参考教材部分：

5.1 步进电动机

步进电动机是一种将电脉冲信号转换成相应角位移或直线位移的机电执行元件。每当输入一个电脉冲时，转子就转动一个固定的角度。脉冲一个接一个地输入，转子就一步一步地转动，故称之为步进电动机。

步进电动机的角位移量与输入电脉冲的个数成正比，旋转速度与输入电脉冲的频率成正比，即控制输入电脉冲的个数、频率和定子绕组的通电方式，就可控制步进电动机转子的角位移量、旋转速度和旋转方向。

步进电动机具有快速启停、高精度、能够直接接受数字信号和不需要位移传感器就可达到较精确定位等特点，因而在需要精确定位的场合，如软盘驱动系统、绘图机、打印机、经济型数控系统等得到广泛的应用。

5.1.1 步进电动机的结构与工作原理

1. 步进电动机的结构

步进电动机的结构和一般旋转电动机一样，由定子和转子两大部分组成。

定子由硅钢片叠成的定子铁芯和装在其上的多个绕组组成。输入电脉冲对多个定子绕组轮流进行励磁而产生磁场。定子绕组的个数称为相数。

转子用硅钢片叠成或用软磁性材料做成凸极结构。凸极的个数称为齿数。

根据转子的结构不同，步进电动机通常分为反应式、永磁式和混合式三种。转子本身没有励磁绕组的称为反应式步进电动机，用永久磁铁做转子的称为永磁式步进

电动机。

图 5.1 所示为三相反应式步进电动机的结构。

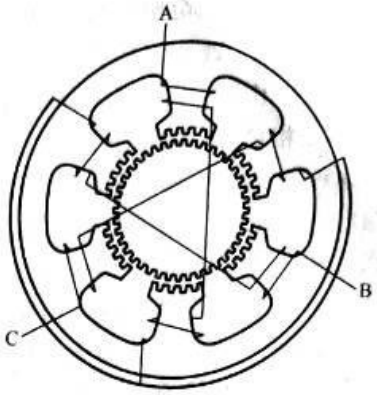

图 5.1 反应式步进电动机结构

2. 步进电动机的工作原理

图 5.2 为三相反应式步进电动机的工作原理图。它的定子有 6 个极，每极上都绕有控制绕组，每两个相对的极组成一相。转子有 4 个均匀分布的齿，上面没有绕组。

磁通总是要沿着磁阻最小的路径通过是步进电动机工作的原理，相似于电磁铁的工作原理。

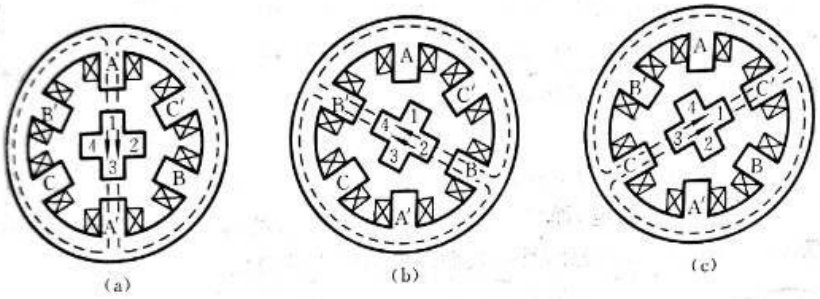

图 5.2 步进电动机工作原理图

(a) A 相通电 (b) B 相通电 (c) C 相通电

当 A 相绕组通电、B 相和 C 相绕组都不通电时，转子齿 1、3 的轴线向定子 A 极的轴线对齐，即在电磁吸力作用下，将转子齿 1、3 吸引到 A 极下。此时，转子受到的力只有径向力而无切向力，故转矩为零，转子被自锁在这个位置，如图 5.2(a)所示；当 A 相绕组通电变为 B 相绕组通电时，定子 B 极的轴线使最靠近的转子齿 2、4 的轴线向其对齐，促使转子在空间顺时针转过 30°角，如图 5.2(b)所示；当 B 相绕组通电又变为 C 相绕组通电时，定子 C 极的轴线使最靠近的转子齿 1、3 的轴线向其对齐，转子又将在空间顺时针转过 30°角，如图 5.2(c)所示。可见通电顺序为 A→B→C→A 时，电动机的转子便一步一步按顺时针方向转动，每步转过的角度均为 30°。

步进电动机转子齿与齿之间的角度称为齿距角，转子每步转过的角度称为步距角。图 5.2 所示的转子有 4 个齿，齿距角为 90°。三相绕组循环通电一次，磁场旋转一周，转子前进一个齿距角，即步距角为 30°。

若按 A→C→B→A 的顺序通电，转子就反向转动。因此只要改变通电顺序，就可改变步进电动机旋转方向。

5.1.2 通电方式

步进电动机有单相轮流通电、双相轮流通电和单、双相轮流通电的三种通电方

$$n = 60\frac{\beta f}{2\pi} = 60\frac{\frac{2\pi}{Kmz}f}{2\pi} = \frac{60f}{Kmz} \quad \text{r/min} \quad (5.2)$$

5.1.3 步距角细分

每个单步运行引起的步响应振幅跟单步的增量直接有关。普通的驱动方式因步距角大而引起的振幅也大，在系统自然谐振区内，有可能引起失步。将步进电动机的一个自然步进行细分，得到“微步距”，就可使步进电动机的步增量减小。这不仅明显提高了步进电动机的分辨率，且使电动机运行平稳、振动减小、噪声降低，即使在谐振区内也不容易引起失步。

步距角细分的基本原理如图 5.4 所示。不细分时：A 相绕组通电时，转子停在 A—A 位置，当由 A 相绕组通电转为 A、B 两相绕组同时通电时，则转子一次转过 30°，停在 A、B 之间的位置Ⅰ。细分时：当由 A 相绕组通电转为 A、B 两相绕组通电时，B 相绕组中的电流不是由零一次上升到额定值，而是先达到额定值的 1/2。由于转矩 T 与流过绕组的电流 I 成线性关系，转子将不是顺时针转过 30°，而是转过 15°停在位置Ⅱ。同理，当由 A、B 两相绕组通电变为只有 B 相绕组通电时，A 相绕组中的电流也不是突然一次下降为零，而是先降到额定值的 1/2，转子将不是停在 B 而是停在位置Ⅲ，这就将精度提高了一倍。分级越多，精度越高。

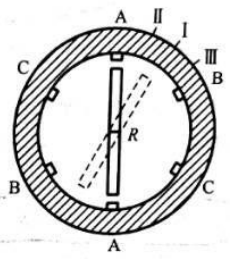

图 5.4 步距角细分原理图

电机实验程序：

```
#include <iom64v.h>
#include <macros.h>
#define uchar unsigned char
#define uint unsigned int
void delay(uint ms)//延时程序
{
            uint i,j;
      for(i=0;i<ms;i++)
          {
          for(j=0;j<1141;j++);
          }
}

void main()
{
   uint m,p;
   for(p=0;p<=200;p++)
        {
        DDRA=0XFF;//设置 A 口输出
        PORTA=0X00;//A 置 0，低电平

        DDRA=0XFF;//设置 A 口输出
        PORTA=0X0D;//A1 为低电平
        delay(10);

        DDRA=0XFF;
        PORTA=0X0E;//A0 为低电平
        delay(10);

        DDRA=0XFF;
        PORTA=0X07;//A3 为低电平
        delay(10);

        DDRA=0XFF;
        PORTA=0X0B;//A2 为低电平
        delay(10);
        }
        for(m=1;m<=500;m++)
        {
        delay(500);p=0;
        }
}
```