

сопротивления обмоток статора x_s и ротора x_r увеличиваются на 12% и 26,0% соответственно. Они так же не имеют точек экстремума.

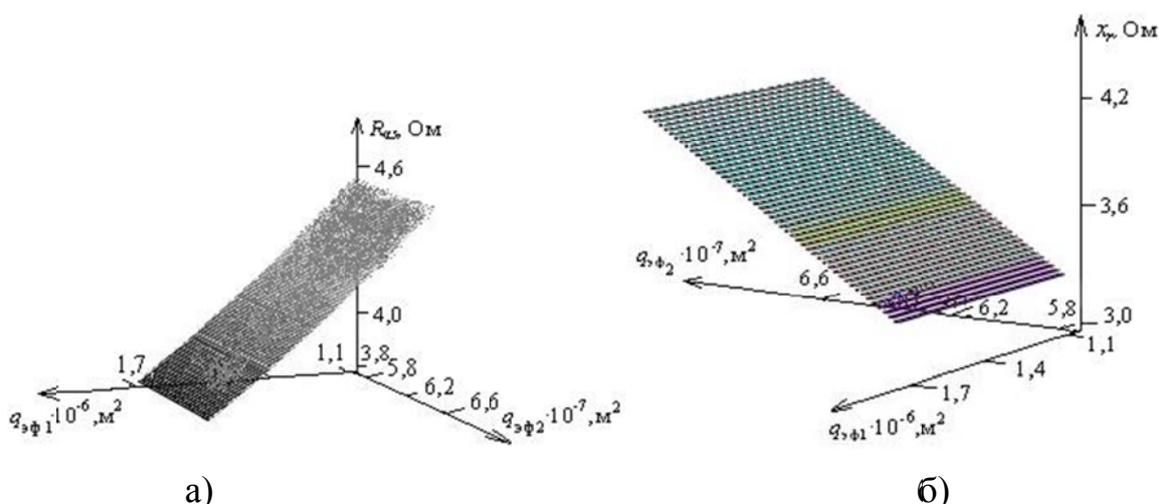


Рис. 3. Области изменения: а) активного сопротивления статора по оси α ; б) полного индуктивного сопротивления статора: при $q_{\Phi 1} = \text{var}$, $q_{\Phi 2} = \text{var}$, $l_{\delta} = \text{const}$, $D = \text{const}$, $\Omega = 31,4$ [рад/сек]

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аристов А.В., Паук Л.А. Взаимосвязь динамических показателей электропривода колебательного движения с геометрическими параметрами МДП при фазовой модуляции // Электромеханика, электротехнические комплексы и системы, 2010. – С. 116–121.
2. Загорский А. Е., Управление переходными процессами в электрических машинах переменного тока. / А.Е. Загорский, Ю.Г. Шакарян. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 176 с.
3. Иоханнабер Ф. Литьевые машины. Справочное руководство 4-е. изд. Перевод с английского под общ. ред. д-ра. т. н., проф. Э. Л. Калиничева – Спб.: ЦОП «Профессия», 2010. – 432 с.
4. Луковников В. И. Электромашинный безредукторный колебательный электропривод. – Электротехническая промышленность. Электропривод, 1980, вып. 8 (88). – С. 14–18.

МИКРОГЭС С АВТОБАЛАНСНЫМ ВЫРАВНИВАНИЕМ НАГРУЗКИ

*Ю.Н. Дементьев**, *А.Д. Суровец**, *Р.В. Кузьмин***, *В.И. Суздорф***

* – Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, Томск

** – Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, Россия, Хабаровский край, Комсомольск-на-Амуре

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].

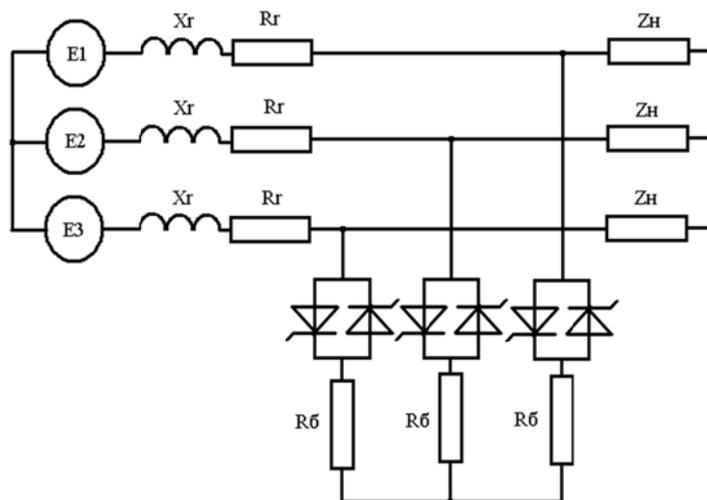


Рис. 1. МикроГЭС с автобалластной нагрузкой

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.

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 $I_{\theta}(\alpha)$ в ряд Фурье. Функция удовлетворяет условию $i_{\theta}(\omega t) = -i_{\theta}(\omega t + \pi)$, следовательно она содержит только нечетные гармоники и ее можно представить в виде известного гармонического рядам:

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

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_{θ} , величина и характер которого определяются углом α . На рис. 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.

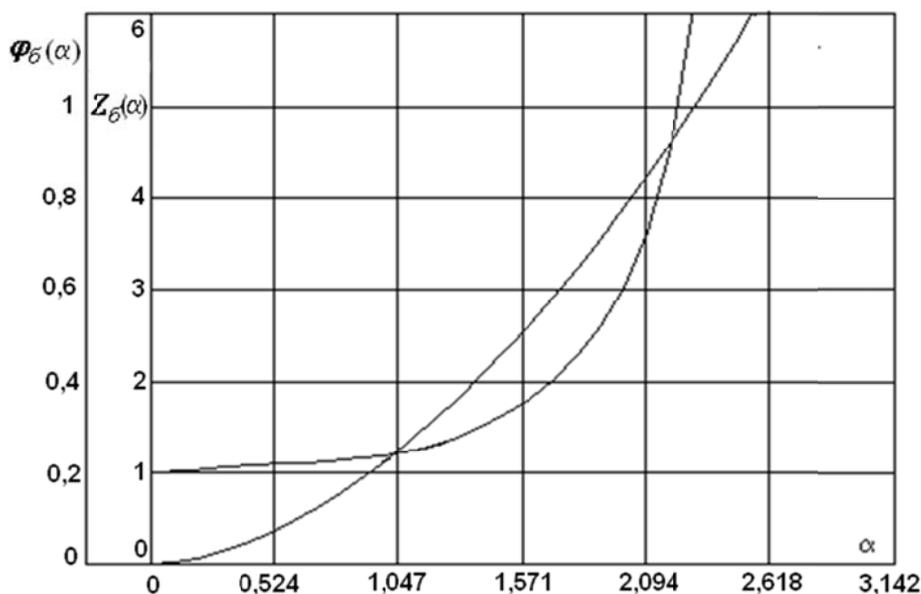


Рис. 2. Зависимость эквивалентной балластной нагрузки и угла сдвига φ_δ от α

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

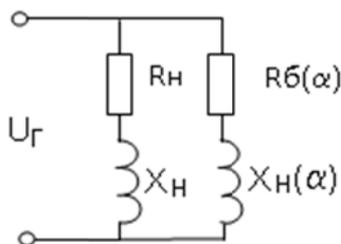


Рис. 3. Схема эквивалентной нагрузки синхронного генератора

Параметры результирующей нагрузки определяются как [4]:

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

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_9 , а также полного Z_9 эквивалентного сопротивления генератора.

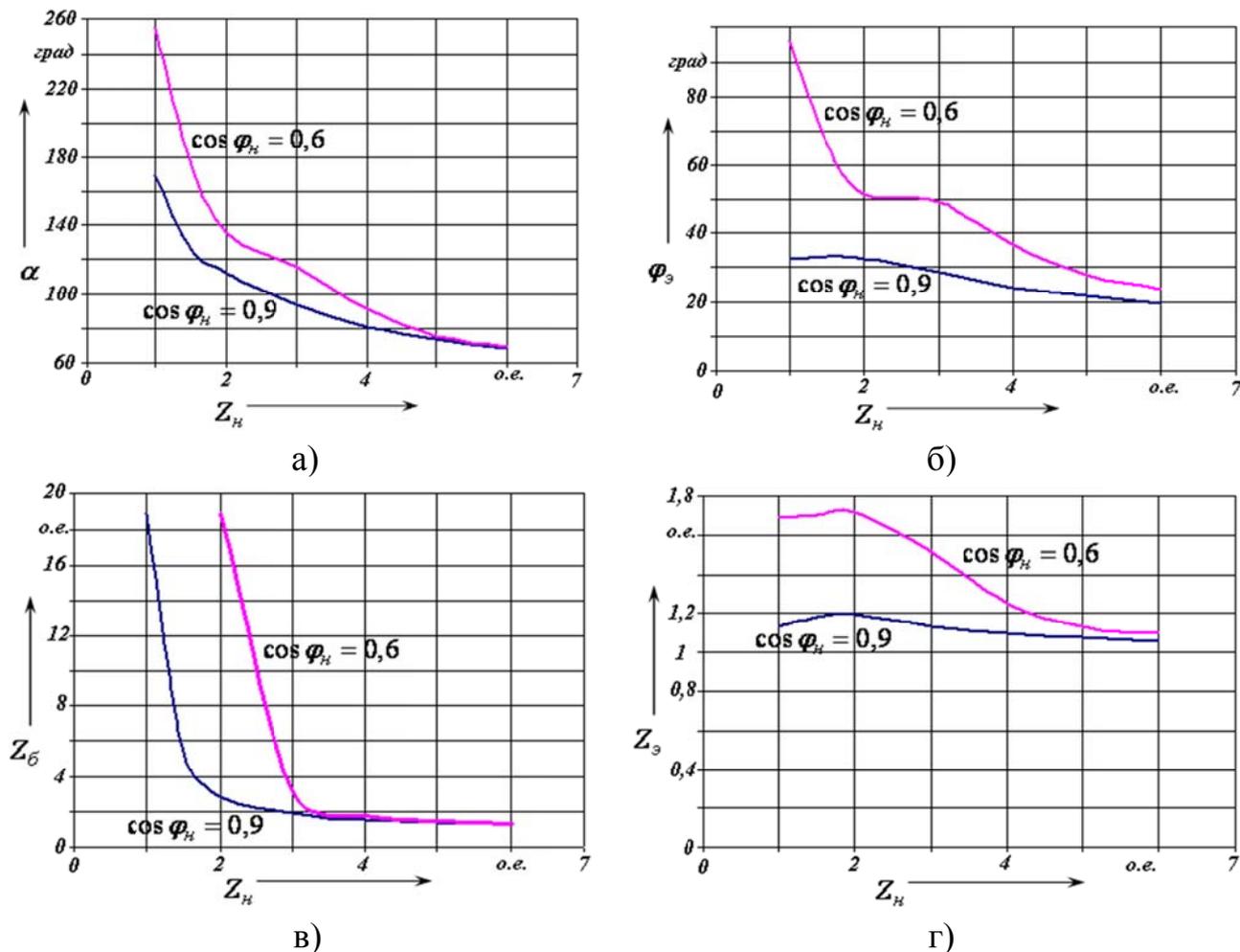


Рис. 4. Зависимости эквивалентной нагрузки синхронного генератора при $R_3 = 1$

- а) зависимость характера эквивалентной нагрузки от полезной нагрузки,
- б) зависимость угла управления тиристорами регулятора от полезной нагрузки
- в) зависимость балластной нагрузки от полезной нагрузки
- г) зависимость эквивалентной нагрузки от полезной нагрузки

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

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 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 [5]. Регулятор автобалластной нагрузки в этом случае должен формировать достаточно сложный закон управления при стохастическом законе изменения параметров полезной нагрузки:

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

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

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.

Работа выполнена в рамках Госзадания «Наука», проект №3852.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузьмин В.М., Суздорф В.И. Математическая модель автономного источника с электромашинным формированием кривой выходного напряжения//Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2011. Т. 1. № 5. С. 23-28.
2. Суздорф В.И. Моделирование источников напряжения для систем автономного питания// Образование наука: состояние и перспективы развития// Сб. науч. Тр. По материалам НТК 31 июля 2014 г.: в 6 частях. Ч.3. Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2014.- С.128-130.
3. Dementiev Y.N., Susdorf V.I. Optimal structure synthesis for a speedy single-phase electric drive// Technika – Periodika, #11, 1991, p. 131, Budapest, Hungary.
4. Meshkov A. S., Susdorf V.I., Dementyev Y.N., Kaftasyev D.A. Energy efficiency improvement of medical electric tools and devices// The 2nd International Youth Forum “Smart Grids”, MATEC Web of Conferences, Volume 19, 2014.
5. Мешков А.С., Суздорф В.И. Инновационные исследования и разработки в рамках международного сотрудничества//Ученые записки Ученые

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И ПАРАМЕТРОВ СИНХРОННЫХ ГИБРИДНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ МЕТОДАМИ ТЕОРИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Е.Е. Суворкова, Ю.Н. Дементьев, Л.К. Бурулько, Д.А. Кафтасьев
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, Томск.

Введение

Совершенствование функциональных возможностей современных и конкурентоспособных электродвигателей невозможно без изменения их конструктивного исполнения. Это подтверждается тем, что в последнее время появляется большое количество различного вида, так называемых электрических двигателей нетрадиционных конструкций [1]. К числу таких двигателей можно отнести синхронный гибридный двигатель (СГД). Особенностью (СГД) является сочетание в единой конструкции положительных свойств синхронной реактивной машины (СРМ) и синхронной машины с постоянными магнитами (СМПМ) [2, 7].

Конструкция статора СГД разработана на основе серийных асинхронных двигателей. Ротор СГД в аксиальном направлении состоит из двух частей, а именно: синхронная реактивная часть составляет 70% общей длины, а магнитоэлектрическая часть 30%, энергия постоянных магнитов которой используется для повышения энергетических и эксплуатационных характеристик. При таком конструктивном исполнении ротора СГД основной магнитный поток формируется со стороны статора, как для синхронной реактивной части ротора, так и для магнитоэлектрической части (МЭЧ). При этом в МЭЧ за счет встроенных магнитов он усиливается и появляется возможность для формирования пускового момента [8].

Появление механического взаимодействия магнитного поля в рассматриваемом конструктивном исполнении СГД связано:

- с магнитной несимметрией ротора, характерной для обеих частей;
- с влиянием на магнитное поле двигателя смещенного в пространстве магнитного потока встроенных магнитов, расположенных на роторе.

Целью данной статьи является выявление связи интегральных характеристик и параметров СГД с его магнитным полем. В результате, используя расчеты магнитного поля, получены базовые выражения для вычисления основных параметров СГД и его интегральной характеристики.