

Эти уравнения содержат два резистивных тока i_1, i_3 . Исключив эти токи, получим для переменных u_c и i систему:

$$R_4 u_c = -i_L [(R_1 + R_2)(R_3 + R_4) + R_3 R_4] - u_L (R_3 + R_4) + e (R_3 + R_4) + J [R_1 (R_3 + R_4) + R_3 R_4]$$

$$R_4 i_c = i_L (R_1 + R_2 + R_4) + u_L - e - (R_1 + R_4) J$$

Дифференцируем первые уравнения и с учетом $i_c = C u_c$, получим ОДУ:

$$LC(R_1 + R_3) i_L'' + \{L + C[(R_1 + R_2)(R_3 + R_4) + R_3 R_4]\} i_L' + (R_1 + R_2 + R_4) i_L = e + (R_1 + R_4) J + e C(R_3 + R_4) + J C [R_1 (R_3 + R_4) + R_3 R_4].$$

ЛИТЕРАТУРА

1 Зевеке, Г. В. Основы теории цепей / Г. В. Зевеке, П. А. Ионкин, А. В. Нетушил, С. В. Страхов. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 525 с.

2 Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники / Л. А. Бессонов. - М.: Гардарики, 2002. - 638 с.

3 Гарошка, У. І., Тэарэтычныя асновы электратэхнікі. Метадычныя указанні / У. І. Гарошка, А. І. Аляксандраў. - Мн.: БДТУ, 2009.

УДК 681.513

М. С. Шмаков, доп., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

О ПОДХОДЕ К УПРАВЛЕНИЮ ШАГОВЫМИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ

При обработке исполнительными устройствами заданных траекторий с высоким быстродействием возможно несколько подходов к управлению шаговыми двигателями (ШД). Один из них связан с реализацией законов изменения координат и скоростей степеней подвижности [1, 2] и др. Его можно осуществить в разомкнутой системе управления [3, 4]. Однако при этом не учитываются изменения нагрузки на валу ШД, а также возмущения, действующие на систему. В этом случае возможны потери шагов и выходы ШД из синхронизма при некоторых режимах (большие набросы частоты, реверсы). Для устойчивой обработки заданных траекторий необходимо занижать частоты коммутации фаз двигателей. Разгон и торможение ШД при таком подходе осуществляется с помощью равномерного, скачкообразного (ступенчатого) или экспоненциального изменения частоты. Эти показатели меняются с изменением моментов инерции и сопротивления. Поэтому они рассчитываются для самого тяжелого режима, чтобы гарантировать устойчивую работу ШД. В этом случае часть вводимой в двигатель энергии тратится на подтормаживание на значительной части шагов, что приводит к уменьшению быстродействия.

Повышения быстродействия ШД достигают введением контроля перемещения ШД, используя режим автокоммутиации, когда сигналы коммутации формируются по мере отработки очередного шага [1–4].

Более гибкое управление ШД при многотактной системе коммутации можно построить в замкнутой системе управления, используя контроль рассогласования осей магнитных полей статора и ротора.

Работа системы управления происходит следующим образом. В памяти системы управления организуется область, куда заносится предварительно рассчитанная информация о характере вращения ШД. Она разбита на блоки, каждый из которых характеризует определенный участок вращения. В блоке хранятся коды режимов вращения ШД (прямой, реверсный), числа шагов, начальной угловой скорости, углового ускорения на i -м участке.

Отработка участков происходит последовательно. Информация о первом участке загружается в рабочую программу. Микроконтроллер (МК) устанавливает режим работы (прямой, реверсный) и вырабатывает импульсы требуемой частоты, подаваемые на драйвер. С драйвера управляющие сигналы поступают на соответствующие фазы статора ШД. Таким образом, осуществляется преобразование кода в угол поворота вала двигателя. После отработки первого участка в рабочую программу загружается информация о следующем участке траектории и процесс отработки повторяется. Это происходит до тех пор, пока не будут отработаны все шаги на всех участках. Следует отметить, что управляющие импульсы на драйвер подаются после контроля в МК рассогласования между осями магнитных полей статора и ротора.

Рассмотрим особенность функционирования алгоритма управления ШД. Известно, что при больших скоростях изменения частот коммутации фаз при разгоне ШД, а также при различных возмущениях M_c возможно отставание оси ротора от оси магнитного поля статора, достигающее более 90° . При этом на ротор действует момент $M_1 < M_{max}$, который уменьшается при дальнейшем отставании. Это может привести к потере шагов либо к выходу ШД из синхронизма. В режиме торможения, при резком уменьшении частоты коммутации, ротор может опережать поле статора на угол более 90° электрических градусов. В этом случае на ротор действует момент $|-M_2| < |-M_{max}|$, который уменьшается по модулю при дальнейшем опережении. Тогда вероятно отработка лишних шагов либо выход ШД из синхронизма. Это возможно, когда ШД нагружен на большую нагрузку и работает в режиме переменных скоростей и реверсов.

В подобных тяжелых динамических режимах необходимо ввести в ШД максимальную энергию для преодоления рассогласования между осями статора и ротора, т. е. электродвигатель должен работать в области максимальных значений электромагнитного момента. Поэтому предложено после подачи на драйвер каждого импульса контролировать в МК положение осей магнитных полей статора и ротора. При рассогласовании между осями менее 90° на драйвер подается следующий импульс с МК. Если же ротор отстает от поля статора на угол более 90° , очередной импульс на драйвер не подается до тех пор, пока рассогласование между осями магнитных полей статора и ротора не станет меньше 90° . При этом на ротор действует M_3 , близкий по величине к M_{3max} , создающий большое ускорение, рассогласование становится меньше 90° и МК разрешает работу драйвера. В случае, если ротор опережает поле статора на угол больший 90° , МК подает на драйвер импульс, корректирующий положение магнитных осей (рассогласование между осями становится меньше 90°) и затем разрешает работу драйвера. Тогда на ротор будет действовать момент $-M_3$, близкий по величине к M_{3max} , создающий большое отрицательное ускорение, тормозящее ротор. Так как контроль рассогласования осей происходит после каждого такта коммутации, то максимальная величина рассогласования не превышает заданной.

Данный алгоритм дозированной подачи энергии в двигатель позволяет адаптироваться к переменной нагрузке, он является инвариантным к различным возмущениям. При этом подходе исключены потери шагов и выход ШД из синхронизма. В отличие от алгоритма управления ШД, когда управляющие импульсы вырабатываются по сигналу с ДП о прохождении ротором шага, данный алгоритм дает возможность более полно использовать динамические возможности ШД, повысить энергетические показатели и коэффициент полезного действия двигателя. При высоком быстродействии отработки предписанных законов движения динамическая ошибка сохраняется в заданных пределах в течение всего процесса работы ШД, независимо от действующих возмущений. Ее можно уменьшить, уменьшив задаваемый диапазон рассогласования осей статора и ротора. Если требуется организовать предельный по быстродействию разгон или торможение, то алгоритм управления обеспечивает значения электромагнитного момента, близкие к максимальным. Для улучшения точности позиционирования можно осуществить дробление основного шага двигателя (работа в режиме микрошага). Путем программирования микроконтроллера можно реализовать различные алгоритмы управления ШД. Например, можно организовать режим автокоммутации, т. е.

контролировать отработанные двигателем шаги и не контролировать рассогласование между осями магнитных полей статора и ротора. При малых нагрузках данную систему управления можно использовать в разомкнутом варианте. Это позволит осуществить наиболее простой способ управления ШД. Предложенная методика управления ШД была реализована с использованием шестифазного двигателя ШД-5Д1МУЗ.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Афонин, А.А. Электромагнитный привод робототехнических систем / А.А. Афонин и др. - Киев: Наукова думка, 1986.
- 2 Кенио, Т. Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления / Т. Кенио. - М.: Энергоатомиздат, 1987.
- 3 Гумен, В.Ф. Следящий шаговый электропривод / В.Ф. Гумен. - Л.: Энергия, 1980.
- 4 Чиликин, М. Г. Дискретный электропривод с шаговыми двигателями / М.Г. Чиликин и др. - М.: Энергия, 1971.

УДК 669.27:519

Л. И. Григорьев, проф., д-р техн. наук; И. А. Седых
(РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, г. Москва)

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ И МОНИТОРИНГА НАДЕЖНОСТИ АСДУ (АСУТП)

В последние годы в газовой отрасли произошел качественный скачок в области автоматизации и информатизации систем управления, который привел к кардинальному изменению информационно-программного и аппаратного обеспечения диспетчерских служб. В этих условиях обеспечение надежности отдельных элементов газоснабжения и системы диспетчерского управления превратилось из желательного фактора в обязательное требование. Проблема заключается в том, что для решения этой задачи необходимо учитывать как надежность технологического оборудования, надежность измерительных систем, надежность систем автоматики и телемеханики, так и надежность человеко-машинных систем управления, в которых человек, т.е. диспетчер управляет всеми технологическими процессами, а машина, т.е. ЭВМ и совокупность программных средств реализуют решение режимно-технологических задач. Решение этой проблемы практически состоит в создании методов и моделей оценки надежности систем автоматизированного диспетчерского управления и создания на этой основе подсистемы оценки надежности АСДУ (АСУТП) для различных подотраслей газовой индустрии.