

邵阳职业技术学院

毕 业 设 计

产品设计	工艺设计	方案设计
		√

设计题目: 数字 PID 调节直流电机调速系统设计

学生姓名: 陈代宣

学 号: 201810300844

系 部: 电梯工程学院

专 业: 机电一体化技术

班 级: 机电 1182

指导老师: 耿运涛

二 0 二 一 年 六 月 一 日

目 录

一、技术要求.....	1
二、方案设计整体思路.....	2
(一) PID 算法.....	2
1. 模拟 PID.....	2
2. 数字 PID.....	2
(二) PWM 波调频调压技术.....	3
(三) 设计方案与论证.....	4
1. 系统设计方案.....	4
2. 控制器模块设计方案.....	5
3. 电机驱动模块设计方案.....	5
4. 显示模块设计方案.....	6
三、硬件方案设计.....	7
(一) 硬件资源分配.....	7
(二) 电源电路设计.....	7
(三) 电机驱动电路设计.....	8
(四) 电机速度采集电路设计.....	8
(五) 显示电路设计.....	9
(六) 键盘电路设计.....	10
四、软件方案设计.....	12
(一) 算法实现.....	12
1. PID 算法.....	12

2. 速度采集算法.....	12
（二）程序流程.....	13
1. 主流程图.....	13
2. 键盘程序程序流程.....	14
3. 定时程序流程.....	15
4. 显示程序流程.....	15
五、调试与测试.....	16
（一）Proteus 软件简介.....	16
（二）系统测试方法.....	16
六、成果.....	18
参考文献.....	19
致谢.....	20

数字 PID 调节直流电机调速系统的设计

[摘要]

针对直流电机转速控制，提出基于单片机的数字 PID 调节的工程技术方案，并对方案进行了论证，对系统进行了设计和仿真。本设计主要针对的是数字 PID 调节直流电机调速，其设计思路为：通过单片机编写 PID 算法控制程序，由该算法生成占空比受控制的 PWM 波，经专用的电机驱动电路对控制信号进行放大后送至电机两端，使得电机转动起来；同时，由速度采集电路将电机的转速实时采样送至单片机的内部，将采样值与预设值在单片机内部进行调整，由得到的比较值调整 PID 的设置参数，由于 PID 参数的改变，输出 PWM 波的占空比也会随之改变，PWM 波占空比的大小控制着电机的转速；电机的实时转速由显示电路进行显示，并由键盘控制各 PID 参数的设定，进而实现电机调速。本设计介绍了系统组成、PID 算法、电路设计、程序设计，结果表明，该系统完整的实现了利用数字 PID 算法调节电机转速的功能，达到了预期要求。

[关键词] 直流电机 单片机 转速 PWM 脉冲

一、技术要求

在当前社会发展的良好形势下，数字 PID 调节直流电机调速系统是一个非常有前景的研究项目，同时也是对自己大学以来所学所见知识的一次检验，期望能够在巩固旧知识的同时，也能更进一步的学习新的知识。人只有通过不断地学习才能不断的进步。学以致用是老师要求我们的努力方向，也是我们学习知识的唯一目的。将学到的知识投入实践中才能发挥它的作用，并得到完善。现今社会要求我们提高动手能力，只有靠自己的不懈奋斗才能达到国家对我们的要求。

本设计主要针对的是数字 PID 调节直流电机调速，以数字 PID 算法作为理论基础，以 AT89S51 单片机为核心，用程序产生受 PID 算法控制的 PWM 波形，采用光电传感器检测电机的转速，用 PWM 脉冲控制电机的转速。

其设计思路为：通过单片机编写 PID 算法控制程序，由该算法生成占空比受控制的 PWM 波，经专用的电机驱动电路对控制信号进行放大后送至电机两端，使得电机转动起来；同时，由速度采集电路将电机的转速实时采样送至单片机的内部，将采样值与预设值在单片机内部进行调整，由得到的比较值调整 PID 的设置参数，由于 PID 参数的改变，输出 PWM 波的占空比也会随之改变，PWM 波占空比的大小控制着电机的转速；电机的实时转速由显示电路进行显示，并由键盘控制各 PID 参数的设定，进而实现电机调速。

二、方案设计整体思路

(一) PID 算法

现在的控制算法中，在微机化内进行控制是一个相当重要的部分，算法是实现系统主要功能控制的核心。目前提出得控制算法由很多，我们一般通过调整积分（I）、微分（D）、比例（P）来控制，我们常称为PID控制。实际经验和理论分析都表明，PID控制能够满住相当多工夜对象的空制要求，发展至今，该类控制方式仍是一中应用最为光泛的控制算法之一，我们在下面介绍的是PID控制模拟类、PID控制数字类及相关参数的设定方法。

1. 模拟 PID

在模以控制系统种，调节气最常用的空制规律是PID空制，生活中最常见的PID控制基本框图如下图1所示，系统有模以PID调节器、执行几构及空制对像组成。

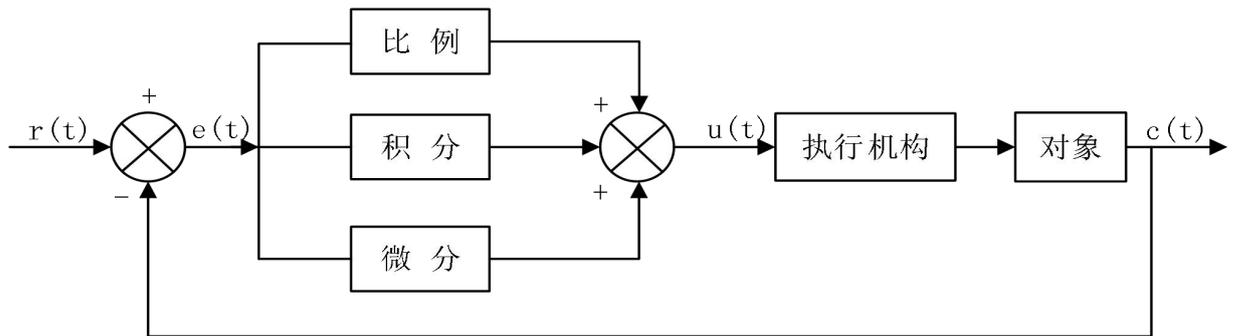


图1 PID原理框图

模拟类调整器调整PID控制规律归结为

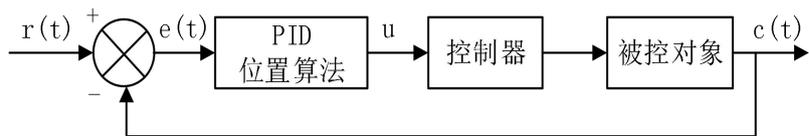
$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(t) dt + T_D \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (1)$$

在上述公式中， K_p 为比例系数， T_I 为公式中的积分时间常数， T_D 为公式中的微分时间常数。

2. 数字 PID

在 DDC 系统中，用计算机取代了模拟器件，控制规律的实现是由计算机软件完成的。故此，系统中数字控制的设计，实际上是计算机算法的设计。

数字PID位置型示意图和数字PID增量型示意图如下图2所示。



位置型示意图

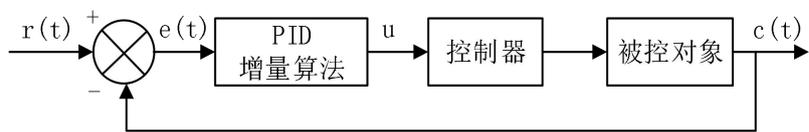


图 2 增量型示意图

(二) PWM 波调频调压技术

国家大力发展工业技术,大规模集成电路在一定程度上取代以前的模拟电路和数字电路而成为行业的主体,随之而至的是数字电路可能成为调制电路技术中的首选,即数字调制技术。如今,在调制技术日益发展的领域中,大多数采用的是数字调制脉宽技术。由 PWM 脉宽的控制原理可以得到,在规定的时间内,加载在负载的 PWM 波脉冲,与同样时间内等中量的直流电压加再负载上的电压肯定是相互等效的,若在 T 内的电压幅值为 U ,脉宽为 t_0 ,由下图 3 中可求得,在该时间内矩形脉冲的脉冲宽度等效所获得的直流电压。

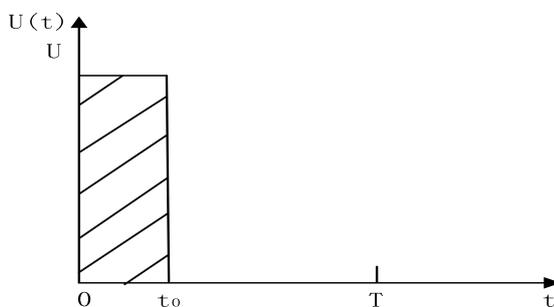


图 3 PWM 波

要想改变等效直流电的电压大小,只需对 PWM 波的波形幅值或者对其波形的占空比进行调整即可实现,可是,在实际运行中, PWM 波的幅值是不能改变的,所以,我们一般是通过改变 PWM 的占空比这种方式来改变电压的输出值,即用这种方法来实现等效直流电压调节范围为 0 到 U 之间,从而利用 PWM 波的控制技术调整 PWM 波的占空比实现对输出电压的调节。同时,可以通过调整时间 T 可实现 PWM 波频率的调整,即可实现相应电路的调频功能。

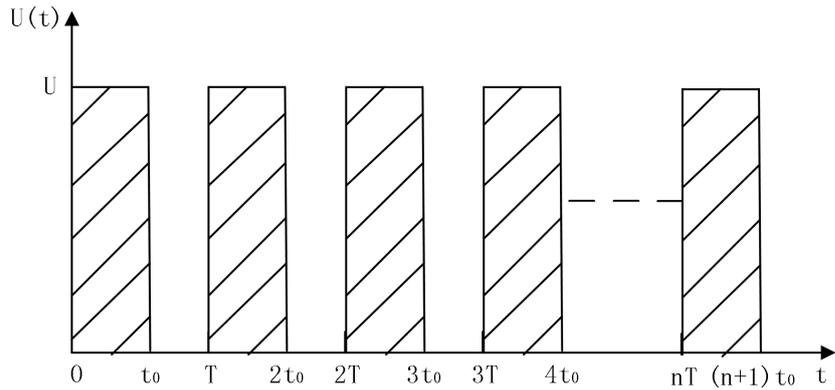


图 4 PWM 脉冲波

(三) 设计方案与论证

1. 系统设计方案

根据该系统所要实现的功能，提出了具体的设计任务与设计要求，本系统的设计方框图如下图 5 所示。图中所显示的系统核心部件为控制模块，将键盘控制与液晶显示这两个模块组合在一起，实现人机交换这一系统主要功能，该系统可以利用键盘的功能将需要设置的参数以及相应实现功能送入单片机中，并由显示器实时显示。在整个系统的正常工作中，由主控模块产生 PWM 波送至驱动电路进行电压及功率放大，进而加至电机两端，由 PWM 波控制电机的转速，再利用专门的速度检测器将电机的转速实时反馈至主控模块中，并显示给用户观察。该系统是由修改 PID 值调整 PWM 波的占空比大小进而控制电机的转速的。

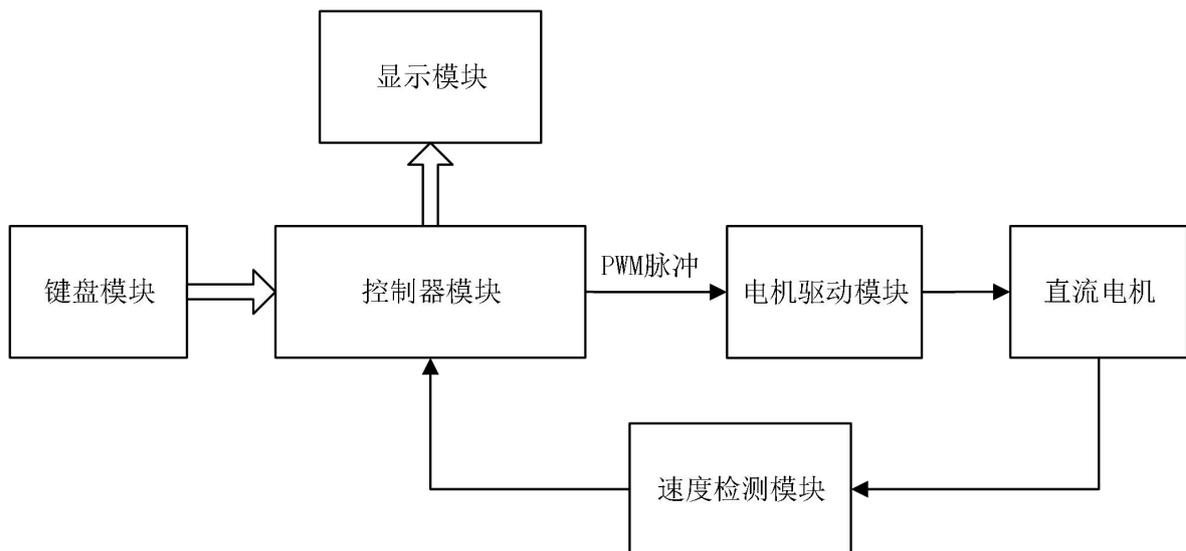


图 5 系统方案框图

2. 控制器模块设计方案

根据设计任务，系统生成受控于 PID 算法的 PWM 波，其占空比由 PID 数据控制。同时，由速度采集器将电机当前的转速采集送至控制器中进行处理，根据当前的速度对 PWM 占空比进行调整，直至输出我们所设置的转速。经多方收索，有以下二种控制方案供我们选择。

方案一：采用 AT89S51 作为。AT89S51 单片机的算术的运算的功能强，使用软件进行编程不仅灵活，且自由度更大，而且，在利用软件编写程序时，可实现各种复杂的算法以及逻辑思维的控制。相对于 C51 单片机来说，它们的芯片引脚相同，是一样多的，只是各引脚的功能有着一定的区别。但该类单片机在硬件上更容易实现，它不仅具有功耗低、体积小的优点，其计术已经非常成熟了，乙在许多领或中的到了广泛应用。

方案二：采用传统的 STC89C51 单片机作为该控制器的控制中心。它和 AT89S51 一样都具算术的运算的功能强，使用软件进行编程不仅灵活，且自由度更大等特点，但是该单片机工作频率与 AT89S51 相比较低，而且运算速度也较慢，存储空间小等缺点。该系统的事现需要打量的运算，如果我菜用 89C51 单片机做为空制器的话，还得需要将存储空间进行拓展，这样一来，会使得硬件的工作量增多太大。

经综合考虑，以上两种方案比较，由于采用 AT89S51 作为本系统的控制核心，会使得系统运行时处理输入数据去控制电机转动更为简单，可以满足我们的设计要求，所以，我在本系统种选用方案一作为系统的控制模块。

3. 电机驱动模块设计方案

本驱动电路的设计是为了保证系统里电机的可靠转动，是本系统必不可少的组成部分，对本驱动模块的设计有以下两种方案。

方案一：采用晶体管等分立器件设计电机驱动电路，该类驱动电路需要的耗材少，电路简单，但其输出驱动电压高且工作稳定，适用于工作频率不高的普通电机驱动电路中。

方案二：采用专用驱动芯片设计驱动电路用于可靠驱动电机，如 L298 等专用电机驱动芯片可构成电机专用驱动电路，由 L298 组成的驱动电路安全可靠，保证电机的可靠转动，但该驱动电路的设计所需成本较高，且需要独立电源供电。

综合上述两种方案的比较，由于本系统控制电机的 PWM 波频率不高，所以选用三极管 H 桥电路来作为电机专用驱动电路，可靠性高，可保障系统的稳定工作，因此在

本次设计中选用方案一。

4. 显示模块设计方案

在电机转速控制系统中，如能对当前电机转速实时显示，方便用户的观察检测，会使得整个设计显得更加美观。对于显示模块的设计有以下三种方案：

方案一：利用七段数码管进行显示，其驱动电路构成简单，所需要的硬件资源较少，价格也便宜，但在本系统中需要显示出中文字幕，它不具有这一功能，且用数码管作为显示模块其效果不佳，故不宜采用。

方案二：本系统采用 1602 作为整个控制电路的显示界面，该方案的硬件电路构成简单，显示效果较好，但它的屏幕较小，而且不能显示出中文字幕，不方便用户观察，也不利于使用者进行实时控制，一般用于控制显示要求不高的场合。

方案三：采用 128*64 液晶显示器做为本系统的显示模块，该显示器价格高，但其显示效果极好，屏幕大且可以显示中文字幕，便于用户控制，广泛应用于电子器件的显示装置。

经综合考虑，由于本系统需要显示中文字幕，故选用方案三作为本系统的显示模块。

经过上述的分析与论证，系统个模块采用的方案如下：

- (1) 控制模块：采用 AT89S51 单片机；
- (2) 电机驱动模块：采用三极管等分立元件组成 H 桥驱动电路；
- (3) 显示模块：采用 128*64LCD 液晶显示模块。

三、硬件方案设计

(一) 硬件资源分配

本设计的硬件资源分配如下图 6 所示，系统的主要控制核心选取主控芯片 AT89S51 单片机，由转速测量电路将电机的转速实时反馈给单片机，在单片机内部有相对应的子程序对其进行处理，再生成对应的 PWM 控制脉冲送至电机驱动电路，通过 128×64 液晶显示器和 4×4 键盘作为人机接口。

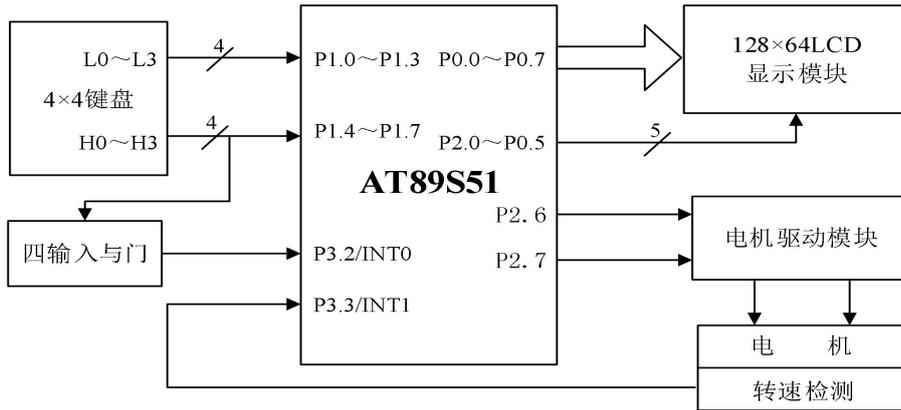


图 6 系统电路连接及硬件资源分配图

(二) 电源电路设计

单电源供电装置是整个系统正常运行的能量供应源泉，它的性能优劣以及能否正常工作直接影响到系统的正常运行。而本系统中，除需要给单片机与显示模块提供需要 5V 电源外，得给电机 H 桥驱动电路提供 12V 的电源。因此，在该系统的供电电路设计中，选取最常用的 7805 和 7812 两种三端稳压芯片，其经查证，该类稳压芯片能输出的最大电流仅为 1.5A，满足本系统的设计要求，实现电路如下图 7 所示。

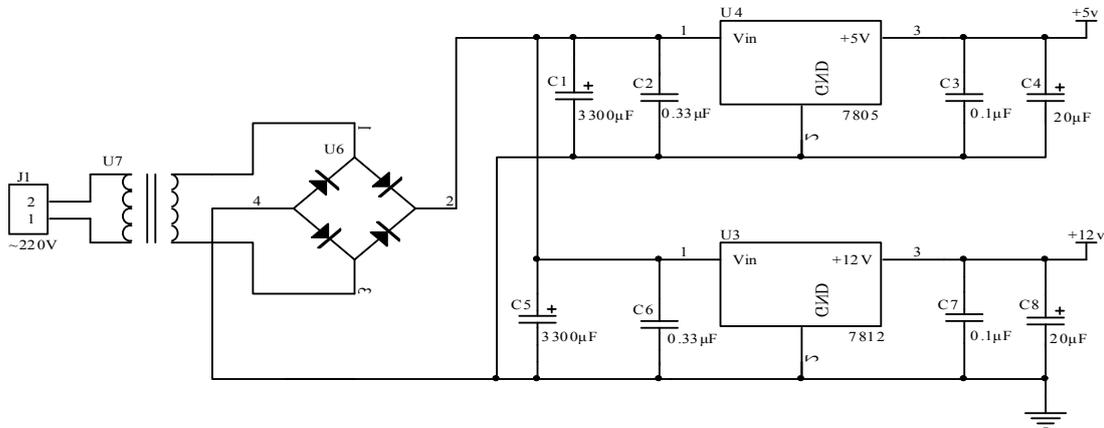


图 7 电源电路

(三) 电机驱动电路设计

驱动模块是系统主控芯片与执行电路之间的联系途径，单片机的 I/O 口输出电压及电流较低，不能直接用于电机的直接驱动，而且，由大功率晶体管构成的驱动电路，工作不是很稳定，故在本系统的设计中采用三极管等分立元件组成 H 桥驱动电路用来驱动电机，保证电机的可靠控制，具体硬件电路实现见下图 8。

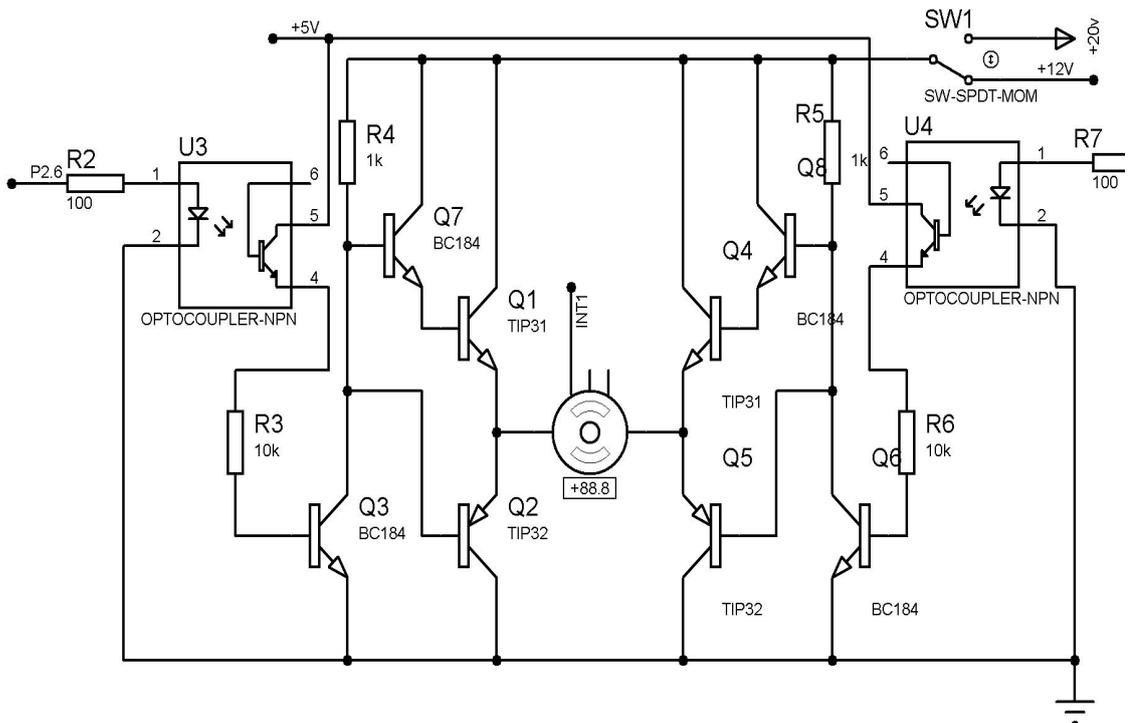


图 8 电机驱动电路

(四) 电机速度采集电路设计

在本系统中要将采集本次采样的速度与上次采样的速度进行比较，通过边差进行 PID 运算，因此速度采集电路是整个系统不可缺少的一部分。本次设计中应用了比较常见的光点测速方法来实现，其具体做法是将电机轴上固定圆盘，且其边缘上有 N 个等分凹槽如图 9 (a) 所示，在圆盘的一侧固定一个发光二极管，其位置对准凹槽初，在另一侧和发光二极管平行的位置固定一个光敏三极管，如果电机转到凹槽初时，发光二极管通过缝隙将光照射到光敏三极管上，三极管导通，反之三极管截止，电路如图 9 (b) 所示，从图中已得出电机每转一圈在 P3.3 的输出端就会产生 N 个低电平。这样就可以根据低电平的个数来计算电机此时的转速了。

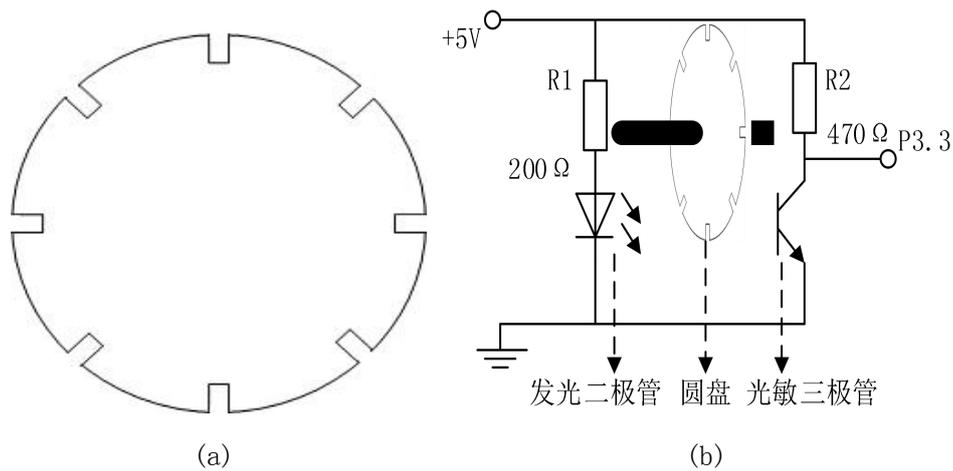


图9 速度采集

当电机按一定的设置进行动作时，单片机的 P3.3 口输出的波形如下图 10 所示，若只道一端时间 t 内船传感器输出的底脉冲数为 n ，则电集转速 $v=r/s$ 。



图 10 输出脉冲波形

(五) 显示电路设计

根据该系统的设计要求，需要将电机的转速以及用户控制界面显示出来，需要用到带中文字幕的液晶显示器，故选用 12864 液晶屏作为本系统的显示装置，其硬件电路构成简单，其引脚功能如下表 1 所示。

表 1 12864 液晶屏的引脚功能表

引脚	符号	引脚功能	引脚	符号	引脚功能
1	VSS	电源地	15	CS1	CS1=1 芯片选择左边 64*64 点
2	VDD	电源正+5V	16	CS2	CS2=1 芯片选择右边 64*64 点
3	VO	液晶显示驱动电源	17	/RST	复位（低电平有效）
4	RS	H: 数据输入； L: 指令码输入	18	VEE	LCD 驱动负电源
5	R/W	H: 数据读取； L: 数据写入	19	A	背光电源 (+)
6	E	使能信号。	20	K	背光电源 (-)
7-14	DB0-DB7	数据线	有些型号模块 19、20 脚为空脚		

128*64 液晶显示器跟单片机的联接电路如下图 11 所示。

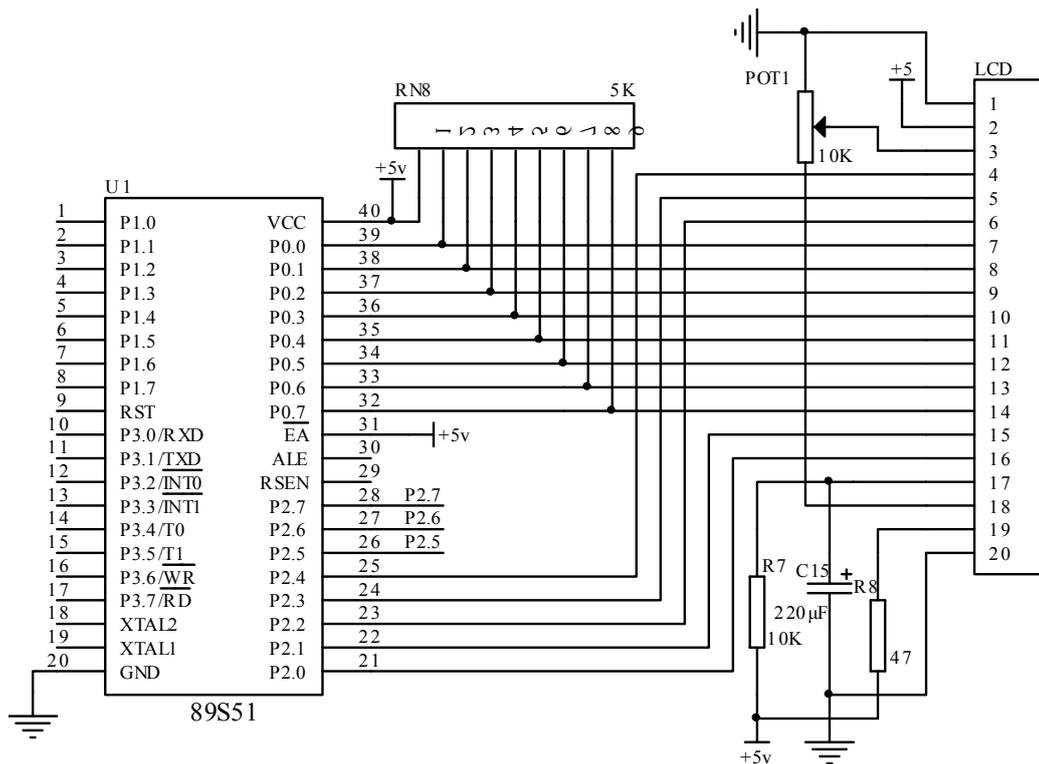


图 11 显示模块电路图

(六) 键盘电路设计

根据设计需求，我设计了一个 4*4 的键盘控制电路，由按键设计 P、I、D 的值用于控制电机的转速，并将当前电机的转速采集反馈给单片机，在内部进行 PID 数值的调整，为方便用户控制，设计操作界面如下图 12 所示。

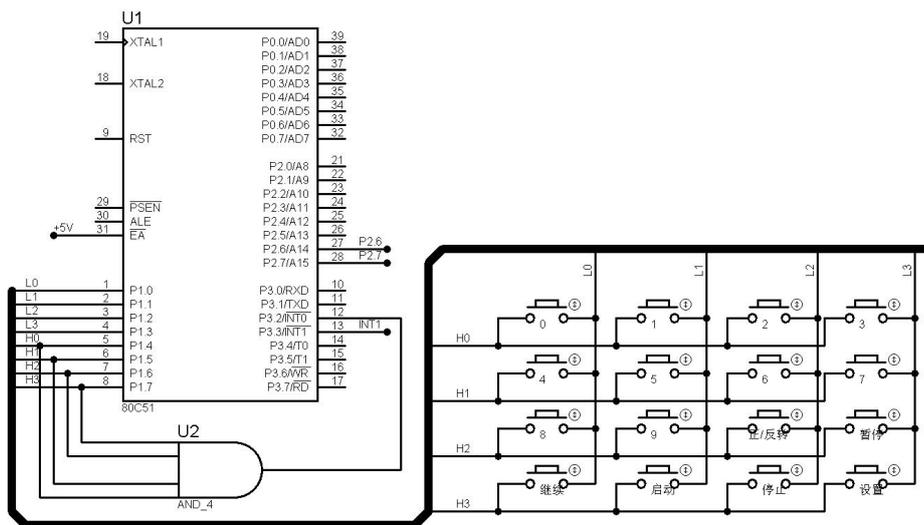


图 12 键盘模块

键盘操作说明：系统上电后，可由按键 1、2、3 设计 PID 数值，并由按键 4 设置电机的转速 V ，当一切设置完成后，按下启动按键，电机按照预设值，开始慢慢地转动，而且是加速转动，直至转速达到预设值时，PID 数值已达到，电机速度不再增加，匀速转动。在系统运行过程中，不能对相关参数值进行调整；当按下停止暂停按键时，电机停止转动，按下继续按键，电机按照预设值继续转动。若在系统运行过程中，按下了停止按键，则整个系统停止工作，电机停止转动。

四、软件方案设计

(一) 算法实现

1. PID 算法

本系统设计中心为利用单片机编写 PID 算法程序，通过给定的 PID 值调整 PWM 波的占空比进而控制电机的转速。

要想用 PID 算法控制电机的转速，必需再单片机种编写 PID 算法空制程序，程序流程如下图 13 所示。

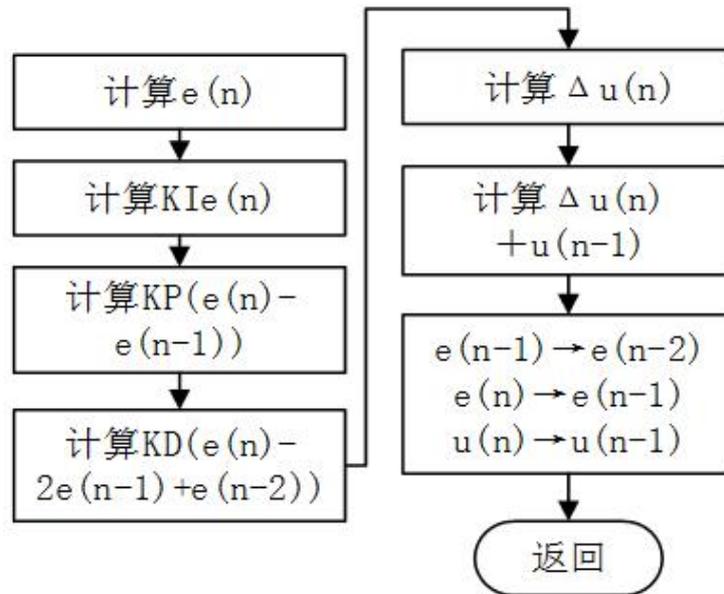


图 13 PID 算法流程图

2. 速度采集算法

在本系统中，速度采集电路的设计十分重要，它的精度直接影响到整个控制的精度。所以，我在设计中，选用了光电传感器作为本次测速的核心器件，计算公式为：

$$v = \frac{n}{N \times t} \times 60 \text{ r/min} \quad (2)$$

可以看出速都 V 的误差主要是由源盘边缘上的傲曹数的多少所决定的，为了减少系统无差应尽俩提高傲曹的数量，在设计中取凹曹数 N 为 120，采样时间 t 为 0.5s，则速度十算具体程序留程如下图 14 所示。

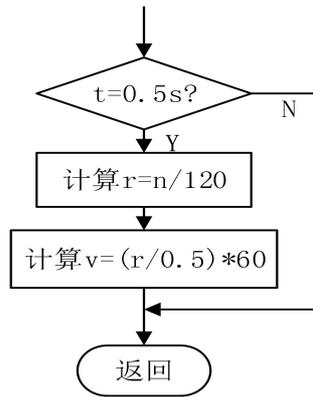


图 14 测速程序流程

(二) 程序流程

1. 主流程图

由控制要求，设计软件的主程序如下图 15 所示。

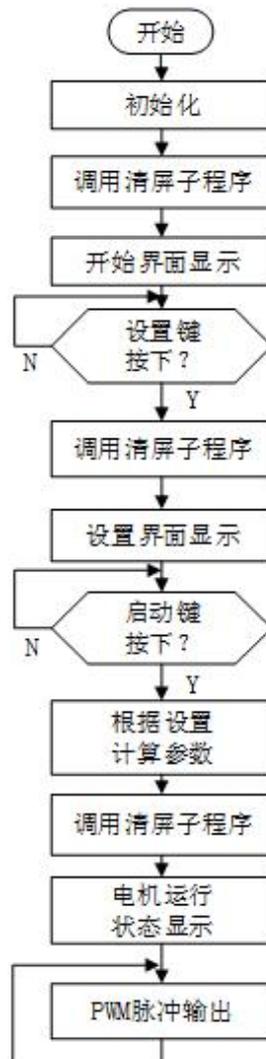


图 15 主程序流程

2. 键盘程序程序流程

系统中，键盘程序的编写十分重要，使得在设置系统参数时能及时执行，并进入到相应的运行状态，其程序流程图如下图 16 所示。

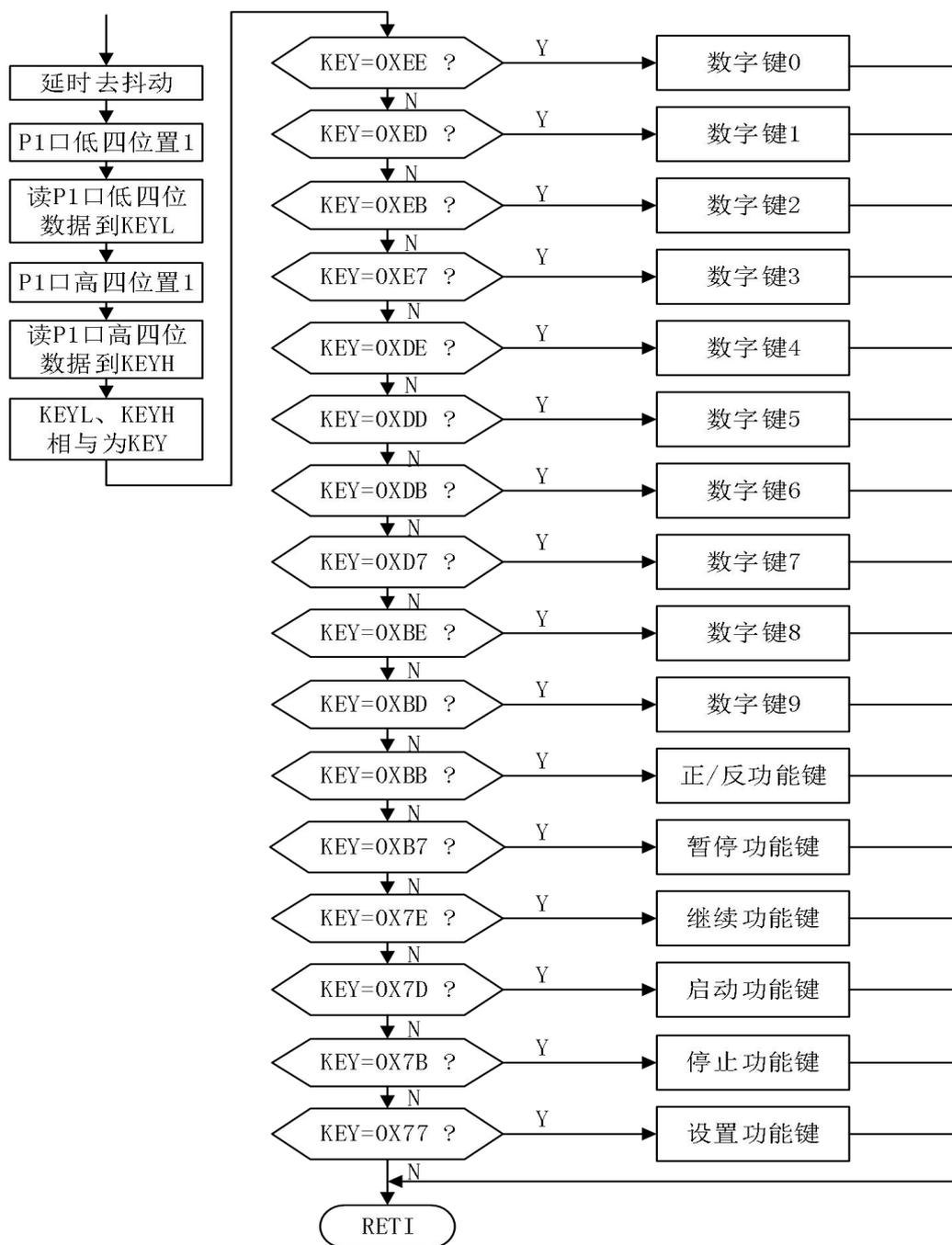


图 16 键盘程序流程

3. 定时程序流程

在本系统中，选用定时器 T0 作为定时用，编写中断子程序用来控制电集运行时间以及电机转速的计算和 PID 运算，程序流程如下图 17 所示。



图 17 定时程序流程

4. 显示程序流程

显示模块是为了将控制界面展示给使用者，方便他们进行控制即人机对话，其显示子程序流程如下图 18 所示。

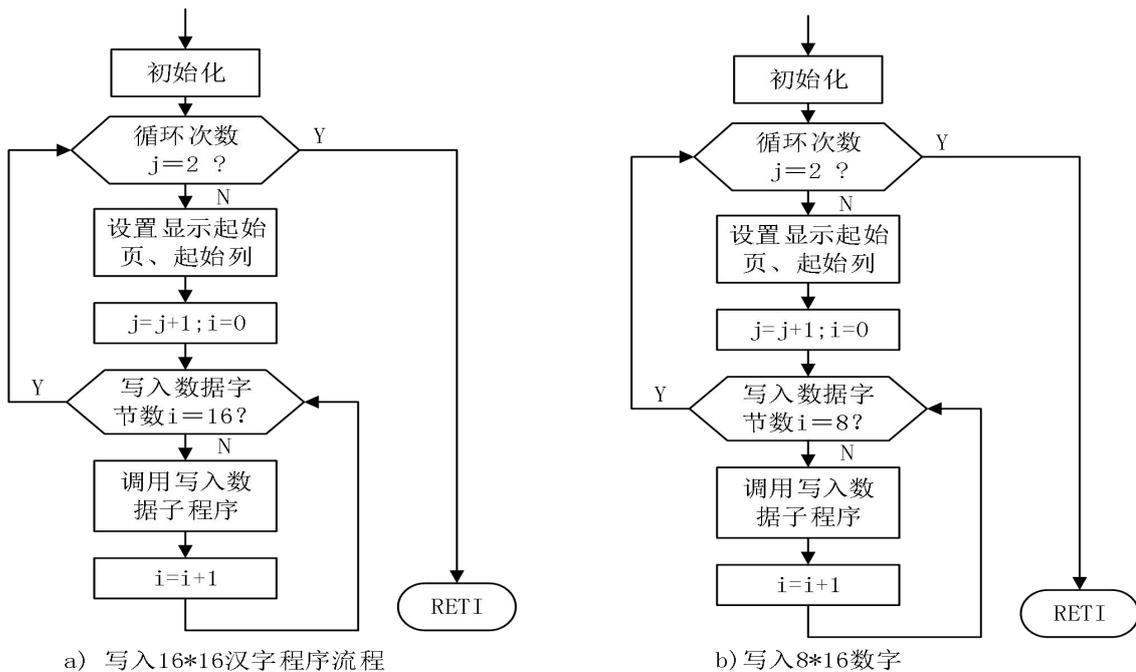


图 18 显示程序流程

五、调试与测试

(一) Proteus 软件简介

Proteus 电子设计软件有原理图输入系统（简称 ISIS）、混合模型仿真器、动态器件库、高级图形分析模块、处理器仿真模型 VSM 级 PCB 设计编辑（简称 ARES）6 个部分组成，如下图 19 所示。

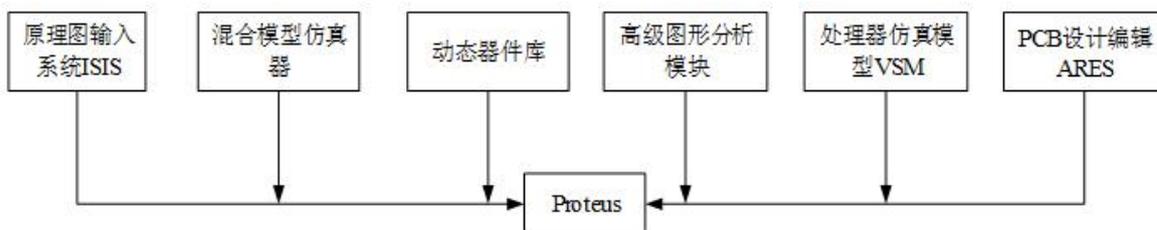


图 19 Proteus 基本组成

Proteus 软件特点如下：

(1) 它可以将我们电路的原理图、编写程序所生成的 HEX 文件以及我们最终制作实物所需要绘制的 PCB 集中在一起，实现从虚拟仿真到产品设计的主要功能。

(2) 具有模拟电路、数值电路、单片机应用系统设计与仿真功能。

(3) 有着单步调试与全速调试等多种调试的功能。

(4) 具有虚拟仪表进行电路分析和作为系统的信号源。

(5) 支持 Keil C51、MATLAB 等等第三方的软件编译和调试环境，是目前适合微处理器进行仿真的电子类虚拟仿真软件。

(6) 该仿真软件可进行电路原理图的设计，也可以进行 PCB 板的设计，以及不同形式的相对应的电子元器件的设计报表。

(二) 系统测试方法

调试原则：

先是比例后积分，最后再把微分加；

曲线振荡很频繁，比例度盘要放大；

曲线漂浮绕大湾，比例度盘往小扳；

曲线偏离回复慢，积分时间往下降；

曲线波动周期长，积分时间再加长；

曲线振荡频率快，先把微分降下来；

动差大来波动慢，微分时间应加长。

PID 调节器的参数整定方法有很多，但可归结为理论计算法和工程整定法两种，

具体控制电路见下图 20。

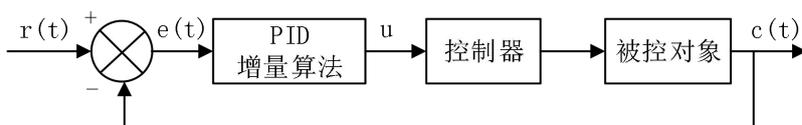


图 20 数字 PID 增量型控制示意图

为了确定我们设计的系统是否满足设计要求，需要对系统进行测试，并对测试的数据进行分析，由分析所得的结果来准确描述系统与设计要求符合程度。

六、成果

经过几个月的努力，终于顺利完成了毕业设计。毕业设计是每个大学生必须面临的一项综合素质的考验，如果说在过去三年里，我们的学习是一个知识的积累过程，那么现在的毕业设计就是对过去所学知识的综合运用，是对理论进行深化和重新认识的时间活动。在这几个月的毕业设计中，我们有艰辛的付出，当然更多的是丰收的喜悦。知识固然得到了巩固和提高，但我相信在实践中的一切体会将会使我在以后的工作和学习中终身受用。

本次设计的主要的目是编写 51 单片机程序，将 PID 算法用 C 程序编写出来，由生成出来的 PWM 波的占空比来经 H 桥驱动电路后加至电机的两端控制电机的转速。从设计任务的下达直到现在，我已完成了控制器电路的设计、电机驱动电路的设计、LCD 显示装置的设计、键盘扫描电路的设计，并深入的研究对数字型 PID 算法。因学校的实验条件不是特别好，没能做出 PCB 板及实物。我们利用 KEIL 软件进行控制程序的编写（采用 C 语言），生成相对应的 HEX 文件，在 Proteus 中将 HEX 文件加载至单片机里，运行仿真即得到我们所要实现的功能。

通过本次设计，我初步掌握了数字 PID 算法的运用及程序编写的方法，学会系统设计是如何进行的，以及相关学习技巧都有一定的掌握，为我以后步入社会所要从事的工作以及要补充学习的知识奠定了基础。

参考文献

- [1] 孙传友. 测控系统原理与设计[M]. 北京航空航天大学出版社, 2016:160—166, 174.
- [2] 王兆安. 电力电子技术[M]. 机械工业出版社, 2011: 150—152.
- [3] 潘松, 黄继业. EDA 技术实用教程[M]. 科学出版社, 2018: 33.
- [4] 何立民. MCS-51 系列单片机应用系统设计系统配置与接口技术[M]. 北京航空航天大学出版社, 2016: 83-87.
- [5] 陈杰. 传感器与检测技术[M]. 高等教育出版社, 2017: 201.
- [6] 方彦军, 孙健. 智能仪器技术及其应用[M]. 化学工业出版社, 2018: 42, 43.
- [7] 沙占友. 单片机外围电路设计[M]. 电子工业出版社, 2017: 21.
- [8] 秦继荣. 现代直流控制技术及其系统设计[M]. 机械工业出版社, 2018: 141-145.
- [9] 张俊谟. 单片机中级教程[M]. 北京航空航天大学出版社, 2016: 96.
- [10] 何立民. MCS-51 系列单片机应用系统设计系统配置与接口技术[M]. 北京航空航天大学出版社, 2018: 83-87.
- [11] 余小平, 奚大顺. 电子系统设计-基础篇[M]. 北京航空航天大学出版社, 2018:101-123.
- [12] 胡宴如, 耿秋燕. 模拟电子技术基础[M]. 高等教育出版社, 2019:68-72.

致谢

本设计是在耿运涛老师的悉心指导和热情关怀下完成的。在整个设计过程中，他不顾教务的繁忙，设身处地的为我们找资料，查文献，细致、耐心的教导和讲解我们遇到的各种问题，让我们的设计最终得以完成。除此之外他教会我们很多得学习的方法以及生活中如何做人、做事。耿老师平易近人的人格魅力，严谨进取的治学精神和乐观向上的生活态度，将给我往后的工作生活带来很多帮助。

毕业设计是我们专业课程知识综合应用的实践，这是我们迈向社会，从事职业工作前一个必不可少的也是提升个人能力的过程。通过这次毕业设设计，我更加深深的体会了解了“千里之行始于足下”这一佳话。万事开头难，但是我们必须脚踏实地的开始，了解设计整个过程的理想，以及设计零件的思想和计划方案，这样我们才能为明天稳健地在社会建设大潮中找到立足之地，为在大潮中奔跑打下坚实的基础。

在此衷心感谢在这过程中帮助及指导过我的老师和同学，让我开阔了眼界，增加了学识。