

## Выбор оптимального размера катушки для аксиального ветрогенератора на постоянных магнитах

Червинский В.Л., Прохоров М.А., Цыриков М.А.  
Белорусский национальный технический университет

Конструирование ветрогенератора представляет собой сложную инженерную задачу, так как при этом необходимо учитывать множество разнообразных параметров и условий. Для расчета э.д.с. одного витка катушки можно взять такую формулу:

$$E=BLV,$$

где  $B$  – это магнитная индукция магнитов (Тл);

$L$  - длина проводника – это активная часть проводников, которую перекрывают собой магниты (м);

$V$  - скорость движения проводника в магнитном поле или скорость движения магнитов (м/с).

Далее, надо умножить полученную ЭДС одного витка на число витков катушки и получим суммарную ЭДС катушки. Затем умножаем на количество катушек в фазе в зависимости от схемы соединения катушек – в звезду или треугольник – получаем фазное или линейное напряжение генератора.

Как видно из этой формулы, напряжение растет линейно в зависимости от скорости вращения ротора генератора. Далее, зная сопротивление провода катушек, мы можем рассчитать силу тока и мощность, которую может отдать генератор на зарядку аккумулятора.

Для определения оптимального размера катушек надо иметь в виду, что для трехфазного генератора должно соблюдаться соотношение – число магнитов должно быть кратно 2 и 3, а число катушек должно быть кратно 3. Это необходимо для того, чтобы для каждой фазы, состоящей из  $n$  катушек, одновременно происходило изменения однополюсного магнитного поля  $n$  различных магнитов. Такое возможно лишь при кратном трем соотношении числа катушек и магнитов. Дополнительно число магнитов должно быть четным, чтобы обеспечить чередование северного и южного полюсов магнитного поля при вращении ротора. Толщина катушки должна быть рассчитана таким образом, чтобы максимально воспринимать магнитное поле постоянного

магнита. Индукция магнитного поля убывает в экспоненциальной зависимости от поверхности магнита [1], т.е.:

$$B=139,2e^{-0,126z},$$

где  $z$  – расстояние до поверхности магнита.

Таким образом, для наиболее полного восприятия энергии магнитного поля диаметр катушки должен быть больше диаметра магнита и определяться расстоянием до поверхности магнита. Чем больше величина магнитного зазора между статором и ротором  $z$ , тем больше должен быть диаметр катушки  $D_k$ . В свою очередь, диаметр катушки  $D_k$  влияет на ее толщину  $h$ . Это связано с тем обстоятельством, что в каждой фазе должна быть определенная длина провода определенного сечения для того, чтобы активное сопротивление катушек в фазе не превышало определенного значения. В противном случае мы потеряем в выдаваемой генератором мощности. С другой стороны надо учитывать, что в катушке должно быть определенное число витков, для того чтобы обеспечить запланированную ЭДС, а значит и мощность. Взаимное расположение катушки и магнита показано на рис. 1.

Учитывая высказанные ранее суждения, можно выстроить алгоритм проектирования аксиальносинхронного генератора на постоянных магнитах:

1. Учитывая, то обстоятельство, что мощность такого генератора растет линейно, в зависимости от оборотов, надо задаться определенной генерируемой мощностью для определенного числа оборотов, например, для числа оборотов в минуту  $W$  развиваемая генератором мощность должна быть равна  $P_{ген}$ .
2. Необходимо также учитывать, необходимое для зарядки аккумуляторов напряжение  $U_{аккумулятор}$  и обороты, с которых должна начинаться такая зарядка  $W_z$ . Скорость вращения ветроколеса для ветрогенератора имеет определяющее значение. Она определяется скоростью ветра и конструкцией ветроколеса. Под конструкцией ветроколеса имеется в виду: направление оси его вращения, число лопастей, их форма, длина и т.д.
3. Исходя из механической прочности ротора и статора генератора, магнитный зазор между ними нельзя сокращать менее 1 мм. Недостатком постоянных магнитов является то,

что магнитное поле в зазоре существует постоянно. Это может вызвать налипание посторонних железных предметов на магниты: опилок, пыли и т.д., что может привести к повреждению катушек и межвитковому замыканию в них.



Рисунок 1. Картина силовых линий магнитного поля одного магнита ротора, полученная из железных опилок. (Контуром обведено положение соседних магнитов на роторе).

Для того, чтобы подробно рассмотреть картину фрагмента магнитного поля на поверхности ротора был проведен эксперимент с железными опилками, которые были рассыпаны на листе бумаги

на расстоянии 2 см от поверхности ротора. Видно сильно неравномерное магнитное поле: магнитные силовые линии по краям магнита «вытягиваются» к соседнему магниту. Конструктивная задача – это максимально использовать магнитные силовые линии, которые не замыкаются на соседний магнит на удалении высоты катушки, с тем, чтобы «заставить» их пересекать витки обмотки катушки. В таком случае схематическое взаимное расположение магнита ротора и катушки статора будет выглядеть следующим образом, показанным на рис.2.

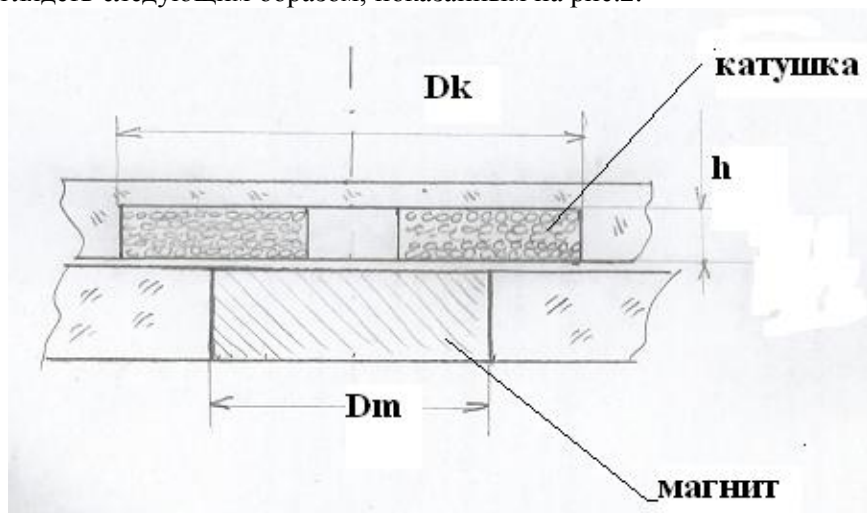


Рисунок 2. Эскиз взаимного расположения магнита и катушки (пропорции соблюдены).

В нашем случае расстояние между магнитами было выбрано 1 см.

#### Литература

1. В.Л.Червинский. А.Г.Рекс К разработке магнитной системы аксиального генератора малой ветроэнергетической установки. Сборник материалов научно-технической конференции «Информационные технологии в технических и социально-экономических системах», БНТУ, Минск 2015г, с. 149-151.