

前言

众所周知,电力电子设备一般由进行功率(电流、电压、频率)变换的电力半导体器件、相应控制电路及所应用的控制理论三大部分组成。其中,电力半导体器件是完成功率变换的基础,而控制电路是其核心,没有控制电路的发展及对半导体器件提出的更新、更高要求,就很难想像电力电子设备的高度智能化及高性能化。进入20世纪80年代,功率集成电路的出现引起了电力电子技术或称电力电子成套装置的革命。它将高电压、大电流、大功率的多个半导体器件做在同一芯片上,有些还包括检测、控制、保护等功能单元。如今用一片专用集成电路便可完成一个功率开关变换或制成一个专用电源。正因为如此,电力电子技术已成为世界各国展开竞争的一个高技术领域,世界上许多著名的公司都推出了在这一方面的专用控制电路、电力半导体模块、成套设备,一方面供本公司内部配套使用,另一方面供应国际市场,例如:美国的摩托罗拉(MOTOROLA)、国家半导体(National Semiconductor)、通用电气(GE)、国际整流器(International Rectifier, IR)公司,德国的西门子(Siemens)、IXYS、eupec公司,法国的Thomson公司,荷兰的飞利浦(Philips)公司,日本的三菱电机、富士电机、三社电机、东芝公司,英国的Mitel公司,瑞士的ABB公司等。有关电力半导体器件及驱动控制集成电路的国内外生产企业很多,许多企业都十分看好中国市场,纷纷加强了在中国的销售力度,产品宣传及简介资料可以说铺天盖地,但总的来说,资料虽多,却很分散,缺乏系统性,需要时间去查找、归纳、分析和系统化,从迅速实用角度来说,并不方便。

我与电力电子技术结下不解之缘近20年,工作中经常碰到与众多的工程师们一样的难题,即在设计电力电子成套装置时需要选择电力半导体器件,有时手上有样本,却买不到产品,有时看见了产品,但无载有详细参数的样本,更使人感到为难的是往往一个器件坏了,正运转的设备已经瘫痪,原用型号的公司又没有现货,如何用别的公司产品代替使用,以解急用的燃眉,这时要有一个型号对照表该多好,无法找到产品替换关系而误事的滋味可以说真是急死人!所以从1990年开始,我一直想编写一套电力电子设备常用元器件选用指南,来解决上述难题,限于学识及资料限制,此宏愿今日才得以部分实现,为了将国内常用的电力半导体器件和驱动控制集成电路较全面和系统地介绍给从事电力电子产品设计、开发、生产、装配、采购、调试的工程技术人员、科研人员、现场维护人员、高等院校及中等专业学校的广大师生,我们对有关文献资料和收集到的产品样本,加以整理和消化,并按理论探讨为辅,实际应用技术为主的编写宗旨,在较短的时间内编写了这本指南,书中也包括了编者对部分器件的应用体会和教训总结,该书的编写适应了我国电力电子技术、机电一体化技术、特种电源技术及家用电器等行业对电力半导体器件及驱动集成电路使用技术的迫切需要。

本指南共分为4册,构成一个完整的体系,分别为:第1册电力半导体器件及其驱动集成电路;第2册控制用集成电路;第3册传感、保护用和功率集成电路;第4册其他配套元器件。

本书是应用指南的第3册,共分8章。它是在前两册的基础上,重点介绍了功率运算放大器与智能运算放大器集成电路,功率开关与智能功率开关集成电路,稳压器、DC/DC变换器与智能功率集成电路和模块,电压基准电源及其他智能控制集成电路,调节器集成电路,电压、电流、加速度、温度、压力、湿度、液位传感器集成电路,保护用器件及集成电路各引脚的排列、名称、功能和用法,内部结构和工作原理,主要设计特点和参数限制,应用技术和应用实例。

本书在选题、编写、定稿过程中得到了中国电工技术学会电力电子学会、中国电源学会特种电源专业委员会、中国电源学会特种电源技术咨询培训服务中心、机械工业出版社、陕西高科电力电子有限责任公司、《国外电子元器件》杂志社的大力帮助。中国电工技术学会电力电子学会副理事长陈守良教授，西安石油学院吴应龙教授、汉泽西教授对本书的编写给予了热情的鼓励；《国外电子元器件》杂志社钱建立副教授、姜书汉高级工程师对本书的编写提供了大量的素材和参考资料，在此表示衷心的感谢！

本书在编写过程中得到有关厂商或代理商提供的资料，还参考或引用了书末参考文献中所列的国内外有关单位和个人撰写的资料和文献。陕西高科电力电子有限责任公司钟桂清高级工程师、杨利宁同志、祝海燕、赵正富、李伟、梁萍、李莉同志参与了本书文稿的整理、文字录入及排版、校对工作，宋刚、苏广荣等同志绘制了书中的部分插图，在此一并致以深切的谢意！

在本书出版之际，还应感谢我贤惠的妻子梁萍女士对编写本书的理解和支持，并对在本书编写过程中她在各方面的帮助表示感谢！

由于学识水平所限，收集资料又欠全面，加之编写时间极为仓促，书中难免多有疏漏和不当之处，敬请同行专家及读者批评指正，热望各位不吝赐教！



2000年11月于西安石油学院

第1章 功率运算放大器与智能运算放大器集成电路

1.1 概述

功率集成电路是20世纪80年代初出现的新型电力半导体器件,通常是指输出功率大于1W的集成电路,它的出现是电力电子技术的第二次革命,实现了电力电子技术与微电子技术的紧密结合,把电力电子设备的制作技术推向了新的更高的阶段。它是由功率器件和具有一定功能的电路组合在同一个硅片上或是在同一个导热的绝缘衬底上而形成的。前者称为单片功率集成电路,后者称为混合功率集成电路。单片功率集成电路分为两大类:高压功率集成电路(HVIC)和智能功率集成电路(Smart Power IC)。高压功率集成电路是横向高压器件(承受高压的两个电极都从芯片的同一表面引出)与起控制作用的数字逻辑电路或模拟电路单片集成。目前它的功率水平已达25A、600V。智能功率集成电路大多是纵向功率器件(管芯背面作为主电极,通常它是集电极或漏极)与逻辑或模拟控制电路、传感器电路和保护电路的单片集成。目前它的功率水平为13A、110V和1A、550V。它们所采用的功率器件有双极型器件(如晶体管、晶闸管)、单极型器件(如场效应晶体管)或复合器件(如BIMOS),控制电路大部分采用MOS技术。

智能功率集成电路的使用给电力电子设备的设计制作带来了极大的方便,简化了开发和调整的工作量,缩小了电力电子设备的体积,减轻了重量,提高了可靠性和抗干扰能力,改善了性能,而且也节约了成本。智

能功率集成电路可分为模拟型和开关型两大类,本章介绍模拟型集成电路的代表——功率运算放大器和智能运算放大器,后续章节将介绍开关型功率集成电路。

运算放大器是应用最广的集成电路,由于运算放大器的种类繁多,使它既可在电力电子设备中用作调节器、跟随器、比较器、加法器、乘法器,还可作为功率驱动器等。单片功率运算放大器通常具有数安培、数十瓦的驱动能力,可用于交直流电动机驱动、伺服放大器、自整角机及旋转变压器的激励电源,代替一般微功率运算放大器和分立的晶体管功率放大器组合,简化了外围电路,改善了性能,增加了故障保护功能,提高了可靠性,减少了应用中的设计时间,而且由于可大批量生产,更加经济。使用时,由于其线性工作的末级功率放大部分有较高的损耗,对散热设计应给予足够重视。电力电子技术的不断进步,使得运算放大器在其频率特性、功率范围、输出特性、高精度及高频率等方面都得到了长足的进步。世界各著名的电力半导体器件制造公司都有自己的品牌和种类。表1-1给出了世界各主要公司生产的部分低功耗运算放大器和比较器的型号对照,表1-2给出了常用的功率运算放大器及智能功率运算放大器的型号、基本性能、极限参数及生产企业。本章第2节分析了电流反馈运算放大器与电压反馈运算放大器的区别,后续各节将按型号详细介绍它们各自的引脚排列、内部结构、工作原理、参数限制及应用方法。

表 1-1 CMOS 低功耗运算放大器和电压比较器型号对照表

公司 功能	日本 NJRC 公司	美国 NS 公司	美国 TI 公司	意大利-法国 ST 公司	美国 HARRIS 公司	美国 MOTOROLA 公司	日本 东芝公司
低 压 单 运 算 放 大 器	NJU7001	—	TLC271C(L)	TS271C(L)	ICL761LC	—	—
	NJU7021	—	TLC271C(M)	TSC271C(M)	ICL76M1C	—	—
	NJU7031	—	TLC271C(H)	TS271C(H)	ICL761C	—	—
	NJU7012	—	—	—	—	—	TC7S551F
电 压 双 运 算 放 大 器	NJU7002	—	TLC27L2C	TS27L2C	ICL76L2C	—	—
	NJU7022	LMC622C	TLC27M2C	TS27M2C	ICL76M2C	—	—
	NJU7032	LMC622C	TLC272C	TS272C	ICL762C	—	—
	NJU7015	—	—	—	—	—	TC75W51FU
四 运 算 放 大 器	NJU7004	—	TLC27L4C	TS27L4C	ICL76L4C	—	—
	NJU7024	LMC660C	TLC27M4C	TS27M4C	ICL76M4C	MC14573	—
	NJU7034	LMC660C	TLC274C	TS274C	ICL764C	MC14573	—

(续)

公司 功能	日本 NJRC 公司	美国 NS 公司	美国 TI 公司	意大利-法国 ST 公司	美国 HARRIS 公司	美国 MOTOROLA 公司	日本 东芝公司
低电压 单运 放大 器	NJU7051	—	TLC271BC(L)	TS271BC(L)	ICL7611A	—	—
	NJU7061	—	TLC271BC(M)	TSC271BC(M)	ICL76M1A	—	—
	NJU7071	—	TLC271BC(H)	TS271BC(H)	ICL761A	—	—
高精度 双运 算放 大器	NUJ7052	—	TLC272BC	TS272BC	ICL76L2A	—	—
	NUJ7062	LMC662A1	TLC272M2BC	TS272M2BC	ICL76M2A	—	—
	NUJ7072	LMC662A1	TLC272BC	TS272BC	ICL762A	—	—
低电压 单电 源	—	—	—	—	—	MC14578	—
	NJU7102A	—	TLC3702C	TS3704C	—	—	—
	NJU7112A	—	TLC393C	TS393C	—	—	—
	—	—	—	—	—	MC14575	—
	NJU7104A	—	TLC3704C	TS3704C	—	—	—
	NJU7114A	—	TLC393C	TS393C	—	—	—
	—	—	—	—	—	MC14574	—

表 1-2 常用功率运算放大器与智能运算放大器一览表

型 号	主要性能、特点及用途	极 限 参 数	生产企业(供货商)
SA01 ^①	一种四引脚双列直插式封装的脉宽调制型放大器, 可以输出 2kW 的功率, 全桥输出放大器由单电源供电, 而且电源电压可在很宽的范围 (16~100V) 内变化, 连续输出电流可达 20A。可用作有刷型电机的驱动控制器	电源电压: 100V 输出电流(峰值): 30A 内部功耗: 200W 工作温度: -55~+125°C	美国 APEX 公司 (西安伟健电子公司)
SA06 ^②	一种可为负载提供 500W 功率的脉宽调制放大器, 内部自带振荡器, 不需要外部振荡元件, 时钟输入级将内部振荡频率二分频, 提供 2.5kHz 的开关频率, 外部振荡器可用于降低开关频率的工作场合或多个同步放大器。可广泛用于电机控制、离线式驱动及焊接控制	输入电压范围: 16~500V 输出电流: 10A	
SA60 ^③	一种脉冲宽度调制型运算放大器, 它能给负载提供 10A 的连续电流, 全桥运算放大器可在较宽的电源电压范围内工作, 内含高、低端开关驱动电路, 管壳绝缘, 可直接安装在散热器上。可用于直流电机控制	输出电流(连续): 10A 效率: ≥97%	
LOG100 ^④	双列直插式 14 引脚封装的精密对数放大器, 可对两个电流或电压之比进行对数运算, 它的运算精度高、温度漂移小、输出误差小、输入动态范围宽, 无需改变外部元件就可改变增益。适合于需对数放大器的使用场合	工作电源电压 V_{CC} : ±15V 工作温度范围 T_A : 0~70°C	美国 BURR-BRO- WN 公司 (西安创兴电子科技有限公司)

(续)

型 号	主要性能、特点及用途	极 限 参 数	生产企业(供货商)
OP193 ^① OP293 ^① OP493 ^①	一种单电源运算放大器,具有高精度、低功耗及低工作电压等特点,输入、输出范围宽,极低的工作电流和电压,使该系列运算放大器比采用其他运算放大器大大地延长了电池寿命,可用于电池供电系统、仪表放大器、变送器及应变仪等领域	工作电压:1.7~±18V 输出电流 I_O : ±8mA	美国 BURR-BRO- WN 公司 (西安创兴电子科技有限公司)
OPA350 ^②	高速、轨对轨(rail to rail)输入输出、低噪声小封装 CMOS 运算放大器,具有单运算放大器、双运算放大器、四运算放大器三种形式,该系列器件适用于 A/D 转换器、采样、音频、通信以及视频等场合,并可提供 D/A 转换器输出的 I/V 转换,可用于精密放大系统	带宽:38MHz 转换速率:22V/ μ s 最大噪声:5nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ 最大偏压:±500mV	
OPA541 ^③ OPA2541	一种功率运算放大器,有铁壳式和功率塑料式两种封装形式。可用于交直流电机四象限控制、步进电机驱动、自整角机及旋转变压器控制	工作电源电压:±40V 连续输出电流:5A	
OPA651	一种新型的低功耗、宽频带电压反馈运算放大器。采用双列直插式及双列小型扁平 8 引脚封装,可用于宽频带放大器	输入偏流:4 μ A 功耗 P_D :50mW 最高工作频率 f_{max} :470MHz 工作温度 T_A : -40~85°C	
OPA655	一种超高动态范围的放大器件,有 8 引脚 DIP 和 SOIC 两种封装形式。由于它在宽频带、单位增益、稳定电压反馈运算放大器中加入了一个 FET 输入级,从而获得了卓越的动态性能。可用于低噪声积分器、A/D 转换器的前端、I/V 放大器及高阻抗放大器场合	单位增益频宽:400MHz 输出电流:50mA 输入阻抗:10 ¹² Ω //1pF	美国 Silicon General 公司 (香港惠南电子有限公司)
SG3173 SG3172 SG3272	SG3173、SG3172 为单运算放大器,SG3272 为双运算放大器,可方便地构成桥式驱动,可用在计算机外围设备中驱动微型直流电动机及硬盘驱动磁头定位的音圈电动机	工作电压: SG3172、SG3272 为 18V, SG3173 为 50V 输出电流:1~3.5A	
IN8510 IN8520 IN8530	一种单片功率运算放大器,内含短路保护、限流、安全区保护功能。可用于驱动直流伺服电动机、直线或旋转执行机构、电磁阀等微型电机	工作电源电压:±35V 电流:1.2 和 3A	
PA03 ^④	大功率运算放大器,具有很好的小信号运算放大器性能,输出功率大,内部具有温度跟踪偏置电路,使其在恶劣环境中使用比小功率运算放大器更加可靠,自身带有完善的保护功能,且体积小、功率大。可用于电机驱动、可编程电源	输出峰值功率:2000W	
PA21 ^⑤ PA25 ^⑤ PA26 ^⑤	低成本双功率运算放大器。它将厚膜电阻、陶瓷电容及半导体管芯封装在一起,体积小、可靠性高,内部包含两个独立的功率运算放大器,内部集成有限流电路和安全工作区保护电路	供电电压:5~40V 工作温度:-55~125°C	美国 APEX 公司 (西安伟健电子有限公司)

(续)

型 号	主 要 性 能、特 点 及 用 途	极 限 参 数	生 产 企 业 (供 货 商)
PA44 ^①	一种高压单片式 MOSFET 运算放大器,同相输入和反相输入端都加有稳压二极管,可以避免共模输入电压过高。由于放大器采用了 MOSFET,所以安全工作区(SOA)没有二次击穿限制。同时,选择适当的限流电阻,输出端可以接入各种类型的负载。可用于转流发生器	峰值输出电流:120mA 差模输入电压:±1~6V 工作温度范围: -55~125°C	
PA46 ^①	最新推出的大功率运算放大器集成电路,具有输入保护功能,可避免遭受较高的共模电压、差模电压及静电泄放的损害,安全工作区不受二次击穿的限制,可外接补偿网络,选择最合适的增益和带宽。可用于电磁偏转、电机驱动及 PA 音响等场合	电源电压:150V(±75V) 输出电流:5A	
PA61 ^① PA61A	大功率运算放大器。它具有输出功率大、精度高、稳定性好及低漂移等优点,克服了晶闸管电路比较复杂、分立元件多、体积较大及可靠性不高等缺点。可用于桥式功率放大电路或在直流电源中作驱动器,在交流电源中直接驱动变压器	电源电压:90V 输出电流:10A 输入共模电压:±V _s	美国 APEX 公司 (西安伟健电子有限公司)
PA85 ^①	高电压、大功率宽带的 MOSFET 运算放大器,其安全工作区(SOA)没有二次击穿的限制,可适应较大的电源电压范围,并达到很好的电源电压抑制,使用极为方便。可用作高电压场合的放大器	电源电压:±225V 或 0~450V 输出电流连续值:200mA 输入差模电压:±25V	
PA93 ^①	高电压、大电流功率运算放大器,安全工作区内没有二次击穿的限制,通过选择合适的限流电阻可实现任何负载下的安全工作区,MOSFET 输出偏置为 AB 类输出,通过外接补偿元件,用户可以很轻松地选择带宽和转换速率。另外,因采用了单列直插式 12 引脚(SIP-12)封装,大大节省了电路板空间。可用于电压调节、驱动高压装置及程控电源	最高电压:400V 或 ±200V 连续输出电流:8A 脉冲电流:14A	
OP-77 ^②	为 OP-07 的更新换代运算放大器,其引脚排列和封装与 OP-07 完全相同,是大家公认的精密、低噪声、低漂移运算放大器,具有更精密、超低失调电压、更低噪声、更低漂移等优良性能,内部还具有短路保护功能。可用于调节器、信号放大器、直流电源温控设备及各种电力电子设备	电源电压:±22V 输入电压范围: -22~+22V 差动输出电压:0.3~30V	美国 Precision Monolithics Inc (PMT 公司)
MPY100 ^②	MPY100 变跨导模拟乘法器是一种单片模拟集成电路。它可以实现两个模拟信号的乘法运算,通过适当的反馈电路还可进行除法、开方等其他数学运算,具有精度高、速度快、体积小及可靠性高等优点。可广泛用于需要进行模拟信号变换和控制的工业领域及其他领域中	电源电压 V _{CC} : ±20V 差模电压输入范围 V _{IND} : ±40V 工作温度范围 T _A : -55~+125°C	美国 BURR-BROWN 公司 (西安伟健电子有限公司)

(续)

型 号	主要性能、特点及用途	极 限 参 数	生产企业(供货商)
TLC4501 ^① TLC4502 ^②	新型的高精密单/双运算放大器,采用自动校准技术,在给电时将输入失调电压自动调整为零,使用起来十分方便,具有低输入失调电压漂移和高输出驱动能力。可用于数据采集、工业控制及数字高频等领域	电源电压:6V 开环增益: >120dB	美国 TEXAS INSTRUMENTS 公司 (TI 香港总公司)
AMP04 ^③	用单+5V 电源供电的测量放大器,它的功耗低(仅为 0.7mW)直流特性好、共模抑制比高,且工作电压范围宽。可用于测量电路、仪表电路	电源电压: +5V 共模抑制比: 80dB	美国 ANALOG DEVICES(AD)公司 (陕西恒立电子有限公司)
ICL8048 ^④ ICL8049 ^⑤	对数/反对数放大器,内带自动温度补偿电路,工作特性稳定,参数调节方便。输入电流范围为 6 个数量级,输入电压范围为 3 个数量级,其放大系数、参考电流、偏置电流等参数均由外部电路设定。可用于需对数/反对数放大器场合	电源电压: $\pm 18V$ 功耗: 7.5W 工作温度: $0 \sim 70^{\circ}C$	美国 intersil 公司 (西安中舜行电子有限公司)
AD202 ^⑥ AD204 ^⑦	一种两端变压器耦合的隔离放大器,它通过片内变压器耦合,对信号的输入和输出进行隔离。片内的直流电压变换电路能为输入级、外部传感器和信号处理提供 $\pm 7.5V$ 、2mA 的隔离电源,从而优化了外围电路设计,提高了芯片的性能价格比,具有精度高、功耗低、共模性能好、体积小和价格低等优点。可用于数据采集、电机控制、信号处理等领域	电源电压 V_{CC} : 17V 工作温度 T_A : $-40 \sim +35^{\circ}C$	
AD210 ^⑧	一种精密度高、成本低、体积小的新型隔离放大器,也是一种变压器耦合的三端隔离放大器,它通过变压器耦合实现对信号和电源的隔离,所以可省去光耦合放大器所需的 DC/DC 变换器。可在多通道中对输入、输出进行隔离,多用于 V/I 转换器、高压仪表、数据采集等	共模隔离电压: 2500V(RMS) 差模隔离电压: $\pm 15V$ 非线性度: $\pm 0.012\%$	
AD215 ^⑨	模拟信号输入、输出隔离器,是技术先进、功能完整的隔离放大器。对输入的模拟信号经隔离后的动态性能和频带宽度均不产生影响,其速度和准确度可满足几乎所有测量场合的应用要求。可用于电机控制、多路高速数据采集系统	工作电源电压范围 V_{CC} : $\pm 14.5 \sim \pm 16.5V$ 隔离电源输出 V_{iso1} : $\pm 15V$ 工作温度范围 T_A : $-40 \sim +85^{\circ}C$	美国 AD 公司 (陕西恒立电子有限公司)
AD526 ^⑩	一种单端可编程增益放大器,可提供二进制数 1~16(1,2,4,8,16)的精密数字控制。由于该芯片内含电阻网络和 TTL 兼容锁存输入,无需外接元件,所以它也是一个完整的单片结构仪表放大器。可用于精密仪表系统	电源电压: $\pm 15V$ 正电源电流: 10mA 输出电压范围: $\pm 12V$ 贮存温度 T_{stg} : $-65 \sim +150^{\circ}C$	
AD704 ^⑪ AD705 ^⑫ AD706 ^⑬	皮安级输入电流的双极型运算放大器,是美国 AD 公司推出的优秀产品之一。它具有低功耗、高输入阻抗、输入失调电压漂移小、输入失调电压低及交流与直流特性优异等一系列优点。这三种放大器实质上是同一种运算放大器,它们的区别在于每一块集成块内所含有的运算放大器个数不同。可用作仪表放大器、低通滤波放大器等	电源电压: $\pm 18V$ 共模抑制比: 132dB	

(续)

型 号	主 要 性 能、特 点 及 用 途	极 限 参 数	生 产 企 业 (供 货 商)
AD594 ^① AD595 ^①	双列直插式 14 引脚封装的带冷端补偿的单片双电偶放大器,具有热电偶信号放大和冰点补偿双重功能,其中 AD594 适用于 T 型热电偶,AD595 适用于 K 型热电偶。可用于温度测量及热电偶系统	工作电源电压范围: $\pm 5 \sim \pm 15\text{V}$ 功耗: $<1\text{mW}$	美国 AD 公司
AD820 ^② AD822 ^② AD824 ^①	单电源、低功耗、精密场效应晶体管输入的运算放大器。采用双电源工作时,它的输出电压能够达到电源的正、负电源电压;单电源工作时,输入信号允许负电压,这样能够获得最大的动态范围。可用于电压/频率变换、增益放大等领域	电源电压: $\pm 18\text{V}$ 失调电压: 0.4mV (开环) 增益频率:1.9MHz	(陕西恒立电子有限公司)
TI 系列	TI 公司推出的运算放大器分为三大类:Bipolar、BIMOS 和 CMOS。CMOS 运算放大器通常是低电压、低功耗和轨对轨 ^② ,它们的工作电压 $<16\text{V}$ 。双极型系列精度高、噪声小、速度快,但功耗较大。BiFET 是输入级采用 JFET 的双极型器件,其输入电阻大、噪声电流小、速度快,通常需要双电源供电	单电源电压:5V 双电源电压: $\pm 5\text{V}$	美国 TEXAS INSTRUMENTS 公司 (TI 香港总公司)
LM12	一种功率运算放大器,内含输入级保护、过热保护、欠电压保护、输出电流限制、动态安全区保护。可用于测速发电机伺服控制系统	供电电压: $\pm 30\text{V}$ 输出功率:80W 频带宽度:60kHz	
LM1876 ^①	一种双通道、超保真音频放大器,每个通道可输出 20W 功率,内部具有自动高温保护、低电压保护、过电压保护等电路,以及哑音和闲置等功能,其性能远超过其他同类产品。可广泛应用于各种立体声放大等场合	电源电压(最大值):64V 差动输入电压:54V 功耗:62.5W	美国 National Semiconductor(NS) (秦皇岛艾睿电子有限公司)
LM6171 ^①	一种新型高速、低功耗、低失真的电压反馈运算放大器,采用先进的 VIP TM III(垂直集成 PNP)互补双极性工艺最新设计、生产,转换速率可达 3600V/ μs ,单位增益带宽可达 100MHz,具有优良的交流和直流特性。特别适用于高速信号的处理,可用于高速仪表的信号处理系统中	电源电压:36V 差分输入电压: $\pm 10\text{V}$ 最高结温:150°C	
PGA103 ^②	一种通用的可编程增益放大器,可通过两个与 CMOS/TTL 兼容的输入端将增益设定为 1、10 或 100。它具有数字可编程增益、低失调电压漂移、低静态电流、低成本、小体积及低增益误差等优点。可用于数据采集通用模拟板、医用仪表等	静态电流:2.6mA 最大误差: $\pm 0.05\%$ 失调电压:2 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$	
PGA202 ^③ PGA203 ^③	一种程控仪表放大器,采用双列直插式 14 引脚封装,使用极为方便。使用中无需外围芯片,两者级联使用可组成 1~8000 倍的 16 种程控增益。可用作自动增益控制、可变增益放大器等	电源电压: $\pm 6 \sim \pm 18\text{V}$ 频率响应: $G < 1000$ 时 1MHz, $G = 1000$ 时 250kHz	美国 BURR-BROWN 公司 (西安创兴电子科技有限公司)
PGA204 ^③ PGA205 ^③	低价格、多用途的可编程增益放大器,可用两位 TTL 或 CMOS 逻辑信号对其增益进行数字选择,电路芯片经激光调整,具有失调电压低、温漂小、静态电流小等优点。可用于数据采集、仪器仪表等行业	工作电源电压: $\pm 6 \sim \pm 18\text{V}$ 内部功耗 P_D :0.75W 最高结温 T_{max} :175°C	

(续)

型 号	主要性能、特点及用途	极 限 参 数	生产企业(供货商)
INA114	最新精密仪表用放大器,有 DIP-8、SOIC-8 及 SOIC-16 几种封装形式,DIP-8 封装与 INA126 完全可以互换,具有成本低、精度高、适用性强等特点。内部由三个运算放大器构成,其特性要比三个独立的运算放大器构成的仪表放大器好得多,它的失调电压低、温漂小、共模抑制比高、输入阻抗高是其显著优点并具有 $\pm 40\text{A}$ 输入过电保护,可用于桥式放大器、热电偶放大器、电阻温度传感器的放大器及医疗仪器数据采集用	电源电压范围: $\pm 2.25 \sim \pm 18\text{V}$ 共模抑制比: 115dB 温漂最大值: $0.25\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 失调电压最大值: $50\mu\text{V}$	
INA115 ^①	采用 SOIC-16 表面封装形式的精密多用途仪表放大器。它价格低、精度高、体积小,只需一个外部电阻就可方便地设置放大倍数,输入放大器具有外部输出引脚,可以方便地进行反馈连接,改变增益,可用于电阻温度计、热电偶、医疗仪器及数据采集	最大失调电压: $50\mu\text{V}$ 最大线性误差: $\pm 0.002\%$ 工作温度范围 T_A : $-40 \sim +85^\circ\text{C}$	
INA126 ^②	一种精密仪表放大器,具有输入失调低、输入漂移小、共模抑制比高、增益可通过外部电阻调节等优点。其内通过两个运算放大器的组合设计,使器件具有极低的静态电流和较宽的电源电压范围,可用于仪表放大器系统	工作电源电压范围: $\pm 1.35 \sim \pm 18\text{V}$ 静态电流: $175\mu\text{A}$ 温漂: $3\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	
INA128	新型低功耗、性能卓越的高精度通用型仪表放大器,只需配用一个外部电阻,其增益便可在 $1 \sim 10000$ 之间设定,其静态电流仅 $750\mu\text{A}$,特别适用于电池供电系统。INA128 的静态电流、带宽增益、增益稳定时间等参数都优于 AD620,是 AD620 的升级换代产品。它们的引脚完全一样,可直接替代,而价格便宜 20%。可用于信号采集、实验室仪器、医疗仪器、应变电桥等	电源电压: $\pm 40\text{V}$ 增益: $1 \sim 10000$ 漂移: $0.5\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	美国 BURR-BROWN 公司 (西安创兴电子科技有限公司)
INA2128 ^③ INA129	低电压通用型双通道仪表放大器。它的宽电源电压范围在低电压电池供电系统中得到了广泛应用。INA2128 为两片 INA128 的集成,其性能参数与 INA128 及 INA129 完全相同。可在便携式仪器电池供电系统中应用	电源电压范围: $\pm 2.25 \sim \pm 18\text{V}$ 失调电压最大值: $50\mu\text{V}$ 温度漂移最大值: $0.5\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	
INA141	一种低功耗、可根据跳线来选择增益为 10 或 100 的仪表用放大器件,采用 8 引脚标准双列直插式 DIP 及表面贴装式(SOIC)两种封装形式。可用于信号采集、实验室和医疗仪器、应变电桥等	静态电流: $750\mu\text{A}$ 最大失调电压: $50\mu\text{V}$ 共模抑制比: 117dB	
INA143 INA2143	最近推出的两种转换速率高、增益分别为 10 和 0.1 的差动放大器,采用 SO-8 及 SO-1A 封装,内部由一个精密运算放大器和精密电阻网络组成。由于采用了激光修正电阻,因此增益精确,共模抑制比高,优良的电阻温度系数保证了在整个温度范围内增益的精度和共模抑制性能。具有价格低、失调电压低、增益误差小及转换速率高等优点。可用在需要精密放大的场合	静态工作电流: $950\mu\text{A}$ 转换速率: $5\text{V}/\mu\text{s}$ 增益误差: 0.01% 最大失调电压: $\pm 250\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 和 $5\text{V}/\mu\text{s}$ 工作温度范围 T_A : $-55 \sim +125^\circ\text{C}$	

(续)

型 号	主要性能、特点及用途	极 限 参 数	生产企业(供货商)
ISO130 ^①	一种抗干扰能力很高的隔离运算放大器,具有价格低、集成度高、体积小、良好的瞬态抗扰性和优良的抗高频噪声等优点,能有效地抑制共模干扰电压,特别适用于电机控制,可在噪声环境中精确监控电机电流,达到所需的精度和稳定性。可用于电机和晶闸管控制、工业过程控制等	隔离干扰能力:10kV/ μ s 带宽:85kHz 非线性度:0.25%	
ISO164P ISO174P	一种具有精密可编程仪表放大器输入的隔离放大器,采用标准双列直插式24引脚封装,其仪表放大器的增益可编程为1、10、100。可用于工业过程控制、电力监控、医疗仪器、分析仪器及数据采集等场合	输入保护电压:±40V 隔离电压:2500V(RMS) 同步范围: ISO164P为100~200kHz, ISO174P为400~700kHz	
ISO165 ISO175	一种采用最新的调制/解调制造的、有极高精度的精密隔离仪表放大器,采用标准双列直插式24引脚封装,只需外接一个电阻,增益便可设定为1、2、8、10到50、100、500、1000~10000,设定分档较细。可用于工业过程控制、电力监控、医疗仪器、分析仪器、数据采集器	输入保护电压:±40V 隔离电压:2500V(RMS) 同步范围: ISO165为100~200kHz, ISO175为400~700kHz	美国 BURR-BROWN 公司 (西安创兴电子科技有限公司)
OP544T OP544A	一种低成本的功率运算放大器。在一个芯片上集成了 MOSFET 输入运算放大器和高功率输出级(2A)。OPA544A 与 OPA544T 具有内部电流限制和热断路保护功能,OPA544T 为5引脚的 TO-220 塑料封装,OPA544A 为表面贴装封装,可平焊在电路板上,适合薄型、高密度应用。可用于阀门电机控制、程控电源、电磁负载等	电源电压范围:±10~±35V 最小输出电流:2A 工作温度:-40~+85°C	
OPA132 OPA2132 OPA4132	单路、双路及四路 FET 输入运算放大器,OPA132 和 OPA2132 均备有8引脚 DIP 和 SOIC-8 型两种封装形式。OPA132、OPA2132、OPA4132 系列产品的转换速率为20V/ μ s,增益带宽为8MHz,价格便宜,直流性能优异。可用于音频、数据采集、测试设备及通信领域	输入偏流:50pA 失真度:0.00008% 最小开环增益:130dB 转换速率:20V/ μ s 增益带宽:8MHz	
EL2160C EL2260C ^① EL2360C EL2460C	单、双、三、四运算放大器,具有电源电压范围宽、功耗低、差分相位偏移小,频带宽、成本低及转换速率高等优点。可用作运算放大器、网络驱动器、仪器放大器等	电源电压范围:±2~±15V 工作电流 I_C :7.5mA 带宽:130MHz	美国 ELANTEC 公司
CLC5655	高频运算放大器,具有快速截止、宽带、高速性能、谐波失真低、可睡眠工作及工作电源电压范围宽等优点。适用于视频分配、双绞线电缆驱动器和数字视频应用	工作电源电压:±5~±15V 工作频率 f :90MHz	美国 NS 公司 (秦皇岛艾睿电子有限公司)
ITT2301AF	该集成功率放大器采用16引脚封装,并采用自调整 MSAG-Lite 工艺制作,单电源供电,具有100%的占空比。可用于 ISM 无线电、无线专用交换机、无线局域网	工作频率 f :200~2600MHz 结温 T_j :150°C 贮存温度 T_{stg} : -40~+150°C	美国 GAS 公司

(续)

型 号	主要性能、特点及用途	极 限 参 数	生产企业(供货商)
LMC6062 ^① LMC6082 ^①	一种高精度、高输入阻抗的 CMOS 型运算放大器。采用 8 引脚双列直插式 (DIP-8) 及表面贴装式 (SOIC-8) 两种封装形式, 优良的性能使它们能与高精度的双极型运算放大器相媲美, 从而大大地拓宽了 CMOS 运算放大器的应用范围。可用于测量放大器、振荡器及滤波器系统	工作电源电压范围 V_{DD} : $\pm 2.5 \sim \pm 7.5V$ 或 $5 \sim 15V$ 工作电流: $32\mu A$	美国 NS 公司 (秦皇岛艾睿电子有限公司)
LT1008 ^①	一种极低偏置电流的高精度运算放大器。它的电压、电流噪声及功率损耗低, 共模抑制比和电源抑制比高, 且负载能力强。可用于高精度测控系统中	电源电压: $\pm 20V$ 最大偏置电流: $600pA$ 最大漂移: $1.5\mu V/^{\circ}C$	美国 LINEAR TECHNOLOGY (线性技术公司北京办事处)
AMP-01 ^①	一种低噪声、高性能的单片仪表放大器。它是为高精度数据采集和仪表应用而设计的芯片。由于采用低漂移部件、双极点补偿法和新型偏置电流补偿技术, 所以该芯片具有失调电压低、稳定性好、噪声低、共模抑制比高、偏置电流小及精度高等特点。可用于仪表放大器系统	失调电压最大值: $50\mu V$ 噪声最大值(峰-峰值): $0.12\mu V$ 偏置电流小: $4nA$ 共模抑制比: $125dB$	
X9430	采用精密模拟技术, 将模拟电路、数字电路及锁存电路集成在一个芯片上, 构成一个新颖的混合信号器件, 使增益、偏置及功耗可编程。它内部包括两个通用运算放大器, 可通过串行外围接口或 I ² C 串行接口写入控制字对其进行编程, 其编程参数存储在具有记忆功能的存储器中, 即使在掉电时也可保存数值, 同时片内含有 16 字节 EPROM, 其中 4 字节用于存放运算放大器参数。可用于精密放大场合	技术指标同 OP07 及 $\mu A741$	美国 Xicor 公司 (香港时宝半导体有限公司)
TC9 $\times \times$ ^①	采用 8 引脚封装的第二代单片式 CMOS 型斩波自动稳零运算放大器。在设计方面改良了第一代器件所采用的斩波自动稳零技术, 并且在工艺方面有所创新, 将原来两个外置的补偿电容集中到片内, 所以性能更优良。因它具有高增益、低失调等优越性能, 尤其适用于电子测量系统	工作电源电压: $\pm 3 \sim \pm 16V$ 或 $5 \sim 32V$ 低功耗电流: $450\mu A$	美国 TELCOM 公司 (利达电子科技香港总公司)
TLV2442 TLV2444	TLV2442 采用 DIP-8U 型双列引脚及方形 20 引脚几种封装式, 而 TLV2444 采用标准双列直插式 14 引脚 (DIP-14) 封装, 是增强型 LinCMOS ^(TM) 轨对轨输出宽输入电压双通道运算放大器 (TLV2442), 允许双电源工作, 具有输入共模电压范围宽、输入输出严格同相、低噪声、低输入漂移、低输入偏置电流、高增益条件下带宽达 $1.8MHz$ 、工作耗电小等优良性能。TLV2444 与 TLV2442 的差别在于它为四通道运算放大器, 而 TLV2442 为双运算放大器	工作电源电压 V_{S1} : $2.7 \sim 10V$ 电源电流: $150\mu A$ 失调电压: $2\mu V/^{\circ}C$ 输入偏置电流: $1pA$ 共模抑制比 CMRR: $70dB$ 带宽 GBW: $1.75MHz$ 输出温漂系数: $2\mu V/^{\circ}C$ 工作温度范围: $-55 \sim +125^{\circ}C$	美国 TI 公司 (深圳商斯达电子有限公司)

(续)

型 号	主要性能、特点及用途	极 限 参 数	生产企业(供货商)
TLE2021 TLE2022 TLE2024	TLE2021 采用标准双列直插式 8 引脚(DIP-8)及 20 引脚(DIP-20)封装;TLE2022 有 DIP-8 及方形 20 引脚两种封装;TLE2024 有对外引出 14 引脚、16 引脚及 20 引脚的标准双列直插式、表面贴装式及方形几种封装形式。它们分别为单通道(TLE2021)、双通道(TLE2022)及四通通道(TLE2024)精密、低功耗单电源工作运算放大器。具有工作电源电流小、转换速率高(压摆率)、反相保护、开环增益高、失调电压低、失调电压漂移小、输入偏置电流小、噪声低、高增益下带宽不低于 2MHz 等特点	工作电源电压 V_S : 4~40V 输入失调电压漂移: $2\mu V/^{\circ}C$ 共模抑制比 CMRR: 85dB 工作温度范围 T_A : -40~+85 $^{\circ}C$	美国 TI 公司 (深圳高斯达电子公司)
TLE2071 TLE2072 TLE2074	TLE2071 采用 DIP-8 及方形 20 引脚和小型双列直插式 10 引脚三种封装形式,其升级产品为 TLE2061; TLE2072 封装与 TLE2071 相同; TLE2074 采用双列直插式 DIP-14、DIP-16、SOIC-14、SOIC-16 及 PLCC-20 几种封装形式。分别为低噪声、高速结型场效应管输入型运算放大器。TLE2071 为单通道;TLE2072/TLE2074 分别为双通道和四通型,可直接取代 TL05 $\times$ 、TL07 $\times$ 、TL08 $\times$ 系列运算放大器。它们在单电源、双电源下均可工作,工艺上对失调电压进行了专门的处理,从而满足了失调电压的需要	工作电源电压 V_S : 4.5~38V 共模抑制比 CMRR: 80dB 带宽: 10MHz 工作温度范围 T_A : -55~+125 $^{\circ}C$ (随后缀而不同)	
$\mu A741$ F741	采用圆型及标准双列直插式 8 引脚(DIP-8)及 14 引脚(DIP-14)两种封装形式,是通用型运算放大器。有很宽的输入电压范围,具有频率内补偿、输出短路保护,很高的差模输入电压范围、功耗低及电源电压适应范围宽等特点	工作电源电压: $\pm 22V$ 差模输入电压范围: $\pm 30V$ 共模输入电压范围: $\pm 15V$	航天工业总公司西安 771 所
LM324 LM224 LM124	采用标准双列直插式 14 引脚(DIP-14)封装,为四运算放大器。内部四个运算放大器可独立使用,单电源、双电源均可工作,使用中不需调零,引脚排列左右对称,十分便于记忆。可用作加法器、多路放大器等	工作电源电压: $\pm 3\sim\pm 18V$ 输出电流 I_{OL} : 20mA 工作温度: LM324 为 0~70 $^{\circ}C$; LM224 为 -25~+85 $^{\circ}C$; LM124 为 -40~+125 $^{\circ}C$	美国 AD 公司 美国 NS 公司 (NS 公司北京办事处)
TLV2237	采用 16 个小引脚宽体及双列直插式 8 引脚(DIP-8)封装,是双通道、低噪声、高精度、不需调零的运算放大器。内含输出饱和和自复位电路,具有同时满足直流精度和交流特性的双重功能	输入、输出失调电压: 100 μV 直流放大倍数 A_{dv} : 45×10^4 单位增益带宽: 15MHz	
TLE2027	低噪声、高速度、精密 Decom 运算放大器,采用标准双列直插式 DIP-8 及方形 20 引脚两种封装形式,内含一个放大器,具有宽频带、高开环放大倍数、输出饱和和自恢复特性,可同时满足交流特性与直流精度的双重需要	工作电源电压 V_S : 8~38V 转换速率(压摆率): 2.8V/ μs 共模抑制比 CMRR: 100dB 带宽: 13MHz 直流放大倍数: 45×10^4 开环工作温度范围: -55~+125 $^{\circ}C$	美国 TI 公司 (深圳高斯达电子公司)
TLE2037	单通道低噪声、高速度、精密自补偿运算放大器,采用标准双列直插式 8 引脚(DIP-8)封装,是 TLE2022 的升级换代产品,具有频带宽、失调电压低、温度稳定性好、输出饱和和自恢复等优良性能。它良好的设计同时满足了直流精度和交流特性的需要	工作电源电压 V_S : 8~38V 失调漂移: 0.2 $\mu V/^{\circ}C$ 共模抑制比 CMRR: 117dB 开环直流放大倍数: 45×10^4 单位增益带宽: 15MHz 工作温度范围 T_A : -55~+125 $^{\circ}C$ (随后缀而不同)	

(续)

型 号	主要性能、特点及用途	极 限 参 数	生产企业(供货商)
OP07	极低零漂和温漂的高稳定度精密运算放大器,采用圆形 8 引脚及标准双列直插式 8 引脚封装,且有方形 20 引脚封装规格,具有输入电压范围宽、噪声低、工作电源电压范围宽等特点	最高电源电压 $V_{CC} \pm 22V$ 最大零漂 $V_{OSmax}: 28nV$ 差模输入电压: $\pm 30V$ 工作温度 $T_A: -65 \sim +125^\circ C$	美国 AD 公司 (陕西恒立电子有限公司)
TLV2262 TLV2262M TLV2262A TLV2262AM TLV2262I	TLV2262 为双通道轨对轨低电压、低功耗运算放大器; TLV2262A 及 TLV2262AM 为其改进 CMOS 型。采用标准双列直插 DIP、表面贴装 SOIC-8、U 形双列直插 10 引脚及方形 20 引脚几种封装形式。该系列放大器性能介于 TLV225 $\times$ 系列与 TLV227 $\times$ 系列之间,具有输入阻抗高、噪声低等优良性能	电源电压: 2.7~16V 工作电流: 500 μA 输入偏置电流: 1pA 工作温度范围: $-55 \sim +125^\circ C$ (随型号有所不同)	
TLV2264I TLV2264AI TLV2264M TLV2264AM	轨对轨运算放大器,为 TLV 系列的四通道封装型。采用标准双列直插式 DIP-14、方形 20 引脚几种封装形式,主要性能指标同 TLV2262 系列	电源电压: 2.7~16V 工作电流: 500 μA 输入偏置电流: 1pA 工作温度范围: $-55 \sim +125^\circ C$ (随型号有所不同)	
TLV2341 TLV2342 TLV2344	它们分别为单通道 (TLV2341)、双通道 (TLV2342) 及四通道 (TLV2344) LinCMOS 可编程、低工作电压运算放大器。TLV2341、TLV2342 均采用 DIP-8 封装,而 TLV2344 采用 DIP-14 封装,具有工作电源电压范围宽、噪声低、防静电等特点。可选择偏置特性,使最大电源电流限制在 17 μA ~1.5mA 之内	工作电源电压: $V_S: 2 \sim 8V$ 带宽: TLV2341 为 1.7MHz; TLV2342、TLV2344 为 0.79MHz 失调漂移电压最大值: 2.7mV 共模抑制比 CMRR: 65dB	
TLV2361 TLV2361Y TLV2361C	为 TLV2362 的单通道型,采用 SOT-23 封装,其性能指标同 TLV2362,与普通放大器相比,具有更大的压摆率和更优良的性能	电源电压: $V_S: \pm 3.5V$ 或 $2 \sim 5V$ 转换速率: 3V/ μs 噪声: 8nV/ $\sqrt{Hz}$ 工作温度范围 $T_A: -40 \sim +85^\circ C$ 贮存温度 $T_{stg}: -65 \sim +150^\circ C$	美国 TI 公司 (深圳商斯达电子公司)
TLV2362 TLV2364	双通道、高性能、低电压工作运算放大器,采用标准双列直插式、小型双列表面贴装 8 引脚等多种封装形式,具有工作频率宽、压摆率高、输出电压范围宽、噪声低等特点	电源电压: $V_S: \pm 3.5V$ 或 $2 \sim 5V$ 转换速率: 3V/ μs 噪声: 8nV/ $\sqrt{Hz}$ 工作温度范围 $T_A: -40 \sim +85^\circ C$ 贮存温度 $T_{stg}: -65 \sim +150^\circ C$	
LF412	双 MOSFET 输入运算放大器,具有低输入偏置电流(典型值 50pA)、低输入噪声、低工作电源电流、高输入阻抗、高转换速率(压摆率)及内部自调零失调电压等优良性能)	工作电源电压: 7~36V 带宽 GBW: 3MHz 压摆率: 13V/ μs	
TLE2141 TLE2142 TLE2144	单通道 (TLE2141)、双通道 (TLE2142) 及四通道 (TLE2144) 低噪声、高速精密运算放大器, TLE2141 采用 DIP-8; TLE2142 采用 DIP-8 小型双列 10 引脚宽体 PW-16 及方形 20 引脚几种形式封装; TLE2144 采用 DIP-16、方形 20 引脚及 14 引脚宽体几种形式封装。其中, TLE2141 为单电源工作,具有工作频率宽、转换速率(压摆率)高、失调电压及漂移电压极低等优点,不带独立封锁功能	工作电源电压 $V_S: 4 \sim 4.5V$ 共模抑制比 CMRR: 85dB 失调漂移电压最大值: 1.7 μV 带宽 GBW: 5.9MHz 转换速率: 27~45V/ μs	

(续)

型 号	主要性能、特点及用途	极 限 参 数	生产企业(供货商)
TLE2227	双通道、低噪声、高速运算放大器,采用标准双列直插式 8 引脚及 16 引脚两种封装形式,具有工作频带宽、精度高及工作温度范围宽等优点。采用专门的设计技术,同时满足了直流精度和交流特性的要求	输出失调电压:100 μ V 放大倍数:15 $\times 10^6$ 单位增益带宽:15MHz 工作温度范围 T_A :0~70 $^{\circ}$ C	美国 TI 公司 (深圳商斯达电子公司)
TLC2201 TLC2202	TLC2201 为单通道运算放大器,采用标准双列直插式 8 引脚 (DIP-8) 及方形 20 引脚封装; TLC2202 为双通道运算放大器,采用 DIP-8、DIP-14、及方形 20 引脚封装,它们均为低噪声、高精度、轨对轨输出运算放大器。具有工作电源电压范围宽、输出失调温度漂移小,频带宽及抗共模能力强等优点	工作电源电压:4.6~16V 输入失调电压:500 μ V 输入偏置电流:1pA 共模抑制比:TLC2201 为 85dB; TLC2202 为 80dB 带宽:1.8MHz 工作温度范围 T_A : -55~+125 $^{\circ}$ C	
TLC2252 TLC2254	TLC2252 为双通道运算放大器,采用 DIP-8、SOIC-8、双列小型 10 引脚及方形 20 引脚四种封装形式;而 TLC2254 为四通道运算放大器,采用 DIP-14 及 SOIC-14 及方形 20 引脚三种封装形式。它们均为轨对轨超低功率运算放大器,它们是 TS27L2 和 TS27L4 的升级换代产品。具有工作电源电压范围宽、输出失调电压低漂移小、共模抑制比高、压摆率高等特点	工作电源电压:4.4~16V 输出失调电压温度漂移: 0.5 μ V/ $^{\circ}$ C 输出失调电压最大值:850 μ V 共模抑制比:CMRR:70dB 输入偏置电流:1pA 工作温度范围 T_A : -55~+125 $^{\circ}$ C	

① 是指该型号(或系列)产品在本章后面各节中有详细介绍。

② 轨对轨(rail to rail)放大器,是指该种放大器输入或输出可以达到正负工作电源电压,而一般放大器无法达到输入或输出工作电源电压的性能,否则会失真。

1.2 运算放大器的模型、主要参数和分类

随着集成电路技术的不断发展,涌现出多种不同技术和工艺制造的运算放大器,不同技术生产的器件具有不同的性能,但总的来说,运算放大器的模型和参数是基本类似的。本节先介绍运算放大器的理想模型和实际模型,进而给出运算放大器的主要参数。

1. 运算放大器的电路模型

(1)理想模型 运算放大器是差分输入、单端输出的放大器。理想放大器应对所有频率都有无限大的增益,并且输入端无电流输入,即输入阻抗无限大。输出端是输出阻抗为零的电压源 $A_V V_{IN}$,如图 1-1 所示。

(2)实际运算放大器模型 实际运算放大器的等效电路是相当复杂的,如图 1-2 所示。

运算放大器的每一个输入端都有直流偏置电流 I_B ,输入级的失配还会造成输入失调误差 V_{OS} ,并且输入端呈现的差分输入阻抗 Z_{DIFF} 和共模输入阻抗 Z_{CM} 是有

限的,这些阻抗通常由并联的电阻和电容组成,有限的 Z_{CM} 会由于共模输入电压而引起误差。除此之外,模型中还有表示噪声误差的小交流源 V_N 和 I_N 。

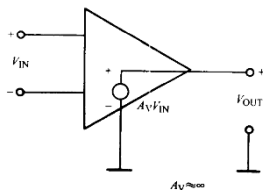


图 1-1 理想运算放大器的模型

模型的输出端也是非理想的。首先,由于输出阻抗不会为零,故应增设与电压源串联的输出阻抗 R_O 。实际放大器的增益 A_V 是有限的,而且是频率的函数。另外,运算放大器输出级的驱动能力(如电流容量)很明显也是有限的。

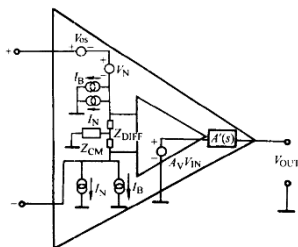


图 1-2 实际运算放大器的模型

2. 运算放大器的主要参数说明

(1) 直流精确度的参数 下面是影响直流精确度的主要参数：

1) 输入失调电压 V_{OS} ：它是差分输入级晶体管基极-发射极失配产生的结果。其定义为：在开环电路中，直流输出电压为零时，输入端所施加的直流电压。放大器将它和信号一起放大， V_{OS} 和输入失调电压的温度系数 A_{VOS} 是产生直流误差的主要因素。

2) 输入偏置电流 I_B ：它是为使晶体管正常工作必须提供的偏置电流，假如串在输入回路中的电阻较大，那么 I_B 会引起较大的误差电压。

3) 开环电压增益（大信号电压增益） A_V 一个理想运算放大器的开环电压增益应该是无限大的，实际运算放大器的 A_V 是有限的。在计算时，有限的 A_V 也会带来附加的直流误差项， A_V 应越大越好。

4) 共模抑制比 $CMRR$ ：它被定义为共模电压的变化量 ΔV_{IC} 与由此引起的输入失调电压之比： $CMRR = \Delta V_{IC} / \Delta V_{OS}$ ，通常用分贝 (dB) 来表示。为了说明各误差项对测量精度的影响，将同相输入放大器输出电压的方程表示如下：

$$V_{OUT} = \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1} \right) \left[V_{IN} + V_{OS} + I_B \left(\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right) + \Delta V_{IC} \right]$$

$$\frac{1}{CMRR} \left[\frac{A_V R_2}{R_1 R_2} + \frac{1}{1 + \frac{A_V R_2}{R_1 + R_2}} \right]$$

式中 V_{OUT} ——运算放大器输出电压；

R_2 ——反相输入端至地的电阻；

R_1 ——反相输入端到输出端的等效反馈电阻。

(2) 噪声 运算放大器中会产生电压噪声和电流噪声，通常以电压噪声为主，电流噪声较小。电压噪声是器件中的热噪声引起的，通常用其均方值表示： $V_n^2 = 4kTR/B$ (式中， k 为玻耳兹曼常数 $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ ； T 为器件的绝对温度 (K)； B 为器件的带宽； R_n 是器

件输入级的等效电阻)。对于双极性运算放大器， R_n 是发射结和基区的电阻。对于 BIMOS 和 CMOS 运算放大器， R_n 是沟道电阻。噪声电压的谱密度 $\sigma V_n = \sqrt{V_n^2/B}$ ，低噪声运放要求 $\sigma V_n \leq 15 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ 。噪声电流 I_n 实际上是晶体管的散粒噪声，它是输入偏流 I_B 的函数，故手册中通常不给出数据，可利用公式计算： $\sigma V_n = \sqrt{2qI_B}$ (其中， $q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$)。由于 BIMOS 和 CMOS 的 I_B 极小，故其电流噪声更小。当信号源内阻是高阻抗时，应选用低噪声电流的 CMOS 和 BIMO 运算放大器。

(3) 速度参数 速度参数用运算放大器的带宽和转换速率 SR 来表示。高速运算放大器的带宽（增益带宽积）要求大于 6 MHz 。SR 定义为单位时间内最大输出电压的变化，单位为 $\text{V}/\mu\text{s}$ 。通常器件要提高速度，就必然会增加功耗，并且需要双电源供电。

(4) 低电压 低电压运算放大器可以在 $V_{CC} \leq 3 \text{ V}$ 条件下工作，使用时应该保证输入电压不得超过运算放大器的共模输入电压范围 V_{ICM} 。为抢占 3 V 器件的市场，美国 TI 公司开发出了 TLV 产品系列。

(5) 低功率 低功率运算放大器的静态电流不得超过 $500 \mu\text{A}$ 。此电流的定义为：在无负载条件下，即输出端不流入、也不流出电流时的电源电流。注意：为了使器件的功耗最小，芯片内不使用的放大器应接成输入端接地的单位增益跟随器。

3. 运算放大器的分类

运算放大器一般可分为通用型、精密型、低噪声型、高速型、低电压低功耗型、单电源型，共六种。本节以美国 TI 公司的产品为例，说明其各类的主要特点。

(1) 通用型运算放大器 通用型运算放大器的参数是按工业上的普通用途设定的，各方面性能都较差或中等，价格低廉，其典型代表是工业标准产品 $\mu\text{A}741$ 、LM358、OP07、LM324、LF412 等。

(2) 精密型运算放大器 要求运算放大器有很好的精确度，特别是对输入失调电压 V_{OS} 、输入偏置电流 I_B 、温度漂移系数、共模抑制比 $CMRR$ 等参数有严格要求。如 V_{OS} 不大于 1 mV ，高精密度运算放大器的 V_{OS} 只有几十微伏，常用于需要精确测量的场合，其典型产品有 TLC4501/TLC4502、TLE2027/TLE2037、TLE2022、TLC2201、TLC2254 等。

(3) 低噪声型运算放大器 也属于精密型运算放大器，要求器件产生的噪声低，即等效输入噪声电压密度 $\sigma V_n \leq 15 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ ，另外需要考虑电流噪声密度 σI_n ，它跟输入偏流有关。双极型运算放大器通常具有较低的电压噪声，但电流噪声较大，而 CMOS 运算放

大器的电压噪声较大,但电流噪声很小。低噪声型运算放大器的产品有 TLE2027/TLE2037、TLE2227/TLE2237、TLC2201、TLV2362/TLV2262 等。

(4) 高速型运算放大器 要求运算放大器的运行速度快,即增益带宽乘积大、转换速率快,通常用于处理频带宽、变化速度快的信号。双极型运算放大器的输入级是 JFET 的运算放大器,通常具有较高的运行速度。典型产品有 TLE2037/TLE2237、TLV2362、TLE2141/TLE2142/TLE2144、TLE2071、TLE2072/TLE2074、TLC4501 等。

(5) 低电压、低功耗型运算放大器 用于低电压供电,如 3V 电源电压运行的系统或电池供电的系统。要求器件耗电小 ($500\mu\text{A}$),能低电压运行 (3V),最好具有轨对轨 rail to rail 性能,可扩大动态范围。主要产品有 TLV2211、TLV2262、TLV2264、TLE2021、TLC2254、TLV2442、TLV2341 等。

(6) 单电源型运算放大器 单电源型运算放大器要求用单个电源电压 (典型电压为 5V) 供电,其输入端和输出端的电压可高达 0V。多数单电源型运算放大器是用 CMOS 技术制造的。单电源型运算放大器也可用于对称电源供电的电路,只要总电压不超过允许范围即可。另外,有些单电源型运算放大器的输出级不是推挽电路结构,当信号跨越电源中点电压时会产生交越失真。

4. 运算放大器的型号说明

运算放大器的型号众多,各公司标记方法不完全相同,现以 TI 公司产品为例进行说明。

美国 TI 公司运算放大器的产品型号由若干部分构成,其中前面两个部分说明器件的类型和编号,是型号的主体,后面几部分表示器件的温度范围和封装,如图 1-3 所示。运算放大器的引脚排列如图 1-4 所示。TI 公司常用运算放大器分类如图 1-5 所示。

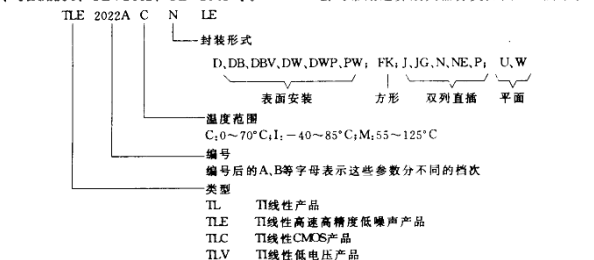


图 1-3 运算放大器的型号说明

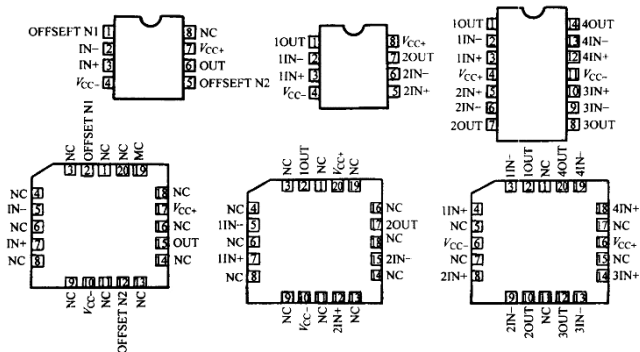


图 1-4 常用 TI 运算放大器的引脚排列

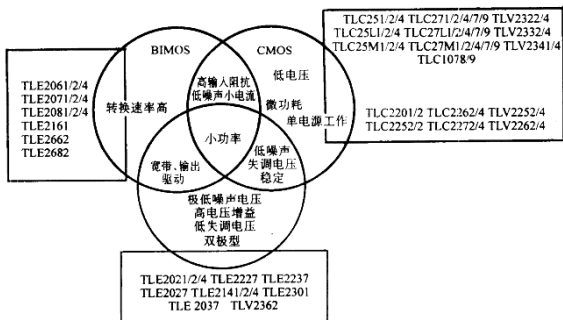


图 1-5 运算放大器的分类

1.3 电流反馈运算放大器与电压反馈运算放大器的区别^[1-31]

运算放大器是应用最广的集成电路。根据运算放大器不同的特性，它能满足高精度、高频率的要求，并且应用方便。但是如何正确选择与使用运算放大器，这是设计电路时十分关注的问题。

运算放大器按照反馈信号类型进行分类，可以分为电流反馈运算放大器和电压反馈运算放大器两类。

1. 两种运算放大器的基本区别

电流反馈运算放大器和电压反馈运算放大器是两种不同反馈信号的运算放大器，基本区别如下：

(1) 输入级结构不同 电压反馈运算放大器的同相输入端与反相输入端不仅结构基本相同，而且输入阻抗基本相同。在差动输入模式和共模形式下，输入阻抗一般都在 $10\text{k}\Omega$ 以上。而电流反馈运算放大器的输入端是一个连接同相输入端与反相输入端的单位增益缓冲器。同相输入端与反相输入端输入阻抗相差极大。同相输入端的输入阻抗一般在 $10\text{k}\Omega$ 以上，反相输入端的输入阻抗在理想状态下为 0，实际上有几十欧输入阻抗。因此对于输入阻抗的表达式也是不同的。

进行交流分析时，它们的原理框图如图 1-6 所示。

(2) 影响运算放大器带宽因素不同 电压反馈运算放大器开环时，输出电压等于开环增益 $A_{OL}(s)$ 与输入的偏差电压 V_{err} 的积

$$V_{OUT} = A_{OL}(s)V_{err}$$

$$A_{OL}(s) = [G_{DC}/(1 + r_o C_s)] \quad s = j\omega$$

式中 G_{DC} ——直流开环增益；

r_o ——开环方程中的有效阻抗；

C_s ——补偿电容。

补偿电容不仅影响放大器的稳定性，而且决定了放大器的转换速率。

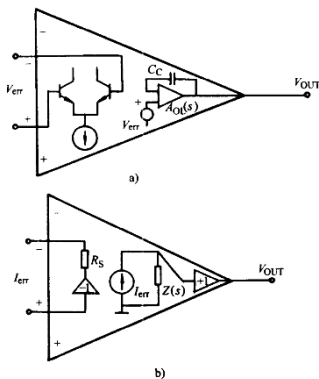


图 1-6 运算放大器交流分析框图

a) 电压反馈运算放大器 b) 电流反馈运算放大器

当接成同相输入的闭环电路时

$$V_{OUT} = V_{IN}A_{OL}(s)$$

$$V_{IN} = [R_G/(R_G + R_I)]V_{OUT}$$

式中 R_G ——增益电阻；

R_I ——反馈电阻。