DOI: 10.17117/na.2015.08.838

Поступила (Received): 30.08.2015

<http://ucom.ru/doc/na.2015.08.838.pdf>

Кузьмин Р.В., Суздорф В.И.
Исследование параметров эквивалентной
нагрузки микроГЭС

Kuzmin R.V., Susdorf V.I.
Research of parameters of equivalent load micro hydro

В статье рассматриваются вопросы, связанные с повышением эффективности использования возобновляемых источников энергии на базе микроГЭС. Предлагаются простые решения по стабилизации выходных параметров при переменных нагрузках и скорости водяного потока

Ключевые слова: микроГЭС, автобалластная нагрузка, стабилизация

The article considers the questions connected with increase of efficiency of use of renewable energy-based micro hydro. Offers simple solutions to stabilize the output parameters under variable loads and speeds of the water flow

Key words: micro hydro, avtoballastnoy load stabilization

Кузьмин Роман Вячеславович

Кандидат технических наук, доцент
Комсомольский-на-Амуре государственный
технический университет
г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27

Kuzmin Roman Vyacheslavovich

Candidate of Engineering Sciences, Associate
Professor
Komsomolsk-na-Amure state technical university
Komsomolsk-na-Amure, Lenin ave., 27

Суздорф Виктор Иванович

Кандидат технических наук, доцент
Комсомольский-на-Амуре государственный
технический университет
г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27

Susdorf Viktor Ivanovich

Candidate of Engineering Sciences, Associate
Professor
Komsomolsk-na-Amure state technical university
Komsomolsk-na-Amure, Lenin ave., 27

Энергетические установки, требующие питания от источника стабильной частоты и напряжения переменного тока ставят специфичную задачу реализации в системе с микроГЭС, для которой характерны изменения энергии воды и, особенно, нагрузки. Кроме того, нагрузка зачастую соизмеримой мощности.

Сказанное приводит к тому, что в практике обычно для стабилизации выходных параметров источника используют балластную нагрузку, которая образует параллельную цепь «полезной» и выравнивает суммарную нагрузку микроГЭС [1, 2]. Балластное активное сопротивление включают через тиристорный регулятор (рис. 1.) [3].

Таким образом, для выравнивания эквивалентной общей нагрузки важно определить зависимости амплитуд и фаз первой гармоники тока цепи балластного сопротивления от угла регулирования. Для исследования рассматриваемой системы перейдем к эквивалентной, где нагрузка представляет собой

совокупность гармоник напряжения и тока генератора. Преобразователь – тиристорный с естественной коммутацией вентилей.

Рис. 1. МикроГЭС с автобалластной нагрузкой

Фазовые параметры тока через балластное сопротивление зависят от угла управления. С целью выделения первой гармоники и определения фазового сдвига относительно напряжения можно использовать разложение функции $I_b(\alpha)$ в ряд Фурье. Функция удовлетворяет условию $i_b(\omega t) = -i_b(\omega t + \pi)$, следовательно она содержит только нечетные гармоники и ее можно представить в виде известного гармонического ряда:

$$I_{\bar{b}}(\omega t) = \sum_{k=1}^{\infty} A_k \cos(\omega t) + \sum_{k=1}^{\infty} B_k \sin(\omega t)$$

Рис. 2. Зависимость эквивалентной балластной нагрузки и угла сдвига фб от α

С ростом угла регулирования происходит уменьшение величины первой гармоники балластного тока и увеличение отставания его от фазного напряжения генератора. Указанный факт говорит о том, что эквивалентная балластная нагрузка генератора является активно-индуктивным сопротивлением Z_6 , величина и характер которого определяются углом α . На рисунке 2 приведены найденные зависимости сопротивления эквивалентной нагрузки от угла регулирования α . Расчетные формулы (1) получены методом наименьших квадратов.

Функциональные зависимости суммарной нагрузки генератора для первых гармонических составляющих токов приведены на рис. 3.

$$\begin{aligned} Z_6 &= \frac{1}{1.443 - 0.556\alpha}, \\ \varphi_6 &= 0.228\alpha^{1.77} \end{aligned} \quad (1)$$

Рис. 3. Схема эквивалентной нагрузки синхронного генератора

Параметры результирующей нагрузки определяются как [4]:

$$\left. \begin{aligned} x_{\Sigma} &= \frac{x_H}{\Delta} [r_B^2(\alpha) + x_B^2(\alpha)] + \frac{x_B(\alpha)}{\Delta} [r_H^2 + x_H^2]; \\ r_{\Sigma} &= \frac{r_H}{\Delta} [r_B^2(\alpha) + x_B^2(\alpha)] + \frac{r_B^2(\alpha)}{\Delta} [r_H^2 + x_H^2]; \\ \Delta &= [r_B(\alpha) + r_H]^2 + [x_B(\alpha) + x_H]^2; \\ \varphi_{\Sigma} &= \arctg \frac{x_{\Sigma}}{r_{\Sigma}} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Результаты численного эксперимента с учетом формул (2), для определения величины и характера эквивалентной нагрузки, приведены на рис 4. Расчеты проведены для двух типичных случаев управления величиной балластной нагрузки: стабилизация активного r_{Σ} , а также полного Z_{Σ} эквивалентного сопротивления генератора.

Графики на рис. 4(а-г) показывают найденные зависимости при регулировании балласта по величине активного тока нагрузки.

Рис. 4а. Зависимость характера эквивалентной нагрузки от полезной нагрузки при $R_9 = 1$

Рис. 4б. Зависимость угла управления тиристорами регулятора от полезной нагрузки при $R_9 = 1$

Рис. 4в. Зависимость балластной нагрузки от величины полезной нагрузки при $R_9 = 1$

Рис. 4г. Зависимость эквивалентной нагрузки от величины полезной нагрузки, при $R_9 = 1$

Анализ полученных зависимостей позволяет сделать вывод об инвариантности (при пренебрежении погрешностью аппроксимации в 5%) угла регулирования преобразователя, характера эквивалентной и балластной нагрузок при изменении полезной нагрузки. По этой причине нет необходимости в проведении исследований во всем диапазоне изменения полезной нагрузки

Проведенные исследования [5] показывают, что полностью стабилизировать частоту и выходное напряжение генератора за счет управления автобалластной нагрузкой в как правило невозможно. Условием такой стабилизации является подбор величин и характера автобалластной нагрузки таким образом, чтобы при любом изменении полезной нагрузки эквивалентная нагрузка генератора оставалась постоянной по величине и характеру [6]. Регулятор автобалластной нагрузки в этом случае должен формировать достаточно

сложный закон управления при стохастическом законе изменения параметров полезной нагрузки:

$$x_{\sigma} = \frac{x_n}{\Delta} \left[r_{\sigma}^2(\alpha) + x_{\sigma}^2(\alpha) \right] + \frac{x_{\sigma}(\alpha)}{\Delta} \left[r_n^2 + x_n^2 \right] = const;$$

$$r_{\sigma} = \frac{r_n}{\Delta} \left[r_{\sigma}^2(\alpha) + x_{\sigma}^2(\alpha) \right] + \frac{r_{\sigma}^2(\alpha)}{\Delta} \left[r_n^2 + x_n^2 \right] = const.$$

Практическая реализация системы стабилизации выходных параметров генератора микроГЭС возможна при невысоких требованиях к их стабильности, либо диапазону изменения нагрузки. Некоторым выходом является построение систем регулирования с автобалластной нагрузкой, настроенные на один из выходных параметров – частоту, либо напряжение.

В работе авторами предложена конструкция индукторного генератора микроГЭС в котором выходное напряжение индукторного генератора легко регулировать по цепи возбуждения, поэтому с помощью автобалласта целесообразно стабилизировать частоту вращения гидротурбины и, соответственно, частоту напряжения. Точность стабилизации выходных параметров при этом может быть значительно повышена.

Список используемых источников:

1. Кузьмин В.М., Суздорф В.И. Математическая модель автономного источника с электромашиным формированием кривой выходного напряжения // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2011. Т. 1. № 5. С. 23-28.
2. Лукутин, Б.В., Сипайлов Г.А. Использование механической энергии возобновляемых природных источников для электроснабжения автономных потребителей. Фрунзе. 1987-143 с.
3. Лукутин Б.В., Обухов С.Г. Динамика микрогидроэлектростанции с автобалластной стабилизацией напряжения. Электротехника. 1989. №10. С. 9-12.
4. Лукутин Б.В., Сипайлов Г.А. Использование механической энергии возобновляемых природных источников для электроснабжения автономных потребителей. Изд-во Академия наук Киргизской ССР институт автоматики, 1987. 131 с.
5. Киница О.И., Кузьмин В.М., Кузьмин Р.В., Суздорф В.И. Проблемы развития возобновляемых источников на основе микроГЭС // МНТК «Электромеханические преобразователи энергии. 2005.

© 2015, Кузьмин Р.В., Суздорф В.И.

Исследование параметров эквивалентной нагрузки микроГЭС

© 2015, Kuzmin R.V., Susdorf V.I.

Research of parameters of equivalent load micro hydro