

АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ ВАРИАНТОВ НИЗКОСКОРОСТНЫХ ТОРЦЕВЫХ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ МИКРОГЭС

Карпенко В.В., Карпенко Е.В.
Научный руководитель — к.т.н., профессор, Головин М.П.

Сибирский федеральный университет

В статье рассмотрены с конструктивно-технологических позиций все варианты низкоскоростных торцевых синхронных генераторов (НТСГ) мощностью от 1 до 20кВт, реализованные коллективом с 2005 г., что позволяет проследить логику изменения конструктивных решений и оценить полученные при этом достоинства и недостатки. Объектом анализа являются следующие НТСГ: опытный образец 3кВт; опытный образец 10кВт; опытный образец 1кВт; проект опытного образца 20кВт; образец установочной партии 1кВт (2010г.); промышленный образец 5кВт (2011г.).

Все разработанные конструкции можно разделить на две категории:

- НТСГ с мультипликатором, повышающим частоту вращения ротора;
- НТСГ с прямым приводом от турбины.

Варианты с мультипликатором (рисунки 1, 2) использовались с тихоходной турбиной, имеющей частоту вращения порядка 60-80 об/мин, которая не позволяла обеспечить число пар полюсов достаточно для получения промышленной частоты напряжения – 50Гц. При этом использование мультипликатора позволяло реализовать генератор, но существенно усложнило конструкцию и привело к повышению ее трудоемкости и стоимости, что явилось платой за недостаточно высокую частоту вращения турбины при скорости потока воды 1,5-1,7 м/с.

Кроме того появились проблемы со смазкой зацепления необслуживаемого устройства в течение длительного срока эксплуатации. Повышение компактности активной части генератора за счет более эффективного расчета электромагнитных параметров требовало использования многопоточной передачи или перехода на колеса с высокой твердостью поверхности. И то и другое приводит к резкому повышению стоимости мультипликатора и генератора в целом.

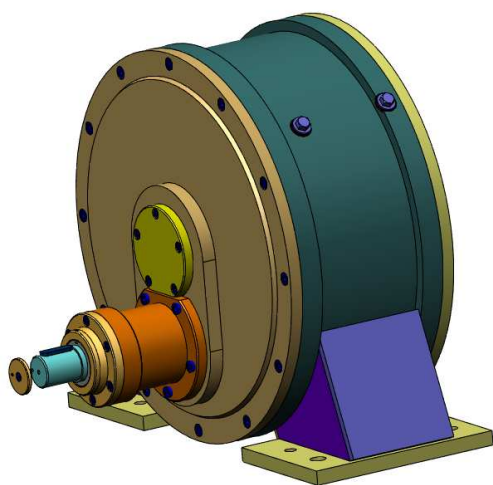


Рисунок 1 – Генератор 3кВт (2005г.)
(2010г.)

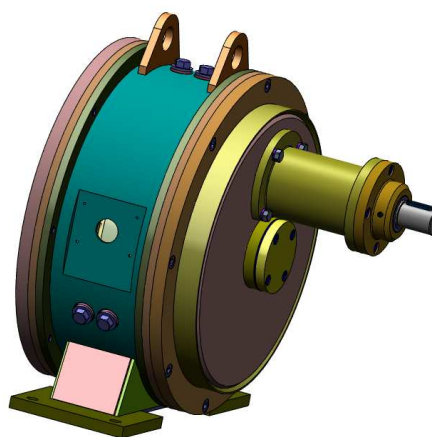


Рисунок 2 – Генератор 1кВт

Вариант с прямым приводом безусловно предпочтительнее по стоимости решения, но может использоваться при более высокой скорости потока 1,8-2,2 м/с, характерной для крутосклонных рек. Количество таких рек на территории Красноярского края ограничено.

Очевидный вывод – минимизация стоимости реализуема только при отказе от мультипликатора и использовании прямого привода, но это условие требует повышения частоты вращения турбины. При использовании свободного потока и скорости потока до 1,7 м/с это можно обеспечить только специальными мероприятиями, связанными с ускорением потока в турбине. Этот вопрос выходит за рамки статьи, анализирующей конструкцию генератора.

По существу все рассматриваемые НТСГ представляют собой два генератора, помещенные в общий корпус. При этом можно увидеть два варианта решения:

- Сдвоенный статор, охватываемый двумя роторами, соединяющимися с валом генератора;
- Сдвоенный ротор, охватываемый двумя статорами, соединенными с корпусом.
- Вариант со сдвоенным статором (рисунки 3, 4) использовался в конструкциях 2005 г. Такое решение приводило к достаточно простой конструкции сдвоенного статора, но требовало усложнения конструкции несущих элементов ротора и элементов соединения с валом генератора.

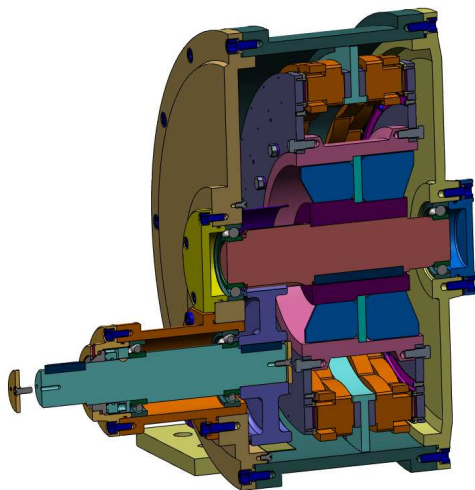


Рисунок 3 – Генератор 3 кВт (2005г.)

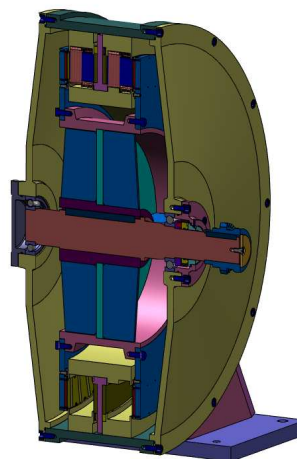


Рисунок 4 – Генератор 10кВт

Кроме того, наличие роторов, охватывающих сдвоенный статор требует финишной обработки роторов сборе по размеру статоров, что усложняет технологию и не обеспечивает взаимозаменяемости элементов.

Попыткой устранить этот недостаток был вариант со сдвоенным статором, на котором базируются две половины корпуса (рисунок 5). Такая схема существенно упростила сборку, но не устранила главных недостатков. Из-за перечисленных сложностей и проблем от этой компоновочной схемы в последующих конструкциях пришлось отказаться.

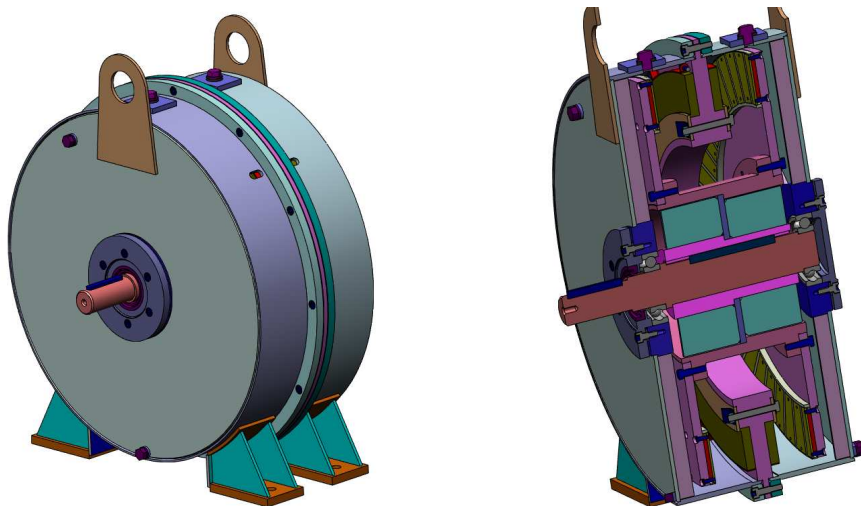


Рисунок 5 – Генератор 1кВт (2009г.)

Схема со двоянным ротором была реализована в проекте генератора 20 кВт (рисунок 6) и в конструкции промышленного образца НТСГ мощностью 5 кВт (рисунок 7).

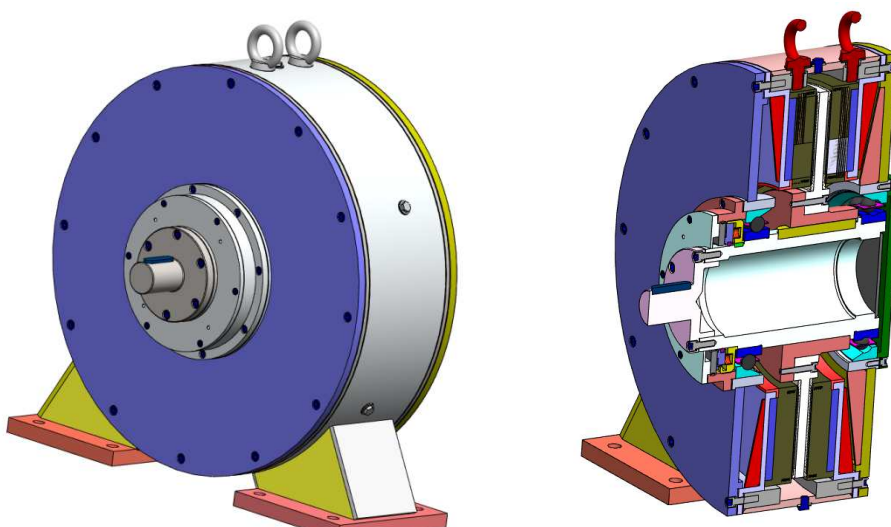


Рисунок 6 – Генератор 20 кВт (2009г.)

Сдвоенный ротор имеет существенно упрощенную конструкцию и обеспечивает удобную регулировку зазоров в осевом направлении. В этой конструкции регулирование положения ротора в обоих направлениях выполняется винтовыми тягами. Каждый из статоров в этой конструкции монтируется автономно и его положение не регулируется, что несколько упрощает сборку.

Этот вариант компоновки статоров и роторов стал основным при создании промышленного образца. Однако, то, что было допустимо при изготовлении опытных и опытно-промышленных образцов, стало неприемлемым на этапе разработки промышленного образца – бескаркасная ручная намотка модулей статора, которая приводила к значительным трудозатратам, большому разбросу параметров, риску межвитковых замыканий и обрывов при огибании пластин наматываемым проводом.

Типовое решение, устраняющее все эти недостатки – использование в статоре специального каркаса. Такой каркас был разработан для генератора (рисунок 7) 5 кВт 2011 г.

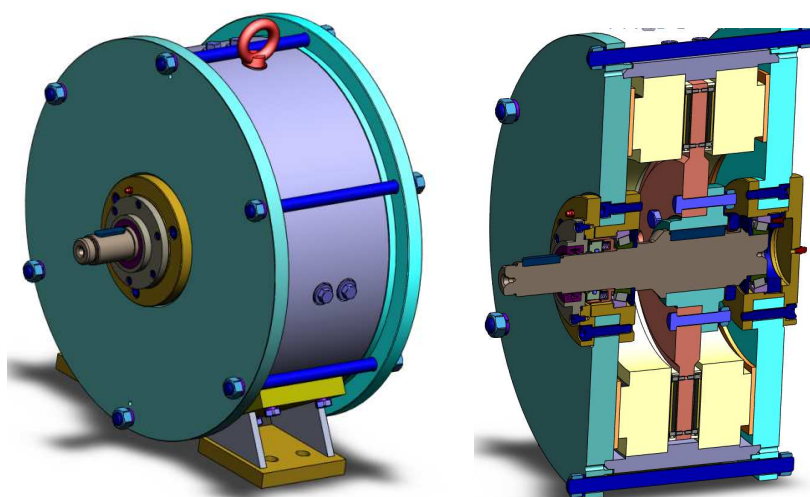


Рисунок 7 – Промышленный образец НТСГ 5кВт

Главные принципы реализации этой конструкции: минимальная трудоемкость изготовления и сборки, высокое электромагнитное качество изделия. Снижение трудоемкости обеспечивается введением каркасной намотки модулей, полным устранением сварных соединений корпусных деталей, устранением регулировок активной части генератора.

Эта конструкция является прототипом в автоматизации конструирования при создании единой ИПИ-среды. Этот генератор будет изготовлен и представлен на сертификацию в 2011 г.