

Московский Авиационный Институт, Кафедра 310
125080 г. Москва, Волоколамское шоссе 4
E-mail: n.s.ivanov88@gmail.com1, kirill_nikitin_94@mail.ru2

ВТСП синхронный генератор мощностью 5МВА для ветроэнергетической установки

Аннотация. В работе приведены результаты расчета основных параметров полностью сверхпроводникового электрогенератора для ветроэнергетической установки и его сравнение с существующими аналогами.

Ключевые слова: ветроэнергетика, сверхпроводимость, синхронный генератор, ВТСП

K. L. KOVALEV, Doctor of Engineering,
N. S. IVANOV, PhD, K. A. NIKITIN, student

Moscow Aviation Institute, department 310
125080 Moscow, Volokolamskoe shosse 4
E-mail: n.s.ivanov88@gmail.com1, kirill_nikitin_94@mail.ru2

HTS wind turbine synchronous generator with capacity of 5MVA

Abstract. This article presents the results of the analytical methodic of calculation of main parameters fully superconducting wind turbine power generator.

Keywords: wind power, superconductivity, synchronous generator, HTS

Снижение стоимости вырабатываемой электроэнергии – наиболее актуальная и важная задача современной ветроэнергетики. Для этого необходимо отказаться от мультипликатора и увеличить мощность единичной установки. Для классических генераторов это означает значительное увеличение массы и габаритов [1].

Применение сверхпроводниковых обмоток на статоре и роторе позволит увеличить электромагнитные нагрузки преобразователя, что в итоге приведет к уменьшению его массы и габаритных размеров [2]. Исходя из этого, в работе рассматривается сверхпроводниковый генератор с ВТСП обмотками на роторе и кольцевыми ВТСП обмотками на статоре, работающих при температуре жидкого водорода – 20 К.

При постановке задачи расчета полностью сверхпроводникового генератора в дальнейшем принимаются следующие основные допущения:

- магнитопровод ротора и статора считается ненасыщенными;
- машина считается достаточно длинной, $\lambda \approx 1$;
- отсутствуют потоки рассеяния.

Так как ВТСП лента не допускает малые радиусы изгиба [3], то рациональной схема генератора с беспазовым якорем с кольцевой обмоткой. Расчетная схема такого генератора представлена на рис. 1.

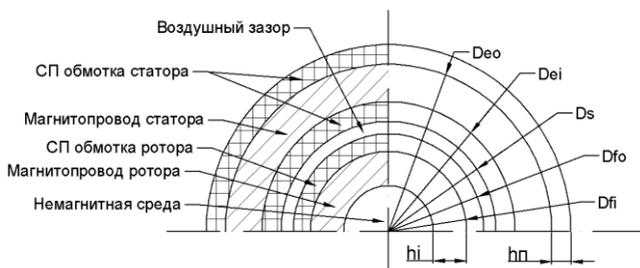


Рис. 1. Расчётная схема ВТСП генератора

На основании закона полного тока [4], а также схемы замыкания магнитного потока в активной зоне (рис. 2), было получено выражение для расчёта удельной мощности преобразователя:

$$P_{y\partial} = \frac{8mI_a k_o f W_a I_f b_k \Delta f \mu_o L_s \pi \mu h_i}{m \sum_{\Delta} h_{\Delta} b_{\Delta}} x \quad (1)$$

$$\times \left[4\mu h_i \left(\frac{\pi \Delta f}{b_p} + p(1 - D_1 \cos(\frac{\pi p}{4})) + \frac{2}{D} \right) + \pi^3 (D_3 + 2H + 1) h_i + \pi b_p \right]^{-1}$$

где m – число фаз выходного напряжения; I_a – ток обмотки якоря (ОЯ), А; k_o – обмоточный коэффициент; f – частота выходного напряжения, Гц; W_a – число витков ОЯ; I_f – ток обмотки возбуждения (ОВ), А; b_k – общая ширина ВТСП ленты катушки ОВ, мм; Δf – высота ОВ; μ_o – магнитная проницаемость вакуума, Гн/м; L_s – длина активной зоны машины, мм; μ – относительная магнитная проницаемость стали; h_i – толщина ярма индуктора, мм; $m \Sigma$ – масса активной зоны машины, кг; h_p – высота ВТСП ленты, мм; b_p – ширина ВТСП ленты, мм; p – число пар полюсов генератора; b_p – общая ширина катушки ОВ, мм; h_p – высота катушки ОЯ, мм; h_a – толщина ярма якоря, мм; $D_1 = D_{fo}/D_s$; $D = (D_s/h_p) + 1$; $D_3 = D_s/h_a$; $H = h_r/h_a$.

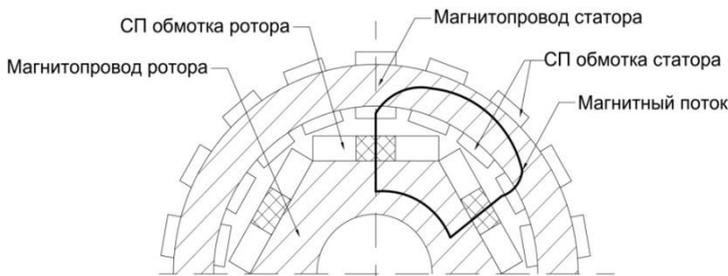


Рис. 2. Схема замыкания магнитного потока

Как видно из соотношения (1), мощность и массогабаритные показатели генератора зависят от большого числа переменных. На рис. 3, а приведена зависимость удельной мощности генератора от числа пар полюсов. С применением средств автоматизации по полученному вы-

ражению (1) был спроектирован тихоходный ВТСП генератор мощностью 5МВА. Сравнение характеристик полученного преобразователя с существующими мировыми аналогами представлено в табл. 1.

Таблица 1. Сравнение спроектированное генератора с аналогами

Название генератора/ разработчик	GE 10/ General Electric	Model A/ University of Houston	Генератор Haliade 150/ Alstom	Разработанный генератор
P_n , МВА	10	2	6	5
D_s , мм	4328	2688	≈12 000	1500
n , мин-1	10	18	11	15
p	36	28	—	20
m , т	98	222	265	5,6
$P_{уд}$, кВт/кг	0,102	0,015	0,023	0,87

Как видно из табл. 1, масса полученного генератора, приходящаяся на единицу мощности, значительно ниже существующих мировых аналогов. Внешняя характеристика полученного генератора представлена на рис. 3б. Видно, что кривая внешней характеристики является довольно жесткой, т.к. при номинальном значении тока нагрузки, напряжение генератора составит $U_n = 410$ В, что незначительно ниже ЭДС холостого хода $E_{xx} = 470$ В.

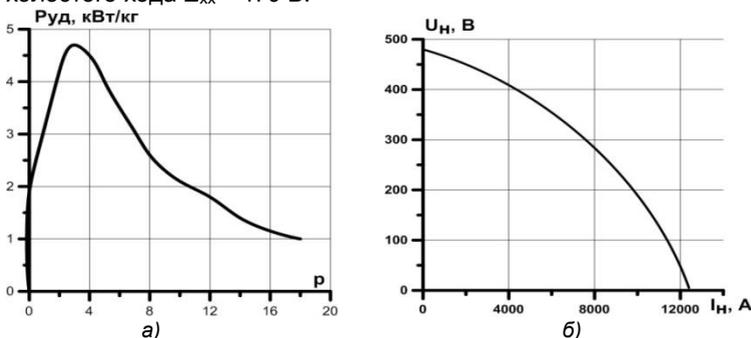


Рис. 3. а – внешняя характеристика генератора; б – зависимость удельной мощности генератора от числа пар полюсов

Вывод: таким образом, применение ВТСП генератора в ветроэнергетической установке, позволяет увеличить мощность единичной установки, существенно снизить массу и габариты установки в целом, что играет решающую роль в снижении стоимости вырабатываемой электроэнергии.

Литература

1. Быстрицкий Г.Ф. Общая энергетика / Г.Ф. Быстрицкий. – Москва: Академия, 2005. – 208 с.
2. Безруких П.П. Ветроэнергетика. (Справочное и методическое пособие). – Москва: ИД ЭНЕРГИЯ, 2010. – 315 с.
3. Щербаков В. ВТСП провода 2-го поколения: от пилотной технологии к промышленной / Сверхпроводники для электроэнергетики [Электронный ресурс]. – 2007. – Режим доступа: <http://perst.issph.kiae.ru>, свободный. – Загл. с экрана.