

РЕГУЛЯТОР АВТОБАЛЛАСТА МИКРОГЭС, ПОСТРОЕННЫЙ НА ПОЛНОСТЬЮ УПРАВЛЯЕМЫХ ВЕНТИЛЯХ.

Автор Забуйский М.Н., научный руководитель Лукутин Б.В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет

В современном мире очень остро стоит проблема ограниченности природных ресурсов, особенно энергетических, в частности нефти и газа, если говорить про уголь, то возможно именно он станет основным источником энергии в ближайшем будущем. Но к такому переходу сейчас не готовы ни современные угольные станции, ни технология преобразования угля в энергию, это обусловлено низкой эффективностью конденсационных электростанций и большим количеством выбросов в окружающую среду. На атомную энергетику возлагаются огромные надежды, но запасы ядерного топлива тоже ограничены. Использование управляемых термоядерных реакций пока не освоено и неизвестно, когда они будут использованы для промышленного получения энергии. Решение данной проблемы заключается в следующем: экономия энергоресурсов, повышение энергоэффективности и использование возобновляемых источников энергии.

Водные потоки, в отличие от других возобновляемых источников энергии, имеет более высокую плотность энергии на единицу площади и относительную стабильность параметров энергоносителя. Что положительно отражается как на массогабаритных показателях установок, так и на сложности систем генерирования и цене получаемой электроэнергии. Микрогидроэлектростанции достаточно широко применяются для электроснабжения автономных потребителей во многих странах [1,2,3]

Анализ известных решений создания микроГЭС для малых напоров и расходов водных потоков показал, что наиболее перспективными являются электростанции автобалластного типа, с нерегулируемыми турбинами. Такие турбины надежны и просты в эксплуатации, просты по конструкции, имеют низкую стоимость, но их использование в микроГЭС повышает требования к системе стабилизации выходных параметров вырабатываемого напряжения. Благодаря современным достижениям в области электромашиностроения, конденсаторостроения, полупроводниковой и преобразовательной техники открываются возможности создавать надежные и недорогие автономные микроГЭС, которые способны обеспечивать потребителей качественной электроэнергией при минимальных требованиях к гидродвигателю.

Регулирование балластной нагрузки можно осуществлять по различным параметрам, распространенными являются ток генератора и

частота выходного напряжения. Регулирование автобалласта по частоте напряжения позволяет компенсировать выходные параметры при изменяющихся параметрах водотока, при этом существует необходимость второго канала регулирования напряжения.

Для микроГЭС, использующих часть стока реки, с использованием напорного трубопровода обеспечивается постоянство энергии рабочего потока на турбине. В таком случае целесообразно регулировать автобалласт по току. Регулирование автобалласта по току имеет лучшие динамические свойства, кроме того, позволяет стабилизировать как амплитуду, так и частоту выходного напряжения [4]. Возможно использование при одноканальной системе стабилизации асинхронных двигателей с конденсаторным самовозбуждением в качестве генераторов микроГЭС. Обеспечивается работа станции при несимметричных фазных нагрузках.

К надежным и простым регуляторам относится регулятор с применением тиристоров. Фазное регулирование позволяет избежать дробления балласта, упрощает силовую схему регулятора, но имеет ряд недостатков.

Помимо искажения тока и напряжения генератора, вносимых вентильной нагрузкой балласта, имеет место изменение результирующей нагрузки генератора при изменении полезной нагрузки станции как по характеру так и по модулю. Под результирующей нагрузкой понимается комбинация полезной нагрузки станции и балластной в соотношении, обеспечивающем удовлетворение параметра регулирования. Это отражается на точности стабилизации выходного напряжения установки. Это обстоятельство имеет место при использовании регулятора, предложенного ранее и достаточно распространенным [5]. Регулятор построен с использованием тиристорных ячеек, балласт регулируется по активной составляющей тока генератора.

Поэтому предложено усовершенствование данной схемы, а именно использование полностью управляемых тиристоров, для тиристорных встречно-параллельных ячеек на каждую фазу.

Функциональная схема микроГЭС представлена на рисунке 1, где на выход генератора G , вращаемого турбиной, подключена полезная нагрузка Z_n , а балластная нагрузка R_b , через тиристорный регулятор, построенный на полностью управляемых вентилях. Система регулирования СУР обеспечивает изменение углов управления тиристорами регулятора так, чтобы параметры выходного напряжения генератора оставались стабильными при изменении условий работы энергоустановки. В этом случае в качестве датчиков D могут использоваться датчики тока генератора.

Стабилизация тока генератора, потребляемого результирующей нагрузкой микроГЭС, позволяет стабилизировать выходное напряжение как по частоте, так и по амплитуде.

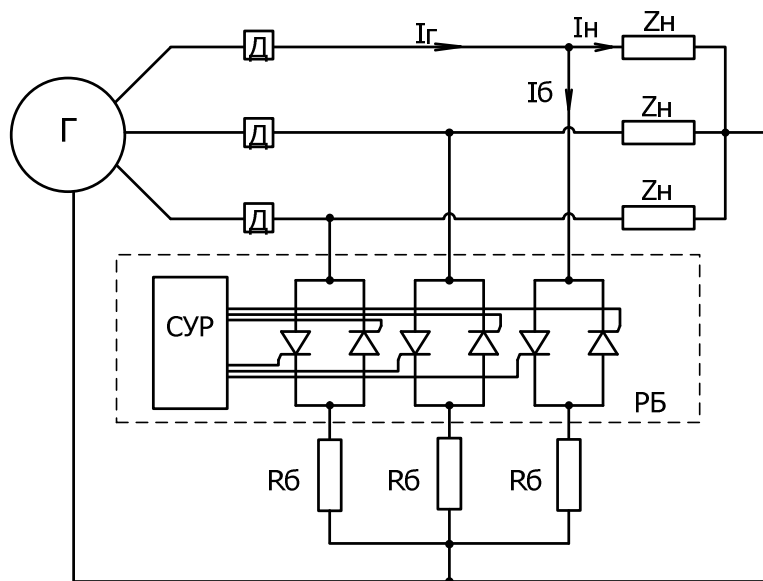


Рисунок 1 – Функциональная схема микроГЭС.

Построение регулятора автобалласта на полностью управляемых вентилях предоставляет возможности построения закона управления вентилями с сохранением результирующей нагрузки генератора на постоянном уровне как по характеру, так и по модулю. Анализ основных электромагнитных процессов генератора, работающего на вентильную нагрузку, целесообразно проводить, рассматривая генератор, работающим на эквивалентную нагрузку, определяемую по основным гармоническим составляющим тока и напряжения генератора. Это допущение связано с тем, что только первая гармоника тока якоря создает магнитное поле, вращающееся синхронно с индуктором, определяя основные электромагнитные процессы в машине [4, 6]. А генератор с мощной демпферной обмоткой работает в установившемся режиме и колебания основного магнитного потока при коммутациях вентилях незначительны. Поэтому для исследования генератор эквивалентно представляют «неискаженной ЭДС» с индуктивным сопротивлением коммутации X_2 и активным фазным сопротивлением якорной обмотки R_2 [6].

Постоянство величины и характера эквивалентной нагрузки генератора микроГЭС обеспечивается изменением углов управления вентилях по оптимальному закону. При этом оптимальность закона управления заключается в соблюдении постоянства первой гармоники тока нагрузки генератора и по амплитуде и по фазе.

Исходя из этого, было проведено исследование эквивалентной нагрузки генератора микроГЭС, регулятор автобалласта которой построен на полностью управляемых тиристорах.

Для исследования была создана компьютерная имитационная модель, построенная с помощью программы Matlab и входящей в него прикладной программы Simulink, эквивалентной нагрузки генератора, регулятор которой построен на полностью управляемых вентилях, рисунок 2. В качестве полностью управляемых тиристоров использовались тиристоры ГТО, генератор эквивалентирован неискаженной фазной ЭДС за индуктивным фазным сопротивлением коммутации и фазным сопротивлением якорной обмотки, нагрузка активно-индуктивного характера с $\cos\varphi=0,8$, соотношения между параметрами нагрузки и параметрами генератора приняты следующими: $X_{\Gamma}=0,1X_{H}$; $R_{\Gamma}=0,04R_{H}$;

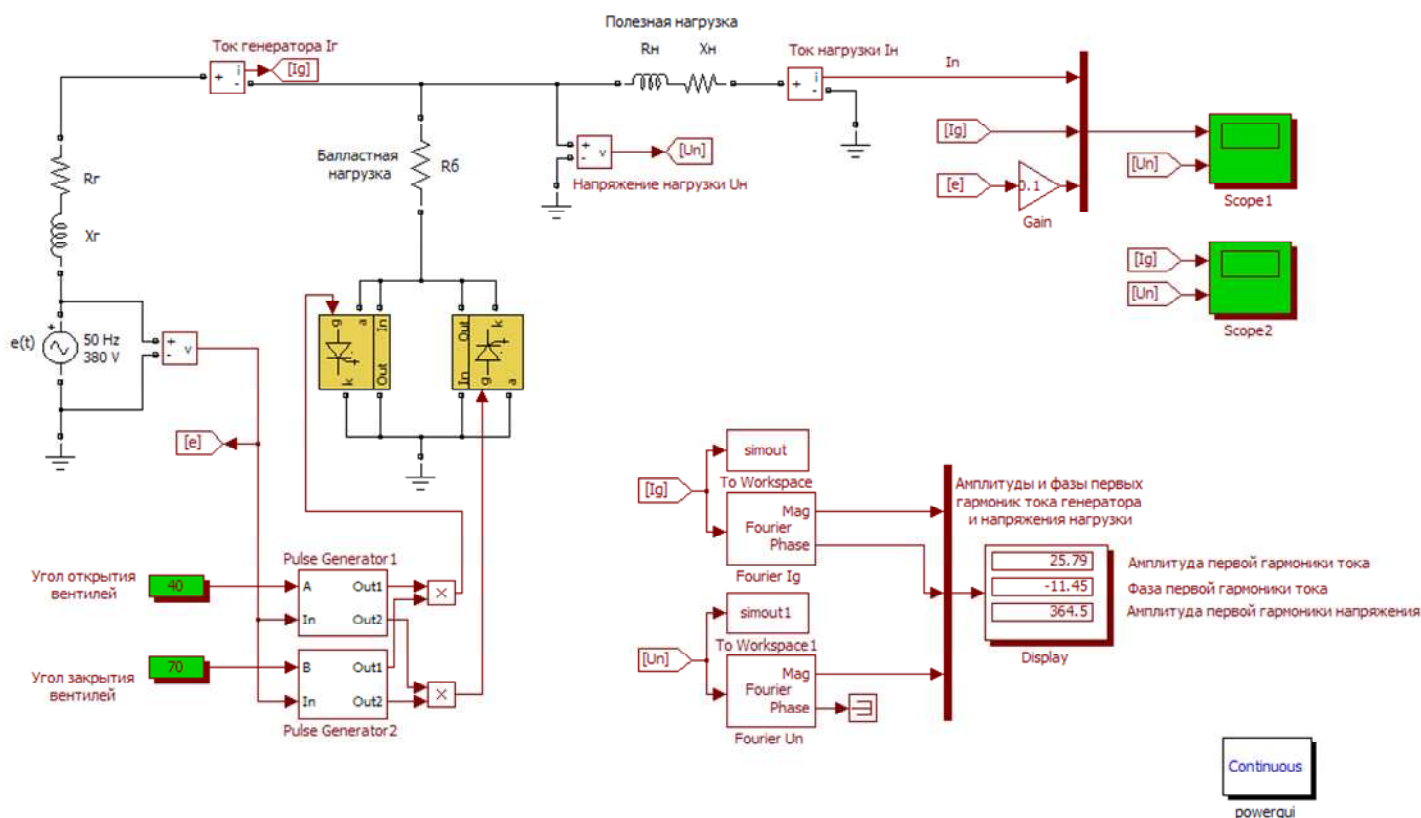


Рисунок 2 – Общий вид модели собранной в программе MATLAB

Исследование эквивалентной нагрузки генератора с помощью данной модели позволяет получить закон управления вентилями в зависимости от тока генератора, с помощью которого можно искусственно формировать механическую характеристику генератора. При любых режимах станции обеспечивается постоянный электромагнитный момент генератора, что дает достаточно точную стабилизацию выходных параметров установки: напряжения и его частоты. Полученный закон управления иллюстрируется рисунком 3.

Искажения тока и напряжения генератора при использовании полностью управляемых вентилей выше, чем при использовании обычных тиристоров.

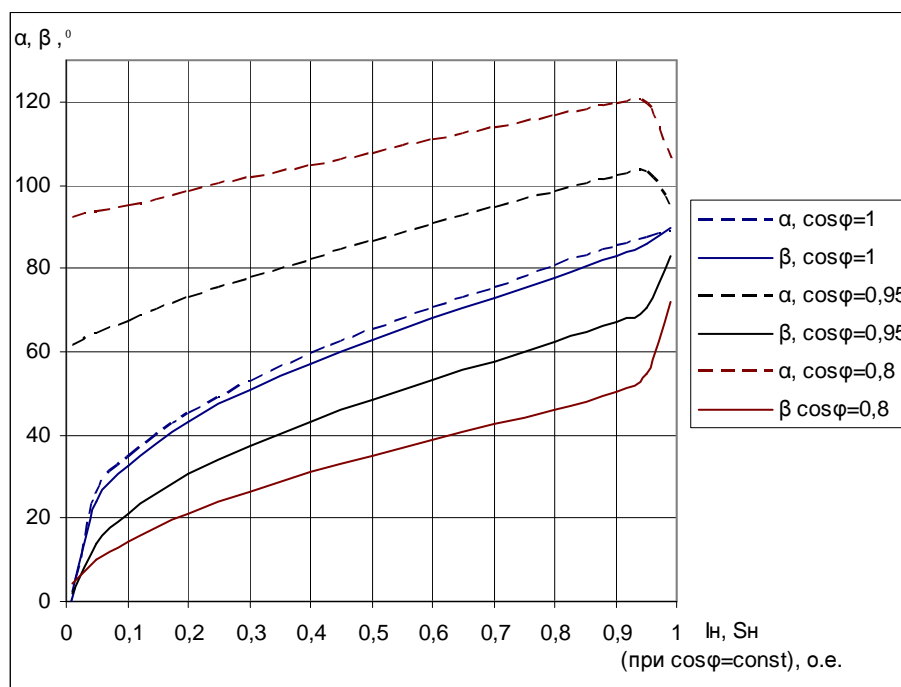


Рисунок 3 – Полученная зависимость углов управления вентилями от мощности полезной нагрузки либо от тока нагрузки при неизменном характере нагрузки для $\cos\varphi=0,8; 0,95; 1$.

Искажения тока и напряжения генератора микроГЭС оценивались по величине коэффициента гармоник k_Γ , который находится как отношение среднеквадратичного значения величины высших гармоник A_k к первой гармонике исследуемого сигнала A_1 :

$$k_\Gamma = \frac{\sqrt{\sum_k^n A_k^2}}{A_1} \cdot 100\%.$$

Искажения тока и напряжения генератора для данной конструкции регулятора автобалласта имеют достаточно большие значения: для нагрузки с $\cos\varphi=0,8$ k_Γ достигает 65%, k_{TU} – 32%. Форма кривой тока и напряжения показана на рисунке 4. На данные значения возможно влиять с помощью схемных решений. Снижения этих значений возможно добиться уже известными способами для схем с регулятором балласта, построенным на основе тиристоров, приведенными в [7], но с адаптацией для данной схемы, а также подбором оптимальных значений схем защиты тиристоров ГТО, использованных для построения данной схемы регулятора балласта, либо

отказ от данных тиристоров и использование более современных с лучшими свойствами [8].

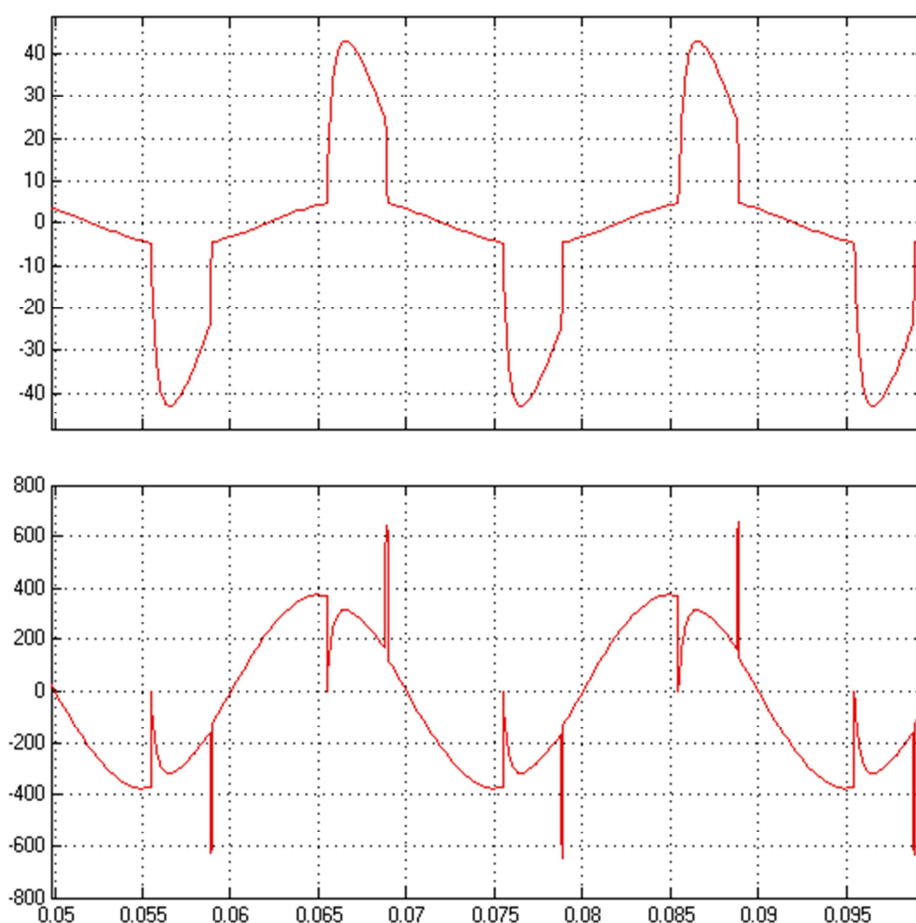


Рисунок 4 – Осциллограмма тока и напряжения генератора при максимальных искажениях тока ($k_{ГI}=64,71\%$; $k_{ГУ}=28,26\%$).

Таким образом, исследования созданной модели позволяет анализировать эквивалентную электрическую нагрузку генератора микроГЭС, достаточно просто оценивать рабочие режимы станции, определить степень искажения выходного напряжения генератора, и закон управления вентилями.

Список использованной литературы.

1. Лукутин Б.В., Сипайлов Г.А. Использование механической энергии возобновляемых природных источников для электроснабжения автономных потребителей: монография. - Фрунзе: Илим, 1987. – 135 с.
2. Бляшко Я. И. Опыт и проблемы развития малой гидроэнергетики в России // Гидротехника. – 2010. – № 1(18), С. 10-14
3. Micro-Hydropower Systems: A Buyer's Guide. – Her Majesty the Queen in Right of Canada, 2004. – 56 p.

4. Лукутин Б.В., Обухов С.Г. Эквивалентная нагрузка генератора микрогидроэлектростанции с автобалластной нагрузкой // Известия вузов. Электромеханика. – 1988. – №5, С. 99-104.
5. Лукутин Б.В., Обухов С.Г. Регулятор балластной нагрузки автономной микроГЭС // Известия Томского политехнического университета. – 2004. - №3, том 307, С. 121-126.
6. Глебов И. А. Системы возбуждения синхронных генераторов с управляемыми преобразователями. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – 332 с.
7. Лукутин Б.В., Обухов С.Г., Шандарова Е.Б. Способы повышения качества выходного напряжения микрогидроэлектростанции с тиристорным автобалластом // Промышленная энергетика. – 2000. – №8, С.49-52.
8. Крылов Е. Современные силовые запираемые тиристоры // Компоненты и технологии – журнал об электронных компонентах. URL: http://www.kite.ru/articles/powerel/2000_05_34.php (дата обращения: 17.05.11).