

УДК 621.313.8

Ф. Р. ИСМАГИЛОВ, И. Х. ХАЙРУЛЛИН, Е. А. ПОЛИХАЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ГЕНЕРАТОРА  
С ВЫСОКОКОЭРЦИТИВНЫМИ МАГНИТАМИ

Исследуется магнитное поле в сечении магнитоэлектрического генератора с высококоэрцитивными постоянными магнитами с помощью программы ELCUT. Сравниваются внешние характеристики, полученные при расчете и экспериментальном исследовании макетного образца генератора. *Магнитное поле; высококоэрцитивные постоянные магниты; магнитоэлектрический генератор*

В настоящее время в снегоходах, квадроциклах, гидроциклах, катерах широко применяются магнитоэлектрические генераторы. В последнее время на них устанавливаются двигатели внутреннего сгорания с водяным охлаждением и непосредственным впрыском топлива, требующих увеличения электрической мощности что в свою очередь требует увеличения мощности генератора. Лидерами в производстве снегоходов являются такие фирмы, как Polaris, Arctic Cat, Yamaha, Bombardier. Они задают темпы и направления развития снегоходной техники, включая системы электроснабжения. Наиболее перспективным для безаккумуляторных объектов является применение магнитоэлектрических генераторов с использованием редкоземельных высококоэрцитивных постоянных магнитов.

Бесконтактные генераторы с постоянными высококоэрцитивными магнитами имеют простую конструкцию, высокий КПД, надежное возбуждение и меньшую чувствительность к действию реакции якоря в отличие от электрических машин с другими системами возбуждения [1, 2].

Применение современных высококоэрцитивных магнитных материалов и соответствующее конструктивное исполнение генератора обуславливают необходимость разработки методики расчета [3].

На базе существующих методик расчета генераторов с постоянными магнитами создана методика расчета специальных генераторов для обеспечения электроснабжением потребителей и систем зажигания автономных объектов. Для проверки точности расчетов по данной методике проведено моделирование в пакете ELCUT. Для определения погрешности и уточнения методики проводится моделирование магнитного поля генератора. При мо-

делировании получается наглядный результат в виде изображения магнитных силовых линий, и соответственно появляется возможность добиться уменьшения массогабаритных характеристик генератора. В результате моделирования изменяя геометрию можно добиться равномерного распределения потока по участкам магнитной цепи. За счет этого удастся добиться увеличения удельной мощности генератора. И исходя из данных моделирования появляется возможность уточнить методику расчета.

Целью работы является исследование и моделирование магнитного поля генератора с высококоэрцитивными постоянными магнитами для проверки методики расчета генераторов.

На рис. 1 представлены наглядные результаты моделирования магнитного поля для режима холостого хода и при номинальной нагрузке. В рассматриваемой модели генератора располагается обмотка в количестве 15 витков на полюс. Параметры магнита задаются  $B_r = 0,34$  Тл и  $H_c = 466664$  А/м, свойства сердечника якоря соответствуют свойствам электротехнической стали 2013. Для исследования генератора в программе рассчитывается магнитный поток на поверхности полюса для случая холостого хода и при нагрузке. При расчете потока для нагрузочного режима пошагово меняется значение плотности тока в обмотке в соответствии токам, протекающим в проводнике. Данные, полученные при моделировании, занесены в табл. 1.

Для экспериментального исследования был использован стенд, специально разработанный и предназначенный для испытаний систем зажигания. Напряжение на нагрузке измеряется вольтметром Д50151, а ток в нагрузке амперметром Э8030–М1.

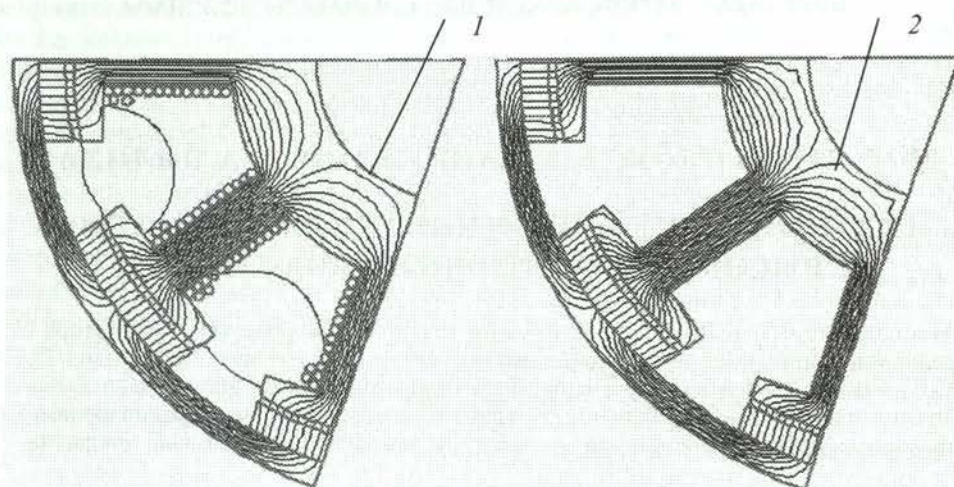


Рис. 1. Распределение магнитного поля генератора:  
1 — при номинальной нагрузке, 2 — при холостом ходе

Таблица 1

$I, A$	0	6	7	8	9	10	11	12
$\Phi, Вб \times 10^{-4}$	2,22	2,11	2,07	2,04	2,02	1,996	1,97	1,95

Таблица 2

$I_n, A$	0	6	7	8	9	10	11	12
$U, В, 1000 \text{ об/мин}$	10,6	9,5	9,2	8,975	8,65	8,3	7,9	7,35
$U, В 2000 \text{ об/мин}$	20	19	18,8	18,4	17,8	17,4	16,6	16,1

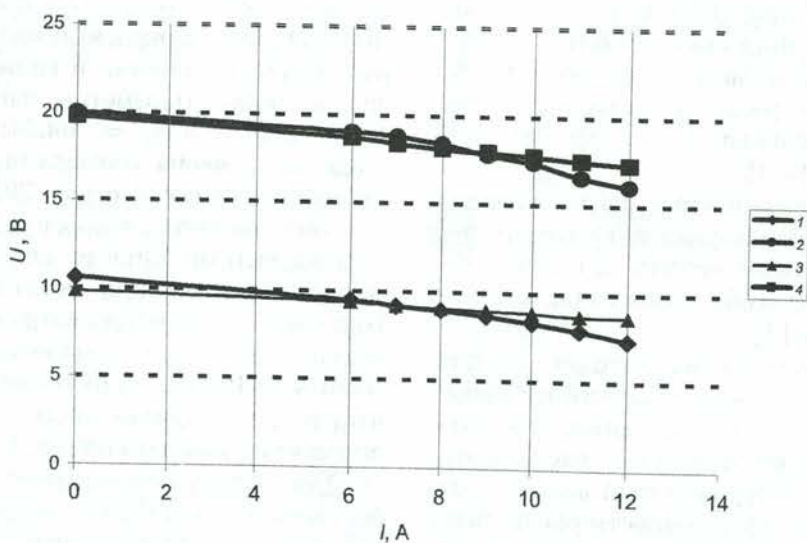


Рис. 2. Внешние характеристики: 1, 2 — экспериментальные;  
3, 4 — полученные при расчете

При постоянной частоте вращения маховика генератора изменяется величина нагрузки. Результаты эксперимента приведены в табл. 2.

Экспериментальное исследование генератора проводилось при частоте вращения 2000 об/мин, при этой частоте номинальный ток  $I_H = 10$  А, поэтому не допускалось увеличение тока нагрузки свыше 12 А.

По результатам расчета на основе данных моделирования и экспериментальных исследований построены внешние характеристики генератора для частот вращения 1000 об/мин и 2000 об/мин, которые представлены на рис. 2.

Анализ внешних характеристик, полученных экспериментальными исследованиями и расчетным путем показывает, что увеличение тока нагрузки свыше 9 А при 1000 об/мин и 10 А при 2000 об/мин дает расхождение. Это обусловлено, во-первых, тем, что при эксперименте происходит нагрев провода обмотки якоря и увеличивается его активное сопротивление, во-вторых, при расчете не учитывается нелинейность характеристик магнита. Поэтому при дальнейшем исследовании необходимо в пакете ELCUT учитывать теплопередачу и нелинейность магнитных характеристик.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бут, Д. А. Бесконтактные электрические машины / Д. А. Бут. М. : Высшая школа, 1990. 415 с.
2. Балагуров, В. А. Электрические генераторы с постоянными магнитами / В. А. Балагуров, Ф. Ф. Галтеев. М. : Энергоатомиздат, 1988. 280 с.

3. Ледовский, А. Н. Электрические машины с высококоэрцитивными постоянными магнитами / А. Н. Ледовский. М. : Энергоатомиздат, 1985. 169 с.

#### ОБ АВТОРАХ



**Исмагилов Флюр Рашитович**, проф., проректор, зав. каф. электромеханики. Дипл. инж.-электромех. (УАИ, 1973). Д-р техн. наук по элементам и устройствам управления (УГАТУ, 1998). Иссл. в обл. электромех. преобразователей энергии.



**Хайруллин Ирек Ханифович**, проф. той же каф. Дипл. инж.-электромех. (Ивановск. энергет. ин-т, 1963). Д-р техн. наук по элементам и устройствам управления (УАИ, 1981). Иссл. в обл. электромехан. преобразователей энергии.



**Полихач Евгений Александрович**, асп. той же каф. Дипл. магистр в обл. электротехн., электромех., электротехнол. (УГАТУ, 2006). Готовит дис. в обл. электромех. преобраз. энергии.