

**ЯДЕРНАЯ
И АЛЬТЕРНАТИВНАЯ
ЭНЕРГЕТИКА**

УДК 621.313.33

А. А. Ачитаев, В. Ю. Ельникова

*Хакасский технический институт – филиал СФУ,
г. Абакан, Республика Хакасия, Россия*

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА БАЗЕ АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАЛОИНЕРЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОБЪЕКТОВ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Рассмотрено моделирование средствами метода конечных элементов асинхронной машины на малоинерционной технологии ротора. Получены результаты как магнитного, так теплового поля. По выделенным условиям рассмотрены сферы применения в возобновляемой энергетике.

Ключевые слова: моделирование асинхронной машины, метод конечных элементов, ветроэнергетика, возобновляемые источники энергии.

A. A. Achitaev, V. Y. Elnikova

*Khakass technical institute – branch Siberia Federal University,
Abakan, Russia*

RESEARCH OF TECHNOLOGY GENERATION ELECTRIC POWER ON BASIS OF THE ASYNCHRONOUS MACHINE WITH APPLICATION OF QUICK-RESPONSE TECHNOLOGY OF OBJECTS RENEWED POWER

Simulation by means a method of final elements the asynchronous machine on quick-response technology of a rotor is considered. Results as magnetic, so thermal field are received. On the allocated conditions are allocated in spheres of application in renewed power.

Key words: Simulation of the asynchronous machine, method of final elements, wind power, renewed energy sources

В настоящее время существуют объективные причины, препятствующие широкому использованию ветровой энергии, это низкая удельная плотность воздушного потока (территории с малым потенциалом) и существенная зависимость величины ветрового потока от природных условий, относительно высокая стоимость генерирующего оборудования.

Использование традиционных ветроэнергостановок часто нерентабельно, так как полные капитальные затраты значительно превышают прибыль от выработки электроэнергии за срок эксплуатации. Продукция, выпускаемая рынком России, зачастую использует устаревшие технологии западных стран, что обходится дороже китайских аналогов, которые не всегда удовлетворяют требуемому уровню качества.

Для территорий с низким ветровым потенциалом возможность использования ветроэнергетики несколько ограничена. Мы предлагаем изменить конструкцию асинхронного генератора с целью использования последнего в районах с низким ветровым потенциалом. Для этого разработана конструкция малоинерционного генератора (МИГ). Технический результат достигнут за счёт уменьшения габаритов, массы вращающейся части машины и, следовательно, стоимости электрического генератора. Расширяется рабочий диапазон скоростей вращения входного вала. Прогнозируемые значения начальной скорости ветра для работы ветрогенератора составляют от 2,0 м/с [1].

В конструкции генератора используется полый ротор со сниженной массой. В результате снижаются момент инерции и динамический момент, тем самым улучшаются кинетические параметры, устойчивость к вибрациям и температурным перепадам за счёт двухстороннего продольно-поперечного охлаждения ротора [1]. На внешнем статоре полюса выполнены явнополюсными с пазовой укладкой трёхфазной обмотки. Полюс имеет косоугольную форму, обеспечивает при этом малый пусковой момент и препятствует эффекту магнитного слипания. Обмотки полюсов выполнены из меди, с числом витков, варьирующим в зависимости от мощности генератора. Они создают намагничивающую силу для возбуждения и снятия напряжения, то есть по своей конструкции раз-

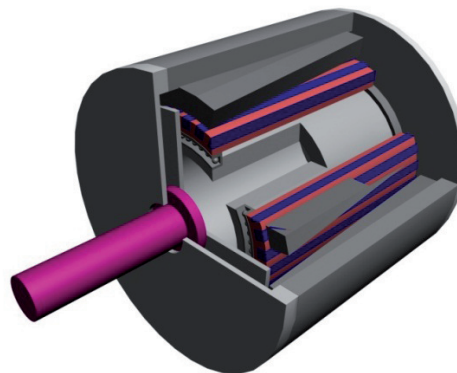


Рис. 1. Эскиз малоинерционного генератора МИГ на базе асинхронной машины

работанный генератор относится к асинхронной машине с электрическим возбуждением.

Обмотка ротора короткозамкнутая, уложена в пазы магнитопровода с высокой магнитной проводимостью (σ 3404) для создания требуемой интенсивности магнитного поля с низким потоком возбуждения. Внутренний статор служит магнитопроводом поля внеш-

Таблица 1

Технические характеристики машины МИГ по конструкторской документации

Наименование параметра	Обозначение	Значение
Диаметр внешнего статора	$D1$	160 мм
Диаметр ротора	$D2$	110 мм
Диаметр внутреннего статора	$D3$	90 мм
Диаметр полости внутреннего статора	d	50 мм
Число фаз	m	3
Число пар полюсов	p	3
Полная мощность	S	1,5 кВА
Расчётная начальная скорость в генераторном режиме	n	150 об/мин
Длина	L	360 мм
Масса	m	35 кг
Максимальный ток	I	20 А
Напряжение	U	100 В
Высота полюса	h	12,5 мм
Момент инерции ротора	J	0,03 кг·м ²
Себестоимость	C	12 000 руб.

него статора, и в качестве материала, служащего для усиления магнитных полей, используется метаматериал, в котором применение поверхностного магнитного резонанса позволит увеличить магнитные свойства при низкой частоте вращающегося поля статора [1, 2, 3]. Немагнитные зазоры между внешним статором и ротором, ротором и внутренним статором составляют 0,3 мм. В табл. 1 отображены основные технические параметры в соответствии с разработанной технической документацией.

Средствами программного пакета ELCUT выполнен проектный расчёт с целью его практической реализации. Потери на насыщение и полюсное рассеяние магнитного поля в якоре внешнего статора составляют около 10 %, что позволяет его использовать в генераторах не только ВЭУ, но и других типов, например, мини-ГЭС. На рис. 2 изображена картина результирующего поля, в которой за основные результаты приняты следующие: $I = 15$ А, $U = 50$ В, $n = 150$ об/мин.

При расчёте магнитных полей двигателя приняты следующие основные допущения и предположения:

1. Магнитные поля плоскопараллельны и рассматриваются в поперечном сечении магнитной системы машины в координатах, жёстко связанных с синхронно-вращающимся ротором.

2. Ферромагнитные сердечники ротора и статора представляются средами с нелинейными, но изотропными свойствами.

3. Во всех задачах расчёта магнитного поля считается, что оно не выходит за пределы наружной поверхности сердечника статора [2].

4. Действительное токораспределение обмотки статора заменяется расчётным с сохранением реальной геометрической конфигурации обмотки и реальным значением её намагничивающей силы.

Анализ магнитного поля переменных токов состоит в расчёте электрического и магнитного поля, возбуждённого приложенными переменными (синусоидально изменяющи-

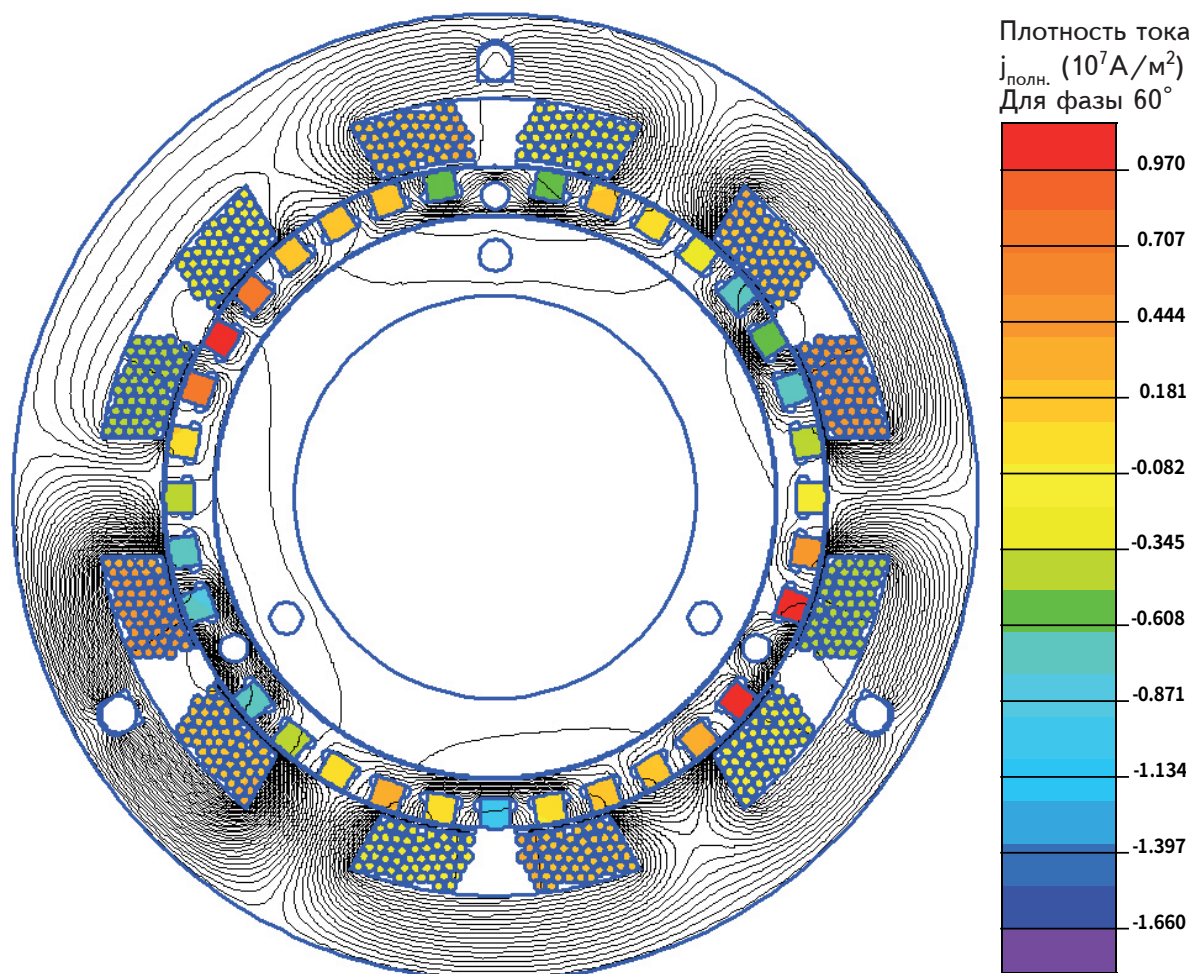


Рис. 2. Результат картины силового магнитного поля по плотности тока в обмотках

мися во времени) токами или внешним переменным полем.

Задача формулируется как дифференциальное уравнение в частных производных относительно комплексной амплитуды векторного магнитного потенциала A ($B = \text{rot}A$, B – вектор магнитной индукции). Вектор магнитной индукции предполагается лежащим в плоскости модели, в то время как вектор плотности электрического тока j и векторный магнитный потенциал A ортогональны к нему. Только компоненты j_z и A_z в плоской постановке [4].

Уравнение для задачи запишется как

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\mu} \frac{\partial A}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\mu} \frac{\partial A}{\partial y} \right) - i\omega g A j_{\text{стор}}, \quad (1)$$

где электропроводность g и компоненты тензора магнитной проницаемости μ_x и μ_y постоянны в пределах каждого блока модели, $j_{\text{стор}}$ – сторонняя составляющая тока.

Рассчитаем тепловое поле машины с учётом заданной плотности тока и геометрии

машины. ELCUT позволяет решать задачи теплопередачи в линейной и нелинейной постановках.

При решении тепловых задач используется уравнение теплопроводности в одном из видов, как линейных задач:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) = -q - cp \frac{\partial T}{\partial t}, \quad (2)$$

где T – температура; t – время; $\lambda(T)$ – теплопроводность как функция температуры, представленная кубическим сплайном (анизотропия не поддерживается в нелинейной постановке); q – удельная мощность тепловыделения, в линейной постановке – константа, в нелинейной постановке задаваемая кубическим сплайном функция температуры [4]. На рис. 3 изображена термограмма, в которой ток на фазу равен 15 А и 100 рад/с.

Схема самовозбуждения генератора изображена на рис. 4 и исполнена на базе изолированных систем конденсаторов, встроенных во внутреннюю полость устройства, там же

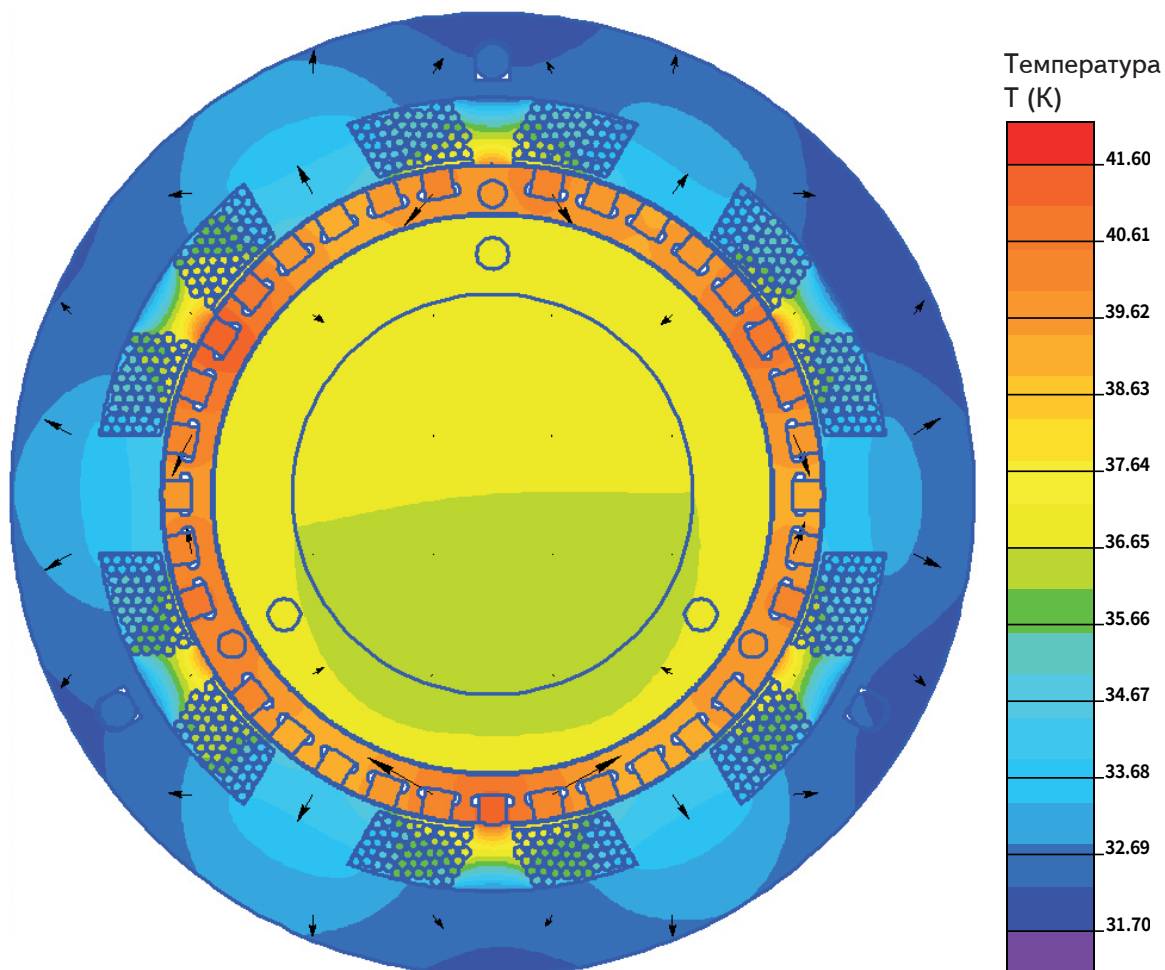


Рис. 3. Результирующая картина теплового поля машины

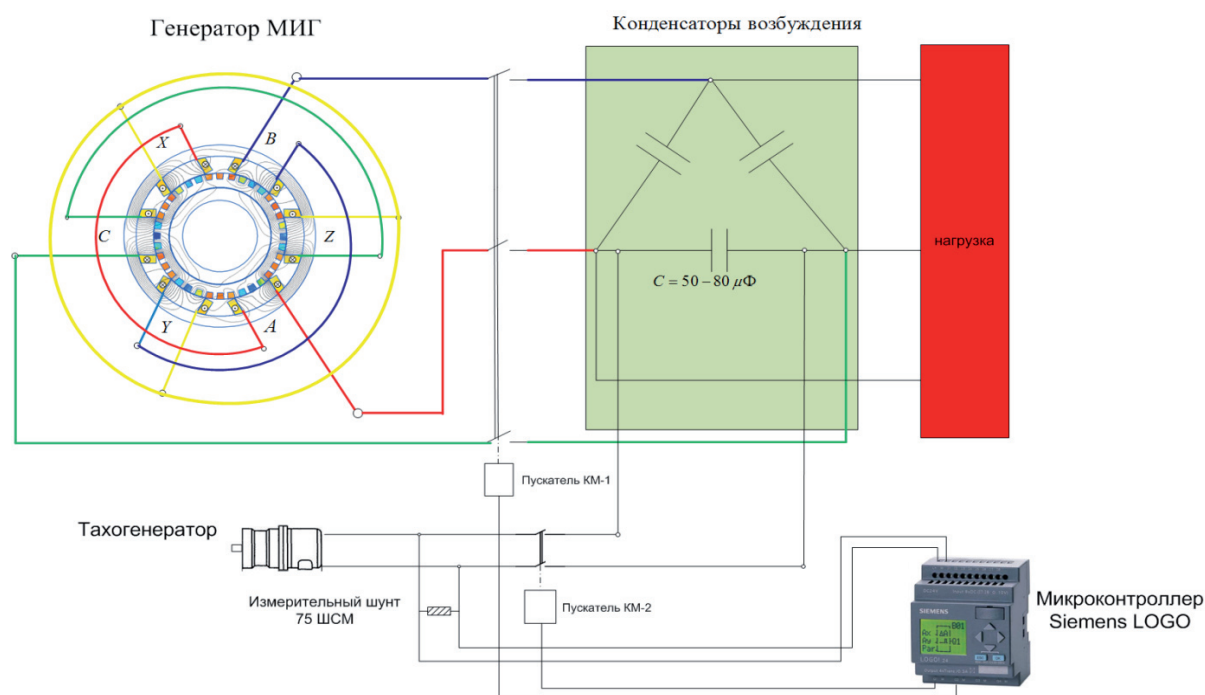


Рис. 4. Схема организации возбуждения и цепей защиты

тахогенератор, который соединён механически с ротором и выполняет две задачи:

1. Подпитка конденсаторной батареи в условии, когда KM-1 отключён, KM-2 – включён. Siemens LOGO отслеживает напряжение, при котором возможен режим мягкого самовозбуждения, и при достижении его отключает KM-2 и отрабатывает переключение на пуск KM-1 и работу генератора.

2. Отслеживание вращения ротора и контроль уровня нагрузки. При условии превышения возможен останов машины во избежание повреждения инвертора.

На основании полученных результатов следует отметить необходимость проверки исследований на физической модели и апробации технологии на предмет совмещения к объектам возобновляемой энергетики.

Сегодня разработку конструкторской документации и опытного образца взяло на себя НПП «Пейзаж» и ряд иностранных компаний, таких как «Chinese Export Group Limited» (Гонконг), «Shanghai Wanzhao New Energy Technology Co», «Shanghai Donmin Vehicle Co».

Библиографические ссылки

1. Международная заявка на патент PCT/RU2011/000409.
2. <http://www.membrana.ru/particle/17668>.
3. Копылов И. П. Электрические машины. – М. : Изд-во «Высшая школа», 2006. – 606 с.
4. ELCUT. Комплекс программ моделирования двумерных физических полей с помощью метода конечных элементов / НИПК «ТОР». – СПб., 2010.