

УДК 620.9

## НОВОВВЕДЕНИЯ В КОНСТРУКЦИЯХ ГЕНЕРАТОРОВ ВЕТРОЭНЕРГОУСТАНОВОК С ВОЗБУЖДЕНИЕМ ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

Капустинский А.Ю.

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

ВЭУ (ветроэнергоустановка) – энергоустановка, преобразующая кинетическую энергию ветра в электроэнергию. Основные составные части любой ВЭУ – ветроколесо, которое приводит в движение ротор ЭГ (электрогенератора), и сам ЭГ. Ветрогенераторы работают при скорости ветра от 3 до 25 м/с, т.к. при скорости ветра меньше 3 м/с электроэнергии, вырабатываемой генератором, не хватает на покрытие потерь электроэнергии. При скорости ветра более 25 м/с могут возникнуть сильные повреждения ветроэнергоустановки, следственно они отключаются (ветроколесо затормаживается, генератор отключается от сети). Срок службы ВЭУ – от 15 до 25 лет, при этом срок окупаемости – от 5 до 7 лет, что делает их применение выгодным с экономической точки зрения.

Недостатком ВЭУ является малая частота вращения, что приводит к увеличению размеров генератора для выработки промышленной частоты. Существует 2 способа получения промышленной частоты с помощью ветрогенератора: применение редуктора и подключение ВЭУ к энергосистеме через СПЧ (статический преобразователь частоты). Недостатками редуктора являются: трудности при эксплуатации, а именно необходимость менять масло каждый сезон, большая масса, большие габариты, снижение надежности всей установки. При подключении ветрогенератора в сеть через СПЧ также нет необходимости проводить синхронизацию СГ (синхронного генератора), что является несомненным преимуществом такого подключения. Однако частотный преобразователь имеет очень высокую стоимость. Но, несмотря на это ввиду его преимуществ перед редуктором подключение через СПЧ является более выгодным.

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.

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.

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

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

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

где:

$\nu$  – номер гармоники

$\gamma_1$  – электрический угол между ЭДС, возникающий в результате сдвига

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

ЭДС  $\nu$ -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, следственно 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.

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

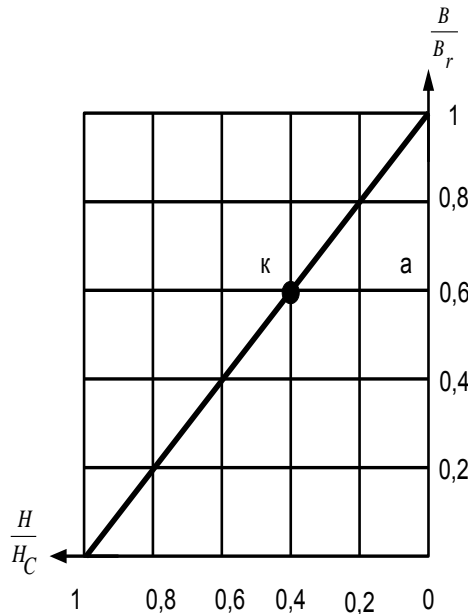


Рисунок1: Кривая размагничивания постоянного магнита

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

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

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

а 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

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

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

Тл,

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

$\delta$  - средняя величина воздушного зазора, м,

$S_{МАГН} = b_{МАГН} \cdot l_{МАГН}$  - площадь сечения магнита, м<sup>2</sup>,

$h_{МАГН}$  - высота магнита, м,

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

$\sigma$  - коэффициент рассеяния полюсов.

Уточненный расчет был сделан для машины 7,5 кВт. Сравним полученные параметры генератора с параметрами других типов генераторов той же мощности.

Таблица 1 Характеристики аналогичных генераторов

Наименование электрической машины	Тип электрической машины	Номинальная мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Номинальный КПД, %	Масса, кг	Температура обмотки °С
Разрабатываемый синхронный генератор с постоянными магнитами неодим-железо-бор	-	7,5	200	85,3	186,5	135
Генератор синхронный трехфазный	ОС 52	8	1500	82	138 - 156	-
Генератор синхронный трехфазный	ЕСС5-61-4	8	1500	84,7	160	-
Асинхронный двигатель с фазным ротором	4АК160М8У3	7,5	750	82	200	-
Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором	АИР160 S8	7,5	750	87	125	135
Синхронный генератор с постоянными магнитами неодим-железо-бор производства КНР	GL-ПМГ-7500	7,5	200	-	180	180

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.