

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Введение. Проектирование новых видов электротехнологий и совершенствование действующих требует знания физических процессов в электротехническом оборудовании. Для выбора наиболее оптимального технического решения необходимо изучить электромагнитные процессы во взаимосвязи с условиями эксплуатации и режимами работы. Для их исследований используются математические и физические модели. При математическом моделировании исследуются взаимосвязи между преобладающими параметрами. Преимуществом физического моделирования является возможность получить полную картину во взаимосвязях и закономерностях между электромагнитными параметрами и численными их значениями в электротехническом оборудовании. В основу физического моделирования электромагнитных процессов положена теория подобия. Она предопределяет условия идентичности протекания электромагнитных процессов в реальном электротехническом оборудовании (оригинале) и его физической (масштабной) модели. Здесь отражены условия и режимы постановки эксперимента, измерений и обработки данных, приведения полученных результатов исследований к разрабатываемому электрооборудованию [1-3].

Постановка задачи исследования. При исследованиях нестационарных электромагнитных явлений связующим звеном между физическим моделированием (модель) и экспериментом на реальном электротехническом оборудовании (оригинале) является сохранение природы исследуемого явления в соответствии с теорией подобия. Качественные и количественные связи параметров явления устанавливаются в виде критериальных соотношений, которые обеспечивают условия подобия и идентичности их проявления. В настоящей работе внимание уделяется исследованию добавочных потерь в деталях конструкции с целью обеспечения нормируемых их нагревов и снижения потерь в разрабатываемом оборудовании. Таким образом, идентичность потерь в оригинале $P^{(o)}$ и модели $P^{(м)}$ обеспечивается при соблюдении следующего условия:

$$P^{(o)} \cdot \varphi(h, l) \cdot k^{-1} = P^{(i)} \cdot \vartheta(h) , \quad (1)$$

где $\varphi(h, l)$ и $\vartheta(h)$ - некоторые функции зависимости потерь от распределения магнитного поля h и линейных размеров l ; k - коэффициент подобия.

При изготовлении деталей конструкции из одинаковых конструкционных сталей вторые сомножители в (1) можно представить в следующем виде:

$$\vartheta(h) \cdot k = \varphi(h) \cdot \varphi(l) = \varphi(h, l) . \quad (2)$$

Коэффициент k , характеризующий подобие электромагнитных процессов, должен оставаться постоянным. Для доказательства продиференцируем (2) по l :

$$\frac{d\varphi(h, l)}{d(h, l)} \cdot \frac{d(h, l)}{dl} = \frac{d\varphi(l)}{dl} \cdot \varphi(h) . \quad (3)$$

Очевидно, что при $h = l^{-1}$

$$\left. \frac{d\varphi(h, l)}{d(h, l)} \right|_{h=l^{-1}} = \text{const} \quad (4)$$

Дальнейший анализ показывает, что в геометрически подобных местах (точках) измеренные потери в модели пересчитываются к оригиналу с учетом масштабных коэффициентов.

Материалы исследований. Моделирование электромагнитных параметров в объеме модели и оригинала требует пространственного представления исследуемых явлений. Для упрощения задачи ограничимся анализом напряженности магнитного $H(t)$, электрического $E(t)$ полей и потерь $P_t(H)$:

$$\begin{cases} H(t, l) = \Psi^0(N, l, i); \\ E(t, l) = \Psi^1(N, l, u); \\ P(t, l) = \Psi^2(I, l, S). \end{cases} \quad (5)$$

Нам необходимо определить каким условиям должна удовлетворять разрабатываемая модель. Для этого прологарифмируем уравнения системы (5):

$$\begin{cases} \lg H(t, l) = \alpha_1 \lg N + \beta_1 \lg l + \gamma_1 \lg i; \\ \lg E(t, l) = \alpha_2 \lg N + \beta_2 \lg l + \gamma_2 \lg u; \\ \lg P(t, l) = \alpha_3 \lg I + \beta_3 \lg l + \gamma_3 \lg S. \end{cases} \quad (6)$$

Эта система имеет одинаковые решения, если определитель, составленный из коэффициентов, не равен нулю:

$$\Delta = \begin{vmatrix} \alpha_1 & \beta_1 & \gamma_1 \\ \alpha_2 & \beta_2 & \gamma_2 \\ \alpha_3 & \beta_3 & \gamma_3 \end{vmatrix} \neq 0 \quad (7)$$

Соблюдение этих условий обеспечивает взаимосвязь и независимость искомым функций в системе (5). Это подтверждает возможность распространения рассматриваемого подхода к значительно большему числу переменных, например электродинамических усилий, звуковой мощности, нагревов и т.д.

Следует отметить, что при исследованиях необходимо классифицировать возбуждающие и вызываемые ими параметры.

Экспериментальная проверка осуществлялась на однофазном силовом трансформаторе типовой мощностью 175 МВА и его масштабной модели.

Табл. 1 – Добавочные потери в деталях конструкции трансформатора

Детали и материал	Модель		Оригинал			
	Потери Вт/м ²		потери, Вт/м ²		Коэффициент увеличения потерь, о.е.	
	синус	несинус	синус.	несин.	эксп.	расчет
Бак	10,3	11,85	10,5	12,96	1,15	1,16
Ярмовая балка	10,8	17,93	10,8	18,06	1,66	1,71
Пластина стержня	13,1	15,46	12,50	14,80	1,18	1,21
Пакет	10,2	11,53	9,8	11,05	1,13	1,15

Модель изготовлена в масштабе 1:3.16 к оригиналу с сохранением конструктивных особенностей и из одинаковых конструкционных и изоляционных материалов. Питание модели осуществлялось от генератора напряжения с частотой 500Гц. Измерялись удельные потери в деталях конструкции, напряженность магнитного поля, частота и температура. Удельные потери измерялись термометрическим методом. Использовались хромель-копелевые термопары и короткозамыкатель.

Результаты исследований приведены в табл. 1.

Моделирование потерь с использованием современной вычислительной техники и программного обеспечения при резкопеременном характере возбуждающих параметров позволяет сократить время анализа электромагнитных процессов и рассматривать большее количество возможных вариантов испытательных режимов.

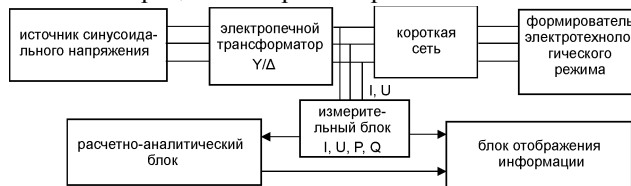


Рис. 1. Структурная схема модели

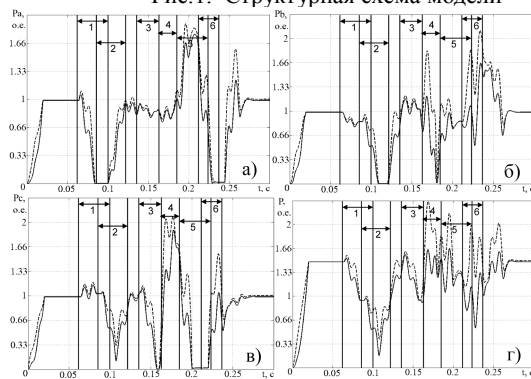


Рис. 2. Потери по первой гармонике (-) и полные (- -) в системе комплекса

Особенностью модели является возможность одно-временного исследования электромагнитных процессов практически в любом узле системы электроснабжения электротехнического комплекса. В качестве формирователя электротехнологического режима используется сочетание электротехнических элементов. На рис. 1 показана структурная схема модели, в которой расчетно-аналитический блок передает в блок отображения информации следующие параметры: полную, активную и реактивную мощность; ток; напряжение; коэффициент несимметрии; коэффициент несинусоидальности; коэффициент мощности; значения гармонических составляющих тока и напряжения; потери.

На рис. 2 показаны результаты моделирования потерь в системе комплекса. Исследования проводились в следующих режимах: 1 – обрыв фазы А; 2 – обрыв фазы В; 3 – обрыв фазы С; 4 – к. з. фаз В-С; 5 – к.з. фаз А-С; 6 – к.з. фаз А-В. Из рис. 2 видно, что при исследованиях электромагнитных параметров системы при технологических режимах неучет несинусоидальности приводит к увеличению погрешности расчета, которая достигает 30%.

Выводы. Методика позволяет значительно расширить область исследований нестационарных электромагнитных процессов с целью выбора более оптимального варианта электротехнического оборудования специального назначения в соответствии с требованиями нормативно-технической документации и государственных стандартах. При неадекватном представлении физических процессов в электротехническом оборудовании реальным, неучет несинусоидальности тока и резкопеременного характера нагрузки погрешность при расчете потерь достигает 30%.

Литература.

1. Веников В.А., Веников Г.В. Теория подобия и моделирования /применительно к задачам электроэнергетики/. М.: «Высшая школа». – 1984. – 440с.
2. В.В. Зиновкин, М.Ю. Залужный, М.В. Зиновкин. Моделирование нестационарных электромагнитных процессов в массивных конструкционных сталях. Праці ІЕД НАН України - № 3 (13). - 2006. – С. 41-45.
3. В.В. Зиновкин, М.Ю. Залужный. Моделирование добавочных потерь в электрооборудовании и системе электротехнического комплекса при несинусоидальных токах. Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. Випуск 4 (45) частина 1. – 2007. – С. 49-53.