

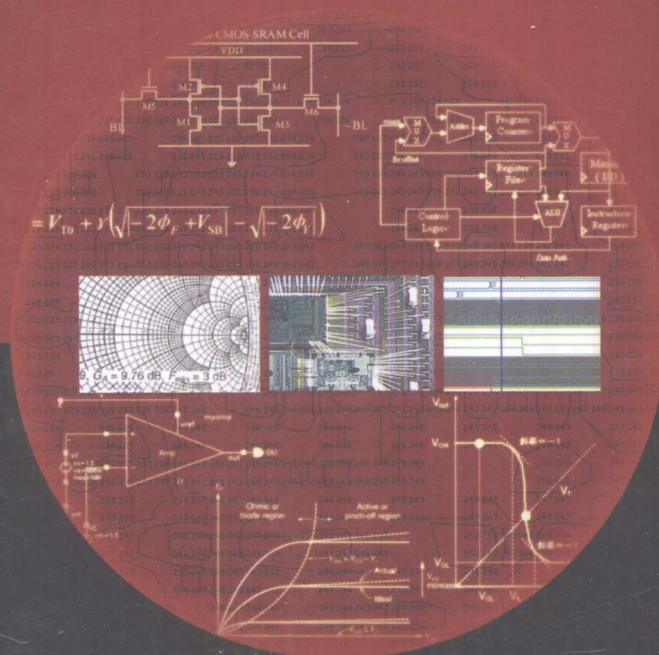
国家集成电路工程领域工程硕士系列教材

国务院学位委员会集成电路工程硕士教育协作组  
全国集成电路人才培养基地专家指导委员会

组编

# 模拟集成电路设计与仿真

何乐年 王忆 编著



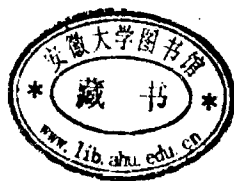
科学出版社  
www.sciencep.com

国家集成电路工程领域工程硕士系列教材

国务院学位委员会集成电路工程硕士教育协作组 组编  
全国集成电路人才培养基地专家指导委员会

# 模拟集成电路设计与仿真

何乐年 王 忆 编著



科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书以单级放大器、运算放大器及模数转换器为重点,介绍模拟集成电路的基本概念、工作原理和分析方法,特别是全面系统地介绍了模拟集成电路的仿真技术,是模拟集成电路分析、设计和仿真的入门读物。

全书共分10章和7个附录。第1章介绍模拟集成电路的发展与设计方法;第2、3章介绍单级放大器、电流镜和差分放大器等基本模拟电路的原理;第4章是电路噪声分析计算与仿真;第5章介绍运算放大器的工作原理及其分析和仿真方法;第6、7章以双端输入、单端输出运算放大器以及全差分运算放大器为例,介绍运算放大器的设计仿真方法;第8、9章以带隙电压基准和电流基准电路为例,介绍参考电压源和电流源的设计方法,其中对温度补偿技术作了详细分析;第10章为模数转换电路(ADC),重点介绍了ADC的概念与工作原理以及采用Verilog-A语言进行系统设计的方法。本书的附录全面介绍了模拟集成电路设计的软件环境以及仿真技术。

本书可作为高等院校集成电路设计相关专业工程硕士的教材,也可以作为相关专业本科生和研究生的教材,并可供模拟集成电路工程师参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

模拟集成电路设计与仿真/何乐年,王忆编著. —北京:科学出版社,2008  
(国家集成电路工程领域工程硕士系列教材)

ISBN 978-7-03-021427-0

I. 模… II. ①何… ②王… III. ①模拟集成电路-电路设计-研究生-教材②模拟集成电路-计算机仿真-研究生-教材 IV. TN431.102

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第037107号

责任编辑:马长芳 潘继敏/责任校对:陈玉凤  
责任印制:张克忠/封面设计:耕者设计工作室

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>

陈海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2008年8月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2008年8月第一次印刷 印张:32 1/4

印数:1—4 000 字数:741 000

定价:58.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈长虹〉)

国家集成电路工程领域工程硕士系列教材

国务院学位委员会集成电路工程硕士教育协作组 组编  
全国集成电路人才培养基地专家指导委员会

主 编：严晓浪（浙江大学）

副 主 编：余志平（清华大学，特邀）

审稿人员：（以拼音为序）

陈春章            洪志良

吉利久            罗伟绍

石秉学            时龙兴

唐璞山            吴懿平

肖 刚            于敦山

马长芳（责任编辑 科学出版社）

## 丛 书 序

随着电子计算机的普及,人类社会已经进入了信息化社会。以集成电路为代表的微电子技术是信息科学技术的核心技术。集成电路产业是关系经济建设、社会发展和国家安全的战略性产业。集成电路技术伴随着半导体技术、计算机技术、多媒体技术、移动通信等技术的不断创新,得到了迅猛发展。从1958年美国的基尔比发明世界上第一块集成电路以来,集成电路已经从初期的小规模集成电路(SSI)发展到今天的系统芯片(SOC),集成电路一直按摩尔规律(Moore's Law)向前演进。集成电路产业包含了相对独立的集成电路设计、集成电路加工制造、集成电路封装测试、集成电路材料、集成电路设备业等,而其中的集成电路设计是集成电路产业发展的龙头。

近年来,我国的集成电路产业迅速发展。2000年以来我国的集成电路产值年平均增长率达到30%左右。坚持自主发展,增强技术创新能力和产业核心竞争力,掌握集成电路的核心技术,提高具有自主知识产权产品的比重是我们的历史性任务。

发展集成电路技术的关键是培养具有创新和创业能力的专业人才,因此高质量、较快速度地培养集成电路人才是我们的迫切任务。毫无疑问,大学和大学老师义不容辞地要担负起这一历史责任。2003年以来,教育部先后在全国部分重点高校建设了“国家集成电路人才培养基地”,国务院学位委员会又在2006年批准设立集成电路工程领域培养工程硕士学位课程,意在不仅培养高水平的工学学士、硕士和博士,而且还要培养大量的集成电路工程领域的工程硕士,以满足我国集成电路产业迅速发展的需要。

集成电路技术发展迅速,内容更新快,而我国现有的集成电路工程领域的教科书数量少,而且内容和体系上不能很好地反映学科的发展和工程技术教学的需要,也难以满足集成电路工程领域工程硕士的培养。为此,教育部全国集成电路工程领域工程硕士专业指导委员会和科学出版社,经过广泛而深入的调研,组织编写出版了这套国家集成电路工程领域工程硕士教材。

本系列教材具有以下特色:

1. 内容完整,体系性强。本系列教材包括了集成电路器件、工艺、数字集

成电路设计、模拟集成电路设计、射频集成电路设计以及封装与测试,可以满足集成电路工程领域各个方向的教学。

2. 基础全面,工程性强。教材中不仅对集成电路的基础理论有较详细的论述,而且强调了集成电路的工程性,安排了较大篇幅的内容对具体的集成电路设计技术进行全面的讲解,以使学生在掌握集成电路基础理论的同时,能上机进行具体的设计,加深对理论的理解。

3. 适应教学,自学性强。在教材编写过程中考虑了现有工程硕士的教学时间,以及教学内容的完整性,对各种教学计划,可以灵活地将教材内容进行裁剪。另外,教材中相对突出了以实验为主的实践环节,以便学生自学。

本系列教材的编写人员,不仅有从事教学第一线的高校教师,而且有从事集成电路设计多年,有丰富实践经验的国际著名集成电路设计公司的资深工程技术人员。在此表示衷心的感谢。

国务院学位委员会集成电路工程硕士教育协作组

全国集成电路人才培养基地专家指导委员会

2008年5月

## 前 言

随着计算机的普及,人类开始进入了信息化社会。信息技术是由以集成电路为代表的微电子技术所支撑的。一般电子系统的关键部分是数字电路,而信号接收、放大和执行等功能的实现则由高精度的模拟电路完成。尽管在系统芯片(system-on-chip, SoC)上主要的是数字集成电路,但是一定有一部分与现实世界接口的模拟电路,而 SoC 的性能往往受到模拟电路性能的制约和影响。

数字集成电路的规模越来越大,几千万门的数字集成电路已成为产品。数字集成电路与整机系统的关系十分密切,其设计方法更多地依赖计算机仿真验证和综合工具。模拟集成电路的设计则更多地需要依靠设计师的经验和技能。例如,设计高频模拟集成电路,不仅需要熟悉电路的功能和特性,而且还需要了解电路图上没有表示出来的各个器件的特性,甚至要了解其制造的工艺流程。另外,由于模拟集成电路的指标众多,而且各个指标之间是互相关联和制约的,这就为学习模拟集成电路的设计带来了困难。要成为一个优秀的模拟集成电路设计师,不仅需要系统地学习电路设计理论,而且更需要实践来验证实际电路的性能。

随着集成电路工艺加工技术的不断发展,人们已经将双极晶体管、MOS 管、二极管、电阻和电容等半导体器件,以及一些基本电路的特性做成了数据库并实现了模型化,特别是大家熟悉的 SPICE 的出现与完善,使设计者在计算机上进行电路设计成为可能。另外,模拟集成电路设计的计算机辅助设计(CAD)系统本身也在不断发展,功能不断强大,因此不仅电路设计仿真可以借助于计算机和 CAD 系统,而且模拟集成电路的系统级设计、芯片版图设计和版图验证等实际上都离不开 CAD 系统。因此可以说,要想进行模拟集成电路设计,必须先学会使用相关的 CAD。

作者在模拟集成电路的教学和科研中发现,如果能够快速地对模拟集成电路的设计 CAD 有较好的理解和掌握,那么对电路性能的理解可以做到事半功倍的效果。模拟集成电路设计的初学者往往觉得入门难,主要原因是在学习的过程中既要系统地学习设计理论,又需要掌握众多的设计软件的使用。本书的一个主要目标是帮助初学者消除模拟集成电路设计的神秘感。通过重点论述模拟集成电路所涉及的基本理论和原理,并采用许多实际的设计例子,在仿真工具的帮助下,从建立基本电路开始,通过仿真验证和优化参数,一步一步实现设计指标。

本书主要是用作高等院校集成电路设计专业方向的工程硕士教材,也可以作为相关专业本科生和研究生的教学参考书。为理解本书的内容,读者需要已经至少学过一门模拟电路的入门课程,以及半导体器件与工艺的课程。需要强调的是,模拟集成电路的设计仿真工具种类较多,仅仅为了方便作者的阅读和实验,本书采用了比较通用的 Cadence 公司的 Spectre 仿真工具进行设计说明。另外,书中的电路图在底色和电路图本身的颜色上做了调整,电路本身的拓扑结构与在软件中实际运行的电路是完全一致的。

在较短的时间内,若没有浙江大学的同事和研究生的帮助,本书是不可能完成的。作者衷心感谢浙江大学电气工程学院院长严晓浪教授的帮助和指导。从编著的基本方针,到每一章节的目录,以严晓浪教授为首的指导委员会都给予了充分的讨论,并给出了详细的意见。在读研究生王义凯、张鲁、巩文超、苑婷等同学不仅参加了部分编写工作,而且还帮助校对。另外,陆燕锋、胡博宇、宁志华、邱建平、邵亚利等同学分别阅读了有关章节,并帮助勘正错误,完成排版。杭州晶华微电子有限公司罗伟绍博士审校了本书稿,提出了许多宝贵意见,在此向他们表示衷心的感谢。

何乐年

2008年1月于浙江大学



# 目 录

## 丛书序

## 前言

第 1 章 模拟集成电路概论	1
1.1 半导体技术与模拟集成电路	1
1.2 模拟集成电路的分类及制造工艺	2
1.2.1 模拟集成电路的分类	2
1.2.2 模拟集成电路的制造工艺	4
1.3 模拟集成电路设计流程	5
1.3.1 系统定义与设计	5
1.3.2 电路定义与设计	5
1.3.3 版图设计与验证	7
1.3.4 掩模板制备、流片、封装与测试	7
参考文献	7
第 2 章 单级放大器	8
2.1 放大器概念	8
2.1.1 一般概念	8
2.1.2 放大器双端口模型分析	9
2.1.3 电流和电压源内阻与负载效应	10
2.2 共源放大器	11
2.2.1 电阻负载的共源放大器	11
2.2.2 恒流源作负载的 CMOS 共源放大器	14
2.2.3 栅、漏短接的 MOS 管为负载的共源放大器	17
2.2.4 带源极电阻负反馈的共源放大器电路	17
2.3 共栅放大器	20
2.4 共漏放大器	23
2.5 共源-共栅放大器	25
2.5.1 大信号特性	25
2.5.2 小信号特性	27
习题	28
参考文献	32
第 3 章 电流镜与差分放大器	33
3.1 MOS 电流源	33
3.2 基本电流镜	34

3.3	电流源与电流阱电路	36
3.4	差分放大器	38
3.4.1	差分放大器的基本概念	38
3.4.2	共模与差模信号	39
3.4.3	差分放大器的小信号模型分析	41
3.4.4	共模抑制比	43
3.4.5	差分放大器的双端口模型	44
3.4.6	单端输出差分放大器	49
	习题	55
	参考文献	59
<b>第4章</b>	<b>噪声分析</b>	<b>60</b>
4.1	噪声类型与在电路中的表示	60
4.1.1	噪声的数学表达	60
4.1.2	电路中的噪声类型和特点	61
4.1.3	噪声在电路中的表示	64
4.2	单级放大器中的噪声	67
4.2.1	共源极	67
4.2.2	共栅极	67
4.2.3	源跟随器	70
4.2.4	共源-共栅	70
4.2.5	差分电路	71
4.3	噪声仿真技术	73
4.3.1	功能基本介绍	73
4.3.2	传统的噪声分析及参数设置	74
4.3.3	设计实例及结果输出方式设置	75
	习题	77
	参考文献	78
<b>第5章</b>	<b>CMOS 运算放大器和负反馈</b>	<b>79</b>
5.1	运算放大器	79
5.1.1	理想运算放大器	79
5.1.2	非理想运算放大器	81
5.2	负反馈	82
5.2.1	负反馈的基本原理	82
5.2.2	降低增益灵敏度	85
5.2.3	非线性失真的减小	85
5.2.4	带宽的变化	90
5.3	运算放大器的基本结构	90
5.3.1	套筒结构	91

5.3.2 折叠结构	92
5.4 运算放大器的性能	93
5.4.1 增益	93
5.4.2 带宽	100
5.4.3 建立时间	104
5.4.4 相位裕度	109
5.4.5 转换速率	110
5.4.6 共模抑制比	114
5.4.7 电源电压抑制比	116
5.5 运算放大器的使用举例	120
5.5.1 比例运算电路	120
5.5.2 求和运算电路	121
5.5.3 积分和微分运算电路	123
5.5.4 对数和指数运算电路	123
习题	124
参考文献	125
<b>第 6 章 高增益运放与频率补偿</b>	<b>126</b>
6.1 高增益运放概述	126
6.1.1 简单运算放大器结构	126
6.1.2 采用套筒式共源-共栅结构提高电路增益	126
6.1.3 采用折叠式共源-共栅结构提高电路增益	127
6.1.4 采用增益自举式结构提高电路增益	128
6.2 多级运算放大器设计	129
6.3 频率补偿	129
6.3.1 系统稳定性原理与分析	129
6.3.2 米勒效应与米勒补偿	131
6.3.3 高级补偿电路	133
6.4 双端输入-单端输出 CMOS 运算放大器设计实例	136
6.4.1 运算放大器性能指标	136
6.4.2 性能指标到电路参数指标之间的转化和分析	136
6.5 使用 Spectre 仿真优化电路	140
6.5.1 从理论计算到电路原理图	140
6.5.2 搭建测试平台	144
6.5.3 直流偏置验证仿真	145
6.5.4 交流增益仿真	147
6.5.5 瞬态时域仿真	154
6.5.6 CMRR 和 PSRR 的测量	158
习题	159

参考文献	161
<b>第 7 章 全差分运算放大器与非线性</b>	162
7.1 概述	162
7.1.1 全差分运算放大器结构框图	162
7.1.2 常见的全差分运算放大器电路	163
7.2 共模反馈	164
7.2.1 共模反馈的原理	164
7.2.2 共模采样的结构	166
7.3 差动电路的非线性	168
7.3.1 非线性的原理和差动对的非线性	168
7.3.2 差动输入对管的线性化技术	170
7.4 全差分运算放大器的设计实例	172
7.4.1 设计指标	172
7.4.2 高速全差分放大器结构选择	172
7.4.3 性能指标分析	173
7.4.4 全差分放大器电路设计和仿真	177
7.4.5 结论	192
习题	194
参考文献	195
<b>第 8 章 带隙电压基准</b>	196
8.1 带隙电压基准的性能参数	196
8.1.1 温漂系数	196
8.1.2 输出噪声	196
8.1.3 功耗	196
8.1.4 电源抑制比	196
8.2 带隙电压基准的基本原理	197
8.2.1 负温度系数电压	197
8.2.2 正温度系数电压	197
8.2.3 实现零温度系数的基准电压	198
8.3 常用带隙电压基准结构	198
8.3.1 利用 PTAT 电流产生基准电压	198
8.3.2 在运放的输出端产生基准电压	201
8.3.3 两种结构的性能比较	203
8.4 带隙电压基准的设计	204
8.4.1 寻找合适的双极晶体管比例	205
8.4.2 寻找合适的电阻比例	206
8.4.3 设置“Analog Environment”窗口	206
8.4.4 仿真结果分析	208

8.4.5	使用“Parametric”分析,寻找合适的 $R_2$ 、 $R_1$ 电阻比值	208
8.4.6	利用“Calculator”分析仿真结果	211
8.4.7	利用“Optimizer”进一步优化带隙基准电压源的温度特性	217
8.4.8	验证 8.3.1 节中关于闭环增益的推论	220
8.4.9	带隙基准电压源的噪声分析	223
8.4.10	小结	230
8.5	超低温漂带隙电压基准	233
8.5.1	设计目标	233
8.5.2	温度漂移的详细分析	233
8.5.3	设计过程	235
8.5.4	小结	260
	习题	260
	参考文献	262
<b>第 9 章</b>	<b>基准电流源</b>	<b>263</b>
9.1	基准电流源的性能参数	263
9.1.1	温漂系数	263
9.1.2	电源抑制比	263
9.1.3	功耗	264
9.2	基准电流源的工作原理	264
9.3	常用基准电流源的几种结构	265
9.3.1	利用电阻 $R_s$ 在 NMOS 管源极产生电压差 $V$	265
9.3.2	利用电阻 $R_s$ 在 PMOS 管源极产生电压差 $V$	266
9.3.3	共源-共栅基准电流源	267
9.3.4	三支路基准电流源	267
9.4	基准电流源的设计实例	269
9.4.1	LDO 中基准电流源的性能指标	269
9.4.2	基准电流源结构的确定	269
9.4.3	基准电流源参数的调试	271
9.4.4	电路仿真	274
9.4.5	小结	286
	习题	286
	参考文献	288
<b>第 10 章</b>	<b>模数转换电路</b>	<b>289</b>
10.1	开关电容电路	289
10.1.1	采样开关电路	289
10.1.2	沟道电荷注入效应	293
10.1.3	开关电容的等效电阻	295
10.1.4	开关电容放大器	298

10.1.5	开关电容积分器 .....	300
10.2	数模转换器原理和性能 .....	301
10.2.1	理想数模转换器基本结构 .....	302
10.2.2	DAC 的基本静态特性 .....	302
10.2.3	几种常见结构的 DAC .....	306
10.3	模数转换器原理和性能 .....	309
10.3.1	模数转换器基本概念 .....	309
10.3.2	奈奎斯特速率 ADC .....	309
10.3.3	过采样率 ADC .....	311
10.4	$\Delta$ - $\Sigma$ 调制器设计实例 .....	316
10.4.1	Verilog-A 简介 .....	316
10.4.2	一阶连续时间 $\Delta$ - $\Sigma$ 模数转换器(ADC)系统仿真 .....	328
	习题 .....	339
	参考文献 .....	340
	附录 .....	340
附录 A	模拟集成电路仿真的基本设置 .....	344
附录 B	Results Browser .....	381
附录 C	Waveform .....	391
附录 D	Calculator .....	422
附录 E	Parametric Analysis .....	449
附录 F	Optimization .....	465
附录 G	Corner Analysis .....	486

# 第 1 章 模拟集成电路概论

## 1.1 半导体技术与模拟集成电路

自从 1958 年美国的得克萨斯仪器公司(TI)发明了世界上第一块集成电路后,集成电路技术以惊人的速度发展。目前的集成电路已经可以在一块硅芯片上集成几千万个晶体管,甚至上亿个晶体管。半导体集成电路技术一般可以分为<sup>[1~8]</sup>:

- (1) 半导体集成电路工艺技术;
- (2) 集成电路设计技术;
- (3) 集成电路设计自动化(EDA)技术。

目前集成电路工艺技术已经发展到超深亚微米阶段,特征线宽可达到  $0.065\mu\text{m}$ ,甚至更小,而硅晶圆的直径已经达到了 12 in (1in=2.54cm)。集成电路设计技术近年来有了长足的发展,系统芯片(system on a chip, SoC)设计技术已经成为超大规模集成电路设计的主流技术。由于集成电路代工企业(foundry)的崛起,集成电路设计业已经成为一个增长十分迅速的、独立的新兴产业。这里需要指出的是,集成电路设计业的成长与集成电路设计自动化产业技术的发展密不可分。

在对电路进行分类时常常会提到“数字电路”和“模拟电路”。在集成电路设计领域,数字集成电路和模拟集成电路意味着集成在一个电子系统的这两种电路有不同的使命,两者具有协调、互补的关系。另外,由于设计数字集成电路和模拟集成电路的流程、方法以及对设计者知识面的要求各不相同,因此,事实上已经形成了“数字集成电路设计工程师”和“模拟集成电路设计工程师”两个不同的群体。包含有数字电路和模拟电路的 SoC 芯片是数字工程师和模拟工程师通力合作的结果。这种数模混合的 SoC 芯片设计技术的发展是与近年来的系统设计和数模混合电路电子设计自动化(EDA)工具的进步,特别是各种可重用和重构的集成电路知识产权核(intellectual property, IP)的开发与积累分不开的。当然,数字和模拟集成电路本身也是集成电路的产品。

本章主要讲述与模拟集成电路有关的内容,不涉及数字集成电路。需要注意的是,模拟电路设计是与数字电路设计同步发展起来的,与集成电路的制造工艺和 EDA 工具的变迁密不可分。本书中不仅分析模拟集成电路的基本理论知识,而且结合目前国际上主流的模拟集成电路设计 EDA 工具,给出了具体设计电路的方法,以达到读者通过练习能够快速掌握实际的模拟集成电路设计技术的目的。

这里需要强调的是,对从事开发与设计模拟集成电路技术的工作人员来讲,除了模拟集成电路设计外,还应该具备对电路系统、芯片应用环境的分析能力,以及逻辑分析的能力<sup>[5]</sup>。

## 1.2 模拟集成电路的分类及制造工艺

### 1.2.1 模拟集成电路的分类

模拟电路历史悠久,而且其设计对象的范围也很大。模拟集成电路随着半导体集成电路工艺的发展,以及各种模拟电路应用的普及得到迅速发展。目前的模拟集成电路种类繁多,可以分为通用模拟集成电路、专用模拟集成电路两大类。

另一方面,如果按照被处理的信号的频率来分类,可以大致分为低频模拟集成电路和高频模拟集成电路两大类。高频集成电路,在设计时有时虽然频率的位数只增加1位,但电路的设计方法与低频电路的设计方法会完全不同。如果电路处理的信号频率属于射频(radio frequency, RF)频率,那么这类集成电路属于RF模拟集成电路。

通用模拟集成电路正如其名所意,没有限定产品的种类,具有多种产品的共同的功能,也就是用途广泛的模拟集成电路。而像无线电专用和音频专用模拟集成电路等,原则上只能在某一类产品范围内使用的模拟集成电路,则是专用模拟集成电路。通用模拟集成电路的种类较少,这是模拟集成电路的特点。下面以美国国家半导体公司(NSC)的产品目录为例,介绍通用模拟集成电路与专用模拟集成电路。

#### 1. 通用模拟集成电路

(1) 运算放大器(operational amplifier, OP-AMP)、比较器和缓冲器。运算放大器包括高速、高精度、低噪声、低功耗、轨对轨(rail-to-rail)等各种通用运算放大器。比较器包括高速、高精度比较器。缓冲器主要是单位增益的输入和输出电压的电平转换。

(2) 参考基准。电压与电流源基准,包括低噪声系数、低噪声电压与电流基准。

(3) 电源管理。主要包括低压差线性稳压器(low-drop output, LDO)、升压与降压式直流电压转换器(direct-current voltage converter, DC-DC)、电池充放电保护电路等。

(4) 模数与数模转换电路(analog-to-digital converter/digital-to-analog converter, ADC/DAC)。主要有高精度 sigma-delta( $\Sigma$ - $\Delta$ )型 ADC 与 DAC 电路、高速 ADC/DAC 电路、低功耗 ADC/DAC 电路。

#### 2. 专用模拟集成电路

(1) 音频放大专用运算放大器。包括各种输出类型的放大器、耳机放大器、立体声放大器。

(2) 专用显示驱动电路。包括发光二极管(LED)、液晶显示(LCD)、平板显示器(flat panel)、VF、CRT 监视器专用显示驱动电路等。

(3) 专用接口电路。包括全差分信号与单端信号的接口与缓冲器、差分与单端信号的接发送器、各种标准的以太网接口电路,以及其他标准的专用接口电路。

(4) 温度传感控制电路。温度开关、数字与模拟温度传感控制电路、硬件温度监控电路。

(5) 其他专用模拟集成电路。如汽车专用模拟集成电路、无线专用模拟集成电路、通



信专用模拟集成电路、时钟发生电路等。

以下给出几个模拟集成电路的结构图并进行说明。图 1-1 所示是一个典型的低压差线性稳压器(LDO)的结构<sup>[9]</sup>。LDO 主要使用在电池供电的便携式电子产品中。便携式电子设备在使用过程中, 电池的输出电压逐渐下降, 另外电子设备丰富的功能使得在使用时对电能的要求变化很大, 因此需要通过稳压器对输入电压(电池电压)进行调整, 使输出电压, 即电子设备的供电电压在各种情况下达到稳定。如图 1-1 所示, LDO 由电流与电压基准电路、误差放大器、调整管和反馈电阻组成。误差放大器将输出反馈电压与参考电压进行比较, 并放大其差值用来控制调整管的导通状态, 从而达到稳定输出电压的目的。

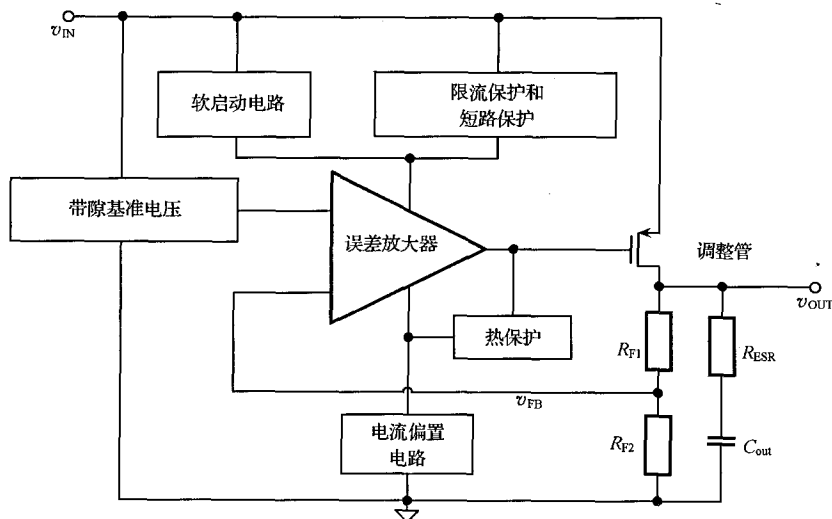


图 1-1 LDO 的结构

图 1-2 是降压式直流电压转换器(DC-DC)的结构<sup>[10]</sup>, 这是一种基于开关电源稳压原理的电压型脉宽调制型(pulse-frequency modulation, PWM)控制的降压式直流电压转换

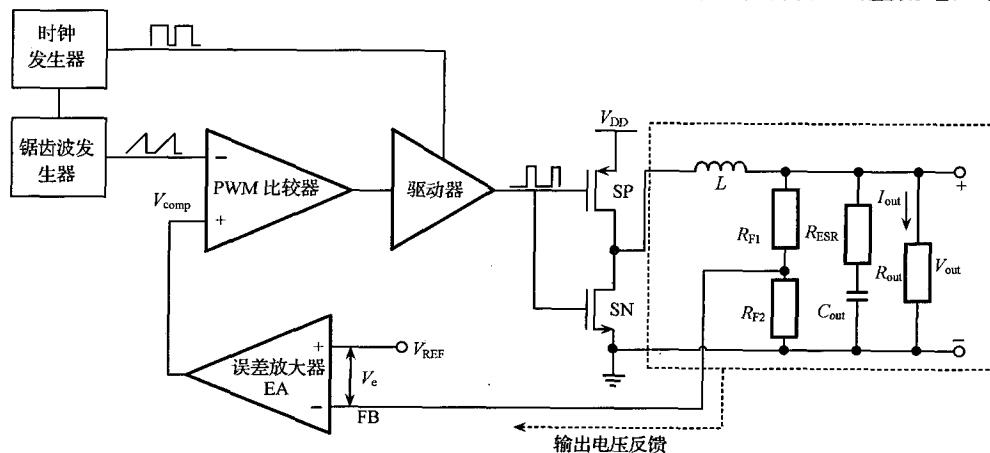


图 1-2 DC-DC 的结构