



国际信息工程先进技术译丛

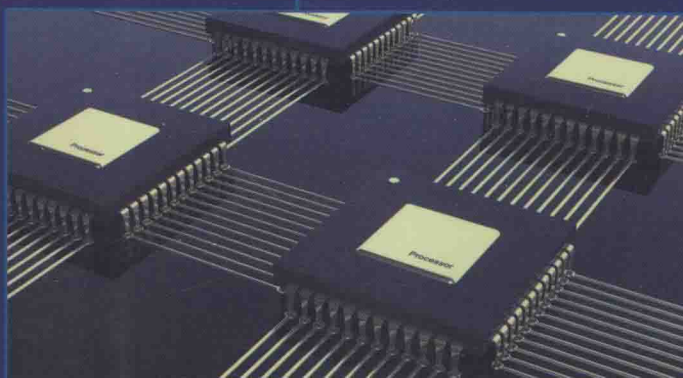
WILEY

# 信号处理与集成电路

Signal Processing and Integrated Circuits

[伊朗] 胡森·贝赫 (Hussein Baher) 著

戴澜 魏淑华 译



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

国际信息工程先进技术译丛

# 信号处理与集成电路

(伊朗) 胡森·贝赫 (Hussein Baher) 著

戴 澜 魏淑华 译



机械工业出版社

本书在对数字信号处理的基本理论进行分析的基础上,对各类数-模滤波器设计、FFT算法及其实现方法,对模拟集成电路中基本电路单元、基本放大器和多级放大器、开关电容电路及其组成的滤波器和Sigma-Delta数据转换器以系统分析的方法进行了介绍。

本书适合于从事集成电路设计,特别是模拟集成电路设计、研究的科研工作人员或企业研发人员参考,同时可作为该专业的高校本科生、研究生和教师的参考用书。

Copyright © 2012, John Wiley & Sons, Ltd.

All Rights Reserved. This translation published under license. Authorized translation from the English language edition, entitled < Signal Processing and Integrated Circuits >, ISBN: 978-0-470-71026-5, by Hussein Baher, Published by John Wiley & Sons. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyrights holder.

本书中文简体字版由Wiley授权机械工业出版社独家出版。未经出版者书面允许,本书的任何部分不得以任何方式复制或抄袭。版权所有,翻印必究。

北京市版权局著作权合同登记 图字:01-2014-0342号。

## 图书在版编目(CIP)数据

信号处理与集成电路/(伊朗)贝赫(Baher, H.)著;戴澜,魏淑华译. —北京:机械工业出版社,2015.10

(国际信息工程先进技术译丛)

书名原文:Signal Processing and Integrated Circuits

ISBN 978-7-111-51247-9

I. ①信… II. ①贝…②戴…③魏… III. ①信号处理②集成电路  
IV. ①TN911.7②TN4

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第195566号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:江婧婧 责任编辑:江婧婧

版式设计:霍永明 责任校对:丁丽丽

封面设计:马精明 责任印制:乔宇

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2016年1月第1版第1次印刷

169mm×239mm·25.5印张·522千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-51247-9

定价:98.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88361066

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294

机工官博:weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网:www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com

## 译者序

现代集成电路在国防科技、消费电子等方面起到非常重要的作用，高性能、微型化的电子系统对集成电路（芯片）的依赖性越来越高。集成电路包括制造、器件、设计与测试等几个方面，其中，集成电路设计与信号处理方面联系紧密，因此，将集成电路设计与信号处理相关理论结合起来进行讨论具有重要意义。

本书从信号处理的角度对数字-模拟集成电路设计中的主要电路进行分析，并给出设计思路与一些电路的仿真建模方法。介绍了数-模滤波器、FFT 处理器、运算放大器和 Sigma-Delta 数据转换器等基本单元的设计理论及设计方法，同时，对开关电容电路和集成电路工艺有一定的介绍。读者可以通过本书将信号处理基本理论及其在集成电路设计中的应用联系起来，学会通过系统分析的观点来解决集成电路设计中的一些问题。

本书分为四个部分，总共 17 章内容，每章节的具体内容在译稿中前言部分进行了介绍。本书的作者为毕业于维也纳科技大学的胡森·贝赫。

本书翻译工作由北方工业大学的戴澜副教授、魏淑华讲师完成，具体分工如下：魏淑华完成本书第 1 章和第 2 章的翻译工作，戴澜完成第 3~17 章的翻译工作，另外中国科学院微电子研究所的陈铖颖博士在本书的翻译和校对过程中提出了不少的意见和建议，在此表示感谢！

本书的翻译和编辑出版工作得到机械工业出版社电工电子分社编辑江婧婧女士和她的同事们的大力支持和帮助，在此深表谢意。

由于译者的水平有限，翻译中难免有不当之处，欢迎广大读者提出宝贵的修改意见和建议。

戴澜 魏淑华

2015 年 5 月

# 原书前言

精确计算：获知一切奥秘的指南。

——阿美斯纸草书

一本古埃及数学纸草书，公元前 1850 年

2006 年，澳大利亚还在庆祝莫扎特诞辰 250 周年。在享受庆典的同时，我在维也纳科技大学获得了两个学位：一个是数字信号处理方向；另一个是应用于开关电容滤波器和 Sigma - Delta 数据转换器设计的模拟集成电路信号处理方向。这两个专业是如此互补，让我产生了一个相当有吸引力的想法，写一本结合两个学科内容的书。随着想法日愈强烈以及不断更新知识内容，我最终撰写了这本书。

这本书的宗旨是提供一种关于模拟和数字信号处理的清晰明了并且统一的设计方法。就数字系统设计来说，主要讨论相对高级的加法器、乘法器和缓冲器设计；至于模拟系统，着重点在于介绍包括连续时间和数据采样电路、系统在内的集成电路的实现，并详细到晶体管级的电路设计。本书全面介绍了应用于信号处理的模拟 MOS 集成电路设计理论以及微电子开关电容电路的设计方法，并以此拓展到以集成 Sigma - Delta 数据转换器为代表的混合信号处理器。在这些知识背景下，本书也讨论了亚微米级和深亚微米级集成电路在超高频方面的设计应用实现。最后，作为分析和解决问题的有效辅助工具，本书也介绍了 MATLAB 的相关设计应用。

这本教材适合高年级本科生和一年级研究生以及专业人士使用，同时提供足够的基础材料使该书能够独立使用。这本书分为四部分。

第一部分作为综述，包含一个章节。第 1 章回顾和展望了信号处理领域以及相关学科，并且提到了几个应用问题。第 1 章以片上系统 (SoC) 和移动通信领域的发展为例，揭示了对复杂信号处理系统设计所需掌握的海量知识，同时也展现了模拟系统和数字系统之间的互补关系。

第二部分包括 8 章内容，从系统级和电路级讲解了模拟域和数字域的信号处理技术。第 2 章是对基础概念和一些模拟信号系统分析的数学工具的回顾。这次回顾可以看作是对于模拟信号系统基本原理的一个全面的概述。通常本科初级阶段已经涵盖了这些课题的精华，因此，讨论很简洁，这些材料可以供以后章节参考，并且可以作为一个短期的复习课程。第 3 章讨论模拟连续时间滤波器的基本理论与设计技术。这些知识本身就很重，也和所有类型的滤波器的设计直接相关，其中包括数据采样类型滤波器，比如数字滤波器和开关电容滤波器。这些滤波器的基本工作原理相同，并且通常情况下模拟连续时间模型是其他类型滤波器的设计基础。这一

章介绍了如何通过使用 MATLAB 进行模拟滤波器设计, 该工具会在以后的章节被广泛使用。第 4 章简要回顾了模拟信号向数字信号转换的过程以及离散信号与系统的表示。这应该作为一个离散信号与系统分析基础的补充。第 5 章详细讨论数字滤波器的设计技术。本章强调了两点: 首先, 注重概念的组织和设计分析方法; 其次本章详细介绍了如何利用计算机辅助设计工具 MATLAB。本章总结了许多通过理论分析和应用计算机辅助设计方法的例子。第 6 章讨论了快速傅里叶变换 (FFT) 算法, 同时介绍了离散傅里叶变换及其特性, 并讨论了 FFT 在频谱分析、卷积、相关性以及信号滤波方面的应用。第 7 章介绍了适用于随机信号的概念和技术, 讨论涵盖了模拟和数字信号。然而, 处理这些信号的系统本身并不“随机”, 而是具有自身的“确定性”。第 8 章论述了有限字长二进制码在表示不同数量数字信号处理器时所造成的影响, 并研究了这些影响造成的系统性能下降, 定量分析了结果误差。第 9 章主要讨论了信号处理中的一个核心问题: 在接收的一系列噪声信号中如何估计有效信号, 这涉及自适应滤波领域, 该领域与一个未知线性系统 (过程) 的行为级建模或仿真有密切关系。我们首先讨论了线性估算和建模的原理, 接着讨论了如何将这些原理用自适应算法实现。

第三部分讨论的重点是与信号处理相关的模拟 MOS 集成电路。第 10 章是对 MOS 晶体管基础知识和集成电路制造技术的回顾。第 11 章讨论了集成电路的基础电路模块, 如放大器、电流镜和负载器件等。第 12 章介绍了两级 CMOS 运算放大器和一些完整的实例。第 13 章讨论了基于  $G_m - C$  电路的高性能运算放大器和跨导运算放大器, 同时介绍了超高频亚微米级和深亚微米级集成电路的设计应用。第 14 章介绍了集成电阻、电容和开关等模拟信号处理系统的基础模块。

第四部分主要讨论运用开关电容和混合信号 (模拟和数字) 电路进行信号处理系统设计的方法。第 15 章详细介绍了微电子开关电容滤波器的设计技术。这些模拟数据采样电路已经确认在许多应用中可以替代数字电路。此外, 它们特别适用于在数字信号处理中采用 CMOS 集成电路技术来实现应用, 并与数字电路集成在同一个芯片上。本章同时详细讨论了理论基础和实际设计应该考虑的因素。如果在设计的早期没有认识和考虑到模拟系统中电路单元的非理想性, 这将很容易导致电路性能的恶化。第 16 章详述了这些非理想因素以及其他在模拟集成电路设计中应该考虑的实际问题。第 17 章详细讨论了一类有指导意义的信号处理器: Sigma - Delta 数据转换器。本章首先介绍了 Sigma - Delta 数据转换器中模拟和数字信号处理的理论分析和设计所需的知识, 之后讨论了主要的分析和计算技术。因此, 这本书是较为理想的, 因为它尝试着把两个领域统一在一个体系里面, 并且它所采用的方法也可以作为一个有效方法的良好例子。

本书在适当章节讨论了电子通信领域的众多应用。主要包括: 数据传输的脉冲整形网络, 语音编码解码器中的开关电容滤波器, 调制解调器中的全双向数据, 卫星语音信号传输中的回音消除、线性估计、系统建模和自适应滤波。此外, 在最后

一章对 Sigma - Delta 数据转换器的广泛应用进行介绍，本书讨论了所有的信号处理技术（开关电容技术，数字滤波器，抽取滤波器，快速傅里叶变换，模拟 CMOS 集成电路），这些技术广泛地用来设计以模 - 数转换器为代表的混合模式处理器等。

最后非常感谢热情、专业的亚历山德拉·金和来自约翰·威利父子出版公司（奇切斯特，英国）的利兹·温格特鼎力协助我完成这本书。

胡森·贝赫

维也纳 & 都柏林, 2012

# 目 录

译者序

原书前言

第一部分 综述 .....	1
1 模拟、数字和混合信号处理 .....	2
1.1 数字信号处理 .....	2
1.2 摩尔定律和“机敏”技术 .....	2
1.3 片上系统 .....	2
1.4 模拟和混合信号处理 .....	3
1.5 知识架构 .....	4
第二部分 模拟（连续时间）和数字信号处理 .....	5
2 模拟连续时间信号系统 .....	6
2.1 绪论 .....	6
2.2 信号分析中的傅里叶级数和函数逼近 .....	6
2.2.1 定义 .....	6
2.2.2 时域和离散频域 .....	7
2.2.3 卷积 .....	8
2.2.4 帕斯瓦尔定理与功率谱 .....	8
2.2.5 吉布斯现象 .....	8
2.2.6 窗口函数 .....	10
2.3 傅里叶变换与基本信号 .....	10
2.3.1 定义与性质 .....	10
2.3.2 帕斯瓦尔定理与能量谱 .....	12
2.3.3 相关函数 .....	12
2.3.4 单位脉冲与基本信号 .....	13
2.3.5 冲激响应与系统函数 .....	14
2.3.6 周期信号 .....	14
2.3.7 不确定性原理 .....	14
2.4 拉普拉斯变换与模拟系统 .....	15
2.4.1 复频 .....	15



2.4.2	拉普拉斯变换的性质 .....	16
2.4.3	系统函数 .....	17
2.5	基本的信号处理电路模块 .....	19
2.5.1	采用运算放大器电路的基本模块实现 .....	19
2.6	模拟系统函数的实现 .....	23
2.6.1	运算放大器的基本原理与应用 .....	23
2.6.2	运用 OTAs 和 $G_m$ -C 电路实现积分器 .....	26
2.7	小结 .....	28
	习题 .....	28
<b>3</b>	<b>模拟滤波器设计</b> .....	<b>31</b>
3.1	绪论 .....	31
3.2	理想滤波器 .....	31
3.3	振幅导向型设计 .....	34
3.3.1	通带和阻带的最平坦化响应 .....	35
3.3.2	切比雪夫响应 .....	37
3.3.3	椭圆函数响应 .....	39
3.4	频率转换 .....	40
3.4.1	低通向低通转换 .....	40
3.4.2	低通向高通转换 .....	40
3.4.3	低通向带通转换 .....	41
3.4.4	低通向带阻转换 .....	42
3.5	示例 .....	42
3.6	相位导向型设计 .....	44
3.6.1	相位及延迟函数 .....	44
3.6.2	最大平坦延迟响应 .....	45
3.7	无源滤波器 .....	47
3.8	有源滤波器 .....	50
3.9	MATLAB 在模拟滤波器设计中的应用 .....	51
3.9.1	巴特沃斯滤波器 .....	52
3.9.2	切比雪夫滤波器 .....	52
3.9.3	椭圆滤波器 .....	53
3.9.4	贝塞尔滤波器 .....	53
3.10	MATLAB 应用的例子 .....	54
3.11	一个综合应用: 数据传输的脉冲整形 .....	57
3.12	小结 .....	61
	习题 .....	61
<b>4</b>	<b>离散信号与系统</b> .....	<b>62</b>
4.1	绪论 .....	62

4.2 模拟信号的数字化 .....	62
4.2.1 采样 .....	63
4.2.2 量化和编码 .....	69
4.3 离散信号与系统 .....	71
4.4 数字滤波器 .....	73
4.5 小结 .....	77
习题 .....	78
<b>5 数字滤波器设计 .....</b>	<b>80</b>
5.1 绪论 .....	80
5.2 总则 .....	80
5.3 IIR 滤波器的振幅导向型设计 .....	83
5.3.1 低通滤波器 .....	83
5.3.2 高通滤波器 .....	89
5.3.3 带通滤波器 .....	91
5.3.4 带阻滤波器 .....	92
5.4 相位导向型 IIR 滤波器设计 .....	92
5.4.1 总则 .....	92
5.4.2 最大平坦群延迟响应 .....	93
5.5 FIR 滤波器 .....	95
5.5.1 精确的线性相位特征 .....	95
5.5.2 傅里叶系数滤波器设计 .....	101
5.5.3 最优约束数量下的单调振幅响应 .....	109
5.5.4 通带和阻带中的最优等纹波响应 .....	110
5.6 IIR 和 FIR 滤波器的比较 .....	114
5.7 MATLAB 在数字滤波器设计中的应用 .....	114
5.7.1 巴特沃斯 IIR 滤波器 .....	114
5.7.2 切比雪夫 IIR 滤波器 .....	115
5.7.3 椭圆 IIR 滤波器 .....	117
5.7.4 滤波器的实现 .....	120
5.7.5 线性相位 FIR 滤波器 .....	121
5.8 一个综合应用: 数据传输的脉冲整形 .....	122
5.8.1 最优设计 .....	122
5.8.2 运用 MATLAB 设计数据传输滤波器 .....	123
5.9 小结 .....	126
习题 .....	126
<b>6 快速傅里叶变换及其应用 .....</b>	<b>128</b>
6.1 绪论 .....	128
6.2 周期信号 .....	129

6.3	非周期信号 .....	132
6.4	离散傅里叶变换 .....	136
6.5	快速傅里叶变换算法 .....	138
6.5.1	按时间抽取的快速傅里叶变换 .....	138
6.5.2	按频率抽取的快速傅里叶变换 .....	143
6.5.3	基-4 快速傅里叶变换 .....	144
6.6	离散傅里叶变换的性质 .....	147
6.6.1	线性 .....	147
6.6.2	圆周卷积 .....	147
6.6.3	周期序列的移位 .....	148
6.6.4	对称性和共轭对 .....	148
6.6.5	帕塞伐尔定理和功率谱 .....	149
6.6.6	圆周相关 .....	150
6.6.7	离散傅里叶变换与 $z$ 变换之间的关系 .....	151
6.7	利用 FFT 进行频谱分析 .....	151
6.7.1	傅里叶积分的计算 .....	152
6.7.2	傅里叶系数的计算 .....	154
6.8	频谱窗 .....	155
6.8.1	连续时间信号 .....	155
6.8.2	离散时间信号 .....	159
6.9	利用 FFT 的快速卷积、滤波和相关 .....	160
6.9.1	圆周(周期)卷积 .....	160
6.9.2	非周期卷积 .....	160
6.9.3	滤波和分段卷积 .....	161
6.9.4	快速相关 .....	163
6.10	MATLAB 软件的使用 .....	164
6.11	小结 .....	165
	习题 .....	165
7	随机信号和功率谱 .....	166
7.1	绪论 .....	166
7.2	随机变量 .....	166
7.2.1	概率分布函数 .....	166
7.2.2	概率密度函数 .....	166
7.2.3	联合分布 .....	167
7.2.4	统计参数 .....	168
7.3	模拟随机过程 .....	169
7.3.1	随机过程统计 .....	170
7.3.2	平稳过程 .....	172

7.3.3 时间均值 .....	172
7.3.4 遍历性 .....	173
7.3.5 随机信号的功率谱 .....	174
7.3.6 线性系统信号 .....	178
7.4 离散时间随机过程 .....	179
7.4.1 统计参数 .....	180
7.4.2 平稳过程 .....	180
7.5 功率谱估计 .....	183
7.5.1 连续时间信号 .....	183
7.5.2 离散时间信号 .....	186
7.6 小结 .....	187
习题 .....	187
<b>8 数字信号处理器的有限字长效应 .....</b>	<b>189</b>
8.1 绪论 .....	189
8.2 输入信号的量化误差 .....	191
8.3 量化系数的影响 .....	195
8.4 舍入累积的影响 .....	196
8.4.1 忽略量化误差的舍入累积 .....	197
8.4.2 考虑量化误差的舍入累积 .....	203
8.5 自激: 溢出和极限周期 .....	206
8.5.1 溢出振荡 .....	206
8.5.2 极限周期和死区效应 .....	209
8.6 小结 .....	211
习题 .....	211
<b>9 线性估计、系统建模和自适应滤波器 .....</b>	<b>212</b>
9.1 绪论 .....	212
9.2 均方近似 .....	212
9.2.1 模拟信号 .....	212
9.2.2 离散信号 .....	214
9.3 线性估计、系统建模与最佳滤波器 .....	215
9.4 最小均方误差的模拟估计 .....	216
9.4.1 非因果的平滑维纳滤波器 .....	216
9.4.2 因果的维纳滤波器 .....	219
9.5 匹配滤波器 .....	219
9.6 离散时间线性估计 .....	221
9.6.1 非递归维纳滤波 .....	222
9.6.2 采用最小均方误差梯度算法的自适应滤波 .....	225
9.6.3 最小均方误差梯度算法 .....	228

9.7	自适应 IIR 滤波器和系统建模 .....	228
9.8	自适应滤波器的一个应用: 卫星语音传播信号的回声消除器 .....	231
9.9	小结 .....	232
<b>第三部分 应用于信号处理的模拟 MOS 集成电路 .....</b>		<b>233</b>
<b>10</b>	<b>MOS 晶体管与集成电路工艺 .....</b>	<b>234</b>
10.1	绪论 .....	234
10.2	MOS 晶体管 .....	234
10.2.1	工作条件 .....	234
10.2.2	跨导 .....	239
10.2.3	沟道长度调制效应 .....	240
10.2.4	PMOS 晶体管和 CMOS 电路 .....	241
10.2.5	耗尽型 MOSFET .....	242
10.3	集成电路制造工艺 .....	242
10.3.1	晶圆制备 .....	242
10.3.2	扩散和离子注入 .....	243
10.3.3	氧化 .....	245
10.3.4	光刻 .....	246
10.3.5	化学气相淀积 .....	247
10.3.6	金属化 .....	248
10.3.7	MOSFET 的制备步骤 .....	248
10.4	集成电路的 MOS 场效应晶体管的布局与面积考虑 .....	249
10.5	MOSFET 中的噪声 .....	251
10.5.1	散粒噪声 .....	251
10.5.2	热噪声 .....	251
10.5.3	闪烁噪声 .....	251
10.5.4	噪声模型 .....	251
	习题 .....	252
<b>11</b>	<b>集成电路基本单元电路 .....</b>	<b>253</b>
11.1	绪论 .....	253
11.2	MOS 有源电阻和负载器件 .....	253
11.3	MOS 放大器 .....	255
11.3.1	采用增强型负载的 NMOS 放大器 .....	255
11.3.2	衬底效应 .....	255
11.3.3	带耗尽型负载的 NMOS 放大器 .....	257
11.3.4	源极跟随器 .....	257
11.4	基于高频应用的设计考虑 .....	260
11.4.1	寄生电容 .....	260

11.4.2 共源共栅放大器 .....	261
11.5 电流镜 .....	264
11.6 CMOS 放大器 .....	266
11.7 小结 .....	267
习题 .....	267
<b>12 两级 CMOS 运算放大器 .....</b>	<b>268</b>
12.1 绪论 .....	268
12.2 运算放大器的性能参数 .....	268
12.3 反馈放大器的基本原理 .....	270
12.4 CMOS 差分放大器 .....	272
12.5 两级 CMOS 运算放大器 .....	276
12.5.1 直流电压增益 .....	278
12.5.2 频率响应 .....	278
12.5.3 调零电阻 .....	279
12.5.4 压摆率和建立时间 .....	280
12.5.5 输入共模范围和共模抑制比 .....	281
12.5.6 两级 CMOS 运算放大器的设计计算综述 .....	282
12.6 一个完整的运放设计实例 .....	284
12.7 运算放大器设计中的实际问题和非理想效应 .....	286
12.7.1 电源抑制 .....	287
12.7.2 直流失调电压 .....	287
12.7.3 噪声特性 .....	287
12.8 小结 .....	289
习题 .....	289
<b>13 高性能 CMOS 运算放大器和运算跨导放大器 .....</b>	<b>290</b>
13.1 绪论 .....	290
13.2 CMOS 共源共栅运算放大器 .....	290
13.3 折叠共源共栅运算放大器 .....	291
13.4 低噪声运算放大器 .....	293
13.4.1 通过控制器件几何尺寸进行低噪声设计 .....	293
13.4.2 通过相关双采样降低噪声 .....	295
13.4.3 斩波稳定运算放大器 .....	295
13.5 高频运算放大器 .....	297
13.5.1 基于建立时间的设计考虑 .....	297
13.6 全差分平衡拓扑结构 .....	299
13.7 跨导运算放大器 .....	304
13.8 小结 .....	306

习题 .....	306
<b>14 电容、开关和无源电阻 .....</b>	<b>308</b>
14.1 绪论 .....	308
14.2 MOS 电容 .....	308
14.2.1 电容结构 .....	308
14.2.2 寄生电容 .....	310
14.2.3 电容比误差 .....	310
14.3 MOS 开关 .....	312
14.3.1 一种简单的开关电路 .....	312
14.3.2 时钟馈通 .....	313
14.3.3 CMOS 开关: 传输门 .....	314
14.4 MOS 无源电阻 .....	315
14.5 小结 .....	316
<b>第四部分 开关电容和混合信号处理 .....</b>	<b>317</b>
<b>15 微电子开关电容滤波器的设计 .....</b>	<b>318</b>
15.1 绪论 .....	318
15.2 采样信号和保持信号 .....	320
15.3 振幅导向无损离散积分型滤波器 .....	322
15.3.1 状态变量梯型滤波器 .....	322
15.3.2 杂散不敏感型 LDI 梯型滤波器 .....	329
15.3.3 一种近似的设计方法 .....	333
15.4 基于无源集总原型的滤波器设计 .....	335
15.5 级联设计 .....	342
15.6 移动通信中的应用: 语音编解码器和数字调制解调器 .....	344
15.6.1 语音编解码器 .....	344
15.6.2 数字调制解调器 .....	345
15.7 小结 .....	346
习题 .....	346
<b>16 微电子开关电容滤波器中的非理想效应和实际设计考虑 .....</b>	<b>348</b>
16.1 绪论 .....	348
16.2 运算放大器有限增益效应 .....	348
16.3 运算放大器的有限带宽和有限压摆率效应 .....	349
16.4 运算放大器的有限输出电阻效应 .....	350
16.5 最大动态范围缩放 .....	351
16.6 最小电容缩放 .....	352
16.7 全差分平衡设计 .....	352

---

16.8	其他关于寄生电容和开关噪声的讨论 .....	354
16.9	预滤波和后置滤波的设计要求 .....	356
16.10	可编程滤波器 .....	358
16.11	基于滤波器版图的设计考虑 .....	359
16.12	小结 .....	360
<b>17</b>	<b>集成 Sigma - Delta 数据转换器：模拟和数字信号处理的拓展及综合应用</b> .....	<b>361</b>
17.1	研究动机和综合考虑 .....	361
17.2	一阶转换器 .....	362
17.3	二阶转换器 .....	366
17.4	抽取和数字滤波 .....	370
17.4.1	原理 .....	370
17.4.2	抽取数字滤波器结构 .....	373
17.5	仿真和性能评估 .....	376
17.6	案例分析：四阶 Sigma - Delta 转换器设计 .....	378
17.7	小结 .....	381
	<b>部分习题答案</b> .....	<b>382</b>
	<b>参考文献</b> .....	<b>389</b>



# 第一部分 综 述

科学的存在，有时让人愉悦有时让人厌烦。它让人愉悦的是它给重要的少数人提供了驾驭环境的能力，提供了智慧上的满足感；它又让人厌烦，无论我们怎样掩盖事实，它却宿命般的一览无遗。这一方面，它限制了人们的能力。

伯特兰·罗素

科学是否是迷信？（出自《怀疑论》）