

Автоматизация ядерных энергетических установок и дискретные приводы

и. я. ЕМЕЛЬЯНОВ, в. в. ОСКОВОЙНИКОВ, в. п. ПЕРФИЛЬЕВ

УДК 621.039.56

Использование управляющих цифровых вычислительных машин и развитие дискретных систем управления. Дальнейшее увеличение мощности ядерных энергетических установок и необходимость оптимизации основных режимов их работы привели к резкому расширению круга задач, стоящих перед системой управления. К этим задачам относятся: контроль за распределением нейтронов по радиусу и высоте реактора, поддержание заданного соотношения мощностей групп топливных каналов, автоматическое управление во всех режимах работы, программное перемещение групп регулирующих органов и др.

Выбор оптимальных режимов регулирования с учетом указанных выше факторов связан с получением, обработкой и хранением большого числа информации. Этим объясняется то обстоятельство, что за последнее время цифровые вычислительные машины (ЦВМ) получают все более широкое распространение при автоматизации ядерных энергетических установок [1]. Применение ЦВМ предъявляет дополнительные требования к системе управления и привело к созданию дискретных систем и исполнительных механизмов, позволяющих отрабатывать сигналы, поступающие от ЦВМ, непосредственно в цифровой форме.

Характерной особенностью дискретных систем управления является импульсное управление, жесткая связь между величиной перемещения регулирующего органа и числом управляющих импульсов, отсутствие выбега при остановке. Дискретные системы управления обладают высоким быстродействием, просты и надежны в эксплуатации.

Использование дискретного привода в системах управления ядерными реакторами позволяет осуществлять синхронное перемещение в необходимом диапазоне скоростей групп регулирующих органов (без применения дополнительных устройств) или еще более сложное согласование их движения, обусловленное требованиями регулирования. Это позволяет создавать сложные переменные структуры автоматических регуляторов и тем самым сделать систему управления реактором более универсальной.

Рассмотрим возможную принципиальную схему управления ядерным реактором (рис. 1) с помощью ЦВМ в сочетании с дискретным

приводом. Обобщенная информация после переработки ее ЦВМ поступает в устройство отображения информации. Заметим, что информация о положении регулирующего органа удобно передается в виде числа импульсов управления.

Современные дискретные системы управления ядерными реакторами характеризуются структурами с универсальным дискретным приводом, совмещающим функции автоматического регулирования, компенсации реактивности и аварийной защиты.

Управляющие сигналы, вырабатываемые в измерительной части системы управления, а также сигналы от ЦВМ через соответствующие схемы поступают на блоки управления исполнительной части СУЗ. Этими сигналами определяются регулирующие органы, которые должны перемещаться синхронно и изменять реактивность установки для получения заданных режимов ее работы. Синхронное перемещение регулирующих органов происходит благодаря тому, что все дискретные приводы работают

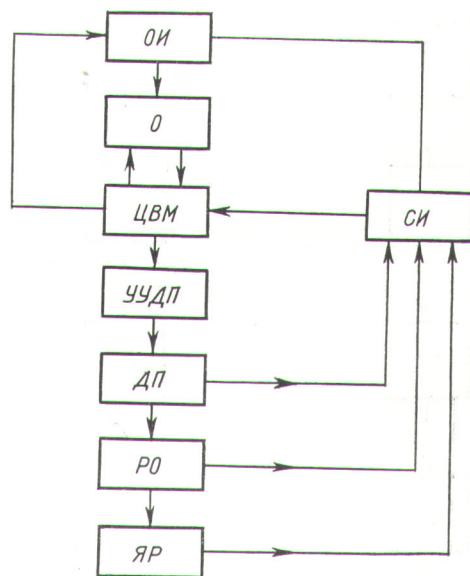


Рис. 1. Принципиальная схема управления ядерным реактором с помощью ЦВМ:

ОИ — устройство отображения информации; О — оператор; ЦВМ — цифровая вычислительная машина; СИ — устройство сбора информации; УУДП — устройство управления дискретным приводом; ДП — дискретный привод; РО — регулирующий орган; ЯР — ядерный реактор.



347603

от общего генератора импульсов. Особое внимание при создании средств управления с помощью ЦВМ должно быть уделено ядерной безопасности. В связи с этим предусматриваются высоконадежные независимые цепи управления, обеспечивающие формирование необходимых команд при возникновении аварийных ситуаций.

Дискретный привод с силовыми шаговыми электродвигателями. Одним из перспективных направлений развития дискретных систем управления является использование силовых шаговых электродвигателей, имеющих линейную характеристику: число импульсов — угол поворота.

Большое распространение в реакторостроении получил дискретный привод с силовым шаговым электродвигателем, имеющим пассивный ротор [2—4]. Конструкция шагового электродвигателя позволяет относительно просто осуществить герметичное отделение ротора от статора с сохранением зазоров, приемлемых для электрических машин этого типа.

Последнее обстоятельство особенно важно при разработке механизмов управления для реакторов с водой под давлением. К преимуществам силовых двигателей следует также отнести:

увеличение надежности привода в результате значительного упрощения его кинематической схемы;

обеспечение большого диапазона регулирования скорости;

обеспечение высокой точности фиксации регулирующего органа в заданном положении;

возможность реверсирования движения и остановки регулирующего органа без выбега.

Кроме того, шаговый двигатель дает возможность удерживать регулирующий орган в любом положении силами электромагнитного поля, что позволяет отказаться от использования муфт и других удерживающих устройств. При этом надежно обеспечивается режим аварийной защиты.

На рис. 2 приведены структурные схемы приводов с обычным (а) и шаговым (б) электродвигателями.

При использовании шагового электродвигателя отпадает необходимость как в сложном редукторе (шаговый электродвигатель имеет частотное регулирование скорости и по существу является электрическим редуктором), так и в освобождающем устройстве для аварийного введения регулирующего органа в активную зону реактора. Шаговый электродвигатель надежно обеспечивает удержание регулирующего органа в режиме фиксированной установки. При обесточивании его обмоток управления происходит быстрое введение регулирующего органа в активную зону реактора.

При герметичном выполнении шагового двигателя отпадает надобность в использовании уплотнений, значительно снижающих надежность механизма. Кинематическая схема привода упрощается еще больше при использовании шагового электродвигателя в сочетании с регулирующим органом поворотного типа. В этом случае отпадает надобность в преобразователе одного вида движения в другой.

Поступательное перемещение регулирующего органа можно осуществлять с помощью линейного шагового электродвигателя, в котором управляющие импульсы преобразуются в дисcrete поступательные перемещения якоря.

В отличие от общепромышленных шаговых двигателей с шихтованным магнитопроводом шаговые двигатели герметичного исполнения, используемые в приводах управления ядерными реакторами, имеют, как правило, монолитный магнитопровод. Кроме того, такие приводы часто работают при повышенных температурах, радиации и вибрационных нагрузках. Указанные специфические условия приводят к опре-

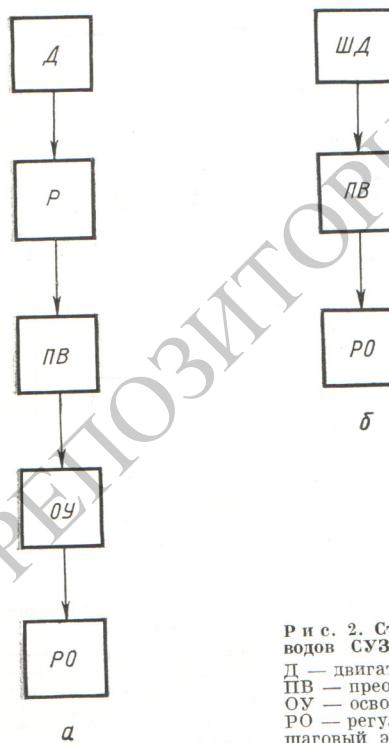


Рис. 2. Структурные схемы приводов СУЗ:

Д — двигатель; Р — редуктор;
ПВ — преобразователь вращения;
ОУ — освобождающее устройство;
РО — регулирующий орган; ШД —
шаговый электродвигатель.

деленным требованиям, предъявляемым к конструированию, расчету и технологии изготовления таких машин.

Для приведения в действие механизмов СУЗ наиболее оптимальным оказался четырехфазный шаговый электродвигатель, у которого под напряжением находятся одновременно две фазы.

Рассмотрим в качестве примера конструкцию шагового электродвигателя, используемого в приводе компенсирующего стержня исследовательского реактора с водой под давлением СМ-2 [5]. Общий вид привода показан на рис. 3.

Компенсирующий стержень находится в воде первого контура реактора. Перемещение стержня осуществляется четырехфазным (четырехсекционным) герметичным шаговым электродвигателем. Преобразователем вращения в приводе является шариковая винтовая пара. Ротор двигателя, расположенный в воде первого контура реактора, отделен от статора немагнитной нержавеющей рубашкой. Шаговый двигатель имеет следующие технические данные:

Зазор между рубашкой и полюсами ротора	0,2 мм
Рабочий зазор на сторону с учетом рубашки	0,6 мм
Материал:	
магнитопровода статора ротора	электротехническая сталь магнитомягкая нержавеющая сталь ОХ17Т (ГОСТ 5949—61)
рубашки	нержавеющая немагнитная сталь X18Н9Т (ГОСТ 5949—61)
Число положений ротора на один оборот	16
Угловой шаг ротора	22°30'
Каждому шагу двигателя соответствует изменение реактивности	0,001 %

В настоящее время накоплен опыт в разработке и эксплуатации силовых шаговых электродвигателей, используемых в механизмах управления ядерных реакторов. Например, рассмотренный шаговый электродвигатель привода компенсирующего стержня реактора СМ-2 эксплуатируется в течение 10 лет. Он установлен на крышке реактора в месте повышенной влажности, где температура окружающего воздуха достигает 40° С и обеспечивает перемещение органов регулирования, работающих в воде первого контура под давлением 50 атм. Режим работы привода компенсирующего стержня следующий: осевая нагрузка на шариковую винтовую пару до 70 кг, скорость перемещения стерж-

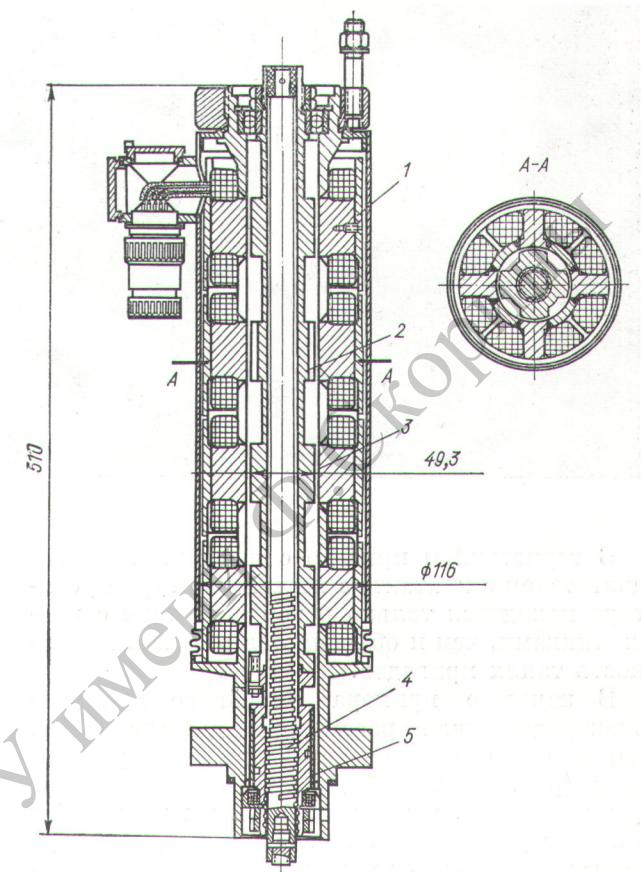


Рис. 3. Общий вид привода компенсирующего стержня реактора СМ-2:

1 — статор; 2 — ротор; 3 — герметизирующая рубашка; 4 — винт; 5 — шариковая гайка.

ня 1,25 мм/сек, частота управляющих импульсов до 25 гц; рабочий ток до 5 а.

В процессе эксплуатации шаговых двигателей приводов компенсирующих стержней один раз в месяц проводились их наружный осмотр и проверка сопротивления изоляции обмоток. Демонтаж, разборка и промывка приводов компенсирующих стержней проводились один раз в 2—3 года в основном из-за засорения шариковой гайки. Таким образом, опыт эксплуатации шаговых электродвигателей на реакторе СМ-2 показал их высокую надежность.

Вместо использования немагнитной рубашки для герметизации ротора шагового двигателя от статора герметичные шаговые электродвигатели изготавливают путем вварки полюсов в герметичный корпус. Это позволяет сохранить нормальный рабочий зазор для машин этого типа и улучшить их характеристики.

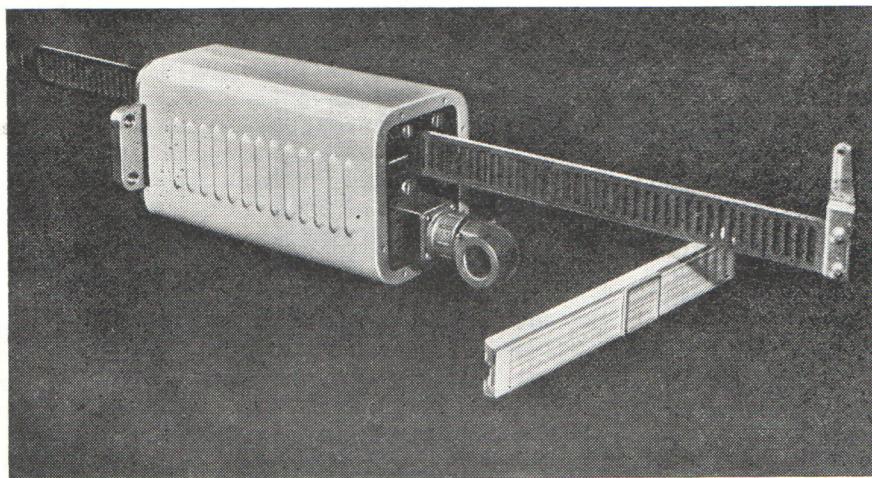


Рис. 4. Общий вид линейного шагового электродвигателя с плоским якорем.

В герметичном приводе с шаговым электродвигателем в контакте с первым контуром реактора находится только ротор двигателя с подшипниками, чем и объясняется высокая надежность таких приводов.

В качестве примера линейного шагового электродвигателя рассмотрим двигатель для перемещения стержня автоматического регулятора (рис. 4). Такой двигатель имеет четыре фазы (секции), каждая из которых несет одну обмотку управления. Магнитопроводы статора двигателя образуют паз, в котором на направляющих качения может перемещаться плоский якорь. На якоре выполнены пазы, образующие зубцовое деление. Такое же зубцовое деление выполнено на полюсах секций статора шагового электродвигателя.

Основной проблемой при разработке линейных двигателей является уменьшение веса якоря. У рассматриваемого линейного двигателя вес якоря составляет $\sim 2\%$ максимального статического усилия. Частота переключения такого двигателя обеспечивает скорость перемещения якоря до нескольких десятков шагов в секунду. Связь якоря со статором осуществляется только силами магнитного поля. Этим объясняется высокая надежность таких приводов.

Тепловые режимы работы шагового электродвигателя. При формированных режимах работы происходит значительное увеличение напряжения питания [6] обмоток двигателя, что приводит к повышению тепловыделения в монолитном магнитопроводе и резкому увеличению нагрева стали двигателя. Кроме того, шаговые двигатели, используемые в реакторостроении,

часто работают в условиях повышенной окружающей температуры (температура воды первого контура реактора, температура в зоне расположения приводов СУЗ и т. п.).

Указанные обстоятельства требуют при разработке шаговых двигателей особенно тщательного анализа тепловых режимов их работы. При конструировании электродвигателей для механизмов управления ядерных реакторов принимаются специальные меры для лучшего отвода тепла, генерируемого в двигателе при его работе. К этим мерам можно отнести использование специальных заливочных масс для отвода тепла от обмоток управления и т. д. В ка-

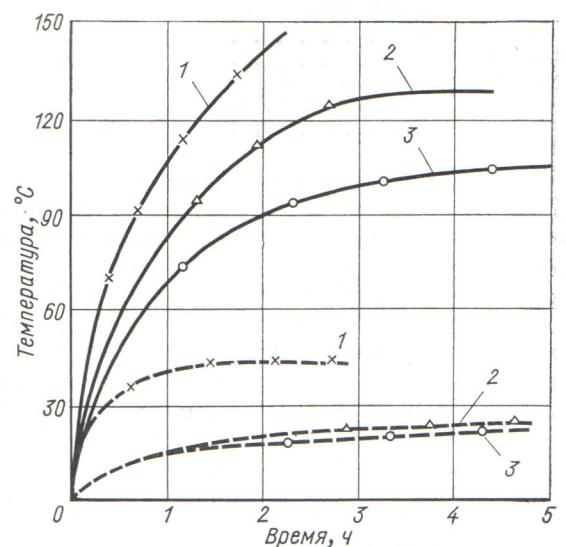


Рис. 5. Температура обмоток шагового двигателя в зависимости от его конструктивного исполнения.

честве примера влияния различных конструктивных мероприятий на отвод тепла от шагового двигателя рассмотрим кривые перегрева шагового электродвигателя механизма АР, представленные на рис. 5 для тормозного (пунктирные кривые) и рабочего (сплошные кривые) режимов.

Кривые 1 представляют двигатель без специальной заливки. Кривые 2 относятся к двигателю, статор которого для лучшего отвода тепла от катушек залит эпоксидным компаундом с наполнителем в виде алюминиевой пудры, что снизило температуру перегрева до 130° С. На залитый эпоксидным компаундом двигатель был установлен дополнительно алюминиевый радиатор, что позволило снизить температуру перегрева двигателя до 105° С (кривые 3).

Следует отметить, что использование принудительного охлаждения приводов не всегда допустимо. В этом случае необходима разработка жаростойкой конструкции двигателя. В настоящее время разработана жаростойкая изоляция обмоточных проводов на рабочие температуры 500—600° С [7].

* * *

Рамки одной статьи не позволяют рассмотреть все многообразие вопросов, связанных с разработкой дискретных приводов для систем управ-

ления ядерными реакторами. В заключение необходимо отметить, что высокие темпы развития ядерной энергетики требуют концентрации усилий в области дальнейшего совершенствования и повышения эффективности дискретных систем управления, являющихся одним из перспективных направлений автоматизации ядерных силовых установок.

Поступила в Редакцию 16/IX 1971 г.
В окончательной редакции 1/I 1972 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. Я. Емельянов, Р. Г. Протиков. «Атомная техника за рубежом», № 11, 9 (1970).
2. Дискретный электропривод с шаговыми двигателями. М., «Энергия», 1971.
3. М. Д. Лабзин. Судовые электроприводы с шаговыми электродвигателями. М., «Судостроение», 1971.
4. А. М. Бамдас и др. Исполнительные электродвигатели и элементы автоматики сервоприводов ядерных реакторов. М., Атомиздат, 1971.
5. С. М. Файнберг и др. (СССР). III Женевская конференция (1964), доклад № 320.
6. В. И. Шубин, В. П. Перфильев, З. Н. Осадченко. «Бюллетень Комитета по делам изобретений и открытий при СМ СССР», № 24, 52 (1969).
7. Химия и практическое применение кремнийорганических соединений. Л., «Химия», 1968.

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Если Вы хотите приобрести отдельные номера журнала «Атомная энергия», извещайте нас об этом за 1,5—2 месяца до выхода интересующего Вас номера в свет (сентябрьский номер заказывайте в июле, октябрьский — в августе и т. д.). Заявки шлите по адресу: 101876, Москва, Центр, ул. Кирова, 18, редакция журнала «Атомная энергия».
