

直流电机原理应用及程序详解

1. 直流电机实物图片



图1 普通直流电机



图2 减速直流电机



图3 无刷直流电机



图4 伺服直流电机



图5 永磁直流电机

2. 直流电机介绍

电机是使机械能与电能相互转换的机械，直流电机把直流电能变为机械能。作为机电执行元部件，直流电机内部有一个闭合的主磁路。主磁通在主磁路中流动，同时与两个电路交联，其中一个电路是用以产生磁通的，称为激磁电路，另外一个是用来传递功率，称为功率回路或者电枢回路。现行的直流电动机都是旋转电枢式，也就是说激磁绕组及其所包围的铁芯组成的磁极为定子，带换向单元的电枢绕组和电枢铁芯结合构成直流电动机的转子。

直流电机有以下几方面的优点：

- (1) 调速范围广，且易于平滑调节；
- (2) 过载、起动、制动转矩大；
- (3) 易于控制，可靠性高；
- (4) 调速时的能量损耗较小。

所以，在调速要求高的场所，如轧钢机、轮船推进器、电车、电气铁道牵引、高炉送料、造纸、纺织、拖动、吊车、挖掘机械、卷扬机拖动等方面，直流电动机均得到广泛的应用。

3. 直流电机的工作原理

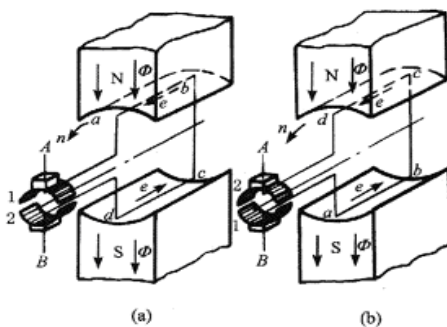


图6 直流电机工作原理图

图 6 是直流电机工作原理图, 当电刷 A、B 接在电压为 U 的直流电源上时, 若电刷 A 是正电位, B 是负电位, 在 N 极范围内的导体 ab 中的电流是从 a 流向 b, 在 S 极范围内的导体 cd 中的电流是从 c 流向 d。载流导体在磁场中要受到电磁力的作用, 因此, ab 和 cd 两导体都要受到电磁力的作用。根据磁场方向和导体中的电流方向, 利用电动机左手定则判断, ab 边受力的方向是向左, 而 cd 边则是向右。由于磁场是均匀的, 导体中流过的又是相同的电流, 所以, ab 边和 cd 边所受电磁力的大小相等。这样, 线圈上就受到了电磁力的作用而按逆时针方向转动了。当线圈转到磁极的中性面上时, 线圈中的电流等于零, 电磁力等于零, 但是由于惯性的作用, 线圈继续转动。线圈转过半周之后, 虽然 ab 与 cd 的位置调换了, ab 边转到 S 极范围内, cd 边转到 N 极范围内, 但是, 由于换向片和电刷的作用, 转到 N 极下的 cd 边中电流方向也变了, 是从 d 流向 c, 在 S 极下的 ab 边中的电流则是从 b 流向 a。因此, 电磁力的方向仍然不变, 线圈仍然受力按逆时针方向转动。可见, 分别处在 N、S 极范围内的导体中的电流方向总是不变的, 因此, 线圈两个边的受力方向也不变, 这样, 线圈就可以按照受力方向不停的旋转了, 通过齿轮或皮带等机构的传动, 便可以带动其它工作机械。

从以上的分析可以看到, 要使线圈按照一定的方向旋转, 关键问题是当导体从一个磁极范围内转到另一个异性磁极范围内时 (也就是导体经过中性面后), 导体中电流的方向也要同时改变。换向器和电刷就是完成这个任务的装置。在直流电动机中, 换向器和电刷把输入的直流电变为线圈中的交流电。可见, 换向器和电刷是直流电机中不可缺少的关键性部件。

当然, 在实际的直流电动机中, 也不只有一个线圈, 而是有许多个线圈牢固地嵌在转子铁芯槽中, 当导体中通过电流、在磁场中因受力而转动, 就带动整个转子旋转。这就是直流电动机的基本工作原理。

4、直流电机的参数

- 转矩: 电动机得以旋转的力矩, 单位为 $\text{kg} \cdot \text{m}$ 或 $\text{N} \cdot \text{m}$ 。
- 转矩系数: 电动机所产生转矩的比例系数, 一般表示每安培电枢电流所产生的转矩大小。
- 摩擦转矩: 电刷、轴承、换向单元等因摩擦而引起的转矩损失。
- 启动转矩: 电动机启动时所产生的旋转力矩。
- 转速: 电动机旋转的速度, 工程单位为 r/min , 即转每分, 在国际单位制中为 rad/s , 即弧每秒。
- 电枢电阻: 电枢内部的电阻, 在有刷电动机里一般包括电刷与换向器之间的接触电阻, 由于电阻中流过电流时会发热, 因此总希望电枢电阻尽量小些。
- 电枢电感: 因为电枢绕组是由金属线圈构成, 必然存在电感, 从改善电动机运行性能的角度来说, 电枢电感越小越好。
- 电气时间常数: 电枢电流从零开始达到稳定值的 63.2% 时所经历的时间。测定电气时间常数时, 电动机应处于堵转状态并施加阶跃性质的驱动电压。电气时间常数工程上常常利用电枢绕组的电阻 R_a 和电感 L_a 求出: $T_e = L_a / R_a$ 。
- 机械时间常数: 电动机从启动到转速达到空载转速的 63.2% 时所经历的时间。测定机械时间常数时, 电动机应处于空载运行状态并施加阶跃性质的阶跃电压。机械时间常数工程上常常利用电动机转子的转动惯量 J 和电枢电阻 R_a 以及电动机反电动势系数 K_e 、转矩系数 K_t 求出: $T_m = (J \times R_a) / (K_e \times K_t)$ 。
- 转动惯量: 具有质量的物体维持其固有运动状态的一种性质。
- 反电动势系数: 电动机旋转时, 电枢绕组内部切割磁力线所感应的电动势相对于转速的比例系数, 也称为发电系数或感应电动势系数。
- 功率密度: 电动机每单位质量所能获得的输出功率值, 功率密度越大, 电动机的有效材料的利用率就越高。

- 转子: rotor ; 定子: stator; 电枢: armature; 励磁: excitation。

5、直流电机的驱动

用单片机控制直流电机时,需要加驱动电路,驱动电路要为直流电机提供足够大的驱动电流,使用不同的直流电机,其驱动电流就不同,我们要根据实际需求选择合适的驱动电路,通常有以下几种驱动电路:三极管电流放大驱动电路、电机专用驱动模块(如 L298)、达林顿驱动器等。如果是驱动单个电机,并且电机的驱动电流不大的情况下,我们可自己用三极管搭驱动电路,不过这样要稍微麻烦些。如果电机所需要的驱动电流较大,我们可直接选用市场上现成的电机专用驱动模块,这种模块接口简单,操作方便,而且可为电机提供较大的驱动电流,不过它的价格要贵一些。如果是自己学习电机原理及电路驱动原理,建议大家可选用第三种方案,使用达林顿驱动器,它实际上就是一个集成芯片,单块芯片同时可驱动 8 个电机,每个电机由单片机的一个 I/O 口控制,当需要调节直流电机转速时,使单片机的相应 I/O 口输出不同占空比的 PWM 波形,在接下来的例程中我们就该驱动电路做介绍。在这之前我们首先介绍一下 PWM 波。

PWM 波: PWM 是英文 Pulse Width Modulation(脉冲宽度调制)的缩写,按一定规律改变脉冲序列的脉冲宽度,以调节输出量和波形的一种调制方式,我们在控制系统中最常用的是矩形波 PWM 信号,在控制时需要调节 PWM 波的占空比。如图 7 所示,占空比是指高电平持续的时间在一个周期时间内的百分比。控制电机的转速时,占空比越大,速度越快,如果全为高电平,即占空比为 100%时,速度达到最快。

当用单片机 I/O 口输出 PWM 信号时,有三种方法可采用:

- (1) 可以利用软件延时,当高电平延时时间到对 I/O 口电平取反变成低电平,然后再延时,当低电平延时时间到再对该 I/O 口电平取反,如此循环就可得到 PWM 信号;
- (2) 利用定时器,控制方法同上,只是在这里利用单片机的定时器来定时进行高低电平的翻转,而不用软件延时;
- (3) 利用单片机自带的 PWM 控制器,STC12 系列单片机自身带有 PWM 控制器,STC89 系列单片机无此功能,其它型号的很多单片机也带有 PWM 控制器,比如 PIC 单片机、AVR 单片机等。

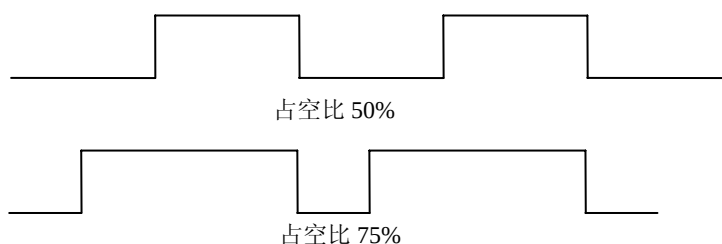


图 7 PWM 信号

6、直流电机与单片机的硬件连接

图 8 是使用 TX-1C 实验板做直流电机扩展实验时的硬件连接图,电机扩展板独立于 TX-1C 实验板,电机扩展板上使用 5V 直流电源,在做本实验时,两电源需要共地。电机扩展板上用一个达林顿反相驱动器 ULN2803 驱动电机,这里仅驱动一路电机,电机的一端接 +5V 电源,另一端接 ULN2803 的 OUT6 引脚,ULN2803 的 IN6 引脚与单片机的 P1.7 相连,通过控制单片机的 P1.7 输出 PWM 信号就可控制直流电机的速度与启停。

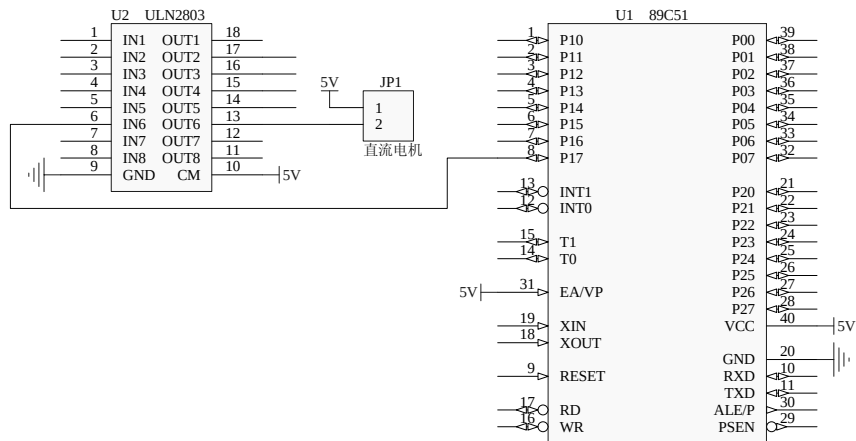


图8 直流电机和单片机连接原理图



图9 实验所用直流电机实物图

直流电机参数，电压：2-6V，直径：24mm，高度：12mm.。

6、C 语言程序实例

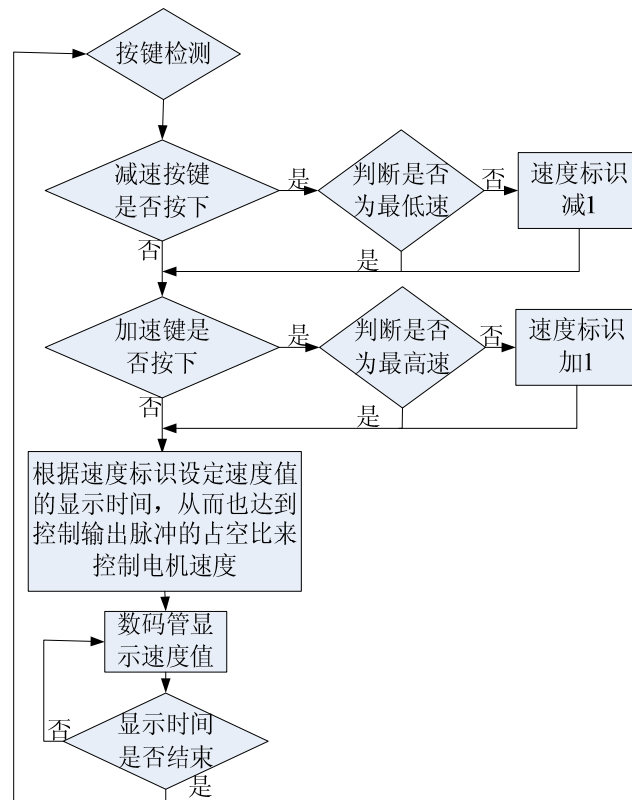


图10 程序流程图

实验说明：使用 TX-1C 实验板上两独立按键调节直流电机转速，同时在实验板的数码管上象征性的显示出相应的转速对应数值。通过控制单片机输出不同占空比的 PWM 信号来控制直流电机的转速，由于本实验没有测量电机实际转速的电路部分，所以数码管显示的速度并不代表电机实际速度，这里仅给大家感性的认识。

```
#include <reg52.h>

#define uchar unsigned char

sbit dula=P2^6;           //数码管显示段选 IO 口定义
sbit wela=P2^7;           //数码管显示位选 IO 口定义
sbit dianji=P1^7;         //控制电机 IO 口定义
sbit jia_key=P3^6;         //加速键
sbit jian_key=P3^7;       //减速键

uchar num=0,show_num=1,gao_num=1,di_num=3;
uchar code table[]={0x3f,0x06,0x5b,0x4f,0x66,0x6d,0x7d,
    0x07,0x7f,0x6f,0x77,0x7c,0x39,0x5e,0x79,0x71}; //数码管显示数据表

void delay(uchar i)        //延时函数
{
    uchar j,k;
    for(j=i;j>0;j--)
        for(k=125;k>0;k--);
}

void display()              //数码管显示函数
{
    dula=0;
    P0=table[show_num];
    dula=1;
    dula=0;
    wela=0;
    P0=0xfe;
    wela=1;
    wela=0;
    delay(5);
    P0=table[0];
    dula=1;
    dula=0;
    P0=0xfd;
    wela=1;
    wela=0;
    delay(5);
    P0=table[0];
    dula=1;
    dula=0;
    P0=0xfb;
    wela=1;
    wela=0;
```

```
    delay(5);
    P0=table[0];
    dula=1;
    dula=0;
    P0=0xf7;
    wela=1;
    wela=0;
    delay(5);
}

void key ()                                //按键检测处理函数
{
    if(jia_key==0)
    {
        delay(5);                        //消抖
        if(jia_key==0)
        {
            num++;                        //加速键按下，速度标志加 1
            if(num==4)
            {
                num=3;                    //已经达到最大 3，则保持
                while(jia_key==0);        //等待按键松开
            }
        }
    }
    if(jian_key==0)
    {
        delay(5);
        if(jian_key==0)
        {
            if(num!=0)                    //减速键按下，速度标志减 1
            {
                num--;
            }
            else
            {
                num=0;                    //已经达到最小 0，则保持
                while(jian_key==0);
            }
        }
    }
}

void dispose()                             //根据速度标志进行数据处理
{
    switch(num)
    {
        case 0:
            show_num=1;                    //数码管第一位显示的数据
            gao_num=1;                    //PWM 信号中高电平持续时间标志为 1
            di_num=3;                      //PWM 信号中低电平持续时间标志为 3，此时速度最慢
            break;
```

```
case 1:
    show_num=2;
    gao_num=2;
    di_num=2;
    break;
case 2:
    show_num=3;
    gao_num=3;
    di_num=1;
    break;
case 3:
    show_num=4;
    gao_num=4;
    di_num=0;           //此时速度最快
    break;
}
}
void qudong()           //控制电机程序
{
    uchar i;
    if(di_num!=0)
    {
        for(i=0;i<di_num;i++)
        {
            dianji=0;           //实现 PWM 信号低电平输出
            display();           //利用显示函数起延时作用，这样也不影响数码管显示，一举两得
        }
    }
    for(i=0;i<gao_num;i++)
    {
        dianji=1;           //实现 PWM 信号高电平输出
        display();
    }
}
void main()
{
    while(1)
    {
        dianji=0;
        key();
        dispose();
        qudong();
    }
}
```