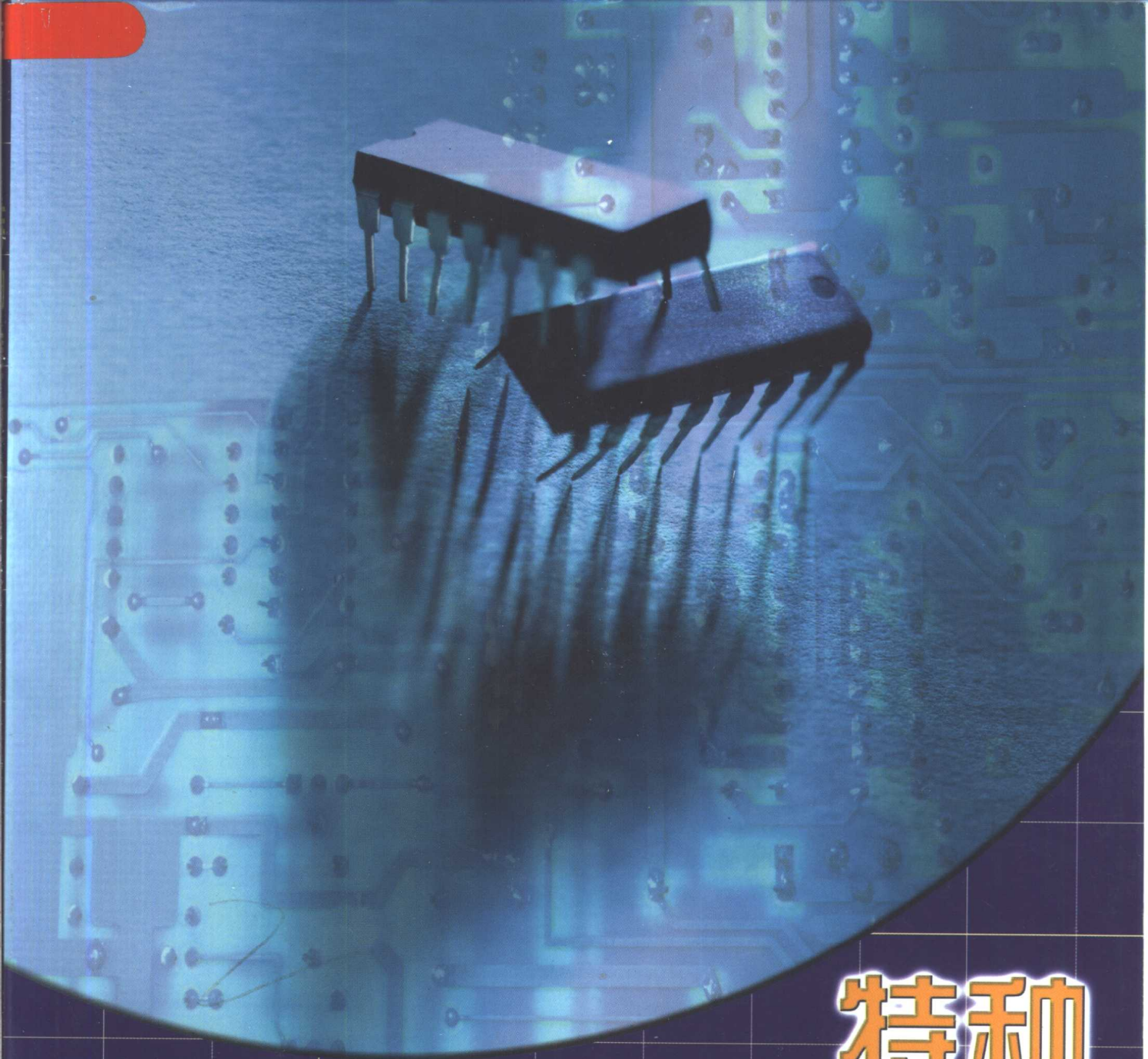


The top half of the book cover features a close-up, high-angle photograph of two integrated circuit (IC) chips. The chips are dark, rectangular components with numerous gold-colored pins extending from their sides. They are positioned on a green printed circuit board (PCB), which is densely populated with intricate circuitry, including various solder points, vias, and smaller components. The lighting is dramatic, casting long, dark shadows from the chips onto the PCB below them, creating a sense of depth and highlighting the metallic surfaces of the pins and the board. The overall color palette is dominated by the green of the PCB and the dark tones of the chips and shadows.

特种 集成电源 最新应用技术

沙占友 等编著

人民邮电出版社
www.pptph.com.cn

特种集成电源最新应用技术

沙占友 等 编著

人民邮电出版社

内 容 提 要

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工作原理与应用技术。主要内容包括:基准电压源,集成恒流源,小功率 AC/DC、DC/DC 电源变换器,三端单片开关电源,多端单片开关电源,开关电源模块,单片开关电源的设计,单片开关式集成稳压器,由 PWM 和 PFM 调制器构成的开关电源,微机电源及监控电路。

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,具有较高的实用价值。可供从事科研、检测、生产、维修工作的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。

特种集成电源最新应用技术

◆ 编 著 沙占友 等
责任编辑 李少民

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@pptph.com.cn
网址 <http://www.pptph.com.cn>
北京朝阳隆昌印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本:787×1092 1/16
印张:20.25
字数:494 千字
印数:1-6 000 册

2000 年 10 月第 1 版
2000 年 10 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-08625-7/TN·1613

定价:26.00 元

《特种集成电源最新应用技术》编委会

主 编 沙占友

副 主 编 马洪涛 睢丙东 麻新旗 王晓君 张 英 周万珍

编 委 沙占友 李学芝 马洪涛 睢丙东 麻新旗 王晓君

张 英 周万珍 唱春来 王彦朋 李春明 武卫东

杜之涛 沙 江 远松灵 周惠艳 张文清 宋怀文

陈 明 解志明 张 玮

前 言

特种集成电源与传统的电源 IC 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。因而受到广大电子工作者的青睐。本书作者几年前曾编著过《新型特种集成电源及应用》一书, 该书于 1998 年 3 月由人民邮电出版社出版之后, 深受广大读者的欢迎, 并于 1999 年 3 月重印, 总印数达 1 万册。近年来特种集成电源又获得了飞速发展, 一大批新产品如雨后春笋, 不断涌现。特别是 90 年代中、后期竞相问世的三端至五端单片开关电源, 它们具有高集成度、高性价比、最简外围电路、最佳性能指标等优点, 能构成高效率无工频变压器的隔离式开关电源, 现已成为国际上开发中、小功率开关电源、精密开关电源及电源模块的优选集成电路, 也为新型开关电源的推广应用, 创造了良好条件。

鉴于许多新型特种 IC 尚不为广大读者所熟悉, 而国内目前未出版过同类专著或译著, 难以适应电子科技发展的需要, 为此现将我们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成此书, 以飨广大读者。该书以原著的部分章节为基础, 又大量补充了新型特种 IC 的原理及应用等方面的内容。新增内容约占原著的三分之二, 主要包括: 可调式精密并联稳压器, 智能温度传感器, 可调式精密集成恒流源的设计, 三端及多端单片开关电源的原理与应用, 开关电源模块的电路分析。此外, 还重点阐述了单片开关电源的设计, 包括单片开关电源的快速设计法, 利用计算机设计单片开关电源的程序流程图、方法步骤及电子数据表, 多路输出开关电源的设计, 提高电源效率的方法, 以及单片开关电源的故障检修。

本书融科学性、系统性、先进性、实用性于一体, 全面系统地阐述了国内外在特种集成电源领域的最新技术成果, 对于研制开发特种集成电源新产品, 具有重要的参考价值。各章之间保持相对的独立性, 读者既可通读全书, 亦可选读最感兴趣的某章甚至某节。

沙占友教授任本书主编, 马洪涛、睢丙东、麻新旗、王晓君、张英、周万珍任副主编, 沙占友撰写了第四章、第五章、第七章和第八章, 并完成了全书的审阅与统稿工作。李学芝绘制并审阅了全部插图。马洪涛撰写了第一章, 睢丙东撰写了第二章, 麻新旗撰写了第十章。王晓君、唱春来、武卫东合撰了第六章。张英、王彦朋、李春明合撰了第三章。周万珍、杜之涛、沙江、远松灵、周慧艳合撰了第九章。参加本书撰写工作的还有张文清、宋怀文、陈明、解志明、张玮同志。

由于作者水平有限, 书中难免存在缺点和不足之处, 敬请广大读者指正。

作 者

2000 年 1 月于河北科技大学

目 录

第一章 基准电压源	1
§ 1.1 基准电压源的特点与产品分类	1
一、基准电压源的特点	1
二、基准电压源的产品分类	1
§ 1.2 带隙基准电压源的基本原理	3
一、传统基准电压源的缺点	3
二、带隙基准电压源的工作原理	4
§ 1.3 MC1403 型基准电压源的应用	5
一、MC1403 的结构原理	5
二、MC1403 的应用技巧	6
§ 1.4 MAX872/874 型基准电压源的应用	8
一、MAX872/874 的性能特点与基本原理	8
二、MAX872/874 的应用技巧	9
§ 1.5 ICL8069 型基准电压源的应用	11
一、ICL8069 的性能特点	11
二、ICL8069 的应用技巧	12
§ 1.6 LM399 型精密基准电压源的应用	14
一、LM399 的结构原理	14
二、LM399 的应用技巧	14
§ 1.7 MAX873/875/876 型精密基准电压源的应用	16
一、MAX873/875/876 的性能特点	16
二、MAX873/875/876 的应用技巧	17
§ 1.8 其他类型基准电压源的应用电路	17
一、TC04 和 TC05 的应用电路	17
二、LM385 - 1.2 和 LM385 - 2.5 的应用电路	18
三、AD584 的应用电路	19
四、REF - 05、REF - 10 的应用电路	19
§ 1.9 LM336 - 2.5 型可调式基准电压源在数字仪表中的应用	20
一、LM336 - 2.5 的性能特点	20
二、LM336 - 2.5 在数字仪表中的应用	20
§ 1.10 TL431 型可调式精密并联稳压器	23
一、TL431 的性能特点	23

二、TL431 的工作原理	23
三、TL431 的应用技巧	25
四、TL431 的检测方法	26
第二章 集成恒流源	28
§ 2.1 恒流源的产品分类	28
§ 2.2 稳流管的应用	29
一、稳流管的工作原理	30
二、测绘稳流管的伏安特性	31
三、稳流管的应用技巧	31
§ 2.3 恒流二极管与恒流三极管的应用	32
一、恒流二极管的性能特点	32
二、恒流三极管的性能特点	33
三、检测恒流二极管的方法	34
四、恒流管的应用技巧	35
五、恒流管在测量仪表中的应用	36
§ 2.4 可调式精密集成恒流源的应用	39
一、4DH 系列可调式精密集成恒流源的应用	39
二、LM334 型三端可调式集成恒流源的应用	42
三、耐高压可调式集成恒流源的应用	43
§ 2.5 由三端集成稳压器构成的恒流源	44
一、三端集成稳压器的产品分类及特点	44
二、由三端固定式集成稳压器构成的恒流源	46
三、由三端可调式集成稳压器构成的恒流源	47
§ 2.6 测温型恒流源的应用	47
一、AD590 型集成温度传感器的应用	48
二、HTS1 型集成温度传感器的应用	51
三、由 LM334 构成的测温电路	52
§ 2.7 DS1820 型智能温度传感器的应用	53
一、温度传感器的发展史	53
二、DS1820 的性能特点	54
三、DS1820 的工作原理	54
四、6 路电脑温控仪的电路设计	59
五、程序设计	62
第三章 小功率电源变换器	65
§ 3.1 小功率电源变换器的产品分类	65
§ 3.2 单片 AC/DC 电源变换器的应用	67
一、产品分类及性能特点	67
二、工作原理与典型用法	68

三、检测方法	71
四、MAX610 系列产品的应用技巧	72
§ 3.3 AC/DC 电源变换模块的应用	76
一、PS0500-5 型 AC/DC 电源变换模块的应用	76
二、YM8710 型稳压电源模块的应用	77
§ 3.4 极性反转式 DC/DC 电源变换器的应用	78
一、ICL7660/7662 型小功率直流电源变换器的应用	78
二、MAX764 型输出可调式 DC/DC 变换器的应用	81
§ 3.5 升压式 DC/DC 电源变换器的应用	84
一、基本原理及性能特点	84
二、MAX770/773 型 DC/DC 变换器的应用	85
§ 3.6 降压式电源变换器及模块的应用	87
一、MAX639 的原理及应用	88
二、MAX1738 型降压式模块的应用	89
§ 3.7 低压差集成稳压器的应用	89
一、低压差集成稳压器的性能特点	89
二、几种低压差集成稳压器的应用	90
第四章 三端单片开关电源	93
§ 4.1 TOPSwitch-Ⅱ 系列单片开关电源的原理	93
一、TOPSwitch-Ⅱ 的产品分类及性能特点	93
二、TOPSwitch-Ⅱ 的工作原理	95
§ 4.2 TOPSwitch-Ⅱ 系列单片开关电源的应用	100
一、4W 后备式开关电源	100
二、双路输出开关电源	101
三、30W 精密开关电源	102
四、150W 精密开关电源	103
§ 4.3 TOPSwitch-Ⅱ 的使用注意事项	105
§ 4.4 TOP100/200 系列单片开关电源的应用	107
一、TOP100 系列的产品分类及性能特点	107
二、TOP100 系列的典型应用	108
三、TOP200 系列的产品分类及性能特点	111
§ 4.5 TOP209/210 系列单片开关电源的应用	112
一、TOP209/210 系列的产品分类及性能特点	112
二、TOP210 的典型应用	112
§ 4.6 WS157/106 系列单片开关电源的应用	114
一、WS157 型单片开关电源的性能特点	114
二、WS157、WS106 的原理与应用	114
第五章 多端单片开关电源	117
§ 5.1 TinySwitch 系列产品的分类	117

一、TinySwitch 系列产品的分类	117
二、TinySwitch 系列的性能特点	117
§ 5.2 TinySwitch 系列单片开关电源的原理	118
一、TinySwitch 系列的管脚排列	118
二、TinySwitch 系列的工作原理	118
§ 5.3 TinySwitch 系列单片开关电源的应用	122
一、彩色电视机用 1.3W 待机电源	122
二、计算机用 10W 待机电源	123
三、手机电池恒流充电器	123
四、220V 插头式 AC/DC 电源变换器	124
§ 5.4 TinySwitch 的使用注意事项	125
§ 5.5 MC33370 系列产品的分类	126
一、MC33370 系列产品的分类	126
二、MC33370 系列的性能特点	127
§ 5.6 MC33370 系列单片开关电源的原理	128
一、MC33370 系列的管脚功能	128
二、MC33370 系列单片开关电源的工作原理	129
§ 5.7 MC33370 系列单片开关电源的应用	138
一、MC33370 系列单片开关电源的应用	138
二、使用注意事项	140
三、检测方法	142
第六章 开关电源模块	143
§ 6.1 开关电源模块的特点及产品分类	143
一、开关电源模块的特点	143
二、开关电源模块的产品分类	144
§ 6.2 PS 系列和 SV 系列开关电源模块	145
一、PS 系列单片开关电源模块	145
二、SV 系列超小型开关电源模块	145
§ 6.3 开关电源模块的性能测试	148
一、测试仪表	148
二、PS 系列开关电源模块的性能测试	148
三、WE 和 WH 系列开关电源模块的性能测试	150
四、SV 系列开关电源模块的性能测试	152
§ 6.4 ST200 型 5V、5W 单片开关电源模块	153
一、ST200 型模块的性能特点和技术指标	153
二、ST200 型开关电源模块的电路设计	154
三、电路改进方案	155
§ 6.5 ST202A 型 7.5V、15W 单片开关电源模块	156
一、ST202A 型模块的性能特点和技术指标	156

二、ST202A 型开关电源模块的电路设计	156
§ 6.6 ST204A 型 15V、30W 单片精密开关电源模块	158
一、ST204A 型模块的性能特点和技术指标	158
二、ST204A 型精密开关电源模块的电路设计	159
§ 6.7 RD2 型 12V、8W 单片开关电源模块	161
一、RD2 型模块的性能特点和技术指标	161
二、RD2 型开关电源模块的电路设计	161
§ 6.8 RD5 型 12V、20W 单片开关电源模块	163
一、RD5 型模块的性能特点和技术指标	163
二、RD5 型开关电源模块的电路设计	164
三、高频变压器的绕制方法及性能测试	166
第七章 单片开关电源的设计	168
§ 7.1 单片开关电源的快速设计法	168
一、TOPSwitch - II 的 P_D 与 η 、 P_0 关系曲线	168
二、正确选择 TOPSwitch - II 芯片的方法	171
三、根据输出功率比来修正等效输出功率等参数的方法	171
四、注意事项	174
§ 7.2 利用计算机设计单片开关电源的程序流程图	175
§ 7.3 利用计算机设计单片开关电源的方法与步骤	177
§ 7.4 电子数据表格	186
§ 7.5 高频变压器的设计	188
§ 7.6 多路输出式单片开关电源的设计	192
一、电路设计方案	192
二、多路输出式高频变压器的设计	194
§ 7.7 多路输出单片开关电源的改进方案	196
一、多路输出单片开关电源的改进方案	196
二、多路开关电源的特殊应用	198
§ 7.8 单片开关电源的效率及功率测量技术	199
一、单片开关电源与分立开关电源的效率比较	199
二、单片精密开关电源模块的效率及功率损耗分析	201
三、功率测量技术	202
§ 7.9 提高单片开关电源效率的方法	204
一、设计高效率单片开关电源的原则	204
二、提高单片开关电源效率的方法	205
§ 7.10 工作模式的设定及功耗比较	211
一、连续模式与不连续模式的设定	211
二、两种工作模式的功耗比较	211
§ 7.11 单片开关电源故障检修一览表	212
§ 7.12 单片开关电源常用二极管的选择	217

一、单片开关电源所使用的二极管产品分类及选取原则	217
二、单片开关电源常用二极管的产品型号及参数表	218
第八章 单片开关式集成稳压器	220
§ 8.1 单片开关式集成稳压器的产品分类	220
§ 8.2 由 L4960/4962 构成的单片开关电源	221
一、L4960 和 L4962 的工作原理	221
二、L4960 的应用技巧和使用注意事项	225
三、检测单片开关式集成稳压器的方法	228
§ 8.3 由 L296 构成的大电流单片开关电源	228
一、L296 的性能特点	228
二、L296 的工作原理	229
三、L296 的应用技巧	231
§ 8.4 由 L4970A 系列构成的大功率单片开关电源	234
一、L4970A 系列的性能特点	234
二、L4970A 系列的工作原理	234
三、L4970A 的应用电路	238
§ 8.5 单片开关式稳压器的设计要点	241
一、关键元器件的选择	241
二、散热器的设计方法	244
第九章 由 PWM、PFM 调制器构成的开关电源	249
§ 9.1 脉宽调制器及脉频调制器的产品分类和工作原理	249
一、产品分类	249
二、基本工作原理	250
§ 9.2 由 MC3520 构成的开关电源	251
一、MC3520 型脉宽调制器的工作原理	251
二、MC3520 的应用电路	254
§ 9.3 由 UC3842 构成的开关电源	257
一、UC3842 的性能特点	257
二、UC3842 的工作原理及应用电路	258
三、使用注意事项	260
§ 9.4 由 UC1864 构成的开关电源	261
一、UC1864 的性能特点	261
二、UC1864 的工作原理	262
三、UC1864 的应用电路	264
§ 9.5 开关电源高频变压器的设计方法	265
一、软磁铁氧体磁芯的性能与产品规格	265
二、高频变压器的设计实例	267
§ 9.6 电磁干扰滤波器的原理与应用	270

一、电磁干扰滤波器的构造原理及应用	270
二、电磁干扰滤波器技术参数和测试方法	271
三、典型产品介绍	273
四、特种电磁干扰滤波器的应用	274
五、检测方法和使用注意事项	275
§ 9.7 给开关电源配数显装置的方法	276
一、采用 LCD 显示的数字电压表印制板设计	276
二、采用 LED 显示的数字电压表印制板设计	278
三、外部分压器电路	278
§ 9.8 复合式开关电源及逆变器模块	280
一、复合式开关电源的设计方案	280
二、逆变器模块的原理及应用	281
第十章 微机电源及监控电路	283
§ 10.1 笔记本电脑的开关式稳压电源	283
一、MAX786 的性能特点	283
二、MAX786 的工作原理	284
三、由 MAX786 构成的笔记本电脑开关电源	286
§ 10.2 PC 机的开关式稳压电源	288
一、SG3524 型脉宽调制器的工作原理	288
二、由 SG3524 构成的 PC 机开关电源	290
§ 10.3 小功率 CMOS 不间断电源	293
一、不间断电源简介	293
二、ICL7673 的工作原理	293
三、几种 CMOS 不间断电源的实用电路	294
§ 10.4 微机多路电源电压监视器	295
一、MAX8215 的性能特点	295
二、MAX8215 的工作原理	295
三、由 MAX8215 构成的微机多路电源监视器	297
§ 10.5 可编程镍镉电池快速充电器	299
一、MAX712 的性能特点	299
二、MAX712 的管脚功能	299
三、可编程快速充电器的原理与应用	301
§ 10.6 手机镍氢电池快速充电器	304
一、镍氢电池的结构特点	304
二、手机镍氢电池快速充电器	305
参考文献	307

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的电压源。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。本章首先对国内外生产的各种基准电压源作一分类，然后重点介绍 16 种基准电压源典型产品的应用技巧。

§ 1.1 基准电压源的特点与产品分类

一、基准电压源的特点

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）作精细调整，获得高准确度的基准电压值 V_{REF} 。“简”，意为外围电路非常简单，仅用个别电阻元件。“便”，则是指使用方便、灵活。

衡量基准电压源质量等级的关键性技术指标是电压温度系数 α_T ，它表示由于温度变化而引起输出电压的漂移量，故简称温漂。其单位是 $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ （通常用 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ 表示，1ppm = 10^{-6} ）。相比之下，集成稳压器或稳压二极管的温漂要大得多，电压温度系数的单位也变成 $10^{-2}/^{\circ}\text{C}$ （即 %/ $^{\circ}\text{C}$ ），是无法与基准电压源相比较的。此外，线性集成稳压器均采用串联调整式稳压电路，能输出较大的电流，而基准电压源则属于并联调整式稳压器，它仅适合于作电压源使用，不能进行功率输出。

二、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百种，电压温度系数一般为 $(0.3 \sim 100) \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。根据不同产品 α_T 值的大小，大致可划分成三类：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，已称不上是基准电压源了。

基准电压源全部采用集成工艺而制成。在已形成的系列化产品中，输出电压分为 1.2V、2.5V、5V、6.95V（可近似视为 7V）、10V 等 5 种。表 1.1.1 列出国内外生产的基准电压源分类情况。需要说明几点：第一，有的型号划分成几挡，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 $-55 \sim +125^{\circ}\text{C}$ 、 $-25 \sim +85^{\circ}\text{C}$ 、 $0 \sim 70^{\circ}\text{C}$ ；第三，由表 1.1.1 可见，LM399 的电

表 1.1.1 国内外基准电压源产品分类

基准电压 典型值(V)	国外型号 ^①	电压温度系 数典型值 $\alpha_T (10^{-6}/^{\circ}\text{C})$	最大工 作电流 $I_{RM}(\text{mA})$	国产型号 ^②	封装形式
1.2	LM113, LM313	100	10	CJ313	TO-46
	TC04, TC9491	50	20		TO-52, TO-92, DIP-8
	LM385-1.2	20	10	CJ385-1.2	TO-46, TO-92
	MP5010 (分四挡)	10 ~ 100	10	SW5010	
	ICL8069 (分四挡)	10 ~ 100	5		TO-52, TO-92
	AD589 (分七挡)	10 ~ 100	10		TO-99
2.5	MC1403 (分三挡)	10 ~ 100	10	5G1403, CH1403	DIP-8
	AD580 (分七挡)	10 ~ 40	10		TO-52
	LM336-2.5	20	10	CJ336-2.5	TO-46, TO-92
	LM368-2.5	11	30		TO-52
	LM385-2.5	20	10	CJ385-2.5	TO-46
	TC05	50	20		TO-52, TO-92, DIP-8
	μPC1060	≤ 40	10		DIP-8
5	MC1404 (分二挡)	10	10		DIP-8
	LM336-5.0	30	10	CJ336-5.0	TO-46, TO-92
	MAX672	2	10		TO-99, DIP-8, SOIC ^③
	REF-05	0.7	20		TO-99
6.95	LM129, LM329	20	15		TO-46
	LM199, LM399	0.3	10	CJ399, SW399	TO-46
	LM3999	2	10		TO-92
10	AD581 (分六挡)	5 ~ 30	10		TO-5
	MAX673	2	10		TO-99, DIP-8
	LM169, LM369	10	27		TO-92, SOIC
	REF-01	20	21		TO-99, DIP-8
	REF-10	3	20		TO-99
2.5V、5V、7.5V、 10V (可编程), 或在 2.5 ~ 10V 内设定	AD584	5 ~ 10	10		TO-99

① 国外产品的生产厂家：LM——美国国家半导体公司(NSC)；AD——美国模拟器件公司(AD)；ICL——美国哈里斯公司(Harris)；MC——美国摩托罗拉公司(Motorola)； μPC ——日电；MAX——美国马克希姆公司(MAXIM)；TC——美国泰康姆公司(Telcom)。

② 国产型号的生产厂家：SW——上海无线电七厂；5G——上海元件五厂；CH——上海无线电十四厂；CJ——北京半导体器件五厂。

③ SOIC 表示小型双列直插式封装，其相邻管脚的中心距仅为 1.27mm (1/20 英寸)。

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

LM3999、MAX672、MAX673 (均为 $2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)；第四，表中所列出的 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 这四种电压值中任意设定一种(参见表 1.1.2)，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。

表 1.1.2 AD584 输出电压的设定程序

输出电压 V_0 (V)	程序端接法	电压温度系数 α_T ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	最大工作电流 I_{RM} (mA)
10.000	第 2 脚和第 3 脚开路	5	10
7.500	第 2 脚与第 3 脚短接		
5.000	第 2 脚与第 1 脚短接		
2.500	第 3 脚与第 1 脚短接		

§ 1.2 带隙基准电压源的基本原理

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基本部件。传统基准电压源是基于晶体管或稳压管的原理而制成的，其电压温漂为 $\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ 级，电压温度系数高达 $10^{-3}/^{\circ}\text{C} \sim 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ ，根本无法满足现代电子测量之需要。随着带隙基准电压源的问世，才将上述愿望变为现实。下面首先介绍传统基准电压源存在的缺点，然后重点阐述带隙基准电压源的工作原理。

一、传统基准电压源的缺点

传统的基准电压源有以下三种获取方法：

(1) 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，发射结正向电压温度系数 $\alpha_T \approx -2.1\text{mV}/^{\circ}\text{C} < 0$ ，折合 0.3%/ $^{\circ}\text{C}$ ；另外其动态电阻较大。图 1.2.1 中， V_{REF} 表示基准电压。

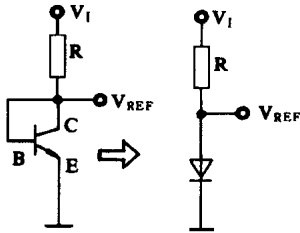


图 1.2.1 发射结正向压降

需要说明两点：①这里选用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 $V_{BC} = 0$ ，硅管呈饱和状态，利用集电极电流 I_C 的恒流特性，可提高 V_{REF} 的稳定性。②若把 N 只硅管相串联，可得到 $0.7N$ (V) 的基准电压值。

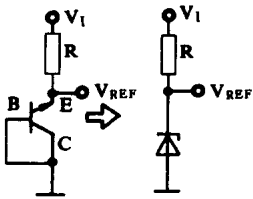


图 1.2.2 发射结反向压降

(2) 利用硅晶体管发射结(E-B)的反向击穿电压作基准，电路如图 1.2.2 所示。此法能获得 5.8 ~ 7V 的基准电压值。但它也存在几个严重缺点：第一，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%/ $^{\circ}\text{C}$ ；第二，动态电阻较大，当通

过发射结的电流变化时, V_{REF} 值亦随之改变; 第三, 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, 稳压源将输出十分可观的噪声电压。

(3) 利用两个硅发射结正、反向串联作基准。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 结同个反向 E-B 结串联起来, 即可抵消掉大部分温漂。国产带温度补偿的 2DW7 型稳压管就是根据上述补偿原理设计而成的。电路如图 1.2.3 所示。

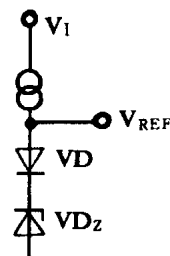


图 1.2.3 两个发射结正反向串联

显然, 因为 $\beta_T > |\alpha_T|$, $\beta_T \cdot T - \alpha_T \cdot T \neq 0$, 所以用此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。

二、带隙基准电压源的工作原理

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热力学温度为零度(0K)时的带隙电压, 其数值约 1.205V, 用符号 V_{g0} 表示。带隙基准电压源的基本工作原理, 就是利用电阻上压降的正温漂去补偿 E-B 结正向压降的负温漂, 从而实现了零温漂。因为它不使用工作在击穿状态下的齐纳稳压管, 所以其噪声电压很低。

带隙基准电压源的简化电路如图 1.2.4 所示。VT₁、VT₂ 是两只几何尺寸完全相同的硅管, 在集成电路中称之为“镜像管”。假定 VT₁、VT₂ 的共发射极电流放大系数 h_{FE} 很高, 且忽略基极电流, 则 $I_E = I_C$ 。由图 1.2.4 得到基准电压的表达式

$$V_{REF} = V_{RE3} + V_{R2} = V_{BE3} + I_{C2} R_2 \quad (1.2.1)$$

下面首先推导 I_{C2} 的表达式。根据半导体理论, 对 VT₁、VT₂ 可分别写出

$$I_{E1} = I_{S1} \cdot e^{\frac{q V_{BE1}}{kT}} = I_{C1}$$

$$I_{E2} = I_{S2} \cdot e^{\frac{q V_{BE2}}{kT}} = I_{C2}$$

式中 I_{S1} 、 I_{S2} ——分别为 VT₁、VT₂ 的反向饱和电流, 因两只管子完全相同, 故 $I_{S1} = I_{S2}$;

k ——波尔兹曼常数, $k = 8.63 \times 10^{-5} \text{eV/K}$;

q ——电子电量, $q = e$;

T ——热力学温度。

二式相除, 两边再取自然对数, 得到

$$\ln \frac{I_{C1}}{I_{C2}} = \frac{q}{kT} \cdot \Delta V_{BE}$$

因 $\Delta V_{BE} = V_{BE1} - V_{BE2} = I_{E2} R_3 = I_{C2} R_3$, 故

$$\ln \frac{I_{C1}}{I_{C2}} = \frac{q}{kT} \cdot I_{C2} R_3$$

从中解出 I_{C2}

$$I_{C_2} = \frac{1}{R_3} \cdot \frac{kT}{q} \ln \frac{I_{C_1}}{I_{C_2}} \quad (1.2.2)$$

将式(1.2.2)代入式(1.2.1)中, 可得

$$V_{REF} = V_{BE_3} + \frac{R_2}{R_3} \cdot \frac{kT}{q} \ln \frac{I_{C_1}}{I_{C_2}} \quad (1.2.3)$$

由于 R_1 、 R_2 上的压降相等, 根据欧姆定律有关系式 $I_{C_1}/I_{C_2} = R_2/R_1$, 于是

$$V_{REF} = V_{BE_3} + \frac{R_2}{R_3} \cdot \frac{kT}{q} \ln \frac{R_2}{R_1} \quad (1.2.4)$$

在此基准电压表达式中, 第二项仅与集成电路内部的电阻比 R_2/R_1 、 R_2/R_3 有关, 其余量均为常数, 故 V_{REF} 值可以做得很准。

下面分析带隙基准电压源的温漂表达式, 以及实现零温漂的条件。

将式(1.2.4)对温度求导数, 并用 V_{BE} 来代替 V_{BE_3} :

$$\frac{dV_{REF}}{dT} = \frac{dV_{BE}}{dT} + \frac{R_2}{R_3} \cdot \frac{k}{q} \ln \frac{R_2}{R_1} \quad (1.2.5)$$

式中, 右边第一项为负数($dV_{BE}/dT = \alpha_T < 0$), 第二项则为正数。因此, 可以选择适当的电阻比 R_2/R_3 和 R_2/R_1 , 使这两项之和等于零, 从而实现零温漂。下面推导零温漂之条件。根据半导体理论, 有关系式

$$V_{BE} = V_{g0} \left(1 - \frac{T}{T_0}\right) + V_{BE_0} \cdot \frac{T}{T_0}$$

$$\text{即} \quad \frac{dV_{BE}}{dT} = -\frac{V_{g0}}{T_0} + \frac{V_{BE_0}}{T_0} \quad (1.2.6)$$

式中, V_{BE_0} 是常温 T_0 下的 V_{BE} 值。将式(1.2.6)代入式(1.2.5)中并且令 $dV_{REF}/dT = \alpha_T = 0$, 则

$$\alpha_T = \frac{dV_{REF}}{dT} = -\frac{V_{g0}}{T_0} + \frac{V_{BE_0}}{T_0} + \frac{R_2}{R_3} \cdot \frac{k}{q} \ln \frac{R_2}{R_1} = 0$$

最后得到

$$V_{REF} = V_{BE_0} + \frac{R_2}{R_3} \cdot \frac{kT_0}{q} \ln \frac{R_2}{R_1} = V_{g_0} = 1.205V \quad (1.2.7)$$

此即实现零温漂的条件, 只要使左式恰好等于硅材料的带隙电压值(1.205V), 基准电压就与温度变化无关。实际上, 这里忽略了基极电流 I_B 的影响, 严格讲只是近似于零温漂。鉴于图 1.2.4 中未采用齐纳稳压管, 因此这种基准电压源的热噪声电压可低至微伏级。

§ 1.3 MC1403 型基准电压源的应用

MC1403 是美国摩托罗拉公司首先生产出的高精度、低温漂、采用激光修正的带隙基准电压源。国产型号为 5G1403 和 CH1403。

一、MC1403 的结构原理

MC1403 采用 8 脚双列直插式封装(DIP-8), 管脚排列如图 1.3.1 (a)所示。其输入电压范