

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБМОТОК СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

НДАЙЗЕЙЕ МАТИН*, Р.Г. ИЛЬДАРХАНОВ**, А.Е. УСАЧЕВ*

* Казанский государственный энергетический университет

**ООО ИЦ «Энергопрогресс», г. Казань

В работе приводится статистический анализ результатов диагностики силовых трансформаторов методом частотного анализа. Исследование проводилось на основе амплитудно-частотных характеристик обмоток низшего напряжения 12 автотрансформаторов типа АДЦТН. Предлагается методика выявления наиболее информативных резонансов спектра амплитудно-частотных характеристик для обнаружения механических дефектов обмоток.

Ключевые слова: автотрансформатор, амплитудно-частотные характеристики, метод частотного анализа, резонансы, дефекты обмоток.

Оценка состояния обмоток силовых трансформаторов (СТ) методом частотного анализа получила широкое распространение в эксплуатационной диагностике. Данный метод основан на сравнении амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) обмоток диагностируемого СТ при первичном (нормограмма) и текущем (дефектограмма) измерении. Изменения в характеристиках свидетельствуют о появлении электрических или механических повреждений обмоток. Для построения АЧХ обмотки используется численный спектральный анализ осциллограммы отклика на основе быстрого преобразования Фурье.

При отсутствии исходных данных результаты измерений сравниваются с характеристиками обмоток других фаз или однотипных СТ [1]. Данное обстоятельство может приводить к возникновению ошибок второго рода, когда обмотки, содержащие дефекты, принимаются в качестве исправных [2]. В условиях невозможности визуального обследования активной части всех обследуемых СТ наиболее конструктивным путём решения указанной проблемы является статистический анализ достаточно большого числа результатов измерений методом частотного анализа. К примеру, по схожему пути развивался метод хроматографического анализа газов, растворённых в трансформаторном масле.

Для количественной оценки возникающих в обмотках остаточных деформаций при использовании метода частотного анализа применяют математическую обработку в виде вычисления коэффициента корреляции или аналогичных ему величин, например нормированного коэффициента ковариации. Статистический анализ значений частот резонансов АЧХ позволяет перейти к более детальному изучению состояния обмоток трансформаторов. Это даёт возможность не только определить наличие дефекта, но и получить представление о его типе, степени развития и локализации в обмотке.

В работе проанализированы АЧХ обмоток низшего напряжения (НН), полученные на однотипных автотрансформаторах марок АДЦТН-125000/220/110, АДЦТН-200000/220/110, АДЦТН-250000/220/110. Обмотки всех анализируемых СТ

© Мартин Ндайзейе, Р.Г. Ильдарханов, А.Е. Усачев

Проблемы энергетики, 2015, № 1-2

соединены в неразборный треугольник, поэтому при измерениях использовались схемы, в которых тестовый сигнал (зондирующий импульс) подается в начало обмотки, а отклик записывается на конце обмотки данной фазы.

АЧХ каждого автотрансформатора разлагалась на отдельные резонансные линии в соответствии с методикой [3]. Для повышения точности определения резонансных частот использовались первая и вторая производные АЧХ, как это показано на рис. 1. Характерные резонансные частоты различных работоспособных автотрансформаторов (считающихся бездефектными) несколько отличались друг от друга, группируясь вокруг своих средних значений. Статистический анализ АЧХ исследованных автотрансформаторов показал, что ширина разброса резонансных частот в пределах одной группы зависит средней частоты этой группы. Отклонения от средних значений описывались распределением Гаусса с доверительной вероятностью 0,95.

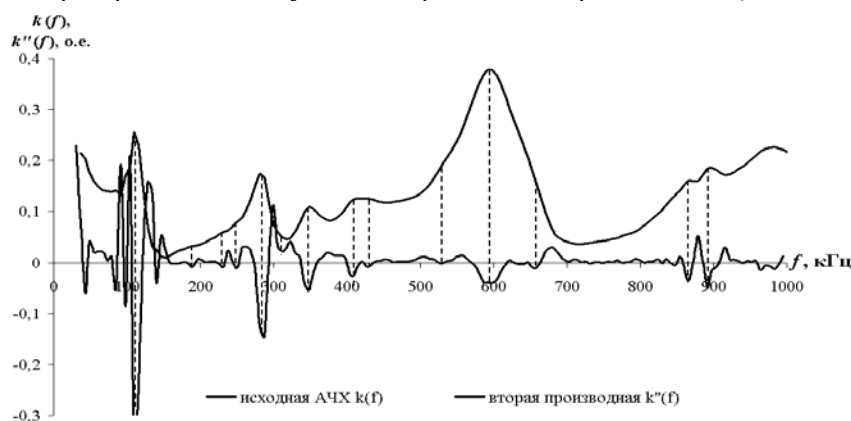


Рис. 1. Амплитудно-частотная характеристика обмотки НН в сравнении с её второй производной для трансформатора АТДЦТН-200000/220

На рис. 2 показаны распределения Гаусса для автотрансформаторов АТДЦТН-125000/220 и средняя частота и средняя амплитуда каждой группы резонансов.

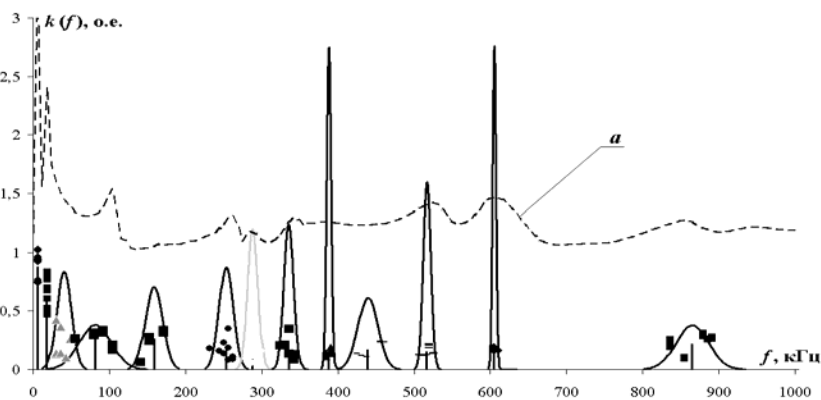


Рис. 2. Массив точек и графики распределения Гаусса резонансов АТДЦТН-125000/220, *a* – экспериментальная кривая АЧХ

Амплитуда экспериментальной кривой АЧХ увеличена для большей наглядности и удобства сравнения. Как видно из рис. 2, в диапазоне до 1 МГц амплитудно-частотные характеристики обмоток НН автотрансформаторов АТДЦТН-125000/220 состоят из 13 резонансов. Распределения Гаусса наглядно демонстрируют дисперсию частот каждого

резонанса для рассматриваемой группы АЧХ, при этом распределения Гаусса, построенные на группах точек со сравнительно меньшей дисперсией, имеют сравнительно большую амплитуду.

Аналогичные расчёты были произведены также и для кривых АЧХ автотрансформаторов АДЦТН-200000/220 и АДЦТН-250000/220. При наложении полученных кривых распределения Гаусса на одном графике получено девять основных групп резонансов (см. рис. 3). Остальные группы резонансов на данном этапе исследования исключены из рассмотрения по причине их малой амплитуды, как не вносящие существенных изменений в кривую АЧХ.

Для каждой группы резонансов были рассчитаны максимальные отклонения частот Δf_{\max} , %. Отклонения рассчитывались по следующей формуле:

$$\Delta f_{\max} = \frac{f_{p2} - f_{p1}}{f_{p1}} \cdot 100\%.$$

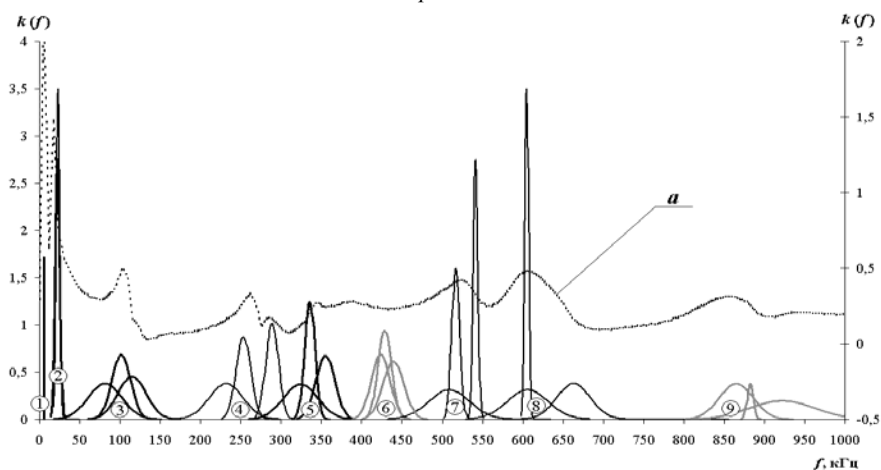


Рис.3. Группы резонансов для автотрансформаторов типа АДЦТН с мощностями 125, 200 и 250 МВА, *a* – экспериментальная кривая АЧХ, 1-9 – номера групп резонансов

Полученные результаты максимальных отклонений частот представлены в табл. 1.

Таблица 1

Средние частоты и их максимальные отклонения частот для автотрансформаторов АДЦТН-125000/220, АДЦТН-200000/220, АДЦТН-250000/220

№ резонанс	АДЦТН-125	АДЦТН-200	АДЦТН-250	Δf			Δfmax
	fcр1, кГц	fcр2, кГц	fcр3, кГц	Δf1 (%)	Δf2(%)	Δf3 (%)	
1	6.1	6.1	6.1	0.00	0.00	0.00	0.00
2	18.31	22.38	23.39	18.17	4.35	27.76	27.76
3	81.449	101.59	114.803	19.83	11.51	40.95	40.95
4	288.39	289.045	231.8	0.23	24.70	19.62	24.70
5	335.69	355	324.44	5.44	9.42	3.35	9.42
6	439.438	423.586	428.77	3.74	1.21	2.43	3.74
7	517.155	508.608	541.7	1.68	6.11	4.75	6.11
8	605.266	605.875	663.062	0.10	8.62	9.55	9.55
9	865.172	922.241	882.571	6.19	4.49	2.01	6.19

Установлено, что Δf_{\max} групп резонансов №1 и №6 не превышает 5 %, однако резонанс №6 разрешён не на всех кривых АЧХ. Это приводит к необходимости находить его частоту с применением второй производной, что снижает его информационную ценность.

Для групп резонансов №5, №7, №8 и №9 Δf_{\max} не превышает 10 %. Для групп резонансов №2, №3 и №4 Δf_{\max} превышает 20 %.

Величина максимального отклонения частот в данном случае служит критерием информативности того или иного резонанса АЧХ. Причём, чем меньше значение Δf_{\max} , тем более информативным считается данный резонанс. Это находит объяснение в том, что в случае возникновения дефекта в обмотке частоты резонансов изменяются, и чем больше степень развития дефекта, тем больше изменение частоты. Сужение диапазона возможных частот резонанса, то есть уменьшение значения Δf_{\max} , снижает вероятность возникновения ошибки второго рода (рис. 4).

В данном случае дефект обмотки на ранней стадии развития, вызывающий небольшие изменения частоты того или иного резонанса, может быть идентифицирован при первичном измерении. В случае, когда Δf_{\max} имеет сравнительно большое значение, частота резонанса дефектного СТ может войти в диапазон частот, допустимый для исправного трансформатора (см. f_2 на рис. 4). Это повлечёт за собой ложное заключение об исправном состоянии обмоток обследуемого СТ.

Следующим этапом данного исследования является составление математической модели обмотки, позволяющей выяснить зависимость изменения частот резонансов от типа дефекта, степени его развития и локализации в обмотке. Это дает возможность выявить наиболее информативные резонансы для того или иного типа дефекта и прогнозировать наличие дефектов в обмотках НН уже при первичном обследовании автотрансформаторов типа АТДЦТН при получении их нормограмм.

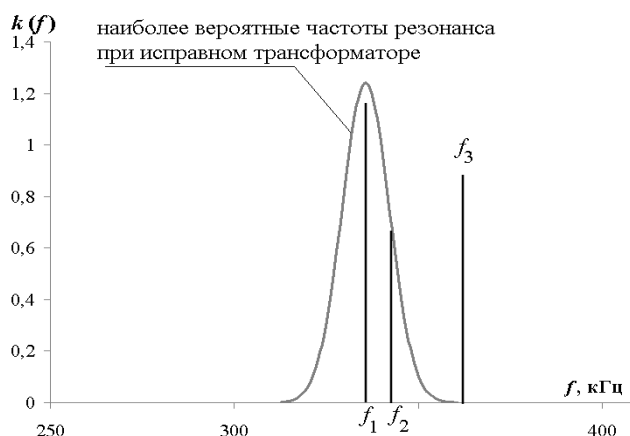


Рис. 4. Иллюстрация применения методики допустимых отклонений: f_1 – частота резонанса при исправном трансформаторе; f_2 – частота резонанса при дефектном трансформаторе (ошибка); f_3 – частота резонанса при дефектном трансформаторе (выявленный дефект)

Выводы

1. В случае невозможности раскрытия активной части обследуемых силовых трансформаторов применяется метод статистического анализа достаточно большого числа результатов измерений методом частотного анализа, что позволяет исключить

проблемы возникновения ошибок второго рода, когда обмотки, содержащие дефекты, принимаются в качестве исправных.

2. Статистический анализ частот резонансов АЧХ обмоток НН, полученных на однотипных автотрансформаторах марок АДЦТН-125000/220/110, АДЦТН-200000/220/110, АДЦТН-250000/220/110, показал, что бездефектные трансформаторы имеют характерные резонансы.

3. Получены группы резонансов с наибольшим и наименьшим отклонением частот. Показано, что критерием информативности является меньшее значение отклонения частот.

Summary

In the work is given a statistical analysis of power transformer's testing results obtained by using frequency response analysis method. The research has been done from the amplitude-frequency characteristics of low voltage windings for twelve autotransformers type of "ATDCTN". The localization method of most informative resonance in amplitude-frequency characteristics spectrum for detecting mechanics faults of winding is proposed.

Key words: autotransformers, amplitude-frequency characteristics, frequency response analysis method, resonance, fault winding.

Литература

1. Мац Олен и Питер Werelius, Megger Sweden AB, г.Тebu, Швеция. Анализ измерения при использовании метода частотной характеристики для оценки состояния силовых трансформаторов // Труды Международной конференции 2010 года по мониторингу состояния и диагностики, 6-11 сентября 2010 года, Токио, Япония. А7-1. С.191-196.

2. Сви П. М. Методы и средства диагностики оборудования высокого напряжения. М.: Энергоатомиздат, 1992. 240 с.: ил.

3. Ильдaрханов Р.Г., Усачев А.Е. Контроль состояния обмоток силовых трансформаторов путем спектрального анализа передаточных функций // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2010. № 3–4. С. 38–47.

4. Исаев Ю.Н., Васильева О.В., Елгина Г.А. Определение деформаций проводов обмотки трансформатора, вызванных током короткого замыкания [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. 2013. №. 3. С. 1-8.

Поступила в редакцию

24 апреля 2014 г.

Ндайизей Мартин – аспирант кафедры «Электрические станции» (ЭС) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). Тел: 8(951)0606955. E-mail: martinndayi@mail.ru.

Ильдaрханов Раиль Гусманович – канд. техн. наук, ООО ИЦ «Энергопрогресс». Тел: 8(937)6180703. E-mail: rgi@bk.ru.

Усачев Александр Евгеньевич – д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры «Электрические станции» (ЭС) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). Тел: 8(950)3124299. E-mail: aleksandr_usachev@rambler.ru.