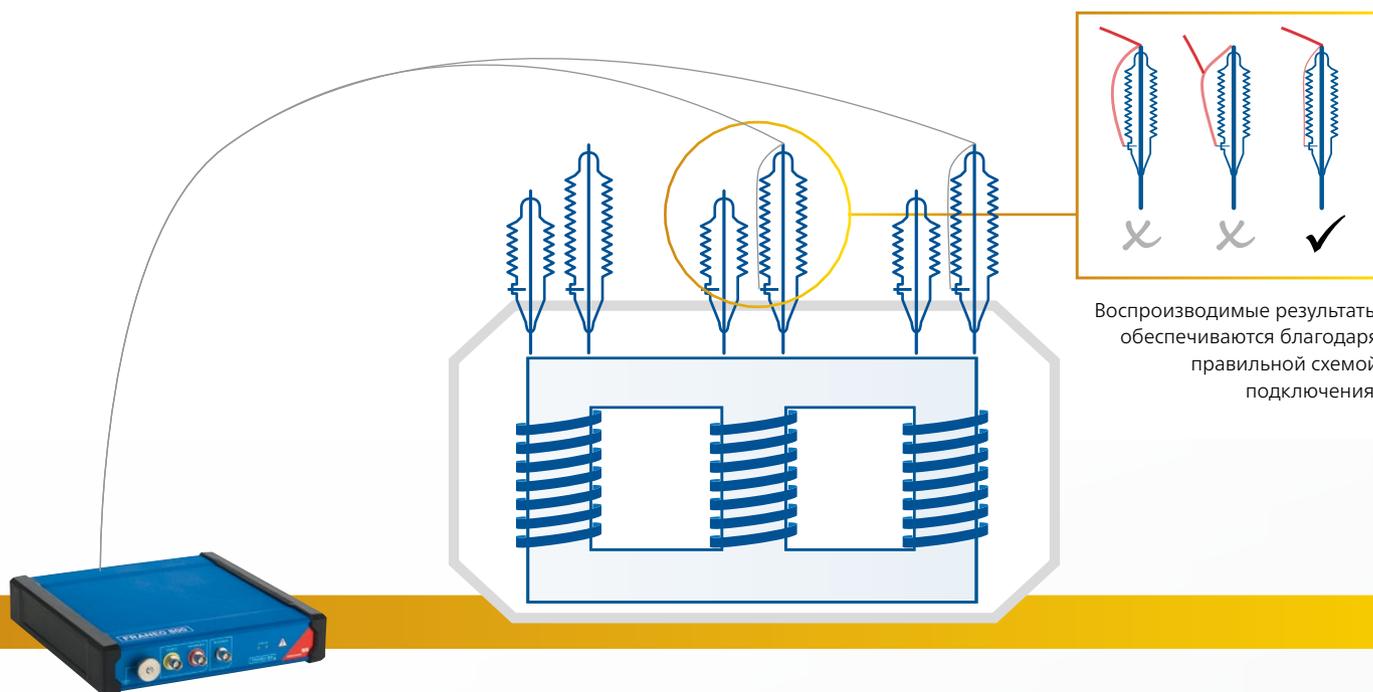
С момента принятия стандарта IEC 60076-18 этот метод стал одним из стандартных электрических испытаний и его распространение в энергетике значительно выросло. Испытания SFRA рекомендуется выполнять в завершение заводских приемо-сдаточных испытаний для подтверждения исходных характеристик трансформатора, а затем после транспортировки устройства и во время ввода его в эксплуатацию.

## Как это работает?

Силовые трансформаторы могут быть представлены как сложная электрическая сеть емкостей, индуктивностей и резисторов. Каждая электрическая сеть имеет уникальную частотную характеристику.

Синусоидальное напряжение с непрерывно увеличивающейся частотой подаётся на один конец обмотки трансформатора, и измеряется ответный сигнал на другом конце обмотки. Сравнение входного и выходного сигналов даёт уникальную частотную характеристику, которую можно сопоставить с эталонными данными.

Изменения, сдвиги или деформация внутренних частей приводят к изменениям в переходной характеристике трансформатора; их можно выявить при сравнении диаграмм.



Система FRANEО 800 позволяет выполнять надёжную диагностику сердечников и обмоток силовых трансформаторов с помощью анализа частотного отклика.

## Полезная информация

Испытание SFRA базируется на сравнении текущих результатов измерения с предыдущими. Если исходные данные не доступны, для сравнения можно воспользоваться результатами испытания другой фазы или аналогичного трансформатора.

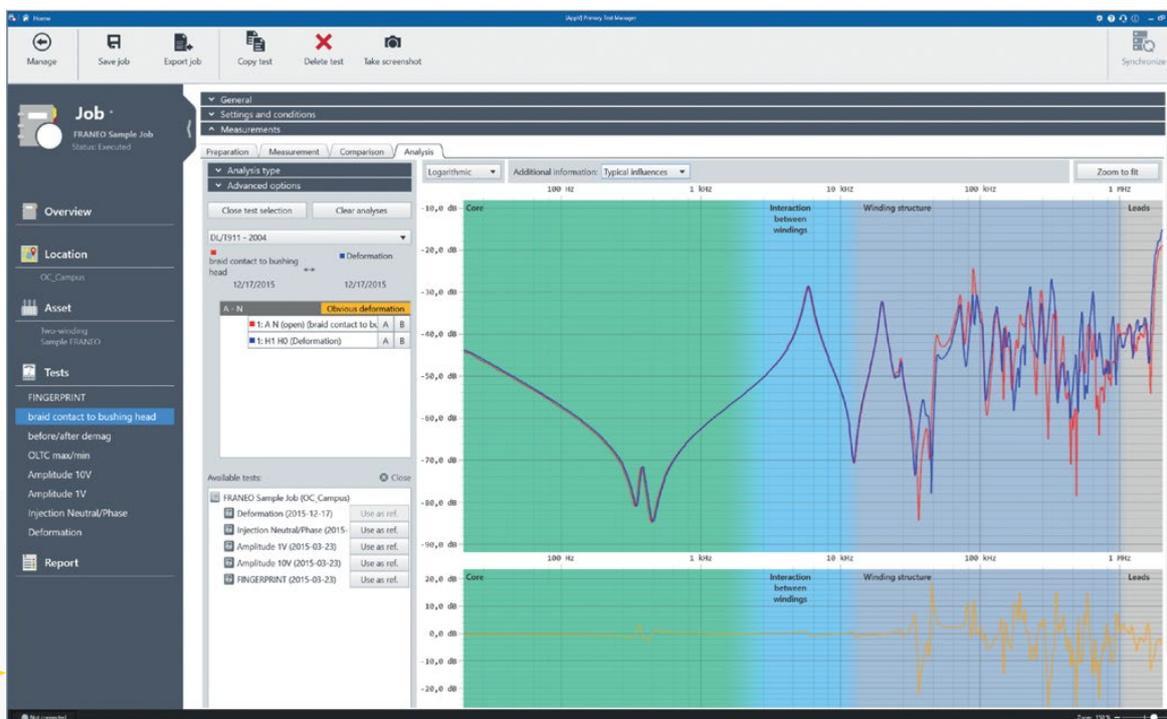
Обнаруженные неисправности можно подтвердить и другими измерениями, в частности измерением сопротивления обмотки постоянному току, частотной характеристики потерь рассеяния (FRSL), импеданса КЗ / реактивного сопротивления утечки, испытанием тока намагничивания или измерением коэффициента трансформации.

Испытание SFRA является неинвазивным методом. Оно позволяет выполнить надежную оценку исправности силового трансформатора без подачи высоких напряжений.

Это — наиболее чувствительный метод выявления механических деформаций в активной части силовых трансформаторов.

## Почему FRANEO 800

- > Широчайший динамический диапазон измерений в отрасли (>150 дБ)
- > Воспроизводимые результаты благодаря инновационной технике подключения на основе IEC 60076-18, метод 1
- > Управление с помощью ПО Primary Test Manager™ процессом настройки параметров, выполнении измерений и оценкой результатов, который позволяет с легкостью провести диагностику оборудования даже без специальной подготовки
- > Малое время измерения благодаря интеллектуальным алгоритмам изменения частоты
- > Компактное и легкое оборудование гарантирует оптимальное удобство эксплуатации



ПО PTM позволяет выполнить автоматическую оценку и сравнение результатов испытаний, а также дает визуальное представление типичных причин отклонений от эталонных значений.

# Анализ диэлектрического (частотного) отклика

## Что можно протестировать?

- ✓ Высоковольтные вводы
- ТТ
- Выводы
- Переключатель ответвлений
- ✓ Изоляция
- Обмотки
- Сердечник

## Зачем нужны измерения?

Анализ диэлектрического (или, как еще говорят, диэлектрического частотного) отклика применяется для оценки содержания влаги в целлюлозной изоляции и, соответственно, определения ее состояния.

Влага проникает в силовые трансформаторы вследствие старения бумажно-масляной изоляции либо из-за нарушенной герметичности (подтекание уплотнений или так называемое «дыхание трансформатора»). Это повышает вероятность пробоя изоляции и ускоряет ее старение.

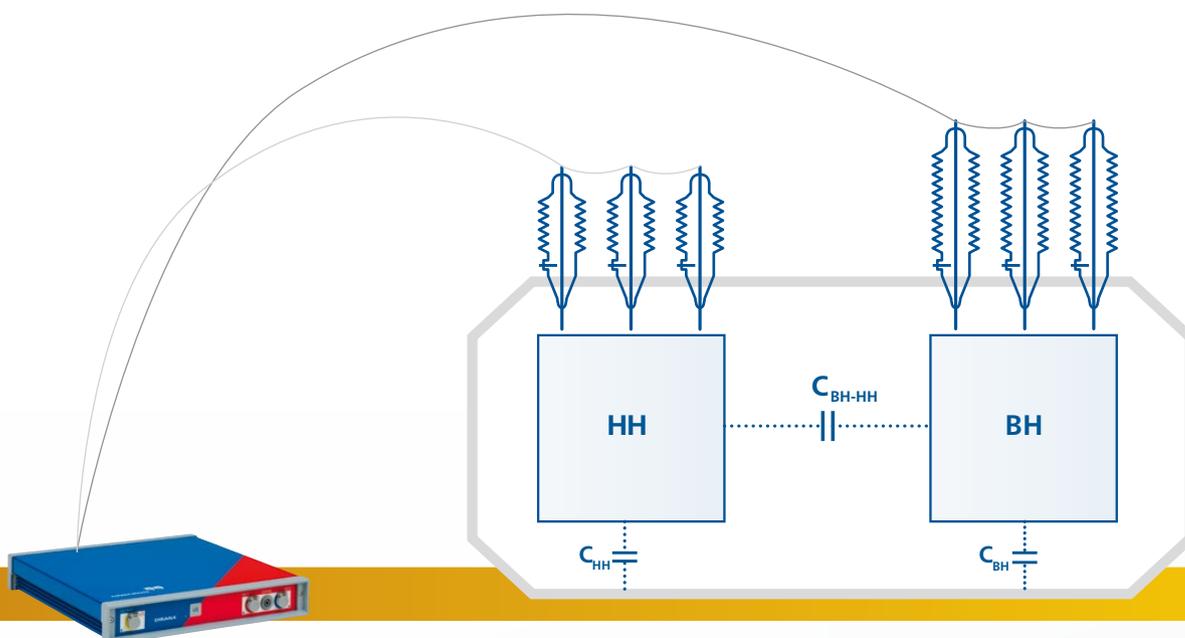
Данные о содержании влаги важны для оценки состояния силового трансформатора и его высоковольтных вводов. Кроме того, анализ диэлектрического отклика применяется для проверки уровня влажности в изоляции новых трансформаторов после процесса высушивания.

## Как это работает?

Основная масса целлюлозной изоляции в активной части силового трансформатора расположена между первичной и вторичной обмотками. Для оценки состояния этой изоляции выход прибора подключается к высоковольтной обмотке, а вход — к низковольтной. Нежелательные токи (емкостной и активный) отводятся на бак трансформатора и не создают помех.

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

На предельно низких частотах собирается информация о влажности твердой изоляции, а на средних частотах («склон» кривой) можно получить данные о проводимости изоляционной жидкости. Затем программное обеспечение сравнивает фактическую кривую с типовыми графиками и рассчитывает содержание влаги в целлюлозной изоляции.



По результатам анализа диэлектрического частотного отклика DIRANA определяет содержание влаги в бумажно-масляной изоляции силовых трансформаторов, а также оценивает состояние высоковольтных вводов.

## Полезная информация

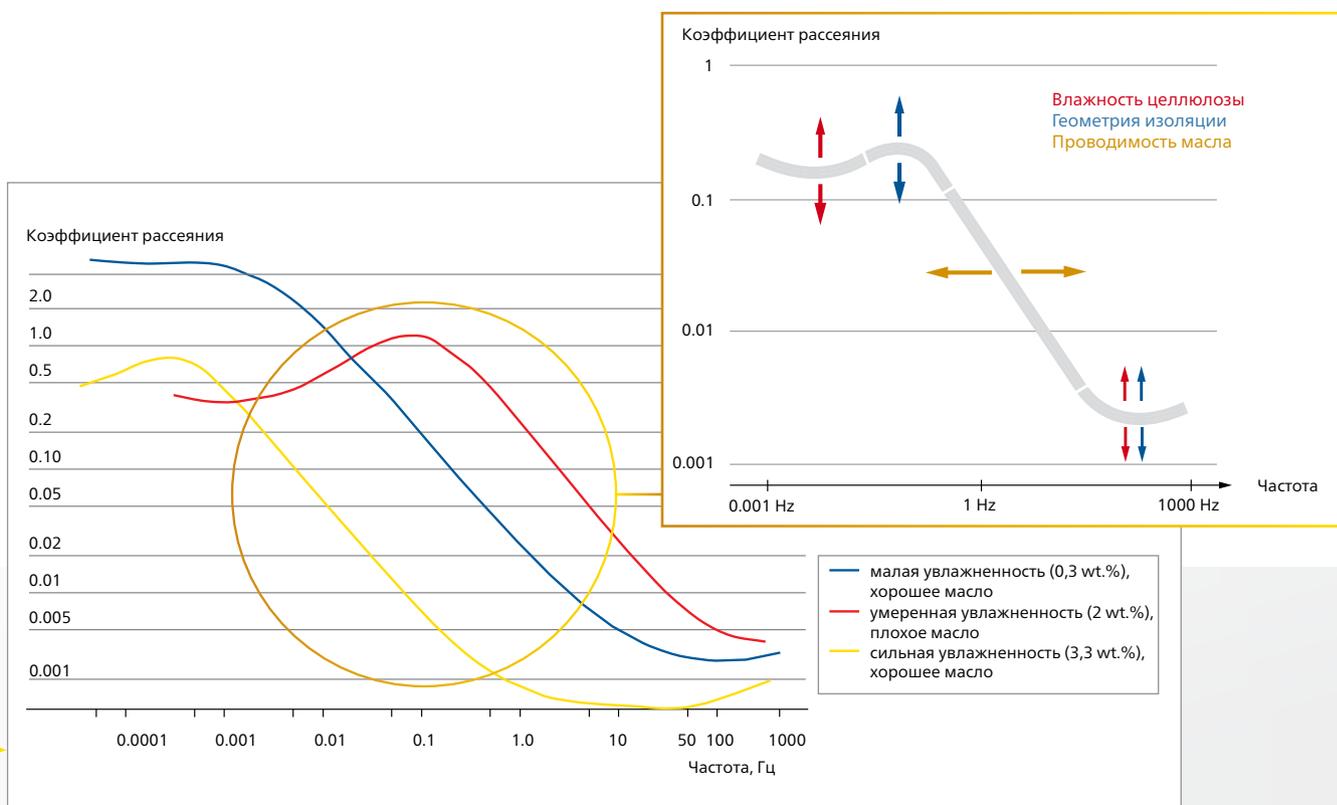
Этот метод одобрен международной организацией CIGRÉ. Других столь же точных неинвазивных методов оценки уровня влаги в трансформаторе не существует.

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.

Оценка результатов выполняется в соответствии со стандартом IEC 60422, в котором уровням влажности назначены категории.

## Почему DIRANA

- > Надежное определение уровня влажности в силовых трансформаторах и высоковольтных вводах с бумажно-масляной изоляцией (OIP)
- > Сочетание нескольких методов измерения (FDS и PDC+) позволяет значительно сократить длительность испытания
- > Широкий частотный диапазон (от 10 мкГц до 5 кГц)



# Анализ трансформатора тока

## Что можно протестировать?

- Высоковольтные вводы
- ✓ ТТ
- Выводы
- Переключатель ответвлений
- Изоляция
- Обмотки
- Сердечник

## Зачем нужны измерения?

Производители силовых трансформаторов испытывают проходные ТТ в ходе окончательных приемо-сдаточных испытаний, а операторы подстанций — во время ввода оборудования в эксплуатацию. Таким образом, проверяется способность ТТ правильно передавать сигналы в систему РЗА подстанции.

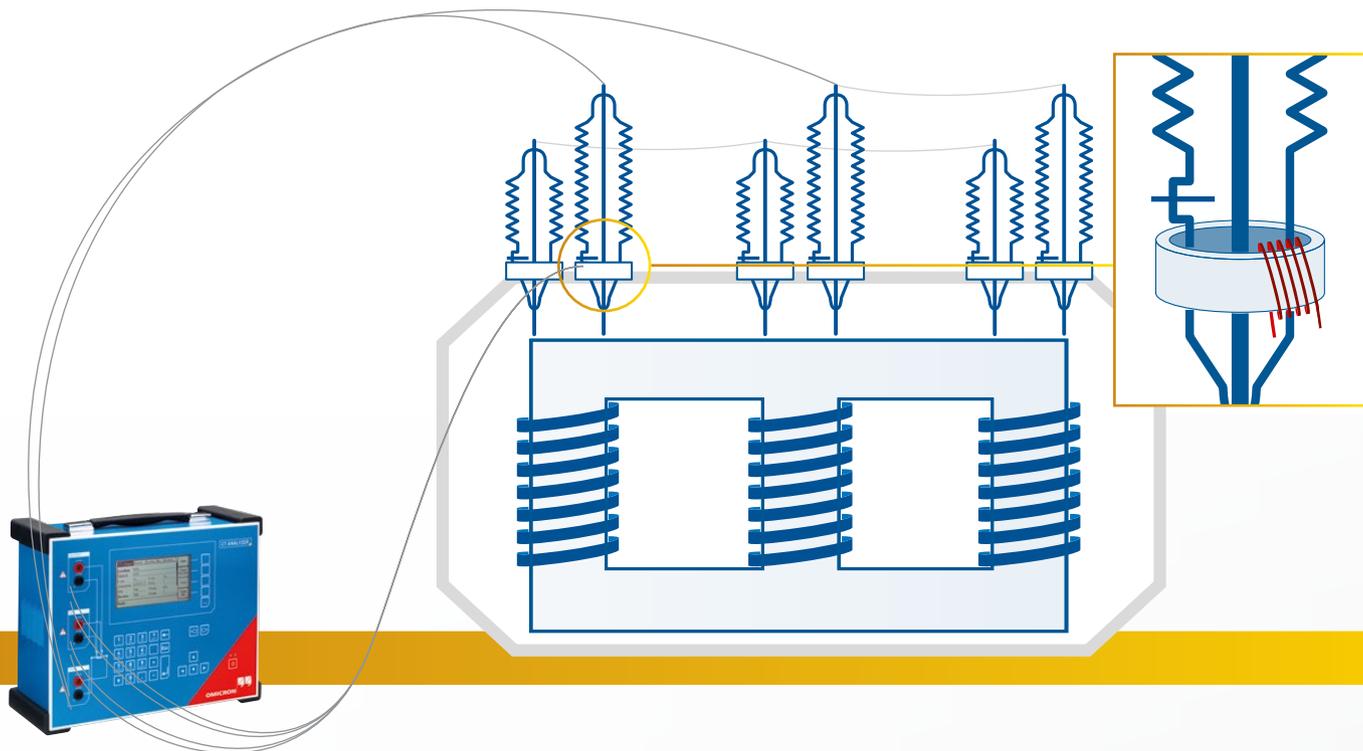
Ошибочные сигналы приводят к неправильному функционированию защитной системы, что, в конечном итоге, может повлечь повреждение оборудования. В ходе испытания проверяются следующие параметры: погрешность ТТ, включая погрешность коэффициента ТТ и угловую погрешность, погрешность при разных нагрузках, сопротивление обмотки ТТ, характеристики намагничивания ТТ, предельная кратность тока (ALF) и коэффициент безопасности (FS).

Все испытания выполняются в соответствии со следующими стандартами: IEC 60044-6, IEC 60044-1, IEC 61869-2, IEEE C57.13

## Как это работает?

Каждую фазу следует проверять отдельно, остальные фазы нужно замкнуть накоротко. Напряжение подается на вторичные обмотки. Вследствие этого создается магнитное поле и плотный магнитный поток в сердечнике ТТ. Степень погрешности ТТ вычисляется с учетом нагрузки и данных модели ТТ (эквивалентной схемы), параметры которых уже заданы.

Это испытание проводится только один раз, и источник высокого тока для этого не требуется, даже если в дальнейшем ТТ будут оценивать с использованием других нагрузок и первичных токов. Выполняется точное измерение значений всех соответствующих параметров ТТ с учетом нагрузки и характеристики намагничивания.



Диагностические испытания проходных ТТ выполняет CT Analyzer.

## Полезная информация

Циклы и показатели для диагностических испытаний проходных ТТ описаны в соответствующих стандартах и в руководствах по вводу в эксплуатацию ТТ.

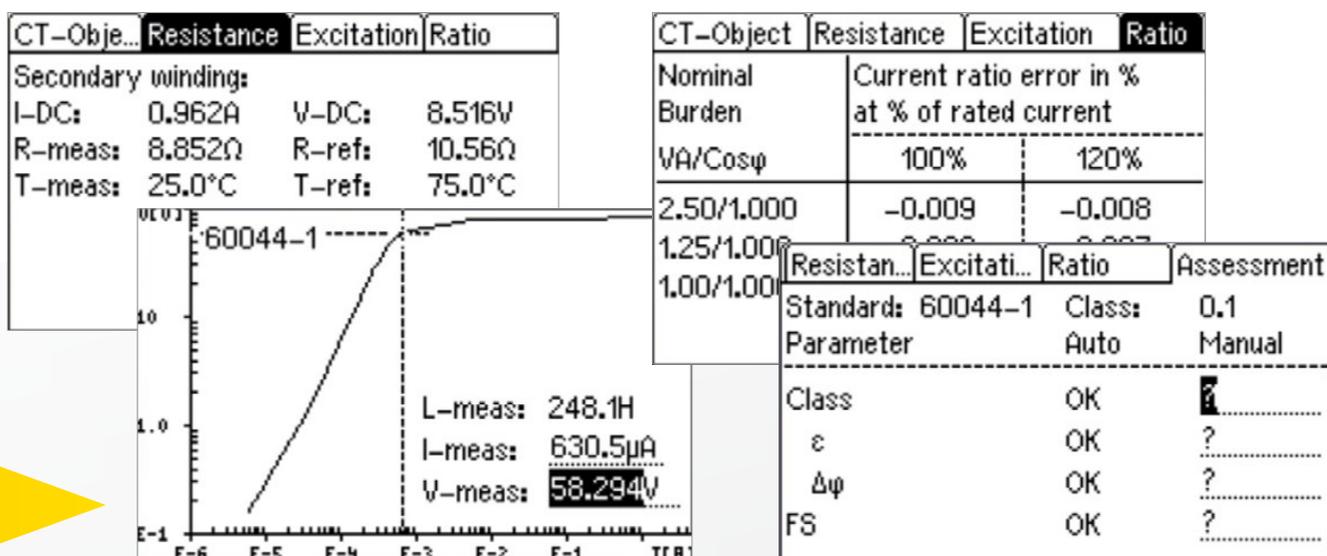
Погрешность ТТ определяется для разных методов соединения обмоток трансформатора. Корректность полярности ТТ и его обмотки определяется проверкой полярности. Вычисляются кривая возбуждения и точки перегиба. Измеряется остаточная намагниченность, а затем ТТ размагничивается, чтобы избежать сбоев в работе системы РЗА.

Чем больше импеданс нагрузки, тем быстрее достигается насыщение. Насыщение сердечника происходит в тот момент, когда намагниченность больше не повышается, а сила внешнего магнитного поля продолжает возрастать. Вследствие этого резко снижаются показатели качества работы ТТ.

Из-за наличия импеданса обмотки трансформатора при измерении Ктт встроенных ТТ используется метод подачи напряжения, а не тока. При этом на вторичные обмотки ТТ подается испытательное напряжение, а на высоковольтных вводах трансформатора выполняется измерение напряжения. Такое испытание также можно произвести при помощи СРС 100 для проверки коэффициента, полярности и класса защитного ТТ.

## Почему CT Analyzer

- > Автоматическое размагничивание ТТ позволяет избежать нарушения работы системы РЗА
- > Автоматическое создание протоколов испытаний в соответствии со стандартами
- > Метод подачи вторичного напряжения, единственный возможный способ испытания проходных ТТ, встроенных в силовые трансформаторы
- > Исключительная точность (в среднем 0,02 %) измерений ТТ класса точности до 0,1
- > Компактность и небольшой вес (< 8 кг)



Разные тестовые карты позволяют проверить и оценить соответствующие параметры ТТ (Ктт, сопротивление и класс защиты).

# Анализ частичных разрядов

## Что можно протестировать?

- ✓ Высоковольтные вводы
- ТТ
- Выводы
- Переключатель ответвлений
- ✓ Изоляция
- ✓ Обмотки
- Сердечник

## Зачем нужны измерения?

ЧР могут повредить материалы изоляции в высоковольтных вводах и обмотках силовых трансформаторов. Это может стать причиной выхода их из строя и привести к затратному простоям оборудования.

ЧР в высоковольтных вводах и обмотках силовых трансформаторов возникают при старении, загрязнении или пробое материала изоляции между компонентами с разными электрическими потенциалами.

Измерение ЧР является надежным неинвазивным методом диагностики состояния изоляции силового трансформатора. Его можно выполнять как в ходе приемочных испытаний на заводе, так и во время испытаний при запуске оборудования в эксплуатацию и плановой диагностики на участке для выявления критических дефектов и оценки рисков повреждения.

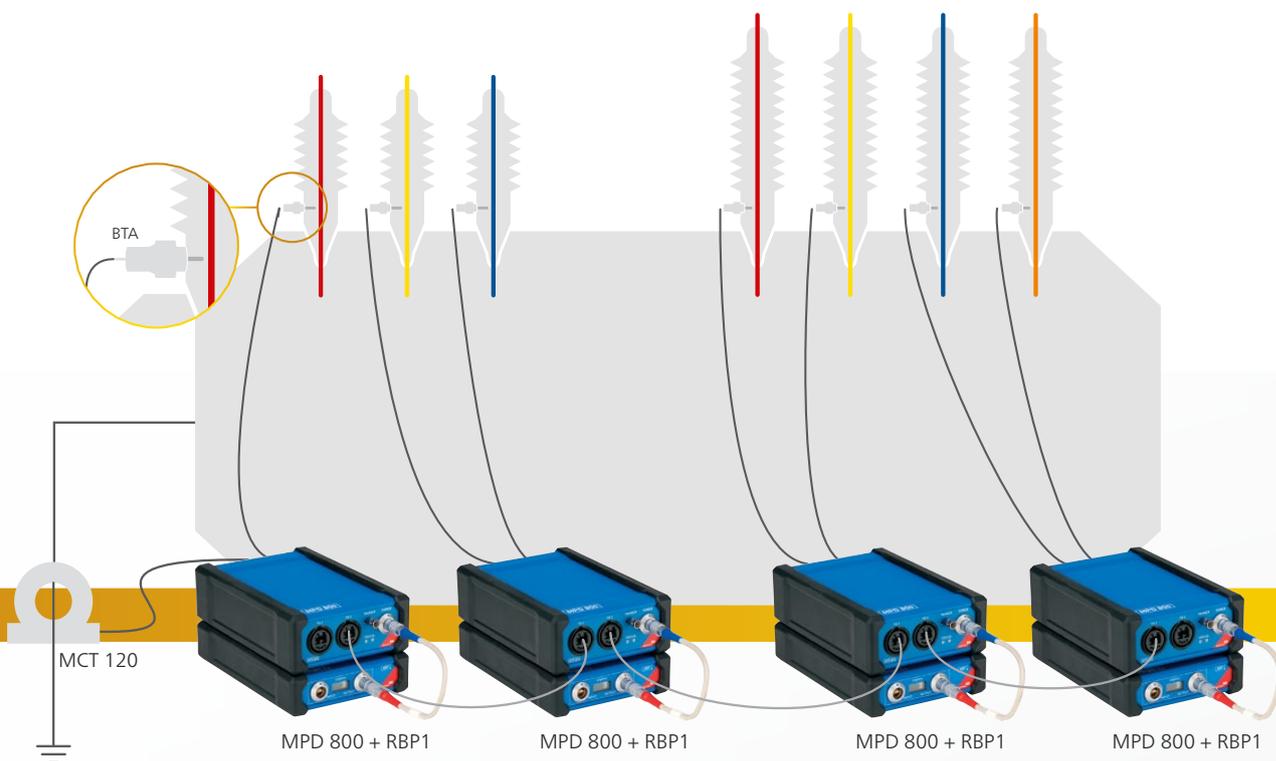
## Как это работает?

Методы измерения и анализа активности ЧР в силовых трансформаторах зависят от типа трансформатора и применяемых стандартов.

В зависимости от типа высоковольтного ввода система анализа ЧР подключается либо к емкостному ответвлению высоковольтного ввода, либо к конденсатору связи. Это позволяет выполнять на трансформаторе электрические измерения ЧР.

ЧР измеряется в мкВ (по стандартам IEEE) или в пКл (по стандарту IEC 60270).

Современные технологии подавления шумов позволяют выполнять измерения при наличии высокого уровня помех.



## Полезная информация

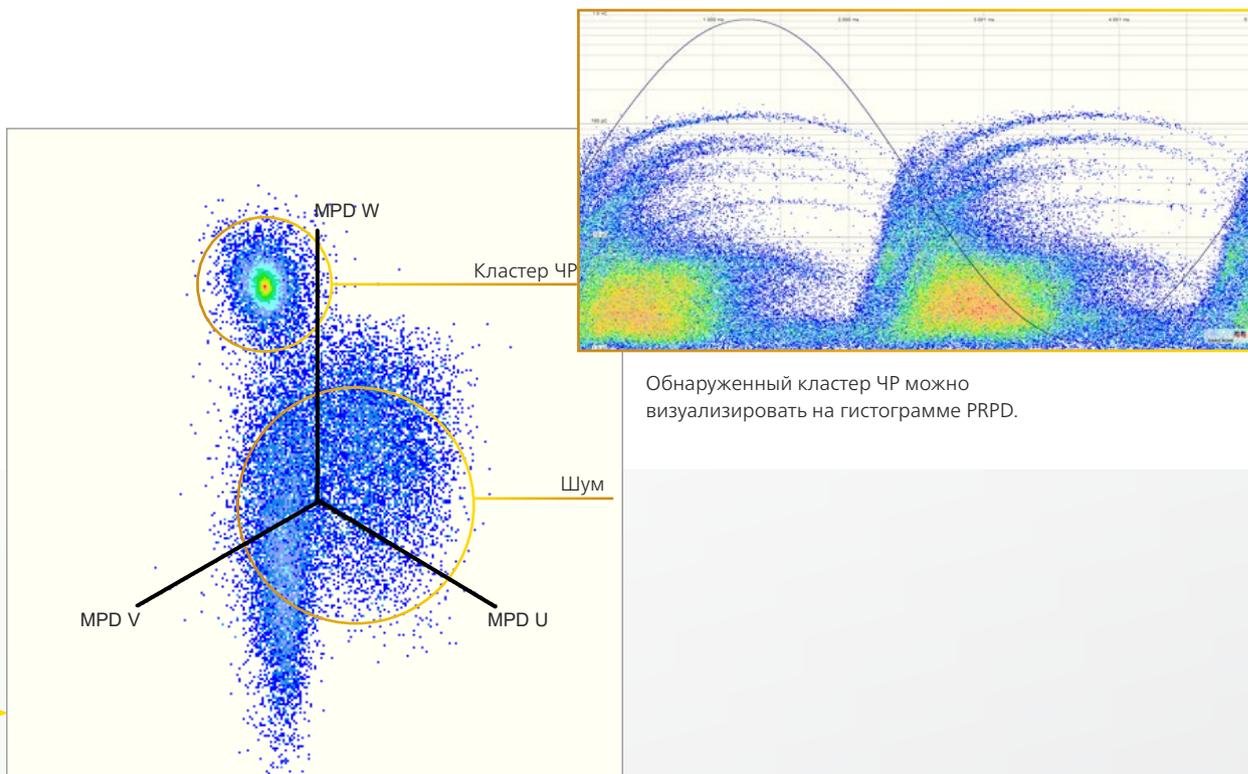
ЧР также можно измерить непосредственно внутри бака трансформаторов с жидкостной изоляцией, воспользовавшись датчиками сверхвысоких частот (СВЧ). Измерения ЧР с помощью СВЧ-датчиков можно использовать как эффективный метод стробирования: импульсы ЧР, измеренные на вводах, учитываются системой только при наличии СВЧ-импульсов внутри бака трансформатора.

После выявления ЧР для точной локализации дефектов трансформатора используются акустические измерения ЧР.

С целью отслеживания факторов риска можно установить систему постоянного мониторинга состояния изоляции высоковольтных вводов и трансформаторов.

## Почему MPD 800

- > Измерения активности частичного разряда в соответствии со стандартом IEC на силовых трансформаторах
- > Гальваническая изоляция с помощью волоконно-оптических кабелей обеспечивает безопасную эксплуатацию
- > Синхронные многоканальные измерения и стробирование ЧР
- > Запись и воспроизведение наборов данных ЧР для последующего анализа
- > Одновременные измерения ЧР ( $Q_{IEC}$ ) и напряжения радиопомех (RIV) для эффективных заводских приемочных испытаний
- > Усовершенствованные методы подавления шумов и разделения нескольких источников для надежного обнаружения ЧР
- > Настраиваемое программное обеспечение позволяет выбирать только необходимые инструменты анализа ЧР



Обнаруженный кластер ЧР можно визуализировать на гистограмме PRPD.

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

# Локализация частичного разряда

## Что можно протестировать?

Высоковольтные вводы

ТТ

Выводы

Переключатель ответвлений

✓ Изоляция

✓ Обмотки

Сердечник

## Зачем нужны измерения?

Частичные разряды (PD) могут привести к необратимому повреждению изоляции силового трансформатора задолго до ее естественного износа. Даже если анализ и мониторинг позволили обнаружить дефекты изоляции, чрезвычайно важно точно определить место ее повреждения в трансформаторе.

Для этого используется акустический метод измерения активности ЧР, который с высокой точностью выявляет ослабленные или поврежденные участки изоляции. После точного определения таких мест можно запланировать и провести ремонтные работы, которые помогут избежать повреждения трансформатора.

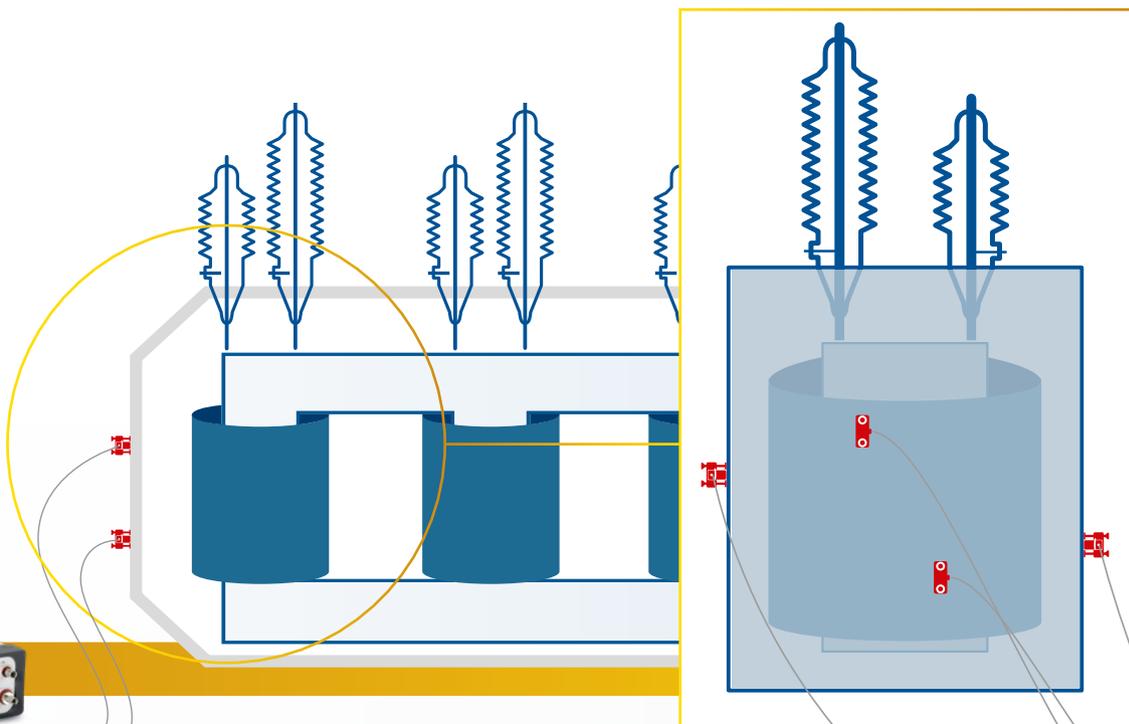
Акустический метод используется после того, как во время заводских приемо-сдаточных испытаний обнаруживается активность ЧР, и является неотъемлемой составляющей диагностических измерений при обслуживании силового трансформатора на участке его эксплуатации.

## Как это работает?

К поверхности бака силового трансформатора при помощи магнитов крепятся несколько акустических датчиков. Каждый из них засекает время распространения акустического сигнала от источника частичных разрядов к стенке бака. Затем производится расчет на основе разницы по времени, расположения датчика и времени распространения сигнала, а также одновременного сравнения результатов, полученных от разных датчиков.

Таким образом с высокой точностью можно обнаружить место дефекта. В стандарте IEEE C57.127-2007 описан типичный процесс акустического метода измерения.

Устройство PDL 650 присоединяется к силовому трансформатору при помощи четырех акустических датчиков.



Акустические датчики распределяются по стенке трансформатора с целью определения места возможного дефекта.

## Полезная информация

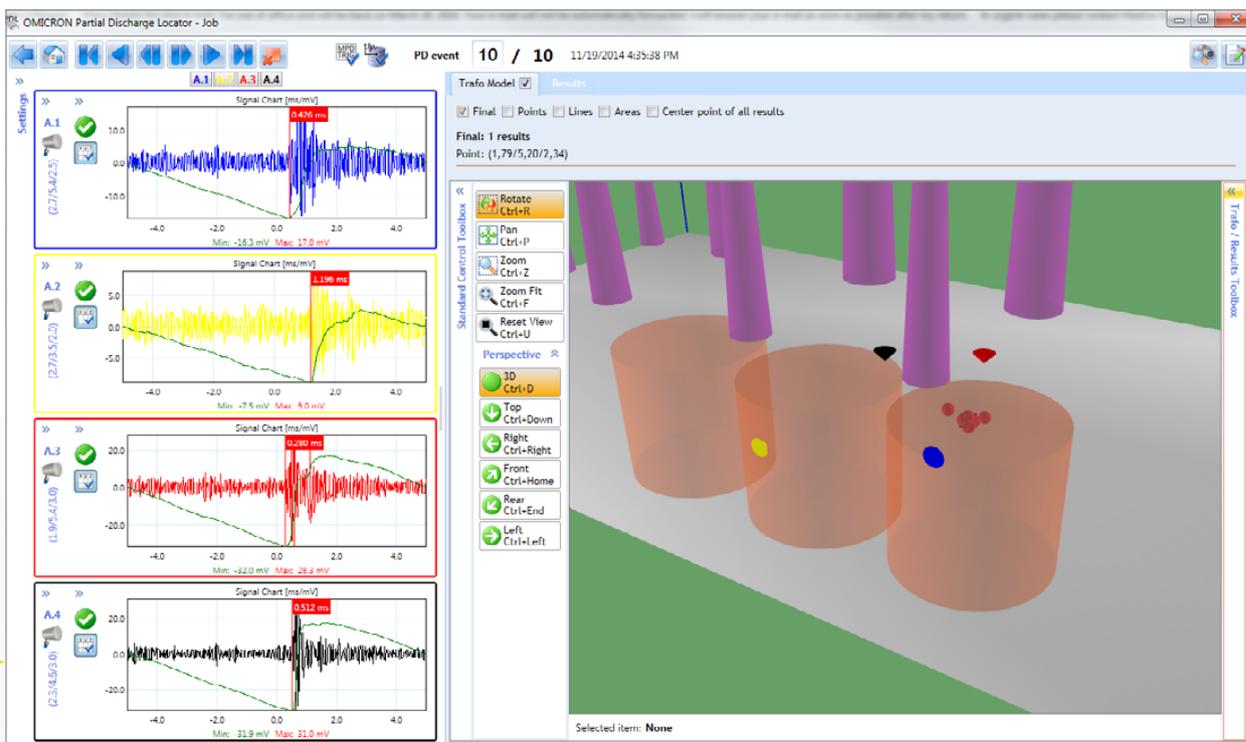
Анализ растворенных в газы (DGA) может определить наличие ЧР, но не место их повышенной активности в силовом трансформаторе. Акустические измерения ЧР выполняются тогда, когда результаты анализа растворенных в газы свидетельствуют об активности ЧР.

Электрические и СВЧ измерения ЧР можно использовать в качестве стробирующих при акустических измерениях. Благодаря этому обеспечивается надлежащая точность локализации ЧР в средах с высоким уровнем помех.

Акустические измерения ЧР проводятся на работающем силовом трансформаторе. Таким образом, не требуется отключать устройство для полного обслуживания.

## Почему PDL 650

- > Легкая компактная конструкция, облегчающая транспортировку и установку на месте
- > Безопасность благодаря гальванической развязке оператора от высокого напряжения
- > Трехмерное визуальное представление, позволяющее оператору четко рассмотреть расположение дефектных участков внутри трансформатора
- > Использование электрического стробирования (MPD 600 и СВЧ-датчики) обеспечивает оптимальную локализацию ЧР в средах с высоким уровнем помех.



На трехмерной модели трансформатора отображается точное расположение ЧР.

# Измерение и кратковременный мониторинг частичных разрядов

## Что можно протестировать?

- ✓ Высоковольтные вводы
- ТТ
- Выводы
- Переключатель ответвлений
- ✓ Изоляция
- ✓ Обмотки
- Сердечник

## Зачем нужны измерения?

ЧЧР разрушают материалы изоляции высоковольтных вводов и обмоток силовых трансформаторов. Это может привести к пробое изоляции и затратному простоям оборудования. ЧР появляются во вводах и обмотках трансформаторов при старении, загрязнении или повреждении материала изоляции между частями с разными электрическими потенциалами.

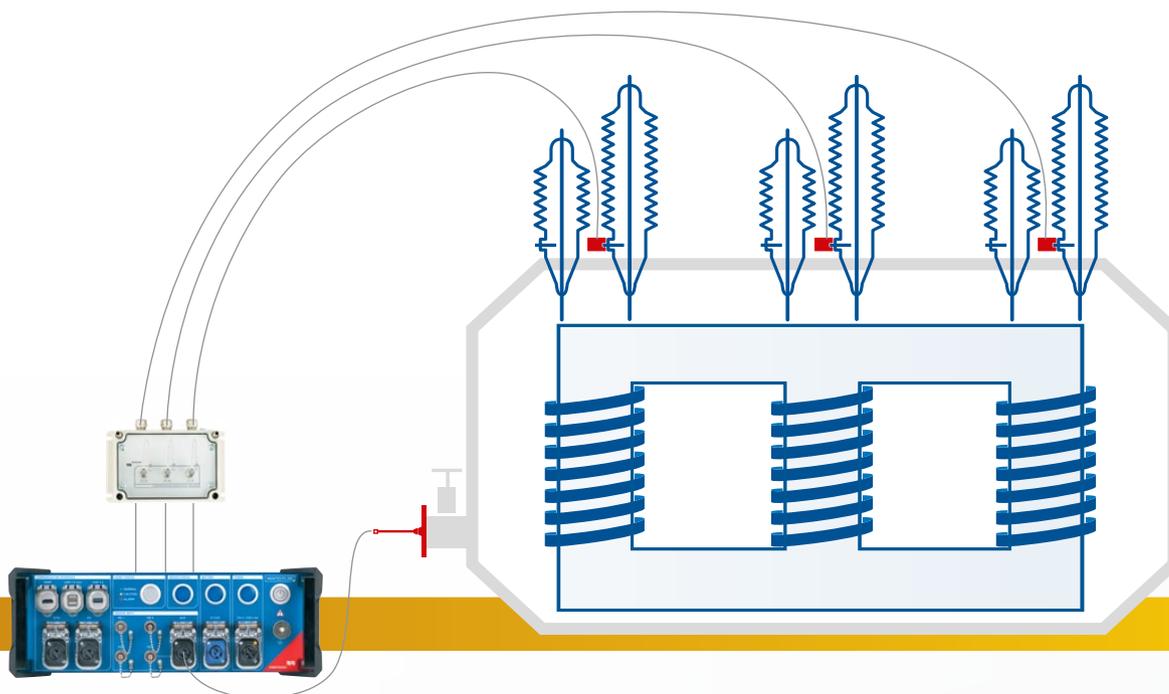
Онлайн измерения ЧР позволяют оценить активность ЧР и получить сведения о состоянии изоляции силового трансформатора в работе. Временный онлайн мониторинг ЧР регистрирует наличие изменений в активности ЧР в течение конкретных периодов времени срока службы силового трансформатора и условий работы.

Данные, собранные при онлайн измерениях и мониторинге ЧР, позволяют инженерам выявить потенциальный риск отказа трансформатора. Такая важная информация, полученная на основании данных о состоянии, помогает оптимизировать обслуживание и планирование инвестиций.

## Как это работает?

Комбинируемую систему онлайн измерений и временного мониторинга частичных разрядов можно легко подключить к датчикам на высоковольтных вводах с помощью клеммной коробки. Таким образом, удобное и безопасное подключение возможно даже без отключения силового трансформатора. Оператор может выполнять измерение ЧР в любое время, при любых эксплуатационных условиях.

Активность ЧР измеряется в диапазоне УВЧ одновременно на измерительных ответвлениях вводов трех фаз и внутри бака трансформатора. Усовершенствованные средства диагностики, такие как ZPARD (трехфазная диаграмма зависимости амплитуд), используются для разделения источников шума и нескольких источников ЧР для обеспечения надежной интерпретации.



MONTTESTO 200 можно легко подключить к стационарным датчикам ЧР с помощью клеммной коробки. Таким образом, удобное и безопасное подключение возможно даже без отключения силового трансформатора.

# на работающем оборудовании

## Полезная информация

Активность ЧР в вводах и обмотках лучше всего выявляется при мониторинге ЧР в диапазоне УВЧ на измерительных ответвлениях вводов .

Подтвердить диэлектрические показатели можно путем выявления побочных продуктов разрушения изоляции в трансформаторном масле. Для этого рекомендуется выполнять забор масла и лабораторный анализ растворенных газов (DGA) по результатам мониторинга ЧР.

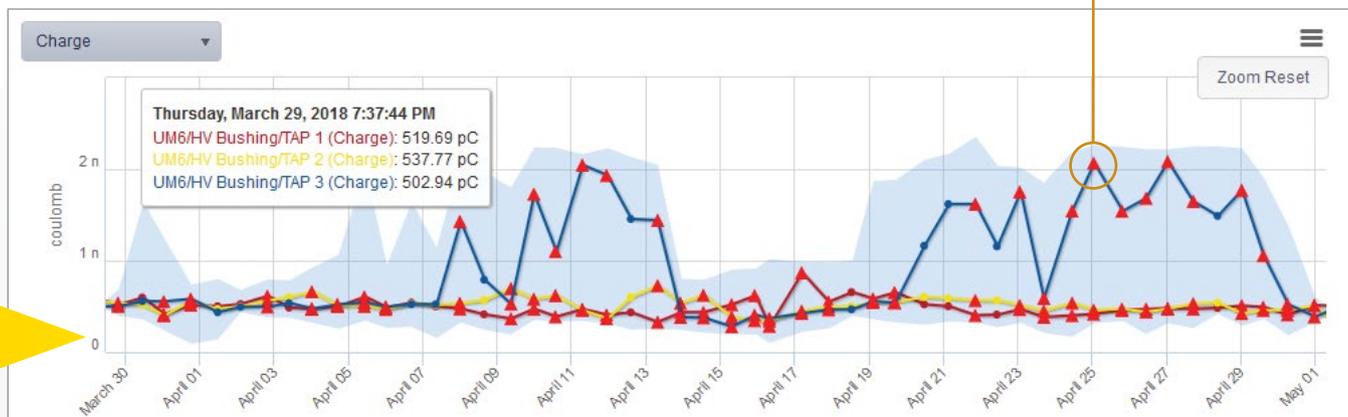
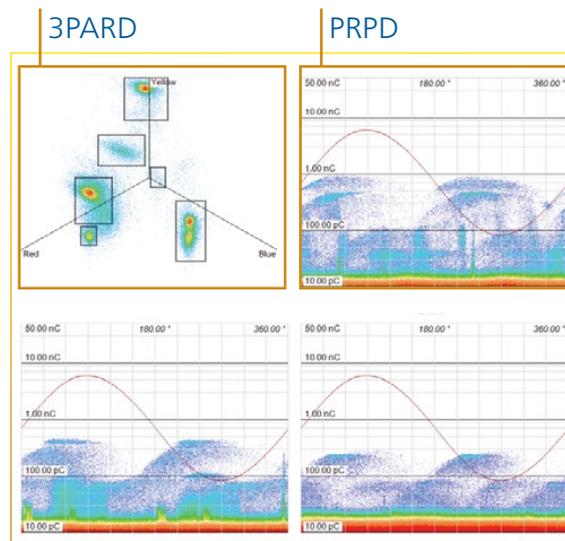
После выявления ЧР для точной и надежной локализации повреждений изоляции в обмотках трансформатора можно выполнять акустические измерения ЧР.

## Почему MONTESTO 200?

- > Система «2 в 1» для измерения и кратковременного мониторинга ЧР на работающем оборудовании
- > Удобство в транспортировке благодаря легкости и компактности
- > Обеспечена возможность применения как в помещении, так и вне его
- > Встроенный компьютер для постоянного сбора и архивирования данных на месте эксплуатации
- > Веб-интерфейс для удобного удаленного доступа к данным
- > Автоматизированные функции программного обеспечения для быстрого анализа и создания отчетов

Event Log - TRAFU UM6		
Confirm All		
Start Date	End Date	Level
8/22/2018 3:14 PM	8/22/2018 3:15 PM	Critical
8/22/2018 3:14 PM	8/22/2018 3:15 PM	Warning
8/22/2018 3:14 PM	8/22/2018 3:15 PM	Warning

Связанные с ЧР события, вызвавшие появление предупреждений или аварийных сигналов, обозначаются в журнале желтым и красным цветом соответственно.



Просмотр графиков тенденций ЧР для каждой фазы или канала. Для просмотра значений ЧР необходимо навести курсор на точки.

# Поддержка, на которую можно положиться

## Мы всегда рады сотрудничеству

Клиенты OMICRON всегда могут воспользоваться преимуществами нашей надежной инфраструктуры и поддержкой квалифицированных специалистов. Тут вас внимательно выслушают и предложат оптимальное решение с учетом всех требований и пожеланий. Мы ориентированы на долгосрочное сотрудничество и хотим, чтобы наше оборудование служило клиентам долгие годы. Поэтому строжайше следим за качеством продукции, охотно делимся знаниями и обеспечиваем уникальный уровень технической поддержки.

Чарльз, Веню и Рене расскажут вам о предоставляемых услугах и преимуществах сотрудничества с компанией OMICRON.



Чарльз Свитсер (Charles Sweetser),  
специалист по внедрению технологий

## Мы создаем надежные и эффективные решения...

...и в этом нам помогает многолетний опыт работы, увлеченность общим делом и инновационный подход.

Более 15 % общего дохода компания инвестирует в исследования и разработки, что гарантирует исключительную надежность наших решений и применение новейших технологий не только сегодня, но и в будущем.

А комплексная стратегия поддержки продуктов – как, например, бесплатные обновления ПО – повышает окупаемость ваших инвестиций в долгосрочной перспективе.





Венью Гуо (Wenyu Guo),  
сотрудник OMICRON Academy



### Мы делимся знаниями...

...и всегда на связи с заказчиками и экспертами отрасли. Например, проводим конференции и разнообразные обучающие мероприятия для клиентов во всех странах мира, а также сотрудничаем с целым рядом комитетов по стандартизации.

Кроме того, много полезной информации выложено в клиентском разделе нашего веб-сайта в виде отчетов об эксплуатации оборудования, специализированных докладов и статей на дискуссионных форумах. Наш учебный центр OMICRON Academy предоставляет широкие возможности для обучения, в том числе, начальное обучение по эксплуатации оборудования и бесплатные учебные вебинары.



Рене Ульмер (René Ulmer),  
специалист службы поддержки



### Мы оказываем своевременную помощь...

...и обеспечиваем непревзойденный уровень поддержки. Наша служба технической поддержки работает круглосуточно и без выходных. Обращайтесь в любое время, чтобы получить квалифицированную консультацию от специалистов, которым действительно важно разобраться в вашей проблеме, – и это совершенно бесплатно. Ремонт и обслуживание в наших центрах выполняются на совесть и без бумажной волокиты.

Мы поможем сократить время простоя, быстро доставив из ближайшего сервисного центра нужные испытательные установки взамен вышедших из строя. Предоставляемый спектр услуг включает все виды консультирования, а также услуги по тестированию и диагностике оборудования энергосистем.

OMICRON — ведущий мировой производитель высокотехнологичного испытательного и диагностического оборудования для предприятий электроэнергетической отрасли. Устройства OMICRON позволяют с высокой точностью оценивать состояние первичного и вторичного оборудования энергосистем. Компания также предлагает услуги в области консалтинга, пусконаладочных работ, проведения испытаний, диагностики и обучения персонала.

Клиенты из более чем 160 стран доверяют опыту компании OMICRON, используя высококачественное передовое оборудование нашего производства. Сервисные центры компании расположены по всему миру, что позволило создать обширную базу знаний и обеспечить всестороннюю поддержку клиентов. Благодаря таким преимуществам, а также развитой дистрибьюторской сети, компания прочно занимает лидирующие позиции в области электроэнергетики.

Более подробную информацию, дополнительную литературу и контактные данные региональных офисов по всему миру можно найти на нашем веб-сайте.

[www.omicronenergy.com](http://www.omicronenergy.com)

© OMICRON L3148, Март 2020.  
Информация может быть изменена без предварительного уведомления.