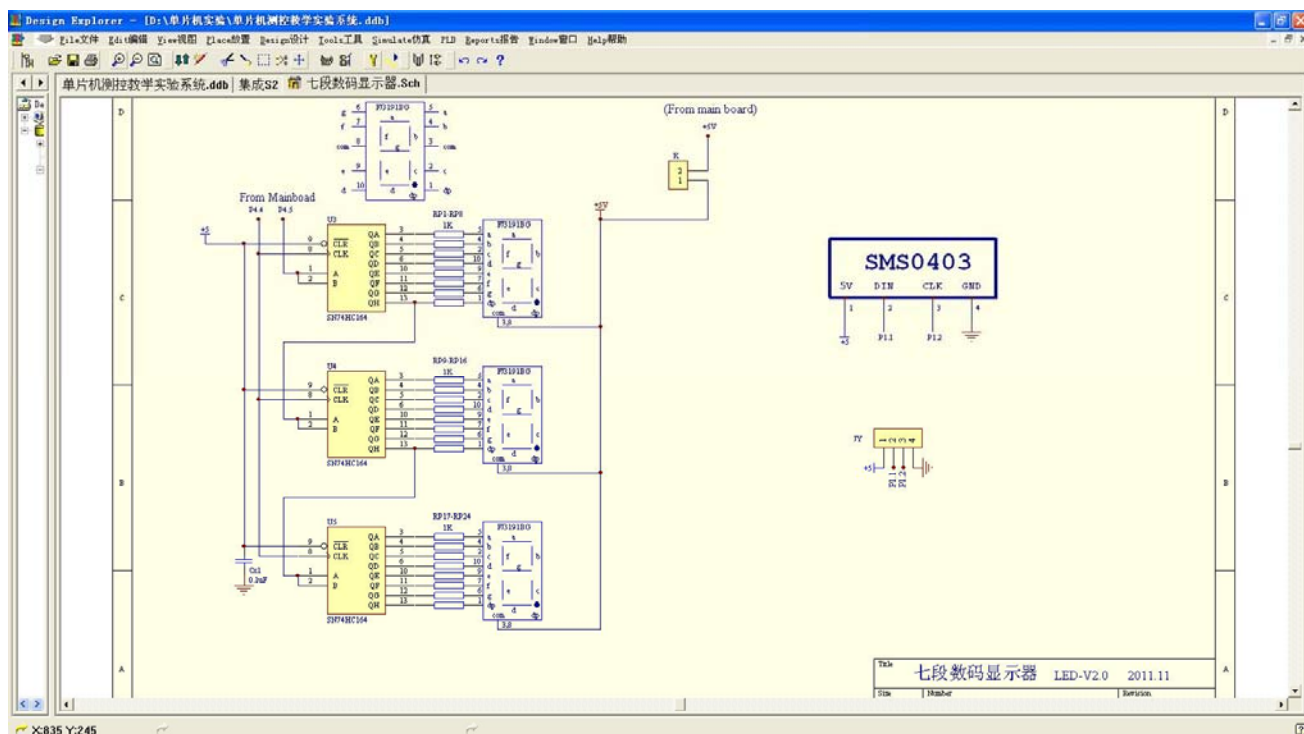


附录二 实验原理说明

一、 串行接口LED数码管显示

七段 LED 数码管是常用的简单显示元件，可以显示数字和简单的符号。由于设备简单得到广泛应用。数码管显示方式有并行扫描和串行锁存等多种方式。下面介绍使用串行接口方式控制数码管显示的原理。

在本实验开发平台中，采用 3 个 74HC164 级联控制三个数码管的显示，具体实验原理如下图所示。其中使用单片机 P4.5 作为模拟串口数据，使用 P4.4 模拟串口时钟，CLR 端接高电平。使用上一个 74HC164 的 Q7 作为下一个 74HC164 的输入端。



74HC164 是高速 CMOS 器件。74HC164 是 8 位边沿触发式移位寄存器，串行输入数据，然后并行输出。数据通过两个输入端（A 或 B）之一串行输入；任一输入端可以用作高电平使能端，控制另一输入端的数据输入。两个输入端或者连接在一起，或者把不用的输入端接高电平，一定不要悬空。

时钟 (CLK) 每次由低变高时，数据右移一位，输入到 Q0，Q0 是两个数据输入端（A 和 B）的逻辑与，它将上升时钟沿之前保持一个建立时间的长度。

主复位(CLR)输入端上的一个低电平将使其它所有输入端都无效，同时非同步地清除寄存器，强制所有的输出为低电平。

二、步进电机及控制方式

2.1 步进电机的工作原理

步进电机是工业控制及仪表中常用的控制元件之一，它的基本功能是将数字脉冲转换为角位移，从而可以实现对执行机构的精密控制。它还具有快速启停、精确定位和步进等特点。在数控机床、打印机等领域得到广泛应用。

常见的共磁路反应式步进电机的结构中,分为定子和转子两大部分。以三相步进电机为例，共有六个大极，对称的大极形成一相控制绕组。在每个大极上，面向转子的部分分布多个等间距排列的小齿。电机的转子由软磁性材料制成，外部有与大极形状相似，间距相同的小齿。

在步进电机的设计中，如果在转子上排列 40 个小齿，则齿间距为 $360/40=9^\circ$ 。同样，每个大极上各有 5 个小齿，间距也是 9° 。由于各极中心线之间的夹角为 120° ，当 A 相磁极与转子的齿对齐时（称为对齿），其他绕组的磁极必定不能与转子的齿对齐（称为错齿）。例如 A 相磁极与 0 号齿对齐时，B 相磁极中心线处应正对 $120/9$ 号齿，相当于 13 齿向后多 3 度。

当绕组通电后，由通电的定子与转子之间的电磁力将推动转到最大磁导率的位置，并达到稳定状态。一般而言，在只有一个绕组通电的情况下，此时转子的齿必定和此绕组的齿相对齐。如上例的情况是 A 相通电，如此时突然变为只有 B 相通电，电磁力将迫使 13 号齿与 B 相中心线对齐，这样，转子就转动了 3 度，电机也因此转了一步。如果按一定次序轮流通电，电机将持续转动。

2.2 步进电机的控制方法

步进电机的运转是由脉冲信号控制的，只要按照一定次序对线圈通电，即可实现步进电机的转动控制。考虑到各种工作条件，常用的控制方法分别叙述如下（仍然以三相步进电机为例）：

➤ 单三拍工作方式

当通电方式为 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ 循环时，称为单三拍工作方式。所谓“单”是指每次对一相通电；所谓“三相”指每换相三次，磁场就会旋转一周，同时转子转动一个齿距。如果需要反向旋转，则通电次序也要颠倒。

这种方式控制方法简单，通电电流小，最小步进角度为齿距的三分之一；但存在着高频性能差、转矩小、易产生振荡的缺点。

➤ 双三拍工作方式

如果每次都是两相同时通电，电流切换三次，磁场旋转一周，电机前进一个齿距，称双三拍工作方式。即通电方式为 $AB \rightarrow BC \rightarrow CA \rightarrow AB$ 循环。

由于每次都是两相通电，在这种方式下，转子齿不能与定子齿相对齐。如 AB 相通电时，转子既不能与 A 相齿对齐，也不能与 B 相齿对齐，而只能停在 AB 相之间的中间位置，转子齿与 A 相正差 1.5° ，与 B 相负差 1.5° 。同理可以推出，在双三拍工作方式中，每一步都是不对齿的。这样，它的步进位置不是稳定位置，容易引起振荡。

双三拍工作方式的电流比单三拍工作方式大，约为其 1.5 倍。因此其转动转矩大。另外这种方式不易产生失步。

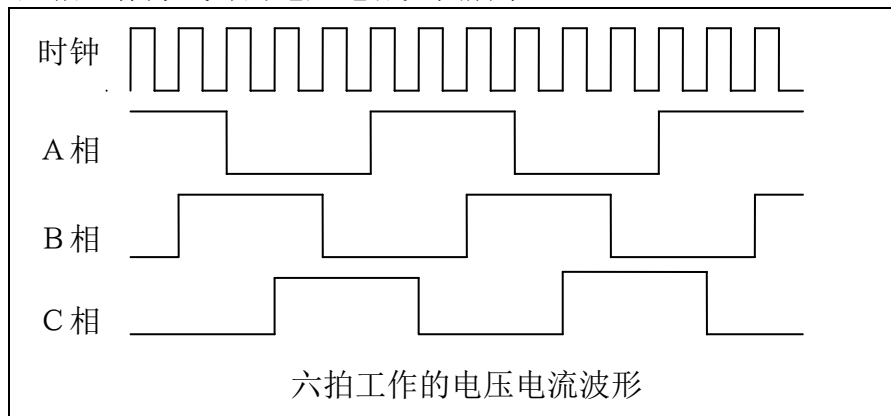
➤ 六拍工作方式

在六拍工作方式中，通电方式如下：

A → A B → B → B C → C → C A → A 循环。

这时，控制电流切换六次，磁场旋转一周，电机前进一个齿距。这样每次前进的精度为齿距的六分之一，精度提高一倍。

六拍工作方式时的电压电流如图所示：



六拍工作方式的综合工作指标最好，它具有高频性能好、转矩大、振荡小、且具有较好的平滑性。尤其是采用单片机等数字方式时，不需要复杂的硬件构成脉冲分配器，更具有实用价值。

步进电机的转动速度的控制是通过改变时钟的周期，即改变换相的频率来实现的；它转过的角度由输入的脉冲个数决定。当然，由于各种物理因素（包括摩擦、机械惯性、响应时间等），步进电机的最高转速有限制。

2.3 步进电机的主要特性

步进电机的主要参数有电机的最大工作电压、最小启动电压、最大允许功耗及工作频率等。

步进电机的主要性能指标是频率特性曲线。曲线的纵坐标是转动转矩，横坐标是转动频率。一般电机的转动转矩随频率升高而下降。

电机的频率特性和许多因素有关，包括制造时决定的物理、几何参数和使用的方式。通过加大控制电压和降低线圈的时间常数的方法可以提高电机的最高工作频率。

步进电机在使用时可能出现振荡、失步和阻尼等不希望出现的现象，要在实际设计中加以考虑。

三、直流电机转速控制

直流电机具有良好的启动制动性能，可以在宽范围内平滑调速，在仪器中的伺服电机、电动机车和起重机中都可以找到应用。

影响直流电机转速的主要参数有电枢的供电电压和电机的励磁电流，可以通过调节这两个参数来达到调速的目的。小的直流电机没有励磁电流，只能使用调压调速的方式来控制。由于电机的转速与电压不是严格的线性关系并且受到外部阻力力矩的影响，一般要通过测速部件进行反馈控制。

在计算机接口中使用 D/A 转换器控制输出电压，通过晶闸管或达林顿输出管等大功率驱动部件控制加到电枢两极的电压，就可以达到调速的目的。

脉宽调制调速（PWM）是一种新的控制方法，它具有不使用 D/A 转换器直接控制的特点，被控制元件工作在开关态，输出参数在理想的区间。在低频大功率控制中有广泛的应用前景。

PWM 的基本原理是使用具有一定占空比的方波来模拟对应的电压值。当实际系统具有惯性滞后特性时，如果方波的频率远大于被控系统的响应时间，这个方波与其被积分后的直流信号具有相同的效果，也就是占空比为 δ ，幅度为 A 的方波信号等价于值为 $\delta \times A$ 的直流信号。

在接口中，PWM 控制只使用一根信号线就可以实现控制。由软件根据需要的信号值计算出方波的占空比，定时输出 1 或 0 即可。由于 PWM 技术依赖于被控系统的滞后特性（相当于电容特性），输出的方波的占空比对应于控制量，而方波的频率要远小于被控系统的时间常数，如果频率过小，将会使被控系统出现振荡。在实际中，往往采用输出线后接电容的措施来增大系统时间常数。

下面讨论当硬件系统固定后，也即被控系统的时间常数固定时，软件的编制方法。

如果使用单片机控制的时候，由于单片机的定时器一般都能满足时间上的需要，可以直接设一个常数 N 和控制变量 M ，在 $0-M$ 的前半段输出 1，在 $M-N$ 的后半段输出 0，达到输出控制为 M/N 的效果。如果设定的方波周期 T 的 N 分频可以使用定时器来满意的校准，一种较好的编程方式是在这个定时中断中根据需要输出 0 或 1，而在主程序中进行控制调整和其他工作。

当中断的时间 T_i 固定时，输出方波的周期实际上是 $N \times T_i$ ，要求被控对象的时间常数 T_s 远大于 $N \times T_i$ 。当 T_s 与 T_i 接近而远大于 T_i 时，还可以采用一种基于随机数的编程方法：也就是，在时间为 T_i 的中断到来时，根据随机数来决定是输出 0 或 1。具体的说：如果期望的控制变量应该是 $f(0 < f < 1)$ ，在中断中产生一个 $[0,1]$ 之间的均匀随机数 r ，如 $r < f$ 则输出 0，否则输出 1。使用这种方式可以有效地减少 CPU 的工作量，也可以保证被控系统的稳定性。

另外一种便于实现的方式就是累加进位法。设置一个累加变量 x ，每次加 N ，若结果大于 M ，则输出 1，并减去 M ；否则输出 0。这样整体的占空比也是 N/M 。如果使用汇编语言，取 $M=256$ 将会使程序很简单。程序段落大致如下

```
MOV A, R7 ;R7 存放 x
ADD A, R6 ; R6 存放 N
MOV R7, A
MOV P1.1, C; 向 P1.1 控制端口输出 1 或 0
```