

第 5 章



I/O 端口的基本输出—— 多变的输出控制

为了更全面地了解通用 I/O 端口作为输出功能使用,本章跳出以往基于 LED 例子 I/O 端口输出的使用方式。例如电磁阀、气缸、直流电机、步进电机等驱动方式都可以归纳为类 LED 控制。

5.1 I/O 基本知识

在没有额外增加功率驱动器件的情况下,普通单片机的 I/O 端口的输出驱动电流一般在 10mA 左右,MSP430 单片机的 I/O 端口的驱动电流如图 5.1 所示,PIC16 单片机的 I/O 端口的驱动电流如图 5.2 所示,这些数据可以从官方给出的数据手册上找到。考虑到一个项目中会使用多个 I/O 作为输出,一般不建议用到每个 I/O 的最大电流,而为了拓展 I/O 输出的使用范围,一般需要搭配三极管、MOS 管或功率模块来增加单片机 I/O 的输出驱动能力。通过搭配这些外部器件可以实现对绝大部分设备的驱动控制;如果再配合光耦一起使用,则可满足工业控制中常用的功能。

输出, 端口 Px

在推荐的电源电压范围及自然通风条件下的工作温度范围内(除非另有说明)

参数	测试条件	V _{CC}	最小值	典型值	最大值	单位
V _{OH} 高电平输出电压	I _{OHmax} =-6mA ⁽¹⁾	3V		V _{CC} -0.3		V
V _{OL} 低电平输出电压	I _{OLmax} =6mA ⁽¹⁾	3V		V _{SS} +0.3		V

(1) 所有输出加在一起的最大总电流 I_{OHmax}和 I_{OLmax}不应超过 ±48mA, 以保持额定的最大压降。

图 5.1 MSP430G2553I/O 电流驱动能力(图片来自 MSP430 官方数据手册)

注意: 在使用单片机搭建实验电路的过程中,如果搭建的电路超过人体安全电压(>36V),则应在专业人员陪同下进行,以免发生不必要的安全事故。

使用 I/O 端口之前先来了解一些基础电路知识。

5.1.1 万物皆有电阻

电路中所有设备和元器件都是有电阻的,这一点很重要。没有绝对的绝缘体,同样也没有阻值为 0 的绝对导体。橡胶和空气在特定条件下也可以组成分压电路,如图 5.3 所示,所

17.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Absolute Maximum Ratings †

Ambient temperature under bias.....	-55 to +125°C
Storage temperature	-65°C to +150°C
Voltage on any pin with respect to Vss (except VDD, MCLR, and RA4)	-0.3V to (VDD + 0.3V)
Voltage on VDD with respect to Vss	-0.3 to +7.5V
Voltage on MCLR with respect to Vss (Note 2)	0 to +14V
Voltage on RA4 with respect to Vss	0 to +8.5V
Total power dissipation (Note 1)	1.0W
Maximum current out of Vss pin	300 mA
Maximum current into VDD pin	250 mA
Input clamp current, Iik (Vi < 0 or Vi > VDD)	± 20 mA
Output clamp current, Iok (Vo < 0 or Vo > VDD)	± 20 mA
Maximum output current sunk by any I/O pin	25 mA
Maximum output current sourced by any I/O pin	25 mA
Maximum current sunk by PORTA, PORTB and PORTE (combined) (Note 3)	200 mA
Maximum current sourced by PORTA, PORTB and PORTE (combined) (Note 3)	200 mA
Maximum current sunk by PORTC and PORTD (combined) (Note 3)	200 mA
Maximum current sourced by PORTC and PORTD (combined) (Note 3)	200 mA

- Note 1:** Power dissipation is calculated as follows: $P_{dis} = V_{DD} \times \{I_{DD} - \sum I_{OH}\} + \sum \{(V_{DD} - V_{OH}) \times I_{OH}\} + \sum (V_{OL} \times I_{OL})$
- 2:** Voltage spikes below Vss at the MCLR pin, inducing currents greater than 80 mA, may cause latch-up. Thus, a series resistor of 50-100Ω should be used when applying a “low” level to the MCLR pin rather than pulling this pin directly to Vss.
- 3:** PORTD and PORTE are not implemented on PIC16F873A/876A devices.

† NOTICE: Stresses above those listed under “Absolute Maximum Ratings” may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at those or any other conditions above those indicated in the operation listings of this specification is not implied. Exposure to maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

图 5.2 PIC16F877A I/O 电流驱动能力(图片来自官方数据手册)

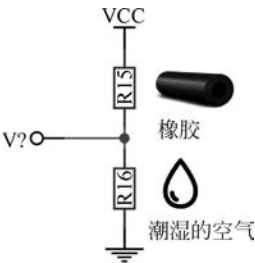


图 5.3 橡胶和空气组成的分压电路

以在搭建电路过程中,遵循这个基本原则,然后对照着数据手册上的元器件参数设计电路,才能确保功能和在实际使用中不会出现太大问题。

5.1.2 欧姆定律

$$I = \frac{U}{R} \quad (5.1)$$

$$P = UI = I^2 R \quad (5.2)$$

所有电路的电气参数都可以计算出,并从原理上得到解释。例如,为什么要加三极管或MOS管。从电气参数的角度计算,加不加三极管、继电器取决于电路本身的驱动能力,也就是说驱动电路和负载电路本身的阻值应匹配,如果驱动电路导通时的电阻为 10Ω ,而负载正常工作时的电流为 1A ,通过式(5.1)欧姆定律和式(5.2)功率计算可以得出驱动电路上的功率消耗为 10W ,如果驱动电路的散热能力只有 2W ,最终电路会因为过热而损坏。当然有些读者会说可以加散热器,这是个办法,但是如果元器件自身的散热能力有限,它凭什么能将热量通过散热器导出去,诸如此类问题读者都可以通过欧姆定律及欧姆定律的变形公式进行计算,然后在所要用到的元器件手册上对比官方参数就能确定元器件能不能适用。使用同样的三极管驱动小功率电阻和驱动大功率电机,如图5.4所示,三极管型号没变,但负载发生了变化,相应地,三极管产生的热量也会变化。

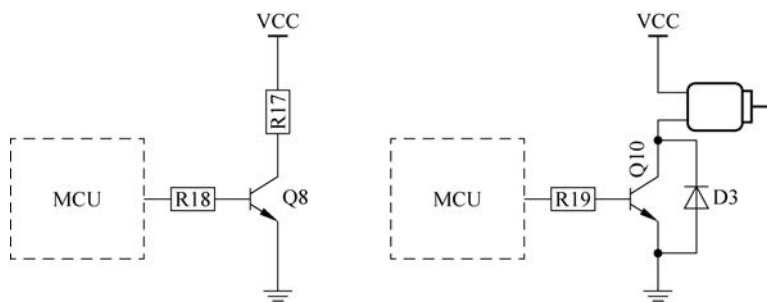


图 5.4 三极管驱动不同负载

5.1.3 I/O 专业术语

1. 开漏输出

了解开漏电路前,读者先回忆下 MOS 管的三个极,分别是 D 极 Drain(漏极),S 极 Source(源极),G 极 Gate(栅极)。D 极上如果不接任何元器件,此时它是处于开放状态的,如图 5.5 所示,这样就不难理解什么是开漏。所谓开漏输出最明显的一处是本身只能输出低电平。如果没有接外设,MCU 端输出高电平,则 D-S 导通,而如果 MCU 端输出的是低电平,D-S 两端相当于一个阻值非常大的电阻,这时来自空气中的任何干扰都会在 D-S 端引起杂乱电压。

2. 上拉输出

在开漏晶体管 D 极和电源 VDD 之间串联一个电阻组成分压电路,这样在晶体管不导通的状态下对外输出就呈现高电平,如图 5.6 所示。该电阻在有些单片机上可以通过寄存

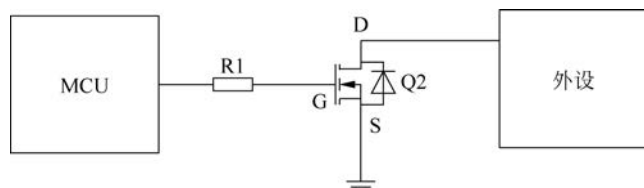


图 5.5 开漏示意

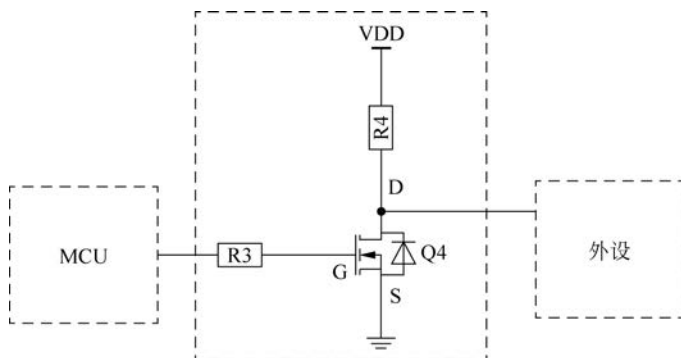


图 5.6 上拉电阻示意

器来配置,早期的 8051 单片机 P0 端口是开漏输出,需要外接上拉电阻,否则在驱动某些外设时电平会表现不正常。

3. 推挽输出

何谓推挽? 推挽输出可以由 I/O 控制输出相应的高电平 VDD 和低电平 VSS,如图 5.7 所示。推挽结构一般是指两个晶体管(早期集成电路中使用三极管,现在用 MOS 管替代)分别受两个互补信号控制,总是在一个晶体管导通时另一个截止。高低电平由 IC 的电源决定。推挽电路是两个参数相同的三极管或 MOSFET,以推挽方式存在于电路中,各负责正负半周的波形放大任务,电路工作时,两只对称的功率开关管每次只有一个导通,所以导通损耗小、效率高。输出既可以向负载灌电流,也可以从负载抽取电流。推挽式输出既可以提高电路的负载能力,又可以提高开关速度。

4. 高边开关

继电器或晶体管一端接在电源正极 VDD,另外一端引出后用于驱动外部负载,MOS 管高边开关的连接方式如图 5.8 所示,继电器高边开关的连接方式如图 5.9 所示。

5. 低边开关

继电器或晶体管一端接在电源负极 GND,此时如果要驱动外部设备,则需要额外给负载供电才能使用,MOS 管低边开关的连接方式如图 5.10 所示,继电器低边开关的连接方式如图 5.11 所示。

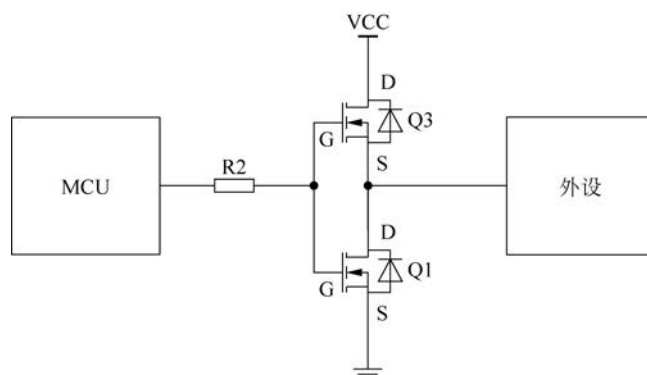


图 5.7 Q1 和 Q3 组成推挽电路

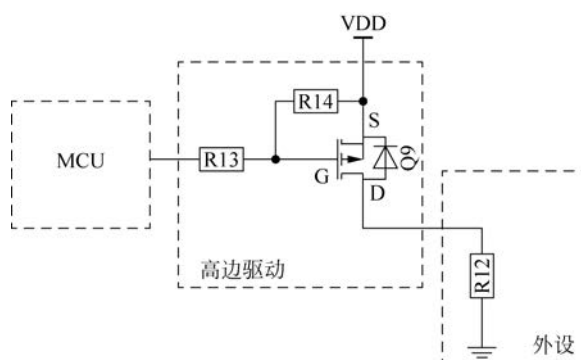


图 5.8 高边开关晶体管驱动方式

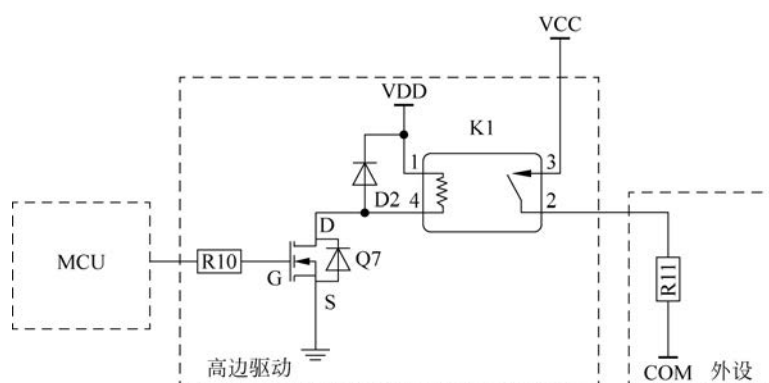


图 5.9 高边开关继电器驱动方式

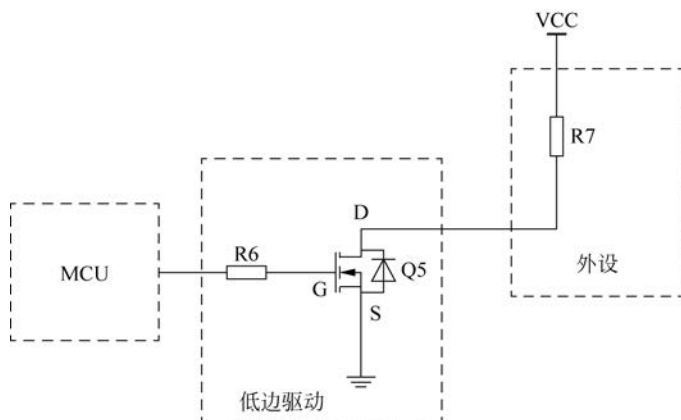


图 5.10 低边开关晶体管驱动电路示意

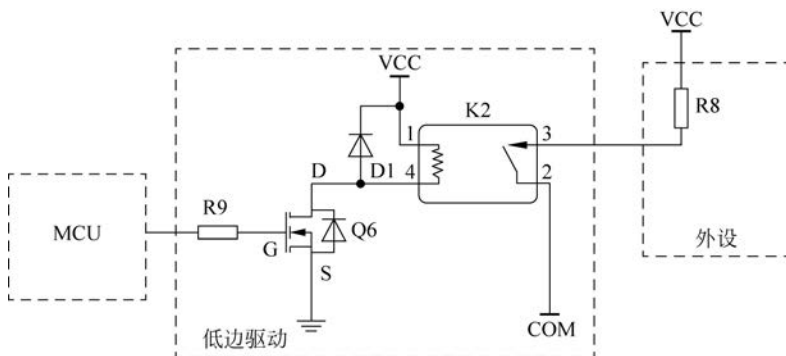


图 5.11 低边继电器驱动电路示意

5.2 单片机 I/O 端口输出电路内部剖析

5.2.1 STC 单片机 I/O 端口

STC 系列 8051 单片机 I/O 的内部电路逻辑如图 5.12 所示,看起来比较复杂。STC 单片机的 I/O 包含多项功能,既可作为输出,又可作为输入,输入功能放在后面章节详细介绍,本章重点介绍输出功能。该款 8051 单片机的内部包含多个高边 MOS 管,相应地,其驱动能力也比较强,8051 单片机 CPU 通过数据锁存器实现控制端口的输出功能,而控制端口的地址位于特殊寄存器(SFR)中,STC 系列 8051 单片机的推挽输出方式如图 5.13 所示,开漏输出方式如图 5.14 所示。

8051 单片机常用端口的地址及刚复位时端口的数据状态见表 5.1,这些端口的定义可以从单片机的头文件中找到,例如在<reg52.h>头文件中使用特殊方式定义了 I/O 端口,

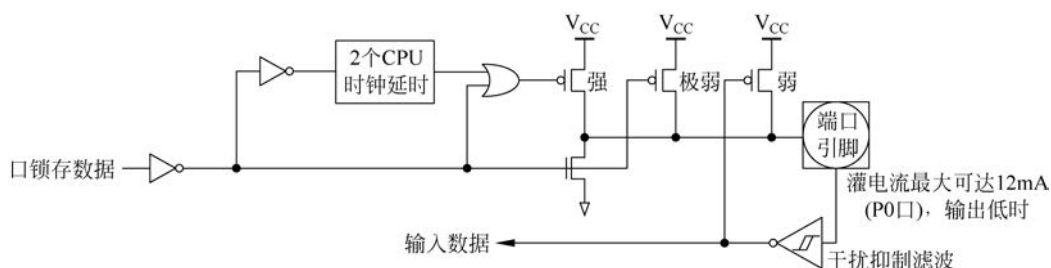


图 5.12 STC89C52RC 单片机准双向 I/O 端口内部(摘自 STC89C52RC 官方数据手册)

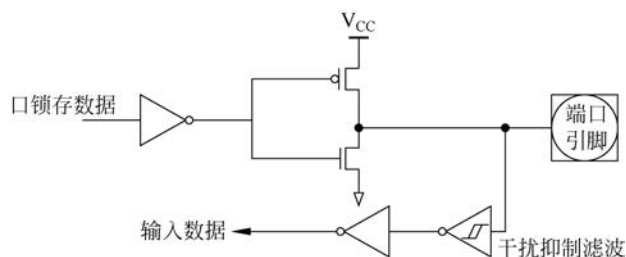


图 5.13 STC89C52RC 单片机推挽输出

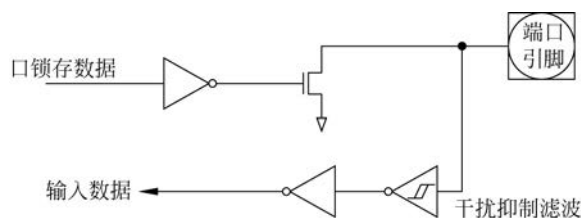


图 5.14 STC89C52RC 单片机开漏输出

如 `sfr P0=0x80`; `sfr P1=0x90`; `sfr P2=0xA0`; `sfr P3=0xB0`; 等。在实际使用 I/O 端口时,可以直接调用 P0~P3 对端口进行操作。当然也可以将这些端口定义成读者想要的名字,例如 `sfr D0=0x80` 将端口定义成 D0。

表 5.1 8051 单片机常用端口寄存器内容

符 号	描 述	地 址	位地址及符号								复 位 值
			MSB				LSB				
P0	Port0	80H	P0.7	P0.6	P0.5	P0.4	P0.3	P0.2	P0.1	P0.0	1111 1111B
P1	Port1	90H	P0.7	P1.6	P1.5	P1.4	P1.3	P1.2	P1.1	P1.0	1111 1111B
P2	Port2	A0H	P0.7	P2.6	P2.5	P2.4	P2.3	P2.2	P2.1	P2.0	1111 1111B
P3	Port3	B0H	P0.7	P3.6	P3.5	P3.4	P3.3	P3.2	P3.1	P3.0	1111 1111B

值,例如 $P1=0xFE$,将赋值转换成二进制为 $P0=1111\ 1110B$,表示 $P1.0$ 端口为低电平,其余端口都为高电平。

5.2.2 PIC16 单片机 I/O 端口

PIC16 单片机 I/O 内部逻辑电路如图 5.15 所示,相较于 STC 系列 8051 单片机,PIC16 单片机的 I/O 端口显得稍微复杂一点,但同时也意味着它的配置方式及功能更丰富。

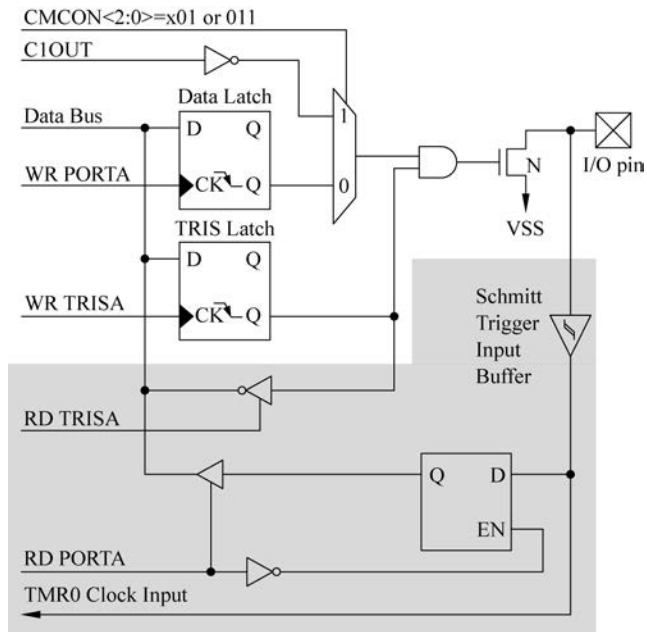


图 5.15 PIC16F877A 单片机输出 I/O 内部逻辑电路(图片来自 PIC16F877A 官方数据手册)

PIC16 单片机 I/O 端口配置寄存器及复位状态值见表 5.2, 同样的在 pic16f877a.h 头文件中定义了 volatile unsigned char PORTD @ 0x008; 以便将 PORTD 与 80H 地址关联, 而控制端口方向的寄存器定义了 volatile unsigned char TRISD @ 0x088; 以便将 TRISD 与 88H 地址关联。

表 5.2 PIC 单片机端口寄存器

[illegible]

5.2.3 MSP430 单片机 I/O 端口

MSP430 单片机部分 I/O 端口的内部逻辑电路原理如图 5.16 所示,相比 STC 系列 8051 单片机 MSP430 单片机的 I/O 端口复杂了一些,感觉有点看不懂。但是作为输出,只需关注 PxDIR 和 PxOUT, PxDIR 是方向控制寄存器, PxOUT 是数据输出寄存器,与 PIC16 单片机输出端口的使用方式相似。

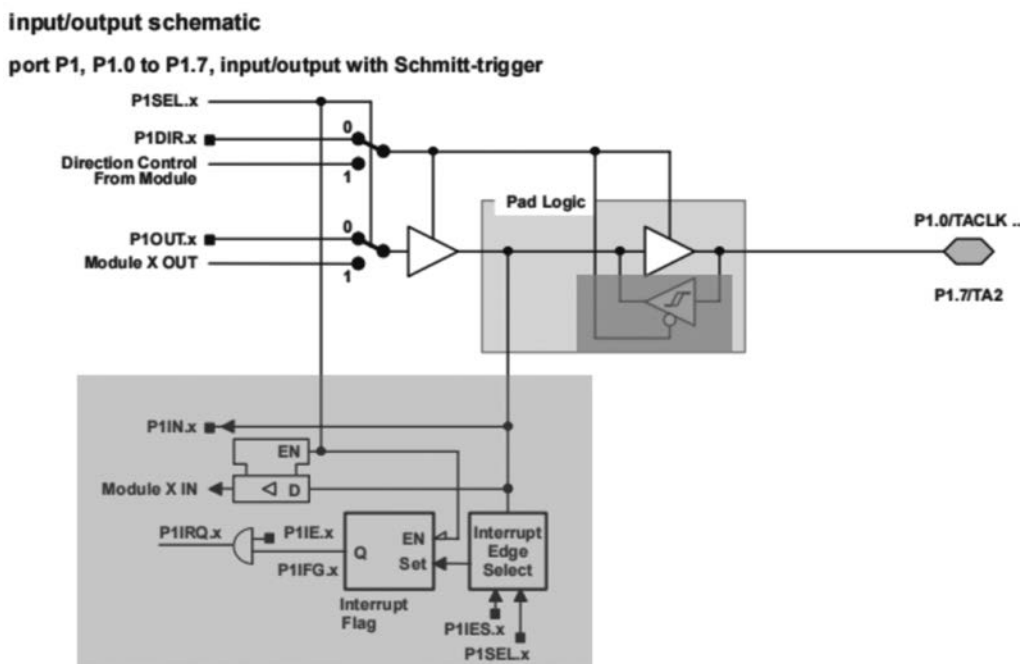


图 5.16 MSP430G2553 单片机输入 I/O 内部逻辑电路(图片来自 MSP430G2553 官方手册)

整理好的 MSP430 单片机 P1 端口输出控制寄存器见表 5.3,同样在 msp430g2553.h 文件中进行定义。

P1OUT 定义如下:

```
#define P1OUT_(0x0021u) /* Port 1 Output */
DEFC(P1OUT, P1OUT_)
```

P1DIR 定义如下:

```
#define P1DIR_(0x0022u) /* Port 1 Direction */
DEFC(P1DIR, P1DIR_)
```

表 5.3 MSP430 单片机 P1 端口寄存器

描 述	地 址	位地址及符号							
		MSB				LSB			
P1OUT	021H	P1.7	P1.6	P1.5	P1.4	P1.3	P1.2	P1.1	P1.0
P1DIR	022H	P1 数据方向寄存器							

5.2.4 STM32 单片机 I/O 端口

STM32 单片机 I/O 端口的内部电路逻辑原理如图 5.17 所示,阴影部分作为输入使用,放到后面章节介绍,去掉阴影部分功能,其他功能作为输出功能使用其实与 STC 系列 8051 单片机的 I/O 使用方式基本差不多。

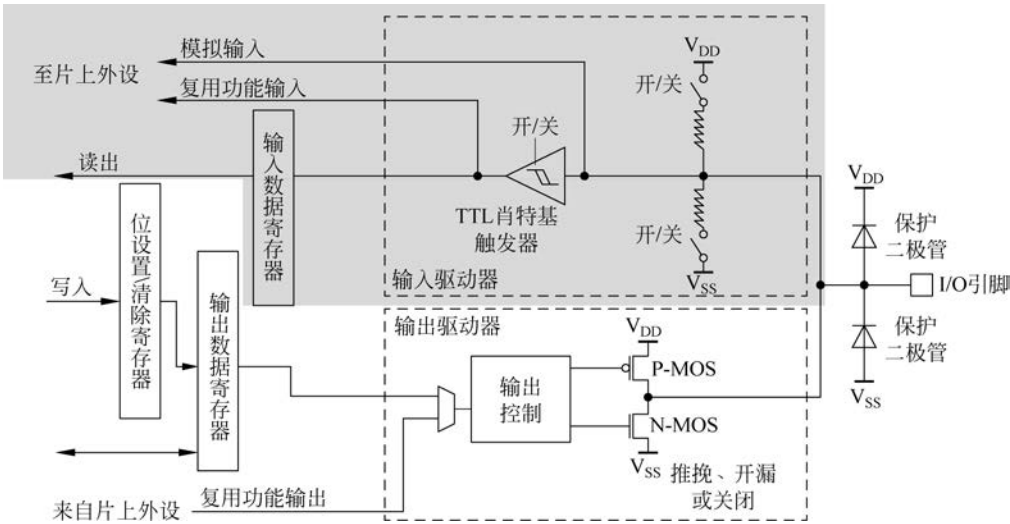


图 5.17 STM32F103C8T6 的 I/O 内部逻辑电路(摘自 STM32F10x 官方数据手册)

STM32 的 I/O 端口寄存器的地址分布如图 5.18 所示,这里的地址需要加上 I/O 端口基地址,也就是说 I/O 外设的起始地址。STM32F103 GPIO 端口 C 的地址范围为 0x40011000~0x400113FF。相比于前面 3 款单片机,STM32 的 I/O 端口无疑是最复杂的,一方面它是 32 位的单片机,另一方面它的每个引脚都可以设置成多种输出模式、配置频率、配置上下拉电阻等,所以对于 STM32 这种单片机而言所有的寄存器地址都是以每组端口的基地址进行配置的。例如,GPIOC 端口的基地址是 0x4001 1000,在 STM32F10x.h 文件中该端口的基地址宏定义为 #define GPIOC_BASE(APB2PERIPH_BASE+0x1000)。那 APB2PERIPH_BASE 又是什么呢?继续找到 #define APB2PERIPH_BASE(PERIPH_BASE+0x10000)的定义,然而里面还有一个 PERIPH_BASE,继续找下去得到这个定义为

#define PERIPH_BASE((uint32_t)0x4000 0000)。将这几项宏定义的值全部加起来
#define GPIOC_BASE((0x4000 0000+0x4000 0000)+0x1000)得到 0x4001 1000,也就是
STM32 的 GPIOC 基地址。图 5.18 中的寄存器地址都是端口的基地址+偏移地址,例如
GPIOx_CRH 的地址就是 GPIOC_BASE + 0x04,但是这么复杂的使用方式,如果通过查找
数据手册的方式去学习配置寄存器,无疑是非常耗费精力的,所以 ST 公司专门准备了库函
数开发方式,这样开发者几乎不用太多地关心寄存器的地址。

偏移	寄存器	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
000h	GPIOx_CRL	CNF7 [1:0]	MODE7 [1:0]	CNF6 [1:0]	MODE6 [1:0]	CNF5 [1:0]	MODE5 [1:0]	CNF4 [1:0]	MODE4 [1:0]	CNF3 [1:0]	MODE3 [1:0]	CNF2 [1:0]	MODE2 [1:0]	CNF1 [1:0]	MODE1 [1:0]	CNF0 [1:0]	MODE0 [1:0]																
	复位值	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
004h	GPIOx_CRH	CNF15 [1:0]	MODE15 [1:0]	CNF14 [1:0]	MODE14 [1:0]	CNF13 [1:0]	MODE13 [1:0]	CNF12 [1:0]	MODE12 [1:0]	CNF11 [1:0]	MODE11 [1:0]	CNF10 [1:0]	MODE10 [1:0]	CNF9 [1:0]	MODE9 [1:0]	CNF8 [1:0]	MODE8 [1:0]																
	复位值	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
008h	GPIOx_IDR	保留																IDR [15:0]															
	复位值																	0															
00Ch	GPIOx_ODR	保留																ODR [15:0]															
	复位值																	0															
010h	GPIOx_BSRR	BR [15:0]																BSR [15:0]															
	复位值	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
014h	GPIOx_BRR	保留																BR [15:0]															
	复位值																	0															
018h	GPIOx_LCKR	保留															LCKR	LCK [15:0]															
	复位值																0	0															

图 5.18 STM32 单片机端口寄存器分布

STM32 除了需要配置基本 I/O 端口寄存器外,还需要配置端口时钟,STM32 整个系统
架构如图 5.19 所示,GPIOC 挂在 APB2 总线上,这也是为什么头文件中使用这样的方式
#define APB2PERIPH_BASE(PERIPH_BASE+0x10000)定义,STM32 的时钟系统如
图 5.20 所示。从官方的数据手册上可以得知 STM32 除了基本 I/O 端口功能外,还有
USB、串口、CAN 总线、SPI 总线、I²C 总线、TIM 定时器等功能。这些外设的工作频率都不
太一样,如果这些外设全部工作在同一个频率下,显然会造成单片机的工作效率大幅降低。

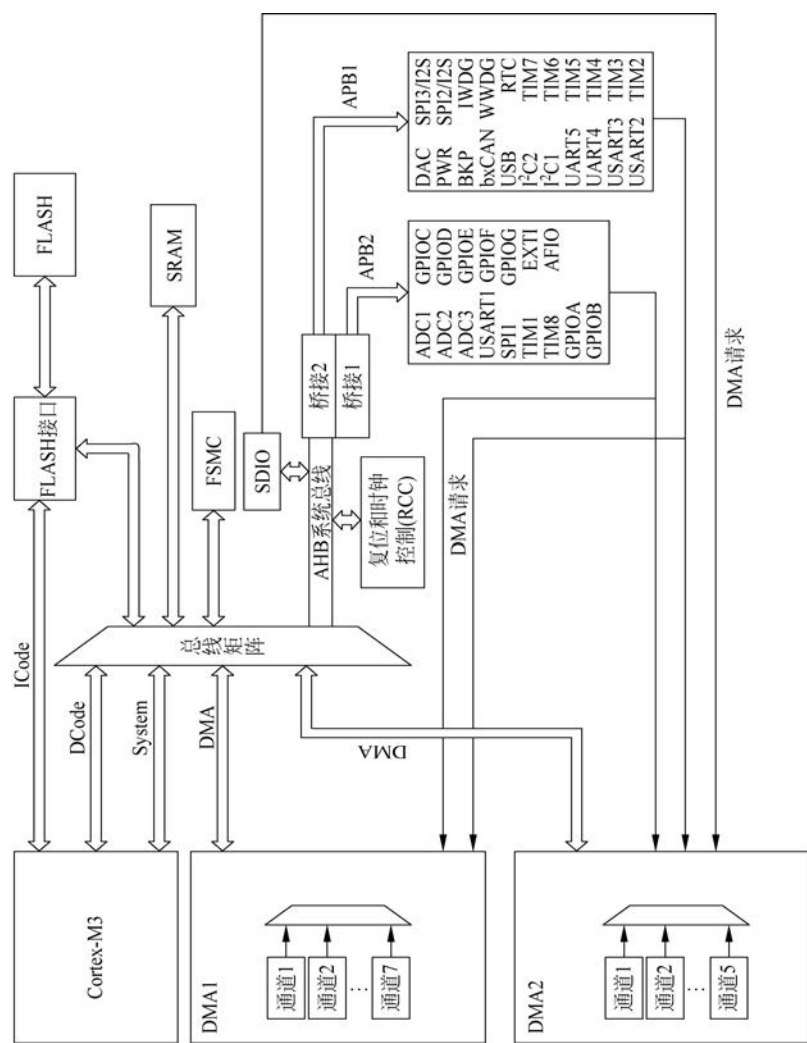


图 5.19 STM32 系统架构

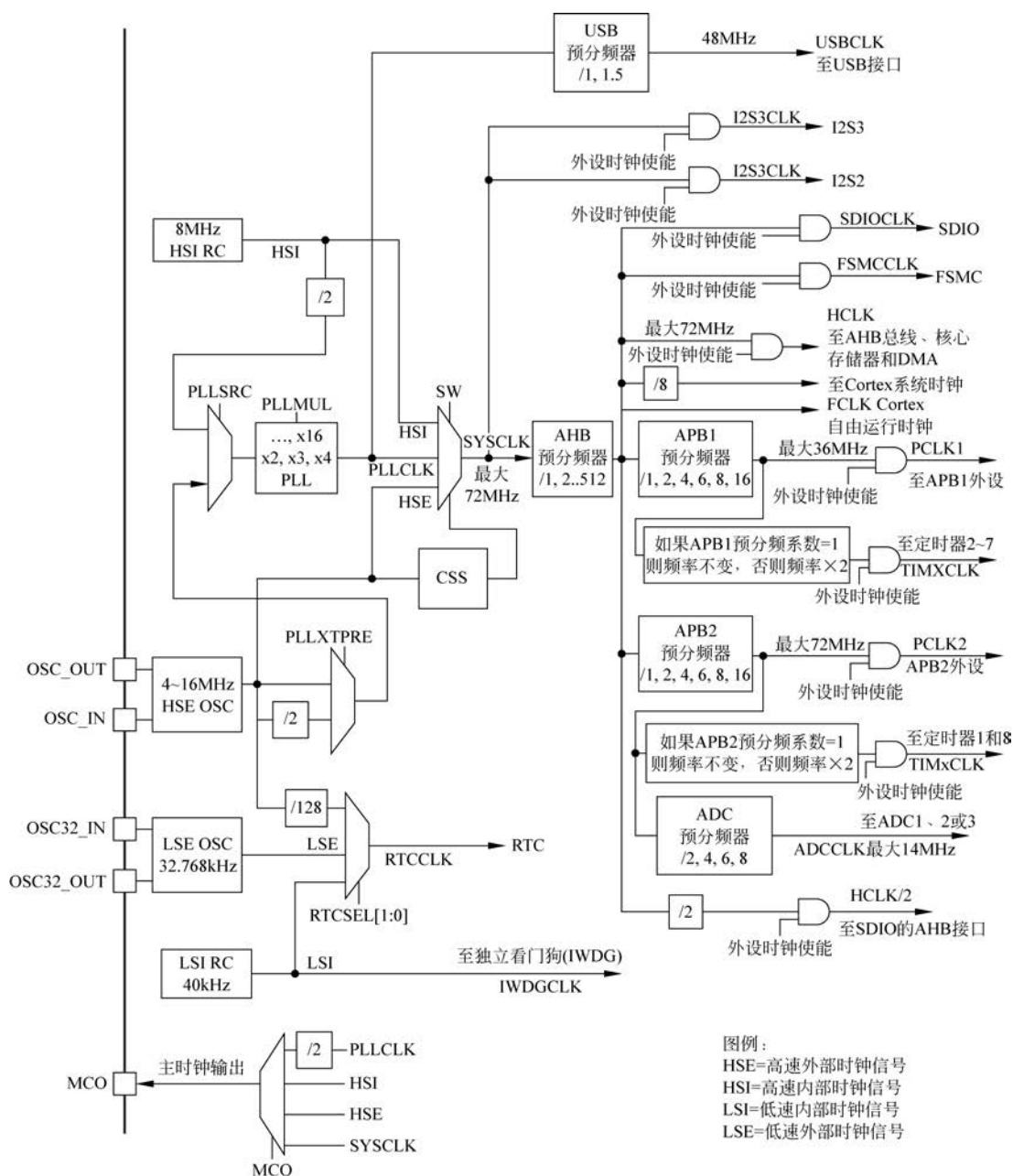


图 5.20 STM32F103 时钟树

对比上面几种单片机的 I/O 输出方式,一方面读者会发现随着单片机越来越高级,I/O 可配置的功能也越多,当然这也就意味着它能适应更多样的外部接口;另一方面还可以得出结论,单片机的输出无非就是这么几种功能(推挽、开漏、上拉),而读者要做的是先配置,再控制就可以了,如图 5.21 所示。下面结合具体的示例,一起来了解 I/O 输出功能的具体应用及什么情况下使用何种电路。



图 5.21 不同单片机配置对比

5.3 I/O 作为输出使用的几种方式

5.3.1 小电流输出驱动

负载电流应远小于单片机端口所能承受的电流,一般 $\leq 3\text{mA}$ 为宜,常用作 LED 指示灯驱动和逻辑芯片驱动,如图 5.22 所示。

5.3.2 电平匹配或小功率驱动

当外设电平与单片机本身的电平不匹配时,需要进行电平转换,例如将 3.3V 逻辑电平转换成 5V 逻辑并使用 PWM 方式驱动步进电机,如图 5.23 所示。电路中使用的三极管在实际电路中也可以换成集成电路模块,例如使用 74HC245、ULN2003 等芯片,可根据实际项目电路选用。

正常工作电压在 3V 左右的直流电机,空载(不带机械负载)时的工作电流在 600mA 左右。这里有一点需要注意,电机启动瞬间,由于转子的惯性电路接近短路状态,启动时的瞬间电流会比较大,设计电路时需要将其考虑进去,根据欧姆定律的计算结果选择合适的晶体

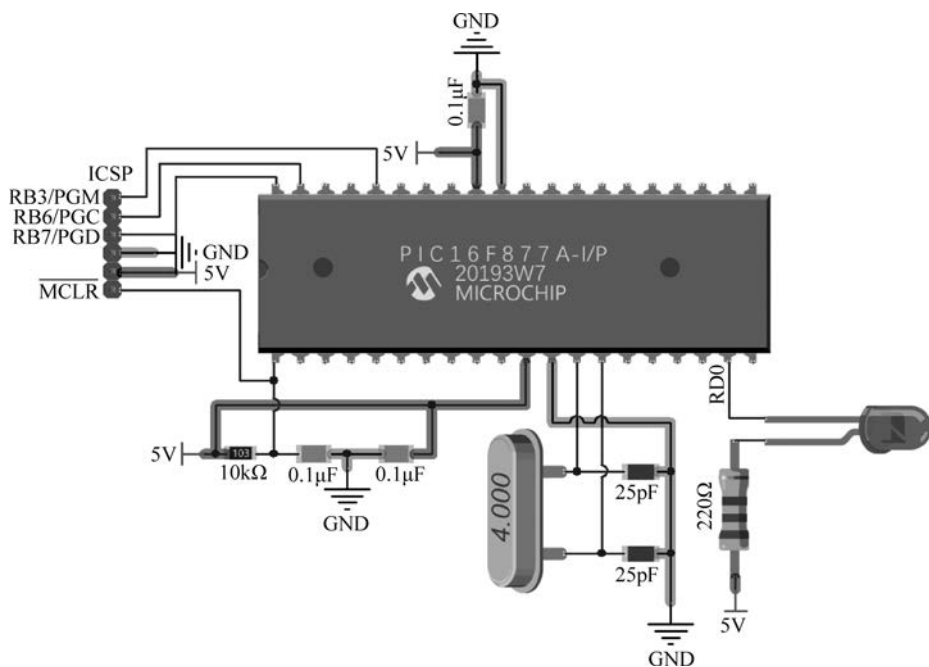


图 5.22 小功率直驱

管,单片机驱动直流电机的电路如图 5.24 所示。

5.3.3 大功率大电压驱动

外部电平相差大,同时负载功率也大,单片机直接驱动承受不了,需要进行电平和功率放大匹配才能驱动。例如驱动 12V 电机、风扇、晶闸管驱动交流负载(遥控风扇、洗衣机等消费电子小功率负载用)或使用继电器驱动的场所(一般用于消费电子小功率交流电机或直流电机)。例如豆浆机中用的直流电机,由于电机为感性负载,断开瞬间会有反电动势,需要加装续流二极管 D1,所以在启动暂停工作不太频繁的场所一般会选择使用继电器控制;而在频繁启停的场所则更多地使用大功率晶体管驱动,而发热管为阻性负载,直接使用继电器驱动即可。

型号为 SRD-12VDC-SL-A 的松乐继电器如图 5.25 所示,电气参数如下。

线圈端额定工作电压: 12V。

线圈工作电流: 30mA。

线圈电阻: 400Ω。

触点参数: 10A/250VAC, 10A/125VAC, 10A/30VDC, 10A/28VDC。

可以看到如果要使用该款继电器,一方面单片机的 I/O 电压不匹配,另一方面线圈额定工作电流也不匹配,凡是不匹配的地方都要进行电路转换。这里使用一级晶体管电路转换来控制继电器,二级转换电路控制大功率电机或发热管,最终的驱动电路如图 5.26 所示,

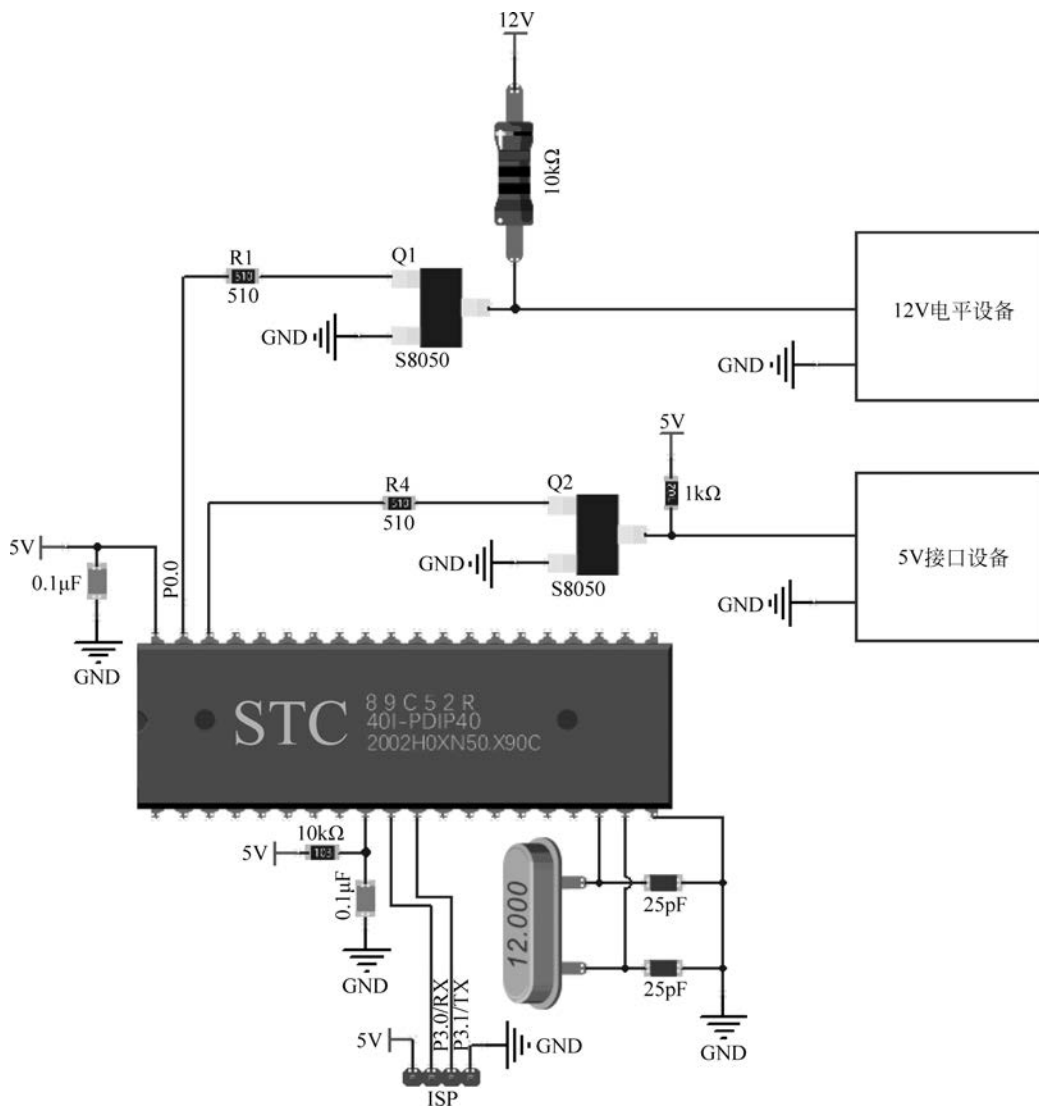


图 5.23 电平转换驱动电路

其中继电器的接法为高边驱动模式。

单片机控制输出中有些场合需要驱动交流负载,在遥控风扇或全自动洗衣机中用得比较多,在这种情况下使用单片机 I/O 端口时先通过一级晶体管转换,然后由晶体管驱动晶闸管,电路连接方式如图 5.27 所示。

Q2 是型号为 BTA08-600C 的晶闸管,其基本电气参数如下。

断态重复峰值电压(VDRM): 600V。

通态方均根电流(IT(RMS)): 8A。

门极触发电流(IGT): 25mA。

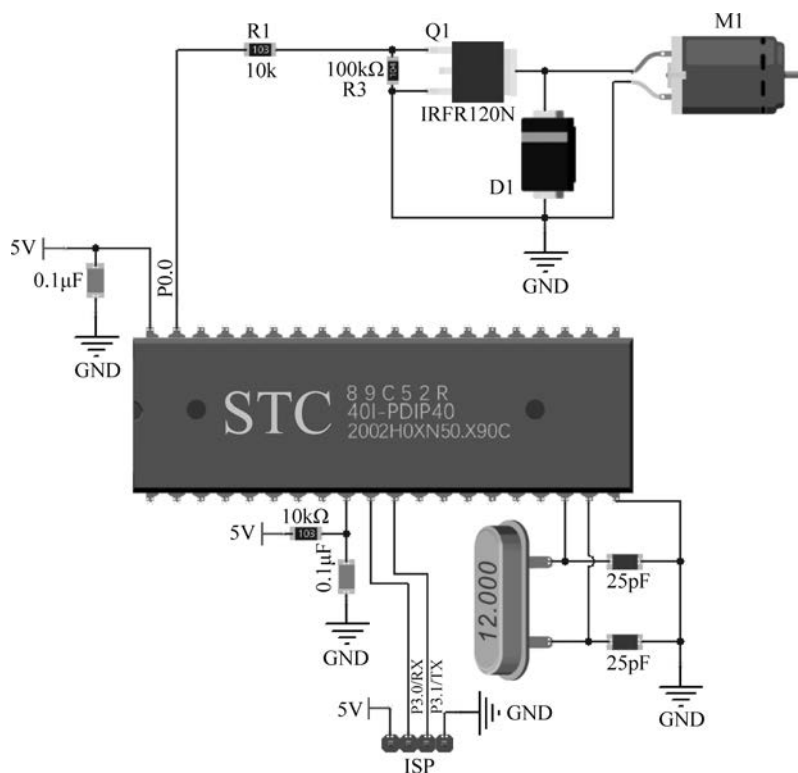


图 5.24 单片机驱动直流电机电路

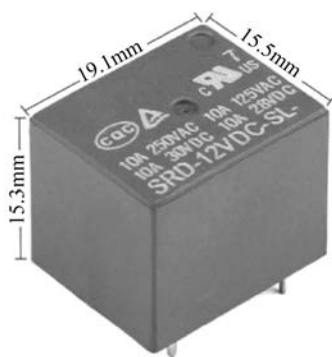


图 5.25 12V 工作电压继电器

维持电流(IH): 50mA。

通过上面参数可以得出,门极触发电流不能低于 25mA,显然单片机直接驱动达不到要求,并且该晶闸管还有个维持电流,该电流是晶闸管导通后需要一直保持的电流,因此添加一级晶体管功率放大电路,而最终驱动的负载是大功率交流电机,再添加二级晶闸管(也叫晶闸管)驱动电路来驱动最终电机,实物电路如图 5.28 所示。

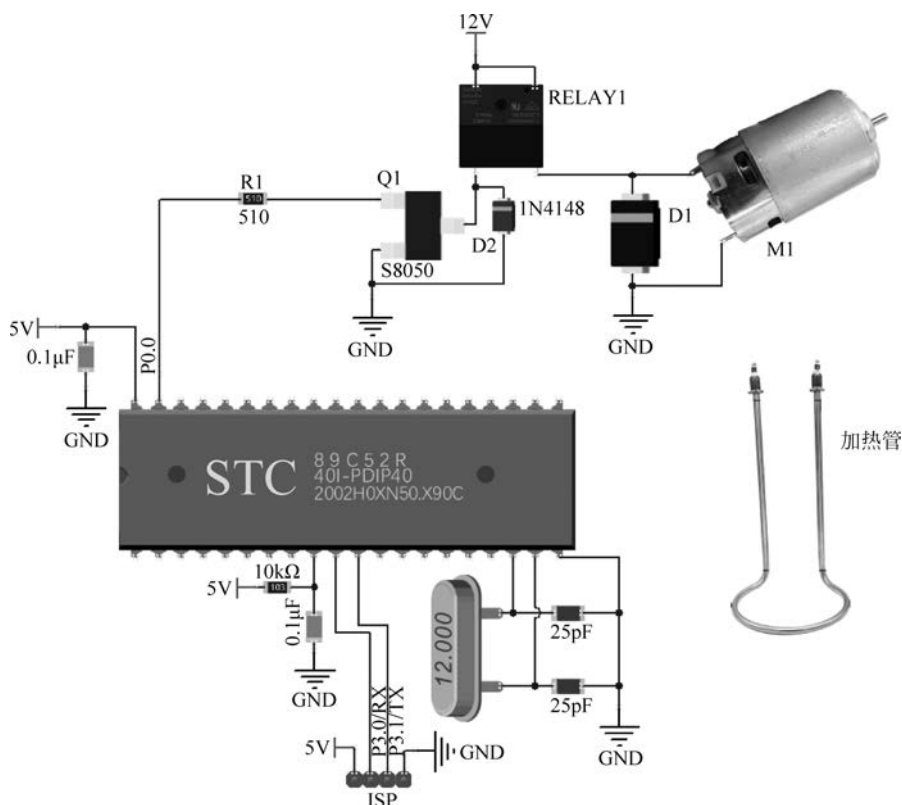


图 5.26 驱动大功率直流电机和加热管示意

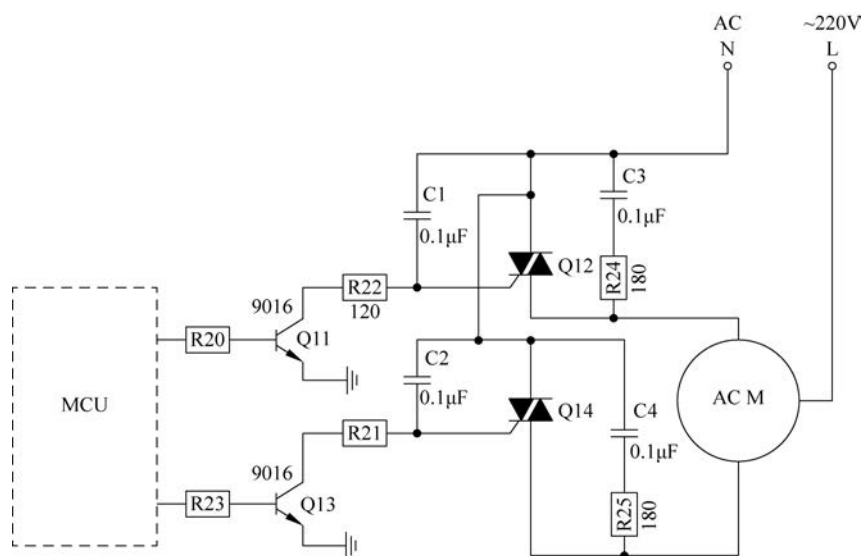


图 5.27 洗衣机正反转驱动电路

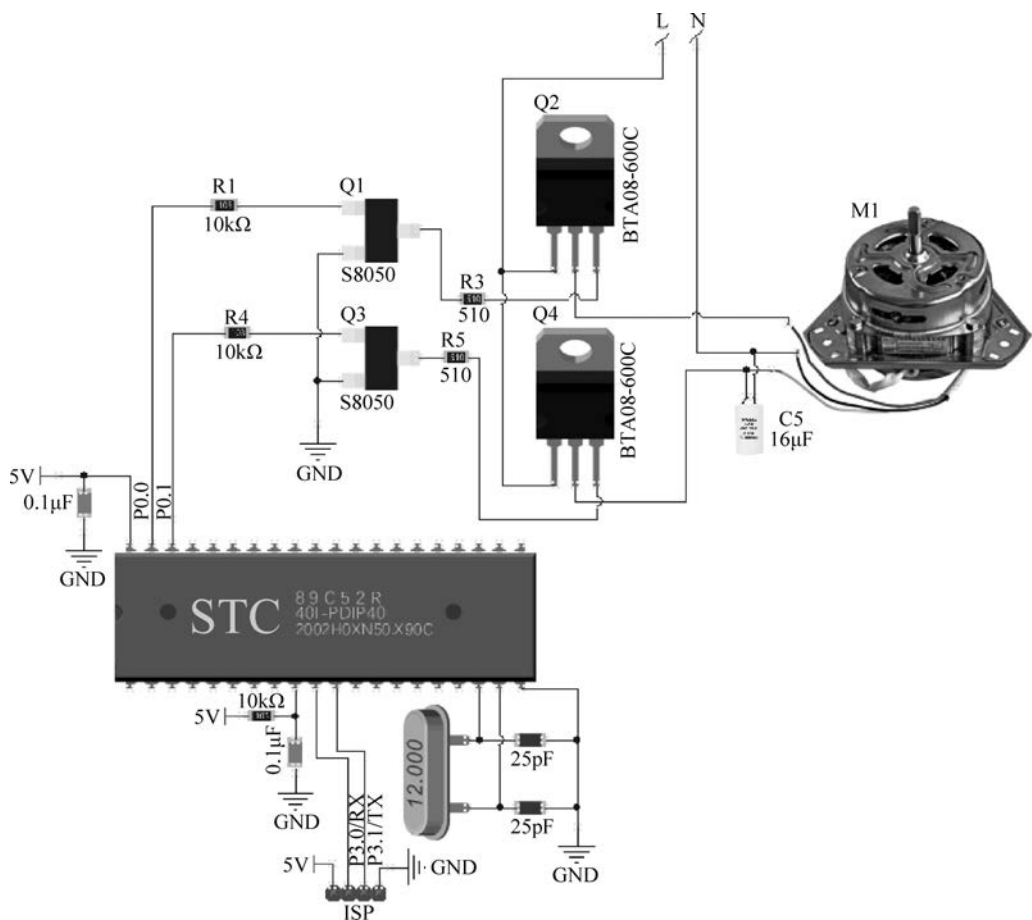


图 5.28 单片机驱动晶闸管控制洗衣机电机正反转实物

5.3.4 设备工作电压远高于安全电压

在这种情况下需要采用隔离方式驱动,使用光耦或继电器隔离驱动,如图 5.29 所示。普通单相交流电机的工作电压为 220V,功率一般 $>100\text{W}$,需要使用 K1 接触器控制电机启停(接触器内部带感性负载灭弧功能),这种隔离电路在 PLC 或工业控制电路中应用得比较广泛。

小技巧: 当单片机 I/O 端口作为频率输出进行功能控制时,一方面要考虑单片机 I/O 端口允许工作的最大频率,另外还需要考虑被驱动设备本身的工作频率,例如普通继电器开关的工作频率不应超过 50Hz,因为继电器内部为机械部件,正常工作时吸合需要时间,换句话说机械部件都有惯性,这种惯性效应在尺寸越大的机械部件上表现得越明显,就像一辆小汽车提速和刹车响应很快,而对于卡车、矿用卡车来讲它们的反应就比较迟钝。要熟知这个技巧,不然很有可能实际驱动起来时达不到想要的效果。例如想实现呼吸灯效果,如果使用机械

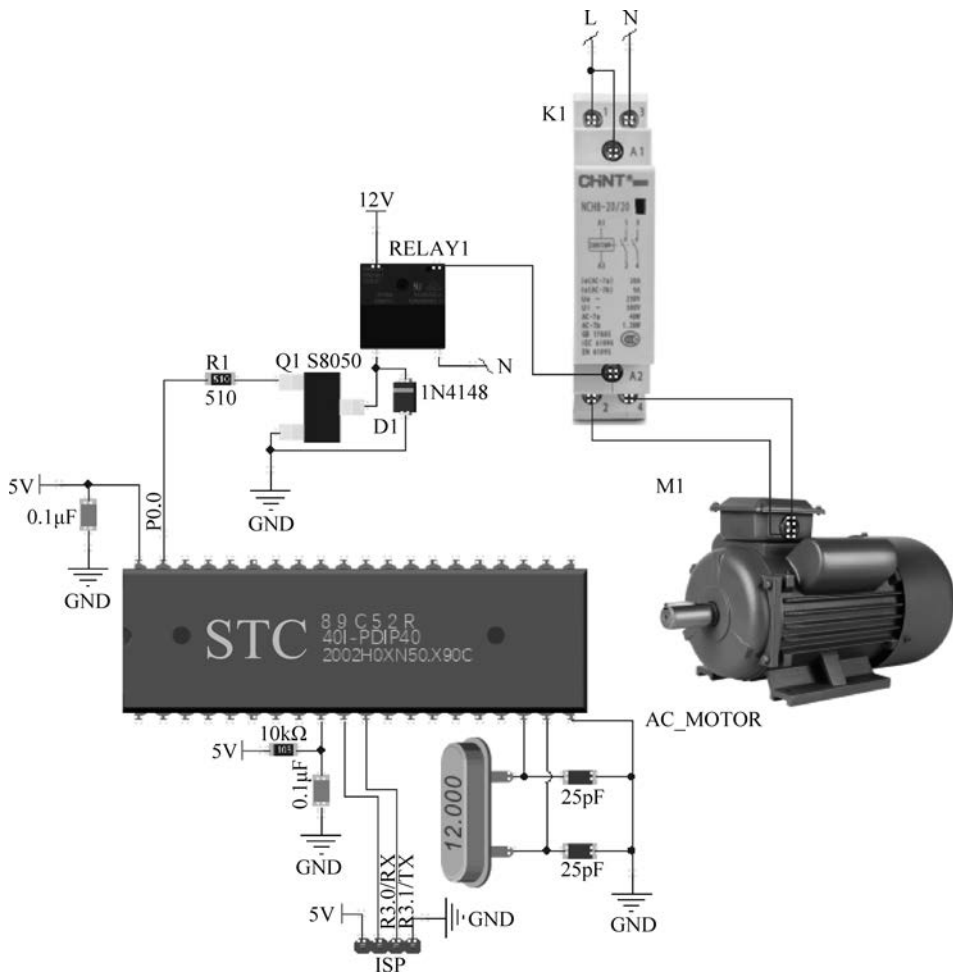


图 5.29 单片机驱动交流接触器控制交流电机

继电器就很难实现,而使用晶体管则可以轻松地达到效果。如果实际项目中需要使用高频率继电器(例如高频电磁气阀),则要注意查看器件手册上的参数,这样才能找到匹配的继电器。

思考与拓展 通过上面几个例子可以得出 I/O 端口作为输出功能使用时有两种状态,要么高电平,要么低电平,如果在该端口上连接上 LED 它就能按照预想的情况工作,这里读者可以进一步思考一下生活中使用这种方式控制的例子? 给读者简单提供几点思路。

(1) 选择合适的固定频率,改变并控制 LED 或直流电机高低电平导通时间的长短,会得到什么结果?

(2) 如果将预先编码好的高低电平信号通过 I/O 输出,则会是一种什么结果? 可以参考变频空调室内外机通信。

(3) 如果使用 I/O 端口驱动红外发光二极管发送红外调制信号,是不是可以控制空调、电视机、风扇工作?