

К РАСЧЕТУ МАГНИТНОЙ ЦЕПИ СОВМЕЩЕННЫХ МАШИН

А. И. СКОРОСПЕШКИН, М. Л. КОСТЫРЕВ

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин и общей электротехники)

Вопросам расчета магнитной цепи совмещенных машин посвящены работы [1, 2 и др.]. В одной из них [1] дан анализ двух вращающихся полей, совмещенных в одном магнитопроводе, при аппроксимации кривой намагничивания стали формулой

$$H = \alpha \cdot \operatorname{sh} \beta \cdot B, \quad (1)$$

где α и β зависят от марки стали и участка кривой намагничивания. В результате анализа [1] установлено, что влиянием высших гармонических в н. с. можно пренебречь и вести расчет лишь по первым гармоническим. Амплитуды первых гармонических н. с. на зубцы и ярмо для первой и второй совмещенных машин определяются по формулам [1]

$$F_{z1} = 2L_z \cdot \alpha \cdot I_0(\beta \cdot B_{zm2}) \cdot I_1(\beta \cdot B_{zm1}), \quad (2)$$

$$F_{z2} = 2L_z \cdot \alpha \cdot I_0(\beta \cdot B_{zm1}) \cdot I_1(\beta \cdot B_{zm2}), \quad (3)$$

$$F_{a1} = \frac{4}{\pi} \cdot L_{a1} \cdot \alpha \cdot I_0(\beta \cdot B_{am2}) \cdot I_1(\beta \cdot B_{am1}), \quad (4)$$

$$F_{a2} = \frac{4}{\pi} \cdot L_{a2} \cdot \alpha \cdot I_0(\beta \cdot B_{am1}) \cdot I_1(\beta \cdot B_{am2}), \quad (5)$$

$I_0(\beta B)$, $I_1(\beta B)$ — функции Бесселя чисто мнимого аргумента первого рода нулевого и первого порядка,

B_{zm1} , B_{zm2} , B_{am1} , B_{am2} — амплитуды индукций в зубцах и ярме от полей первой и второй машины,

L_z , L_{a1} , L_{a2} — соответствующие длины участков.

Методика расчета с использованием формул (2 ÷ 5) значительно проще другой [2], связанной с многократным графоаналитическим расчетом магнитной цепи при перемещении совмещенного поля относительно рассчитываемого.

Кроме того, методика, использующая аппроксимацию кривой намагничивания аналитической зависимостью, удобна для программирования на ЭЦВМ.

В настоящей статье излагается методика расчета коэффициентов α и β с помощью ЭЦВМ, приводятся рассчитанные значения α и β для стали Э11, Э41.

Для расчета магнитной цепи с удовлетворительной точностью следует учитывать явление уплощения кривой поля в зоне воздушного зазора и зубцов, а также неравномерность поля в ярме.

Можно принять коэффициент расчетной полюсной дуги $\alpha_i = \frac{2}{\pi}$

и использовать кривую намагничивания стали в зубцах с учетом уплощения поля, а кривую намагничивания в ярме — с учетом неравномерности поля [3]. Уплощение в зазоре можно учесть обычным путем, через α_i , определенное по получившемуся насыщению в зоне воздушного зазора.

Аппроксимация кривых намагничивания с учетом уплощения и неравномерности полей была выполнена на ЭЦВМ „Проминь“ методом квадратичной интерполяции. Как известно, такой метод требует минимизации величины

$$S = \sum_{i=1}^k (H_i - \alpha \cdot \text{sh} \beta \cdot B_i)^2, \quad (6)$$

B_i, H_i — индукции и напряженности магнитного поля в отдельных точках кривой намагничивания.

Взяв частные производные, получим

$$\frac{\partial S}{\partial \alpha} = \sum H_i \cdot \text{sh} \beta \cdot B_i - \alpha \cdot \sum \text{sh}^2 \beta \cdot B_i = 0, \quad (7)$$

$$\frac{\partial S}{\partial \beta} = \sum H_i \cdot \text{ch} \beta \cdot B_i - \frac{1}{2} \cdot \alpha \cdot \sum B_i \cdot \text{sh} 2 \beta \cdot B_i = 0. \quad (8)$$

Трансцендентные уравнения (7, 8) были решены по схеме рис. 1.

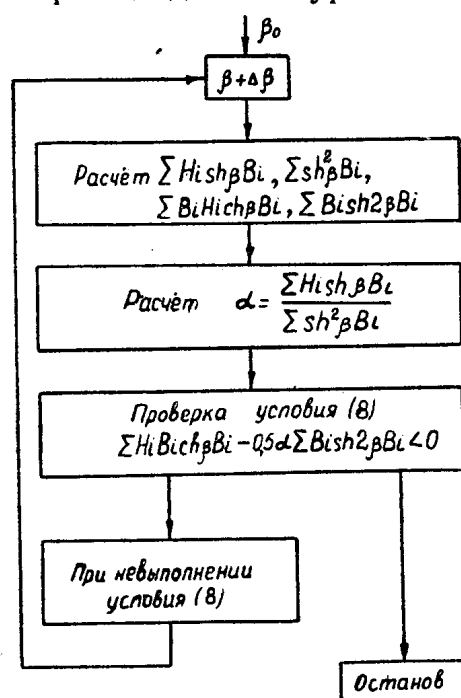


Рис. 1. Структурная схема расчета коэффициентов α и β

Начальное значение β_0 выбирается заданно малым, но больше нуля. Сначала β вычисляется с точностью до 0,1, затем шаг $\Delta \beta$ устанавливается 0,01 и вычисляют β с точностью до 0,01 и т. д.

При числе точек на кривой намагничивания $k \approx 10$ машинное время расчета α, β с точностью до 5 знаков не превышает 15 мин.

Результаты расчета α и β для стали Э11 и Э41 приведены в табл. 1. Для наилучшей аппроксимации кривая намагничивания была разбита на три участка. Максимальная абсолютная погрешность не более $1,8 \frac{a}{cm}$, средняя квадратическая ошибка 6%.

Для сравнения методик расчета, учитывающих и не учитывающих уплощение поля в зоне зубцов и неравномерность в ярме, на ЭЦВМ «Минск-1» были рассчитаны по обеим методикам характеристики холо-

стого хода макета фазочувствительного двухкаскадного ЭМУ совмещенного типа [4].

Из рис. 2 видно, что расчет без учета уплотнения и неравномерности полей (характеристика 3) приводит к завышенным значениям токов намагничивания по сравнению с опытной характеристикой 1. Учет этих

Таблица 1

Участок	З у б ц ы		Я р м о		Марка стали
	α	β	α	β	
$B=0,2 \div 1 \text{ тл}$	2,5465	1,2610	1,5662	1,3110	Э11
$B=1 \div 1,4 \text{ тл}$	1,0058	2,1320	0,57863	2,2215	
$B=1,1 \div 1,8 \text{ тл}$	0,10245	3,6695	0,017852	4,6001	
$B=0,2 \div 1 \text{ тл}$	0,99835	1,9338	0,55729	2,1950	Э41
$B=1 \div 1,4 \text{ тл}$	0,63312	2,3637	0,19103	3,0810	
$B=1,4 \div 1,8 \text{ тл}$	0,0087812	5,3048	0,0099527	5,1799	

явлений предложенным методом позволяет увеличить точность расчета (характеристика 2).

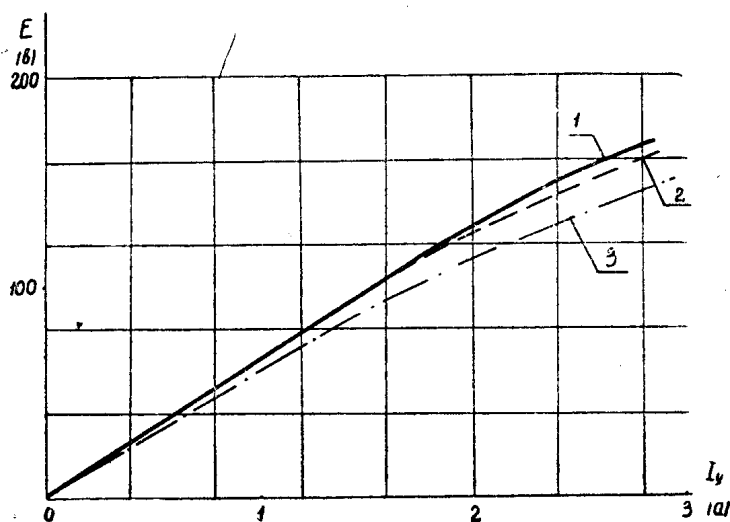


Рис. 2. Характеристики холостого хода макета фазочувствительного ЭМУ совмещенного типа

Расчет характеристик ведется по средним параметрам. Вследствие разброса параметров характеристики каждого образца будут отличаться от расчетных. Проблема расчета допусков на параметры, гарантирующих совпадение с заданной точностью расчетной и опытной характеристик для каждого образца, является весьма сложной для обычных машин, тем более для машин совмещенного типа, и выходит за рамки данной статьи.

Выводы

1. Аппроксимация кривой намагничивания стали гиперболическим синусом приводит к простой методике расчета магнитной цепи смещенных машин, удобной для программирования на ЭЦВМ.
2. Учет уплощения магнитного поля в зубцах и неравномерности поля в ярме позволяет увеличить точность расчета машин смещенного типа.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. С. Новокшенов. Исследование асинхронного бесщеточного преобразователя частоты. Диссертация, Томский политехнический институт, 1960.
2. М. С. Михайлов-Микулинский. Расчет магнитных цепей электрических машин с двумя вращающимися полями. ИВУЗ, «Электромеханика», 1953, № 3.
3. И. М. Постников. Проектирование электрических машин. Киев, 1960.
4. E. Mishkin. On Some Polyfield Amplifiers. «Power Apparatus and Systems». April, 1956.