

УПРАВЛЕНИЕ ШАГОВЫМИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ ПОЛИГРАФИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

The paper is devoted to system engineering of management step electric motors of the polygraphic equipment. The algorithm of management using the control of a mismatch of axes of magnetic fields stator and a rotor is developed.

В полиграфическом оборудовании могут применяться электрические двигатели постоянного тока, шаговые, асинхронные. Двигатели постоянного тока уступают по надежности двум последним типам из-за наличия щеточно-коллекторной системы. Асинхронные двигатели сложны в управлении при реализации плавного изменения скорости в широком диапазоне, хотя в последние годы эти проблемы в основном решены. Шаговые двигатели (ШД) достаточно надежны и просты в управлении, поэтому они применяются в различных устройствах полиграфического оборудования: для ориентации пространственного положения формных цилиндров, выполнения приводов цилиндров печатного аппарата, в двухкоординатных принтерах и плоттерах и др. Реализовать управление исполнительными шаговыми двигателями указанных устройств можно при использовании в системе управления вычислительных устройств на микропроцессорах, позволяющих осуществлять гибкое управление [1, 2].

При обработке исполнительными устройствами заданных траекторий с высоким быстродействием возможно несколько подходов к управлению ШД. Один из них связан с реализацией оптимальных законов изменения электромагнитных моментов ШД. Данный подход сталкивается с существенными трудностями, определяемыми дискретным характером изменения магнитного поля ШД. Система управления с организацией такого управления является чувствительной к изменениям параметров и к возмущениям [3].

Для получения оптимальных моментов следует переходить к переменной системе коммутации и дроблению основного шага двигателя. При этом усложняются коммутатор и алгоритмы управления ШД. Подобный метод управления ШД, когда определяются оптимальные магнитные потоки всех обмоток статора и со-

ответственно устанавливается последовательность включения фаз для отработки зависимости угла поворота от момента, приведен в [2]. В данном методе не предъявляется жестких требований к скорости вращения ШД.

Другой подход к управлению ШД 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 отработки заданных траекторий необходимо снижать 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 автокоммутации, когда сигналы коммутации формируются по мере отработки очередного шага [1-4] и др.

Более гибкое управление ШД при многотактной системе коммутации можно построить, используя контроль рассогласования осей магнитных полей статора и ротора. Алгоритм такого управления рассмотрен ниже. В общем виде структура системы управления ШД изображена на рис. 1.

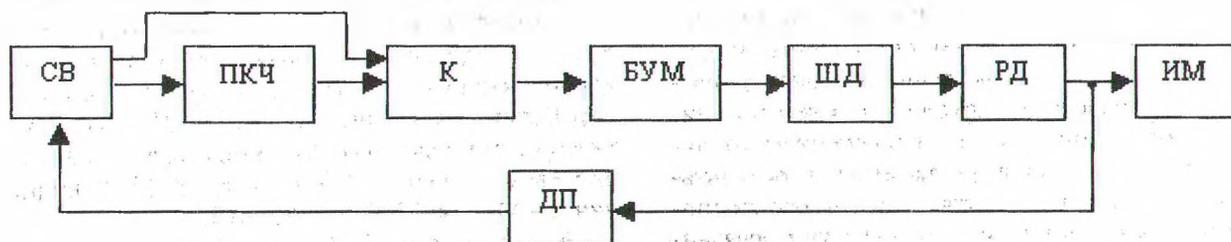


Рис. 1. Структура системы управления ШД

Здесь СВ — специализированный вычислитель; ПКЧ — преобразователь код — частота (реализуемый программно или аппаратно); К — коммутатор; БУМ — блок усиления мощности; ШД — шаговый двигатель; РД — редуктор; ИМ — исполнительный механизм; ДП — датчик положения.

Работа системы управления происходит следующим образом. В оперативном запоминающем устройстве СВ организуется область памяти, 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 (N_i), начальной угловой скорости (F_{0i}), углового ускорения (W_i) на i -м участке (рис. 2).

Обработка участков происходит последовательно. Информация о первом участке загружается в рабочую программу. СВ устанавливает режим работы К (прямой, реверсный). ПКЧ по команде с СВ вырабатывает импульсы требуемой частоты, подаваемые на К. Эта унитарная последовательность импульсов преобразуется на выходах К в ряд последовательностей импульсов, усиленных с помощью электронной форсировки до необходимой величины в БУМе, и поступает 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 К подаются после контроля в СВ рассогласования между осями магнитных полей статора и ротора.

Режим вращения ШД		
Участок		
1	2	i
N_1	N_2	N_i
F_{01}	F_{02}	F_{0i}
W_1	W_2	W_i

Рис. 2. Схема организации памяти в оперативном запоминающем устройстве

Система управления ШД должна обеспечить высокое быстродействие. Для достижения этой цели программа управления ШД, реализующая предложенный способ управления, разбита на две независимые ветви, соответствующие прямому и реверсному вращению двигателя. В свою очередь, каждая ветвь делится на две самостоятельные части для организации режимов ускорения и торможения ШД.

Таким образом, в каждый момент времени работает только небольшой участок программы. Подобное разбиение управляющей программы на небольшие независимые части уменьшает время ее обработки, что, в свою очередь, увеличивает скорость управления двигателем в режиме реального времени.

Для выяснения особенностей функционирования алгоритма управления рассмотрим его совместно с характеристиками статических электромагнитных моментов M_s ШД при двенадцатитактной системе коммутации фаз статора (рис. 3). При этом электрический шаг ШД равен 30° . Пусть направление вращения ШД соответствует положительному направлению отсчета углов θ на рис. 3.

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

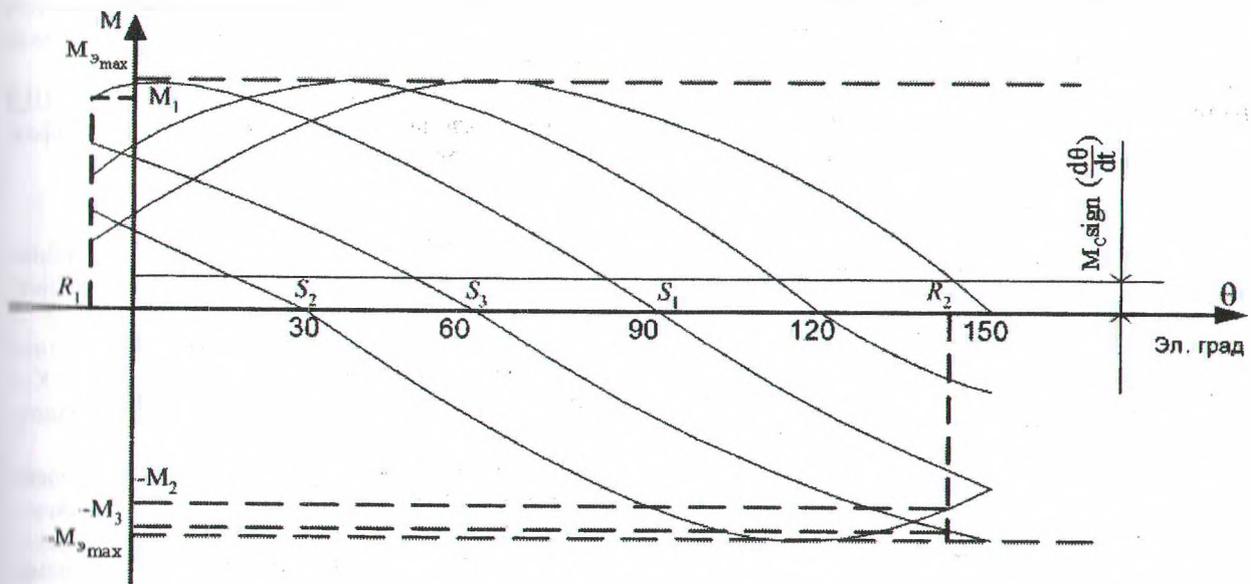


Рис. 3. Идеализированные характеристики статических электромагнитных моментов ШД

поля статора, достигающее более 90° [2]. Это соответствует ситуации на рис. 3, когда положение оси ротора определяет, например, точка R_1 , а положение оси статора — S_1 . При этом на ротор действует момент $M_1 < M_{\Sigma_{\max}}$, 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. Такой режим будет наблюдаться, например, когда положению оси ротора на рис. 3 соответствует точка R_2 , а положению оси статора — S_2 . В этом случае на ротор действует момент $|-M_2| < |-M_{\Sigma_{\max}}|$, который уменьшается по модулю при дальнейшем опережении. Тогда вероятны 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 вводить 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 К каждого импульса контролировать в СВ положение осей магнитных полей статора и ротора.

При рассогласовании между осями менее 90° на К подается следующий импульс с ПКЧ. Если же ротор отстает от поля статора на угол более 90° , СВ блокирует ПКЧ и очередной импульс на К не подается до тех пор, пока рассогласование между осями магнитных полей статора и ротора не станет меньше 90° .

Так как контроль рассогласования осей происходит после каждого такта коммутации, а электрический шаг двигателя составляет 30° , то максимальная величина рассогласования не превышает 120° . При этом на ротор действует M_{Σ} , близкий по величине к $M_{\Sigma_{\max}}$, как видно из рис. 3, создающий большое ускорение, рассогласование становится меньше 90° и СВ разрешает работу ПКЧ.

В случае, если ротор опережает поле статора на угол, больший 90° , СВ блокирует ПКЧ и подает на К импульс, корректирующий положение магнитных осей (рассогласование между осями становится меньше 90°), и затем разрешает работу ПКЧ. Тогда оси статора будут соответствовать точка S_3 на рис. 3, на ротор будет действовать момент $-M_{\Sigma}$, близкий по величине к $M_{\Sigma_{\max}}$, создающий большое отрицательное ускорение, тормозящее ротор.

Данный алгоритм управления 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 шагового 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).

Структурная схема системы управления двигателем (рис. 1) позволяет реализовать различные алгоритмы управления ШД. Ее можно использовать для организации режима автокоммутации, т. е. контролируя отработанные двигателем шаги и не контролируя рассогласование между осями магнитных полей статора и ротора. Для этого требуется изменить управляющую программу.

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. Электромагнитный привод робототехнических систем / А. А. Афонин [и др.]. — Киев: Наукова думка, 1986. — 272 с.
2. Кенио, Т. Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления / Т. Кенио; пер. с англ. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 200 с.
3. Гумен, В. Ф. Следящий шаговый электропривод / В. Ф. Гумен, Т. В. Калининская. — Л.: Энергия, 1980. — 168 с.
4. Дискретный электропривод с шаговыми двигателями / Б. А. Ивоботенко [и др.]; под общ. ред. М. Г. Чиликина. — М.: Энергия, 1971. — 624 с.