

ӘДЕБИЕТТЕР

- [1] Дозовые нагрузки при компьютерно-томографических исследованиях / С.А. Хоружик, Г.В. Чиж, Е.В. Богушевич, Г.В. Гацкевич, Д.С. Кандыбович, С.А. Мацкевич, С.А. Уголькова, Ж.В. Бичан, С.В. Семенов // Известия НАН Беларуси. Серия медицинских наук. – 2009. – № 1. – С. 14-22.
- [2] Marcus Suderberg Image Quality Optimisation and Dose Management in CT, SPECT/CT, and PET/CT. – Lund University. – 2012. – P. 19-22.
- [3] The Measurement, Reporting, and Management of Radiation Dose in CT // Report of AAPM Task Group 23: CT Dosimetry. – 2008. – P. 6-11.
- [4] CT Dose Index and Patient Dose: They Are Not the Same Thing / H. McCollough Cynthia, Leng Shuai, Yu Lifeng, D. Cody Dianna, M. Boone John, F. McNitt-Gray Michael. – Radiology. – 2011. – 259. – № 2. – P. 311-316.
- [5] Size-Specific Dose Estimates in Pediatric and Adult Body CT Examinations // Report of AAPM Task Group 204. – 2011. – P. 2-7.
- [6] Ioannis A Tsalafoutas Patient dose considerations in computed tomography examinations / A Tsalafoutas Ioannis, V Koukourakis Georgios // World Journal of Radiology. – 2010. – 2. – № 7. – P. 262-268.
- [7] Comprehensive Methodology for the Evaluation of Radiation Dose in X-Ray Computed Tomography // Report of AAPM Task Group 111. – 2010. – P. 11-17.
- [8] Lifeng Yu Radiation dose reduction in computed tomography: techniques and future perspective / Yu Lifeng, Liu Xin, Leng Shuai, M Kofler James, C Ramirez-Giraldo Juan, Qu Mingliang, Christner Jodie, G Fletcher Joel, H McCollough Cynthia // Imaging Med. – 2009. – №1 (1). – P. 65-84.

Тәжібек А.Қ., Куйкабаева А.А., Зулбухарова Э.М., Нурмуханова А.З.

Анализ методик определения дозы облучения в рентгеновской компьютерной томографии

Резюме: Рассмотрены методики определения доз облучения при КТ и проявлены недостатки, эволюция КТ и способы улучшения.

Ключевые слова: компьютерная томография, индекс дозы КТ, доза облучения, эффективная доза, дозиметрический параметр.

Tazhibek A., Kuikabaeva A.A., Zulfukharova E.M., Nurmukhanova A.Z.

Analysis techniques in determining exposure dose in X-ray computed tomographs

Summary: Consideration of the methodology for determining the radiation doses in CT and identified weaknesses, the evolution of CT and ways to improve.

Key words: computed tomography, dose index CT, the radiation dose, dosimetric parameters, effective dose.

УДК 621.74:51.001.57.1

О.В. Жирнова, А.А. Тилеубаева, А. Жаханов, С.Жумабек

(Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, Алматы, Республика Казахстан, г. e-mail: oxana_fedoseyeva@mail.ru)

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ СЖИГАНИЯ БИОГАЗА С ДИСКРЕТНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ И ЕЕ РЕАЛИЗАЦИЯ С ПОМОЩЬЮ ПАКЕТА ПРОГРАММ МАТНЛАВ

Аннотация. Разработана математическая модель информационно-управляющих систем с дискретным регулированием балластной нагрузки. Приведены результаты численных расчетов вектор-матрицы напряжений, токов и потокосцеплений генератора, матрицы нагрузки, матрицы активных и индуктивных сопротивлений эквивалентной нагрузки и генератора, тормозного момента генератора и вращающего момента турбины, момента инерции вращающихся частей электроустановки, энергии водотока. Определено время изменения величины балластной нагрузки. Выведены переходные процессы внезапного изменения нагрузки в очистных сооружениях с частотной системой стабилизации.

Ключевые слова. Гидротурбина, синхронный генератор, цифровой регулятор частоты, частотно-регулируемый автобалласт, балластная нагрузка, автономная электроустановка.

Машинно-вентильные системы генерирования и стабилизации параметров электроэнергии полученной при сжигании биогаза подразделяются на системы стабилизации частоты выходного

напряжения при переменной частоте вращения гидротурбины и на системы, стабилизирующие частоту вращения гидроагрегата.

Оценивая машинно-вентильные источники электропитания постоянной частотой выходного напряжения при переменной частоте вращения гидротурбины, следует отметить, что хорошее качество производимой электроэнергии достигается в них ценой существенного усложнения (а, следовательно, удорожания) преобразовательной части установки. Кроме того, подобные гидроагрегаты должны быть рассчитаны на работу в достаточно широком диапазоне частот вращения, определяемом характеристиками гидротурбины и нагрузки источника электропитания. В частности, наиболее перспективные для низконапорных станций гидротурбины пропеллерного типа характеризуются угловой частотой вращения в 2-2,5 раза превышающей номинальную. Это затрудняет применение общепромышленных электромашинных генераторов, для которых допускается превышение номинальной частоты вращения не более чем на 30%.

Упростить конструкцию, как вентильного преобразователя, так и гидроагрегата, позволяет способ стабилизации параметров системы, заключающийся в регулировке величины ее электрической нагрузки. Изменять величину нагрузки автономного источника электропитания возможно включением на выход генератора регулируемой балластной нагрузки. Если под «балластной» понимать некоторую полезную нагрузку, то данный способ стабилизации подразумевает автоматическое перераспределение выходной электрической мощности станции между некоторыми потребителями, часть из которых допускает снижение величины питающего напряжения или его отключение.

Принцип автобалластного регулирования предельно прост: параллельно полезной нагрузке станции через регулятор подключается такая же по величине дополнительная, или балластная нагрузка. При изменении величины полезной нагрузки, величина балластной изменяется при помощи регулятора таким образом, чтобы суммарная нагрузка электрического генератора оставалась неизменной. В качестве балластной нагрузки обычно используют теплонагревательные элементы. И если учесть, что до 80 % электрической энергии автономный потребитель тратит на получение тепла, выделяемая на балластных сопротивлениях энергия также может быть полезно использована для обогрева помещений, нагрева воды и т.п.

Достоинством данного способа является возможность стабилизации частоты вращения гидроагрегата при полном исключении из системы стабилизации электромеханических устройств. Замена их статическим регулятором весьма выгодна и с точки зрения улучшения характеристик и с точки зрения чисто экономической.

Кроме того, автобалластный способ стабилизации хорошо сочетается с регулированием выходных параметров асинхронного генератора с емкостным самовозбуждением, что позволяет применять в автономных системах как синхронные, так и асинхронные электрические машины.

Для стабилизации частоты переменного тока микрогидроэлектростанции необходимо так изменять мощность результирующей нагрузки энергоустановки, чтобы частота вращения системы «генератор – гидротурбина» оставалась неизменной при колебаниях полезной нагрузки и энергии рабочего потока воды.

Регулировать величину балластной нагрузки в этом случае целесообразно отклонением частоты переменного тока источника электропитания от номинального значения. При изменении энергии рабочего потока воды, поступающего на турбину, с помощью частотно-регулируемого балласта возможно добиться стабилизации величины выходного напряжения установки. Для этого необходим дополнительный канал регулирования напряжения генератора, который строится в зависимости от типа генератора, условий его работы и требований к точности стабилизации.

Таким образом, система стабилизации выходного напряжения и частоты микрогидроэлектростанции представляет собой двухканальную систему автоматического регулирования, обладающую адаптивными свойствами. В зависимости от величины возмущающих воздействий полезной нагрузки и энергии рабочего потока воды система автоматически выбирает необходимую мощность балластной нагрузки так, чтобы частота вращения гидроагрегата оставалась неизменной. Регулятор возбуждения генератора обеспечивает стабилизацию величины его напряжения.

Работа автоматических систем стабилизации напряжения станции должна, прежде всего, обеспечивать устойчивость рабочего режима энергоустановки.

При частотном регулировании микроГЭС сохраняется устойчивость независимо от типа и параметров генератора и турбины.

Точность поддержания выходных параметров станции на номинальном уровне определяется статическими погрешностями регуляторов возбуждения и автобалласта.

Если напор и расход воды гидротурбины не меняются, что характерно для установок с напорным трубопроводом, то для стабилизации рабочего режима достаточно стабилизировать мощность, потребляемую результирующей нагрузкой. В этом случае может оказаться вполне достаточным применение только одноканальной стабилизирующей системы автобалластного типа. Регулирование балласта в этом случае целесообразно осуществлять по мощности результирующей нагрузки, по активной составляющей тока генератора, а также и по полному току, если характер нагрузки источника изменяется в небольших пределах. Благодаря постоянству и равенству мощности, потребляемой нагрузкой источника электропитания, мощностью, развиваемой гидротурбиной, энергоустановка работает в статическом режиме, который легко может быть оптимизирован по энергетическим показателям.

В результате обзора существующих конструкций можно сделать вывод, что наиболее перспективным вариантом автономной станции является установка, содержащая машинно-вентильный источник электропитания. Среди различных машинно-вентильных систем существенными преимуществами обладают системы стабилизации автобалластного типа.

Автобалластные системы стабилизации применимы для любого типа генератора и могут выполняться на основе тиристорных коммутаторов или схем регуляторов с фазовым управлением. Обычно фазовые регуляторы балластной нагрузки проще и дешевле дискретных коммутаторов, но несут больше искажений в форму фазных токов и напряжений генератора.

Основные усилия разработчиков направлены на совершенствование систем стабилизации выходного напряжения энергоустановки, что позволяет использовать максимально простое и дешевое гидротехническое оборудование. В результате стоимость снижается при одновременном повышении ее надежности. Вряд ли конструкций, например предложенной авторами [18], удастся удачно сочетать балластную нагрузку с механическими регулирующими устройствами путем использования балластного тока для управления затвором турбины.

Для систем, работающих в свободном потоке воды, необходимы системы стабилизации, контролируемые как минимум два параметра выходного напряжения: его величину и частоту.

Целью работы являлась разработка математической модели информационно-управляющих систем с дискретным регулированием балластной нагрузки.

Математическая модель позволяет установить взаимосвязь между параметрами ЦРЧ и показателями и получить рекомендации к выбору параметров регулятора, обеспечивающих требуемые характеристики автономной энергоустановки.

Регулирование мощности балласта гидроагрегата может осуществляться по току, напряжению, частоте и другим параметрам. В общем случае, когда изменяется не только полезная нагрузка станции, но и энергия рабочего потока воды, необходим частотно-регулируемый автобалласт, действующий, прежде всего, на частоту вращения гидроагрегата. Коррекцию выходного напряжения целесообразно осуществлять по цепи возбуждения генератора. Несомненные преимущества в этом случае имеют синхронные машины (СГ).

Генераторы имеют систему фазового компаундирования возбуждения, обеспечивающую автоматическое поддержание напряжения в пределах $\pm 5\%$ от среднего регулируемого значения при любых нагрузках в диапазоне изменения коэффициента мощности от 0,8 до 1. Частота выходного напряжения в соответствии с паспортными данными серии может изменяться от 49,2 до 50,7 Гц.

Одним из наиболее перспективных схемных решений регуляторов балластной нагрузки микроГЭС является цифровой регулятор частоты (ЦРЧ). Цифровой способ измерения, широко применяемый в современной схемотехнике, характеризуется высокой точностью и хорошо сочетается с ступенчатой автобалластом, коммутируемым тиристорными ключами.

Структурная схема микроГЭС с цифровым регулятором частоты показана на рис.1, где гидротурбина ГТ приводит во вращение синхронный генератор СГ, к обмотке статора которого подключена полезная нагрузка $Z_{на}$, $Z_{нв}$, $Z_{нс}$ и набор балластных сопротивлений $R_{б1} - R_{бN}$, включенных через биполярные тиристорные ячейки, управляемые цифровым регулятором частоты ЦРЧ. В общем случае ЦРЧ может управлять N балластными сопротивлениями дозированной величины. Число ступеней балластной нагрузки определяет погрешность регулирования результирующей

эквивалентной нагрузки станции вустановившихся режимах. Под эквивалентной нагрузкой СГ понимается суммарная нагрузка на зажимах электрической машины, определяемая как параллельное соединение полезной и балластной нагрузок.

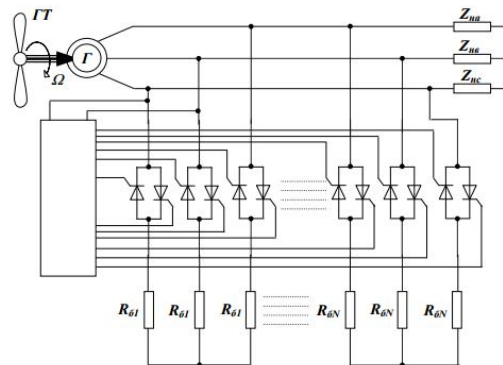


Рис. 1. Структурная схема системы с цифровым регулятором частоты

С точки зрения уменьшения погрешности регулирования эквивалентной нагрузкой необходимо увеличивать количество ступеней балласта N . Однако это приводит к усложнению схемы регулятора, ухудшению ее массо-габаритных и стоимостных показателей. Оптимальным вариантом ЦРЧ можно считать регулятор, в котором мощности балластных нагрузок выбираются в отношении: $1, 2, 4, \dots, 2^N$. В этом случае можно существенно сократить количество дозированных балластных сопротивлений и обеспечить равномерную погрешность регулирования эквивалентной нагрузки во всем диапазоне. Например, если принять мощность одной ступени балласта ΔP , равной 5 % максимальной мощности установки P , то при одинаковых балластных сопротивлениях и потребуется $N = 20$. При использовании приведенной выше рекомендации количество балластных резисторов и соответственно ключей регулятора можно сократить до $N=4$ при той же погрешности регулирования балласта.

Величину эквивалентной нагрузки СГ системы в относительных единицах несложно подсчитать по формуле:

$$Z'_{\text{э}} = \frac{Z_H (2^N - 1)}{2^N + Z_H (n - 1)}$$

где Z_H – полезная нагрузка СГ; $n = 0 \div (2N - 1)$ – десятичное число, соответствующее двоичному коду, записанному в выходных каскадах ЦРЧ. Двоичный код ЦРЧ соответствует частоте генерируемого напряжения и получается в результате подсчета импульсов опорной частоты за период напряжения станции.

Структурная схема ЦРЧ показана на рис.2 и состоит из следующих блоков. Генератор опорной частоты (ГОЧ) содержит высокочастотный кварцевый генератор и счетчики, формирующие последовательности управляющих импульсов. Датчик частоты генератора (ДЧГ) преобразует синусоидальное напряжение генератора в последовательность коротких импульсов с периодом повторения, равным периоду генерируемого напряжения. Измеритель частоты генератора (ИЧГ) на основе сравнения частоты генератора с опорной производит измерение частоты напряжения микро ГЭС. Счетно-логическое устройство (СЛУ) обрабатывает по определенному алгоритму двоичный код, соответствующий измеренной частоте, и через усилитель мощности УМ управляет работой тиристорных ключей балластной нагрузки.

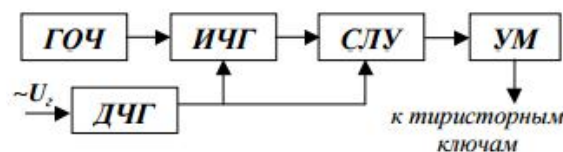


Рис. 2. Структурная схема ЦРЧ

Алгоритм работы и принципы построения СЛУ могут быть различными: на основе регистра, оперативного запоминающего устройства, реверсивного счетчика и др. Экспериментальные исследования позволили выявить преимущества ЦРЧ с использованием реверсивного счетчика, обеспечивающего последовательное изменение величины балластной нагрузки на ΔP за каждый цикл работы. При таком регулировании удается избежать резких бросков тока и обеспечить устойчивый режим работы практически с любым типом генератора и турбины.

Принцип действия ЦРЧ на базе реверсивного счетчика заключается в следующем. Подсчитывается количество импульсов ГОЧ за период напряжения генератора. Если двоичный код, зафиксированный на счетчике ИЧГ, соответствует частоте генератора в пределах 49 - 51 Гц, то комбинация включенных балластных сопротивлений не изменяется, т.е. зона 50 ± 1 Гц является зоной нечувствительности ЦРЧ. Если частота генератора вышла за пределы зоны нечувствительности, то реверсивный счетчик СЛУ переводится в режим вычитания - когда частота снизилась до 49 Гц и в режим прямого счета - когда частота увеличилась до 51 Гц. При этом балластная нагрузка в соответствии с двоичным кодом счетчика ступенчато увеличивается на ΔP за каждый период напряжения до тех пор, пока частота выходного напряжения не войдет в заданные пределы. Таким образом, время задержки, соответствующее полному изменению балластной нагрузки от 0 до P , определяется как:

$$T_p = T_{из}(2N - 1)$$

где $T_{из}$ - время измерения или счета импульсов.

Например, для ЦРЧ, в котором счет импульсов происходит за каждый период напряжения для $N = 3; 4; 5$, время задержки T_p будет равно 0,14; 0,3; 0,62 с соответственно. Следовательно, увеличение числа ступеней балластной нагрузки и периода измерений импульсов приводят к увеличению времени задержки ЦРЧ, а соответственно и длительности переходных процессов в микроГЭС.

В данном случае динамические характеристики вступают в противоречие со статическими. Статическая погрешность стабилизации частоты зависит также от жесткости механической характеристики гидротурбины и точности стабилизации напряжения генератора в установившихся режимах, т.е. системы регулирования напряжения СГ.

При построении автоматизированной системы с цифровым регулятором частоты возникают вопросы выбора минимальной ступени дискретизации балластной нагрузки ΔP , обеспечивающей заданную погрешность стабилизации для определенного типа генератора со своей системой регулирования возбуждения и конкретной гидротурбины, характеризуемой жесткостью механической характеристики e_m .

Решить эту достаточно сложную задачу можно методами математического моделирования на ЭВМ.

В качестве исходных уравнений исследования принимаются следующие:

$$\left. \begin{aligned} U_z &= r_z i_z + \frac{d\psi_z}{dt} \\ M_z &= \operatorname{Re} j(\psi_z i_z) + J \frac{d\Omega}{dt} \\ U_f(t) &= k_u U_z + k_i i_z \\ n &= f[\omega(t)] \\ M_m &= f[\omega(t), \text{ЭВ}] \\ Z_3 &= \frac{Z_n(2^N - 1)}{2^N + Z_n(n-1)/n - 0 + (2^N - 1)} \\ U_z &= (R_3 + jX_3) i_z + x_z \frac{d i_z}{dt} \end{aligned} \right\}$$

где U_z, i_z, ψ_z - вектор-матрицы напряжений, токов и потокосцеплений генератора; Z_3, Z_n - матрицы нагрузки; R_3, X_3, R_z, X_z - матрицы активных и индуктивных сопротивлений эквивалентной нагрузки и генератора; M_z, M_m - тормозной момент генератора и вращающий момент турбины; J - момент инерции вращающихся частей электроустановки; k_u, k_i - коэффициенты усиления; ЭВ - энергия водотока.

В качестве основных параметров ЦРЧ можно выделить: числоступеней балластной нагрузки N , зону нечувствительности регулятора D_n и время задержки T_p .

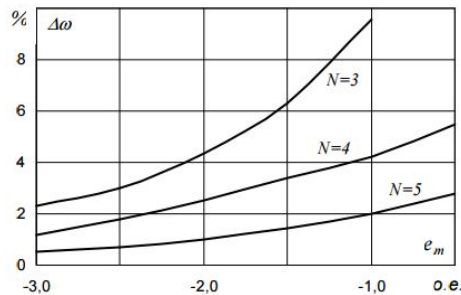


Рис. 3. Зависимость погрешности стабилизации частоты вращения микроГЭС от коэффициента саморегулирования гидротурбины

Величина зоны нечувствительности ЦРЧ должна выбираться большей, чем максимальная погрешность стабилизации частоты вращения при заданном e_m и выбранной величине N . В противном случае возможны динамически неустойчивые режимы при постоянной величине полезной нагрузки станции часть балластных сопротивлений будет периодически подключаться и отключаться.

Влияние рассматриваемого ЦРЧ на переходный процесс проявляется в основном через время задержки T_p , определяющее время изменения величины балластной нагрузки, включенной в цепь якоря генератора. Обычно, для рассматриваемого диапазона мощностей инерционная постоянная вращающихся частей энергоустановка больше времени задержки ЦРЧ и в переходных режимах изменение балластной нагрузки происходит быстрее, чем частоты вращения гидроагрегата. Поэтому на длительность переходных процессов оказывает влияние и величина, на которую изменяется полезная нагрузка станции.

На рисунке 4 представлена структурная электрическая схема устройства, которое содержит логический блок 1, блоки дискретного управления 2 и соответствующие им блоки сопротивлений балластной нагрузки 3, блок фазового управления 4 и соответствующий ему блок сопротивлений балластной нагрузки 5, блок управления реактивной нагрузкой 6 и дополнительный блок реактивных сопротивлений 7.

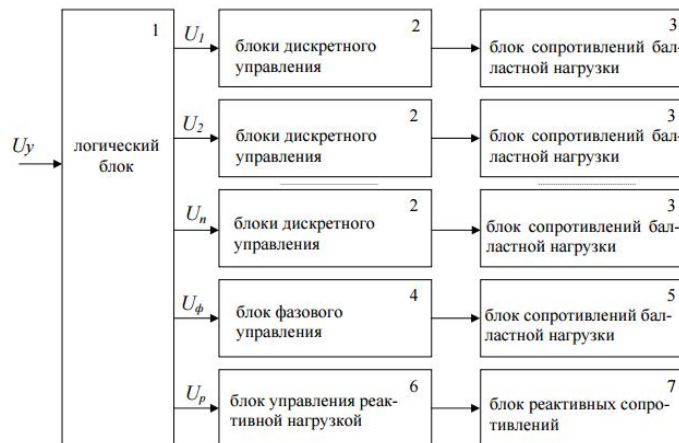


Рис. 4. Устройство для регулирования частоты напряжения генератора

На вход устройства поступает сигнал U_y , пропорциональный требуемой величине рассеиваемой на балластных сопротивлениях мощности.

Этот сигнал поступает на вход логического блока 1, в котором формируются сигналы U_d , поступающие на входы блоков дискретного управления 2, сигнал U_ϕ , поступающий на вход блока фазового управления 4 и сигнал U_p , поступающий на вход блока управления реактивной нагрузкой 6.

Принципиальная электрическая схема логического блока 1 может быть выполнена по одному из известных принципов дискретного и фазового управления. Входной сигнал, поступающий на логический блок 1, формируется датчиком, установленным в якорной цепи генератора. Измеряемыми

сигналами могут служить активная и реактивная составляющие тока или вырабатываемая мощность генератора.

Логический блок 1 формирует три сигнала: U_d - сигнал дискретного управления, который обеспечивает подключение необходимого количества балластных сопротивлений; U_f - сигнал фазового управления, обеспечивающий плавное регулирование активной составляющей нагрузки; U_p - сигнал блока управления реактивной нагрузкой, обеспечивающий плавное регулирование реактивной составляющей нагрузки.

Блоки дискретного управления 2 представляют собой тиристорные ключи, нагрузкой которых являются балластные сопротивления 3. Величина балластных сопротивлений блоков дискретного управления может быть выбрана пропорциональной ряду геометрической прогрессии с коэффициентом 2, например: 1, 2, 4, 8. При этом логический блок 1 будет обеспечивать такую комбинацию включения тиристорных ключей, при которой полная мощность, потребляемая дискретной балластной нагрузкой 3, будет изменяться в диапазоне от 0 до максимальной с равным дискретным шагом, равным $1/(2n - 1)$, где n - число ступеней дискретных балластных сопротивлений.

Построение устройства подобным образом позволяет повысить точность стабилизации амплитуды вырабатываемого напряжения. Блоки дискретного и фазового управления обеспечивают постоянство потребляемой активной мощности, а сигналы управления блока управления реактивной нагрузкой формируются таким образом, чтобы потребляемая реактивная мощность также оставалась постоянной. При таком регулировании, генератор всегда работает на неизменную по величине и характеру нагрузку, соответственно, амплитуда и частота вырабатываемого напряжения будут стабильными. Это позволяет использовать в автономных электроустановках практически любые типы электрических машин, отпадает необходимость в регуляторе напряжения и повышается статическая устойчивость системы регулирования. Погрешность стабилизации амплитуды выходного напряжения может быть уменьшена в 4 – 5 раз.

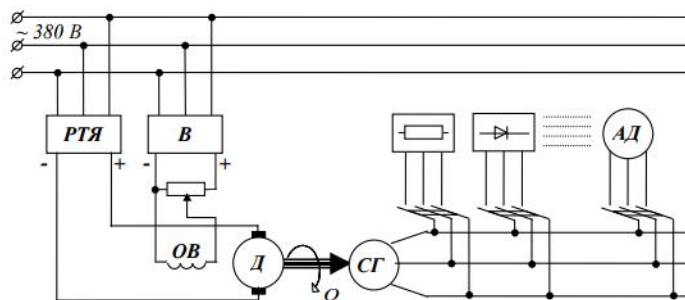


Рис. 5. Структурная схема установки для физического моделирования системы

В синхронных электрических машинах частота вращения ротора в относительных единицах равна частоте выходного напряжения, в связи с чем, в качестве датчика частоты можно использовать как датчик частоты вращения, например, тахогенератор, так и электронный датчик, реагирующий на изменение частоты генерируемого напряжения.

Уравнение регулятора частоты при фазовом управлении тиристорами может быть представлено в виде:

$$\alpha = \alpha_{пр} + k_v (\Omega_0 - \Omega_d) \cdot (1 - e^{-\frac{t}{T_v}})$$

где α - угол управления тиристорами регулятора;

$\alpha_{пр}$ - предельный угол управления, соответствующий закрытому состоянию клапанов;

k_v - коэффициент усиления регулятора частоты;

T_v - время задержки регулятора частоты;

Ω_0, Ω_d - эталонное и текущее значения частоты вращения энергоустановки.

Коэффициент усиления регулятора частоты определяется как отношение приращения угла управления $\Delta\alpha$ к относительному изменению частоты вращения:

$$\nu = \Delta\Omega/\Omega_0$$

$$k_v = \Delta\alpha / \nu = (\Delta\alpha \cdot \Omega_0) / \Delta\Omega \text{ (рад)}$$

Время задержки электронных регуляторов частоты может изменяться от 0,01 до 0,2-0,3 с. Кроме того, датчик частоты обычно имеет зону нечувствительности $D\nu$.

Величина коэффициента усиления регулятора определяет погрешность стабилизации частоты вращения гидроагрегата в статических режимах. Для микроГЭС, мощностью 12 кВт, с нерегулируемой гидротурбиной с $e_m = -0,86$, расчетная зависимость погрешности стабилизации частоты вращения от величины k_v регулятора показана на рисунке 6.

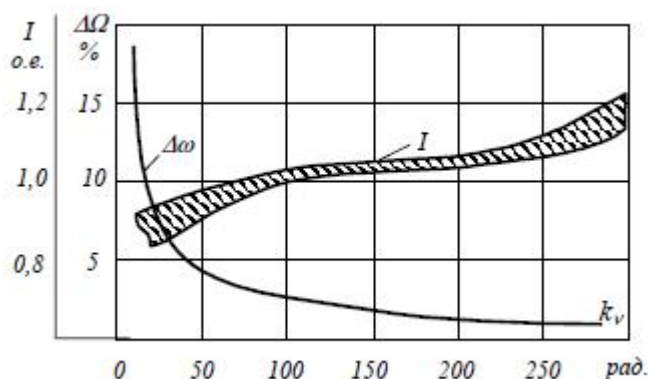


Рис. 6. Погрешность стабилизации частоты вращения и тока генератора без регулятора возбуждения в функции о коэффициента усиления регулятора частоты

Очевидно, что рост k_v приводит к повышению точности стабилизации частоты, которая при $k_v = 250$ достигает 1%.

Большие значения коэффициента усиления регулятора частоты без канала регулирования возбуждения генератора могут вызывать токовые перегрузки его якорной обмотки. Это объясняется линейной зависимостью величины и коэффициента мощности эквивалентной нагрузки генератора от управляющего воздействия – угла α . Поэтому при небольших изменениях нагрузки станции регулятор с большим k_v может вызвать подключение такой балластной нагрузки, что суммарный ток генератора станет больше номинального. При этом напряжение генератора уменьшается, и мощность, а следовательно и момент сопротивления генератора останутся в пределах, обеспечивающих стабилизацию частоты вращения гидроагрегата с заданной точностью. Расчетные кривые, иллюстрирующие токовую перегрузку генератора при частотном регулировании, приведены на рис.6. В расчетах приняты параметры машин характерные для рассматриваемого диапазона мощностей. Нагрузка активно-индуктивного характера с $\cos\phi = 0,8-1$ изменялась в пределах 80-100% от номинального значения.

Величина токовой перегрузки зависит от параметров генератора и режима работы станции. Большие перегрузки соответствуют генераторам с большей величиной индуктивного сопротивления реакции якоря, работающим на активную нагрузку. Для ограничения токовых перегрузок генератора необходимо ограничивать коэффициент усиления регулятора частоты на уровне $k_v = 200-250$.

Кроме того, величину k_v следует увязывать с границами зоны нечувствительности $D\nu$ и временем задержки $T\nu$. Зона нечувствительности датчика определяет диапазон изменения частоты вращения установки, в котором автобалластная система не отклоняется от некоторого установившегося значения. Достаточно большие значения $D\nu$ и $T\nu$ при высоких значениях коэффициента усиления регулятора частоты могут вызывать незатухающие колебания в автономной энергоустановке.

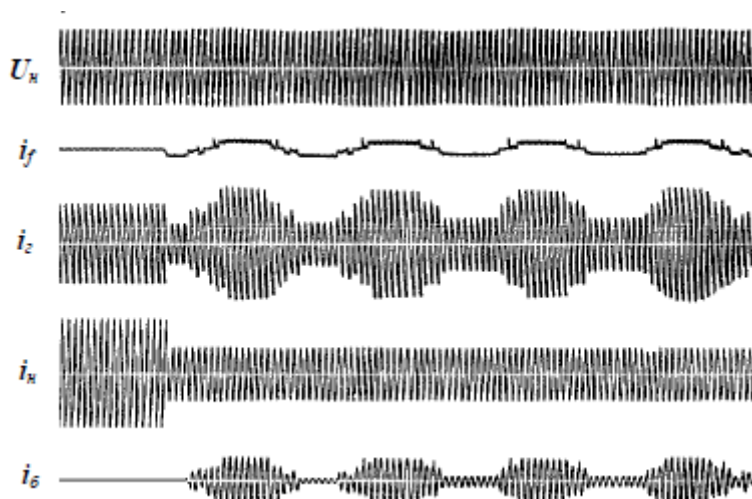


Рис. 7. Осциллограмма динамически неустойчивого режима работы микроГЭС с управлением автобалластной нагрузкой по частоте U_n – напряжение нагрузки; i_f – ток возбуждения; i_g – ток генератора; i_n – ток нагрузки; i_b – ток балласта

На рис.7 приведена осциллограмма динамически неустойчивого режима работы с частотным автобалластом, вызванного отключением половины номинальной величины полезной нагрузки. Параметры регулятора частоты равны: $k_v = 200$; $T_v = 0,02$ с; $D_v = \pm 2\%$. Коэффициент саморегулирования приводного двигателя равен $e_m = -0,86$. По рис.7 видно, что при указанных параметрах регулятора автобалластной системы рабочий режим микроГЭС сопровождается периодическими колебаниями тока балластной нагрузки от 0,1 до 0,8 максимального значения. При этом суммарный ток генератора изменяется в диапазоне 0,55-1,35 $I_{г.ном}$.

Частота колебаний тока генератора составляет приблизительно 3 Гц. Периодическое изменение тока якоря генератора вызывает модуляцию амплитуды выходного напряжения величиной порядка 10 %.

Относительно небольшие колебания тока возбуждения генератора и его выходного напряжения объясняются наличием мощной демпферной системы, в значительной степени компенсирующей изменения тока якоря.

При наиболее неудачных сочетаниях параметров энергоустановки максимальные изменения выходного напряжения могут достигать диапазона от 0,7 до 1,3 $U_{ном}$, а электромагнитного момента 0,55-1,6 $M_{ном}$. В результате незатухающих колебаний ухудшается качество стабилизации напряжения микроГЭС, возникают значительные динамические усилия в элементах конструкции станции, что может привести к аварийному режиму.

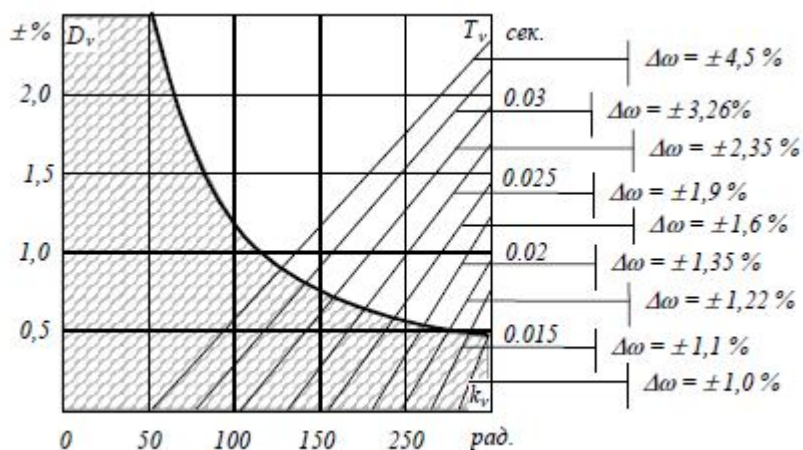


Рис. 8. Номограмма для выбора параметров регулятора частоты

Для выбора параметров частотного регулятора балластной нагрузки, обеспечивающих динамически устойчивый режим работы станции, были проведены теоретические и экспериментальные исследования подобного класса электроустановок, результаты которых в виде номограммы приведены на рис.8. Для системы с типичными значениями параметров устойчивый режим работы станции соответствует заштрихованной зоне графической зависимости $D_v = f(k_v)$. Следовательно, по заданной величине погрешности стабилизации частоты вращения можно выбрать из зоны устойчивого рабочего режима установки необходимую величину коэффициента усиления регулятора автобалласта, его время задержки и зону нечувствительности.

Порядок пользования номограммой. По требуемой погрешности стабилизации частоты вращения выбирают коэффициент усиления регулятора и его постоянную времени. При этом зона нечувствительности датчика частоты не должна превышать значений, ограниченных расчетной зависимостью $D_v = f(k_v)$. Допустим, необходимо выбрать параметры регулятора частоты, обеспечивающего стабилизацию частоты вращения микроГЭС с погрешностью не более 1,2 %. По номограмме выбираем следующие значения параметров $k_v = 200$, $T_v = 0,02$, $D_v = 0,5$ %. Кроме указанных параметров регулятора частоты, существенное влияние на переходные процессы микроГЭС оказывает момент инерции вращающихся масс гидроагрегата. Увеличение постоянной инерции J увеличивает динамическую устойчивость станции. Уменьшение момента инерции вращающихся масс гидроагрегата практически невозможно. Поэтому выводы, полученные выше для типичного значения постоянной инерции $J = 0,65$ с, справедливы для рассматриваемого диапазона мощностей микроГЭС. Применение регулятора возбуждения синхронного генератора в микроГЭС с частотным регулированием позволяет существенно улучшить стабильность выходного напряжения, как в статических, так и в динамических режимах и сократить длительность переходного процесса. Хорошие динамические свойства придает системе безынерционный регулятор пропорционального типа, реагирующий на отклонение напряжения генератора от номинального значения. Принцип действия такого регулятора описывается выражением:

$$U_f = U_{f0} + k_f (U_{ном} - U)$$

где U_{f0} - напряжение возбуждения в режиме холостого хода; $U_{ном}$, U - номинальное и мгновенное значения напряжения соответственно; k_f - коэффициент усиления регулятора возбуждения.

Значения коэффициента усиления регулятора возбуждения

$$k_f = \Delta U_f / \Delta U = 0,4 \div 0,8.$$

При этом погрешность стабилизации напряжения источника электропитания составляет не более ± 5 % и исключаются автоколебания в системе. Если среди потребителей электроэнергии микроГЭС имеется двигательная нагрузка, то коэффициент форсировки генератора выбирается из тех же соображений, что и в обычных автономных электроустановках, порядка $3 \div 4$.

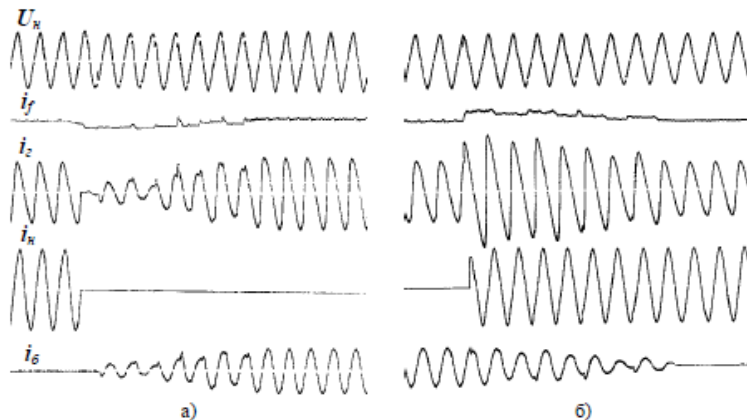


Рис. 9. Переходные процессы внезапного изменения нагрузки в системе с частотной системой стабилизации
а) – сброс 100 % нагрузки; б) – наброс 100 % нагрузки

U_n – напряжение на нагрузке; i_f – ток возбуждения; i_g – ток генератора; i_n – ток нагрузки; i_b – ток балласта

Наличие канала регулирования возбуждения несколько снижает запас динамической устойчивости станции. Однако, исследования показывают, что выбор параметров регулятора частоты микроГЭС с каналом регулирования возбуждения генератора так же может быть проведен по номограмме, приведенной на рис.8, с условием уменьшения величины T_v в 1,2-2 раза.

Подтверждением выводов, полученных путем имитационного моделирования рабочих режимов микроГЭС, служат осциллограммы переходных процессов, представленные на рис.9. Осциллограммы получены при лабораторных испытаниях образца микроГЭС мощностью 12 кВт с автобалластной системой стабилизации, реагирующей на изменение частоты выходного напряжения.

Представленные осциллограммы иллюстрируют действие стабилизирующих систем при внезапном изменении величины полезной нагрузки станции. Непосредственно после изменения рабочего режима частота вращения гидроагрегата, в силу его инерционности, измениться не может, и величина балластной нагрузки остается неизменной. Действия по стабилизации напряжения синхронного генератора осуществляет только канал регулирования возбуждения. Величина тока возбуждения достигает в этот момент предельных значений, так как автобалластная система еще не работает, и отклонения тока генератора от номинальной величины доходят до максимальных значений. Когда отклонение частоты выходного напряжения превысит зону нечувствительности регулятора, в работу вступает автобалластная система. Следовательно, в отличие от токовых систем, электромагнитный и электромеханический переходные процессы проходят в станциях такого рода одновременно и сопровождаются значительными изменениями тока в якорной цепи генератора.

Регулируемая балластная нагрузка значительно сокращает длительность переходного процесса в энергосистеме. Для реальных параметров СГ, работающего в составе системы, при оптимальных параметрах регулятора частоты, время переходного процесса составляет не более 0,1 с. При тех же параметрах генератора при работе от привода соизмеримой мощности, длительность электромеханического переходного процесса достигает 1-1,5 с.

Использование ЦРЧ предлагаемого типа для стабилизации частоты вращения автономной микроГЭС обеспечивает достаточно хорошие динамические показатели электроустановки и устойчивую работу станции практически с любым типом гидротурбин. Для обеспечения требуемой точности регулирования частоты вращения гидроагрегата выбор параметров ЦРЧ должен производиться в соответствии с приведенными выше рекомендациями.

Высокой точности стабилизации выходных электрических параметров позволяют достичь комбинированные системы регулирования балластной нагрузки, использующие принципы фазового и дискретного управления.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Прокофьев В.Н. и др. Экспериментальное исследование упругих свойств двухфазных рабочих жидкостей гидроприводов объемного типа. – Известия вузов. Машиностроение, 1966, №2.
- [2] Рыжаков А.Н., Николенко И.В. Переходные процессы в гидроприводе с дискретным машинным регулированием. - MOTROL. - Commission of motorization and energetics in agriculture: Polish Academy of sciences. - Lublin. –2009. – Vol. 11b. – p. 52 - 65.
- [3] Зайцев В.Ф., Полянин А.Д. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. – М., Физ. – мат. литература, 2001, 576 с.
- [4] Копылов И.П., Мамедов Ф.А., Беспалов В.Я, Математическое моделирование асинхронных машин. - М.: Энергия, 1969. - 97 с.
- [5] Сипайлов Г.А., Лоос А.В. Математическое моделирование электрических машин. - М.: Высшая школа, 1970. - 176с.
- [6] Пивоваров В.А. Проектирование и расчет систем регулирования гидротурбин. - Л.: Машиностроение, 1973. - 273 с.
- [7] Лукутин Б.В., Обухов С.Г. Динамика микрогидроэлектростанции с автобалластной стабилизацией напряжения. Электротехника, 1989, N10. с. 9-12.

Жирнова О.В., Тилеубаева А.А., Жаханов А., Жумабек С.

Қуо өндірісінің оңтайландыру проблеманы математикалық моделін әзірлеу

Түйіндеме. Дискретті микро ГЭС реттеу балласты бар басқару ақпараттық жүйелердің математикалық моделі. сандық матрица *raschetovvektor* кернеу нәтижелері, ағымдағы және флюс байланыс генераторы жүктеме матрица, белсенді және индуктивті қарсылық баламалы жүктеме және генератор матрицалық, генераторы турбина *ivraschayuschego* кезден бастап тежеу моменті, айналмалы *chastyelektroustanovki* инерция моменті, *energiivodotoka*. Магнитудасы балласты *vremyaizmeneniya* анықтады. Біз шағын гидро *chastotnoysistemoy* тұрақтандыру өтпелі кенеттен жүктеме өзгеріс алуға.

Түйінді сөздер. Турбиналық, синхронды генератор, сандық жиілік бақылау, жиілік-бақыланатын автомобильдер балласты, балласты жүк тиеу, өзін-өзі қондырғылар.

Zhirnova O.V., Tileubaeva A.A., Zhakhanov A., Zhumabek S.

Development of a mathematical model of the optimization problem of foundry production

Summary. A mathematical model of management information systems with discrete micro hydroelectric regulation ballasting. The results of numerical matrix *raschetovvektor* voltage, current and flux linkage generator load matrix, the matrix of active and inductive resistances equivalent load and generator, the braking torque of the generator turbine *ivraschayuschego* moment, the moment of inertia of the rotating *chastyelektroustanovki*, *energiivodotoka*. Defined *vremyaizmeneniya* magnitude ballasting. We derive transient sudden load change in a micro hydro *chastotnoysistemoy* stabilization.

Key words: Turbine, synchronous generator, digital frequency control, frequency-controlled cars ballast, ballast load, self-installations.

ӘОЖ 372.8:51

¹Т.Ө. Мусахан, ²А.Ө. Дәулетқұлова

(Қазақ мемлекеттік қыздар педагогикалық университеті,
Алматы, Қазақстан Республикасы)

**МАТЕМАТИКАНЫ ОҚЫТУ БАРЫСЫНДА ЭКОНОМИКАЛЫҚ БІЛІМ БЕРУ МЕН
ТӘРБИЕЛЕУДІҢ МӘН – МАҒЫНАСЫ**

Аннотация: Өмірде экономикалық тәрбие мен экономикалық білімді меңгеру біртұтас, бірін-бірі толықтыратын процесс. Оларды бірінен-бірі бөліп алып қарастыруға болмайды. Халықтың экономикалық тәрбиесі мен экономикалық білімдерін көтеру техникалық прогрестің қарқындап дамуына, ой еңбегімен дене еңбегінің арасындағы айырмашылықты жоюға, еңбектің шығармашылық сипаттарын арттыруға, еңбек адамдарының шығармашылық ынталылығын және белсенділігін арттыруға әсер етеді. Экономикалық тәрбие мен білімнің деңгейін үнемі көтеріп отыру мыналар арқылы қамтамасыз етіледі: а) өндірістік қатынастар жүйесімен; б) қоғамның материалдық және рухани игіліктерін дұрыс бөлумен. Бұларды үздіксіз жүзеге асырып отыру қоғам дамуының объективті даму заңдылығы. Ол қазіргі қоғам дамуының міндеттерінен туындап отыр, яғни қазіргі жағдайда адамдарды тәрбиелеу процесі еңбекке деген сүйіспеншілік пен оны қадірлеуге, өзінің ішкі ұйымшылдығына, құнттылығына, қамқоршылдығына, тәртіптілігіне, ширақтылығына және т.б. адамдардың еңбекке деген қатынастарына байланысты болады.

Еңбек адамдарының экономикалық тәрбиесі мен білім беруі қазіргі заман қоғамның қатынастары ілімінің негізінде жүзеге асуы қажет. Сондықтан экономикалық тәрбие мен білім берудің негізгі және ең басты принциптері мыналар: өмірмен, қазіргі заманның тәжірибелерімен байланыстылығы, әрекеттілігі, нақтылығы мен мақсаттылығы.

XX ғасырдың 70-ші жылдарынан бастап оқушылардың экономикалық білімі мен тәрбиесін жетілдіру проблемалары математиканы оқыту әдістемесі мамандарының зерттеулерінде қомақты орын алуда. Қазіргі кезде бұл проблеманың белгілі бір мәселелеріне арналған көптеген зерттеулер бар. Мысалы, А.Т. Улимаеваның, В.М. Монаховтың, В.А. Волкованың, В.Ф. Любичеваның, З.К. Левчуктың, Л.Е. Ланың, Н.Б. Мельникованың, П.Т. Апанасованың, Т.П. Гаврилованың және басқа авторлардың жұмыстарында математиканың факультативтік сабақтарында есептердің көмегімен нақтылы бір экономиканың элементтерін енгізу мәселелері қарастырылған. Сонымен қатар, мектептегі математика есептерінің жинақтарын экономикалық бағытта тиімділік (оптимизация) идеяларына арналған есептермен толықтыру мәселелеріде зерттелген. Сондай-ақ, оқушыларға