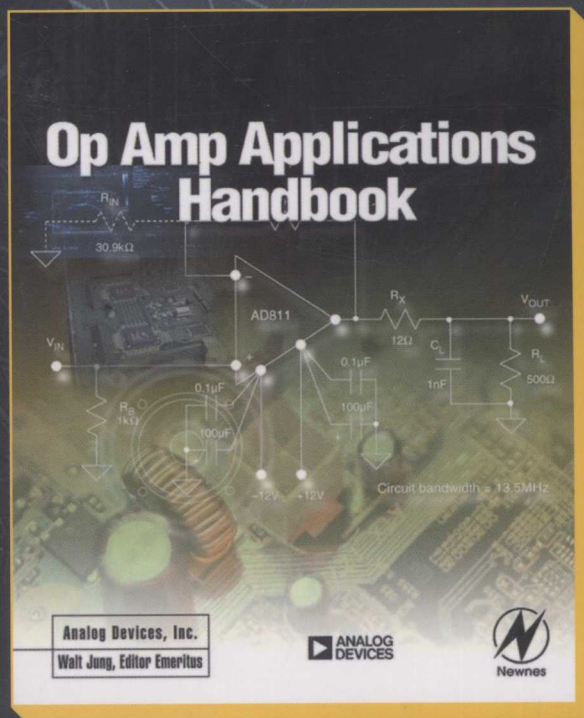


运算放大器里程碑著作
ADI公司经验与智慧结晶

运算放大器 应用技术手册

Op Amp Applications Handbook

[美] Walt Jung 等编著
张乐锋 张鼎 等译



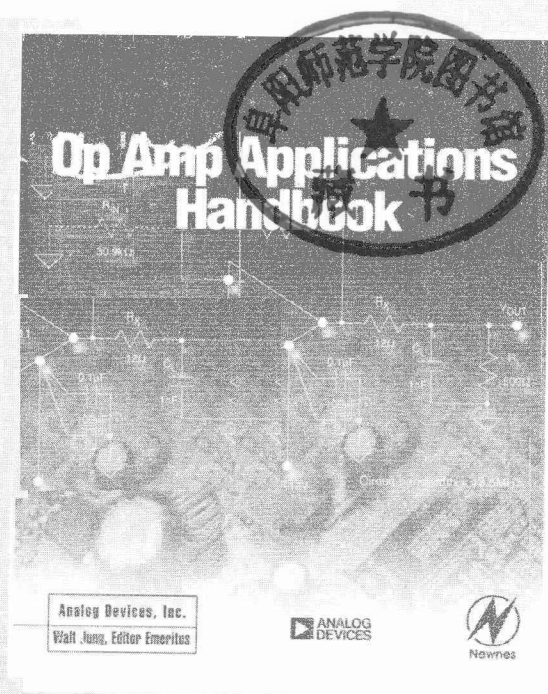
TURING

图灵电子与电气工程丛书

运算放大器 应用技术手册

Op Amp Applications Handbook

[美] Walt Jung 等编著
张乐锋 张鼎 等译



人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (CIP) 数据

运算放大器应用技术手册 / (美) 荣格 (Jung, W.) 等编著; 张乐锋等译. —北京: 人民邮电出版社, 2009.1

(图灵电子与电气工程丛书)

书名原文: Op Amp Applications Handbook

ISBN 978-7-115-19182-3

I. 运… II. ①荣… ②张… III. 运算放大器—应用—技术手册 IV. TN722.7-62

中国版本图书馆CIP数据核字 (2008) 第175888号

内 容 提 要

本书是运算放大器的完美阐述, 从运算放大器的基本概念和理论出发, 重点介绍它在各种电子系统中的应用, 还对比了无源器件选择、电路建模与实验板设计等各类硬件问题。书中每部分内容既有具体的电路实例, 又有完整的理论分析, 还包括许多珍贵的使用技巧, 内容详实, 图表丰富。

本书的读者群非常广泛, 既是一本适合高校师生的教学参考书, 也是电路系统设计工程师案头必备的实践参考手册。本书中的许多电路实例既可以直接用于课堂教学和练习, 也可以用作工程电路的设计参考。

图灵电子与电气工程丛书

运算放大器应用技术手册

-
- ◆ 编 著 [美]Walt Jung 等
译 张乐锋 张鼎 等
责任编辑 朱巍
 - ◆ 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@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京艺辉印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 44
字数: 1 177 千字 2009年1月第1版
印数: 1-3 000 册 2009年1月北京第1次印刷
- 著作权合同登记号 图字: 01-2007-3617号
ISBN 978-7-115-19182-3/TN
-

定价: 99.00元

读者服务热线: (010) 88593802 印装质量热线: (010) 67129223

反盗版热线: (010) 67171154

译 者 序

运算放大器在模拟电路设计中几乎无处不在，语音、视频、通信和传感器等领域少不了它，信号隔离、放大、滤波等调理电路中也要用到它。但是迄今为止，尚没有一本全面介绍运算放大器原理和各种高级应用主题的图书。在电路设计方面的课程教学以及长期的电路实践中，我们也强烈地感受到了这一点。本书的出现适时地填补了这一空白，它既是很好的电路教学参考书，也是很好的电路实践参考书。

本书的作者是以Walt Jung为代表的ADI公司的全体技术人员，其内容是ADI公司长期从事运算放大器设计与制造的智慧结晶。书中讲述的许多在运算放大器发明之初就提出的理论和方法至今仍在使用，永远不会过时；书中采用的许多运算放大器电路实例都是作者的原创性成果，既有完整的理论分析，又包含珍贵的使用技巧，这在其他相关图书中是难得一见的。Walt Jung恰当地总结了运算放大器的起源、演变和发展，这也是本书的特色之一。我们相信，任何从事电子工程和电路设计工作的人们，任何希望能快速、准确地设计电路系统的人们，都会从本书中受益匪浅，这也是我们乐于翻译本书的原因所在。

本书的内容可以分为四大部分，第一部分由第1章和第2章组成，以运算放大器原理为基础，深入浅出地分析了运算放大器的理想特性、实际工作特性、电压/电流反馈模型以及常用指标等基本理论，讨论了各类电路经常使用的仪表放大器、可编程增益放大器以及隔离放大器。该部分内容是任何从事电子工程和电路设计领域工作的人们不可或缺的基础知识，需要仔细阅读，认真领悟。第二部分由第3章至第6章组成，讲述运算放大器在ADC/DAC数据转换、传感器信号调理、模拟滤波器以及音频/视频/通信等各个专业领域的应用，该部分各章的内容几乎是相互独立的。每章在介绍基础理论时，都以大量的电路实例讲述运算放大器在专业领域的应用，既有电路分析，也有性能测试，还有使用技巧，可以直接指导电路实践。从事电子工程和电路设计领域工作的人们可以根据自己的研究方向和实践内容有选择地阅读与工作相关的运算放大器应用内容。第三部分包括第7章，讲述运算放大器硬件电路与基本设计技术。本部分的电路实践内容在各种运算放大器数据手册中很少说明，但是它们和运算放大器的指标一样重要，都会影响电路的实际性能。因此，电路设计人员必须认真阅读该部分内容，才能合理地设计PCB的电路布局和电源系统，正确地进行输入/输出保护和散热处理，才能有效地避免EMI/RFI问题。第四部分包括第8章，是关于运算放大器发展历史的内容，对于运算放大器应用来说不是必需的，可以有选择地跳过本章。不过，本部分提供的是有趣的背景知识，阅读本部分内容，可以更全面地了解运算放大器的起源、发展，也有利于更准确地评价当前流行的各种运算放大器。该部分内容可以作为电路设计人员茶余饭后的谈资，用于放松紧绷的大脑。本书的内容还有很多，在阅读过程中，你将会发现许多新鲜生动而又非常深刻的东西，会发现许多你本该知道而至今尚未知晓的东西，这也是我们在阅读和翻译该书过程中的切身体会。

本书主要由张乐锋和张鼎翻译。此外，参与翻译的人还有：闫志强、岳虹、张波涛、

邓彬等。张乐锋负责全书的校对和审定。Be Flying工作室 (http://blog.csdn.net/be_flying, 其所译图书介绍页面: <http://www.china-pub.com/main/sale/renwu/GetInfo.asp?theID=64>) 负责人肖国尊对本书的翻译和出版做了大量的协调和规范工作, 特别是在翻译进度和质量的把关方面, 在此予以衷心感谢。

由于译者水平有限, 加之时间仓促, 疏漏在所难免, 我们真诚地希望同行和读者不吝赐教, 不胜感激。

张乐锋于国防科技大学

2008年8月

序

ADI公司及其强有力竞争对手的信号处理产品一直都有广泛的应用，但是它们的角色很特别，对于应用它们的器件、仪表、设备和系统的性能，它们往往起着关键性作用。

考虑一下：(1) 运算放大器 (op amp)。它在放大身体深处的超声波信号时，是如何发挥突出作用的？它是如何测量和帮助降低反馈系统误差的？(2) 数据转换器 (data converter)。它在可触摸的物理世界和抽象的数字世界之间进行快速、精确转换时，占据关键的位置。(3) 数字信号处理器 (digital signal processor)。它用来操纵转换后的数字数据，提取信息、提供答案及在控制系统中进行重大而即时的决策。(4) 换能器 (transducer)。比如用于保护生命的MEMS加速度计 (accelerometer) 和环动仪 (gyroscope)。(5) 控制芯片 (control chip)。比如控制放置在脆弱的高性能微计算机芯片核心处的温度计量结点的芯片。

自1965年创建起，经过了两代人的努力，ADI公司一直在芯片设计和制造领域处于领先地位，其设计生产的芯片不仅能满足当前市场的需求，而且能预见当前用户和未来用户的短期需求，甚至还能够想象引导未来市场的未知用户（也可能还未诞生）的需求。这些正存在的、可预见的和想象的“需求”，必然不仅包括设计、制造，也不仅包括以优势的价格及时发布能可靠完成满足特定规范集功能的物理器件，还有更多。

我们一直将满足这些需求的产品称为“延伸产品” (augmented product)，这又是什么意思呢？

我们的产品本身是高新技术的产物，尤其是必须知道它的潜在价值、应用限制以及许多细节。但是当第一代这样的产品（某种程度上也可能是随后的几代）在市场上出现时，几乎没有哪个学校安排相应的课程以培养能够熟练使用它们的学生，也几乎没有知识渊博的设计师能够预见它的潜在价值。因此，我们承担着艰巨的创新意识任务：讲授高新产品的原理、性能测量以及当前的应用，并且向创新型用户提供思路以激发他们的想象力，这些用户将为我们提供下一轮产品需求和市场挑战。

有效利用人力和出版物可以应对这一艰巨任务。这里的人力就是应用工程师们，他们能够处理用户通过电话、传真、电子邮件提出的问题，甚至可以到现场与用户一起工作，解决特殊的问题。这些专家也可以为大大小小的用户组开设研究班课程，向他们传授知识，同时激发创新型用户，向系统、设计和元件工程师灌输实践的基本要点。而出版物分为纸质形式和在线方式，既包括本书这样的权威手册、综合数据手册、应用笔记、软硬件手册，又包括 *Solutions Bulletins*、*Analog Dialogue* 等定期出版物。我们公司独有的 *Analog Dialogue* 杂志是早期出版物中的唯一幸存者，到2004年为止，它已经连续印刷出版了38年，在因特网上定期发布了6年。

本书是运算放大器“产品延伸”的完美体现。从某种意义上讲，它是两本早期图书的继承者，第一本是1965年 *Op Amp Notes* (第1、2、3、4部分) 的合集，由ADI公司的创建人之一Ray Stata编著，可以说是本书的前身；另一本不太直接相关的图书是1974年的 *IC Op*

*Amp Cookbook*第一版，由Walt Jung编著。尽管Burr-Brown公司和Philbrick公司的Dan Sheingold更早出版的著作也很有用，但是以上这两本及时出版的图书在半导体时代早期具有重大影响，加深了人们对集成电路运算放大器的理解，使集成电路市场呈爆炸式增长。最后一点，对当前要掌握运算放大器技术的学生们来说，也可能更为重要，那就是ADI公司设计和应用工程师们的无数贡献，经过这么多年的积累和沉淀，在本书中得到了淋漓尽致的体现。

运算放大器从1953年开始进入市场，实用的集成电路运算放大器在20世纪60年代后期出现在市场上。不过，半个世纪以后，依旧需要一本全面讲述运算放大器技术的著作。它的技术内容要完整，既要预见未来的应用，又能回顾过去的原理和应用。也正是这些原理和应用使得今天的人们依然对运算放大器有实际需求。我们相信，本书就是这样的著作，Walt Jung用如此有趣而简单的方式剖析了复杂的运算放大器，值得我们称赞。

Ray Stata (ADI公司创始人暨董事会主席，美国工程院院士)

Daniel Sheingold (*Analog Dialogue*杂志主编)

前 言

本书是一部有关运算放大器的著作，以宽广的视角讲述了运算放大器的应用。本书并不是一本简单介绍各类器件应用指南的书，其涵盖内容更广泛。尽管现存的每个集成电路厂家从20世纪60年代起都积累了大量的运算放大器应用数据，但是，毫无疑问，ADI公司的优势在于其拥有翔实全面的应用资料和悠久的历史。ADI公司投身于早期集成电路的研发，历经了模块形式的固态运算放大器的发展，甚至还参与了更早期的真空管放大器和模拟计算机的研究工作（这是运算放大器的发展起点）。

本书全新阐述运算放大器应用，补充了其他资料中未提及的有关运算放大器起源、演变和发展历史的内容。本书主要讲述运算放大器基本理论、各类放大器的作用（包括运算放大器和其他专用放大器，比如仪表放大器）、运算放大器与其他系统元件（包括ADC、DAC）接口的优化过程、数据处理系统中的信号调理和滤波以及其他信号放大器。本书还对比了无源器件选择、印制电路板设计、电路建模与实验板设计等各类硬件问题。总之，本书深入阐述了运算放大器的各种应用以及大量相关的电路设计内容，是一本不可多得的模拟电路参考手册，值得广大电路设计人员阅读和参考。

本书共分8章，各章主要内容如下。

第1章，共分6节，由James Bryant、Walt Jung和Walt Kester撰写。该章阐述运算放大器的基本理论。第1节介绍运算放大器的理想特性和非理想特性以及基本反馈理论。接着讲述运算放大器的电压和电流反馈模型的拓扑结构，以及输入/输出等内部结构、双极性/场效应晶体管器件在运放中的应用、单/双电源设计、放大器通用指标等内容。最后两节则讲述精密运算放大器与高速运算放大器原理。

第2章，共分3节，由Walt Kester、Walt Jung和James Bryant撰写。该章阐述具有类似于运算放大器特性的各种专用放大器。第1节集中讲述差分输入、单端输出放大器（即仪表放大器）的设计与应用。第2节讲述程控增益放大器，程控增益放大器使用运算放大器或者仪表放大器设计，增益可以动态调整。最后一节介绍隔离放大器，它能使系统各级电路形成有效的电隔离。

第3章，共分5节，由Walt Kester、James Bryant和Paul Hendriks撰写。第1节介绍数据转换器与基于运算放大器接口的转换损失最小化的概念。第2节讲述ADC和DAC的指标，包括线性、单调性、漏码等较为重要的概念。第3节集中讲述ADC的单端和差分输入电路、运算放大器的稳定性与建立时间、电平漂移等内容。本节还讨论了专用差分驱动放大器芯片和基于运算放大器的ADC驱动器。第4节是转换器参考电平输入与参考源优化应用的专题内容。最后两节则讲述如何使用标准运算放大器电路和差分驱动芯片设计DAC的输出缓冲放大器。

第4章，共分5节，由Walt Kester、James Bryant、Walt Jung、Scott Wurcer和Chuck Kitchin撰写。第1节介绍传感器的类型及其处理要求，其余4节讲述各种传感器的信号调理。第2节讲述电桥电路与电桥驱动模型、输出模型、电路阻抗等相关的性能优化设计。第3节

以典型高性能换能器电路为例,讲述应变(strain)、力(force)、压力(pressure)以及流量(flow)等物理量的测量。第4节讲述多种测量场合经常使用的高阻抗传感器,包括光电二极管放大器、电荷放大器和pH值放大器等。第5节讲述各类温度传感器,包括热电偶(thermocouple)、电阻温度检测器(RTD)、热敏电阻(thermistor)以及半导体温度传感器。

第5章,共分8节,由Hank Zumbahlen撰写。该章是关于如何设计现代模拟滤波器的专题论述,分为概述、传递函数、时域响应、标准响应、频率变换、滤波器实现、实践问题与设计实例等内容。该章内容数学性强,提供了许多标准响应数据表以辅助滤波器设计。设计实例一节以有源滤波器实现为例描述了一个在线滤波器设计工具,其中涉及萨伦·基、多路反馈、状态变量、频率相关负电阻(Frequency Dependent Negative Resistance, FDNR)等多种类型的滤波器。

第6章,共分6节,由Walt Jung和Walt Kester撰写。该章阐述音频放大器、缓冲放大器(驱动电容负载)、视频放大器、通信放大器、放大器创新应用、复合放大器等内容。音频放大器、视频放大器、通信放大器三节设计了多种运算放大器电路实例,重点讲述如何提高放大器的性能。放大器创新应用一节讲述运算放大器的多种新颖用法。最后一节复合放大器,讲述如何在输入/输出端增加分立元件,以提高运算放大器电路的性能。

第7章,共分7节,由Walt Kester、James Bryant、Walt Jung、Joe Buxton和Wes Freeman撰写。该章讲述无源器件、PCB设计、电源系统、输入/输出保护、散热设计、EMI/RFI设计、电路仿真、实验电路板、原型板等与运算放大器应用相关的内容。尽管这些电路实践内容在运算放大器产品手册中都很少说明,但是它们和器件的指标一样重要,都严重影响电路的实际性能。

第8章,共分4节,由Walt Jung撰写。该章详细讲述了运算放大器的起源、演变和发展。贝尔电话实验室的Harold Black等人提出的反馈放大器概念是运算放大器诞生的基石。第二次世界大战期间,反馈放大器开始在模拟计算机中应用,之后,真空管运算放大器诞生,并且得到越来越多的应用。第一个固态运算放大器就像是模块中的“黑砖块”插头,随后产生了在陶瓷衬底上浇注半导体形成的混合集成电路。第一款单片集成电路运算放大器诞生于20世纪60年代,并且不断地进行电路结构、工艺方法、封装形式等方面的改进与发展。本章包括几百条文献。

本书最后是索引,分为主索引、ADI产品索引和标准器件索引。

致谢

本书这样的长篇作品是多人通力合作的结晶。本书在准备阶段就得到了许多人的帮助,在此对他们表示诚挚的谢意。首先要感谢ADI公司的领导,谢谢他们的鼓励与支持。

其次,衷心感谢ADI公司中心应用部的Walt Kester先生,他免费为本书提供了多年写作积累的有益想法和建议,并且审阅了全部书稿。特别感谢Walt和本书的其他作者。

还要感谢ADI公司现场应用部和中心应用部的工程师们,他们为本书提出了很多有益的批评与意见。Ed Grokulsky、Bruce Hohman、Bob Marwin和Arnold Williams也为本书提供了许多有益的建议。前ADI公司的应用工程师Wes Freeman审阅了大部分书稿,并且反馈了非常有价值的评阅意见。

特别感谢ADI公司的Dan Sheingold为本书提供的无数建议和意见。Dan Sheingold从真空管时代就开始在George A. Philbrick Researches(GAP/R)公司从事运算放大器方面的工作,在该领域工作多年,对此具有深入认识与独到见解。

感谢Carolyn Hobson,他为查阅运算放大器的历史文献付出了辛勤工作。

感谢Judith Douville,他为本书制作了索引,并整理了审稿意见。

Walt Jung和Walt Kester为本书准备了幻灯片,并且协作完成了本书的风格设计。Walt Jung完成了本书排版工作。

其他人的贡献

下面分节说明其他人为本书提供的帮助和建议。这里一并表示衷心感谢。

8.1节

真空管历史学家Gary Longrie为本节提供了非常有价值的参考文献。他提供的内容包括:早期真空管放大器、N. V. Philips公司B. D. H. Tellegen的反馈试验以及本节书稿的改进意见。

Mike Hummel提供了Alan Blumlein的负反馈放大器专利的参考文献。

Dan Sheingold为本节书稿提供了建设性意见。

Bob Milne为本节书稿提供了许多改进意见。

8.2节

真空管历史学家Gary Longrie为本节提供了大量极其实用的差分放大器参考文献。Gary同时审阅了该节书稿,提出了许多改进意见。如果没有他的热情投入,有关真空管的内容就不够完善。

Dan Sheingold提供了参考资料,审阅了该节书稿,提出了许多建设性意见。如果没有他的热情投入,本节内容就不够生动。

Bel Losmandy提供了许多有用的电子文稿,包括他1956年设计的真空管运算放大器的相关资料。Bel Losmandy同时审阅了该节书稿,并提出了许多宝贵意见。

Paul de R. Leclercq和Morgan Jones提供了Blumlein的差分对放大器应用专利的参考文献。

Bob Milne审阅了本节书稿,提出了大量改进意见。

Steve Bench为本节书稿的几点相关内容提出了有益的建议。

8.3节

GAP/R的两个同事Dan Sheingold和Bob Pease提供了非常有价值的参考资料。他们提供了早期与George Philbrick在一起时的工作细节, Bob Pease贡献出了从未发布的65页放大器电路图。

Dick Burwen提供了他早期在ADI公司设计电路的详细信息,并且就本节内容的组织提出了有益建议。

Steve Guinta和Charlie Scouten从中心应用部门的档案室查阅了许多早期运算放大器模块的电路图。

Lew Counts协助完成了有关高速模块化场效应管放大器发展背景的内容。

Walt Kester提供了混合集成电路模块HOS-050放大器的相关内容以及HOS-050在Computer Labs公司的开发细节。

8.4节

该内容也收到了许多有用的建议，在此要感谢Derek Bowers、JoAnn Close、Lew Counts、George Erdi、Bruce Hohman、Dave Kress、Bob Marwin、Bob Milne、Reza Moghimi、Steve Parks、Dan Sheingold、Scott Wurcer和Jerry Zis。

1.1节

该节改编自Ray Stata于1965年9月在*Electromechanical Design*发表的Operational Amplifiers-Part I一文。

Bob Marwin、Dan Sheingold、Ray Stata、Scott Wayne贡献了有益的建议。

1.3节

ADI公司运算放大器设计师Derek Bowers、Jim Butler、JoAnn Close、Scott Wurcer等对许多运算放大器的电路图提出了有益的建议。

6.1节

该节的部分内容改编自ADI公司1993年出版、Walt Kester主编的*System Application Guide*一书中由Walt Jung编写的第8章“Audio Preamplifier, Line Drivers, and Line Receivers”，ISBN 0-916550-13-3，第8章的第1~100页。

准备该节书稿过程中，作者收到了Lundahl变压器公司的Per Lundahl和来自挪威的Arne Offenbergh提出的有益建议。

6.5节

Victor Koren和Moshe Gerstenhaber提供了有益的建议。

6.6节

Erno Borbely、Steve Bench和Gary Longrie提供了有益的建议。

7.1节与7.2节

这两节的部分内容改编自Doug Grant和Scott Wurcer于1983年首次在*Analog Dialogue*第17-2期发表的Avoiding Passive Component Pitfalls一文。

7.6节

Eric Bogatin提供了有益的建议。

上述关于致谢内容摘自ADI公司2002年放大器研讨班教材*Op Amp Applications*。

为了避免出现严重错误，编者付出大量辛勤劳动；但是疏漏在所难免，欢迎读者批评指正，我们将在下一版中改进。

Walt Jung

运算放大器发展史中的重要事件

1928年

Harold S. Black申请反馈放大器发明专利。

1930年

Harry Nyquist申请再生放大器专利（该专利权于1933年生效）。

1937年

编号为2102671的美国专利权授给H. S. Black的“波形转换系统（Wave Translation System）”。

B. D. H. Tellegen发表反馈放大器论文，并将其归功于H. S. Black和K. Posthumus。

Hendrik Bode申请放大器专利，于1938年生效。

1941年

Stewart Miller发表关于高稳定增益直流响应技术的文章，提出“阴极补偿（cathode compensation）”方法。

被称为T10的原型枪炮目标指示系统使用反馈放大器进行测试，T10后来演变为M9武器系统，为第二次世界大战的胜利做出很大贡献。

贝尔实验室的Karl D. Swartzel Jr.提出“求和放大器（summing amplifier）”的专利申请，这项设计可能是运算放大器的起源。该专利权直到1946年才生效。

1946年

George Philbrick创建George A. Philbrick Research (GAP/R) 公司，这对运算放大器发展帮助很大。

1947年

Merit奖章授给了贝尔实验室的M9设计人员Lovell、Parkinson和Kuhn。其他贡献者还包括伯德和香农。

运算放大器这一说法在Ragazzini的重要论文Analysis of Problems in Dynamic by Electronic Circuits中被首次引用。该论文还引用了贝尔实验室关于M9枪炮目标指示器的工作原理，尤其引用了M9的运算放大器电路。

贝尔实验室的Bardeen、Brattain和Shockley发现了晶体管效应。

1948年

George A. Philbrick发表文章，其中描述了能够实现某些运算放大器功能的单真空管电路。

1949年

Edwin A. Goldberg发明斩波稳零型真空管运算放大器。

1952年

Granino Korn和Theresa Korn出版了教科书*Electronic Analog Computers*，该书成为关于

真空管运算放大器电路模拟计算的运用和方法学的经典教材。

1953年

GAP/R公司推出了首款商用真空管运算放大器。

1954年

Texas Instrument公司的Gordon Teal研制出硅晶体管。

1956年

GAP/R公司出版K2-W以及相关放大器的使用指南，成为重要参考文献。

诺贝尔物理奖授予贝尔实验室的Bardeen、Brattain和Shockley，以表彰他们在晶体管方面做出的杰出贡献。

Burr-Brown Research公司成立，它成为早期模块形式固态运算放大器的供应商。

1958年

Texas Instruments公司的Jack Kilby发明了集成电路。

1959年

Jean A. Hoerni提出平面工艺的专利申请，这是一种使半导体稳定并对其进行保护的制造工艺。

1962年

George Philbrick推出PP65，这是一款方形外观7脚模块形式运算放大器，其后它成为一个标准，使得运算放大器可以被当作独立元件使用。

1963年

Fairchild公司的Bob Widlar设计出 μ A702，它是第一款公认的单片集成电路运算放大器。

1965年

Fairchild公司推出了里程碑集成电路运算放大器 μ A709，它也由Bob Widlar设计。

Matt Lorber和Ray Stata创建ADI公司。运算放大器是该公司的第一款产品。

1967年

NSC (National Semiconductor公司) 推出LM101集成电路运算放大器，该款放大器也由Bob Widlar设计，他从Fairchild公司跳槽至NSC公司。该器件开启了第二代集成电路运算放大器。

ADI公司发行了第一期*Analog Dialogue*杂志。

1968年

Fairchild公司推出运算放大器 μ A741，它由Dave Fullagar设计，是一款标准运算放大器。

1969年

Dan Sheingold作为编辑掌管*Analog Dialogue*杂志（直到今天）。

1970年

ADI公司推出45型高速FET运算放大器。

1972年

NSC公司的Russell和Frederiksen提出了一项放大器技术，该技术催生了通用的低成本工业标准四运算放大器LM324。

1973年

ADI公司推出了高精度741类运算放大器AD741。

1974年

NSC公司的Rod Russell和David Culner在发表的论文中描述了一项用来制造FET器件的新型加工技术——离子移植技术。

1988年

ADI公司推出了高速36V互补双极性工艺和大量快速集成电路运算放大器。从20世纪80年代和90年代到21世纪的今天，该公司一直在持续不断地推出高性能运算放大器以及为多种不同应用领域设计的运算放大器。

第8章详细叙述了运算放大器历史。

目 录

第1章 运算放大器基础	1	1.6.4 具有“点播电流”及低功耗和高压摆率特性的新型电压反馈型运放结构	75
1.1 概述	2	1.6.5 电流反馈型运放	76
1.1.1 理想运放的特性	2	1.6.6 运放反馈电容作用	80
1.1.2 标准运放反馈电路	4	1.6.7 高速电流-电压转换器以及反相输入电容的影响	82
1.1.3 非理想运放——有限开环增益带来的静态误差	7	1.6.8 电压反馈型运放与电流反馈型运放的噪声比较	84
1.1.4 运放的共模动态范围	10	1.6.9 高速运放的直流特性	85
1.1.5 双端供电和单端供电的差别	12	参考文献	85
1.1.6 器件选型的准则	13	第2章 特殊放大器	87
参考文献	14	2.1 仪表放大器	88
1.2 运放的拓扑	15	2.1.1 运算放大器与仪表放大器的区别	88
1.2.1 电流反馈型运算放大器基础	15	2.1.2 仪表放大器的定义	88
1.2.2 基于真空管的电流反馈	17	2.1.3 差分放大器(减法器)	89
参考文献	19	2.1.4 仪表放大器的配置	91
1.3 运放的结构	20	2.1.5 仪表放大器的直流误差源	98
1.3.1 单电源运放	20	2.1.6 仪表放大器的噪声源	101
1.3.2 运放的输入级	21	2.1.7 仪表放大器桥式放大电路的误差预测分析	102
1.3.3 输出级	29	2.1.8 仪表放大器性能一览表	103
1.3.4 运放的工艺技术	33	2.1.9 仪表放大器的过压保护	103
参考文献	34	2.1.10 仪表放大器应用	104
1.4 运放的规格	35	参考文献	107
1.4.1 输入失调电压	35	2.2 程控增益放大器	108
1.4.2 输入偏置电流	39	2.2.1 PGA的设计问题	110
1.4.3 输入阻抗	41	2.2.2 PGA的应用	110
1.4.4 调节运放的噪声增益和信号增益	42	参考文献	116
1.4.5 开环电压增益及其非线性度	42	2.3 隔离放大器	116
1.4.6 运放的频率响应	45	2.3.1 模拟隔离技术	116
1.4.7 运放的噪声	51	2.3.2 数字隔离技术	119
1.4.8 运放的失真	59	参考文献	122
1.4.9 共模抑制比和电源抑制比	59	第3章 运算放大器在数据转换系统中的应用	123
参考文献	63	3.1 概述	124
1.5 精密运放	63	3.2 ADC/DAC的指标	126
1.5.1 精密运放的直流误差预算分析	64	3.2.1 ADC和DAC的静态传递函数及直流误差	126
1.5.2 斩波稳零型运放	65	3.2.2 数据转换器中的量化噪声	129
1.5.3 斩波稳零型运放的噪声	68	3.2.3 ADC的输入参考噪声	129
参考文献	68		
1.6 高速运放	69		
1.6.1 概述	69		
1.6.2 电压反馈型运放	70		
1.6.3 基于互补双极型工艺设计电压反馈型运放	73		

3.2.4 计算运放的输出噪声并与ADC的 输入参考噪声做比较	130	4.2.3 驱动远程电桥	169
3.2.5 量化和测量转换器的动态性能	132	4.2.4 系统失调最小化	172
3.2.6 信纳比与信噪比及有效位数	132	参考文献	174
3.2.7 模拟带宽	133	4.3 应变、力、压力和流量的测量	174
3.2.8 谐波失真、最大谐波、总谐波失真 及总谐波失真加噪声	134	4.3.1 应变计	174
3.2.9 无杂散动态范围	134	4.3.2 电桥的信号调理电路	178
3.2.10 双频交调失真	135	参考文献	181
参考文献	136	4.4 高阻抗传感器	181
3.3 驱动ADC输入端	136	4.4.1 光电二极管前置放大器设计	182
3.3.1 概述	136	4.4.2 前置放大器的失调电压及漂移的 分析	188
3.3.2 与ADC应用相关的运放主要 指标	137	4.4.3 热电电压对输入失调电压的 影响	189
3.3.3 驱动高分辨率 Σ - Δ 型测量ADC	139	4.4.4 前置放大器的交流设计、带宽和 稳定性	189
3.3.4 用于多通道数据采集系统的运放 设计要点	140	4.4.5 光电二极管前置放大器的噪声 分析	191
3.3.5 驱动带有可调输入增益的单 电源型数据采集ADC	140	4.4.6 输入电压噪声	192
3.3.6 驱动带有缓冲输入的ADC	141	4.4.7 光电二极管电路的折中	194
3.3.7 驱动带有缓冲的差分输入型 ADC	142	4.4.8 高速光电二极管I/V转换器的 校正设计	194
3.3.8 驱动开关电容输入型CMOS ADC	143	4.4.9 宽带光电二极管I/V转换器中 运放的选型	195
3.3.9 单端ADC的驱动电路	144	4.4.10 高速光电二极管前置放大器 设计	195
3.3.10 直流耦合应用中的运放增益设定 和电平平移	145	4.4.11 高速光电二极管前置放大器的 噪声分析	196
3.3.11 驱动差分输入型ADC	146	4.4.12 高阻抗电荷输出传感器	197
3.3.12 利用差分放大器驱动ADC	148	4.4.13 低噪声电荷放大电路	198
3.3.13 过压保护设计	150	4.4.14 为减小偏置电流而降压工作的 40dB增益压电传感器放大电路	199
参考文献	151	4.4.15 水听器	199
3.4 驱动ADC/DAC的参考输入	151	4.4.16 JFET型运放和双极型运放的 性能对比	200
3.5 缓冲DAC的输出	154	4.4.17 pH值探测器的缓冲放大器	200
3.5.1 通用准则	154	参考文献	201
3.5.2 差分至单端的转换技巧	154	4.5 温度传感器	201
3.5.3 单端电流-电压转换器	156	4.5.1 热电偶原理和冷结点补偿	202
3.5.4 差分电流-差分电压的转换	157	4.5.2 单片热电偶信号调理器	207
3.5.5 用于音频DAC的有源低通 滤波器	158	4.5.3 电阻温度检测器	208
参考文献	158	4.5.4 热敏电阻	210
4.5.5 半导体温度传感器	212	参考文献	217
第4章 传感器信号调理	159	4.5.6 参考文献	217
4.1 概述	160	第5章 模拟滤波器	219
4.2 电桥电路	162	5.1 概述	220
4.2.1 电桥电路概述	162		
4.2.2 放大和线性化电桥的输出	166		

5.2 传递函数	221	局限性	294
5.2.1 s平面	221	5.8 设计实例	298
5.2.2 F_0 和 Q	223	5.8.1 抗混叠滤波器	298
5.2.3 相位响应	227	5.8.2 变换过程	303
5.2.4 非线性相位效应	229	5.8.3 CD重构滤波器	306
5.3 时域响应	230	5.8.4 数字编程状态变量滤波器	308
5.3.1 冲激响应	230	5.8.5 60Hz陷波器	311
5.3.2 阶跃响应	231	参考文献	312
5.4 标准响应	231	第6章 信号放大器	315
5.4.1 巴特沃思滤波器	231	6.1 音频放大器	316
5.4.2 切比雪夫滤波器	232	6.1.1 音频前置放大器	316
5.4.3 贝塞尔滤波器	233	6.1.2 麦克风前置放大器	316
5.4.4 等纹波误差线性相位滤波器	233	6.1.3 RIAA声音前置放大器	323
5.4.5 过渡滤波器	233	6.1.4 音频线缆电路	336
5.4.6 全极点滤波器响应比较	234	6.2 缓冲放大器及驱动电容负载	375
5.4.7 椭圆滤波器	234	6.2.1 缓冲放大器	375
5.4.8 切比雪夫阻带最大平坦 延迟滤波器	235	6.2.2 驱动电容负载	378
5.4.9 逆切比雪夫滤波器	235	参考文献	384
5.4.10 使用原型滤波器响应曲线	236	6.3 视频放大器	384
5.5 频率变换	253	6.3.1 视频信号及其规范	384
5.5.1 低通—高通	253	6.3.2 差分增益与差分相位规格	386
5.5.2 低通—带通	254	6.3.3 图形显示系统的视频格式	387
5.5.3 低通—带阻(陷波滤波器)	256	6.3.4 视频应用中的带宽	387
5.5.4 低通—全通	258	6.3.5 视频信号传输	390
5.6 滤波器实现	258	6.3.6 传输线缆驱动器测试	391
5.6.1 单极点RC滤波电路	259	6.3.7 视频线缆驱动器	394
5.6.2 无源LC滤波电路	259	6.3.8 差分线缆驱动器/接收器	395
5.6.3 积分器滤波电路	261	6.3.9 高速钳位放大器	403
5.6.4 通用阻抗变换器滤波电路	261	6.3.10 高速视频复用	406
5.6.5 有源电感滤波电路	261	6.3.11 集成视频复用器与交叉开关	409
5.6.6 频率相关负电阻滤波电路	262	6.3.12 单电源视频应用	411
5.6.7 萨伦·基滤波电路	263	参考文献	416
5.6.8 多反馈滤波电路	265	6.4 通信放大器	417
5.6.9 状态变量滤波电路	266	6.4.1 通信专用指标	417
5.6.10 四次幂滤波电路	267	6.4.2 失真指标	417
5.6.11 双放大器带通滤波电路	268	6.4.3 噪声指标	421
5.6.12 双-T陷波电路	268	6.4.4 自动增益控制中的可变增益 放大器	427
5.6.13 Bainter陷波电路	269	6.4.5 压控放大器	428
5.6.14 Boctor陷波电路	269	6.4.6 用于CATV上行数据线缆驱动器的 数控可变增益放大器	430
5.6.15 “1-BP”陷波电路	270	6.4.7 xDSL上行数据线缆驱动器	432
5.6.16 一阶全通滤波器	271	参考文献	434
5.6.17 二阶全通滤波器	271	6.5 放大器创新应用	434
5.7 滤波器设计实践	291	6.5.1 高效线缆驱动器	434
5.7.1 无源元件(电阻、电容、电感)	291		
5.7.2 滤波器有源元件(运放)			