

Ветрогенератор типа СГВ 310-40-60

В.М.Гандшу

В настоящее время во всех развитых странах, и в России в том числе, ведутся интенсивные поиски альтернативных возобновляемых и экологически чистых источников энергии. Среди таких работ большое внимание уделяется использованию энергии ветра. В частности, представляется перспективным исследование возможности использования ветроэнергетических установок вихревого типа [1]. Структура этих установок общеизвестна: ветродвижитель и сидящий с ним на одном валу синхронный генератор, напряжение которого после выпрямления подается на регулируемый преобразователь, обеспечивающий необходимые параметры сети для потребителей. Особенности ветродвижителя в данном случае не представляют интереса, в связи с чем обратимся к расчету генератора.

Отличительной особенностью таких установок является низкая частота вращения (до 100 об/мин), что требует совершенно специфических электрогенераторов. Поскольку в данном случае предполагается разработать генератор для садовых участков (мощность порядка 5 кВт), то целесообразно применить постоянные магниты, тем более, что в настоящее время рынок предлагает сравнительно недорогие высококоэрцитивные магниты в виде сплава Ne-Fe-B. Таким образом, разрабатываемая машина представляет собой трехфазный синхронный генератор с магнитоэлектрическим возбуждением встроенного исполнения, т.е. статор (якорь) и ротор (индуктор) являются отдельными узлами, устанавливаемыми на соответствующие посадочные места объекта заказчика.

В настоящей работе представлены результаты работы над создаваемым демонстрационным макетом ветроэнергетической установки, данные которой по техническому заданию приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Параметр	Величина
Номинальная мощность на выходе полупроводникового трехфазного мостового выпрямителя, Вт	40
Частота вращения, об/мин	60
Номинальное напряжение на выходе выпрямителя, В	24
Число фаз	3
Сопряжение фаз	звезда с выведенной нейтралью
Момент трогания, Н·м не более	0.02
Режим работы по ГОСТ 183-74	S1 (длительный)
Способ охлаждения по ГОСТ 20459-75	ICA00 (воздушное естественное)

Кроме обычных проблем, связанных с проектированием тихоходных машин (большие габариты, низкая частота), в данном случае возникает еще одна. Одним из важнейших параметров для ветрогенераторов является величина амплитуды зубцового момента, которая определяет минимальную величину скорости ветра, начиная с которой генератор включается в работу. В целях снижения этой величины принято специальное соотношение чисел зубцов и полюсов (взаимно простые числа соответственно 21 и 26, наименьшее общее кратное 546) и увеличен немагнитный зазор между магнитами ротора и зубцами статора (4 мм по середине магнита). Подчеркнем, что здесь намеренно употреблен термин "немагнитный", а не "воздушный", поскольку собственно воздушный зазор составляет только 3 мм, а 1 мм приходится на бандаж из запеченной стеклоленты, навитой на магниты. Бандаж не только страхует магниты от разлета в процессе работы (некачественная проклейка, выкрашивание в результате скрытого растрескивания), но и защищает хрупкие магниты от случайных ударов во время изготовления и обеспечивает возможность удаления посторонних мелких стальных предметов (например, стружек), которые могут "прилипнуть" к наружной поверхности индуктора.

Сложное сочетание чисел пазов и полюсов исключает возможность использования традиционного метода расчета магнитной цепи, когда выделяется один из $2p$ идентичных магнитных контуров, по которому и проводится вычисление НС. В данном случае все полюсы по-разному ориентированы

относительно зубцов статора, что потребовало детального расчета магнитного поля в генераторе методом конечных элементов. Необходимость конечно-разностного расчета усугубляется еще и сравнительно большим зазором, т.к. при этом имеет место существенное рассеяние потока магнитов в зазоре. Для расчета был применен комплекс программ ELCUT, разработки НПКК "ТОР", Санкт-Петербург [2].

Специфической особенностью разработки данного макета был учет производственных возможностей его изготовителя. Так, исключалось применение общепринятой для малых машин вьспной обмотки. Обмотка выполнялась в виде отдельно наматываемых на каркасе катушек, которые при сборке машины должны были просто надеваться на зубцы статора. Такая технология потребовала применить зубцы с параллельными стенками и широко открытые пазы, которые позволяли бы беспрепятственно надевать катушки на соседние зубцы. Расчеты показали, что при такой конструкции индукция в зубцах имеет весьма низкие значения (менее 1 Тл), что свидетельствует об излишней массе стали. Поэтому в зубцах были выполнены отверстия, позволившие снизить массу сердечника на 20%.

Описание магнито-статической задачи для решения её с помощью пакета ELCUT приведены в прилагаемых файлах. Это файл общего описания проблемы *Wdlrs260.pbm*, файл геометрии модели *Wdlrs260.mod*, файл физических параметров специфических для данной задачи *Wind.dms* и файл-библиотека физических параметров *Datalib.dms*, в котором собраны магнитные свойства практически всех наиболее широко употребляемых электротехнических материалов. Дополнительно укажем, что длина пакета составляет 40 мм. Токи в пазу не задавались, поскольку НС обмотки составляла не более 3% от НС магнитов. Результаты магнито-статического расчета макетного образца приведены на рис. 1 (распределение индукции в воздушном зазоре) и рис. 2 (распределение магнитного потока в сердечнике генератора).

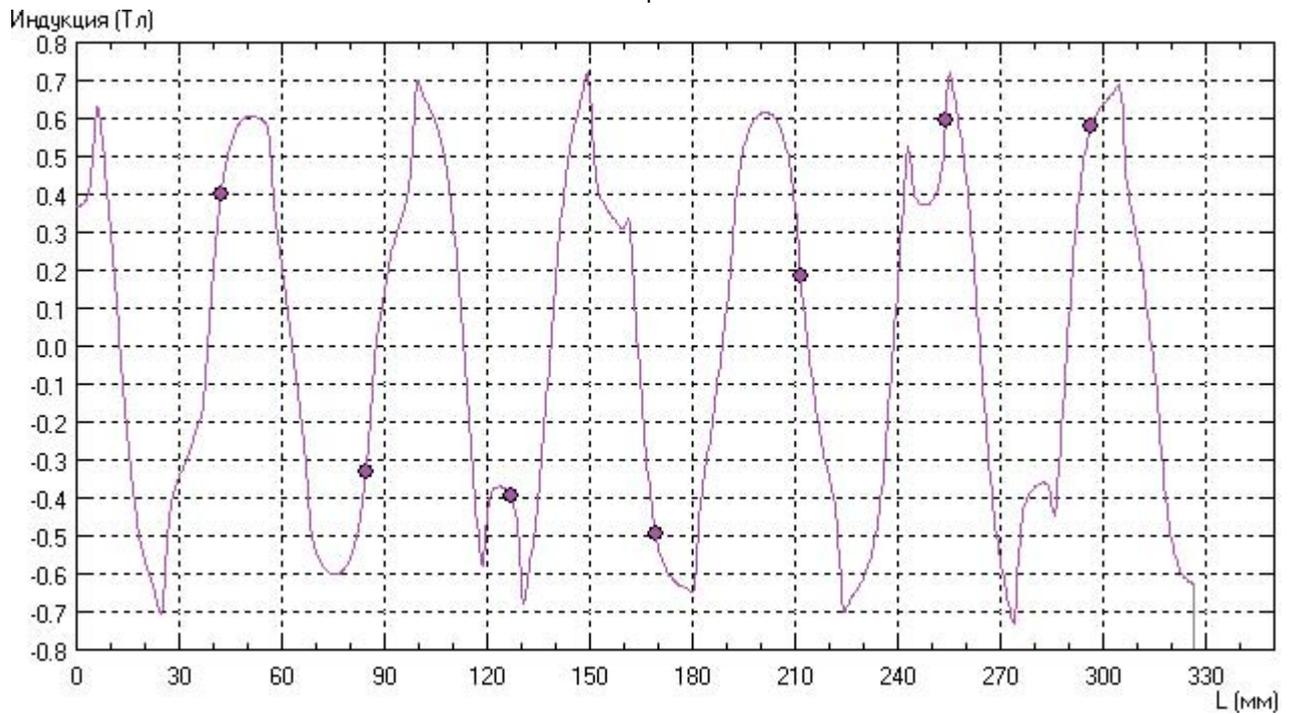


Рис. 1. Распределение магнитной индукции в воздушном зазоре (половина окружности)

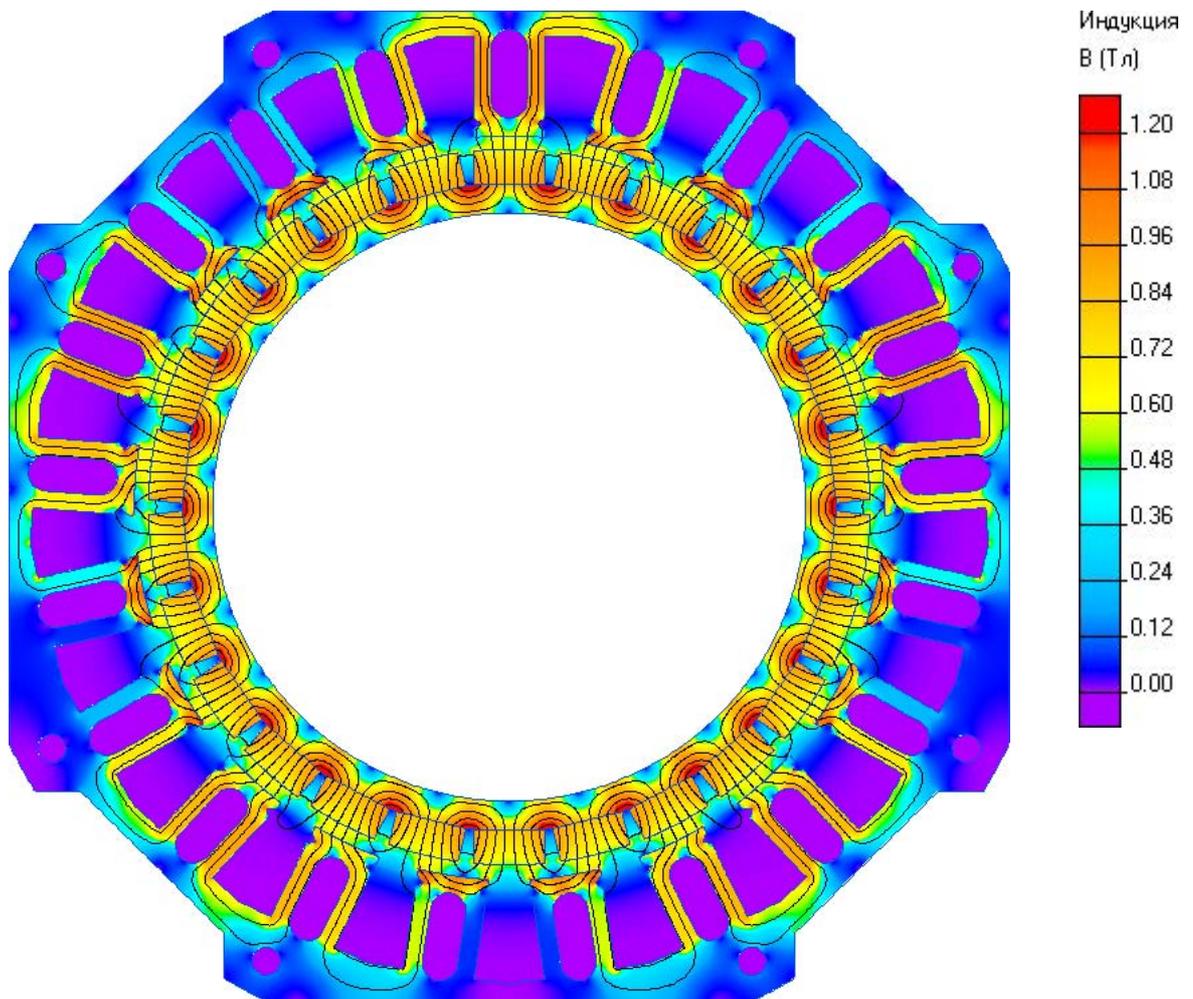


Рис. 2. Распределение магнитного потока в сердечнике генератора.

Из этих рисунков видно, что принятые меры, снижая момент трогания, одновременно вносят существенные искажения в кривую распределения магнитной индукции в зазоре, что, в свою очередь, вызвало бы соответствующее

искажение формы ЭДС обмотки, если бы в генераторе не было применена специальная схема соединений катушек. В результате форма линейной ЭДС является вполне приемлемой (рис. 3), особенно учитывая то обстоятельство, что генератор предназначен для работы на выпрямитель.

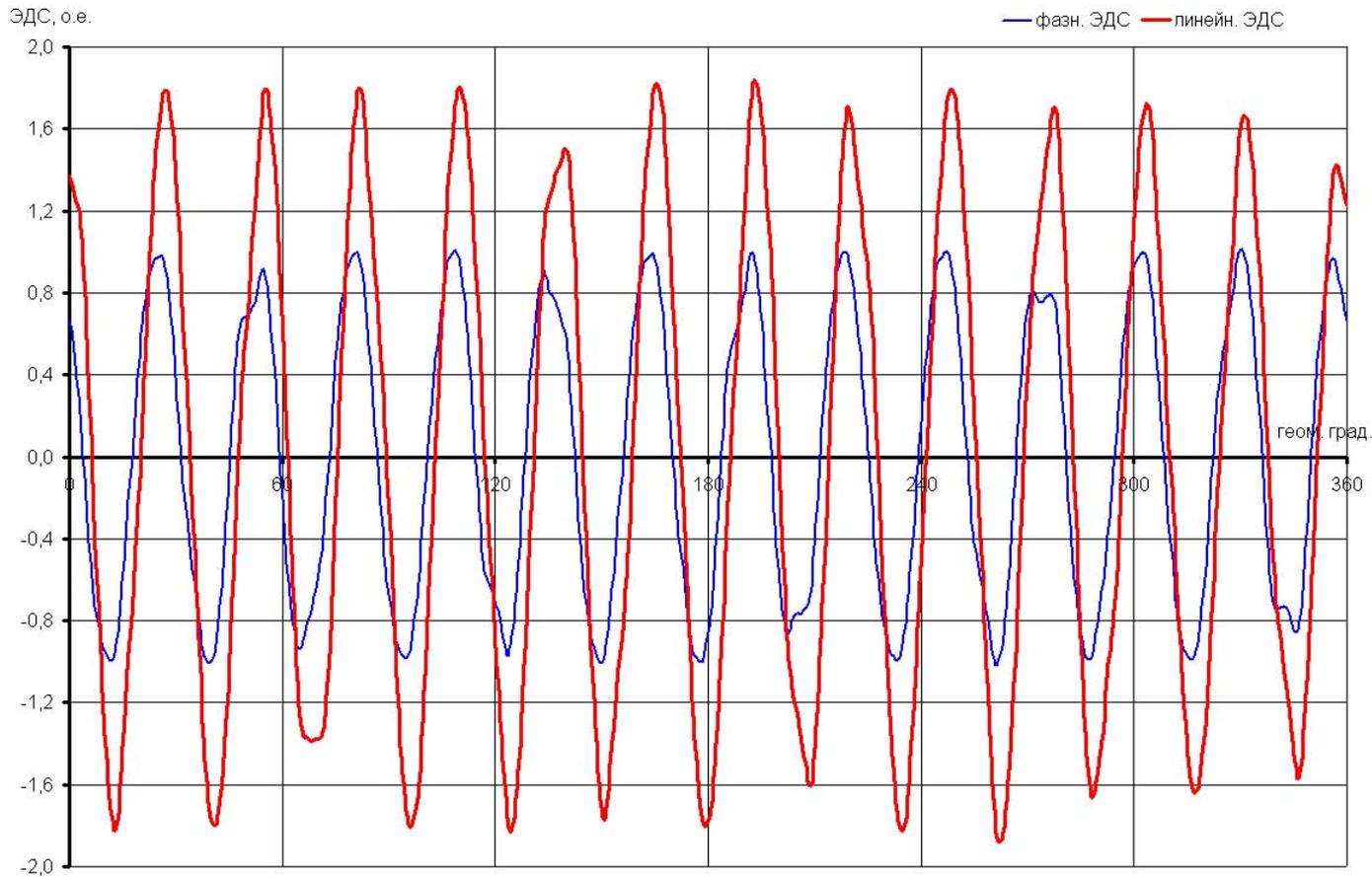


Рис. 3. ЭДС холостого хода, $Z=21$, $2p=26$

Анализ полученной картины поля показывает, что в углах сердечника статора, между наружной поверхностью и отверстиями для крепежных болтов, имеет место заметный магнитный поток. Если не принять мер, то крайние листы пакета, крепежные болты и сварные швы на наружной поверхности образуют 8 короткозамкнутых контуров, ЭДС которых достигает величин порядка 3 мВ. Несмотря на казалось бы незначительную величину, эта ЭДС может породить ток примерно 6 А, поскольку сопротивление контура очень мало. Этот ток нежелателен не столько потому, что вызывает дополнительные потери, сколько потому, что вызывает электрокоррозию крепежа и прилегающих поверхностей корпуса. Для ликвидации этого явления крепежные стержни болтов окрашиваются, а под их головки подкладываются изолирующие шайбы.

Несмотря на то, что данная машина является весьма плоской (наружный диаметр 310 мм, длина пакета – 40 мм) и программа не учитывает полей торцевого рассеяния, результаты расчета в двумерной постановке оказались весьма близкими к эксперименту (порядка 10% по величине ЭДС). Надо сказать, что торцевое рассеяние было оценено приближенно вручную, и этот запас был заложен в параметры магнита. В то же время зубцовые моменты рассчитать не удалось, т.к. их величина, определяемая как алгебраическая сумма разнонаправленных моментов от каждого полюса, оказалась сравнимой с точностью расчета (каждый из этих моментов по меньшей мере на два порядка выше результирующего). Для проверки был рассчитан 14-полюсный вариант с тем же статором. Здесь зубцовый момент можно было определить сравнительно точно, поскольку он имеет намного большую величину (наименьшее общее кратное числа зубцов и числа полюсов 42 вместо 546).

Литература.

1. Серебряков Р.А., Калиниченко А.Б. Вихревая электроэнергетика. "Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века", 2001, №11.
2. ELCUT. Комплекс программ моделирования двумерных физических полей с помощью метода конечных элементов. НПМК «ТОР», Санкт-Петербург, 1994.