

Проектирование и сравнительный анализ статоров ветроэлектрогенератора

*Голубов А.С., Аспирант Воронежского государственного технического университета
Литвиненко А.М., Профессор Воронежского государственного технического университета*

Рассмотрены вопросы проектирования и анализа основных параметров статора ветроэлектрогенератора с помощью пакета программ ELCUT 4.0. Предложен статор ветроэлектрогенератора с уменьшенными массо-габаритными, стоимостными показателями.

Ветроэнергетика уже давно стала самостоятельной отраслью энергетики во всем мире. На сегодняшний день в развитых и развивающихся странах функционируют сотни тысяч ветроагрегатов, различных как по назначению, так и по конструкции.

В большинстве случаев ветроэлектрогенератор (ВЭГ) используется как источник электроэнергии в местах, характеризующихся хорошими ветрами (среднегодовая скорость ветра должна превышать 5 м/с). Это условие не распространяется на малые, легко разгоняемые ветрогенераторы. Они способны эффективно работать уже в районах со среднегодовой скоростью ветра не более 3,5 м/с. Поэтому сейчас все чаще обращают внимание на ветряки малой и средней мощности владельцы домов, удаленных от электросетей централизованного электроснабжения. Выбирая между дизельной и ветроэнергетической установкой, они отдают предпочтение комплексной системе типа «ветер-дизель».

Таким образом, назрела необходимость нового решительного прорыва в создании ветроэлектроагрегатов, которые обладали бы улучшенными массогабаритными показателями, а самое главное - пониженной стоимостью, поскольку на сегодняшний день, по оценке экспертов стоимость 1 кВт электроэнергии, полученной при помощи ветроэлектроустановки (ВЭУ) отечественного производства, составляет 1000\$.

Основными элементами типовой современной ветроэлектроэнергетической установки средней и большой мощности являются: ветроколесо, повышающий редуктор, генератор, башня, система автоматического управления и регулирования, которая обеспечивает ориентацию ветроколеса на ветер, система буревой защиты, система регулирования выходного напряжения и другие вспомогательные системы.

Целями данной статьи являются определение основных соотношений для проектирования сегментных ВЭГ, разработка и исследование сегментных генераторов, предназначенных для непосредственного встраивания в конструкцию ветродвигателей и образующих при этом безредукторную ветроэлектроустановку (ВЭУ). Для достижения поставленных целей необходимо решить следующие задачи:

- Определить место сегментных электрических машин во всем многообразии электромеханических устройств, найдя при этом соотношения, позволяющие сравнивать их с классическими электрическими машинами. Оценить удельные энергетические, массогабаритные и стоимостные показатели.
- Исследовать с помощью программной среды Elcut 4.2 особенности расчета электромагнитных полей модулей индукторного и классического исполнений с улучшенными технико-экономическими показателями за счет повышения технологичности магнитопроводов и катушечных элементов.

Исследуем магнитную систему безредукторного дугостаторного ветроэлектрогенератора (ВЭГ) с минимальными массогабаритными показателями, показываются ее преимущества. В частности, произведем сравнительный анализ классической конструкции генератора, дугостаторной и сегментной.

При анализе конструкций генераторов рассмотрим площадь взаимодействия их

ротора и статора и примем, что диаметр статора R равен диаметру ротора r ($R=r$), а также, что осевая длина l одинакова во всех трех случаях.

На рис. 1 представлена классическая модель генератора.

$$S = 2\pi r l. \quad (1)$$

Для такой машины площадь взаимодействия равна:

Для дугостаторного генератора необходимо учитывать, что статор генератора представляет собой сектор с углом α (рис. 2).

Следовательно, взаимодействие ротора и статора будет происходить не на всей длине ротора, а только под статорным модулем:

$$S = \frac{2\pi r}{\alpha} l. \quad (2)$$

В сегментной машине необходимо учитывать, что и статор, и ротор представляют собой сегменты, то есть при расчете площади взаимодействия следует учитывать угол и статора, и ротора (рис. 3).

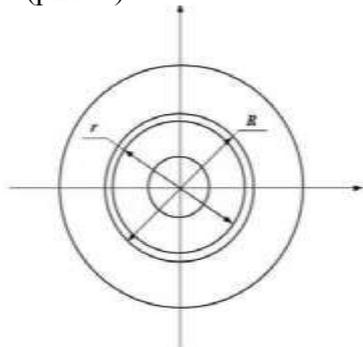


Рис. 1. Схема классической конструкции генератора

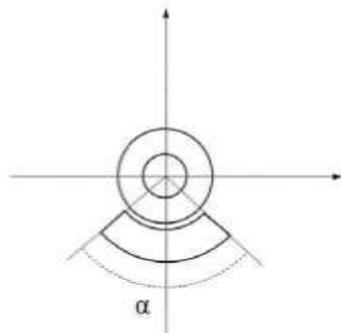


Рис. 2. Схема дугостаторной конструкции

При расчетах необходимо также учитывать число сегментных роторных элементов:

$$S = \frac{2\pi}{\alpha_1} \frac{2\pi}{\alpha_2} c r l = \frac{4\pi^2}{\alpha_1 \alpha_2} c r l, \quad (3)$$

где c - число сегментных роторных элементов (число лопастей ветроколеса);

Таким образом, сравнив выражения (1), (2) и (3), получим коэффициент $k_M \Gamma_{II}$, который учитывал бы массогабаритные показатели любой электрической машины и применялся вместе с другими постоянными (постоянная Арнольда) для анализа электромагнитных систем.

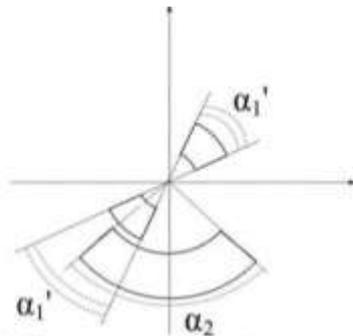


Рис. 3. Схема сегментной конструкции

$$k_{МП} = \frac{4\pi^2 c}{\alpha_s \alpha_r}, \quad (4)$$

где α_s – угол статора;
 α_r – угол ротора.

Одним из важнейших этапов создания сегментного ветроэлектрогенератора является правильный выбор исполнения статора. Рассмотрим следующие исполнения статора ветрогенератора (рис. 4).

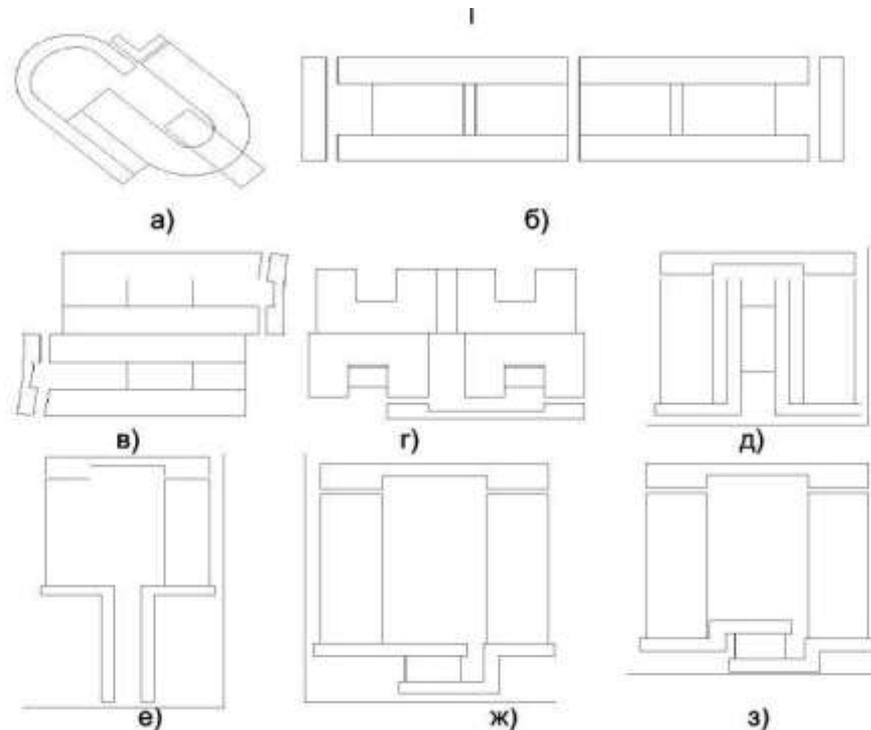


Рис. 4. Варианты исполнения статора ветрогенератора

Проведем их сравнительный анализ по 10-балльной шкале по основным показателям, а именно:

1. массо-габаритные показатели;
2. простота исполнения;
3. выходная мощность;
4. количество стыков.

Для определения массогабаритных показателей примем, что катушка в конструкции статора выполнена из меди (Cu), все остальные элементы (магнитопроводы и т.д.) и ротор - из железа (Fe), магнит - Alnico (табл. 1).

Оценим простоту исполнения статора исходя из сложности реализации его элементов и применения стандартных в производстве элементов (табл. 2).

Для определения выходной мощности ветрогенератора воспользуемся

программой ELCUT 4.2. ELCUT 4.2 - это мощный современный комплекс программ для инженерного моделирования электромагнитных, тепловых и механических задач методом конечных элементов (табл. 3).

Анализ количества стыков произведен по количеству соединений между магнитопроводами, катушкой, магнитом. Баллы выставялись по принципу - чем меньше стыков, тем выше оценка (табл. 4).

Для получения обобщенной оценки найдем среднее значение всех критериев для каждого статора. При этом примем, что степень важности каждого критерия одинаковая (табл. 5).

По результатам исследования можно сделать вывод о том, что использование эффективных статоров в конструкции ветрогенераторов возможно даже при наборе типовых катушек, магнита и магнитопроводов.

Таблица 1

Статор	а)	б)	в)	г)	д)	е)	ж)	з)
Оценка	8	5	7	6	9	4	7	7

Таблица 2

Статор	а)	б)	в)	г)	д)	е)	ж)	з)
Оценка	6	7	8	8	8	8	7	7

Таблица 3

Статор	а)	б)	в)	г)	д)	е)	ж)	з)
Оценка	5	3	8	9	7	8	5	9

Таблица 4

Статор	а)	б)	в)	г)	д)	е)	ж)	з)
Оценка	8	7	6	6	8	8	8	8

Таблица 5

Статор	а)	б)	в)	г)	д)	е)	ж)	з)
Оценка	6,75	5,5	7,25	7,25	8	7	6,75	7,75