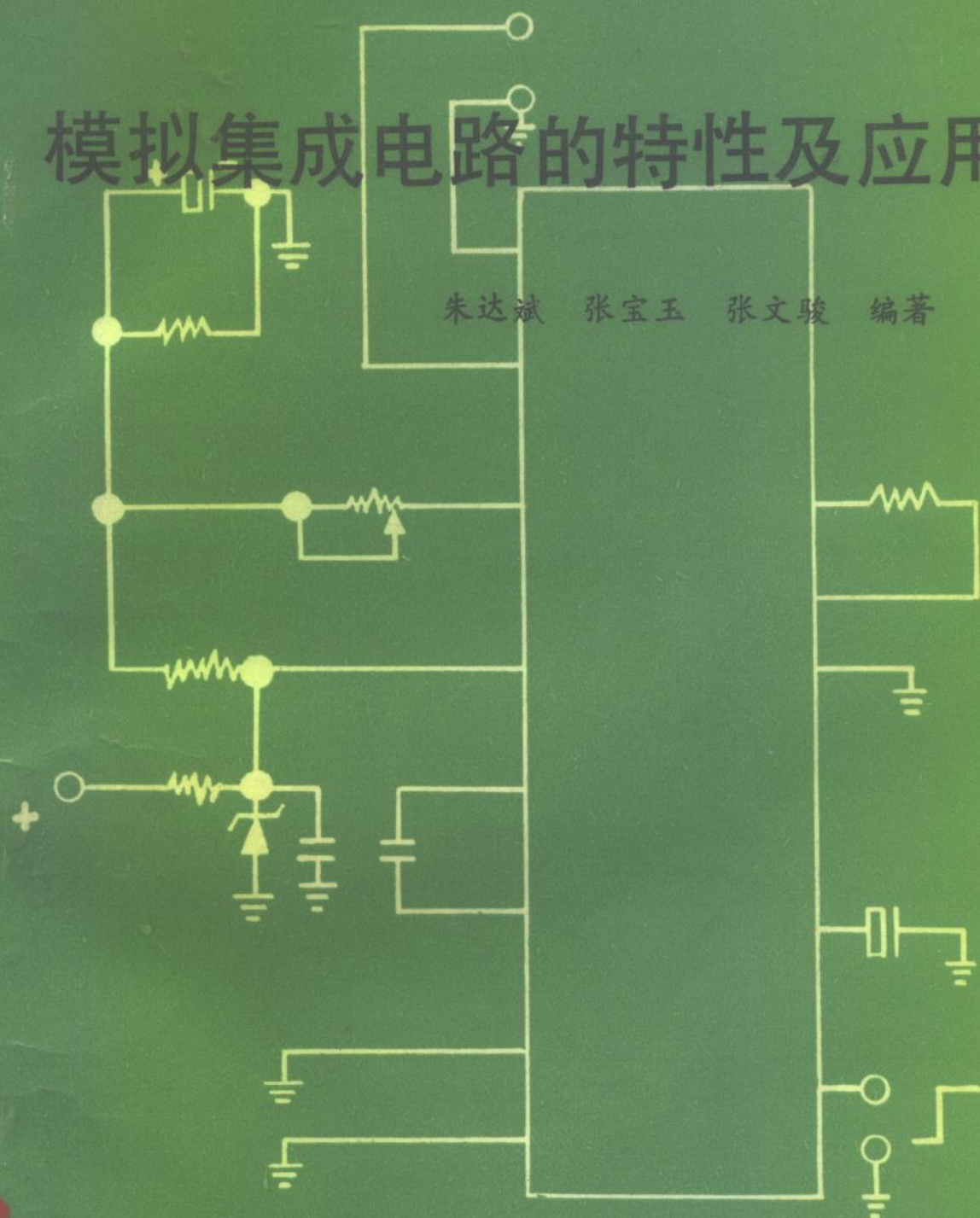


# 模拟集成电路的特性及应用

朱达斌 张宝玉 张文骏 编著



航空工业出版社

374663

# 模拟集成电路的特性及应用

朱达斌 张宝玉 张文骏 编著



航空工业出版社

1994

(京)新登字 161 号

0296/30  
内 容 提 要

本书分为十章,第一章为模拟集成电路基础,介绍了模拟集成电路的类别、功能及模拟集成电路的基本单元电路,同时还介绍了国内外主要生产厂家的模拟集成电路的型号识别与封装知识。以下各章分别介绍了在工业及科技领域广泛应用的运算放大器,特殊放大器(仪表放大器、隔离放大器和程控增益放大器),稳压器及电压基准源(包括 AC/DC 及 DC/DC 模块等),函数发生器与压控振荡器,电压比较器,模拟开关,定时器,模拟乘法器,锁相环路,V/F 与 F/V 变换器等十大类模拟集成电路的功能、工作原理、外特性、性能参数及其测试和应用设计等内容,还介绍了目前国际上使用的近百个系列的模拟集成电路器件的封装外形与引脚功能、电性能参数、偏置电路及外围电路设计和典型应用实例。

本书具有较强的工程实用性与资料性,可作为有关专业本科、大专、夜大、职大等层次的教材,也是电子工程设计人员的实用参考手册。

模拟集成电路的特性及应用

宋达斌 张宝玉 张文骏 编著

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里 14 号)

—邮政编码:100029—

全国各地新华书店经售

煤炭工业出版社印刷厂印刷

1994 年 3 月第 1 版 1994 年 3 月第 1 次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:28.75

印数:1—3700 字数:713 千字

ISBN 7-80046-664-7

TP·045

定价:22.50 元

## 序

无线电电子学发展至今,已将近百年的发展史上有三个重要的里程碑,即:1904年电子管的发明;1948年晶体管的问世;60年代集成电路的出现。电子管使无线电技术摆脱了初期的机-电形式,真正进入电子时代。晶体管在低功耗、长寿命、小体积方面远胜于电子管,它在许多方面取代了电子管的传统地位,成为极其重要的电子器件。60年代开始出现的,将“管”、“路”结合起来的集成电路,三十年来已取得极其巨大的成就。中、大规模乃至超大规模集成电路的不断涌现,对人类进入信息社会起了不可估量的推动作用。可以毫不夸张地说,没有集成电路,就不可能有今日的信息世界。

众所周知,集成电路可分为数字与模拟两大类。数字集成电路的发展最为迅速,而模拟集成电路继数字集成电路飞跃发展之后,近年来也获得了显著的发展。因而高等学校的《模拟电子线路》(包括高、低频电路)课程内容亟待更新。为适应这一形势的发展的要求,许多学校纷纷设置了《模拟集成电路》或类似的课程。五邑大学朱达斌等老师为满足教学改革和科研生产的需要,编写了本书。它的特点是突出了工程实用性,并有工具书的特色。本书既可作为技术人员的设计指南与简明手册,也可作为电子类专业本科、大专、职大与夜大等多层次学生使用的教材。各章之间具有相对独立性,可以根据对象的不同,灵活组织教学。全书取材丰富,文笔流畅,层次分明。我高兴地看到,在我国姹紫嫣红的电子图书百花园中,又增添了这么一本很有实用意义的新书。它必将在祖国的四化建设中,发挥应有的作用。

武汉大学 张肃文

1993年4月

## 序 言

自 60 年代集成电路诞生以来,其集成度始终以至两年翻一番的所谓 MOOR'S 速度在发展。三十多年来,集成电路的发展经历了小规模集成(SSI)、中规模集成(MSI)、大规模集成(LSI)几个阶段后又进入了超大规模集成(VLSI)的微电子时代。当前,在约  $1\text{cm}^2$  的半导体芯片上可以集成 100 万个以上的晶体管元件。微电子技术的迅猛发展,使传统的器件、电路、系统的概念在界线上模糊了,使电路、系统的设计思想与设计方法也发生了变化,即由传统的最简化设计原则的电路、系统设计转变为由集成电路所组成的电路系统的版图设计。

这些巨大的变化,正改变着电子工程传统的科研、试制、设计和生产的方式与方法。同时,也必然导致《电子线路》这类课程的教学内容及教学方法发生相应的变化和重大改革,以适应当今微电子技术的高速发展。为此,许多高等院校在《电子线路》这类课程的教学改革方面做了许多有益的尝试。我校电子工程系副教授朱达斌等老师从 1990 年起对电子工程系本科及专科的学生开设了“模拟集成电路的特性及应用”课程,着重讲述各类模拟集成电路的外特性及其应用设计,深受学生欢迎。不少毕业生反映,由于学习了这门课程,毕业后对从事设备改造、产品设计等技术工作有很大帮助。从教学改革的角度看,这是有益的探索,体现了理论联系实际的原则,取得了良好的效果。因而,这些学生的实际工作能力亦得到各有关单位领导的重视和好评。现在朱达斌副教授在多年教授该课程的基础上,认真加以提炼并进一步充实内容编著成《模拟集成电路的特性及应用》一书正式出版,以满足有关专业各种层次的教学和科研生产的需要。该书突出了工程实用性,并可兼作工程技术人员的设计手册。愿该书在推动本学科的教学改革和集成电路的应用设计中发挥更好的作用。

五邑大学校长 叶家康

1993 年 7 月

## 前 言

集成电路问世三十余年来,不仅其自身得到了飞速发展,而且也使得其它科技领域发生了巨大变化,计算机技术的发展获益尤甚。反过来,其它科技领域的进步,又促进了微电子技术的更大发展。当前,微电子技术的迅猛发展,不仅使集成电路的集成度与日俱增,在数平方厘米左右的半导体芯片上可以制成 100 万个乃至 1 亿个以上的晶体管元件,而且集成电路产品的种类也日益增多,性能不断提高,价格不断降低,应用领域不断扩大,以至走向社会生产和生活的各个方面。与此同时,还出现了新的电路与系统的设计方法,出现了许多特殊应用集成电路(ASIC)、定制电路(Custom)和可编程器件(PLD)。

以上变化不仅正改变着电子工程领域传统的科研、试制、设计和生产的方式与方法,而且也必然引起电子工程有关课程的教学内容与方法发生相应的变革。从长远来说,我们必须放弃传统的手工设计,而是借助计算机、利用 CAD 实现设计自动化;必须走向工作站,改变电路与系统的原理图设计为集成电路版图设计。就电子工程的现状来看,再也找不到以分立元件为主的电子产品了。为此,我们的学生必须熟悉有关集成电路的外特性及应用设计知识,必须学会使用各种器件手册,用有关集成电路来设计(搭成)电子系统,他们不必花更多精力去分析各种集成电路的内部电路结构,而只须了解其功能框图来分析其工作原理。因此,我们的有关课程必须要转变到以集成电路为中心来组织教学。

针对以上情况,我们在“电子线路”课程改革方面作了一点尝试。从 1990 年起,在电子工程系的本科、专科学生中开设了“工业用线性集成电路的特性及应用”课程。考虑到模拟集成电路的品种浩繁,性能各异,我们的教学重点应该是各类模拟集成电路的外特性和应用。通过几年的教学实践,学生们普遍对这门课程表现了浓厚的兴趣,他们毕业后觉得这门课对他们所从事的技术工作有很大帮助。正是在学生们的推动下以及我校各级领导的鼓励下,我们才有勇气在“工业用线性集成电路的特性及应用”讲稿基础上,编写了《模拟集成电路的特性及应用》一书。

本书分为十章,较详细地介绍了可以在工业上广泛应用的十大类近百个系列的模拟集成电路的外特性、应用设计及典型应用电路(由于电视、音响方面所用的模拟集成电路在另外课程中已有讲述,这方面的资料也很普遍,因此不列入本书范畴)。

本书在内容安排上,首先介绍各类模拟集成电路的功能框图并简述其工作原理,然后介绍它们的性能参数及其测试方法,再给出其封装引脚,介绍有关引脚的功能,讲述有关偏置电路的设计方法及调节补偿方法,最后指出其应用设计要点,给出相应的典型应用实例。因此,本书的特点是,强调了各种模拟集成电路的外特性及应用指南,具有较强的工程实用性与资料性。本书不仅可以作为有关专业本科、专科、夜大、职大各种层次的教材(由于本书各章之间具有相对独立性,因此可以根据实际情况灵活地组织教学),本书也是一本实用参考资料,对电子工程技术人员来说,是十分适用的。

本书由朱达斌、张宝玉、张文骏合作编著,其中第一章、第六章至第十章由朱达斌执笔。第二、三章由张宝玉执笔,第四、五章由张文骏执笔。全书由朱达斌定稿。

本书在编写过程中得到了五邑大学各位校长及教务处、科研处、电子系、电教中心各位领

导的大力支持。在本书的编写与出版过程中,还得到了学报编辑部的杨承德和雷巧珍副编审及其他老师的热情帮助。张肃文教授审阅了本书书稿,并提出了许多宝贵的意见。

在此,对所有热忱帮助我们的各位女士及先生表示最诚挚最衷心的感谢。

由于我们水平有限,加之时间仓促,书中一定存在不少错误与不妥之处,敬请各位读者给予批评指正。

编 者

1993年5月

# 目 录

|                                                 |               |
|-------------------------------------------------|---------------|
| <b>第一章 模拟集成电路基础 .....</b>                       | <b>( 1 )</b>  |
| 第一节 模拟集成电路的种类与功能 .....                          | ( 1 )         |
| 一、 模拟集成电路的分类 .....                              | ( 1 )         |
| 二、 模拟集成电路的功能和电路系列 .....                         | ( 2 )         |
| 第二节 模拟集成电路的基本单元电路 .....                         | ( 2 )         |
| 一、 差动输入电路 .....                                 | ( 3 )         |
| 二、 恒流源电路 .....                                  | ( 7 )         |
| 三、 有源负载 .....                                   | ( 11 )        |
| 四、 输出单端化电路 .....                                | ( 12 )        |
| 五、 电平偏移电路 .....                                 | ( 13 )        |
| 六、 输出级及保护电路 .....                               | ( 15 )        |
| 第三节 模拟集成电路的主要生产厂家及其型号识别 .....                   | ( 16 )        |
| 一、 部分国内模拟集成电路厂家及其型号识别 .....                     | ( 16 )        |
| 二、 部分国外模拟集成电路型号的识别 .....                        | ( 18 )        |
| 第四节 模拟集成电路的封装外形 .....                           | ( 19 )        |
| <b>第二章 集成运算放大器的特性及其应用 .....</b>                 | <b>( 23 )</b> |
| 第一节 集成运算放大器基础 .....                             | ( 23 )        |
| 一、 理想运算放大器 .....                                | ( 23 )        |
| 二、 集成运算放大器的特性参数 .....                           | ( 25 )        |
| 三、 实际集成运算放大器及其等效电路 .....                        | ( 28 )        |
| 四、 集成运算放大器的发展与分类 .....                          | ( 33 )        |
| 第二节 集成运算放大器的应用技术 .....                          | ( 39 )        |
| 一、 集成运算放大器的选择 .....                             | ( 39 )        |
| 二、 集成运算放大器主要性能参数的测试 .....                       | ( 49 )        |
| 三、 集成运算放大器的相位补偿 .....                           | ( 53 )        |
| 四、 集成运算放大器的输出调零 .....                           | ( 58 )        |
| 五、 单电源供电时的偏置问题 .....                            | ( 60 )        |
| 六、 集成运算放大器的保护电路 .....                           | ( 61 )        |
| 第三节 典型集成运算放大器的特性及其应用 .....                      | ( 62 )        |
| 一、 通用型高增益集成运算放大器—— $\mu A741$ .....             | ( 62 )        |
| 二、 超 $\beta$ 通用型集成运算放大器—— $\mu A108/108A$ ..... | ( 64 )        |
| 三、 单电源低功耗通用集成运算放大器——LM158、LM124、LM2902 .....    | ( 66 )        |
| 四、 微功耗集成运算放大器——CA3078 .....                     | ( 68 )        |
| 五、 CMOS 高精度集成运算放大器——ICL7650 .....               | ( 70 )        |

|                                            |         |
|--------------------------------------------|---------|
| 六、 宽带集成运算放大器——HA2620 与 AD507 .....         | ( 73 )  |
| 七、 高速集成运算放大器——LM118 .....                  | ( 75 )  |
| 八、 BI-MOS 高阻集成运算放大器——CA3140 .....          | ( 77 )  |
| 九、 低功耗程控集成运算放大器——LM4250 .....              | ( 78 )  |
| <b>第三章 特殊集成放大器</b> .....                   | ( 81 )  |
| 第一节 集成仪表放大器 .....                          | ( 81 )  |
| 一、 集成仪表放大器的基本特性 .....                      | ( 81 )  |
| 二、 典型集成仪表放大器的特性及其应用 .....                  | ( 83 )  |
| 第二节 集成隔离放大器 .....                          | ( 103 ) |
| 一、 集成隔离放大器的基本特性 .....                      | ( 103 ) |
| 二、 典型集成隔离放大器的特性及其应用 .....                  | ( 105 ) |
| 第三节 集成程控增益放大器 .....                        | ( 115 ) |
| 一、 PGA102 数字程控增益放大器 .....                  | ( 116 ) |
| 二、 PGA100 数字程控增益放大器 .....                  | ( 117 ) |
| 三、 LH0086/LH0086C 数字程控增益放大器 .....          | ( 118 ) |
| <b>第四章 集成稳压器和集成电压基准源</b> .....             | ( 123 ) |
| 第一节 集成稳压器的基本类型及工作原理 .....                  | ( 123 ) |
| 一、 集成稳压器的类别及其特点 .....                      | ( 123 ) |
| 二、 集成稳压器的基本工作原理 .....                      | ( 125 ) |
| 三、 集成稳压器电路品种举例 .....                       | ( 125 ) |
| 第二节 集成稳压器的参数及其测试 .....                     | ( 128 ) |
| 一、 线性集成稳压器的性能参数及其测试方法 .....                | ( 129 ) |
| 二、 线性集成稳压器的的工作参数及其测试方法 .....               | ( 131 ) |
| 第三节 集成稳压器应用设计 .....                        | ( 135 ) |
| 一、 集成稳压器的选择 .....                          | ( 135 ) |
| 二、 集成稳压器的输入设计 .....                        | ( 141 ) |
| 三、 集成稳压器的散热设计 .....                        | ( 144 ) |
| 四、 集成稳压器电压和电流的扩展 .....                     | ( 144 ) |
| 五、 保护电路 .....                              | ( 147 ) |
| 六、 关于集成稳压器的功能扩展 .....                      | ( 147 ) |
| 第四节 典型线性集成稳压器的特性及应用 .....                  | ( 150 ) |
| 一、 固定式正电压 78 系列 .....                      | ( 150 ) |
| 二、 固定式负电压 79 系列 .....                      | ( 152 ) |
| 三、 可调式正电压集成稳压器——117/217/317 系列 .....       | ( 153 ) |
| 四、 可调式负电压集成稳压器——137/237/337 系列 .....       | ( 154 ) |
| 五、 LM150/LM250/LM350——3A 可调式正电压集成稳压器 ..... | ( 156 ) |
| 六、 LM138/LM238/LM338——5A 可调式正电压集成稳压器 ..... | ( 156 ) |
| 七、 LM196/LM396——10A 可调式正电压集成稳压器 .....      | ( 157 ) |
| 第五节 集成基准电压源 .....                          | ( 159 ) |

|                                                                |       |
|----------------------------------------------------------------|-------|
| 一、 AD584——引脚可编程的精密集成基准电压源 .....                                | (163) |
| 二、 MC1403——能隙集成基准电压源 .....                                     | (165) |
| 三、 NJM78L02——三端集成基准电压源 .....                                   | (166) |
| 四、 REF10——高精度集成基准电压源 .....                                     | (167) |
| 五、 REF101——高电压集成基准电压源 .....                                    | (168) |
| 六、 LH0070/LH0071——精密十进制/二进制缓冲集成基准电压源 .....                     | (169) |
| 七、 LM136/LM236/LM336——2.5V 基准二极管 .....                         | (169) |
| 八、 LM199/LM299/LM399 系列精密集成基准电压源 .....                         | (170) |
| 第六节 集成电压反相器——ICL7660 .....                                     | (171) |
| 一、 概述 .....                                                    | (171) |
| 二、 典型应用 .....                                                  | (172) |
| 第七节 集成交流/直流及集成直流/直流变换器 .....                                   | (173) |
| 一、 MAX610 系列集成交流/直流变换器 .....                                   | (173) |
| 二、 RC4190 系列高效集成直流升压器 .....                                    | (175) |
| 三、 集成直流升压模块 .....                                              | (177) |
| 四、 其它集成交流/直流及集成直流/直流变换组件 .....                                 | (178) |
| <b>第五章 集成波形发生器</b> .....                                       | (181) |
| 第一节 基本信号发生器 .....                                              | (181) |
| 一、 由集成运算放大器构成的正弦波信号发生器 .....                                   | (181) |
| 二、 CMOS 振荡器 .....                                              | (185) |
| 第二节 集成函数发生器——8038 .....                                        | (187) |
| 一、 8038 的原理框图、封装外形及基本工作原理 .....                                | (187) |
| 二、 8038 的引脚功能说明 .....                                          | (188) |
| 三、 典型应用——音频函数发生器 .....                                         | (190) |
| 四、 8038 的有关设计公式及设计举例 .....                                     | (193) |
| 五、 8038 应用电路举例 .....                                           | (194) |
| 第三节 集成压控振荡器 .....                                              | (195) |
| 一、 LM566 集成压控振荡器 .....                                         | (195) |
| 二、 XR-2206 集成函数发生器 .....                                       | (200) |
| 三、 XR-2209 集成精密振荡器 .....                                       | (204) |
| <b>第六章 集成电压比较器及集成模拟开关</b> .....                                | (207) |
| 第一节 集成电压比较器的特性参数与应用 .....                                      | (207) |
| 一、 集成电压比较器的性能 .....                                            | (207) |
| 二、 集成电压比较器的参数测试 .....                                          | (214) |
| 三、 集成电压比较器的基本应用——电平比较 .....                                    | (216) |
| 第二节 常用集成电压比较器的特性及典型应用 .....                                    | (218) |
| 一、 LM311 .....                                                 | (218) |
| 二、 LM193(A)/LM293(A)/LM393(A)、LM2903——低功耗低失调集成双<br>电压比较器 ..... | (222) |

|                                                     |       |
|-----------------------------------------------------|-------|
| 三、 MC14574——CMOS 集成四电压比较器 .....                     | (224) |
| 四、 4115/04——集成窗口比较器 .....                           | (227) |
| 五、 LM160/LM260/LM360——高速差动集成电压比较器 .....             | (227) |
| 六、 LM161/LM261/LM361——高速差动集成电压比较器 .....             | (228) |
| 七、 TL811M/TL811C——有选通的双通道差动输入线或输出的集成电压<br>比较器 ..... | (228) |
| 八、 TA7523AS/S——具有互补输出的集成电压比较器 .....                 | (229) |
| 九、 其它几种常用集成电压比较器的功能框图与封装引脚 .....                    | (230) |
| 第三节 集成模拟开关的类型、参数及应用 .....                           | (233) |
| 一、 集成模拟开关的功能与类型 .....                               | (233) |
| 二、 集成模拟开关的主要参数及其测试方法 .....                          | (235) |
| 三、 集成双向模拟开关与多路模拟选择开关的应用 .....                       | (237) |
| 第四节 常用集成模拟开关的特性及典型应用 .....                          | (241) |
| 一、 SPST/SPDT 集成双向模拟开关 .....                         | (244) |
| 二、 集成多路模拟选择开关 .....                                 | (251) |
| <b>第七章 集成定时电路</b> .....                             | (259) |
| 第一节 概述 .....                                        | (259) |
| 一、 定时器的功能 .....                                     | (259) |
| 二、 集成定时电路产品种类 .....                                 | (259) |
| 第二节 555 集成定时器 .....                                 | (263) |
| 一、 电路的功能框图与封装引脚 .....                               | (263) |
| 二、 555 的特性与参数 .....                                 | (264) |
| 三、 555 的典型工作模式 .....                                | (265) |
| 第三节 LM122 系列集成定时器 .....                             | (270) |
| 一、 电路的功能框图与封装外形 .....                               | (270) |
| 二、 引脚功能说明 .....                                     | (270) |
| 三、 特性与参数 .....                                      | (272) |
| 四、 使用说明 .....                                       | (273) |
| 五、 典型应用举例 .....                                     | (275) |
| 第四节 集成可编程定时器/计数器——2240 .....                        | (277) |
| 一、 2240 的功能框图及其特点 .....                             | (277) |
| 二、 封装外形与引脚说明 .....                                  | (278) |
| 三、 主要参数 .....                                       | (279) |
| 四、 电路工作说明 .....                                     | (280) |
| 五、 其它集成可编程定时器/计数器 .....                             | (283) |
| 六、 固定式集成定时器/计数器——XR-2242 .....                      | (285) |
| 七、 集成定时器/计数器的比较 .....                               | (287) |
| 第五节 其它集成定时器 .....                                   | (287) |
| 一、 355 工业定时器 .....                                  | (287) |

|                                              |       |
|----------------------------------------------|-------|
| 二、微功耗定时器与低功耗定时器——7555/7556 与 L555/L556 ..... | (289) |
| 三、线性电压输出的定时器——XR-320 .....                   | (290) |
| 四、集成四定时器——NE558/NE559 .....                  | (293) |
| <b>第八章 集成模拟乘法器</b> .....                     | (295) |
| 第一节 模拟乘法器的基本概念 .....                         | (295) |
| 一、模拟乘法器的功能与表示方法 .....                        | (295) |
| 二、乘法器的工作象限 .....                             | (296) |
| 三、理想乘法器的基本特性 .....                           | (296) |
| 四、实际乘法器的误差 .....                             | (297) |
| 第二节 可变跨导模拟乘法器 .....                          | (299) |
| 一、可变跨导相乘法的基本原理 .....                         | (299) |
| 二、集成双平衡模拟乘法器 .....                           | (301) |
| 三、第一代线性化可变跨导四象限集成模拟乘法器——MC1595L .....        | (304) |
| 四、第二代可变跨导式集成模拟乘法器 .....                      | (308) |
| 五、利用有源负反馈的高性能第三代集成模拟乘法器 .....                | (313) |
| 六、四象限乘法器的误差补偿与调整方法 .....                     | (316) |
| 第三节 集成模拟乘法器的技术参数及其测试 .....                   | (317) |
| 一、传输功能 .....                                 | (317) |
| 二、满量程总误差及其漂移 .....                           | (318) |
| 三、输出失调电压 .....                               | (319) |
| 四、增益系数误差 .....                               | (319) |
| 五、非线性度 .....                                 | (320) |
| 六、X 和 Y 馈通误差电压 .....                         | (322) |
| 七、输入特性 .....                                 | (323) |
| 八、输出特性 .....                                 | (325) |
| 九、共模特性 .....                                 | (325) |
| 十、小信号动态参数 .....                              | (326) |
| 十一、大信号动态参数 .....                             | (328) |
| 第四节 集成模拟乘法器在模拟运算电路中的应用 .....                 | (330) |
| 一、相乘和乘方运算 .....                              | (330) |
| 二、除法运算 .....                                 | (330) |
| 三、开方运算 .....                                 | (332) |
| 四、函数发生器 .....                                | (333) |
| 第五节 集成模拟乘法器在通信电路中的应用 .....                   | (334) |
| 一、振幅调制 .....                                 | (334) |
| 二、混频 .....                                   | (336) |
| 三、倍频 .....                                   | (337) |
| 四、同步检波 .....                                 | (337) |
| 五、鉴相 .....                                   | (339) |

|                                      |       |
|--------------------------------------|-------|
| 六、鉴频 .....                           | (340) |
| 七、自动增益控制 .....                       | (343) |
| <b>第九章 集成锁相环路</b> .....              | (344) |
| 第一节 锁相的基本概念 .....                    | (344) |
| 一、锁相技术发展简史 .....                     | (344) |
| 二、锁相环路的基本概念 .....                    | (345) |
| 三、锁相技术的特点 .....                      | (346) |
| 四、锁相技术的应用范围 .....                    | (347) |
| 五、锁相环路的分类 .....                      | (347) |
| 第二节 锁相环路的基本工作原理 .....                | (348) |
| 一、锁相环路的组成及工作原理 .....                 | (348) |
| 二、锁相环路的相位数学模型及动态方程 .....             | (352) |
| 三、环路锁定的概念 .....                      | (353) |
| 四、一阶锁相环 .....                        | (354) |
| 第三节 集成锁相环路的参数及其测试 .....              | (357) |
| 一、集成锁相环路部件的测试 .....                  | (357) |
| 二、集成锁相环路静态参数测试 .....                 | (358) |
| 三、集成锁相环路的动态参数测试 .....                | (360) |
| 第四节 集成锁相环路的特性及其应用 .....              | (362) |
| 一、NE-560 .....                       | (363) |
| 二、NE-561 .....                       | (366) |
| 三、NE-562(L-562) .....                | (368) |
| 四、超高频集成锁相环——NE-564 .....             | (373) |
| 五、NE-565 .....                       | (377) |
| 六、NE-567 .....                       | (381) |
| 七、低功耗 CMOS 集成锁相环——CD4046B .....      | (385) |
| 八、其它单片集成锁相环路 .....                   | (390) |
| <b>第十章 集成电路 V/F 与 F/V 变换器</b> .....  | (395) |
| 第一节 LM131 系列精密集成 V/F 与 F/V 变换器 ..... | (396) |
| 一、主要特点 .....                         | (397) |
| 二、极限参数与电气特性 .....                    | (397) |
| 三、电路组成框图与封装外形 .....                  | (398) |
| 四、典型应用 .....                         | (399) |
| 第二节 9400 系列集成 V/F 与 F/V 变换器 .....    | (406) |
| 一、9400 的封装外形及引脚功能 .....              | (406) |
| 二、V/F 变换器 .....                      | (408) |
| 三、F/V 变换器 .....                      | (411) |
| 四、典型应用举例 .....                       | (416) |
| 第三节 XR-4151 集成 V/F 与 F/V 变换器 .....   | (418) |

|                                      |       |
|--------------------------------------|-------|
| 一、XR-4151 的功能框图与封装外形 .....           | (418) |
| 二、V/F 变换器 .....                      | (419) |
| 三、F/V 变换器 .....                      | (420) |
| 四、XR-4151 实用中外围元件的设计 .....           | (422) |
| 五、关于 4151 集成电路的其它型号 .....            | (423) |
| 六、4151 系列典型应用实例 .....                | (425) |
| 第四节 Burr-Brown 公司的 VFC 集成电路 .....    | (426) |
| 一、VFC32 集成 V/F 和 F/V 变换器 .....       | (426) |
| 二、VFC42/VFC52 集成 V/F 与 F/V 变换器 ..... | (429) |
| 三、VFC62 集成 V/F 与 F/V 变换器 .....       | (431) |
| 四、VFC320 集成 V/F 与 F/V 变换器 .....      | (432) |
| 五、VFC100 集成同步 V/F 变换器 .....          | (432) |
| 六、小结 .....                           | (433) |
| 第五节 LM2907/LM2917 集成 F/V 变换器 .....   | (435) |
| 一、功能框图与封装引脚 .....                    | (435) |
| 二、主要特点 .....                         | (436) |
| 三、极限参数与电气参数 .....                    | (436) |
| 四、测试电路及波形 .....                      | (438) |
| 五、应用说明 .....                         | (438) |
| 六、典型应用举例 .....                       | (440) |
| 主要参考资料 .....                         | (444) |

# 第一章 模拟集成电路基础

在介绍具体的工业用模拟集成电路的特性及其典型应用电路之前,有必要对模拟集成电路的功能、种类、封装和电路识别等基本知识有一个较为详细的了解,为以后使用模拟集成电路提供方便。本章还介绍了模拟集成电路的基本单元电路。

## 第一节 模拟集成电路的种类与功能

### 一、模拟集成电路的分类

集成电路一般分为模拟集成电路和数字集成电路两大类。数字集成电路是对数字信号(逻辑量)进行处理的集成电路,而模拟集成电路则是对连续变化的模拟量进行放大、转换和处理的。1967年国际电工委员会(IEC)提出,凡数字集成电路以外的集成电路统称为模拟集成电路。

模拟集成电路又可以根据构造(或制作工艺)、功能、用途、工作频率等再进行划分。

根据制作工艺的不同,集成电路可以分为半导体集成电路、膜集成电路和混合集成电路三种。利用氧化、扩散、光刻、外延、蒸发等一系列平面工艺,在一小块单晶硅片上,同时制作出晶体管、二极管及阻容元件,使这些元器件在电性能上互相隔离,元器件之间需要连接的地方通过蒸发铝层互相连接,这就是半导体集成电路。如果利用丝网漏印的方法,在陶瓷或玻璃绝缘基片上,放上预先做好的漏印板,把电阻材料的印浆通过漏印板印制在基片上,烘干后形成厚膜电阻(这种膜电阻的膜厚在数微米左右),这就是厚膜电路。如果以微晶玻璃或陶瓷为基片,采用真空镀膜或阴极溅射等方法,在基片表面依次蒸发多层薄膜,相互重叠形成电路,做成阻容元件,这就是薄膜集成电路,此时膜的厚度在1微米以下。薄膜电路和厚膜电路统称为膜集成电路。凡是不能由半导体集成技术或膜集成技术单独制成,而是利用半导体集成技术、膜集成技术、分立元件三种工艺方法中的任意两种或三种混合制成的微型模块,就叫做混合集成电路。模拟集成电路中的大功率集成电路往往是混合集成电路的形式。将有源器件都制作在一块单晶片上,并和膜集成阻容元件连接成完整的电路,这就称为单片混合集成电路。如果将有源器件分别做在几块单晶片上,而将电阻、电容用膜集成技术做在陶瓷或玻璃基片上,然后将这几个单片置于同一底座上,并用相应方法连接成完整的电路,这就是多片混合集成电路。

按照集成电路的适用范围,模拟集成电路可以分为通用型和专用型两种。通用型集成电路适用范围广,如集成运算放大器、集成功率放大器、集成电压放大器就是属于这一种。集成模拟乘法器、集成锁相环路也有通用型品种。专用集成电路是根据具体要求专门设计的,如收音机、录音机、电视机中的某些集成电路就是专用型的。

按照工作温度范围的不同,集成电路也可以划分为几种。温度范围为 $-55\sim+125^{\circ}\text{C}$ 的属于军用品, $-25$ (或 $-40$ ) $\sim+85^{\circ}\text{C}$ 为工业用品,民用品的温度范围则是 $0\sim+70^{\circ}\text{C}$ 。

从输出信号与输入信号的关系考虑,模拟集成电路又分为线性与非线性两种。各种集成运算放大器和高频、中频、低频放大器属于线性集成电路。各种混频器、振荡器、对数放大器、整流、检波和函数变换电路均属非线性电路。由于线性电路的处理方法比较成熟,且在一定条件下,某些非线性的工程计算可以用准线性方法来处理,因此常常有人在习惯上把模拟集成电路笼统的叫做线性集成电路。当然,这种称呼是不严密的。

## 二、模拟集成电路的功能和电路系列

模拟集成电路的发展要比数字集成电路晚几年,直到1964年才研制成功第一代模拟集成电路—— $\mu A702$ 集成运算放大器。随着集成电路工艺水平的提高以及电路设计上的改进,使集成电路向着多功能、系列化方向有了很大发展。尤其是近十多年来,模拟集成电路的发展更加迅速,不少通用性较强的产品已日益完善,技术指标已提高到一个新的水平,产品基本上实现了系列化,线路基本上趋于标准化。随着集成电路工艺水平的进一步提高,模拟集成电路的集成度一定会得到相应提高。尤其是双极型与单极型器件同时集成在一块硅片的兼容工艺,以及其它一些半导体器件的兼容工艺,导致了不少功能特殊、性能优越的新品种不断出现。根据模拟集成电路的功能和电路,又可以分为以下系列:

1. “多元件”电路——所谓“多元件”是指在一块硅片中集成有多个晶体管组成的晶体管阵列。同一芯片中晶体管的 $h_{FE}$ 及 $V_{BE}$ 等特性参数的一致性较好,温度变化产生的影响较小。例如, $\mu A726A$ 是一种特殊的晶体管对,同一芯片中有温控电路,因而能使芯片的温度一定。 $CA3096AE$ 则集成了特性相同的三个NPN及两个PNP晶体管阵列。多晶体管阵列 $CA3084E$ 的框图如图1-1-1所示,其特点是 $T_5$ 和 $T_6$ 采用达林顿接法, $h_{FE}$ 高达1200以上,而 $T_3$ 和 $T_4$ 的基极接入公共偏压二极管 $D_1$ ,由于电流的密勒效应, $I_5$ 能将 $I_3$ 和 $I_4$ 的偏差控制在15%以内。

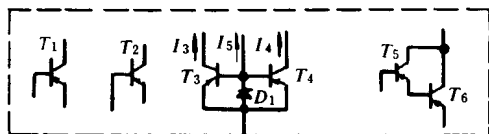


图 1-1-1 多晶体管阵列 (CA3084E)

2. 放大器系列——放大器系列占模拟集成电路的比例最大,其中又以集成运算放大器的品种及产量最多。音频放大器、视频(图像)放大器、RF/IF 放大器、差动放大器、运算放大器、模拟乘法器、电源用集成电路以及收音机/电视机用的解调集成电路都属于这一系列。

3. 开关电路系列——模拟开关、电压比较器、定时器、感应放大器和 SCR 触发电路都包括在这个系列中。其中感应放大器是作为读取磁芯存储器用的放大器而设计的一种比较器,而 SCR 触发电路则是由电压比较器和触发器所组成的。

4. 功能电路——集成锁相环路、集成函数发生器、集成音调解码器、集成压控振荡器、集成报警电路以及其它专用集成电路,都属于这个系列。

## 第二节 模拟集成电路的基本单元电路

模拟集成电路是在分立元件的模拟电路理论和数字集成电路工艺的基础上发展起来的。在电路构成方面,模拟集成电路具有以下特点:

### (1) 电路结构与元件参数具有对称性

尽管集成电路工艺制作的元件、器件的参数精度不高,但是相同元件、器件的制作工艺相同,当它们的结构相同且几何尺寸相同时,它们的特性和参数就比较一致。因此,在模拟集成电路中往往采用结构对称或元件参数彼此匹配的电路形式,利用参数补偿的原理来提高电路的性能。

### (2) 用有源器件代替无源器件

由于集成化的晶体管占用的芯片面积小,参数也易于匹配,因此在模拟集成电路中常常用双极型晶体管或场效应管等有源器件来代替电阻、电容等无源元件。

### (3) 采用复合结构的电路

由于复合结构电路的性能较佳而制作又不增加多少困难,因而在模拟集成电路中多采用诸如复合晶体管、共射-共基组合及共集-共基组合等复合结构电路。

### (4) 外接少量分立元件

由于目前集成电路工艺还不宜制作电感,大容量的电容以及阻值较小和阻值较大的电阻也难以集成,因此,模拟集成电路在应用时还需接部分电感、电阻和电容等元件。另外,某些模拟集成电路中往往需要在不同的应用条件下调整偏置,因此也需要外接部分分立元件。

虽然模拟集成电路的种类繁多,电路功能也千差万别,但是它们的基本组成部分却十分相似,因而掌握模拟集成电路的基本单元电路,对于理解各种模拟集成电路的工作原理是很有帮助的。

模拟集成电路中的基本单元电路包括差动输入电路、恒流源电路、有源负载、电平偏移电路、输出单端化电路、输出级及其保护电路几部分。

## 一、差动输入电路

许多模拟集成电路的输入级往往是一个高增益的直流放大器,为了抑制零点漂移,几乎都采用差动输入电路。差动输入电路除了要求有良好的对称性,以提高共模抑制比减小零点漂移外,还要求尽量减小其基极偏置电流,以提高电路的输入阻抗,而基极偏流的减小也能减小输入失调电流,从而减小零点漂移。因此,需要采用复合结构的差动输入电路,其中比较常用的有复合管差动输入电路、共集-共基差动输入电路、结型场效应管差动输入电路等。许多高性能集成运算放大器的输入级都是如此。

### 1. 基本差动放大电路

在讨论模拟集成电路中常用的复合型差动输入电路之前,首先介绍基本差动放大电路,并给出其基本特性,以便同复合差动放大电路进行比较。

图 1-2-1 是基本差动放大器的电路图。假设两个晶体管  $T_1$  和  $T_2$  是对称的,它们具有相同的参数。而且又假定它们是理想晶体管,即  $r_{bb'}=0$ ,  $r_{ce'}=0$ , 电纳  $g_{ce}=0$  (或  $r_{ce}=\infty$ ), 则有:

$$V_{i1}-V_{be1}+V_{be2}-V_{i2}=0 \quad (1-2-1)$$

据 Ebers-Moll 方程,可以写出:

$$V_{be1}=V_T \ln \frac{I_{c1}}{I_{cs}} \quad (1-2-2)$$

$$V_{be2}=V_T \ln \frac{I_{c2}}{I_{cs}} \quad (1-2-3)$$