

УДК 621.317.43
МЕТОД И ПРИБОР ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ВИТКОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ В
МАЛОМОЩНЫХ ТОРОИДАЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ

И. Т. СКУРТУ, А. С. ЕРОШЕНКО, И. И. БРАНОВИЦКИЙ
ГНУ «ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»
Минск, Беларусь

Витковые замыкания в обмотках трансформаторов – одна из распространенных проблем при их изготовлении и эксплуатации. Всего один не выявленный вовремя короткозамкнутый (КЗ) виток существенно снижает надежность устройства. В случае мощных трансформаторов дефектные витки легко детектируются по существенному нарушению режима работы. В то же время для трансформаторов малой мощности (единицы Ватт и менее) влияние КЗ витка при толщине провода порядка 0,1 мм на работу устройства не столь заметно и стандартный метод контроля (по току холостого хода) не позволяет выявить присутствие одного КЗ витка на фоне нескольких тысяч. В связи с этим для трансформаторов малой мощности требуется более чувствительный метод.

Такой метод был разработан в Институте прикладной физики НАН Беларуси и реализован в диагностическом приборе ТВ (тестер витковый) – внешний вид приведен на рис. 1. Данный прибор [1] был внедрен на участке контроля качества трансформаторов ООО «Юджэн», г. Новополоцк (предприятие специализируется на производстве тороидальных трансформаторов).



Рис. 1. Общий вид диагностического прибора ТВ: 1 – электронный блок; 2 – гибкая измерительная катушка и контролируемый тороидальный трансформатор; 3 – ЭВМ

Один отдельный виток и обмотка из витков такого же диаметра, при фиксированной частоте, имеют разное отношение активной и реактивной части импеданса (у единичного витка оно значительно больше). Вследствие этого, при увеличении частоты питающего напряжения и сохранении его амплитуды, относительное снижение тока в витках обмотки будет больше, чем в одном витке. Иными словами – происходит виртуальное

увеличение отношения ампер-виток для отдельно взятого витка, что приводит к росту неоднородности распределения индукции по продольному сечению магнитопровода и может быть зафиксировано.

Фундаментальной и наиболее принципиальной характеристикой, отражающей возможность детектирования (с учетом доступной чувствительности и уровня шумов) одного короткозамкнутого витка на фоне многих исправных, является отношение:

$$s = \frac{1}{w_{max}}, \quad (1)$$

где w_{max} – максимальное количество витков среди обмоток данного трансформатора. С учетом вышесказанного, при повышении частоты питающего напряжения и сохранении его амплитуды происходит увеличение отношения (1) и его преобразование к виду:

$$s(\omega) = \frac{w_v(\omega)}{w_{max}}, \quad (2)$$

где w_v – количество “создаваемых” повышением частоты виртуальных КЗ витков, ω – угловая частота питающего напряжения.

Зависимость (2) с ростом частоты (без учета вихревых токов в стальном магнитопроводе) асимптотически стремится к фиксированному значению, поскольку отношение импедансов обмотки и витка почти не меняется при значительном доминировании в обоих случаях реактивной составляющей импеданса. Это позволяет оценивать потенциал чувствительности метода (например, для ферритовых сердечников, где вихревые токи не играют заметной роли в полосе частот, включающей достаточную для оценки часть), а также выбирать диагностическую частоту для стальных сердечников в том диапазоне, где эквивалентная магнитная проницаемость снижается медленнее, чем растет частота. Практически, отношение (2) заменяется отношением модулей импедансов обмотки к витку.

Порядок варьирования неоднородностей в распределении магнитной индукции вследствие наличия одного короткозамкнутого витка составляет десятитысячные доли Тесла. Для обнаружения этой неоднородности была разработана гибкая многовитковая измерительная обмотка, представляющая собой спираль из провода минимально допустимого диаметра, сосредоточенная в изоляционном покрытии.

Упомянутое ранее отношение импедансов обмотки и витка определялось расчетно-экспериментально и представлено на рис. 2.

В процессе экспериментальных исследований устойчивое детектирование одного короткозамкнутого витка (диаметр 0,1 мм) на фоне 4000 исправных фиксировалось с частоты в несколько сотен герц.

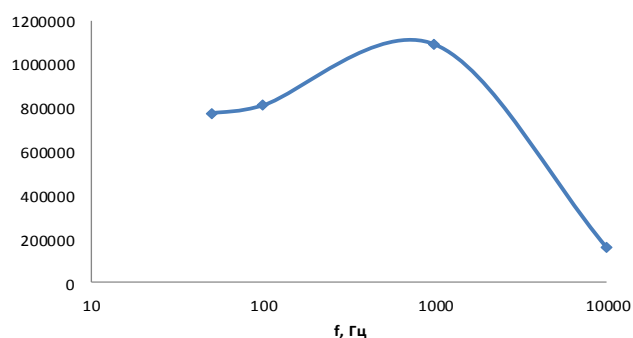


Рис. 2. Отношение импеданса намагничивающей обмотки к импедансу одного короткозамкнутого витка в зависимости от частоты

Посредством зависимости, представленной на рис. 2 можно сделать оценку чувствительности метода применительно к группе трансформаторов с данным минимальным диаметром провода. Обозначая:

$$k = \frac{|Z_{coil}|}{|Z_1|}, \quad (3)$$

где Z_{coil} и Z_1 импедансы обмотки и витка, имеем:

$$N_{max} = 4000 \cdot \ln \frac{k_{max}}{k_{start}}. \quad (4)$$

Здесь N_{max} – максимальное число витков в обмотке, на фоне которых можно выявить виток, k_{max} – максимальное значение отношения (3), k_{start} – значение отношения (3) при частоте начального обнаружения. Для указанного диаметра 0,1 мм оценка N_{max} составляет около 11000 витков.

Таким образом, разработанный метод и созданный на его основе прибор ТВ для диагностирования обмоток тороидальных трансформаторов принципиально позволяет решать задачу контроля витковых замыканий в одном из наиболее сложных, с точки зрения надежной выявляемости КЗ витка, случаев – при предельно малой толщине провода и большом общем количестве витков в их обмотках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 9492 Респ. Беларусь, МПК⁸ G 01R 31/06. Устройство для обнаружения короткозамкнутых витков в обмотках тороидальных трансформаторов / И. Т. Скурту, И. И. Брановицкий, Г. И. Размыслович; заявитель и патентообладатель ГНУ Институт прикладной физики НАН Беларуси. – № u 20130133; заявл. 12.02.13, опубл. 13.08.13.

E-mail: branovitsky@iaph.bas-net.by