

О. ОРДАТАЕВ

PhD докторант, Казахский Национальный аграрный университет, инженерный факультет, г. Алматы

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ АВТОНОМНОГО АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА С ФАЗНЫМ РОТОРОМ НА БАЗЕ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ТЕХНИКИ

Аннотация

В Республике Казахстан большое количество фермерских хозяйств не имеют централизованного электроснабжения в виду их отдаленности и малой потребности электроэнергии. Внедрение в этих хозяйствах микроГЭС и ветроэлектроагрегатов сдерживается, прежде всего, их высокой стоимостью. При этом существенная часть стоимости относится к их электрооборудованию, особенно к синхронному генератору, как правило, используемому в такого рода агрегатах. Кроме того, синхронный генератор не может обеспечить необходимое качество электроэнергии при свойственной этим агрегатам изменении частоты вращения турбины микроГЭС или ветроколеса.

Следовательно, разработка дешевых, простых в эксплуатации автономных генераторов, способных обеспечить высокое качество вырабатываемой электроэнергии является актуальной научной и практической проблемой.

Целью работы является повышение эксплуатационных свойств микроГЭС путем разработки микропроцессорной системы управления возбуждением генератора на базе асинхронной машины с фазным ротором, позволяющей стабилизировать качество вырабатываемой электроэнергии при изменении скорости гидротурбины и величины нагрузки генератора.

Потребителями разработанных систем являются фермерские и другие хозяйства, отдаленные от источников централизованного электроснабжения. Внедрение их позволит повысить культуру производства и улучшить социально-бытовые условия работников.

Ключевые слова: асинхронный двигатель с фазным ротором, автономный генератор, система возбуждения.

На юге и юго-востоке РК большое количество малых горных рек с необходимым запасом гидроресурсов позволяет достаточно экономно решать проблему электроснабжения маломощных потребителей. Достоинством применения гидроэнергии, в сравнении с другими, является зачастую небольшое изменение скорости течения воды в течение года, отсутствие периодов затишья. Выработка электроэнергии на микроГЭС имеет самую низкую себестоимость. При их установке исключается экологический ущерб.

Одним из важнейших органов микроГЭС является генератор. Современные микроГЭС, как правило, комплектуются синхронными генераторами. К их недостаткам следует отнести значительную стоимость, составляющую около половины общей стоимости микроГЭС, а также невозможность поддержания постоянной частоты и величины напряжения при изменяющихся оборотах гидротурбины.

Идея использования асинхронного генератора с фазным ротором для автономных систем давно привлекает внимание исследователей [1-4]. Опыт показывает, что это связано в первую очередь с низкой стоимостью, простотой конструкции и эксплуатации в нормальных режимах, стойкостью к внешним авариям, значительным ресурсом и главное управляемостью. Из ранее разработанных систем возбуждения асинхронных генераторов с фазным ротором можно отметить систему возбуждения со статическим инвертором [5], асинхронный вентильный генератор управляемый введением ЭДС в цепь фазного ротора с регулированием амплитуды и частоты выходного напряжения [6,7]. Но системы возбуждения, предлагаемые в данных работах, являются энергоёмкими и громоздкими.

Мы предлагаем, подавать в трехфазную обмотку ротора генератора, посредством современных микропроцессорных устройств, регулируемый по величине, частоте и чередованию фаз трехфазный ток.

Это дает возможность создавать основной магнитный поток с заданной частотой вращения относительно обмотки статора при переменной частоте вращения ротора, и регулировать величину потока при изменении нагрузки генератора.

Постоянная частота вращения основного магнитного потока относительно обмоток статора и возможность регулирования величины его, позволяют получить стабильное выходное напряжение генератора с заданными параметрами, при переменном числе оборотов гидротурбины и нагрузки генератора.

Уравнение тока возбуждения

Трехфазный ток, подаваемый в обмотку ротора машины должен соответствовать следующим условиям:

- 1) ток возбуждения должен создавать основной магнитный поток с заданной частотой вращения относительно обмотки статора, при переменной частоте вращения ротора;
- 2) величина тока возбуждения должна соответствовать необходимому значению магнитного потока, при данной частоте вращения ротора и нагрузке генератора.

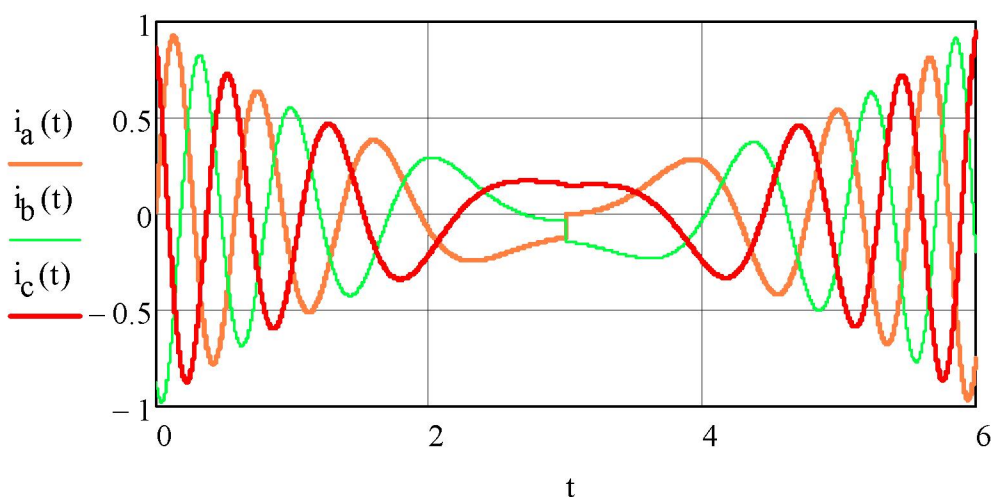
Уравнения токов в фазах обмотки ротора генератора при постоянной нагрузке приведены ниже.

$$i_{av}(t) := \begin{cases} I_m \cdot e^{-a \cdot t} \cdot \sin \left[\int_{t_1}^t \left[\omega \cdot \left(1 - \frac{t}{t_2} \right) \right] dt \right] & \text{if } 0 < t \leq t_2 \\ I_m \cdot e^{a \cdot (t-t_3)} \cdot \sin \left[\int_{t_2}^t \left[\omega \cdot \left(1 + \frac{t-t_3}{t_3-t_2} \right) \right] dt \right] & \text{if } t_2 \leq t \leq t_3 \end{cases}$$

$$i_{bv}(t) := \begin{cases} I_m \cdot e^{-a \cdot t} \cdot \sin \left[\int_{t_1}^t \omega \cdot \left(1 - \frac{t}{t_2} \right) dt - \frac{2 \cdot \pi}{3} \right] & \text{if } 0 < t \leq t_2 \\ I_m \cdot e^{a \cdot (t-t_3)} \cdot \sin \left[\int_{t_2}^t \left[\omega \cdot \left(1 + \frac{t-t_3}{t_3-t_2} \right) \right] dt - \frac{2 \cdot \pi}{3} \right] & \text{if } t_2 \leq t \leq t_3 \end{cases}$$

$$i_{cv}(t) := \begin{cases} I_m \cdot e^{-a \cdot t} \cdot \sin \left[\int_{t_1}^t \omega \cdot \left(1 - \frac{t}{t_2} \right) dt + \frac{2 \cdot \pi}{3} \right] & \text{if } 0 < t \leq t_2 \\ I_m \cdot e^{a \cdot (t-t_3)} \cdot \sin \left[\int_{t_2}^t \left[\omega \cdot \left(1 + \frac{t-t_3}{t_3-t_2} \right) \right] dt + \frac{2 \cdot \pi}{3} \right] & \text{if } t_2 \leq t \leq t_3 \end{cases}$$

Временные диаграммы токов в фазах обмотки ротора генератора при постоянной нагрузке приведены на рис. 1.



а)



б)

Рисунок 1 – Временные диаграммы токов фаз ротора – а), и угловой частоты их ω – б), при постоянной нагрузке и переменной частоте вращения ротора.

Результаты и обсуждения

Для проведения предварительных опытов, подтверждающих, вышеприведенные теоретические положения, нами был создан стенд, принципиальная электрическая схема которого представлена на рис.2, где: G1 – микромашина с фазным ротором типа ЭМAM4.

Для определения закономерности изменения величины и частоты тока возбуждения при разных режимах работы генератора нами проведен ряд экспериментов.

В ходе экспериментов изменялась угловая скорость ротора в диапазоне от $\omega_{\max} = 188.4$ рад/с до $\omega_{\min} = 126.0$ рад/с. Номинальная угловая скорость ротора $\omega_n = 157.0$ рад/с.

Путем регулирования частоты и величины трехфазного тока возбуждения у выходного напряжение генератора поддерживалась постоянной частота $f = 50$ Гц и действующее значение линейного напряжения $U = 220$ В

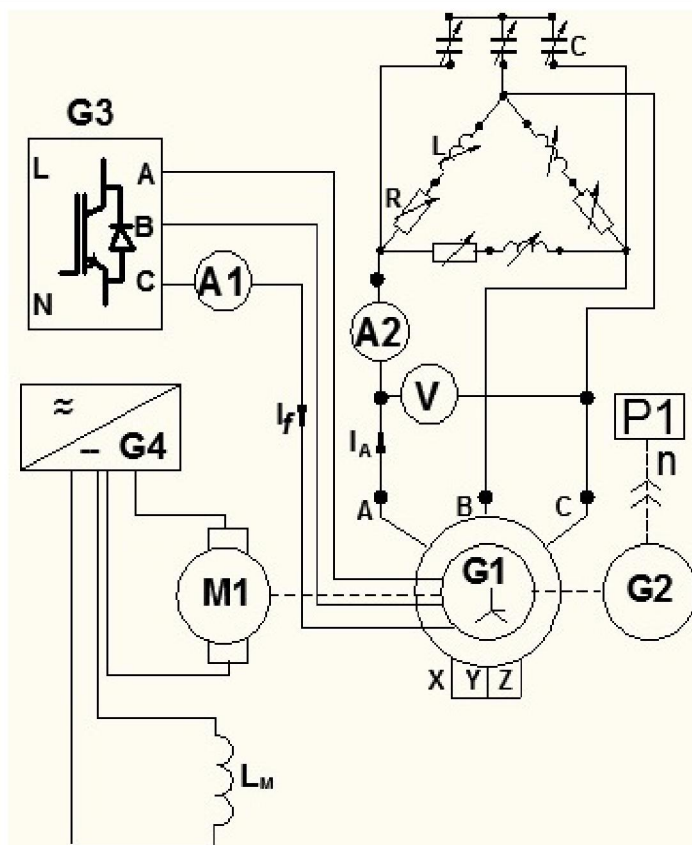


Рис.2. Принципиальная электрическая схема стенда.

G1 – генератор; G2 – преобразователь угловых перемещений; P1 – указатель частоты вращения электромашинного агрегата. G3 – микропроцессорная система возбуждения; G4 – источник питания двигателя постоянного тока; M1 – двигатель постоянного тока с независимым возбуждением; L_{OB} – обмотка возбуждения двигателя постоянного тока с независимым возбуждением; R – активная нагрузка (220В/3×0...50Вт); L – индуктивная нагрузка (220В/3×0...40ВАр); C – ёмкостная нагрузка (220В/3×0...40ВАр); A – амперметр; V – вольтметр.

Режим холостого хода

По результатам эксперимента построена регулировочная характеристика (рис. 3)

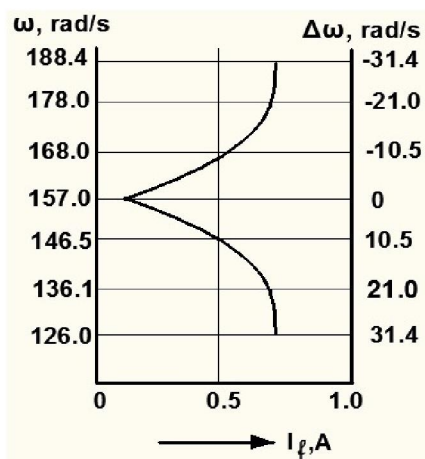


Рис.3. Регулировочная характеристика генератора в режиме холостого

Во время эксперимента выяснилось, что для указанного диапазона изменения скорости ротора, в режиме холостого хода ток возбуждения нужно регулировать нелинейно в пределах 0.10 – 0.65А, как при повышении скорости, так и при его понижении от синхронного значения

Регулировочные характеристики генератора при активной, индуктивной и емкостной нагрузке.

Нами проведены эксперименты по снятию регулировочных характеристик, при разных видах нагрузки генератора. По результатам эксперимента построены регулировочные характеристики и генератора для активной, индуктивной и емкостной нагрузки (рис. 4).

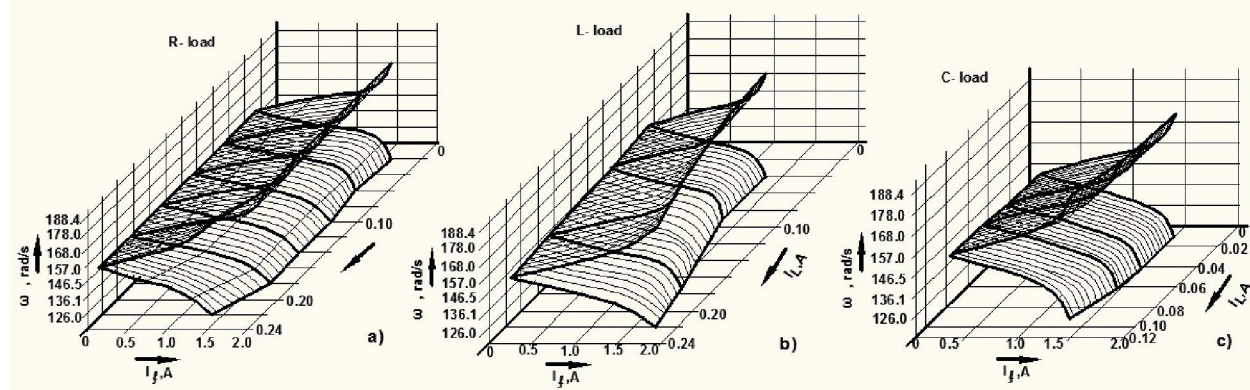


Рис. 4. Регулировочные характеристики генератора для разного вида нагрузки: активная – а); индуктивная – б); емкостная – с)

Плоскости $I_f = f(I_L, \omega)$ регулировочной характеристики соответствующие случаям увеличения и уменьшения скорости ротора относительно номинального значения симметричны по отношению к плоскости синхронной скорости.

Заключение

- составлена математическая модель изменения тока возбуждения;
- экспериментально доказана возможность выходного напряжение генератора поддерживать постоянную частоту и действующее значение линейного напряжения при переменном числе оборотов ротора и нагрузки генератора;
- определены зависимости частоты и величины трехфазного тока возбуждения генератора при разных видах нагрузки генератора и числах оборотов ротора.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Емец В.Ф., Петров Г.А.Перевод обкаточно-тормозных стендов с электрическими машинами 75,90 и 160 кВт в режиме электростанции/Повышение надежности электроустановок в сельском хозяйстве, Челябинск, 1987/
- 2 Чернопяттов Н.Н., Петров Г.А., Емец В.Ф., Частовский А.В.Использование асинхронных двигателей в качестве синхронных генераторов /Изв.вузов,серия: Энергетика,1983,№9/.
- 3 Емец В.Ф., Голубцова И.В. Расчет температуры нагрева обмотки ротора синхронного генератора на базе асинхронной машины с фазным ротором /Вестник ЧГАУ, 2009, г.Челябинск №55/

- 4 Ордатаев О. Об использовании асинхронной машины с фазным ротором в качестве генератора микроГЭС. Международная конференция, IASHE, London, GB, 20.10.2011.
- 5 Лищенко А.И., Лесник В.А., Мазуренко Л.И., Фаренюк А.П. Системы возбуждения и автоматического регулирования напряжения автономного асинхронного генератора. Препринт -429 ИЭД АН УССР, Киев, 1985, 51с.
- 6 Костырев М.Л., Скороспешкин А.И., Дудышев В.Д. и др. А.с.568610(СССР). Способ управления автономным асинхронным генератором с короткозамкнутым ротором. - Оpubл. в Б.И., 1978, № 2.
- 7 Костырев М.Л., Скороспешкин А.И., Автономные асинхронные генераторы с вентильным возбуждением. – М.: Энергоатомиздат, 1993.- 160с.: ил.

REFERENCES

- 1 Емец В.Ф., Петров Г.А. *Perevod obkatochno-tormoznyh stendov s elektricheskimi mashinami 75,90 i 160 kVt v rezhime elektrostantsii. Povyshenie nadezhnosti elektroustanovok v sel'skom hozyaistve, CHelyabinsk*, 1987.
- 2 СНernopyatov N.N., Petrov G.A., Емец В.Ф., СНastovskii A.V. *Ispol'zovanie asinhronnyh dvigatelei v kachestve sinhronnyh generatorov /Izv.vuzov,seriya: Energetika*, 1983, №9.
- 3 Емец В.Ф., Golubcova I.V. *Raschet temperatury nagreva obmotki rotora sinhronnogo generatora na baze asinhronnoi mashiny s faznym rotorom /Vestnik CHGAU*, 2009, g. *CHelyabinsk* №55.
- 4 Ордатаев О. Об использовании асинхронной машины с фазным ротором в качестве генератора микроГЭС. Международная конференция, IASHE, London, GB, 20.10.2011.
- 5 Lischenko A.I., Lesnik V.A., Mazurenko L.I., Farenjuk A.P. *Sistemy возбуждения i avtomaticheskogo regulirovaniya napryazheniya avtonomnogo asinhronnogo generatora. Preprint -429 IED AN USSR, Kiev*, 1985, 51s.
- 6 Kostyrev M.L., Skorospeshkin A.I., Dudyshev V.D. i dr. *A.s.568610 (SSSR). Spособ upravleniya avtonomnym asinhronnym generatorom s korotkozamknutym rotorom. - Opubl. v B.I.*, 1978, № 2.
- 7 Kostyrev M.L., Skorospeshkin A.I., *Avtonomnye asinhronnye generatory s ventil'nyim возбуждением. - M.: Energoatomizdat*, 1993.- 160s.: il.

Резюме

Фазалы роторлы автономды асинхронды генератордың қоздыру жүйесін микропроцессорлық техника арқылы жетілдіру.

Бұл жұмыста фазалы роторлы автономды асинхронды генератордың қоздыру жүйесін микропроцессорлық техника арқылы жетілдіру үшін жүргізілген кейбір шешімдер көрсетілген.

Негізгі (белгі) сөздер: МикроГЭС, автономды асинхронды генератор, фазалық ротор, қоздыру жүйесі.

Summary

**This paper presents some results by improving FS of AAG.
Improvement of the excitation system of autonomous asynchronous generator with wound rotor based on microprocessor technology**

In Kazakhstan, a large number of farms do not have centralized power supply due to their remoteness and low power requirements. The introduction the farms micro hydropowers stations and wind power plants is constrained primarily by their high cost. In this case, significant part of the cost belongs to the electrical equipment, especially to the synchronous generator which is usually used in such units. In addition, the synchronous generator is not able to provide the required quality of power with the relevant in these units change of the turbine speed of micro hydropower stations or wind turbine.

Consequently, the development of cheap, easy-to-use free-running generators, which are able to provide the high quality of generated electricity, is an actual scientific and practical problem.

The purpose of the work is to increase performance properties of micro hydropower stations by the improving of the microprocessor-based control system of the generator excitation on the base of asynchronous motor with wound rotor, able to stabilize the quality of generated electricity under the change of turbine speed and generator load.

Consumers of the developed systems are farm and other enterprises remote from the sources of centralized power supply. Their introduction will increase the production standards and improve the social conditions of the workers.

Keywords: Micro hydropower station, generator, asynchronous motor with wound rotor, the excitation system, the voltage regulation, the microprocessor.

Резюме

В статье приводятся результаты некоторых решений для совершенствования системы возбуждения автономного асинхронного генератора на базе микропроцессорной техники. В Республике Казахстан большое количество фермерских хозяйств не имеют централизованного электроснабжения в виду их отдаленности и малой потребности электроэнергии. Внедрение в этих хозяйствах микро ГЭС и ветроэлектроагрегатов сдерживается, прежде всего, их высокой стоимостью. При этом существенная часть стоимости относится к их электрооборудованию, особенно к синхронному генератору, как

правило, используемому в такого рода агрегатах. Кроме того, синхронный генератор не может обеспечить необходимое качество электроэнергии при свойственной этим агрегатам изменении частоты вращения турбины микроГЭС или ветроколеса.

Следовательно, разработка дешевых, простых в эксплуатации автономных генераторов, способных обеспечить высокое качество вырабатываемой электроэнергии, является актуальной научной и практической проблемой.

Целью работы является повышение эксплуатационных свойств микроГЭС путем разработки микропроцессорной системы управления возбуждением генератора на базе асинхронной машины с фазным ротором, позволяющей стабилизировать качество вырабатываемой электроэнергии при изменении скорости гидротурбины и величины нагрузки генератора.

Потребителями разработанных систем являются фермерские и другие хозяйства, отдаленные от источников централизованного электроснабжения. Внедрение их позволит повысить культуру производства и улучшить социально-бытовые условия работников.

Ключевые слова: микроГЭС, асинхронный двигатель с фазным ротором, автономный генератор, система возбуждения.

Автор: Ордатаев О., ассистент, инженерлік факультет, Қазақ ұлттық аграрлық университеті (ҚазҰАУ), Алматы, Абай 8, PhD докторанты, 8701-245-1313, ordataevorken@mail.ru

Данные автора: Ордатаев О., ассистент инженерного факультета при Казахском национальном аграрном университете (КазНАУ), Алматы, пр-т Абай 8, докторант PhD, 8701-245-1313, ordataevorken@mail.ru

Author: O. ordatayev., assistant, Engineering dept., Kazakh national agrarian university, Almaty, (KazNAU), Abay ave. 8, PhD student, 8701-245-1313, ordataevorken@mail.ru

Поступила 29.03.2013 г.