



全国大学生电子设计竞赛“十二五”规划教材

全国大学生电子设计竞赛 基于TI器件的模拟电路设计

黄智伟 编著



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS

全国大学生电子设计竞赛“十二五”规划教材

全国大学生电子设计竞赛 基于 TI 器件的模拟电路设计

黄智伟 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

模拟电路是电子系统的重要组成部分。本书从工程设计要求出发,以 TI 公司的模拟电路芯片为基础,图文并茂地介绍了 TI 公司的运算放大器、仪表放大器、全差动放大器、互阻抗放大器、跨导放大器、对数放大器、隔离放大器、比较器、模拟乘法器、滤波器、电压基准、模拟开关及多路复用器等模拟电路设计和制作中的一些方法和技巧,以及应该注意的问题。本书具有很好的工程性和实用性。

本书是为从事电子系统设计的工程技术人员编写的讲述模拟电路设计与制作的基本知识、方法和技巧的参考书;也可作为本科院校和高职高专院校电子信息工程、通信工程、自动化、电气工程等专业的模拟电路设计和制作的教材;还可作为全国大学生电子设计竞赛的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

全国大学生电子设计竞赛基于 TI 器件的模拟电路设计 / 黄智伟编著. — 北京:北京航空航天大学出版社, 2014.7

ISBN 978-7-5124-1315-3

I. ①全… II. ①黄… III. ①模拟电路—电路设计—教材 IV. ①TN710.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 274768 号

版权所有,侵权必究。

全国大学生电子设计竞赛基于 TI 器件的模拟电路设计

黄智伟 编著

责任编辑 苗长江 王 彤

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:emsbook@gmail.com 邮购电话:(010)82316524

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:710×1 000 1/16 印张:34.5 字数:735 千字

2014 年 7 月第 1 版 2014 年 7 月第 1 次印刷 印数:3 000 册

ISBN 978-7-5124-1315-3 定价:79.00 元

前言

德州仪器 (TI) 是一家全球性的半导体公司, 拥有超过 70 年的悠久历史, 是世界一流的实时数字处理解决方案的设计商和提供商, 可以提供种类齐全的创新型特色模拟芯片, 以满足市场不断发展的需求。

模拟电路是电子系统的重要组成部分, 作为数字与“现实世界”信号间的接口, 模拟芯片在大多数电子设备中发挥着不可或缺的作用, 特别是在电子系统的前端和末端。在电子系统数字化的今天, TI 的模拟芯片被广泛应用于各类电子设备中。

模拟电路在设计制作中会受到各种条件的约束和制约 (如输入信号微弱、对温度敏感、易受噪声干扰等)。面对海量的技术资料, 面对生产厂商可以提供的几十类、成百上千种型号的模拟电路芯片, 面对数据表中的几十个参数, 如何选择合适的模拟电路芯片, 完成自己所需要的模拟电路设计, 实际上是一件并不容易的事情。模拟电路设计已经成为电子系统设计过程中的瓶颈。对模拟电路芯片的技术参数、特点、类型、应用要求的不熟悉, 是造成模拟电路设计制作困难的主要原因之一。

本书是为从事电子系统设计的工程技术人员编写的介绍模拟电路设计与制作的基本知识、方法和技巧的参考书。本书没有大量的理论介绍、公式推导和仿真分析, 而是从工程设计要求出发, 以 TI 公司的模拟电路芯片为基础, 通过对模拟电路芯片的基本结构、技术特性、应用电路的介绍, 并提供大量的、可选择的模拟电路芯片和应用电路以及 PCB 设计实例, 图文并茂地说明模拟电路设计和制作中的一些方法和技巧, 以及应该注意的问题。本书具有很好的工程性和实用性。

本书也可以作为本科院校和高职高专院校电子信息工程、通信工程、自动化、电气工程等专业的模拟电路设计和制作的教材, 以及作为全国大学生电子设计竞赛的培训教材。

本书共分 14 章。

第 1 章 TI 公司的模拟及数/模混合器件, 介绍了 TI 公司的模拟及数/模混合器件家族, TI 公司的信号链产品, TI 公司的放大器和线性器件树, 设计工具与软件, 技术文档, TI 放大器的命名方法等。

第 2 章 TI 的运算放大器应用电路设计基础, 介绍了运算放大器的直流/交流参数模型, 数据表中的绝对最大值、推荐的工作条件、电特性等运放参数, 运算放大器的主要参数, 一些典型的运算放大器 (OP) 应用电路结构, TI 的运算放大器应用电路, 以及运算放大器电路设计中应注意的一些问题。

第3章仪表放大器电路设计,介绍了TI公司的仪表放大器产品,仪表放大器的应用模型,三运放结构的仪表放大器电路,仪表放大器应用中的误差分析,仪表放大器输入过载保护,仪表放大器输入偏置电流的接地回路,仪表放大器参考端的正确驱动,降低仪表放大器的射频干扰,以及仪表放大器应用电路。

第4章全差动放大器电路设计,介绍了全差动放大器模型,单端输入到差分输出电路,全差动放大器噪声模型和噪声系数,差分ADC驱动电路,差分滤波器电路,差分音频应用电路。

第5章互阻抗放大器电路设计,介绍了TI公司的互阻抗放大器(TIA),互阻抗放大器基础,Decompensated放大器,TIA应用电路有关参数,TIA应用中的常见问题,单位增益稳定的运放构成的互阻抗放大器电路,Decompensated放大器构成的互阻抗放大器电路,Decompensated放大器构成的其它应用电路。

第6章跨导放大器(OTA)电路设计,介绍了集成跨导运算放大器基础,OTA的基本电路结构,以及集成跨导运算放大器的应用电路。

第7章对数放大器电路设计,介绍了对数放大器的分类和传递函数,二极管对数放大器,多级对数放大器,“真”对数放大器,连续检波对数放大器,以及对数放大器IC应用电路。

第8章隔离放大器电路设计,介绍了电路隔离的必要性,常用的电路隔离技术,隔离器的技术特性,以及隔离放大器和数字隔离器应用电路。

第9章比较器电路设计,介绍了单门限电压比较器和迟滞比较器的工作原理,比较器的性能指标,各种结构的比较器的选择,运算放大器用作比较器存在的一些问题,过零检测器电路设计,迟滞比较器电路设计,窗口比较器电路设计,逻辑电平转换电路设计,比较器构成的振荡器电路、锯齿波、三角波发生器电路、波形变换电路、电流检测电路、电压检测电路、温度检测与控制电路、单片机复位电路、驱动电路等。

第10章模拟乘法器电路设计,介绍了模拟乘法器的基本传输特性、线性与非线性特性,模拟乘法器MPY634的基本特性和应用电路形式,以及模拟乘法器应用电路。

第11章VFC和FVC电路设计,介绍了集成的VFC(电压-频率转换器)的工作原理,集成的VFC(电压-频率转换器)应用电路,集成的FVC(频率-电压转换器)应用电路。

第12章滤波器电路设计,介绍了滤波器的基本特性、参数和类型的选择,以及利用Active Filters设计工具、利用FilterPro™滤波器设计软件和利用TINA-TI™电路仿真工具进行滤波器电路设计的方法。介绍了开关电容器的等效电阻、IC的内部结构和特性,以及开关电容滤波器IC应用电路。介绍了通用有源滤波器IC及应用电路,利用数字电位器和运算放大器实现数控的低通滤波器。

第13章电压基准电路设计,介绍了电压基准源选择的一些基本考虑,串联型或并联型电压基准的选择,并联型电压基准应用电路,串联型电压基准应用电路,电流

源应用电路,通过调节电压基准来增加 ADC 的精度和分辨率等。

第 14 章模拟开关及多路复用器电路设计,介绍了模拟开关模型,影响模拟开关直流、交流性能的一些参数,模拟开关应用时应注意的一些问题,TI 的模拟开关和多路复用器选择树,模拟开关和多路复用器应用电路。

本书在编写过程中,参考了大量的国内外著作和文献资料,引用了一些国内外著作和文献资料中的经典结论,参考并引用了 Texas Instruments、Analog Devices、Maxim、Microchip Technology、Linear Technology、National Semiconductor 等公司提供的技术资料和应用笔记,得到了许多专家和学者的大力支持,听取了多方面的意见和建议。李富英高级工程师对本书进行了审阅,南华大学陈文光教授、王彦教授、朱卫华副教授、李圣副教授、任红炎、袁清、刘光达、刘鹏程、刘峰、胡孝平、彭坤、葛厚洋、刘广、胡景文、蒋万辉、杨福光、王希勤、徐花平、安庆隆、王守超、蒋智、王利、丑佳文、马宇辉、李彬鸿、邓松波、周斌、曾智、刘业、杨威、郝沛、戴宇明、邵卫龙、陈星源、袁帅春等人为本书的编写也做了大量的工作,在此一并表示衷心的感谢。同时感谢“国家级大学生创新创业训练计划项目”(201210555009)课题组,湖南省普通高等院校教学改革研究项目(20120216)课题组,湖南省大学生研究性学习与创新性实验计划项目(201209)课题组,对本书编写所做的大量工作和给予的支持。

由于水平有限,不足之处在所难免,敬请各位读者批评斧正。

黄智伟于南华大学

2014 年 5 月

目 录

第 1 章 TI 的模拟及数/模混合器件	1
1.1 TI 公司的模拟及数/模混合器件家族	1
1.2 TI 公司的信号链产品	5
1.3 TI 公司的放大器和线性器件产品	7
1.3.1 TI 公司的放大器和线性器件树	7
1.3.2 设计工具与软件	10
1.3.3 技术文档	14
1.3.4 TI 放大器的命名	16
第 2 章 TI 的放大器电路设计	17
2.1 运算放大器的参数模型	17
2.1.1 运算放大器的直流参数模型	17
2.1.2 运算放大器的交流参数模型	17
2.2 数据表中的运算放大器参数	18
2.2.1 绝对最大值	18
2.2.2 推荐的工作条件	19
2.2.3 电特性	19
2.2.4 温度范围	21
2.3 运算放大器的主要参数	21
2.3.1 输入失调电压 V_{OS}	21
2.3.2 输入失调电压温漂 $\Delta V_{OS}/\Delta T$	22
2.3.3 输入失调电流 I_{OS} 与输入失调电流温漂 $\Delta I_{OS}/\Delta T$	22
2.3.4 输入电压范围	24
2.3.5 输入偏置电流 I_B	25
2.3.6 开环增益 A_{OL} 和相位 PH 的频率特性	26

2.3.7	增益带宽积	28
2.3.8	满功率带宽(FPBW)	29
2.3.9	闭环增益与频率响应(带宽)	30
2.3.10	增益裕度和相位裕度	31
2.3.11	0.1 dB 带宽和 0.1 dB 带宽平坦度	32
2.3.12	压摆率(SR)	34
2.3.13	建立时间(t_s)	35
2.3.14	共模抑制比(CMRR)	36
2.3.15	共模输入电压和输出电压的关系	37
2.3.16	折合到输入端的电压噪声	38
2.3.17	折合到输入端的电流噪声	40
2.3.18	$1/f$ 噪声	42
2.3.19	谐波失真	45
2.3.20	输入阻抗	47
2.3.21	输出阻抗	49
2.3.22	电源参数(V_{SS} 、 V_{DD} 、 I_{DD} 或 I_Q)	50
2.3.23	电源抑制比	52
2.3.24	电源抑制比参数 k_{SVR}	53
2.3.25	IC 的封装	55
2.3.26	与 IC 封装热特性有关的一些参数	56
2.3.27	器件的功耗额定值	60
2.3.28	最大功耗与器件封装和温度的关系	60
2.4	一些典型的运算放大器(OP)应用电路结构	63
2.4.1	检波电路	64
2.4.2	绝对值电路	65
2.4.3	限幅电路	66
2.4.4	死区电路	70
2.4.5	非线性传输特性电路	73
2.4.6	二极管函数发生器	74
2.4.7	电流—电压(I/V)变换电路	77
2.4.8	电压—电流(V/I)变换电路	78
2.4.9	恒流源电路	79
2.4.10	电压—频率变换(VFC)电路	80
2.4.11	采样—保持电路	83
2.4.12	峰值检出电路	86
2.4.13	正弦波发生器电路	88

2.4.14	正交信号发生器	94
2.4.15	方波发生器电路	94
2.4.16	三角波发生器电路	96
2.4.17	锯齿波发生器电路	97
2.4.18	单稳态及双稳态触发器电路	99
2.4.19	阶梯波发生器电路	101
2.5	TI 的运算放大器应用电路	104
2.5.1	零漂移运放构成的仪表放大器电路	104
2.5.2	零漂移运放构成的桥式传感器放大电路	105
2.5.3	零漂移运放构成的差分输出桥式传感器放大电路	106
2.5.4	零漂移运放构成的低侧端电流检测电路	107
2.5.5	零漂移运放构成的高侧端电流检测电路	107
2.5.6	零漂移运放构成的 RTD Pt100 线性温度检测电路	108
2.5.7	零漂移运放构成的 K 型热电偶温度检测电路	108
2.5.8	零漂移运放构成的单电源低功耗 ECG(心电图)检测电路	108
2.5.9	零漂移运放构成的数字听诊器电路	110
2.5.10	零漂移运放构成的可编程控制的电源电路	111
2.5.11	输出电压 $0 \sim +91\text{ V}$ 的可编程控制的电源电路	111
2.5.12	输出电压和输出电流可编程控制的电源电路	112
2.5.13	DC 电平移位电路	113
2.5.14	VFB 构成的 $50\ \Omega$ 同相宽带放大器电路	114
2.5.15	VFB 构成的 $50\ \Omega$ 反相宽带放大器电路	115
2.5.16	CFB 构成的 $50\ \Omega$ 同相宽带放大器电路	115
2.5.17	CFB 构成的 $50\ \Omega$ 反相宽带放大器电路	116
2.5.18	反相宽带放大器电路	117
2.5.19	同相宽带放大器电路	118
2.5.20	宽带直流放大器电路	120
2.5.21	低漂移高输出电压(92 V_{PP})的放大器电路	125
2.5.22	高输出电压(90 V_{PP})大输出电流(1 A)的放大器电路	126
2.5.23	直接驱动 ADC 的桥式传感器电路	127
2.5.24	直接驱动 ADC 的低侧端电流检测电路	127
2.5.25	SAR 型 ADC 驱动电路	128
2.5.26	超高动态范围的差分 ADC 驱动电路	129
2.5.27	单端输入到单端输出的 ADC 驱动电路	129
2.5.28	单端输入到差分输出的 ADC 驱动电路	131
2.5.29	差分输入到差分输出的 ADC 驱动电路	131

2.6	运算放大器电路设计中应注意的一些问题	133
2.6.1	输入失调电压 V_{OS} 引起的直流误差	133
2.6.2	输入失调电压 V_{OS} 影响电路的动态范围	133
2.6.3	输入失调电压 V_{OS} 的内部调整方法	134
2.6.4	输入失调电压 V_{OS} 的外部调整方法	135
2.6.5	输入偏置电流 I_B 导致的误差	136
2.6.6	正确设计的 DC 偏置电流回路	137
2.6.7	运算放大器反相端杂散电容的影响及消除	139
2.6.8	运算放大器输出端杂散电容的影响及消除	141
2.6.9	负载电容对电压反馈型运放带宽的影响	142
2.6.10	负载电容对电流反馈型运放带宽的影响	142
2.6.11	容性负载影响的消除方法	143
2.6.12	电压反馈和电流反馈运算放大器的增益频率响应	144
2.6.13	电压反馈和电流反馈运算放大器的脉冲响应和 SR	147
2.6.14	在反馈电阻 R_F 上并联反馈电容 C_F 的影响	150
2.6.15	运算放大器建立时间引起的误差	152
2.6.16	放大器的共模抑制比引起的误差	153
2.6.17	放大器噪声等效模型	155
2.6.18	噪声增益	155
2.6.19	电阻产生的噪声	156
2.6.20	正确的选择运算放大器的接地点	157
2.6.21	放大器电路的屏蔽	159
2.6.22	端接未使用的放大器	161
2.6.23	电源电压波动对输出电压的影响	161
2.6.24	在运算放大器的每个电源引脚设置去耦电容器	162
2.6.25	设计运算放大器输入端的保护环	163
2.6.26	裸露焊盘的 PCB 设计	166
2.6.27	裸露焊盘的散热通孔设计	169
2.6.28	功耗与散热器的基本热关系	173
2.6.29	运算放大器散热设计的基本原则	173
2.6.30	模数混合电路的 PCB 按功能分区设计	173
2.6.31	模数混合电路的电源和接地的 PCB 设计布局	175
2.6.32	ADC 的电源层和接地层的 PCB 设计布局	177
2.6.33	ADC 接地对系统性能的影响	181
2.6.34	为模数混合系统中的模拟电路设计供电电路	183

第3章 仪表放大器电路设计	188
3.1 TI公司的仪表放大器产品	188
3.2 仪表放大器的应用基础	191
3.2.1 仪表放大器的应用模型	191
3.2.2 三运放结构的仪表放大器电路	192
3.3 仪表放大器应用中的误差分析	195
3.3.1 仪表放大器的误差源	195
3.3.2 输出失调误差	196
3.3.3 输入失调电流和偏置电流引起的误差	196
3.3.4 共模抑制比	197
3.3.5 交流和直流共模抑制	198
3.3.6 噪 声	199
3.3.7 增益非线性度	202
3.3.8 增益误差	203
3.4 仪表放大器输入过载保护	204
3.4.1 仪表放大器内置的过载保护电路	205
3.4.2 仪表放大器的通用二极管保护电路	205
3.5 仪表放大器输入偏置电流的接地回路	206
3.5.1 直接耦合仪表放大器的输入偏置电流接地回路	206
3.5.2 采用“浮动”源或交流耦合仪表放大器的输入偏置电流的接地回路	207
3.5.3 AC耦合输入仪表放大器的阻容元件值选择	208
3.6 正确地驱动仪表放大器的参考端	210
3.7 降低仪表放大器的射频干扰	211
3.7.1 仪表放大器内置的射频干扰(RFI)滤波器电路	211
3.7.2 在输入端设置RC低通滤波器电路	212
3.7.3 使用共模射频扼流圈作为抗射频干扰滤波器	214
3.8 仪表放大器应用电路	215
3.8.1 AC耦合仪表放大器电路	215
3.8.2 电压和电流PLC输入放大器电路	215
3.8.3 $\pm 10\text{ V}$, $4\text{ mA}\sim 20\text{ mA}$ PLC输入放大器电路	215
3.8.4 桥式传感器放大电路	216
3.8.5 RTD温度测量电路	216
3.8.6 热电偶温度测量电路	217
3.8.7 电流检测电路	219

3.8.8	ECG 电路	220
3.8.9	精密差分 V—I 转换电路	222
3.8.10	可编程的 $\pm 5\text{ mA}$ 电流源	223
3.8.11	仪表放大器构成的 ADC 驱动电路	223
3.8.12	直接驱动 ADC 的桥式传感器电路	225
3.8.13	直接驱动 ADC 的可编程桥式传感器电路	225
3.8.14	电路断路检测电路	227
第 4 章	全差动放大器电路设计	228
4.1	全差动放大器应用基础	228
4.1.1	简化的全差动放大器模型	228
4.1.2	单端输入到差分输出电路	229
4.1.3	全差动放大器的噪声模型	230
4.1.4	全差动放大器的噪声系数	231
4.2	差分 ADC 驱动电路	232
4.2.1	单端输入到差分输出的宽带 ADC 驱动电路	232
4.2.2	8 位/10 位/11 位/12 位/14 位/16 位差分 ADC 驱动电路	237
4.2.3	12 位/14 位单端输入差分输出 ADC 驱动电路	239
4.2.4	14 位/16 位 ADC 差分驱动电路	240
4.2.5	24 位 ADC 差分驱动电路	241
4.2.6	低失真高速差分 ADC 驱动电路的 PCB 设计	241
4.3	差分滤波器电路	246
4.3.1	单极点差分低通滤波器电路	246
4.3.2	单极点差分高通滤波器电路	247
4.3.3	双极点差分低通滤波器电路	247
4.3.4	双极点差分高通滤波器电路	248
4.3.5	Akerberg Mossberg 差分低通滤波器电路	249
4.3.6	Akerberg Mossberg 差分高通滤波器电路	250
4.3.7	Akerberg Mossberg 差分带通滤波器电路	251
4.3.8	Akerberg Mossberg 差分 Notch 滤波器电路	252
4.3.9	差分双二阶滤波器电路	252
4.4	音频应用电路	254
4.4.1	差分音频滤波器电路	254
4.4.2	差分立体声宽度控制电路	255
4.4.3	差分桥式驱动电路	256

第 5 章 互阻抗放大器电路设计	257
5.1 互阻抗放大器基础	257
5.1.1 TI 公司的互阻抗放大器	257
5.1.2 Decompensated 放大器	259
5.1.3 互阻抗放大器典型应用电路形式	259
5.2 TIA 应用电路有关参数	261
5.2.1 电路带宽	261
5.2.2 零点补偿	261
5.2.3 互阻抗增益与能够达到的平坦频率响应的关系	262
5.2.4 噪声计算	263
5.3 TIA 应用中的常见问题	264
5.3.1 振 荡	264
5.3.2 过冲(overshoot)	266
5.4 单位增益稳定的运放构成的互阻抗放大器电路	268
5.4.1 采用电压反馈放大器设计的互阻抗放大器电路	268
5.4.2 低噪声宽带互阻抗放大器	271
5.4.3 自动调零互阻抗放大器	272
5.5 Decompensated 放大器构成的互阻抗放大器电路	273
5.5.1 采用 LMH6629 构成的 200 MHz 互阻抗放大器电路	273
5.5.2 采用 OPA847 构成的跨阻放大器电路	273
5.5.3 采用 OPA657 构成的互阻抗放大器电路	275
5.5.4 采用 OPA2846 构成的互阻抗放大器电路	276
5.6 Decompensated 放大器构成的其他应用电路	277
5.6.1 $50\ \Omega$, 250 MHz, $G=+10$ 的同相放大器电路	277
5.6.2 $50\ \Omega$, 250 MHz, $G=-20$ 的反相放大器电路	278
5.6.3 积分器电路	278
5.6.4 Sallen - Key 低通滤波器电路	279
5.6.5 DC 耦合单端输入到差分输出高 SFDR ADC 驱动电路	279
5.6.6 AC 耦合单端输入到差分输出高 SFDR ADC 驱动电路	279
5.6.7 单端输入到差分输出的 ADC 驱动电路	279
第 6 章 跨导放大器(OTA)电路设计	282
6.1 集成跨导运算放大器	282
6.1.1 跨导放大器简介	282
6.1.2 双极型集成 OTA	283

6.1.3	CMOS 集成跨导器	284
6.2	OTA 的基本电路结构	285
6.2.1	电压模式的共 E 放大器	285
6.2.2	电压模式的共 C 放大器	286
6.2.3	电压模式的共 B 放大器	286
6.2.4	电流模式的电流放大器	286
6.2.5	电流模式的电流积分器	287
6.2.6	电流模式的电流加法器	287
6.2.7	电流模式的加权电流加法器	287
6.3	集成跨导运算放大器的应用电路	288
6.3.1	ns 级的积分器电路	288
6.3.2	电流反馈放大器(CFB)	288
6.3.3	控制环路放大器	288
6.3.4	DC 恢复电路	289
6.3.5	采样/保持电路	289
6.3.6	仪表放大器电路	290
6.3.7	Butterworth 低通滤波器电路	290
6.3.8	通用滤波器电路	292
第 7 章	对数放大器电路设计	294
7.1	对数放大器简介	294
7.1.1	对数放大器的分类	294
7.1.2	对数放大器的传递函数	295
7.1.3	二极管对数放大器	296
7.1.4	多级对数放大器	299
7.1.5	“真”对数放大器	300
7.1.6	连续检波对数放大器	300
7.2	对数放大器 IC 应用电路	301
7.2.1	输入电压范围大于 80 dB 的对数放大器电路	301
7.2.2	乘法器和除法器电路	302
7.2.3	增加一个变量的对数放大器电路	304
7.2.4	双通道 50 dB 10 MHz RF 对数放大器电路	304
7.2.5	光电二极管(光电流)对数放大器电路	304
7.2.6	吸光度测量电路	306

第 8 章 隔离放大器电路设计	308
8.1 隔离放大器电路基础	308
8.1.1 电路隔离的必要性	308
8.1.2 常用的电路隔离技术	310
8.1.3 隔离器的技术特性	313
8.2 隔离放大器和应用电路	315
8.2.1 隔离式可编程放大器电路	315
8.2.2 隔离式热电偶放大器电路	315
8.2.3 隔离式 4~20 mA 仪表回路	316
8.2.4 隔离的电源负载检测电路	317
8.2.5 单电源工作的隔离放大器电路	318
8.3 数字隔离器	319
8.3.1 数字隔离的工业数据采集系统	320
8.3.2 隔离式的 RS-485 节点	322
第 9 章 比较器电路设计	324
9.1 比较器的工作原理	324
9.1.1 单门限电压比较器	324
9.1.2 迟滞比较器	325
9.2 比较器的性能指标	327
9.2.1 开关门限、迟滞和失调电压	328
9.2.2 输入阻抗和输入偏置电流	329
9.2.3 输入电压范围	330
9.2.4 比较器输出和输出延时时间 t_{pd}	330
9.2.5 速度与功耗	332
9.2.6 电源电压	332
9.3 比较器的选择	333
9.3.1 可选择的比较器类型	333
9.4 不要将运算放大器用作比较器	334
9.4.1 运算放大器和比较器两者之间的区别	334
9.4.2 将运算放大器用作比较器的原因	335
9.4.3 运算放大器用作比较器存在的一些问题	335
9.5 过零检测器电路设计	338
9.5.1 采用单电源的过零检测器电路	338
9.5.2 采用正负电源的过零检测器电路	339

9.5.3	驱动 MOS 电路的过零检测器电路	339
9.6	迟滞比较器电路设计	339
9.6.1	同相迟滞比较器电路	339
9.6.2	反相迟滞比较器电路	342
9.6.3	具有内部迟滞的比较器电路	344
9.7	窗口比较器电路	346
9.7.1	窗口比较器电路结构	346
9.7.2	高电平有效窗口比较器	346
9.7.3	低电平有效窗口比较器	347
9.7.4	双门限比较器电路	347
9.8	逻辑电平转换电路设计	348
9.8.1	驱动 CMOS IC 的电路	348
9.8.2	驱动 TTL IC 的电路	348
9.8.3	与门(AND)电路	348
9.8.4	或门(OR)电路	349
9.8.5	逻辑或输出电路	349
9.8.6	模拟信号到 LVDS 逻辑电平转换电路	349
9.8.7	PECL 到 RSECL 逻辑电平转换电路	350
9.8.8	ECL 到 RSPECL 逻辑电平转换电路	351
9.9	比较器构成的振荡器电路设计	352
9.9.1	矩形波产生电路结构和工作原理	352
9.9.2	比较器构成的方波振荡器电路	354
9.9.3	比较器构成的脉冲发生器电路	356
9.9.4	比较器构成的晶体振荡器电路	356
9.10	比较器构成的锯齿波、三角波发生器电路	358
9.10.1	锯齿波发生器电路	358
9.10.2	精密三角波发生器电路	359
9.10.3	压控方波—三角波发生器电路	361
9.11	比较器构成的波形变换电路	362
9.11.1	单稳态电路	362
9.11.2	双稳态电路	363
9.11.3	延时发生器电路	363
9.12	比较器构成的电流检测电路	364
9.13	比较器构成的电压检测电路	365
9.13.1	微功耗精密电池低电压检测电路	365
9.13.2	纳安级功耗的高侧端电压监测电路	366

9.14	比较器构成的温度检测与控制电路	366
9.14.1	精密高温开关电路	366
9.14.2	环境温度监测用温度控制窗口检测器	367
9.15	比较器构成的单片机复位电路	368
9.16	比较器构成的驱动电路	368
9.16.1	蜂鸣器驱动电路	368
9.16.2	继电器驱动电路	369
9.16.3	LED 驱动电路	369
9.16.4	音频峰值指示电路	369
第 10 章	模拟乘法器电路设计	371
10.1	模拟乘法器基本特性	371
10.1.1	模拟乘法器的符号和功能	371
10.1.2	模拟乘法器的工作象限	371
10.1.3	模拟乘法器的传输特性	372
10.1.4	模拟乘法器的线性与非线性特性	374
10.2	模拟乘法器 MPY634	374
10.2.1	模拟乘法器 MPY634 的基本特性	374
10.2.2	乘法电路	374
10.2.3	除法电路	375
10.2.4	平方电路	375
10.2.5	开方电路	376
10.3	模拟乘法器应用电路例	377
10.3.1	相位检测电路	377
10.3.2	压控放大器电路	377
10.3.3	正弦函数发生器电路	377
10.3.4	线性 AM(调幅)电路	378
10.3.5	倍频器电路	379
10.3.6	平衡调制器电路	380
10.3.7	开立方运算电路	381
10.3.8	均方根运算电路	381
10.3.9	幂级数形式表示的函数发生电路	382
10.3.10	自动增益控制电路(AGC)	383
10.3.11	压控三角波与方波发生器	384