

состояния вещества при изменении его температуры. Каждый из перечисленных способов имеет свои преимущества и недостатки.

К недостаткам метода термопары относят невысокую точность и большие шумы. а при методе терморезистора возникают некоторые проблемы, связанные с нелинейностью температурных характеристик, взаимозаменяемостью и стабильностью датчиков. При контроле температуры электрооборудования с помощью телевизионного метода необходимо учитывать систему охлаждения материал изготовления исследуемого объекта, наиболее нагретые точки электрооборудования и влияние окружающей среды.

Среди всех методов самым точным, надежным и высокоэффективным является телевизионный метод, преимущество данного метода позволяет быстро и надежно выявить точки аномального нагрева и потенциально проблемные участки при проведении технического обслуживания в энергетике.

В тех случаях, когда перечисленные классические способы невозможны, то применяется бесконтактное измерение температуры. Например, при измерении сопротивления обмотки ротора генератора с выпрямительной системой возбуждения на ходу возникают заметные трудности связанные с наличием на обмотке возбуждения большой переменной составляющей напряжения.

## **МИКРОПРОЦЕССОРНОЕ УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ ТИРИСТОРНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ НАГРУЗКИ МИКРОГЭС**

Номоконова Ю. А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

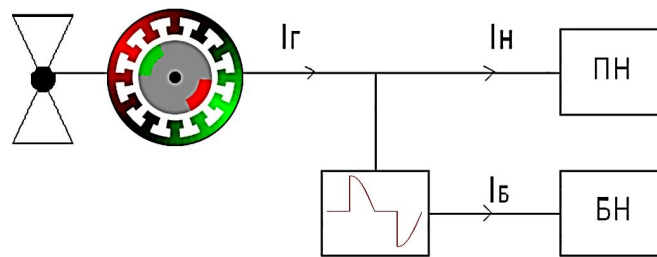
В последние годы бурный рост исследований в области автономных источников энергии предъявляет все больше требований к качеству электрической энергии. Целью данного исследований является создание нового аппаратно-программного средства и оптимизация комплекса характеристик и свойств аппаратного исполнения микроГЭС.

Актуальность проведения исследований определяется невозможностью выполнения данной насущной инженерной разработки без использования результатов таких исследований. Объектом исследований является микропроцессорное устройство управления тиристорным регулятором нагрузки микроГЭС. Предметом исследований являются методы и средства поддержания стандартных параметров качества выходной электрической энергии. Практическая значимость работы выражена в использовании микропроцессора и вносит положительный вклад в управление микроГЭС за счет введения системы обратной связи. Это значительно расширяет функциональные возможности и улучшает характеристики энергосистемы.

Научная новизна состоит в разработке алгоритма работы микропроцессора, реализованного на примере имитационной модели, позволяющего внедрить прогрессивный способ управления автономным объектом энергообеспечения.

Принцип работы микроГЭС балластного типа заключается в параллельном подключении к полезной нагрузке станции одинаковой по величине дополнительной (балластной) нагрузки (БН) через регулятор (рис. 1). Изменение величины полезной нагрузки (ПН) влечет за собой изменение величины балластной за счет регулятора и суммарная нагрузка генератора остается неизменной. Балластной нагрузкой обычно служит теплонагревательный элемент. Как показали исследования, в качестве общей рекомендации для обеспечения необходимого запаса устойчивости системы – работа

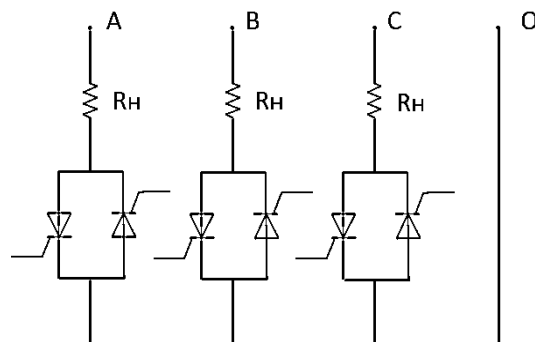
микроГЭС должна осуществляться при  $\cos\varphi$  в диапазоне от 0,8 до 1. Система будет устойчиво работать практически с любым типом гидротурбин [1].



**Рис. 1.** Регулирование балластной нагрузки автономной микроГЭС

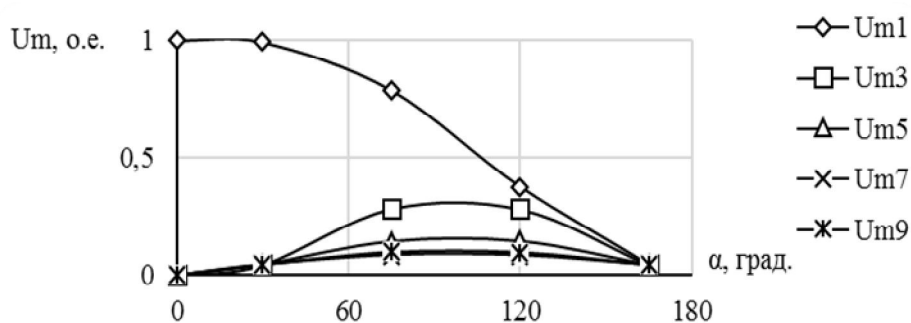
Так как методика расчета энергетических характеристик силовых полупроводниковых преобразователей на примере устройств с биполярной тиристорной ячейкой в фазе базируется на положениях теоремы Фурье, т.е. представления кривой выходного напряжения и тока в виде гармонического спектра. Наиболее оптимальным вариантом для решения поставленной задачи является метод гармонического анализа, который также реализован в программе Matlab Simulink. Метод состоит в том, что решение отыскивается в форме полных рядов Фурье, коэффициенты которых определяются в процессе расчета. Ток и напряжение тиристора представляются рядами Фурье в комплексной (или тригонометрической) форме.

Рассмотрев разнообразие схем и их классификацию, для исследований была выбрана четырехпроводная схема тиристорного регулятора (рис. 2).



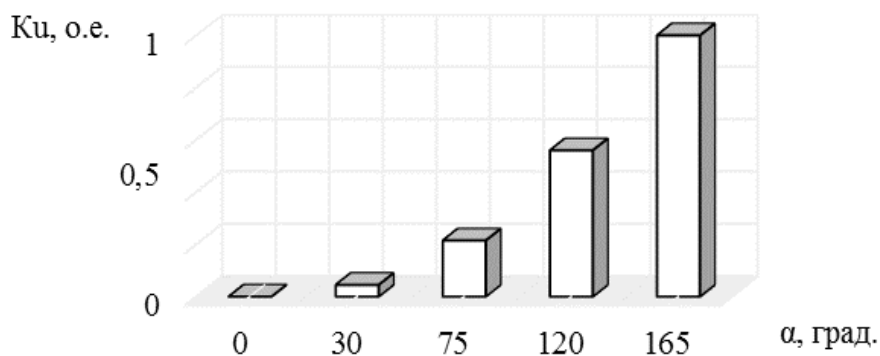
**Рис. 2.** Четырехпроводная схема силовой части тиристорного регулятора

При гармоническом анализе данной схемы получены зависимости амплитуд основных гармоник (рис. 3) и коэффициента искажения (рис. 4) от угла управления.



**Рис. 3.** Зависимость амплитуд основных гармоник от угла управления

Амплитудные значения основной гармонической составляющей с ростом угла управления уменьшается. Экстремум третьей, пятой, седьмой и девятой гармоник наблюдается при 90 градусах, с ростом угла управления все амплитудные значения стремятся к нулю.



**Рис. 4.** Зависимость коэффициента искажения от угла управления

Искажение выходных электрических параметров увеличивается с увеличением угла управления тиристорами. При оценке соответствия электрической энергии нормам ГОСТ 32144-2013 [2] значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения  $K_i$ , усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать значения 12%, в течение 100% времени интервала в одну неделю. Таким образом, оптимальное регулирование выходных параметров рекомендуется производить в диапазоне от 0 до 55 градусов. Целесообразно не допускать регулирования выходных параметров в широких пределах для предотвращения достижения коэффициентом искажений больших значений.

При анализе переходных процессов в работе микроГЭС, вызванных внезапным изменением нагрузки сделан вывод: при проектировании следует обеспечить только требуемые статические показатели и выполнить условия статической и динамической устойчивости. Хорошие динамические показатели электромеханической системы обеспечивает балластное регулирование. Важно также отметить, то обстоятельство, что из параметров электрической машины оказывают влияние на динамику микроГЭС только сверхпереходные параметры якоря и переходная постоянная времени обмотки возбуждения. Сверхпереходные параметры электрической машины определяют начальный провал (всплеск) напряжения генератора при коммутации нагрузки, а переходная постоянная времени обмотки возбуждения влияет на длительность электромеханического переходного процесса. Изменять параметры обмотки возбуждения с целью сокращения длительности электромеханического переходного процесса нецелесообразно, так как практической выгоды из этого не получить.

Для исследования регулятора сигнала управления тиристорной ячейки была создана имитационная модель регулирования напряжения полезной нагрузки (рис.5). Для управления тиристорным регулятором балластной нагрузки используется регулятор (рис. 6), основанный на обратной связи по напряжению полезной нагрузки. Для улучшения процесса регулирования использовалась передаточная функция, которая стабилизировала показание сигнала обратной связи. Принцип регулирования заключается в разности заданного и выходного значений.



**Таблица 1.** Зависимость суммарных гармонических искажений от сигнала задания

Сигнал задания	Суммарные гармонические искажения, %	Сигнал задания	Суммарные гармонические искажения, %
10	3,6	60	9,9
20	3,6	70	13,7
30	3,7	80	16,0
40	6,6	90	17,5
50	9,3	100	20,2

Искажение выходных электрических параметров растет с увеличением угла управления тиристорами. При изменении сигнала задания получается угол управления в диапазоне от 0 до 50 градусов. Значения соответствуют нормам ГОСТ 32144-2013. В результате получены эксплуатационные значения выходных параметров (коэффициент искажений напряжения) не превышающий стандартизованных значений.

#### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Таким образом, в ходе комплексных исследований выходных электрических параметров схемы тиристорного регулятора микроГЭС проведены сопоставления результатов теоретического исследования и виртуального моделирования. При этом полученные данные подтверждают правильность выбора методик исследований и дают хорошую сходимость их результатов. Даны рекомендации по выбору диапазонов регулирования тиристорного регулятора автономного источника электропитания.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Лукутин Б. В., Обухов С. Г., Шандарова Е. Б. Автономное электроснабжение от микрогидроэлектростанций/ - Томск: STT, 2001. - 120 с.
2. ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». – Москва. 2014 с. 20

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОМ ПРИВОДЕ**

Котов В. В., Чарков Д. И., Щербакова Ю. М.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Частотно-регулируемый электропривод, построенный на базе асинхронного двигателя, применяется достаточно широко во многих сферах деятельности: в конвейерных системах, в двигателях для нефтедобывающей промышленности (центробежные насосы), в системах вентиляции, кондиционирования и водоснабжения. Основными преимуществами ЧРП являются: высокая точность регулирования, экономия электрической энергии в случае переменной нагрузки, повышенный ресурс оборудования, стабилизация скорости вращения при изменении нагрузки, плавный пуск двигателя, значительно уменьшающий его износ и многое другое.

Несмотря на все положительные стороны использование системы частотного управления на базе широтно-импульсной модуляции (ШИМ) сопровождаются существенным рядом недостатков: