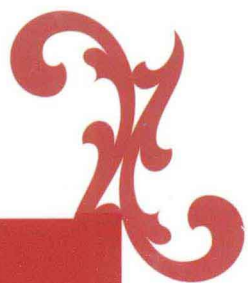




浙江省重点教材建设项目

教育部高等学校电工电子基础课程教学指导委员会推荐教材
电子信息学科基础课程系列教材



电子系统设计与实践 (第3版)

贾立新 王涌 陈怡 编著

清华大学出版社





教育部高等学校电工电子基础课程教学指导委员会推荐教材
电子信息学科基础课程系列教材

电子系统设计与实践 (第3版)

贾立新 王涌 陈怡 编著

清华大学出版社

内 容 简 介

本书是浙江省高等教育重点建设立项教材和浙江工业大学重点建设教材,是作者十多年指导大学生电子设计竞赛和课程建设的经验总结,也是通过大学生电子设计竞赛促进课程教学改革的成果之一。

本书内容由模拟电子系统设计、数字电子系统设计、SoC 单片机系统设计和综合电子系统设计四部分组成。全书分为 11 章,包括基于集成运放的放大电路设计、模拟滤波器设计、直流稳压电源设计、CPLD 和 FPGA 的基本结构和原理、基于 CPLD/FPGA 的数字系统设计、SoC 单片机 C8051F360 的基本原理、SoC 单片机系统扩展技术、数字化语音存储与回放系统、DDS 信号发生器、高速数据采集系统、基于 CAN 总线的温度检测系统。每一章后均安排相应的设计训练题。

本书的主要特色是突出了 SoC 单片机和 CPLD/FPGA 相结合、数字技术和模拟技术相结合、功能和指标兼顾的电子系统设计方法。

本书可作为高等院校电子电气类专业有关电子系统设计、电子技术综合提高型实验、大学生电子设计竞赛赛前训练等实践类课程的教材,也可作为具备模电、数电、单片机等基础知识的读者学习电子系统设计方法的参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。
版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电子系统设计与实践/贾立新,王涌,陈怡编著.--3 版.--北京:清华大学出版社,2014
电子信息学科基础课程系列教材
ISBN 978-7-302-33418-7

I. ①电… II. ①贾… ②王… ③陈… III. ①电子系统—系统设计 IV. ①TN202

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 182808 号

责任编辑:文 怡
封面设计:常雪影
责任校对:李建庄
责任印制:王静怡

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京嘉实印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:24.75 字 数:616 千字

版 次:2007 年 4 月第 1 版 2014 年 1 月第 3 版 印 次:2014 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:44.50 元

产品编号:053642-01

《电子信息学科基础课程系列教材》 编 审 委 员 会

主任委员

王志功(东南大学)

委员 (按姓氏笔画)

马旭东(东南大学)

王小海(浙江大学)

王 萍(天津大学)

刘宗行(重庆大学)

刘新元(北京大学)

张晓林(北京航空航天大学)

陈后金(北京交通大学)

郭宝龙(西安电子科技大学)

高上凯(清华大学)

徐淑华(青岛大学)

崔 翔(华北电力大学)

董在望(清华大学)

蒋宗礼(北京工业大学)

邓建国(西安交通大学)

王诗宓(清华大学)

王福昌(华中科技大学)

刘润华(中国石油大学)

张 石(东北大学)

沈连丰(东南大学)

郑宝玉(南京邮电大学)

柯亨玉(武汉大学)

高小榕(清华大学)

袁建生(清华大学)

傅丰林(西安电子科技大学)

曾孝平(重庆大学)

《电子信息学科基础课程系列教材》 丛书序

电子信息学科是当今世界上发展最快的学科,作为众多应用技术的理论基础,对人类文明的发展起着重要的作用。它包含诸如电子科学与技术、电子信息工程、通信工程和微波工程等一系列子学科,同时涉及计算机、自动化和生物电子等众多相关学科。对于这样一个庞大的体系,想要在学校将所有知识教给学生已不可能。以专业教育为主要目的的大学教育,必须对自己的学科知识体系进行必要的梳理。本系列丛书就是试图搭建一个电子信息学科的基础知识体系平台。

目前,中国电子信息类学科高等教育的教学中存在着如下问题:

- (1) 在课程设置和教学实践中,学科分立,课程分立,缺乏集成和贯通;
- (2) 部分知识缺乏前沿性,局部知识过细、过难,缺乏整体性和纲领性;
- (3) 教学与实践环节脱节,知识型教学多于研究型教学,所培养的电子信息学科人才不能很好地满足社会的需求。

在新世纪之初,积极总结我国电子信息类学科高等教育的经验,分析发展趋势,研究教学与实践模式,从而制定出一个完整的电子信息学科基础教程体系,是非常有意义的。

根据教育部高教司 2003 年 8 月 28 日发出的[2003]141 号文件,教育部高等学校电子信息与电气信息类基础课程教学指导分委员会(基础课分教指委)在 2004—2005 两年期间制定了“电路分析”、“信号与系统”、“电磁场”、“电子技术”和“电工学”5 个方向电子信息科学与电气信息类基础课程的教学基本要求。然而,这些教学要求基本上是按方向独立开展工作的,没有深入开展整个课程体系的研究,并且提出的是各课程最基本的教学要求,针对的是“2+X+Y”或者“211 工程”和“985 工程”之外的大学。

同一时期,清华大学出版社成立了“电子信息学科基础教程研究组”,历时 3 年,组织了各类教学研讨会,以各种方式和渠道对国内外一些大学的 EE(电子电气)专业的课程体系进行收集和 research,并在国内率先推出了关于电子信息学科基础课程的体系研究报告《电子信息学科基础教程 2004》。该成果得到教育部高等学校电子信息与电气学科教学指导委员会的高度评价,认为该成果“适应我国电子信息学科基础教学的需要,有较好的指导意义,达到了国内领先水平”,“对不同类型院校构建相关学科基础教学平台均有较好的参考价值”。

在此基础上,由我担任主编,筹建了“电子信息学科基础课程系列教材”编委会。编委会多次组织部分高校的教学名师、主讲教师和教育部分高等学校教学指导委员会委员,进一步探讨和完善《电子信息学科基础教程 2004》研究成果,并组织编写了这套“电子信息学科基础课程系列教材”。

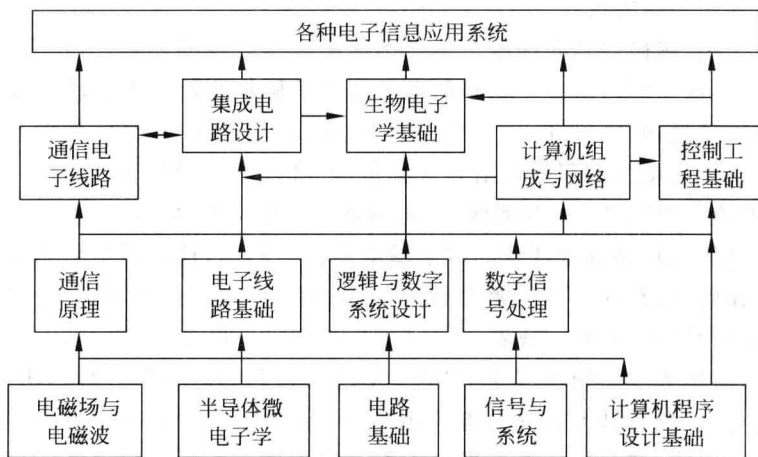
在教材的编写过程中,我们强调了“基础性、系统性、集成性、可行性”的编写原则,突出了以下特点:

- (1) 体现科学技术领域已经确立的新知识和新成果。
- (2) 学习国外先进教学经验,汇集国内最先进的教学成果。
- (3) 定位于国内重点院校,着重于理工结合。

(4) 建立在对教学计划和课程体系的研究基础之上,尽可能覆盖电子信息学科的全部基础。本丛书规划的 14 门课程,覆盖了电气信息类如下全部 7 个本科专业:

- 电子信息工程
- 通信工程
- 信息工程
- 计算机科学与技术
- 自动化
- 电气工程与自动化
- 生物医学工程

(5) 课程体系整体设计,各课程知识点合理划分,前后衔接,避免各课程内容之间交叉重复,目标是使各门课程的知识点形成有机的整体,使学生能够在规定的课时数内,掌握必需的知识和技术。各课程之间的知识点关联如下图所示:



即力争将本科生的课程限定在有限的与精选的一套核心概念上,强调知识的广度。

(6) 以主教材为核心,配套出版习题解答、实验指导书、多媒体课件,提供全面的教学解决方案,实现多角度、多层面的人才培养模式。

(7) 由国内重点大学的精品课主讲教师、教学名师和教指委委员担任相关课程的设计和教材的编写,力争反映国内最先进的教改成果。

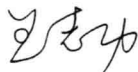
我国高等学校电子信息类专业的办学背景各不相同,教学和科研水平相差较大。本系列教材广泛听取了各方面的意见,汲取了国内优秀的教学成果,希望能为电子信息学科教学提供一份精心配备的搭配科学、营养全面的“套餐”,能为国内高等学校教学内容

和课程体系的改革发挥积极的作用。

然而,对于高等院校如何培养出既具有扎实的基本功,又富有挑战精神和创造意识的社会栋梁,以满足科学技术发展和国家建设发展的需要,还有许多值得思考和探索的问题。比如,如何为学生营造一个宽松的学习氛围?如何引导学生主动学习,超越自己?如何为学生打下宽厚的知识基础和培养某一领域的研究能力?如何增加工程方法训练,将扎实的基础和宽广的领域才能转化为工程实践中的创造力?如何激发学生深入探索的勇气?这些都需要我们教育工作者进行更深入的研究。

提高教学质量,深化教学改革,始终是高等学校的工作重点,需要所有关心我国高等教育事业人士的热心支持。在此,谨向所有参与本系列教材建设工作的同仁致以衷心的感谢!

本套教材可能会存在一些不当甚至谬误之处,欢迎广大的使用者提出批评和意见,以促进教材的进一步完善。



2008年1月

大学生课外科技活动已经成为人才培养的重要环节。作为学生课外科技活动的重要平台,全国大学生电子设计竞赛对电子信息类专业学生的人才培养发挥了巨大促进作用,同时也极大促进了相关课程建设和改革。目前,越来越多的电子信息类专业开设了以培养学生工程实践能力为主要目标的电子系统设计制作方面的课程,将学生电子系统设计能力的培养常态化、课程化,增加学生受益面。编写本书的目的就是为具备模电、数电、单片机等基础知识的学生开设电子系统设计、电子设计竞赛赛前训练等实践课程提供一本合适的教材或参考书。

本书是在浙江省高等教育重点建设教材《电子系统设计与实践》第1版和第2版基础上重新编写出版的,是作者十多年指导大学生电子设计竞赛和课程建设的经验总结。本书内容分为以下4部分。

第一部分为模拟电子系统设计。这部分内容由第1章~第3章组成。第1章简要介绍由运放构成的典型放大电路,分析集成运算放大器主要参数,给出集成运放的选择和使用方法。第2章介绍无限增益多重反馈滤波器的设计方法以及开关电容滤波器的原理和使用方法。第3章介绍线性稳压电源和DC/DC开关电源基本原理和设计方法。这一部分内容与模拟电子技术课程相关内容衔接,目的是帮助读者在理论知识和实际模拟电路之间构建一座桥梁。本部分各章内容相对独立,可以分别安排2学时授课课时。

第二部分为数字电子系统设计。这部分内容由第4章和第5章组成。第4章以Altera公司主流芯片为例,介绍CPLD/FPGA结构和原理;再以FPGA最小系统板的设计为实例,介绍FPGA的配置技术、硬件系统测试技术以及内部资源的应用方法。第5章结合数字频率计和 4×4 矩阵键盘编码器两个典型实例,介绍基于CPLD/FPGA的数字系统设计方法和流程。这一部分内容既是一个独立的整体,也与后续章节有机联系。例如 4×4 矩阵键盘编码器将在第6章的单片机最小系统设计中得到应用,FPGA内部嵌入式存储器将在第9章和第10章中介绍的电子系统中得到应用。本部分内容教学安排可根据先修课程灵活掌握,部分内容也适合学生自学,一般安排4学时的授课课时即可。

第三部分为SoC单片机电子系统设计。这部分内容由第6章和第7章组成。第6章介绍C8051F360单片机基本组成、单片机最小系统设计、基本程序设计。C8051F360单片机内核和指令系统与MCS-51单片机兼容,但其性能与内部资源远优于MCS-51单片机。对于具备MCS-51单片机基础的读者来说,可以在较短的时间内掌握C8051F360单片机的使用方法。单片机最小系统是本章的重点,它是后续各章电子系统的核心组成

部分,其独特的设计思路也为读者设计其他型号的单片机最小系统提供有价值的参考。第7章通过多个单片机应用系统设计实例介绍 SoC 单片机系统扩展技术。这些设计实例功能和技术指标兼顾,注重数字与模拟电路结合,注重新型集成芯片的应用。本部分内容篇幅较大,有关 C8051F360 单片机的内部资源和程序设计可安排学生自学,其中设计实例并不需要全部讲授,教师可以根据自己的需要选择适当的设计实例讲授给学生。本部分内容建议安排 10 学时。

第四部分为综合电子系统设计。这部分内容由第 8 章~第 11 章组成。该部分内容选取了数字化语音存储与回放、DDS 信号发生器、高速数据采集系统和基于 CAN 总线的温度检测系统 4 个典型的设计实例,从方案设计、理论分析计算、软硬件详细设计、系统调试等四方面介绍综合电子系统的设计方法。这 4 个综合电子系统所涉及的技术应用范围很广,能起到举一反三的作用。每章内容可以安排 2 学时授课课时。

作为一本实践类教材,理论与实践相结合是作者追求的目标,作者为此付出了不懈努力。书中提供的硬件电路原理图、程序代码均经过作者调试验证,同时吸收了学生在练习过程中提出的宝贵意见,作者也从中体会到教学相长的乐趣。每一章节后面均安排设计训练题,这些设计训练题与每一章内容紧密结合,也适合学生实践训练。作者研制开发了一套模块化综合电子系统实验箱,将书中出现的典型电路制作成标准尺寸的模块,通过选用不同的模块可以构建书中所有设计实例和大部分设计训练题。该实验箱在 2010 年获全国电子技术教学研究会实验教学成果一等奖。与本书配套的教学资源包括 ppt 演示课件、实验箱使用说明书、测试程序可以在网站下载(<http://kczy.zjut.edu.cn/szdl>,"电子设计与科技创新")。

参加本书编写的有贾立新、王涌、陈怡等。第 3 章由陈怡编写,第 8 章由王涌编写,其余各章由贾立新编写。贾立新负责全书统稿。本书在编写过程中,得到了浙江工业大学信息工程学院省级电工电子实验教学示范中心各位老师的热情支持。在本书出版之际,谨向他们致以最诚挚的谢意。

清华大学出版社编辑为本书的出版做了卓有成效的工作,在此深表谢意。

本书的出版得到了 2013 年度浙江工业大学重点教材建设项目资助。

由于我们水平有限,书中难免有错误或不妥之处。如果您在阅读本书的过程中发现错误或是有改进本书的建议,请您通过 jlx@zjut.edu.cn 与作者联系。

作 者

2013 年 10 月于杭州浙江工业大学

第 1 章 基于集成运放的放大电路设计	1
1.1 运算放大器的模型	2
1.2 用集成运放构成的基本放大电路	3
1.3 集成运放的主要参数	9
1.4 集成运放的分类及选择	13
1.5 正确使用集成运算放大器	16
1.6 设计训练题	19
第 2 章 模拟滤波器设计	21
2.1 模拟有源滤波器设计	22
2.1.1 概述	22
2.1.2 无限增益多重反馈滤波器设计	26
2.2 开关电容滤波器原理及应用	36
2.2.1 开关电容滤波器的基本原理	36
2.2.2 单片集成开关电容滤波器应用	39
2.3 设计训练题	42
第 3 章 直流稳压电源设计	43
3.1 概述	44
3.2 固定式线性直流稳压电源设计	45
3.3 可调式直流稳压电源设计	49
3.4 开关直流稳压电源设计	51
3.4.1 降压型 DC/DC 变换电路设计	51
3.4.2 升压型 DC/DC 变换电路设计	53
3.4.3 极性反转型 DC/DC 变换电路设计	55
3.5 设计训练题	56
第 4 章 CPLD 和 FPGA 的基本结构和原理	57
4.1 概述	58
4.2 CPLD 的基本结构和原理	59

目录

4.3	FPGA 的基本结构和原理	63
4.4	FPGA 最小系统设计	73
4.4.1	设计方案	74
4.4.2	硬件电路设计	74
4.4.3	硬件电路测试	76
4.4.4	JTAG 间接模式编程配置器件	83
4.5	FPGA 最小系统应用举例——正弦信号发生器设计	86
4.6	设计训练题	93
第 5 章	基于 CPLD/FPGA 的数字系统设计	94
5.1	概述	95
5.2	硬件描述语言 VHDL 基础	95
5.2.1	VHDL 的语言要素	95
5.2.2	VHDL 程序的基本结构	98
5.2.3	VHDL 程序的句法	101
5.2.4	常量、变量与信号	108
5.2.5	VHDL 结构体的三种描述方法	111
5.3	4 位数字频率计设计	113
5.3.1	设计题目	113
5.3.2	工作原理	113
5.3.3	硬件电路设计	114
5.3.4	顶层设计和底层模块设计	116
5.3.5	设计项目的 Quartus II 操作流程	122
5.4	4×4 矩阵键盘编码器设计	130
5.4.1	设计题目	130
5.4.2	顶层原理图设计	131
5.4.3	底层模块设计	133
5.4.4	设计项目的输入和编译	135
5.4.5	功能测试	136
5.5	设计训练题	139

第 6 章 SoC 单片机 C8051F360 的基本原理	141
6.1 C8051F360 单片机的组成	142
6.1.1 C8051F360 单片机简介	142
6.1.2 输入输出端口	144
6.1.3 振荡器	150
6.1.4 10 位 A /D 转换器	155
6.1.5 10 位 D/A 转换器	161
6.1.6 中断系统	163
6.1.7 可编程计数器阵列	169
6.1.8 外部数据存储器接口	182
6.1.9 异步串行通信接口	186
6.2 单片机最小系统设计	191
6.2.1 方案设计	191
6.2.2 键盘显示模块设计	193
6.2.3 MCU 模块电路设计	200
6.3 C8051F360 单片机基本程序设计	203
6.3.1 单片机初始化程序设计	203
6.3.2 LCD 显示程序设计	206
6.3.3 键盘中断服务程序设计	217
6.3.4 异步串行通信程序设计	217
6.4 设计训练题	222
第 7 章 SoC 单片机系统扩展技术	224
7.1 概述	225
7.2 I/O 扩展技术	225
7.2.1 由三极管构成的开关量驱动电路	225
7.2.2 由达林顿管构成的开关量驱动电路	226
7.2.3 采用 LT1162 构成的 H 桥驱动电路	227
7.2.4 采用 DRV8812 构成的步进电机驱动电路	228
7.3 SPI 总线扩展技术	230
7.3.1 SPI 总线	230
7.3.2 C8051F360 单片机的增强型 SPI 接口	232

目录

7.3.3	SPI 总线扩展实例——数控电流源设计	236
7.3.4	SPI 总线扩展实例——程控放大器设计	242
7.3.5	SPI 总线扩展实例——基于 AD9833 的信号发生器设计	247
7.4	I ² C 总线扩展技术	252
7.4.1	I ² C 总线	252
7.4.2	I ² C 总线数据传送软件模拟	255
7.4.3	C8051F360 单片机的 SMBus(I ² C)总线接口	258
7.4.4	I ² C 总线扩展实例——基于 ADS1100 的电阻测量仪设计	262
7.4.5	I ² C 总线扩展实例——基于 M41T0 的可校时数字钟设计	268
7.5	设计训练题	279
第 8 章	数字化语音存储与回放系统	281
8.1	设计题目	282
8.2	方案设计	282
8.3	模拟子系统设计	283
8.4	大容量存储器接口设计	287
8.4.1	并行大容量存储器接口设计	287
8.4.2	串行大容量存储器接口设计	288
8.5	系统软件设计	296
8.6	系统调试	298
8.7	DPCM 语音压缩算法	299
8.8	设计训练题	302
第 9 章	DDS 信号发生器	304
9.1	设计题目	305
9.2	直接数字频率合成的原理	305
9.3	方案设计	307
9.4	模拟量输出通道设计	309
9.4.1	高速 D/A 电路设计	309
9.4.2	滤波放大驱动电路设计	312
9.5	DDS 子系统设计	317
9.6	系统软件设计	321

9.7	系统调试	324
9.8	设计训练题	328
第 10 章	高速数据采集系统	330
10.1	设计题目	331
10.2	方案设计	331
10.3	模拟量输入通道设计	332
10.3.1	高速 A/D 转换电路设计	332
10.3.2	信号调理电路设计	336
10.4	FIFO 数据缓冲电路设计	339
10.5	系统软件设计	343
10.6	系统调试	345
10.7	锁相环在数据采集系统中的应用	346
10.8	设计训练题	348
第 11 章	基于 CAN 总线的温度检测系统	350
11.1	设计题目	351
11.2	CAN 总线接口设计	351
11.2.1	CAN 总线简介	351
11.2.2	CAN 总线硬件接口	352
11.2.3	CAN 控制器 SJA1000	354
11.2.4	SJA1000 内部寄存器功能说明	356
11.3	数字温度传感器 DS18B20 原理	364
11.3.1	单总线与 DS18B20 简介	364
11.3.2	DS18B20 的操作命令	366
11.3.3	DS18B20 的操作时序	367
11.3.4	DS18B20 程序设计	368
11.4	系统软件设计	370
11.5	系统调试	377
11.6	设计训练题	379
参考文献	380

第1章

基于集成运放的放大电路设计



1.1 运算放大器的模型

运算放大器最早应用于模拟计算机中,它可以完成加法、减法、微分、积分等各种数学运算。随着集成电路技术的不断发展,运算放大器的应用日益广泛,可以实现信号的产生、信号的变换、信号处理等多种功能,已成为构成模拟系统最基本的集成电路。

运算放大器是由多级基本放大电路直接耦合而组成的高增益放大器。通常由输入级、中间放大级、低阻输出级和偏置电路组成,其内部结构框图如图 1.1-1 所示。



图 1.1-1 运算放大器的内部结构框图

当运算放大器与外部电路连接组成各种功能电路时,从系统角度看,无需关心其复杂的内部电路,而是着重研究其外特性。具体地讲,人们利用厂商提供的运放参数构成表征外特性的简化运算模型。在分析采用运算放大器构成的模拟电路时,通常采用理想运算放大器模型和实际运算放大器模型。

1. 理想运算放大器模型

理想运算放大器的模型如图 1.1-2 所示。理想运算放大器具有以下特性:

- (1) 开环电压增益 $A_{vo} = \infty$;
- (2) 输入电阻 $r_i = \infty$;
- (3) 输出电阻 $r_o = 0$;
- (4) 上限截止频率 $f_H = \infty$;
- (5) 共模抑制比 $K_{CMR} = \infty$;
- (6) 失调电压、失调电流和内部噪声均为 0。

对于理想运算放大器的前 3 条特性,通用运算放大器一般可以近似满足。后 3 条特性通用运算放大器不易达到,但对某些功能电路非常重要,实际使用时,可选用专用运算放大器来近似满足。如可选用宽带运算放大器获得一定的频带宽度,选用精密运算放大器使失调漂移、内部噪声趋于 0。

从理想运算放大器的这些特性可以导出理想运放在线性运用时具有两个重要特性:

(1) 理想运算放大器的同相输入端和反相输入端的电流近似为 0,即 $i_N = i_P = 0$ 。这一结论是由理想运放输入电阻 $r_i = \infty$ 而得到的;

(2) 理想运算放大器的两输入端电压差趋于 0,即 $v_N = v_P$,这一结论是由理想运放的电压增益 $A_{vo} = \infty$ 、输出电压为有限值而得到的。

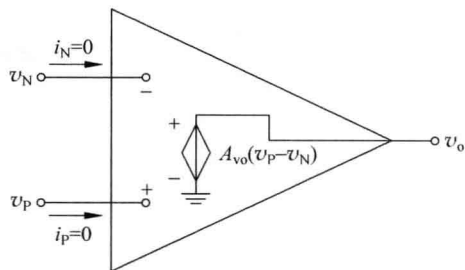


图 1.1-2 理想运算放大器模型

2. 实际运算放大器模型

实际运算放大器的模型如图 1.1-3 所示。实际运算放大器的模型包括以下典型参数：

- (1) 差分输入电阻 r_i ；
- (2) 开环电压增益 A_{vo} ；
- (3) 输出电阻 r_o ；
- (4) 差分输入电压 $v_{id} = v_p - v_N$ 。

其中，增益 A_{vo} 也称为开环差模增益，因为在输出不加负载时有：

$$v_o = A_{vo} v_{id} = A_{vo} (v_p - v_N) \quad (1.1-1)$$

$$v_{id} = \frac{v_o}{A_{vo}} \quad (1.1-2)$$

上述参数一般在器件的数据手册中给出。如运算放大器 LM741 的主要参数为： $r_i = 2\text{M}\Omega$, $A_{vo} = 200\text{V/mV}$, $r_o = 75\Omega$ 。由于运算放大器的开环增益都非常大，对于一个有限的输出，只需要非常小的差分输入电压。例如，要维持 $v_o = 6\text{V}$ ，LM741 运算放大器空载时需要 $v_{id} = 6/200000 = 30\mu\text{V}$ ，是非常小的电压。一个 OP77 运算放大器空载时只需 $v_{id} = 6/(12 \times 10^6) = 0.5\mu\text{V}$ 。

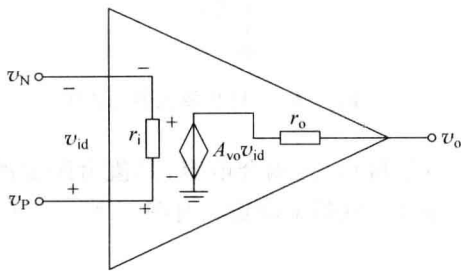


图 1.1-3 实际运算放大器的模型

1.2 用集成运放构成的基本放大电路

1. 反相放大电路

比例运算放大电路分反相放大器 and 同相放大器。反相放大器的基本电路结构如图 1.2-1 所示。其闭环电压放大倍数：

$$A_{vf} = v_o / v_i = -R_2 / R_1 \quad (1.2-1)$$

用反相放大器可以很方便地实现各种增益的放大电路。要想改变放大电路的电压增益，无需改变运放本身，只需调整电路中 R_1 和 R_2 的比值即可。如将一个幅值较小的电信号（假设 $v_i = 0.1\text{V}$ ）放大为幅值较大的信号（假设 $v_o = 3\text{V}$ ），这就要求反相放大器具有 30 倍的电压增益，上述放大器中 R_1 取 $1\text{k}\Omega$ 、 R_2 取 $30\text{k}\Omega$ 就可实现。按照理想运放的条件，反相放大器的输入电阻约等于 R_1 。在实际使用时， R_1 既不能取得太小，也不能取得太大。从增加放大电路输入电阻的角度来看， R_1 应尽量取得大一些，但 R_1 取得太大，则在相同电压增益时，势必 R_2 也要增加，引起放大电路工作不稳定。

当放大交流信号时，反相器的输入端和输出端应接入隔直电容，典型的交流放大器如图 1.2-2 所示。电容器 C_1 和 C_2 起隔离交流信号源直流成分的作用，能将输出交流信号的失真减至最小。此放大器电路可代替晶体管进行交流放大，如用于扩音机前置放大等。