

运算放大器应用电路设计

严刚峰 著



科学出版社

运算放大器应用电路设计

严刚峰 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书内容共5章。第1章简要介绍集成运算放大器的组成与原理,并列出常见集成运算放大器的型号及简介,第2章介绍集成运算放大器的性能参数与测试,第3章给出集成运算放大器的运算误差分析,第4章介绍集成运算放大器电路的电磁兼容性设计,第5章就自动化装置研发过程中涉及的应用电路给出设计方法。全书面向实际应用,理论联系实际。

本书可供具有一定电子学基础的工程技术人员,以及高等院校相关专业的学生和电子电路设计爱好者参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

运算放大器应用电路设计/严刚峰著. —北京:科学出版社,2016.9
ISBN 978-7-03-049759-8

I. ①运… II. ①严… III. ①集成电路-运算放大器-电路设计
IV. ①TN722.702

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 207466 号

责任编辑:张艳芬 罗 娟 / 责任校对:郭瑞芝
责任印制:张 伟 / 封面设计:蓝 正

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京教图印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年9月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2016年9月第一次印刷 印张:17

字数:333 000

定价:88.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

自从1964年美国Fairchild Semiconductor公司研制出第一个单片集成运算放大器 $\mu\text{A}702$ 以来,由于其具有很多良好的性能而广泛应用于现代电子技术领域。集成运算放大器是一种具有高电压放大倍数的直接耦合放大器,主要由输入、中间、输出三部分组成。输入部分是差动放大电路,中间部分提供高电压放大倍数,输出部分则实现低输出阻抗、高驱动能力、限流及短路保护等功能。近年来,随着消费电子、通信、网络等应用领域的发展,对集成运算放大器产品也提出了新的技术要求,更低功耗、更小封装及良好的耦合性能变得十分重要。下一代运算放大器正朝着速度更快、集成度更高、价格更低的方向发展。几乎现阶段每个完整的电子产品中都离不开放大器,而放大器性能的提高对电子产品的功能起着重要的决定作用。

运用现有集成运算放大器产品设计出可靠性高、运算精度高的实用电路具有重要意义。本书就工业自动化装置类研发过程中涉及的集成运算放大器电路的设计进行探讨,供技术人员设计相关电路时参考使用。本书主要内容为:首先简要介绍集成运算放大器的组成与原理和常见的集成运算放大器产品;然后介绍集成运算放大器的主要性能参数,可供读者在选用运算放大器组件产品时参考,并给出对基本参数的测试方法;接着通过举例给出集成运算放大器的运算静态误差与动态误差的分析方法。由于集成运算放大器电路的种类繁多,其用途与性能要求也各不相同,但分析方法与思路是完全类似的,因此本书重点说明误差分析的方法和过程,而不是仅仅给出相关的结论;然后给出集成运算放大器电路及其装置的电磁兼容性设计。由于电磁兼容性设计必须从系统、装置或产品的整体来考虑,因此这一部分内容对集成运算放大器电路与其所在装置的电磁兼容性设计一并予以介绍。最后选择性地从测量电路、放大电路、滤波电路、电压电流转换电路、反馈限幅与精密整流电路、电压比较电路、波形产生电路、调节器电路等方面给出几十个集成运算放大器电路的分析、设计与调试方法,不仅给出电路分析与设计的结论,而且较为详细地给出推导结论的整个设计过程,供读者在学习电路分析与设计的方法时参考使用。

本书的出版得到了成都大学“1315”工程科研启动经费的大力支持,在此表示诚挚的谢意。

本书参考了大量的教材、论文及其他相关参考资料,在此表示衷心的感谢。限于作者水平,书中难免存在疏漏和不妥之处,希望读者批评指正。

严刚峰

2016年2月

目 录

前言

第 1 章 集成运算放大器的组成与原理	1
1.1 概述	1
1.2 集成运算放大器的基本组成与原理	2
1.3 常见的集成运算放大器	4
参考文献	21
第 2 章 集成运算放大器的性能参数与测试	22
2.1 开环性能参数	22
2.2 输入偏离性能参数	23
2.3 输出性能参数	24
2.4 共模性能参数	25
2.5 供电电源的参数	25
2.6 基本参数测试方法	25
参考文献	28
第 3 章 集成运算放大器的运算误差分析	29
3.1 理想运算放大器	29
3.2 运算放大器的稳态误差分析	30
3.3 运算放大器的动态误差分析	34
参考文献	43
第 4 章 集成运算放大器电路的电磁兼容性设计	44
4.1 电磁兼容性的设计	44
4.2 抑制干扰源产生干扰	45
4.2.1 抑制电压电流瞬变干扰源产生的干扰	45
4.2.2 抑制信号传输时发生波形畸变	48
4.2.3 其他干扰源的干扰抑制	56
4.3 降低与干扰源间耦合程度	59
4.3.1 抑制公共阻抗耦合的干扰	59
4.3.2 采用“隔离”措施阻隔干扰耦合	61
4.3.3 采用“屏蔽与接地”措施阻隔干扰耦合	68
4.3.4 采用低通滤波等方法以降低干扰耦合的程度	72

4.4 降低集成运算放大器电路与数字逻辑电路对干扰灵敏度的方法	96
4.4.1 集成运算放大器电路的稳定性设计	96
4.4.2 提高集成运算放大器电路抗干扰水平的方法	103
4.4.3 提高数字逻辑电路抗干扰能力的方法	105
参考文献	106
第5章 集成运算放大器的应用与电路设计	107
5.1 测量电路	107
5.2 放大电路	110
5.3 滤波电路	131
5.4 电压、电流转换电路	172
5.5 反馈限幅与精密整流电路	180
5.6 电压比较电路	189
5.7 波形产生电路	203
5.8 调节器电路	235
参考文献	264

第 1 章 集成运算放大器的组成与原理

1.1 概 述

在电路中,能够实现信号或功率放大的器件称为放大器。目前所有放大器的基础放大器件是电子管和晶体管,以放大器为核心,能够实现放大功能的电路,称为放大电路。集成运算放大器是一种高电压增益、高输入电阻和低输出电阻的多级直接耦合放大电路^[1,2]。集成运算放大器最早所采用的是硅 NPN 工艺,后来改进为硅 NPN-PNP 工艺,也称标准硅工艺。在结型场效应管技术成熟后,又进一步加入了结型场效应管工艺。当 MOS 管技术成熟后,特别是 CMOS 技术成熟后,集成运算放大器有了质的飞跃,一方面解决了低功耗的问题;另一方面通过混合模拟与数字电路技术,解决了直流小信号的直接处理问题。经过多年的发展,集成运算放大器技术已经非常成熟,性能日趋完善,品种不断增多。集成运算放大器及其应用电路实物示意如图 1.1 所示。下面按照对集成模拟运算放大器所采用的工艺和功能进行分类,简要予以叙述。

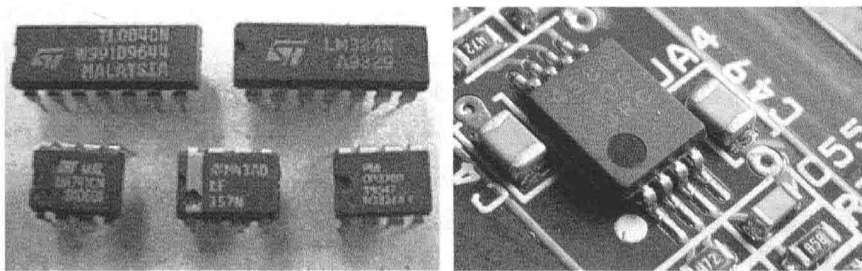


图 1.1 集成运算放大器及其应用电路

根据制造工艺,目前使用中的集成运算放大器可分为标准硅工艺运算放大器、在标准硅工艺中加入结型场效应管工艺的运算放大器、在标准硅工艺中加入 MOS 工艺的运算放大器。按照工艺分类,便于了解加工工艺对集成模拟运算放大器性能的影响,易于掌握集成运算放大器的特点。

标准硅工艺的集成运算放大器的特点是开环输入阻抗低、输入噪声低、增益稍低、成本低、精度不太高、功耗较高。这是因为标准硅工艺的集成运算放大器内部全部采用 NPN-PNP 管,它们是电流型器件,即使输入级采用多种技术改进,仍

然很难解决输入阻抗低的问题,典型开环输入阻抗在 $1\text{M}\Omega$ 数量级。为了兼顾频率特性,中间增益级不能过高,这使得总增益偏小,一般在 $80\sim 110\text{dB}$ 。标准硅工艺可以结合激光修正技术,使集成模拟运算放大器的精度大大提高,温度漂移指标目前可以达到 0.15ppm ($1\text{ppm}=1\times 10^{-6}$)。通过改进标准硅工艺,可以设计出通用集成运算放大器和高速集成运算放大器,典型代表是 LM324。

在标准硅工艺中加入结型场效应管工艺的运算放大器主要是将标准硅工艺的集成模拟运算放大器的输入级改进为结型场效应管,大大提高集成运算放大器的开环输入阻抗,并提高通用集成运算放大器的转换速度,其他运算放大器与标准硅工艺的集成模拟运算放大器类似。典型开环输入阻抗在 $1000\text{M}\Omega$ 数量级,典型代表是 TL084。

在标准硅工艺中加入 MOS 场效应管工艺的集成运算放大器分为三类:一类是将标准硅工艺的集成运算放大器的输入级改进为 MOS 场效应管,与结型场效应管相比,大大提高集成运算放大器的开环输入阻抗,提高通用集成运算放大器的转换速度,其他方面与标准硅工艺的集成模拟运算放大器类似。典型开环输入阻抗在 $10^{12}\Omega$ 数量级,典型代表是 CA3140。第二类是采用全 MOS 场效应管工艺的模拟运算放大器,它大大降低了功耗,原因在于电源电压降低,功耗就可大大降低,它的典型开环输入阻抗在 $10^{12}\Omega$ 数量级。第三类是利用动态校零技术和 CMOS 工艺制作的斩波稳零式高精度运算放大器,它具有输入偏置电流小、失调小、增益高、共模抑制能力强、响应快、漂移低、性能稳定及价格低廉等优点。采用斩波稳零技术,主要用于改善直流信号的处理精度,输入失调电压可以达到 $0.01\mu\text{V}$,温度漂移指标目前可以达到 0.02ppm 。在处理直流信号方面接近理想运算放大器的特性。它的典型开环输入阻抗在 $10^{12}\Omega$ 数量级,典型代表是 ICL7650。

根据功能来分类,模拟运算放大器一般可分为通用运算放大器、低功耗运算放大器、精密运算放大器、高输入阻抗运算放大器、高速运算放大器、宽带运算放大器 and 高压运算放大器,另外还有一些特殊运算放大器,如程控运算放大器、电流运算放大器和电压跟随器等。

1.2 集成运算放大器的基本组成与原理

了解集成运算放大器的基本组成与内部电路的基本原理,对于集成运算放大电路的设计非常有帮助。虽然各类集成运算放大器性能与规格互有差异,但是一般而言,标准的运算放大器都包含下列三部分。

(1) 差分输入级,以差分放大器作为输入级,提供高输入阻抗及低噪声放大的功能。

(2) 电压放大级,是运算放大器电压增益的主要来源,将输入信号放大转为单

端输出后送往下一级。

(3) 输出级, 实现低输出阻抗、高驱动能力、限流及短路保护等功能。

集成运算放大器的内部电路组成框图如图 1.2 所示。

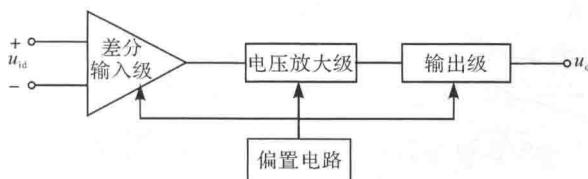


图 1.2 集成运算放大器的内部电路组成框图

一个简单运算放大器的原理电路如图 1.3 所示。VT1、VT2 组成差动放大电路, 信号由双端输入, 单端输出。为了提高整个电路的电压增益, 电压放大级由 VT3、VT4 组成复合管共射极电路。由 VT5、VT6 组成两级电压跟随器而构成电路的输出级, 它不仅可以提高带负载的能力, 而且可进一步使直流电位下降, 以达到输入信号电压 $u_{id} = u_{i1} - u_{i2}$ 为零时, 输出电压 $u_o = 0$ 和二极管 VD 组成低电压稳压电路以供给 VT9 的基准电压, 它与 VT9 一起构成电流源电路以提高 VT5 的电压跟随能力。因此, 运算放大器有两个输入端, 即反相输入端 1 和同相输入端 2, 一个输出端 3。与此相对应, 图 1.4 中给出了运算放大器的电路图形符号, 其中反相输入端用“-”表示, 同相输入端用“+”表示。

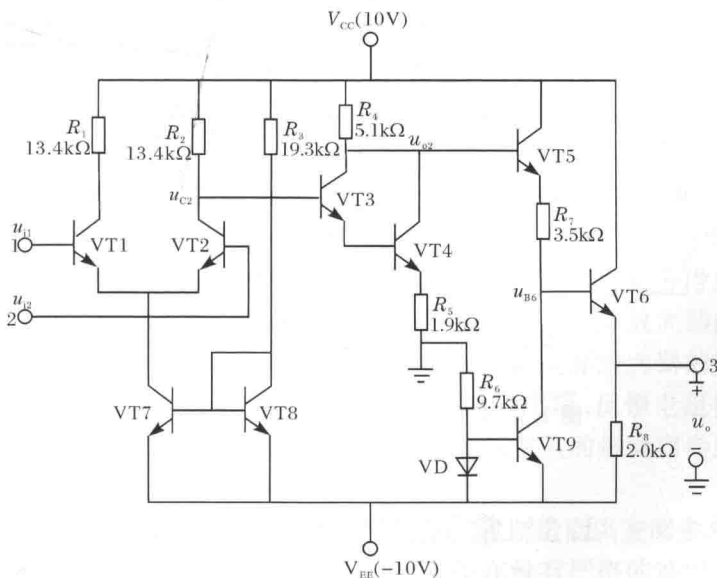


图 1.3 简单运算放大器的原理电路

供电电压大小和方式选择;运算放大器封装的选择;运算放大器反馈方式选择,即选择电压反馈运算放大器还是电流反馈运算放大器;运算放大器的带宽选择;压摆率大小的选择,这决定了全功率信号带宽;偏置电压和偏置电流的选择;偏置电压随温度漂移的大小;运算放大器输入阻抗的选择;运算放大器输出驱动能力大小的选择;运算放大器的静态功耗选择;运算放大器的噪声选择;运算放大器驱动负载稳定时间等。这些性能指标在产品资料中都会有详细的介绍和说明。产品资料中还有一些关于直流特性与交流特性及工作电压的数据,这些数据标明了器件可以运行的工作电压;此外,还有一般说明和应用部分。在这个部分,可以了解该放大器的合适用,以及所有特异或特别的功能。应用部分可能会提出警告,如果输出过驱动,器件可能会烧掉。在有些老器件上,应用部分可能警告器件会出现倒相情况,即当输入脚超过其共模范围时,放大器的输出会突然逆向,哪怕输入并没有越过零点。第2章给出各类性能指标参数的定义及详细说明。

在进行运算放大器电路设计时要综合考虑设计目标的信号电平、闭环增益、精度要求、所需带宽、电路阻抗、环境条件及其他因素,并把设计要求的性能转换成运算放大器的参数,建立各个参数的取值及其随温度、时间、电流、电压等变化的范围。不同的运算放大器制造商可能给出不同的特性指标,这些指标可能是通过不同的测量技术获得的,这就给运算放大器的选择带来了困难。为避免这些困难,必须深刻理解运算放大器产品手册中特性指标的意义,同时必须了解这些参数是如何测得的,然后把这些特性指标转换成对设计要求有意义的参数。要把设计目标的性能、所选择器件的性能指标与价格联系起来,以最低的价格获得符合设计目标的物理、电气和环境要求。

对于精密运算放大器的应用电路设计,电阻的选择还需要注意以下几个问题:大多数精密运算放大器的输出电流驱动能力在数十毫安,很难带动百欧姆级以下的反馈电阻;功耗也需要考虑,电阻太小, V^2/R 会导致更大的功耗;精密运算放大器的应用常常是低功耗需求,而且小功耗可以避免分离元件和运算放大器发热,从而可以减少温漂误差;在反相放大器和差分放大器中,要充分考虑运算放大器和输入信号源的输入阻抗,反馈电阻网络的作用,使得运算放大器的输入阻抗降低,这时选择多大的电阻要看输入源的阻抗;双极型运算放大器的输入偏置电流比 JFET 和 CMOS 型的要大,输入偏置电流与输入电阻、反馈电阻作用后会产生失调电压;在选择大的电阻时,还应注意其热噪声,电阻的热噪声会成为精密运算放大器应用电路的主要噪声来源。

这里给出常见的集成运算放大器的名称、简介及制造商供查阅参考,如表 1.1 所示^[3]。表中的术语简要介绍如下:通用一般是指在没有严格的性能指标要求下的电路中选用,这类器件一般价格便宜;高速是指转换速率达到 $20\text{V}/\mu\text{s}$ 及以上的运算放大器;高频带是指能够处理 100MHz 左右高频信号的运算放大器;单电源

是指能够用来处理单向极性信号的运算放大器;也有普通的双电源型能够作为单电源使用的器件,在那种场合下,不一定能够准确处理接近 0V 的信号;低功率是指适用于电池组驱动用便携式电路设备;功率运算放大器是指用于电机或扬声器等要求大电流的运算放大器。高精度、低失调是指失调电压特别低的运算放大器,适用于精密测量电路的初级;双极输入是基本的输入方式;JFET 输入是指输入级使用面结型晶体管,后级使用双极型晶体管的方式,最新的运算放大器大多采用这种方式;CMOS 是指所有的电路用互补型金属氧化物型场效应晶体管构成的运算放大器;所谓互补,是指半导体内部的电流回路中既有 N 沟型也有 P 沟型,还包含从负电源到正电源的输出电压范围的含义,其特点是功率消耗低。斩波型是指将直流信号变换为交流进行放大的运算放大器,其特点是输入失调电压电平很低,但是噪声比较大;电流反馈型与一般的差动输入式不同,其输入端的输入阻抗非常低,形成电流反馈的特殊形式,特点是转换速率很高。

表 1.1 常用集成运算放大器选型表

器件名称	简介	制造商	器件名称	简介	制造商
μA741	单路,通用运算放大器	TI	RC4136	四路,通用运算放大器	TI
μA747	双路,通用运算放大器	TI	RC4558	双路,通用运算放大器	TI
AD515A	低功耗 FET 输入运算放大器	ADI	RC4559	双路,高性能运算放大器	TI
AD605	低噪声,单电源,可变增益双运算放大器	ADI	RM4136	通用型四运算放大器	TI
AD644	高速,注入 BiFET 双运算放大器	ADI	RV4136	通用型四运算放大器	TI
AD648	精密的,低功耗 BiFET 双运算放大器	ADI	SE5534	低噪运算放大器	TI
AD704	输入微微安培电流双极性四运算放大器	ADI	SSM2135	单电源视频双运算放大器	ADI
AD705	输入微微安培电流双极性运算放大器	ADI	SSM2164	低成本,电压控制四运算放大器	ADI
AD706	输入微微安培电流双极性双运算放大器	ADI	TDA9203A	IIC 总线控制 RGB 前置运算放大器	ST
AD707	超低漂移运算放大器	ADI	TDA9206	IIC 总线控制宽带音频前置运算放大器	ST
AD708	超低偏移电压双运算放大器	ADI	TEB1033	精密双运算放大器	ST

续表

器件名称	简介	制造商	器件名称	简介	制造商
AD711	精密,低成本,高速 BiFET 运算放大器	ADI	TEC1033	精密双运算放大器	ST
AD712	精密,低成本,高速 BiFET 双运算放大器	ADI	TEF1033	精密双运算放大器	ST
AD713	精密,低成本,高速 BiFET 四运算放大器	ADI	THS4001	超高速低功耗运算放大器	TI
AD741	低成本,高精度 IC 运算放大器	ADI	TL022	双路,低功率通用型运算放大器	TI
AD743	超低噪声 BiFET 运算放大器	ADI	TL031	增强型 JFET 低功率精密运算放大器	TI
AD744	高精度,高速 BiFET 运算放大器	ADI	TL032	双路,增强型 JFET 输入,低功耗,高精度运算放大器	TI
AD745	超低噪声,高速 BiFET 运算放大器	ADI	TL034	四路,增强型 JFET 输入,低功耗,高精度运算放大器	TI
AD746	超低噪声,高速 BiFET 双运算放大器	ADI	TL051	增强型 JFET 输入,高精度运算放大器	TI
AD795	低功耗,低噪声,精密的 FET 运算放大器	ADI	TL052	双路,增强型 JFET 输入,高精度运算放大器	TI
AD797	超低失真,超低噪声运算放大器	ADI	TL054	四路,增强型 JFET 输入,高精度运算放大器	TI
AD8022	高速低噪,电压反馈双运算放大器	ADI	TL061	低功耗 JFET 输入运算放大器	TI
AD8047	通用电压反馈运算放大器	ADI	TL061A	低功耗 JFET 单运算放大器	ST
AD8048	通用电压反馈运算放大器	ADI	TL061B	低功耗 JFET 单运算放大器	ST
AD810	带禁用的低功耗视频运算放大器	ADI	TL062	双路,低功耗 JFET 输入运算放大器	TI
AD811	高性能视频运算放大器	ADI	TL062A/B	低功耗 JFET 双运算放大器	ST

续表

器件名称	简介	制造商	器件名称	简介	制造商
AD812	低功耗电流反馈双运算放大器	ADI	TL064	四路,低功耗 JFET 输入运算放大器	TI
AD813	单电源,低功耗视频三运算放大器	ADI	TL064A/B	低功耗 JFET 四运算放大器	ST
AD818	低成本,低功耗视频运算放大器	ADI	TL070	低噪声 JFET 输入运算放大器	TI
AD820	单电源, FET 输入, 满幅度低功耗运算放大器	ADI	TL071	低噪声 JFET 输入运算放大器	TI
AD822	单电源, FET 输入, 满幅度低功耗运算放大器	ADI	TL071A/B	低噪声 JFET 单运算放大器	ST
AD823	16MHz, 满幅度, FET 输入双运算放大器	ADI	TL072	低噪声 JFET 双运算放大器	ST
AD824	单电源, 满幅度低功耗, FET 输入运算放大器	ADI	TL072A	双路, 低噪声 JFET 输入运算放大器	TI
AD826	高速, 低功耗双运算放大器	ADI	TL072A/B	低噪声 JFET 双运算放大器	ST
AD827	高速, 低功耗双运算放大器	ADI	TL074	四路, 低噪声 JFET 输入运算放大器	TI
AD828	低功耗, 视频双运算放大器	ADI	TL074A/B	低噪声 JFET 四运算放大器	ST
AD829	高速, 低噪声视频运算放大器	ADI	TL081	JFET 输入运算放大器	TI
AD830	高速, 视频差分运算放大器	ADI	TL081A/B	通用 JFET 单运算放大器	ST
AD840	宽带, 快速运算放大器	ADI	TL082	双路, JFET 输入运算放大器	TI
AD841	宽带, 固定单位增益, 快速运算放大器	ADI	TL082A/B	通用 JFET 双运算放大器	ST
AD842	宽带, 高输出电流, 快速运算放大器	ADI	TL084	四路, JFET 输入运算放大器	TI

续表

器件名称	简介	制造商	器件名称	简介	制造商
AD843	34MHz, CBFET 快速运算放大器	ADI	TL084A/B	通用 JFET 四运算放大器	ST
AD844	60MHz, 2000V/ μ s 单片运算放大器	ADI	TL087	JFET 输入单运算放大器	TI
AD845	精密的 16MHz CBFET 运算放大器	ADI	TL088	JFET 输入单运算放大器	TI
AD846	精密的 450V/ μ s 电流反馈运算放大器	ADI	TL287	JFET 输入双运算放大器	TI
AD847	高速, 低功耗单片运算放大器	ADI	TL288	JFET 输入双运算放大器	TI
AD848	高速, 低功耗单片运算放大器	ADI	TL322	双路, 低功率运算放大器	TI
AD849	高速, 低功耗单片运算放大器	ADI	TL33071	单路, 高转换速率, 单电源运算放大器	TI
AD8519	满幅度运算放大器	ADI	TL33072	双路, 高转换速率, 单电源运算放大器	TI
AD8529	满幅度运算放大器	ADI	TL33074	四路, 高转换速率, 单电源运算放大器	TI
AD8551	低漂移, 单电源, 满幅度输入/输出运算放大器	ADI	TL34071	单路, 高转换速率, 单电源运算放大器	TI
AD8552	低漂移, 单电源, 满幅度输入/输出双运算放大器	ADI	TL34072	双路, 高转换速率, 单电源运算放大器	TI
AD8554	低漂移, 单电源, 满幅度输入/输出四运算放大器	ADI	TL34074	四路, 高转换速率, 单电源运算放大器	TI
AD8571	零漂移, 单电源, 满幅度输入/输出单运算放大器	ADI	TL343	低功耗单运算放大器	TI
AD8572	零漂移, 单电源, 满幅度输入/输出双运算放大器	ADI	TL3472	高转换速率, 单电源双运算放大器	TI

续表

器件名称	简介	制造商	器件名称	简介	制造商
AD8574	零漂移,单电源,满幅度输入/输出四运算放大器	ADI	TL35071	单路,高转换速率,单电源运算放大器	TI
AD8591	带关断的单电源满幅度输入/输出运算放大器	ADI	TL35072	双路,高转换速率,单电源运算放大器	TI
AD8592	带关断的单电源满幅度输入/输出运算放大器	ADI	TL35074	四路,高转换速率,单电源运算放大器	TI
AD8594	带关断的单电源满幅度输入/输出运算放大器	ADI	TLC070	宽带,高输出驱动能力,单电源单运算放大器	TI
AD8601	低偏移,单电源,满幅度输入/输出单运算放大器	ADI	TLC071	宽带,高输出驱动能力,单电源单运算放大器	TI
AD8602	低偏移,单电源,满幅度输入/输出双运算放大器	ADI	TLC072	宽带,高输出驱动能力,单电源双运算放大器	TI
AD8604	低偏移,单电源,满幅度输入/输出四运算放大器	ADI	TLC073	宽带,高输出驱动能力,单电源双运算放大器	TI
AD9610	宽带运算放大器	ADI	TLC074	宽带,高输出驱动能力,单电源四运算放大器	TI
AD9617	低失真,精密宽带运算放大器	ADI	TLC075	宽带,高输出驱动能力,单电源四运算放大器	TI
AD9618	低失真,精密宽带运算放大器	ADI	TLC080	宽带,高输出驱动能力,单电源单运算放大器	TI
AD9631	超低失真,宽带电压反馈运算放大器	ADI	TLC081	宽带,高输出驱动能力,单电源单运算放大器	TI
AD9632	超低失真,宽带电压反馈运算放大器	ADI	TLC082	宽带,高输出驱动能力,单电源双运算放大器	TI
C54DSKplus	低噪高速去补偿双路运算放大器	TI	TLC083	宽带,高输出驱动能力,单电源双运算放大器	TI