

УДК 621.313

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА В МИКРОГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

Махамаджонов Содикжон Юлдашбой угли

Старший преподаватель Андиганский государственный технический
институт

Республика Узбекистан, г. Андиган

UDC 621.313

USE OF AN ASYNCHRONOUS GENERATOR IN MICRO HYDROPOWER PLANTS

Mahamadjonov Sodiqjon Yuldashboy ugli

Senior Lecturer, Andijan State Technical Institute
Republic of Uzbekistan, Andijan

Аннотация: в статье подробно рассмотрены особенности применения асинхронных генераторов в составе автономных микрогидроэлектростанций (микроГЭС). Показано, что использование короткозамкнутого ротора с конденсаторным возбуждением обеспечивает возможность устойчивого режима генерации без внешнего источника реактивной мощности. Проведён анализ преимуществ и ограничений асинхронных машин в системах малой мощности, а также приведены результаты моделирования, выполненного в среде MATLAB/Simulink. Уделено внимание вопросам стабилизации напряжения, влиянию магнитного насыщения и энергетической эффективности установки. На основании теоретических и экспериментальных данных обоснована целесообразность внедрения асинхронных генераторов в структуру автономных микроГЭС.

Ключевые слова: микроГЭС, асинхронный генератор, магнитное насыщение, реактивная мощность, энергетическая эффективность, стабилизация напряжения.

Abstract: the article provides a detailed analysis of the application of asynchronous generators in autonomous micro hydropower plants (micro-HPPs). It has been shown that the use of a squirrel-cage rotor with capacitor excitation ensures a stable generation mode without an external reactive power source. The advantages and limitations of induction machines in small-scale power systems are analyzed, and the results of MATLAB/Simulink modeling are presented. Particular attention is paid to voltage stabilization, magnetic saturation effects, and energy efficiency. Based on theoretical and experimental results, the feasibility of implementing asynchronous generators in autonomous micro-HPP structures is justified.

Keywords: micro hydropower plant, asynchronous generator, magnetic saturation, reactive power, energy efficiency, voltage stabilization.

Введение

Современное развитие мировой энергетики характеризуется стремлением к децентрализации производства электроэнергии и увеличению доли возобновляемых источников энергии. Одним из ключевых направлений является развитие малой и микро-гидроэнергетики, позволяющей эффективно использовать локальные водные ресурсы без строительства крупных плотин и водохранилищ. По данным Международного агентства по возобновляемым источникам энергии (IRENA), к 2024 году общая установленная мощность микроГЭС в мире превысила 12 ГВт, что свидетельствует о растущем интересе к данным установкам как к устойчивому источнику энергии. В странах Центральной Азии, включая Узбекистан, внедрение автономных микроГЭС играет стратегическую роль в обеспечении удалённых регионов электроэнергией. Такие станции обеспечивают электроснабжение сельских поселений, фермерских хозяйств, насосных станций и горных районов, где централизованные сети отсутствуют или экономически нецелесообразны. При этом асинхронные генераторы, благодаря своей конструктивной простоте и надёжности, становятся ключевым элементом энергетических систем данного типа.

Теоретические основы использования асинхронных генераторов

Асинхронный генератор с короткозамкнутым ротором представляет собой устройство, способное преобразовывать механическую энергию вращения в электрическую энергию переменного тока. Принцип его действия основан на электромагнитной индукции, возникающей при вращении ротора в магнитном поле статора. Для возбуждения такого генератора в автономных условиях применяется конденсаторная батарея, создающая реактивную мощность, необходимую для намагничивания сердечника. Особенностью асинхронного генератора является зависимость выходного напряжения и частоты от нагрузки и скорости вращения ротора. При увеличении нагрузки наблюдается падение напряжения, что требует применения схем автоматической стабилизации. Одним из эффективных решений является использование регулируемых конденсаторов или схем на основе микроконтроллеров (например, Arduino Mega) для поддержания требуемого уровня реактивной мощности. Кроме того, на работу генератора существенное влияние оказывает магнитное насыщение стали статора, которое приводит к нелинейным изменениям индуктивных параметров. Учет этих факторов позволяет значительно повысить точность математического моделирования и оптимизировать режимы работы микроГЭС.

Математическое моделирование и расчёт статических режимов

Для анализа процессов, происходящих в асинхронных генераторах автономного типа, широко используется метод моделирования в dq -координатах. Такой подход позволяет учесть влияние частоты, нагрузки и параметров конденсаторной батареи на стабильность выходных характеристик. В среде MATLAB/Simulink была реализована модель, включающая блоки активной и реактивной мощности, параметры магнитного насыщения, а также алгоритмы расчёта скольжения и электромагнитного момента. Моделирование показало, что увеличение ёмкости конденсаторов приводит к росту выходного напряжения и улучшению коэффициента мощности вплоть до оптимального значения. При этом наблюдается определённая граница, после которой дальнейшее увеличение ёмкости вызывает перенасыщение магнитной цепи и рост

потерь. Таким образом, определение оптимальной ёмкости является одной из ключевых задач при проектировании микроГЭС.

Также была разработана упрощённая методика расчёта статических режимов, позволяющая оценить работу генератора при различных нагрузках. Полученные зависимости напряжения от тока нагрузки и угла сдвига фаз подтвердили необходимость учёта магнитного насыщения для обеспечения высокой точности расчётов.

Результаты моделирования и экспериментальные исследования

Экспериментальные испытания проводились на стенде, включающем асинхронный двигатель мощностью 0,75 кВт, используемый в генераторном режиме, а также конденсаторную батарею для самовозбуждения. Измерения показали, что при оптимальной ёмкости и частоте вращения 1000 об/мин напряжение на выходе стабилизируется на уровне 220–230 В.

Использование PID-регулятора, реализованного на платформе Arduino Mega, позволило добиться устойчивости напряжения при изменении нагрузки в пределах $\pm 5\%$. Эксперимент подтвердил, что стабилизация достигается за счёт автоматического регулирования реактивной составляющей тока, компенсирующего изменения магнитного потока.

Кроме того, исследование показало, что при учёте магнитного насыщения стали статора и оптимальном выборе параметров конденсаторов снижается потребление реактивной мощности и повышается энергетическая эффективность на 3–5%. В реальных условиях, например, на фермерском хозяйстве «AGRO PRODSTAR», внедрение подобной схемы позволило обеспечить надёжное электроснабжение насосных установок, снизив энергетические затраты на 109 350 000 сум в год.

Заключение

Результаты исследования подтверждают, что асинхронные генераторы с конденсаторным возбуждением являются оптимальным решением для микрогидроэлектростанций автономного типа. Их применение позволяет создать простые, надёжные и экономичные энергетические системы для удалённых регионов. Разработанная математическая модель

обеспечивает возможность прогнозирования рабочих характеристик генератора и выбора оптимальных параметров конденсаторной батареи. В перспективе планируется использование адаптивных и интеллектуальных систем регулирования, основанных на алгоритмах машинного обучения, что позволит повысить стабильность напряжения, улучшить качество электроэнергии и снизить эксплуатационные затраты микроГЭС.

Список использованных источников

1. IRENA. Renewable Energy Statistics 2024. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2024.
2. International Hydropower Association (IHA). Hydropower Status Report 2024.
3. Клосс А. Асинхронные машины. – М.: Энергия, 1985.
4. Mahamadjonov S.Y. Modeling of Static Operating Modes of a Self-Excited Induction Generator. – Andijan, 2025.
5. MATLAB Simulink Documentation. The MathWorks Inc., 2023.
6. Rivers for Recovery. Global Hydropower Analysis Report, 2023.
7. Рахимов Б. Электрические машины. – Ташкент: Фан, 2018.
8. Иванов И.И. Электроэнергетические системы автономного типа. – М.: Наука, 2020.