

УДК 620.9, 621.313

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ГЕНЕРАТОРОВ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ ДЛЯ ВЕТРОЭНЕРГОУСТАНОВОК. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Капустинский А.Ю.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Олешкевич М.М.

Ввиду того, что наша страна не обладает значительным запасом источников энергии, вопрос энергетической безопасности является одним из самых актуальных для Беларуси. Собственные топливно-энергетические ресурсы страны покрывают лишь 15% от объема общего потребления. Одним из наиболее перспективных направлений реализации целей указанных проектов является развитие белорусской ветроэнергетики. Беларусь располагает значительными ресурсами энергии ветра, которые оцениваются потенциально возможной установленной мощностью более чем 1600 МВт·ч и годовой выработкой электроэнергии более чем 2,4 млрд кВт·ч. На территории нашей страны выявлено около 1840 площадок, пригодных для размещения ветроэнергетических станций и ветропарков. Эти площадки представляют собой в основном ряды холмов высотой от 250 м над уровнем моря, где средняя скорость ветра колеблется от 5 до 8 м/с. На каждой из них можно разместить от 3 до 20 ветроэнергетических установок.

Однако использование данного вида ресурсов в Республике Беларусь еще не нашло широкого применения несмотря на высокий потенциал развития. ГПО «Белэнерго» принадлежит всего одна введенная в эксплуатацию ветроустановка мощностью 1,5 МВт (рядом с д. Грабники, Новогрудский район) и готовятся к введению в эксплуатацию ещё 5 установок той же мощности в том же месте (на 26 апреля 2016 года к сети 10 кВ были подключены еще две ветроустановки, ввод в эксплуатацию оставшихся трех ожидается к концу месяца). Помимо этого, в стране установлено около 20 ветроустановок, не принадлежащих ГПО «Белэнерго», суммарная мощность которых не превышает 1000 кВт (размещены в поселке Жилихово (Копыльский район), Янковцы, Волма (Держинский район), агрогородке Занарочь, поселке Дружная (Мядельский район), Грабники (Новогрудский район), деревне Райца (Кореличский район), Жуково (Могилевский район) и др.).

Развитие ветроэнергетики во многом обусловлено стимулированием государством за счет применения повышающих коэффициентов. Согласно постановлению Министерства Экономики Республики Беларусь от 7 августа 2015 г. № 45 тарифы на электрическую энергию, производимую на территории Республики Беларусь, для ветроустановок вне зависимости от установленной мощности, введенных в эксплуатацию в период с 21 мая 2015 г. по 20 августа 2015 г. либо созданных в пределах выделенных в установленном порядке квот на создание установок после 20 августа 2015 г., установлены с применением коэффициентов:

- первые десять лет со дня ввода в эксплуатацию установок с фактическим сроком службы оборудования с даты изготовления:
 - менее пяти лет – 1,2;
 - более пяти лет – 1,05;
- последующие десять лет эксплуатации установок – 0,75;
- свыше двадцати лет эксплуатации установок – 0,45.

В нашей стране развитием альтернативных источников энергии усиленно занимается компания «Белоруснефть». За последние пять лет компанией были введены в эксплуатацию 22 тепловых насоса, 15 гелиоколлекторов, 12 фотоэлектрических станций. Одна из них, которая находится на Белорусском газоперерабатывающем заводе мощностью 3,75 МВт, является крупнейшей солнечной электростанцией в Беларуси. Это был первый проект,

реализованный по инвестиционному договору с Гомельским облисполкомом в сфере возобновляемой энергетики. Второй проект договора предусматривает строительство фотоэлектрической станции мощностью 55 МВт. Также компания «Беларуснефть» занимается и вопросами ветроэнергетики. Компанией получены необходимые согласования на строительство двух ветропарков. Строительство ветропарков будет вестись в населенных пунктах Бурмаки (Минская область) и Лужище (Гродненская область). Первый предусматривает работу 15 ветроэнергетических установок суммарной мощностью до 50 МВт, второй - 29 установок мощностью до 80 МВт.

Данные повышающие коэффициенты также не зависят от типов генераторов. В ветроустановках в качестве генератора могут применяться синхронные и асинхронные машины. Самым простым и надежным является синхронный генератор с возбуждением постоянными магнитами. В таких генераторах отсутствует классическая система возбуждения, то есть отсутствует машина постоянного тока, а, следовательно, в электромагнитной цепи генератора отсутствуют такие ненадежные элементы, как контактные кольца, щетки и щеткодержатели, что повышает надежность машины. Так же отпускаемая в энергосистему мощность повышена ввиду отсутствия такой статьи расхода электроэнергии, как электроэнергия, потребляемая системой возбуждения.

Кроме того, что данная конструкция проще и надежнее альтернативных из-за отсутствия возбудителя, она позволяет выполнить обмотку статора без укорочения шага, что, в свою очередь, опять упрощает конструкцию СГ. Подавление высших гармоник в такой обмотке возможно чисто геометрически за счет выполнения пазов статора скошенными на $2/7$ полюсного деления, а постоянных магнитов на роторе сдвинутыми друг относительно друга на $1/5$ полюсного деления [1]. Это позволяет полностью подавить 5 и 7 гармоники. Обмоточный коэффициент считается через коэффициенты скоса и сдвига.

$$k_{сдв} = \cos\left(\frac{\nu \cdot \gamma_1}{2}\right),$$

$$k_{ск} = \cos\left(\frac{\nu \cdot \gamma_2}{4}\right),$$

$$k_{обм} = k_{ск} \cdot k_{сдв} = \cos\left(\frac{\nu \cdot \gamma_1}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\nu \cdot \gamma_2}{4}\right),$$

где: ν – номер гармоники

γ_1 – электрический угол между ЭДС, возникающий в результате сдвига

$\gamma_2/2$ – электрический угол между ЭДС, возникающий в результате скоса

ЭДС ν -ой гармоники равна:

$$E_{\nu}' = E_{\nu} \cdot k_{обм} = E_{\nu} \cdot \cos\left(\frac{\nu \cdot \gamma_1}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\nu \cdot \gamma_2}{4}\right) = E_{\nu} \cdot \cos\left(\frac{\nu}{2} \cdot \frac{1}{5} \cdot 180\right) \cdot \cos\left(\frac{\nu}{4} \cdot \frac{2}{7} \cdot 180\right)$$

Очевидно, что ЭДС 5 и 7 гармоники подавлены полностью. ЭДС более высоких гармоник подавлены частично, следовательно их влияние не существенно.

Для работы такого генератора необходимы мощные постоянные магниты. Подходящими являются магниты NdFeB (Неодим-железо-бор). Магниты из этого материала обладают большой остаточной индукцией (1,1 Тл) и коэрцитивной силой (800000 А/м).

Расчет постоянного магнита выполняется на основании графика кривой размагничивания постоянного магнита в относительных единицах, где по оси ординат отложена индукция $\frac{B}{B_r}$, а по оси абсцисс напряженность магнитного поля в магните $\frac{H}{H_C}$,

где B_r и H_C - остаточная индукция и коэрцитивная сила магнита. Кривая размагничивания редкоземельного магнита – это прямая линия.

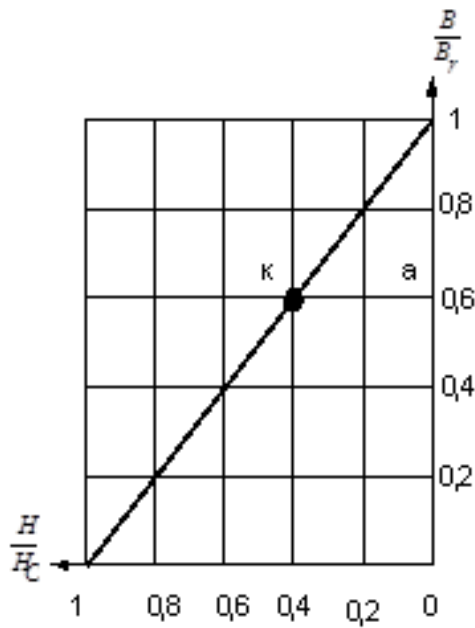


Рисунок1: Кривая размагничивания постоянного магнита

Координаты рабочей точки на кривой размагничивания постоянного магнита определяются на основании отношения ординаты к абсциссе, которое равно:

$$\frac{oa}{ak} = \frac{\Phi_a \cdot \sigma \cdot H_C \cdot h_{МАГН}}{\Phi_{МАГН \max} \cdot F_{МАГН}} = \frac{2\mu_0 \cdot \sigma \cdot \tau \cdot l_{\delta} \cdot H_C \cdot h_{МАГН}}{\pi \cdot k_{\mu 0} \cdot B_r \cdot S_{МАГН} \cdot F_{ВН*} \cdot \delta'}$$

где ордината кривой размагничивания oa равна отношению основного магнитного потока машины к максимальному возможному потоку в нейтральном сечении магнита при отсутствии размагничивания

$$oa = \frac{\Phi_a \cdot \sigma}{\Phi_{МАГН \max}} = \frac{2 \cdot B_{\delta H} \tau \cdot l_{\delta} \cdot \sigma}{\pi \cdot B_r \cdot S_{МАГН}}$$

МДС магнита равна МДС магнитной цепи, т.е. равна МДС воздушного зазора с учетом коэффициента насыщения магнитной цепи и размагничивающего действия реакции якоря,

$$F_{МАГН} = ak \cdot H_C \cdot h_{МАГН} = F_{ВН*} \cdot B_{\delta H} \frac{\delta}{\mu_0},$$

откуда:

$$ak = \frac{F_{ВН*} \cdot B_{\delta H} \frac{\delta}{\mu_0}}{H_C \cdot h_{МАГН}}$$

где: $B_{\delta H}$ - основная гармоника индукции в воздушном зазоре при номинальных условиях, Тл,

$F_{ВН*}$ - МДС возбуждения с учетом реакции якоря (по диаграмме Потье), о.е.,

δ - средняя величина воздушного зазора, м,

$S_{МАГН} = b_{МАГН} \cdot l_{МАГН}$ - площадь сечения магнита, м²,

$h_{МАГН}$ - высота магнита, м,

$k_{\mu 0}$ - коэффициент насыщения магнитной цепи машины,

σ - коэффициент рассеяния полюсов.

В рамках данной научной работы мною был произведен уточненный расчет для машины 500 кВт. Сравним полученные параметры генератора с параметрами других типов генераторов той же мощности. Параметры, по которым производится сравнение, занесены в таблицу 1. Примечание: номинальный КПД и масса генератора были рассчитаны без учета подключения через частотный преобразователь, который незначительно ухудшит данные параметры.

Табл. 1: Характеристики аналогичных генераторов

Наименование электрической машины	Тип электрической машины	Номинальная мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Номинальный КПД, %	Масса, т	Температура обмотки °С
Разрабатываемый синхронный генератор с постоянными магнитами неодим-железо-бор	Синхронная с постоянными магнитами	500	18	90,6	14,5	85
Генератор АВВ, исп. в Nordtank 500 кВт	Асинхронная	500	30	85	18	–
Vestas V47	ECC5-61-4	660	28,5	89,2	20,4	–

Расчеты показали, что генератор такого типа соизмерим по расходу материалов и другим характеристикам с другими генераторами той же мощности, а некоторые генераторы даже заметно превосходит. Этот факт в сочетании с простотой конструкции и надежности в эксплуатации способствует развитию ветроэнергоустановок с возбуждением постоянными магнитами в последние годы.

Литература

1. Синхронная электрическая машина с постоянными магнитами: Патент на изобретение №14108 РБ от 2010.11.25/ Олешкевич В.М., Олешкевич М.М.; заявл. №20081055, 2008.08.08; МКИ, Н 02К 21/00; опубл. //Нацыянальны цэнтр інтэлектуальнай уласнасці Рэспублікі Беларусь. Афіцыйны бюлетэнь: вынаходствы, карысныя мадэлі, прамысловыя ўзоры . №1(78) 2011.-с.148
2. Олешкевич М.М. Нетрадиционные источники энергии. Учебно-методическое пособие. Минск. БНТУ, 2007.
3. Постановление Министерства Экономики Республики Беларусь от 7 августа 2015 г. № 45
4. <http://www.energo.grodno.by/>