

# Управление скоростью шаговых двигателей

## с помощью микроконтроллера, содержащего АЦП

**В статье рассматривается применение микроконтроллера HT46R47 для разработки схемы управления шаговыми двигателями. Основная идея заключается в использовании аналого-цифрового преобразователя, входящего в состав HT46R47, для преобразования аналогового сигнала управления скоростью в соответствующий цифровой. Затем в соответствии с величиной этого цифрового сигнала формируются импульсы различной частоты, которые поступают на схему управления шаговым двигателем для регулировки скорости.**

Чи-Вэй Шей

Перевод и подготовка:  
Николай Ракович

info@chipselect.ru

### Введение

HT46R47 представляет собой 8-разрядный микроконтроллер производства Holtek Semiconductor со встроенным аналого-цифровым преобразователем нового поколения. Этот микроконтроллер имеет встроенный АЦП и цифро-аналоговый преобразователь ШИМ, что позволяет отказаться от внешних АЦП и ЦАП для большинства практических схем. Эти внутренние преобразователи значительно снижают стоимость, упрощают производство и повышают надежность готового изделия. Кроме того, внутренняя однократно программируемая память на 2 Кслов предоставляет возможность разработчикам повысить гибкость системы и уменьшить время разработки. Поскольку ЦАП работает на высоких частотах, то внешние дроссели имеют небольшие размеры и вес, уменьшая тем самым размеры платы. АЦП имеет четыре 9-разрядных канала, причем выбор канала и режим АЦП задаются программным путем, что предоставляет широкие возможности при разработке устройств на его основе. Сфера применения HT46R47 — от зарядных устройств и импульсных источников питания до электрических печей, электронных замков и т. п.

Набор программных и аппаратных средств, объединенных в систему разработки HT-IDE30000, дополняет линейку микроконтроллеров Holtek. Эмуляция в реальном времени, модификация памяти и регистров, аппаратная реализация точек останова, трассировочные анализаторы и т. д. являются стандартными составляющими HT-IDE30000, предоставляя разработчикам средства, необходимые для быстрой и эффективной разработки и отладки изделия.

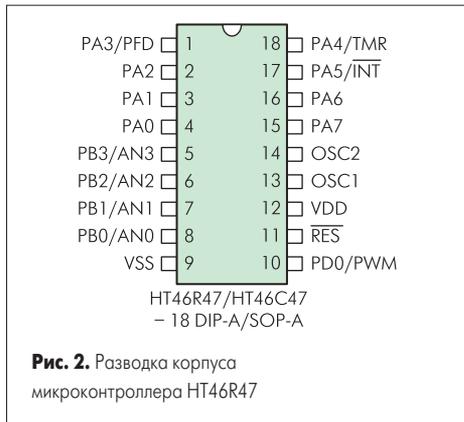
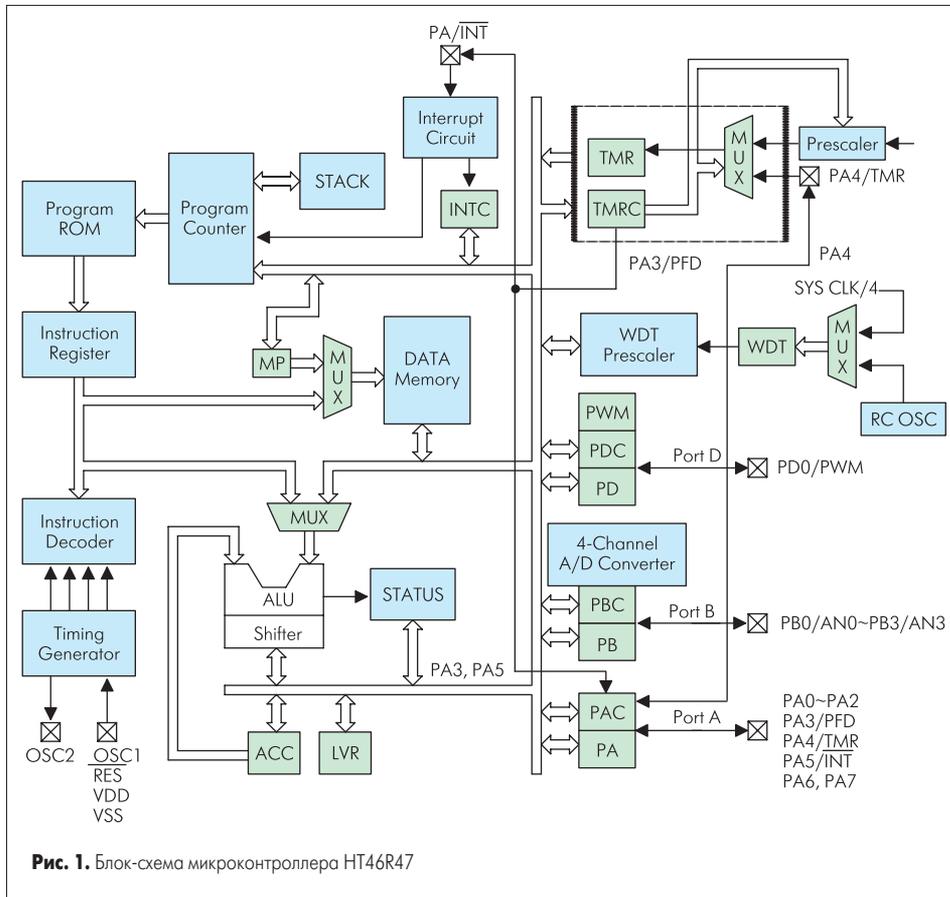
Основные характеристики HT46R47:

- рабочее напряжение: 3,3–5,5 В;
- тактовая частота: внешняя RC-цепь или кварцевый резонатор;
- число линий ввода-вывода: 32;
- один вход внешнего прерывания, совмещенный с линией ввода-вывода;

- 8-разрядный таймер — счетчик событий;
- сторожевой таймер;
- ПЗУ программ 2048×14 бит;
- ОЗУ данных 64×8 бит;
- 4-канальный АЦП с 9-разрядным разрешением (с точностью 8 бит);
- одноканальный (6+2)-разрядный ШИМ-выход, совмещенный с линией ввода-вывода;
- командный цикл до 0,5 мкс при тактовой частоте 8 МГц и напряжении питания +5 В;
- 6-уровневый стек;
- функция сброса при низком уровне напряжения;
- функция побитной обработки;
- 63 мощные команды;
- 18-выводной корпус DIP или SOP.

Блок-схема и разводка корпуса микроконтроллера HT46R47 приведены на рис. 1–2.

В качестве опорного напряжения используется напряжение питания  $V_{DD}$ . Встроенный АЦП имеет в своем составе четыре регистра ADRL (20H), ADRH (21H), BADCR (22H) и ACSR (23H). В регистры ADRH и ADRL, работающие только на чтение, заносятся результаты преобразования (старший байт и младший байт соответственно), содержимое которых должно быть считано для получения данных после завершения работы АЦП. Номер канала АЦП, выбор аналогового канала, установка бита запуска процесса преобразования и флага окончания преобразования задаются регистром управления ACSR. Чтобы запустить режим преобразования, необходимо в первую очередь определить конфигурацию порта В, выбрать аналоговый канал, сигнал с которого необходимо обработать, и установить бит запуска START. По окончании работы АЦП бит EOCB очищается и устанавливается запрос на прерывание от АЦП (если оно предварительно установлено). Для выбора источника тактирования АЦП предназначен регистр ACSR. Следует отметить, что в случаях повышенной нагрузки на источник питания, провалов напряжения питания и электрических помех точность преобразования бу-



дет ниже, чем определено в технических характеристиках.

Ввод-вывод данных в микроконтроллере HT46R47 осуществляется через 13 двунаправленных линий ввода-вывода, обозначенных как PA, PB, PD и отображаемых в областях памяти [12H], [14H] и [18H] соответственно. Все эти порты, имеющие, кстати, собственные регистры управления PAC, PBC, PDC, могут использоваться как для операций ввода, так и вывода с каждой линией ввода-вывода. На ввод эти порты работают без фиксации, при выводе все данные заносятся в регистр-защелку и хранятся до тех пор, пока не будет переписано содержимое этого регистра.

**Особенности шаговых двигателей**

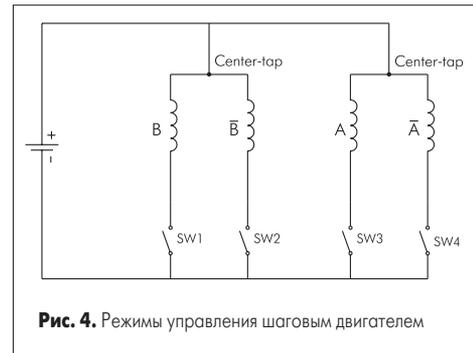
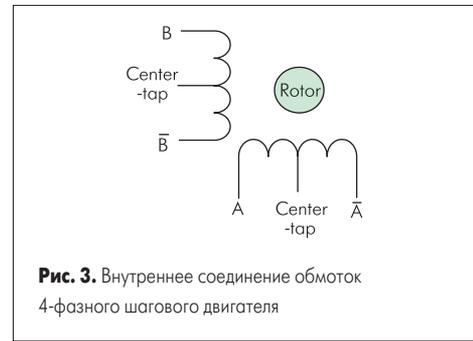
Поскольку тема данной статьи — управление скоростью шаговых двигателей, то определим особенности, применение и методы управления шаговыми двигателями. Основные отличия шаговых двигателей от двигателей переменного и постоянного тока заключаются в следующем:

- угол вращения пропорционален числу входных импульсов;
- высокая точность позиционирования двигателя, так как угол вращения, соответствующий одному импульсу, очень мал;
- скорость вращения шагового двигателя пропорциональна частоте входных импульсов во всем диапазоне управления;
- высокий вращающий момент при торможении;
- высокий вращающий момент при низкой скорости вращения;
- простота регулирования направления и скорости вращения;
- простота установки.

Эти свойства шаговых двигателей широко используются в системах позиционирования магнитных головок винчестеров и накопителей гибких магнитных дисков, управления роботизированными манипуляторами, в считывателях магнитных карт и т. д.

**Принципы работы шаговых двигателей**

В зависимости от числа фаз шаговые двигатели делятся на два типа: 4-фазные и 5-фазные. Номинальное входное напряжение шаговых двигателей (ШД) составляет обычно 5 или 12 В. В статье рассматриваются 4-фазные двигатели на напряжение 5 В с внутренним соединением обмоток (рис. 3): каждый такой двигатель имеет по две обмотки с отводом от средней точки. Эти средние точки обычно подсоединяются к источнику питания, а четыре вывода двух обмоток обозначаются как фазы A,  $\bar{A}$ , B и  $\bar{B}$  соответственно. Чтобы управлять направлением вращения шагового двигателя, надо управлять включением или



отключением четырех ключей (см. рис. 4). На практике в качестве ключей используются транзисторы. В этом случае импульсы напряжения управляют работой этих транзисторов, а скорость вращения определяется частотой этих импульсов.

Для управления направлением вращения 4-фазным шаговым двигателем используют один из трех способов:

- Режим однофазного управления, при котором в данный момент включена только одна фаза.

**Таблица 1**

Шаг	A	B	$\bar{A}$	$\bar{B}$	Направление вращения
1	1	0	0	0	По часовой стрелке, когда четыре фазы включаются в последовательности 1→2→3→4→5. Против часовой стрелки, когда четыре фазы включаются в последовательности 5→4→3→2→1.
2	0	1	0	0	
3	0	0	1	0	
4	0	0	0	1	
5	1	0	0	0	

- Режим двухфазного управления, при котором в каждый момент включены две фазы.

**Таблица 2**

Шаг	A	B	$\bar{A}$	$\bar{B}$	Направление вращения
1	1	1	0	0	По часовой стрелке, когда четыре фазы включаются в последовательности 1→2→3→4→5. Против часовой стрелки, когда четыре фазы включаются в последовательности 5→4→3→2→1.
2	0	1	1	0	
3	0	0	1	1	
4	1	0	0	1	
5	1	1	0	0	

- Режим 1-2-фазного управления, при котором фаза 1 и фаза 2 включены альтернативно.

**Таблица 3**

Шаг	A	B	$\bar{A}$	$\bar{B}$	Направление вращения
1	1	0	0	0	По часовой стрелке, когда четыре фазы включаются в последовательности 1→2→3→4→5→6→7→8→9→10. Против часовой стрелки, когда четыре фазы включаются в последовательности 10→9→8→7→6→5→4→3→2→1.
2	1	1	0	0	
3	0	1	0	0	
4	0	1	1	0	
5	0	0	1	0	
6	0	0	1	1	
7	0	0	0	1	
8	1	0	0	1	
9	1	0	0	0	
10	1	1	0	0	

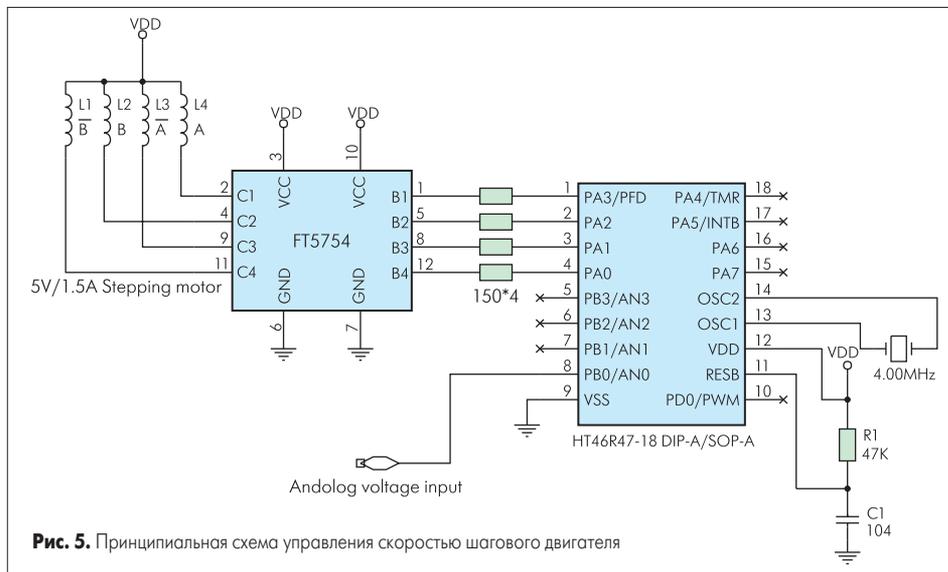


Рис. 5. Принципиальная схема управления скоростью шагового двигателя

Как уже отмечалось, для управления шаговыми двигателями обычно применяют мощные транзисторы. В этой статье для упрощения схемы использована сборка FT5754 в качестве выходного каскада управления HT46R47 шаговым двигателем. В состав ИС FT5754 входят четыре пары транзисторов, включенных по схеме Дарлингтона с максимальным током до 3 А. Принципиальная схема управления скоростью шагового двигателя приведена на рис. 5.

**Программное обеспечение**

Блок-схема программы управления скоростью шагового двигателя приведена на рис. 6, а исходный код — на рис. 7.

При разработке схемы использовались:

- Holtek TICE46SER0000A;
- HT-IDE3000.

Аналого-цифровое преобразование.

Для того чтобы использовать аналого-цифровой преобразователь микроконтроллера HT46R47, необходимо выполнить следующее:

1. Сконфигурировать каналы порта В установкой PCR2, PCR1 и PRC0.
2. Выбрать канал для АЦП-преобразования установкой ACS2, ACS1 и ACS0. Выбранный канал должен быть сконфигурирован (шаг 1).
3. Установить бит ADCR.7 = 0→1→0 для запуска преобразования; EOC будет находиться в «1», пока будет идти процесс преобразования.
4. Ожидание 76 тактов АЦП для завершения преобразования, после чего EOC устанавливается в «0» (завершение процесса). Если разрешено прерывание от АЦП, то устанавливается флаг запроса на прерывание от АЦП.
5. Чтение результата преобразования в регистрах ADRH и ADRL.

Определение частоты АЦП-преобразования. Каждое аналого-цифровое преобразование занимает 76 тактов, которые задаются ADCS1 и ADCS0 (см. табл. 4).

Таблица 4

ADCS1	ADCS0	Частота АЦП
0	0	$F_{sys}/2$
0	1	$F_{sys}/8$
1	0	$F_{sys}/32$
1	1	

Блок-схема программы управления скоростью шагового двигателя (рис. 6)

**Вывод**

В статье рассмотрены особенности шаговых двигателей и три режима управления 4-фазным двигателем. На основе любого из режимов можно задать направление вращения шаговых двигателей. Применяв аналого-цифровой преобразователь, входящий в состав микроконтроллера HT46R47, аналоговый сигнал управления скоростью преобразуется в цифровой, из которого затем формируются импульсы разной частоты для управления скоростью шагового двигателя.

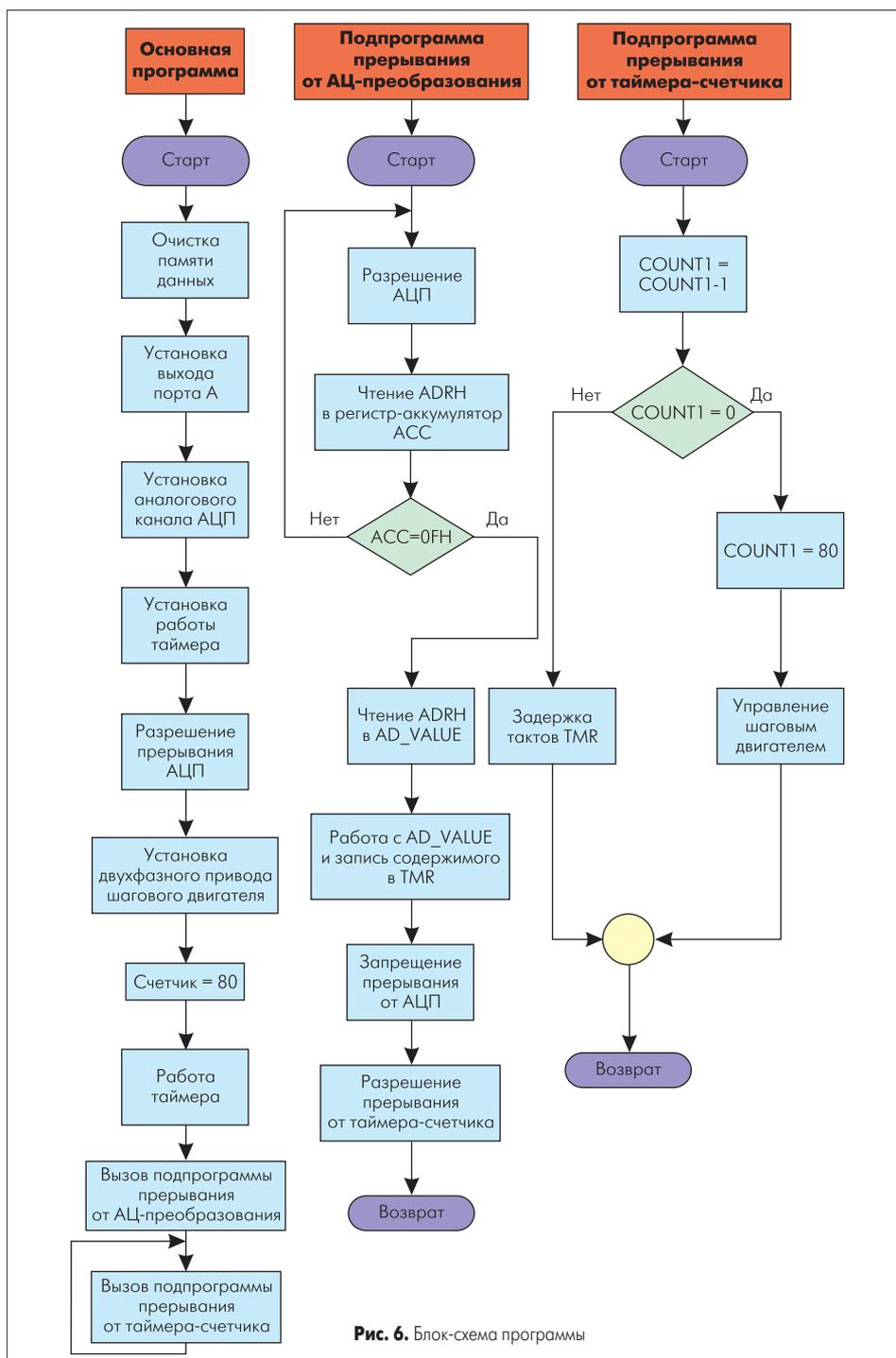


Рис. 6. Блок-схема программы

```

INCLUDE HT46R47.INC
;-----
;HT46R47 speed control of stepping motors
;-----
DATA SECTION AT 40H 'DATA' ;data start
CLR_MEM_COUNTER DB ?
PHASE DB ?
AD_VALUE DB ?
COUNT1 DB ?
COUNT2 DB ?
;-----
CODE SECTION AT 0 'CODE' ;program start
ORG 00H
JMP START1
ORG 04H
RETI
ORG 08H
JMP TIMER_INT
ORG 0CH
JMP CONVERTER_INT
START1:
MOV A, 7FH-40H
MOV CLR_MEM_COUNTER, A
MOV A, 41H
MOV MP, A
CLR_MEM:
CLR R0
INC MP
SDZ CLR_MEM_COUNTER
JMP CLR_MEM

CLR PAC ;set PA output
CLR PA ;set PA low voltage

MOV A, 48H
MOV ADCR, A

MOV A, 97H
MOV TMRC, A

MOV A, 09H
MOV INTC, A

MOV A, 11001100B
MOV PHASE, A ;use 2-phase mode to
;control the motor
MOV PA, A

MOV A, 50H
MOV COUNT1, A

MAIN:
NOP
JMP MAIN
CONVERTER_INT:
CLR START
SET START
CLR START ;A/D converter in action
LOOP1:
SZ EOC ;when EOC is 0, A/D
;conversion is completed
JMP LOOP1

MOV A, ADRH
SUB A, 0FH
SZ C
JMP SHOW
JMP CONVERTER_INT
SHOW:
MOV A, ADRH
MOV AD_VALUE, A ;put A/D value into AD_VALUE
;register
SWAPA AD_VALUE
AND A, 0FH
AND A, 0EH
MOV AD_VALUE, A
RRA AD_VALUE
SZ AD_VALUE
JMP LOOP2
INCA AD_VALUE
LOOP2:
ADD A, 0F7H
MOV TMR, A

CLR EADI
SET ETI
JMP TIMER_EXIT

TIMER_INT:
DEC COUNT1
SZ COUNT1
JMP TIMER_EXIT
MOV A, 50H
MOV COUNT1, A

RR PHASE
MOV A, PHASE
MOV PA, A

TIMER_EXIT:
RETI
END

```

Рис. 7. Исходный код программы