XXXIII Неделя науки СПбГПУ. Материалы межвузовской научно-технической конференции. Ч.II: С.46-48, 2005.
© Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 2005.

УДК 621.313.22

М.М.Шишкин (6 курс, каф. ЭМ), В.А.Изотов, к.т.н., вед.н.с.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ И С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОКОЭРЦИТИВНЫХ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ

Применение коллекторных электродвигателей постоянного тока, обладающих высокой перегрузочной способностью, возможностью регулирования частоты вращения в широком диапазоне, в ряде случаев ограничивается высокой коммутационной напряженностью. Возможность снижения этой напряженности очевидна из следующего выражения для электромагнитной мощности $P_Э$:

$$P_Э = \frac{\pi}{2} \cdot \alpha \cdot D_a \cdot \frac{B_\delta \cdot E_r \cdot l_p}{k_\varphi \cdot w_c \cdot \lambda \cdot l_a}, \qquad (1)$$

где α – коэффициент полюсного перекрытия; D_a – диаметр сердечника якоря; B_δ – расчетная величина магнитной индукции в немагнитном зазоре; E_r – допустимое среднее значение реактивной ЭДС при максимальной частоте вращения; w_c – число витков в секции обмотки якоря; λ – величина средней удельной магнитной проводимости потокам рассеяния коммутируемых секций; l_p, l_a – расчетная и полная длина сердечника якоря; κ_φ – отношение максимального магнитного потока в рабочих режимах к магнитному потоку при максимальной скорости.

Как следует из выражения (1), применением беспазовой конструкции якоря при прочих равных условиях достигается повышение более чем вдвое единичной мощности машин постоянного тока, значительное увеличение быстродействия реверсивных двигателей, перегрузочной способности за счет значительного уменьшения величины λ. Однако переход к беспазовому якорю приводит к повышению расхода меди на обмотку возбуждения, что вызывает ухудшение массогабаритных показателей [1].

На основе разработанного варианта двигателя с гладким якорем мощностью 150 кВт были проведены исследования, направленные на совершенствование энергетических и массогабаритных показателей. Основные данные этого электродвигателя с электромагнитным возбуждением следующие: номинальная мощность Pн=150 кВт; частота вращения n=1800 об/мин; номинальное напряжение U=170 В; коэффициент полезного действия η=85,2%; наружный диаметр Dн=450 мм; диаметр якоря Da=261 мм; длина машины $L_н$=800 мм; масса активных элементов $G_{актив}$=268,4 кг. Режим работы – повторно-кратковременный. Теплоотвод обмотки возбуждения осуществляется непосредственным образом, а потери в якоре отводятся при косвенном охлаждении водой.

Учитывая, что в настоящее время среди известных магнитотвердых материалов особое место занимают высококоэрцитивные сплавы Sm-Co и Nd-Fe-B, были рассмотрены варианты беспазового электродвигателя мощностью 150 кВт с возбуждением от постоянных магнитов. Постоянные магниты, изготовленные из этих сплавов, обладают наивысшим значением удельной магнитной энергии, поэтому они получили условное название «высокоэнергетические». Для магнита $SmCo_5$ остаточная индукция B_r=1,02 Тл, коэрцитивная сила H_c=800 кА/м, удельная энергия $(BH)_{max}$=204 кДж/м^3, для магнита $Nd_2Fe_{14}B$ – B_r=1,46 Тл, H_c=760 кА/м, $(BH)_{max}$=405 кДж/м^3 [2]. В данных расчетах использовался магнитный материал НБ-200 с B_r=1,15 Тл и H_c=1300 кА/м.

Задача состояла в проведении исследования магнитных систем на основе этих материалов. Были проведены расчетные исследования двух вариантов: с радиальным и тангенциальным расположением магнитов, построены рабочие диаграммы, которые выявили возможности создания беспазовых электродвигателей с возбуждением от постоянных магнитов и заданными технико-эксплуатационными параметрами. Полученные результаты послужили причиной для более детального изучения распределения магнитного поля этих вариантов электродвигателей. Для этих целей использовался программный пакет ELCUT. В качестве расчетной модели рассматривалось поперечное сечение машины при нулевом и номинальном токе якоря двигателя.

Рассмотрев в ходе этого этапа множество вариантов с разными геометрическими размерами постоянных магнитов, были выявлены значения, обеспечивающие необходимый магнитный поток в воздушном зазоре и обладающие наименьшим рассеянием. Полученные показатели окончательных вариантов сведены в табл. 1.

Таблица 1.

Варианты	Показатели					
	КПД, %	$G_{актив}$, кг	$Ф_{\delta}$, Вб	$\sigma_м$	$D_н$, мм	$L_н$, мм
Магнитная система с радиальным расположением магнитов	90,9	167,38	0,0308	1,16	430	800
Магнитная система с тангенциальным расположением магнитов	90,9	226,76	0,0308	1,04	418	800

Так как рассматриваемые варианты электродвигателей были выполнены без добавочных полюсов и компенсационной обмотки, то наиболее детальные исследования были проведены в зоне коммутации. Известно, что в таких машинах ЭДС в коммутирующей секции e_r+e_{aq} не должна превышать 2 В [3]. Наибольшие значения индукции в зоне коммутации имеют место на краю этой зоны $B_{зкmax}$=0,415 Тл для варианта с радиальным расположением магнитов и $B_{зкmax}$=0,404 Тл для варианта с тангенциальным расположением магнитов. При этом среднее значение индукции $B_{зкср}$=0,29 Тл и $B_{зкср}$=0,274 Тл, ЭДС от поперечной реакции якоря e_{aq} составляет 2,28 В и 2,16 В соответственно, а реактивная ЭДС e_r=0,622 В для обоих вариантов. Попытки улучшить распределение индукции в зоне коммутации за счет увеличения немагнитного зазора под краем полюса привели к различным результатам: для базового двигателя с электромагнитным возбуждением это сопровождалось положительным результатом, а для вариантов с возбуждением от постоянных магнитов изменение индукции в нужную сторону достигалось в недостаточной степени. Для компенсации ЭДС в коммутирующей секции был использован сдвиг щеток с нейтрали против направления вращения. Оптимальным вариантом оказался сдвиг щеток на 0,5 коллекторных делений.

В результате проделанной работы установлено, что беспазовые электродвигатели с постоянными магнитами обеспечивают существенное повышение КПД (на 5,7%) и улучшение массогабаритных показателей, причем наилучшие результаты дает вариант с радиальным расположением магнитов, масса активных элементов которого снижается на 37,6%. Также было выявлено, что для вариантов беспазового электродвигателя с возбуждением от постоянных магнитов, поле реакции якоря оказывает более сильное влияние на распределение поля в зоне коммутации по сравнению с электромагнитным возбуждением.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Бочаров В.И. Беспазовые тяговые электродвигатели постоянного тока. М.: Энергия, 1976.

2. Шереметьевский Н.Н., Стома С.А., Сергеев В.В. Высокоэнергетические постоянные магниты в электромеханике. Электротехника, №11, 1991.
3. Костенко М.П., Пиотровский Л.М. Электрические машины. Ч.1.– Машины постоянного тока. Л.: Энергия, 1973.