

## FreDA – переносной прибор для анализа частотных характеристик силовых трансформаторов



Переносной измерительный прибор марки FreDA (**F**requency **D**omain **A**nalyzer) предназначен для контроля параметров силового трансформатора, определяемых при приложении напряжения изменяемой частоты. На основании анализа полученных частотных откликов решаются две задачи:

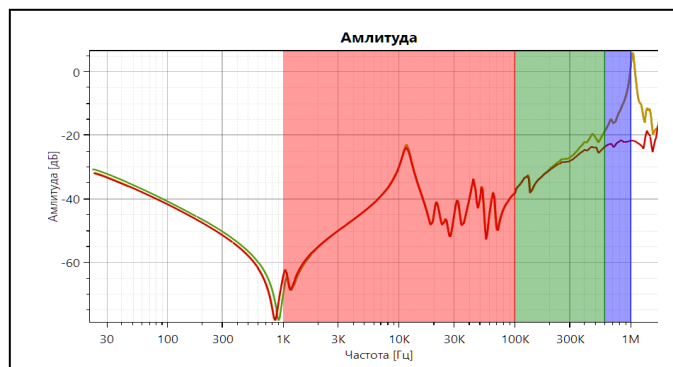
- Выявление нарушений геометрической формы обмоток трансформатора, возникающих после протекания по ним сквозных токов короткого замыкания (метод SFRA).
- Определение влагосодержания в твердой изоляции обмоток трансформатора, что реализуется при помощи метода спектроскопии в частотной области (FDS) и контроля абсорбционных процессов (метод PDC).

Разница в решении двух этих задач заключается в том, что для контроля изменений формы обмоток трансформатора используется частотный отклик в диапазоне от 2 Гц до 20 МГц, а для контроля влагосодержания в изоляции обмоток используются результаты, полученные в низкочастотном диапазоне, от 0,0001 Гц до 1000 Гц.

Для решения этих двух задач используется переносной измерительный комплект марки FreDA (Frequency Domain Analyzer) разработки фирмы ДИМУС.

### Контроль нарушений формы обмоток

Регистрация частотных параметров обмоток силовых трансформаторов по методу SFRA позволяет выявлять нарушения геометрической формы обмоток. Такой опасный дефект, приводящий к критическому уменьшению изоляционных промежутков между слоями обмотки, возникает в силовых трансформаторах при ослаблении осевого усилия прессовки обмоток и при протекании по обмоткам сквозных токов короткого замыкания, создающих большие электродинамические усилия на витки.



Использование метода SFRA описано в ГОСТ Р 59239-2020 «Трансформаторы силовые и реакторы. Метод измерения частотных характеристик».

Для выявления искажений формы обмоток в комплекте используется измерительный модуль FreDA-SFRA. Диапазон частот выходного напряжения этого модуля составляет от 2 Гц до 20,0 МГц.

При проведении анализа нужно учитывать, что измерение частотных параметров обмоток трансформатора на частотах менее 5 кГц неинформативно, т. к. здесь сильно влияние магнитопровода. Использование высоких частот более 2 МГц, также не имеет практического смысла, т. к. колебания таких частот, в лучшем случае, захватывают только верхние слои обмотки трансформатора.

Для контроля наличия изменений геометрической формы обмоток трансформатора при помощи модуля FreDA-SFRA регистрируется зависимость коэффициента комплексного затухания сигнала в обмотке от частоты приложенного напряжения.

Полученные частотные зависимости по отдельным фазам трансформатора сравниваются между собой. Если в этих зависимостях будут выявлены отличия по величине амплитуды или фазы затухания сигнала, то это будет указывать на наличие изменений в геометрической форме обмотки той фазы, в которой будут выявлены эти отличия. Обычно такие изменения выявляются в достаточно узком частотном диапазоне.

Наиболее информативным для такой «сравнительной диагностики» является использование базовой или опорной зависимости коэффициента затухания от частоты. В идеале такую зависимость надо определять для каждого трансформатора еще на заводе-изготовителе или хотя бы на начальных этапах эксплуатации. Сравнение текущей зависимости с опорной позволяет максимально достоверно выявлять деформации обмоток, возникающих в процессе последующей эксплуатации.

### Контроль влагосодержания в твердой изоляции обмоток трансформатора

При помощи модуля FreDA-LF можно определять зависимость параметров изоляции трансформатора от частоты. Такие измерения проводят в диапазоне частот от тысячных долей и до сотен герц.

При проведении измерений в этом диапазоне частот регистрируется сумма трех токов, протекающих через высоковольтную изоляцию. Эти токи имеют различную природу возникновения.

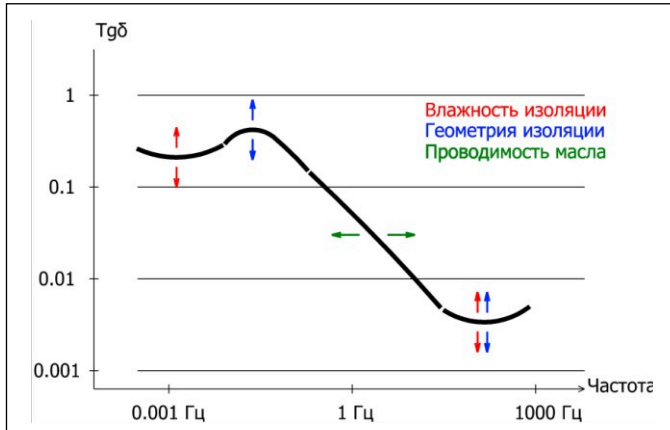
В первую очередь, это емкостный ток проводимости изоляции, зависящий от ее диэлектрической проницаемости. Этот ток всегда связан с частотой приложенного испытательного напряжения и максимален при более высоких частотах. Вектор этого тока характеризует тангенс угла потерь изоляции на частотах, близких к номинальной частоте рабочего напряжения.

Во-вторых, это ток абсорбционных процессов в изоляции, величина которых нелинейно возрастает при снижении частоты приложенного напряжения.

В-третьих, это активный ток проводимости изоляции, связанный с наличием в ней проводящих компонентов, влаги и загрязнения различной природы возникновения. Этот ток максимален при самых низких частотах, в идеале при постоянном испытательном напряжении.

Регистрация суммы этих токов дает много полезной информации для контроля технического состояния и оценки остаточного ресурса изоляции высоковольтных силовых трансформаторов.

На приведенном ниже рисунке показан график изменения тангенса угла потерь с выделением частотных зон, в которых максимально влияние различных составляющих тока через изоляцию. Анализ графика в каждой частотной зоне дает возможность оценить частотную зависимость составляющих общего тока, протекающего между фазами в баке трансформатора.



Наибольшее влияние на форму графика, показывающего зависимость тангенса угла потерь от частоты приложенного напряжения, оказывают три параметра:

- Влагосодержание в твердой изоляции (целлюлозе) обмоток трансформатора.
- Диэлектрические параметры изоляционного масла в баке трансформатора.
- Геометрические параметры обмоток трансформатора.

Также на процесс измерений частотных параметров влияет температура внутри бака трансформатора.

В программном обеспечении прибора FreDA-LF реализован алгоритм определения влагосодержания в целлюлозе обмоток трансформатора, работающий на основе анализа зависимости тангенса угла потерь в изоляции от частоты.

Для определения величины влагосодержания в целлюлозе в этом алгоритме используются параметры масла, обладающего усредненными свойствами. Для повышения точности расчетов необходимо в каждом конкретном случае уточнять диэлектрические параметры

масла в баке трансформатора и использовать их для диагностических расчетов.

### Конструктивное исполнение прибора FreDA

Прибор состоит из трех электронных модулей одинаковой конструкции: двух измерительных и универсального блока сетевого питания с встроенными аккумуляторами.

В зависимости от решаемой диагностической задачи используется или низкочастотный модуль марки FreDA-LF, или высокочастотный марки FreDA-SFRA.

Выборный диагностический модуль подключается к блоку питания и при помощи входящего в поставку комплекта соединительных проводов подключается к вводам контролируемого трансформатора.

Передача информации между измерительными модулями и ноутбуком может производиться с использованием двух стандартных интерфейсов: проводного USB или беспроводного Wi-Fi.

### Состав поставки комплекта FreDA

В состав полной поставки измерительного прибора марки FreDA входят:

- Высокочастотный измерительный модуль FreDA-SFRA.
- Низкочастотный измерительный модуль FreDA-LF.
- Блок питания измерительных модулей FreDA-PS.
- Универсальный комплект соединительных проводов.
- Программное обеспечение регистрации и анализа.
- Транспортная упаковка.



### Основные технические параметры комплекта FreDA

FreDA-SFRA: диапазон частот для контроля формы обмоток, МГц	0,000002 ÷ 20,0
Выходное напряжение внутреннего генератора, В	0 ÷ 10
Динамический диапазон регистрируемых сигналов, dB	120
FreDA-LF: диапазон частот для контроля влагосодержания в изоляции, Гц	0,0001 ÷ 1000
Выходное напряжение внутреннего генератора модуля, В	0 ÷ 200
Динамический диапазон регистрируемых сигналов, dB	130
Интерфейс связи с персональным компьютером	USB, Wi-Fi
Габаритные размеры измерительных модулей и блока питания, мм	230 * 155 * 45
FreDA-PS: время работы от встроенного аккумулятора, час	4
Габаритные размеры комплекта FreDA в транспортной упаковке, мм	520 * 450 * 230
Вес комплекта FreDA в транспортной упаковке, кг	30