

В.А. Димаки, А.А. Сосин, Д.Ю. Шестаков

## Устройство для получения дробного шага шагового двигателя

Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 28.07.2006 г.

Продемонстрирован простой способ, позволяющий реализовать работу шагового двигателя в режиме дробного шага. Предложена схема выполненного на базе микроконтроллера AT90S2313 блока питания, обеспечивающего работу шагового двигателя в указанном режиме. Приведена программа для управления микроконтроллером. Предполагается, что представленные результаты могут быть успешно использованы для создания устройств, требующих высокой точности позиционирования отдельных узлов и элементов.

### Введение

Шаговые двигатели (ШД) в настоящее время широко используются при конструировании различных измерительных приборов (в частности, спектральных) и других устройств, требующих высокой точности позиционирования отдельных узлов и микропроцессорного управления [1]. Последнее осуществляется за счет использования специальной логики и высокоточных драйверов, реализуемых, чаще всего, на интегральных схемах. Кроме микросхем драйверов существуют и более сложные [2, 3] микросхемы, имеющие встроенный контроллер.

Шаговые двигатели имеют широкий диапазон угловых разрешений. Для создания высокоточной аппаратуры используются специальные прецизионные ШД с разрешением  $1,8^\circ$  или  $0,72^\circ$  на шаг. Необходимо отметить, что увеличение точности позиционирования влечет за собой, как правило, либо усложнение схемы драйвера на дискретных элемен-

тах, либо увеличение стоимости оборудования, связанное с применением драйверов на специализированных микросхемах.

Другой способ увеличения точности позиционирования основан на использовании стандартных ШД, но работающих в специальном, управляемом от внешней программы режиме дробления шага. В данной статье предложено устройство, обеспечивающее микрошаговый режим работы ШД, и программы для его поддержания.

Устройство предназначено для применения в монохроматорах МДР-12 и МДР-23.

### 1. Блок управления шаговым двигателем

Блок управления ШД содержит силовые ключи на транзисторах и микроконтроллер AT90S2313 (рис. 1).

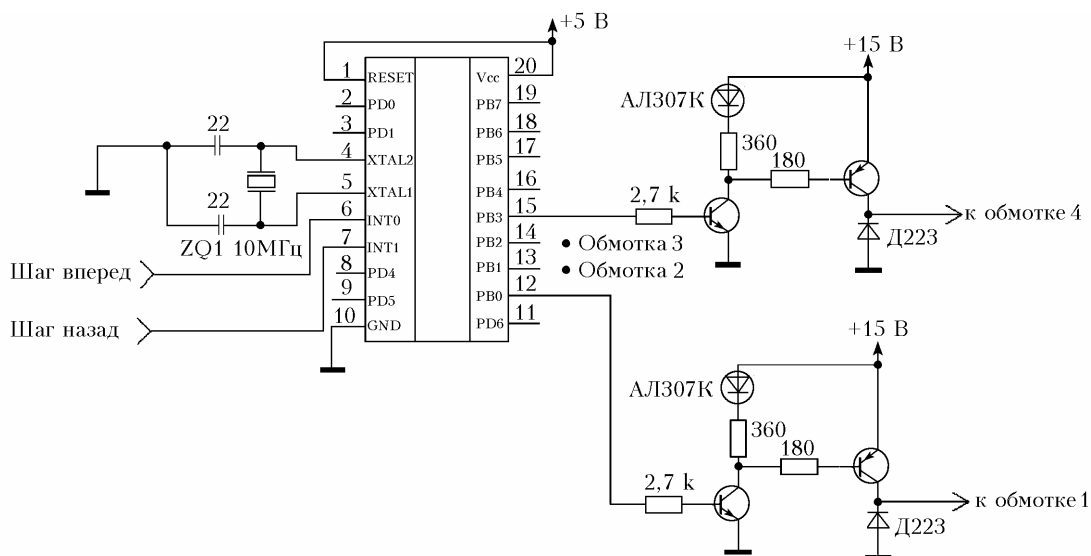


Рис. 1. Схема устройства для получения микрошага

Устройство для получения дробного шага шагового двигателя

Основная идея состоит в следующем. Если подавать ток по очереди в две обмотки (например 1 и 2) шагового двигателя, то ротор двигателя займет промежуточное положение между полюсами, соответствующими этим обмоткам. Если при этом время протекания тока в соседних обмотках окажется одинаковым, то ротор вследствие перераспределения магнитного поля между полюсами будет находиться в положении  $1/2$  шага от соседних полюсов. Меняя соотношение времен протекания токов в обмотках, т.е. производя ШИМ (широотно-импульсную модуляцию), можно заставить ротор занимать любое положение между полюсами, осуществляя поворот ротора с любым дробным шагом.

В данном конкретном случае был осуществлен режим работы с дискретностью шага  $1/16$ . Широотно-импульсная модуляция реализуется программным путем. Период ШИМ выбран 160 мкс. Таким образом, если в данной обмотке длительность протекания тока  $t_1$ , то в соседней  $t_2 = 160 \text{ мкс} - t_1$ . Дискретность изменения длительности выбиралась равной 10 мкс, т.е. ротор мог поворачиваться между полюсами на  $1/16$  шага. При поступлении управляющего импульса генерируется внешнее прерывание контроллера. Управляющие импульсы, поступающие на вывод 6 контроллера, вызывают генерацию внешнего прерывания INT0, при этом длительность протекания токов в соседних обмотках изменяется на 10 мкс и ротор поворачивается на  $1/16$  шага по часовой стрелке. Управляющие импульсы, поступающие на вывод 7 контроллера, вызывают генерацию внешнего прерывания INT1, что приводит к повороту ротора на  $1/16$  шага против часовой стрелки.

## 2. Программа для управляющего микроконтроллера

Особенности алгоритма работы блока управления можно представить себе более четко, если обратиться к тексту программы для микроконтроллера, написанной на языке C и приведенной ниже. Предполагается, что указанная программа должна быть «вшита» в контроллер с помощью стандартного программатора (см., например, [4]).

```
// Программа для работы с шаговым двигателем
// Микрошаг
#include <90s2313.h>
#include <delay.h>
int a, n, m;
unsigned char b, c;

interrupt[2] void takt_sd_pered(void) // Внешнее прерывание INT0
{ // Микрошаг вперед
  #asm
    cli
  #endasm
  n=n+1;
  if(n==m)
  {b=c; c=c<<1; n=0;
  if(c==16){c=1;}
```

```
}
  #asm
    sei
  #endasm
} // Конец функции обработки прерывания 2
interrupt[3] void takt_sd_nasad(void) // Внешнее прерывание INT1
{ // Микрошаг назад
  #asm
    cli
  #endasm
  n=n-1;
  if(n<0)
  {n=m-1; c=b; b=b>>1;
  if(b<1){b=8;}
}
  #asm
    sei
  #endasm
} // Конец функции обработки прерывания 3

void main()
{
  int ii;
  // инициализация (настройка) порта B
  DDRB=0xff; // Выводы сконфигурированы
как выходы
  PORTB=0x00; // Установить на всех выводах
порта напряжение 0 В
  DDRD=0x00;
  PORTD=0xff;

  MCUCR=15; // Прерывания генерируются по
нарастающему фронту на
// входах INT0 и INT1, выходы 6 и 7
#define xtal 1000000L

  #asm
    sei // Разрешение прерываний
  #endasm
  SREG= SREG | 128;
  GIMSK=GIMSK | 192;
  a=1; // Начальное состояние выводов порта
  PORTB=a;
  m=16; // Микрошаг равен 1/16 шага
  b=1; c=2; n=0;
  while (1) {
  PORTB=b; // ШИМ
  for(ii=1; ii<=(m-n); ii++) { delay_us(10); }
  PORTB=c; //
  for(ii=1; ii<=n; ii++) { delay_us(10); }
}
} // Конец программы
```

Для управления обмотками шагового двигателя используются 4 младших разряда порта В микроконтроллера. Переменные b и c определяют, на какие обмотки подается напряжение: если b = 1, то напряжение подается на первую обмотку, если b = 2, то на вторую, если b = 4, то на третью, если b = 8, то на четвертую. В бесконечном цикле while осуществляется переключение между соседними обмотками. Время протекания тока делится между обмотками в зависимости от значений переменных

$m$  и  $n$ . При генерации от внешнего источника тактовых импульсов прерывания INT0 (тактовый импульс подается на вывод 6 микроконтроллера) число  $n$  увеличивается на единицу и время протекания токов в обмотках изменяется на 10 мкс. Ротор при этом поворачивается на  $1/16$  шага. Если получилось  $n = m$ , то переходим к следующей паре обмоток. Эти действия осуществляют операторы  $b = c$ ;  $c = c \ll 1$ ;  $n = 0$ . Если получилось  $c = 16$ , то присваиваем переменной  $c$  значение 1. При этом  $b = 8$ , в паре работают обмотки четвертая и первая, следующей парой будут первая и вторая обмотки, таким образом, переключение обмоток осуществляется по кругу и происходит вращение ротора шагового двигателя.

Если тактовый импульс подается на вывод 7 микроконтроллера, генерируется прерывание INT1. Переменная  $n$  уменьшается на единицу, ротор поворачивается на  $1/16$  шага в другую сторону. Если  $n$  получается отрицательным, то операторами  $n = m - 1$ ;  $c = b$ ;  $b = b \gg 1$  осуществляется переход к другой паре обмоток. Если получилось  $b$  меньше единицы, то присваиваем  $b$  значение 8, при этом  $c = 1$ , работают обмотки первая и четвертая, следующей парой будут 4-я и 3-я обмотки. Переключение обмоток также осуществляется по кругу, но в другом направлении.

### Заключение

Как видно из текста программы, предложенный алгоритм позволяет получить любой дробный шаг (переменная  $m$  в тексте программы — это число дробления шага). Электрическая схема отличается крайней простотой, не содержит дорогих деталей и доступна для повторения даже неквалифицированным пользователем. Тип транзисторов в силовых ключах зависит от мощности применяемого шагового двигателя. В данной работе для двигателя ДШИ-200-2 использованы транзисторы КТ837Г с небольшими радиаторами. Описание микроконтроллера AT90S2313, программатора для него и для методов программирования можно найти в [4].

Данное устройство разработано для управления шаговыми двигателями монохроматоров с це-

лью повышения точности поворота дифракционных решеток. Также эти устройства применяются авторами для управления ШД координатного столика (графопостроителя), который входит в состав установки для лазерной резки. На рис. 2 показана плата с двумя устройствами для управления двумя двигателями графопостроителя.

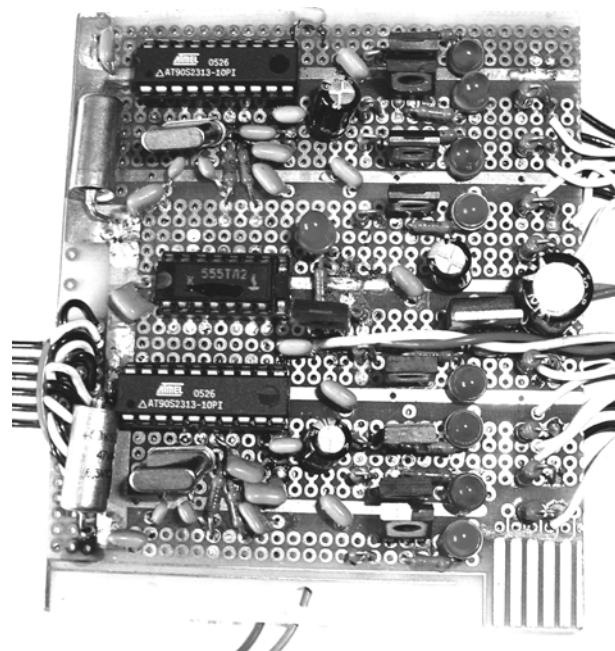


Рис. 2. Вид разработанной платы

Применение дробного шага ШД позволило повысить качество лазерной резки. Увеличение дробления шага более  $1/16$  не приводило к увеличению точности позиционирования из-за механических люфтов в приводах.

1. <http://www.cs.uiowa.edu/~jones/step/>
2. <http://www.motionex.com/cmotor/engref.htm>
3. <http://www.eio.com/stprprod.htm>
4. Голубцов М.С., Кириченко А.В. Микроконтроллеры AVR: от простого к сложному. М.: Солон-Пресс, 2004. 237 с.

*V.A. Dimaki, A.A. Sosin, D.Yu. Shestakov. A fractional step solution for a step motor.*

The report describes a simple method allowing operation of a step motor in the fractional step mode. A scheme is suggested of a power supply constructed on the basis of the AT90S2313 microcontroller, which supports the performance of the step motor in the considered mode. A control program for the microcontroller is described. The results presented can be successfully used to create the devices with a high positioning accuracy of separate nodes and elements.