

УДК 621.311

Грунтович Н.В., д.т.н., профессор

ФГБОУ ВО Брянский ГАУ

Алферов А.А., инженер,

Колесников П.М., инженер

Брянский государственный аграрный университет (Россия),

ГГТУ им. П. О. Сухого (Беларусь), ОАО «Гомельтранснефть

Дружба»

ПОМЕХИ ПРИ ВИБРОДИАГНОСТИРОВАНИИ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Введение

Вибродиагностирование является одним из методов оценки технического состояния трансформаторов. Так как в электрической сети предприятий часто встречаются высшие гармоники, то это создает серьёзные помехи при вибродиагностировании [1].

Вибрационный контроль трансформаторов проводится с целью определения динамической стойкости трансформаторов путем определения состояния прессовки обмоток и сердечников магнитопроводов отдельных фаз для предотвращения аварийных ситуаций и проведения своевременных ремонтов.

Постановка задачи исследований

Работы по виброконтролю трехфазных трансформаторов рекомендуется проводить в процессе эксплуатации оборудования в двух режимах:

– режиме нагрузки (РН) не менее 20 % – режим, при котором через трансформатор происходит передача электроэнергии потребителю;

– режиме холостого хода (ХХ) – режим, при котором со стороны нагрузки не происходит потребление электроэнергии, но при этом, одна сторона ВН или СН (НН) подключена к сети и только через одну сторону протекает ток холостого хода.

Вибродиагностирование трехфазных трансформаторов позволяет оперативно оценить текущее техническое состоя-

ние активной части трансформатора (без вскрытия бака), маслососов, определить причины повышенной вибрации и, что важно, своевременно выявить тенденции ухудшения технического состояния как всего трансформатора, так и отдельных фаз обмоток и сердечника [2].

При данном обследовании можно обнаружить следующие дефекты:

- нарушение прессовки фазовых обмоток;
- нарушение прессовки сердечника магнитопровода;
- уменьшение жесткости общих элементов конструкции трансформатора в результате механических воздействий электродинамических сил при протекании больших токов.
- наличие высших гармоник.

Повышенная вибрация приводит к следующим негативным явлениям:

- истиранию изоляции обмотки и загрязнению масла;
- расслоению бумажно-масляной изоляции;
- износу лака между пластинами магнитопровода.

Для однозначного определения точек замера и последовательности проведения в них замеров вибрации принимаются несколько допущений.

Сторону, на которой расположены вводы наибольшего напряжения, считают стороной высшего напряжения (ВН).

Сторону, на которой расположены вводы наименьшего напряжения, считают стороной низшего напряжения (НН).

Места установки датчиков на корпусе бака, а также методы испытаний выбираются таким образом, чтобы они «акустически захватывали» часть обмотки и сердечника. Это место соответствует верхнему или нижнему краю обмотки. В таком случае вибродатчик будет воспринимать сигналы от обмотки и от магнитопровода.

Для правильного выбора точек проведения измерений вибрации необходимо до проведения измерений ознакомиться с технической документацией на трансформатор. Это является условием правильной установки вибродатчиков на трансформатор.

Перед проведением вибродиагностики следует убедить-

ся в работоспособности применяемых приборов, соединительных проводов и датчиков.

Наилучшие результаты измерений получаются при одновременной записи сигналов во всех точках. Однако такие измерения требуют достаточно дорогостоящих и сложных приборов. Поэтому на практике используют последовательную установку одного датчика.

Для моделирования искажений синусоидальности тока и напряжения была разработана схема испытательной установки (рис. 1).

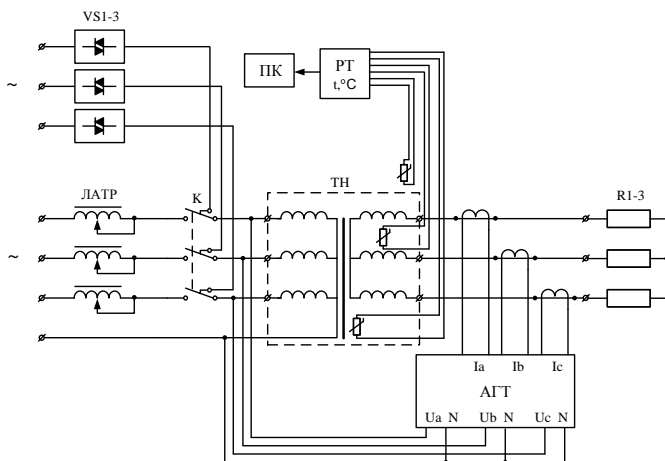


Рисунок 1. Принципиальная схема экспериментальной установки для моделирования высокой и низкой степени не-синусоидальности при работе трансформатора под нагрузкой

Схема (рис. 1) работает следующим образом. В цепь первичной обмотки испытательного трансформатора в каждую фазу устанавливается:

– при высокой степени несинусоидальности симисторный регулятор напряжения VS1-3, который позволяет регулировать напряжение в диапазоне от нуля до номинального напряжения питания путем изменения угла отпирания тири-

стора. В результате изменения угла открытия на вторичную обмотку трансформатора идут неполные волны синусоиды, при этом снижается действующее напряжение, чем ниже значение напряжения, тем более искаженный сигнал;

– при низкой степени несинусоидальности в схеме меняется один элемент, а именно симисторный регулятор напряжения VS меняется на автотрансформатор ЛАТР. Что позволяет регулировать входное напряжение на понижающем трансформаторе и исключает вентильное генерирование гармоник в цепи испытываемого трансформатора.

Также в цепи установлены токоизмерительные клещи и клеммы для измерения напряжения, сигналы с которых поступают на анализатор гармоник АГТ, где данные регистрируются на внутреннем носителе, после чего подвергаются программному анализу. В качестве АГТ используется анализатор показателей качества электрической энергии Hioki 3196.

Результаты эксперимента и их обработка.

Для определения спектров вибрации при наличии и отсутствия высших гармоник были проведены замеры для лабораторного трансформатора для всех намеченных к исследованию точек. Полученные результаты представлены в таблице 1, пример полученных спектрограмм для опыта КЗ с параметрами магнитопровода низа $k_{U1}=3,48\%$, $k_{I1}=1,51\%$, $k_{U2}=21,67\%$, $k_{I2}=17,93\%$ приведен на рисунке 2.

Из анализа спектров вибрации видно, что:

– в области частот больше 3500Гц спектры при опыте ХХ и КЗ при высокой степени несинусоидальности весьма похожи;

– уровень вибрации трансформатора при питании его напряжением с высокой степенью несинусоидальности возрастает от 1,58 до 65,1 раз по всему спектру частот;

– при опыте КЗ в результате высокой несинусоидальности тока и напряжения появляется вибрация на частотах 150Гц и 350Гц, что обусловлено вибрацией шинок отвода;

– в области высоких частот повышенный уровень вибрации обусловлен возникновением целого ряда гармоник большой мощности и собственными частотами магнитопро-

вода трансформатора.

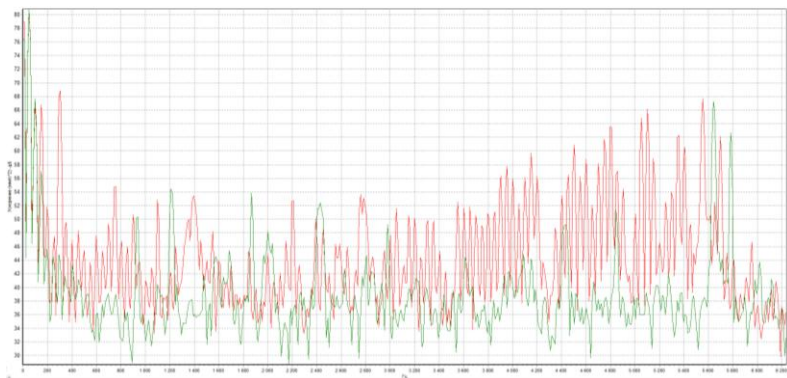


Рисунок 2. Опыт КЗ при $I_{кз} = I_{2ном}$ (магнитопровод верх), зеленый спектр – питание с низкой степенью несинусоидальности ($k_U=3,48\%$, $k_I=1,51\%$), красный спектр – с высокой степенью несинусоидальности ($k_U=21,67\%$, $k_I=17,93\%$)

Таблица 1 – Анализ спектров вибрации

| Место установки датчика и коэф. искажения синусоидальности | Режим | До 1500 Гц | | | | | 1600-3500 Гц | | | | | 3500-5000 Гц | | | | | |
|---|------------|--------------|----------------------|---------------|----------------------|---------|--------------|----------------------|---------------|----------------------|---------|--------------|----------------------|---------------|----------------------|---------|----|
| | | Низкий k_U | | Высокий k_U | | Превыш. | Низкий k_U | | Высокий k_U | | Превыш. | Низкий k_U | | Высокий k_U | | Превыш. | |
| | | дБ | м/с² | дБ | м/с² | | раз | дБ | м/с² | дБ | | м/с² | раз | дБ | м/с² | | дБ |
| магнитопровод верх, $k_U=2,76\%$; $k_I=5,68\%$ | XX 220В | 47 | $6,72 \cdot 10^{-2}$ | 51 | $1,06 \cdot 10^{-1}$ | 1,58 | 41 | $3,37 \cdot 10^{-2}$ | 53 | $1,34 \cdot 10^{-1}$ | 3,97 | 39 | $2,07 \cdot 10^{-2}$ | 53 | $1,34 \cdot 10^{-1}$ | 6,47 | |
| | | 38 | $2,38 \cdot 10^{-2}$ | 50 | $9,49 \cdot 10^{-2}$ | 3,98 | | | | | | | | | | | |
| | | 41 | $3,37 \cdot 10^{-2}$ | 50 | $9,49 \cdot 10^{-2}$ | 2,82 | | | | | | | | | | | |
| магнитопровод верх $k_U=3,48\%$, $k_I=1,51\%$, $k_U=21,67\%$, $k_I=17,93\%$ | КЗ | 56 | $1,89 \cdot 10^{-1}$ | 67 | $6,72 \cdot 10^{-1}$ | 3,56 | 44 | $4,76 \cdot 10^{-2}$ | 53 | $1,34 \cdot 10^{-1}$ | 2,82 | 39 | $2,67 \cdot 10^{-2}$ | 63 | $4,24 \cdot 10^{-1}$ | 15,9 | |
| | | 44 | $4,76 \cdot 10^{-2}$ | 68 | $7,54 \cdot 10^{-1}$ | 15,8 | | | | | | | | | | | |
| | | 38 | $2,38 \cdot 10^{-2}$ | 53,5 | $1,6 \cdot 10^{-1}$ | 6,72 | | | | | | | | | | | |
| магнитопровод середина $k_U=3,48\%$, $k_I=1,51\%$, $k_U=21,67\%$, $k_I=17,93\%$ | КЗ | 43 | $4,24 \cdot 10^{-2}$ | 66 | $5,98 \cdot 10^{-1}$ | 14,1 | 37 | $2,12 \cdot 10^{-2}$ | 53 | $1,34 \cdot 10^{-1}$ | 6,32 | 41 | $3,37 \cdot 10^{-2}$ | 62 | $3,78 \cdot 10^{-1}$ | 11,2 | |
| | | 40 | $3,0 \cdot 10^{-2}$ | 53 | $1,34 \cdot 10^{-1}$ | 4,47 | | | | | | | | | | | |
| | | 37 | $2,12 \cdot 10^{-2}$ | 55 | $1,69 \cdot 10^{-1}$ | 7,97 | | | | | | | | | | | |
| магнитопровод низ $k_U=3,48\%$, $k_I=1,51\%$, $k_U=21,67\%$, $k_I=17,93\%$ | КЗ | 45 | $5,33 \cdot 10^{-2}$ | 67 | $6,72 \cdot 10^{-1}$ | 12,6 | 39 | $2,67 \cdot 10^{-2}$ | 53 | $1,34 \cdot 10^{-1}$ | 5,02 | 37 | $2,12 \cdot 10^{-2}$ | 64 | $4,76 \cdot 10^{-1}$ | 22,4 | |
| | | 39 | $2,67 \cdot 10^{-2}$ | 53 | $1,34 \cdot 10^{-1}$ | 5,02 | | | | | | | | | | | |
| | | 35 | $1,69 \cdot 10^{-2}$ | 55 | $1,69 \cdot 10^{-1}$ | 10,0 | | | | | | | | | | | |
| магнитопровод сбоку центр $k_U=3,48\%$, $k_I=1,51\%$, $k_U=21,67\%$, $k_I=17,93\%$ | КЗ | 45 | $5,33 \cdot 10^{-2}$ | 66 | $5,98 \cdot 10^{-1}$ | 11,22 | 36 | $1,89 \cdot 10^{-2}$ | 59 | $2,67 \cdot 10^{-1}$ | 14,1 | 37 | $2,12 \cdot 10^{-2}$ | 56 | $1,89 \cdot 10^{-1}$ | 8,9 | |
| | | 41 | $3,37 \cdot 10^{-2}$ | 59 | $2,67 \cdot 10^{-1}$ | 7,92 | | | | | | | | | | | |
| | | 37 | $2,12 \cdot 10^{-2}$ | 58 | $2,38 \cdot 10^{-1}$ | 11,23 | | | | | | | | | | | |
| магнитопровод середина $k_U=2,65\%$, $k_I=85,13\%$ | XX 170В | 40 | $3,0 \cdot 10^{-2}$ | 49 | $8,45 \cdot 10^{-2}$ | 2,82 | 42 | $3,78 \cdot 10^{-2}$ | 59 | $2,67 \cdot 10^{-1}$ | 7,06 | 40 | $3,0 \cdot 10^{-2}$ | 68 | $7,54 \cdot 10^{-1}$ | 25,1 | |
| | | 50 | $9,49 \cdot 10^{-2}$ | 56 | $1,89 \cdot 10^{-1}$ | 1,99 | | | | | | | | | | | |
| | | 37 | $2,12 \cdot 10^{-2}$ | 50 | $9,49 \cdot 10^{-2}$ | 4,48 | | | | | | | | | | | |

Продолжение таблицы 1

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------------|----|----------------------|----|----------------------|------|----|----------------------|----|----------------------|------|----|----------------------|----|----------------------|------|
| магнитопровод низ $k_{01}=2.65\%$, $k_{02}=85.13\%$ | XX 170B | 46 | $5.98 \cdot 10^{-2}$ | 53 | $1.34 \cdot 10^{-1}$ | 2,24 | 40 | $3,0 \cdot 10^{-2}$ | 60 | $3,0 \cdot 10^{-1}$ | 10,0 | 35 | $1,69 \cdot 10^{-2}$ | 72 | 1,10 | 65,1 |
| | | 39 | $2,67 \cdot 10^{-2}$ | 54 | $1,5 \cdot 10^{-1}$ | 5,62 | | | | | | | | | | |
| | | 32 | $1,19 \cdot 10^{-2}$ | 52 | $1,1 \cdot 10^{-1}$ | 9,24 | | | | | | | | | | |
| магнитопровод сбоку середина $k_{01}=2.65\%$, $k_{02}=85.13\%$ | XX 170B | 33 | $1,34 \cdot 10^{-2}$ | 51 | $1,06 \cdot 10^{-1}$ | 7,91 | 31 | $1,06 \cdot 10^{-2}$ | 61 | $3,37 \cdot 10^{-2}$ | 3,18 | 44 | $4,76 \cdot 10^{-2}$ | 58 | $2,38 \cdot 10^{-1}$ | 5,0 |
| | | 39 | $2,67 \cdot 10^{-2}$ | 53 | $1,34 \cdot 10^{-1}$ | 5,02 | | | | | | | | | | |
| | | 36 | $1,89 \cdot 10^{-2}$ | 53 | $1,34 \cdot 10^{-1}$ | 7,09 | | | | | | | | | | |
| магнитопровод верх $k_{01}=2.65\%$, $k_{02}=85.13\%$ | XX 170B | 46 | $5,98 \cdot 10^{-2}$ | 53 | $1,34 \cdot 10^{-1}$ | 2,24 | 36 | $1,89 \cdot 10^{-2}$ | 53 | $1,34 \cdot 10^{-1}$ | 7,09 | 36 | $1,89 \cdot 10^{-2}$ | 62 | $3,78 \cdot 10^{-1}$ | 20,0 |
| | | 50 | $9,49 \cdot 10^{-2}$ | 54 | $1,5 \cdot 10^{-1}$ | 1,59 | | | | | | | | | | |
| | | 36 | $1,89 \cdot 10^{-2}$ | 46 | $5,98 \cdot 10^{-2}$ | 3,16 | | | | | | | | | | |

Выводы по выполненному исследованию:

1. При наличии в сети предприятия высших гармоник вибрация трансформатора увеличивается как в области низких частот (150, 250, 350 Гц), так и в области высших частот (более 3000 Гц).
2. Для исключения ошибки при вибродиагностировании целесообразно осуществлять проверку на наличие высших гармоник тока и напряжения с помощью специальных приборов.

Литература

1. Грунтович Н.В., Алферов А.А., Колесников П.М. Типовые ошибки при вибродиагностировании энергетического оборудования. Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого. 2010. № 1 (40). С. 72-81.
2. Грунтович Н.В., Грачек Н.И. Комплексное техническое диагностирование электротехнического оборудования — основа системы ремонтов «по состоянию». Горный журнал. 2003. № 7. С. 67-69.