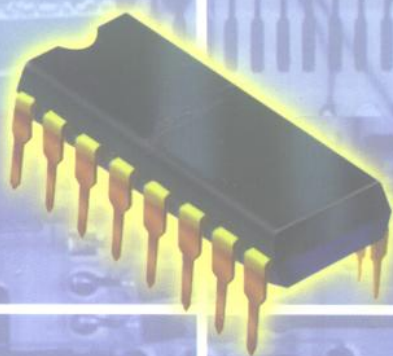


XIN XING
TE ZHONG
JI CHENG
DIAN YUAN
JI
YING YONG

新型特种 集成电源及应用

沙占友等 / 编著

新
型
特
种
集
成
电
源
及
应
用



人民邮电出版社
PEOPLE'S POSTS &
TELECOMMUNICATIONS
PUBLISHING HOUSE

410533

新型特种集成电源及应用

沙占友 等编著

人民邮电出版社

图书在版编目(CIP)数据

新型特种集成电源及应用/沙占友等编著. - 北京:
人民邮电出版社, 1997. 12

ISBN 7-115-06684-1

I. 新… II. 沙… III. 电源-概论 IV. TM91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 22804 号

内 容 提 要

本书从实用角度出发,全面、深入、系统地阐述新型特种集成电源的工作原理与应用技术。主要内容有:各种基准电压源和集成恒流源的应用;AC/DC、DC/DC 电源变换器的应用;新型单片开关电源的应用;无工频变压器集成开关电源的应用;微机电源及监控电路;单片真有效值/直流转换器的应用;集成信号源与信号转换器。

本书题材新颖,内容丰富,深入浅出,图文并茂,实用性很强。可供从事科研、检测、维修工作的各类电子技术人员和电子爱好者阅读,亦可作为高等院校有关专业的教科书。

新型特种集成电源及应用

xinxing tezhong jichengdianyuan ji ying yong

◆ 编 著 沙占友等

责任编辑 李少民

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京崇文区夕照寺街 14 号

北京顺义向阳印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本:787×1092 1/16

印张:14

字数:344 千字

1998 年 3 月第 1 版

印数:1-5 000 册

1998 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN7-115-06684-1/TN·1250

定价:19.00 元

前 言

目前,各种新型特种集成电源在国内外获得迅速推广应用,正显示出强大的生命力。与此同时,特种电源、信号源的专用集成电路已大量进入国内市场,我国也自行开发出一批新产品,为进一步推广普及奠定了良好的基础。这类集成电路与传统的电源 IC 相比,具有“新、特、奇、广”四大优点,即电路新颖、功能奇特、性能先进、品种繁多、应用领域极其广泛。例如,精密基准电压源可广泛用于数字电压表和智能仪器中;单片 AC/DC 电源变换器能将 220V 交流电源直接变换成直流稳定电压输出,打破了小功率线性稳压电源的传统设计方案;单片开关电源现已成为制作中功率开关电源的优选产品之一;而笔记本电脑开关电源及监控电路具有广阔的应用前景;可编程镍镉电池快速充电器则具有全自动、全保护、电源效率高、充电速度快等先进功能。利用单片真有效值/直流转换器,能够准确测量各种波形的真有效值电压(或电平)。单片精密函数波形发生器的问世,为研制高性价比的集成信号源创造了条件。因此,新型特种集成电源和信号源的推广应用,有助于提高我国电子产品的科技水平,也为仪器仪表、高档家电的发展注入新的活力。

鉴于特种集成电源和信号源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,难以适应科技发展的需要,现将我们多年来在教学与科研工作中积累的经验加以系统总结,并参考国内外厂家提供的最新资料后撰成此书,以满足广大读者的急需。

沙占友撰写了第一章 § 1.1 ~ § 1.6、第二章、第四章、第五章、第六章,以及其余章节的部分内容,并完成了全书的审阅和定稿。李学芝撰写了 § 3.1 和 § 3.3,并绘制了全书插图。邱凯撰写了 § 3.4 ~ § 3.7。高俊岭撰写了 § 6.1 ~ § 6.3。庞志锋撰写了 § 1.7 ~ § 1.9。石柱菊撰写了 § 8.4、§ 8.8 和 § 8.9。刘勇撰写了 § 8.3、§ 8.6。唱春来撰写了 § 8.1、§ 8.2。王晓君撰写了 § 6.4、§ 8.7。王彦朋撰写了 § 6.1、§ 7.1、§ 7.2。§ 3.2 由沙占友、刘勇、唱春来合撰。参加本书撰写与实验测试的还有沙占为、李建国、张卫、赵星源、陈昌旭、王建军同志。

由于作者水平有限,书中的缺点和不妥之处在所难免,敬请广大读者指正。

作 者

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	10
一、ICL8069 的性能特点	10
二、ICL8069 的应用技巧	11
§ 1.6 LM399 型精密基准电压源的应用	13
一、LM399 的结构原理	13
二、LM399 的应用技巧	13
§ 1.7 MAX873/875/876 型精密基准电压源的应用	15
一、MAX873/875/876 的性能特点	15
二、MAX873/875/876 的应用技巧	16
§ 1.8 其他类型基准电压源的应用电路	16
一、TC04 和 TC05 的应用电路	16
二、LM385-1.2 和 LM385-2.5 的应用电路	17
三、AD584 的应用电路	18
四、REF-05、REF-10 的应用电路	18
§ 1.9 LM336-2.5 型可调式基准电压源在数字仪表中的应用	19
一、LM336-2.5 的性能特点	19
二、LM336-2.5 在数字仪表中的应用	19
第二章 集成恒流源	22
§ 2.1 恒流源的产品分类	22
§ 2.2 稳流管的应用	23
一、稳流管的工作原理	24

二、测绘稳流管的伏安特性	24
三、稳流管的应用技巧	25
§ 2.3 恒流二极管与恒流三极管的应用	26
一、恒流二极管的性能特点	26
二、恒流三极管的性能特点	27
三、检测恒流二极管的方法	28
四、恒流管的应用技巧	29
五、恒流管在测量仪表中的应用	30
§ 2.4 可调式精密集成恒流源的应用	32
一、4DH 系列可调式精密集成恒流源的应用	33
二、LM334 型三端可调式集成恒流源的应用	34
三、耐高压可调式集成恒流源的应用	35
§ 2.5 由三端集成稳压器构成的恒流源	36
一、三端集成稳压器的产品分类及特点	36
二、由三端固定式集成稳压器构成的恒流源	38
三、由三端可调式集成稳压器构成的恒流源	39
§ 2.6 测温型恒流源的应用	40
一、AD590 型集成温度传感器的应用	40
二、HTS1 型集成温度传感器的应用	43
三、由 LM334 构成的测温电路	44
第三章 小功率电源变换器	46
§ 3.1 小功率电源交换器的产品分类	46
§ 3.2 单片 AC/DC 电源变换器的应用	48
一、产品分类及性能特点	48
二、工作原理与典型用法	49
三、检测方法	52
四、MAX610 系列产品的应用技巧	53
§ 3.3 AC/DC 电源变换模块的应用	56
一、PS0500-5 型 AC/DC 电源变换模块的应用	57
二、YM8710 型稳压电源模块的应用	58
§ 3.4 极性反转式 DC/DC 电源变换器的应用	59
一、ICL7660/7662 型小功率直流电源变换器的应用	59
二、MAX764 型输出可调式 DC/DC 变换器的应用	61
§ 3.5 升压式 DC/DC 电源变换器的应用	64
一、基本原理及性能特点	64
二、MAX770/773 型 DC/DC 变换器的应用	66
§ 3.6 降压式电源变换器及模块的应用	67
一、MAX639 的原理及应用	67
二、MAX1738 型降压式模块的应用	69
§ 3.7 低压差集成稳压器的应用	69

一、低压差集成稳压器的性能特点	69
二、几种低压差集成稳压器的应用	70
第四章 单片集成开关电源	72
§ 4.1 单片开关式集成稳压器的产品分类	72
§ 4.2 由 L4960/4962 构成的单片开关电源	73
一、L4960 和 L4962 的工作原理	73
二、L4960 的应用技巧和使用注意事项	76
三、检测单片开关电源的方法	79
§ 4.3 由 L296 构成的大电流单片开关电源	80
一、L296 的性能特点	80
二、L296 的工作原理	80
三、L296 的应用技巧	82
§ 4.4 由 L4970A 系列构成的大功率单片开关电源	85
一、L4970A 系列的性能特点	85
二、L4970A 系列的工作原理	86
三、L4970A 的应用电路	89
§ 4.5 单片开关电源的设计要点	92
一、关键元器件的选择	92
二、散热器的设计方法	94
第五章 无工频变压器集成开关电源	100
§ 5.1 脉宽调制器及脉频调制器的产品分类和工作原理	100
一、产品分类	100
二、基本工作原理	101
§ 5.2 由 MC3520 构成的开关电源	102
一、MC3520 型脉宽调制器的工作原理	102
二、MC3520 的应用电路	104
§ 5.3 由 UC3842 构成的开关电源	108
一、UC3842 的性能特点	108
二、UC3842 的工作原理及应用电路	108
三、使用注意事项	111
§ 5.4 由 UC1864 构成的开关电源	111
一、UC1864 的性能特点	111
二、UC1864 的工作原理	112
三、UC1864 的应用电路	114
§ 5.5 开关电源高频变压器的设计方法	116
一、软磁铁氧体磁芯的性能与产品规格	116
二、高频变压器的设计实例	117
§ 5.6 电源噪声滤波器的原理与应用	120
一、电源噪声滤波器的构造原理及应用	120
二、电源噪声滤波器技术参数和测试方法	122

三、典型产品介绍	123
四、特种电源噪声滤波器的应用	124
五、检测方法和使用注意事项	125
§ 5.7 给开关电源配数显装置的方法	126
一、采用 LCD 显示的数字电压表印制板设计	126
二、采用 LED 显示的数字电压表印制板设计	128
三、外部分压器电路	128
§ 5.8 复合式开关电源及逆变器模块	129
一、复合式开关电源的设计方案	130
二、逆变器模块的原理及应用	131
第六章 微机电源及监控电路	133
§ 6.1 笔记本电脑的开关式稳压电源	133
一、MAX786 的性能特点	133
二、MAX786 的工作原理	134
三、由 MAX786 构成的笔记本电脑开关电源	136
§ 6.2 PC 机的开关式稳压电源	138
一、SG3524 型脉宽调制器的工作原理	138
二、由 SG3524 构成的 PC 机开关电源	140
§ 6.3 小功率 CMOS 不间断电源	142
一、不间断电源简介	142
二、ICL7673 的工作原理	143
三、几种 CMOS 不间断电源的实用电路	144
§ 6.4 微机多路电源电压监视器	144
一、MAX8215 的性能特点	145
二、MAX8215 的工作原理	145
三、由 MAX8215 构成的微机多路电源监视器	146
§ 6.5 可编程镍镉电池快速充电器	148
一、MAX712 的性能特点	148
二、MAX712 的管脚功能	149
三、可编程快速充电器的原理与应用	150
第七章 单片真有效值/直流转换器	154
§ 7.1 真有效值测量的基本原理	154
§ 7.2 单片真有效值/直流转换器的产品分类	156
§ 7.3 AD536A 型 TRMS/DC 转换器的应用	158
一、AD536A 的性能特点	158
二、AD536A 的工作原理	159
三、AD536A 的应用技巧和使用注意事项	161
§ 7.4 AD636 型 TRMS/DC 转换器的应用	164
一、AD636 的性能特点	164
二、AD636 的工作原理	165

三、AD636 的应用技巧	165
§ 7.5 AD637 型 TRMS/DC 转换器的应用	167
一、AD637 的性能特点	167
二、AD637 的工作原理	168
三、AD637 的应用技巧	169
§ 7.6 AD736 型 TRMS/DC 转换器的应用	173
一、AD736 的性能特点	173
二、AD736 的工作原理	173
三、AD736 的应用技巧	175
§ 7.7 AD737 型 TRMS/DC 转换器的应用	176
一、AD737 的工作原理及特点	176
二、AD737 的应用技巧	177
§ 7.8 真有效值数字仪表的整机电路设计	178
一、5 量程真有效值数字电压表	179
二、4 量程真有效值数字电压/电平表	179
第八章 集成信号源与信号转换器	181
§ 8.1 方波发生器	181
一、两级反相式阻容振荡器	181
二、三级反相频率可调式阻容振荡器	182
三、方波信号发生器的特殊应用	183
§ 8.2 占空比可调的矩形波发生器	184
一、由门电路构成占空比可调的振荡器	184
二、由时基电路构成占空比可调的振荡器	185
§ 8.3 多路信号发生器	186
一、ICM7207A 的工作原理	186
二、ICM7207A 的应用技巧	186
§ 8.4 函数波形发生器	188
一、简易函数波形发生器	188
二、精密函数波形发生器	189
§ 8.5 高频精密函数波形发生器	192
一、MAX038 的性能特点	192
二、MAX038 的工作原理	193
三、由 MAX038 构成的高频精密函数发生器	196
四、使用注意事项	196
§ 8.6 石英晶体振荡器及秒基准信号发生器	197
一、石英晶体振荡器	197
二、几种秒基准信号发生器	199
§ 8.7 晶振频率合成器	201
一、利用集成锁相环实现倍频的原理	201
二、晶振频率合成器	202

§ 8.8 V/f 转换器及 f/V 转换器	203
一、由 LM331 构成的 V/f 转换器	203
二、由 ICM7555 构成的 f/V 转换器	204
§ 8.9 单片精密型 V/f、f/V 转换器	206
一、TC9401 的性能特点	206
二、TC9401 的管脚功能	207
三、V/f 转换器的原理与应用	208
四、f/V 转换器的原理与应用	211
参考文献	214

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 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 三档,以 C 档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 $-55 \sim +125^{\circ}\text{C}$ 、 $-25 \sim$

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
	TC94, TC9491	50	20		TO-50, 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-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
	$\mu\text{PC}1060$	≤ 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)。

+85 $^{\circ}\text{C}$ 、0 ~ 70 $^{\circ}\text{C}$; 第三, 由表 1.1.1 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 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 $V_O(\text{V})$	程序端接法	电压温度系数 $\alpha_T(10^{-6}/^{\circ}\text{C})$	最大工作电流 $I_{RM}(\text{mA})$
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。

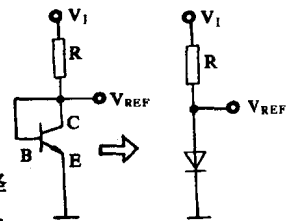


图 1.2.1 发射结正向压降

图 1.2.1 中, V_{REF} 表示基准电压。

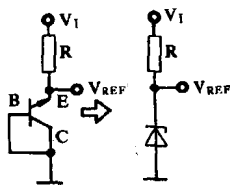


图 1.2.2 发射结反向压降

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 $V_{\text{BC}} = 0$,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 $0.7N(\text{V})$ 的基准电压值。

(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 结同一个反向 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。

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。

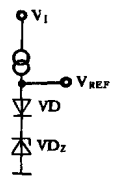


图 1.2.3 两个发射结正反向串联

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

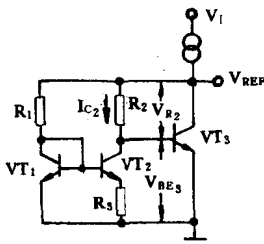


图 1.2.4 带隙基准电压源的简化电路

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

$$V_{REF} = V_{BE_3} + V_{R_2} = V_{BE_3} + I_{C_2} R_2 \quad (1.2.1)$$

下面首先推导 I_{C_2} 的表达式。根据半导体理论,对 VT₁、VT₂ 可分别写出

$$I_{E_1} = I_{S_1} \cdot e^{\frac{qV_{BE_1}}{kT}} = I_{C_1}$$

$$I_{E_2} = I_{S_2} \cdot e^{\frac{qV_{BE_2}}{kT}} = I_{C_2}$$

式中 I_{S_1} 、 I_{S_2} ——分别为 VT₁、VT₂ 的反向饱和电流,因两只管子完全相同,故 $I_{S_1} = I_{S_2}$;

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

$$\ln \frac{I_{C_1}}{I_{C_2}} = \frac{q}{kT} \cdot \Delta V_{BE}$$

因 $\Delta V_{BE} = V_{BE_1} - V_{BE_2} = I_{E_2} R_3 = I_{C_2} R_3$, 故

$$\ln \frac{I_{C_1}}{I_{C_2}} = \frac{q}{kT} \cdot I_{C_2} R_3$$

从中解出 I_{C_2}

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

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

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

即

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

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。

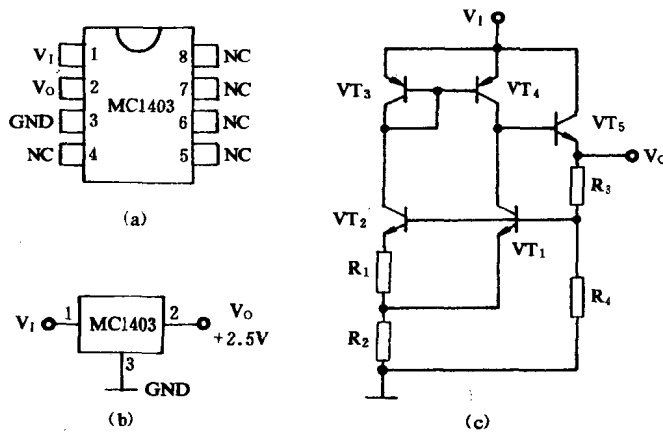
§ 1.3 MC1403 型基准电压源的应用

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

围是 4.5 ~ 15V, 输出电压的允许范围是 2.475 ~ 2.525V, 典型值为 2.500V, 电压温度系数可达 $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。为便于配 8P 插座, MC1403 上设置了 5 个空脚(NC)。



(a) 管脚排列 (b) 电路符号 (c) 简化电路

图 1.3.1 MC1403 的管脚排列与简化电路

MC1403 的简化电路如图 1.3.1(c)所示。在 § 1.2 曾分析过带隙基准电压源的工作原理, 对于 MC1403, 其输出电压由下式确定:

$$V_0 = \frac{R_3 + R_4}{R_4} (V_{g0} - CT + \frac{2R_2}{R_1} \cdot \frac{kT}{q} \ln \frac{A_{e2}}{A_{e1}}) \quad (1.3.1)$$

式中 V_{g0} ——硅在 0K 时的带隙电压, 约 1.205V;

C ——比例系数;

A_{e1} 、 A_{e2} ——分别为 VT_1 、 VT_2 的发射极周长, 设计的 $A_{e2}/A_{e1} = 8$ 。

只要选择合适的电阻比 R_2/R_1 , 就能使式(1.3.1)中括弧内的第二项与第三项之和等于零, 从而实现了零温漂, 即输出电压与温度无关。此时

$$V_0 = \frac{R_3 + R_4}{R_4} \cdot V_{g0} \quad (1.3.2)$$

实取 $(R_3 + R_4)/R_4 = 2.08$, 代入式(1.3.2)中计算出 $V_0 = 2.08 \times 1.205 = 2.5V$ 。

二、MC1403 的应用技巧

1. 典型应用

MC1403 的典型应用如图 1.3.2 所示。在输出端接有 1kΩ 的精密多圈电位器, 用以精确调整输出的基准电压值。 C 是消噪电容, 亦可省去不用。实测 MC1403 的输入-输出特性见表 1.3。由表可知, 当输入电压从 10V 降至 4.5V 时, 输出电压只变化 0.0001V, 相对变化率仅为 -0.0018%。

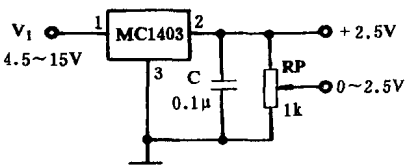


图 1.3.2 MC1403 的典型应用

表 1.3

MC1403 的输入-输出特性

输入电压(V)	10	9	8	7	6	5	4.5
输出电压(V)	2.5028	2.5028	2.5028	2.5028	2.5028	2.5028	2.5027

2. 实现多路输出的方法

将两片 MC1403 串联使用,可同时获得 +5V 和 +2.5V 两路输出,电路如图 1.3.3 所示。MC1403 I 的第 3 脚 (GND)需接至 MC1403 II 的第 2 脚 (V_{O2}),电容器 C 与电阻 R 组成 RC 网络,可抑制高频干扰。

3. 提高输出电压的方法

若要求输出的基准电压值高于 2.5V,可采用图 1.3.4 所示电路。F007 在这里作为同相放大器,调整 R_2 可获得所需要的 V_O 值:

$$V_O = 2.5 \times \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \quad (1.3.3)$$

V_O 的调整范围是 +2.5V ~ 12V。

鉴于 F007 的失调电压较大,还可采用 ICL7650(国产型号为 5G7650)型高精度、低漂移、斩波自稳零式精密运算放大器,电路如图 1.3.5 所示。ICL7650 属于第四代运放,其输入失调电压仅 $1\mu\text{V}$,只相当于通用型运放 F007(或 $\mu\text{A}741$)的千分之一,温度漂移低至 $0.01\mu\text{V}/^\circ\text{C}$,开环电压增益 $A_{V0} = 134\text{dB}$,共模抑制比 $\text{CMRR} = 130\text{dB}$,单位增益带宽 $\text{BW}_G = 2.0\text{MHz}$,输入阻抗达 $10^{12}\Omega$ 。图 1.3.5 中的 R_f 为反馈电阻, V_O 值由下式确定:

$$V_O = 2.5 \times \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) \quad (1.3.4)$$

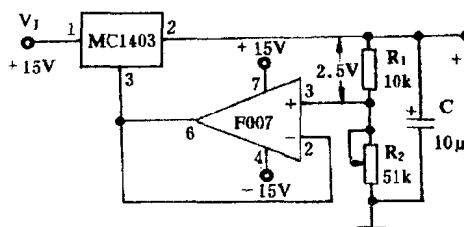


图 1.3.4 利用 F007 提高输出电压

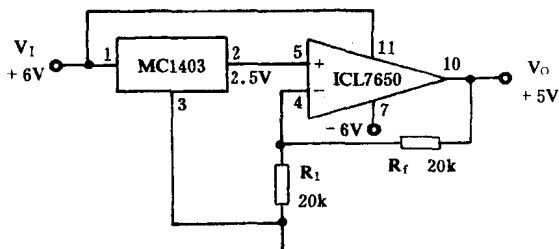


图 1.3.5 利用 ICL7650 提高输出电压

当 $R_f = R_1 = 20\text{k}\Omega$ 时, $V_O = 5\text{V}$ 。

4. 在数字仪表中的特殊应用

MC1403 在数字多用表中的特殊应用电路如图 1.3.6 所示。该仪表是由 MC14433 构成的 $3\frac{1}{2}$ 位自动量程数字多用表,它设置了两个基本量程: 200mV、2V。其中, 200mV 挡、2mA ~ 2A 挡、200 Ω 挡的基本量程均为 200mV,而 2V ~ 2000V 挡、2k Ω ~ 2M Ω 挡的基本量程为 2V。该电路的特点是设计了两套基准电压分压器,并经过模拟开关进行自动切换。第一套分压器由 R_1 、 R_2 和 RP_1 构成,调整电位器 RP_1 可获得基准电压 $V_{\text{REF1}} = 200.0\text{mV}$,此时基本量程定为 200mV。第二套分压器由 R_3 、 R_4 和 RP_2 组成,调整 RP_2 可获

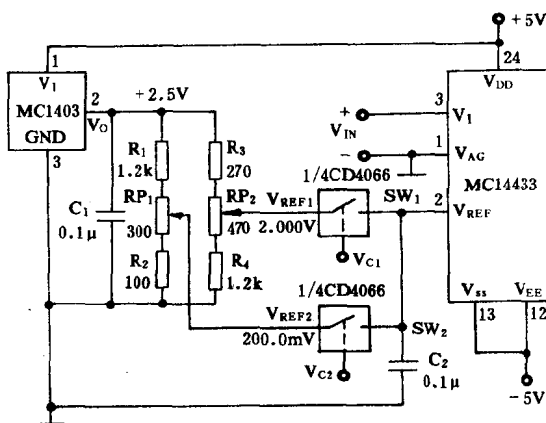


图 1.3.6 MC1403 在数字多用表中的特殊应用