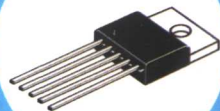
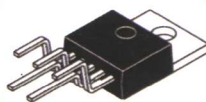
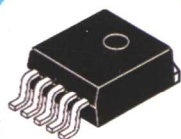


TEZHONG JICHENG DIANYUAN
SHEJI YU YINGYONG

特种集成电源 设计与应用

沙占友 马洪涛 王书海 于国庆等 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

特种集成电源 设计与应用

沙占友 马洪涛 王书海 于国庆等 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

特种集成电源具有“新、特、奇、广”的显著特点,其电路新颖,功能奇特,性能先进,种类繁多,应用领域极其广泛。本书从实用角度出发,全面、深入、系统地介绍了各种新型特种集成电源的电路设计与应用,其中包含精密数控基准电压源,数控恒流电源、低压差、准低压差和超低压差线性集成稳压器,智能化数字电源、电源监控及保护电路等多项新技术。全书共八章。第一章和第二章分别介绍了基准电压源、集成恒流源。第三章详细阐述特种开关电源的电路设计。第四章和第五章分别介绍 DC/DC 电源变换器、小功率单片 AC/DC 电源变换器。第六章介绍了由特种集成电路构成的蓄电池充电器。第七章专门介绍电源监控及保护电路。第八章阐述开关电源测试技术。

本书融科学性、系统性、先进性、实用性于一体,题材新颖,内容丰富,深入浅出,具有很高的实用价值。可供各类电子技术人员和电子爱好者阅读,并可作为高等院校有关专业的教学参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

特种集成电源设计与应用/沙占友等编著. —北京:中国电力出版社, 2007

ISBN 978-7-5083-4635-9

I. 特... II. 沙... III. ①集成电路-电源-设计②
集成电路-电源-应用 IV. TN86

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 094637 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2007 年 1 月第一版 2007 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 20 印张 479 千字

印数 0001—4000 册 定价 35.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

前 言

特种集成电源与传统的电源相比,具有电路新颖,功能奇特,性能先进,种类繁多,应用领域极其广泛等特点,因而深受广大电子工作者的青睐。作者曾编著了国内第一部专门介绍特种集成电源的著作《新型特种集成电源及应用》(人民邮电出版社1998年出版),2000年作者又编著了《特种集成电源最新应用技术》。上述著作出版之后均多次重印,受到广大读者的欢迎。

目前,我国已成为世界上生产电源及电源模块的大国,2005年由我国生产的电源适配器产量就占全球销量的40%。近年来特种集成电源又获得飞速发展,各种特种集成电源及保护器件大量问世,为推广和开发新型特种集成电源创造了良好条件。鉴于许多新型特种电源集成电路尚不为广大读者所熟悉,而国内目前尚未出版过同类著作或译著,难以适应现代科技发展的需要,为此现将近年来在教学与科研工作中积累的新经验加以系统总结,并参考国内外厂家提供的最新资料后撰写成此书,定名为《特种集成电源设计与应用》,以飨广大读者。

本书融科学性、实用性于一体,主要具有以下特点:

第一,全面、深入地阐述了近年来国际上在特种集成电源领域所取得的新技术和新成果。包括精密数控基准电压源,精密数控恒流电源,智能化数字电源,极性反转式(Inverting)、升压式(Boost)、降压式(Buck)及降压/升压式(Buck-Boost)单片DC/DC电源变换器,低压差、准低压差和超低压差稳压器(LDO、QLDO和VLDO),特种开关电源,小功率单片AC/DC电源变换器,电源监控及保护电路的设计。此外,还深入阐述了开关电源的测试技术,包括利用示波器检测高频变压器磁饱和的方法、单片开关电源的波形测试及分析。

第二,内容深入浅出,实用性强。书中所介绍的许多内容是作者长期积累的宝贵经验,具有很高的实用价值。全书给出了大量的特种集成电源实用电路,详细阐述了电路设计要点及使用注意事项。所讲述的特种电源集成电路不仅具有典型性,而且在国内市场都可以买到。本书对广大读者自行开发新型特种集成电源具有重要参考价值。

第三,信息量大,知识面宽,便于读者触类旁通,灵活运用。

沙占友教授撰写了第一、三、四章,并完成了全书的审阅及统稿工作。马洪涛副教授撰写了第七章、第八章。王彦朋、李春明副教授合撰了第二章。于国庆、安国臣、张良合撰了第五章。王书海副教授、王晓君副教授(北京理工大学在读博士生)魏书华撰写了第六章。

在本书撰写过程中得到了国内外特种电源集成电路厂家的支持,李学芝、沙江、韩振廷、沙莎、陈庆华、张文清、宋怀文、王志刚、刘立新同志也提供了帮助,在此一并致谢。

由于作者水平有限,书中难免存在缺点和不足之处,欢迎广大读者给予指正。

作 者

2006年9月于河北科技大学

目 录

前 言

第一章 基准电压源

第一节 基准电压源的特点及产品分类	1
一、基准电压源的特点	1
二、基准电压源的产品分类及应用领域	2
第二节 基准电压源的基本原理	4
一、传统基准电压源的工作原理	4
二、带隙基准电压源的工作原理	5
三、隐埋式齐纳基准电压源的工作原理	5
第三节 基准电压源的选择及使用要点	6
一、基准电压源的技术指标	6
二、基准电压源的工作模式	9
第四节 MC1403 型基准电压源	9
一、MC1403 的工作原理	10
二、MC1403 的应用技巧	10
第五节 MAX872/874 型基准电压源	12
一、MAX872/874 的工作原理	12
二、MAX872/874 的应用技巧	13
第六节 MAX6126 系列高精度、低噪声基准电压源	15
一、MAX6126 的工作原理	15
二、MAX6126 的应用技巧	15
第七节 ICL8069 型基准电压源	16
一、ICL8069 的工作原理	16
二、ICL8069 的应用技巧	17
第八节 LM399 型精密基准电压源	18
一、LM399 的工作原理	19
二、LM399 的应用技巧	19
第九节 MCP1525/1541 型可调式基准电压源	21
一、MCP1525/1541 的工作原理	21
二、MCP1525/1541 的应用技巧	21
第十节 LM336-2.5 型可调式基准电压源	22
一、LM336-2.5 的性能特点	22

二、LM336-2.5 在数字仪表中的应用	23
第十一节 TL431 型可编程基准电压源	24
一、TL431 的性能特点	25
二、TL431 的工作原理	25
三、TL431 的应用技巧	26
四、TL431 的检测方法	28
第十二节 AD584 型可编程基准电压源	29
一、AD584 的性能特点	29
二、AD584 的工作原理	29
三、AD584 的应用技巧	30
第十三节 精密数控基准电压源的设计	31
一、MAX5130/5131 的性能特点	31
二、MAX5130/5131 的工作原理	32
三、精密数控基准电压源的设计	34

第二章 集成恒流源

第一节 恒流源的产品分类	38
第二节 稳流管的应用	39
一、稳流管的工作原理	39
二、测绘稳流管的伏安特性	40
三、稳流管的应用技巧	41
第三节 恒流二极管的应用	42
一、恒流二极管的工作原理	42
二、恒流二极管的应用技巧	43
三、检测恒流二极管的方法	46
第四节 恒流三极管的应用	47
一、恒流三极管的工作原理	47
二、恒流三极管的应用技巧	47
第五节 可调式精密集成恒流源的应用	48
一、4DH 系列可调式精密集成恒流源的应用	48
二、LM334 型三端可调式集成恒流源的应用	51
三、耐高压可调式集成恒流源的应用	52
第六节 由三端集成稳压器构成的恒流源	53
一、三端固定式集成稳压器的产品分类及特点	53
二、由三端固定式集成稳压器构成的恒流源	54
三、三端可调式集成稳压器的产品分类及特点	55
四、由三端可调式集成稳压器构成的恒流源	55
第七节 精密数控恒流电源	56
一、系统设计方案	56
二、单元电路工作原理	57

三、系统软件的设计	60
四、系统的调试及性能测试	61
第八节 集成电流环发生器	62
一、XTR 系列产品的分类及性能特点	62
二、XTR115 型电流变送器的工作原理	62
三、XTR 系列产品的应用电路	63

第三章 特种开关电源

第一节 复合型开关电源	66
一、复合型开关电源的电路设计方案	66
二、单路输出复合型开关电源的电路设计	67
三、多路输出复合型开关电源的电路设计	68
第二节 恒压/恒流输出型开关电源	69
一、恒压/恒流输出型开关电源的工作原理	69
二、恒压/恒流输出型开关电源的电路设计	70
第三节 精密恒压/恒流输出型开关电源	72
一、精密恒压/恒流输出型开关电源的工作原理	72
二、精密恒压/恒流输出型开关电源的电路设计	73
第四节 截流输出型开关电源	75
一、截流输出型开关电源	75
二、恒流/截流输出型开关电源	77
第五节 恒功率输出型开关电源	77
一、恒功率输出型开关电源的工作原理	77
二、恒功率输出型开关电源的设计要点	78
第六节 智能化数字电源的设计	79
一、数字电源系统的主要特点及发展现状	79
二、数字电源系统的基本构成	80
三、智能化数字电源系统的电路设计	82
第七节 地面数字电视播放 (DVB—T) 设备的开关电源	83
一、DVB—T 开关电源的性能特点和技术指标	83
二、DVB—T 开关电源的设计	83
第八节 高速调制解调器开关电源	85
一、高速调制解调器简介	85
二、高速调制解调器开关电源的设计	86
第九节 以太网开关电源	88
一、以太网电源简介	88
二、以太网开关电源的性能特点和技术指标	88
三、以太网开关电源的设计	88
第十节 DVD 电源模块	92
一、DVD 开关电源的性能特点和技术指标	92

二、低功耗 DVD 开关电源的设计	92
第十一节 数字电视机顶盒开关电源	94
一、数字电视机顶盒简介	94
二、机顶盒开关电源的设计	95
第十二节 PC 开关电源	97
一、ATX 电源简介	97
二、145 W、PC 开关电源	98
第十三节 开关电源高频变压器的设计	100
一、软磁铁氧体磁芯的性能及产品规格	100
二、无工频变压器式开关电源的典型电路	102
三、高频变压器的设计实例	104

第四章 DC/DC 电源变换器

第一节 DC/DC 电源变换器的拓扑结构及产品分类	108
一、DC/DC 电源变换器的拓扑结构	108
二、DC/DC 电源变换器的产品分类	112
第二节 极性反转式 DC/DC 电源变换器	112
一、ICL7660/7662 型小功率直流电源变换器的工作原理	112
二、ICL7660 型小功率直流电源变换器的典型应用	113
三、MAX764 型输出可调式 DC/DC 变换器的原理与应用	114
第三节 升压式 DC/DC 电源变换器	117
一、升压式 DC/DC 电源变换器的基本原理	117
二、MAX770 型升压式 DC/DC 电源变换器的典型应用	117
第四节 LM2576 系列 3A 输出的降压式 DC/DC 电源变换器	118
一、降压式 DC/DC 电源变换器的基本原理	118
二、LM2576 系列降压式 DC/DC 电源变换器的原理	118
三、LM2576 系列降压式 DC/DC 电源变换器的应用	121
四、LM2576 系列降压式 DC/DC 电源变换器的设计要点	124
第五节 LM2596 系列 3A 输出的降压式 DC/DC 电源变换器	127
一、LM2596 系列降压式 DC/DC 电源变换器的原理	127
二、LM2596 系列降压式 DC/DC 电源变换器的应用	129
三、LM2596 系列降压式 DC/DC 电源变换器的设计要点	132
第六节 LM2678/2679 系列 5A 输出的降压式 DC/DC 电源变换器	137
一、LM2678/2679 系列降压式 DC/DC 电源变换器的原理	137
二、LM2678/2679 系列降压式 DC/DC 电源变换器的应用	140
第七节 AE1501 及 AP1501/1507/1509 系列降压式 DC/DC 电源变换器	140
一、AE1501 及 AP1501/1507/1509 系列降压式 DC/DC 电源变换器的原理	141
二、AE1501 及 AP1501/1507/1509 系列降压式 DC/DC 电源变换器的应用	142
第八节 降压/升压式 DC/DC 电源变换器	143
一、LTC3441 型降压/升压式 DC/DC 电源变换器的工作原理	143

二、LTC3441 型降压/升压式 DC/DC 电源变换器的典型应用	144
第九节 低压差和超低压差集成稳压器	145
一、低压差集成稳压器的性能特点及产品分类	145
二、低压差、准低压差稳压器 (LDO、QLDO) 的基本原理	147
三、超低压差稳压器 (VLDO) 的基本原理	149
四、低压差集成稳压器的典型应用	151
第十节 LM1117 系列低压差线性稳压器	153
一、LM1117 系列低压差线性稳压器的原理	153
二、LM1117 系列低压差线性稳压器的应用	154
第十一节 用于通信设备中的 DC/DC 电源变换器	156
一、远程通信设备用的-48V/3.3V 电源变换器	156
二、通信电缆用的多路输出式 DC/DC 电源变换器	157
三、供振铃发生器使用的-48V/-55V 电源变换器	158
第十二节 L4960/4962 型单片开关式稳压器	158
一、单片开关式稳压器的特点及产品分类	158
二、L4960/4962 的工作原理	159
三、L4960 的典型应用及使用注意事项	161
四、检测单片开关式集成稳压器的方法	162
第十三节 L4970A 系列单片开关式稳压器	163
一、L4970A 系列的性能特点	163
二、L4970A 系列的工作原理	163
三、L4970A 系列的应用技巧	166
第十四节 L4978 型单片开关式稳压器	169
一、L4978 的性能特点	169
二、L4978 的工作原理	170
三、L4978 型单片开关式稳压器的典型应用	174
第十五节 单片开关式稳压器的设计要点	175
一、关键元器件的选择	175
二、散热器的设计方法	177
第十六节 DPA-Switch 系列单片 DC/DC 电源变换器	180
一、DPA-Switch 系列产品的性能特点	180
二、DPA-Switch 系列产品的工作原理	181
三、DPA-Switch 系列单片 DC/DC 电源变换器的典型应用	186
第十七节 基于同步整流技术的高效率电源变换器的设计	187
一、同步整流的基本原理	187
二、同步整流式 DC/DC 电源变换器的设计	188
三、电路设计要点	190

第五章 小功率单片 AC/DC 电源变换器

第一节 小功率单片 AC/DC 电源变换器的性能特点及产品分类	192
--	-----

第二节	MAX610 系列小功率单片 AC/DC 电源变换器	193
一、	MAX610 系列产品的分类及性能特点	193
二、	MAX610 系列产品的工作原理与典型应用	194
三、	MAX610 系列产品的检测方法	197
四、	MAX610 系列产品的应用技巧	198
第三节	TinySwitch-II 系列微型单片开关电源	202
一、	TinySwitch-II 系列产品的性能特点	202
二、	TinySwitch-II 系列微型单片开关电源的工作原理	202
三、	TinySwitch-II 系列微型单片开关电源的典型应用	207
第四节	TinySwitch-III 系列微型单片开关电源	207
一、	TinySwitch-III 系列产品的性能特点	207
二、	TinySwitch-III 系列微型单片开关电源的工作原理	208
三、	TinySwitch-III 系列微型单片开关电源的典型应用	209
第五节	LinkSwitch 系列微型单片开关电源	211
一、	LinkSwitch 系列产品的性能特点	212
二、	LinkSwitch 系列微型单片开关电源的工作原理	213
三、	LinkSwitch 系列微型单片开关电源的典型应用	214
第六节	LinkSwitch-TN 系列微型单片开关电源	217
一、	LinkSwitch-TN 系列产品的性能特点	217
二、	LinkSwitch-TN 系列微型单片开关电源的工作原理	218
三、	LinkSwitch-TN 系列微型单片开关电源的典型应用	220
第七节	LinkSwitch-HF 系列微型单片开关电源	223
一、	LinkSwitch-HF 系列产品的性能特点	223
二、	LinkSwitch-HF 系列微型单片开关电源的工作原理	224
三、	LinkSwitch-HF 系列微型单片开关电源的典型应用	225
第八节	LinkSwitch-XT 系列微型单片开关电源	228
一、	LinkSwitch-XT 系列产品的性能特点	228
二、	LinkSwitch-XT 系列微型单片开关电源的典型应用	229
三、	LinkSwitch-XT 系列微型单片开关电源的设计要点	230
第九节	LinkSwitch-LP 系列微型单片开关电源	232
一、	LinkSwitch-LP 系列产品的性能特点	232
二、	LinkSwitch-LP 系列微型单片开关电源的典型应用	233
三、	LinkSwitch-LP 系列微型单片开关电源的设计要点	233
第十节	电源适配器	234
一、	220V 插头式 AC/DC 电源适配器	234
二、	笔记本电脑电源适配器	235
第十一节	待机电源	237
一、	计算机用待机电源	237
二、	彩色电视机用待机电源	240

第六章 蓄 电 池 充 电 器

第一节 常用蓄电池的产品分类及性能比较	241
一、常用蓄电池的产品分类	241
二、几种常用蓄电池的性能比较	242
三、蓄电池的充电方法	242
第二节 可编程镍镉电池快速充电器	243
一、MAX712 型可编程镍镉电池充电器的性能特点	244
二、MAX712 型可编程镍镉电池充电器的引脚功能	244
三、MAX712 型可编程镍镉电池充电器的原理与应用	246
第三节 锂离子电池充电器	248
一、MCP73861 型锂离子电池充电器的工作原理	248
二、MCP73861 型锂离子电池充电器的典型应用	251
三、MCP73861 型锂离子电池充电器的设计要点	252
第四节 由 TinySwitch 构成的手机电池快速充电器	253
一、3.6W 手机电池充电器电路	253
二、2.5W 恒流/恒压输出式手机电池充电器	254
第五节 由 LinkSwitch 构成的充电器	255
一、1.5W 恒压/恒流式充电器	255
二、2.5W 恒压/恒流式充电器	256

第七章 电源监控及保护电路

第一节 微处理器多路电源电压监视器	259
一、MAX8215/8216 的性能特点	259
二、MAX8215 的工作原理	259
三、由 MAX8215 构成的微处理器多路电源监视器	260
第二节 带看门狗的微处理器监控电路	261
一、HYM705/706 的工作原理	261
二、HYM705/706 的典型应用	263
第三节 USB 接口保护电路	264
一、USB 接口简介	264
二、AAT4610A 型 USB 接口保护电路的原理	265
三、AAT4610A 型 USB 接口保护电路的应用	266
第四节 无源 EMI 滤波器的原理与应用	267
一、无源电磁干扰滤波器的构造原理及应用	267
二、无源电磁干扰滤波器的技术参数和测试方法	269
三、特种无源电磁干扰滤波器的应用	270
四、检测方法和使用注意事项	270
第五节 有源 EMI 滤波器	271
一、QPI-8L 型有源 EMI 滤波器的工作原理	271

二、QPI-8L 型有源 EMI 滤波器的典型应用	273
第六节 人体静电放电 (ESD) 保护器件	274
一、人体静电放电 (ESD) 模型及测试方法	274
二、ESD 保护二极管的原理与应用	275
三、多路 ESD 保护器件的原理与应用	276
第七节 集成过电压保护器件	278
一、NCP345 型过电压保护器的原理与应用	278
二、MAX4843 系列过电压保护器的原理与应用	280
第八节 集成过电流保护器件	281
一、LTC4213 型过电流保护器的原理	281
二、LTC4213 型过电流保护器的应用	282

第八章 开关电源测试技术

第一节 开关电源测试技术	283
一、主要参数测试	283
二、功率测量技术	284
第二节 开关电源的性能测试	285
一、测试仪表	285
二、开关电源的性能测试	285
三、高频变压器的电气性能测试	286
第三节 开关电源的电磁兼容性设计与测量	287
一、电磁兼容性	287
二、电磁干扰的波形分析	288
三、电磁兼容性的设计	289
四、电磁兼容性的测量	290
第四节 高频噪声模拟发生器的构造原理与应用	292
一、高频噪声模拟器的性能特点	292
二、高频噪声模拟器的工作原理	293
三、高频噪声模拟器的典型应用	294
第五节 利用示波器检测高频变压器磁饱和的方法	296
一、高频变压器磁饱和特性及其对开关电源的危害	296
二、利用示波器检测高频变压器磁饱和的方法	298
第六节 单片开关电源的波形测试及分析	299
一、被测单片开关电源的典型电路	299
二、测量开关电源的启动特性	300
三、测量一次侧的电压/电流波形	301
四、测量二次侧的电压/电流波形	303
参考文献	305

第一章 基准电压源

基准电压源是一种用来作为电压标准的高稳定度电压源。目前,它已被广泛用于数字仪表、智能仪器和测试系统中,是一种颇有发展前景的新型特种电源集成电路。

基准电压源的特点可概括为四个字:稳、准、简、便。所谓“稳”,是指电压稳定度高,不受环境温度变化的影响;“准”,是指能通过外部元件(例如精密多圈电位器或精密分压电阻)作精细调整,获得高准确度的基准电压值 U_{REF} ;“简”,意为外围电路非常简单,仅用个别电阻元件;“便”,则是指使用灵活、方便。本章首先介绍基准电压源的特点及国内外产品的分类,再分别阐述基准电压源的基本原理、选择方法及使用要点,然后重点介绍 11 种基准电压源、可编程基准电压源典型产品的应用技巧,最后阐述精密数控基准电压源的设计。

第一节 基准电压源的特点及产品分类

一、基准电压源的特点

零温度系数的基准电压源,是人们在电子仪器和精密测量系统中长期追求的一种理想器件。传统的基准电压源是基于稳压管或晶体管的原理而制成的,其电压温度漂移(简称温漂)为 $\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ 级,电压温度系数高达 $(10^{-3} \sim 10^{-4})/^{\circ}\text{C}$,无法满足现代电子测量之需要。随着带隙基准电压源和隐埋式齐纳稳压管的问世,才使上述愿望变为现实。

1. 传统的基准电压源

传统的基准电压源一般利用稳压管或硅晶体管发射结来获取基准电压。其缺点是稳定性差、温度漂移量大,还称不上真正意义的基准电压源。

2. 新型基准电压源的分类

新型基准电压源主要有两种类型,即带隙基准电压源和隐埋式齐纳稳压管。它们均可设计成两端并联式或三端串联式电路,给负载提供基准电压。

(1) 带隙基准电压源。20 世纪 70 年代初,维德拉(Widlar)首先提出能带间隙基准电压源的概念,简称带隙(bandgap)电压。所谓能带间隙是指硅半导体材料在 0 K 温度下的带隙电压,其数值约为 1.205V ,用 U_g 表示。带隙基准电压源的基本原理是利用电阻压降的正温漂去补偿晶体管发射结正向压降的负温漂,从而实现了零温漂。由于未采用工作在反向击穿状态下的稳压管,因此噪声电压极低。目前生产的基准电压源大多为带隙基准电压源,典型产品有 MC1403。

(2) 隐埋式齐纳二极管。普通稳压管是在半导体的表面产生齐纳击穿的,因此噪声电压高,稳定性差。隐埋式二极管则是在半导体内部的次表面上发生齐纳击穿,使器件的噪声电压显著降低,稳定性大为提高。LM399 型精密基准电压源就是采用次表面隐埋技术而制成的,具有长期稳定性好、噪声电压低等优点。

几种基准电压源的性能比较见表 1-1-1。

表 1-1-1

几种基准电压源的性能比较

类 型	稳 压 管	带隙基准电压源	隐埋式齐纳二极管
主要特点	精度约为 1% 电源电压范围宽	精度可达 0.05% 静态工作电流小 (从 μA ~ 1mA 左右) 不需要外接电阻 输出电压的温度滞后量小	精度可达 0.01% 电源电压范围宽
主要缺点	静态工作电流较大 (1~10mA), 适合对功耗要求不高的应用场合 外部需要接限流电阻 精度低 只能流入灌电流 滞后电压大	电源电压范围较窄	静态工作电流较大 (1 ~ 10mA)
存在问题	长期稳定性差	部分器件不能吸入电流	部分器件不能吸入电流
适用领域	适合对精度、功耗要求都不高的 场合	适合低功耗应用场合	适合对功耗要求不严格的场合

二、基准电压源的产品分类及应用领域

1. 基准电压源的产品分类

目前国内外生产的基准电压源多达上千种, 电压温度系数一般为 $\alpha_T = (0.3 \sim 100) \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。根据 α_T 值的大小, 大致可分成三类: ①精密型基准电压源, $\alpha_T = (0.3 \sim 5) \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$; ②准精密型基准电压源, $\alpha_T = (10 \sim 20) \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$; ③普通型基准电压源, $\alpha_T = (30 \sim 100) \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。严格讲, 当 $\alpha_T > 100 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 时, 已经称不上是基准电压源了。

基准电压源全部采用集成工艺制成。在已形成的系列化产品中, 输出电压分 1.2V、2V、2.5V、3V、4V、5V、7V、10V 等 8 种规格。国内外基准电压源典型产品的分类见表 1-1-2。

表 1-1-2

国内外基准电压源典型产品的分类^①

基准电压 典型值 (V)	国外型号	电压温度系数 典型值 α_T ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	最大输出电流 I_{OM} (mA)	国产型号	封装形式
1.2 (或 1.25)	TC94、TC9491	50	20		TO-50, TO-92, DIP-8
	LM385-1.2	20	10	CJ385-1.2	TO-46, TO-92
	ICL8069 (分 4 挡)	10~100	5		TO-52, TO-92
	AD589 (分 7 挡)	10~100	10		TO-99
	MAX6190	2~8	4		SO-8
2 (或 2.048)	MAX6126-21	0.5~3	10		SO-8, μMAX -8

续表

基准电压 典型值 (V)	国外型号	电压温度系数 典型值 α_T ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	最大输出电流 I_{OM} (mA)	国产型号	封装形式
2.5	MC1403 (分3挡)	10~100	10	5G1403, CH1403	DIP-8
	AD580 (分7挡)	10~40	10		TO-52
	MCPI525	50	2		TO-92, SOT23-3
	LM336-2.5	20	10	CJ3336-2.5	TO-46, TO-92
	MAX6325	≤ 1	2.7		DIP, SO, Cerdip
	TC05	50	20		TO-52, TO-92, DIP-8
	μ PC1060	≤ 40	10		DIP-8
	MAX6126-25	0.5~3	10		SO-8, μ MAX-8
3	MAX6126-30	0.5~3	10		SO-8, μ MAX-8
4 (或 4.096)	MAX6126-40	0.5~3	10		SO-8, μ MAX-8
5	MC1404 (分2挡)	10	10		DIP-8
	LM336-5.0	30	10	CJ336-5.0	TO-46, TO-92
	MAX672	2	10		TO-99, DIP-8, SOIC
	REF-05	0.7	20		TO-99
	MAX6126-50	0.5~3	10		SO-8, μ MAX-8
7 (或 6.95)	LM199, LM399	0.3	10	CJ399, SW399	TO-46
	LM3999	2	10		TO-92
10	MAX673	2	10		TO-99, DIP-8
	LM169, LM369	10	27		TO-92, SOIC
	REF-10	3	20		TO-99
可编程	AD584	5~10	10		TO-99
	TL431	30	100		DIP-8, TO-92

① 部分产品的生产厂家如下：AD—美国 ADI 公司；ICL—美国 Intersil 公司；TC—美国 Telcom 公司；LM—美国 NSC 公司；MAX—美国 MAXIM 公司；SW—上海无线电七厂；5G—上海元件五厂；CJ—北京半导体器件五厂。

这里需要说明几点：

第一，有些型号分成几挡，各挡电压温度系数不同。例如，MC1403 就分 A、B、C 三挡，以 C 挡的电压温度系数为最低，B 挡较高，A 挡最高。

第二，在同一系列产品中又有军品、民品之分。例如，LM199（一类军品）、LM299（二类军品）、LM399（民品）同属一个系列，它们的内部电路与外形完全相同，只是工作温度范围存在差异，分别为 $-55\sim+125^{\circ}\text{C}$ 、 $-25\sim+85^{\circ}\text{C}$ 、 $0\sim70^{\circ}\text{C}$ 。

第三，由表 1-1-2 可见，LM399 的电压温度系数最低，典型值仅为 $0.3\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ；其次是 REF-05 ($0.7\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)，然后是 MAX6325 ($\leq 1\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)，LM3999、MAX672 和 MAX673（均为 $2\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ）。

第四，表 1-1-2 中所列出的 α_T 均为典型值，对同一产品而言，其最大值与典型值可相差

几倍。另外,实际值与典型值还允许有一定的偏差。

AD584 属于可编程基准电压源,它采用 TO-99 圆金属壳封装,共有 8 个引出端。其输出电压可通过编程从 10V、7.5V、5V、2.5V 这 4 种电压值中任意设定一种,使用更加灵活。除典型输出电压之外,它还可以通过外部电阻在 2.5~10V 范围内获得所需基准电压值。

2. 基准电压源的应用领域

几乎所有的数字仪表都用到基准电压源,它们可以是独立的、也可集成在芯片中。下面通过 3 个实例来说明基准电压源的应用领域:

(1) 在 A/D 转换器中,由基准电压源提供一个参考电压,输入电压与之进行比较后确定输出数据。

(2) 在电压调节器中,由基准电压源提供一个已知的电压值,将它与输出电压作比较,得到一个用于调节输出的反馈电压。

(3) 在电压比较器中,利用基准电压源设定触发门限。

第二节 基准电压源的基本原理

一、传统基准电压源的工作原理

传统的基准电压源有以下 4 种获取方法:

(1) 利用齐纳稳压管(以下简称稳压管)获取基准电压。当稳压管被反向击穿时,其稳定电压(即击穿电压)基本保持恒定,在要求不高的情况下可作基准电压源使用。稳压管在工作时需要串联一只限流电阻。其主要优点是成本低廉,缺点是稳定性差、高温漂移(电压温度系数为 $(10^{-3} \sim 10^{-4})/^{\circ}\text{C}$ 、功耗及噪声较高、输出阻抗较高(输出电流为 5mA 时内阻约为 100Ω ,1mA 时约为 600Ω)。但其稳压范围很宽(2~200V,视管子型号而定),输出功率较大(几毫瓦至几瓦),很适合作电压钳位保护电路。另一种解决方案是利用有源电路来仿真齐纳稳压管,就能克服稳压管的上述缺点。

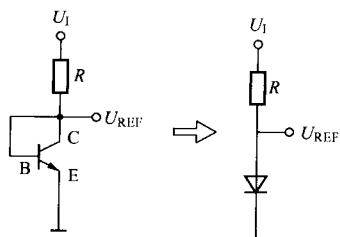


图 1-2-1 利用晶体管的发射结正向压降作基准电压

(2) 将基极与集电极短接,利用硅晶体管发射结 E-B 的正向压降作基准,电路如图 1-2-1 所示。用此方法可获得 0.6~0.7V 的基准电压值。其优点是噪声电压极低,稳定电压值也低。缺点是具有负的温漂,发射结正向电压的温度系数 $\alpha_T \approx -2.1\text{mV}/^{\circ}\text{C}$,折合 $0.3\%/^{\circ}\text{C}$;另外其动态电阻较大。图 1-2-1 中的 U_{REF} 表示基准电压。

需要说明两点:

第一,这里选用硅晶体管的发射结来代替硅二极管,是因为将 B、C 极短接后,集电结压降 $U_{\text{BC}} = 0\text{V}$,硅管呈饱和状态,此时集电极电流 I_{C} 具有恒流特性,可使 U_{REF} 不受 I_{C} 变化的影响,提高基准电压的稳定性。

第二,若把 N 只硅晶体管的发射结相串联,可得到 $0.7N$ (V) 的基准电压值。

(3) 利用硅晶体管发射结 (E-B) 的反向击穿电压作基准电压,电路如图 1-2-2 所示。此法能获得 5.8~7V 的基准电压值。但它也存在以下缺点:①该基准电压具有正的温漂,发射结反向击穿电压的温度系数 $\beta_T \approx +3.5\text{mV}/^{\circ}\text{C}$,大约折合 $0.05\%/^{\circ}\text{C}$;②动态电阻较大,

当通过发射结的电流变化时, U_{REF} 值也随之改变; ③因为工作在反向击穿状态, 所以热噪声电压较高, 尤其当芯片温度较高时, 该稳压源将输出十分可观的噪声电压。

(4) 将两个硅发射结正、反向串联后作为基准电压源。如上所述, 硅管发射结的正向电压具有负的温度系数, 而反向击穿电压具有正的温度系数, 若把一个正向 E-B 结同一个反向 E-B 结串联起来, 即可抵消掉大部分的温漂。国产带温度补偿的 2DW7 型稳压管就是基于上述补偿原理而设计成的, 其内部电路如图 1-2-3 所示。显然, 由于 $\beta_T > |\alpha_T|$, $\beta_T T - \alpha_T T \neq 0$, 因此用这种方法只能减小温度漂移量 (降至 $+1.4\text{mV}/^\circ\text{C}$), 却不能使之为零。

综上所述, 传统基准电压源的种种不足使其已无法满足数字仪表发展的需要。

二、带隙基准电压源的工作原理

带隙基准电压源的简化电路如图 1-2-4 所示。基准电压源的表达式为

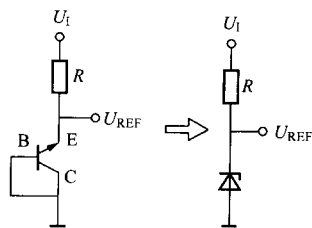


图 1-2-2 用硅晶体管发射结反向击穿电压作基准电压

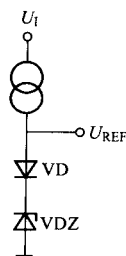


图 1-2-3 将两个硅发射结正、反向串联后作为基准电压

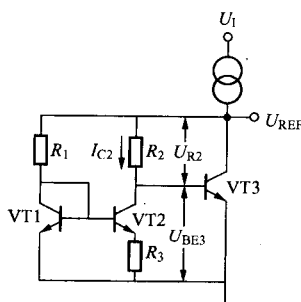


图 1-2-4 带隙基准电压源的简化电路

$$U_{REF} = U_{BE3} + I_{C2} R_2 = U_{BE} + \frac{R_2}{R_3} \times \frac{kT}{q} \ln \frac{R_2}{R_1} \quad (1-2-1)$$

式中: k 为玻耳兹曼常数; q 为电子电量; T 是热力学温度。其电压温度系数

$$\alpha_T = \frac{dU_{REF}}{dT} = \frac{dU_{BE}}{dT} + \frac{R_2}{R_3} \times \frac{k}{q} \ln \frac{R_2}{R_1} \quad (1-2-2)$$

式中, 等号右边的第一项为负数 ($dU_{BE}/dT \approx -2.1\text{mV}/^\circ\text{C}$), 第二项为正数。因此只要选择适当的电阻比, 使两项之和等于零, 即可实现零温漂。其条件是

$$U_{BE0} + \frac{R_2}{R_3} \times \frac{kT_0}{q} \ln \frac{R_2}{R_1} = U_{g0} = 1.205\text{V} \quad (1-2-3)$$

式中, U_{BE0} 是常温 T_0 下的 U_{BE} 值。这表明从理论上讲, 基准电压与温度变化无关。实际上由于受基极电流 I_B 等因素的影响, U_{REF} 只能接近于零温漂。

三、隐埋式齐纳基准电压源的工作原理

普通稳压管亦称表层齐纳二极管, 它是在半导体表面发生齐纳击穿的, 参见图 1-2-5