

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:

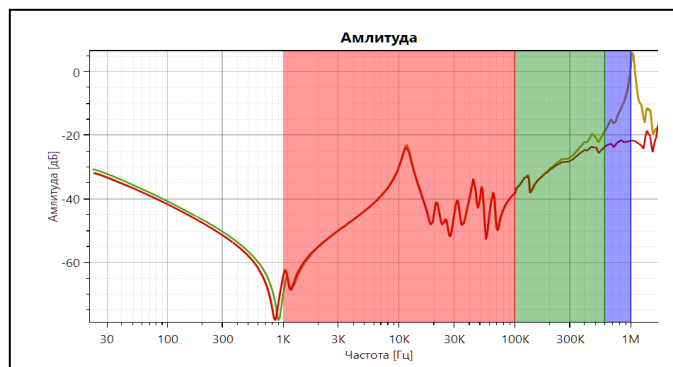
- Выявление нарушений геометрической формы обмоток трансформатора, возникающих после протекания по ним сквозных токов короткого замыкания (метод SFRA).
- Определение влагосодержания в твердой изоляции обмоток трансформатора, что реализуется при помощи метода спектроскопии в частотной области (FDS) и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

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.

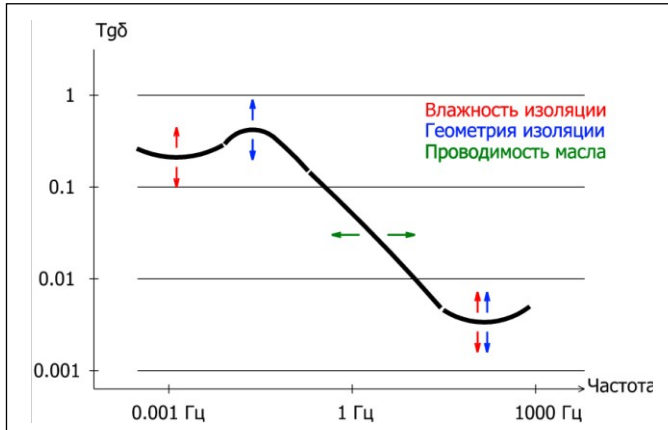
В первую очередь, это емкостный ток проводимости изоляции, зависящий от ее диэлектрической проницаемости. Этот ток всегда связан с частотой приложенного испытательного напряжения и максимален при более высоких частотах. Вектор этого тока характеризует тангенс угла потерь изоляции на частотах, близких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