

# Эволюция испытаний изоляции: от сопротивления изоляции к частотным методам

Денисов Д. П., Меггер

15-я конференция Димрус, 14.02.2018, Пермь

---

**Megger**<sup>®</sup>

# Содержание

- Испытание изоляции DC
- Традиционный  $\text{tg } \delta$  - Принцип и недостатки
- Узкополосная част. характеристика (1 – 500 Гц)
- Индивидуальная температурная коррекция (ИТС)
- [полная] частотная характеристика диэлектрика DFR (0.1 мГц – 1 кГц)
- Мониторинг процесса сушки

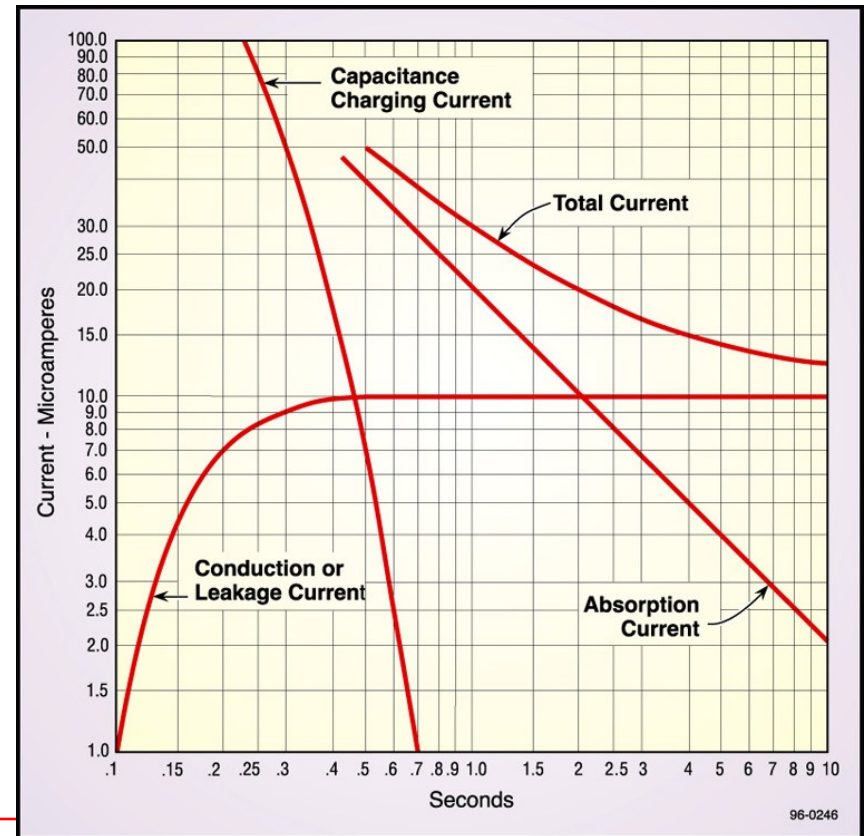
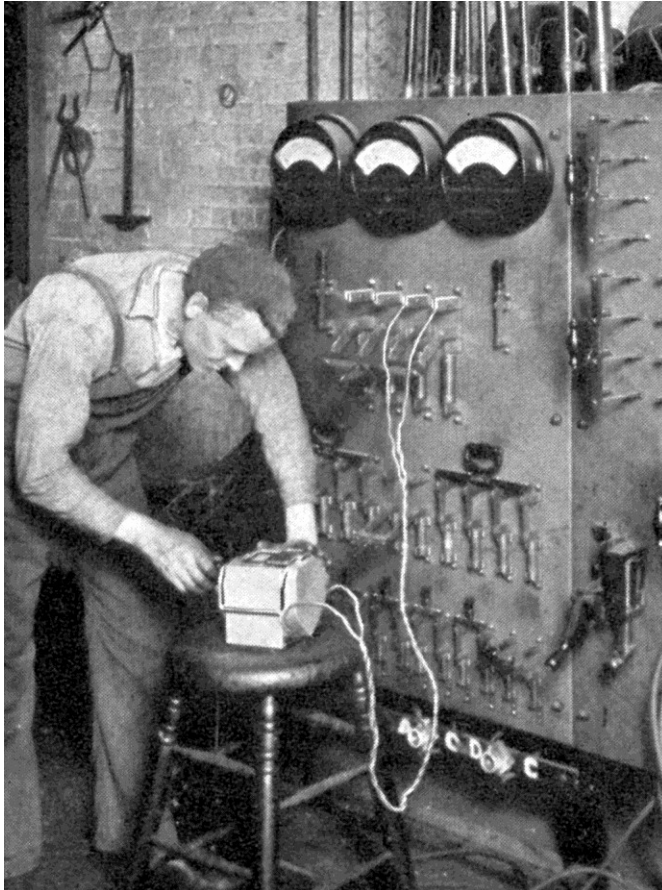
# Введение – Испытание изоляции

Первыми появились приборы для измерения сопротивления изоляции (мегаомметры) в 1885

- Прикладывается DC
- Оценивается проводимость
- Результат немгновенен (поляриз. эффекты)

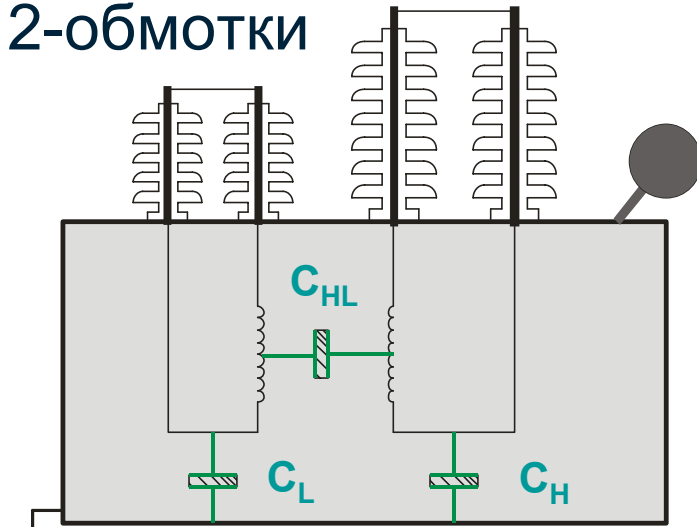


# Диагностика изоляции на постоянном напряжении



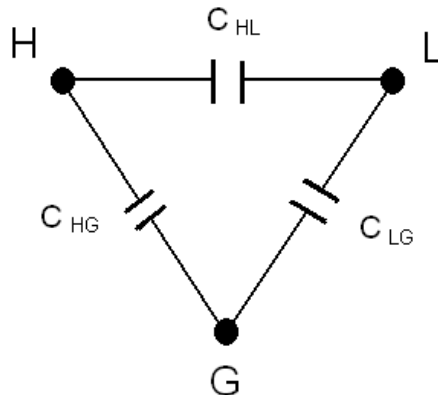
# Испытание по зонам

## ■ 2-обмотки

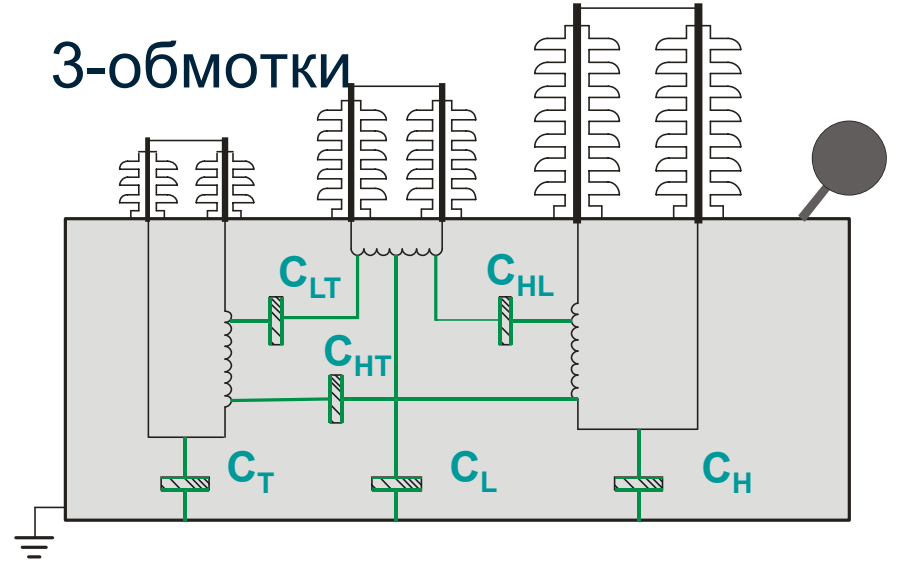


3 изоляц. промежутка

$C_H C_L$   
 $C_{HL}$

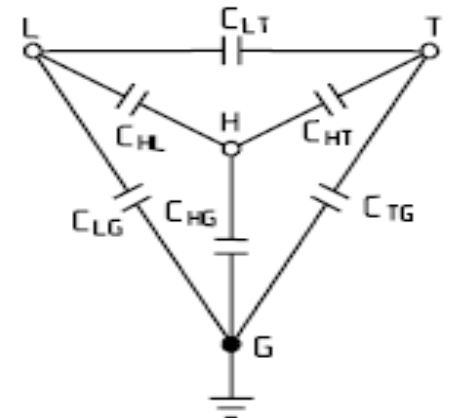


## 3-обмотки



6 изоляц. промежутков

$C_H, C_L, C_T$   
 $C_{HL}, C_{LT}, C_{HT}$

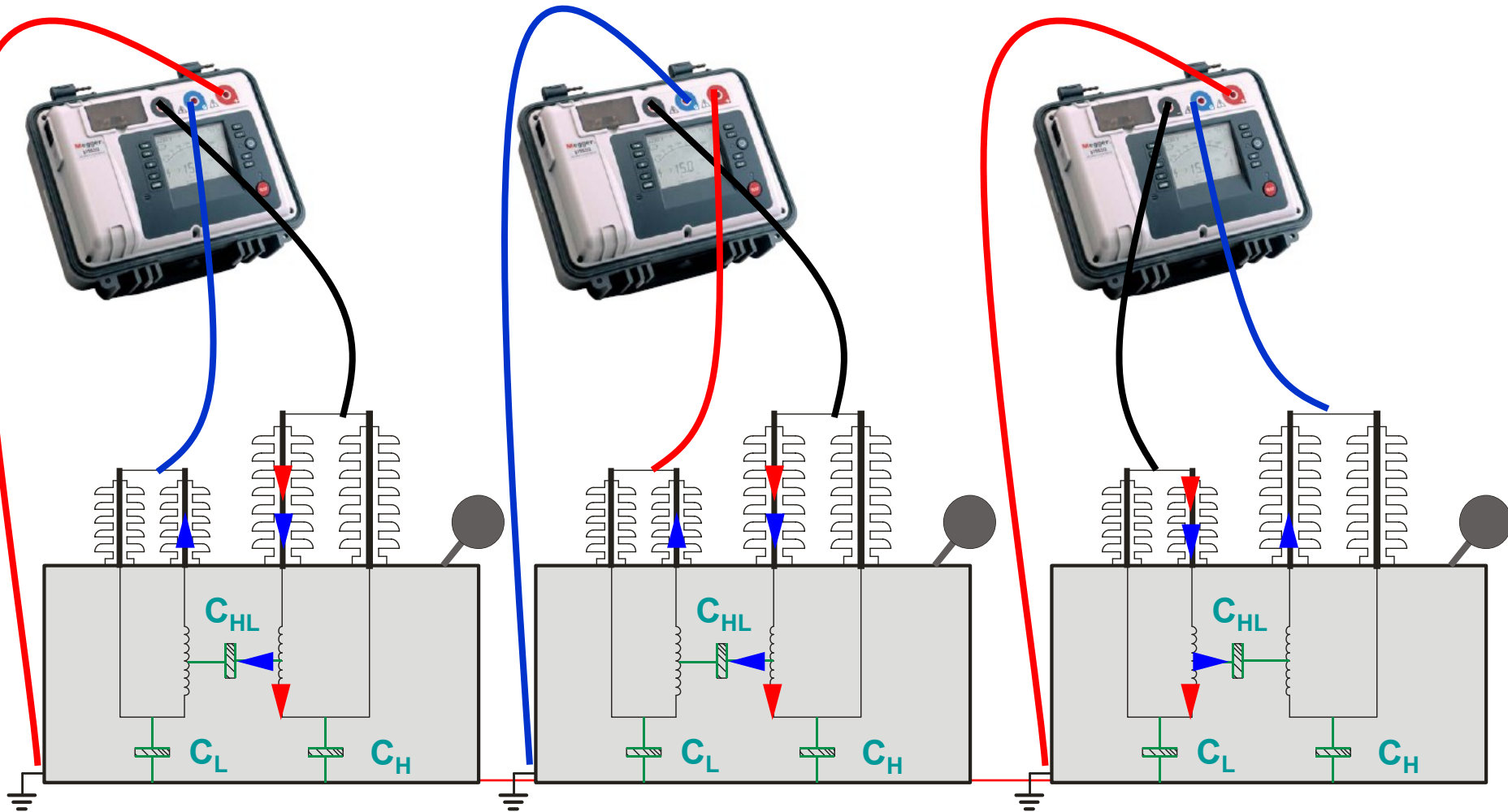


# Измерение сопротивления изоляции DC

■  $C_H$

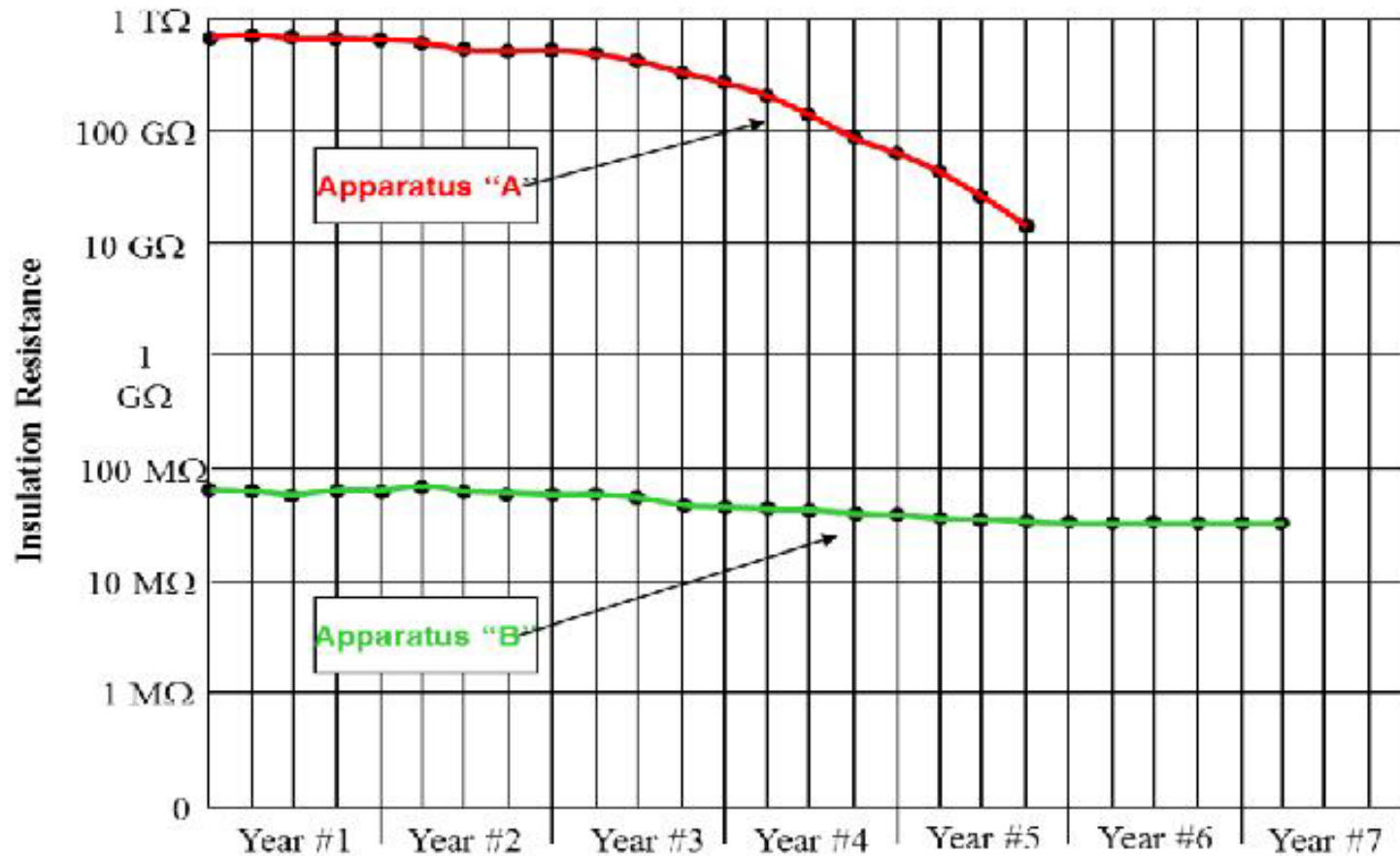
$C_{HL}$

$C_L$



**Megger**<sup>®</sup>

# Оценка результатов с точки зрения динамики



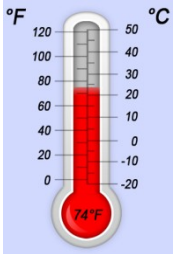
# Сопротивление изоляции DC

## ■ Значения зависят от времени (кривая):



- На начальном отрезке (неск с) прибором регистрируется ток зарядки емкости.
- Минутное значение тока (сопротивления) соответствует комбинации токов поляризации и утечки (проводимости).
- 10 мин показание главным образом указывает на ток проводимости.

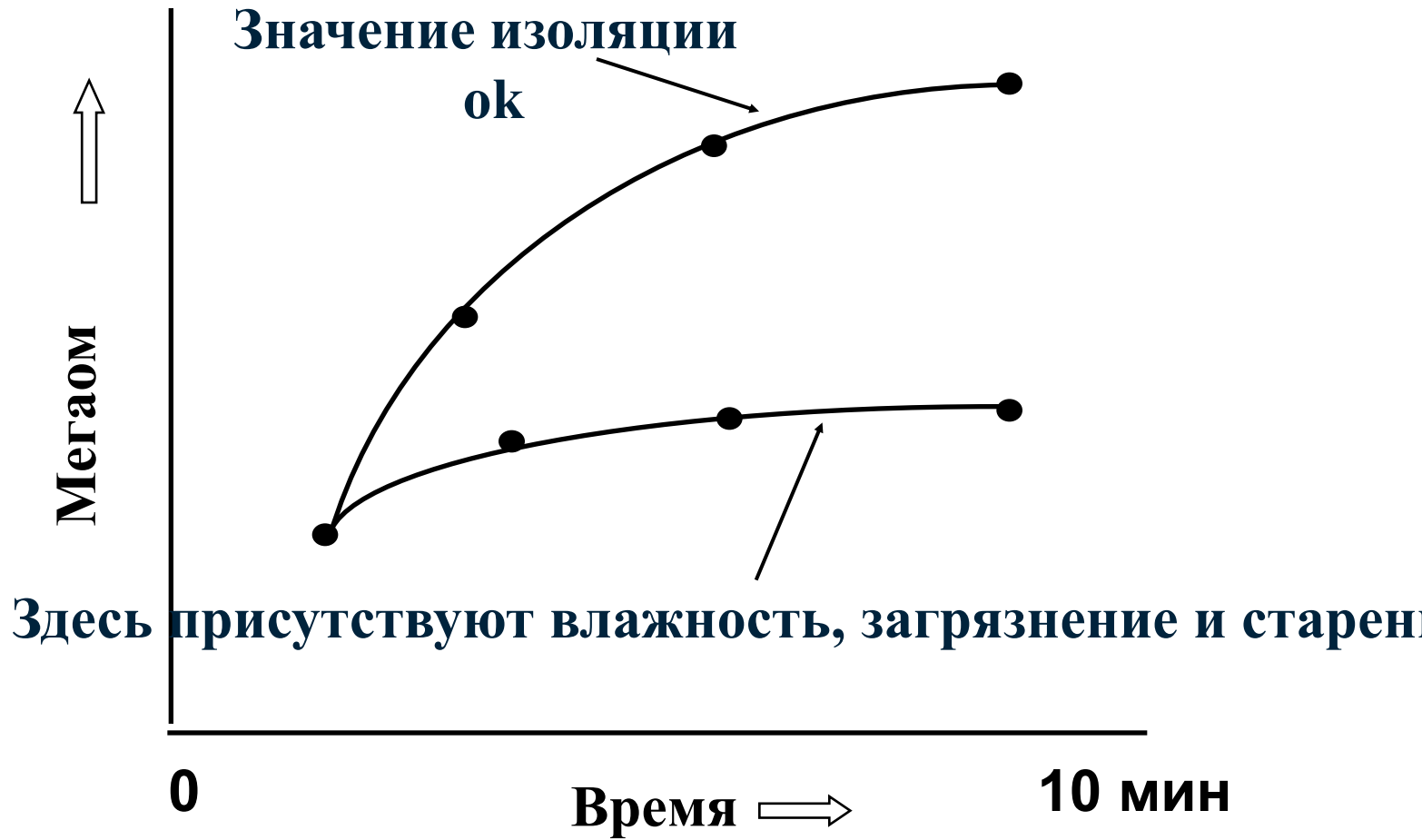
## ■ Значения зависят от температуры



- Приводятся к 20°C
- На каждые 10°C роста темп, сопр. падает в 2раза
- Поправочные коэф. содержатся в методической литературе напр. NETA ATS 2013 . Таб. 100.14 – р.218.



# Коэф. абсорбции



# Недостатки измерений сопр. изоляции DC

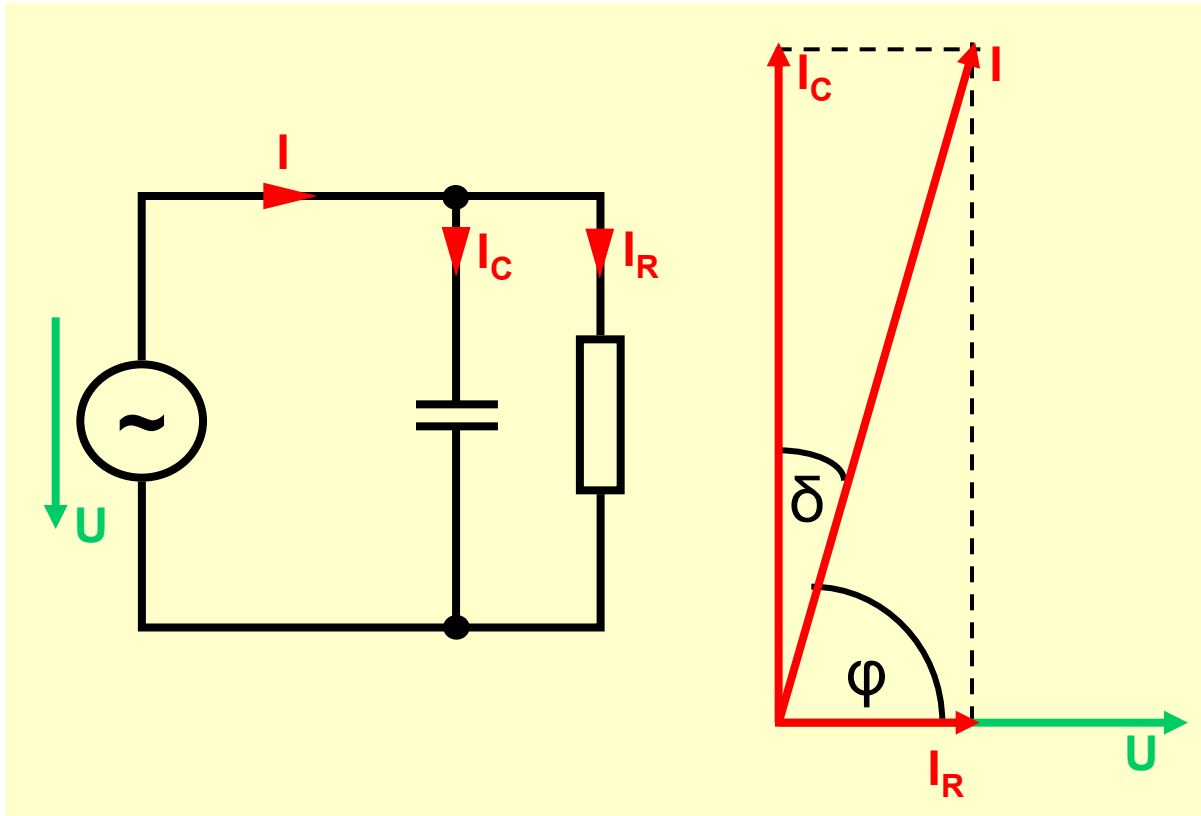
- Неэффективен в поисках локализованных проблем в сложных изоляционных системах (тр-р, вводы)
  - Плохой участок изоляции соединен последовательно с хорошими, тем самым результирующее значение сопр. - хорошее.
  - Участки с ослабленной изоляцией не обнаруживаются

# ТАНГЕНС УГЛА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ

---

**Megger**<sup>®</sup>

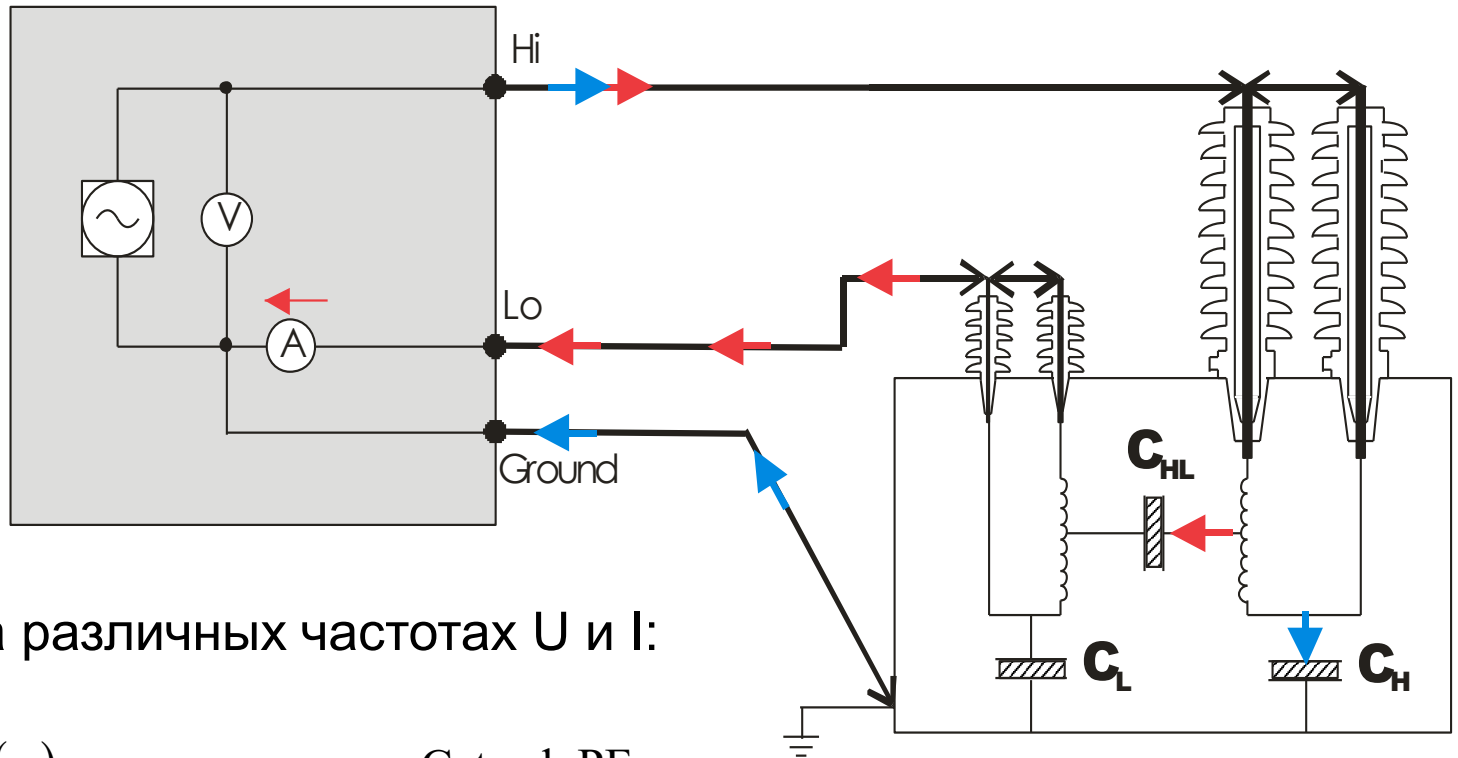
# Традиционный тангенс (АС)



$$\tan \delta = \frac{I_R}{I_C}$$

$$\cos \varphi = \frac{I_R}{I}$$

# Схема измерения $\text{tg } \delta$ и частотных характеристик DFR – Tan Delta из мГц в кГц



Измерение на различных частотах U и I:

$$Z(\omega) = \frac{U(\omega)}{I(\omega)}$$

$$Z(\omega) \Rightarrow C, \text{tan} \delta, \text{PF} \\ (\varepsilon' \text{ and } \varepsilon'')$$

# Оценка tg δ по IEEE 62-1995

	Стандартные значения коэффициента мощности при 20 °C		
	«новый»	“в эксплуатации”	Пороговое значение
Силовые трансформаторы, масляная изоляция	0,2 - 0,4 %	0,5 - 1 %	> 1 %
Вводы	0,2 - 0,3 %	0,3 - 0,5 %	> 0,5 %

# Оценка tg δ по СИГРЕ 445

For measurements on windings, values are normally in the order of 0.5%. A measurement higher than 1% is questionable. For bushings, the following values are given in IEC and IEEE standards:

Typ	RIP	OIP	RBP
Insulation	Resin impregnated paper	Oil impregnated paper	Resin bonded paper
DF tan δ (RT) (IEC 60137)	< 0.7% *	< 0.7% *	< 1.5% *
PF cos φ (RT) IEEE C57.19.01	< 0.85% *	< 0.5% *	< 2% *
Typical new values	0.3-0.4% *	0.2-0.4% *	0.5-0.6% *

\* at 50/60Hz and 20°C

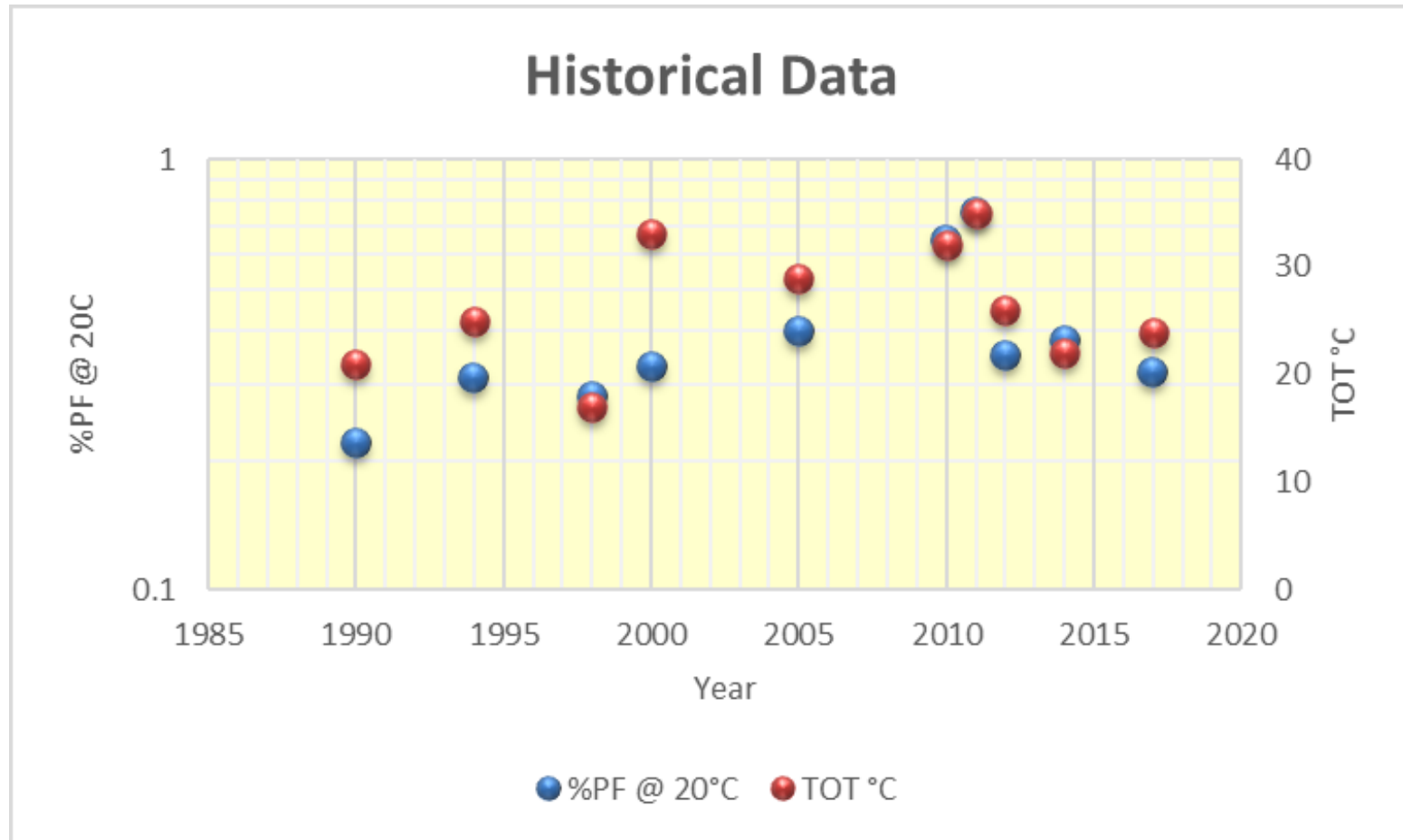
# Оценка tg δ по СТО 34.01-23.1-001-2017 (РФ)

Значения tg δ изоляции обмоток **вновь вводимых** в эксплуатацию трансформаторов и трансформаторов, **прошедших капитальный ремонт**, приведенные в соответствии с рекомендациями [15] к температуре испытаний, при которой определялись исходные значения (пункт 4.5), с учетом влияния tg δ масла **не должны отличаться** от значений, указанных изготовителем **в сторону ухудшения более чем на 50 %**.

Измеренные (при температуре изоляции 20 °С и выше) значения tg δ изоляции обмоток **вновь вводимых** в эксплуатацию трансформаторов и трансформаторов прошедших капитальный ремонт, **не превышающие 1 %** считаются удовлетворительными и их сравнение с исходными данными не требуется.

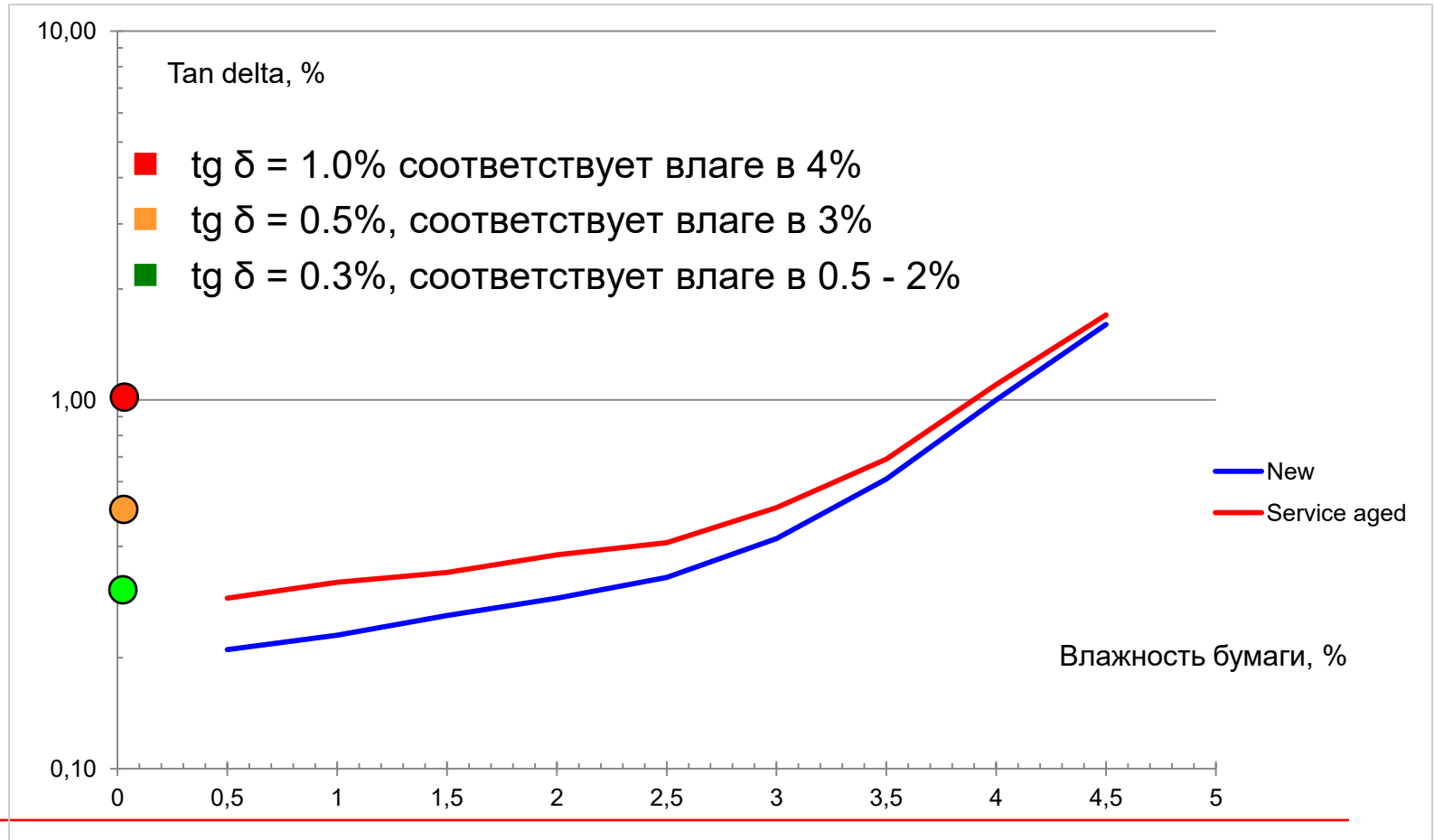
Для трансформаторов, **отработавших** установленные нормативно технической документацией сроки, допускается максимальное значение tgδ изоляции обмоток, измеренного при 20 °С, **не более 1,5 %**.

1. Объем информации – ограничен,
2. Сильная темп. зависимость результатов





# tg $\delta$ (% @ 20C) в зависимости от влажности бумаги (%) для новых и эксплуатировавшихся тр-ров



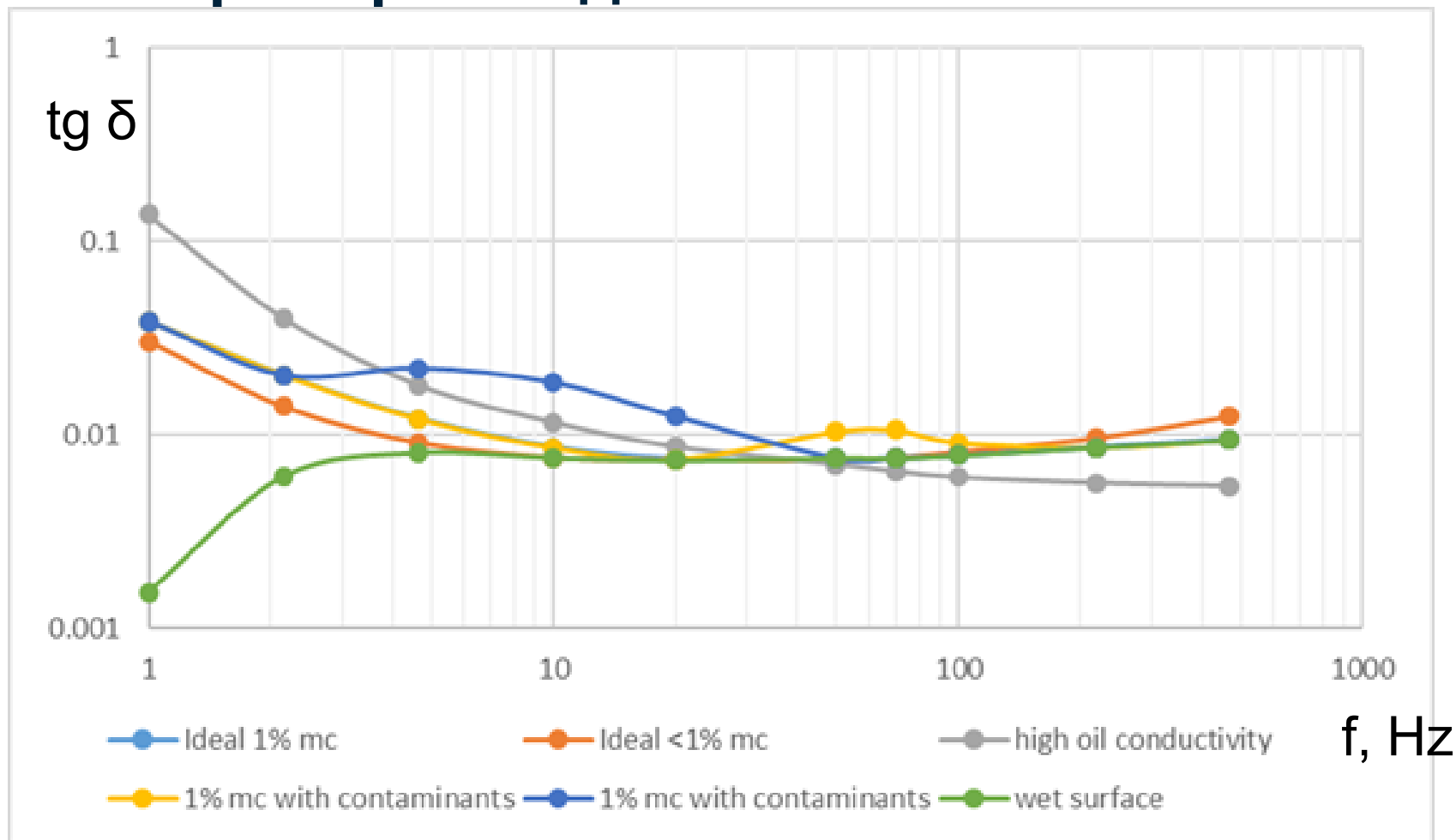
Узкополосная частотная характеристика (1-500 Гц)

# ИЗМЕРЕНИЕ ТАНГЕНСА НА РАЗЛИЧНЫХ ЧАСТОТАХ

---

**Megger**<sup>®</sup>

# Узкополосная частотная хар-ка (1-500 Гц) на примере вводов ОИР



# Узкополосная част. хар-ка

## ■ Преимущества:

- выявление отклонений на ранних стадиях!
- Может быть использована для индивидуальной темп. коррекции  $\text{tg } \delta$
- Измерения в диапазоне от 500 Гц до 1 Гц
- Логарифм. градуировка (детали первой декады 1-10 Гц)
- Низковольтное испытание
- ~ 3 мин

# ИНДИВИДУАЛЬНАЯ ТЕМПЕРАТУРНАЯ КОРРЕКЦИЯ(ITS)

---

**Megger**<sup>®</sup>

# Текущая практика

Методические указания СТО 34.01-23.1-001-2017 определяют минимальную температуру изоляции для проведения испытаний:

- а) 10 °С - у трансформаторов напряжением до 150 кВ включительно;
- б) 20 °С - у трансформаторов напряжением 220-750 кВ;
- в) 60 °С – для всех трансформаторов при выполнении оценки влагосодержания твёрдой изоляции расчётным путём.

Значения, полученные на различных температурах приводятся к исходным условиям (заводских или пусконаладочных испытаний) в соответствии с рекомендациями методических пособий с помощью поправочных коэффициентов

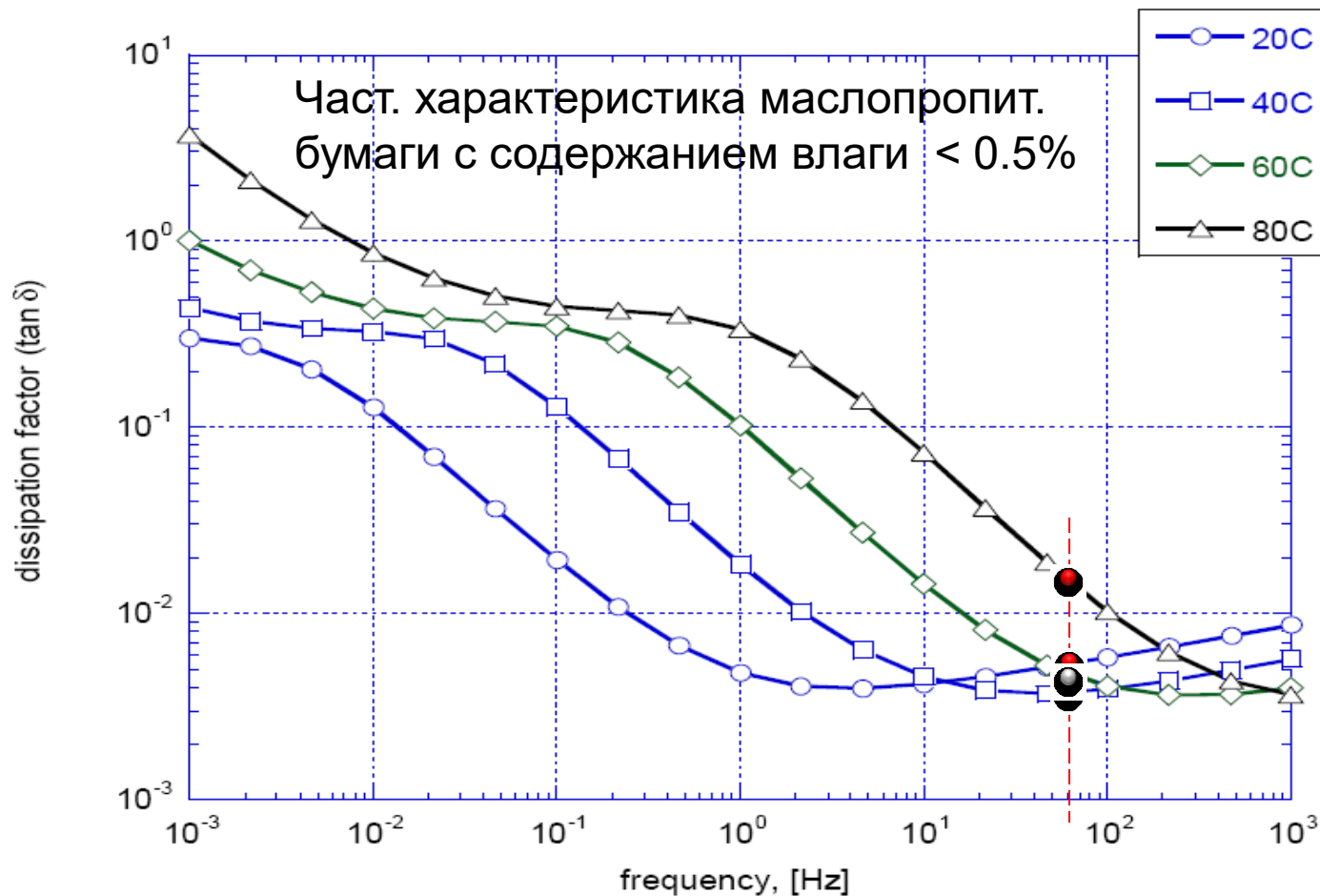
Сравнительный анализ ценой:

- Организационных мероприятий (нагрев)
- Ограничений на измерения в холодное время года

# Зарубежный опыт

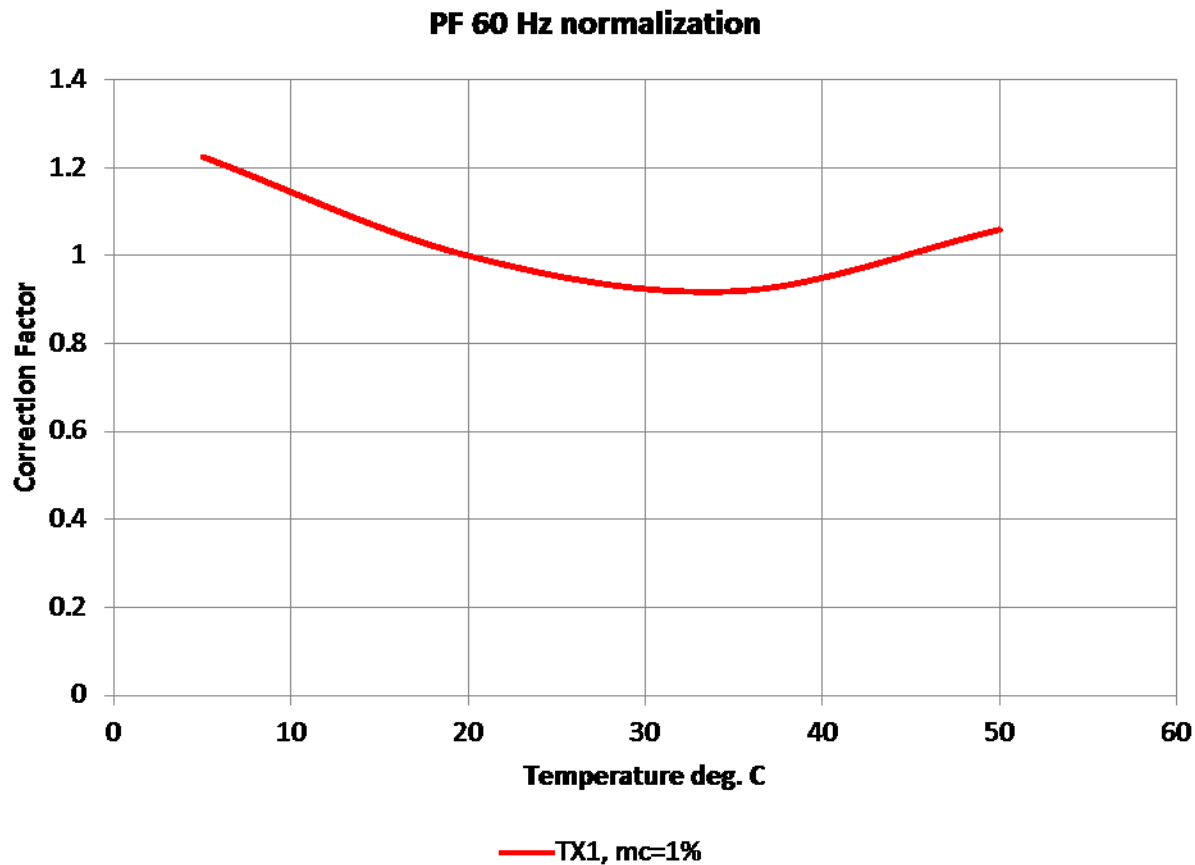
- Значения поправочных коэф. публиковались в IEEE C57.12.90-2006
- Однако, в версии C57.12.90-2010 были удалены со следующим примечанием:
- «Опыт показал, что изменение  $\tan \delta$  при колебаниях температуры является существенным и неустойчивым, при этом, ни одна поправочная кривая не будет являться подходящей для всех возможных частных случаев».

# Индивидуальная темп. коррекция (5-50°C) переход от частотной к темп. характеристике



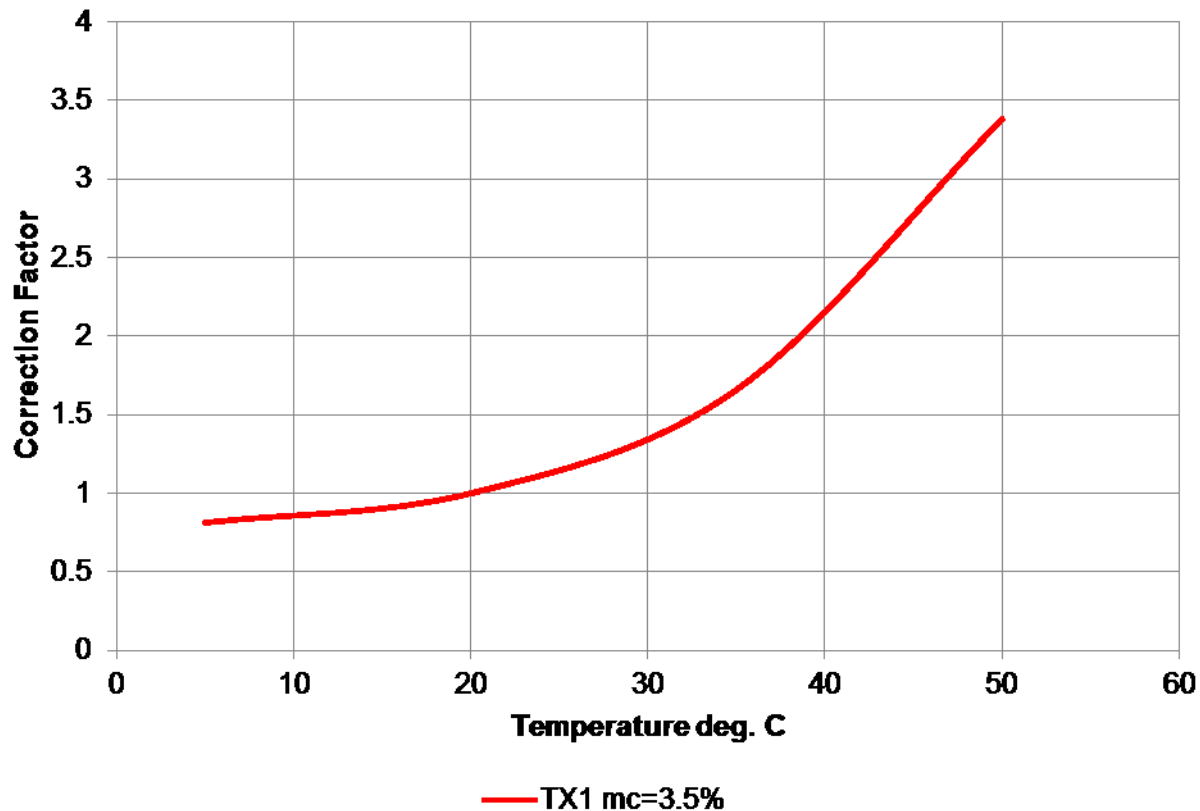


# Поправочные коэф. для образца с 1% влагосодержанием



# Поправочные коэф. для образца с 3.5% влагосодержанием

PF 60 Hz normalization



# **(ПОЛНАЯ) ЧАСТОТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИЭЛЕКТРИКА (DFR)**

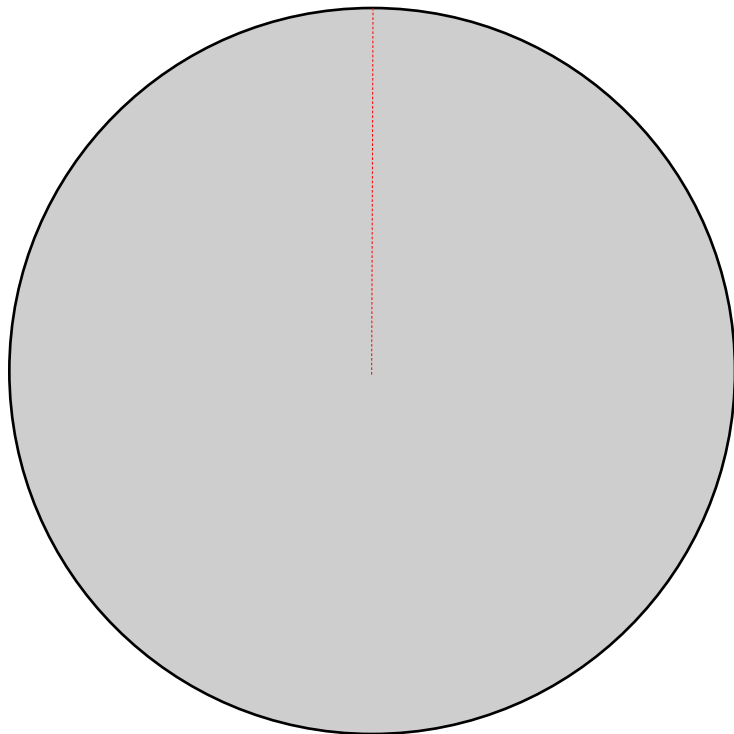
---

**Megger**<sup>®</sup>

# Где сконцентрирована влага?

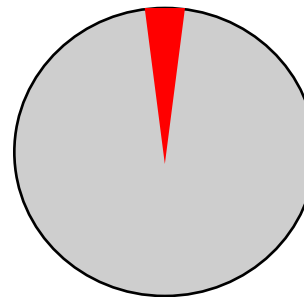
- Изоляция трансформатора состоит из масла и бумаги.
  - 60 тонн масла с содержанием воды 20 ppm = 1.2 литров
  - 10 тонн бумаги, содержащей 3% воды = 300 литров
- 99.9% в бумаге!

**20ppm (частей на миллион) в 60 тоннах масла**



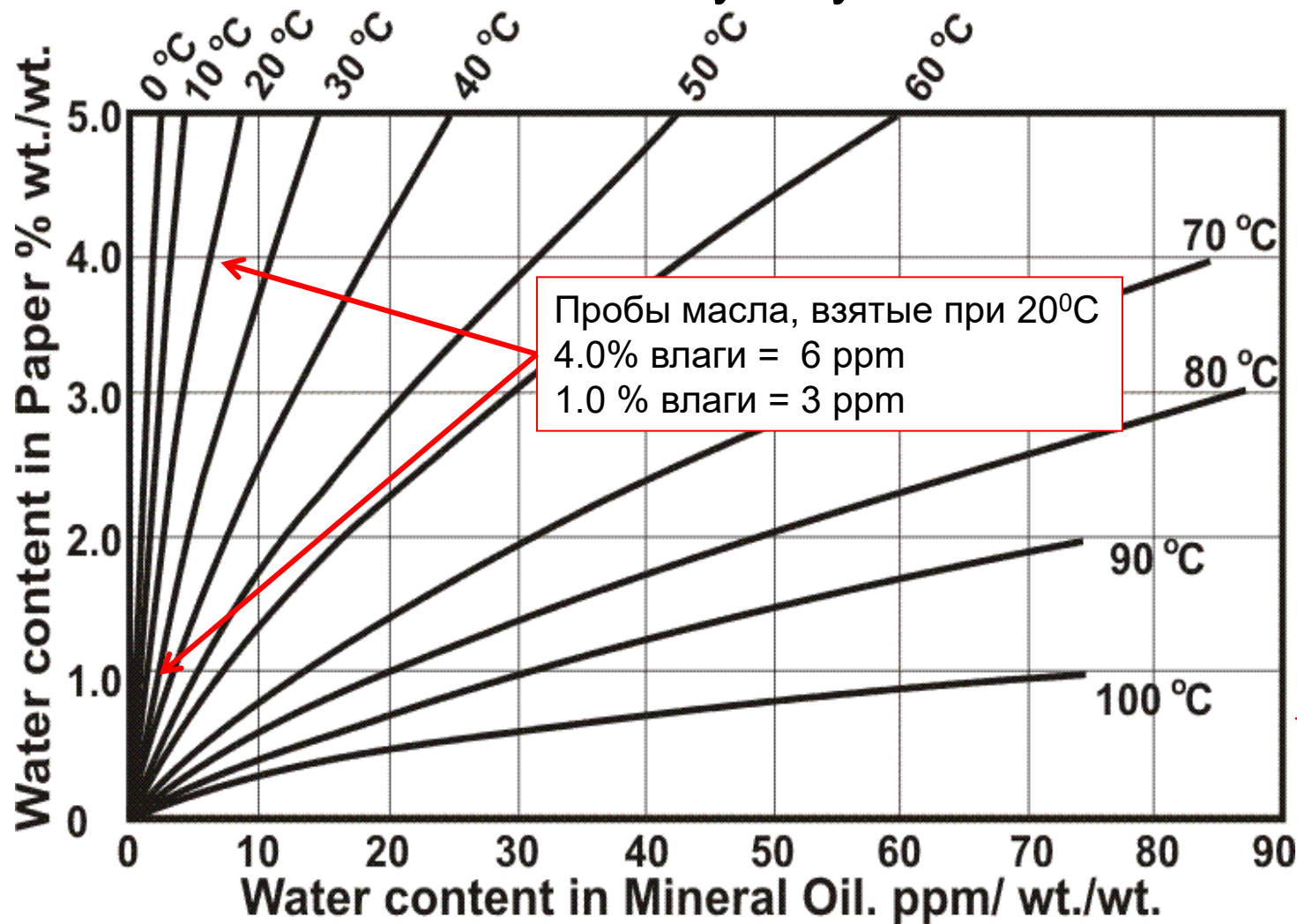
Примерные значения для 300 МВА силового трансформатора при 50 С

**3% влаги в 10 тоннах бумаги**

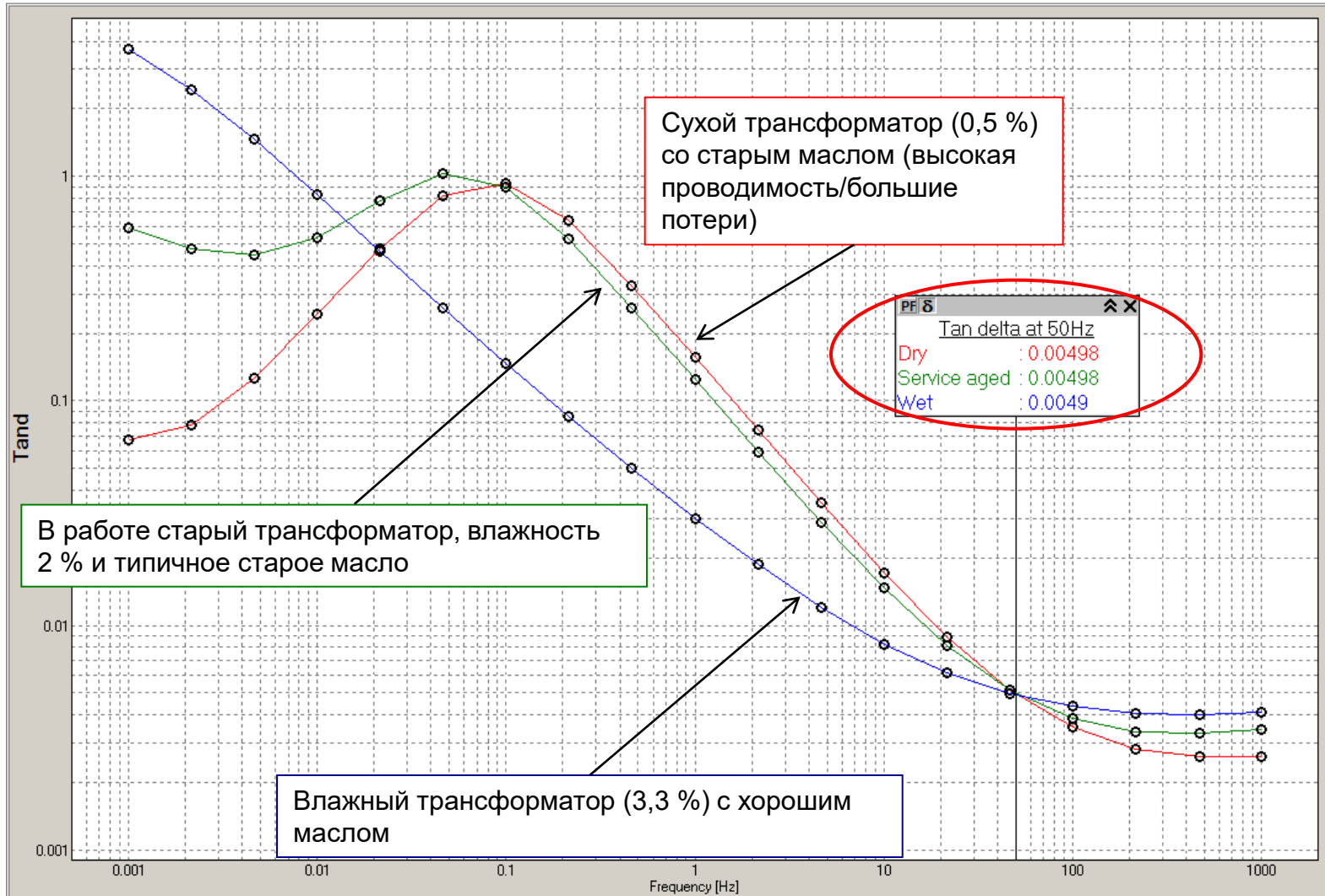


# Анализ Воды в Масле

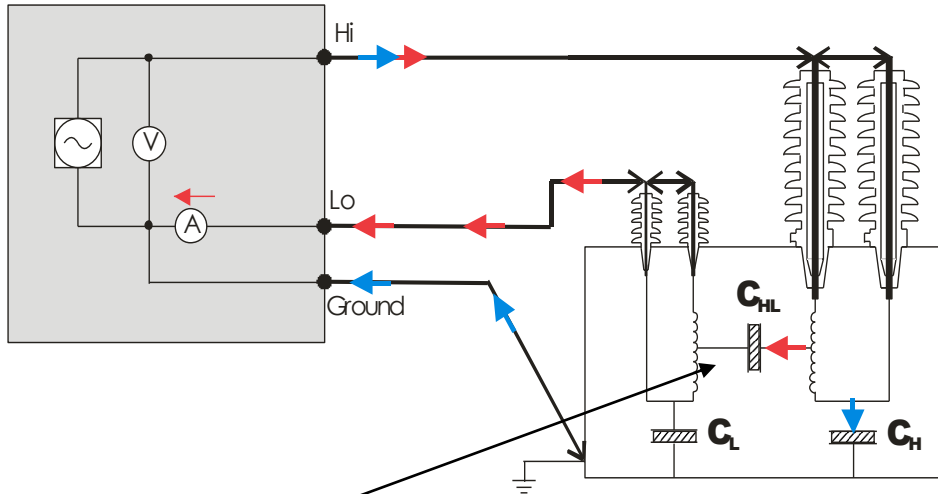
Проба масла, взятая при низких температурах имеет очень низкую точность, поскольку вода мигрировала в бумагу



# DFR – Испытание при значении Tan-Delta 0,5 %



# Что мы измеряем? Что мы моделируем?



**CHL =**

Емкость, от ВН до НН  
(Capacitance - High to Low)

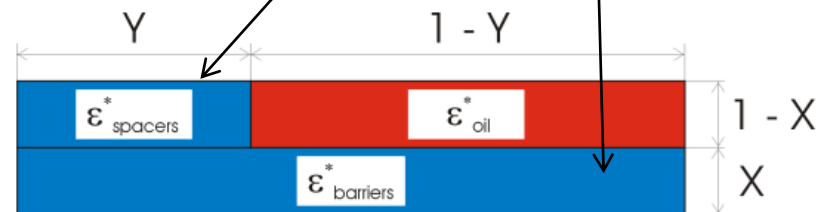
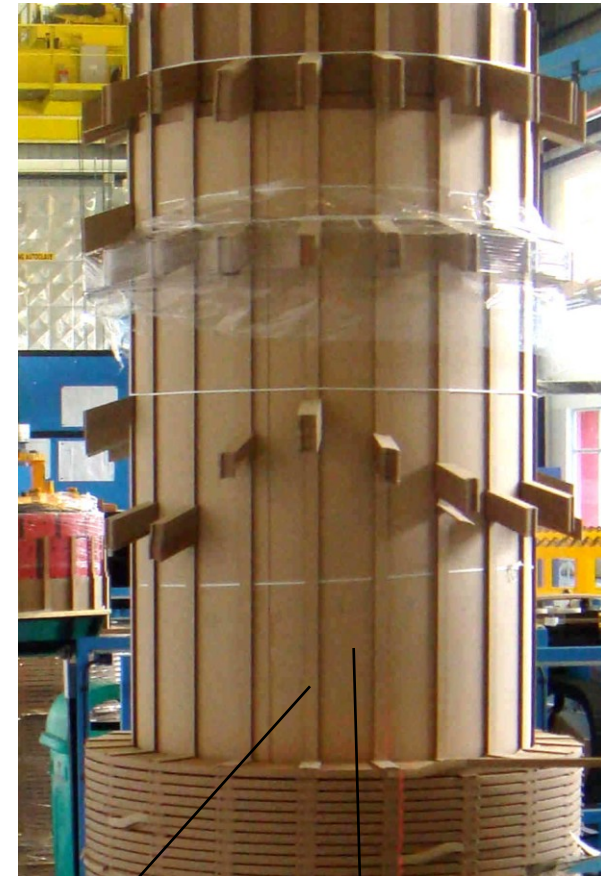
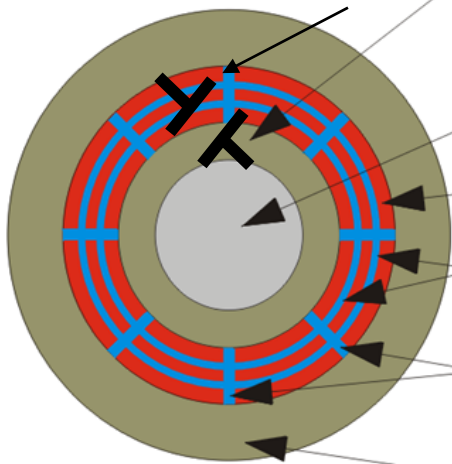
Обмотка НН

Сердечник

Масло

Барьеры и подкладки из Электрокартона

Обмотка ВН



# Полная частотная характеристика DFR

Паспортная табличка

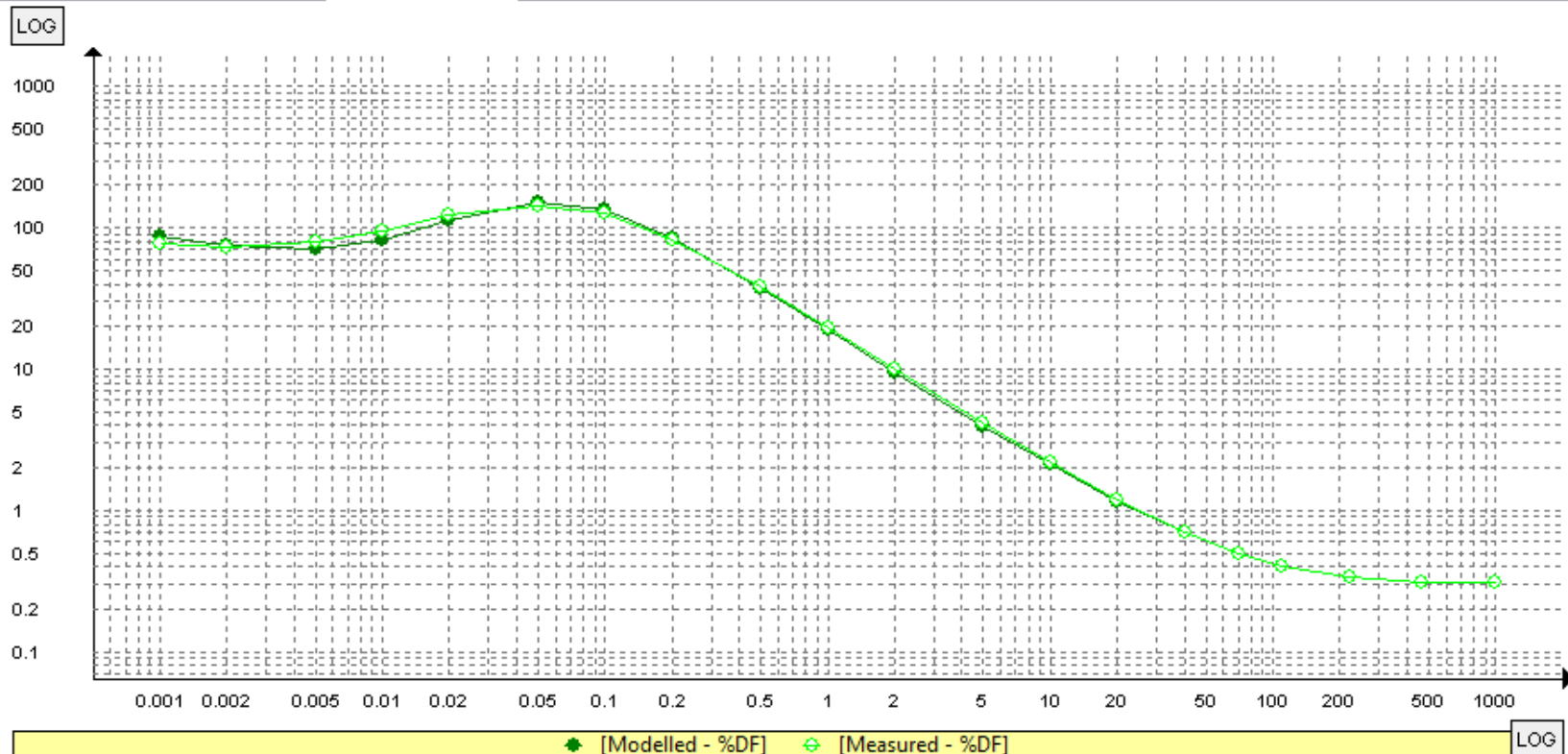
Влажность

Подсоединения

График

Настройки

Помощь



## Результаты при 50Гц, 20°C

Емкость  
пФ

11517

%DF

0,606

## Результаты анализа

%DF  
при 50 Гц & 20 °C

0,606

Влажность  
% (Вес/вес)

2,4

Пров. (пС / м)  
при 25 °C

41,1

< 0,30 %  
Как новый

0,30 - 0,50 %  
Хороший

0,50 - 1,0 %  
Изношенный

> 1,0 %  
Исследовать

< 1,0 %  
Как новый

1,0 - 2,0 %  
Сухой

2,0 - 3,0 %  
Среднее увлажнение

> 3,0 %  
Влажный

< 0,37 пС / м  
Как новый

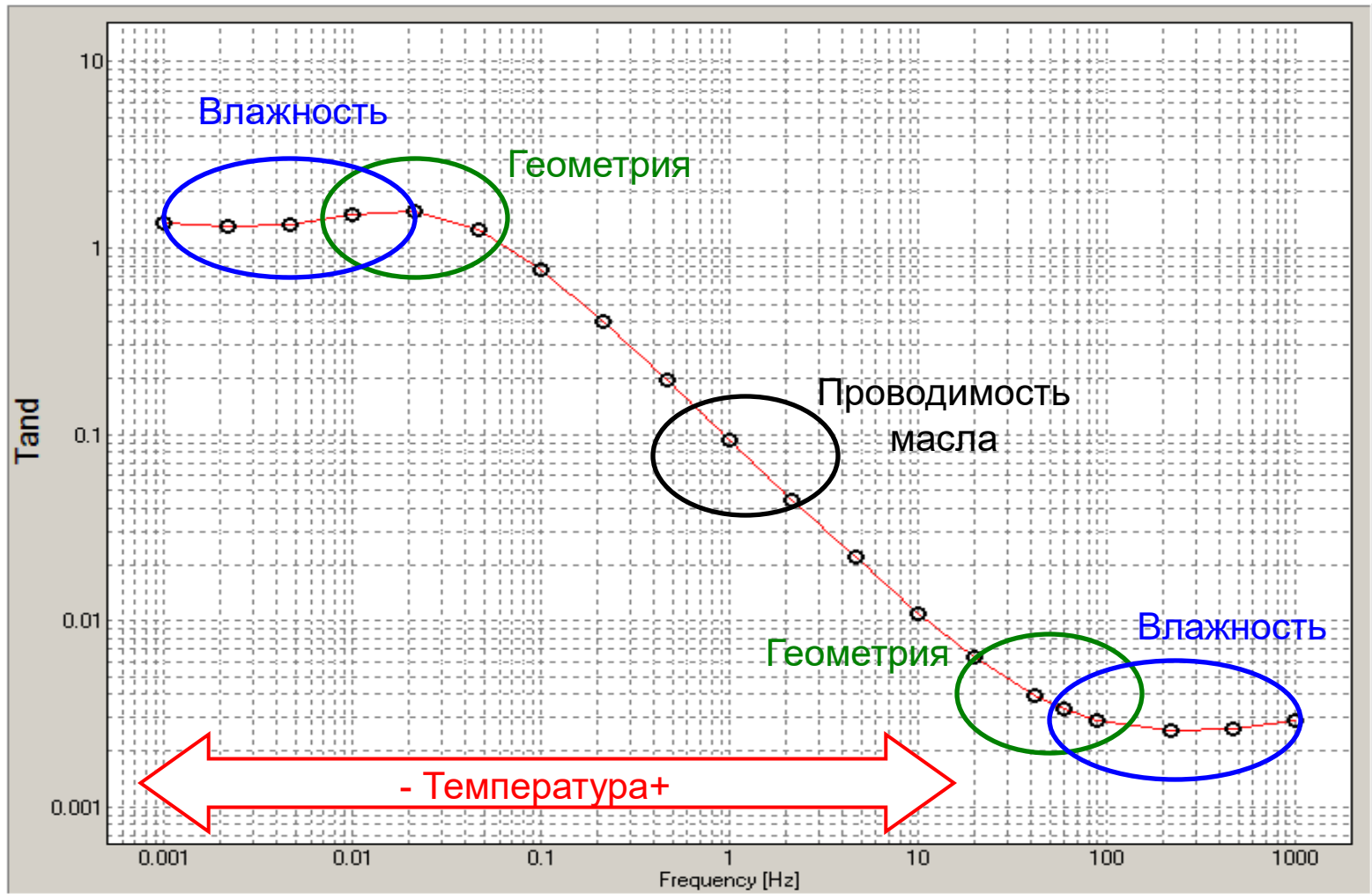
0,37 - 3,7 пС / м  
Хороший

3,7 - 37 пС / м  
Состаренный в эксплуатации

> 37 пС / м  
Изношенный



# Какие факторы влияют на частотный отклик?



# КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССОВ СУШКИ (МОНИТОРИНГ)

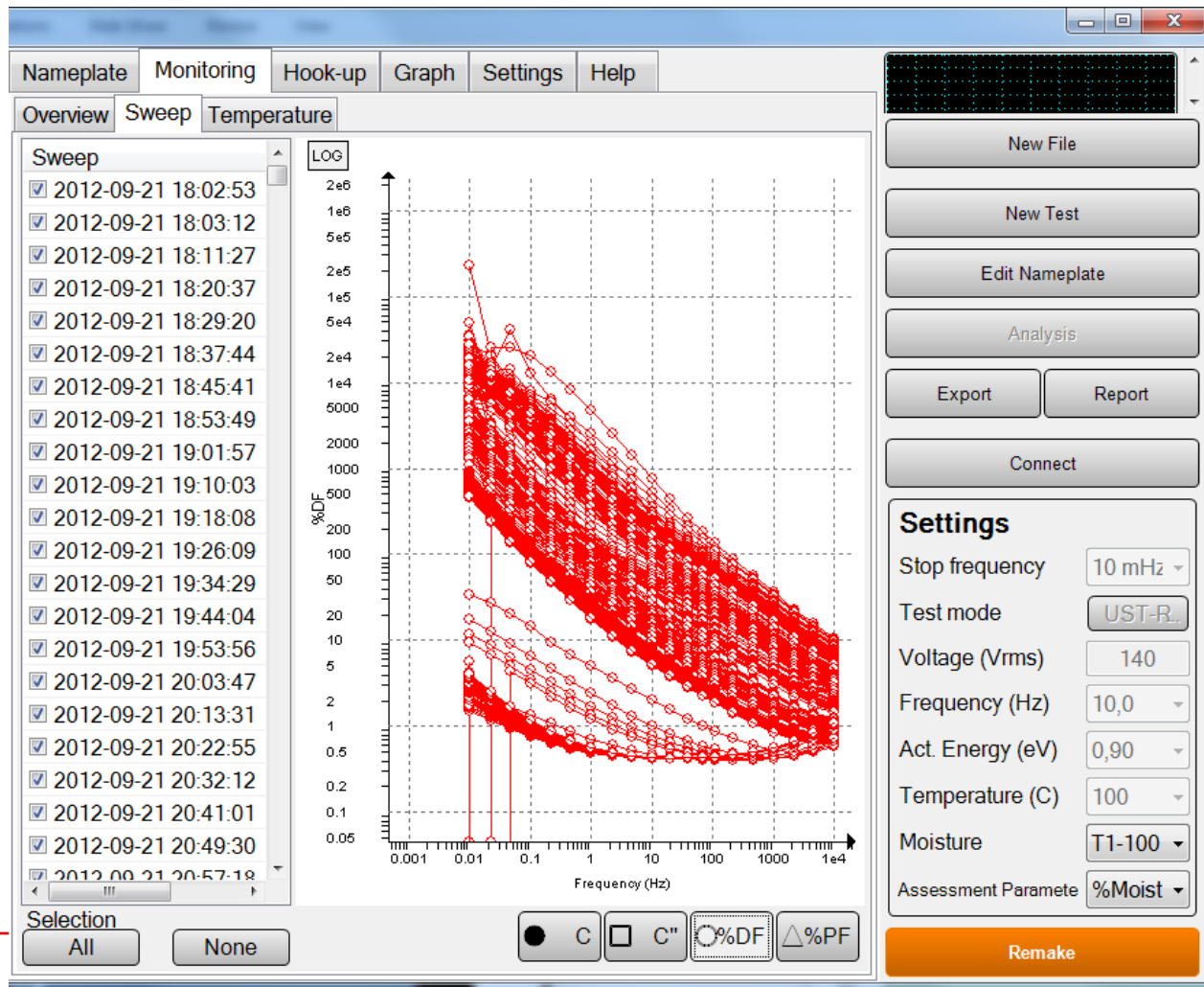
---

**Megger**<sup>®</sup>

# Применение

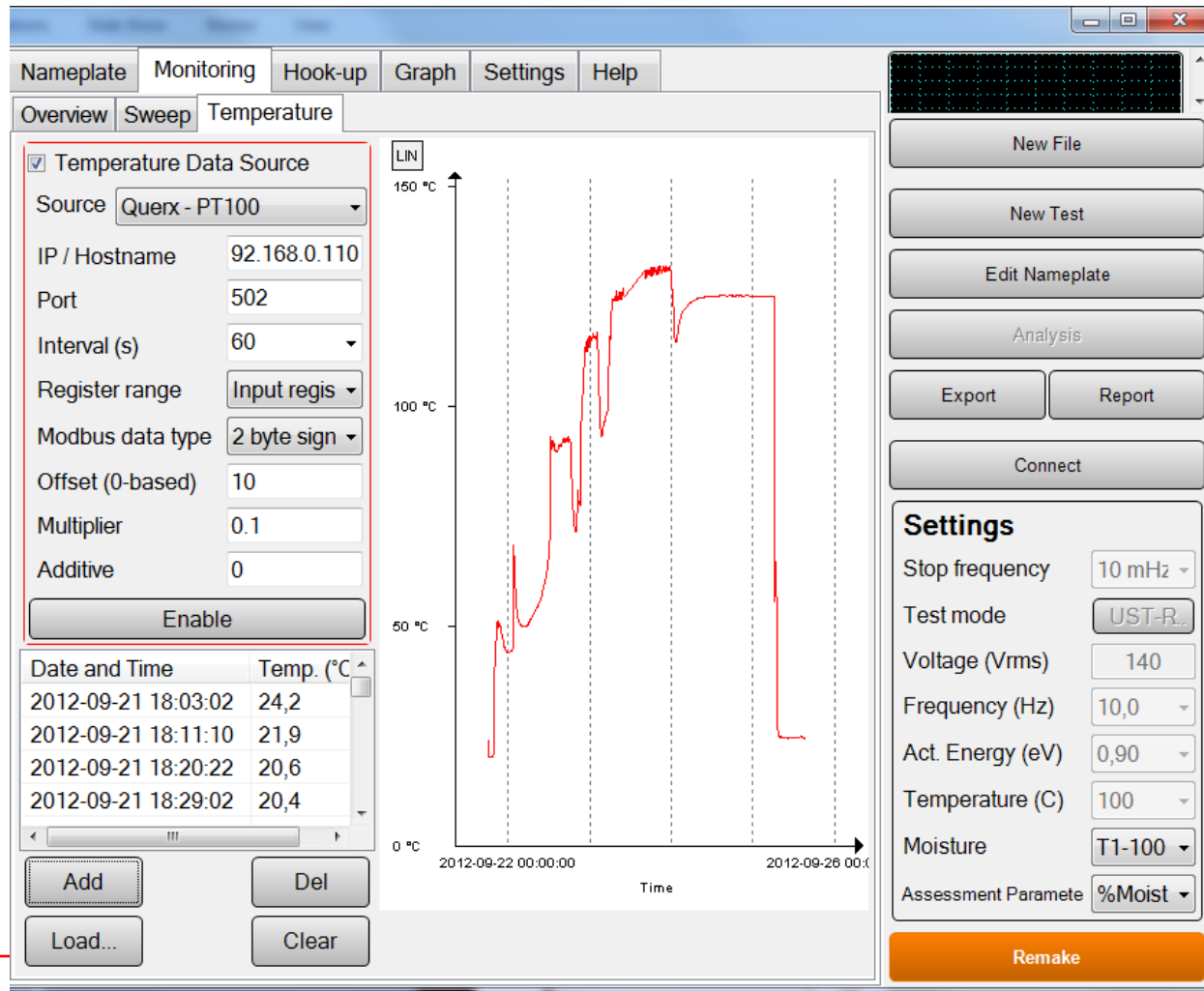
- Сушка в печах и полевых условиях, маслопропитанной и непропитанной целлюлозы
  - Пропитка сухой целлюлозы минеральным маслом или смолой
  - Улучшение свойств смол
- 
- Термоваккумные печи (140 В)
  - С парами керосина (7 В)

# Периодическое измерение част. хар.

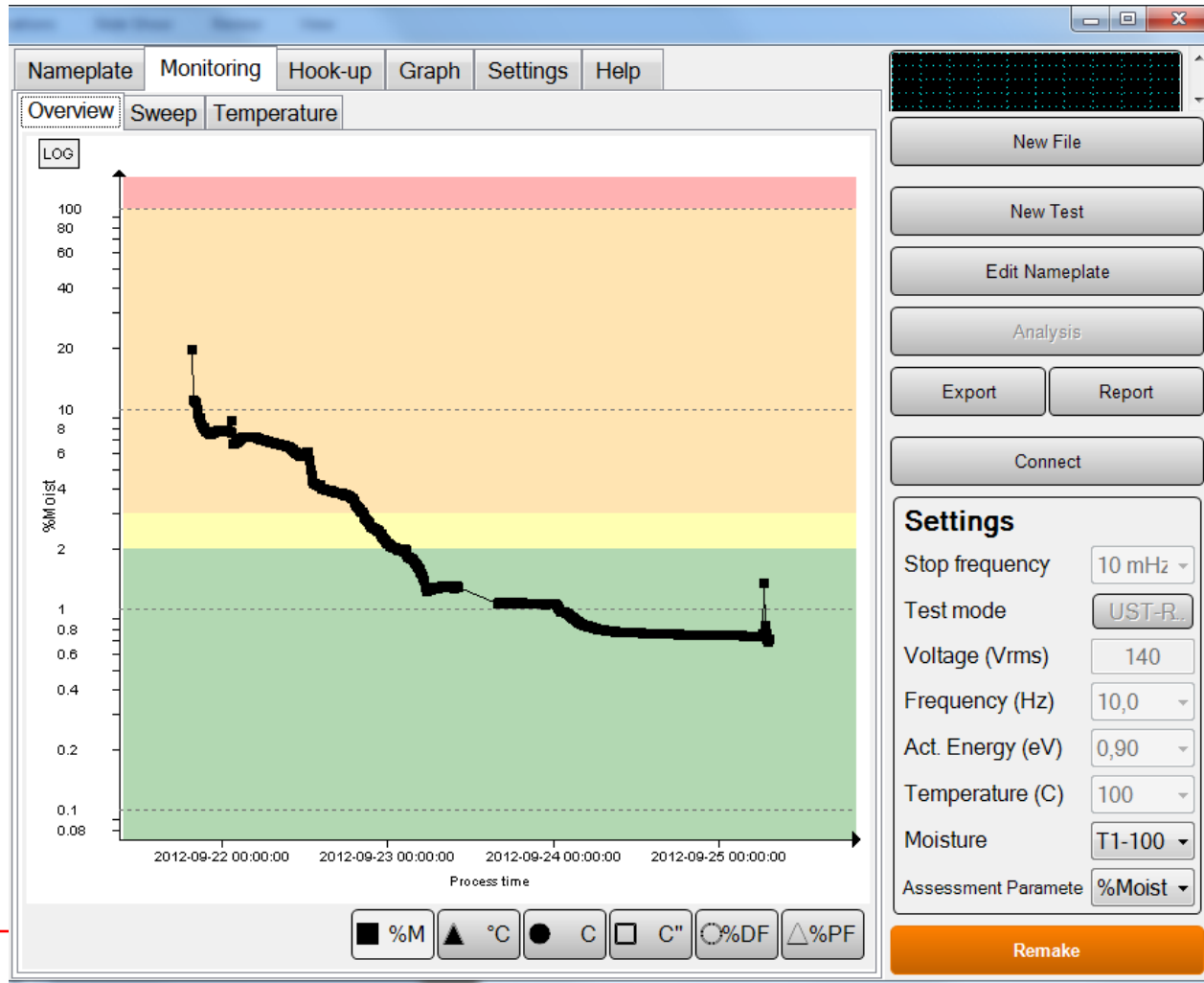


**Megger**<sup>®</sup>

# Термовакuumный процесс сушки



# Результаты



**Megger**<sup>®</sup>

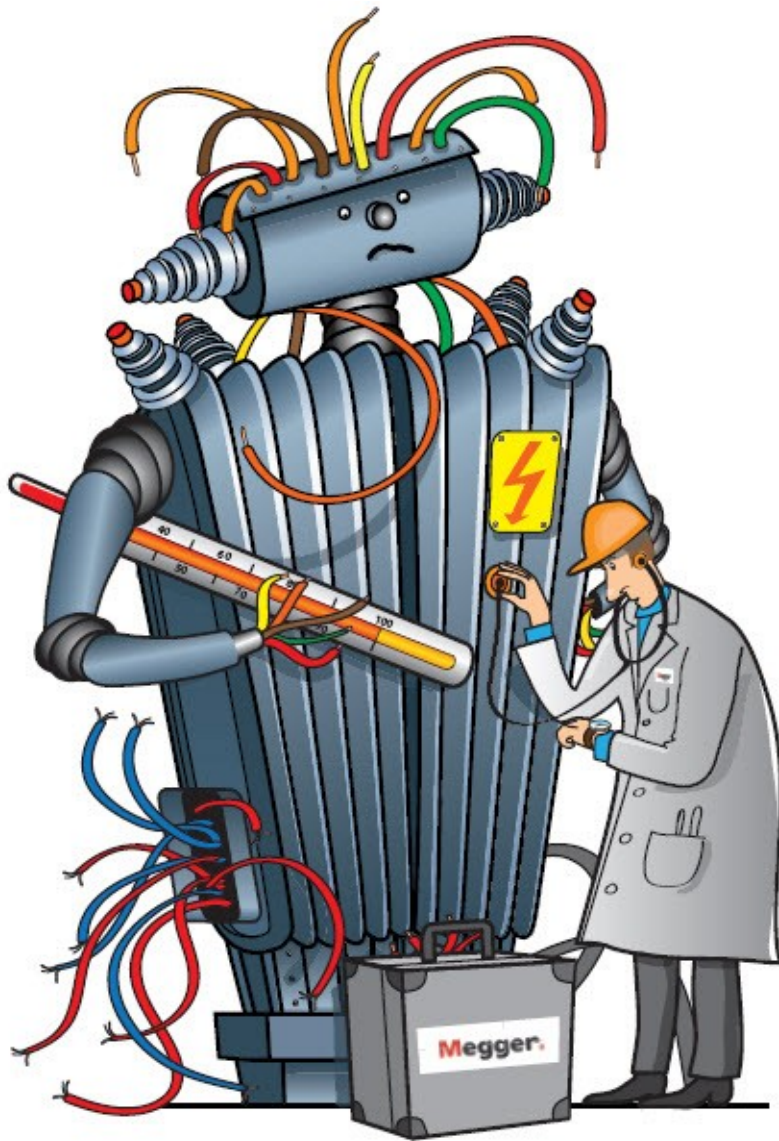
# РЕЗЮМЕ

---

**Megger**<sup>®</sup>

- Частотные характеристики дополняют традиционные методы и выявляют проблемы на более ранних этапах
- На основе част.хар-к возможно проводить индивидуальную темп. Коррекцию
- Узкополосные (1-500 Гц) и полные (мГц-кГц) хар-ки
- Определение влажности целлюлозы и проводимости масла без проб материалов
- Мониторингом част. характеристик пользуются для повышения производительности процессов сушки и пропитки





**Спасибо за  
внимание!**

**Вопросы?**

---

**Megger**<sup>®</sup>