

## 第 2-2-2 讲：直流电磁继电器控制

### 1. 学习目的

1. 了解直流电磁继电器的基本原理。
2. 掌握编程控制电磁继电器的吸合与释放。

### 2. 电磁继电器简介

继电器是一种电控制器件，通俗的说，他是一种实现小电流、低电压控制大电流、高电压的开关，被广泛应用于自动控制、家用电器、交通工具以及工业自动化等众多领域。

继电器的种类较多，常见的有电磁继电器、固态继电器、时间继电器等。其中，电磁继电器又有直流电磁继电器、交流电磁继电器等，本章我们学习是如何驱动一种常用的直流电磁继电器（型号：HK4100F-5V）。

直流电磁继电器是一种常用的电气开关装置，他是利用电磁原理控制电路的通断。如下图所示，电磁继电器由线圈、铁芯和触点等组成，通过控制电路施加电流于线圈产生的磁场来吸引或释放触点，从而实现电路的开闭操作。当控制电路提供电流流过线圈，产生的电磁力将吸引衔铁上从而带动衔铁上的动触点与常开触点吸合，负载 B 工作。当控制电路断开线圈电流，弹簧的拉力使得衔铁上的动触点与常闭触点吸合，负载 A 工作。

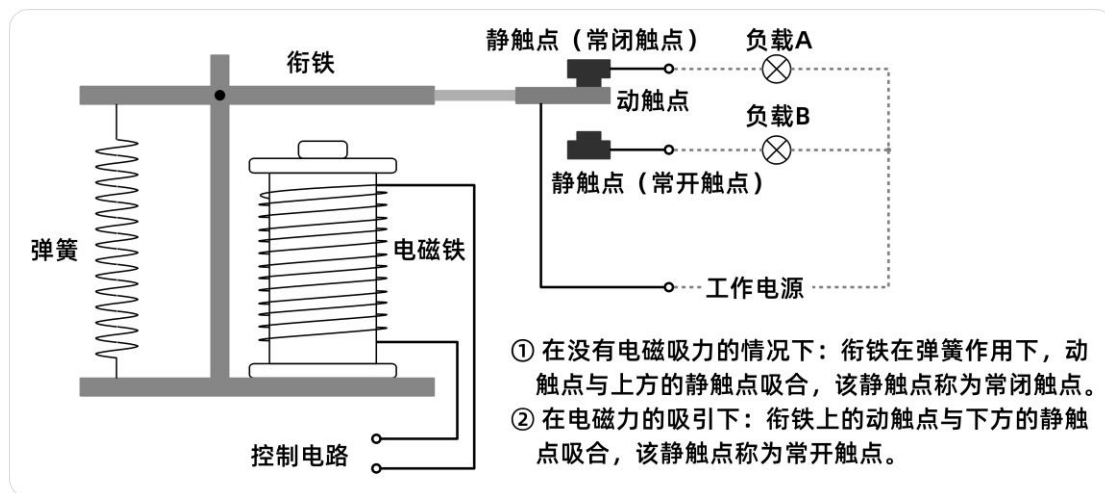


图 1：电磁继电器原理结构

直流电磁继电器的一些常见电气参数如下：

- 额定工作电压：是指继电器正常工作时线圈所需要的电压。直流电磁式继电器的额定工作电压有多种，常见的如 3V、5V、9V、12V 等。
- 额定工作电流：是指继电器正常工作时要通过线圈的电流，在实际应用中，为了确保继电器的稳定工作，通常会稍微大于吸合电流。
- 吸合电流：继电器能够产生吸合动作的最小电流值，就称为吸合电流。
- 直流电阻：指继电器中线圈的直流电阻。

- 触点负荷：是指继电器的触点允许通过的电流和所加的电压。即触点能够承受的负载大小。
- 动作时间：处于释放状态的继电器，从给线圈施加额定电压瞬间起，到继电器常开触点闭合瞬间的时间。
- 释放时间：处于动作状态的继电器，从断开线圈电压瞬间起到继电器的常闭触点闭合瞬间的时间。

### 3. 硬件电路设计

开发板使用的是型号为 HK4100F-5V 的 5V 直流电磁继电器，由驱动芯片 ULN2003 驱动，电路如下图所示：

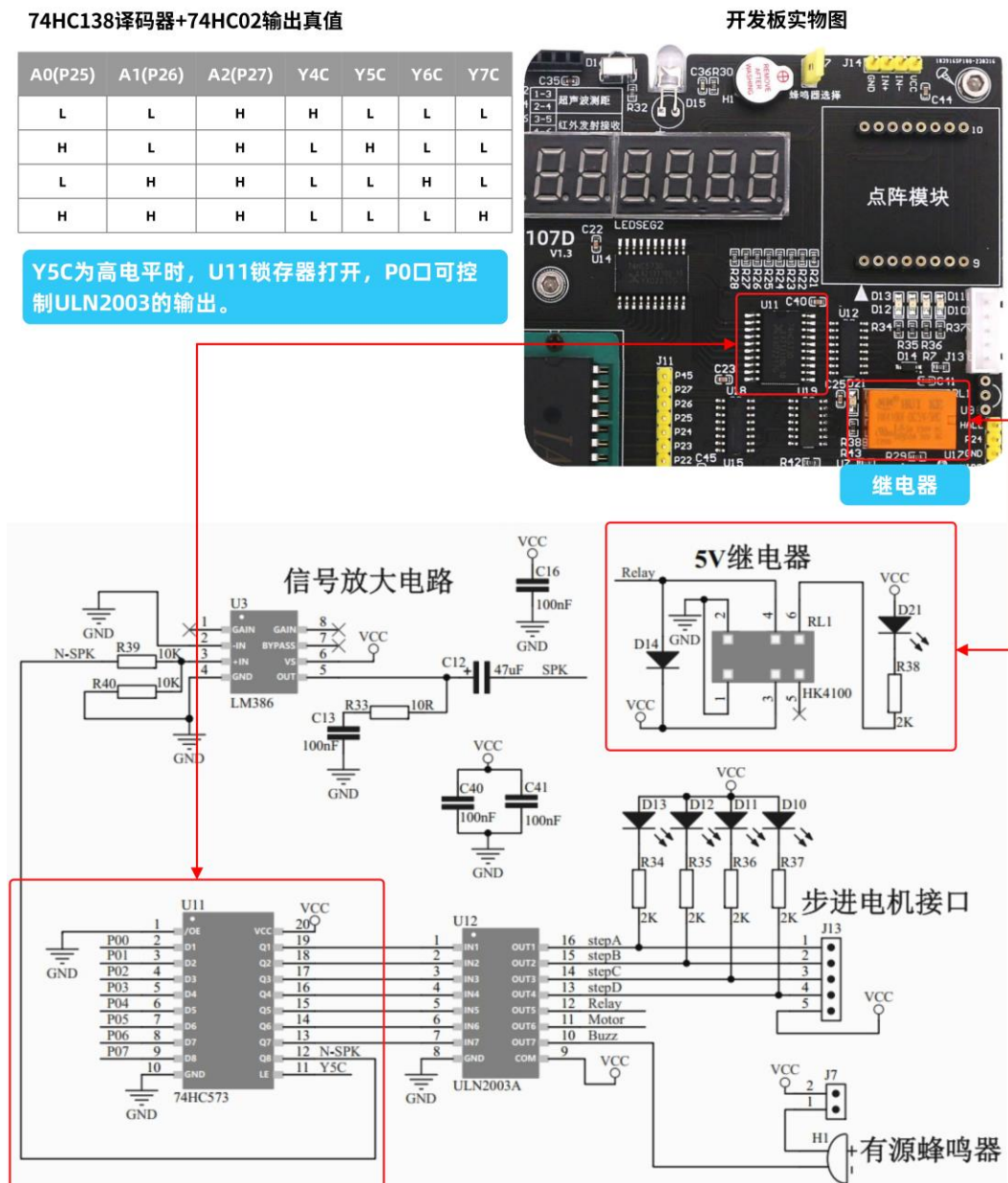


图 2：继电器驱动电路

ULN2003 是高耐压、大电流复合晶体管阵列，共有 7 个达林顿管对。通俗的说就是 ULN2003 共有 7 个驱动通道，可以驱动 7 路负载，每个通道提供的最大驱动电流为 500mA，并且每个通道带有续流二极管，常用来驱动继电器、步进电机等。

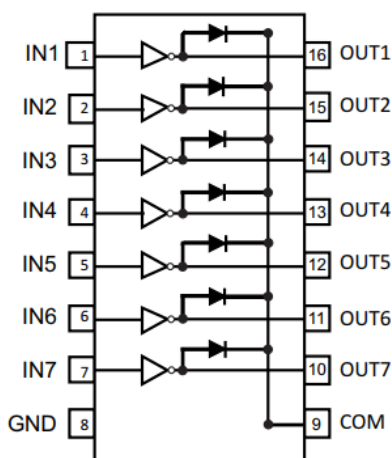


图 2：ULN2003 功能图

ULN2003 在逻辑上是一个非门，即输出与输入相反，这一点在使用的时候需要注意。

开发板上使用 ULN2003 的第 5 路通道驱动继电器，P0.4 经过锁存器 74HC573 连接到 ULN2003 的输入 IN[5]，ULN2003 的输出 OUT[5] 连接到继电器，P0.4 输出的高低电平即可控制继电器的吸合和释放。

- P0.4 输出高电平：ULN2003 输出低电平，继电器线圈导通，继电器吸合。
- P0.4 输出低电平：ULN2003 输出高电平，继电器线圈未导通，继电器释放。

开发板上 ULN2003 的 7 个通道驱动的负载如下表所示。

表 1：ULN2003 驱动的负载

通道	负载名称	使用的 I/O	说明
1	步进电机	P0.0	非独立 GPIO
2		P0.1	非独立 GPIO
3		P0.2	非独立 GPIO
4		P0.3	非独立 GPIO
5	继电器	P0.4	非独立 GPIO
6	电机	P0.5	非独立 GPIO
7	有源蜂鸣器	P0.6	非独立 GPIO

✧ 注：独立 GPIO 表示开发板没有其他的电路使用这个 GPIO，非独立 GPIO 说明开发板有其他电路用到了该 GPIO。读者在使用非独立 GPIO 使用时需要注意电路的连接，以避免多个电路使用了同一个 GPIO。

## 📖 知识点

电磁继电器使用时需要在继电器线圈两端反向并联一个二极管，起续流作用。这么做的原因是：在继电器线圈断电的时候，线圈两端会产生反向电动势，很容易对电路造成破坏，因而在继电器线圈两端反向并联一个二极管，为反向电动势提供一个放电回路（续流），从而达到保护其它电路元器件的目的，该二极管称为续流二极管。

## 4. 软件设计

### 4.1. GPIO 配置

本实验中需将单片机的 P0 引脚配置为准双向口，并配置译码器用到的 P2.5、P2.6、P2.7 为准双向口，原理和 LED 实验一样，参见“第 2-1 讲：流水灯实验”中 GPIO 部分的描述即可。

### 4.2. 继电器控制实验

✧ 注：本节的实验是在“实验 2-1-1：流水灯”的基础上修改，本节对应的实验源码是：“实验 2-2-2：电磁继电器控制”。

#### 4.2.1. 实验内容

1. 配置控制继电器的 GPIO 为准双向口。
2. 主循环中驱动继电器间隔性工作：每 1000ms 改变一次 P0.4 的输出电平，即继电器以 1000ms 的间隔闭合。

#### 4.2.2. 代码编写

1. 新建一个名称为“relay.c”的文件及其头文件“relay.h”并保存到工程的“Source”文件夹，并将“relay.c”加入到 Keil 工程中的“SOURCE”组。
2. 本例中编写了三个操作继电器的函数：ULN74hc573\_on、relay\_on 函数和 relay\_off 函数，分别用于打开控制 ULN2003 的锁存器、吸合继电器和释放继电器，他们的代码清单如下。

代码清单：打开控制 ULN2003 的锁存器函数

```
1. /*****
2. 功能描述：打开控制 ULN2003 的锁存器（U11:74HC573）
3. 参    数：无
4. 返 回 值：无
5. *****/
6. void ULN74hc573_on(void)
7. {
8.     P25=1;          //控制 P2.5 端口输出高电平
9.     P26=0;          //控制 P2.6 端口输出低电平
10.    P27=1;          //控制 P2.7 端口输出高电平
11. }
```

代码清单：relay\_on 函数

```

1. /*****
2. 功能描述：吸合继电器
3. 参    数：无
4. 返 回 值：无
5. *****/
6. void relay_on(void)
7. {
8.     ULN74hc573_on();    //打开控制 ULN2003 的锁存器，就可以用 P0.4 口控制继电器了
9.     RELAY_P04 = 1;      //继电器吸合
10.}

```

### 代码清单：relay\_off 函数

```

1. /*****
2. 功能描述：释放继电器
3. 参    数：无
4. 返 回 值：无
5. *****/
6. void relay_off(void)
7. {
8.     ULN74hc573_on();    //打开控制 ULN2003 的锁存器，就可以用 P0.4 口控制继电器了
9.     RELAY_P04 = 0;      //继电器释放
10.}

```

3. 主程序“main.c”中先配置用到的 GPIO，之后在主循环中以 1ms 间隔轮流开启和关闭继电器，代码清单如下：

### 代码清单：主函数

```

1. /*****
2. 功能描述：主函数
3. 入口参数：无
4. 返回值：int 类型
5. *****/
6. int main(void)
7. {
8.     P2M1 &= 0x1F;    P2M0 |= 0xE0;    //设置 P2.5、P2.6、P2.7 为推挽输出
9.     P0M1 &= 0x00;    P0M0 |= 0xFF;    //设置 P0.0 ~ P0.7 为推挽输出
10.
11.     SEG_off();        //控制 8 位数码管/点阵不显示
12.     leds_off();        //熄灭 D1~D8 指示灯
13.     ULN2003_off();    //控制步进电机、蜂鸣器、继电器等不工作
14.     delay_ms(10);    //延时
15.
16.     while(1)
17.     {

```



```
18.     relay_on();      //吸合继电器
19.     delay_ms(1000);  //延时 1s
20.     relay_off();     //释放继电器
21.     delay_ms(1000);  //延时 1s
22. }
23. }
```

#### 4.2.3. 硬件连接

本实验程序的编写都是基于 IO 模式，所以 J24 端子需要使用短路帽将该端子第 1 引脚和第 2 引脚短接，即选择为 IO 模式。

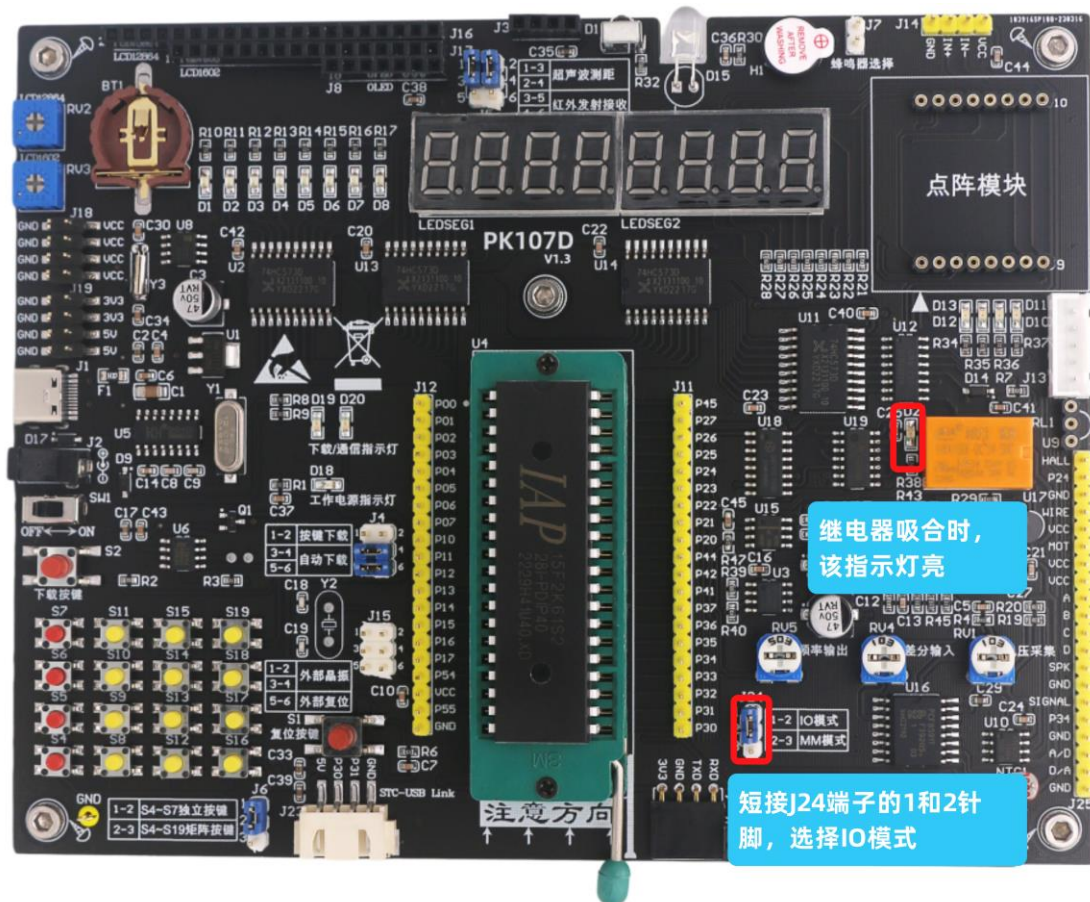


图 3：硬件连接图

#### 4.2.4. 实验步骤

1. 解压“…\第 3 部分：配套例程源码”目录下的压缩文件“实验 2-2-2：电磁继电器控制”，将解压后得到的文件夹拷贝到合适的目录，如“D:\STC15”（这样做的目的是为了防止中文路径或者工程存放的路径过深导致打开工程出现问题）。
2. 双击“…\relay\project”目录下的工程文件“relay.uvproj”。
3. 点击编译按钮编译工程，编译成功后生成的 HEX 文件“relay.hex”位于工程的“…\relay\project\Objects”目录下。

4. 打开 STC-ISP 软件下载程序，下载使用内部 IRC 时钟，IRC 频率选择：12MHz。
5. 程序运行后，可以观察到继电器以 1s 的间隔启动。