

-分类号:

安徽师范大学

硕 士 学 位 论 文

题 目: 数字式汽车仪表设计中指针消抖技术的研究

Title: Pointers' Anti-Jittering Research in a Digital
Automotive Cluster Design

学 科 、 专 业: 光 学

研 究 方 向: 汽车电子

作 者 姓 名: 吴 双

导 师 及 职 称: 丁绪星 教授

论文提交日期: 2014 年 4 月

授予学位日期:

数字式汽车仪表设计中指针消抖技术的研究

吴 双

安徽师范大学硕士学位论文

二〇一四年四月

本论文经答辩委员会全体委员审查,确认符合安徽师范大学硕士学位论文质量要求。

答辩委员会签名:

主席:(工作单位、职称)

委员:

导师:

安徽师范大学学位评定委员会办公室

学位论文独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果，与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果。

学位论文作者签名：

签字日期： 年 月 日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解 安徽师范大学 有关保留、使用学位论文的规定：学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权 安徽师范大学 可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。保密的学位论文在解密后适用本授权书。

学位论文作者签名：

导师签名：

签字日期： 年 月 日

签字日期： 年 月 日

学位论文作者获学位后去向：

工作单位：

电话：

通讯地址：

邮编：

摘要

当今汽车仪表正向完全数字化、集成总线技术发展，而我国的数字式汽车仪表设计仍以外国独资、中外合资技术为主，很多核心技术诸如控制算法等主要还是依赖于国外，特别是仪表指针消抖技术需要采用购买国外设计公司开发的软件。

本文基于一款集成总线技术的数字式汽车仪表的设计，主要研究了车速表、转速表、油量及水温表的设计工作；采用了基于单片机及总线技术的嵌入式系统，选择集成了步进电机控制模块及 CAN 总线控制器的瑞萨 V850E 系列芯片作为主控芯片；通过使用步进电机驱动各表头的指针实现了仪表对的车速、转速、水温及油量信号的采集与显示；最后结合仿真计算验证了车速表、转速表、水温表和油量表消抖控制设计的实际效果，完成了各表头的软硬件设计及消抖控制算法软件设计。

课题重点研究分析了仪表指针产生的原因。根据研究结果，文章给出了一种基于 William V.Luitje 等人提出的阻尼系数滤波算法的改进消抖算法；结合车速、转速、水温和油量信号的不同采集方式及信号变化规律，设计出针对每一个表头指针的消抖算法及软件控制技术；之后通过仿真计算验证了对应每一个表头的滤波算法及参数配置的消抖效果；最终完成了各表头指针消抖算法及软件控制流程的设计。

关键词：数字式汽车仪表；指针消抖技术；阻尼滤波；CAN 总线

Abstract

Automotive cluster industry in China has been through a process which is from whole parts import to joint venture production, from imitated design to full-self design. Today, in world-wide, automotive cluster design is combining with digitalized system and network technique. However in China, automotive cluster design is still based on foreign technique, especially on the software design and control algorithm.

This article describes the design of a digital automotive cluster. The main work is on the design of speedometer, tachometer, cooling water temperature indicator & fuel gauge. This design is based on an embedded system including micro controller and CAN network, using the V850E from Renesas corp. for MCU which has a step motor controller and CAN controller module. This article completes the hardware and software design to realize the function from data acquisition and processing to indication of the speedometer, tachometer, cooling water temperature indicator & fuel gauge in an automotive cluster.

This article pays main attention on the pointer's anti-jittering research. After the analyses of the reasons caused jittering problem, article comes up with the controlling algorithms and software flowchart of each pointer's control. By using a series of simulated calculations, article verified the effect of this anti-jittering method.

Key words: Digital Automotive Cluster; Pointer's anti-jittering;
Damping; CAN network

目录

摘要	1
Abstract	2
第一章 绪论	6
1.1 课题研究背景与意义	6
1.2 汽车仪表产品的发展与现状	7
1.3 国内外汽车仪表设计的现状	8
1.4 论文的研究内容及方向	10
第二章 总体设计方案	12
2.1 硬件系统结构	13
2.2 系统所在的 CAN 网络环境	14
第三章 指针表头的设计	16
3.1 主控芯片的选择	17
3.2 信号的采集与接收	18
3.2.1 油量信号的采集	18
3.2.2 水温信号的采集	21
3.2.3 基于 CAN 总线的车速、转速信号采集	22
3.2.3.1 CAN 网络的硬件接口电路设计	25
3.2.3.2 车速、转速信号的接收与读取	27
3.3 指针步进电机及驱动方式	29
3.3.1 步进电机的选择	29
3.3.2 步进电机的驱动方式	31
3.3.3 V850E 芯片的步进电机驱动模块	35
3.3.4 车速、转速、燃油及水温信号的显示	40
3.3.4.1 车速表、油量表	40
3.3.4.2 转速表、水温表	43
第四章 指针消抖分析及滤波算法的研究	45
4.1 指针抖动及迟滞现象的原因	45
4.2 滤波函数的选择	48
4.2.1 V.Luitje 的阻尼系数滤波算法	49
4.2.2 滤波算法的设计	51
4.2.3 车速信号的滤波计算及验证	54
4.2.4 转速信号的滤波计算及验证	56
4.2.5 油量信号的滤波计算及验证	58
4.2.6 水温信号的滤波计算及验证	60
4.3 指针驱动控制方法的设计	61
4.3.1 车速表	61
4.3.2 转速表	62
4.3.3 油量表	63

4.3.4 水温表.....	64
第五章 总结与展望.....	66
5.1 全文总结.....	66
5.2 下一步工作展望.....	66
参考文献.....	68
致谢	74
攻读硕士期间的相关工作.....	75

第一章 绪论

1.1 课题研究背景与意义

我国的汽车仪表设计制造起步相对较晚，很长一段时期处于完全依赖进口和国外技术的困难地步。除轿车及少数高端卡车外，仍有大多数汽车在使用基于模拟量的仪表来显示油量，水温，发动机转速和车速等信息；而车载总线技术的应用也并没有在汽车仪表上得到完全的普及。另外，国内的汽车仪表设计仍以外国独资、中外合资技术为主，特别是软件及核心算法设计上仍以国外技术为主^[5]。

作者在攻读硕士研究生的过程中通过企业实践活动参与了一款应用于某自主品牌高端轿车的数字式仪表的研发。作者的主要工作是对车速表、转速表、水温及油量表的信号采集、处理及显示的软硬件设计。此款仪表基于单片机控制，通过传感器和 CAN 总线接收燃油量、发动机水温、车速和发动机转速信号，并驱动指针步进电机在表牌上指示相应参数。

特别是在燃油表、水温表、车速表和发动机转速表设计中，如何让指针指示既能够准确迅速响应数值的变化，又不会在被测量变化过于激烈时产生抖动而影响驾驶者读表，成为一个设计难点；而如今国内仪表设计的核心算法及软件技术大部分依赖于外国的设计公司，包含指针消抖技术的仪表核心软件需要外购且对国内保密。本文为了解决这一问题，将在仪表设计过程中，研究出指针消抖的核心算法及控制流程。

1.2 汽车仪表产品的发展与现状

最早的汽车由于行驶速度缓慢并没有配备现代意义上的汽车仪表，车速、发动机转速完全依靠人的感觉来判断。直到越来越多的交通事故的出现人们才意识到，车速是一个需要被量化观测的重要行驶信息。于是出现了现代汽车仪表的雏形——涡电流式车速表（图 1-1 左 1）。涡电流仪表直接由软轴连接至某个旋转的齿轮，通过转速变化产生电流波动带动指针移动。



图 1-1 汽车仪表产品的发展

这种基于软轴驱动的仪表被统称为机械式仪表，由于其精度差，结构不可靠体积大等缺点，很快被更加精确的磁电式仪表（图 1-1 左 2）取代。磁电式仪表体积小，指示准确，可以将车速、转速、油量等指示集成在一块组合仪表上，成为现代意义上的汽车仪表。

磁电式仪表虽然有很多优点，但是由于其精度受环境温度影响过大，很快被证明不适合在汽车环境上使用，之后多出现在实验室测量中。随着电子技术与汽车工业的飞速发展。上个世纪七、八十年代，很多高档轿车仪表已经开始使用电子式仪表（图 1-1 左 3），常见的是从各种传感器获取车速、转速等信号，通过脉冲频率的变化使指针偏

转或者显示数字。电子式仪表响应速度快、系统体积小、便于外观设计等优点使其被广泛接受。而电子式仪表的应用，也加速了电子技术与汽车工业的结合。



图 1-2 某国外品牌的数字式汽车仪表

目前，汽车仪表正向数字智能化综合信息系统、人机交互界面的方向发展，其功能不局限于车速、里程、发动机转速、油量、水温、方向灯指示，还增许多信息的显示功能。功能全面的数字式汽车仪表（图 1-2）成为了高端车市场的主流，其主要特点有：基于嵌入式系统设计；能指示安全系统运行状态，如轮胎气压、制动装置、安全气囊等；时速表、发动机转速表和水温、油量表被集成在一个组合仪表中；集成车载总线、诊断功能，以及液晶屏幕显示功能；用户可以使用按键或者触摸屏幕输入，通过仪表总成设置或读取各种信息。

1.3 国内外汽车仪表设计的现状

最近，国外的汽车主机制造厂将汽车座舱模块化（Cockpit Modules）概念引入了未来的汽车设计上。韩国现代汽车工业集团设计的一款概念车 Hyundai HDC-14 Genesis 将仪表总成作为整个座舱人机交互系统的一部分（图 1-3）。



图 1-3 Hyundai HDC-14 Genesis 的概念化驾舱

仪表总成从车载总线接收所有相关驾驶信息，包括发动机工作状态、行驶信息、车外道路情况、GPS 卫星定位信号等通过驾驶舱内 4 个显示屏传递给驾驶者。安装在仪表板上的摄像头及一系列传感器可以实现对驾驶者的手势识别、疲劳驾驶检测等辅助功能。复杂功能的实现对仪表系统的软硬件设计提出了更高的要求，目前国外已经有了一整套智能仪表系统软硬件的开发经验，可以针对采集到的每一个信号，通过多个嵌入式系统的处理及控制，形成一个智能的人机交互环境。

随着汽车工业的兴起和与国外技术力量合作的开展，我国的仪表设计正向数字化、信息化发展。国内汽车仪表产品逐渐走出了单表电子化阶段，进入成套汽车仪表的电子化数字化、集娱乐、通讯、交通和车载网络功能与一体的设计制造阶段。

然而，相较于前文中提到的国外概念车中仪表的设计，我国的仪表设计能力与国外仍然存在差距。目前我国主要的几个仪表设计生产企业如延锋伟世通汽车饰件有限公司、大陆汽车电子有限公司、博世汽车部件有限公司、上海日精仪器有限公司多为美、德、日独资或与中方合资性质。

目前国内仪表设计的核心技术如软件编程和控制算法的研究上主要依赖外国技术。特别是在仪表的软件设计上，国内各仪表生产企业大多采用软件技术外包的方式，购买国外设计公司的现成软件。这一现象为国内仪表的自主研发工作带来了很大的障碍，一些在自主设计中遇到的问题诸如指针消抖的算法及控制方法仍需要通过外购软件解决。

在指针消抖技术的研究上，可能由于技术保密等原因，国内外可以参考的资料较少。目前国内文献中的主要做法是通过延长采样周期和忽略较大的信号变化量使指针做到平滑显示^[1、17、18]。这种做法虽然易于实现，却有可能忽略了信号的有效变化使仪表指示精度下降。另外，连续的干扰产生的信号波动仍然会使仪表指针产生抖动。美国克莱斯勒公司 William V.Luitje 等人撰写的一篇名为 Digital System For Controlling Mechanical Instrument Gauges 的专利中，提到了通过比较相邻两组采样数据的差值来决定指针移动速度的算法^[15]。此种方法将上一次采样数据的计算结果加入到下一次采样数据的处理计算中，可以做到保留大部分有效信号的同时，使指针做到平滑地移动。

1.4 论文的研究内容及方向

论文研究一款数字式汽车仪表的车速、转速、水温及油量表的软硬件设计。重点工作将在 William V.Luitje 提出的滤波算法基础上，针对车速、转速表等表头设计中指针响应迟滞及抖动问题，进行分析并寻找解决的方法。

论文的第一部分为绪论，介绍课题的来源及研究意义，分析国内

外汽车仪表的发展及现状。通过分析国内汽车仪表设计存在的问题，提出课题研究的方向及内容。

第二部分介绍一款带有 CAN 总线功能的数字式汽车仪表的总体设计方案，仪表的系统结构及硬件结构框图。

第三部分具体研究仪表中燃油、水温、转速、车速信号的采集和显示原理。设计出主要电路的硬件原理图及系统的软件控制流程，实现仪表对车速、转速、水温及油量信号的采集并显示功能。

第四部分为控制算法研究部分，针对仪表指针存在的抖动和响应速度问题，提出一种信号的滤波算法。对应燃油、水温、转速、车速这四种不同的信号，采用不同的参数配置及控制流程进行处理。最终通过仿真计算验证，设计出在保证仪表响应速度及精度的前提下，各信号最合适的滤波算法公式。作为总结，设计出四个信号对应的控制流程框图。

课题的最后对全文进行总结，展望今后汽车仪表设计的发展趋势。

第二章 总体设计方案

本设计中的汽车仪表（图 2-1），是一款应用于某自主品牌高端轿车、结合 CAN 总线技术的全数字式仪表。其主要显示区域分为指针表头、行车电脑 TFT 液晶显示区、报警符号区。其中，车速、发动机转速、油量和发动机水温这些数值由四个步进电机驱动的指针来指示。其中作者完成了车速表、转速表、水温及燃油表的软硬件设计和指针消抖算法及控制流程设计。



图 2-1 本设计中的全数字式汽车仪表

此款仪表特点是由单片机控制，将传感器、CAN 总线上的各种模拟和数字量信号，全部转化为数字量并通过驱动 LED 报警灯、指针步进电机、TFT 液晶屏幕显示给驾驶者。

仪表的主要性能及参数如表 2-1 所示：

表 2-1 本设计中仪表的主要参数

处理器平台	瑞萨 V850E
网络通信协议	CAN2.0
工作环境温度	-40℃至 75℃
工作电压范围	9V 至 16V
标称工作电压	12V

静态电流要求	<3mA
指针表头	4 个
LED 报警灯	30 个
行车电脑屏幕	3.5 英寸 TFT 液晶屏幕

2.1 硬件系统结构

本文中的仪表硬件系统主要模块有：

电源模块、主控芯片、CAN 总线通信模块、模拟量采样电路、数字量采样电路、输出电路、LED 报警灯驱动模块、液晶屏幕驱动模块以及蜂鸣器驱动模块。系统的总体框架如图 2-2 所示。

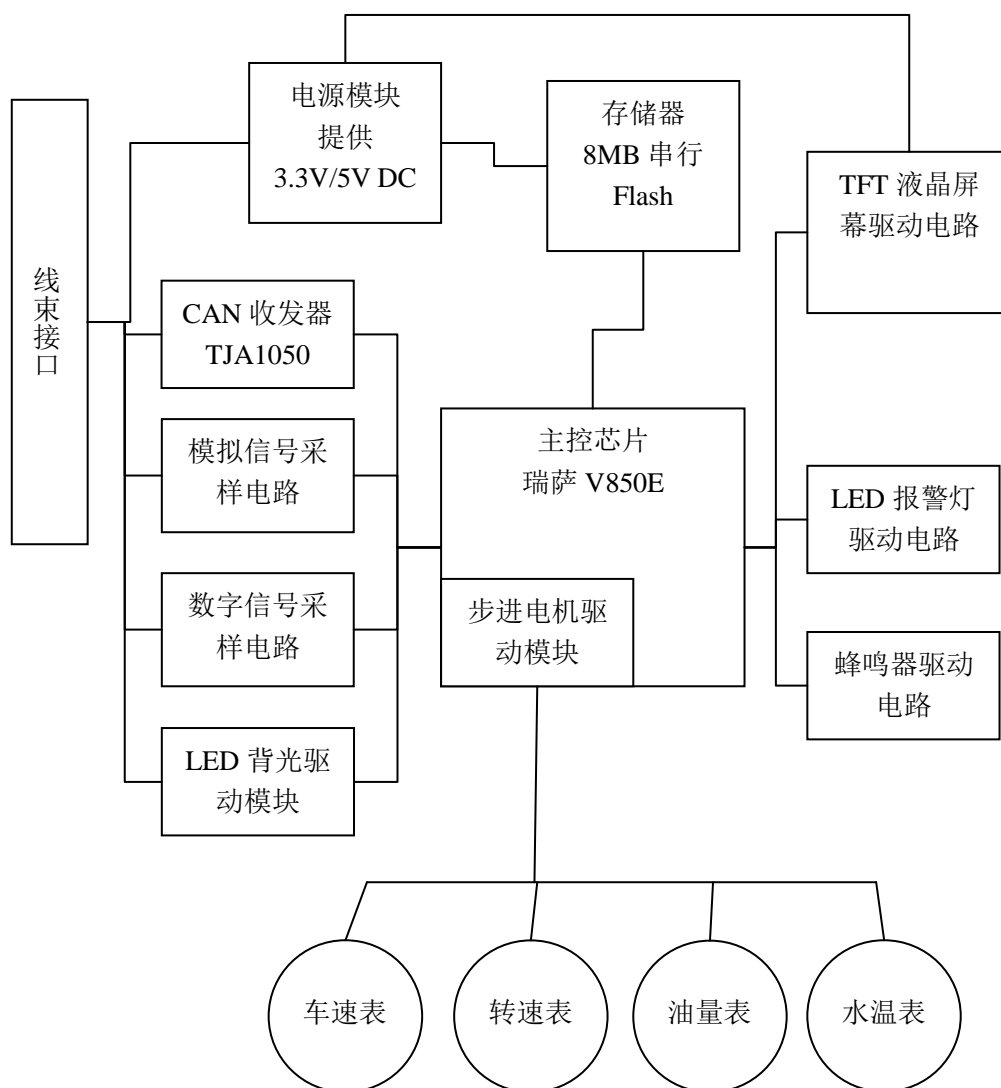


图 2-2 硬件系统框图

电源模块将来自汽车电池的 12V 直流电转化为 3.3V 以及 5V 为主控芯片、液晶屏幕驱动器、存储器等供电。

仪表的接收功能方面，主要信号如车速、转速来自于 CAN 总线，主控芯片通过收发器接收 CAN 报文读取相关参数；其他信号如油量、水温、安全带报警信号等来自于模拟量传感器及开关量传感器，主控芯片通过采样电路读取相关参数。

在显示功能方面，主控芯片通过驱动 4 个指针步进电机显示车速，转速，水温及油量值；各种报警信号如安全带未系、燃油量低、水温过高等通过点亮相应报警符号后的 LED 灯提醒驾驶者；TFT 彩色液晶屏幕主要用来显示行车电脑信息，如小计里程，自动变速箱档位、行车模式等；另外通过驱动蜂鸣器，仪表可以实现声音报警以提醒驾驶者。

下面的章节将重点介绍车速、转速、油量与水温信号的采集方式以及 4 个指针步进电机的驱动方法。

2.2 系统所在的 CAN 网络环境

使用车载总线的目的在于，将车身上所有基于嵌入式系统的模块连接起来，实现从任意一个模块到另外一个模块的数据传输。这样，汽车仪表就不必直接连接所有传感器而获得需要的信号，它可以通过总线获得从各个模块发送来的数字量信号。这种方法在提高信号传输稳定性的同时为汽车省去了大量线束，减轻了车体的重量。现在，主流的车载总线有 CAN（Controller Area Network）总线，LIN（Local

Interconnect Network)) 总线, VAN (Vehicle Area Network) 总线 (法国车系专用), IDB-M, MOST, USB 和 IEEE1394 等。

本文中的仪表, 应用在以高速 CAN 为车载网络的汽车系统中。CAN 是一种常用于车载网络、工业控制等领域的串行网络通信协议。CAN 总线兼容性强, 容错率高, 传输速率高且线束要求低的优点使其被汽车主机厂在整车网络设计中广泛采用。在本文的设计中, 车速、发动机转速以及多个报警信号均由 CAN 总线传输并在仪表上显示。

图 2-3 是文中设计仪表所在的车载 CAN 网络拓扑图, 其中 IP (Instrument Panel) 即指本文的组合仪表。通过此图可以看出, 仪表通过一条高速 CAN (500kbit/s) 与其他嵌入式系统如 ABM (安全气囊模块)、TCU (变速箱控制单元)、ECM (发动机管理模块) 相连接, 通过发送与接收 CAN 报文可以实现与其他模块的信号交互。

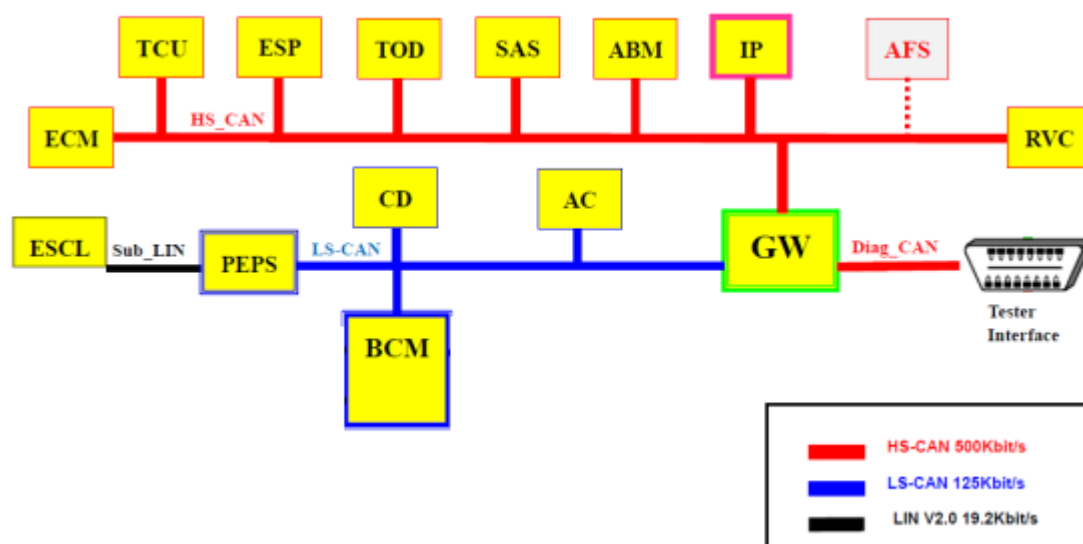


图 2-3 仪表所在的车载网络拓扑图

第三章 指针表头的设计

本设计中数字式仪表的车速、转速、油量与水温来分别自于不同的信号源，单片机通过采样电路以及 CAN 总线接收这些模拟与数字量信号，经过数字化处理后驱动 4 个指针步进电机显示给驾驶者。图 3-1 为步进电机驱动的指针指示不同的信号量。



图 3-1 车速及油量信号的指示

此种指针式表头仍是汽车仪表设计的主流选择，它具有直观、样式美观大方且易于实现等优点。目前，市场上也存在使用液晶屏幕上的数字来显示车速、转速信号的仪表。但是这种设计成本较高且样式仍不为主流消费者所接受。另外，在使用方面，液晶屏幕存在亮度不够高的问题，显示内容在强光反射下不易被驾驶者识别；而高亮度的液晶屏幕价格贵、功耗大散热处理复杂。需要指出的是，由于采集信号量的跳变，在全数字显示的仪表中也会产生指示量抖动的问题；并且，驾驶者可能会由于数字跳变过于频繁更加无法识别显示内容。

本章随后的内容重点介绍各信号量的采集方式以及步进电机的

驱动原理，并给出设计的硬件电路原理图。

3.1 主控芯片的选择

本设计采用的芯片属于瑞萨公司的 V850E 系列，型号 V850E2/DK4_H2。它是瑞萨公司专门为数字式汽车仪表设计的一款具有 144 个引脚的 32 位微处理器。芯片集成了 CAN 控制器，能直接与 CAN 收发器通信。另外，此芯片有独立的 Video RAM，以及两路 RGB 视频输出可以驱动 2 块彩色液晶屏幕。值得一提的是，此款芯片具有独立的步进电机驱动模块，可以同时驱动 4 个步进电机。图 3-2 是芯片封装图，表 3-1 为芯片主要参数。

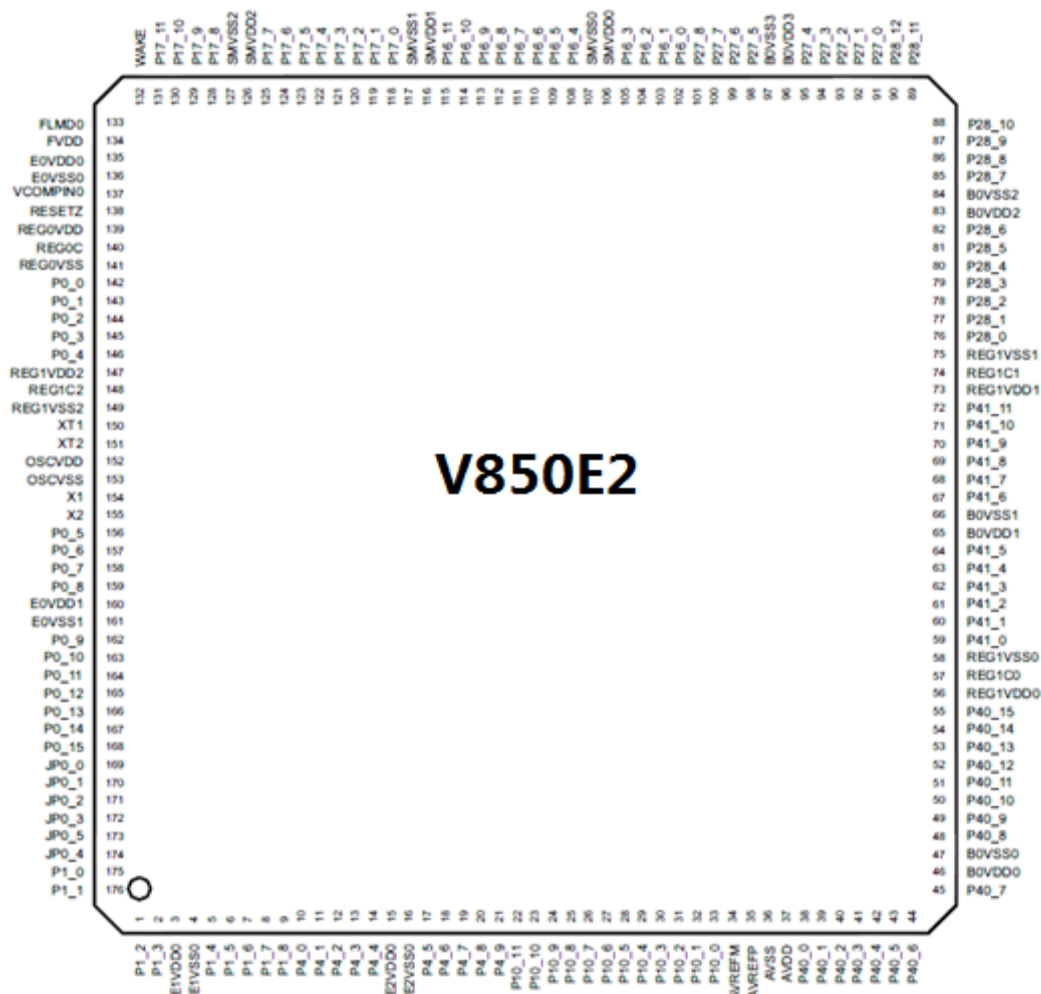


图 3-2 瑞萨 V850E2_H2 封装图

表 3-1 瑞萨 V850E2/DK4_H2 主要特性

QFP144 封装 32 位处理器
最大工作频率 80MHz
具有 5V、3.3V 两个工作模式
2M Byte Flash
96KB 内部 RAM
2MB 扩展 RAM
6KB EEPROM
独立的 2D 图形处理引擎
独立的 592KB Video RAM
一路 RGB888 视频输出
一路 RGB666 视频输出
4 个独立的步进电机驱动模块

3.2 信号的采集与接收

车速、转速、油量、水温这四个信号来自于两个不同的途径：传感器和 CAN 总线。需要设计不同的接口电路接收这 4 个信号并进行处理。

3.2.1 油量信号的采集

油量传感器（图 3-3）是一个与油浮相连的可变电阻器。在汽车油箱里，油浮会随液面变化产生上下浮动从而带动滑片滑向变阻器的不同位置，如此产生了不同的电阻值。

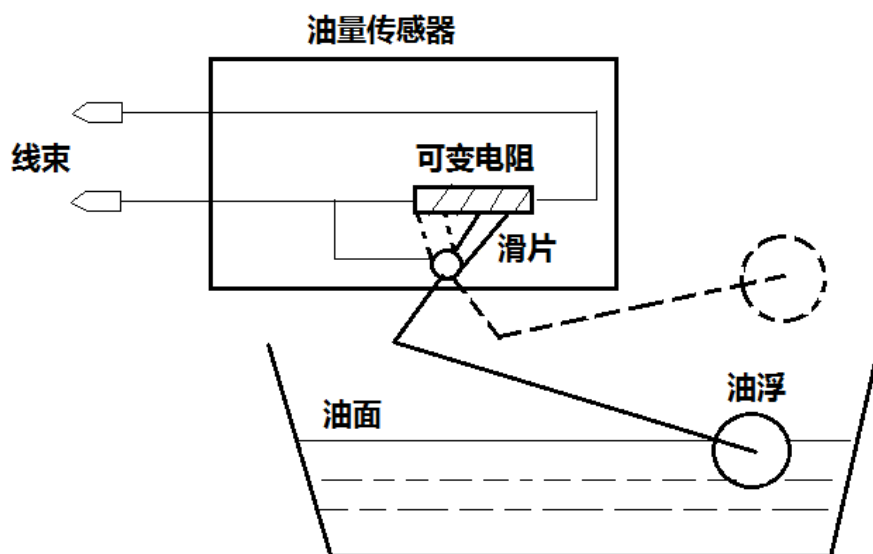


图 3-3 油量传感器原理图

油量传感器电阻的两端通过线束连接至仪表，仪表通过检测电阻值的变化采集油量信息。在本设计中，油量传感器的阻值与汽车油量的对应关系如表 3-2 所示。

表 3-2 油量传感器阻值与油量对应关系

阻值 Ω	油量
155 ± 4	满
124 ± 4	3/4 箱
88 ± 3	1/2 箱
52 ± 3	1/4 箱
10 ± 2	空

由此可知，油量传感器的阻值范围是 $10 \sim 155 \Omega$ 。V850E 的 AD 采样有 10bit 精度和 12bit 两种选择。运用在这个油量传感器上，10bit 精度理论上可以达到：

$$\frac{155-10}{2^{10}} = 0.14\Omega \quad (\text{式 3-1})$$

而传感器本身误差大于欧姆级别，所以 10bit 精度已经完全可以满足采样的要求。油量传感器的 AD 采样电路如图 3-4 所示。传感器

的一端接仪表的模拟地，另一端作为电阻输入接仪表的采样输入口，其中 D1 为 5V 稳压管，用以防止高压击穿单片机 AD 口。

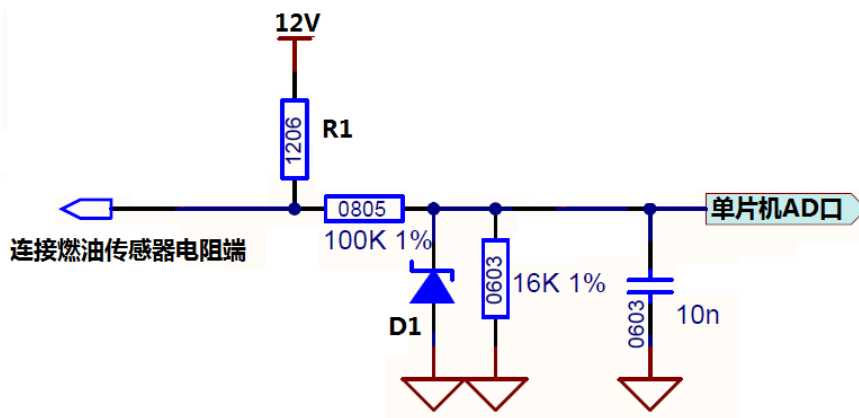


图 3-4 油量传感器采样电路

在本系统中，传感器驱动电压为 12V，假设当阻值达到最大时理想采样电压为 5V，可计算出与传感器相匹配电阻 R1 阻值：

$$\frac{155}{R1+155} \times 12V = 5V \quad (\text{式 3-2})$$

$$R1 \approx 217 \Omega$$

为了方便采购，取 R1 为 250 Ω，可算出表 3-3 中油量传感器各阻值对应的 AD 采样电压（保留两位小数）。

表 3-3 油量传感器阻值与 AD 采样电压对应关系

阻值 Ω	采样电压值 V	油量
155±4	4.52~4.67	满
124±4	3.98~4.06	3/4 箱
88±3	3.04~3.20	1/2 箱
52±3	1.97~2.16	1/4 箱
10±2	0.37~0.55	空

这样，单片机就可以通过读取 AD 采样电压判断油量情况，驱动指针步进电机指示相应的位置。

3.2.2 水温信号的采集

本设计中的水温传感器（图 3-5）是一个浸没在发动机冷却水中的电阻式温度传感器。

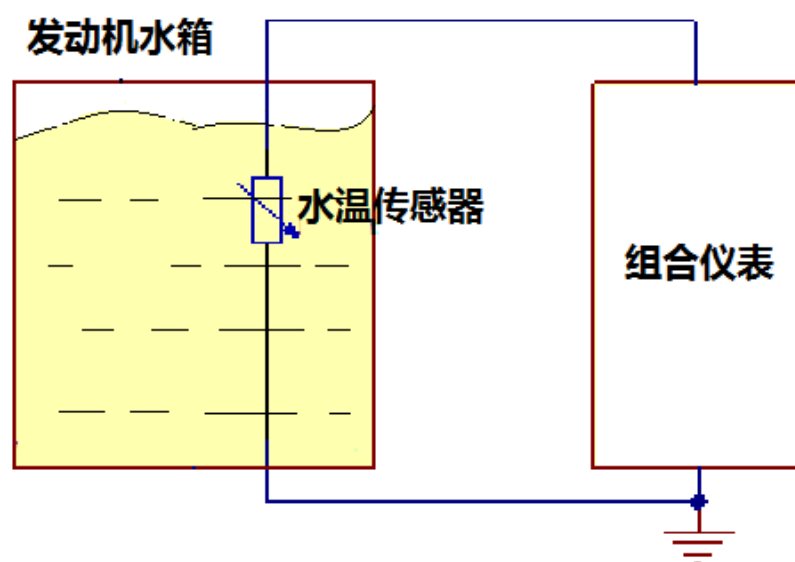


图 3-5 水温传感器

水温传感器的阻值随着发动机冷却水的温度改变而升高或者降低，仪表通过采样其电阻值的变化判断冷却水的温度值。水温与传感器阻值的对应关系如表 3-4 所示。

表 3-4 水温传感器阻值与冷却水温度对应关系

阻值 Ω	水温 $^{\circ}\text{C}$
390 ± 30	40
83 ± 5	80
42 ± 3	100
24 ± 3	120

仍然采用 10bit 的采样精度，与油量传感器相似，水温传感器的采样电路如图 3-6，D2 为 5V 稳压管。

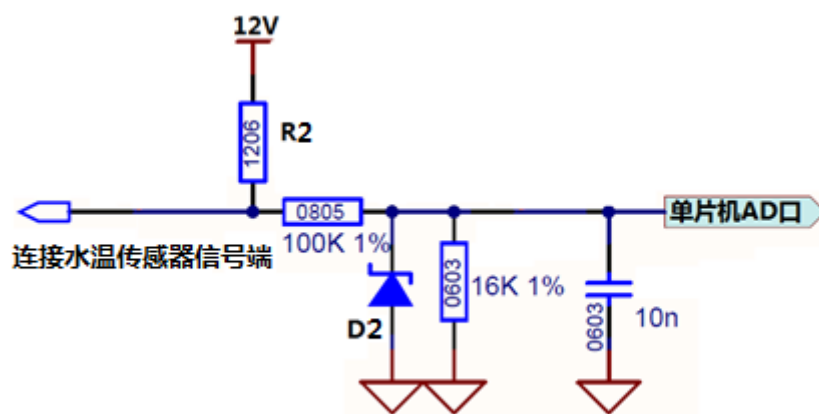


图 3-6 水温传感器采样电路

R2 的取值计算方法与油量传感器相似，取 $390+30\ \Omega$ 为传感器的最大值。

$$\frac{420}{R2+420} \times 12V = 5V \quad (\text{式 3-3})$$

$$R2 \approx 588\ \Omega$$

取 $R2=600\ \Omega$ ，可计算出水温与采样电压的对应关系如表 3-5 所示。

表 3-5 水温传感器阻值与 AD 采样电压对应关系

阻值 Ω	采样电压值 V	水温 $^{\circ}\text{C}$
390 ± 30	4.50~4.94	40
83 ± 5	1.38~1.53	80
42 ± 3	0.73~0.83	100
24 ± 3	0.41~0.52	120

3.2.3 基于 CAN 总线的车速、转速信号采集

仪表通过车载总线 CAN 接收车速及发动机的转速信号。CAN (Controller Area Network) 的全称是控制器局域网，它作为一种串行通信协议，能够实行实时地分布式控制。

从电气组成上，CAN 由控制器、收发器、数据传输终端和总线

组成。其中，CAN 控制器接收主控芯片发出的数据，对其进行处理并传输给收发器，同时也可对来自收发器的数据进行处理并传输给主控芯片；CAN 收发器将控制器提供的数据转化成电信号并传输给其他收发器，同样，收发器的传输也是双向的；数据传输终端即终端电阻，其作用是避免总线错误；CAN 总线采用 NRZ (Not Return to Zero) 即非归零编码方式，只需要 2 根普通双绞线即可支持最大 1Mbit/s 的传输速率。

从传输协议上，依据 ISO/OSI 参考模型，CAN 可分为 2 层：物理层和数据链路层（图 3-7）。

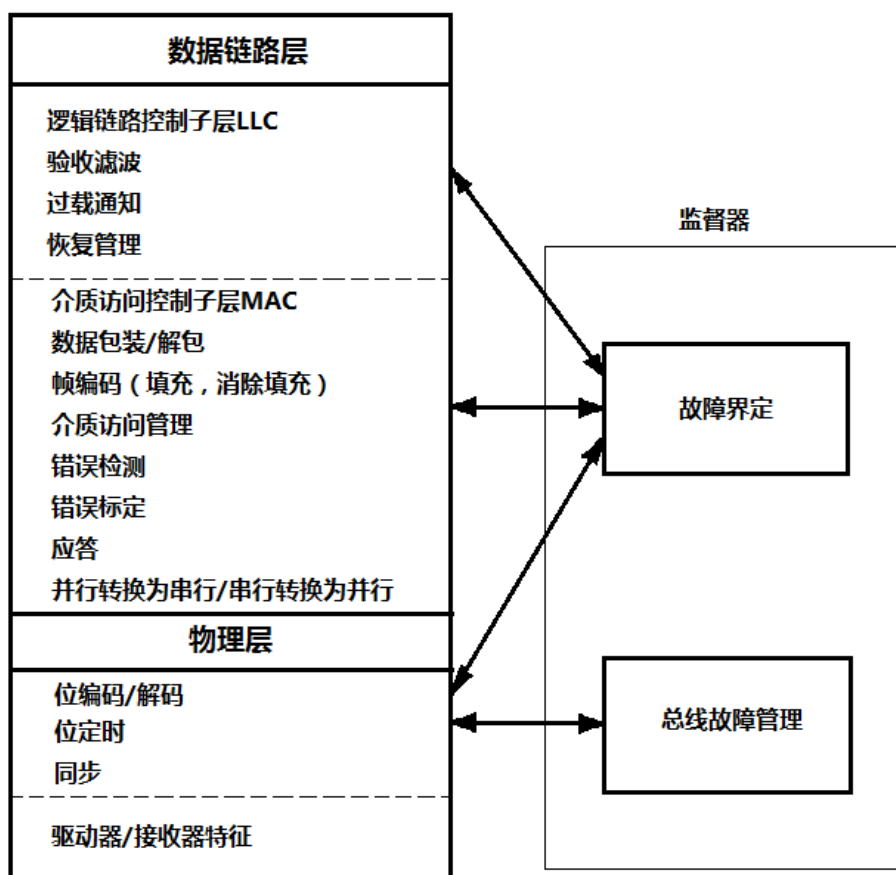


图 3-7 CAN 的层结构模型

物理层定义了总线的电气特性、涉及到位定时、位编码与解码以及同步方式的定义。

数据链路层又分为介质访问控制子层 MAC 与逻辑链路控制子层 LLC。其中，报文分帧、仲裁、应答、错误检测和标定由 MAC 完成；LLC 负责报文滤波、过载通知以及恢复管理。MAC 子层将接受到的报文提供给 LLC 子层，同时接收来自 LLC 子层的报文。

CAN 采用报文传输的方式，规定总线上的信息遵循几个不同的固定格式，当总线空闲时，任何一个接入的单元都可以开始发送新的报文。在 CAN 总线上传输的报文，规定两种帧格式：包含 11 位标示符的标准帧和包含 29 位标示符的扩展帧。从类型上来分，报文又分为以下 4 种不同类型：

数据帧（Data Frame）：承载数据从发送器到接收器的传输

远程帧（Remote Frame）：总线上的单元可以通过发送远程帧请求其他节点发送具有同一标识符的数据帧

错误帧（Error Frame）：总线上发生错误时，可以被节点检测到并发出错误帧。

过载帧（Overload Frame）：相邻的数据帧或远程帧可以通过过载帧提供附加的延时。

下面以 CAN2.0B 协议中标准数据帧为例，说明 CAN 报文的结构。



图 3-8 CAN2.0B 标准数据帧结构

图 3-8 为标准数据帧的结构，其中 SOF（Start of Frame）为帧起始标志位，它以一个 bit 的显性“0”（逻辑 0）出现，它表明此节点

开始发送信息。

仲裁场又称仲裁域,由 11 位标识符和远程发送请求位 RTR 组成。其中标识符代表发送节点的 ID。

控制场中的 R1 和 R0 为保留位,它们必须为显性“0”,数据长度码 DLC 表示数据场的字节数目。

数据场包含了被发送的数据,一共有 0~8 个字节。

ACK 又称应答域如图 3-9 所示,它由应答间隙 (ACK Slot) 和应答界定符 (ACK Delimiter) 组成。

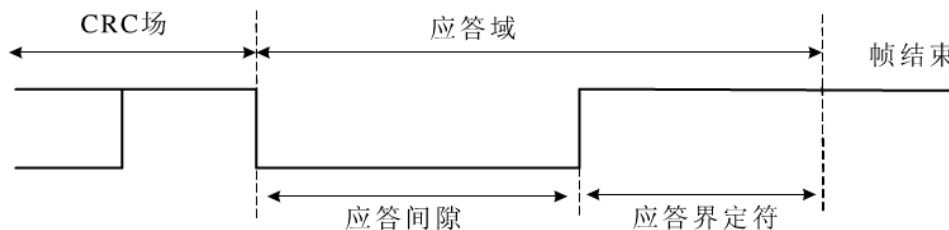


图 3-9 应答域结构

最后,帧结束规定了 7 个隐性位组成的标志序列代表每个数据帧和远程帧的结束。

本设计中的 CAN 网络,遵循 CAN2.0B 传输协议,定义传输速率为 500kbit/s。

3.2.3.1 CAN 网络的硬件接口电路设计

V850E 芯片集成了 CAN 总线控制器,可以直接与 CAN 收发器进行通信。本设计中采用 TJA1050 作为 CAN 收发器,它是 NXP 公司生产的新一代高速 CAN 收发器,可以完全支持 CAN2.0B 协议,并且具有良好的电磁兼容性能 (EMC) 这一点在汽车电子设计中非常重要。TJA1050 的引脚及结构如图 3-10 所示。

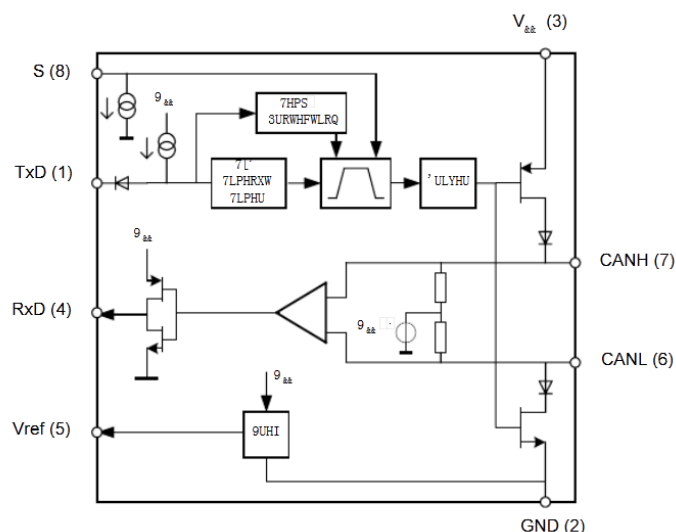


图 3-10 TJA1050 引脚及结构图

本设计的 CAN 接口电路图如图 3-11 所示。

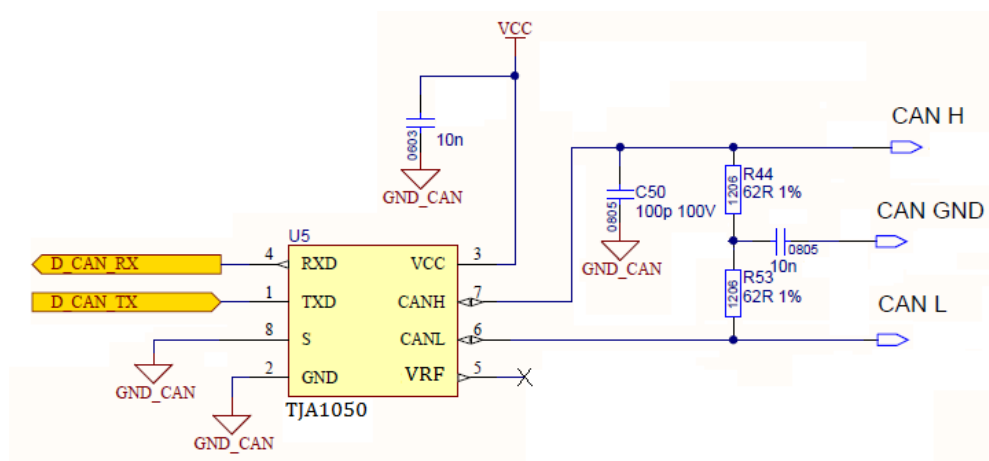


图 3-11 CAN 接口电路图

图中，RXD 与 TXD 与单片机 CAN 控制口连接，CAN H、CAN L 以及 CAN GND 连接至外部线束。8 脚“S”接地将收发器设置在高速模式，R44 与 R45 为系统终端电阻。

在收发器 TJA1050 发送报文的过程中，若设置总线为显性位，CANH 由 VCC 提供电压被拉至高，CANL 由 GND 提供电压被拉低；若设置总线为隐性位，则 CANH 与 CANL 均偏置到 $VCC/2$ 。图 3-12 说明了 CAN 总线上逻辑电平设置的结果。

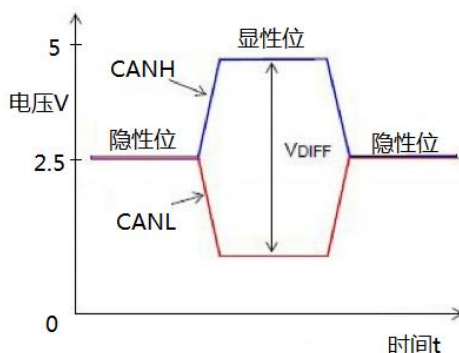


图 3-12 CAN 总线逻辑电平的设置

在 TJA1050 接收报文时，总线上的差分信号被接收比较器转换为电平信号，通过 RXD 口传输至主控芯片的 CAN 控制器模块。通过读取相应寄存器，主控芯片就可以对从 CAN 总线上收到的信息进行处理。

3.2.3.2 车速、转速信号的接收与读取

发动机管理模块（参考图 2-2 仪表所在的车载网络拓扑图）ECM 通过 CAN 报文发送车速及发动机转速信号，报文遵循章节 3.2.3 起始描述的 CAN2.0B 标准数据帧结构，组合仪表通过 CAN 收发器接收这两个信号。

车速、转速信号的报文格式及内容如表 3-6 所示。

表 3-6 车速、转速信号报文格式及内容

Msg name 报文名	Vehicle Speed	Engine Speed
Msg ID 报文 ID	3A0	1A0
Repetition time 重复周期	20ms	50ms
Start byte 起始字节	3	1
Start bit 起始位	7	7
Signal length 信号长度	16	16
Range high 最大值	300DEC	7000DEC
Range low 最小值	0DEC	0DEC

本设计中，高速 CAN 上的信息量较大，故选用中断接收的方式。收发器 TJA1050 将从总线上接收到的数据转发给主控芯片上的 CAN 控制器模块。控制器模块将报文存入后台缓冲区进行滤波处理，即将报文的 ID 标识符与本地节点标识符进行比较；如果报文通过滤波，则控制器将报文数据存入相应寄存器并将其标志位置位。此时，主控芯片通过中断程序读取寄存器中的数据完成信息的接收。车速、转速信号的软件读取流程如图 3-13 所示。

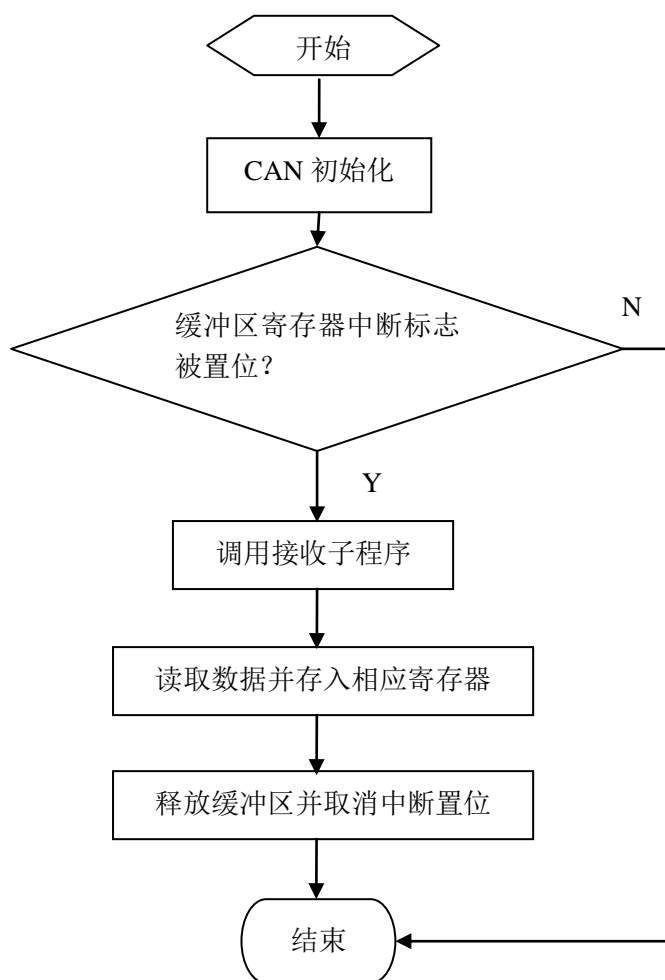


图 3-13 车速、转速信号的读取

3.3 指针步进电机及驱动方式

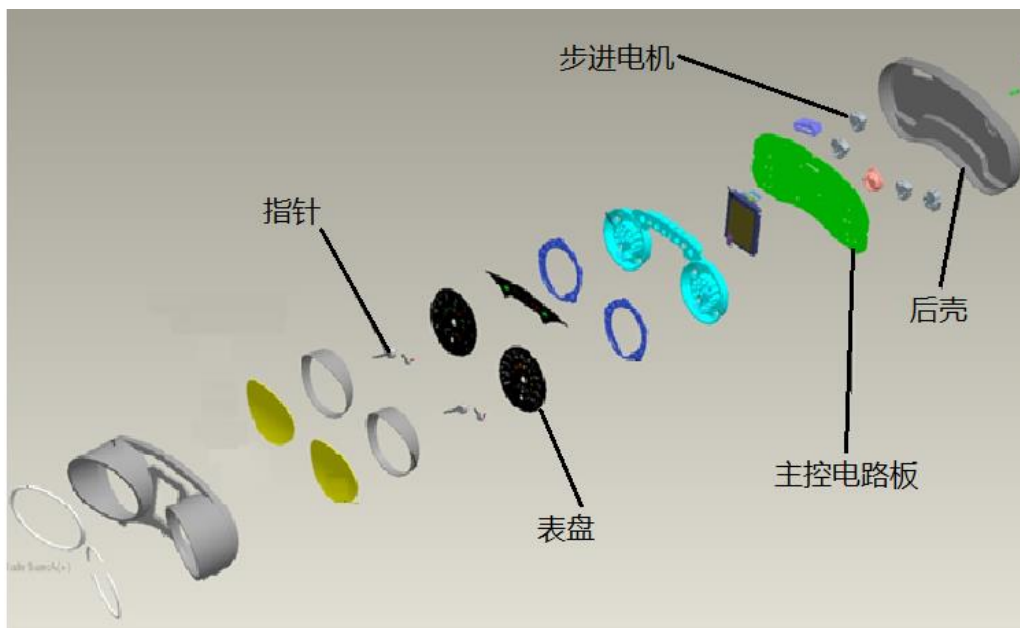


图 3-14 组合仪表结构图

图 3-14 是组合仪表的零件结构图。图中可以看到，仪表的指针安装在表盘的上方，连接至表盘背后主控电路板驱动的步进电机主轴。步进电机带动指针转动到表盘的不同位置以指示相应的数值。在此设计中，车速、转速、油量和水温就是通过这种方法显示给驾驶者。

3.3.1 步进电机的选择

步进电机是一种依靠电脉冲驱动的开环控制电机，其转速及旋转停止时的位置完全取决于脉冲信号的频率和数量。当步进电机接收到一个驱动脉冲时，它就按照设定的方向转动一个固定角度。在电机的旋转过程中，每一步所转动的角度被称为步距角。一旦驱动方式确定，步距角便不会改变。由此，驱动器可以通过控制脉冲个数使步进电机准确地转动，从而达到精确定位的目的。由于步进电机的这一大特征，数字式汽车仪表的指针多采用步进电机驱动。

本设计选用德国西门子公司 SM2000 (图 3-15) 系列步进电机。

这是一款专门为驱动汽车仪表指针而设计的步进电机，它具有体积小、重量轻、分辨率高、噪音低等诸多优点，是数字式汽车仪表指针步进电机的一个非常好的选择。



图 3-15 SM2000 步进电机

蜗轮蜗杆的传动设计是此款步进电机的一大特点。这一设计利用脉冲产生的磁场带动蜗杆转动，蜗杆的通过大齿比传动带动连接蜗轮的主轴。蜗轮蜗杆的结构保证了动力传递时不产生冲击的同时降低了噪音，大齿比的传动方式保证了指针的高分辨精度。

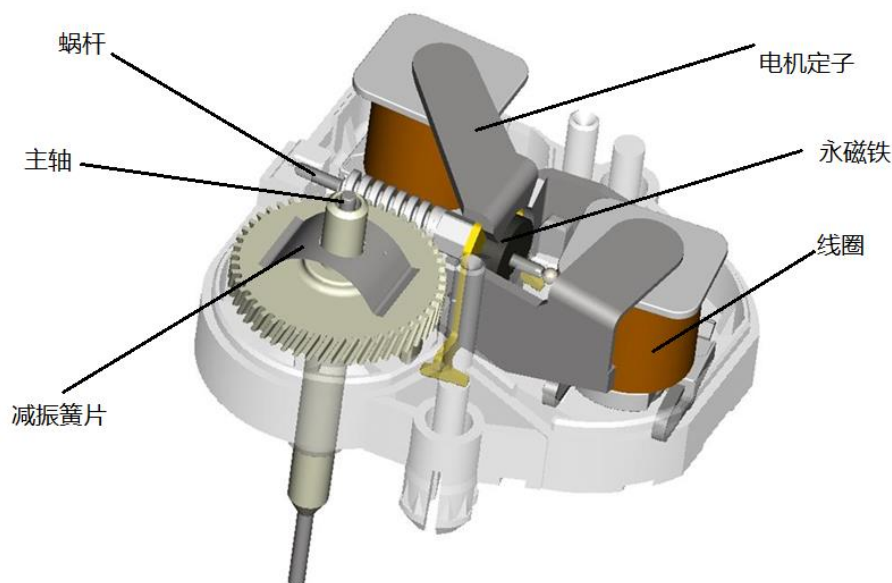


图 3-16 SM2000 结构图

电机结构如图 3-16 所示，电机主要分为以下几个部分：

主轴：连接指针并带动其指示仪表盘上不同的位置，主轴被固定

在一片蜗轮上，蜗轮由蜗杆推动产生旋转。

蜗杆：蜗杆上安装了一块具有两个磁极的永磁铁，在永磁铁的周围有一对交叉布置的电机定子。

线圈：通过改变这一对线圈上的脉冲电流可以使电机定子产生变化的磁场，由此带动蜗杆转动。

利用这种结构，主控芯片就可以通过产生脉冲电流驱动指针旋转并停在表盘上的不同位置。

电机的主要参数如表 3-7 所示。

表 3-7 SM2000 的主要参数

最大转角	320°
最小转动角度	0.05625°
线圈电压	Typ 4.5V
工作电压范围	4~5V
线圈驱动电流（23℃下）	31mA
工作温度	-40℃~+105℃
最大指针重量	5g
最大角速度	410°/s

3.3.2 步进电机的驱动方式

步进电机的驱动原理可以由图 3-17 表示。

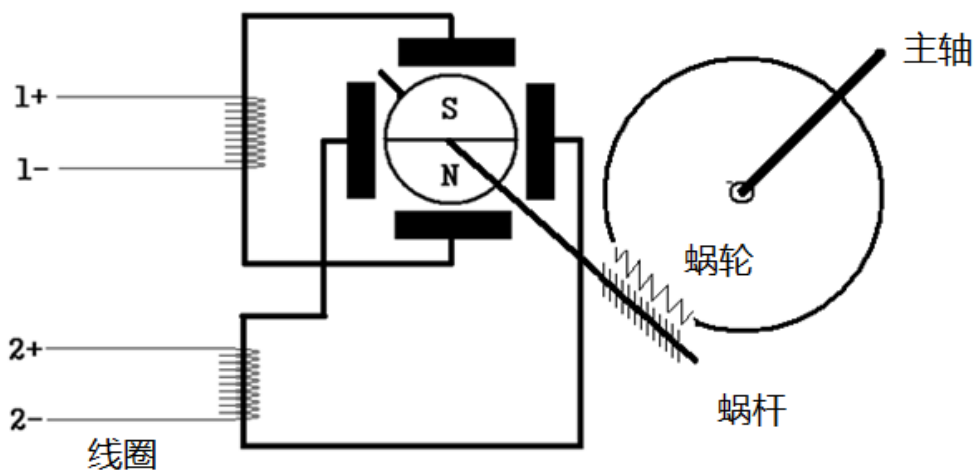


图 3-17 SM2000 步进电机的驱动原理

这是一个两相四线步进电机，通过给线圈 1 和线圈 2 轮流输入脉冲可以让步进电机的蜗杆向指定的方向转动。以顺时针方向为例，下面介绍脉冲信号的产生方式（图 3-18）。

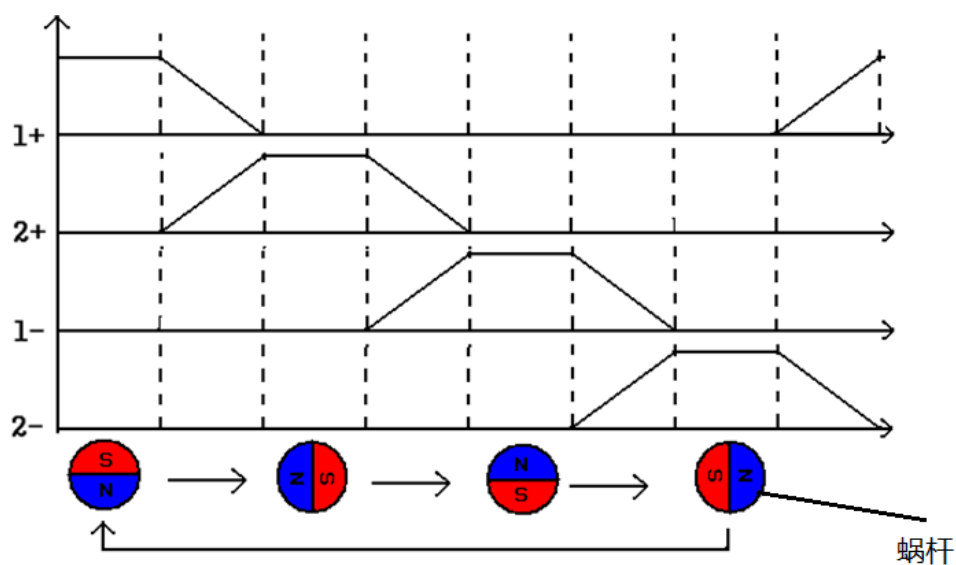


图 3-18 蜗杆顺时针旋转的脉冲时序

如果以正弦波表示，可以将上图的时序转化为图 3-19 所示。

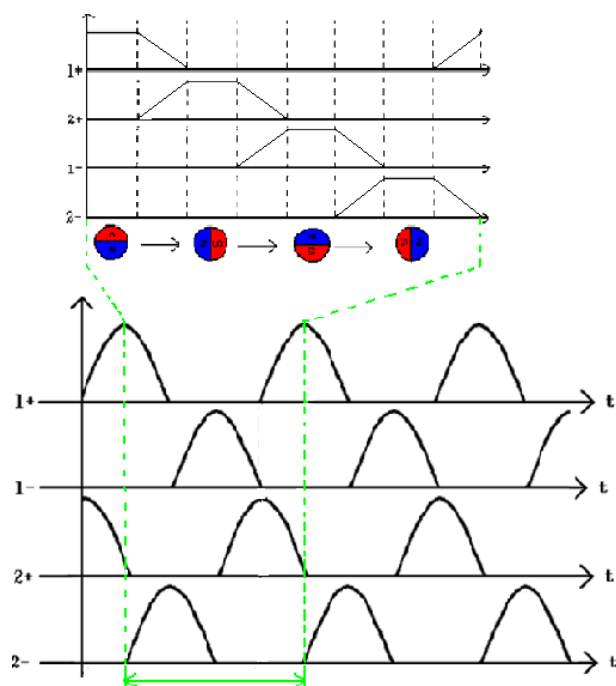


图 3-19 以正弦波形式的驱动信号时序图

正弦波是一种连续信号，无法由数字控制系统直接生成，所以通用的做法是选择产生 PMW 信号模拟正弦波的特性。以本设计中的驱动方式为例，如图 3-20 所示，将 $1/2$ 个正弦波分割成 32 个 PMW 脉冲，通过这些脉冲模拟出正弦波信号。

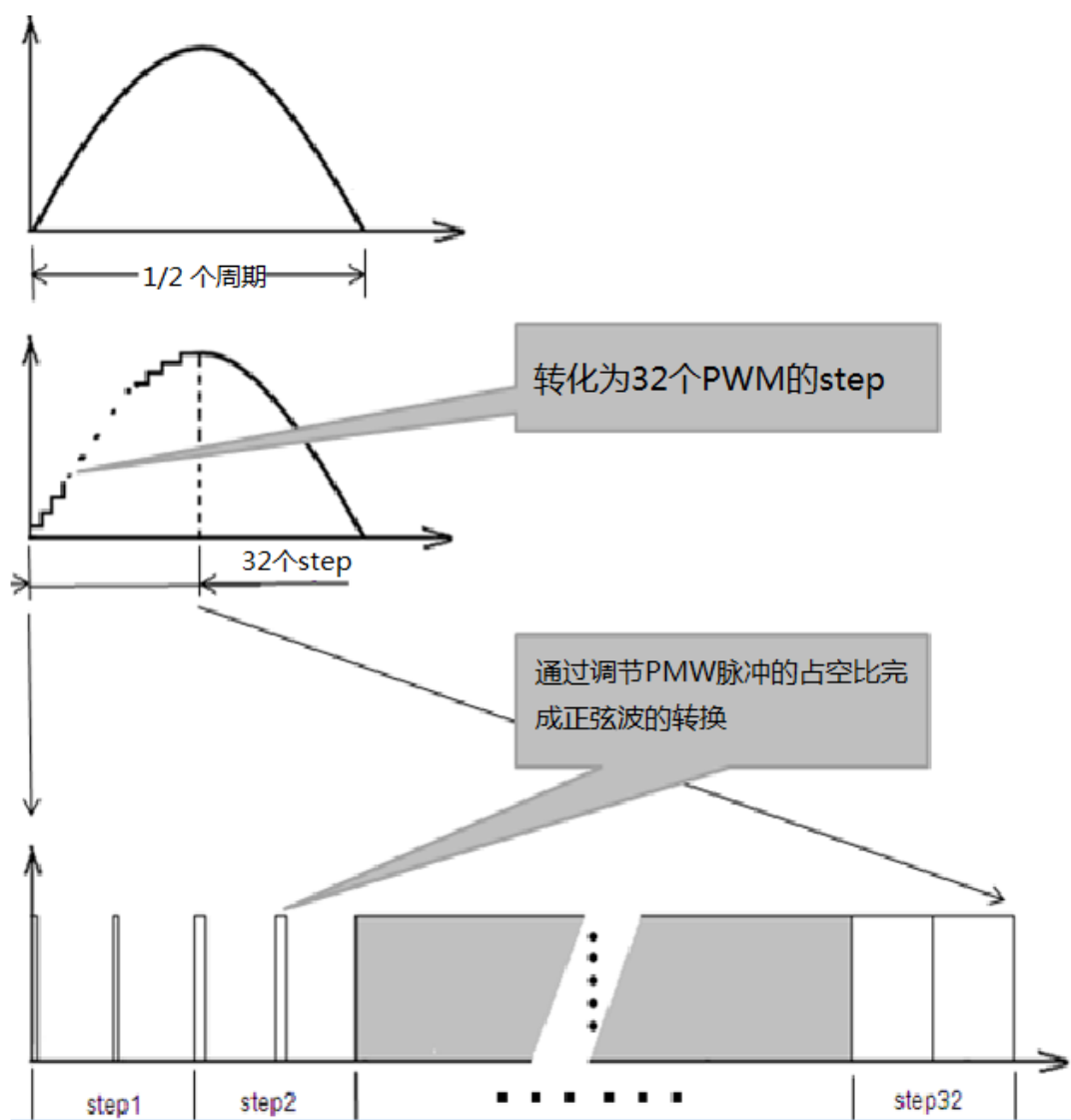


图 3-20 PWM 脉冲信号的产生

那么，整个周期的正弦波被 $32 \times 4 = 128$ 个脉冲代替。也就是说蜗杆旋转一圈是由 128 个 PWM 脉冲来驱动完成的。SM2000 电机的蜗轮蜗杆齿轮传动比是 50:1，由此可以计算出在这种驱动方式下，步进电机的步距角 θ 为：

$$\theta = \frac{360^\circ}{128 \times 50} = 0.05625^\circ \quad (\text{式 3-4})$$

由此可知，在这种驱动方式下，每当驱动电路产生一个脉冲，步进电机带动的指针就会旋转 0.05625° 。那么，通过计算到达每

一个指示位置需要旋转的角度便可以得出需要产生的驱动脉冲个数。这样，主控芯片就完成了对指针指示位置的精准控制。

3.3.3 V850E 芯片的步进电机驱动模块

前文中提到，本设计采用的瑞萨 V850E 芯片具有独立的步进电机驱动模块，它可以同时驱动 4 个步进电机工作。在介绍本节内容之前，需要先说明仪表指针的零位检测功能。

在仪表上电结束，开始工作之前，指针首先需要校准机械零位，即指针反转至表盘零刻度之前的一个限位位置（如图 3-21 所示）。



图 3-21 仪表上电后的零位检测

一般情况下这个位置距离表盘零位相差十几个微步（step），这个数值被仪表在出厂前记录在存储器中。通过零位检测主控芯片就可以在每次上电后重新校准指针的位置。并且，在指针的每一次移动之后主控芯片会把当前指针距离机械零位的微步数存入寄存器，由此在指针下一次移动之前主控芯片得以判断其当前的位置。

V850E 的电机控制模块包含对每一个步进电机的零位检测功

能。图 3-22 是芯片的电机控制模块和零位检测的硬件接口图。

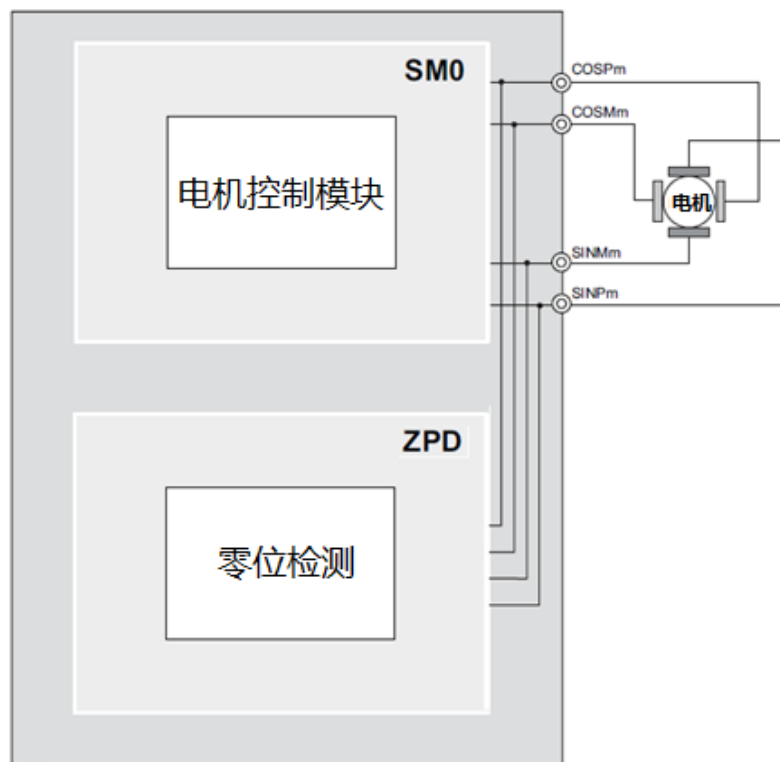


图 3-22 V850E 的电机控制及零位检测模块

其中，两对 PWM 输出口连接步进电机的两组线圈，零位检测口可以检测到线圈上的负载情况，并在仪表做零位校准时判断指针是否抵达机械零位。

具体检测原理如图 3-23 所示。电机控制模块首先让电机反转使指针指向表盘零位以下，当指针被机械零位限位销挡住时，零位检测模块会检测到线圈上负载的波动，在重复几次以上动作后，可知指针已到达机械零位。

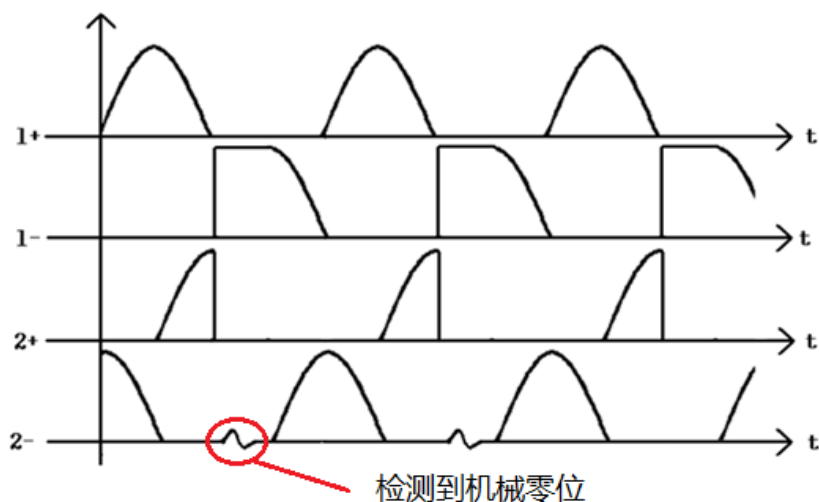


图 3-23 V850E 的零位检测

V850E 芯片的电机控制模块通过 4 个双向 PWM 输出口驱动单个步进电机的两组线圈，一对控制口通过向线圈两端输出电压，形成感应电流以驱动电机旋转。以驱动一组线圈的一对控制口为例，图 3-24 说明了电机控制模块的电压/电流驱动方式。

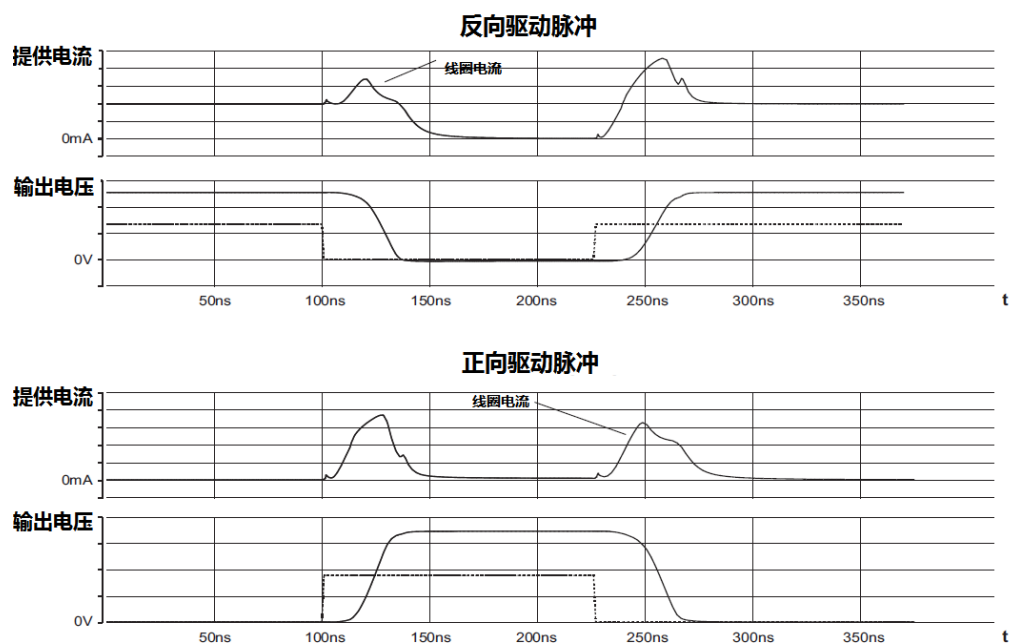


图 3-24 电机控制模块的电压/电流驱动方式

软件结构上，V850E 将电机控制和零位检测模块列为两个事件管理模块。分别是 ISM（Intelligent Stepper Motor Driver）

与 ZPD (Zero Point Detection)。每个事件管理模块都可以使用通用定时器以及一系列寄存器,通过配置它们就可以做到对步进电机的准确控制。下面以 PWM 波形配置寄存器以及本设计中使用的半桥控制方式为例,介绍寄存器的配置方法。

图 3-25 是 4 个象限 ($0\sim 360^\circ$) 的 PWM 配置情况,水平 (cosine) 方向的 PWM 通过定时器 TH[1:4]_m 控制;垂直 (sine) 方向的 PWM 通过定时器 TV[1:4]_m 控制。通过配置 ISMnCCQIm[1:0], 可以直接控制这些定时器以产生 PWM。

象限配置			输出结果							
			水平方向线圈的PWM编码				垂直方向线圈的PWM编码			
ISMn CCQIm[1:0]	象限	角度范围	TH1m	TH2m	TH3m	TH4m	TV1m	TV2m	TV3m	TV4m
00 _B	0	$0^\circ - 90^\circ$	PWM_H	0	0	1	PWM_V	0	0	1
01 _B	1	$90^\circ - 180^\circ$	0	1	PWM_H	0	PWM_V	0	0	1
10 _B	2	$180^\circ - 270^\circ$	0	1	PWM_H	0	0	1	PWM_V	0
11 _B	3	$270^\circ - 360^\circ$	PWM_H	0	0	1	0	1	PWM_V	0

图 3-25 四个象限的 PWM 配置情况

电机的半桥控制方式如图 3-26 所示,通过配置寄存器 ISMn[1:0] 可以选择半桥控制方式。

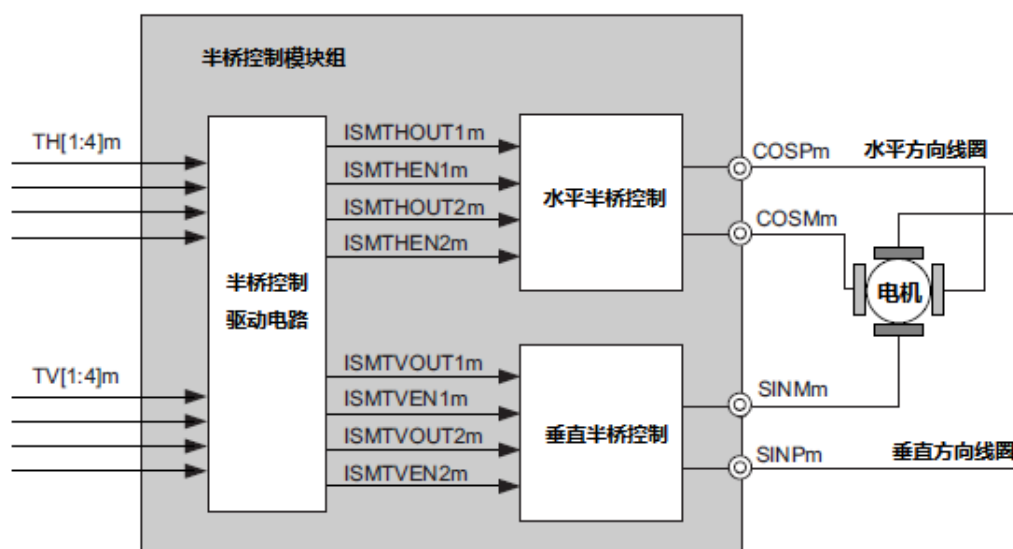


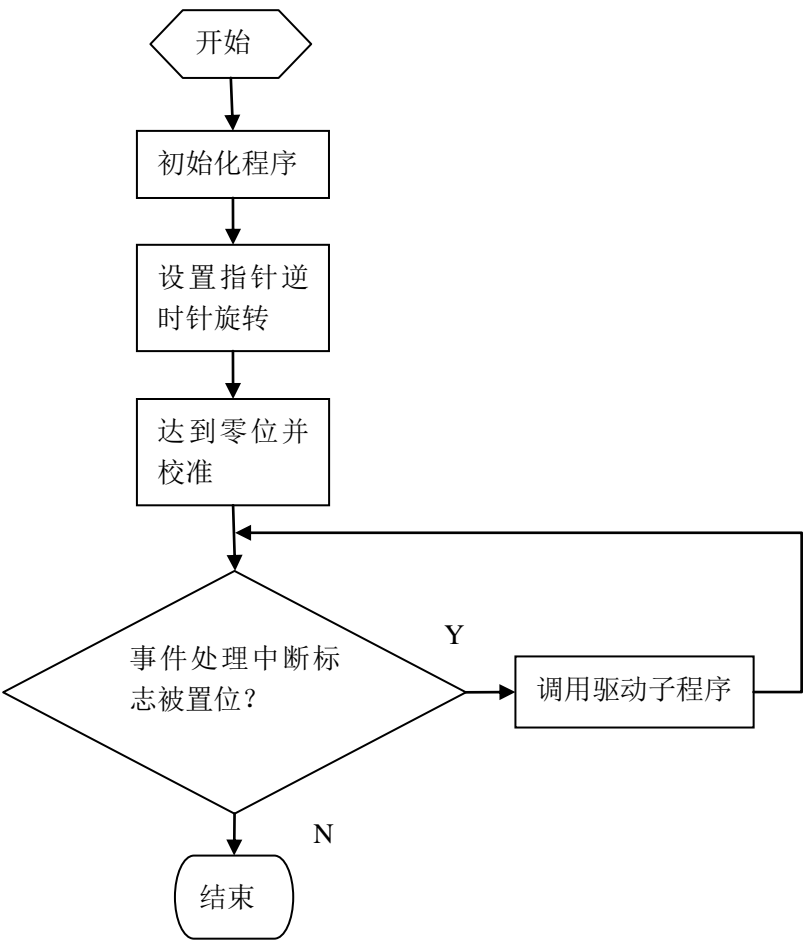
图 3-26 电机的半桥控制方式

半桥控制的 PWM 配置如图 3-27 所示。

输入信号配置					输出至驱动电路				线圈端	
水平线圈	TH1m	TH2m	TH3m	TH4m	ISMTHOUT1m	ISMTHEN1m	ISMTHOUT2m	ISMTHEN2m	COSPm	COSMm
垂直线圈	TV1m	TV2m	TV3m	TV4m	ISMTVOUT1m	ISMTVEN1m	ISMTVOUT2m	ISMTVEN2m	SINPm	SINMm
配置结果	PWM low	0	0	1	0	1	0	1	PWM	0
	PWM high	0	0	1	1	1	0	1		
	0	1	PWM low	0	0	1	0	1	0	PWM
	0	1	PWM high	0	0	1	1	1		

图 3-27 半桥控制的 PWM 配置方式

下面以单个指针的驱动程序为例，给出软件流程图，如图 3-28 所示。



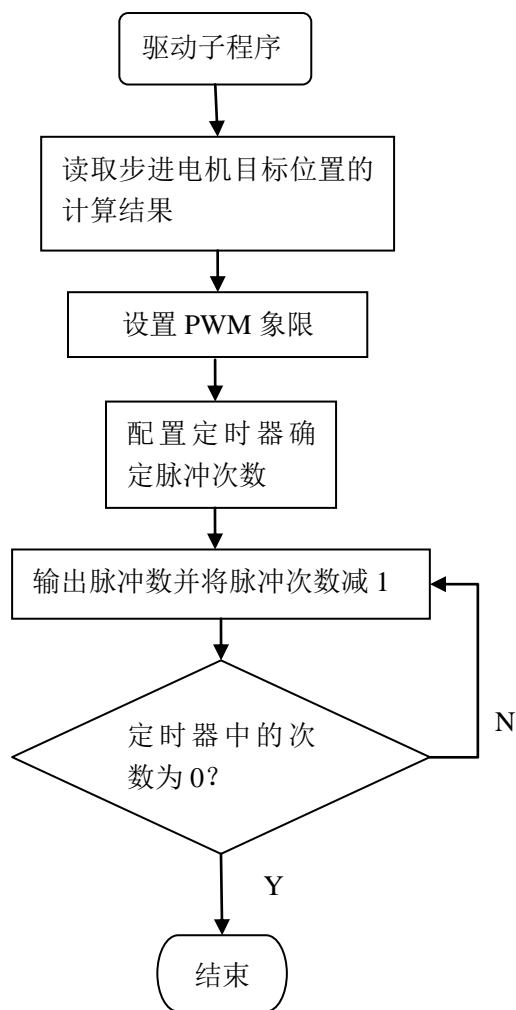


图 3-28 步进电机驱动程序流程图

3.3.4 车速、转速、燃油及水温信号的显示

3.3.4.1 车速表、油量表

在本设计中，车速与油量信号处于同一个显示区域。图 3-29 为车速表与油量表的外观。



图 3-29 车速表与油量表

其中，车速信号的指示从 0km/h 至 240km/h，刻度从最小到最大按照顺时针排列。指针的旋转范围在 0~226°，根据上文中计算出的步进电机步距角等于 0.05625°，从表盘的 0km/h 刻度至 240km/h，步进电机需要经过的微步数 S_1 为：

$$S_1 = \frac{226^\circ}{0.05625^\circ} \approx 4018 \text{ 步} \quad (\text{式 3-5})$$

在刻度最小单位为 10km/h 的表盘上，指针移动一格需要步进电机走过的微步数 $S_{10} = 4018 / 240 * 10 \approx 168$ 步。

速度表根据国家相关法规的规定，指示的速度值必须比实际车速稍大，所以在显示车速时仪表将收到的车速值加上一个系数以保证显示的车速大于实际车速。计算方法为：

$$V_1 = V_2 * 0.02 + 1 + V_2 \quad (\text{式 3-6})$$

其中 V_1 是显示车速， V_2 为仪表收到的实际车速。于是可得出在表盘上各刻度值上对应的实际车速以及步进电机需要走过的微步数（表 3-8）。

表 3-8 车速信号与步进电机微步数的关系（保留整数）

显示车速 (km/h)	车速信号 (km/h)	步进电机微步数
-------------	-------------	---------

20	19	336
40	38	672
60	58	1008
80	77	1344
100	97	1680
120	117	2016
140	136	2352
160	156	2688
180	175	3024
200	195	3360
220	215	3696
240	234	4018

仪表的单片机会将这个表格中各点对应的微步数存储起来作为基准点。在实际显示时，仪表会将收到的车速信号做一系列计算并得出需要驱动步进电机走过的微步数，最后驱动步进电机使指针走到相应的位置。

油量表从刻度盘上的“空”到“满”刻度的指针行程为 160° ，计算可得步进电机需要走过的微步数 S_2 为 2845 步。结合 3.2.1 节关于油量采样的内容，可得出采样电压与步进电机行程的关系表 3-9。

表 3-9 油量表采样电压与步进电机行程（取整数）

采样电压值 V	油量	电机行程（步）
4.52~4.67	满	2845
3.98~4.06	3/4 箱	2134
3.04~3.20	1/2 箱	1423
1.97~2.16	1/4 箱	712
0.37~0.55	空	0

根据这些基准点可以采用插值算法计算出中间点的位置，这样可以简化程序。

3.3.4.2 转速表、水温表

转速表与水温表的表头如图 3-30 所示。



图 3-30 转速表与水温表

转速表的指针旋转范围是 $0\sim226^\circ$ ，可知步进电机的行程 S3 为 4018 步。转速信号由 CAN 线接收，取值范围从 0rpm~8000rpm，表盘上刻度的最小精度为 200rpm。由此可得出实际转速与步进电机行程的对应关系表 3-10。

表 3-10 转速信号与步进电机行程（取整数）

转速信号 rpm	步进电机微步数
0	0
1000	502
2000	1005
3000	1507
4000	2009
5000	2512
6000	3014
7000	3516

8000	4018
------	------

发动机水温表的指针行程为 160° ，等分成 4 段，由于水温信号无需显示具体数值，所以表盘上不用刻温度值。与油量表相似，可以计算出水温信号与步进电机行程之间的关系表 3-11。

表 3-11 转速信号与步进电机行程（取整数）

采样电压值 V	指针位置	步进电机行程 (步)
4.50~4.94	1/4	40
1.38~1.53	1/2	80
0.73~0.83	3/4	100
0.41~0.52	满	120

除 0~1/4 刻度这一段之外，其他的点都可以通过插值算法得出，当采样电压在 1/4 刻度以下的值时，水温表指针不会移动。

以上介绍了本文中数字式汽车仪表的车速表、转速表、水温表及油量表的信号采集、指针步进电机驱动的原理及软硬件设计。在基于本设计的信号采样及电机驱动方式的基础上，下文将重点研究系统中存在的表头指针抖动现象及其产生原因，进一步研究消抖算法及软件控制流程。

第四章 指针抖动分析及滤波算法的研究

在仪表的设计过程中，作者以及研发人员发现表头指针会产生不合理的抖动现象，特别是车速和发动机的转速表的指针会在车辆行驶过程中很难保持稳定的指示甚至产生剧烈地抖动。而油量表和水温表由于监测的物理量变化缓慢，很少发生抖动的情况，但是有时指针会发生突然跳变，随后又回到原来的位置。图 4-1 是用长曝光镜头拍摄的照片，解释了转速表指针在指示过程中产生抖动的现象。



图 4-1 指针抖动现象

另外，行车过程中特别是路面颠簸或车辆上下坡时，油量表的指针会产生波动甚至显示油量在增加。针对此类现象，下文将对其产生原因及解决方法做出研究，最终设计出每一个表头指针的信号滤波算法以及控制方式。

4.1 指针抖动及迟滞现象的原因

指针抖动就是仪表指针在指示过程中产生剧烈的上下波动，导致指针的指示无法被方便识别的现象。产生指针抖动的

原因有很多，其实有的时候指针的抖动并不是故障，而是指针忠实地表现了信号量的变化。然而，汽车仪表不同于实验室中的仪器仪表，它指示的物理量需要可以被方便且快速地读取，以使驾驶者在掌握汽车行驶状态的同时尽量少地分散注意力。

为了消除抖动，仪表系统需要加入一系列的滤波算法以及控制手段以使指针在指示的时候变得不那么“敏感”。而如果这些措施被过当地运用，使监测信号量的正常变化都被过度地过滤掉，就会导致指针显示迟滞。也就是说，指针的“抖动”与“迟滞”是两个互相矛盾的现象，所以，需要针对不同的监测量，分析产生指针抖动的原因并合理规划防抖措施的预期效果，才能设计出合格的程序。

总体来说，产生指针抖动的原因有两大类：信号被干扰与被测量本身的波动。

现代汽车是一个复杂的自动控制系统，在一辆汽车上往往存在许多掌管不同功能的电气系统。特别是数字化控制的引入使得汽车成为了多个嵌入式系统的载体。在汽车上由单片机控制的电子系统诸如发动机管理模块、组合仪表、娱乐导航系统、车身控制器等，它们在工作的时候会向外界释放电磁干扰。另外，车载网络的应用，由于其高频的工作特点也会产生大量的电磁干扰。

尽管汽车工业体系对车载电气模块有着严格的电磁兼容性（EMC）要求——相关的规定有 ISO7637，GBT28046 等，

电磁干扰在汽车环境中仍然是无法消除的。另外，来自汽车系统外部诸如无线电、高压电线、乘客的手机电脑等辐射源都会对车载电气系统产生电磁干扰。

所以，仪表系统接收的各种信号每时每刻都会有被电磁辐射干扰并产生错误的可能，而这些干扰就会造成仪表指针在指示中产生抖动。由于这一类型的干扰都是随机产生并且是脉冲形式的，所以可以利用滤波程序将其过滤掉。

由被测物理量本身产生波动而引起的指针抖动就比较复杂，下面将针对不同的被测信号分析其导致指针抖动的原因。

（1）车速信号与转速信号

这两个信号是发动机管理器（ECM）通过 CAN 网络传输给仪表的。ECM 以每秒数百次的频率将采集到的车速以及转速量转化成数字信号发送给仪表，也就是说，仪表接收到的这些数字量信号真实地反应了车速和转速在极短时间内的变化状态。在车辆的行驶过程中，如果仪表将这些快速变化的信号不加处理地通过指针显示给驾驶者，就会在指针上产生抖动从而影响驾驶者的认读。

（2）油量信号

在章节 3.2.1 对油量信号采集方式的描述中提到，油量信号是由一个连接油浮的变阻器提供的。在汽车的行驶过程中，由于路面颠簸产生的晃动会使油浮随油箱的液面上下摆动，但是在这种情况下燃油量却并没有剧烈的变化。如果仪表不对接

收到的油量信号加以处理,就会产生油量表在行驶中不停跳动甚至发生显示油量正在增加的错误。

在车辆行驶过程中,燃油的消耗都是缓慢的,这种情况下可以利用一种比较强的滤波手段使油量表反应变得极为“迟钝”。但是在车辆加油时,油箱的燃油量变化会非常剧烈,这个时候如果采用与行驶过程中同样的滤波手段就会导致指针的迟滞效应。

(3) 水温信号

与油量信号的采集方式相似,水温信号也是由传感器提供的。由于水温在绝大多数情况下都不会有剧烈的波动。所以水温表指针抖动几乎都是由干扰引起的。

4.2 滤波函数的选择

关于数字式汽车仪表的信号滤波算法,可能由于技术保密等原因,目前国内可供参考的资料并不多。从作者查阅的论文以及资料上来看,主要的做法是通过延长采样周期,或者设置一个阈值,当信号变化量小于这个阈值的时候仪表不做处理。

在参考文献 17 中,提到了在车速信号显示的指针防抖处理方法。在仪表采样车速信号时,首先选择一个较低的采样频率使仪表不会反应过于灵敏;同时,加入一个阈值比较过程,即在前后两次采样信号之差小于这个阈值时,仪表不会动作^[17]。同样在水温燃油信号的处理中,论文介绍了了一个“抖动常数”的概念。以燃油表为例,仪表在测量到燃油信号后首先

将指针的预期位置与当前位置做比较，如果它们的差值大于“抖动常数”，即刷新仪表指针位置；若结论相反，则指针不作动作^[17]。

参考文献 18 提到了采用硬件滤波电路对燃油液位信号进行前置处理。文章提到在燃油液位传感器的 A/D 转换输入端加入一个电阻电容滤波器，其阻尼系数很大，就可以使燃油信号采集的相应时间延长至 150s。^[18]这样燃油表就会过滤掉大部分因为油浮晃动而产生的指针抖动。

上述的方法都是通过直接忽略较大波动信号或者延长采样时间的手段，达到时仪表指针响应“迟钝”的效果以消除因为采样信号剧烈变化而产生的抖动。这些方法简单且易于软件实现，特别对系统干扰产生的抖动特别有效。然而，在精度要求较高的场合，以上的方法会忽略一些变化小的有效信号，另外较大的信号波动仍然会引起指针抖动；同样，延长采样时间使指针响应产生迟滞，也会影响仪表精度。

本文的目标是找到一种算法，既不忽略输入信号的有效变化，又可以使输出的结果平缓地波动。这样既可以使仪表过滤掉干扰产生的信号波动，又不会忽略有效信号使显示精度下降，并且，指针在滤波输出结果的驱动下得以平缓地移动。

4.2.1 V.Luitje 的阻尼系数滤波算法

美国克莱斯勒公司的 William V.Luitje 等人撰写了一篇名为 Digital System For Controlling Mechanical Instrument Gauges

的专利。这份专利描述了将传统机械式汽车仪表的模拟信号转化为数字信号的处理过程。专利中提出通过一种加入阻尼系数的滤波计算对采样得到的数字信号进行处理，从而使仪表指针在移动过程中更加平缓^[15]。

这种算法将指针的当前位置和目标位置带入计算并输出一个变量 Δ ，算法规定系统必须以一定频率刷新 Δ 的值。也就是说，仪表在不停地计算当前位置和目标位置的差值关系，并且将每次的计算结果带入下一次计算，即每一次计算出的 Δ 值都会被仪表作为指针下一个位置的参考量。当仪表指针的响应速度跟不上 Δ 的变化幅度时，指针就不会在这一次更新周期内到达 Δ 所指示的位置，但是这一次的 Δ 值仍会被代入下一次计算。 Δ 的计算方式如下：

$$\Delta = \frac{\text{目标位置} - \text{当前位置}}{\text{计算更新频率} \times \text{数据更新频率} \times \text{阻尼系数}} \quad (\text{式 4-1})$$

其中数据更新频率是信号的采样频率。计算更新频率依据不同的被测量而定，比如说更新速度较快的车速和转速信号需要较高的计算频率使仪表能够“跟得上”这些被测量的变化速度；而油量和水温信号的变化比较慢，设置较低的计算更新频率可以使仪表不被错误的信号波动所干扰。

阻尼系数为指针提供了一个阻尼运算的效果，阻尼系数越大，指针的阻尼效果就越明显，也就是说指针会对信号变化的响应更慢。

V.Luitje 提出的滤波算法将仪表接收到的每一个信号量都

加入计算,通过迭代算法以及加入阻尼系数使仪表指针在平滑显示的同时又能够保证不会忽略掉有效信号。

4.2.2 滤波算法的设计

按照 V.Luitje 的阻尼系数滤波算法的思路,设计出一个阻尼滤波器 DP1,它将采用迭代算法计算出新值并加入下一次计算。图 4-2 展示了滤波器的输入/输出逻辑。

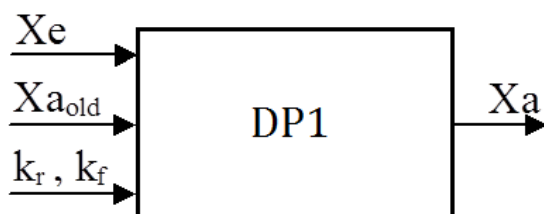


图 4-2 DP1 阻尼滤波器的逻辑图

DP1 的计算公式如下:

$$Xa = Xa_{old} + \frac{Xe - Xa_{old}}{k_{r/f}} \quad (\text{式 4-2})$$

其中:

Xe 为输入值即步进电机的目标位置; Xa_{old} 为上一次计算得出的结果; Xa 是本次的计算结果; $k_{r/f}$ 为阻尼系数。

当 $Xa_{old} < Xe$ 时, 阻尼系数 $k_{r/f}$ 的取值为上升阻尼即 k_r , r 代表上升 (rising); 当 $Xa_{old} > Xe$ 时, 阻尼系数 $k_{r/f}$ 的取值为下降阻尼即 k_f , f 代表下降 (falling)。

如果上升和下降的阻尼要求相同, 那么 k 可以取同一个值。

阻尼系数决定了系统对输入变化的响应速度，系数越大，响应越慢。可以依据不同的阻尼要求设置 k 值以满足指针的响应速度。图 4-3 给出了 DP1 滤波器在不同 k 值下的效果。

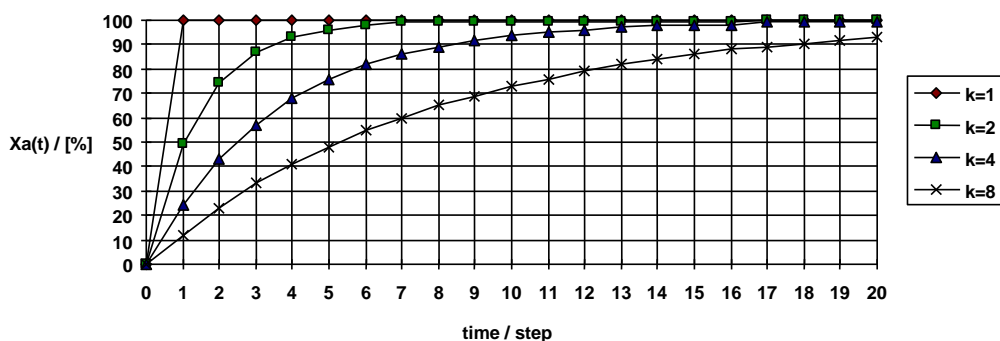


图 4-3 不同 k 值对应的阻尼效果

可以看出，当 $k=1$ 时，系统通过 1 次计算使输出达到了输入值；而当 $k=8$ 时，系统通过 20 次计算才使输出达到输入值的 90% 以上。

利用 DP1 公式可以达到对指针的阻尼控制效果，选择不同的 k 值可以使调节系统的阻尼效果。

当系统处理缓慢变化信号时，DP1 的 k 值可能需要设置的非常大才能达到理想的阻尼效果。有时候为了简化 k 值需要用到二阶阻尼滤波 DP2。DP2 可以看做是两次 DP1 的计算，图 4-4 是 DP2 滤波器的逻辑图。

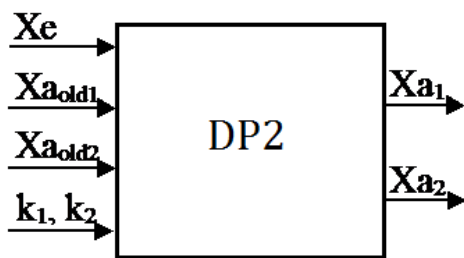


图 4-4 DP2 阻尼滤波器的逻辑图

DP2 的计算公式如下：

$$Xa_1 = Xa_{old1} + \frac{Xe - Xa_{old1}}{k_1} \quad (\text{式 4-3})$$

$$Xa_2 = Xa_{old2} + \frac{Xa_1 - Xa_{old2}}{k_2} \quad (\text{式 4-4})$$

其中：

Xe 为输入值即步进电机的目标位置； Xa_{old1} 为式 4-3 上一次计算得出的结果； Xa_1 是式 4-3 本次计算的结果，同时作为式 4-4 计算的输入； Xa_{old2} 是式 4-4 上一次的计算结果； Xa_2 为式 4-4 本次的计算结果同时作为一次 DP2 计算的最终结果； $k_{1/2}$ 为阻尼系数。

两次迭代计算以及 k_1 与 k_2 的共同作用使得 DP2 的阻尼效果十分显著，在处理诸如油量以及水温信号的时候，可以采用 DP2 作为滤波函数以达到对缓慢变化信号的滤波处理。图 4-5 给出了 DP2 中阻尼系数配置与阻尼效果的关系。

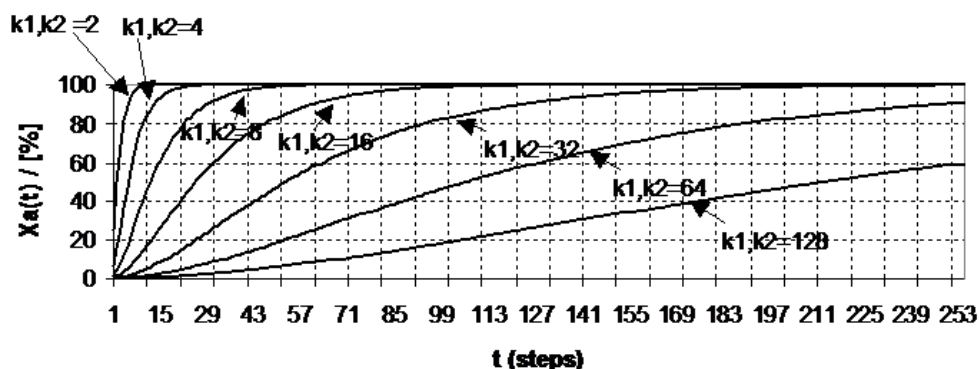


图 4-5 不同 k 值在 DP2 函数中的效果

可以看出，当 k_1 与 k_2 等于 128 时，系统需要经过两百多次

的计算才使输出值刚刚达到第一次输入的 60%。

4.2.3 车速信号的滤波计算及验证

车速信号是变化相对较快的物理量，当仪表指针指示车速值时，不希望它过于迟缓，同时也需要对干扰信号和造成指针不能平缓移动的信号进行滤波处理。利用 DP1 滤波公式，取阻尼系数 $k=4$ ，以每秒 20 次的计算频率对车速信号进行滤波处理。车速信号的滤波计算公式如下：

$$X_a = X_{a_{old}} + \frac{X_e - X_{a_{old}}}{4} \quad (\text{式 4-5})$$

下面以汽车在 50km/h 左右正常行驶的情况为例，通过模拟计算实际车速输入与滤波输出的关系来验证滤波处理的效果。假设实际车速在大约 1 秒（18 次计算）当中的变化情况如表 4-1 中 X_e 一栏的数据所示，经过 DP1 的滤波计算后，输出的车速值如 X_a 一栏所示。其中，定义第一次计算中的 $X_{a_{old}}$ 与 X_e 取相同值。

表 4-1 实际车速与滤波计算后数值的比较

实际车速 X_e km/h	计算次数	输出车速 X_a km/h
48	1	48
50	2	48
49	3	48.5
50	4	48.625
50	5	48.96875
51	6	49.22656

52	7	49.66992
50	8	50.25244
49	9	50.18933
53	10	49.892
50	11	50.669
54	12	50.50175
52	13	51.37631
52	14	51.53223
50	15	51.64918
50	16	51.23688
50	17	50.92766
50	18	50.69575

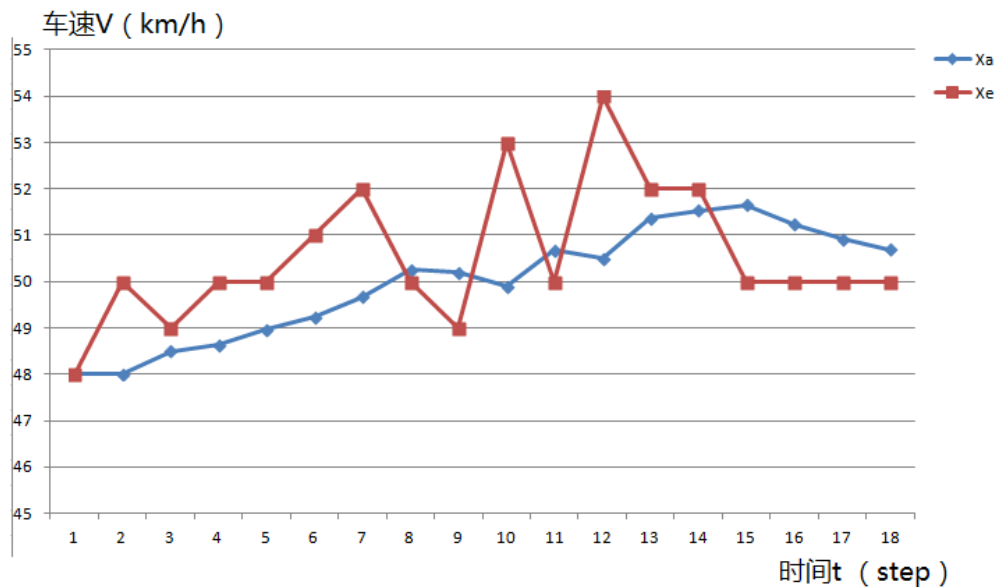


图 4-6 滤波计算对实际车速产生的阻尼效果

图 4-6 描述了表 4-1 中实际车速 X_e 与输出车速 X_a 的变化曲线。可以看出，实际车速 X_e 在时间点 9、10、12 上的突变在通过滤波计算后变得平缓。

需要说明的是，在实际情况中，车速的变化能力是有一定范围的，输入信号的变化如果超过这个范围显然是不合理的。

DP1 函数的性质决定了他的输入必须是有效的车速信号，所以，上面介绍的计算是在已经过滤掉无效输入的情况下进行的。同样的情况也存在于下文介绍的转速、燃油、水温信号的滤波处理中，相关的过滤方法将在控制流程设计一节（4.3）中详细介绍。

4.2.4 转速信号的滤波计算及验证

发动机转速的变化比较剧烈，需要滤波函数可以尽量真实地反映转速信号在每一时刻的变化情况。所以，选择使用 DP1 函数，阻尼系数 $k=2$ ，计算频率 20 次每秒。发动机转速信号的滤波计算公式如下：

$$Xa = Xa_{old} + \frac{Xe - Xa_{old}}{2} \quad (\text{式 4-6})$$

下面以发动机转速在 800rpm~900rpm 的情况为例，通过模拟计算验证滤波公式对转速信号的阻尼效果。表 4-1 与图 4-7 描述了通过滤波计算后的阻尼效果。

表 4-1 实际转速与滤波计算后数值的比较

实际转速 Xe rpm	计算次数	输出转速 Xa rpm
800	1	800
810	2	800
820	3	805
850	4	812.25
880	5	831.25
900	6	855.625
900	7	877.8125

880	8	888.9063
850	9	884.4531
820	10	867.2266
810	11	843.6133
840	12	826.8066
830	13	833.4033
830	14	831.7017
820	15	830.8508
800	16	825.4254
800	17	812.7127
800	18	806.3564

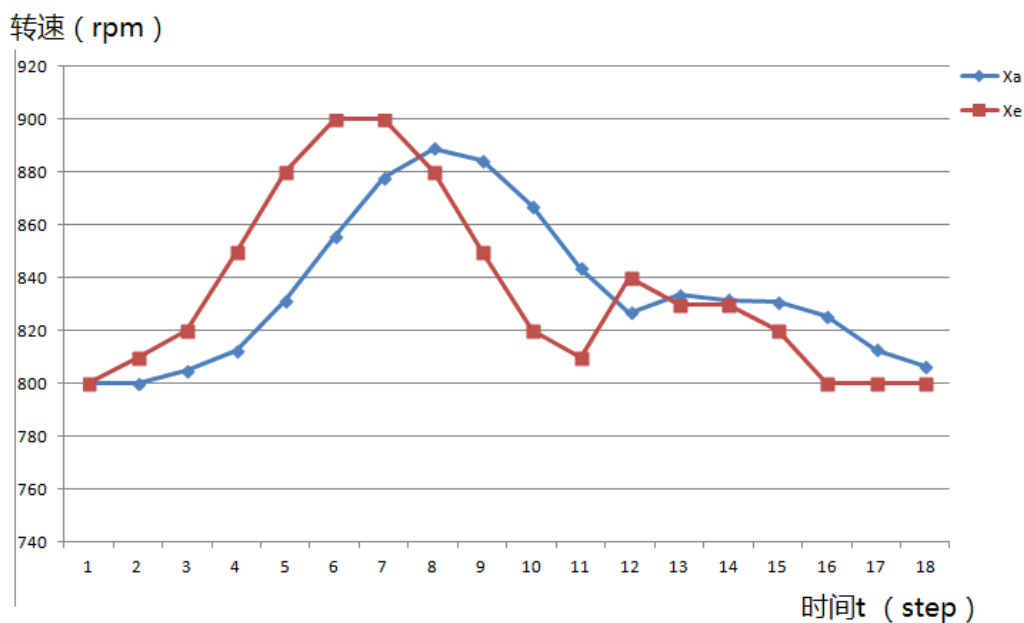


图 4-7 滤波计算对转速信号产生的阻尼效果

可以从图中曲线的形状看出，计算结果的跟随性比较强，两条曲线的形状基本重合，而 X_e 曲线即实际转速变化中在时间点 11、12 的突变通过计算后变得平缓（滤波输出 X_a 曲线）。

以上的验算说明说这种滤波计算可以让转速表在真实反映发动机转速的情况下，指针的滑动趋于平缓。

4.2.5 油量信号的滤波计算及验证

汽车的油量改变情况分为两种，车辆加油时的快速变化和正常行车过程中的缓慢变化。针对这两种不同的环境，需要设计两种滤波计算方式对油量信号进行处理。

(1) 加油时的滤波计算

汽车加油过程中油箱的油量在快速增加，需要针对燃油量变化的这种特点选择能够较快跟随的滤波函数。使用 DP1 函数，取 $k=2$ ，计算频率为每秒 1 次。加油条件下的滤波计算公式如下：

$$Xa = Xa_{old} + \frac{Xe - Xa_{old}}{2} \quad (\text{式 4-7})$$

图 4-8 模拟了使用加油情况下的滤波计算公式对油量信号变化产生的阻尼效果。其中 Xe 曲线为实际燃油量变化， Xa 为滤波计算的输出曲线。

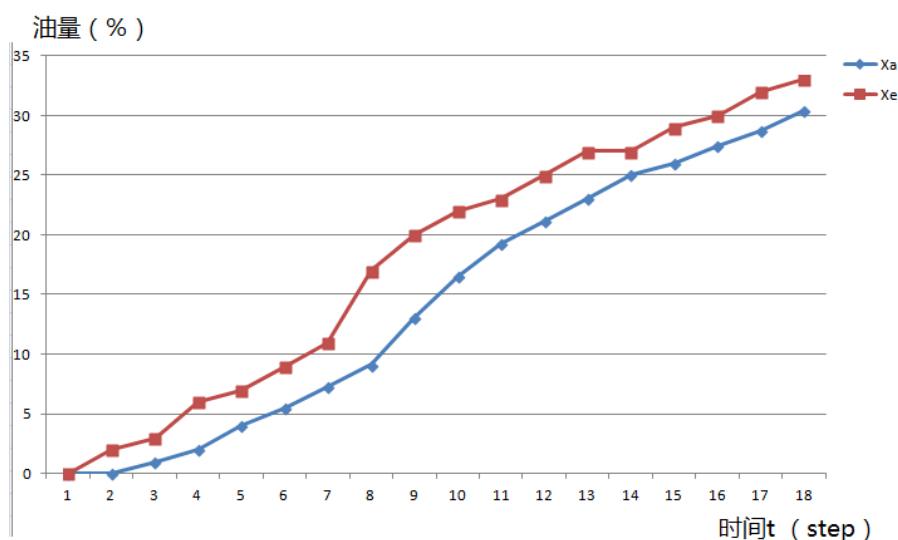


图 4-8 车辆加油情况下的滤波计算对油量信号变化的阻尼效果

(2) 车辆行驶时的滤波计算

车辆行驶过程中，实际的燃油量变化是非常缓慢的，而油箱的晃动或者车辆停在坡道时会使燃油信号产生错误的变化。所以，需要一种能够增强阻尼效果的滤波函数使油量信号的不合理变化不被油量表反映。选择 DP2 函数，阻尼系数 $k_1=k_2=16$ ，计算频率每秒一次。计算公式如下：

$$Xa_1 = Xa_{old1} + \frac{Xe - Xa_{old1}}{16} \quad (\text{式 4-7})$$

$$Xa_2 = Xa_{old2} + \frac{Xa_1 - Xa_{old2}}{16} \quad (\text{式 4-8})$$

图 4-9 模拟了车辆行驶过程中燃油信号 Xe 的变化，以及经过滤波计算后的阻尼效果。

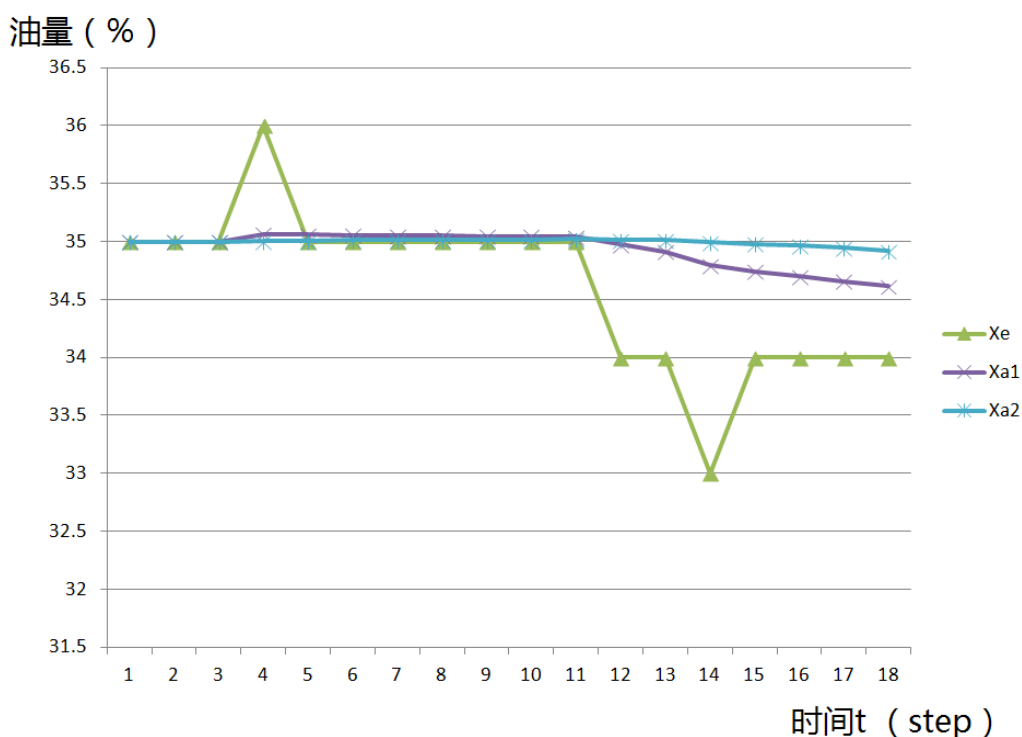


图 4-9 车辆行驶过程中的滤波计算对油量信号变化的阻尼效果

图中， Xe 即实际油量的曲线在时间点 4、14 产生了 2 次不合理的突变，而经过 DP2 滤波计算之后的 Xa_2 曲线淡化了燃

油信号的这两次跳变，并且，计算结果 Xa_2 曲线保留了燃油信号的变化趋势。

4.2.6 水温信号的滤波计算及验证

发动机水温同样是一个变化缓慢的物理量，并且它的变化十分简单。所以，选择与处理油量信号相同的 DP2 函数，取 $k1=k2=16$ ，计算频率每秒一次。计算公式如下：

$$Xa_1 = Xa_{old1} + \frac{Xe - Xa_{old1}}{16} \quad (\text{式 4-9})$$

$$Xa_2 = Xa_{old2} + \frac{Xa_1 - Xa_{old2}}{16} \quad (\text{式 4-10})$$

图 4-10 模拟了车辆水温信号的变化，以及经过滤波计算后的阻尼效果。

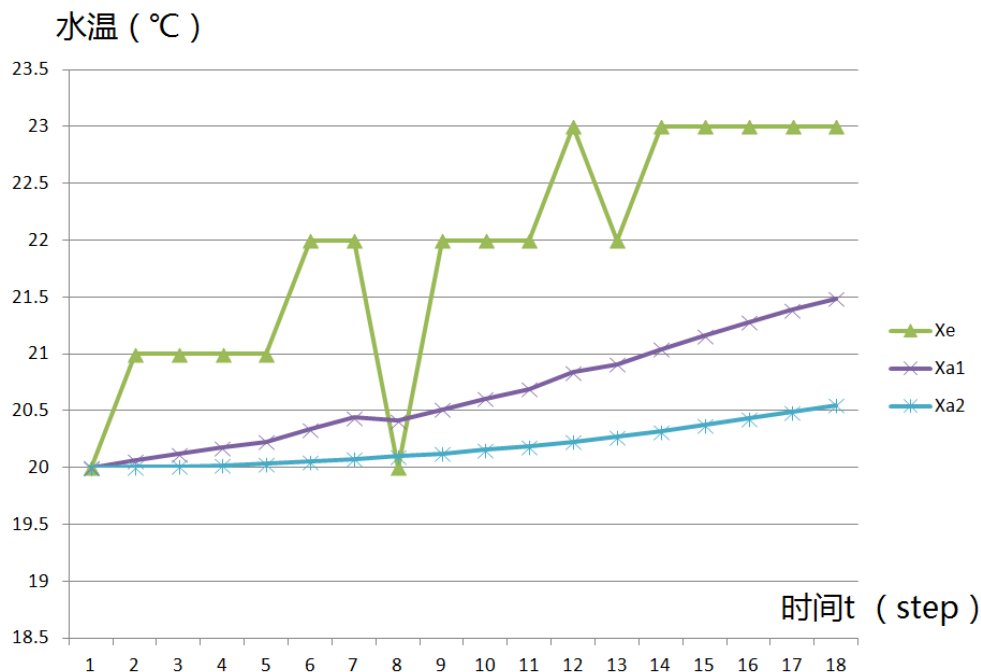


图 4-10 车辆行驶过程中的滤波计算对油量信号变化的阻尼效果

可以看出，在水温信号 Xe 的缓慢变化过程中，出现了一

个不合理的突变（时间点 8），经过滤波计算的输出曲线 X_{a2} 将此次突变过滤的同时，跟随了 X_e 的上升趋势。

4.3 指针驱动控制方法的设计

结合以上的滤波算法以及前几个章节介绍的仪表设计原理，指针步进电机的驱动软件设计中需要依据车速、转速、油量水温这些被测量在车辆的不同工作条件下的变化特点，做出合理的判断并选择正确的处理流程。下面分别介绍每个表头的指针驱动控制流程。

4.3.1 车速表

上文中提到过，车速信号在进行 DP1 滤波计算之前，首先需要过滤掉由于干扰或器件失效而产生的无效车速信号。取正常的车速变化范围为 $\pm 100\text{km/h}$ 每秒，也就是说车速每秒的变化极限不会超过 100km/h 。结合上一节介绍的滤波计算频率为 20Hz ，就要在滤波计算之前，先将本次接收到的车速值与上一次做比较，当差值的绝对值大于 5 时，认为本次接收到的信号无效。

由此，车速表指针的驱动控制的流程图如图 4-11 所示。

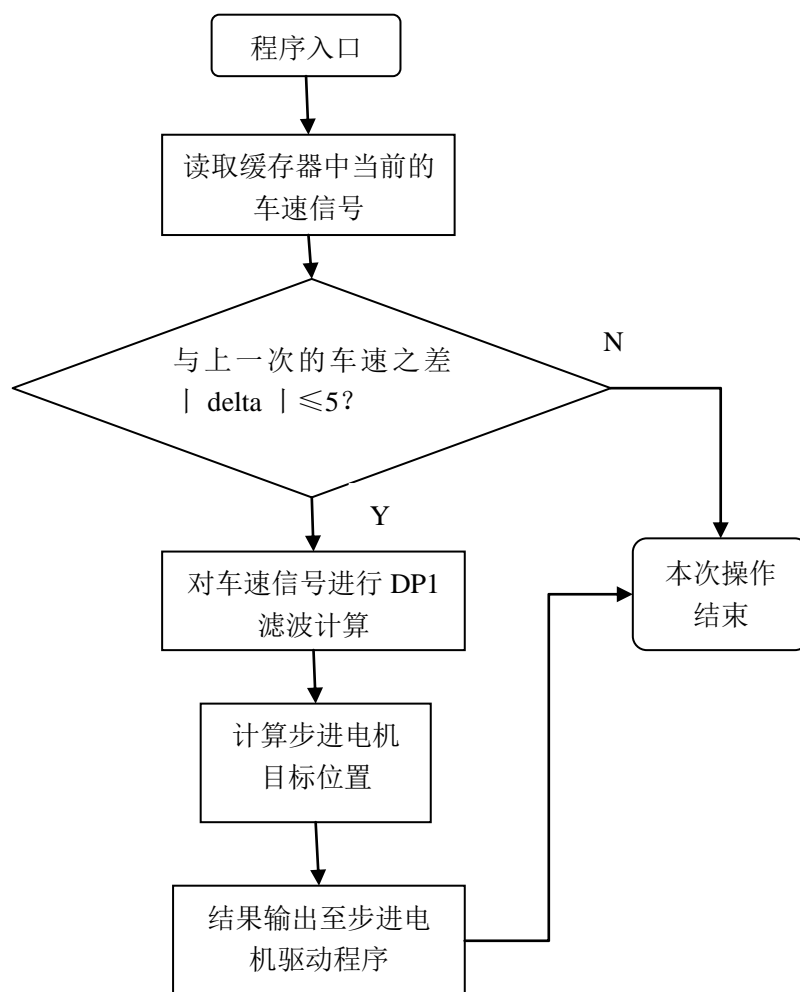


图 4-11 车速表指针驱动控制流程图

4.3.2 转速表

与车速信号相似，发动机的转速信号也需要在 DP1 滤波计算之前将无效信号过滤掉。与车速不同的是，发动机在空转和带载情况下的转速变化差别非常大，所以，需要在判断发动机的工作状态之后再对转速信号做处理。转速表的处理流程图如图 4-12 所示。

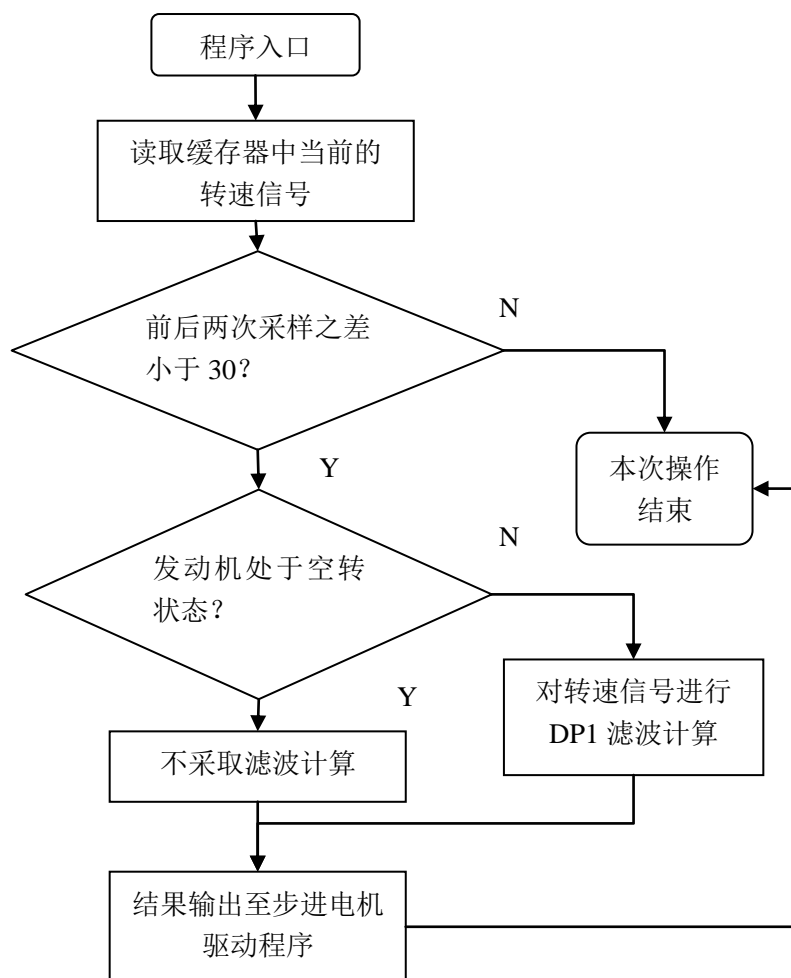


图 4-12 转速表指针驱动控制流程图

4.3.3 油量表

油量表指针的处理需要先判断车辆是否处于加油的过程中，可以根据车速、油量增加的速度对车辆状态进行判断。

油量表的处理流程如图 4-13 所示。

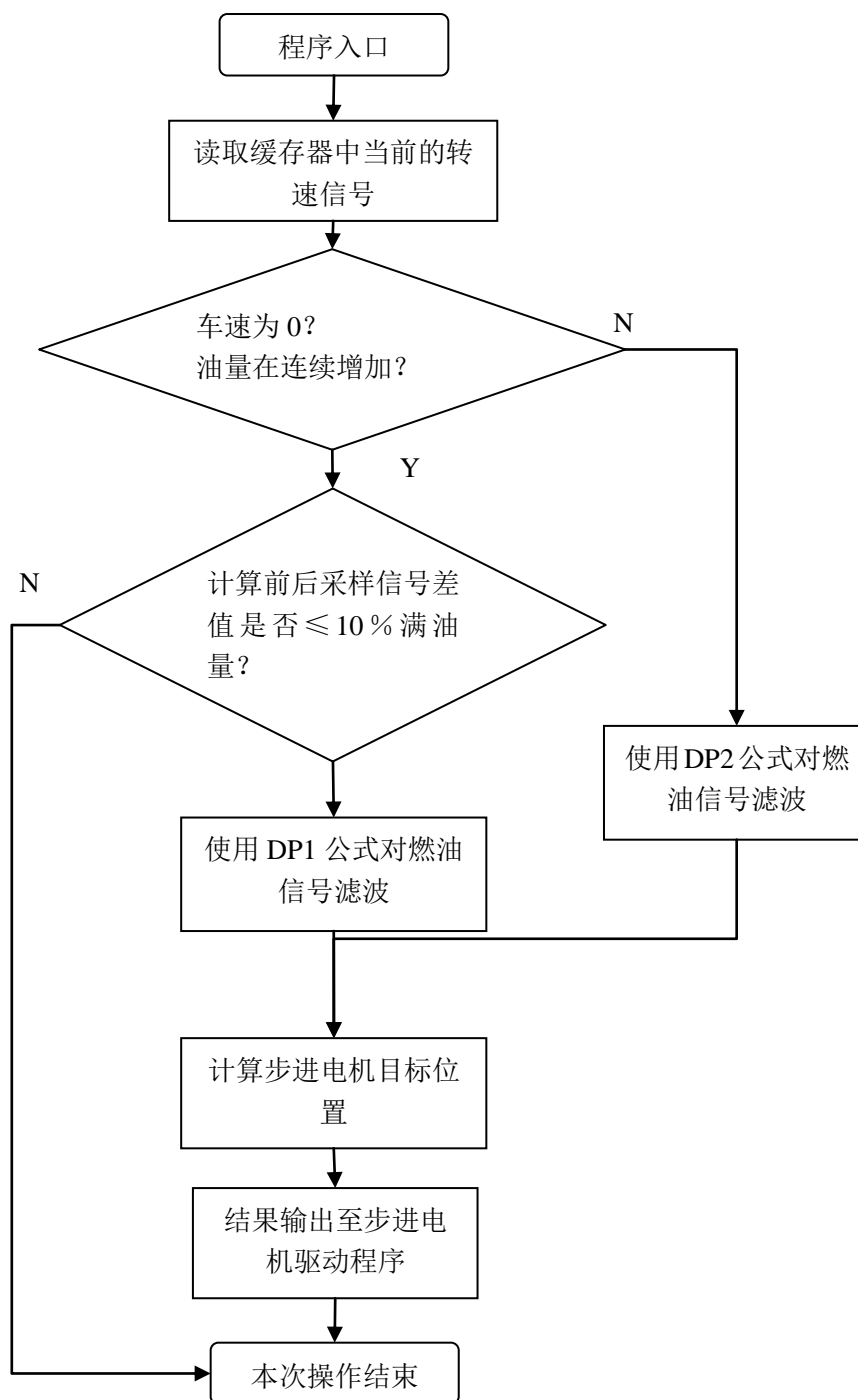


图 4-13 油量表指针驱动控制流程图

4.3.4 水温表

由于水温信号变化缓慢，对水温表的处理相对简单，在过滤掉变化过大的无效信号之后，运用 DP2 滤波函数对信号进行滤波即可。图 4-14 是水温表的指针控制流程图。

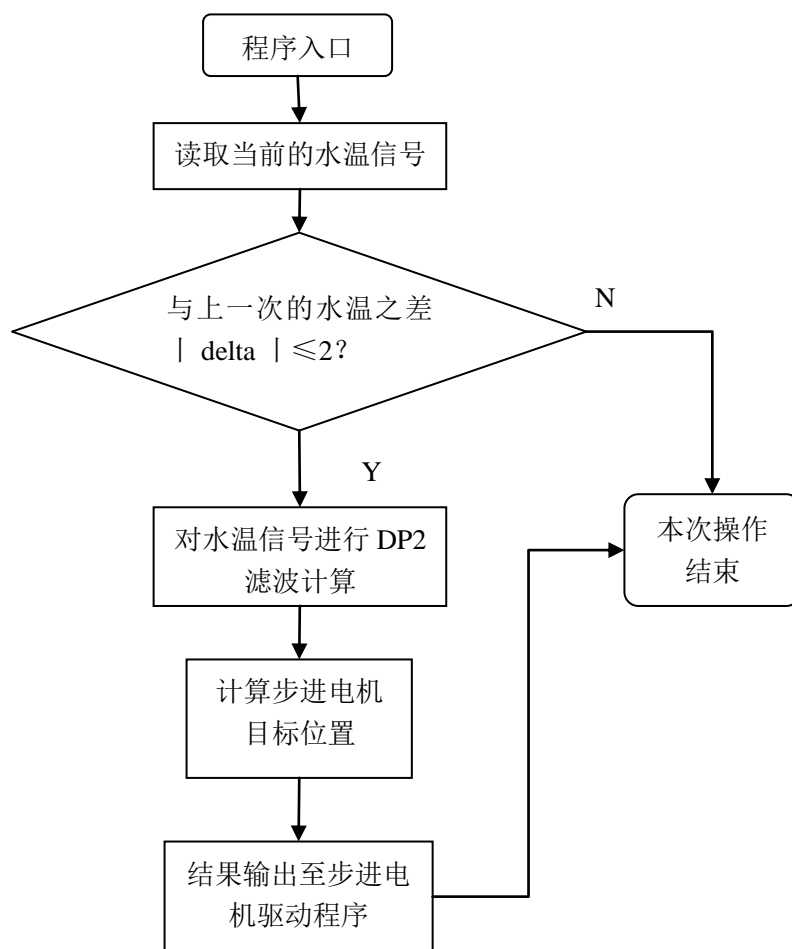


图 4-14 水温表指针驱动控制流程图

第五章 总结与展望

5.1 全文总结

本文介绍了一款数字式汽车仪表的设计，重点描述了仪表中车速、发动机转速、油量以及水温表的设计硬件设计原理以及软件控制流程。在文中，特别对仪表指针抖动的问题进行了深入地研究。在寻找指针消抖方法的过程中，文章参考了V.Luitje 等人提出的阻尼滤波算法。在这个算法的基础上，文章针对设计中仪表的车速、转速、油量以及水温表分别设计出对应的信号滤波算法，接着通过模拟验算，验证了各算法的效果。文章的最后给出了用于消除各表头指针抖动的控制方法流程图。

本文研究的仪表指针消抖技术，解决了数字式仪表设计中指针抖动问题的核心算法设计；配合设计中的软件控制方法，可以使汽车仪表中车速表、转速表、水温及油量表的显示在保证精度的前提下，平滑地变化；实现了驾驶者对仪表表头准确及快速的识别。

5.2 下一步工作展望

如今高档汽车的仪表，都有对车辆油耗计算的功能，而油耗的计算包含了对发动机喷油量、行驶里程、车速、油箱油量等参数的采集与处理运算，仪表需要通过复杂的逻辑判断与公式计算才能得出准确的油耗值。而现如今的汽车市场上，出现

了很多用户对仪表油耗计算不准确的抱怨，如何提高油耗计算准确性可以作为本文下一步研究的内容。

参考文献

- [1] 史新赢. 朱元. 汽车仪表步进电机控制算法的仿真[J]. 电子产品世界, 2008. 1, 120-123
- [2] 饶运涛, 邹继军, 郑勇芸. 现场总线 CAN 原理与应用技术[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2003. 6
- [3] 王晓明. 电动机的单片机控制[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002.
- [4] 翟润昌. 步进电动机式汽车里程_速度表的设计[D]. 博士学位论文, 东北大学, 2010
- [5] 白木, 许得章. 汽车仪表的识别, 使用与发展趋势[J]. 中国仪器仪表, 2003. 9, 3-4
- [6] 刘清河. 汽车电子组合仪表的研究[D], 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2002. 7
- [7] 周奇. 新型数字式仪表盘设计及关键技术研究[D], 重庆: 重庆大学, 2002.
- [8] RENESAS Semiconductors. RENESAS MCV850E2M Microprocessor Core User' s Manual, 2010. 10
- [9] Gabriel Leen, Dond Heffernan, Alan Dunne. Digital Networks in the Automotive Vehicle[J]. IEEE Computing & Control Engineering journal, 2007, 10 (6): 45-56.

- [10] Lars-Berno, Fredriksson. CAN for Critical Embedded Automotive Network[C]. IEEE Micro. 2002, 22(4):28-35.
- [11] Szabo S, Oplustil V. Distributed CAN Based Control System for Robotic and Airborm Applications[C]. IEEE on Control, Automation, Robotics and Vision. 2002, (11):1233-1238.
- [12] Philips Semiconductor TJA1050 Data Sheet. 2000, (1), [DB/OL]. http://www.nxp.com/documents/data_sheet/TJA1050.pdf.
- [13] K. Shigeno, H. Gushikata. Development of a New Information Display for Automotive, Electronic Instrument Panel Displays[J], Paper960529, 63-68
- [14] K .Jurgen. Electronic instrument panel displays[J]. 1999, (5), 3-15
- [15] William V. Luitje, Ann Arbor, Mich. Digital System For Controlling Mechanical Instrument Gauges: U. S. A, 4939675[P]. 1990-07-03
- [16] 向秀云. 汽车仪表板电子化技术[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2001. 6, 28 (3) , 2-4
- [17] 陈旭红. 基于单片机的步进电机式汽车仪表的设计与实现[D] 武汉: 华中科技大学
- [18] 邵显成. 汽车数字式速度/燃油表的设计[D] 沈阳: 东北大学

- [19]梁为民, 刘爱琴, 朱宗胜. 智能仪表系统设计中抗干扰问题的研究[J], 电子工程师 , 2001, 27(9)
- [20]杨林国, 姜印平. 智能仪表的可靠性设计[J]. 安徽纺织职业技术学院学报, 2002. 9, 2(3), 2-3
- [21] B.Dellande. Liquid Crystal Display for the Automobile, Automotive Engineering Congress and Exposition, Detroit, paper7 9005
- [22] 汤洁. 基于 CAN 总线的汽车内数据通信系统[J]. 上海汽车, 2000
- [23] 郭强. 液晶显示应用技术[M]. 电子工业出版社, 2000
- [24] Pekka Pesonen, Veikko Seppanen .Object-Based Design of Embedded Software Using Real-Time Operating Systems[J]. IEEE, 1994
- [25] Alfonso Carlosena, Carlos Macua .Instrument for the measurement of the Instantaneous Frequency[J]. IEEE Transactions on I nstrumentation and Measurment, 2000(49)
- [26] Pavan Kumar, Mani Srivastava. Predictive Strategies for Low-Power RTOS Scheduling[J]. Computer Design, 2000.
- [27] H.Shiga. Display System for Automobile. Transportation Electronic.International Congress, 1988
- [28] K. Shigeno, H. Gushikakt. Developent of a New Information Display for Automobile[J]. Electronic Instrument Panel Dispplays. Paper9 60529:63-68

- [29] 潘旭峰. 现代汽车电子技术[M]. 北京:北京理工大学出版社, 1995
- [30] 王曦, 董燕飞. 步进电机转台的控制[J]. 微计算机信息, 2005, 21(2):29-30
- [31] 杨文霞, 赵春雷. 单片机 AT90S2313 在汽车里程表中的应用[J]. 电子技术, 2001, (3):35-38
- [32] 王幸之. 单片机及应用系统抗干扰技术[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2000, (2)
- [33] T. Torii, S. Azuma. Multi-display system Automobile Display[J]. Industrial Electronics, IEEE Transactions. 1998, 35(5):201-207
- [34] Craig Szydiowski. A Gateway for CAN Specification 2.0 Non-Passive Divices[J]. Automotive Micro-controllers. Paper 930005:201—209
- [35] P. Rod. Automotive eletrics and electronics[J]. Prentice Hall Inc, 1996:280-285
- [36] Jeffrey J. Ronning, Gregury L. Grant. Global Hybrid Electric Vehicle Markets and Missions[J]. SAE, 1999
- [37] 皇甫鉴, 范明强. 现代汽车电子技术与装置[M]. 北京:北京理工大学出版社, 1999
- [38] 吕光. 日本电子电路精选[M]. 北京:电子工业出版社, 1990 年
- [39] 刘乐善. 微型计算机接口技术及应用[M]. 武汉:华中科技大学出

版社, 2000

- [40] 徐雁. 单片机测量频率的两种方法[J]. 电测与仪表, 1995, (3):22-25
- [41] 王柏林. 单片机系统设计的误区与对策[J]. 电子技术应用, 2002;28(2):22-25
- [42] 吴平友, 黄河, 程庆. 基于 MB90420 的新一代汽车仪表板的设计[J]. 微计算机应用, 2004, 25(2):208-212
- [43] 许德章. 现代汽车仪表技术与发展趋势[J]. 汽车电器, 2002, (5):127—129
- [44] 张幽彤, 陈宝江. 汽车电子技术原理及应用[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2006.
- [45] 杜尚丰, 曹晓钟, 徐津. CAN 总线测控技术及其应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [46] W.H.Hucho. The Evolution towards a New Driver Information System[J]. Automotive Engineering, SAE Paper 810302:9-15
- [47] Fenton J. Focus on networking of on-board vehicle electronic systems[J]. Automotive Engineer, 1996(6-7):50-64
- [48] 李刚炎, 宋叶琼, 金海松. CAN 及其在轿车中央控制系统中的应用[J]. 武汉汽车工业大学学报. 2000, 22(1):6-9
- [49] 汪敏生. LabVIEW 基础教程[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002
- [50] 王政光, 高斌, 戴澹潜. 电子控制技术在汽车上的应用[J]. 电子

与自动化. 1997(5): 3-7

- [51] Robert Divis. Understanding Automotive Electronics.
Prentice Hall Inc, 1998:1

致谢

本论文是在导师丁绪星教授的悉心指导和亲切关怀下顺利完成的。在我的研究生学习阶段，丁教授让我在学习知识的同时，积极投入到工作实践当中，借此机会我得以将专业知识和实践相结合，使自己得到了长足的进步。丁教授的渊博学识、严谨却不失创新的工作态度以及他严于律己、宽广待人的胸怀是我一贯的学习榜样，谨在此表示由衷的感激和最真挚的敬意！

衷心地感谢黄时中、崔执凤、凤尔银、朱向冰、方正华、梁军、郑贤锋、石建平、屈军、宁利新、王中结、张季谦、麻金继、许新胜、崔光磊、郭怀中、王元航、姚关心、许长安、王超等老师和辅导员王亚青、汪晓丽老师，以及物电学院的全体老师对我在学习和生活上的教诲与帮助！感谢我院 2011 级硕士研究生班的所有同学在读研路上的陪伴！感谢 3118 实验室在丁绪星教授指导下的全体师兄姐妹！

最后衷心感谢我的家人，他们是我人生的港湾。

吴 双

二〇一四年四月于芜湖

攻读硕士期间的相关工作

期刊论文：

丁绪星, 吴双. 基于 LDO 的汽车 24V 系统电源设计[J]. 汽车电器: (已接收)