

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Г.И. Волович, В.П. Щербаков

В статье рассматривается метод измерения сопротивлений обмоток силового трансформатора, основанный на применении методов идентификации, использование которых позволяет существенно сократить требуемое время проведения измерений.

Ключевые слова: идентификация, нелинейный объект, силовой трансформатор.

Широкое применение трансформаторов в промышленных областях и электроэнергетике позволяет достаточно просто преобразовывать и использовать электроэнергию с учетом заданных требований и характеристик подключаемого оборудования. Основным условием для обеспечения качественной и стабильной работы трансформатора является своевременное проведение проверок его характеристик, причем первостепенной задачей является определение сопротивлений обмоток трансформатора.

В настоящее время основным способом определения сопротивления обмотки является подключение к обмотке источника напряжения с последующим непрерывным измерением тока трансформатора в течение определенного промежутка времени.

Так как в состав трансформатора входят не менее двух индуктивно связанных обмоток, то в процессе измерения тока проявляются некоторые нелинейности, обусловленные изменением магнитного потока и характеристиками магнитопровода. Однако изменение величины тока при достаточно длительном измерении в связи с насыщением магнитопровода становится весьма незначительным, что позволяет с заданной точностью определить величину сопротивления исследуемой обмотки.

В реальных условиях процесс измерения сопротивления обмотки с допустимой погрешностью, не превышающей 0,2 %, в зависимости от типа трансформатора может занять несколько десятков минут, что не только повышает дополнительные расходы на проведение обслуживания, но и предъявляет ряд требований к измерительной аппаратуре. В связи с этим основным направлением оптимизации процесса измерения является разработка методов измерения, которые позволят существенно уменьшить время измерения и определить величину сопротивления с допустимой погрешностью 0,2 %.

В основу предлагаемого метода положена идея применения методов идентификации для определения неизвестных величин сопротивлений обмоток трансформатора. Однако за счет того, что протекающие в трансформаторе электромагнитные процессы имеют нелинейные зависимости, возникает ряд сложностей, которые следует устранить. Типовая структурная схема обмотки трансформатора представлена на рис. 1.

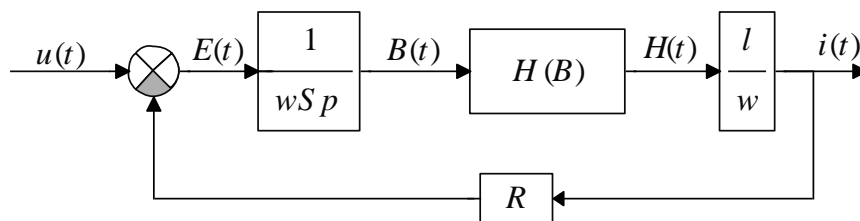


Рис. 1. Типовая структурная схема обмотки трансформатора

Модель обмотки трансформатора построена следующим образом. Так как на вход объекта подается напряжение $u(t)$, то имеется возможность измерить выходной ток $i(t)$ исследуемой обмотки, имеющей число витков w , площадь поверхности S , длину магнитопровода l , а также сопротивление R . Величина ЭДС, которая возникает в исследуемой обмотке, может быть представлена в виде $E(t) = u(t) - i(t)R$, однако за счет эффектов рассеяния и намагничивания ток $i(t) = H(B(t))l/w$ связан с магнитной индукцией B нелинейно. Характеристика напряженности магнитного поля H имеет нелинейную зависимость от магнитной индукции B , которая для холоднокатаной электротехнической стали приближенно описывается формулой:

$$H(B) = 0,36(155B - 9B^2 + 1,04B^{12}).$$

Тогда по известным экспериментальным значениям напряжения $u(t)$ и тока $i(t)$ ставится задача определения трех величин $1/wS$, l/w и R .

Идентификацию параметров нелинейного объекта можно провести с использованием методики, изложенной в [1]. В основу методики положена идея перехода от задачи идентификации объекта к задаче оптимизации определенной целевой функции F . Рассматриваемая методика основывается на многократном проведении процесса моделирования объекта по известной модели со связанными элементами в общем виде и с выбираемыми по алгоритму значениями неизвестных параметров. Алгоритм поиска оптимальных значений параметров построен на основе идей геометрического места точек и метода градиентного спуска.

Предложенную методику идентификации можно использовать для исследования силовых трансформаторов. Например, трансформатор типа ТСЗ-10/0,66 имеет приблизительные значения параметров первичной обмотки: $1/wS = 0,93421 \text{ м}^{-2}$, $l/w = 0,008 \text{ м}$, $R = 0,2 \text{ Ом}$, а также параметры вторичной обмотки: $1/wS = 1,5435 \text{ м}^{-2}$, $l/w = 0,013 \text{ м}$, $R = 0,074 \text{ Ом}$. Тогда исследование обмоток трансформатора осуществляется следующим образом. По измеряемому току $i(t) = H(B(t))l/w + v(t)$, на который действует шум $v(t)$, описываемый несмещенным нормальным распределением со стандартным отклонением 1, и по известному подаваемому на обмотку напряжению $u(t) = 27 \text{ В}$ возможно проведение идентификации значений трех параметров обмотки, причем параметр R следует определить с наибольшей точностью. Модель первичной обмотки трансформатора представлена на рис. 2.

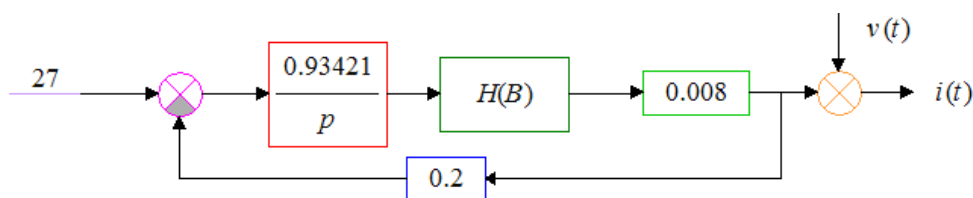


Рис. 2. Структурная схема первичной обмотки трансформатора

Характеристики $B(t)$ и $i(t)$ исследуемого трансформатора представлены на рис. 3.

Идентификация параметров осуществлялась в специализированном разработанном комплексе на вычислительной машине с процессором Intel Core 2 Duo с тактовой частотой 2,2 ГГц, причем временной интервал для идентификации выбран не целиком, а только от 0 до 0,11 секунд (рис. 4).

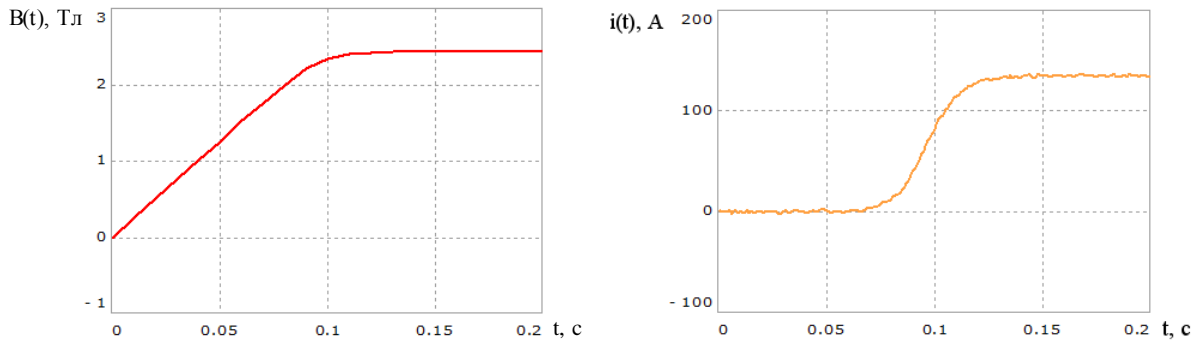


Рис. 3. Зависимость магнитной индукции и тока от времени

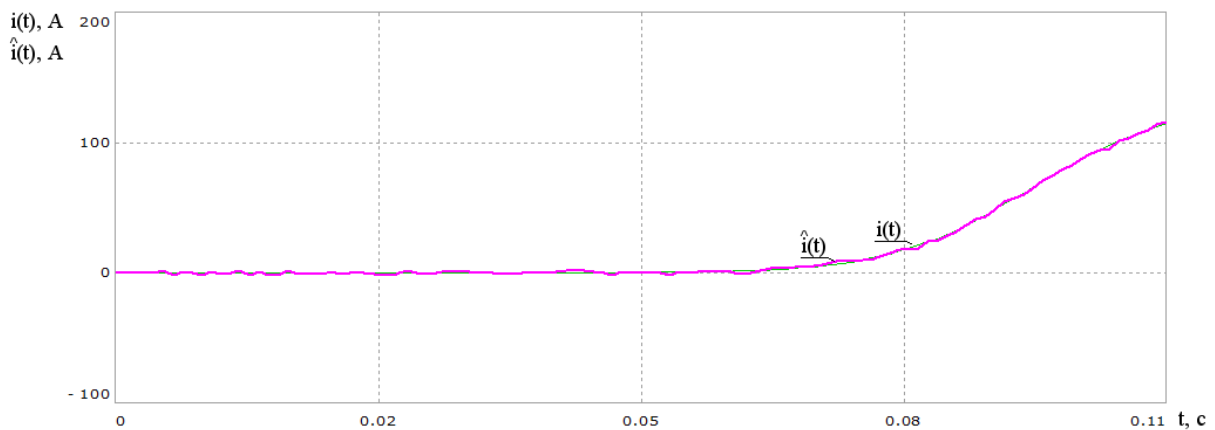


Рис. 4. Исходный и оценочный график выхода исследуемой системы

Численные результаты применения методики идентификации при нулевых начальных значениях параметров сведены в таблицу, в которой указано среднеквадратичное отклонение (СКО) исходного и оценочного графика тока за соответствующее время идентификации в программе.

Таблица 1

Результаты идентификации параметров
первичной обмотки трансформатора

Параметр	Верхнее значение	Оценочное значение за 5 секунд	Оценочное значение за 20 секунд	Оценочное значение за 30 секунд	Погрешность за 30 секунд, %
l/wS	1	0,97000	0,97130	0,97133	3,97
l/w	0,02	0,00500	0,00500	0,00500	37,5
R	1	0,19900	0,19950	0,19963	0,18
СКО	—	1,08950	1,07288	1,07277	—

Аналогично проведены исследования вторичной обмотки за временной интервал от 0 до 0,07 секунд, причем переходный процесс зависимости тока составляет 0,1 секунды. Результаты исследований сведены в таблицу.

Таблица 2

Результаты идентификации параметров
вторичной обмотки трансформатора

Параметр	Верхнее значение	Оценочное значение за 5 секунд	Оценочное значение за 10 секунд	Оценочное значение за 20 секунд	Погрешность за 20 секунд, %
I/wS	2	1,54233	1,54039	1,54252	0,06
I/w	0,02	0,01293	0,01325	0,01302	0,15
R	0,1	0,07362	0,07403	0,07402	0,03
СКО	–	1,11524	1,08463	1,08398	–

Проведенные исследования подтверждают возможность определения величины сопротивления первичной и вторичной обмоток силового трансформатора с допустимой погрешностью 0,2 %.

Таким образом, по известной характеристике тока при помощи разработанной методики идентификации проведена оценка параметров обмоток трансформатора. Погрешность полученных значений сопротивления обмотки не превышает 0,2 %, следовательно, предложенная методика идентификации может быть применена для существенного сокращения времени измерения сопротивлений обмоток трансформатора.

Библиографический список

1. Щербаков, В.П. Метод идентификации моделированием для получения частотной характеристики объектов и систем / В.П. Щербаков // Механика и процессы управления. Том 2. – Материалы XXXXI Всероссийского симпозиума. – М.: РАН, 2011. – С. 238–245.

[К содержанию](#)