

УНИВЕРСАЛЬНАЯ ПРОГРАММА АНАЛИЗА ЛЮБЫХ ТИПОВ ТРЕХФАЗНЫХ ОБМОТОК

Самойлов Г.А.

Одесский национальный политехнический университет.

Украина, 65044, Одесса, пр. Шевченко 1, ОНПУ, ИЭЭ, кафедра электрических машин и аппаратов.

тел. (0482) 28-86-81.

У даній статті розглядається універсальний алгоритм аналізу трифазних обмоток, особлива увага приділяється можливості його програмної реалізації. Показано програму, виконану на основі цього алгоритму.

В данной статье рассматривается универсальный алгоритм анализа трехфазных обмоток, особое внимание уделяется возможности его реализации на языке программирования. Показана программа, выполненная на основе этого алгоритма.

При проектировании и производстве электрических машин специального назначения находят применение нетрадиционные обмотки, включающие в себя все модификации, отличающиеся от обмоток с целыми и дробными числами пазов на полюс и фазу q , в том числе несимметричные и состоящие из катушек с различными числами витков. Для эффективного использования таких обмоток необходимо выполнять детальный гармонический анализ и МДС (ЭДС), проведение которого с использованием известных на настоящее время методов отличается значительной трудоемкостью. Так, одним из известных российских специалистов в области проектирования обмоток Поповым В.И. рекомендуется применение несовершенного и устаревшего графоаналитического способа анализа с использованием диаграмм Гергеса [1]. В большинстве же других случаев применяется методика, основанная на том либо ином способе аналитического представления векторных диаграмм МДС (ЭДС) обмоток [2,3,4]. Этот подход действительно может быть использован для анализа любых типов обмоток, однако его применение без соответствующего программного обеспечения требует больших затрат времени. Поэтому задача создания универсального программного обеспечения детального гармонического анализа произвольных обмоток является актуальной.

В данной статье представлены результаты создания подобного программного обеспечения применительно к произвольным типам трехфазных обмоток.

Базовым объектом исследования выбрана неравновитковая несимметричная обмотка, модель которой представляется в виде двух связанных матриц. Первая матрица М1 отображает распределение активных катушечных сторон (АКС) вдоль рабочего воздушного зазора в соответствии с обобщенным представлением однокоординатных обмоток [5]. В ячейках второй матрицы М2 указываются относительные числа витков w^* соответствующих АКС.

Алгоритм гармонического анализа включает в себя следующие элементы:

- расчет угловых координат АКС

$$\alpha_{i\nu} = \frac{\pi}{3Q} \cdot \nu, \quad (1)$$

где Q – число пазов на фазу, ν – номер гармонической составляющей;

- расчет коэффициентов распределения для всех фаз по следующему выражению [6]

$$k_{R\nu} = \frac{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^n w_i^* \sin \alpha_{i\nu}\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n w_i^* \cos \alpha_{i\nu}\right)^2}}{n}, \quad (2)$$

где n – количество АКС в фазе;

- вычисление относительных амплитуд гармоник H_ν [7]

$$H_n = \frac{k_{Rn} \cdot P}{k_{Rp} \cdot n}, \quad (3)$$

где k_{Rp} – коэффициент распределения по рабочей гармонике;

- расчет коэффициента дифференциального рассеяния [7]

$$\tau_{d\nu} = \sum_{\nu=1}^{5Z} (H_\nu)^2 - 1. \quad (4)$$

Анализ как симметричных, так и несимметричных обмоток производится методом симметричных составляющих применительно к коэффициентам распределения фаз, представленных в комплексной форме. Поэтому в дополнение к (2) определяются соответствующие угловые координаты $\phi_{j\nu}$, по выражению

$$\phi_{j\nu} = \operatorname{arctg} \frac{\sum \sin(\alpha_{i\nu})}{\sum \cos(\alpha_{i\nu})}. \quad (5)$$

Тогда составляющие прямой $k_{p\nu d}$, обратной $k_{p\nu r}$ и нулевой $k_{p\nu 0}$ последовательностей рассчитываются по формулам:

$$\begin{aligned} k_{p\nu} &= (k_{R1\nu} + a \cdot k_{R2\nu} + a^2 \cdot k_{R3\nu})/3; \\ k_{r\nu} &= (k_{R1\nu} + a^2 \cdot k_{R2\nu} + a \cdot k_{R3\nu})/3; \\ k_{0\nu} &= (k_{R1\nu} + k_{R2\nu} + k_{R3\nu}); \end{aligned}$$

где $a = e^{j20^\circ}$ – оператор поворота.

При анализе двухслойных обмоток для вычисления коэффициента укорочения обмотки и обмоточно-го коэффициента используются известные формулы.

Приведенный алгоритм реализован на объектно-ориентированном языке программирования Delphi 5.

В главном окне программы располагаются: матричная модель, векторная диаграмма, результирующая кривая МДС и результаты гармонического анализа.

Предусмотрен ввод данных обмотки с использованием числового ряда или последовательности номеров пазов фазной зоны, которые преобразуются программой в матричную модель.

Приведем пример работы программы с двухполюсной неравновитковой обмоткой, которая выполнена в 36 пазах. Пусть в трети пазов расположены АКС с уменьшенным на 30% количеством. Тогда матричная модель М1 обмотки отображается следующим образом

$$M1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \end{pmatrix},$$

а матрица относительных чисел витков М2

$$M2 = \begin{pmatrix} 0,7 & 0,7 & 0,7 & 0,7 & 0,7 & 0,7 \\ 1,0 & 1,0 & 1,0 & 1,0 & 1,0 & 1,0 \\ 1,0 & 1,0 & 1,0 & 1,0 & 1,0 & 1,0 \\ 1,0 & 1,0 & 1,0 & 1,0 & 1,0 & 1,0 \\ 1,0 & 1,0 & 1,0 & 1,0 & 1,0 & 1,0 \\ 0,7 & 0,7 & 0,7 & 0,7 & 0,7 & 0,7 \end{pmatrix}.$$

После введения исходных данных производится расчет коэффициентов распределения и построение векторной диаграммы в масштабе заданной гармоники. Окно с изображенной на нем векторной диаграммой по первой гармонике представлено на рис. 1.

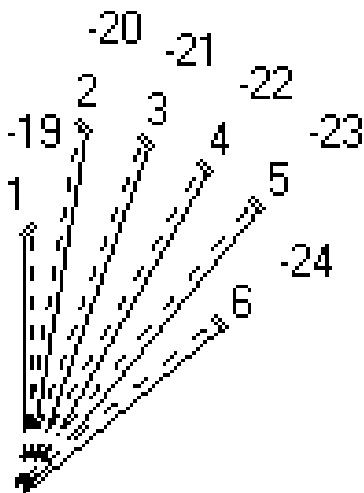


Рис. 1. Векторная диаграмма обмотки с уменьшенным количеством витков

Кривая МДС рассчитывается суммированием гармонических составляющих до 5Z. Окно с построенной кривой представлено на рис. 2.

Существует возможность показа в данном окне любой гармонической составляющей.

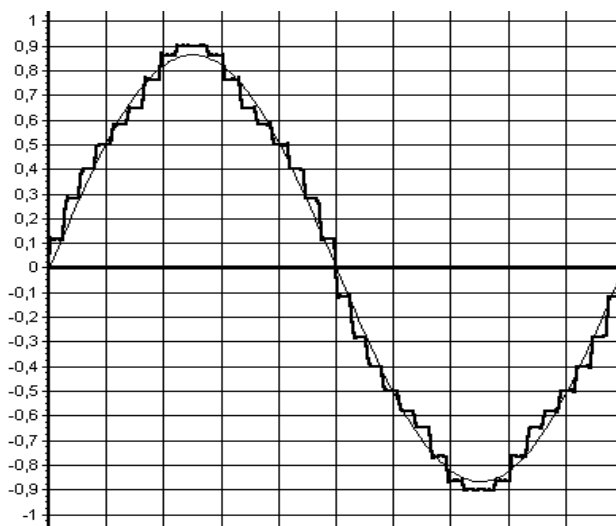


Рис. 2. Форма результирующей кривой МДС, тонкой линией показана идеальная (синусоидальная) форма МДС

ВЫВОД

Программа апробирована при проектировании обмоток и в учебном процессе на кафедре электрических машин ОНПУ. Результаты показывают значительное снижение трудоемкости при проведении исследований нестандартных обмоток, поэтому она может быть рекомендована для использования другими специалистами-электромеханиками.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Попов В.И. Матричный анализ схем совмещенных полюсопереключаемых обмоток. - Электричество, №3, 1991. - с. 31-37.
- [2] Жерве Г.К. Обмотки электрических машин. - Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989 с.
- [3] Кучера Я., Гапл Й. Обмотки электрических вращательных машин. - Изд. Чехословацкой академии наук, Прага: 1963. - 981 с.
- [4] Лушник В.Д. Расчет МДС *m*-фазных обмоток // Электричество. - №1- 1991. - С. 68-72.
- [5] Дегтев В.Г. Синтез симметричных трехфазных обмоток с заданным уровнем избирательности // Электричество, №4, 1993. - С. 40-44.
- [6] Veinott C.G. Spetial harmonic magnetomotive forees in irregular windings and special connections of polyphase-windins. "IEEE", Trans. Power Apparatus and Systems. v.83, 1964. - p.1246-1255.
- [7] Геллер Б., Гамата В. Дополнительные поля, моменты и потери мощности в асинхронных машинах. — М.: Энергия, 1981.— 352 с.

Поступила 08.09.2003