

УДК 681.513.1

МИКРОГЭС СО СТАТИЧЕСКИМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ

Лукутин Б.В.¹, Сарсикеев Е.Ж.¹, Шандарова Е.Б.¹

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия, (634050, г. Томск, проспект Ленина, 30), e-mail: shandarovaelena@mail.ru

В статье рассмотрены вопросы, связанные с работой микрогидроэлектростанции на неравномерную по времени автономную нагрузку. Проведен анализ работы микроГЭС с автобалластной системой стабилизации, построенной на тиристорах, на типичную автономную нагрузку – сельскохозяйственный поселок. Показано, что интеграция микроГЭС с фазорегулируемым автобалластом в систему электроснабжения встречает определенные затруднения, связанные с невысокими показателями использования установленной мощности энергетического оборудования и искажениями кривых фазных токов и напряжений гидрогенератора. Для повышения коэффициента использования гидроагрегата предложено использовать в составе микроГЭС статический преобразователь частоты и аккумуляторную батарею для покрытия пиковой нагрузки потребителя. Подобное решение также позволит полностью снять проблему качества выходного напряжения станции. Величина установленной мощности гидрогенератора может выбираться исходя из средней величины его электрической нагрузки. Подобное решение позволит практически в два раза снизить установленную мощность гидрогенератора, а не пиковую мощность нагрузки

Ключевые слова: микрогидроэлектростанция, гидрогенератор, статический преобразователь частоты, аккумуляторная батарея, пиковая мощность, коэффициент использования, качество напряжения

MICRO-HYDRO POWER PLANT WITH A STATIC FREQUENCY CONVERTER

Lukutin B.V.¹, Sarsikeev E.J.¹, Shandarova E.B.¹

¹National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia, (634050, Tomsk, Lenin Avenue, 30), e-mail: shandarovaelena@mail.ru

The paper discusses the work of micro-hydro power plant (micro HPP) on an uneven load on the backup time. The analysis of micro HPP with thyristor auto ballast stabilization system, working on typical load such as autonomous agricultural settlement, has been conducted. It is shown that the integration of micro HPP with thyristor auto ballast stabilization system in the power system encounters certain difficulties associated with low rates of utilization of installed power of equipment and distortion curves of the phase currents and voltages of hydraulic generator. To increase the utilization of hydraulic generator is proposed to use in the composition of micro HPP static frequency converter and the storage battery to cover the peak load of the consumer. Such a decision will also completely remove the problem of quality of output voltage station. The value of the installed power of hydraulic generator can be selected based on the average value of its electrical load. Such a solution will allow almost halve the installed power of hydraulic generator, not peak load power.

Keywords: micro-hydro power plant, hydraulic generator, static frequency converter, storage battery, peak load power, utilization factor, voltage quality

К основным показателям качества электроэнергии в соответствии с ГОСТ 13109-97 относятся параметры выходного напряжения, характеризующиеся номинальной величиной и частотой. Поэтому, важнейшим элементом микрогидроэлектростанции (микроГЭС) является система стабилизации, обеспечивающая статически устойчивый режим работы гидроагрегата и стабилизацию его выходного напряжения.

Методы построения системы стабилизации частоты переменного тока микроГЭС можно разделить на две группы: стабилизация частоты вращения приводного двигателя и генерирование переменного тока стабильной частоты при изменяющейся скорости привода. Регулирование частоты вращения турбины заключается в изменении угла поворота рабочих

лопастей или регулировании расхода воды. При этом происходит выравнивание мощности, развиваемой турбиной, и мощности нагрузки. Основными недостатками регулируемых турбин являются усложнение их конструкции, а также необходимость в электромеханической системе регулирования частоты вращения установки. Из-за наличия в системе регулирования инерционных элементов частота выходного напряжения может изменяться в широких пределах [7].

Упростить конструкцию турбин и добиться большего быстродействия регуляторов частоты возможно путем регулирования величины нагрузки энергоустановки. Такая возможность определяется зависимостью частоты вращения турбины от развиваемой ею мощности, которая в автономной системе электроснабжения потребляется электрической нагрузкой. Следовательно, выбирая соответствующую нагрузку источника электропитания, можно стабилизировать частоту вращения энергоблока генератор-приводная турбина. Изменять величину нагрузки микроГЭС возможно включением на выход генератора регулируемой балластной нагрузки.

Известны несколько способов регулирования электрической нагрузки станции. Простейший из них заключается в отключении части нагрузок при изменении энергии рабочего потока воды гидродвигателя. Очевидными недостатками этого способа являются ограничения на режимы электропотребления и практическая невозможность приемлемой стабилизации частоты генерируемого напряжения.

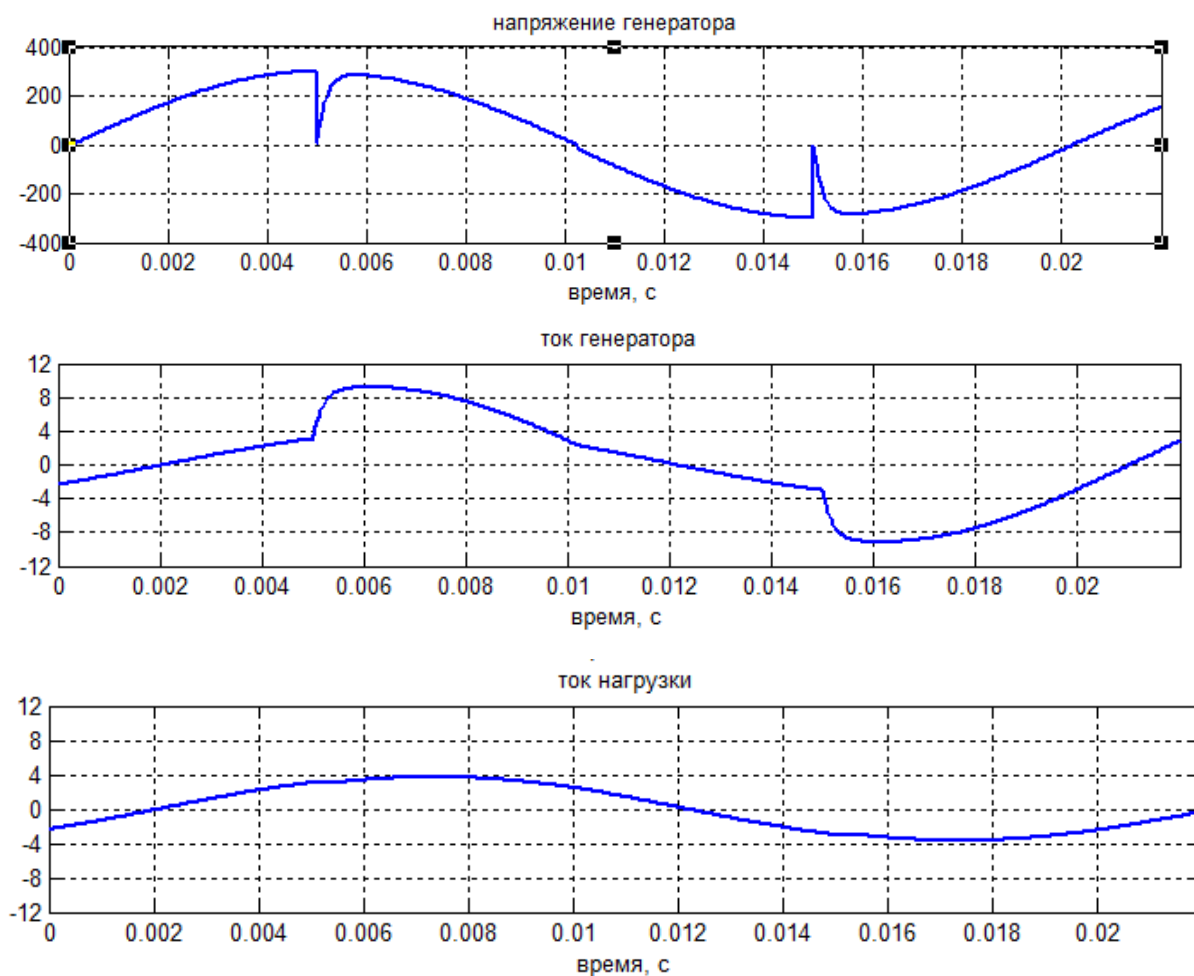
Более совершенный способ регулирования электрической нагрузки генератора предусматривает введение дополнительной балластной нагрузки, которая может состоять из ряда дискретных по мощности блоков, которые подключаются к полезной нагрузке в определенных сочетаниях с помощью тиристорных ключей. Коммутация вентилей коммутатора обычно осуществляется естественным образом, поэтому для ряда схемных решений тиристорных ключей характерно отсутствие искажений формы напряжения генератора. Недостатком схем с дискретным регулированием мощности является необходимость использования большого числа управляемых вентилей, что усложняет и удорожает систему регулирования [4].

Устранить эти недостатки, при определенном ухудшении формы кривой вырабатываемого напряжения, позволяет использование в регуляторах автобалласта схем с фазовым регулированием. Основным недостатком регуляторов автобалласта с фазовым регулированием по сравнению с тиристорными коммутаторами является искажение формы кривых фазных токов и напряжений генератора микроГЭС [3].

Фазовое регулирование вентильной балластной нагрузки проще всего реализуется при естественной коммутации вентилей. Гидрогенератор в таком случае работает на сложную комплексную нагрузку, часть из которой является нелинейной.

Результаты моделирования режимов работы микроГЭС с регулятором балласта, выполненным по схеме биполярных тиристорных ячеек, показаны на рис. 1. На рисунке представлены кривые напряжения и токов при работе генератора на полезную нагрузку, равную половине номинальной. При подключении балласта в момент времени, равный 0,005с на кривой напряжения генератора наблюдается ярко выраженный провал напряжения, кривая тока генератора также становится несинусоидальной.

Кривые, представленные на рис. 1, получены в результате численного моделирования микроГЭС с автобалластной системой стабилизации в программе Simulink из пакета Matlab. При моделировании использовался блок SimPowerSystems, позволяющий моделировать электротехнические устройства и системы. При создании виртуальной модели были приняты следующие допущения: параметры рабочего потока воды стабильны; полезная нагрузка имеет активно-индуктивный характер R_n и L_n с постоянным коэффициентом мощности $\cos\varphi_n=0,8$; балластная нагрузка активного характера R_b с $\cos\varphi_b = 1$.



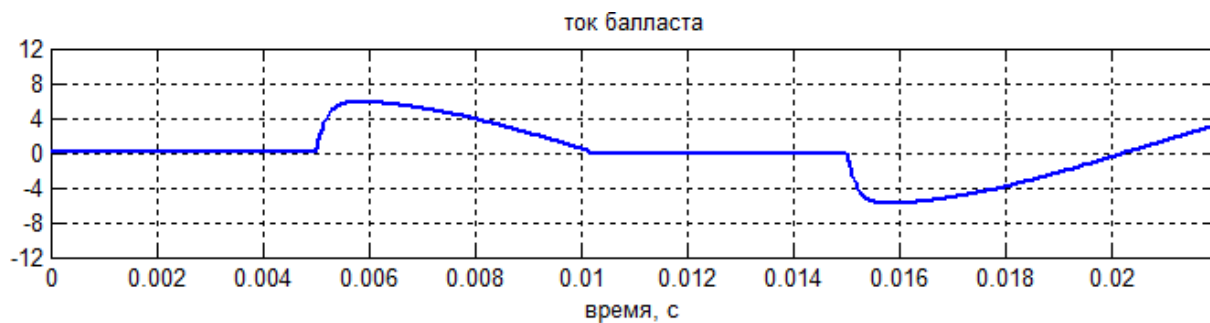


Рис. 1. Кривые напряжения и токов при работе генератора на полезную нагрузку, равную половине номинальной

Как показали исследования [3], при работе синхронного генератора со стандартной обмоткой на активно-индуктивную (полезную) нагрузку и вентильный активный балласт наибольшие искажения выходного напряжения наблюдаются при углах управления $\alpha = 90^\circ$ (половинная нагрузка станции). Также стоит отметить, что эквивалентная нагрузка микроГЭС, кроме величины угла управления тиристорами, зависит от схемы регулятора и определяется по результатам гармонического анализа кривых токов и напряжений гидрогенератора с вентильным балластом. Классические автобалластные системы стабилизации микроГЭС, выполненные на балластных сопротивлениях и биполярных тиристорных фазорегулируемых ключах, обеспечивают погрешности стабилизации напряжения гидрогенератора с пропеллерной турбиной в пределах $\pm(10 \div 20)\%$, частоты в пределах $\pm(2 \div 4)\%$, при коэффициенте несинусоидальности $(2 \div 13)\%$.

Общим недостатком всех автобалластных схем является трудность компенсации составляющих полной мощности гидрогенератора в условиях изменяющегося коэффициента мощности полезной нагрузки и сложности управления активной и реактивной составляющих мощности балласта.

Автономная электрическая нагрузка, как правило, весьма неравномерно распределена по времени. Так, наиболее типичный объект для электроснабжения от микроГЭС – сельскохозяйственный поселок – характеризуется типовым графиком электропотребления в течение суток по сезонам года. Графическая интерпретация типовых графиков электропотребления для характерных суток по сезонам года приведена на рис. 2-5 [1]. Данные приведены в относительных единицах относительно максимума, принятого за 1.

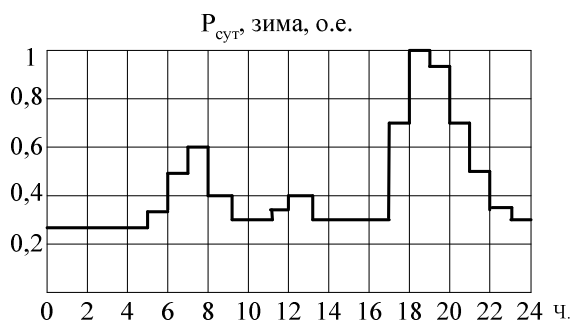


Рис. 2. График зимнего потребления

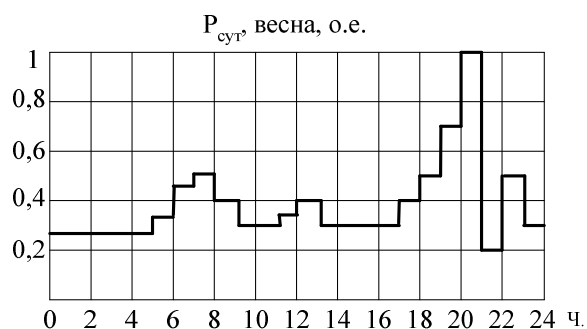


Рис. 3. График весеннего потребления

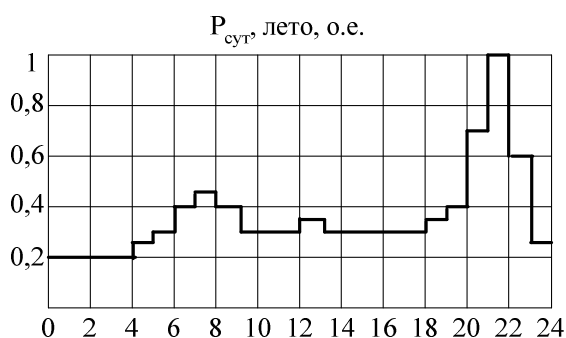


Рис. 4. График летнего потребления

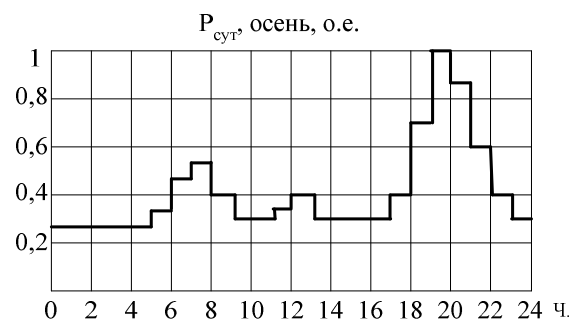


Рис. 5. График осеннего потребления

Как следует из типовых графиков сельского электропотребителя, в среднем генерирующий энергоисточник, в рассматриваемом случае – микроГЭС, загружен на 36-45% в зависимости от сезона относительно максимума мощности, продолжительность которого составляет всего 1 час в сутки. Следовательно, при автобалластном способе регулирования, более половины производимой энергии микроГЭС будет рассеиваться на балластных нагрузках. При этом полезное использование установленной мощности гидрогенератора не превышает 4-5% рабочего времени.

Очевидно, что столь невысокие показатели использования установленной мощности энергетического оборудования существенно ухудшают технико-экономические характеристики микроГЭС.

С другой стороны, основную часть времени микроГЭС работает на комплексную нагрузку, около половины которой составляет вентильный автобалласт, ухудшающий качество выходных электрических параметров станции. Точность стабилизации величины и частоты генерируемого напряжения при малых полезных нагрузках микроГЭС с фазорегулируемым автобалластом так же имеет худшие показатели по сравнению с режимами загрузки, близкими к номиналу.

Таким образом, интеграция микроГЭС с фазорегулируемым автобалластом в систему электроснабжения встречает определенные затруднения. Дискретный автобалласт способен лишь несколько улучшить качество генерируемого напряжения, не снимая проблем с использованием установленной мощности энергетического оборудования.

Использование в составе микроГЭС гидроагрегата со статическим преобразователем частоты полностью снимает проблемы с качеством выходного напряжения и позволяет повысить коэффициент использования его установленной мощности [2,8].

Очевидная структура такой машинно-вентильной системы представлена на рис. 6.

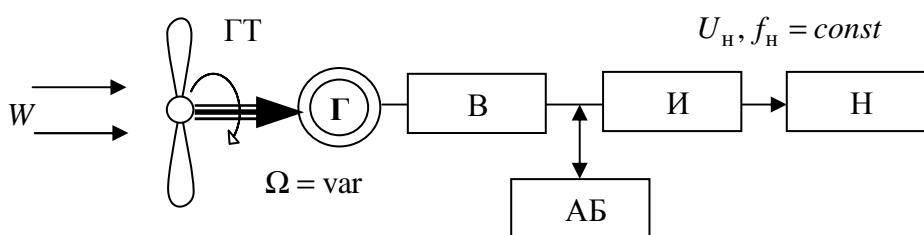


Рис. 6. МикроГЭС со статическим преобразователем частоты выпрямительно-инверторного типа: W – энергия потока воды; ГТ – гидротурбина; Г – генератор; Н – полезная нагрузка; В – выпрямитель; И – инвертор; АБ – аккумуляторная батарея

Принцип действия генерирующей системы заключается в преобразовании нестабильного по величине и частоте напряжения гидрогенератора с нерегулируемой турбиной в постоянный ток с помощью выпрямителя В с последующим инвертированием инвертором И в переменный ток стабильной частоты. Для оптимизации энергетического баланса системы возможно применение накопителей электрической энергии – чаще электрохимических аккумуляторов [4,5,6].

Достоинствами такой микроГЭС являются высокое качество выходного напряжения, определяемое инвертором, и способность работы в условиях изменяющихся параметров рабочего потока воды.

Способность работы гидроагрегата микроГЭС в широком диапазоне частот вращения позволяет формировать рабочие режимы станции, обеспечивающие максимум генерируемой мощности в соответствии с текущим значением скорости (расхода) рабочего потока воды. Это обстоятельство выгодно отличает подобные микроГЭС от энергоустановок с автобалластной системой стабилизации, наиболее эффективных для гидроагрегатов с напорным трубопроводом.

Для формирования режимов работы гидрогенератора в максимуме мощности необходимо регулировать электрическую нагрузку станции в соответствии с текущими параметрами рабочего потока воды. Это требует разработки соответствующих регулирующих устройств и интеллектуальных систем управления.

Повышение коэффициента использования установленной мощности гидроагрегата со статическим преобразователем частоты достигается использованием аккумуляторной батареи для покрытия пиковой нагрузки потребителя. Тогда величина установленной мощности гидрогенератора может выбираться исходя из средней величины его электрической нагрузки. Такая возможность, предположительно, позволит практически в два раза снизить установленную мощность гидрогенератора, а не пиковую мощность нагрузки.

Величина емкости аккумуляторной батареи должна выбираться исходя из баланса энергии: энергия расхода – энергия заряда с учетом КПД рациональных режимов работы аккумуляторов. Учитывая кратковременность пиковых нагрузок станции, можно прогнозировать относительно небольшие значения емкости аккумуляторной батареи.

Для определения рациональных параметров таких микроГЭС необходимы комплексные исследования для оптимизации их состава и режимов работы.

Состав микроГЭС и параметры ее энергетического оборудования должны определяться требованиями объекта электрификации, при условии оптимальности технических и экономических характеристик локальной системы электроснабжения.

Обеспечение рациональных режимов функционирования оборудования должно осуществляться по специальным алгоритмам, учитывающим логику взаимодействия блоков, составляющих микроГЭС, и обеспечивающим их надежную работу при максимальном сроке службы.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ «Исследование и разработка систем управления микрогидроэлектростанций для электроснабжения автономных потребителей»

Список литературы

1. База данных ОНЛАЙН-ЭЛЕКТРИК [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.online-electric.ru/dbase/graph24.php> (дата обращения 20.11.2014).
2. Информационно-правовой портал ГАРАНТ-РУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.garant.ru> (дата обращения 17.11.2014).
3. Лукутин Б.В., Обухов С.Г., Шандарова Е.Б. Автономное электроснабжение от микрогидроэлектростанций. – Томск: STT, 2001. – 120 с.
4. Обухов С.Г., Плотников И.А., Сарсикеев Е.Ж. Буферная система накопления электроэнергии для возобновляемой энергетики //Альтернативная энергетика и экология. – 2012. – №. 9 (113). – С. 137-141.
5. Патент РФ №2035821 20.05.1995.
6. Патент РФ №2153752, 27.07.2000.

7. Borkowski D., Wegiel T., Small hydropower plant with integrated turbine-generators working at variable speed// IEEE Transactions on Energy Conversion. 2013. Vol. 28. №2. P. 452-459.
8. Fang, Y., Zhang, J., Yuan, S. Strategic thinking on exploitation of small hydropower in China from learning 27 countries of European Union //Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering. 2004. Vol. 32. №7. P. 588-599.

Рецензенты:

Кабышев А.В., д.ф-м.н., профессор кафедры электроснабжения промышленных предприятий Энергетического института НИ Томского политехнического университета, г.Томск;

Обухов С.Г., д.т.н., доцент кафедры электроснабжения промышленных предприятий Энергетического института НИ Томского политехнического университета, г.Томск.