

## КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ПОПЕРЕЧНОЙ РЕАКЦИИ В МИКРОЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯХ ПОСТОЯННОГО ТОКА С АНИЗОТРОПНЫМИ МАГНИТАМИ

В. Ф. Костин, Ф. А. Сердюк, С. Т. Попов

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин  
и общей электротехники)

При воздействии поперечной реакции якоря (ПРЯ) в магнитоэлектрических машинах (МЭД) на нестабилизированный магнит происходит его необратимое размагничивание (стабилизация). Если в нормальных режимах работы МЭД влиянием ПРЯ можно пренебречь, то при нестационарных режимах работы двигателя это влияние необходимо учитывать.

Известные методы учета и анализа ПРЯ в МЭД [1, 2] исходят из диаграмм состояния магнита с использованием предельной кривой размагничивания, т. е. кривой размагничивания, которая получается, если к магниту приложить поле, обратное по знаку намагничивающему полю.

При использовании в МЭД анизотропных магнитов такой метод подхода к учету и анализу ПРЯ не может отражать ни качественной, ни количественной стороны процесса, так как по существу он исходит только из действия продольно размагничивающих полей.

Если к анизотропному магниту, имеющему остаточную намагниченность  $I_0$  в направлении текстуры, приложить продольно размагничивающее поле, то процессы размагничивания будут определяться обычной предельной кривой размагничивания (рис. 1, кривая 1). Если к такому же магниту, имеющему остаточную намагниченность  $I_0$  в направлении текстуры, приложить внешнее поле перпендикулярно оси основного намагничивания, то процессы размагничивания будут определяться кривой

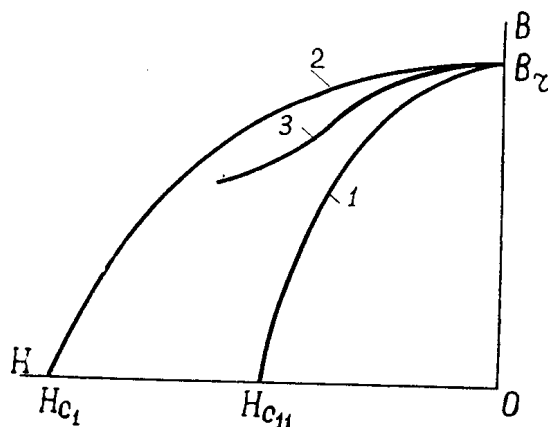


Рис. 1

2 рис. 1. При воздействии поля ПРЯ силовые линии не могут входить нормально к поверхности магнита в силу различия магнитных проницаемостей вдоль ( $\mu_{\parallel}$ ) и поперек текстуры ( $\mu_{\perp}$ ), а также за счет преломления их на границе раздела двух сред (воздушный зазор — тело магнита). В силу этого результирующий вектор поля ПРЯ будет иметь две составляющие, одна из которых —  $H_{\parallel}$  направлена по оси текстуры, а другая —  $H_{\perp}$  перпендикулярно ей. Поэтому процессы стабилизации (размагничивания) будут определяться некоторой кривой 3, заключенной между кривыми 1 и 2 рис. 1.

Так как  $H_{\parallel}$  всегда будет удерживать половину полюса подмагниченной, то кривая 3 рис. 1 не может опуститься до оси абсцисс. В силу этого перемагничивание магнита в перпендикулярном направлении будет носить характер незамкнутого цикла гистерезиса.

Очевидно, что количественный учет всех этих сложных явлений в МЭД вызовет ряд трудностей и особенностей в расчете и точность учета всех этих особенностей будет отражаться на точности расчета магнитной системы МЭД в целом.

Количественная сторона стабилизации магнита полем ПРЯ будет зависеть от потока реакции якоря, проходящего по телу магнита. При использовании в микродвигателях двухполюсных магнитных систем упрощенная схема замещения для потока ПРЯ может быть представлена так, как показано на рис. 2.

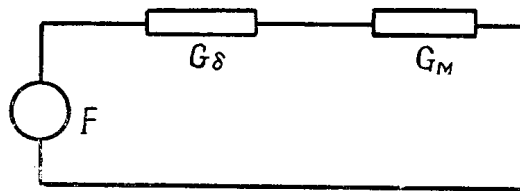


Рис. 2

Используя второй закон Кирхгофа для магнитной цепи, можно написать

$$F = \frac{\Phi}{G_{\delta}} + \frac{\Phi}{G_{\text{М}}}, \quad (1)$$

где

$F$  — н. с. поперечной реакции якоря;

$\Phi$  — поток поперечной реакции якоря;

$G_{\delta}$  — проводимость воздушного зазора;

$G_{\text{М}}$  — проводимость тела магнита потоку ПРЯ.

Проводимость тела магнита потоку ПРЯ может быть выражена как

$$G_{\text{М}} = \int_l \frac{S_{\text{м}}}{L_{\text{м}}} d\mu_{\text{м}} = \frac{S_{\text{м}}}{L_{\text{м}}} \int_l d\mu_{\text{м}}.$$

Следовательно, поток ПРЯ не может быть определен из уравнения (1), так как не известна величина  $\mu_{\text{м}}$  (проницаемость вдоль линии потока ПРЯ в теле магнита).

Определение  $\int_l d\mu_{\text{м}}$  связано с большими трудностями, так как  $\mu_{\text{м}}$  зависит от соотношения проницаемостей вдоль и поперек текстуры магнита, соотношения векторов  $H_{\parallel}$  и  $H_{\perp}$ , состояния магнита, величины поля ПРЯ и т. д.

Путем экспериментального исследования МЭД с внешним кольце-

вым магнитом и зубчатым якорем, а также МЭД с внутренним цилиндрическим магнитом и гладким якорем были получены зависимости

$$\frac{B'}{B} = f(I_{\text{я}}),$$

где  $B$  — индукция в расточке микроэлектродвигателя при нестабилизированном магните;

$B'$  — то же при стабилизированном магните;

$I_{\text{я}}$  — ток якоря.

Если эти зависимости представить, как

$$\frac{\Phi'}{\Phi} = f\left(F \frac{\lambda \mu_0}{\lambda' \mu_M}\right) = f\left(I_{\text{я}} N \frac{\lambda \mu_0}{\lambda' \mu_M}\right) = f(I_{\text{я}} K),$$

где

$\Phi'$  — поток в расточке микроэлектродвигателя при стабилизированном магните;

$\Phi$  — то же при нестабилизированном магните;

$N$  — число проводников якоря;

$\lambda \mu_0$  — проводимость воздушного зазора потоку ПРЯ;

$\lambda' \mu_M$  — проводимость тела магнита потоку ПРЯ.

$K = N \frac{\lambda \mu_0}{\lambda' \mu_M}$  параметр электромагнитной системы,

причем

$$\lambda = \frac{2\pi l}{4 \ln \frac{D}{D'}},$$

где

$l$  — длина якоря;

$D$  — внутренний диаметр расточки магнита для МЭД с внешним кольцевым магнитом;

$D'$  — приведенный диаметр якоря с учетом коэффициента Картера.

Для МЭД с внутренним магнитом:

$D'$  — внешний диаметр якоря;

$D$  — внутренний диаметр расточки корпуса  $\lambda' = \frac{S_m}{L_m}$ ,

где

$S_m$  — сечение магнита;

$L_m$  — длина магнита.

На основании вышеуказанных рассуждений можно получить обобщенные кривые для учета влияния ПРЯ в МЭД с данной конфигурацией магнитной системы.

Для МЭД, ДПМ и ДПР зависимости

$$\frac{\Phi'}{\Phi} = f\left(F \frac{\lambda \mu_0}{\lambda' \mu_M}\right)$$

представлены на рис. 3, 4.

Входящее в выражение  $\left(F \frac{\lambda}{\lambda'} \frac{\mu_0}{\mu_M}\right)$  отношение  $\frac{\mu_0}{\mu_M}$  определять не требуется, так как это отношение уже заложено в экспериментальных кривых рис. 3, 4.

При количественном учете ПРЯ в МЭД с вышеуказанными магнитными системами можно использовать кривые рис. 3, 4. Для этого по расчетному параметру  $K$  и заданному режиму работы, определяемому

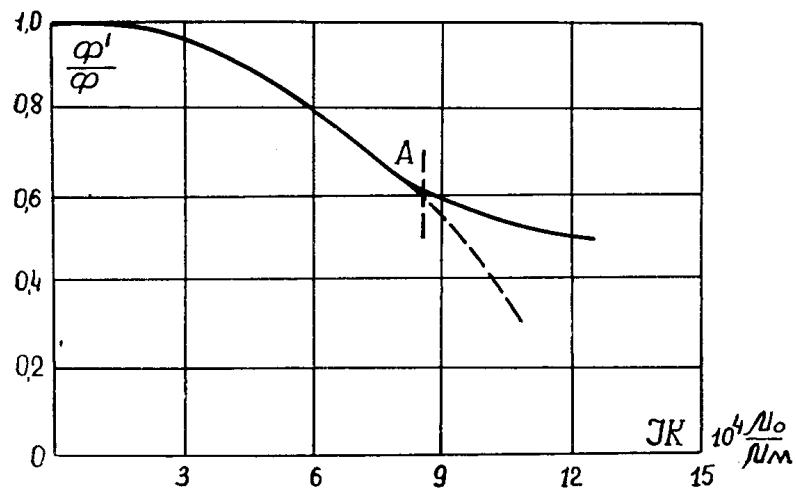


Рис. 3

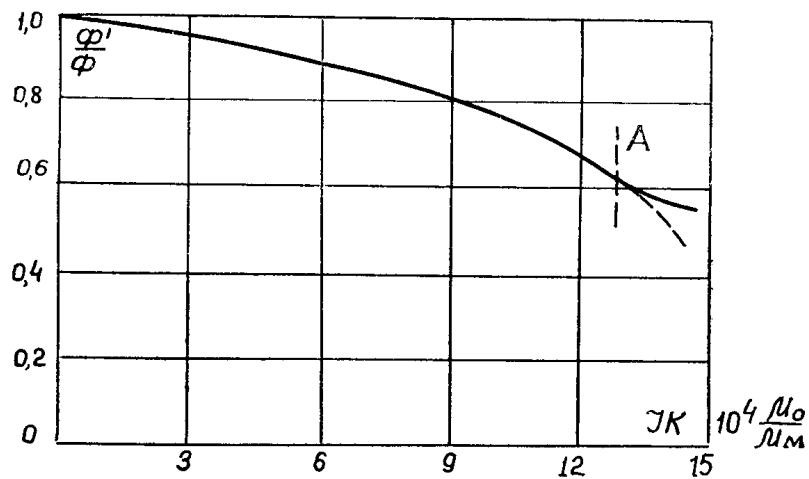


Рис. 4

током якоря —  $I_{я}$ , находится произведение  $I_{я}K$ , а по нему, используя кривые рис. 3, 4, отношение  $\frac{\Phi'}{\Phi}$ . Необходимо отметить, что при переходе от одних зависимостей к другим используются неприведенные (к полной н. с.) расчетные проводимости.

Количественный учет ПРЯ в МЭД можно осуществлять и аналитически. Для этого кривые рис. 3, 4 необходимо аппроксимировать.

Аппроксимируя кривые рис. 3, 4 аналитическими выражениями, получим:

а) для микроэлектродвигателей с внешним кольцевым магнитом сплава ЮНДК-24 и зубчатым якорем,

$$\frac{\Phi'}{\Phi} = \left[ 1 + 0,013x - 0,065x^2 \right], \quad (2)$$

где

$$x = 0,26 K I_{я} 10^{-5}.$$

б) для микроэлектродвигателей с внутренним цилиндрическим магнитом из сплава ЮНДК-24 и полым гладким якорем

$$\frac{\Phi'}{\Phi} = \left[ 1 - 0,078x - 0,112x^2 \right], \quad (3)$$

где

$$x = 1,15 K I_{\text{я}} 10^{-5}.$$

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Балагуров и др. Электрические машины с постоянными магнитами. «Энергия», 1964.
  2. Ю. С. Захаров. Реакция якоря магнитоэлектрических машин. Автореферат, 1959.
  3. А. С. Кантер. Учет размагничивающего влияния токов короткого замыкания при определении размеров постоянных магнитов машины. «Электричество», 1940, № 8.
-