

Контроллер микрошагового управления двухфазным шаговым двигателем

с электрическим дроблением основного шага

В статье рассматривается контроллер микрошагового управления с электрическим дроблением основного (конструктивного) шага двухфазного шагового двигателя, построенного на базе однокристального микроконтроллера с двумя встроенными цифроаналоговыми преобразователями. Гибкость и универсальность программирования микроконтроллеров допускают существенную модификацию системы управления относительно простыми программными средствами, без усложнения аппаратного содержания, обеспечивают низкое потребление электроэнергии и повышают надежность и долговечность работы системы.

Норик Петросян

npetrosyan@seua.am

Петуш Ширинян

pshiriyam@seua.am

Способы управления фазами шагового двигателя

Известны следующие способы электрического дробления основного (конструктивного) шага при управлении фазами шагового двигателя (ШД) [1, 4, 5]:

- естественное дробление: полношаговый и полушаговый режимы;
- искусственное дробление: микрошаговый режим.

Изменение цены шага при естественном дроблении достигается исключительно за счет изменения комбинации включения обмоток ШД. На рис. 1 приведены номограммы векторов статического (вращающего) момента в соответствующих режимах.

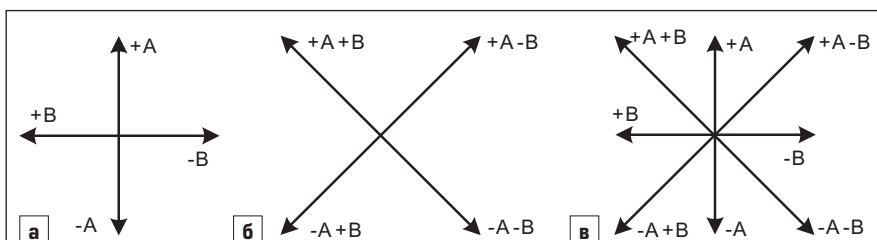


Рис. 1. Естественные режимы коммутации фаз двухфазного ШД: а) полношаговый с включением одной фазы; б) полношаговый с включением двух фаз; в) полушаговый

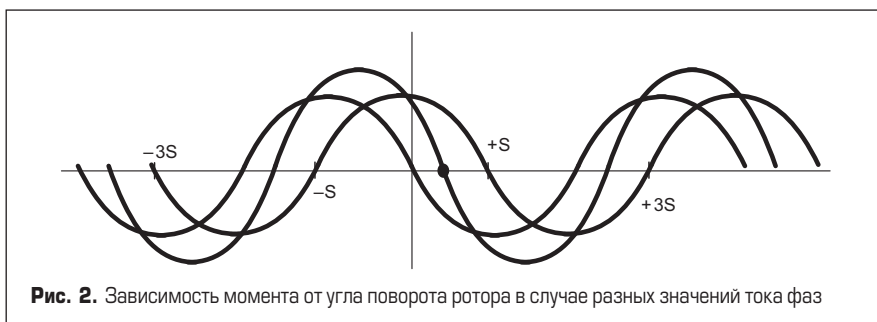


Рис. 2. Зависимость момента от угла поворота ротора в случае разных значений тока фаз

По сравнению с полношаговым режимом полушаговый имеет следующие преимущества:

- более высокая разрешающая способность без применения более дорогих двигателей;
- меньшие проблемы с явлением резонанса. Резонанс приводит лишь к частичной потере момента, что обычно не мешает нормальной работе привода.

Недостатком естественных режимов дробления является небольшой коэффициент дробления, а также довольно значительное колебание вращающего момента от шага к шагу. В тех положениях ротора, когда запитана одна фаза, момент составляет примерно 70% от полного, когда запитаны две фазы. Эти колебания могут явиться причиной повышенных вибраций и шума.

Искусственное дробление шага предполагает одновременное управление током не менее чем в двух фазах ШД [1, 5]. Чтобы получить нужное направление магнитного поля, необходимо выбрать не только правильное направление токов в катушках, но и правильное соотношение этих токов.

Если одновременно запитаны две обмотки двигателя, но токи в этих обмотках не равны (рис. 2), то результирующий момент $M = (M_A^2 + M_B^2)^{0.5}$, а точка равновесия ротора сместится в точку $x = (S/(\pi/2)) \times \arctan(M_B/M_A)$, где M_A и M_B — момент, создаваемый первой и второй фазой соответственно, M — результирующий момент удержания, x — положение равновесия ротора в радианах, S — угол шага в радианах.

Смещение точки равновесия ротора говорит о том, что ротор можно зафиксировать в любой произвольной позиции. Для этого нужно лишь правильно установить отношение токов в фазах. Именно этот факт используется при реализации микрошагового режима. К тому же меньший угол шага способен обеспечить более точное позиционирование.

Существует много различных микрошаговых режимов, с величиной шага от 1/3 полного шага до 1/32 и даже меньше.

Функции изменения токов в фазах выбирается при этом таким образом, чтобы исходные статические характеристики в совокупности обеспечивали постоянство амплитуды и формы статического (вращающего) момента ШД (рис. 3). Это возможно только если кривые статического момента, создаваемые отдельными фазами ШД, и суммарная статическая характеристика будут синусоидальными функциями угла рассогласования (рис. 4) между осями полюсов магнитных полей статора и ротора [1, 2].

В общем случае микрошаговый режим управления ШД позволяет, в зависимости от задаваемого коэффициента дробления основного шага ШД, увеличить приемистость (приемистость — это наибольшая частота управляющих импульсов, при которой не происходит потери или добавления шага при их отработке), значительно уменьшить величину обрабатываемых единичных шагов и тем самым повысить точность позиционирования, исключить ударные нагрузки в механической части дискретного привода и существенно улучшить плавность его хода, устранить резонансные явления [1, 4].

Структурная блок-схема устройства микрошагового управления двухфазным ШД

Структурная блок-схема устройства микрошагового управления двухфазным ШД приведена на рис. 5. Входной контроллер вырабатывает определенную последовательность импульсов, которую логический блок использует для формирования адресов ячеек постоянного запоминающего устройства (ПЗУ), в которых хранятся коды фазных токов ШД текущего шага. С выхода ПЗУ эти коды загружаются в цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП), на выходах которых формируются напряжения, пропорциональные токам фаз ШД. Эти напряжения усиливаются линейными усилителями мощности (ЛУМ) и через коммутаторы подаются на обмотки ШД. Одновременно логический блок вырабатывает коды управления коммутаторами, обеспечивая правильность подключения обмоток ШД к выходам ЛУМ.

В современных системах управления ШД управляющий контроллер (часть блок-схемы, выделенная серым цветом) выполняется либо в виде дорогостоящей специализированной микросхемы, возможности которой ограничены (в смысле изменения коэффициента дробления), либо используются микроконтрол-

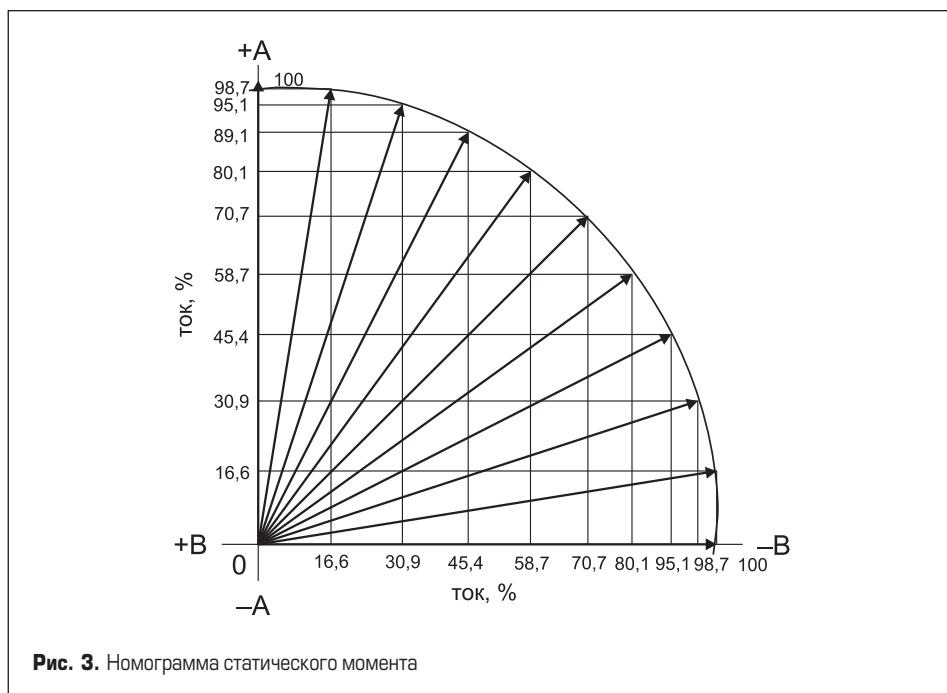


Рис. 3. Номограмма статического момента

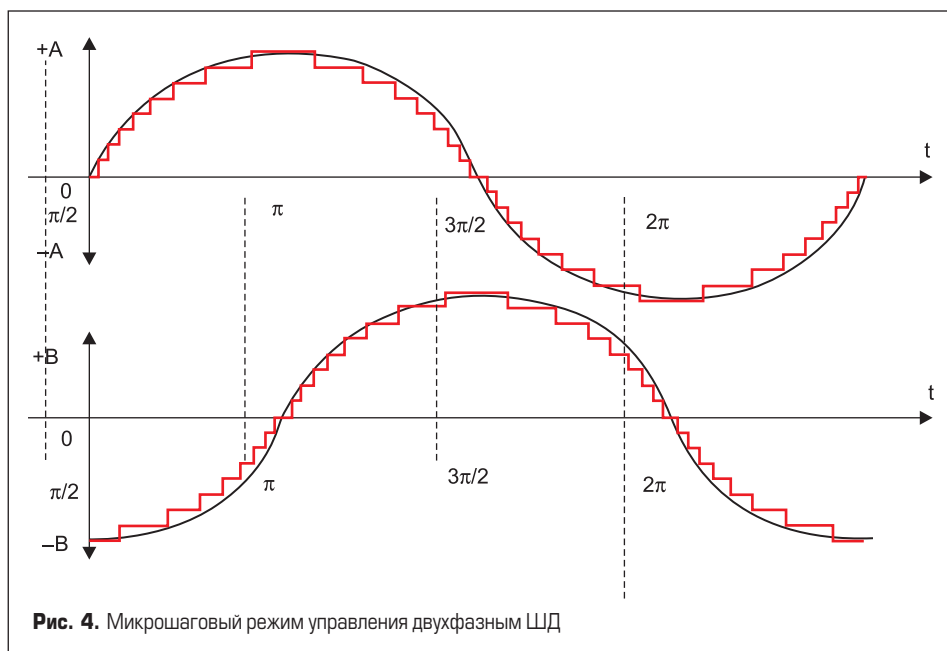


Рис. 4. Микрошаговый режим управления двухфазным ШД

леры (МК). Современные МК имеют встроенные таймеры, ЦАП и т. д., которые можно использовать для реализации микрошагового режима практически с любым коэффициентом дробления (программными средствами без усложнения аппаратного содержания) взамен специальных контроллеров [2, 4].

Функциональная схема устройства микрошагового управления двухфазным ШД

Функциональная схема устройства микрошагового управления двухфазным ШД, контроллер которого реализован на МК,

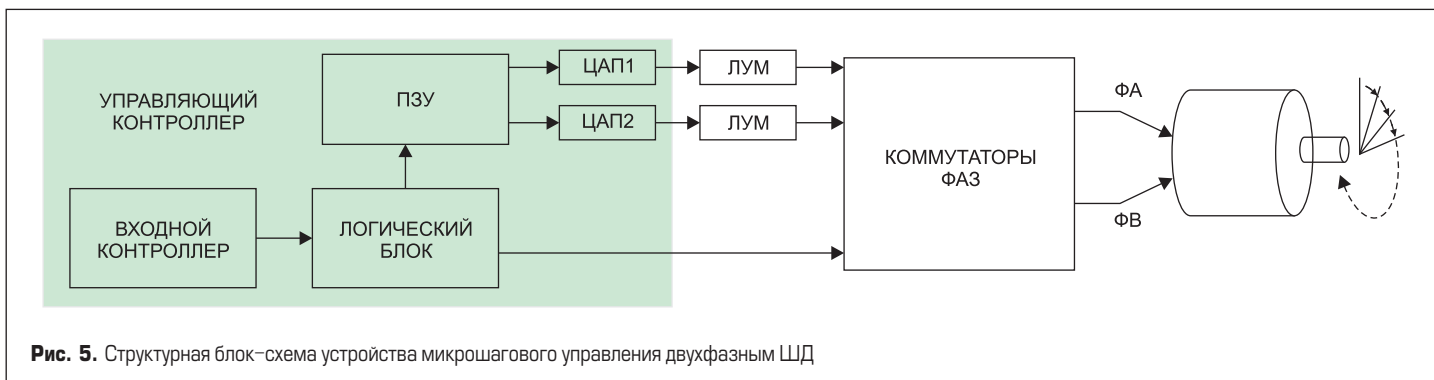


Рис. 5. Структурная блок-схема устройства микрошагового управления двухфазным ШД

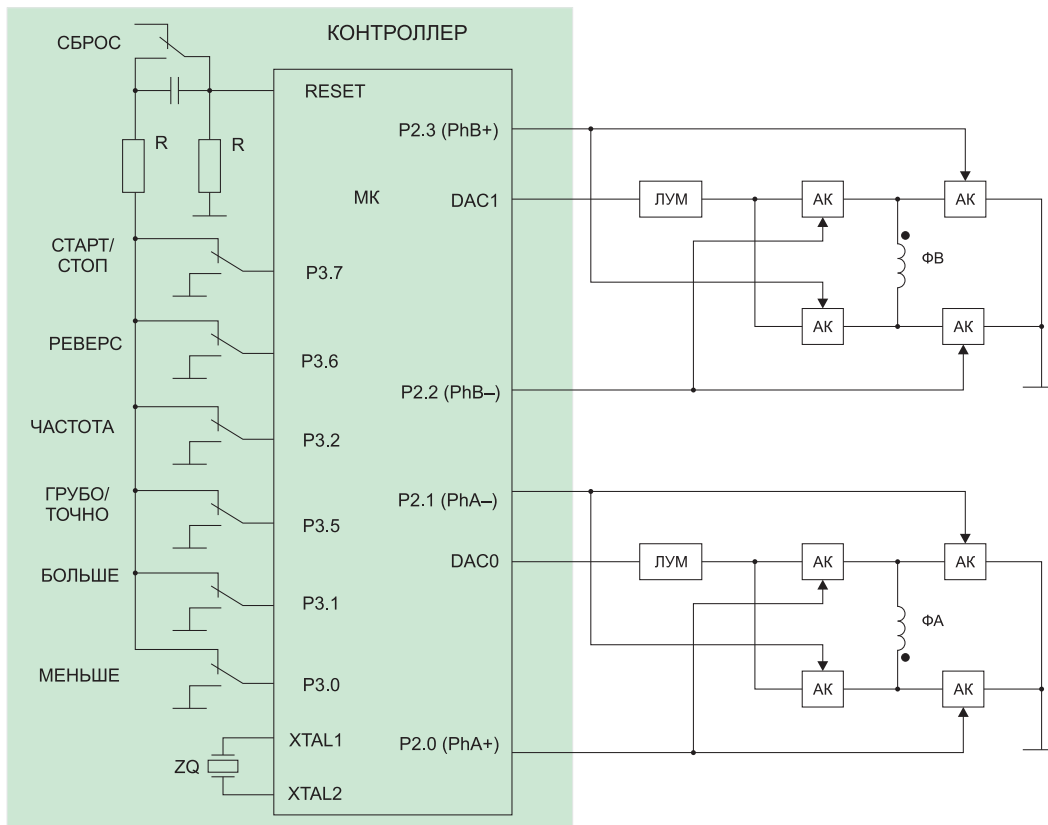


Рис. 6. Функциональная схема микроконтроллерного устройства микрошагового управления двухфазным ШД: МК — микроконтроллер; ЛУМ — линейный усилитель мощности; АК — аналоговый ключ; ФА, ФВ — обмотки фаз ШД

приведена на рис. 6. В устройстве использован микроконвертер ADuC812 [3, 7].

Выбор АК и ЛУМ определяется типом ШД (значениями фазных токов и напряжений питания).

Использование ресурсов микроконвертера:
 P3.0 — уменьшение частоты вращения;
 P3.1 — увеличение частоты вращения;
 P3.2 — запрос внешнего прерывания (INT0) — установка частоты вращения ШД;
 P3.3 — запрос внешнего прерывания (INT1) — установка направления вращения;

P3.5 — «0» — точно, «1» — грубо;
 P3.6 — реверс;
 P3.7 — «0» — STOP, «1» — START;
 DAC0 — выход первого ЦАП;
 DAC1 — выход второго ЦАП;
 P2.3–P1.0 — порт вывода кода управления аналоговыми коммутаторами (АК);
 T2 — таймер — формирователь длительности дробного шага;
 F0 — пользовательский флаг направления;
 F1 — флаг останова таймера 2.

В таблице приведены коды управления АК, выходные значения напряжений ЦАП1 и ЦАП2 для каждого шага дробления, а также последовательность переключения фаз.

Алгоритм программы управления

На основании функциональной схемы и в соответствии с приведенной таблицей управляющих кодов разработан алгоритм программы управления, приведенный на рис. 7.

Таблица. Управляющие сигналы МК и кривые фазных токов ШД

Номер такта	Управляющие сигналы*				Hex Code	DAC0 Фаза А	DAC1 Фаза В	Последовательность переключения фаз ШД
	PhA+	PhA-	PhB+	PhB-				
1–10	0/1	1/0	1/0	0/1	06/09			
11–20	1/0	0/1	1/0	0/1	0A/05			
21–30	1/0	0/1	0/1	1/0	09/06			
31–40	0/1	1/0	0/1	1/0	05/0A			

Примечание: * — значения в числителе соответствуют режиму вращения «ПО», в знаменателе — «ПРОТИВ»

Программа управления

Программа управления написана на языке Assembler для Intel-MCS51-совместимых микроконтроллеров [5] и отлажена в интегрированной среде разработки приложений Keil-µVision3, основное окно которой с результатами отладки программы показано на рис. 8.

При тактовой частоте микроконтроллера 11,0592 МГц частота вращения ШД находится в диапазоне:

- а) в режиме «Точно» 0–100 об/мин;
- б) в режиме «Грубо» 100–1000 об/мин.

Программа защищена от закликивания встроенным сторожевым таймером, настроенным на период сброса, равный 2047,973 мс.

Выводы

Идеальный шаговый двигатель при питании фаз синусоидальным и косинусоидальным током должен вращаться с постоянной скоростью. У реального двигателя в таком режиме будут наблюдаться некоторые колебания скорости. Связано это с нестабильностью воздуш-

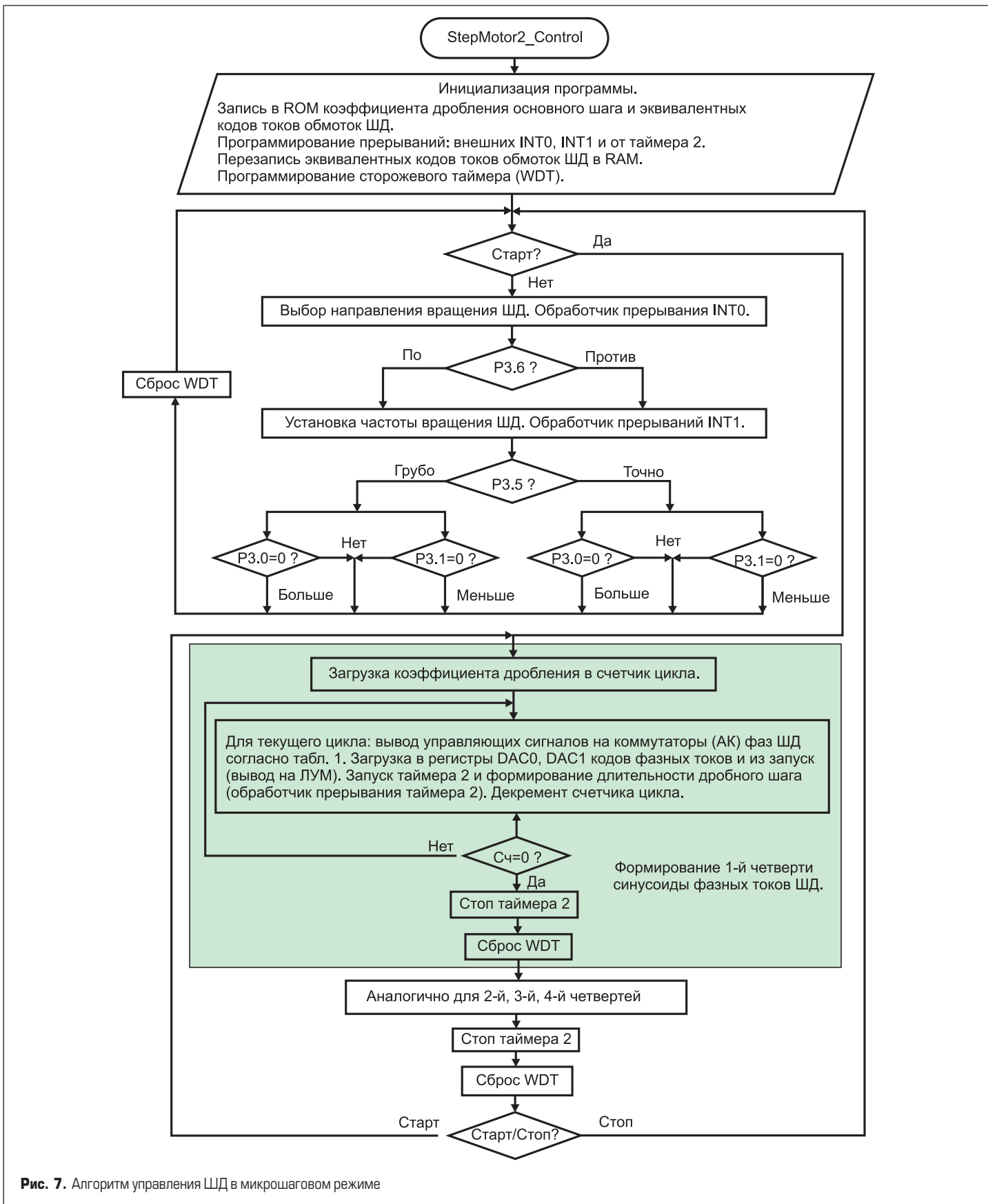


Рис. 7. Алгоритм управления ШД в микрошаговом режиме

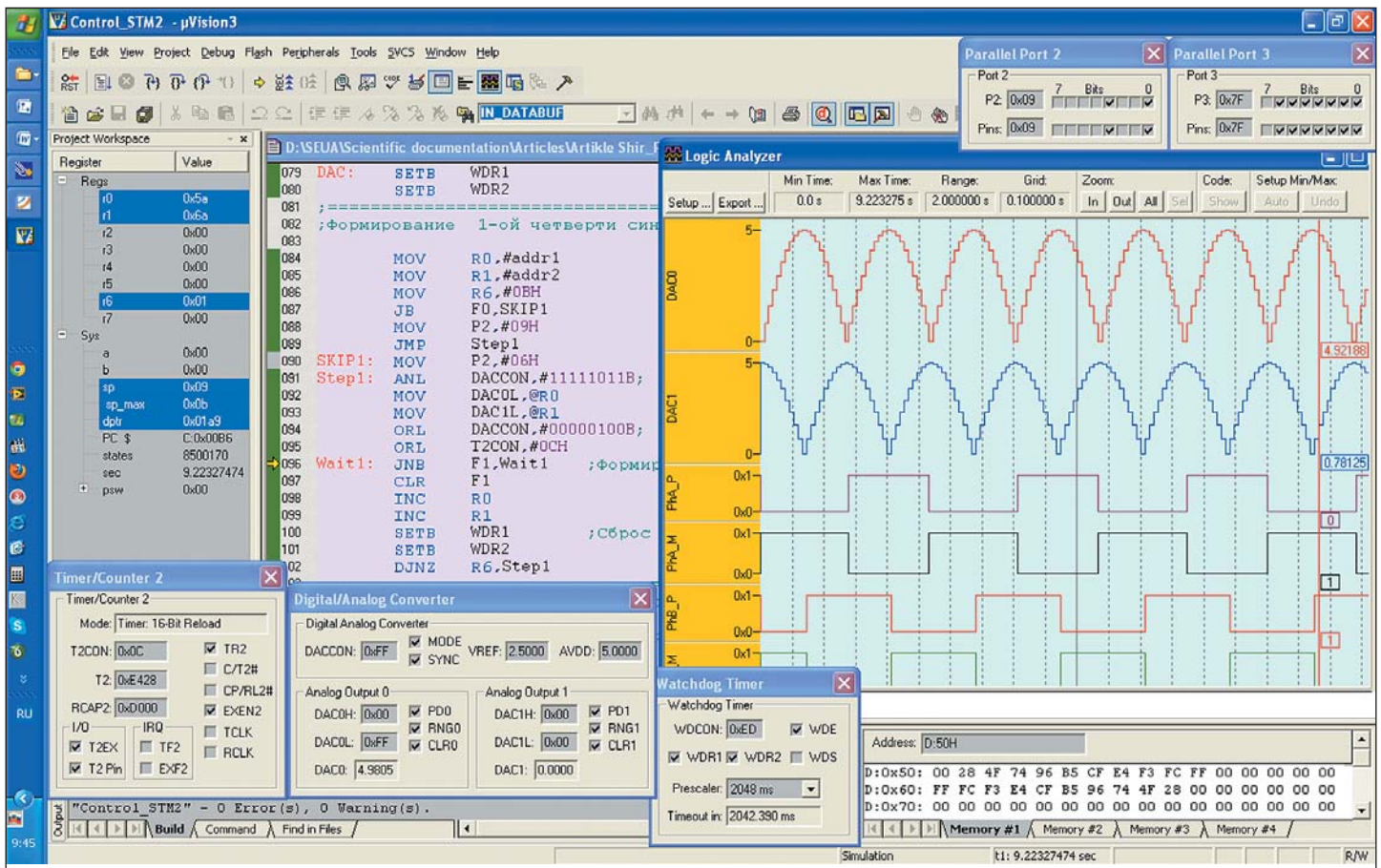


Рис. 8. Окно среды программирования Keil-µVision3 с результатами отладки программы управления

ного зазора между полюсами ротора и статора, насыщением магнитной системы наличием магнитного гистерезиса, трения, что приводит к погрешностям величины и направления магнитного поля, и т. д. Поэтому положения равновесия и момент имеют некоторые отклонения. Эти отклонения зависят от погрешности формы зубцов ротора и статора и от примененного материала магнитопроводов.

Микрошаговый режим обеспечивает высокую приемистость и точность позиционирования ШД, устраняет колебания ротора вокруг положения равновесия и устраняет резонансные явления.

Полный набор периферийных модулей и встроенных ресурсов микроконтроллера по-

зволяет строить систему управления практически без применения внешних периферийных микросхем (специальных контроллеров). Это дает возможность минимизировать устройство и снизить его стоимость.

Литература

1. Гумен В. Ф., Калининская Т. В. Следящий электропривод. Л.: Энергия. 1980.
2. Алексеев К. Б., Палагута К. А. Микроконтроллерное управление электроприводом. М.: МГИУ. 2008.
3. Кенно Т. Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления. М.: Энергоатомиздат. 1987.

4. Бродин В. Б., Калинин А. В. Системы на микроконтроллерах и БИС программируемой логики. М.: Энергоатомиздат. 2002.
5. J. Kenneth Ajala. The 8051 Microcontroller Architecture, Programming and Applications. West Publishing Company. 1991.
6. Арутюнян В. Ш. Схемотехника устройств многорежимного управления шаговыми двигателями. Ереван. Авторское издание. 2010.
7. www.kontest.ru/datasheet/ad/aduc812.pdf
8. Емельянов А. В. Шаговые двигатели: учебное пособие. Волгоград: ВолГТУ. 2005.
9. Дискретный электропривод с шаговыми двигателями. Под редакцией М. Г. Чиликина. М.: Энергия. 1971.