

ПРИМЕНЕНИЕ ВОДОПОГРУЖНОГО ГИДРОГЕНЕРАТОРА КОМБИНИРОВАННОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ ДЛЯ МАЛЫХ И СРЕДНИХ РЕК

С.А. Ганджа, Д.С. Аминов, Б.И. Косимов

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Анализируется энергетический потенциал малых рек России и ближнего зарубежья. Сделан вывод о том, что энергоемкость малых рек во много раз превышает этот показатель для крупных рек. Развитие малой гидроэнергетики сдерживается рядом проблем. Это требования экологии, необходимость больших финансовых затрат на создание малых ГЭС, получение качественной электроэнергии при сезонных колебаниях расхода воды. Для преодоления этих противоречий предлагается применить генератор оригинальной конструкции. Рассматриваемая электрическая машина представляет собой генератор погружного типа с комбинированным возбуждением. Он имеет небольшие размеры благодаря использованию мощных постоянных магнитов и обмотку возбуждения для регулирования магнитного потока. Генератор имеет сложную магнитную систему, поэтому для электромагнитного анализа используется программа точного расчета электромагнитного поля на основе метода конечных элементов ANSYS Electronics Desktop. Разработанная цифровая модель генератора показала хорошую сходимость с реальным генератором по основным параметрам и характеристикам. Представлены результаты исследования.

Ключевые слова: генератор комбинированного возбуждения, гидрогенератор, постоянный магнит, обмотка возбуждения, система управления.

Введение

Многие страны не в полной мере используют свои водные ресурсы для производства электроэнергии. Главная причина заключается в том, что энергия распределяется в малых и средних реках, которые не выгодно использовать традиционным способом из-за больших капитальных затрат на строительство ГЭС. Однако расчеты показывают, что энергетический потенциал малых и средних рек во много раз превышает энергоемкость крупных рек. На территории России и стран СНГ существует большое количество водных ресурсов, на которых по тем или иным причинам не установлены гидроэлектростанции.

Строительство гидроэлектростанции – трудоемкий и сложный процесс. Перечислим факторы, препятствующие установке гидроэлектростанций на малых и средних реках.

1. Некоторые реки относятся к различным охраняемым территориям. Это значительно усложняет создание гидроэлектростанций, что связано со сбором необходимой документации и соблюдением законодательных норм.

2. Реки имеют малые скорости течения, которые не позволяют раскрутить тяжелые лопасти крупных гидрогенераторов.

3. Не все реки имеют бассейны для создания на их основе гидроэлектростанций.

4. Многие реки являются горными, и доставить туда необходимое оборудование и технику крайне сложно.

5. Сами по себе реки достаточно мелководны,

что не позволяет поставить машины больших размеров.

В настоящее время необходимы новые подходы и технические решения для получения электроэнергии из водных ресурсов малых и средних рек.

Решением этой проблемы является разработка малогабаритных гидрогенераторов, которые легко можно доставить в труднодоступные районы. Установка их проще, она занимает мало времени и не требует больших финансовых затрат. При необходимости можно разместить необходимое количество гидрогенераторов для лучшего использования потенциала реки.

Энергия, получаемая от небольших гидрогенераторов, может направляться непосредственно на небольшую электростанцию, расположенную поблизости, или накапливаться на конденсаторных батареях. Поскольку скорости рек неодинаковые и зависят от различных факторов, например, сухой сезон или дождливый, есть пополнение реки за счет таяния снега или нет, для стабильности выходных параметров электронная система управления должна иметь регуляторы напряжения.

1. Краткий обзор малых рек

На основании открытых источников проведем анализ энергетических возможностей малых и средних рек Российской Федерации и стран СНГ [1].

Река Теберда

Река имеет длину 60 км, площадь поверхности ее бассейна составляет 1080 км². Течение бы-

строе, на реке имеются водопады, наибольшие водные потоки наблюдаются в период июля и августа. Средний расход воды в 45 км от устья – 27,2 м³/с.

Река Большой Зеленчук

Река расположена в районе Северного Кавказа, это левый приток Кубани. Средняя длина реки составляет 158 км. Средний расход воды 40 м³/с (в 80 км от устья).

Река Анчас

Общая протяженность реки примерно 120 км, площадь водной глади бассейна составляет 550 км². Река образуется на северо-восточных склонах хребта Котх, севернее Большого Кавказа. Средний расход воды около 19 м³/с.

Река Пишии

Река начинается на северных склонах Главного Кавказского хребта. В верховьях река течёт в узкой долине, но при выходе из гор река расширяется. Основное питание реки – это талые и дождевые воды [1]. Средний расход воды составляет 25 м³/с, наибольший расход воды – около 1000 м³/с.

Река Битюг

Река имеет длину 379 км, площадь зеркала поверхности – 8840 км². Река протекает по Окско-Донской равнине, которая местами заболочена. Река питается от таяния снега. Средний расход воды составляет 18,2 м³/с. Лед сходит с середины декабря по конец марта.

Река Усмань

Река представляет собой левый приток реки Воронеж. Она протекает по Воронежской и Липецкой областям. Общая длина реки составляет 151 км, площадь поверхности воды – 2840 км². Река берёт начало и течёт по Окско-Донской равнине. Питание реки осуществляется за счет таяния снега. Средний расход составляет 1,99 м³/с. Течение реки умеренное. Средняя ширина реки составляет около 10–20 м, на разливах ширина реки достигает до 50 м. Река замерзает в ноябре и начале декабря, вскрывается в конце марта.

Река Воронеж

Протяженность реки, если считать от истока Польного Воронежа, составляет 520 км, длина самой реки Воронеж несколько меньше и составляет 342 км. Средний расход воды 70,8 м³/с.

Река Олым

Питание реки осуществляется преимущественно за счет таяния снега. Половодье реки приходится на апрель. Средний расход воды в 63 км от устья составляет 6,5 м³/с [1], наибольший расход – около 674 м³/с, наименьший – 0,63 м³/с. Замерзает река в ноябре, вскрывается в марте и в начале апреля. Река не предназначена для судоходства. В первой половине 60-х годов на реке, в районе села Борки, функционировала гидроэлектростанция.

Река Чир

Река расположена в Ростовской и Волгоградской областях, это правый приток Дона. Она впа-

дает в Цимлянское водохранилище. Общая длина реки составляет 317 км, площадь поверхности – 9580 км². Питание осуществляется талыми и дождевыми водами. В верховьях река может пересыхать [1]. Средний расход воды – 12 м³/с (в 10 км от устья).

Река Снов

Река протекает по Брянской области России и Черниговской области Украины, это правый приток Десны. Протяжённость реки составляет 253 км, а площадь ее бассейна – 8705 км². В верхнем течении ширина реки насчитывает от 4 до 14 м, в нижнем – от 20 до 40 м. Питание реки осуществляется в основном талой водой. В зимнее время река может замерзать. Максимальный расход воды – 24 м³/с.

Река Шостка

Река протекает по территории Глуховского, Ямпольского и Шосткинского районов Сумской области Украины. Длина реки составляет 56 км. Она берёт начало севернее села Горелого. Пойма реки болотистая и состоит из торфяных и песчаных грунтов. Преобладают глубины от 0,5 до 1,7 м. Скорость течения составляет 0,2 м/с. Уклон реки – около 1,2 м/км. Река питается от таяния снега и от дождя. Сток частично урегулирован шестью шлюзами-регуляторами. Русло урегулировано, его протяженность 40 км. Максимальный расход воды составляет 360 м³/с.

Река Сейм

Ширина русла реки в летний период составляет 10–30 м, в среднем – 40–80 м. Глубина реки около 2–3 м. Течение медленное, спокойное – 0,3–0,4 м/с, на перекатах – до 0,7 м/с. Высота истока – 178 м над уровнем моря, устья – 112 м над уровнем моря. Средний расход воды возле Рильска – 32 м³/с [1, 2].

Анализ энергоемкости водных ресурсов малых и средних рек показывает, что их энергетический потенциал достаточно высок. Его использование может быть экономически выгодным, но для этого необходима разработка специальных гидрогенераторов, которые учитывают особенности водных ресурсов.

2. Применение водопогружного гидрогенератора комбинированного возбуждения в качестве источника альтернативной энергии для малых и средних рек

Синхронный генератор с постоянными магнитами имеет ряд преимуществ. Среди них высокая надежность, хорошие массоэнергетические показатели, максимально возможный КПД. Но для такого типа машин стабилизацию выходного напряжения можно осуществить только по якорной цепи, так как невозможно регулировать магнитный поток постоянного магнита. Это значительно усложняет систему управления генератором.

Альтернативные источники энергии

Есть класс машин с так называемым комбинированным возбуждением. В качестве источника магнитного поля он имеет постоянный магнит и обмотку возбуждения. Постоянный магнит позволяет уменьшить габариты машины, а обмотки возбуждения позволяют стабилизировать выходное напряжение по якорной цепи.

Анализ электрических машин комбинированного возбуждения показывает, что почти все они имеют дополнительный паразитный зазор. Это приводит к увеличению объема обмотки возбуждения и электрической машины в целом [2–6].

Авторами разработана конструкция, не имеющая этого недостатка [7–10]. Конструктивные особенности и принцип действия предлагаемого генератора представлены ниже.

3. Описание конструкции

Особенностью генератора является наличие двух источников магнитного поля для возбуждения. Это постоянные магниты и обмотки возбуждения. Такая конструкция позволяет управлять магнитным потоком с помощью обмотки возбуждения [10–17]. Эскиз генератора показан на рис. 1.

Основные части генератора – это статор (его функцию выполняет якорь) и ротор (его функцию выполняет индуктор).

Генератор имеет обращенную конструкцию, то есть ротор находится снаружи статора. Такая конструкция позволяет увеличить электромагнитную мощность за счет диаметра расточки якоря.

Статор состоит из двух пакетов 1 и 2. Пакеты шихтуются из электротехнической стали. В пакетах имеются пазы для якорной обмотки 1 и 2. Паза пакета в осевом направлении совпадают.

Якорная трехфазная обмотка 3 расположена в пазах. Пакеты крепятся к массивным частям магнитопровода 4 и 5. Части 4 и 5 напрессованы на втулку 6. Неподвижная обмотка возбуждения 7 располагается между пакетами магнитопровода. Ротор генератора имеет массивный полюс 8 и постоянные магниты 9 и 10. Постоянные магниты и

полюса чередуются друг с другом и расположены по окружности. Они образуют два кольца, которые охватывают пакеты 1 и 2. Кольца индуктора расположены таким образом, что в осевом направлении напротив полюса 8 расположен постоянный магнит 9 или 10.

Магниты 9 и 10 имеют радиальную намагниченность, при этом в одном кольце магниты имеют «южную» намагниченность 9 на поверхности, обращенной к пакету, в другом кольце – «северную» намагниченность 10.

Генератор работает следующим образом. Когда обмотка возбуждения 7 питается постоянным током, она создает магнитный поток, который замыкается по пути: пакет 1, воздушный зазор, массивный полюс 8 первого кольца, задняя часть ротора, массивный полюс 8 второго кольца, воздушный зазор, пакет 2, магнитопровод 5, втулка 6, магнитопровод 4.

Магнитный поток, который создается постоянными магнитами, замыкается по следующему пути: пакет 1, воздушный зазор, «южный магнит» 9, задняя часть ротора, «северный магнит» 10, воздушный зазор, пакет 2, магнитопровод 5, втулка 6, магнитопровод 4. Направление магнитного потока от постоянных магнитов не меняется.

Направление потока от обмотки возбуждения зависит от полярности источника питания, к которому он подключен. В этом случае поток от обмотки возбуждения может быть добавлен к потоку постоянных магнитов или вычитаться из него.

При вращении ротора суммарный поток индуцирует ЭДС в обмотке статора 3. При изменении скорости величина и направление тока в обмотке возбуждения 7 выбираются таким образом, чтобы произведение скорости на величину потока было бы постоянным. При этом амплитуда выходного напряжения генератора остается постоянной при изменении частоты вращения в широком диапазоне, что необходимо для автономных источников питания.

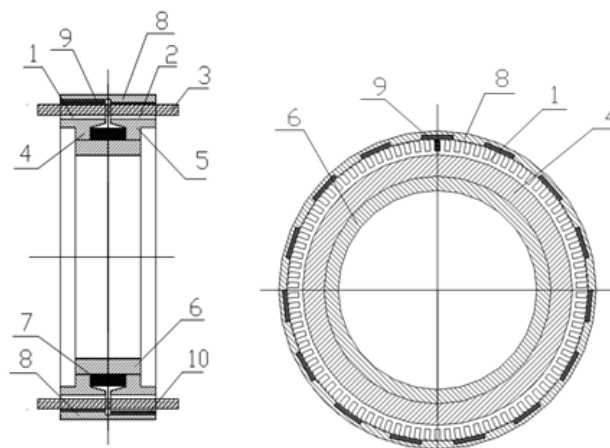


Рис. 1. Эскиз комбинированного генератора возбуждения

4. Анализ основных параметров и характеристики с помощью программного пакета ANSYS Electronics Desktop

Генератор имеет сложную магнитную систему, поэтому для его анализа используется специальная программа Ansys Electronics Desktop для расчета электромагнитных полей, в основе которой лежит метод конечных элементов [18–23].

Данная конструкция не входит в перечень типовых электрических машин, предлагаемых ANSYS Electronics Desktop, поэтому для анализа необходимо создать модель с помощью встроенного редактора.

В основе технологии Solid modeling, используемой в Maxwell, лежит специальный интегрированный в программу графический редактор, позволяющий создавать модели с использованием вложенных в программу примитивов.

Геометрия генератора не имеет плоской сим-

метрии, поэтому для анализа необходимо создать трехмерную модель.

Встроенные в программу примитивы использовались для создания пакета, постоянных магнитов, обмотки якоря. Для построения модели использовалась осевая симметрия, то есть для расчетов была построена только часть генератора. Это существенно экономит компьютерные ресурсы. Полные характеристики определялись умножением результатов на количество составляющих частей. При этом учитывались условия периодичности.

Результаты моделирования конструкции представлены на рис. 2.

ANSYS Electronics Desktop позволяет учитывать влияние электронной системы управления на работу электрической машины. Принципиальная схема строится с использованием программы Maxwell Circuit, которая является приложением программы. На рис. 3 показан трехфазный выпря-

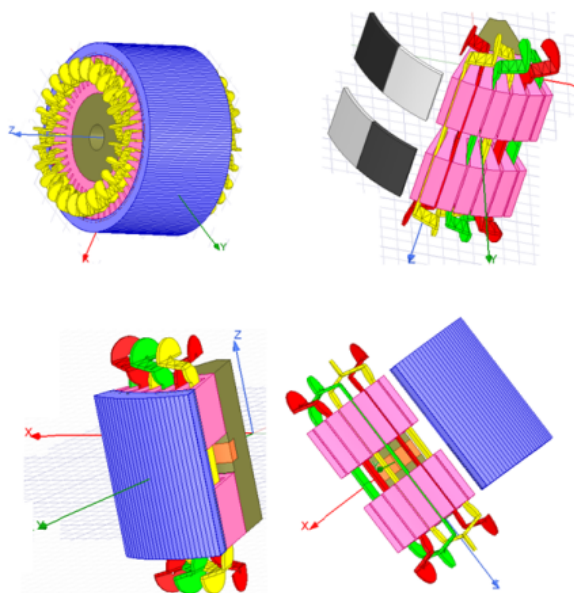


Рис. 2. Результаты создания трехмерной модели

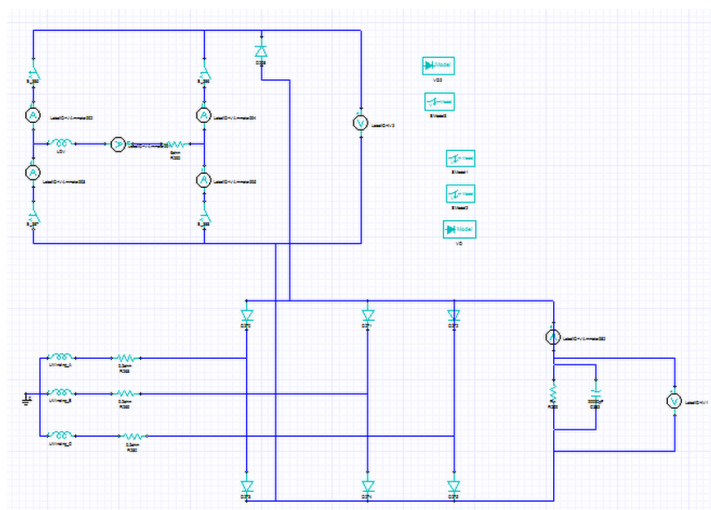


Рис. 3. Электронная схема системы управления

Альтернативные источники энергии

нитель и регулятор напряжения, который управляет обмоткой возбуждения для стабилизации выходного напряжения генератора.

Для решения задачи программа разбивает модель на большое количество конечных элементов. Для каждого элемента формируется система уравнений для локальной матрицы. Глобальная матрица формируется из локальных матриц для решения полевой задачи. Результаты разбиения модели на конечные элементы представлены на рис. 4. Ре-

зультаты расчета магнитного поля приведены на рис. 5.

На рис. 6–10 приведены результаты расчета основных параметров и характеристик.

Расчетные кривые основных характеристик достаточно близки к осциллограммам реальных макетных образцов. Это говорит о том, что созданная цифровая модель практически является цифровым двойником реальной электрической машины.

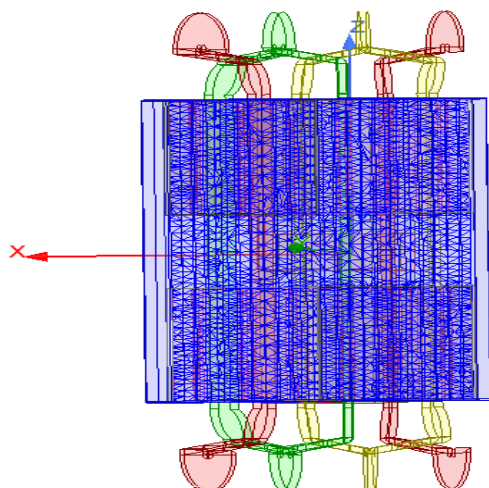


Рис. 4. Разбиение на конечные элементы

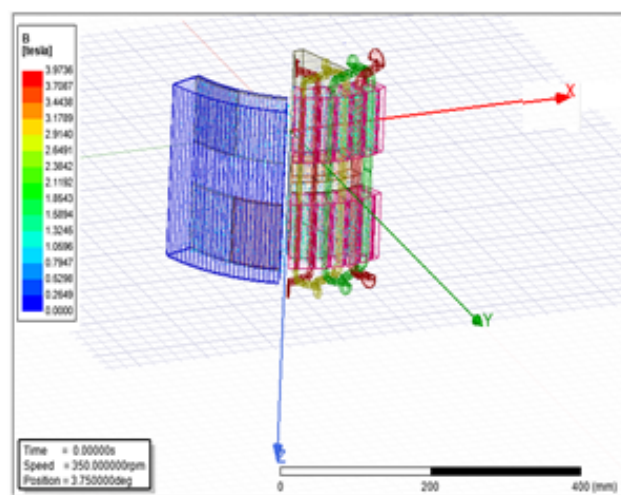


Рис. 5. Результаты расчета магнитного поля

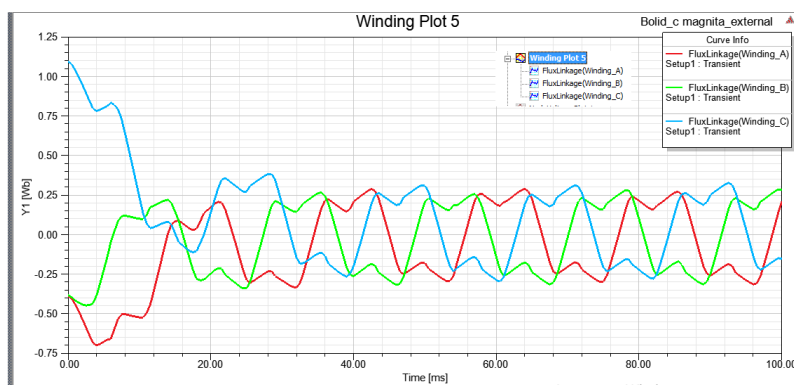


Рис. 6. Зависимости потокоцепления основного магнитного потока с фазами якорной обмотки

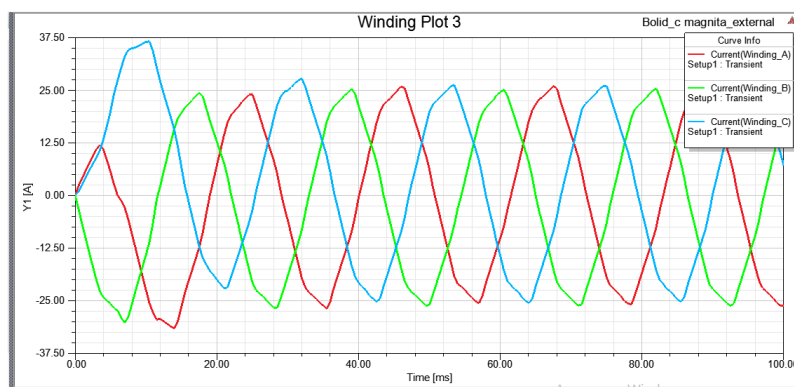


Рис. 7. Зависимости фазных токов

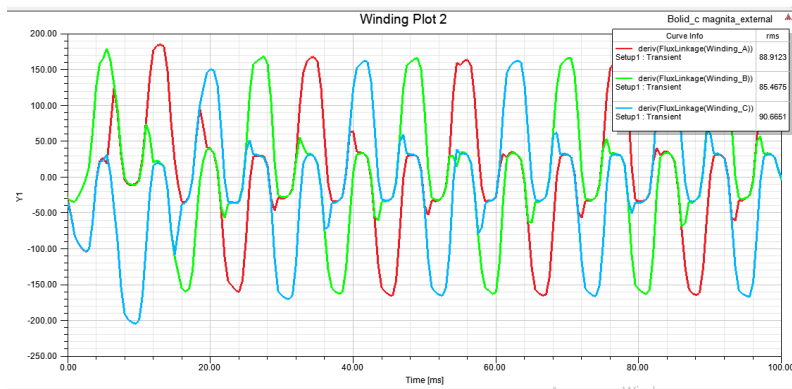


Рис. 8. Зависимости ЭДС вращения, наводимые в фазах якорной обмотки от основного магнитного потока

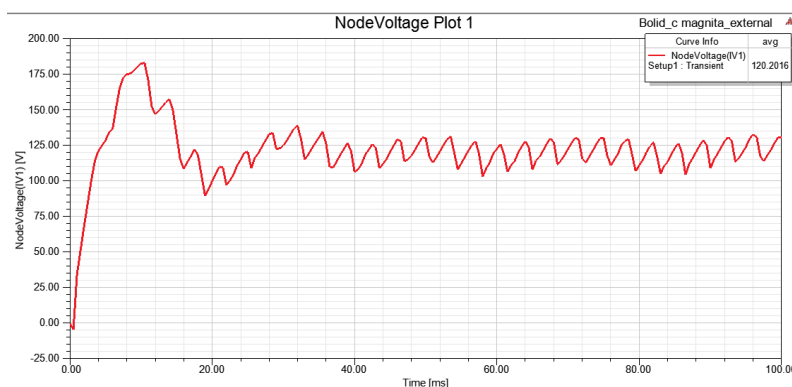


Рис. 9. Кривая выпрямленного напряжения под нагрузкой

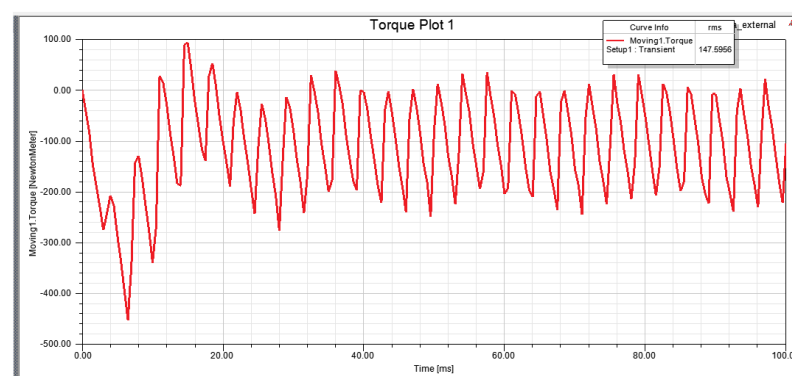


Рис. 10. Кривая крутящего момента при номинальной нагрузке

Заключение

Энергетический потенциал малых рек значительно выше, чем у мощных рек. Его использование может быть очень выгодным, если для решения этой задачи разработать специальный генератор, который учитывает особенности этих гидроресурсов.

Предлагаемый в статье генератор комбинированного возбуждения водно-погружного типа в определенной мере позволяет решить эту задачу.

Особенность генератора заключается в том, что он имеет магнитную систему, которая содержит два источника магнитного поля. Пути замы-

кания магнитного потока от постоянных магнитов и обмотки возбуждения имеют сложную форму. Магнитная система имеет большой поток рассеяния. Для точного расчета характеристик нельзя использовать упрощенный метод. Единственным решением этой проблемы является использование программы для анализа электромагнитных полей на основе метода конечных элементов. В предлагаемом исследовании была использована программа конечно-элементного анализа ANSYS Electronics Desktop. Генератор не имеет плоской симметрии, поэтому для анализа необходимо было создать трехмерную модель. Разработанная модель

является достаточно точной, и ее можно считать цифровым двойником реального прототипа. Вычисления потребовали больших компьютерных ресурсов. На отладку модели было затрачено много времени, но эти затраты намного меньше, чем усилия, которые были бы потрачены на изготовление и тестирование прототипов без электронного анализа. С помощью данной методики на основе предложенной конструкции были изготовлены реальные образцы для гидрогенератора мощностью 10 кВт, ветрогенератора мощностью 3 кВт, колесного двигателя мощностью 50 кВт. Все образцы показали хорошую сходимость результатов расчета с результатами теста. Метод разработки электронной модели и ее исследования перед изготовлением опытных образцов следует считать обоснованным, несмотря на затраты при создании такой модели.

Исследования показали возможность использования данного типа генератора для освоения энергоресурсов малых и средних рек.

Работа выполнена в ЮУрГУ при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 14-19-00327). Авторы благодарят руководство университета за возможность провести данное исследование.

Литература

1. Гидроэнергетика и комплексное использование водных ресурсов СССР / под ред. П.С. Непорожного. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоиздат, 1982. – 560 с.
2. Ганджа, С.А. Разработка инженерных методов расчета магнитных систем с постоянными магнитами на основе метода конечных элементов / С.А. Ганджа, Д.С. Аминов, Б.И. Косимов // Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2019. – № 29. – С. 58–74.
3. Gandzha, S. Development of Engineering Method for Calculation of Magnetic Systems for Brushless Motors Based on Finite Element Method / S. Gandzha, D. Aminov, B. Kosimov // International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICOEAM), 25–29 March, 2019, Sochi. DOI: 10.1109/icieam.2019.8742976
4. Балагуров, В.А. Электрические машины с постоянными магнитами / В.А. Балагуров, Ф.Ф. Галтеев, А.Н. Ларионов. – М.: Энергия, 1964. – 480 с.
5. Вольдек, А.И. Исследование магнитного поля в воздушном зазоре явнополюсных синхронных машин методом гармонических проводимостей / А.И. Вольдек // Электричество. – 1966. – № 7. – С. 46–52.
6. Gandzha, S. Design of Brushless Electric Machine with Axial Magnetic Flux Based on the Use of Nomograms / S. Gandzha, D. Aminov, B. Kosimov // Proceedings 2018 International Ural Conference on Green Energy, UralCon. – Chelyabinsk, Russia. – 2018. – P. 282–287. DOI: 10.1109/uralcon.2018.8544320
7. Ганджа, С.А. Разработка инженерных методов расчета магнитных систем с постоянными магнитами на основе метода конечных элементов / С.А. Ганджа, Д.С. Аминов, Б.И. Косимов // Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2019. – № 29. – С. 58–74.
8. Hinton, E. Least squares smoothing of experimental data using finite elements / E. Hinton, B. Irons // Strain. – July 1968. – P. 24–27. DOI: 10.1111/j.1475-1305.1968.tb01368.x
9. Building Trust. The history of DNV 1864–2014 / Gard Paulsen, Håkon With Andersen, John Petter Collett, Iver Tangen Stensrud. – Lysaker, Norway: Dinamo Forlag A/S. – 2014. – P. 121, 436.
10. Аминов, Д.С. Комбинированная система бесперебойного питания на базе солнечных панелей, ветроэнергетической установки, гидрогенератора, аккумуляторной батареи и дизель-генератора / Д.С. Аминов, Б.И. Косимов, Р.Р. Нуматов // Материалы десятой научной конференции аспирантов и докторантов ЮУрГУ, Челябинск. – 2018. – С. 102–106.
11. Bathe, K.J. Finite Element Procedures / K.J. Bathe. – Cambridge, MA: Klaus-Jürgen Bathe, 2006.
12. Zienkiewicz, O.C. The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals / O.C. Zienkiewicz, R.L. Taylor, J.Z. Zhu. – Sixth ed. – Butterworth-Heinemann, 2005.
13. Gandzha, S.A. Modelling of Permanent Magnet Direct Current Motor with Electromagnetic Reduction / S.A. Gandzha // Collection of papers of Software Users Sixth Conference CAD_FEMGmbH; 20–21 April 2006. – Moscow, 2006. – P. 358–360.
14. Ганджа, С.А. Стартер-генератор для автономных источников электроснабжения / С.А. Ганджа, А.В. Ерлышева // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2005. – Вып. 6, № 9. – С. 84–86.
15. Gandzha, S.A. The application of synchronous induction generator for windmill / S.A. Gandzha // ELMASH-2009. Электроэнергетика и электротехника. Проблемы и перспективы: тр. симп. – М., 2009. – Т. 1. – С. 168–170.
16. Gandzha, S.A. Optimal design of brushless axial gap electric machines for low power windmills / S.A. Gandzha, R.L. Halstead // Design World (engineering solution for product manufactures). – 2012. – № 1. – www.designworldonline.com (дата обращения: 30.06.2019).
17. Gandzha, S.A. Application brushless machines with combine excitation for a small and medium power windmills / S.A. Gandzha, I.E. Kiessh // Procedia Engineering. – December 2015. – 129. – P. 191–194. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.12.031
18. Gandzha, S.A. Variable speed power / S.A. Gandzha, I.E. Kiessh // Procedia Engineering. – December 2015. – 129. – P. 731–735. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.12.095

19. Gandzha, S.A. *The Comparative Analysis of Permanent Magnet Electric Machines with Integer and Fractional Number of Slots per Pole and Phase* / S.A. Gandzha, A.I. Sogrin, I.E. Kiessh // *Procedia Engineering*. – December 2015. – 129. – P. 408–414. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.12.137

20. *Application of digital twins technology for the analysis of brushless electric machines with axial magnetic flux* / S.A. Gandzha, D.S. Aminov, I.E. Kiessh, B.I. Kosimov // *Digital industry: state and prospects of development 2018: International scientific conference*. DOI: 10.1109/glosic.2018.8570132

21. Gandzha, S.A. *Design of Brushless Electric Machine with Axial Magnetic Flux Based on the Use of Nomograms* / S.A. Gandzha, D.S. Aminov,

B.I. Kosimov // *International Ural Conference on Green Energy (UralCon)*. – 2018. – P. 282–287. DOI: 10.1109/uralcon.2018.8544320

22. Gandzha, S. *The development of an engineering technique for calculating magnet systems with permanent magnets* / S. Gandzha, D. Aminov, I. Kiessh // *2018 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)*. – Chelyabinsk, Russia, 2018. DOI: 10.1109/icieam.2018.8728650

23. Ганджа, С.А. *Определение оптимальных габаритных размеров для вентильных машин с аксиальным магнитным потоком (ВМАП)* / С.А. Ганджа, А.С. Мартыянов // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика»*. – 2013. – Т. 13, № 2. – С. 88–90.

Ганджа Сергей Анатольевич, д-р техн. наук, заведующий кафедрой «Теоретические основы электротехники», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; gandja_sa@mail.ru.

Аминов Дилшод Саидович, аспирант, кафедра «Теоретические основы электротехники», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; dilshod-aminov-93@mail.ru.

Косимов Бахтиёр Исмагуллоевич, аспирант, кафедра «Теоретические основы электротехники», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; kosimov.energy@mail.ru.

Поступила в редакцию 4 июля 2019 г.

DOI: 10.14529/power190412

THE COMBINED EXCITATION SUBMERSIBLE HYDROGENERATOR AS AN ALTERNATIVE ENERGY SOURCE FOR SMALL AND MEDIUM RIVERS

S.A. Gandzha, gandja_sa@mail.ru,
D.S. Aminov, dilshod-aminov-93@mail.ru,
B.I. Kosimov, kosimov.energy@mail.ru

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

The article analyzes the energy potential of small rivers in Russia and the CIS. The energy potential of small rivers several times exceeds that of the large ones. However, there are several obstacles that hinder the development of small river energy generation. These include environmental problems, high financial costs associated with the launch of small hydropower plants, difficulties with obtaining high-quality electricity arising due to seasonal changes in river water consumption. The paper proposes an innovative generator to resolve these issues. This generator is a hydro generator of submersible type with combined excitation. It is small in size thanks to the use of permanent magnets, while it features excitation winding to regulate the magnetic flux. The generator has a complex magnetic circuit, so a program Ansys Electronics Desktop is used for its analysis. The developed digital model of the generator shows good convergence with the real generator in terms of the main parameters and characteristics. The paper also presents the results of the research.

Keywords: combined excitation generator, hydro generator, permanent magnet, excitation winding, electronic control system.

References

1. Neporozhniy P.S. (Ed.) *Gidroenergetika i kompleksnoye ispol'zovaniye vodnykh resursov SSSR* [Hydropower and Integrated Water Resources Management of the USSR]. 2nd ed. Moscow, Energoizdat Publ., 1982. 560 p.
2. Gandzha S.A., Aminov D.S., Kosimov B.I. [The Development of Engineering Methods Calculated Magnetic Systems with Permanent Magnets Based on the Finite Element Method]. *Bulletin PNIPU. Electrical Engineering, Information Technology, Control Systems*, 2019, no. 29, pp. 58–74. (in Russ.)
3. Gandzha S., Aminov D., Kosimov B. Development of Engineering Method for Calculation of Magnetic Systems for Brushless Motors Based on Finite Element Method. *International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICOEAM)*, 25–29 March, 2019, Sochi. DOI: 10.1109/icieam.2019.8742976
4. Balagurov V.A., Galteev F.F., Larionov A.N. *Elektricheskie mashiny s postoiannymi magnitami* [Electric Machines with Permanent Magnets]. Moscow, Energiya Publ., 1964. 480 p.
5. Vol'dek A.I. [Study of the Magnetic Field in the Air Gap of Polar-Pole Synchronous Machines by the Method of Harmonic Conductivities]. *Elektrichestvo*, 1966, no. 7, pp. 46–52. (in Russ.)
6. Gandzha S., Aminov D., Kosimov B. Design of Brushless Electric Machine with Axial Magnetic Flux Based on the Use of Nomograms. *Proceedings – 2018 International Ural Conference on Green Energy, UralCon*, Chelyabinsk, Russia, 2018, pp. 282–287. DOI: 10.1109/uralcon.2018.8544320
7. Gandzha S.A., Aminov D.S., Kosimov B.I. [Development of Engineering Methods for Calculating Magnetic Systems with Permanent Magnets Based on the Finite Element Method]. *Vestnik PNIPU. Elektrotehnika, informatsionnyye tekhnologii, sistemy upravleniya* [Bulletin of PNIPU. Electrical Engineering, Information Technology, Control Systems], 2019, no. 29, pp. 58–74. (in Russ.)
8. Hinton E., Irons B. Least Squares Smoothing of Experimental Data Using Finite Elements. *Strain*, July 1968, pp. 24–27. DOI: 10.1111/j.1475-1305.1968.tb01368.x
9. Gard Paulsen, Håkon With Andersen, John Petter Collett, Iver Tangen Stensrud. *Building Trust. The History of DNV 1864–2014*. Lysaker, Norway, Dinamo Forlag A/S, 2014, pp. 121, 436.
10. Aminov D.S., Kosimov B.I., Nimatov R.R. [Combined Uninterruptible Power Supply System Based on Solar Panels, Wind Power Plant, Hydrogenerator, Battery and Diesel Generator]. *Materials of the Tenth Scientific Conference of Postgraduates and Doctoral Students of SUSU*. Chelyabinsk, 2018, pp. 102–106.
11. Bathe, K.J. *Finite Element Procedures*. Cambridge, MA, Klaus-Jürgen Bathe, 2006.
12. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L., Zhu J.Z. *The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals*. Sixth ed. Butterworth-Heinemann, 2005.
13. Gandzha S.A. [Modelling of Permanent Magnet Direct Current Motor with Electromagnetic Reduction] *Collection of Papers of Software Users Sixth Conference CAD_FEMGmbH*, 20–21 April 2006. Moscow, 2006, pp. 358–360.
14. Gandzha S.A., Erlisheva A.V. [Starter-Generator for Autonomous Source of Energy Supply]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2005, iss. 6, no. 9, pp. 84–86. (in Russ.)
15. Gandzha S.A. [The Application of Synchronous Induction Generator for Windmill]. *ELMASH-2009. Elektroenergetika i elektrotehnika. Problemy i perspektivy: tr. simp.* [ELMASH-2009. Power Industry and Electrical Engineering: Problems and Prospects]. Moscow, 2009, vol. 1, pp. 168–170.
16. Gandzha S.A., Halstead R.L. Optimal Design of Brushless Axial Gap Electric Machines for Low Power Windmills. *Design World (Engineering Solution for Product Manufactures)*, 2012, no. 1. Available at: www.designworldonline.com.
17. Gandzha S.A., Kiessh I.E. Application Brushless Machines with Combine Excitation for a Small and Medium Power Windmills. *Procedia Engineering*, December 2015, 129, pp. 191–194. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.12.031
18. Gandzha S.A., Kiessh I.E. Variable Speed Power. *Procedia Engineering*, December 2015, 129, pp. 731–735. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.12.095
19. Gandzha S.A., Sogrin A.I., Kiessh I.E. The Comparative Analysis of Permanent Magnet Electric Machines with Integer and Fractional Number of Slots per Pole and Phase. *Procedia Engineering*, December 2015, 129, pp. 408–414. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.12.137
20. Gandzha S.A., Aminov D.S., Kiessh I.E., Kosimov B.I. Application of Digital Twins Technology for the Analysis of Brushless Electric Machines with Axial Magnetic Flux. *Digital Industry: State and Prospects of Development 2018: International Scientific Conference*. DOI: 10.1109/glosic.2018.8570132
21. Gandzha S.A., Aminov D.S., Kosimov B.I. Design of Brushless Electric Machine with Axial Magnetic Flux Based on the Use of Nomograms. *International Ural Conference on Green Energy (UralCon)*, 2018, pp. 282–287. DOI: 10.1109/uralcon.2018.8544320

22. Gandzha S., Aminov D., Kiessh I. The Development of an Engineering Technique for Calculating Magnet Systems with Permanent Magnets. *2018 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)*. Chelyabinsk, Russia, 2018. DOI: 10.1109/icieam.2018.8728650

23. Gandja S.A., Martyanov A.S. Defining the Optimal Outline Dimensions for Axial Gap Electric Machines. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2013, vol. 13, no. 2, pp. 88–90. (in Russ.)

Received 4 July 2019

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Ганджа, С.А. Применение водопогружного гидрогенератора комбинированного возбуждения в качестве альтернативного источника энергии для малых и средних рек / С.А. Ганджа, Д.С. Аминов, Б.И. Косимов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2019. – Т. 19, № 4. – С. 102–111. DOI: 10.14529/power190412

FOR CITATION

Gandzha S.A., Aminov D.S., Kosimov B.I. The Combined Excitation Submersible Hydrogenerator as an Alternative Energy Source for Small and Medium Rivers. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2019, vol. 19, no. 4, pp. 102–111. (in Russ.) DOI: 10.14529/power190412
