

上海理工大学

本科毕业设计（论文）

针对欧洲的TPMS系统轮胎检测部件设计与实现

姓 名	翁家麒
学 院	计算机与电气工程学院
专 业	计算机科学与技术
指导教师	孙国强
完成日期	2008年5月

针对欧洲的TPMS系统检测部件的设计与实现

摘 要

随着中国汽车消费的持续增长，人们开始越来越多的关注行车安全问题。汽车在高速行驶过程中，轮胎故障是所有驾驶员最为担心和最难预防的，也极易引发致命的交通事故。TPMS（Tire Pressure Monitoring System）——轮胎气压智能监测系统无疑是预防爆胎的关键，它主要用于在汽车行驶时对轮胎气压进行实时监测，及时发出漏气、低压、高压和高温报警，以保障行车安全。

本论文所涉及的就是针对欧洲的TPMS系统检测部件的硬件和软件设计。对检测部件的要求是：利用GE公司的传感器芯片NPXII，测量出轮胎的状态，通过MAX公司的RF发射芯片MAX1479，将检测是数据发送到接收处理系统TPMS系统，系统可以进行压力、温度和速度等指标检测。

TPMS系统通过对轮胎气压的监测，及时产生报警信息，确保驾驶员在行车过程中的人身安全。在不久的将来，该系统会得到广泛的应用。

关键词：无线传输；轮胎压力监测系统；传感器；单片机

Europe TPMS system's Monitoring unit Design and Realize ABSTRACT

With the constant growth of Chinese consumption of car, people have more and more attention on driving security issue. At high-speed driving, having a flat is the most worried incident and the hardest to prevent for all drivers, but also extremely easy to cause fatal traffic accident. TPMS, Tire pressure monitoring system, no doubt the key to preventing tire breakdown, is mainly used in real-time tire pressure monitoring. Thus it's able to release low pressure and air leak alarm in time, safeguard driving safety.

This paper involves the hardware and software design and realize of Europe TPMS system's monitoring unit. The requests of monitoring unit are: use of GE's sensor chip NPXII, measure the status of tire, and than through MAX's launch chip RF MAX1479, send the monitored data to the receive system, TPMS system. The system will do some calculation of this data such as pressure, temperature, speed and so on.

TPMS system releases the alarm promptly by monitoring tire pressure, to ensure drivers' safety in driving process. Soon, the system will certainly have widespread applications on GSP vehicle carried system.

**KEYWORDS: Wireless Transmission; Tire Pressure Monitoring System;
Transducer; MCU**

第一章 序 论.....	1
1.1 TPMS系统概述.....	1
1.2 TPMS系统构成.....	1
第二章 系统硬件设计开发.....	3
2.1 系统硬件设计需求以及功能指标要求.....	3
2.2 RF发送芯片选择	5
2.2.1 芯片选择中要考虑的一些指标.....	5
2.3 MAX 1479多功能发射芯片.....	6
2.4 传感器选择.....	10
2.5 硬件电路设计.....	15
3.1 MCU软件开发概述.....	18
根据硬件设计方案，在RIDE集成开发环境以及GE的多功能仿真器下，进行软件编写。由NPXII 传感器测出轮胎的轮胎数据传送给MCU，由MCU进行计算，再传输给MAX1479进行信号转换， 最后由天线发出ASK无线射频信号。	18
整个程序分为初始化设置、传感器测量、警报单位转换、发射条件判断、曼码发射和低频唤醒等 多个模块。其中传感器测量又分温度测量、压力测量、加速度测量和电压测量这4个模块。在后 面几节将分别对总体系统和各个模块的设计、实现进行详细的说明。	18
3.2 程序总流程图	18
3.3 相关模块分析和实现.....	19
第四章 本系统的一些技术参数和法规介绍.....	28
第五章 总 结	32
致 谢.....	33
参考文献.....	34
附 录.....	35
附录A：外文资料翻译—原文部分	35
附录B：外文资料翻译—译文部分	40

第一章 序 论

1.1 TPMS系统概述

TPMS (Tire Pressure Monitoring System)汽车轮胎压力监视系统，主要用于汽车实时监测车胎的压力和温度，并对车胎压力和温度非正常现象进行报警，以保障行车安全。美国汽车工程师协会的调查统计表明，美国每年有26万起交通事故是由于轮胎故障引起的，而75%的轮胎故障是由轮胎气压不足或渗漏造成的，爆胎造成的经济损失巨大。有鉴于此，在2000年美国国会通过了TREAD法案。TREAD法案的要求之一就是到2007年，所有在美国销售的汽车都必须安装轮胎压力监视系统。

目前，TPMS主要分为两种类型：一种是间接式TPMS，它通过汽车ABS的轮速传感器来比较轮胎之间的转速差别，以达到监视胎压的目的，其缺点是无法对两个以上轮胎同时缺气的状况和速度超过100公里 / 小时的情况进行判断。另一种是直接式TPMS，它利用安装在每一个轮胎里的以锂离子电池为电源的压力传感器来直接测量轮胎的气压，并通过无线调制发射到安装在驾驶台的监视器上。监视器随时显示各轮胎气压，驾驶者可以直观地了解各个轮胎的气压状况，当轮胎气压太低、渗漏、太高、或温度太高时，系统就会自动报警。

1.2 TPMS系统构成

一般TPMS系统由RTPM模块- 远程轮胎压力监视模块 (Remote Tire Pressure Monitoring) 和中央监视器。

RTPM模块直接安装在每个轮胎里测量轮胎压力和温度，并将测量得到的信号通过高频无线电波 (RF) 发射出去。一个车胎TPMS系统有4个或5个（包括备用胎）RTPM模块。

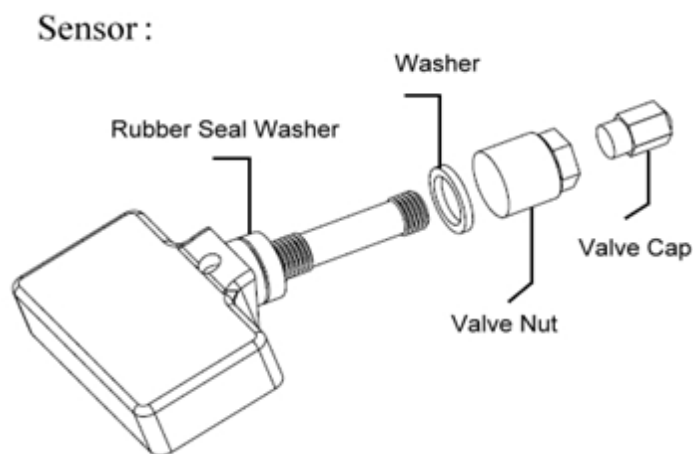


图1-1 RTPM模块分解图



图1-2 RTPM模块安装以及外观

中央监视器接收RTPM模块发射的信号，将各个轮胎的压力和温度数据显示在屏幕上，供驾驶者参考。如果轮胎的压力或温度出现异常，中央监视器根据异常情况，发出不同的报警信号，提醒驾驶者采取必要的措施。

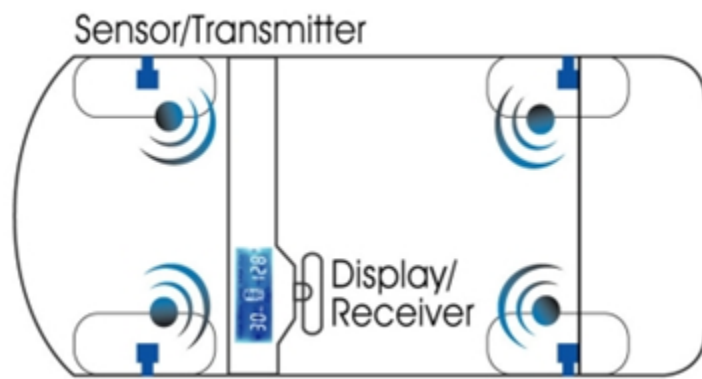


图1-3 模块安装分布图示

第二章 系统硬件设计开发

2.1 系统硬件设计需求以及功能指标要求

本系列的TPMS需要进行RF接收/发送芯片组、传感器和主机MCU的选择。我主要关注的是检测发送部件，在之后的章节将逐步地对目前的一些主流芯片、传感器和MCU进行介绍。

TPMS检测发射部件由RF多功能发射芯片、天线、传感器和MCU组成。传感器检测出轮胎的压力和温度值传给MCU后，由MCU进行计算，然后通过RF发送芯片进行编码，将得到的ASK/FSK射频信号发射出去。

下表为轮胎压力检测系统的功能指标规格说明书

表1-1 轮胎压力检测系统功能指标规格说明

压力监测范围:	0 ~ 72 psi (0 ~ 4.5 Bar)
传输频率	433.92MHZ
传输功率:	10dBm (传感器)
电池寿命(传感器)	超过五年 3.6V
操作温度范围 (传感器)	-22°F ~ 221°F (-30°C to 105°C)
操作温度范围 (显示屏)	-22°F ~ 185°F (-30°C to 85°C)
压力误差 (传感器)	± 1 psi 在正常压力范围
温度误差 (传感器)	±7.2°F (± 4°C) 在正常环境
操作电流(显示屏)	200mA with Alarm, 70mA without Alarm
重量(传感器)	1.587 oz (45g)
电源供应(LCD 显示屏)	12V DC

一个RTPM模块由以下几个部分组成:

- 压力传感器——测量轮胎内部压力
- 微处理器——管理所有外围设备，进行压力、温度、加速度和电池电压的测量、补偿、校准等工作，以及RF发射控制和电源管理
- 温度传感器——测量轮胎内部温度
- 加速度传感器或开关——车辆移动检测，触发模块唤醒信号

- RF射频发射电路——将检测的进行压力、温度、加速度和电池电压用RF射频信号发射出去
 - 电池/电能收集器——提供所有电能需要的电能
 - LF（低频）天线——接受中央监视器发来的LF唤醒信号，并可实现与中央监视器的双向通讯功能
- 系统设计如图2-1所示。

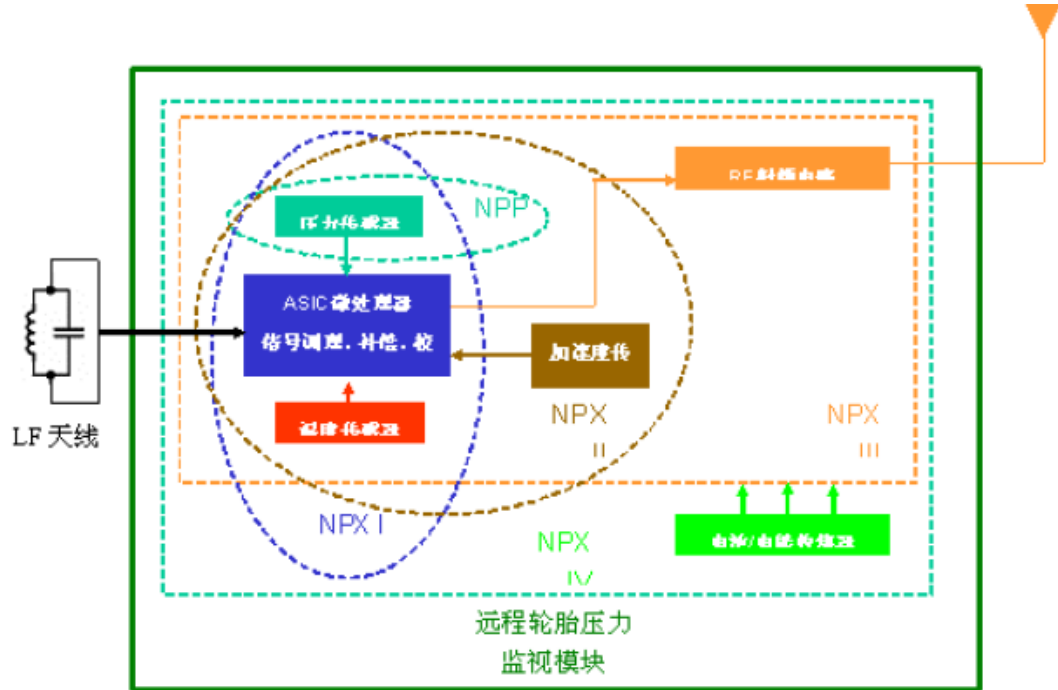


图2-1 RTPM模块设计图

2.2 RF发送芯片选择

2.2.1 芯片选择中要考虑的一些指标

调制信号选择：可以采用ASK和FSK模式，如果考虑大车，FSK比ASK模式好，抗干扰能力强。

天线匹配电路（完成功率驱动等）：其设计比较复杂（天线的电阻值、电感值离散性，匹配电路电感的离散性）。系统设计需要进行比较多的试验，确定参数，恰当的冗余设计比较难。大批量生产可能有一定的问题。

外围电路器件：个数，特别是电感的个数——影响系统的性能稳定性和成本，以及一次成品率。

2.2.2 天线的选择

盘式天线：目前在汽车压力检测中应用较多。优点是R F 范围大，缺点是参数的离散性大。

鞭型天线：方向性比盘式天线差，参数离散性比盘式天线小。

PCB天线：工艺最简单，参数比较好控制，方向性差。

建议选择盘式天线或PCB天线。天线的选择取决于发射芯片和PCB板的空间。

2.2.3 一些主流厂商的芯片组介绍

MAX公司芯片组1472和1473——ASK模式，频率300- 450MHz，需要天线匹配电路和上拉电感，采用盘式天线。

MAX公司芯片组1479和7042——FSK模式和ASK模式，频率315—434 MHz，需要天线匹配电路，控制比1472芯片复杂，采用盘式天线。

MAX公司芯片7032——ASK或FSK模式，频率300—450 MHz，优点是可以进行双向通讯，保证数据传送的可靠性。

ATMEL公司芯片——6285（315MHz）/6286(433MHz) ，ASK和FSK模式，工作电流8.5mA，有低频唤醒信号输入端。

ATMEL公司低频信号芯片组5275和5283——5275产生125KHz的低频唤醒信号，需要天线匹配电路；5283接受125KHz的低频唤醒信号。

芯片组MC33493和33594 ——FSK模式，频率315—434 MHz 和 868—928 MHz，需要天线匹配电路。

NRF905芯片——频率433、868和915 MHz ，优点是可以进行双向通讯，保证数据传送的可靠性。

TDK芯片发送芯片5100F——ASK和FSK模式，频率434MHz，5dBm。

MICRF芯片组001和102——ASK模式，频率300—470 MHz ，PCB天线，芯片内部有天线匹配电路。

2.2.5 本系统的芯片选择

通过系统的设计定位，以及价格等，本系统最终选定了MAX公司的1479和7042芯片组，后一节将会从各个角度来详细的介绍MAX 1479多功能发射芯片。

2.3 MAX 1479多功能发射芯片

2.3.1 概述

MAX1479基于晶振的锁相环(PLL) VHF/UHF发送器设计用于在300MHz至450MHz频率范围内发送ASK、OOK和FSK数据。MAX1479在ASK模式下支持达100kbps的数据速率，在FSK模式下为20kbps（两者都使用曼彻斯特编码）。该器件为 50Ω 的负载提供大于+10dBm的可调节输出功率。MAX1479基于晶振的结构具有更大的调制深度、更快的频率稳定速度、更高的发送频率容限和对温度更小的依赖性，这些特点消除了基于SAW发送器的许多常见问题。当MAX1479与MAX1470、MAX1471、MAX1473或MAX7033这些超外差接收机一起使用时，上述的那些改进能够帮助实现更好的整体接收机性能。MAX1479采用16引脚薄型QFN封装(3mm x 3mm)（见图2-2），工作在 -40°C 至 $+125^{\circ}\text{C}$ 的汽车级温度范围内。

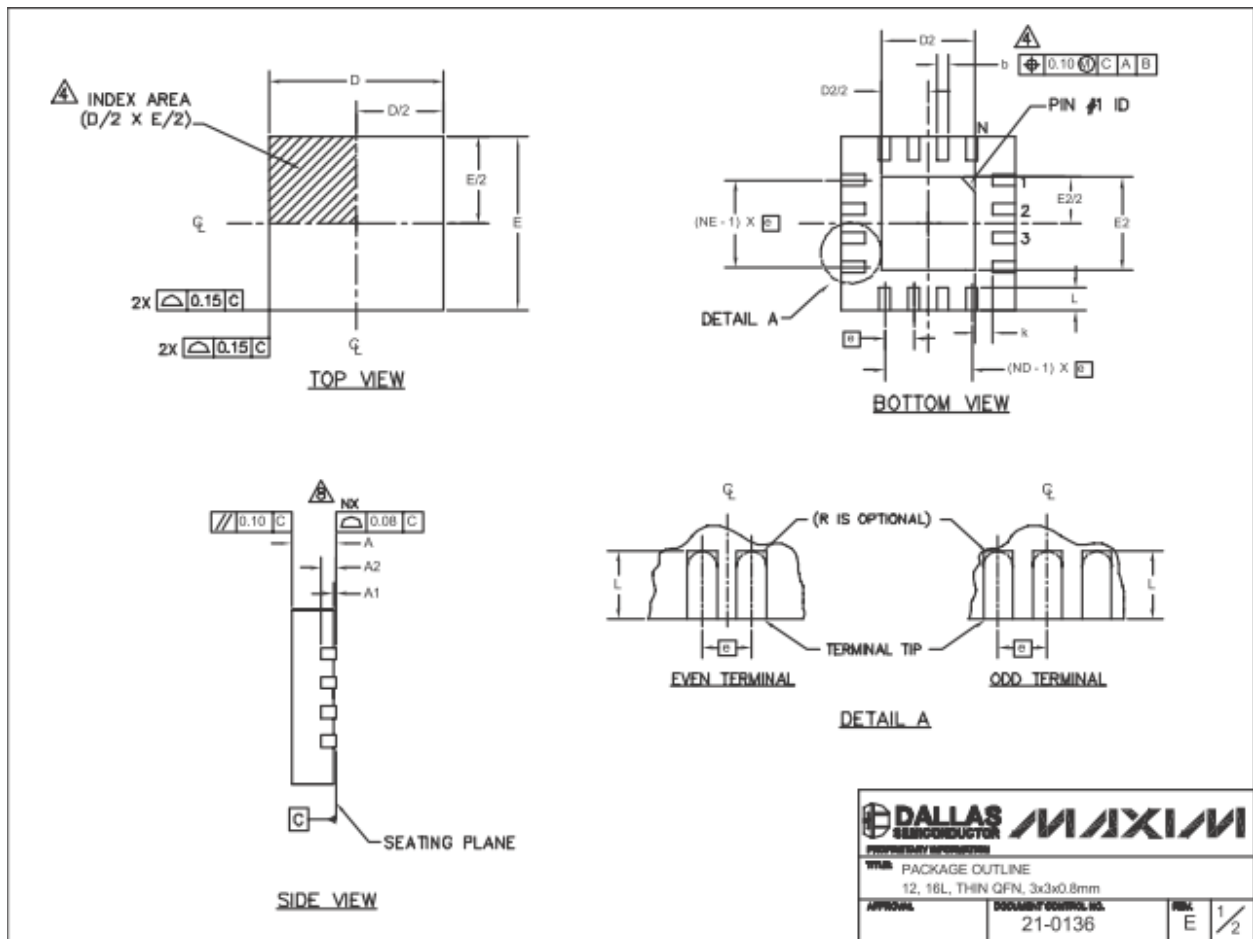


图2-2 MAX1479 封装图

2.3.2 MAX 1479特性介绍

- 符合ETS的EN300 220
- +2.1V至+3.6V单电源工作
- 支持ASK、OOK和FSK调制

- 可调节的FSK偏移
- 给50Ω负载提供+10dBm输出功率
- 低电源电流（ASK模式下为6.7mA，FSK模式下为10.5mA）
- 使用小的低成本晶振
- 小尺寸16引脚薄型QFN封装
- 快速开启振荡器，200μs启动时间
- 可编程的时钟输出

2.3.3 MAX 1479芯片引脚

芯片引脚如图2-3

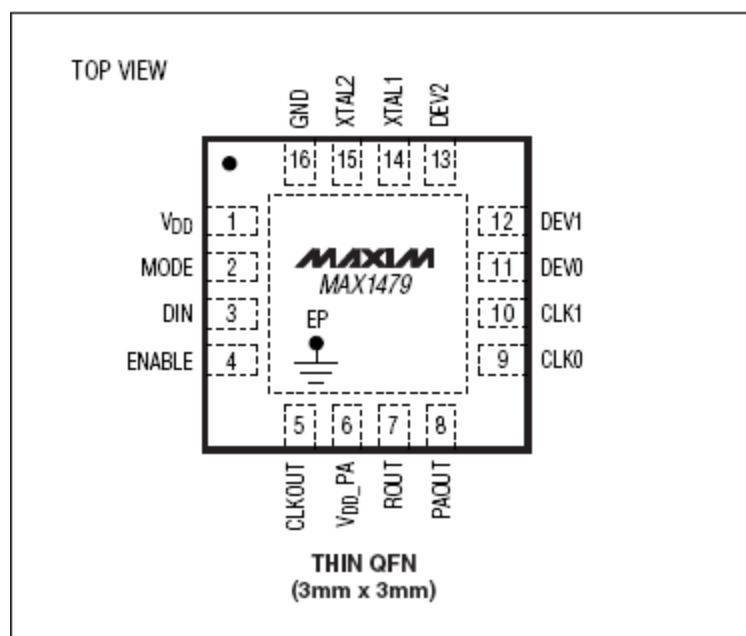


图2-3 MAX1479引脚图

MAX1479引脚说明

表2-1 MAX1479引脚说明

引脚号	引脚名	功能
1	VDD	提供电压，绕过GND，管脚与10nF和220pF的电容器越近越好
2	MODE	模式选择，模式使能端为0为ASK模式，1为FSK模式
3	DIN	数据输入，在ASK模式下DIN端为高电平时功率放大器打开，在FSK模式下DIN端为高时频率为高频率
4	ENABLE	待机/电源输入，使能端设置为低电平时为待机模式

5	CLKOUT	缓冲时钟输出，通过CLK0和CLK1进行编程
6	VDD_PA	供应电压能量放大器，绕过GND，管脚与10nF和220pF的电容器越好
7	ROUT	封装整形输出，ROUT控制能量放大器的封装的高和低。绕过GND，管脚与10nF和220pF的电容器越好
8	PAOUT	能量放大器输出，需要一个上拉电阻来供应电压，这是对于天线的输出匹配网络的一部分
9	CLK0	第一时钟分频器设置
10	CLK1	第二时钟分频器设置
11	DEV0	第一FSK频率偏差设置
12	DEV1	第二FSK频率偏差设置
13	DEV2	第三FSK频率偏差设置
14	XTAL1	第一晶振输入
15	XTAL2	第二晶振输入
16	GND	地，系统接地
-	EP	是能量放大器的接地端，它必须通过一个低电感连接到PCB板上

2.3.4 MAX1479设计框图

MAX1479框图如图2-4所示：

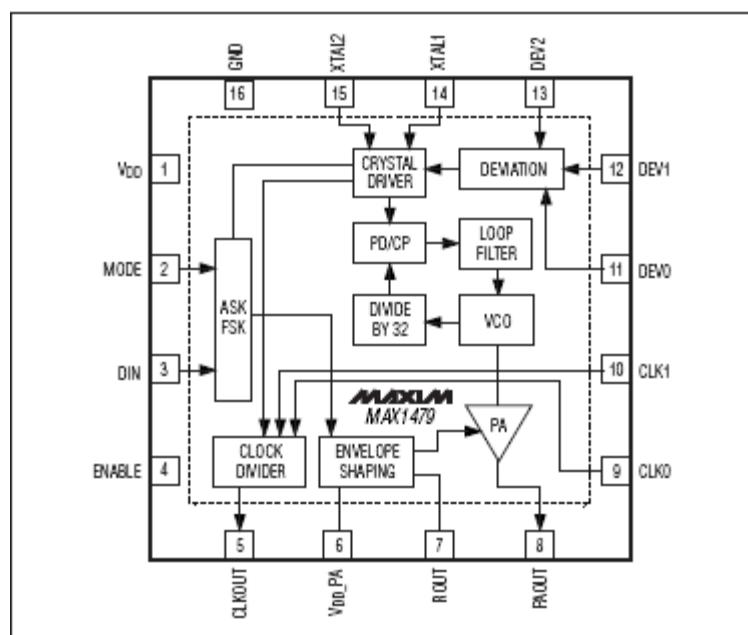


图2-4 MAX1479功能框图

2.3.5 MAX1479芯片外围电路设计

MAX1479外围电路设计的参数如图2-5所示。

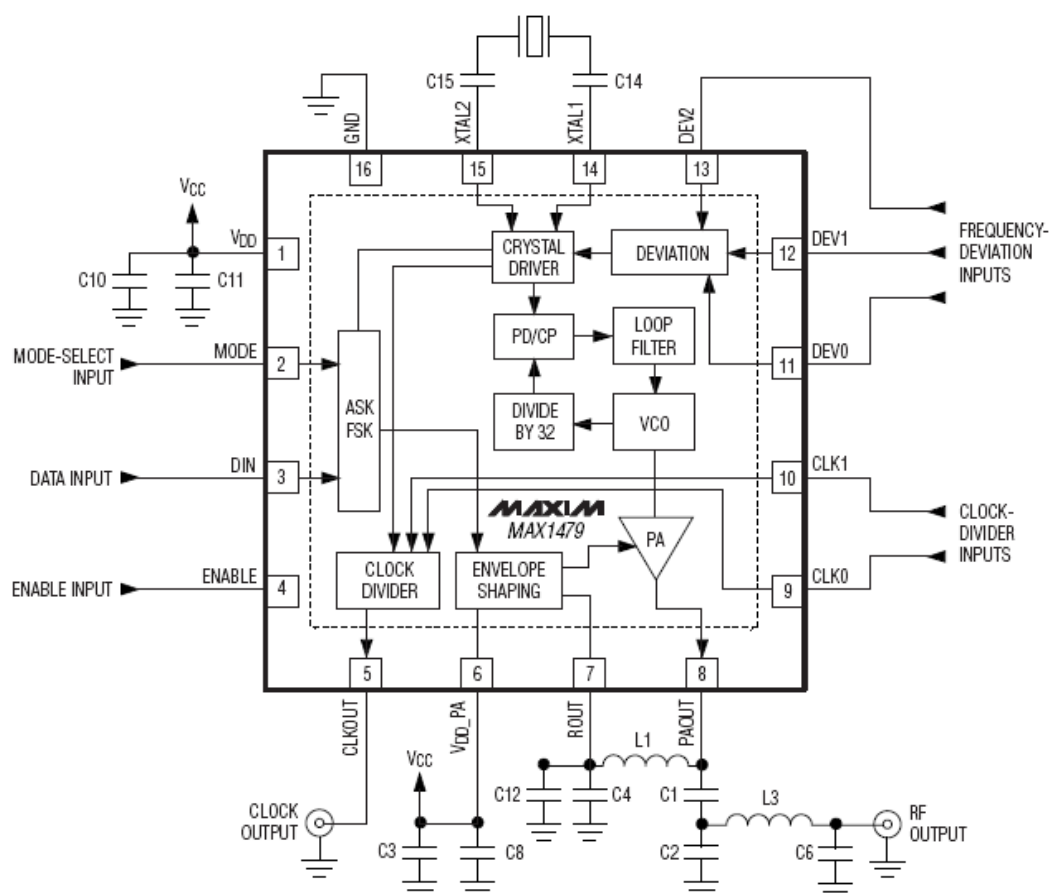


图2-5 MAX1479外围电路设计

2.4 传感器选择

2.4.1 概述

目前推荐的传感器是：MPX8020、NPX2、SP12和SP30。MPX8020是电容传感器，NPX、SP12和SP30是电阻传感器。使用的便利性是电容传感器，是电阻传感器。

从系统的结构和今后的发展，建议采用NPX2或SP30。

优点：节省功耗，系统体积小，可以配的RF发射器芯片多。

缺点：可能成本高。

如果NPX2或SP30价格相当，推荐采用GE的NPX2。目前两者的功能基本相同，但是按GE的计划在2009年要推出NPX3，其将传感器、MCU和RF发射器进行了集成。现在使用NPX2可以熟悉GE产品的性能，为今后的升级作技术和关系准备。

2.4.2 NPX系列传感器简介

从1995年开始，GE NovaSensor就开始为TPMS系统提供压力传感器。至今已有远超过1000万片的压力传感器在汽车轮胎里使用，总失效率仅为百万分之一（1ppm）。在TPMS系统压力传感器领域，GE NovaSensor处于全球领导地位，是世界上最大的TPMS系统压力传感器供应商。

拥有近10年在TPMS领域的成功经验，以及与全球大客户密切的合作，GE不断针对该系统推出新的产品，以满足市场上对灵活、客户定制性能/解决方案和降低总体成本的需要，同时也代表了全球TPMS传感器市场的发展方向。

从2004年初开始，GE的第二代智能型TPMS压力传感器NPX I开始批量供货。NPX I集成了硅压力传感器、电压传感器、温度传感器、8位RISC微处理器，大容量存储器以及一个LF输入级，所有的测量信号都以数字信号输出，便于客户直接调用。同时NPX中固化了压力、温度和电池电压的测量、补偿和校准程序，以及其它如曼彻斯特编码的子程序，可供客户直接调用，大大简化了客户的编程代码，并能得到最好的测量结果。GE可以提供一个可编程版本的传感器，使用户可以下载应用程序代码到一个可电擦写的EROM中，客户的大批量生产版本的传感器亦可使用掩膜ROM工艺生产，以进一步降低成本。

2007年下半年开始，NPX II的样品可以向客户提供，并于2007年底开始批量供货。与NPX I相比，NPX II除了具有NPX的所有功能外，还集成了一个加速度传感器。此加速度传感器同样采用GE先进的并且久经验证的MEMS工艺加工而成，比加速度开关具有更高的可靠性和稳定性（GE独有的多晶硅稳定性专利，可承受5000g的加速度），并输出连续的加速度值，供客户灵活选择触发阈值。

2009年，GE将推出NPX III。NPX III具有NPX II的所有功能，同时将RF发射电路也集成在同一个芯片上。随后，GE又将推出具有革命性意义的无需电池的TPMS传感器NPX IV。NPX IV内部集成了一个由GE美国研发中心研发的集电装置（GE专利，完全区别于目前的无电源概念），为RTPM模块中所有其它的元件源源不断地提供电能。这将简化RTPM模块的电路设计，软件设计，提高TPMS系统的测量频次，并且将RTPM模块的重量降至最低，最终达到降低系统成本的要求。同时，由于摒弃了电池，必将能满足世界各国对电子设备越来越严厉的环保要求。

2.4.3 NPX传感器特性

图2-6是NPX的内部功能框图及典型应用电路。可以看出，只需配备简单的外围电路，就可以组成一个完整的RTPM模块。NPX的主要功能特性如下：

- 久经验证的压力传感器
- 8位RISC（精简指令）微处理器

- 12 位ADC
- 4k字节闪存(E-ROM)
- 4k ROM系统程序
- 128 字节RAM
- 128 字节EEPROM
- LF（低频）接口电路
- LF、定时、加速度传感器、外部（运动开关）4种唤醒方式
- 运行、空闲、停机、热保护停机4种工作状态
- 压力、温度和电池电压的测量、补偿和校准
- 兼容轮胎压力介质
- 450, 700, 和1400kPa绝压压力范围，另可以定制量程范围
- 传感器断线检测
- 芯片内置温度传感器
- 电池电压测量
- 电池管理 - 最小化功耗
- 芯片内置高温停机功能
- 看门狗/时间间隔定时器

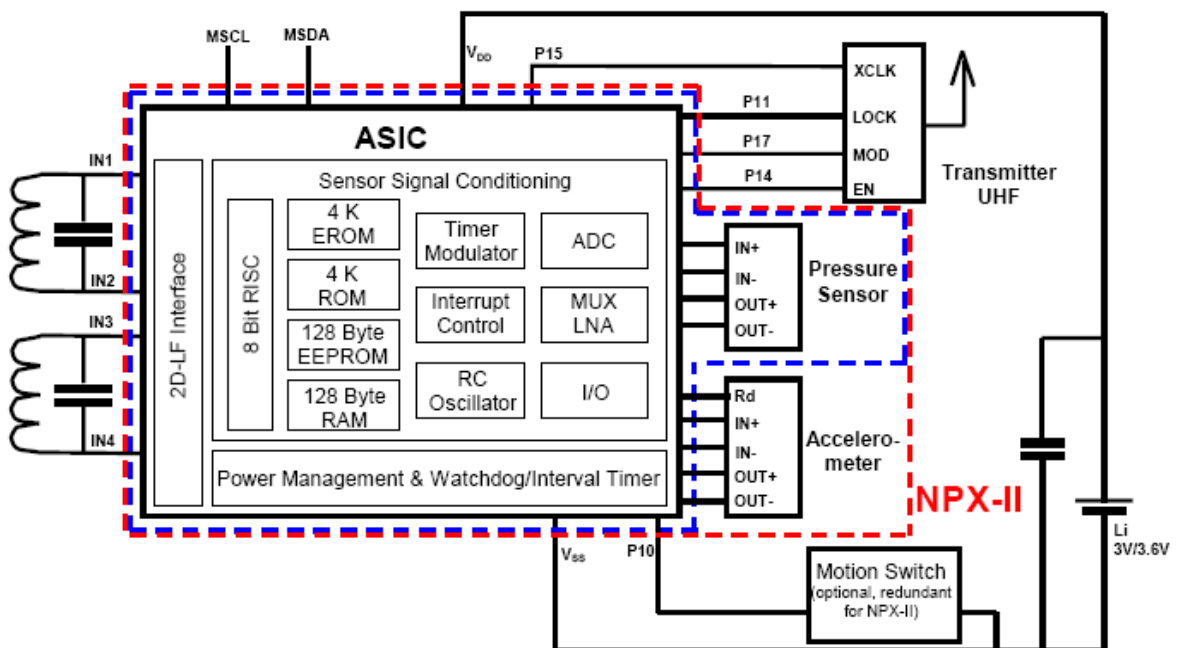


图2-6 NPX功能框图

2.4.4 NPX传感器的独特优势

NPX体现了传统压力传感器与微处理器数字电路的完美结合，具有适合TPMS应用的独特优势。

压力的测量、补偿和校准

NPX中固化了压力传感器的测量、补偿和校准程序。每一个NPX芯片在生产时，由工厂在不同温度点（25°C和75°C）、不同压力点（满量程的0%、50%、100%）和不同电池电压点（2.3V、3.1V）采集12组数据，经过GE NovaSensor专用的校准公式计算，将补偿和校准参数保存在NPX的EEPROM中。在测量时，由固化的压力补偿校准程序自动地对测量的数据进行计算，获得一个准确的测量值。在生产过程中，每一个NPX还将在25°C和125°C下进行验证测试，以保证可靠性。

对温度和电池电压的测量，也进行类似校准和验证过程，以保证每一个测量数据精确可靠。

对于TPMS开发者，只需一个调用指令，即可获得准确的测量数据。一方面，开发者可省去用于建造压力、温度验证设备的昂贵投资，以及用于RTPM模块的校验时间。另一方面，调用包括NPX中固化的如曼彻斯特编码的等其它子程序，可以大大简化RTPM模块的编程，加快TPMS系统的开发，最终为开发者降低成本，以及在大批量生产时提高单位时间的产量。

传感器断线检测

TPMS系统的压力传感器模块是在极端条件的环境下工作的，如高温（100°C以上）、低温（-40°C）、水汽（低温冷凝水结冰，GE NPX传感器具有独特的抗冷凝水结冰功能）、旋转加速度（可达2000g）、振动冲击等情况。GE NPX在每次压力测量后，都会采用一段内置代码对传感器的健康状态进行检测，以保证测量结果的可信度。这样就可以在传感器发生故障时，即时地发出警告信号，最大限度地保证驾驶者的安全。

目前，NHTSA提案中对TPMS为数不多的技术标准亦要求TPMS系统具有自动检测功能，并能自动报警，以确保TPMS能正常工作。而GE早在设计之初就已充分考虑到TPMS系统的安全性和可靠性。

LF唤醒方式

除了具有卓越的性能以外，NPX还给予了客户最大的设计灵活性。例如RTPM模块的唤醒方式，用户可以选择定时唤醒方式、LF唤醒方式、加速度传感器唤醒方式或者外部唤醒方式（如加速度开关），或者以上4种唤醒方式的组合，以满足不同TPMS应用的具体需求。

与市场上其它产品相比，GENPX传感器具有一个独特的唤醒方式：LF（低频）唤醒方式。通过LF唤醒方式，TPMS系统可以通过LF触发信号，在任何需要的时候主动唤醒RTPM模块发送数据。例如在刚刚发动汽车时，用户即可获得各个轮胎的压力温度数据（甚至包括备用胎的数据），而不必等到汽车开到几十公里时速后才能获得。在不需要的时候，可以让RTPM模块一直处于停机状态，从而最大限度地降低RTPM模块的电量消耗，延长电池的使用寿命。

F方式同样可向RTPM模块传送数据，对RTPM模块进行参数设定，从而实现外部中央监视器与RTPM模块的双向数据通讯。

LF方式还可以实现其它唤醒方式所不具有的功能：自动轮胎定位功能。一般TPMS系统在安装时，需要将标有轮胎位置信息的RTPM模块安装在相应的轮胎里，如“FL”须安装在左前轮里，“FR”安装在右前轮里。不能装错，否则系统显示的轮胎压力与实际位置不符。在进行轮胎的位置置换保养后，需要对TPMS系统的参数重新进行设置，以使系统能够正确反应更改后的轮胎位置。由于LF信号（125kHz）的近场效应，TPMS系统可以通过单独触发各个RTPM模块，收集每个RTPM模块的身份识别码，从而自动确定轮胎位置。

同样TPMS系统通过单独触发各个RTPM模块，可以依次收集各个轮胎的数据，避免定时随机方式可能发生的数据发送“撞车”事件，提高了数据发送成功率。如果由于各种干扰因素，某次数据发送失败，中央监视器可以让RTPM模块再次发送一次，确保数据100%的可靠传输。

2.4.5 NPXII传感器的外观以及引脚介绍

图2-7和2-8分别为NPXII传感器的正面压力孔和反面压力孔的引脚图：

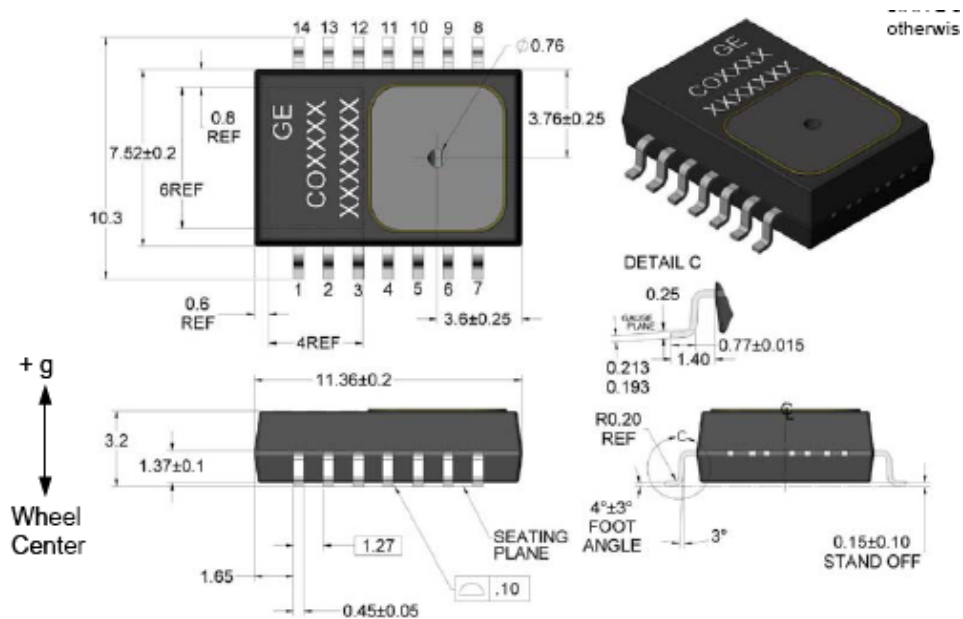


图2-7 正面压力孔引脚图

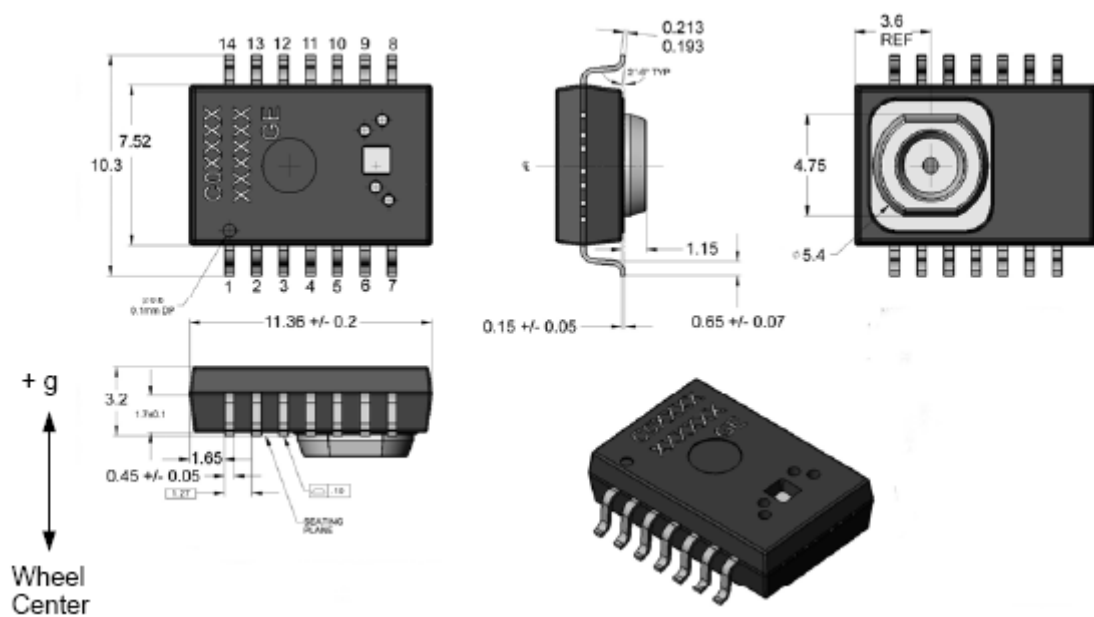


图2-8 反面压力孔引脚图

表2-2NPXII正面压力孔引脚功能：

引脚号	引脚名	功能
1	IN4	输入，低频唤醒接口
2	P10	带有内部上拉电阻的普通I/O口，功能唤醒
3	P11	带有内部上拉电阻的普通I/O口，功能唤醒

4	MSDA	带有内部上拉电阻的ROM监控串行数据的I/O接口
5	MSCL	ROM监控串行时钟
6	VDD	电池电压供应端
7	NC	没有功能
8	VSS	普通接地端
9	P17	普通I/O接口，数字调幅输出
10	P15	普通I/O接口，外部系统时钟输入
11	P14	普通I/O接口，数字调幅输出
12	IN1	输入口，低频唤醒接口
13	IN2	输入口，低频唤醒接口
14	IN3	输入口，低频唤醒接口

2.5 硬件电路设计

2.5.1 Protel 99 Se电路板设计步骤

设计电路图最基本的过程可分为三大步骤：

- 电路原理图的设计

电路原理图的设计主要是Protel 99 Se的原理图设计系统（Advanced Schematic）来绘制一张电路原理图。在这一过程中，要充分利用Protel 99 Se所提供的各种原理图绘图工具、各种编辑功能，来实现我们的目的，即得到一张正确、精美的电路原理图。

- 产生网络表

网络表是电路原理图设计（SCH）与印制电路板设计（PCB）之间的一座桥梁，它是电路板自动的灵魂。网络表可以从电路原理图中获得，也可从印制电路板中提取出来。

- 印制电路板的设计

印制电路板的设计主要是针对Protel 99 Se的另外一个重要的部分PCB而言的，在这个过程中，我们借助Protel 99 Se提供的强大功能实现电路板的版面设计，完成高难度的等工作。

2.5.2 Protel 99 Se原理图设计过程

原理图的设计可按下面过程来完成。

- 设计图纸大小

首先要构思好零件图，设计好图纸大小。图纸大小是根据电路图的规模和复杂程度而定的，设置合适的图纸大小是设计好原理图的第一步。

- 设置Protel 99 Se/Schematic设计环境

包括设置格点大小和类型，光标类型等等，大多数参数也可以使用系统默认值。

- 放置零件（元件）

用户根据电路图的需要，将零件从零件库里取出放置到图纸上，并对放置零件的序号、零件封装进行定义和设定等工作。

- 原理图布线

利用Protel 99 Se/Schematic提供的各种工具，将图纸上的元件用具有电气意义的导线、符号连接起来，构成一个完整的原理图。

- 调整线路

将初步绘制好的电路图作进一步的调整和修改，使得原理图更加美观。

原理图设计流程如图2-9所示

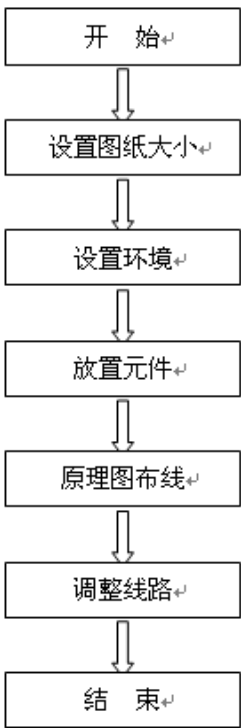


图2-9 原理图设计流程

2.5.3 元器件封装

由于Protel 99 Se无法提供所需（有）的元器件封装，因此根据实际情况需要添加自定义的元器件。
NPXI:

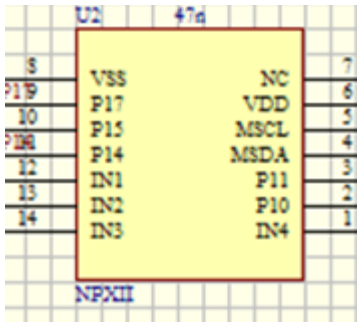


图2-10 NPXI器件封装图

MAX1479:

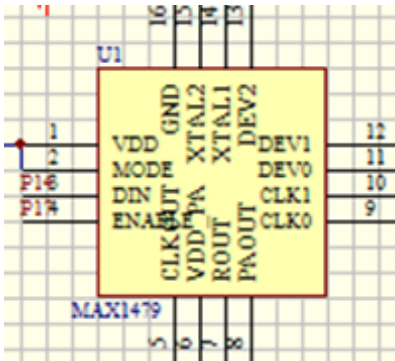


图2-11 MAX1479器件封装图

2.5.4 原理图设计

根据系统硬件设计需求进行原理图设计。

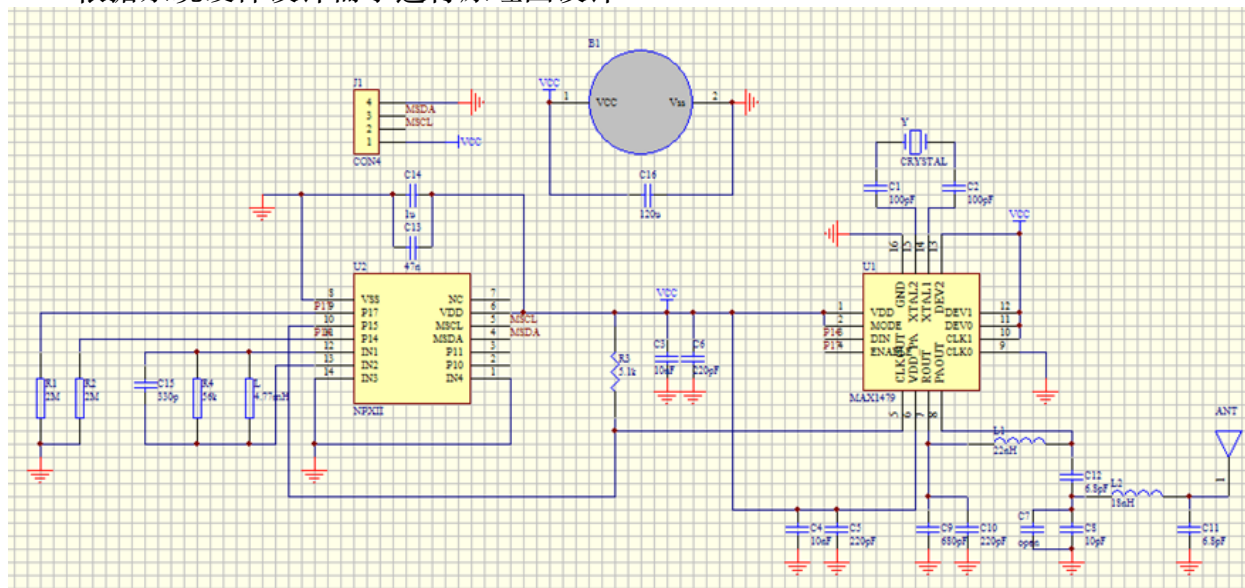


图2-12 RTRM模块的原理设计图

2.5.5 PCB设计

根据原理图进行PCB的设计。

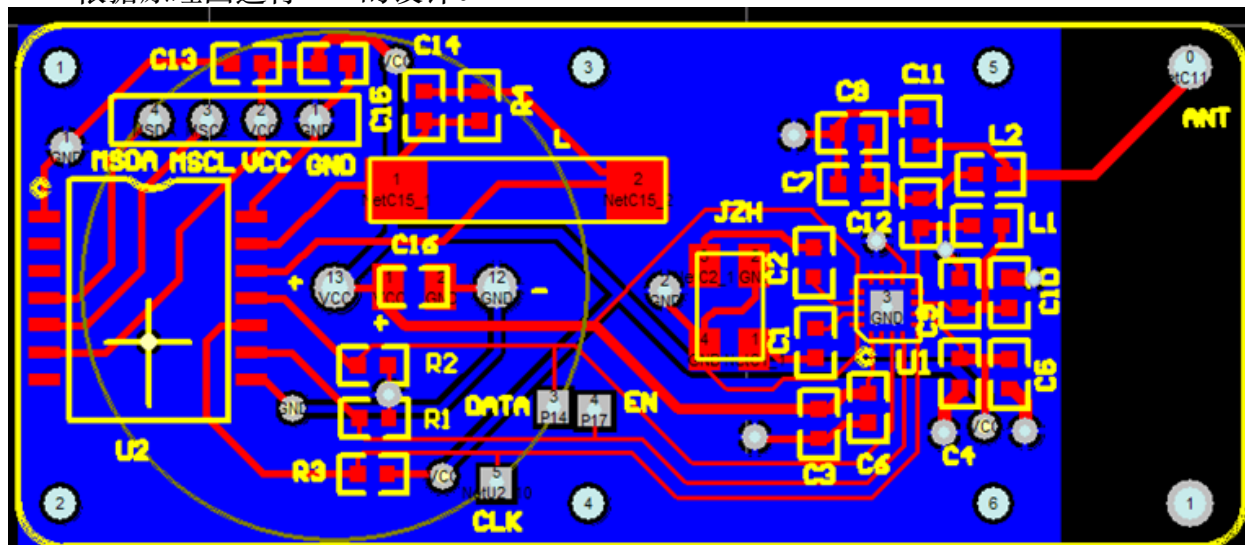


图2-13 RTRM模块的PCB板设计图

第三章 发射部件软件系统

3.1 MCU软件开发概述

根据硬件设计方案，在RIDE集成开发环境以及GE的多功能仿真器下，进行软件编写。由NPXI2传感器测出轮胎的轮胎数据传送给MCU，由MCU进行计算，再传输给MAX1479进行信号转换，最后由天线发出ASK无线射频信号。

整个程序分为初始化设置、传感器测量、警报单位转换、发射条件判断、曼码发射和低频唤醒等多个模块。其中传感器测量又分温度测量、压力测量、加速度测量和电压测量这4个模块。在后面几节将分别对总体系统和各个模块的设计、实现进行详细的说明。

3.2 程序总流程图

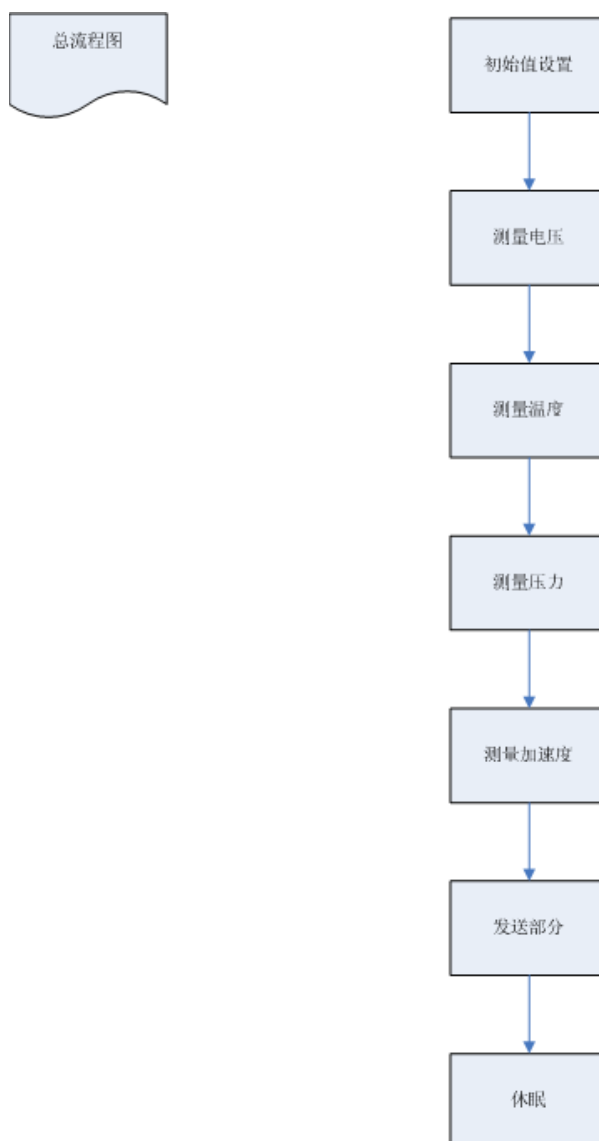


图3-1 程序总流程图

3.3 相关模块分析和实现

3.3.1 初始化设置

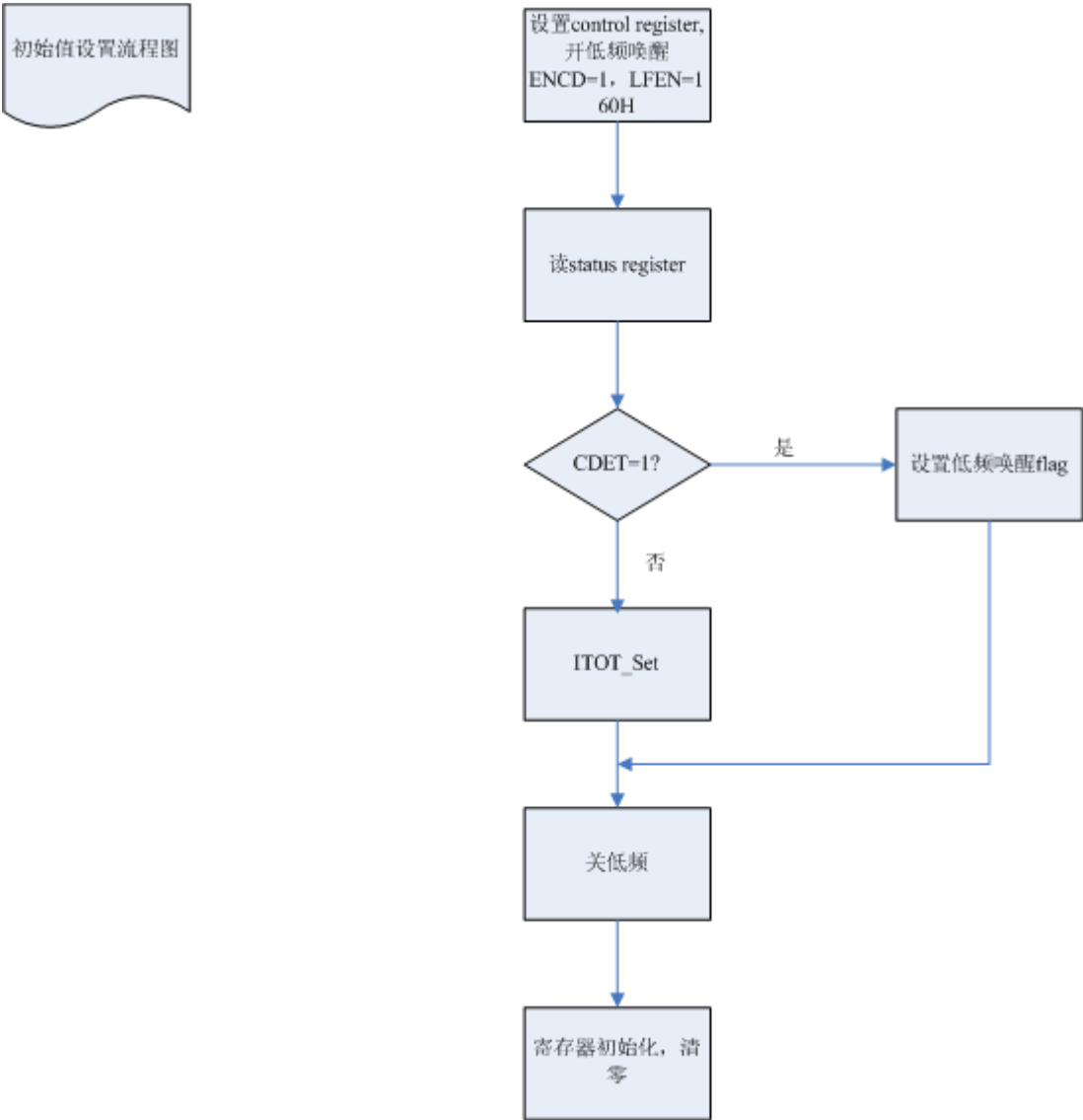


图3-2 初始化流程图

3.3.2 传感器测量

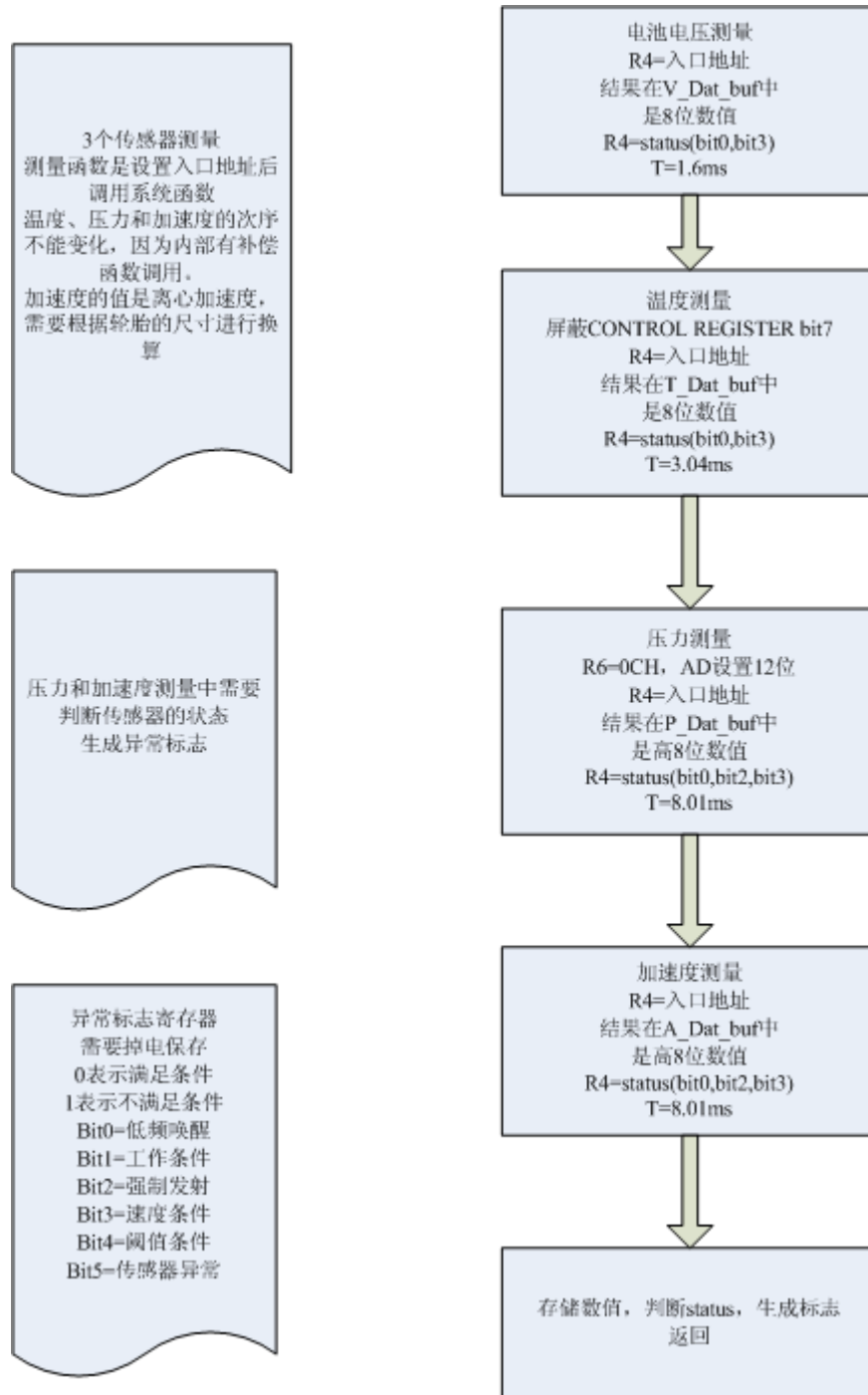


图3-3 传感器测量流程图

3.3.2.1 测量电压

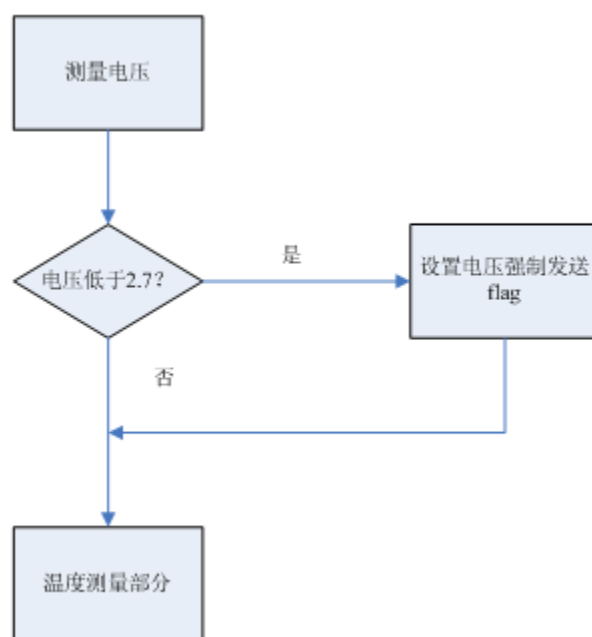
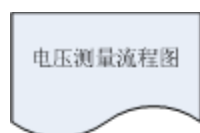


图3-4 电压测量流程图

3.3.2.2 测量温度

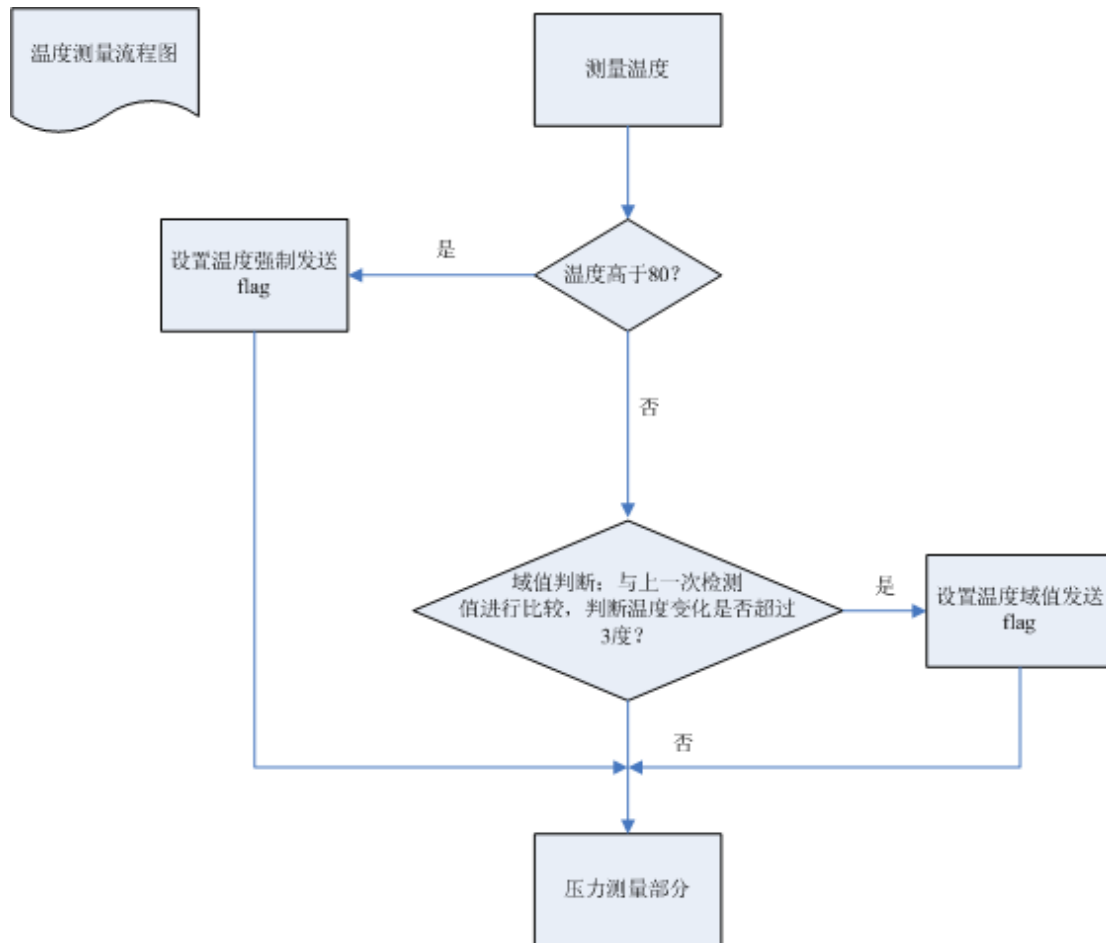


图3-5 温度测量流程图

3.3.2.3 测量压力

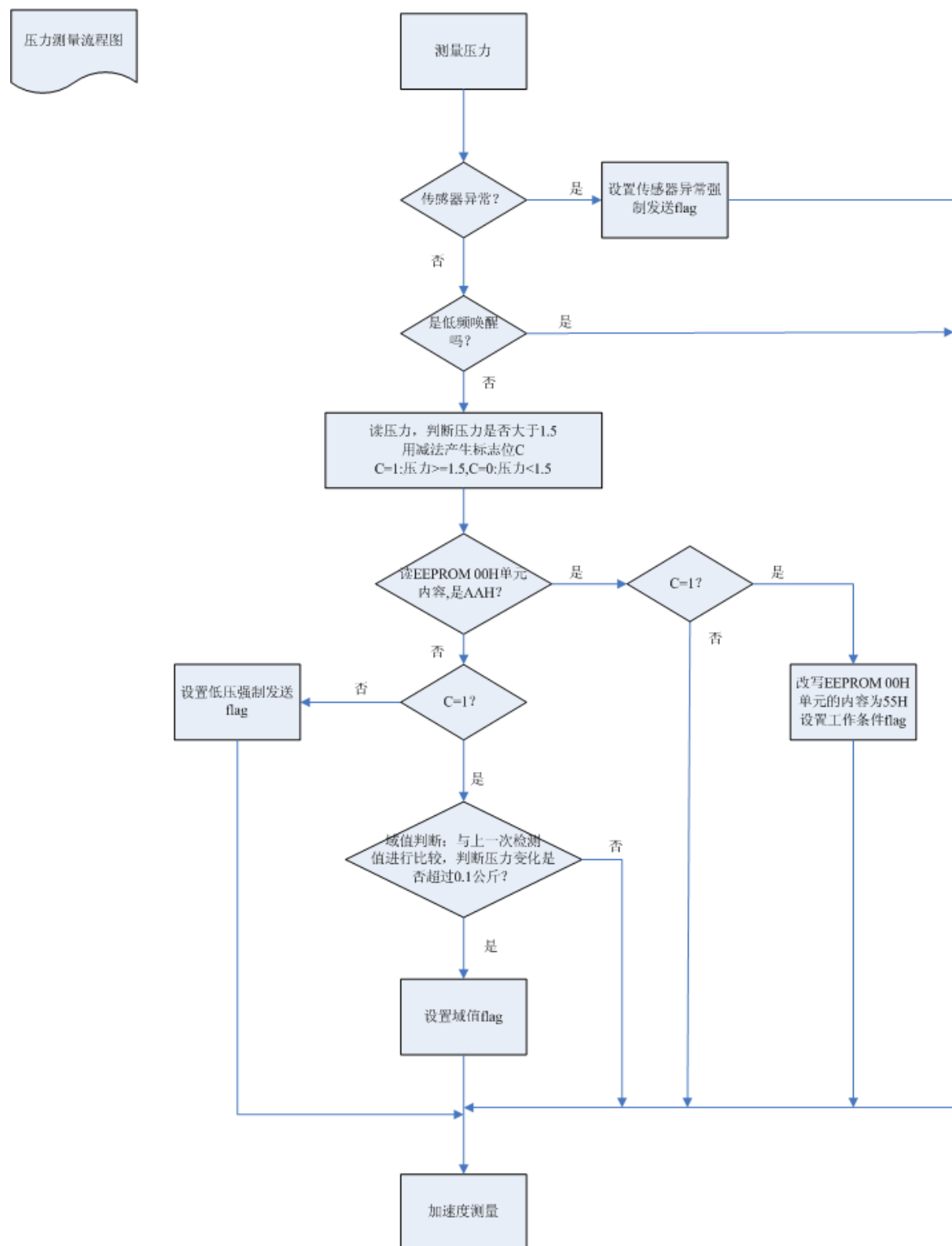


图3-6 压力测量流程图

3.3.2.4 测量加速度

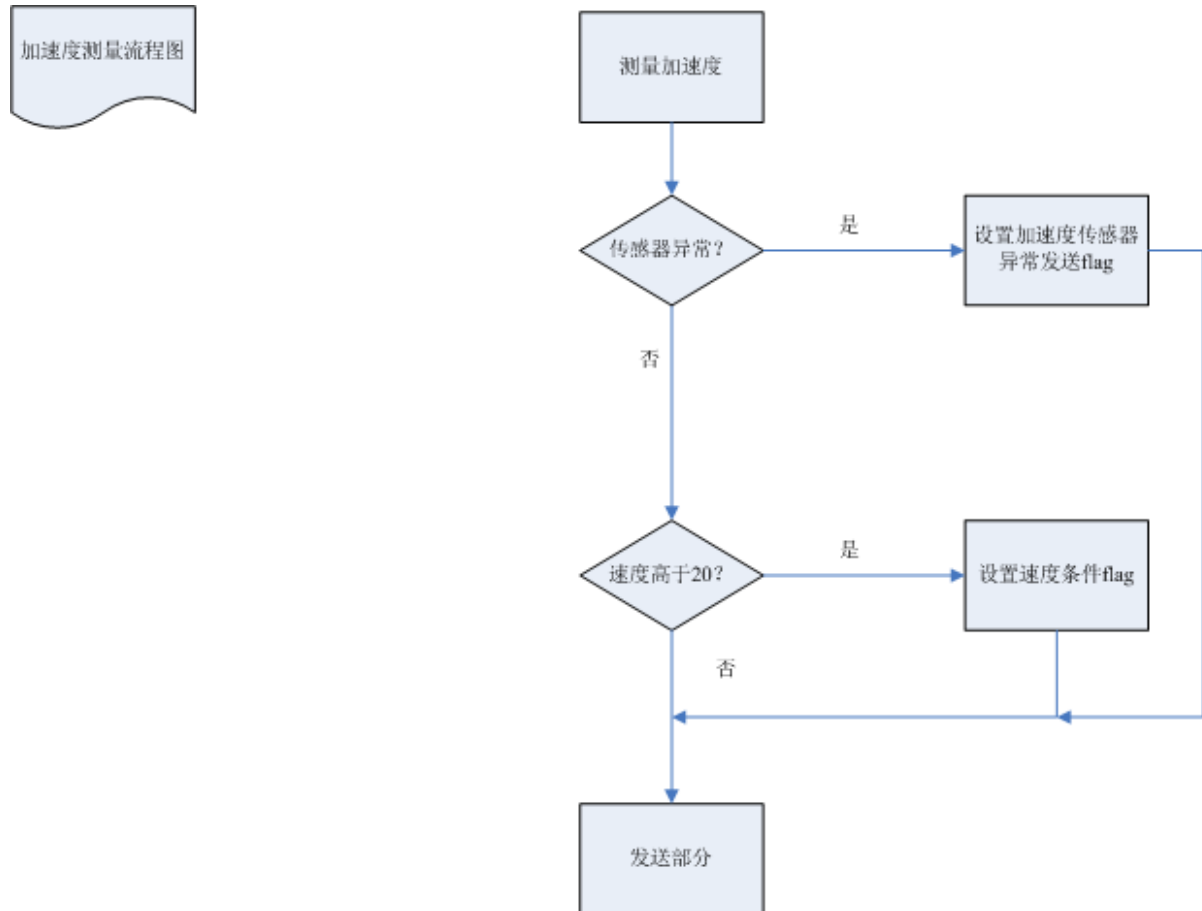


图3-7 加速度测量流程图

3.3.3 发送部分

3.3.3.1生成警报以及单位转换

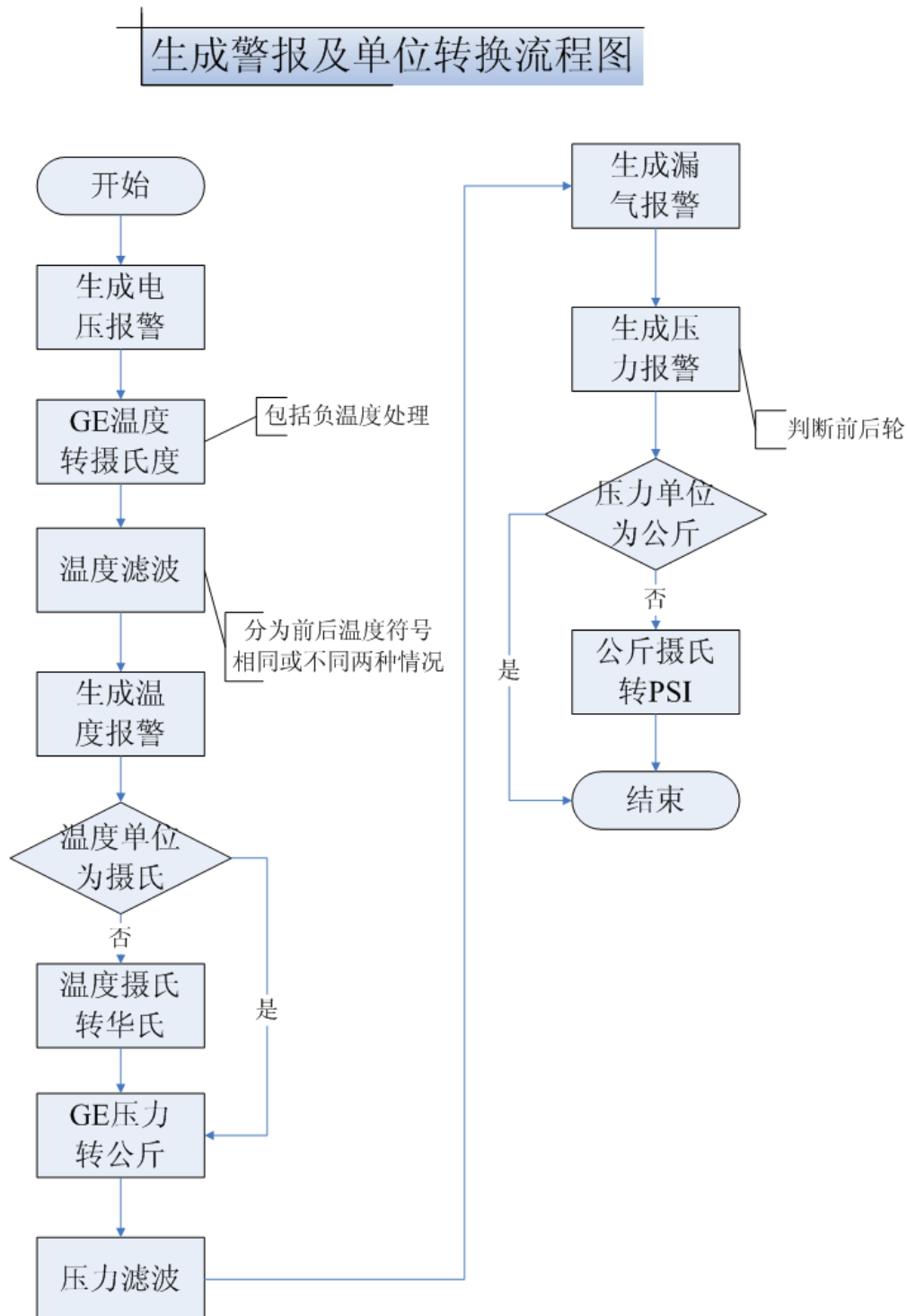
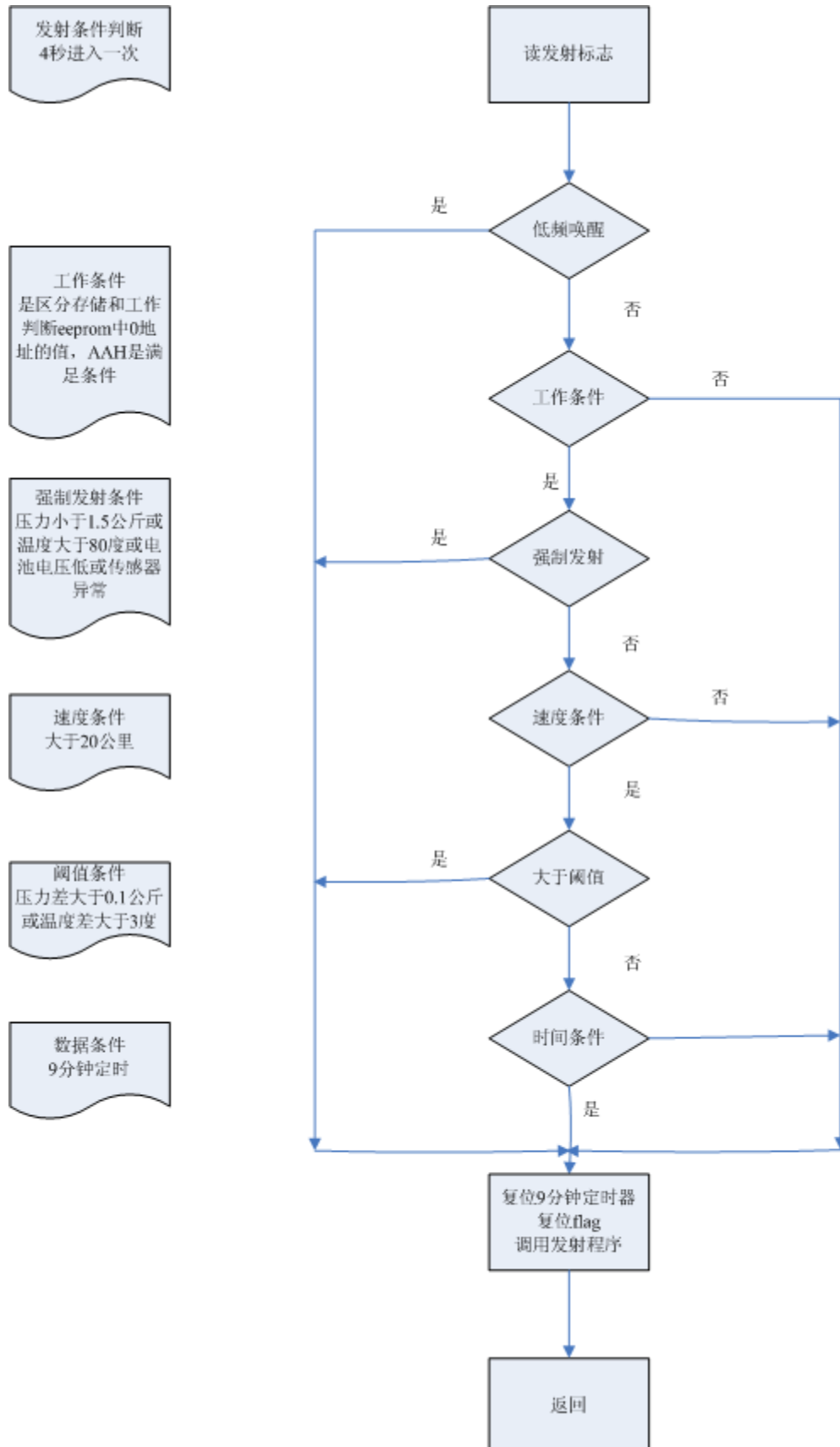


图3-8 生成警报以及单位转换流程图

3.3.3.2 发射条件判断



3.3.4.3 曼码发射

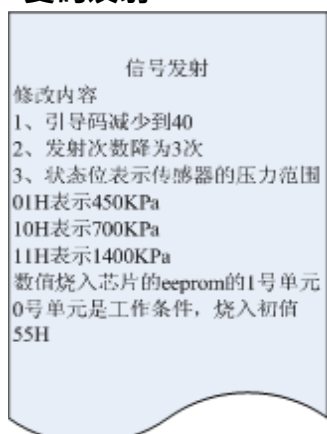


图3-9 条件判断流程图

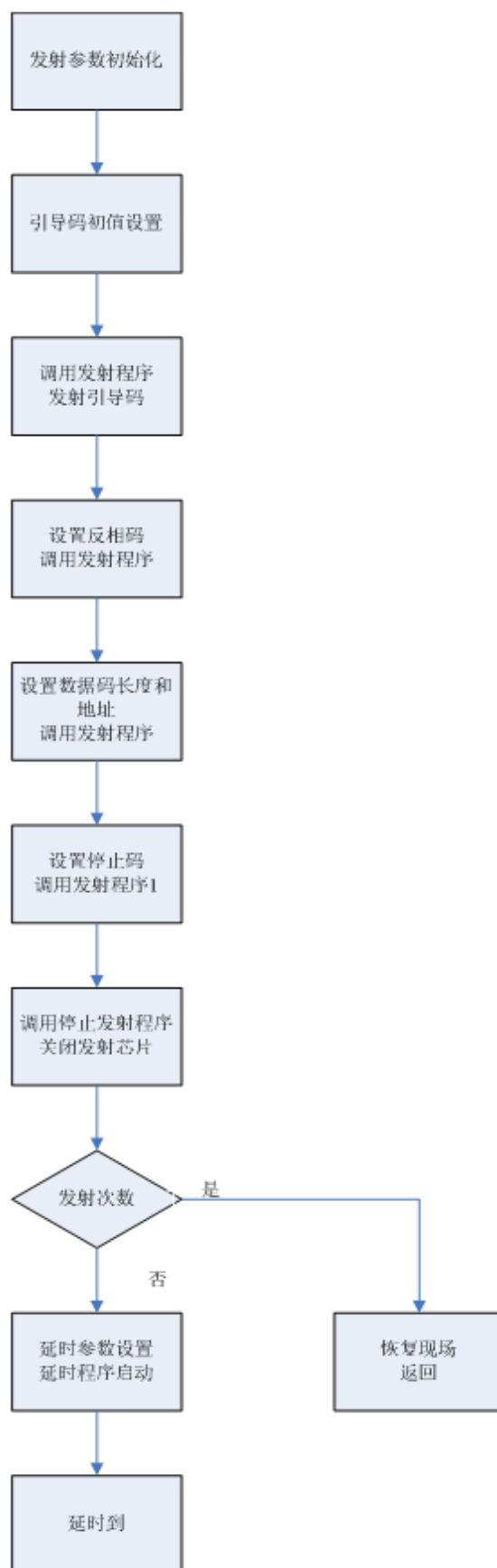


图3-10 曼码发送流程图

第四章 本系统的一些技术参数和法规介绍

发射端TPMS技术参数

表4-1 RTRM模块的技术指标参数

压力测量	Yes
温度测量	Yes
速度测量	Yes
电压测量	Yes
调制方式	ASK
工作频率	315MHz
发射功率	+10dBm
占用带宽	<400kHz
取样速度	每4s取样一次
回报间隔	4s——9m
数据传输时间	一组数据传输时间17ms
身份识别码	64位
压力测量分辨率	1.4Kpa
压力测量量程	0 ~ 450Kpa, 0 ~ 700Kpa, 0 ~ 1400Kpa
压力测量误差	±10kPa(-20 ~ 70°C)
温度测量量程	-40°C ~ +120°C
温度测量分辨率	1°C
温度测量误差	±2°C(-40°C ~ +85°C)
适用车型	轮胎正常压力在1.5Kg ~ 7.0Kg之间的机动车
系统组成	4个发射端 1个接收端
可靠射频有效传输距离	大于5m
发射端工作温度范围	-40°C ~ +125°C

发射端储存温度范围	-40°C ~ 150°C
模块寿命	6年/100k km
电池类型	锂亚电池
额定电压	3.6V
电池容量	550mAh
工作温度	-40°C ~ +125°C
储存温度	-55°C ~ +125°C
寿命	20年
自放电特性	<2%/年
尺寸(直径*高)	24mm*5.8mm
重量	8.8g

电气性能以及运行时的脉冲图

◆ 电气性能

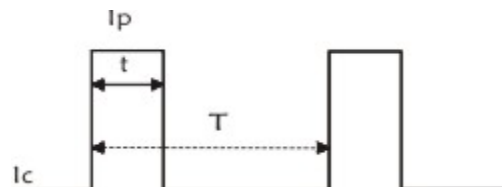
运行电压： 最大 3.6V
最小 2.1V

常态电流： $I_c = 1 \mu A$

脉冲电流： $I_p = 7.7 \text{ mA}$

持续时间： $t = 17 \text{ ms}$; 重复间隔 $T = 4 \text{ s}$

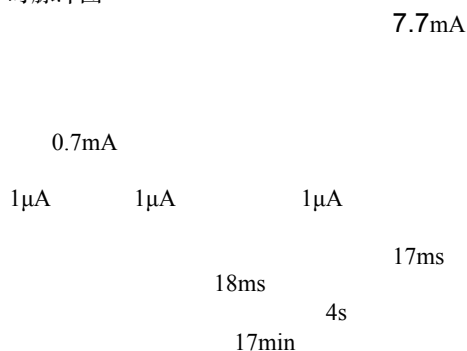
期望寿命： 6 年(运行)+ 1 年(在使用之前的存贮时间)



详细的运行脉冲图

1. 开车时：常态电流： $I_c = 1\ \mu\text{A}$ ；测试电流：脉冲电流： $I_p = 0.7\ \text{mA}$, 持续时间： $t = 18\ \text{ms}$, 重复间隔 $T = 4\ \text{s}$
发射电流：脉冲电流： $I_p = 7.7\ \text{mA}$, 持续时间： $t = 18\ \text{ms}$, 重复间隔 $T = 17\ \text{min}$
2. 停车时：常态电流： $I_c = 1\ \mu\text{A}$ ；测试电流：脉冲电流： $I_p = 0.7\ \text{mA}$, 持续时间： $t = 18\ \text{ms}$, 重复间隔 $T = 4\ \text{s}$
无发射电流

1. 开车时开车时脉冲图：



2. 停车时脉冲图：

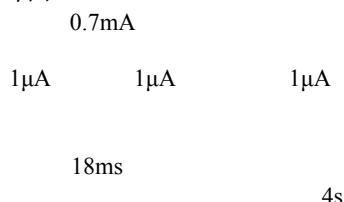


表4-2 RTRM模块的电气性能以及脉冲图示

现有法规

目前针对TPMS的法规一共有三种，其中美国有FMVSS 138法案和美国公路交通安全局（NHTSA）的SAE J2567标准，欧洲有国际标准化组织（ISO）的ISO 21750标准。其中FMVSS 138法案是美国通过立法的国家强制标准，其余两个标准只是推荐标准。

1. FMVSS 138法案最终条款于2005年4月8日正式完成，要求安装TPMS从而能够监测到一个甚至更多个汽车轮胎严重漏气的情况。FMVSS 138法案是基于技术中立原则制定的，其中只规定了TPMS必须满足的最低技术要求：

该标准应用于乘用车、卡车、多功能乘用车以及公交车（总重量 $\leq 10\text{K}$ 磅）（双轮单轴车除外）。

当车辆的任何一个轮胎或多个轮胎的组合低于汽车生产商推荐的轮胎冷充气压力25%或者更多时，安装在车辆上的TPMS必须在20分钟内发出气压不足警示，提醒司机。维持

此气压不足的警示状态，只要汽车任何一个轮胎的气压值还处于上述气压不足的状况下，而且只要一将点火开关设于开启的位置，不管发动机运行与否。当点火开关一被激活，发动机还没启动时，做为汽车启动前各功能部件指示灯巡检一项功能，低压警示装置必须能激活显示。但当发动机中的启动机装置处与锁止状态时，低压警示装置可不需激活显示。

测试速度介于50到100公里/小时

2. SAE J2567标准是在NHTSA 修订FMVSS 138法案的过程中发展起来的，最终草案于2004年12月批准并发布。SAE J2567主要适用于直接式TPMS，它规定：TPMS的最长报警响应时间为10分钟；TPMS开始监测轮胎压力的最小速度为24公里/小时；TPMS的工作温度范围在-40°C到85°C之间；TPMS必须提供故障报警功能。SAE J2567并没有规定TPMS的产品使用寿命。

3. ISO 21750标准于2006年3月公布，它定义了几个不同版本的TPMS。其中对直接式TPMS的规定如下：TPMS开始监测轮胎压力的最小速度为25公里/小时；TPMS的工作温度范围在-40°C到85°C之间；当车速>25公里/小时，TPMS必须能在3分钟内进行压力报警；TPMS的寿命为6年或者汽车行驶里程100k公里；在0°C到70°C的工作温度范围内，TPMS的压力测量误差 \leq 其压力量程的 $\pm 2\%$ ，最大误差不得大于 $\pm 10\text{kPa}$ ，在其他工作温度，TPMS的压力测量误差 \leq 其压力量程的 $\pm 5\%$ ，最大误差不得大于 $\pm 25\text{kPa}$ 。

第五章 总 结

在认真学习了Protel 99 Se和High Performance Embedded Workshop之后，我在一定程度上掌握了MCU相关知识及其编程语言。同时对无线通讯、射频方面的理论也有了初步的了解。而以前在理论课程中学到关于曼彻斯特码、串口通讯、汇编语言、硬件接口、实时系统以及系统健壮性等知识也在这次毕业设计中得到了充分的实践应用，并加深了对它们的理解，加强了对它们的掌握。在将以前分散、独立的知识贯穿起来之后，形成了对计算机科学的进一步认识。

因为是初次接触MCU，在编写程序时不可避免的遇到了很多问题。孙老师在这方面给了我很大启发；他并不是直接告诉我解决方法，而是指明了解决方法的思路；让我经过独立思考后自己找到答案，使我的解决问题的能力得到了很大提高。

系统在最后的集成测试中表现良好，运行稳定，通过频谱仪和接受系统能够准确无误地接收TPMS系统发射部件传输的射频信号。并通过一个模拟软件将其有关数据和轮胎状态在电脑屏幕上显示出来。完成了课题的设计要求。

通过本次毕业设计，我学习了很多有关系统设计、开发、测试方面的知识；同时也知道自己在这个系统的实现过程中的不足和缺陷。为了设计出更好的应用系统，我必须更努力地学习计算机科学技术。

致 谢

通过大学四年的学习，我已经掌握了一定的计算机技术及其在工程、项目中的应用。这次毕业设计既是对我所学知识的复习，也使我学到了计算机底层软件和硬件设计的知识。毕业设计这段时间是我大学四年里学到最多东西的时间。在独立开发系统和应用软件过程中，遇到了不少问题，但每一次问题的解决，都使我积累了经验、提高了能力。

短短的几个月里，在孙国强老师的带领和指导下，我克服了各种各样的难题，加之自身的努力，终于顺利完成了毕业设计和论文。感谢孙国强老师在本次毕业设计中的给予我莫大的帮助，使我在毕业设计之初，就对整个理论框架有一个较为系统地把握，为后来的实践打下扎实的基础。开发过程中，和孙老师研究生的相互探讨也使我获益匪浅。我学到很多知识的同时，更学到了刻苦钻研、乐观面对难题的精神。

在此特向孙国强老师致以诚挚的感谢，感谢在毕业设计期间给予的热情的帮助。也向孙国强老师的研究生致以感谢，在我程序设计出现问题时及时给我帮助。

这次毕业设计对我第一次系统地开发硬件应用系统，由于自身水平有限，肯定还存在许多不足之处，希望各位老师不吝赐教、加以指正。

最后，衷心感谢在大学四年里帮助过、关心过我的同学和老师。

参考文献

1. 赵建领. 51系列单片机开发宝典. 电子工业出版社, 2007
2. 求是科技. 单片机典型模块设计实例导航. 人民邮电出版社, 2004
3. 陈小忠 黄宁 赵小侠. 单片机接口技术实用子程序. 人民邮电出版社, 2005
4. 周文安. 无线通讯原理与应用. 电子工业出版社, 2006
5. 老虎工作室. 电路设计与制板Protel 99SE入门与提高. 人民邮电出版社, 2007
6. 张伟 孙颖 赵晶. 电路设计与制板Protel 99SE高级应用. 人民邮电出版社, 2007
7. 沈美明 温冬婵. IBM-PC汇编语言程序设计. 清华大学出版社, 2004
8. 刘乐善. 微型计算机接口技术及应用. 华中科技大学出版社, 2005
9. (加)约翰斯. 模拟集成电路设计. 机械工业出版社, 2005
10. 李哲英. 数字集成电路设计. 机械工业出版社, 2008
11. 王正洪. 微机接口与应用. 清华大学出版社, 2006
12. Simon Robinson. Professional C#.Worx, 2004
13. RENESAS. R8C/29.WWW.RENESAS.COM, 2007
14. MAXIM. MAX7042.WWW.ICPDF.COM, 2005
15. GE. NPXII.WWW.GE.COM.CN, 2007
16. Microsoft. C#.HTTP://COMMUNITY.CSDN.NET, 2007

附录

附录A：外文资料翻译—原文部分

12. Benefit and Cost Measures

The influence of the strategies studied on each category of benefit and cost must be measured. For example, a direct TPMS can provide information on different degrees of tire under-inflation. The likelihood of blowouts or skidding etc. is related to under-inflation. Different taxes or subsidy schemes can induce people to purchase longer life mileage tires or to maintain their tires for longer life. Education programs may induce people to monitor their tires pressure on a more frequent basis. A tax placed on tires of low warranted mileage, will induce some consumers to shift to longer life tires. Higher costs will reduce the demand for vehicle miles traveled (VMT), thus tires will last longer and will be replaced less often over time (assuming a given level of care). On the other hand, longer life tires may reduce the tire contribution to the cost of operating vehicles per mile and thus, lead to an increase in the demand for VMT. These are complex relationships and it may be the case that requisite data or elasticity measures are not available to complete the calculations.

12.1 Cost Categories

It is generally easier to measure costs associated with the different strategies. In developing the cost measures a key issue is to decide on the useful life of the investment. This will influence the length of time that costs and benefits are considered and over which they will be discounted. The cost of each strategy consists of initial costs (e.g., hardware or development in the case of education programs), and ongoing costs (e.g., maintenance). In the case of some technologies the costs may vary depending on the level of technology. For example, an indirect TPMS is less costly than an auto-inflate system. Costs will also vary according to what equipment the car comes with. For example, installing an indirect TPMS requires that the vehicle be equipped with an antilock brake system (ABS).

12.2 Benefit Categories

12.2.1 Social Benefits

Social benefits arise indirectly as a result of the different strategies. They include reduced emissions with less fuel used, an improvement in safety and a reduction in incident congestion. Improvements in safety come from more vehicle control (less skidding and loss of control), and a reduction in flat tires and blowouts. Social benefits are measured in terms of the reduction in [social] costs resulting from accidents and pollution from emissions. Accident costs would include lost productivity, and direct hospitalization and health care costs associated with a change in the accident and injury rate.

Reductions in emissions can affect the social costs associated with pollution emitted by vehicles including health care, lost productivity, and environmental degradation.⁶⁵ Each strategy will have a different effect on the 'expected' wear rate of tires. The increase in mileage will be translated into the reduction in disposal rate and the number of tires reaching landfills. This reduction can be translated into the reduction in environmental degradation. Some issues that do arise with these calculations are first, as tires are used at a mileage closer to their useful life, there will be fewer tires that may be exported but there will be more that enter the re-tread stream. This may be a one-to-one shift.

12.2.2 Private Benefits

The benefit to individuals is the dollar value of not having to spend as much money on tires over the lifetime of the vehicle. This can be measured as the opportunity cost of funds. A second private benefit is the reduction in fuel use. This is a direct gain measured as the expected increase in fuel economy times the number of people or amount of VMT per person per year.

13. Factors Affecting Tire Disposal

This section examines what factors influence the amount of tire disposal. These factors included different types of vehicle registrations, the average mileage obtained on tires, and trend effects such as population and economic growth. The results of the statistical analysis are contained in Table 13.1. The general form of the statistical relationship would be:

$$D = f(t, q, \Sigma Ri)$$

where D is the number of tires discarded, t is a time or trend index, q is some measure of tire quality such as long wear and Ri is the number of vehicles registered in category i. A number of different functional forms were investigated and the version reported in Table 13.1 was selected based on statistical fit and level of explanation (R²)

Table 13.1: Regression of Tire Disposal on Mileage and Registrations^{a/}

Dependent Variable: LOGTIRES			
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic
Constant	4.2144	3.0685	1.37
LOGMILEAGE	-0.3637	0.2215	-1.64
LOGTIME	0.3789	0.0965	3.93
LOGAUTO	2.2710	0.8361	2.72
LOGTRUCK	-1.1565	0.7146	-1.62
LOGTRAILER	-1.1255	0.7369	-1.53
LOGMIS	-0.1432	0.2159	-0.66
AR(1)	0.3565	0.1562	2.28
R-squared	0.99		
Adjusted R-squared	0.98		
Log likelihood	45.39		
Durbin-Watson stat	2.18		
F-statistic	79.69		

The regression equation is expressed in log-log form so the coefficients can be interpreted as elasticities. The equation is explaining how the number of tires disposed of is influenced by the supply of used tires and the improved quality of tires. First, as the average mileage of tires increases, a measure of the change in average quality or improved maintenance, it reduces the number of tires disposed. This is as expected since the VMT per unit of tire use increases, but what is somewhat surprising is the magnitude of the elasticity, -0.36. This indicates that a 10 percent increase in the tire mileage will result in a decrease in tires disposed by 3.6 percent. This clearly suggests that any strategy that improves average mileage will have a significant effect on the disposal rate..

Different types of vehicles contribute to the supply of waste tires. The largest generators of scrap tires are light-duty vehicles. Table 13.1 gives the elasticity for light-duty vehicles (LOGAUTO), generated from a log-log relationship, as 2.27 (i.e., a 10 percent increase in light-duty vehicle registration results in a 22 percent increase in scrap tires). This is a dramatic effect and emphasizes the importance of improving tire wear. The elasticities of tire disposal by truck and trailer registrations (LOGTRUCK) appear to provide counter-intuitive negative signs. This may be attributed to the high percentage of retread tires (over 50%, see Section 4.1), and to better maintenance including the recent introduction of auto-inflate systems in truck trailers (see Section 9.1). Interestingly, the elasticities for truck and trailers are half the elasticity value for light-duty vehicles. The interpretation is important. On the face of it, it implies that truck registrations reduce the number of tires disposed of. However, it is not the truck registrations per se but the fact that trucks and trailers are commonly fitted with retreaded tires and have better maintenance which significantly improve the life of tires.

The regression also provides a basis for focusing our strategy choice. The regression indicated that over time, holding other things constant, tire disposal would rise, as one would expect. However, increasing light-duty vehicles registrations has a dramatic effect of increasing the number of tires disposed of; the elasticity was measured as 2.27. This suggests that a strategy that increases tire life for light-duty vehicles will have a considerable effect on reducing tire disposal rates. Second, the use of better maintenance and retreads can reduce the rate of tire disposal, as illustrated by the truck and trailer registration elasticities. Therefore, using technology to increase tire life can have a high private and social return and using strategies to increase average tire life for light-duty vehicles can have a substantial effect on the numbers of disposed tires.

14. Strategies to Extend the Average Life Mileage of Tires

The previous sections provided the necessary background needed to identify strategies to extend the average life miles of tires. This section presents four different strategies to achieve this goal. The focus of this section is to set up the basic concept underlying each strategy. Effectiveness in reducing the number of waste tires generated, the economic effect, and implementation aspect are deferred to subsequent sections.

The first strategy, presented in Section 14.1, employs auto-inflate systems to automate tire pressure maintenance. Educating the public to better maintain their tires is considered as a second strategy in Section 14.2. The third strategy, discussed in Section 14.3, is centered about a corporate average tire life standard. Finally, the fourth strategy, outlined in Section 14.4, is based on replacing the flat tire disposal tax

with a tax and rebate policy that promotes tires that increase the average life mileage of tires.

The four approaches are presented as stand alone strategies. Better results could be achieved if they were integrated. For example, adopting auto-inflate systems would resolve the acute problem of under-inflated tires noted in section 3.2.1.1. However, these systems will most likely be installed only as OE. Therefore, educating owners of existing vehicles to better maintain their tires remains an important strategy that complements adopting auto-inflate systems.

14.1 Strategy 1: Automatic Tire Pressure Maintenance

The review in Section 3 identified poor maintenance of air pressure in tires as the leading contributor to reducing the lifespan of tires. Auto-inflate systems, discussed in Section 9, offer a technological solution to this problem by automatically maintaining tire pressure. Therefore, one of the main advantages of using auto-inflate systems is the high reliability of the outcome because it does not depend on human intervention (see Section 20). Thus, the first strategy considered is to equip, after a phase-in period, all new vehicles with auto-inflate systems as original equipment.

This strategy would increase, with very high reliability, the average lifespan of tires because tire pressure is automatically controlled. Existing automobiles can also be retrofitted to take advantage of these systems. But, this possibility is ignored under the evaluation of this strategy. Therefore, a transition period will be required before the full potential of this strategy is realized.

Auto-inflate systems are equally applicable to both heavy- and light-duty vehicles. In fact, at present these systems are installed in about four percent of truck trailers nationwide. Track record with truck trailer shows that auto-inflate systems can significantly extend the average life miles of tires (see Section 9.1). The proposed strategy is primarily focused on light-duty vehicles because this segment holds the promise of better payoff. However, the heavy-duty segment should not be overlooked. Nevertheless, the projection of expected benefits in subsequent sections pertain to the light-duty segment only.

NHTSA's TPMS rule allows for two levels of compliance (see Section 8). The lower level of compliance, 30% below placard level, is adopted as the base case against which to compare (see Section 11.1). The reality is, however, that some vehicles would be equipped with direct TPMSs (i.e., meeting the stricter 25% compliance option). Therefore, in order to provide a complete picture, the 25% compliance option is also analyzed in subsequent sections (i.e., the case where all light-duty vehicles would be equipped with direct TPMSs). Pursuing direct TPMSs is not considered, however, as an integral part of this strategy.

For both auto-inflate and direct tire pressure monitoring systems the initial capital costs and the annual maintenance costs over the assumed lifetime of the hardware have to be considered. It may also be necessary to make some assumptions about how these costs might change over time including any one time administrative costs. The initial costs used are as follows: \$21.13 for indirect TPMS, \$65.84 for direct TPMS and \$175 for auto-inflate.⁷¹ The indirect TPMS was assumed to have no maintenance costs, and the direct TPMS and auto-inflate system maintenance cost was assumed to be \$100 in year 10 (primarily for replacing the battery required to operate the sensors).

14.2 Strategy 2: Educating Consumers to Properly Maintain Tires

Like the first strategy presented above, this strategy also seeks to extend the lifespan of tires by improving their maintenance. Unlike the first strategy considered that resorted to technology, here the vehicle owner has to take an active roll to achieve the desired result. Therein lies the weakness of this approach. Specifically, as exposed by the survey of air pressure maintenance conducted by NHTSA in 2001, the public does not pay much attention to maintenance despite educational efforts and the high media exposure that this issue received in the aftermath of the Firestone recall of 14.4 million tires on August 9, 2000 (see Section 3.2.1.1 and footnote 19).

Despite its drawbacks this strategy offers a number of important advantages. First, it is applicable to the current fleet and therefore, benefits could be immediate. Second, education can cover also vehicle alignment and tire rotation, issues that are left uncovered by adopting auto-inflate systems. Third, it requires a relatively modest investment when compared to the technology option. Therefore, this strategy should not be viewed as competing with the first strategy but rather as complementing it.

Currently, a number of organization are actively engaged in educating the public to better maintain their tires including the NHTSA, the RMA, individual tire companies, and automakers (some quotes from various sources are provided in Section 3). Unfortunately, there is very little if any empirical evidence one way or another as to how effective recent education programs are with respect to tire care or tire recycling. A method of assessing this strategy is to make some assumptions regarding the response rate to education

programs, and the influence on increased tire life mileage, based on indirect evidence from other education programs. One can then make some comparisons with the efficacy of education programs and costs relative to the one strategy, the auto-inflate systems, that has hard numbers and levels of outcome as per increased tire mileage.

Education programs have been used in other circumstances to affect consumer behavior. Programs such as anti-drunk driving, seat belt use, and driving habits on slippery roads are a few that come to mind. In addition, antismoking education programs have been evaluated extensively. A survey of education campaigns is offered in Appendix C. The analysis of the present strategy can therefore benefit from the evaluation techniques employed in these other fields including the calculations of the costs of developing and implementing the education program.

14.3 Strategy 3: Adopting a Corporate Average Tire Life Standard

The first two strategies discussed above focused on maximizing the lifespan of tires through improved maintenance. The third strategy shifts to mandating that tires be designed for longer average lifespan. Thus, the emphasis moves from what happens during the service life of tires (first two approaches) to what could be done at the introduction of the tire into service (third strategy).

At present, thousands of different light-duty tire models are available nationwide (see e.g., <http://www.nhtsa.dot.gov/cars/testing/utqg/index.htm>), composed of many subcategories (i.e., different sizes, and designs depending on whether they are intended as OE or aftermarket tires). Therefore it is impractical to address each and every tire model. Rather, the third strategy requires that tire producers meet a prescribed average tire life mileage across all light-duty tires sold in California.

This strategy would mimic the federal Corporate Average Fuel Economy (CAFE) standard, which led automakers to improve the fuel efficiency of new vehicles (see footnote 20). The introduction of the CAFE standard was effective in improving fuel economy for new vehicles. In fact despite warning from automakers at the time when the CAFE standard was introduced, new vehicles are safer, deliver more horsepower and torque than their pre CAFE counterparts, and even exceed the demands of the standard.

By law it is required that all light-duty tires have embossed on them the UTQG ratings, which includes a tread wear rating (see Section 3.1). Because of its universality, the tread wear rating component of the UTQG can provide the measure for prescribing the desired life. For example, it could be set to 550 (i.e., it would be possible to set a specific level just like the CAFE standard sets a specific level – see footnote 20).

This CAFE-like strategy would allow tire makers the freedom of continuing sales of high-performance tires, where they get their highest profit margins, while improving the overall average tire life mileage for the entire tire population. Moreover, how the life is extended is left open. For example, it could be achieved by increasing the percentage of long life tires (e.g., those tires that come with a UTQG tread wear rating of 600 or more). An alternative would be to give credits for tires mounted on vehicles equipped with auto-inflate systems, which would effectively extend the average life mileage of tires. For example, a tire with a UTQG tread wear rating of 500 mounted on a vehicle equipped with an auto-inflate system might be considered equivalent to a tire with a 600 tread wear rating mounted on a car without an auto-inflate system.

This strategy presents a much more difficult circumstance in which to measure cost data. The costs include both legislative and enforcement components. Computing the cost of enforcement may be the easier of the two because it would be based on an estimate of how many added resources would be needed to undertake some specified enforcement level, over what time and what geographic space, and of course by whom. Measuring legislative costs is more difficult as developing the ‘Bill’ that is passed can be likened to research and development expenses. Additionally, the costs of lost consumer surplus must also be counted in any detailed economic evaluation of introducing CAFE like requirements for tire mix. Consequently, the legislative strategy is treated as a state variable in much the same way as the minimum current TPMS requirement is taken as a benchmark, and no attempt is made to quantify the costs or benefits associated with this strategy.

14.4 Strategy 4: Ad-Valorem Tire Disposal Tax/Rebate

The fourth strategy considered is to employ a combination of taxes and rebates to replace the uniform \$1 tire disposal tax with an ad-valorem tax/rebate.⁷³ This strategy is patterned after the rebate program for energy efficient appliances. The approach proposed here is to use the ratio of the weight of the tire to its UTQG tread wear rating to determine the ad-valorem tax, so that pounds per mile would be the actual measure on which the ad-valorem tax is based.

Taxes, rebates and subsidies are all designed to affect consumer behavior. Placing a tax on low mileage tires would lead some consumers to shift to longer life mileage tires. Similarly, providing a rebate on longer life mileage tires would induce people to switch from low to high life mileage tires since the 'effective' price has been reduced. This does not necessarily imply that they would monitor their tire inflation any more or better than they would with low life mileage tires.⁷⁴ Nonetheless, when the average tire life mileage increases, the discard rate is reduced. The method of introducing the change is to use the current proportion of actual tire life (assuming a given or current attention to proper inflation) to warranted tire life for shifts from low quality to average or high quality tires.

When introducing either an incentive program such as a tire rebate or subsidy it is necessary to calculate the opportunity cost of the funds used for the rebate or subsidy based on where they come from. If they are funded by taxes, they are measured as opportunity cost of public funds. There may also have to be some added costs for administration of the program. It will be necessary to explore what costs have been used in the past with similar types of programs.

附录B：外文资料翻译—译文部分

12. 利益和成本的计算

对每种类别的好处和花费的策略研究的影响必须加以衡量。比如，一个直接的TPMS系统可以对于膨胀下轮胎的不同状态提供信息，并喷或打滑的可能性是和轮胎的膨胀有关的。不同的税收和资助计划可以吸引人们去购买寿命更长的轮胎或者保持他们的轮胎使用更长的时间。教育项目会吸引人们去更加频繁的监控他们的轮胎压力。短距离的轮胎税收政策将使一些消费者转移更长寿命的轮胎。较高的成本将减低汽车行程的需求（VMT），因此轮胎将更加持久并且随着时间的推移会被越来越少的更换（假设受到某一程度的保护）。另外一个方面，寿命更长的轮胎会降低对于车辆行驶每英里成本的贡献，并且导致车辆行程需求的提高。这些是很复杂的关系，可能的情况是必要的的数据或者灵活的方法都无法满足完成计算的需求。

12.1 成本的种类

关于使用不同策略的成本计算一般很容易做到。在发展的成本计算中，一个关键的问题是对于使用寿命的投资的决定。这会影响到预期估计的成本和效益的时间长度并且它们会打折扣。每一个种类的成本组成了初始成本（比如，硬件或者教育项目的发展），以及进行的成本（例如，维修）。在一些技术的案例中，成本会因依赖技术的等级而不同。比如，一个间接的TPMS系统成本要低于自动膨胀的系统。举例来说，安装一个间接的TPMS系统需要汽车安装一个防锁刹车系统（ABS）。

12.2 效益的种类

12.2.1 社会利益

社会利益的产生是间接由于不同的策略导致的结果。这些包括由于燃料使用的减低而减少排气量，安全性的改善以及拥挤状况的降低。安全性的改善来自于更多的车辆控制（更少的打滑并失去控制），以及轮胎问题和井喷的降低。社会利益是计算可以看成由于交通事故和污染排放量降低所导致的花费。交通事故的费用将包括生产力损失，直接住院治疗和保健的相关费用，以及事故引起的变化和死亡率。排放量的降低会影响社会对于汽车污染的花费，包括医疗保健、丧失劳动力以及环境的退化。每个策略都会对‘预期的’轮胎磨损率产生不同的影响。行程距离的增加也就意味着空置率以及废弃论坛数量的下降，这样也意味着减少了环境退化。同时，和这些计算一起出现的一些问题是最重要的，就像轮胎在一次旅途中接近了它的使用寿命的问题。虽然用于出口的轮胎会更少，但是有更加多的轮胎会被反复使用，这可能是一种一对一的转变。

12.2.2 个人利益

对于个人的好处是在轮胎的使用寿命中你不需要为它去花费多少，从而能从中节约一些金钱。这能被衡量成资金的机会成本。第二个好处就是降低了燃料的使用，这是一个直接获得的测量就像在这个燃油经济时代每年的人数以及人均汽车行程需求的预期增长。

13. 影响轮胎控制的因素

本章节讨论什么因素影响了轮胎控制率。这些因素包括车辆登记的不同种类、对于轮胎平均行程的获得以及发展的趋势，比如人口和经济的的增长。统计分析的结果列于表13.1，统计分析的一般关系公式为：

$$D = f(t, q, \sum Ri)$$

其中D是废弃轮胎的数量；t是时间或趋势的系数；q是某种程度上轮胎的质量系数，比如长期磨损；Ri是使用i类轮胎的汽车登记的数量。许多不同的关系公式被研究，并且罗列在表13.1中的版本是基于合适度的统计和说明的等级而被选择出来的。

Table 13.1: Regression of Tire Disposal on Mileage and Registrations^{a/}

Dependent Variable: LOGTIRES			
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic
Constant	4.2144	3.0685	1.37
LOGMILEAGE	-0.3637	0.2215	-1.64
LOGTIME	0.3789	0.0965	3.93
LOGAUTO	2.2710	0.8361	2.72
LOGTRUCK	-1.1565	0.7146	-1.62
LOGTRAILER	-1.1255	0.7369	-1.53
LOGMIS	-0.1432	0.2159	-0.66
AR(1)	0.3565	0.1562	2.28
R-squared	0.99		
Adjusted R-squared	0.98		
Log likelihood	45.39		
Durbin-Watson stat	2.18		
F-statistic	79.69		

这个递归的公式用日志中记录的形式来表示，因此这个系数能被解释为弹性。这个公式是解释废弃轮胎的数量是怎样受到轮胎使用供给以及轮胎质量提高的影响。首先，当轮胎平均行程的增加，轮胎平均质量的改变和持久性的增强的措施会降低废弃轮胎的数量。由于轮胎使用的每单位行程需求的增加，这个就如预料的一样。但是令人有些惊讶的是弹性的规模为-0.36。这表明轮胎行程每增加10%就会导致废弃轮胎数量降低3.6%。这清楚地显示任何改变平均行程的策略将对轮胎废弃率产生很大的影响。

不同类型的汽车都会产生废轮胎，而最大的废轮胎的产生源是轻型车辆。表13.1给出了轻型车辆的弹性系数（LOGAUTO），产生了一个日志关系2.27（即10%的轻型车辆登记的增长导致22%的废轮胎的增长）。这是一个戏剧性的效果，同时也强调了增加轮胎磨损性的重要性。卡车和拖车的轮胎废弃的弹性系数（LOGTRUCK）似乎提供了相反与直觉的负面信号。这可能是由于高比例的翻新轮胎（超过50%）以及更好的维护，包括最近关于卡车拖车的自动膨胀系统的介绍。有趣的是，卡车拖车的弹性系数是轻型车辆的一半，这个解释是很重要的。从表面来看，这意味着卡车登记降低了废弃轮胎的数量。然而，这不是卡车登记本身，事实情况是卡车和拖车通常适合翻新轮胎并且更好的维护也大大提高了轮胎的寿命。

递归还提供了对于注重策略选择的基准。递归表明随着时间的推移，保持其他的因素不变，轮胎的废弃率将会上升，正如人们的预计。然而，增加轻型车辆登记对于增加轮胎废弃率有一个戏剧性的效果，弹性系数计算为2.27。这表明增加轻型车辆轮胎寿命的策略对降低轮胎废弃率有一个明显的效果。第二，就像卡车拖车的弹性系数说明，使用更好的维护和重用也能降低轮胎的废弃率。因此，使用技术增加轮胎的寿命能够带来很打的社会和个人回报，而且使用增加轻型车辆平均轮胎寿命的策略能够对废弃轮胎的数量带来很大的影响。

14. 战略-延长轮胎行程的平均寿命

前几节提供了对于确定延长轮胎平均行驶寿命战略的必要背景，本节将介绍四种不同的战略来达到这个目的，本节的重点是建立对于每个战略的基本概念。废弃轮胎数量降低所产生的效果，如经济效果和执行方面将在以后章节介绍。

第一个战略在14.1节中介绍，安装自动膨胀系统来自动化轮胎压力的维护；教育公众去更好的维护他们的轮胎作为第二种战略在14.2节种介绍；第三种战略在14.3节中介绍，是集中与一个共同的轮胎平均寿命的标准；最后，第四种战略在14.4中介绍，是基于用另一种税来代替轮胎废弃税并且重新制定政策来增加轮胎行程的平均寿命。

这4种方法被最为是单独的战略。如果将它们综合使用可能会获得更好的结果。例如，使用自动膨胀系统将解决3.2.1.1节中提到的轮胎膨胀不足的严重问题。然而，这些系统大部分被安装仅仅是作为OE。因此，教育车主去更好的保养他们的轮胎依旧是一个重要的传略来辅助安装自动膨胀系统的战略。

14.1 战略1：轮胎压力维护自动化

第3节的内容确定轮胎中空气压力的维护不善是降低轮胎寿命的主要因素。第9节提到的自动膨胀系统提供了技术方法来自动维护轮胎压力来解决这个问题。因此，使用自动膨胀系统的主要有利条件之一是结果的高可靠性，因为他不是依赖于人的敢于（见20节）。因此，第一战略认为在之后的时期，对于所有的新车

来说自动膨胀系统应安装作为初始设备。

这个战略将很可靠地增加轮胎的平均寿命,因为轮胎压力是自动控制的。现有的汽车也能加装来利用这些系统。但是,在评价这个战略的时候这种可能性被忽视了。因此,在这个战略所有潜力实现之前需要一个过度时期。

自动膨胀系统同样适合于重型和轻型车辆。事实上,目前全国大约有4%的卡车拖车安装了这些系统。卡车拖车的行驶记录显示自动膨胀系统明显地延长了轮胎的平均行程(见9.1节)。建议的战略是主要侧重于轻型的车辆,因为这一块会有更好的回报。但是,重型车辆部分不应该被轻视。然而,预期效益的推算在之后的部门只涉及到轻型车辆的部分。

美国国家公路交通安全局的TPMS规则要考虑到遵守2个层次(见第8节)。较低的层次——30%以下的公告牌,被视作是一个基本的情况来进行比较(见第11.1节)。但是,事实是有些汽车会被安装直接TPMS系统(即,满足严格的25%的遵守选项)。因此为了提供一个完整的映像,25%的遵守选项也会在下个部分进行分析(即,所有的轻型车辆都将配备直接轮胎压力监控装置的情况)。但是,追求直接轮胎压力监控设备并没有被视作这个战略不可分割的一部分。

对于自动膨胀系统和直接压力监控系统初始装备的花费以及每年保养的花费相对于硬件的预计寿命要更加关注。做一些关于这些花费随着时间如何变化的假设是必要的,包括在某个时间的行政花费。初始花费如下:间接轮胎压力监控系统21.13美元,直接轮胎压力监控系统65.84美元,以及自动膨胀系统175美元。间接轮胎压力监控系统假设为没有维修费用,直接轮胎监控系统和自动膨胀系统维护费用假设10年100美元(主要是更换传感器使用的电池)。

14.2 战略2: 教导消费者妥善维护轮胎

像上述介绍的战略1一样,这个战略也是通过改善维护来延长轮胎的寿命。不像战略1那样诉诸于技术,在这个战略中为了达到理想的结果车主成了关键的角色。这是这种做法中所存在的弱点。具体来说,如2001年NHTSA所做的气压维护显示,公众并不关注维护,尽管教育的努力以及媒体关于这个问题的高曝光收到了2000年9月由14.4M的轮胎被回收的结果。

尽管有缺点,但是这个也提供了很多重要的优势。第一,它适合现在的汽车,因此,能够立即收到效益。第二,教育也可以涵盖车辆路线和轮胎旋转,一些不包括通过采用自动膨胀系统覆盖而留下的问题。第三,与技术选择相比他需要一个温和的投资。因此,这个战略不应该被看作是战略1的一个竞争而是一个补充。目前,很多组织包括NHTSA、RMA、私人轮胎公司和汽车制造商等正积极参与教育公众去更好地维护他们的轮胎。不幸的是,几乎没有什么有经验的证据对于最近关于尊重轮胎保护以及轮胎再造的教育项目有多有效。一种评估这个战略的方式是基于从其它教育项目的间接证据中,对于教育项目的回应率作一些假设。你可以对教育项目的功效和自动膨胀战略的话费作一下比较,对于每增加的轮胎行程来说是结果是一个固定的数量和等级。

教育项目已经用于其它的情况来影响消费者的行为。一些项目如反酒精驾驶、安全带使用和湿滑道路上的驾驶习惯是能够想到的一些。此外,反抽烟的教育计划已经被广泛的评估。附录C提供了一份教育活动的调查。对于这个战略的分析得出评价技术中受到的好处也受用于其它一些领域包括发展和履行教育计划的话费计算。

14.3 战略3: 制定一个共同的平均轮胎寿命标准

上面的两个战略的重点聚焦在通过更好的维护来使轮胎的寿命最大化。这第三个战略是转移重点到设计更长使用寿命的轮胎。因此,着重点从轮胎服务期间会发生什么(前2个战略)到对于投入服务的轮胎能做什么(第3个战略)。

目前,数以千计的不同的轻型执行的轮胎模型在全国范围内可供选择,组成了许多子类(即,不同的尺寸,以及依赖于是否被作为公开销售或售后轮胎)。因此,这是不切实际的去标记每个轮胎模型,相反,第三种战略需要轮胎制造商满足一个规定的平均轮胎寿命,这是通过加利福尼亚州所出售的所有轻型执勤轮胎而得出的。

这个战略模仿了美国联邦企业平均燃油经济标准,而导致了汽车制造商改进了新车的燃油使用效率。美国联邦企业平均燃油经济标准的介绍对提高新车的燃油使用效率很有效。事实上,在介绍美国联邦企业平均燃油经济标准的时候传出了汽车制造商的警告,新车比起之前他们的同行来说更加安全,提供了更加多的马力和扭矩,并且满足了标准的需求。

根据法律规定所有轻型执勤轮胎都要符合UTQG评定,包括胎面磨损评定。由于它的普通性,胎面磨损评

定，UTQG的一部分，可以提供表述理想轮胎寿命的方法。例如，它可能被设定为550（即，它有可能设定一个特殊的水平就像CAFÉ的那个标准一样）。

这个类似CAFÉ的战略将允许轮胎制造者有继续高质量轮胎销售的自由，在那儿获得他们最高的利润率，同时对于全部的轮胎数量来说，提高了整体的平均轮胎寿命。此外，怎样延长寿命依然是公开性的。例如，它可以通过增加长寿命轮胎的比例来实现（即，那些满足胎面磨损率评定600分或更多的轮胎）。另外一种安装自动膨胀系统的选择会给轮胎在有效提高平均寿命方面增加更多的分数。例如，一个胎面磨损率评定为500分的轮胎安装了自动膨胀系统后会被视作相当于一个没有安装该系统的胎面磨损率评定为600分的轮胎。

这个战略在计算成本数据上展现了一个更加困难的情况。成本包括立法和执法的部分。计算执法的成本相对而言简单一些，因为它是基于一个估算，对于需要有多少额外资源去制定一些指定的执法水平，如什么时间，什么地理位置和对于谁。衡量立法成本是比较困难得，发展条例草案的通过就像研究和开发费用。此外，失去消费者剩余的成本必须计算在任何一个详细的介绍CAFÉ的经济评价中就像轮胎结构的需求。因此，立法战略在许多相同的方式中被视为一个国家的变数就像最低目前轮胎监控设备被视作为一种基础，并没有试图去量化制造与此战略相关的成本和利润。

14.4 战略4:废弃轮胎的从价税/贴现

第四个战略考虑是出台一个税收和贴现的结合并且用它来代替一个统一的\$1的废弃轮胎税收。这个战略是以能源效率电器的贴现项目为模式。这里的建议方法是使用轮胎重量对于胎面磨损率的比例来决定从价税，以便每公里的税收可以依照从价税的基础精确的计算。

税收、贴现和补贴都被设计去影响消费者的行为。对于一些低寿命轮胎设置税收将导致消费者转向更长的使用寿命的轮胎。同样的，对长寿命轮胎提供贴现将会让“有效”价格的降低

使人们由低寿命轮胎转向高寿命轮胎。这不一定代表他们会比使用低寿命轮胎更多或更好的来监控轮胎的膨胀。但是，当轮胎的平均行程增加时，废弃率会降低。引入这个变化的方法是使用实际轮胎寿命的现有比例（假设一个给予的或现有的合理膨胀）到担保的轮胎寿命为了低质量轮胎到高质量的转换。

当引入一个刺激性项目如轮胎的贴现和补贴时，基于用于贴现和补贴资金的来源来计算它们的机会成本是必要的。如果它们有税收提供，它们被计算为公众资金的机会成本。对于这个项目的管理还会有一些额外的成本。探索过去一些同类型项目使用了什么将是必须的。