

# 步进电机的控制原理及方法

步进电机是将电脉冲信号转变为角位移或线位移的开环控制元步进电机件。在非超载的情况下，电机的转速、停止的位置只取决于脉冲信号的频率和脉冲数，而不受负载变化的影响，当步进驱动器接收到一个脉冲信号，它就驱动步进电机按设定的方向转动一个固定的角度，称为“步距角”，它的旋转是以固定的角度一步一步运行的。可以通过控制脉冲个数来控制角位移量，从而达到准确定位的目的；同时可以通过控制脉冲频率来控制电机转动的速度和加速度，从而达到调速的目的。其外形如下图所示：



## 步进电机的分类：

现在比较常用的步进电机包括反应式步进电机、永磁式步进电机、混合式步进电机和单相式步进电机等。

### 1、永磁式步进电机

永磁式步进电机一般为两相，转矩和体积较小，步进角一般为 7.5 度 或 15 度。

### 2、反应式步进电机

反应式步进电机一般为三相，可实现大转矩输出，步进角一般为 1.5 度，但噪声和振动都很大。反应式步进电机的转子磁路由软磁材料制成，定子上有多相励磁绕组，利用磁导的变化产生转矩。

### 3、混合式步进电机

混合式步进电机是指混合了永磁式和反应式的优点。它又分为两相和五相，两相步进角一般为 1.8 度而五相步进角一般为 0.72 度。这种步进电机的应用最为广泛。

本实验室现有的步进电机即为两项混合式步进电机，步进角为 1.8 度。

## 步进电机的基本原理：

通常电机的转子为永磁体，当电流流过定子绕组时，定子绕组产生一矢量磁场。该磁场会带动转子旋转一角度，使得转子的一对磁场方向与定子的磁场方向一致。当定子的矢量磁场旋转一个角度。转子也随着该磁场转一个角度。每输入一个电脉冲，电动机转动一个角度前进一步。它输出的角位移与输入的脉冲数成正比、转速与脉冲频率成正比。改变绕组通电

的顺序，电机就会反转。所以可用控制脉冲数量、频率及电动机各相绕组的通电顺序来控制步进电机的转动。

## 步进电机的基本参数：

1、电机固有步距角：它表示控制系统每发一个步进脉冲信号，电机所转动的角度。电机出厂时给出了一个步距角的值，如 86BYG250A 型电机给出的值为  $0.9^\circ / 1.8^\circ$ （表示半步工作时为  $0.9^\circ$ 、整步工作时为  $1.8^\circ$ ），这个步距角可以称之为‘电机固有步距角’，它不一定是电机实际工作时的真正步距角，真正的步距角和驱动器有关。

通常步进电机步距角  $\beta$  的一般计算按下式计算。

$$\beta = 360^\circ / (Z \cdot m \cdot K)$$

式中  $\beta$  一步进电机的步距角；

Z—转子齿数；

m—步进电动机的相数；

K—控制系数，是拍数与相数的比例系数

本实验室的步进电机固有步距角为  $1.8^\circ$ ，而经过驱动器细分后的步距角为  $0.225^\circ$ 。

2、步进电机相数：是指电机内部的线圈组数，目前常用的有二相、三相、四相、五相步进电机。电机相数不同，其步距角也不同，一般二相电机的步距角为  $0.9^\circ / 1.8^\circ$ 、三相的为  $0.75^\circ / 1.5^\circ$ 、五相的为  $0.36^\circ / 0.72^\circ$ 。在没有细分驱动器时，用户主要靠选择不同相数的步进电机来满足自己步距角的要求。如果使用细分驱动器，则‘相数’将变得没有意义，用户只需在驱动器上改变细分数，就可以改变步距角。

本实验室所使用的步进电机为两项四线的步进电机。

3、保持转矩：是指步进电机通电但没有转动时，定子锁住转子的力矩。它是步进电机最重要的参数之一，通常步进电机在低速时的力矩接近保持转矩。由于步进电机的输出力矩随速度的增大而不断衰减，输出功率也随速度的增大而变化，所以保持转矩就成为了衡量步进电机最重要的参数之一。比如，当人们说  $2N \cdot m$  的步进电机，在没有特殊说明的情况下是指保持转矩为  $2N \cdot m$  的步进电机。

## 步进电机的特点：

1. 电机旋转的角度正比于脉冲数。
2. 电机停转的时候具有最大的转矩（当绕组激磁时）。
3. 由于每步的精度在百分之三到百分之五，而且不会将一步的误差积累到下一步因而有较好的位置精度和运动的重复性。
4. 优秀的起停和反转响应。
5. 由于没有电刷，可靠性较高，因此电机的寿命仅仅取决于轴承的寿命。
6. 电机的响应仅由数字输入脉冲确定，因而可以采用开环控制，这使得电机的结构可以比较简单而且控制成本。

7. 仅仅将负载直接连接到电机的转轴上也可以极低速的同步旋转。
8. 由于速度正比于脉冲频率，因而有比较宽的转速范围。
9. 一般步进电机的精度为步进角的 3-5%，且不累积。
10. 步进电机外表允许的最高温度：步进电机温度过高首先会使电机的磁性材料退磁，从而导致力矩下降乃至于失步，因此电机外表允许的最高温度应取决于不同电机磁性材料的退磁点；一般来讲，磁性材料的退磁点都在摄氏 130 度以上，有的甚至高达摄氏 200 度以上，所以步进电机外表温度在摄氏 80-90 度完全正常。
11. 步进电机的力矩会随转速的升高而下降：当步进电机转动时，电机各相绕组的电感将形成一个反向电动势；频率越高，反向电动势越大。在它的作用下，电机随频率（或速度）的增大而相电流减小，从而导致力矩下降。
12. 步进电机低速时可以正常运转,但若高于一定速度就无法启动,并伴有啸叫声。

步进电机有一个技术参数：空载启动频率，即步进电机在空载情况下能够正常启动的脉冲频率，如果脉冲频率高于该值，电机不能正常启动，可能发生丢步或堵转。在有负载的情况下，启动频率应更低。如果要使电机达到高速转动，脉冲频率应该有加速过程，即启动频率较低，然后按一定加速度升到所希望的高频（电机转速从低速升到高速）。

## 具体控制方法：

本实验室所采用的步进电机型号为 35BYG 系列步进电机，采用型号为 XCW220 的驱动器，采用驱动器信号芯片为 HD74HC14P。采用 DSP2407 作为脉冲信号发生器。

### 1、35BYG 系列步进电机基本参数

步距角 (°)	1.8
机身长 (mm):	20~34
相电压 (V):	2.4~12
相电流 (A):	0.25~1.5
相电阻 (Ω):	1.6~48
相电感 (mH):	1.4~17
静力矩 (g. cm):	380~1250
引出线 (NO.)	4
转动惯量 (g. Cm <sup>2</sup> ):	8~13
定位力矩 (g. cm):	50~95
重量 (kg):	0.1~0.17

### 2、XCW220 驱动器简介

XCW220 型驱动模块的基本参数及接口说明如下：

- ◇ 适用电压范围宽 (20~40VDC)
- ◇ 采用恒流斩波, 双极性全桥式驱动

- ◇ 运行特性良好
- ◇ 自动半流锁定
- ◇ 可靠性高
- ◇ 适配 2A 以下两相、四相混合式步进电机

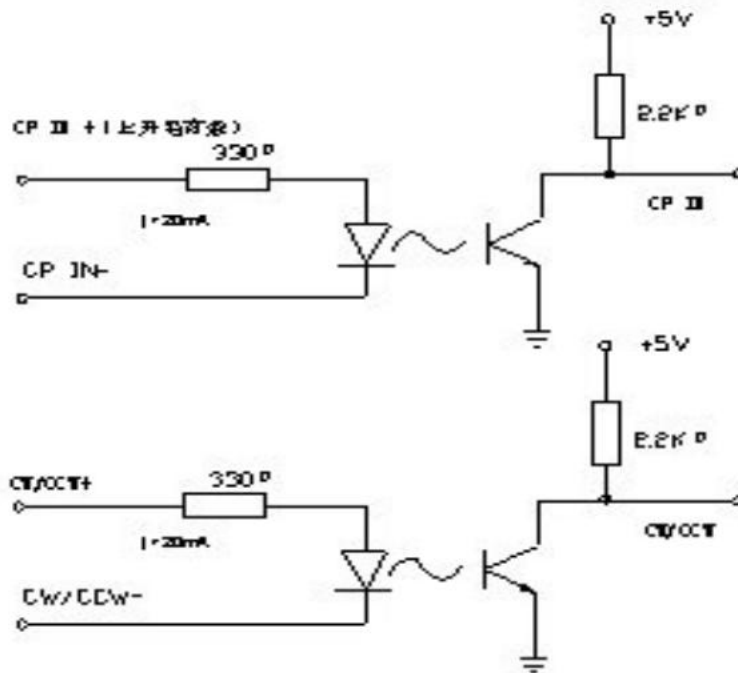
技术数据：（SPECIFICATIONS）

1. 输入电压：20~30VDC 单电压供电。
2. 相电流：本模块相电流 0.4A。
3. 驱动模式：全桥驱动。
4. 运行方式：1/8。
5. 保护形式：过热保护，锁定自动半流。
6. 外型尺寸：100mm×61mm×19mm。
7. 重量：<300g。
8. 运行环境：温度-15~40℃ 湿度<90%。

接线端子：（I/O PORTS）

- 1、 VCC： 供电电源 20~30VDC 注：切忌超过 35V，以免损坏模块。
- 2、 GND： VCC 电源对应地线。
- 3、 B+： 步进电机一相线包。
- 4、 B-：
- 5、 A+： 步进电机另一相线包。
- 6、 A-：
- 7、 CP IN+： 时钟脉冲输入端，光耦输入端，上升沿有效。
- 8、 CP IN-： 光耦输入负端。
- 9、 CW/CCW+： 电机运转方向控制，光耦输入端。
- 10、 CW/CCW-： 光耦输入负端。

光耦电路如下图所示：

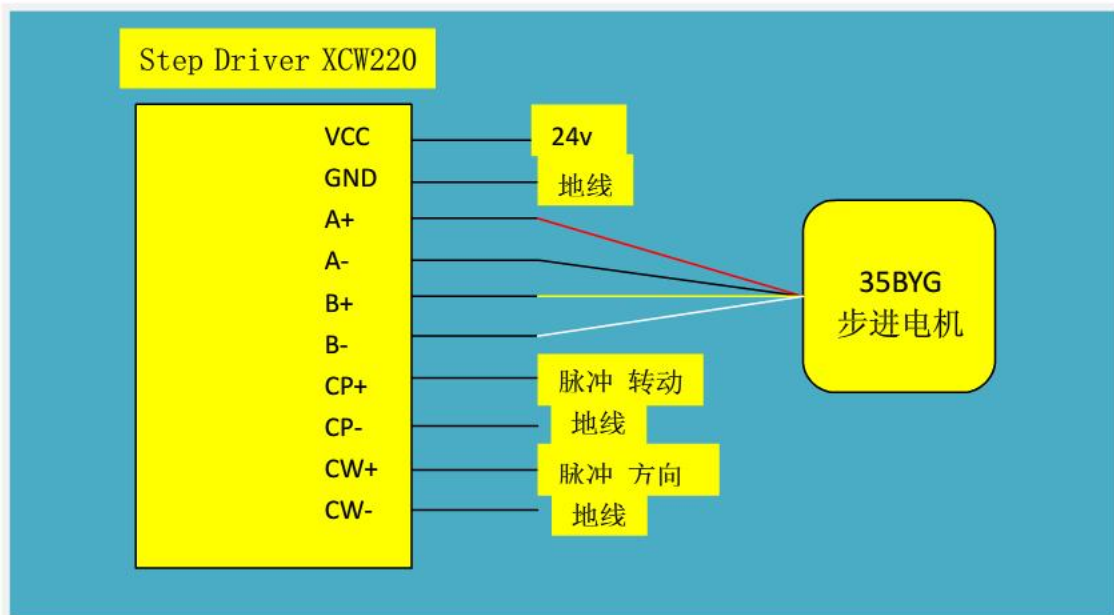


实物图如下图所示：



### 注意事项：（CAUTIONS）

- (1)、电机连接：本驱动模块适用于额定电流 0.4A 的二相、四相混合式步进电机。请注意电机线不要错接，以免烧坏驱动模块，接线图如下图。
- (2)、避免接触腐蚀性气体。



VCC 接 24V 直流电源，GND 接地线，A+、A-、B+、B- 分别接步进电机的四条引出线，CP+ 是光耦输入正端，接脉冲信号，驱动步进电机转动，CP- 接地线，CW+ 也是光耦输入正端，接脉冲信号，用于控制步进电机转动的方向。CW- 接地线。特别要注意一点：一定要共地。

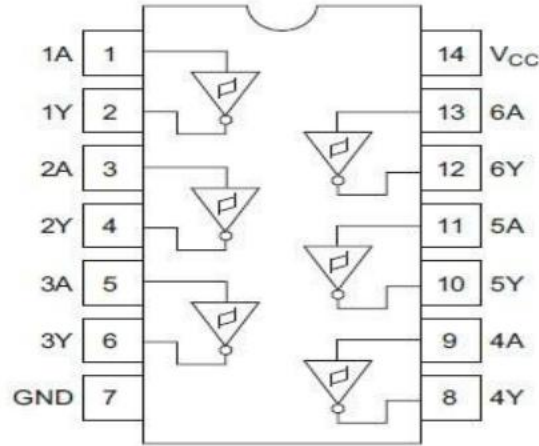
### 3、驱动器信号芯片 HD74HC14P 简介

带施密特触发器的反向器，用作步进电机控制信号的前期处理。其性能指标如下：

- 1、High Speed Operation:  $t_{pd} = 10.5 \text{ ns typ (} C_L = 50 \text{ pF)}$
- 2、High Output Current: Fanout of 10 LSTTL Loads

- 3、Wide Operating Voltage:  $V_{CC} = 2$  to  $6$  V
- 4、Low Input Current:  $1 \mu\text{A max}$
- 5、Low Quiescent Supply Current:  $I_{CC}(\text{static}) = 1 \mu\text{A max}$  ( $T_a = 25^\circ \text{C}$ )
- 6、Ordering Information

其芯片如下图所示：



输入输出说明：

Function Table

Input	Output
A	Y
L	H
H	L

H: High level  
L: Low level

#### 4、DSP2407 开发板简介

TMS320LF2407 芯片是 TI 公司 TMS320 系列 DSP 芯片的一种, TMS320 系列 DSP 专为实时信号处理设计, 该系列 DSP 芯片将实时处理功能和控制外设功能集于一身, 具有灵活的指令集和内部操作、高速的运算能力以及改进型哈佛结构等特点, 为控制系统应用提供了一个理想的解决方案。TMS320LF-2407 芯片内部集成有存储器和外设, 能够减少系统成本, 节省电路板空间, 以及提高系统的可靠性。

TMS320LF2407 芯片内有高达 32 K 的 FLASH 程序存储器、1.5 K 的数据/程序 RAM、544 字双口 RAM(DARAM)、2 K 的单口 RAM(SARAM)、64K 的程序存储器空间、64 K 的数据存储器空间和 64K 的 I/O 寻址空间, 共计 192 K 的可扩展的外部存储器空间。这不仅使得控制器可以存储大量的程序代码, 还具有在线仿真功能, 方便系统调试。

TMS320LF2407 芯片采用高性能静态 CMOS 技术, 使得供电电压降为 3.3 V, 减小了控制器的功耗, 并降低了芯片的发热量; 40MIPS 的执行速度使指令周期缩短到 25 ns (40 MHz), 从而提高了控制器的实时控制能力。两个事件管理器模块 (EVA 和 EVB) 各有两个 16 位通用定时器; 8 个 16 位的脉宽调制 (PWM) 通道。它们能实现 PWM 的对称和非对称波形; 可编程的 PWM 死区控制以防止上下桥臂同时输出触发脉冲; 3 个捕获单元; 16 通道 A/D

转换器。完全适合对步进电机的控制。在本控制系统中，用该数字处理器为驱动单元提供控制信号，通过改变 PWM 波形的频率来控制步进电机的速度。

控制步进电机所需的脉冲信号就是由 DSP2407 发出的，共需要三路脉冲信号，用 DSP2407 的事件管理器 EVA 模块的三个比较单元产生六路 PWM 波形，因为每个比较单元能够产生两路对称的 PWM 波形，所以根据要求要用三个比较单元产生六路 PWM 波形，只用其中三路即可。具体程序如下所示：

```
#include "global.c"
void SystemInit();
void PWM_Init() ;
void KickDog();

int numled0=200;
unsigned int t0=0;

main()
{

    SystemInit();           //系统初始化

    MCRC=MCRC & 0xFF00;    //IOPE0-7 设为 IO 口模式
    PEDATDIR=0xFF00;      //所有 LED=0,

    PWM_Init() ;          //PWM 初始化
    asm(" CLRC INTM ");
    while(1);

}

void SystemInit()
{

    asm(" SETC INTM ");    /* 关闭总中断 */
    asm(" CLRC SXM ");     /* 禁止符号位扩展 */
    asm(" CLRC CNF ");     /* B0 块映射为 on-chip DARAM*/
    asm(" CLRC OVM ");     /* 累加器结果正常溢出*/
```

```

SCSR1=0x83FE;          /* 系统时钟 CLKOUT=20*2=40M */
                        /* 打开 ADC, EVA, EVB, CAN 和 SCI 的时钟, 系统时
                        钟 CLKOUT=40M */

WDCR=0x006F;          /* 禁止看门狗, 看门狗时钟 64 分频 */
KickDog();            /* 初始化看门狗 */
    IFR=0xFFFF;       /* 清除中断标志 */
    IMR=0x0002;       /* 打开中断 2*/
}

```

```

void PWM_Init()
{
    MCRA=MCRA | 0x0FC0; //PA6-PA7、PB0-PB3 为 PWM 口
    EVAIFRA=0xFFFF;   // 清除中断标志
    ACTRA=0x0666;     //PWM1, 3, 5 高有效 ; 2, 4, 6 低有效
    T1PR=5000;        //定时器 1 周期值, 定时 0.4us*5000=2ms
    CMPR1=1250;
    CMPR2=1250;
    CMPR3=5000;
    COMCONA=0xA600;   //比较控制寄存器
    T1CNT=0;
    EVAIMRA=0x0080;   //定时器 1 周期中断使能
    T1CON=0x144E;     //增模式, TPS 系数 40M/16=2.5M, T1 使能,
}

```

```

void c_int2()          /*定时器 1 中断服务程序*/
{
    if(PIVR!=0x27)
        { asm(" CLRC INTM ");
          return;
        }
    T1CNT=0;
    numled0--;
    if(numled0==0)
    {
        numled0=200;
    }
}

```



```

        if((PEDATDIR & 0x0002)==0x0002)
            PEDATDIR=PEDATDIR & 0xFFFD;          //IOPE1=0;LED 灭
        else
            PEDATDIR=PEDATDIR |0x0002;          //IOPE1=1;LED 亮
    }

    EVAIFRA=0x80;

    asm(" CLRC    INTM ");

}

void KickDog()          /*踢除看门狗 */
{
    WDKEY=0x5555;
    WDKEY=0xAAAA;
}

```

所有的 PWM 波形必须经过 HD74HC14P 处理后送入驱动器，其中 PWM1 接驱动器 1 的 CP+引脚，PWM4 接驱动器 2 的 CP+引脚，PWM5 和 PWM6 分别接驱动器 1 和驱动器 2 的 CW+引脚。通过改变 PWM1 和 PWM2 的频率即可改变小车的速度，此程序只能控制小车前进，此时 PWM1 和 PWM2 的频率是相等的。若想控制其后退可通过改变 PWM5 和 PWM6 来实现后退功能，若想实现左转和右转，可通过改变 PWM1 和 PWM2 的频率，使其不相等，即可实现左转和右转。

驱动步进电机的脉冲信号的频率有一个最高限，超过此频率，步进电机就会不转动，而且通过实践，脉冲频率越小，步进电机转动时产生的噪音越大，若频率越大则噪音越小。