

燕山大学

课程设计说明书

题目： 飞思卡尔智能车转速单闭环 PWM 直流数字调速系统

学院（系）： 里仁学院电气工程系

年级专业： 计控 06-1

学 号： 061203011012

学生姓名： 黄达军

指导教师： 吴忠强、陈贵林

教师职称： 教授 讲师

燕山大学课程设计任务书

课程名称： 直流拖动控制系统课程设计

院(系)： 里仁学院

基层教学单位： 自动化系

| | | | | | |
|------------------|--|---------|---|------------|---------|
| 学 号 | 061203011012 | 学生姓名 | 黄达军 | 专业(班级) | 计控 06-1 |
| 设计题目 | 飞思卡尔智能车转速单闭环 PWM 直流数字调速系统 | | | | |
| 设计 技术 参数 | 1、调速范围 $D=8.7$, 静差率 $S \leq 5\%$ 。在整个调速范围内要求转速无级、平滑可调; 2、动态性能指标: 空载起动到额定转速时的转速超调量 $\delta_n \leq 10\%$ 。 3、采用飞思卡尔智能车竞赛组委会指定的直流电机 RS-380SH 的额定参数 (详见附录 1)。 | | | | |
| 设计 要求 | 1、完成设计说明书一份 (包括原理的简要说明和主要参数的计算过程); 文稿用钢笔或中性笔书写, 字迹应工整、清晰; 2、绘制电气原理图 (包括主电路、控制回路) A2 图纸一张, 用铅笔绘制, 应符合相关制图标准; 3、设计说明书和电气原理图必须按“电气图形符号”和“电气技术文字符号”的国家标准, 并规定主回路用粗实线、控制回路用细实线; 4、设计说明书应包含封皮、任务书、目录、正文、参考文献、设计体会等, 页数要在 15-20 页。 | | | | |
| 工 作 计 划 | 第一周 1、查阅有关资料; 2、分析并确定控制方案, 完成简装操作电路设计; 3、主回路的设计、计算, 并确定主要元器件 (包括必要的保护环节); | | 第二周 1、转速电流双闭环直流调速系统调节器参数的设计、计算; 2、电源电路设计; 3、电气原理图绘制; 4、撰写设计说明书。 | | |
| 参 考 资 料 | 1、《电力拖动自动控制系统》 陈伯时 主编 (教材) 2、《电力电子变流技术》 黄俊 主编 (教材) 3、自选其他有关资料 | | | | |
| 指导教师签字 | | 吴忠强、陈贵林 | | 基层教学单位主任签字 | 刘福才 |

说明：此表一式四份，学生、指导教师、基层教学单位、系部各一份。

2009 年 7 月 2 日

目录

| | |
|------------------------------|----|
| 摘 要 | 1 |
| 第 1 章 引言 | 2 |
| 第 2 章 设计题目与设计要求 | 2 |
| 2.1. 设计要求 | 2 |
| 2.2. 设计参数的确定 | 3 |
| 2.3 总体设计思想 | 3 |
| 第 3 章 电气电路设计 | 3 |
| 3.1 主电路设计 | 3 |
| 3.2 控制电路设计 | 3 |
| 第 4 章 电源管理 | 4 |
| 4.1 稳压电路 | 4 |
| 4.2 升压电路 | 5 |
| 第 5 章 转速单闭环调节器的设计 | 6 |
| 5.1 电机技术的参数介绍 | 6 |
| 5.2 电机控制参数的计算 | 6 |
| 5.3 电机转速调节器设计 | 7 |
| 第 6 章 调速算法 | 8 |
| 6.1 数字测速 | 8 |
| 6.2 数字 PWM | 10 |
| 6.3 电机双重 PI 调速 | 10 |
| 6.3.1 电机内环 PI 调节 | 10 |
| 6.3.2 电机外环 PI 调节 | 10 |
| 第 7 章 程序设计 | 12 |
| 7.1 程序流程图 | 12 |
| 7.2 PI 调节器程序的实现 | 13 |
| 7.3 PWM 控制程序的实现 | 13 |
| 第 8 章 实验测试 | 14 |
| 第 9 章 设计体会 | 15 |
| 参考文献 | 15 |
| 附录 1: 电机 RS-380SH 技术手册 | 16 |

摘 要

直流拖动自动控制系统是将电能转换为机械能的一类装置，被广泛地应用于一般机械设置的动力系统中，也被广泛应用于精密机械等需要高性能电气传动的设备中，用以控制位置、速度和转矩等参量。直流电机具有良好的起、制动性能，宜于在大范围内平滑调速，在许多需要调速或快速正反向的电力拖动领域中得到应用。

对直流电机进行调速的控制器主要分为模拟控制器与数字控制器，实际系统中主要应用数字控制器。本系统结合飞思卡尔智能车竞赛对其用到的电机 RS-380SH 进行转速单闭环 PWM 数字调速，整个系统通过光电码盘进行数字测速，利用单片机 MC9S12DG256 强大的数值处理能力进行电机的两重 PI 调节器的运算和数字 PWM 的生成，同时通过 IR2104S 驱动 4 个 MOSFET 管 IRF540NS 搭建的 H 桥电路，最终实现电机的自动控制。这种数字控制也将是未来直流调速的发展方向。

本设计报告详细地从电气电路、调速算法及程序设计等方面论述了 RS-380SH 电机的数字调速，对小型直流电机的调速提出了一种解决方案，具有参考价值。

关键词

直流调速 智能车 数字 PID PWM

第1章 引言

本次直流调速课程设计是结合飞思卡尔智能车竞赛进行的实际直流电机调速与控制。

飞思卡尔智能车竞赛是委托教育部高等教育司，由高等学校自动化专业教学指导委员会负责主办，飞思卡尔半导体公司协办的每年一度的全国大学生智能汽车竞赛。本届（第四届）比赛规则是利用统一的汽车模型，使用飞思卡尔半导体公司的 8 位、16 位微控制器作为核心控制模块，通过增加传感器、设计电机驱动等相关电路、编写相应软件以及装配模型车等环节，自主设计制作一个能够识别道路的汽车模型，在规定的赛道上完成一圈所用时间最短的为胜。其用到的专业知识涉及控制、模式识别、传感技术、汽车电子、电气、计算机、机械等诸多学科，对学生的知识融合和动手能力的培养，对高等学校智能控制研究及汽车电子学科学水平的提高，都具有良好的推动作用。

直流电机的调速方式分为三种：弱磁调速、串电阻调速及降压调速。为提高比赛成绩，直流电机在一定范围内要求无级平滑调速，以调节电枢供电电压的方式为最好。改变电阻只能实现有级调速，不能实现数字控制；减弱磁通虽然能够平滑调速，但调速范围不大，往往只是配合调压方案，在基速以上小范围的弱磁升速。因此，采用了通过数字 PWM 改变电机电枢供电电压。同时，为了提高控制精度，使用光电码盘进行数字 M 法测速，将信息反馈回处理器，实现直流电机的转速单闭环 PWM 直流数字调速。

以下各章节将从设计题目与要求、电气电路、电源管理、调速算法及程序设计等方面进行详细地论述，最后总结本次直流调速课程设计的心得体会。

第2章 设计题目与设计要求

2.1. 设计要求

根据比赛规则的要求，为提高比赛成绩，应对电机有一个良好的调速方式，它与电机的加、减速性能和调速质量有着直接的关系。车模的运动方向为单一方向，但要求应具有良好的制动性能，则电机需要工作在一、四象限，完成正向运行与反接制动。为此结合控制要求，设计技术参数确定为：

- 1) 调速范围 $D=8.7$ ，静差率 $S \leq 5\%$ ，在整个调速范围内要求转速无级、平滑可调；
- 2) 动态性能指标：空载起动到额定转速时的转速超调量 $\delta \leq 10\%$ 。

2.2. 设计参数的确定

从附录 1 电机的机械特性和参数看，其额定转速 243.33 转/秒。模型车电机轴与后轮轴之间的传动比为 9:38，车轮周长 15cm，如此计算，模型车的最高速度为 8.645 米/秒。赛道弯道的最小曲率半径为 50cm，以如此高的速度过弯模型车肯定会失控冲出弯道，按照以往比赛的经验，模型车在赛道上的平均速度为 2 米/秒左右，最高速度不超过 4 米/秒，车模在 1 米/秒的速度时能安全稳定的跑完全程的所有赛道类型。

根据以上的测试确定赛车的最高速度为 4 米/秒，最低速度为 1 米/秒。即电机的调速范围为 28.15 转/秒到 112.6 转/秒， $D=8.7$ 。

2.3 总体设计思想

与工业电机不同的是，飞思卡尔智能车使用的是大赛组委会规定的小型直流电机，型号为 RS-380SH，所以其调速方式也将不同。

整个系统的控制核心为飞思卡尔单片机 MC9S12DG256B；通过光电码盘反馈回的脉冲进行 M 法的测速及转动方向的判定；在第一层转速数字 PI 调节器中，设定目标转速，通过电机的技术参数计算出在该转速下 P、I 三个环节的系数及采样周期，使电机在任何情况下维持在该转速下；在第二层转速数字 PID 调节器中，根据路况的不同自动调整目标转速，最终通过数字双极性 PWM 控制 H 桥驱动电路中的 IRF540N 的导通与关断，从而进行速度的控制。

第3章 电气电路设计

3.1 主电路设计

系统的控制核心为 MC9S12DG256B，采用组委会推荐的核心控制板，其电路如下。

单片机采用 PK1、PK3 两个口控制电机的旋转方向（正向运行与反接制动）；PP1 输出 PWM；PT0 连接码盘 A 相脉冲信号，PT2 连接码盘 B 相脉冲信号。

3.2 控制电路设计

由于单片机输出的脉宽无法驱动 RS-380SH 直流电机，因此需要通过驱动电路来驱动电机。对此，自主设计了由四个 IRF540N 组成的 H 桥电路，采用基于 H 桥驱动电路的 PWM（Pulse Width Modulation 脉冲宽度调制）控制技术，可以方便地实现电机正转

和制动。H 桥驱动电路原理图如下：

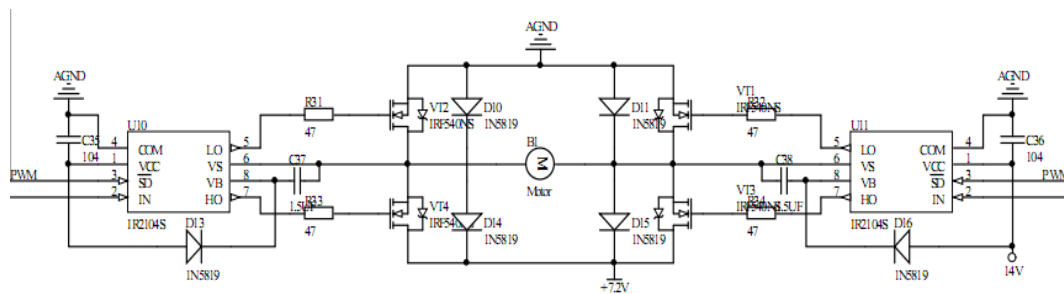


图 3.1 H 桥驱动电路原理图

如图，INA1 当为高电平,INA2 为低电平时，VT2、VT3 管导通，VT1、VT4 管截止，电动机正转,赛车前进;当为 INA1 低电平，INA2 为高电平时，VT1、VT4 管截止，VT2、VT3 管导通，电动机反转，适当利用这个过程可以使车模处于反接制动的状态，迅速降低车速。当 VT2、VT1 导通且 VT4、VT3 截止时，没有电源加在电机上，电机两端相当于短接在一起。由于电机轴在外力作用下旋转时，电机可以产生电能，此时可以把直流电动机看作一个带了很重负载的发电机，电机上会产生一个阻碍输出轴运动的力，这个力的大小与负荷的大小成正比，此时电机处于能耗制动状态。由于电机工作状态切换时线圈会产生反向电流，通过四个保护二极管 D3、D4、D5、D6 接入回路，可以防止电子开关被反向击穿。

第4章 电源管理

稳定的电压是保证整个系统稳定工作的基础，因此电源管理单元是系统硬件设计中的一个重要组成单元，它要向单片机等数字电路系统电路和电机驱动模块分别供给 5V、和 10V 以上的控制电压，同时还要向直流电机供电。

电池提供的电压为 7.2V，通过 5V 稳压电路和升压电路，输出达到所需要的电压。

4.1 稳压电路

MCU 等数字电路一般都需要一个稳定的工作电压才能可靠工作。而一般采用线性稳压器件(如 78xx 系列三端稳压器件)作为电压调节和稳压器件来将较高的直流电压转变为 MCU 所需的工作电压。这种线性稳压电源的线性调整工作方式在工作中会造成较大的“热损失”(其值为 $V_{\text{压降}} \times I_{\text{负荷}}$)，其工作效率仅为 30%~50%。这样，用线性电源不仅工作效率低，而且“热损失”产生的热量的聚集也加剧了 MCU 的恶劣工况，从而使嵌入式控制系统的稳定性能变得更差。

为了解决线性稳压器的这一弊端，稳压电路设计采用了开关式的稳压电源 LM2576-5 芯片。

LM2576 系列是美国国家半导体公司生产的 3A 电流输出降压开关型集成稳压电路，它内含固定频率振荡器(52kHz)和基准稳压器(1.23V)，并具有完善的保护电路，包括电流限制及热关断电路等，利用该器件只需极少的外围器件便可构成高效稳压电路。为了减小开关电源输出纹波对电路造成的影响，应在 VCC 输出端于地线之间并联一个较大的滤波电容。

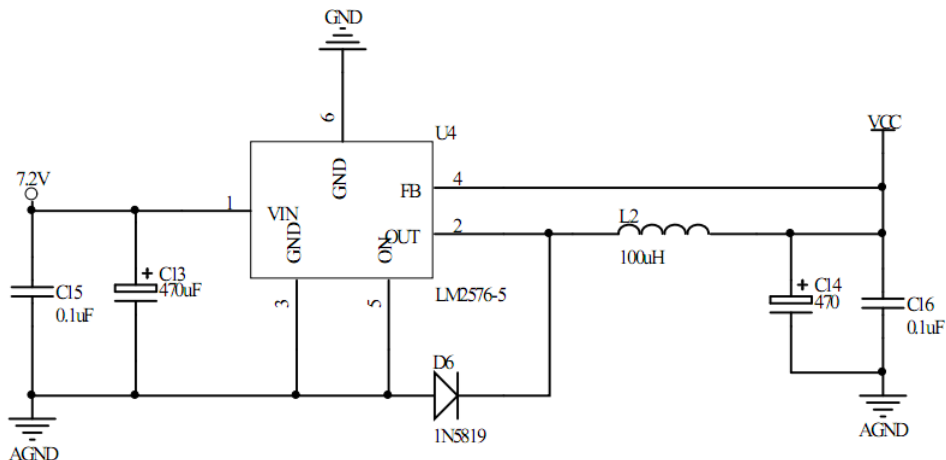


图 4.1 2576-5 稳压电路

4.2 升压电路

电机驱动电路中的 IRF540N 场效应管的导通电压是 10V 以上，为此设计了 12V 的升压电路。其电路如下：

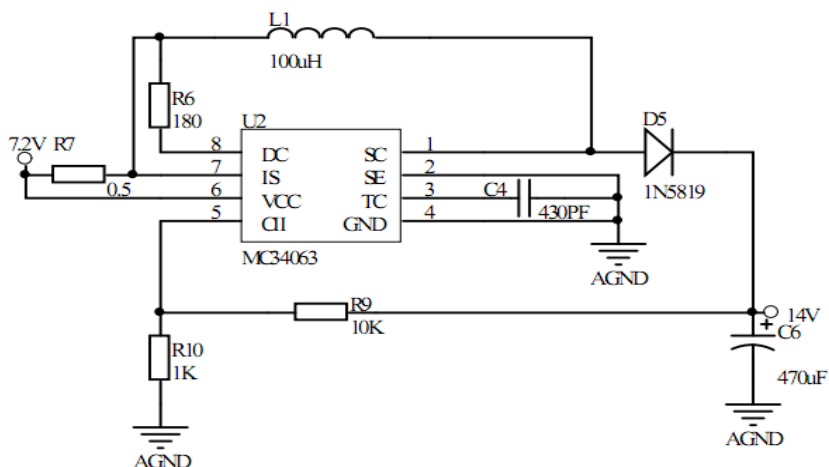


图 4.2 14V 升压电路

第5章 转速单闭环调节器的设计

5.1 电机技术的参数介绍

直流电机采用的是标准微型马达公司生产的 RS-380SH 型电机。该电机额定电压为 7.2V，空载电流为 0.5A，转速可达 16200r/min；当电机转速在 14060r/min 时，工作效率最大，转矩达到了 10.9N·m。RS-380SH 型电机技术参数如下图：

| VOLTAGE | | | | NO LOAD | |
|-----------------|---------------|--|--|---------|---------|
| OPERATING RANGE | NOMINAL | | | SPEED | CURRENT |
| | | | | r/min | A |
| 3~9 | 7.2V CONSTANT | | | 16200 | 0.50 |

| AT MAXIMUM EFFICIENCY | | | | | STALL | | |
|-----------------------|---------|--------|------|--------|--------|------|---------|
| SPEED | CURRENT | TORQUE | | OUTPUT | TORQUE | | CURRENT |
| r/min | A | mN·m | g·cm | W | mN·m | g·cm | A |
| 14060 | 3.29 | 10.9 | 111 | 16.0 | 82.3 | 839 | 21.6 |

图 5.1 RS-380SH 型电机技术参数

5.2 电机控制参数的计算

由电机技术参数可以计算出：

电动机内阻

$$R_a = 0.35\Omega$$

电动机的电动势系数

$$C_e = \frac{U_N - I_N \times R_a}{n_N} = \frac{7.2 - 3.29 \times 0.35}{14060} \text{V} \cdot \text{min/r} = 0.000430 \text{V} \cdot \text{min/r}$$

电力拖动系统折算到电动机轴上的飞轮惯量

$$GD^2 = 111 \text{g} \cdot \text{cm} = 0.000113 \text{N} \cdot \text{m}^2$$

额定励磁下电动机的转矩系数

$$C_m = \frac{30}{\pi} C_e = \frac{30}{3.1415926} \times 0.000430 = 0.004106 \text{N} \cdot \text{m/A}$$

电枢回路电磁时间常数

$$T_l = \frac{L}{R} = 0.0057s \text{ (电感 } L \text{ 为估计值 } 0.002)$$

电力拖动系统机电时间常数

$$T_m = \frac{GD^2(R_a + R_m)}{375C_e C_m} = \frac{0.000113 \times (0.35 + 0.088)}{375 \times 0.000430 \times 0.004106} = 0.074754s$$

其中 R_m 为 2 个导通 MOSFET 的电阻值。

MOSFET 的平均失控时间

$$T_s = \frac{1}{2} \times \frac{1}{f} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{1000} = 0.0005s$$

其中 MOSFET 工作在 1KHz 的工作频率下。

5.3 电机转速调节器设计

1、为满足调速系统的稳态性能指标，额定负载时的稳态速降应为

$$\Delta n_{cl} = \frac{n_N s}{D(1-s)} \leq \frac{14060 \times 0.05}{8.7 \times (1-0.05)} \text{ r/min} = 85.05/\text{min}$$

2、求闭环系统应有的开环放大系数。

已知电动机的电动势系数

$$C_e = 0.000430V \cdot \text{min/r}$$

则开环系统额定速降为

$$\Delta n_{op} = \frac{I_N R}{C_e} = \frac{3.29 \times 0.35}{0.000430} \text{ r/min} = 2678 \text{ r/min}$$

闭环系统的开环放大系数应为

$$K = \frac{\Delta n_{op}}{\Delta n_{cl}} - 1 \geq \frac{2678}{85.05} - 1 = 31.5 - 1 = 30.5$$

3、选择转速调节器结构

按照设计要求，转速环利用伯德图设计 PI 调节器，使系统能在保证稳态性能要求下稳定运行。

原始系统的开环传递函数

$$W(s) = \frac{K}{(T_s s + 1)(T_m T_l s^2 + T_m s + 1)}$$

已知 $T_s = 0.0005s$, $T_l = 0.0057s$, $T_m = 0.074754$, 在这里, $T_m > 4T_l$, 因此分母中的二次项 $(T_m T_l s^2 + T_m s + 1)$ 可发分解成两个一次项之积, 即

$$T_m T_l s^2 + T_m s + 1 = 0.000426s^2 + 0.074754s + 1$$

于是，原始闭环系统的开环传递函数是

$$W(s) = \frac{30.5}{(0.0005s + 1)(0.000426s^2 + 0.074754s + 1)}$$

相应的闭环对数幅频及相频特性绘于图 5.2。

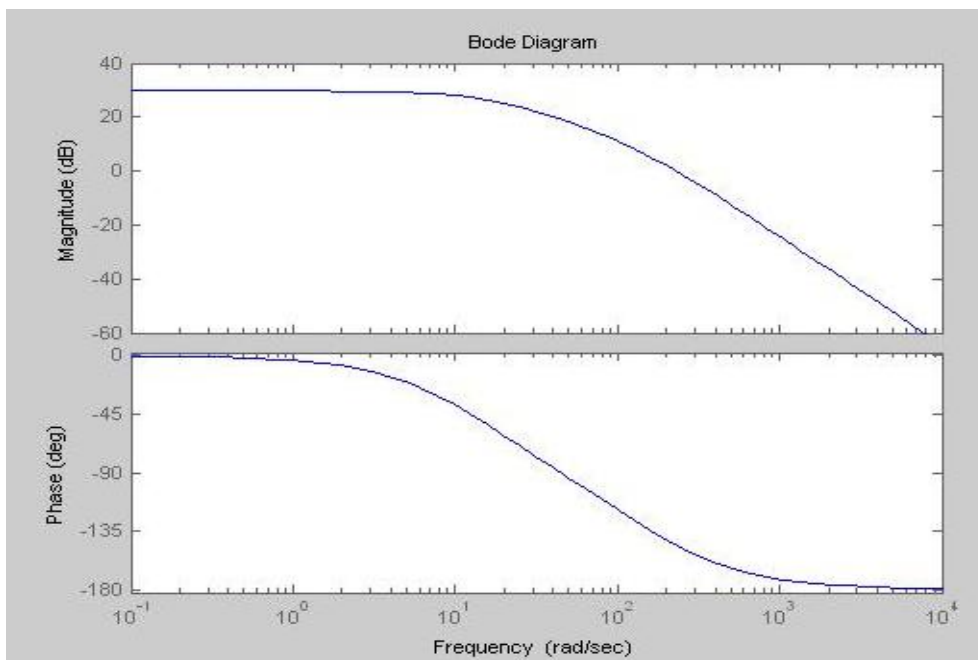


图 5.2 转速单闭环对数幅频及相频特性

第6章 调速算法

6.1 数字测速

数字测速具有精度高、分辨能力强、受器件影响小等优点，因此被广泛应用于调速要求高、调速范围大的调速系统。根据设计要求，电机的控制系统采用转速闭环的数字 PI 控制，能否准确测量电机转速信息是能否精确调速的关键。

光电式旋转编码器是转速的检测元件，旋转编码器与电动机相连，当电动机转动时，带动码盘旋转发出脉冲信号。可以分为绝对式和增量式两种。

由于单片机中进行的是数字 PI 运算，因此系统采用增量式光电码盘进行测速。由于电机转速比较快，全速工作能达到 10000 转/分以上，而系统要求的最低速度也有 1000 转/分，所以采用 M 法进行测速。在一定时间 T_c 内测取旋转编码器的脉冲个数 M_1 ，用以计算这段时间内的平均转速。同时为了得到电机的旋转方向，系统还使用了 AB 两个相位的脉冲。

在编码器的选择上，传统的采用自行制作的简易编码器，其测速脉冲少，非常不稳定，也不精确。有些采用金属壳封装好的编码器，编码器的输出轴同后轮齿轮啮合，但是这种编码器体积大，质量大，同时啮合出产生了额外的摩擦阻力，增加了电机的负载。

我们采用 100 线盘片配合两组对射式光电管组重编码器，盘片直接安装在电机输出的小齿轮上，不会而外产生任何摩擦阻力，同时光电管和盘片都很轻，最大程度的减少了电机负载的增加。其安装位置及波形图如下图：

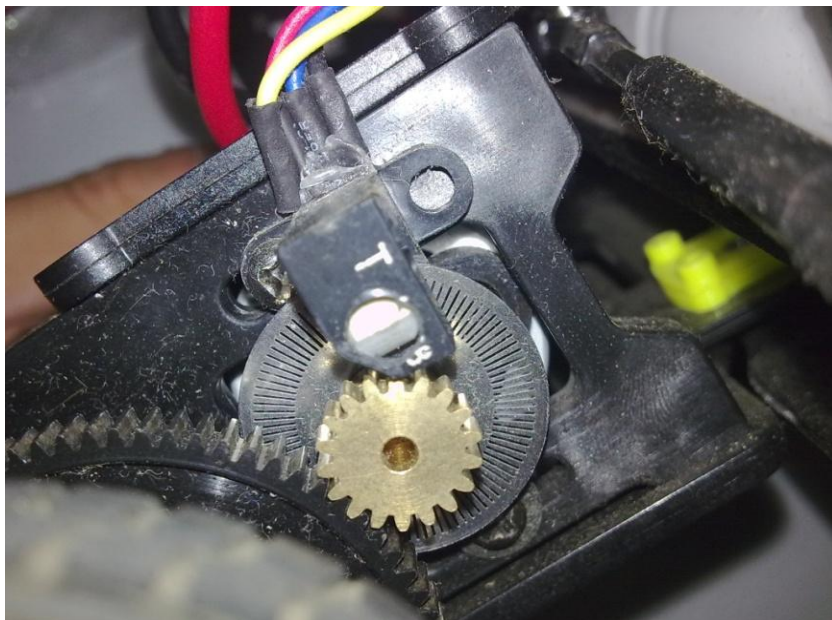


图 6.1 光电码盘实际安装位置

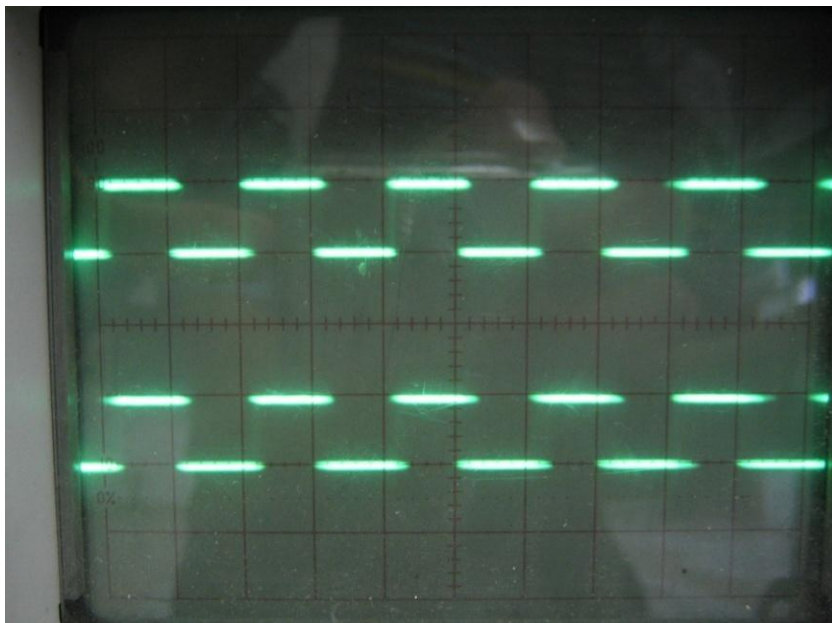


图 6.2 光电码盘输出波形图

6.2 数字 PWM

数字 PWM 根据控制要求, 利用 MC9S12DG256B 改变 PK1 与 PK3 的高电平变化, 使其产生不同占空比的 PWM 波。

6.3 电机双重 PI 调速

与传统的模拟控制器相比, 数字控制可以将其数字化, 而且可以突破模拟控制器只能完成线性控制规律的局限, 完成各类非线性控制, 自适应控制乃至智能控制等。同时, 电机的特性比较软, 要获得很好的控制效果也必须采用转速双重闭环控制。

6.3.1 电机内环 PI 调节

电机基本转速的控制是保证系统稳定运行的基础, 因此设计了电机速度内环 PID 调节器。控制算法上我们采用了无静差的 PI 调机器。其传递函数为:

$$W_{pi}(s) = \frac{K_{pi} \times \tau s + 1}{\tau s}$$

式中 K_{pi} PI 调节器比例部分的放大系数。

T_s PI 调节器的积分时间常数。

上述传递函数写成 $u(t)$ 和 $e(t)$ 关系的时域表达式可以写成

$$U(t) = K_{pi} \times e(t) + \frac{1}{\tau} \times \int e(t) dt = K_p \times e(t) + K_I \times \int e(t) dt$$

其中, $K_p = K_{pi}$ 为比例系数, $K_I = 1/\tau$ 为积分系数。

将上式离散化成差分方程, 其第 k 拍输出为

$$U(k) = K_p \times e(k) + K_I \times T_{sam} \times \sum_{i=1}^k e(i)$$

其中, T_{ams} 为采样周期。

由上式可得增量式 PI 算法

$$\Delta u(k) = u(k) - u(k-1) = K_p [e(k) - e(k-1)] + K_I \times T_{sam} \times e(k)$$

6.3.2 电机外环 PI 调节

系统实际运行起来, 速度是一个动态值, 根据舵机转角的变化进行自动调整, 所以还设计了动态目标值 PI 调节器, 其是由单神经元和专家系统相结合的智能型 PI 调节器构成, 其结构如图 6.1 所示。

1.智能型PI调节器的结构

转角的偏差 e 以及偏差的微分 $-\frac{dn}{dt}$ 和积分 $\int e dt$ 分别代表了系统输出的当前、将来和过去的三种状态，而智能型PI调节器的输出限幅值则代表了系统消除偏差的能力。合理综合地运用这些信号，在系统允许的条件下，尽快消除偏差，又不产生或者不产生超调，可使系统以最合适的速度稳定运行。

按照专家系统的方法，根据转角偏差、实际转角变化率的负值和转角偏差的积分所在的区间确定调整规则，并根据它们的大小决定调整的强度，使智能型PI调节器参数随着偏差的变化而有选择地变化。当偏差大时，停止积分，并调整比例系数 K_p ，使系统以最大的能力消除偏差；当偏差小时，投入积分，并逐步调整比例系数 K_p 和积分系数 K_i ，使系统以最佳过程达到稳态，最终实现最佳动态目标速度值的调整。

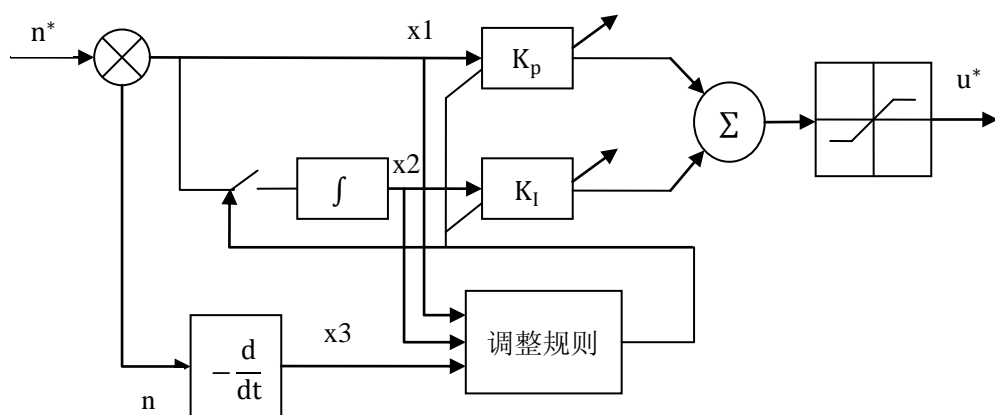


图 6.1 单神经元和专家系统相结合的智能型 PI 调节器结构图

2.调整规则

(1) 大偏差范围调整规则

取 σ 为 $(10\% \sim 20\%)n_N$ ，当 $e > \sigma$ 时，停止积分，并对积分值清零，只保留比例部分，调整 K_p ，使

$$K_p = \frac{u_{\max}^*}{|e|}$$

则调节器输出达到限幅值，系统以允许最大的能力快速减小偏差。

(2) 小偏差范围调整规则

当 $e \leq \sigma$ 时，系统进入小偏差范围，及时调整 K_p 和 K_i 的值，可避免产生过调现象，使系统平稳进入稳定运行状态。下面分三种情况讨论小偏差范围的调整规则。

$x_1 x_3 < 0$ 。当 $x_1 > 0$ 、 $x_3 < 0$ 或 $x_1 < 0$ 、 $x_3 > 0$ 时，表明偏差正向零趋近，应逐步减小 K_p ，削弱比例部分的控制作用。当偏差越接近于零，且接近零的速度越快时， K_p 的衰减越快。

当 $x_2 > 0$ 时，积分部分产生加速转矩，而 $x_2 < 0$ 时，积分部分产生制动转矩。若 $x_1 > 0$ 、 $x_2 > 0$ ，积分部分产生的加速转矩使偏差减小，若 $x_1 < 0$ 、 $x_2 < 0$ ，积分部分产生的制动转矩同样有利于消除偏差；反之，若 $x_1 > 0$ 、 $x_2 < 0$ 时，积分部分产生的制动使偏差继续增大；若 $x_1 > 0$ 、 $x_2 > 0$ ，积分部分产生的加速转矩不利于消除偏差。因此，当 $x_1 x_2 > 0$ 时，应增大 K_i ，利用积分部分消除偏差；当 $x_1 x_2 < 0$ 时，则应减小 K_i ，以避免偏差继续增大。

第7章 程序设计

飞思卡尔智能车转速单闭环 PWM 直流数字调速系统采用单片机进行数字调速控制，PWM 及 PI 调节器等直接用程序实现控制。故程序在整个控制中也占有很重要的部分。

7.1 程序流程图

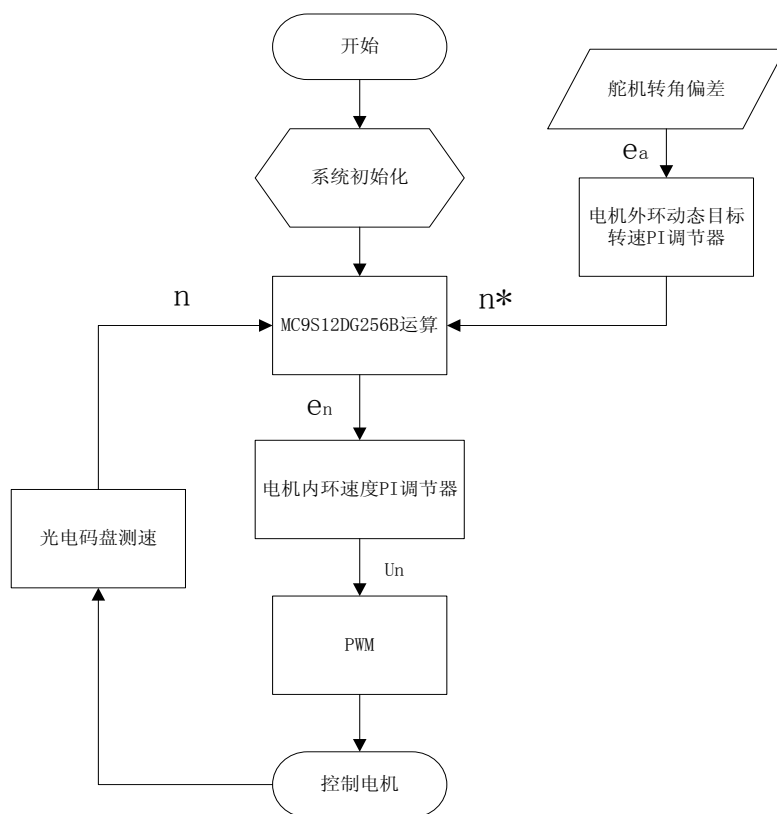


图7.1 程序设计流程图

7.2 PI 调节器程序的实现

```
int IncPIDCalc(int NextPoint)
{
    register int iError, iIncpid;
    iError = sptr->SetPoint - NextPoint;
    iIncpid = sptr->Proportion * iError - sptr->Proportion * sptr->LastError + sptr->Integral *
    sptr->Tams * iError;
    sptr->LastError = iError;
    return(iIncpid);
}
```

7.3 PWM 控制程序的实现

```
void PWM_init(void)
{
    /*****电机控制*****/
    PWMCTL_CON01 = 1;    //0 和 1 联合成 16 位 PWM;
    PWMSCLA = 16;        //对 clock SA 进行 32 分频 pwm clock = clockA/32 = 1Mhz
    PWMDTY01 = 500;      //修改此处改变电机转速，最大到 1000
    PWMPER01 = 1024;     //10 为精度 PWM
    PWMCLK_PCLK1 = 1;    //选择 clock SA 作为时钟源
    PWMPOL_PPOL1 = 1;    //设置极性位先输出高电平模式
    PWMCAE_CAE1 = 0;     //选择输出模式为左对齐
    PWMCNT01 = 0;        //计数器清零
    PWME_PWME1 = 1;      //开始计时
}
```


第8章 实验测试

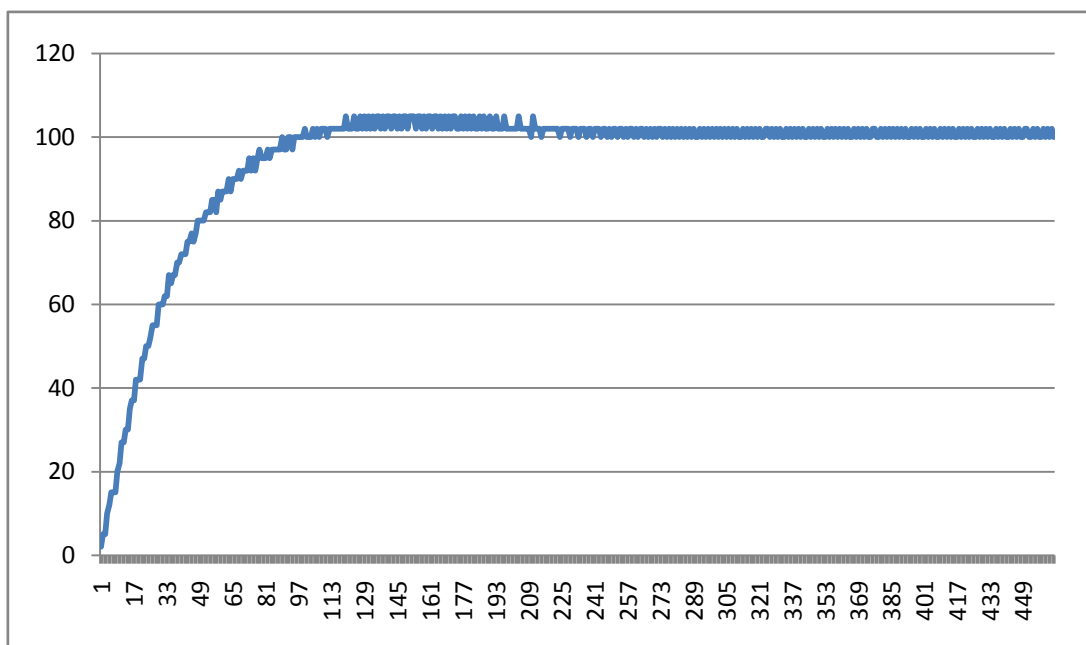


图 8-1 启动转速曲线

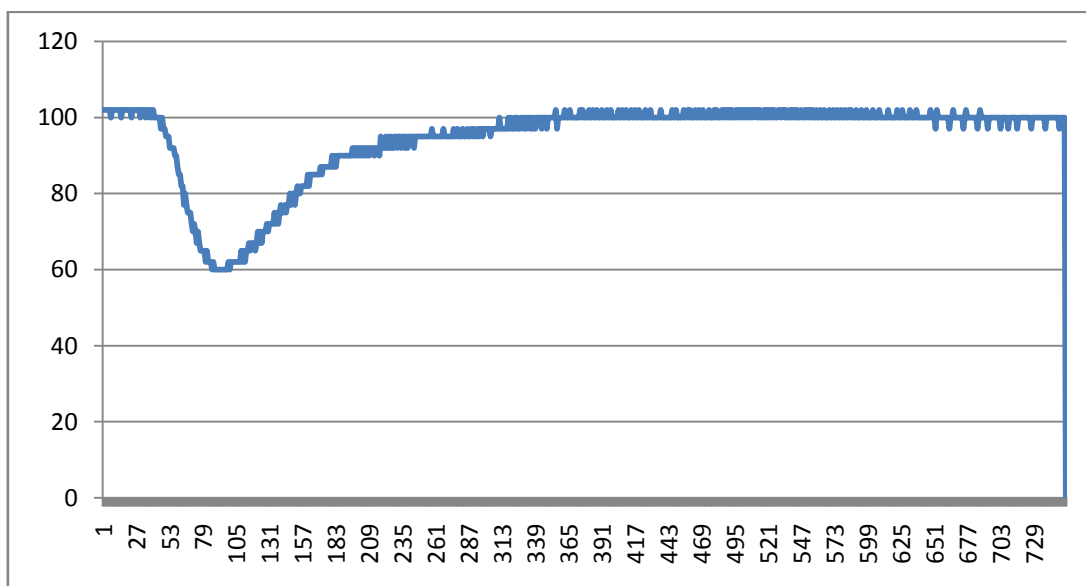


图 8-2 突增负载转速曲线

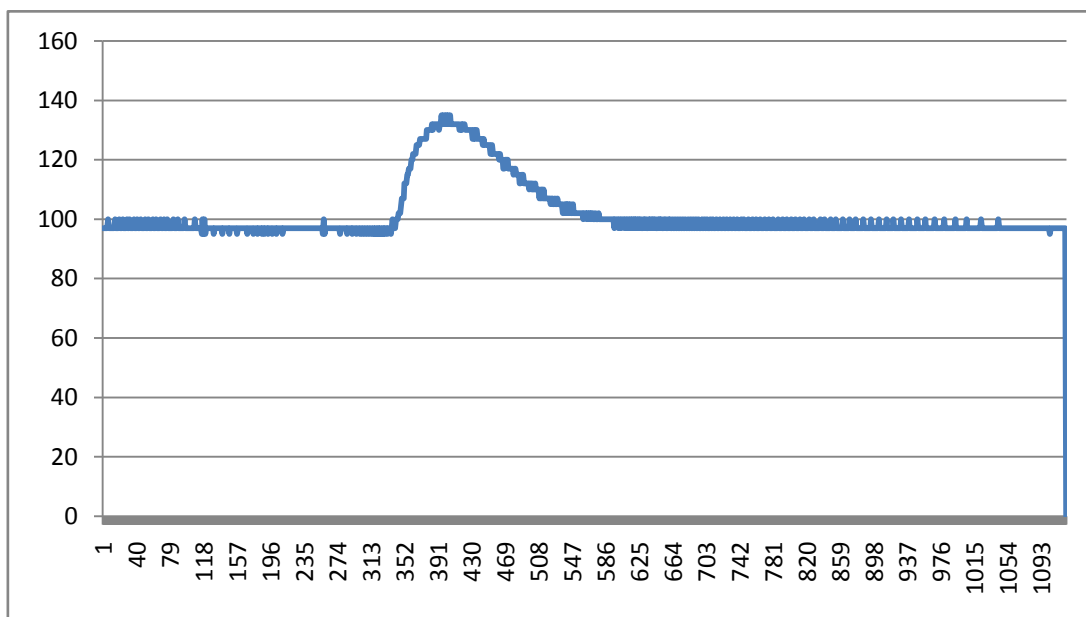


图 8-3 突卸负载转速曲线

第9章 设计体会

本次直流调速课程设计历时两个星期，结合飞思卡尔智能车比赛进行了实际的电机调速控制。对于设计过程中遇到的问题能够结合实际进行操作修改，使我对直流电机调速有了更进一步地认识和了解，增强了对知识的理解能力和实际动手的操作能力。锻炼了独立解决问题的能力，提高了逻辑思维。感谢学校所给的课程设计的机会以及老师的支持与帮助。

参考文献

- [1] 陈伯时. 电力拖动自动控制系统: 运动控制系统[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003. 7
- [2] 黄俊. 电力电子变流技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004. 2
- [3] 王芳. 基于 MC9S12DG128B 单片机模糊控制的直流电机调速系统的设计[J]. 自动化技术与应用, 2007, (11): 83-85
- [4] 李瑛瑛. 双闭环直流调速系统[J]. 装备制造技术, 2009, (1): 70-72
- [5] 王苏. 直流电机 PWM 调速研究及单片机控制实现[J]. 机电工程技术, 2008, 37(11): 82-85

附录 1：电机 RS-380SH 技术手册



RS-380SH

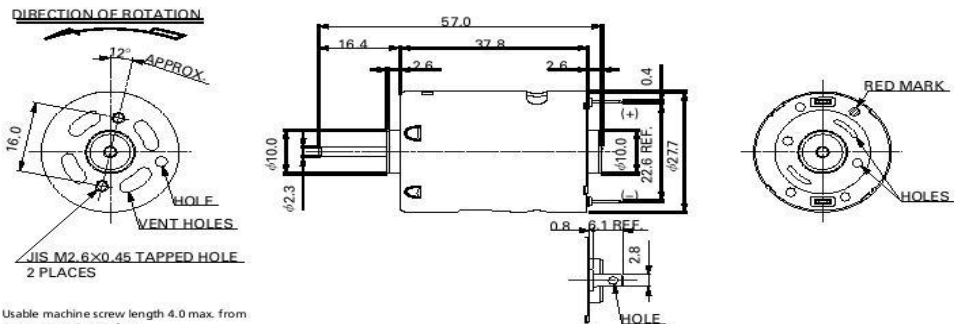
MABUCHI MOTOR
Carbon-brush motors

OUTPUT : 0.9W~40W (APPROX)

WEIGHT : 71g (APPROX)

Typical Applications Home Appliances : Vacuum Cleaner

| MODEL | VOLTAGE | | NO LOAD | | AT MAXIMUM EFFICIENCY | | | | STALL | | |
|----------------|-----------------|---------------|---------|---------|-----------------------|---------|--------|--------|--------|---------|------|
| | OPERATING RANGE | NOMINAL | SPEED | CURRENT | SPEED | CURRENT | TORQUE | OUTPUT | TORQUE | CURRENT | |
| | | | r/min | A | r/min | A | mNm | g-sm | W | mNm | g-sm |
| RS-380SH-4045 | 3-9 | 7.2V CONSTANT | 16200 | 0.50 | 14060 | 3.29 | 10.9 | 111 | 16.0 | 82.3 | 839 |
| RS-380SH-12300 | 12-30 | 24V CONSTANT | 8000 | 0.070 | 6540 | 0.31 | 6.27 | 63.9 | 4.29 | 34.3 | 350 |

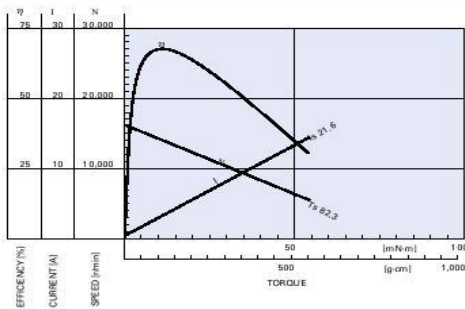


Usable machine screw length 4.0 max. from motor mounting surface.

UNIT: MILLIMETERS

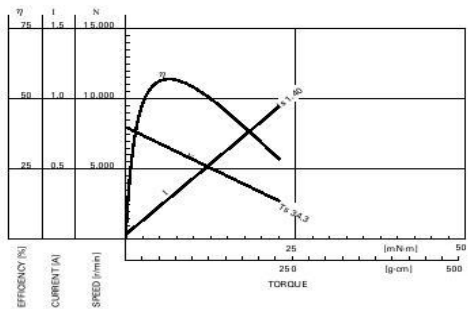
RS-380SH-4045

7.2V



RS-380SH-12300

24.0V



MABUCHI MOTOR CO., LTD. Headquarters 430 Matsuhidai, Matsudo City, Chiba, 270-2280 Japan. Tel:81-47-710-1177 Fax:81-47-710-1132 (Sales Dept.)