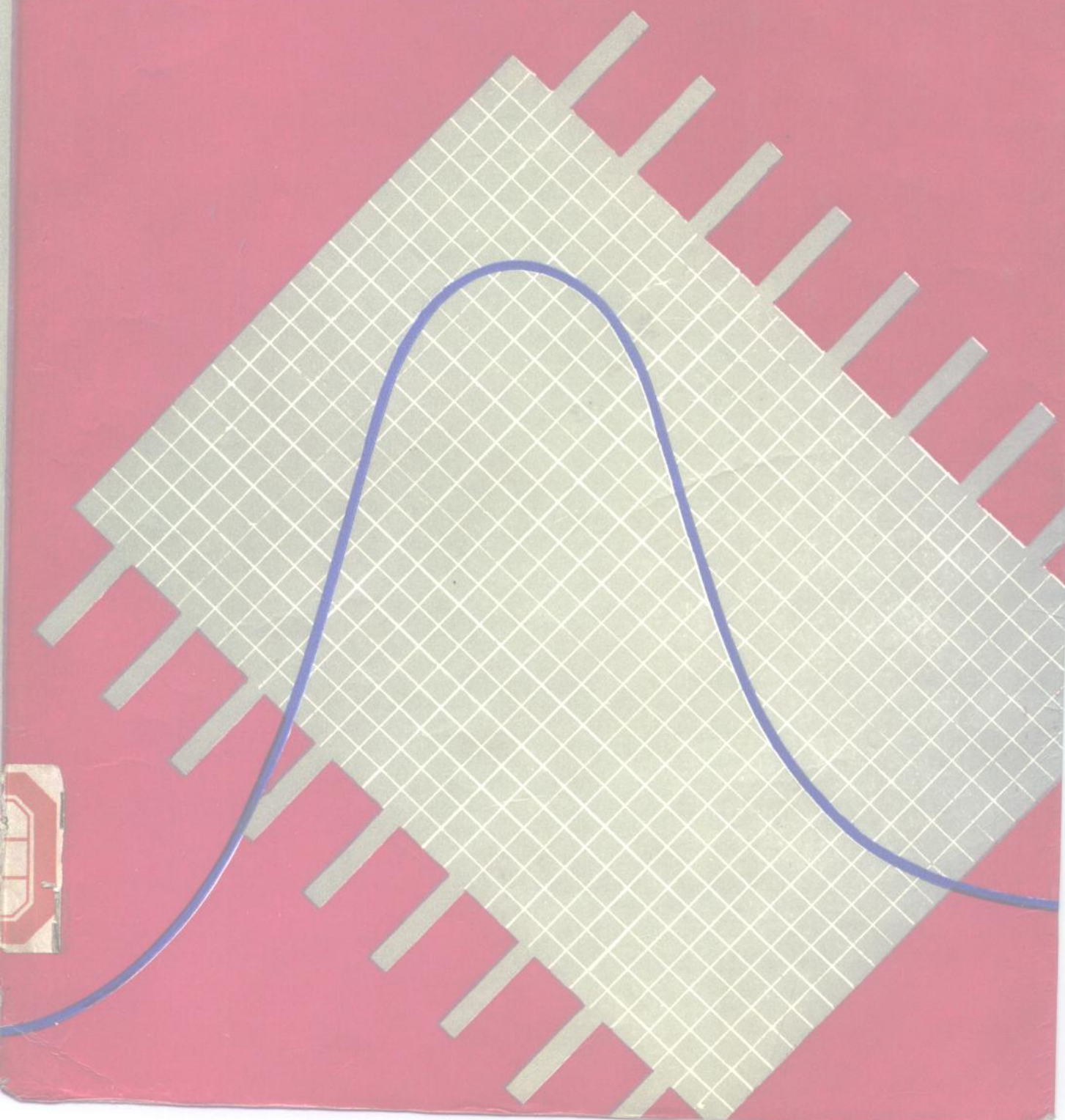


changyongmonijichengdianluyingyongshouce

常用模拟 集成电路应用手册

郝鸿安 编著



常用模拟集成电路应用手册

郝鸿安 编著

人 民 邮 电 出 版 社

登记证号 (京) 143 号

内 容 提 要

本书对模拟集成电路作了较全面和详细的论述。书中给出了大量新颖而实用的电路。全书共分九章。第一至四章以运放为核心阐述运放模拟乘法器等在模拟运算及信号处理方面的应用；第五章详细讨论了模数转换技术；第六章对有源滤波器作了全面介绍，并简介了开关电容滤波器；第七、八章简介了各类函数发生器；最后一章全面地讲述了电源电路。

本书可供高校有关专业师生、从事电子技术的工程技术人员参考。

2014/15

常用模拟集成电路应用手册

郝鸿安 编著

责任编辑：张卫红

*

人民邮电出版社出版发行

北京东长安街 27 号

化工出版社印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所经销

*

开本：787×1092¹/₁₆ 1991 年 11 月 第一版

印张：37²/₁₆ 页数：297 1991 年 11 月 北京第 1 次印刷

字数：941 千字 插页：1 印数：1—5 000 册

ISBN7-115-04591-7/TN·491

定价：23.40 元

引 言

集成电路的发展日新月异,给电子工业以至整个社会经济的发展带来了极大的影响,越来越引起人们的重视。

模拟电子电路技术是电子技术的基础,很多电子系统都离不开对模拟信号的处理。集成电路的发展对模拟电子技术影响很大,它使模拟电路变得容易使用。对应用者来说并不要求详细掌握集成块内部电路。这样不仅方便了电子技术人员,而且对机械、化工、医疗器械等各个技术领域广泛采用集成电路也打开了方便之门。

本书内容重点是通用模拟集成电路 (integrated circuit, 简称 IC) 的应用。IC 是在晶体管电路基础上发展的,因此,许多基本原理与分立元件电路是一样的。初用集成电路的人应当具有晶体管电路基本知识。

对于从事计算机等数字技术的人们,也有必要了解模拟电子电路技术。例如,经常需要使用与模拟信号相接口的电路;需要用波形发生器;组装系统时会遇到各种不稳定、干扰现象等等。这时就不得不运用模拟电子电路技术去解决。

在实际应用中,有些数字与模拟集成电路可以相互变通、配合使用,不要受分类束缚。

模拟集成电路有各种分类方式,如按制造工艺、集成度、封装形式、功能、用途及工作性质等。按照功能、用途以及工作性质区分为“线性 IC”和“非线性 IC”也即“接口 IC”。所谓“接口 IC”是模数之间过渡的中介电路,也就是处理模拟信号用的非线性或开关类型 IC。

模拟集成电路主要类型如下。

1. 线性 IC (Linear IC) ——基本上工作在线性状态,即输入输出之间呈线性关系。它大致包含下面各种线性放大器:

①差分放大器 (Different Amplifier, 缩写为 DA)、运算放大器 (Operational Amplifier, 缩写为 OP 或 OP-Amp)。

②音响电视用集成电路。包括音频放大器 (Audio Amplifier)、高/中频放大器 (RF/IF Amplifier) 以及线性调制解调器 (MODEM) 等。

③宽带放大器 (Wideband Amplifier)。特点是工作频率可以从直流到兆赫以至吉赫。

④电压调整器 (Voltage Regulator), 也称“稳压器”。

2. 开关、接口集成电路——一部分工作在线性状态,而另一部分工作在开关状态的集成电路属此类,大致主要有下面几种:

①电压比较器 (Voltage Comparator)。

②特种功能电路 (Special Function)。包含函数发生器、F/V 变换器以及直流电源变换器等。

③驱动器 (Driver)。包括各种逻辑电平变换驱动器、接口专用驱动器以及显示/控制驱动器等。

④变换器 (Converter)。包括 ADC、DAC 以及其电平变换器等。

⑤开关类 (Switcher)。包括各种模拟传送开关、多路调制/解调器等。

⑥接收/发送器 (Receiver/Transmitter)。专用于长线或两种电路设备之间传送的入口和出口。包括抽样/保持 (S/H) 和斯密特触发器 (Schmitt Trigger) 等。

⑦其它 IC。包含不属于上面各类型又难以自立门户的专用品种。

书中具体应用示例力求通用。注意,对同一电路中的不同接地,采用了不同接地符号。书末附有常用集成电路附录,以便应用者参考选用。

本书编写过程中,得到华东电子器材公司汤显荣等同志以及各有关集成电路生产单位的热情支持,李华金同志对书稿提出了不少宝贵意见,在此一并表示感谢。

书中不足甚至错误之处,望读者指正。

作 者
1991.9. 上海

目 录

第一章 集成运算放大器

第一节	集成运放的类型品种	1
第二节	模拟集成电路的基本单元电路	5
第三节	运放参数及数据	14
第四节	运放直流低频特性	25
第五节	负反馈交流特性及稳定性	32
第六节	运放特性测试	43
第七节	应用集成电路注意事项	50

第二章 线性放大

第一节	差分放大器	53
第二节	微电流放大	56
第三节	压控电流源和 OTA	65
第四节	测量差动放大器	70
第五节	AZ 型运放	76
第六节	功率放大器	83
第七节	小信号交流放大器	99

第三章 模拟运算电路

第一节	概述	108
第二节	线性运算	108
第三节	对数和指数变换	119
第四节	乘除变换	124
第五节	乘法器应用	141
第六节	5G441 双对数放大器	151

第四章 开关及信号变换电路

第一节	电平比较器	158
第二节	模拟开关	165
第三节	保持电路 (模拟存储器)	173
第四节	线性整流 (检波) 电路	177
第五节	折线近似变换	185

第六节	F/V 变换 (FVC)	188
第七节	V/F 变换 (VFC)	198
第八节	有效值变换器	214

第五章 D/A、A/D 变换

第一节	变换基础	217
第二节	各种方式 DAC 的工作原理	220
第三节	DAC 器件及应用	226
第四节	积分式 ADC 原理	237
第五节	比较式 ADC 原理	244
第六节	非线性 ADC	249
第七节	模数变换辅助电路	251
第八节	ADC 器件与应用	264

第六章 有源滤波器

第一节	滤波器基础	312
第二节	有源 BPF	320
第三节	有源 BEF	329
第四节	有源 LPF	332
第五节	有源 HPF	337
第六节	低元件灵敏度滤波器	340
第七节	高阶有源滤波器	345
第八节	元器件要求与选用	352
第九节	开关电容滤波器 (SCF)	353
第十节	音响设备中的有源滤波器	359

第七章 正弦波发生器

第一节	振荡原理概述	364
第二节	LC 振荡器	366
第三节	RC 振荡器	367
第四节	机电变换式振荡器	381
第五节	压控振荡器 (VCO)	384
第六节	数控式 VCO (DCO)	389

第八章 多谐函数发生器

第一节	原理概述	392
第二节	非稳多谐振荡器 (AMV)	394
第三节	函数发生器 (FG)	400
第四节	压控函数发生器	413
第五节	RC 计时电路	418

第六节	相位检测.....	423
第七节	锁相环 (PLL)	427
第八节	PLL 应用	445

第九章 电源集成电路

第一节	稳压器基础及概况.....	456
第二节	多端稳压 IC	470
第三节	三端电压调整器.....	476
第四节	开关电压调整器.....	483
第五节	电源变换、监视、触发等辅助 IC	493
第六节	运放组合式稳压源.....	500

附 录

附录 I	我国半导体集成电路型号命名方法 (标准)	505
附录 II	常用基本参数和电阻电容系列值	507
附录 III	常用模拟 IC 简表	509
附录 IV	常用 IC 引脚功能及部分应用电路	536
附录 V	略语记号.....	576

主要参考资料.....	586
-------------	-----

第一章 集成运算放大器

第一节 集成运放的类型品种

集成运算放大器出现于 60 年代中期。运算放大器（简称运放）不易象数字集成电路那样系列标准化，目前国际上集成运放品种仍较分散，各公司产品自成系列。我国“国家标准”选用了各大公司广泛流行的品种，大约近 100 种。这对初学初用的人来说会觉得眼花缭乱、莫衷一是。因此，选用、设计电路时必须认真考虑。总的来说，选用集成运放要注意两点。一是尽可能选用流行较广的产品，少用或不用“冷门货”。这样可减少以后维护、更新的麻烦。二是根据整机设备产品数量来选用。对于大量生产的产品要把充分发挥其性能、尽量降低成本放在首位；而对于小批量或急需产品，就不必苛求选用，有时要不惜高价，以保证性能为主。表 1-1 是各种用途的运放及其特性对照表。表 1-2 是国标品种系列。

表 1-1 用途与特性对照

用 途	主 要 特 性 要 求
传感测量放大器	低漂移、低噪声、高共模抑制比，长期稳定
S/H、电流放大、高阻传感放大	输入偏流小、阻抗高
DAC、ADC、S/H、比较	宽频带、高速度
函数发生器、振荡器、有源滤波器、一般使用	通用型
空中、野外电池供电等	低功耗
伺服放大、功放、电源等	大电流高电压功率型

表 1-2 国标运放品种

国 标 型 号	相 当 国 外 型 号 (公 司)		特 点
CFX0021/41	LH0021/41	(NS)	功率型, 0.1A/1A
CF0024	LH0024	(NS)	高速, 70MHz, 500V/ μ s
CF0081	TL081	(TI)	BI-FET 型通用
CF0082	TL082	(TI)	双 BI-FET 型
CF0084	TL084	(TI)	四 BI-FET 型
CFOP-05	OP-05(μ A714)	(PMI)	低失调原始型
CFOP-07	OP-07(LH0044)	(PMI)	高精度, 0.7 μ V/ $^{\circ}$ C
CFOP-09	OP-09	(PMI)	高精度四运放, $V_{IO}=0.3$ mV
(FXOP-16)	OP-16	(PMI)	BI-FET 型, $V_{IO}=0.2$ mV
CF101/201/301	LM101/201/301	(NS)	通用

续表

国 标 型 号	相 当 国 外 型 号 (公 司)		特 点
CF102/302	LM102/302	(NS)	跟随器
CF107/307	LM107/307	(NS)	≈ 741
CF108/308	LM108/308(OP-08)	(NS)	超 β , $\pm 2 \sim 20V$, $0.3mA$
CF110/210/310	LM110/210/310	(NS)	跟随器, 0.9999
CF118/218/318	LM118/218/318	(NS)	高速, $50V/\mu s$
CF124/224/324	LM124/224/324	(NS)	四单电源型, $3 \sim 30V/0.7mA$
CF143/343	LM143/343(1436)	(NS)	功率型, $\pm 30V, 5k\Omega$, 内频补
CF144/344	LM144/344	(NS)	功率型, $\pm 28V, 5k\Omega$, 外频补
CF146/346	LM146/346	(NS)	四低功耗型, 可控, $\pm 1.5 \sim 22V/15\mu A$
CF147/347	LF147/347(F774)	(NS)	四 BI-FET 型
CF148/348	LM148/348	(NS)	四 741 型, $1MHz, 0.5V/\mu s$
CF149/349	LM149/349	(NS)	四 741 型, $4MHz, 2V/\mu s$
CF151/351	LF151/351(F771)	(NS)	BI-FET 型
CF153/353	LF153/353(F772)	(NS)	双 BI-FET 型
CF155/355	LF155/355	(NS)	高精度 BI-FET 型, $5V/\mu s$
CF156/356	LF156/356	(NS)	高精度 BI-FET 型
CF157/357	LF157/357	(NS)	BI-FET 型, $30V/\mu s$
CF158/358	LM158/358(F2904)	(NS)	低功耗双型 ($\frac{1}{2}$ -324)
CF159(318)	$\mu PC159$	(NECJ)	高速
CF253	$\mu PC253$	(NECJ)	低功耗, 可控, $6 \sim 30V/15\mu A$
CF411	LF411	(NS)	BI-FET 型
CF412	LF412/A	(NS)	双 BI-FET 型
CF441	LF441/A	(NS)	BI-FET 低功耗, $0.2mA/\pm 5 \sim \pm 22V$
CF442	LF442/A	(NS)	双 BI-FET 型, $0.4mA/\pm 5 \sim \pm 22V$
CF444	LF444/A	(NS)	四 BI-FET 型, $0.8mA/\pm 5 \sim \pm 22V$
CF509	AD509	(ANA)	高速, $20MHz, 120V/\mu s$
CF517	AD517	(ANA)	高精度
CF702	$\mu A702$	(FC)	通用 I, 原始型
CF709	$\mu A709$	(FC)	通用 II
CF714(OP-05)	$\mu A714(OP-05)$	(FC)	低失调, 原始型
CF715	$\mu A715$	(FC)	高速, $70V/\mu s$
CF725	$\mu A725$	(FC)	高精度, $0.4\mu s/^{\circ}C$
CF741	$\mu A741$	(FC)	通用 III (741 原型)
CF747	$\mu A747$	(FC)	双 741 型
CF748	$\mu A748(LM301)$	(FC)	301 型
(DG4741)	HA4741(OP-09)	(HAS)	四 741 型, 高性能
CF771(F351)	$\mu A771$	(FC)	BI-FET 型
CF772(F353)	$\mu A772$	(FC)	双 BI-FET 型
CF774(F347)	$\mu A774$	(FC)	四 BI-FET 型
CF1420/1520	MC1420/1520	(MOTA)	差动输出型
CF1436/1536(F343)	MC1436/1536	(MOTA)	高压型, $\pm 30V$
CF1458/1558/4558	MC1458/1558	(MOTA)	双 741 型, $1MHz, 15V/\mu s$
CF1437/1537	MC1437/1537	(MOTA)	双低漂型, $1.5\mu V/^{\circ}C$

续表

国 标 型 号	相 当 国 外 型 号 (公 司)		特 点
F1439/1539	MC1439/1539	(MOTA)	高速型, 4.2V/ μ s
F1456/1556	MC1456/1556		通用
CF2620	HA2620	(HAS)	超 β 高速, 25V/ μ s, 65M Ω
CF2902(F124)	LM2902	(NS)	四单电源型, 3~26V/0.3mA
CF1900/2900/3900	LM1900/2900/3900	(NS)	四电流型, 15V
CF3078	CA3078	(RCA)	低功耗, 可控, $\pm 0.75 \sim 15$ V
CF3080	CA3080	(RCA)	OTA
CF3094	CA3094	(RCA)	OTA 带电流放大
CF3130	CA3130	(RCA)	BI-MOS 单电源型
CF3140	CA3140	(RCA)	BI-MOS 单电源型, 10pA
F3193	CA3193	(RCA)	BI-MOS, 低噪声, 0.36 μ V/P.P., 1 μ V/ $^{\circ}$ C
CF3301(F3401)	MC3301	(MOTA)	四电流型
CF3401(F3301)	MC3401	(MOTA)	四电流型
CF3550	3550	(BB)	高速宽带, 20MHz, 100V/ μ s, BI-FET 型
CF3551	3551	(BB)	50MHz, 250V/ μ s, BI-FET 型
CF3554	3554	(BB)	BI-FET 型, 1.7GHz, 1000V/ μ s ± 0.1 A
CF3580	3580	(BB)	高压, ± 30 V/60mA
CF3582	3582	(BB)	高压, ± 145 V/15mA
CF3584	3584	(BB)	高压, ± 140 V/15mA
CF4250	LM4250	(NS)	低功耗, 可控, 2~36V/0.25 μ A
F5037	CAW5037, OP-37		高速高精度, 失调 30 μ V, 17V/ μ s,
(5G6324, D6324)	LA6324(LM324)	(三洋)	四单电源型, 3~30V
CF7600/01	ICL7600/01	(INL)	CAZ 型, 0.01 μ V/ $^{\circ}$ C
CF761 $\times$	ICL761 $\times$	(INL)	CMOS 低功耗型, $\pm 0.5 \sim 8$ V, 10/100/1000 μ A
CF762 $\times$	ICL762 $\times$	(INL)	双 761 $\times$ 型
CF763 $\times$	ICL763 $\times$	(INL)	三 761 $\times$ 型
CF764 $\times$	ICL764 $\times$	(INL)	四 761 $\times$ 型
CF7650/2	ICL7650/2	(INL)	CMOS, AZ 型, 5nV/ $^{\circ}$ C
CF13080	LM13080	(NS)	功率型, 0.25A
CF14573	MC14573	(MOTA)	四 CMOS 型

表 1-2 中所列国标运放品种系列仅是部分品种。现将各种类型产品简要介绍如下。

1. 通用双极型单运放

这种运放用量多, 应用面广, 是优先选用的产品。代表产品是 741 型和 301 型。

2. 通用双极型双运放

双运放的代表产品是失调可调的 747 型以及 4558、1458 型。为了适用于立体声放大、收录音机放大的需要, 还有一些改进品种, 以 LM833 为代表。它们具有良好的交流特性和低噪声特性。双运放一般都具有对称(相似)特性。

3. 通用双极型四运放

单电源四运放其早期产品为 324 型。以后又出现 741 型四运放,其代表产品是 348、349。四运放中性能更好的有 RC4136(RTN)、HA4605/4626/4741(HAS)以及 OP-09/11(PMI)等。

1. 单电源运放

为汽车上作电流控制而开发的所谓“诺顿放大器”如 1900/2900/3900 和 3401 等就是一种单电源型运放。一般为 324 型,改进型有 3403 等。由于单电源运放成本低,因而获得广泛使用。其特点如下

零伏输入:

“单电源运放”就是输入电压范围可延伸至负电源端 V_- 电位,即便单电源使用也可以从零伏输入起工作。通常运放只有用双电源时输入范围才能达到零伏。

多种电源电压:

这种产品电源电压范围各不相同,例如 324 为 32V,LM2902 为 26V,TA75902 为 36V,而一般运放为 $\pm 15V$ 。

交越失真小:

324 型输出级无静态电流,因此,交流放大输出会产生交越失真。改进后的 3403 为甲乙类工作,大大减小了交越失真。

品种类型多:

单电源运放除上述外还有(BI-FET)型(例如 TL094)、(BI-MOS)型(例如 3130)以及 CMOS 型等。

5. 低噪声双极型运放

70 年代末集成电路工艺技术迅速发展,使生产低噪声运放成为可能。NEC、TOS 等公司有不少这类产品,例如 $\mu PC4556/4557/4559/4560$ 、TA75557/75558/75559 等。它们基本上是在 4558 型基础上加以改进后的双运放(包括 LM833),在音频范围(30Hz~30kHz)内噪声降低到 $2.5\mu V_{rms}$ 以下(标准通用型运放在 $20\mu V_{rms}$ 以上)。对这类运放还要求其输出频带要宽,能覆盖音频范围,输出电流足以驱动标准 600 欧线负载等。

6. 结型场效应管输入级(BI-FET 型)运放

TI 和 NS 公司是较早形成系列化 BI-FET 型运放产品的公司。特别是 TI 公司除已有的标准型 TL08 $\times$ 系列外,还有低噪声型 TL07 $\times$ 系列和低功耗型 TL06 $\times$ 系列。NS 公司的 LF347/351/353、FC 公司的 $\mu A771/772/774$ 是 TL07 $\times$ 系列的同类产品。国产有 5G28、BG313 等产品,但是大都有外接频率补偿引脚,因而通用性差。目前国内已有不少 BI-FET 型新产品,并正在迅速开发中。

BI-FET 型运放除输入阻抗高($10^{10}\Omega$)、输入电流小(1nA 左右)外,转换速率较高(5~50V/ μs),一般比双极型运放高 10 倍以上,这就特别适用于高速积分等电路。

7. MOS 场效应管输入级(BI-MOS)型运放

BI-MOS 型运放有 RCA 公司的 3130、3140、3160 和 3240 等。其特点是输入电流比 BI-FET 型还低一个数量级以上,可达 1pA。因此,特别适用于光敏传感电路以及长时间积分电路。缺点是低频段等效输入噪声较大,且输入阻抗过高($10^{12}\Omega$ 以上),应用时要注意输入端保护。

8. 高精度运放

高精度运放的特点是漂移小,增益高。适用于热电偶、应变传感器的微弱信号前置预放大。目前有直接耦合型和自动调零型两种。直接耦合型以 $\mu A725$ 为代表,它是根据 ΔV_{BE} 差小则漂

移也小的原理制成的。ANA(或略称 AD)、PMI 等公司有不少改进型产品,例如 AD504/510/517 和 OP—05/07/08/12/10/20/21 以及 OP27/37 及其改进型 LT1007/1037 等。308 型运放也常归入高精度运放低档产品。

自动调零型也是调制型。早期采用 BI-MOS 工艺结构制成的 HA2900/2905(称为 CAZ 型,即交变自动调零型)后,INL 公司用 CMOS 工艺结构同样制成了 ICL7600/7601CAZ 型,漂移达到 $0.01\sim 0.1\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 。INL 公司又用 CMOS 工艺制成斩波调零方式的 ICL7650、ICL7652 等产品,漂移达 $0.05\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 。噪声电压在 ICL7652 中也被降低一个数量级(约 $0\sim 10\text{Hz}$ 内为 $0.7\mu\text{V}_{\text{p-p}}$)。

9. 大输出运放

一般运放用 $\pm 15\text{V}$ 电源,输出为 $\pm 10\text{V}/\pm 5\text{mA}\sim \pm 10\text{mA}$ 。但为了处理大幅度交流信号或驱动伺服电机等,需要输出级具有高压大电流的大输出运放。单片型大输出运放的输出电压达到 $\pm 30\sim \pm 40\text{V}$ 。代表产品有 343/344($\pm 30\text{V}/20\text{mA}$)、1436($\pm 30\text{V}/17\text{mA}$)、13080($\pm 1.5\sim \pm 7.5\text{V}/250\text{mA}$)以及 3580~3584 等(混合型)。

功率运放不少是采用混合集成工艺技术,单独制成功率管后再封装在一起。这种产品有 INL 公司的 ICH85101/201/301(输出 2.7A)。

10. 微电流输入(高阻)型运放

这类运放多采用 BI-FET 和 BI-MOS 及 CMOS 型等电路结构。FET 型运放的输入电流大约每升高 8°C 就增大一倍。例如,在常温 25°C (内结温 35°C)下输入电流只有 50pA ,温度升到 60°C (内结温 70°C)时就会增大到 800pA 。因此,使用时必须注意这点,否则还可能不如采用低输入电流双极型运放。

实际使用中还须防止发热,或进行散热处理。安装中要小心谨慎,尽量避免产生输入漏电。按照使用环境,输入端周围都有可能产生漏电,应采用硅脂等填充剂加绝缘处理。输入达 1pA 以下的产品,例如 ICL8043、ICH8500/A、MC252/152 以及 AD503/515/540/542/544/545/642 等,使用时更要特殊处理。

11. 高速、宽带型运放

一般把转换速率 $\text{SR}\geq 10\text{V}/\mu\text{s}$ 、带宽 $\text{BW}\geq 10\text{MHz}$ 的运放称为高速宽带型运放。如 NS 公司的 318 和 HARS 公司的 HA2500/2600 系列,以及 AD509 (ANA)、LH0024 (NS)、MC1520 (MOTA) 等。其中 LH00 $\times$ 是采用混合工艺制成的,SR 高达 $400\text{V}/\mu\text{s}$ (如 LH0032)。

12. 低功耗型运放

低功耗运放的工作电流一般在 1mA 以下,不少在 $1\mu\text{A}$ 以下。例如,LM4250 ($<1\mu\text{A}$)、346 ($<20\mu\text{A}$)、 $\mu\text{PC}153/253$ 和 CF253 ($<20\mu\text{A}$)、CA3078 和 CF3078 ($<1\mu\text{A}$)。工作电源电压可低至 $\pm 1.5\text{V}$,3078 可低至 $\pm 0.75\text{V}$ 。除四运放 346 型外,大都是偏流可控式,也称为“可编程序型”。可控偏流型的优点是低压应用功耗小,增大偏流就可达到普通运放的性能(频率特性和输出能力)。低功耗运放的缺点是频率特性随工作电流减小而变坏,作为交流放大用时必须注意这一点。

低功耗运放的方向是向 CMOS 发展。这方面 INL 公司有 ICL76 $\times\times$ 系列,电压为 $\pm 0.5\sim \pm 0.8\text{V}$ 、电流为 $10\mu\text{A}$ 。

第二节 模拟集成电路的基本单元电路

从原理看模拟 IC 的各单元电路和分立元件的组合电路没有什么本质的区别。但在电路设

计方面却有许多是仅在 IC 中才要特别注意考虑的内容。

一、晶体管

IC 中的晶体管也有共发、共基、共集电极三种接法。但是由于 IC 中存在着寄生电容，因而管子的频率特性比较差；击穿电压较低，且和材料及晶体管电流放大倍数等因素有关。

IC 芯片的面积、成品率、成本三者密切相关，必须设法采取适当的方法来设计电路以实现三者协调。

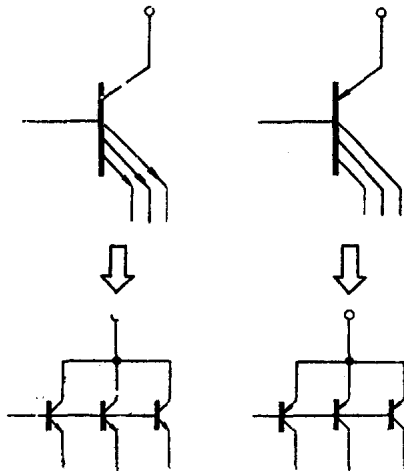


图 1-1 多极晶体管

例如，负载常不用电阻（占面积大）而采用恒流源。又比如在 IC 中尽量采用 NPN 型管子，而少用 PNP 型管。因为横向 PNP 管不仅 β 值小（1.5~20），且频率特性也差（ $f_T \approx 2 \sim 5 \text{ MHz}$ ）。而纵向 PNP 管虽好一些（ $h_{FE} \approx 5 \sim 30$ ， $f_T \approx 10 \sim 30 \text{ MHz}$ ），但也不及 NPN 管。且常有集电极必需连衬底的局限性。

另外在 IC 电路中还常看到多射极或多集电极晶体管，这些都等效于多只晶体管的共基共集电极连接或共基共发射极连接，如图 1-1 所示。

在 IC 中还经常采用超 β 晶体管。其基区宽度极其狭窄，在 $I_C = 20 \mu\text{A}$ 、 $V_{CE} = 0.5 \text{ V}$ 时， h_{FE} 可高达 2000~5000，甚至更高。但其耐压较差， BV_{CEO} 仅有 2~4V 左右，因此，常用来与普通耐压高的晶体管组合使用，而得到等效高电压高增益晶体管。图 1-2 是其基本电路。图中 BG_1 超 β 管与 BG_2 耐压高的普通晶体管二者串连， BG_3 和 BG_4 是保护电路，使 BG_1 工作在 $V_{CB} \approx 0 \text{ V}$ 、 $V_{CE} \approx V_{BE} (\approx 0.7 \text{ V})$ 条件下。图 1-2 (a) 是共射极电路，(b) 是射极输出器。

图 1-2 是其基本电路。图中 BG_1 超 β 管与 BG_2 耐压高的普通晶体管二者串连， BG_3 和 BG_4 是保护电路，使 BG_1 工作在 $V_{CB} \approx 0 \text{ V}$ 、 $V_{CE} \approx V_{BE} (\approx 0.7 \text{ V})$ 条件下。图 1-2 (a) 是共射极电路，(b) 是射极输出器。

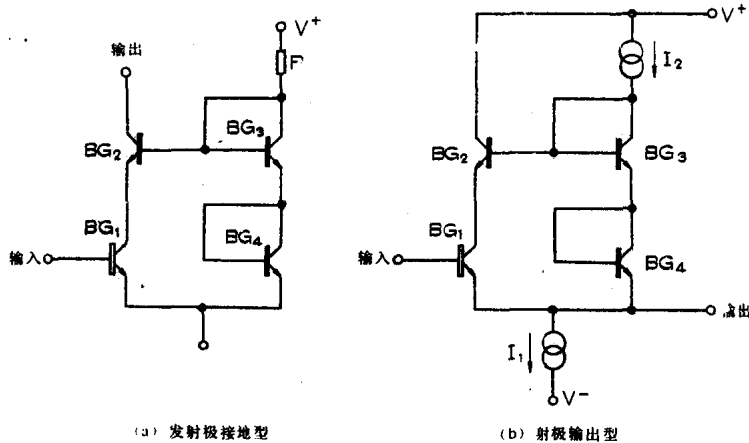


图 1-2 超 β 管与普通管组合电路

另外,在 IC 中也越来越普遍地采用场效应管,其低功耗的特点非常有利于模拟 IC 的多功能化。

二、差分电路

由于在 IC 中很容易实现电特性和温度特性等完全一致的差分对,因此,差分对成为模拟 IC 中不可缺少的基本电路形式。

图 1-3 是几种差分电路形式。图 (a) 是最基本的差分对电路,失调电压和温漂系数的典型值分别是 1mV 和 $3\mu\text{V}/^\circ\text{C}$,允许差模输入电压较低。

图 1-3 (b)、(c) 是模拟 IC 中特有的差分电路形式,由 NPN 管与 PNP 管串联构成共集、共基电路。原理上等效于 PNP 管差分对。从两个基极输入端看,中间要经过四个 PN 结,所以可允许差模电压的范围约为图 (a) 的两倍以上。由于存在两对 PN 结,所以其失调电压较大,且分散性也大。图 (b) 中 BG_3 、 BG_4 用多集电极电路形式,只要其中一个集电极被恒流,其余各集电极也将恒流。图 (c) 是用 BG_5 、 BG_6 组成镜像电流源对输入差分级施加共模负反馈,从而使 $BG_1 \sim BG_4$ 工作电流稳定。

图 1-3 (d)、(e) 是用超 β 管组成的差分电路。其中 BG_1 、 BG_2 是超 β 管,图 (d) 中的 BG_3 、 BG_4 管以及图 (e) 中的 BG_5 、 BG_6 管均为超 β 管提供合适的工作点,保证超 β 管的 $V_{CE} = 0\text{V}$ 。

图 1-3 (f) 所示的双重差分电路形式在模拟 IC 中经常使用,因为 IC 技术很容易制成各种稳定的双重差分乘法电路。这种电路常用来制成调制解调器、检幅、检相、检频器以及混频、变频器等。图 (g) 给出了单电源型运放常用的输入电路形式,其输入电压可自零伏 (V^-) 起始工作。图 (h) 是 CMOS 结构电路,由图可见各单元电路均以差分电路形式出现,其工作原理与普通晶体管电路相似。

三、差分电路的双端-单端转换电路 (单端化)

图 1-4 是差分电路单端化的基本电路形式。由差动输出 $I_o + \Delta I$ 和 $I_o - \Delta I$ 取得单边输出 $2\Delta I$ 。

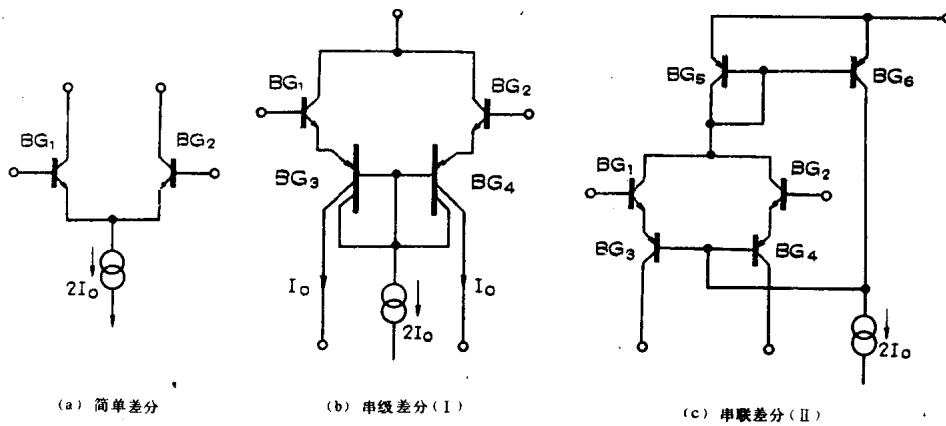
图 1-5 是差分电路单端化输出的实例。图 (a) 是通过 BG_3 、 BG_4 组成负反馈电路恒定 BG_2 的集电极电位,在 BG_1 集电极得到差动总输出,经 BG_5 放大后就可取得差动单端输出。图 (b) 是利用 BG_3 、 BG_4 变成单端输出后送到 BG_5 基极。 BG_5 是超 β 管,与图 1-2 (b) 中射极输出电路形式相同,作为电流缓冲放大级。

四、恒流源及有源负载

在 IC 中普遍采用恒流源负载电路。因为在 IC 中这种电路既简单又能取得较好效果。

差分式恒流源是用一条支路电流支配其它支路电流,前者恒定则后者也稳定不变。恒流源的必要条件是电压大小不影响恒流值,或者说要求输出阻抗充分大 (内阻近似无限大)。其次要求温度稳定性好。

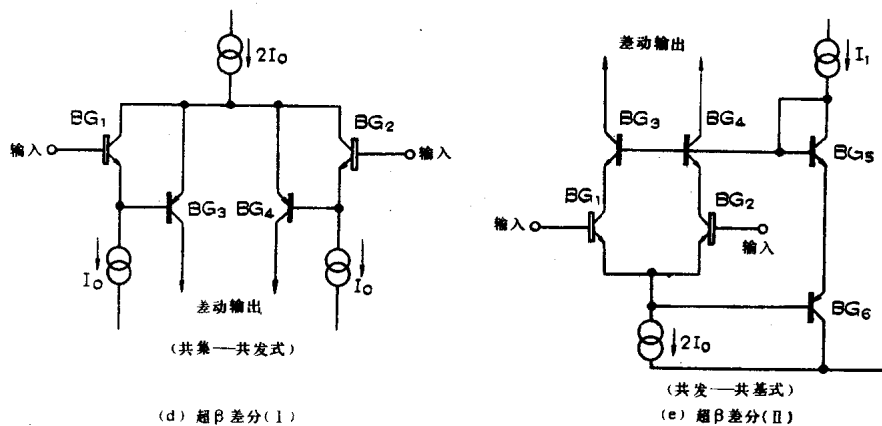
图 1-4 电路实际上就是几种常用恒流源电路。图 1-6 是用 PNP 管实现的恒流源电路。如果用电阻设定 (恒定) I_1 ,那么 I_2 也就被决定 (恒定) 了。不过在图 (a) 中基极电流仅由一条支路提供,如果设计成射极电流相等,那么, I_1 与 I_2 相差 $2I_2/h_{FE}$ 。为减小误差,图 (b) 中增设一只 BG_3 管,只要 $BG_1 \sim BG_3$ 三者射极电流相等且设为 I_c ,因为 $I_2 = I_c + I_b$,且有 $I_1 = (I_c + 2I_b) - I_{b3} \approx I_c + I_b$,就得 $I_1 = I_2$ 。 I_1 作为输出,该输出端电压变化不直接影响 BG_1



(a) 简单差分

(b) 串接差分(I)

(c) 串接差分(II)

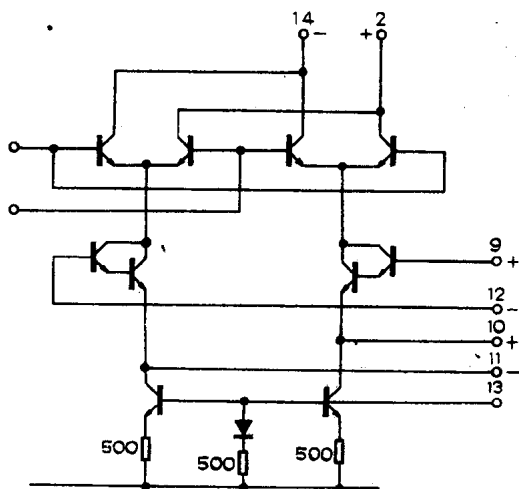


(共集—共发式)

(d) 超 β 差分(I)

(共发—共基式)

(e) 超 β 差分(II)



(f) 双重差分

