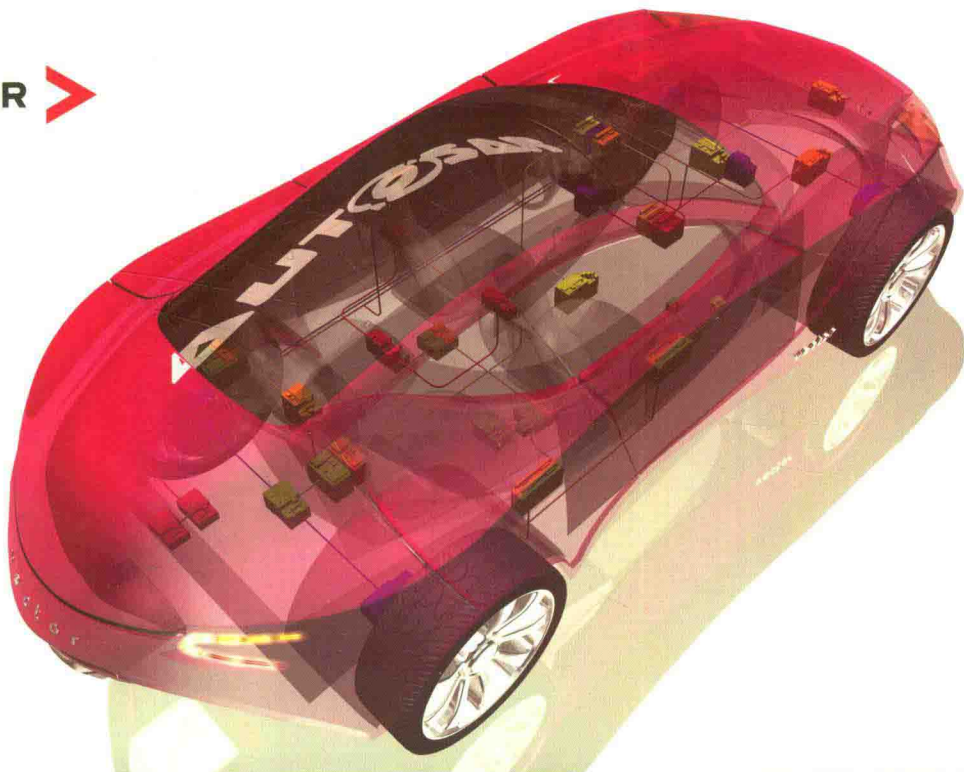


VECTOR 



基于AUTOSAR规范的车用电机控制器软件开发

朱元 陆科 吴志红 著



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

基于 AUTOSAR 规范的车用电机 控制器软件开发

朱元 陆科 吴志红 著



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书主要介绍了汽车电子的最新规范 AUTOSAR,以及如何开发符合 AUTOSAR 规范的电机控制器软件的详细过程。全书分为基础篇和实战篇:基础篇介绍了汽车电子软件开发趋势,以及多核单片机和 AUTOSAR 的相关概念;实战篇介绍了利用 Vector 工具链基于 AURIX 单片机开发电机控制器的思路和步骤。本书在编写中,力求内容正确,所有的内容都经过相关专家审阅,并经作者测试,步骤清晰,配图丰富。

本书适合具有一定嵌入式软件开发基础知识的读者,可作为高等院校本科生、研究生学习嵌入式软件开发的参考书,也可供汽车电子行业软件工程师学习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

基于 AUTOSAR 规范的车用电机控制器软件开发/朱元, 陆科, 吴志红著. —上海: 同济大学出版社, 2017. 8

ISBN 978-7-5608-7134-9

I. ①基… II. ①朱… ②陆… ③吴… III. ①汽车—
电子系统—应用软件—高等学校—教材 IV. ①U463.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 159351 号

基于 AUTOSAR 规范的车用电机控制器软件开发

朱 元 陆 科 吴志红 著

策划编辑 赵泽毓 责任编辑 朱 勇 责任校对 徐春莲 封面设计 陈益平

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn

(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 常熟市大宏印刷有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 12.75

字 数 318000

版 次 2017 年 8 月第 1 版 2017 年 8 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-7134-9

定 价 56.00 元

Foreword

Dear Readers,

AUTOSAR is “Today”, not “Tomorrow”.

Automotive OEMs, suppliers, semi-conductor manufacturers and providers for basic software and related tools contributed a lot of effort on AUTOSAR in the past years. The goal is to introduce a new development methodology, a new architecture and new functionalities to face the challenge of the increasing complexity of Automotive E&E. I am glad that AUTOSAR grows step by step and is accepted by automotive industry more and more. AUTOSAR achieved success in Europe firstly, and then was recognized by USA and Japan. Now it is China.

The good thing is: now the engineers in Europe, USA, Japan and China are using AUTOSAR or studying AUTOSAR because they know it will be useful tomorrow. More and more Chinese engineers want to know AUTOSAR in detailed and practically. The bad thing is: the tremendous growth of functionality from AUTOSAR release 1.0 to 4.3 reflects the complex requirements of automotive electronics and their fast increase directly. The new technologies like Multi-core, Functional Safety, Ethernet and Security raise the entry level of AUTOSAR. The beginners may feel confused and painful.

I totally understand the importance of native language to ease the access to new technologies. So I really appreciate the work by Dr. Zhu Yuan, Dr. Wu Zhihong, Mr. Lu Ke and their team at CDHK Tongji University - Vector Automotive Technology Joint Laboratory. I am sure that the first Chinese AUTOSAR book written by Dr. Zhu Yuan, Dr. Wu Zhihong, Mr. Lu Ke and their team is great news for Chinese engineers and students. With the help of this book, readers will get the system overview of AUTOSAR and learn how to create an AUTOSAR project with OS, BSWM, ECUM and so on. In the same time, I also thank Infineon Technologies and Shanghai Dajun Technologies, Inc. for their great support.

I wish all readers a lot of fun reading this book and a lot of success when implementing the AUTOSAR approach in their projects.



Dr. Günther Heling

Director for Embedded Software and Systems

Vector Informatik GmbH

前 言

为应对日益复杂的汽车电子软件开发、更新和维护的问题，AUTOSAR—AUTomotive Open System ARchitecture(汽车开放系统架构)联盟应运而生。在 AUTOSAR 分层模型中，软件模块及软件模块之间的接口定义更加标准化，使得整车厂、供应商、科研机构之间可以方便地实现软件联合开发，为汽车工业的软件系统框架建立了一套开放的标准。

与此同时，汽车电子控制单元对单片机的性能要求不断提高，车用 32 位多核处理器自 2012 年面世以来已逐渐广泛应用于汽车电子控制单元中。

英飞凌科技和维克多(Vector)公司均为 AUTOSAR 联盟的高级成员。英飞凌全新的 32 位多核架构单片机——AURIX 引领全球最先进的车用微处理器技术，满足现在及未来汽车安全和安防所需要的应用要求；Vector 在汽车电子开发工具、嵌入式软件组件和技术服务等方面具有领先地位。

在上海大郡动力控制技术有限公司及徐性怡总裁的支持下，恰逢在国家重点研发计划资助课题——“电机控制器功能安全”(2016YFB0100804)中编者选用了英飞凌 AURIX 产品家族系列中的单片机(TC275)和 Vector 公司 AUTOSAR 软件产品及工具来开发电机控制器软件系统。基于上述课题的研发经历及软件设计成果编著此书，旨在国内推广和普及遵循 AUTOSAR 规范的软件开发技术。

本书分为基础篇和实战篇。基础篇包含 1~3 章。第 1 章概述了当前汽车电子软件的开发特点和趋势；第 2 章对比了多核单片机和单核单片机的特点，分析了多核单片机的优势和软件开发中的挑战；第 3 章介绍了 AUTOSAR 的概念和架构，详细介绍了 AUTOSAR 的基础软件层、实时运行环境层和应用层。实战篇包含 4~9 章，主要讲述基于 AURIX 和 AUTOSAR 的新能源汽车电机控制器的开发。其中，第 4 章介绍了新能源汽车发展趋势和电机控制器的开发方法，分别从控制算法、硬件结构和软件架构方面进行讲述；第 5 章介绍使用 Vector DaVinci Developer 开发电机控制器的软件架构，给出了配置 SWC 模块的实例；第 6 章介绍如何使用 Simulink 进行应用层软件(例如控制算法)建模以及代码生成的相关内容；第 7 章介绍了使用 Vector DaVinci Configurator Pro 配置电机控制器的基础软件的详细步骤，包括 CAN 通信配置、MCAL 配置以及其他基础软件模块配置等内容；第 8 章介绍了电机控制器算法的运行实体配置、AUTOSAR 多核 OS 设计和代码生成的相关内容；第 9 章介绍了软件代码的集成及其测试验证的相关内容。

本书由同济大学中德学院—维克多汽车技术联合实验室,同济大学—英飞凌汽车电子联合实验室编写。基础篇主要由朱元、吴志红编写,实战篇由朱元、陆科编写。全书由朱元组织统稿,Vector 公司高路博士审阅。

本书编写过程中得到了英飞凌科技和 Vector 公司的大力支持,编者在此特别对英飞凌科技(中国)有限公司的徐辉女士、Dirk Geiger 先生、杜曦先生、张立红先生、徐晶女士、陈汉顺先生,维克多汽车技术(上海)有限公司高路博士表示衷心的感谢。同时真挚地感谢 MathWorks 公司杜建福博士百忙之中为本书 6.1 和 6.2 章节提供了素材,并亲自编写了部分初稿。最后感谢本实验室胡力兴、赵建宁、李清晨、罗梦、王磊、董涛、王惜嘉、顾尉松、李超、张翟辉、仇里森、牛佳辉、周东东、韩光江等同学的资料整理、录入工作。

本书适合具有一定嵌入式软件开发基础知识的读者,可作为高等院校本科生、研究生学习嵌入式软件开发的参考书,也可供汽车电子行业软件工程师学习和参考。

本书在编写过程中力求内容正确,书中所有的内容都经过英飞凌科技和 Vector 专家审阅,也经过作者测试,并在科研项目中得到实际的应用。但由于我们的水平有限,编写时间紧张,缺点和错误之处在所难免,敬请读者指正。

著者

2017 年 5 月于同济大学

目 录

Foreword

前 言

基础篇

第 1 章 汽车电子的软件开发	3
1.1 汽车电子系统简介	3
1.1.1 概念	3
1.1.2 分类	3
1.1.3 工作原理	5
1.1.4 发展情况	6
1.2 汽车电子系统的开发	6
1.2.1 汽车电子的组成部分:硬件和软件	6
1.2.2 硬件的开发方法	7
1.2.3 软件的开发方法	8
1.3 基于 AUTOSAR 自顶向下地开发电机控制器	8
1.4 汽车电子系统的安全性	9
第 2 章 多核单片机在汽车电子系统中的应用	11
2.1 单核单片机在汽车电子系统中的应用及局限性	11
2.2 多核单片机在汽车电子系统中的优势和软件开发中的挑战	11
2.2.1 多核处理器的优势	11
2.2.2 多核软件开发所面临的问题	12
2.2.3 AUTOSAR 规范的应用	12
2.3 英飞凌 AURIX 单片机的特点介绍	13
2.3.1 AURIX 系列单片机简介	13
2.3.2 AURIX 的整体架构	14
2.3.3 AURIX 系列单片机特色模块介绍	15
第 3 章 AUTOSAR 理论基础	23
3.1 AUTOSAR 简介	23
3.1.1 目标	24
3.1.2 方法论	26
3.2 AUTOSAR 基础软件层	28
3.2.1 微控制器抽象层	30

3.2.2 ECU 抽象层	37
3.2.3 服务层.....	39
3.2.4 AUTOSAR 操作系统	48
3.2.5 复杂驱动.....	56
3.3 AUTOSAR 运行时环境	58
3.4 AUTOSAR 应用层	59
3.4.1 AUTOSAR 软件组件	59
3.4.2 AUTOSAR 通信	61

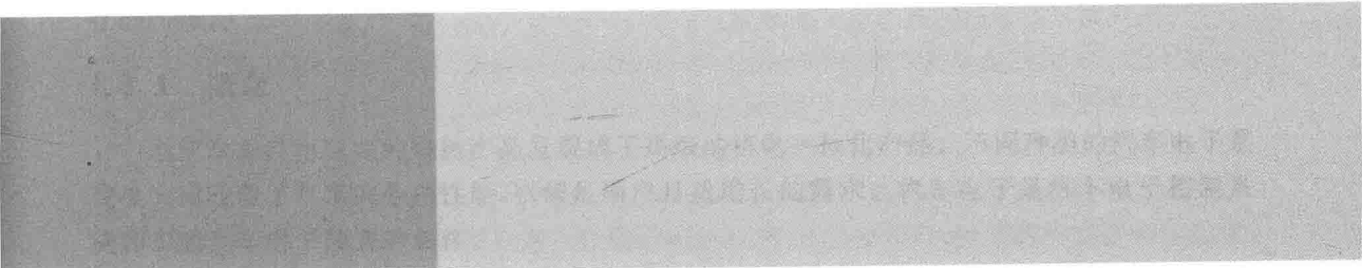
实战篇

第 4 章 新能源汽车电机控制器	65
4.1 新能源汽车及发展趋势.....	65
4.2 电机控制器的开发.....	67
4.2.1 控制算法.....	67
4.2.2 硬件结构.....	68
4.2.3 软件框架.....	73
第 5 章 使用 DaVinci Developer 开发电机控制器软件架构	76
5.1 Vector 相关工具链介绍	76
5.2 DaVinci Developer 简介	77
5.3 DaVinci Developer 入门	78
5.3.1 DaVinci Developer 安装方法	78
5.3.2 DaVinci Developer 界面说明	83
5.4 使用 DaVinci Developer 配置 SWC	87
5.4.1 软件组件设计.....	87
5.4.2 通信接口设计.....	89
5.4.3 通信端口设计.....	91
5.4.4 运行实体设计.....	93
5.4.5 函数间变量设计.....	95
第 6 章 使用 Simulink 开发应用层	97
6.1 MATLAB/Simulink 和 Embedded Coder 工具链介绍	97
6.1.1 MATLAB/Simulink——基于模型的设计工具	97
6.1.2 Stateflow——建模和仿真决策工具	98
6.1.3 Embedded Coder——代码生成和优化工具	99
6.2 开发符合 AUTOSAR 规范的应用层	100
6.2.1 AUTOSAR 客户端、服务器	100
6.2.2 AUTOSAR 标定参数	103
6.2.3 AUTOSAR 组件行为	105

6.2.4	AUTOSAR 数据类型	107
6.2.5	在 Simulink 中导入模型并开发控制算法	113
6.3	永磁同步电机的结构和物理模型	114
6.4	PMSM 数学建模	116
6.4.1	空间矢量与坐标变换	116
6.4.2	PMSM 数学模型	119
6.5	PMSM 矢量控制	120
6.5.1	PMSM 电流控制策略	120
6.5.2	空间脉宽矢量调制(SVPWM)	122
6.5.3	PMSM 矢量控制仿真模型的模块实现	125
6.5.4	坐标系变换模块和使用	125
6.5.5	电机本体模块	125
6.5.6	SVPWM 产生模块	126
6.5.7	电流环比例-积分(PI)调节器	127
第 7 章	使用 DaVinci Configurator Pro 开发电机控制器的底层软件	128
7.1	DaVinci Configurator Pro 简介	128
7.2	DaVinci Configurator Pro 入门	129
7.2.1	DaVinci Configurator Pro 安装方法	129
7.2.2	DaVinci Configurator Pro 界面说明	131
7.3	CAN 通信的配置和实现	133
7.3.1	DBC 文件的设计和建立	133
7.3.2	DaVinci Configurator Pro 中 CAN 模块配置	137
7.4	MCAL 的配置和实现	146
7.4.1	Mcu 配置	146
7.4.2	Dio 配置	152
7.4.3	Port 配置	154
7.4.4	MCAL 代码生成	157
7.5	系统服务层配置	157
7.5.1	EcuM 配置	157
7.5.2	BswM 配置	160
第 8 章	使用 DaVinci Configurator Pro 开发电机控制器 OS	163
8.1	AUTOSAR RTE 应用层软件的总体设计	163
8.2	基于多核架构的 OS 设计	165
8.2.1	OS 设计思路	166
8.2.2	使用 DaVinci Configurator Pro 设计 OS	167
8.2.3	DaVinci Configurator Pro 代码生成	172

第 9 章 代码的集成与测试	175
9.1 代码的集成	175
9.2 软件测试方法	176
9.3 软件测试	179
9.3.1 模型及算法测试	179
9.3.2 OS 测试(实时监控)	187
9.3.3 集成测试	190
参考文献	194

基础篇



第1章

汽车电子的软件开发

1.1 汽车电子系统简介

汽车电子系统是以汽车电子技术为基础的汽车结构系统,结合现代电气和电子技术、新材料和新技术,以汽车机械总成、零部件为控制对象,目的在于提高汽车整体性能(包括动力性、经济性、排放性、安全性、舒适性、操纵性等),改善和解决能源紧缺、环境污染、交通安全等社会问题。

1.1.1 概念

当前汽车已由单纯的机械产品发展成了高级的机电一体化产品。不同种类的汽车电子系统极大地改善了汽车的各项性能,以满足用户日益增长的需求。汽车电子是汽车电子控制系统和车载汽车电子装置的总称。

汽车电子系统的核心是嵌入式系统(Embedded System)。嵌入式计算机系统,简称嵌入式系统,是指面向被控对象,嵌入目标系统中,实现嵌入式应用的计算机系统。随着汽车电子技术的发展,汽车工业对于汽车嵌入式系统的开发设计以及测试,逐渐形成了自己独特的设计理念和办法,各种开发系统和工具也逐渐完善。

1.1.2 分类

按照电子系统对汽车行驶性能产生的影响,可将其分为汽车电子控制系统和车载汽车电子系统两类。

① 电子控制汽车电子控制系统:是保证汽车完成基本行驶功能不可或缺的控制系統,在此系统中电控单元通常要与机械装置、显示设备等执行机构配合使用。汽车电子控制系统通常被划分至汽车的子系统如动力传动系统、底盘电子控制系统、车身电子控制系统和其他控制系统中。

② 电子控制车载汽车电子系统:与汽车基本行驶功能无关,但是对汽车舒适性和使用性有重大提升作用的电子系统。此类产品通常从工业应用或消费电子产品转化而来。车载汽车电子系统主要位于汽车信息系统、导航系统和汽车娱乐系统中。

按照汽车电子系统的应用场合,又可以将其划分为动力、底盘、车身和娱乐这四个分系统。

1. 动力

汽车动力系统是首先采用电子系统的汽车子系统,目的是提高汽车的动力性、经济性和排放性能。

目前汽车动力系统中的典型电子系统有：

- ① 电子控制发动机燃油喷射系统(Engine Fuel Injection System,EFI)；
- ② 微机控制发动机点火系统(Microcomputer Control Ignition System,MCIS)；
- ③ 发动机空燃比反馈控制系统(Air Fuel Ratio Feedback Control System,AFC)；
- ④ 发动机怠速控制系统(Idle Speed Control System,ISCS)；
- ⑤ 发动机断油控制系统(Sever Fuel Injection System,SFIS)；
- ⑥ 发动机爆震控制系统(Engine Detonation Control System,EDCS)；
- ⑦ 加速踏板控制系统(Electronic control Accelerator Pedal System,EAP)；
- ⑧ 发动机进气控制系统(Engine Intake Air Control System,EIACS)；
- ⑨ 燃油蒸气回收系统(Fuel Evaporative Emission Control System,FECS)；
- ⑩ 废气再循环控制系统(Exhaust Gas Recirculation Control System,EGR)；
- ⑪ 可变气门定时控制系统(Volatile Valve Timing Control System,VVT)；
- ⑫ 汽车巡航控制系统(Cruise Control System,CCS)；
- ⑬ 车载故障自诊断系统(On-Board self-Diagnosis System,OB D)。

2. 底盘

在汽车底盘上采用的典型电子系统有：

- ① 电子控制自动变速系统(Electronic Controlled Transmission System,ECT)；
- ② 防抱死制动系统(Anti-lock Braking System,ABS)；
- ③ 电子控制制动力分配系统(Electronic Brakeforce Distributing System,EBD)；
- ④ 电子控制制动辅助系统(Electronic Brake Assist System,EBA)；
- ⑤ 车身稳定性控制系统(Vehicle Stability Control,VSC)；
- ⑥ 驱动轮防滑转调节系统(Acceleration Slip Regulation System,ASR)；
- ⑦ 电子控制悬架系统(Electronic Control Suspension System,ECS)；
- ⑧ 电子控制动力转向系统(Electronically Controlled Power Steering System,EPS)；
- ⑨ 轮胎中央充放气系统(Central Inflate and Deflate Control System,CIDC)；
- ⑩ 差速器锁止控制系统(Vehicle Differential Lock Control System,VDLS)。

3. 车身

车身控制部分的汽车电子系统,主要控制对象是汽车座椅、车门、灯光和雨刮等部件,同时还包括必不可少的安全及报警装置如安全气囊、报警蜂鸣器和警示灯等。典型车身电子系统有：

- ① 辅助防护安全气囊系统(Supplemental Restraint System,SRS)；
- ② 安全带紧急收缩触发系统(Seat-belt emergency Retracting Triggering System,SRTS)；
- ③ 座椅位置调节系统(Seat Adjustment position Memory System,SAMS)；
- ④ 雷达车距报警系统(Radar Proximity Warning System,RPW)；
- ⑤ 倒车报警系统(Reverse Vehicle Alarm System,RVAS)；
- ⑥ 防盗报警系统(Guard Against Theft and Alarm System,GATA)；
- ⑦ 中央门锁控制系统(Central Locking Control System,CLCS)；
- ⑧ 前照灯控制与清洗系统(Headlamp Adjustment and Wash System,HAW)；

⑨ 挡风玻璃刮水与清洗控制系统(Wash/Wipe Control System, WWCS);

⑩ 自动采暖通风与空气调节系统(Heating, Ventilation and Air-Conditioning System, HVAC)。

4. 娱乐

汽车娱乐信息系统是利用多媒体、无线通信、操作系统和软件等多种技术实现多媒体娱乐、车载 GPS 导航、无线上网、无线通信、移动办公等功能,提高驾驶的安全性和舒适性的娱乐信息电子系统。随着车联网和消费电子的迅速发展,越来越多的功能和应用必将在汽车平台上出现。典型娱乐电子系统有:

- ① 车载信息服务(Telematics);
- ② 人机界面(Man Machine Interface, MMI);
- ③ 车载卫星定位导航系统(Global Positioning System, GPS);
- ④ 收音机(Radio);
- ⑤ 后座娱乐系统(Rear Seat Entertainment System, RSE);
- ⑥ 车载音响系统(Amplifier);
- ⑦ 车载视频系统(DVD Video System, DVS);
- ⑧ 车载电视系统(Television System);
- ⑨ 车载电话(Car Telephone, CT);
- ⑩ 车载逆变器(Power Inverter)。

1.1.3 工作原理

从控制原理来看,除去网络和电子诊断系统,汽车电子可以简化为三部分:信号输入装置、电子控制单元(ECU)和执行器。其基本组成如图 1.1 所示。

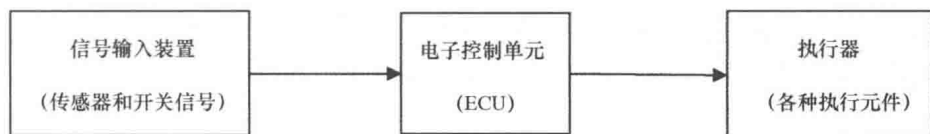


图 1.1 汽车电子控制系统的基本组成

① 信号输入装置:包括传感器和开关信号。传感器用来检测和采集汽车各种工况,如发动机转速、进气温度等,并按一定规律将各种非电量信号(物理量、化学量、生物量等)转换为电信号输送给 ECU。开关信号则用于向电子控制单元发送某一设备的即时操作信号,如点火信号等。

② 电子控制单元:是以单片机为核心的电子控制装置,具有强大数学运算与逻辑判断、数据管理和数据处理功能。电子控制单元可以分为硬件和软件两部分,硬件部分是构成电子控制单元的物理元器件,软件部分是实现电子控制单元控制功能的指令和数据系统。电子控制单元对传感器传来的信号进行处理,然后利用控制指令控制执行器按指令动作。

③ 执行器:由 ECU 控制,执行某种控制功能的装置,是控制系统对控制对象实施调控的关键部分,其性能的好坏对控制效果影响极大。

随着现代控制理论的发展,汽车电子系统能够适应更加复杂的多变量系统。目前,各个汽车制造厂家开发并应用的电子控制系统不一而足,系统控制功能、控制内容、控制算法、控制参

数和控制精度各有千秋,采用的控制部件的数量和类型不尽相同。但是,不管控制系统是否复杂,其控制逻辑都离不开现代控制理论和电子控制技术。

1.1.4 发展情况

汽车电子系统的发展主要有两个原因:用户和社会对汽车的更高要求及电子技术的发展。用户对于汽车性能的追求和整个社会对于汽车所造成的社会问题的考虑和法规对策,以及大规模集成电路、微型计算机、传感器和互联网技术等新兴科技的发展,给汽车电子系统的发展提供了动力支持和技术保证。

汽车电子技术的发展可以大致分为三个阶段:

① 从 20 世纪 50 年代中期到 70 年代中期,是采用分立的电子元件或集成电路组成电子控制器进行控制的时期。该阶段主要以改善零部件技术性能而对汽车产品实施技术改造,表现为电子装置代替某些机械部件,如晶体管收音机、交流发电机、电子调节器等在车辆上的使用。

② 从 20 世纪 70 年代末期到 90 年代中期,是微型计算机控制时期。这一阶段的主要特征是广泛采用机电一体化装置,解决机械系统无法解决的复杂的自动控制问题。主要针对汽车的安全、环保及节能三大问题,研发并应用了电控汽油喷射系统、防抱死制动系统、电控点火系统和自动变速控制系统等,标志着汽车真正进入了电子化时代。

③ 从 20 世纪 90 年代中期开始,车载局域网逐渐成熟,应用日渐广泛。电子技术被应用于汽车的底盘、车身、发动机等各个方面。车载局域网主要强调以“人一车一环境”为主线的系统整体优化,利用计算机网络信息技术,采用集中控制系统将多个控制功能集中在一个功能强大的控制器完成,从而实现多目标整体性能的最优化。如今,车辆的智能控制技术兴起,模拟人的思维和行为进行控制,例如汽车自动驾驶系统、车联网等智能技术的研究。

目前,普通汽车上的电子系统成本可占汽车整车成本的 25%~30%。电动化、网联化和智能化已经成为汽车技术的发展方向,汽车电子发展前景广阔。

1.2 汽车电子系统的开发

汽车电子系统的核心是由微控制器、外围电路及相关软件构成的电子控制单元(ECU),也称作汽车嵌入式系统(Automotive Embedded System, AES)。嵌入式系统是由硬件和软件两个部分组成,因此汽车电子系统的开发也分为硬件和软件这两个层面。

1.2.1 汽车电子的组成部分:硬件和软件

一般汽车电子系统的硬件由电源,微处理器/控制器,数/模、模/数转换单元,通信单元以及一些输入/输出接口组成。随着电子技术的发展,现代汽车中的电子控制单元越来越多,用以对不同子系统进行控制和检测。因此,系统与系统间如何进行及时有效的通信与协调就變得至关重要。

除了硬件系统,还必须配备相应的软件系统。软件系统包括设备驱动层、嵌入式操作系统、应用程序接口层以及应用程序层。

对于简单的汽车电子系统,可以没有嵌入式操作系统,仅存在设备驱动程序和应用程序,