



МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Применение в системах управления автоматизированными электроприводами средств вычислительной техники в виде промышленных контроллеров приводит к тому, что стандартные методы и методики численного моделирования таких систем не дают достаточно достоверных результатов. Особенность таких систем заключается в различном математическом описании цифровой системы управления и аналоговой силовой части электропривода. В статье предлагается методика моделирования, учитывающая специфику построения современных электроприводов.

Электропривод, цифро-аналоговые системы, такт квантования, переходные процессы, численное моделирование.

Применение в системах управления автоматизированными электроприводами средств вычислительной техники, в том числе и промышленных контроллеров, позволяет реализовать практически любой алгоритм управления, если он энергетически обеспечивается силовой частью электропривода. Это, в частности, относится к системам оптимального управления по тому или иному критерию. Сложность алгоритмов управления предполагает в качестве первого шага исследование проектируемой системы методом математического моделирования. Во-первых, указанный подход позволяет сэкономить финансовые ресурсы перед серийным производством электроприводов промышленностью, а во-вторых, не все координаты проектируемой системы управления электроприводом могут быть технически измерены (наблюдаемы) даже при изготовлении опытного образца. Последнее, в том числе, может быть связано с отсутствием на сегодня датчиков измеряемой величины, либо с отсутствием регистрирующей аппаратуры с необходимым быстродействием у разработчика. Кроме того, в натуральных экспериментах нельзя не учитывать зашумленность измеряемой координаты и, возможно, отсутствие четкого алгоритма фильтрации этих шумов, особенно если неизвестен характер их происхождения. Следовательно, метод математического моделирования на первых этапах синтеза является наиболее целесообразным.

При синтезе цифровых систем управления электроприводами разработчику приходится сталкиваться с выбором величины интервала квантования для этой электромеханической системы. Вопросу выбора такта квантования посвящено достаточно большое количество публикаций, например [3–5]. Однако это не является предметом данной статьи, но следует заметить, что динамика электромеханических систем определяется наибольшими постоянными времени объектов управления и наиболее значимыми нелинейностями и упруго-вязкими связями.

Разумеется, что введение тех или иных корректирующих устройств в системы управления электроприводами ведет к компенсации влияния этих больших постоянных времени, но, как известно, физический смысл компенсации (то есть применения корректирующих устройств) заключается в изменении степени форсировки разрабатываемой системы, поэтому получение желаемых (заданных) динамических характеристик систем приводов приходится рассматривать для линейных систем, то есть при работе «в малом». Для электромеханических систем, основную часть времени работающих «в большом», приходится учитывать реальные ограничения (механические, энергетические и др.), накладываемые на систему. В полной мере это касается и систем, оптимальных по быстродействию [2].

Сказанное выше означает, что, во-первых, обычные линейные корректирующие устройства, известные из теории автоматического управления, уже не могут обеспечить заложенный в них алгоритм управления. Во-вторых, даже в линейной системе компенсируют наибольшие постоянные времени, так как именно они определяют поведение системы. Малые постоянные времени либо невозможно точно определить, либо, если это постоянные времени преобразования датчиков обратных связей, их просто невозможно компенсировать (датчик все равно быстрее измерять не будет).

Приведенные рассуждения позволяют сделать вывод, что такт квантования для электромеханических систем целесообразно выбирать не исходя из наименьшей постоянной времени в синтезируемой системе, а из технологических или энергетических ограничений. Более того, выбор интервала квантования меньшего, чем частота коммутации полупроводниковых ключей управляемого преобразователя энергии, вообще не имеет смысла. Это не противоречит известной теореме Шеннона-Котельникова, так как она посвящена вопросам восстановления ин-

формации по дискретным выборкам сигнала и не рассматривает частотные характеристики канала передачи информации, а электромеханические системы, в том числе и системы электропривода, как раз и исполняют роль этого канала передачи. Отсюда следует, что величина такта квантования в любой реальной системе электропривода будет больше, а, возможно, и значительно больше по сравнению с самой малой постоянной времени системы.

Однако при численном моделировании для обеспечения необходимой точности и устойчивости машинного решения шаг интегрирования приходится выбирать как можно меньше, и уж, разумеется, меньше, чем самая малая постоянная времени в моделируемой системе.

Таким образом, объект управления в виде электромеханической системы (системы электропривода в частности) представляет собой аналоговую часть системы, а система управления – дискретную, причем со своим интервалом дискретизации. Отсюда аналоговая часть будет описываться системой дифференциальных уравнений, численное интегрирование которых будет производиться с достаточно малым шагом интегрирования, а цифровая система управления – системой разностных уравнений со своим интервалом расчета (тактом квантования).

Чтобы максимально достоверно провести численное моделирование такой цифро-аналоговой системы, желательно в модели реализовать эту указанную особенность.

Поэтому система управления должна описываться разностными уравнениями с требуемым тактом квантования, т.е. фактически полностью копировать управляющую ЭВМ. Далее предлагается следующий алгоритм.

Синтезируется программное обеспечение для решения дифференциальных уравнений, описывающих поведение аналоговой части (то есть объекта управления) с реализацией того или иного метода численного интегрирования, выбирается величина шага интегрирования из условий достижения точности результатов и устойчивости машинного решения. Однако величина шага интегрирования должна быть кратна целому числу от величины интервала квантования.

Общая методика моделирования цифровых систем управления электроприводами предполагает вначале вычисление управляющего воздействия с выбранным тактом квантования путем решения разностного уравнения, а затем передачу этого вычисленного сигнала управления в аналоговую часть и расчет переходных процессов в аналоговой подсистеме с выбранным шагом интегрирования, при этом сигнал на входе объекта управления в течение текущего такта квантования считается неизменным. По сути, после выдачи сигнала управления в текущем такте квантования и до следующего такта система будет находиться в разомкнутом состоянии (или в состоянии без управления), но реально так и происходит в системах числового программного управления (ЧПУ).

Более подробно обобщенный алгоритм выглядит следующим образом (рис.).

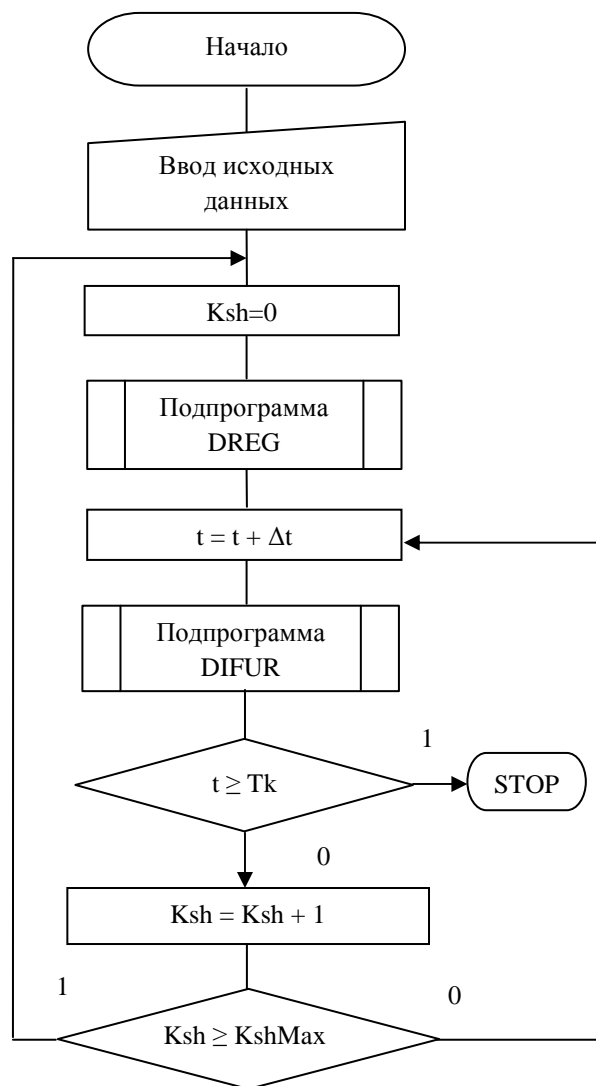


Рис. Алгоритм моделирования цифровой системы управления

После ввода исходных данных, таких как параметры двигателя, параметры управляемого преобразователя энергии датчиков обратных связей, цифро-аналогового преобразователя, а также величин шага интегрирования Δt , такта квантования, конечного времени расчета T_k и, возможно, некоторых других, в следующем блоке алгоритма величина количества шагов интегрирования на интервале квантования цифровой системы управления K_{sh} приравнивается к нулю. Как было сказано выше, величина K_{shMax} должна быть кратна целому числу Δt . Далее управление передается в подпрограмму расчета разностного уравнения, описывающего цифровую систему управления DREG. Естественно, в зависимости от требований технологического процесса разностные уравнения будут различны, поэтому здесь конкретного разностного уравнения не приводится, но это не изменяет методику моделирования цифро-аналоговой системы электропривода.

Следующим действием в алгоритмическом обеспечении является расчет переходного процесса в силовой (то есть аналоговой) части электропривода

путем решения соответствующей системы дифференциальных уравнений (подпрограмма DIFUR), описывающих поведение аналоговой части. Здесь также не приводится конкретного математического описания, так как оно определяется типом объекта управления (электропривода и механизма). После проверки условия на предмет достижения заданного времени моделирования ($t \geq T_k$) осуществляется либо остановка программы, либо увеличение количества шагов интегрирования K_{sh} на единицу, проверка на достижение максимального значения K_{shMax} и, если условие не выполняется, то управляющее воздействие остается без изменений, либо вычисляется новое значение выходного сигнала цифровой системы управления.

Предлагаемая методика прошла успешную апробацию автором настоящей статьи в системах, описанных в главах 5–16, 5–17 и 6–9 (нумерация согласно изданию) [1], хотя сама методика в указанном издании практически не описана. Там не дается никаких рекомендаций по соотношению величины интервала квантования и шага интегрирования, а также, что цифровая система управления и аналоговый объект моделируются в одной программе по-разному. Однако применение этой методики, на взгляд автора, позволит максимально точно смоделировать поведение электроприводов с управлением от системы ЧПУ, получить детальную информацию о поведении внутренних координат системы и, возможно, обеспечит ускорение проектно-конструкторских и пуско-наладочных работ.

Литература

1. Башарин, А. В. Примеры расчета автоматизированного электропривода на ЭВМ: учеб. пособие для вузов / А. В. Башарин, Ю. В. Постников. – 3-е изд. – Ленинград: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. – 512 с.
2. Федотовский, С. Б. Синтез оптимальной цифровой системы управления нелинейными электромеханическими объектами / С. Б. Федотовский, О. А. Шахов // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования: материалы XII междунар. науч.-техн. конф. – Вологда, 2017. – С. 236–240.
3. Федотовский, С. Б. Методика расчета величины такта квантования для систем управления электромеханическими объектами / С. Б. Федотовский // Актуальные проблемы науки и практики в различных отраслях народного хозяйства: сборник докладов национальной науч.-практ. конф. Ч. 4: Технические науки. – Пенза, 2018. – С. 164–169.
4. Федотовский, С. Б. К выбору такта квантования при синтезе цифровых систем управления электроприводами / С. Б. Федотовский // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования: материалы XIII междунар. науч.-техн. конф. – Вологда, 2018. – С. 254–258.
5. Basharin, A. V. Principles of developing digital systems to control electric drivers, based in microprocessors / A. V. Basharin, L.P. Kozlova, S. B. Fedotovskij // Электротехника. – 1994. – № 2. – С. 54–58.

S.B. Fedotovskij
Vologda State University

TECHNIQUE OF SIMULATION OF ELECTRIC DRIVES DIGITAL SYSTEMS

The application of the computer aids in the form of industrial controllers in management systems of the automated electric drives leads to the fact that standard methods and techniques of computational modeling of such systems do not give reliable results. The feature of such systems is in different mathematical description of a numerical control system and an analog power part of the electric drive. The modeling technique considering specifics of creation of modern electric drives is presented in the article.

Electric drive, digital-to-analog systems, quantization clock period, transition processes, computational modeling.