

Бутко В. П., Кузьмин Р. В.
V. P. Butko, R. V. Kuzmin

ГЕНЕРАТОР МИКРОГЭС, ИСПОЛЬЗУЮЩИЙ СИСТЕМУ АВТОБАЛЛАСТНОЙ НАГРУЗКИ В КАЧЕСТВЕ ОСНОВНОГО СПОСОБА СТАБИЛИЗАЦИИ ВЫХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ

MICROGRID GENERATOR USING AUTOBALLAST LOAD SYSTEM AS THE MAIN METHOD OF OUTPUT PARAMETERS STABILIZATION

Бутко Владимир Павлович – студент Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: vl_butko@mail.ru.

Vladimir P. Butko – Student, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: vl_butko@mail.ru.

Кузьмин Роман Вячеславович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электромеханика» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: romadres@mail.ru.

Roman V. Kuzmin – PhD in Engineering, Associate Professor, Electromechanics Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: romadres@mail.ru.

Аннотация. В данной работе была исследована система стабилизации частоты и напряжения на основе метода автобалластной нагрузки для дугостаторного индукторного генератора. Показаны основные структурные схемы и математические зависимости параметров. Составлена имитационная модель дугостаторного индукторного генератора и его системы управления.

Summary. In this paper, a frequency and voltage stabilization system based on the autoballast load method for an arc-stator inductor generator has been investigated. The main structural schemes and mathematical dependences of parameters are shown. The simulation model of arc-stator inductor generator and its control system is compiled.

Ключевые слова: микроГЭС, автобалластная нагрузка, стабилизация частоты и напряжения.

Key words: micro hydropower plants, autoballast load, frequency and voltage stabilization.

УДК 62-503.51

Введение. Одной из главных задач при проектировании и создании систем децентрализованного электроснабжения на основе микроГЭС является задача по обеспечению энергопотребителей электрической энергией с качеством, установленным государственным стандартом [1]. Данная проблема обусловлена нестабильностью водного потока (первичного источника энергии), а также непредсказуемым характером изменения нагрузки.

Для того чтобы получить требуемые выходные показатели, в общем случае необходимо поддерживать уровень амплитуды вырабатываемого напряжения и его частоту. Одним из наиболее эффективных способов, не вносящих изменения в конструкцию генератора, является использование систем, основанных на методе автобалластной нагрузки [2]. Под «балластной» в данном случае понимают некоторую полезную нагрузку, которой в основном являются различные нагревательные элементы. Способ базируется на автоматическом перераспределении мощности между некоторыми потребителями, часть из которых допускает колебания уровня напряжения или его полное отсутствие.

Задача данной системы состоит в том, чтобы изменять мощность суммарной нагрузки, при этом поддерживать частоту вращения колеса гидротурбины (ротора) на требуемом уровне при случайном изменении полезной нагрузки. Данный способ стабилизации параметров генератора представляет собой двухканальную систему автоматического регулирования, которая состоит из

канала стабилизации напряжения (РН) и канала стабилизации частоты (РЧ) (см. рис. 1) [3]. При описанных требованиях наиболее целесообразным является корректирование величины балластной нагрузки по отклонению колебаний частоты выходного напряжения на зажимах генератора. В роли системы стабилизации напряжения будет выступать комбинированная система самовозбуждения генератора (см. рис. 2), т. к. применение этой системы позволит уменьшить коэффициент усиления регулятора возбуждения [4].

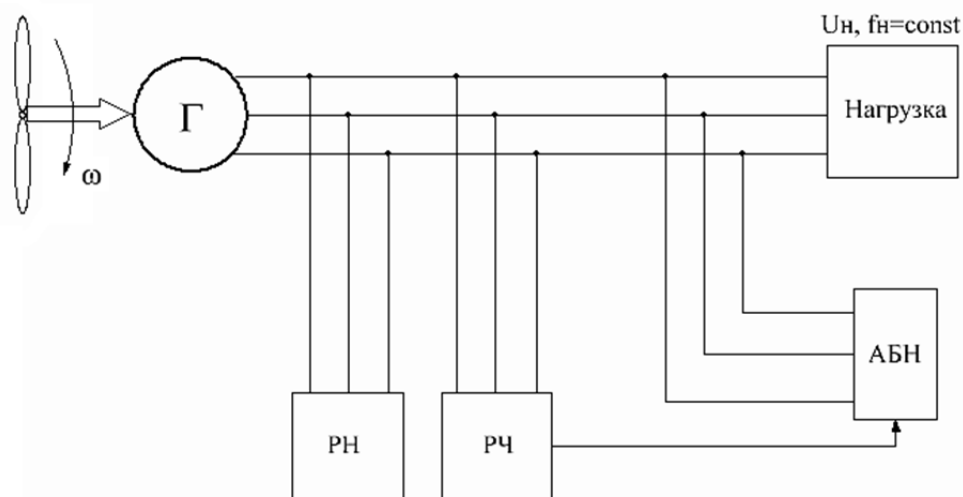


Рис. 1. Структурная схема системы

Дугостаторный индукторный генератор с резкопеременной нагрузкой, которой является балласт, а также турбина, точнее, воздействующий на неё водный поток, являются нелинейными элементами. Значит, и в целом система автоматического регулирования напряжения (САРН) является нелинейной. Для того чтобы исследовать систему (её устойчивость и реакцию на воздействие), необходимо определить передаточную функцию генератора, которая в операторной форме будет иметь вид инерционного звена первого порядка:

$$(m \cdot T_{d0} \cdot p + 1) \cdot U_{\Gamma} = \frac{U_{\text{В}}}{n},$$

где T_{d0} – постоянная времени обмотки возбуждения при разомкнутой обмотке якоря; p – число пар полюсов; U_{Γ} – выходное напряжение генератора; $U_{\text{В}}$ – напряжение, подаваемое на обмотку возбуждения; m, n – коэффициенты нагрузки генератора.

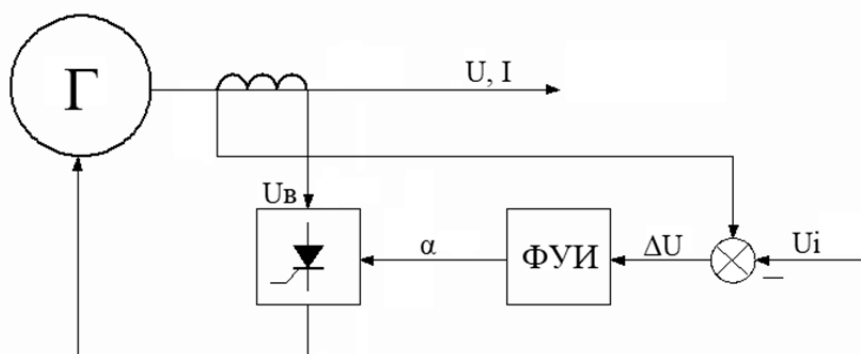


Рис. 2. Комбинированная система возбуждения

Для построения линеаризованной модели САРЧ необходимо сделать несколько допущений, которые не будут нарушать общего представления процессов, происходящих в генераторе: трансформаторные ЭДС равны нулю; демпферные обмотки отсутствуют.

Система автоматического регулирования частоты (САРЧ) генератора основывается на стабилизации скорости вращения гидротурбины при помощи изменения величины балласта. В качестве основного параметра САРЧ использует частоту переменного напряжения генератора (см. рис. 3) [5].

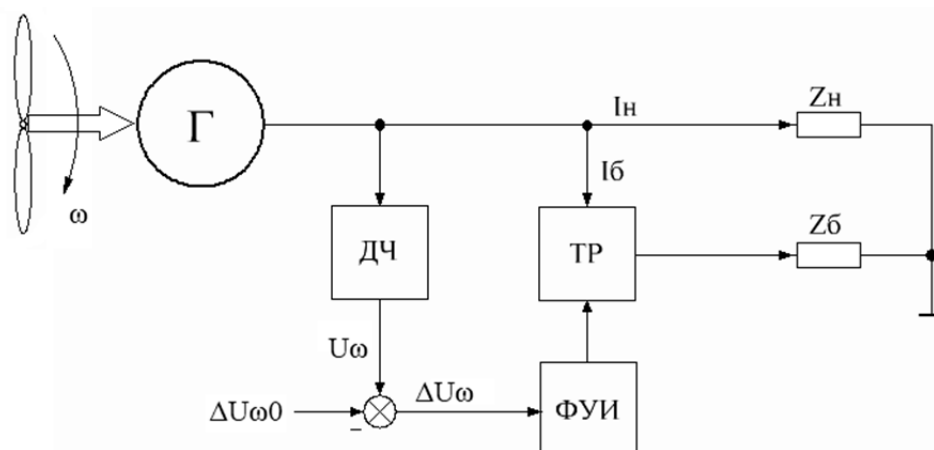


Рис. 3. Схема регулирования балластной нагрузки по частоте выходного напряжения

Так же как и другие описанные выше параметры, момент движущихся сил имеет нелинейную функциональную зависимость от частоты вращения [6]. При линеаризации этой зависимости получим

$$\Delta M_M = a \cdot \Delta n,$$

$$\Delta M_{ЭМ} = b \cdot \Delta n,$$

$$a = \frac{dM_M}{dn},$$

$$b = \frac{dM_{ЭМ}}{dn},$$

где M_M – момент, развиваемый турбиной; $M_{ЭМ}$ – момент сопротивления на валу турбины, соответствующий нагрузке генератора; n – частота вращения гидротурбины.

Уравнение движения вращающихся масс, записанное в описанных приращениях:

$$(a - b) \cdot \Delta n = I \cdot \frac{d\Delta n}{dt}.$$

Произведём моделирование описанной двухконтурной системы управления и дугостаторного индукторного генератора (см. рис. 4). Напряжение снимается датчиком и подаётся на детектор частоты, который создаёт тактовые импульсы для системы управления. Рассчитанная частота подаётся на вход ПИД-регулятора контура частоты, определяющего угол открытия тиристорного регулятора балластной нагрузки. Сигнал с датчика напряжения также поступает в блок, который определяет действующее значение напряжения. На основании этого значения блоком ПИД-регулятора контура напряжения определяется угол управления тиристорного регулятора контура напряжения.

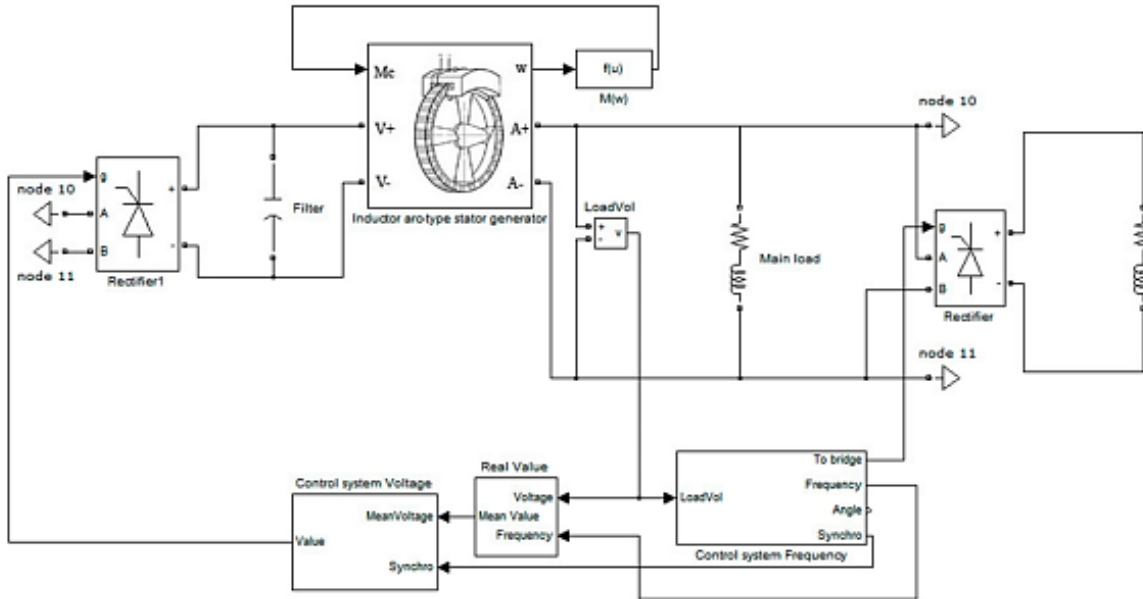


Рис. 4. Схема системы энергоснабжения

Исследуем зависимости частоты, выходного напряжения генератора и напряжения балластной нагрузки при изменении сопротивления нагрузки, результаты моделирования представим в виде графиков зависимости исследуемой величины от сопротивления нагрузки (см. рис. 5-7).

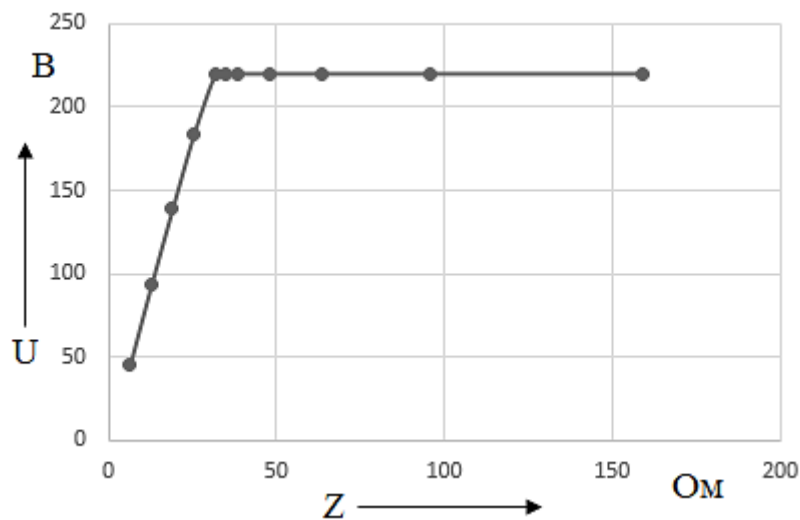


Рис. 5. Динамическая характеристика напряжения генератора

Исходя из полученных результатов, можно сказать, что система начинает стабилизировать выходные параметры при сопротивлении нагрузки более 30 Ом. При сопротивлении нагрузки в диапазоне от 0 до 30 Ом выходное напряжение генератора (см. рис. 5) и его частота (см. рис. 6) имеют характерную линейную возрастающую зависимость. При превышении порогового значения в 30 Ом напряжение и частота начинают выходить за свои номинальные значения, в связи с этим на балластную нагрузку поступает напряжение и система приходит в стабилизированное (номинальное) состояние. При дальнейшем увеличении нагрузки система всё также находится в устойчивом состоянии. Напряжение балластной нагрузки (см. рис. 7) на всём диапазоне её работы при этом нелинейно возрастает вплоть до значения, которое равно 0,9 от номинального фазного

напряжения. В диапазоне от 0 до 30 Ом балластная нагрузка не вступает в работу, поскольку система ещё не достигла своих номинальных показателей.

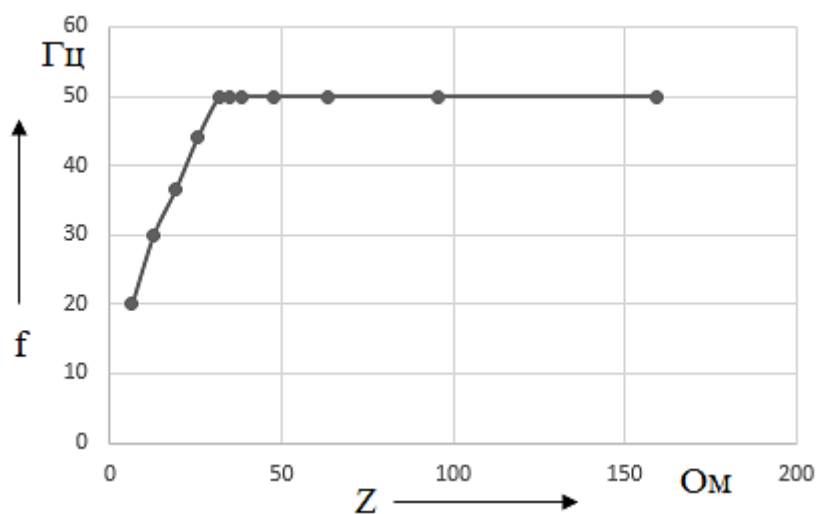


Рис. 6. Динамическая характеристика изменения частоты выходного напряжения

Предложенная система имеет ряд недостатков, которые требуют дальнейших доработок и исследования. К аспектам, которым необходимы последующие исследования, можно отнести следующие: случайное изменение характера нагрузки, от которого будут зависеть потребляемые активная и реактивная мощности; изменение характера водного потока, которое носит нелинейный характер и учёт влияния которого является очень сложной задачей; внутренние электромагнитные процессы в дугостаторном генераторе и процессы взаимосвязей статора и гидротурбины, которые на данный момент не исследованы в необходимом объёме.

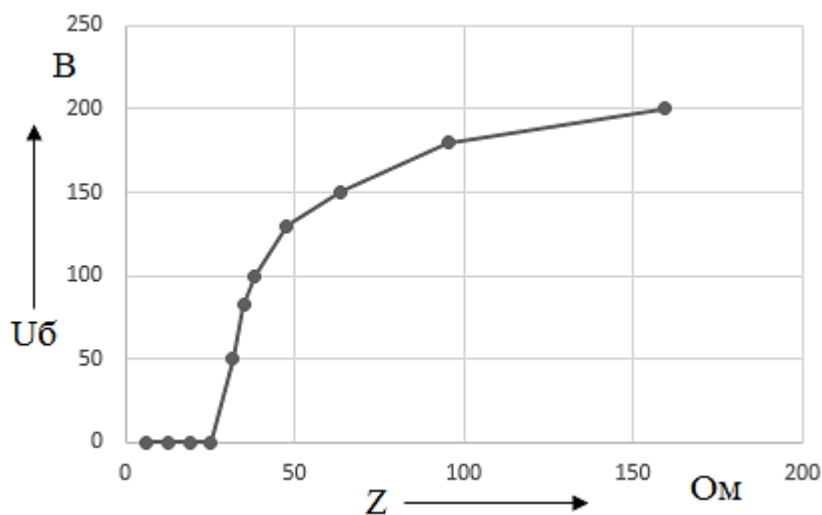


Рис. 7. Динамическая характеристика напряжения балластной нагрузки

Заключение. В данной работе была рассмотрена система автобалластной нагрузки при работе с дугостаторным индукторным генератором. Исследована имитационная модель автономной системы энергообеспечения на основе микроГЭС. Проведены испытания модели при изменении нагрузки генератора. В результате испытаний было выявлено, что предложенная система способна стабилизировать величину и частоту выходного напряжения при изменении нагрузки энергоуста-

новки и качество выходных параметров генератора соответствует параметрам, предъявляемым государственным стандартом на качество электроэнергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения = Electric energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Power quality limits in the public power supply systems: межгосударственный стандарт: издание официальное: утверждён и введён в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 июля 2013 г. № 400-ст: введён впервые: дата введения 2014-07-01 / Разработан Обществом с ограниченной ответственностью «ЛИНВИТ» и Техническим комитетом по стандартизации ТК 30 «Электромагнитная совместимость технических средств». – М.: Стандартинформ, 2024. – 20 с.
2. Бутко, В. П. Способы регулирования и стабилизации выходных параметров генератора в составе микроГЭС / В. П. Бутко, Р. В. Кузьмин // Производственные технологии будущего: от создания к внедрению: материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 05-11 декабря 2022 г. В 2 ч. Ч. 1 / Редколлегия: С. И. Сухоруков (отв. ред.) [и др.]. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КНАГУ», 2023. – С. 164-167.
3. Никитина, Ж. А. Разработка и исследование системы децентрализованного энергоснабжения на базе микроГЭС / Ж. А. Никитина, Р. В. Кузьмин // Научно-техническое творчество аспирантов и студентов: материалы 46-й науч.-техн. конф. студентов и аспирантов, Комсомольск-на-Амуре, 01-15 апреля 2016 г. / Э. А. Дмитриев (отв. ред.). – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КНАГТУ», 2016. – С. 419-421.
4. Стельмашук, С. В. Согласованное управление устройством транспортировки ленты с модальными регуляторами / С. В. Стельмашук, Д. В. Капустенко // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2019. – № II-1 (38). – С. 28-40.
5. Шаломов, В. И. Предварительный анализ эксплуатационных показателей паротурбинных установок новой Советско-Гаванской теплоэлектроцентрали / В. И. Шаломов // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2023. – № III (67). – С. 28-34.
6. Кузьмин, В. М. Математическая модель автономного источника с электромашиным формированием кривой выходного напряжения / В. М. Кузьмин, В. И. Суздорф // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2011. – № I-1 (5). – С. 23-28.