



面向21世纪课程教材

集成电子技术 基础教程

第三版 | 上册

浙江大学电工电子基础教学中心

电子技术课程组编

陈隆道 蔡忠法 沈红 主编

高等教育出版社



面向21世纪课程教材

集成电路技术 基础教程

第三版 | 上册

浙江大学电工电子基础教学中心

电子技术课程组编

陈隆道 蔡忠法 沈红 主编



高等教育出版社·北京

内容简介

本教材(第三版)是在原普通高等教育“十一五”国家级规划教材:《集成电子技术基础教程》(第一、二两版)的基础上,经过不断地教学实践,总结了近年来对“电子技术基础”课程的教学改革经验,并参照“教育部电子电气基础课程教学指导分委员会”制订的教学基本要求修订而成的。修订后的教材继续保留原教材“模数”紧密结合的特点,全书结构上分上、下册,仍为4篇。上册一、二两篇。第一篇为电子系统与电子电路基础,内容包括初识电子系统、半导体器件结构、特性和模型、半导体三极管基本放大电路和单管放大电路的频率特性4章。第二篇为模拟集成电路及其应用,共有6章,内容包括:集成运算放大器、负反馈放大电路、集成运放组成的典型应用电路、信号发生电路、功率变换电路、常用模拟集成电路及其应用。

本教材可作为高等学校电气类、自控类、电子信息类专业电子技术基础课程教材,也可供远程教育、成人和职业教育相关专业选用。

图书在版编目(CIP)数据

集成电子技术基础教程.上册 / 陈隆道,蔡忠法,沈红主编;浙江大学电工电子基础教学中心电子技术课程组编. --3版. --北京:高等教育出版社,2015.7

ISBN 978-7-04-042024-1

I. ①集… II. ①陈…②蔡…③沈…④浙… III. ①集成电路-高等学校-教材 IV. ①TN4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 026114 号

策划编辑	王勇莉	责任编辑	王耀锋	封面设计	张申申	版式设计	童丹
插图绘制	杜晓丹	责任校对	窦丽娜	责任印制	刘思涵		

出版发行	高等教育出版社	网 址	http://www.hep.edu.cn
社 址	北京市西城区德外大街4号		http://www.hep.com.cn
邮政编码	100120	网上订购	http://www.landrac.com
印 刷	北京明月印务有限责任公司		http://www.landrac.com.cn
开 本	787mm×960mm 1/16		
印 张	28.25	版 次	2002年7月第1版
字 数	510千字		2015年7月第3版
购书热线	010-58581118	印 次	2015年7月第1次印刷
咨询电话	400-810-0598	定 价	40.90元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物 料 号 42024-00

本教材(第三版)是在原普通高等教育“十一五”国家级规划教材《集成电子技术基础教程》(第一、二两版)的基础上,经过不断地教学实践,总结了浙江大学多年来对“电子技术基础”课程的教学改革经验,并参照“教育部电子电气基础课程教学指导分委员会”制订的教学基本要求修订而成的。修订后的教材继续保留原教材“模数”紧密结合的特点,全书结构上分上、下册,仍为4篇。

上册包含一、二两篇。第一篇为电子系统与电子电路基础,共有4章,是本课程的入门篇和模拟电子电路的基础篇。第二篇为模拟集成电路及其应用,共有6章。系统地介绍了集成运算放大器及其在模拟电子系统中的各种应用。

下册包含三、四两篇。第三篇为数字电路分析与设计,共有6章。内容编排上采用门电路、基本逻辑电路、标准逻辑器件、可编程逻辑器件的顺序,由浅入深地介绍通用数字集成电路的功能和应用,同时引导读者学习数字电路的分析和设计方法。第四篇为电子系统设计示例,共有2章。初步介绍了电子系统的设计方法,并通过设计示例,使学生对本教材的内容能够融会贯通。

根据不同的教学安排,使用本教材时可以按先“模电”、后“数电”;也可以按先“数电”、后“模电”的顺序授课,计划96学时完成。为配合讲课,本教材还配有详细的电子教案和习题解答。

在对本教材(第三版)修订前,我们反复讨论了本课程教材的现状和编写的指导思想。

1. 目前国内大部分电子技术课程的教材,包括我们自己编写的一、二两版教材,其主要内容均限于各种基本应用电路及其分析方法,学生在学习过程中往往不知道它们的应用背景和相互联系,因而缺乏学习兴趣和学习的主动性。

2. 随着集成电子技术的飞速发展,各种电子应用电路的集成规模越来越大,功能越来越强,性能越来越好,而价格则越来越低,因而为使用者提供了极大的方便。现在已很难设想,使用者还要用分立元件去搭建各种单元电子电路(功率电子电路等除外)。

3. 电子系统智能化是一个必然的趋势。微处理器芯片目前已大量地

应用在各种电子系统中,且价格越来越低廉。因此,本课程必须把教学的重点转向以微处理器为核心的电子系统,使学生学会电子系统中微处理器外围的各种模拟和数字功能电路,深入了解各种主要功能模块的性能指标和合理选用原则,为电子技术在各专业领域中的应用打下坚实的基础。

基于以上现实,新版教材的编写思想逐步明晰:在教材体系上,决定采用模数混合型电子系统引领全书各篇内容,从而使得“模拟”与“数字”两部分教学内容在应用中更紧密地融合在一起。

修订后的第一篇为电子系统与电子电路基础。从该篇的第1章开始,通过介绍一些典型的电子系统(在课堂教学中,拟制成专门的PPT,以科普形式向初学者介绍,既可提高学习效果,又不增加学习负担),让学生了解电子系统的组成,系统中各种功能模块(如模拟电子电路中的小信号放大器、功率放大器、有源滤波器、增益自动控制电路、直流稳压电源等,以及数字电路中的存储器、显示器、定时器和模/数、数/模转换器等微机接口电路的作用和系统对它们的要求)。由此引导学生了解电子技术课程中将要讨论的主要内容,并留下许多问题让学生思考。而在后续各相关章节中则不断与上述第一章的内容相呼应,使学生带着问题学习,从而使学习对象明确,学习兴趣增加。本教材还以“电子系统设计示例”作为第四篇。其目的是通过典型电子系统设计示例,从设计者的角度重新审视以上各篇中模拟和数字集成电路的主要功能和对它们选用原则的考虑,使读者对本课程中的主要内容及其相互联系有更深入的理解。

本教材上、下册的主编分别由陈隆道教授和张德华副教授担任。参加编写的教师分工如下:陈隆道编写第一篇的1、2、3、4章,蔡忠法编写第二篇的1、6章,沈红编写第二篇的2、3、4、5章,张德华编写第三篇的1、2、3、4章,阮秉涛编写第三篇的5、6章和第四篇的1、2章。在编写过程中,得到了我校电工电子基础教学中心的大力支持。其中,祁才君老师对第三篇和第四篇进行了详细的审阅,提出了很多建设性的意见。感谢郑家龙教授、王小海教授为《集成电子技术基础教程》(第三版)的修订做了大量的推动工作,提出了很多宝贵的建议,并花费了大量的时间和精力审阅、修改了书稿。

本教材由哈尔滨工业大学蔡惟铮教授担任主审,他在百忙中十分细致地审阅了全部书稿,并提出了很多非常宝贵的意见和建议,在此表示真诚地感谢。

限于编者的水平和时间,对于改编教材中存在的不足和错误,欢迎专家和读者批评指正。编者邮箱:chen_longdao@zju.edu.cn。

编者

2014年3月于浙江大学

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是在原面向 21 世纪课程教材——《集成电子技术基础教程》(第一版)的基础上,总结浙江大学多年来对“电子技术基础”课程的教学改革经验,参照“教育部电子电气基础课程教学指导分委员会”2005 年制订的教学基本要求修订而成的。修订后的教材继续保留原教材“模数”紧密结合的特点,结构上仍分为 4 篇。

上册包含一、二两篇。第一篇为电子器件基础,内容包括电子器件的特性与模型、半导体器件的工作机理等两章。第二篇为模拟电子电路,共有 8 章,内容包括:放大电路分析入门、放大电路动态分析、集成运算放大器、负反馈放大电路、放大电路的频率响应与稳定性分析、正弦波发生电路、功率变换电路、模拟信号处理电路等。

下册包含三、四两篇。第三篇为数字电子电路,共有 7 章,内容包括:数字电路的基本问题、集成逻辑门电路、逻辑代数与基本组合逻辑电路、集成组合逻辑电路、集成触发器和基本时序电路、中规模集成时序电路、大规模数字集成电路等。第四篇为电子电路综合与应用,共有 5 章,内容包括:函数信号发生电路、信号转换电路、信号传输电路、开关功率变换器、电子系统设计示例等。

根据不同的教学安排,使用本教材时可以按先第一、二篇,后第三、四篇的顺序讲授(即先“模电”、后“数电”);也可以按先第一、三篇,后第二、四篇讲授(即先“数电”、后“模电”)。为配合讲课,本书还配有电子教案和习题解答。

本书在修订过程中,着重考虑了以下几点。

1. 进一步完善原教材中“模数”紧密结合的特点。

由于第二版修订后篇幅增加,出版时分为两册,但教材结构上仍保留原来的四篇。即第一篇仍为基础篇,第四篇仍为“模数”综合应用篇,第二、三篇分别为“模电”篇和“数电”篇。目的是希望读者不要把“模电”与“数电”分割开来,使它们通过“模数”综合应用,对电子技术有一个完整的认识,这也反映了现代电子技术的发展趋势。

但修订时,考虑到知识的关联性和教学的连贯性,对原教材第四篇中

的“信号发生电路”(现为“正弦波发生电路”)和“信号处理电路”(现为“模拟信号处理电路”)两部分内容调整到第二篇中,使第二篇“模拟电子电路”在结构上更为完整。另外,“开关功率变换器”(原名“开关电源”)部分内容则从原“模电”篇移至第四篇,并单列一章,以适应电力电子技术的发展现状。

2. 着力解决初学者“入门难”的问题。

第二版修订时,不但要求本教材在文字上“易学”、“易懂”,更要求从教材结构上解决从“电路”课程过渡到“电子电路”的接轨。为此,本教材第一篇中,首先出现的不是“半导体器件和PN结”,而是从“电子器件的特性和模型”开始,在初学者习惯了电子电路结构及其分析方法后,再介绍“电子器件的工作原理”。目的是学会运用“电路”课程中的方法解决“电子电路”中的非线性问题,并且把学习的难点分散。

第二篇中,为了解决放大电路分析中常常困扰初学者的“静态和动态”等问题,专辟一章“放大电路分析入门”,把“电路”课程中的定理、定律复习、拓展,使之较好地解决“电子电路”分析中的问题。

3. 在第三篇“数字电子电路”中,修订时着重考虑以下几方面。

首先把“数字电路”中必须熟练掌握的一些基本内容和基本概念集中并提前到“数字电路的基本问题”一章,以便让学生尽快熟悉“数字电路”的分析方法。对于“组合逻辑电路”和“时序逻辑电路”,借助其小规模集成电路了解它们的工作原理和分析方法;而对于中规模数字集成电路,则主要通过应用来理解。

为了配合先“数电”、后“模电”的讲课顺序,对第三篇的第2章:“集成逻辑门电路”内容作了较大的修改。如有意识地降低集成门电路内部电路的分析要求,突出集成门电路的性能和技术指标,从而较好地解决了初学者的入门困难。其实,该章内容并非学习重点,但却是难点。这样处理有利于解决目前电子技术课程学时紧、内容多的现状。

对可编程逻辑器件(PLD),本教材不以内部的逻辑电路作为重点内容,而是主要通过简单的示例,学会如何实现“可编程”和程序编写的基本方法。

本书上册第一篇的第1、2章和第二篇的第1、2章由郑家龙、陈隆道编写。第二篇的第3、5章由蔡忠法编写,第4、6、7章由沈红编写,第8章由章安元编写。下册第三篇的第1、2、3、4章由王小海编写,第5、6、7章由祁才君编写。第四篇的第1、3章由章安元编写,第2、5章由阮秉涛编写,张德华编写了第4章,并对下册的习题进行了复核和编写。在本书编写过程中,王小海负责编写组的统一组织、书稿的整理和下册的统稿工作;上册的统稿由郑家龙负责。

本书上册由清华大学华成英教授审阅,下册由华中科技大学彭容修教授,秦臻、罗杰副教授审阅,彭容修教授主审。他们对本书进行了十分仔细的审阅,并

提出了许多宝贵的修改意见,在此表示真诚的感谢。

本书编写过程中,高光天高级工程师不但向编写组提供了 AD 公司最新的参考资料,并且对教材的结构和内容提出了十分宝贵的意见,在此表示深深的谢意。

由于编者水平有限,衷心欢迎各高校老师和广大读者批评指正。

编者

2008 年 1 月于杭州

进入 20 世纪 90 年代以来,微电子技术取得了突飞猛进的发展。如今,它已成为国民经济的强大推动力,成为带动 21 世纪科技进步的强力支柱。因此,从事各行各业的科技人员,都要求或多或少地掌握电子技术最基本的理论和技能,以便为推动本专业的发展发挥更大的作用。

本书是在原教材《模拟集成电子技术教程》(邓汉馨、郑家龙主编,高等教育出版社出版)和《集成电子技术教程》(王小海主编,浙江大学出版社出版)的基础上,根据面向 21 世纪的教材结构和教学内容改革要求,重新编写而成的。全书共四篇 18 章,内容涵盖了高等学校工科本科电气类、自控类和电子类,原“模拟电子技术基础”和“数字电子技术基础”两门课程的相关教学要求。

本书力图在教材体系、内容更新和能力培养等几方面有所突破,并且希望用较少的篇幅,讲清本课程最重要和最基本的内容。

一、将模拟电子技术和数字电子技术内容紧密相结合

模拟电子技术和数字电子技术是电子技术课程中的两个分支。长期以来,由于它们分别组成了独立的课程,已形成了各自的教材体系。而实际上,在一个电子系统中,往往将两者紧密结合起来,而且目前的集成器件中,有的已将二者集成在同一块芯片中。如果将这两部分内容统一安排,将有利于学生对二者共性的理解和综合运用能力的提高。

本书第一篇是电子器件与电子电路基础,主要介绍半导体二极管、三极管、场效应管和集成电路中电子器件的外特性以及由它们组成的基本电子电路及其静态分析方法,是模拟电路和数字电路的共同基础。第二篇为数字电路和系统,内容包括数字逻辑基础、集成门电路、组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路以及大规模集成电路。对于近年来快速发展起来的可编程逻辑器件及其应用,从介绍集成门电路开始便融入以上各部分内容之中,并作为基本逻辑部件介绍它的设计方法。第三篇为模拟电路和系统,内容包括放大电路的动态分析与频率响应,集成运算放大器,反馈放大电路及应用和功率变换电路。第四篇为电子系统组成和应用,通过介绍信号发生电路、信号处理电路、信号转换电路和信号传输电路,将模拟和数字电路的应用紧密结合在以上四个方面。最后,通过电子

系统设计示例,进一步引入电子系统设计的概念。本篇的目的是希望读者体会到,为了达到同一个目标,既可以采用模拟电路,也可以用数字电路,而且在一个电子系统中,往往必须综合运用模拟和数字技术,才能更好地达到预定的目的。

二、本书在注重电子电路基础的前提下,加强了电子电路应用能力的培养

作为电子技术方面的入门性课程,本书首先应将重点放在电子电路基本原理和基本分析方法的讨论上。但如果仅限于这些基础,读者将往往会在“从原理到应用”的过程中遇到困难,特别对于那些在本课程后较少设置电子技术应用方面课程的专业学生尤其如此。为此,本书在第二篇和第四篇的最后,都适当地安排了电子电路设计方面的示例。通过示例,希望读者能够初步了解电子系统的设计方法,并且可以将所学知识融会贯通,从而进一步加深对基础知识的理解。

三、注重教学内容的更新

电子技术的发展日新月异,新器件、新电路层出不穷。但学校中,本课程的学时数是有限的,并且还有减少的趋势。因此本书在编写中作了以下几方面的努力。

1. 适当减少对分立器件内部机理的介绍,如将PN结的机理安排在附录中,使读者将注意力更多地集中在器件的外特性及其性能参数上。

2. 从主要是学会正确使用集成器件的目标出发,本书把重点放在与集成器件性能指标相关的、最基本单元电路(特别是输入、输出级电路)的原理和分析方法上,而不介绍复杂的集成器件内部电路,以减少学习中的难点。

3. 对于新的集成电子器件,如电流模放大器、集成开关电容滤波器、程控放大器、可编程逻辑器件和在系统可编程模拟电路等,本书都作了一定的介绍,并且与它们的应用领域紧密结合。

4. 电子电路设计自动化(EDA)是21世纪电子工程师必须掌握的工具,但它涉及的面很广。本书结合第二篇中各章内容,初步介绍了数字逻辑电路设计中的基本工具——ABEL-HDL(硬件描述语言)的使用;结合第三篇中多级放大电路和精密运算电路的计算,介绍了应用PSPICE软件的分析过程,并在附录B中简要介绍这两种软件的使用方法。此外,还在本课程的实验课中让学生进一步掌握这两种软件的使用。

本书作为电子技术课程教材,要求在校学生两个学期中学完。由于本书采用了模块化的结构,对教材的使用比较灵活。例如,第一、二篇安排在第一个学期,参考学时为50~60;第三、四篇安排在第二个学期,参考学时为60~70。即通常称为先“数字”后“模拟”的教学安排。对于少学时的学校,可将某些章节(目录中打“*”号)的内容(特别是第四篇的某些章节)删去,让学有潜力的学

生自学。

参加本书编写工作的教师分工如下:第一篇,章安元;每二篇,王小海、祁才君;第三篇,蔡忠法、沈红;第四篇,章安元、阮秉涛;附录,郑家龙、蔡忠法、祁才君。郑家龙、王小海、章安元负责编写大纲的定稿和全书的统稿协调。在本书的编写过程中,浙江大学电工电子基础教学中心电子学组的全体老师给予了大力支持,雷剑虹等老师还为本书试做了部分习题,并绘制了部分图稿。

本书在编写过程中得到了学校教务部和电气工程学院有关领导的大力支持。

本书由华中科技大学康华光教授主审,参加审阅的有彭容修教授,杨华、张林副教授。他们在百忙中细致、认真、逐字逐句地审阅了全部书稿,并提出了许多宝贵的意见,在此我们表示诚挚的谢意,并希望继续给予关心和支持。

尽管编写组的同志对全书的体系和内容作了不少的努力,但限于时间和水平,肯定还会有很多缺点和错误,恳请使用本教材的老师 and 同学、各位读者给予指正,不胜感激。

编者

2002 年 3 月于浙江大学

为了方便阅读,对读者容易混淆的基本符号和与电子器件性能参数相关的符号作如下说明。

一、电压(V)和电流(I)

电子电路中的电压和电流往往不是单一的直流或交流,而是二者兼有;有时需要强调其中的直流分量,有时则需要强调交流分量或动态变化量。为此,需要用大、小写字母及下标,甚至再加上辅助符号才能说明清楚。否则可能造成概念上的混淆。现以电路的输入电压(电流)为例加以说明。

1. 大写字母、大写下标,如 $V_I(I_I)$ 表示直流输入电压(电流)或输入电压(电流)中的直流分量;而直流电源电压常用大写双下标表示,如 V_{CC} 、 V_{BB} 、 V_{EE} 、 V_{DD} 、 V_{SS} 等,其中下标 C、B、E、D、S 为所对应的电极符号。

2. 大写字母、小写下标,如 $V_i(I_i)$ 表示交流输入电压(电流)有效值;而 $\dot{V}_i(\dot{I}_i)$ 为交流相量值(复数);交流输入电压(或电流)的幅值常用 $V_{im}(I_{im})$ 表示。

3. 小写字母、小写下标,如 $v_i(i_i)$ 表示交流输入电压(电流)的瞬时值。

4. 小写字母、大写下标,如 $v_i(I_i)$ 一般用来表示非正弦输入电压(电流)的瞬时总量。其中如含有直流分量和交流分量,则它们又可表示为 $v_i = V_i + v_i$ (或 $i_i = I_i + i_i$)。

5. Δ 、小写字母、大写下标,如 $\Delta v_i(\Delta I_i)$ 一般用来表示非正弦输入电压(电流)的瞬时变化量。如输入电压(电流)中仅含交流量,则 Δv_i 与 v_i (或 Δi_i 与 i_i) 是等价的。

6. Δ 、大写字母、大写下标,如 $\Delta V_I(\Delta I_I)$ 表示直流输入电压(电流)的变化量。

二、功率(P)和效率(η)

P_o	交流输出功率
P_{om}	最大交流输出功率
P_T	三极管平均功耗

P_E 电源消耗的平均功率

$\eta_{\max}$ 最大效率

三、频率(f)

f_{bw} (或 BW) 放大电路通频带宽度

$f_H \sqrt{f_L}$ 放大电路上、下限频率(或-3 dB 频率),波特图中称为转折频率

f_c 与放大器增益为 0 dB 相对应的信号频率

f_p 滤波器通带截止频率(或-3 dB 频率)

f_o 振荡频率、重复频率、特征频率

四、时间(t)

t_f 下降时间

t_r 上升时间

t_w 脉冲宽度

t_{pd} 门电路平均传输延迟时间

T 周期

τ 时间常数

五、增益(A)

$A_v(\dot{A}_v)$ 电压增益(复数电压增益 $\dot{A}_v = \frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_i}$)

A_{vo} 开路电压增益(R_L 等于无穷大时电压增益)

A_{vs} 源电压增益(输出电压与信号源电压之比)

A_{vd} 差模电压增益(对差模输入信号的电压增益)

A_{vc} 共模电压增益(对共模输入信号的电压增益)

A_{vp} 滤波器的通带增益

A_{vf} 反馈放大电路的闭环电压增益

六、与电子器件相关的符号

1. 二极管和稳压二极管

V_T 温度的电压当量(室温下, $V_T \approx 26 \text{ mV}$)

V_{on} 二极管伏安特性曲线中的开启电压

C_j PN 结电容

C_B 势垒电容

C_D 扩散电容

P 空穴型半导体

N	电子型半导体
r_d	二极管导通时的动态电阻
r_z	稳压二极管在稳压区的动态电阻
I_F	二极管允许的最大整流电流
$V_{(BR)}$	二极管反向击穿电压
V_{RM}	二极管允许的最高反向工作电压 (通常取 $V_{RM} = \frac{V_{(BR)}}{2}$)
V_Z	稳压二极管稳定电压
$\frac{dV_Z}{dT}$	稳定电压的温度系数
$I_{Z(max)}$	稳压二极管允许的最大稳定电流
P_{ZM}	稳压二极管允许的最大耗散功率 ($P_{ZM} = V_Z \cdot I_{Z(max)}$)
2. 双极型三极管	
$\alpha(\bar{\alpha})$	共基接法时交流(直流)电流放大系数
$\beta(\bar{\beta})$	共射接法时交流(直流)电流放大系数
$r_{be} (=r_{bb'} + r_{b'e})$	b-e 间的动态电阻(它由 $r_{bb'}$ 和 $r_{b'e}$ 组成)
r_{ce}	c-e 间的动态电阻
g_m	跨导 ($g_m = \frac{\Delta i_c}{\Delta v_{BE}} = \frac{\beta}{r_{be}}$)
I_{CBO}	发射极开路时, b-c 间的反向电流
I_{CEO}	基极开路时, c-e 间的穿透电流 [$I_{CEO} = (1+\beta)I_{CBO}$]
I_{CM}	集电极最大允许电流(此时 β 明显下降)
P_{CM}	集电极最大允许耗散功率
$V_{(BR)CEO}$	基极开路时, c-e 间的击穿电压
$V_{(BR)CER}$	be 间接电阻 R 时, c-e 间的击穿电压
$V_{(BR)CBO}$	发射极开路时, c-b 间的击穿电压
$V_{(BR)EBO}$	集电极开路时, e-b 间的击穿电压
I_{CS}	集电极饱和电流
I_{BS}	基极临界饱和电流
V_{CES}	c-e 之间的饱和压降
f_T	半导体三极管特征频率(此时 β 下降为 1)
$C_{ob}(C_{b'e})$	共基接法时, 三极管输出电容(集电结等效电容)
$C_{b'e}$	发射结等效电容

3. 场效应管

V_T	增强型场效应管的开启电压
I_{D0}	增强型场效应管 $v_{GS}=2V_T$ 时的 i_D
V_P	耗尽型场效应管的夹断电压
I_{DSS}	耗尽型场效应管 $V_{GS}=0$ 时的 i_D (也称饱和漏极电流)
g_m	跨导 $\left(g_m = \frac{\Delta i_D}{\Delta v_{GS}}\right)$
r_{ds}	d-s 间的动态电阻
P_{DM}	场效应管漏极最大耗散功率
$V_{(BR)DS}$	d-s 间的击穿电压
$V_{(BR)GS}$	g-s 间的击穿电压
$C_{gd}、C_{gs}、C_{ds}$	场效应管各电极之间的分布电容

4. 集成运算放大器

A_{vd}	差模电压增益
A_{vc}	共模电压增益
R_{id}	差模输入电阻
R_{ic}	共模输入电阻
R_o	输出电阻
$V_{om}^+、V_{om}^-$	正向和负向最大输出电压幅度
V_{IO}	输入失调电压
$\frac{dV_{IO}}{dT}$	输入失调电压温漂
I_{IO}	输入失调电流
$\frac{dI_{IO}}{dT}$	输入失调电流温漂
I_{IB}	输入偏置电流
K_{CMR}	共模抑制比 $\left(K_{CMR} = \left \frac{\dot{A}_{od}}{\dot{A}_{oc}}\right \right)$
$V_{IC(max)}$	最大共模输入电压
f_H	-3 dB 带宽
f_c	单位增益带宽 ($f_c \approx A_{od} \cdot f_H$)
SR	转换速率 $\left(SR = \left \frac{dv_o}{dt}\right _{max}\right)$

5. 集成门电路

$V_{OL(min)}$	门电路输出低电平上限值(对应于 $I_{OL(max)}$)
$V_{OH(min)}$	门电路输出高电平下限值(对应于 $I_{OH(max)}$)
$V_{IL(max)}(V_{off})$	门电路输入低电平上限值(关门电平)
$V_{IH(min)}(V_{on})$	门电路输入高电平下限值(开门电平)
$I_{OL(max)}$	低电平输出时的灌电流允许值
$I_{OH(max)}$	高电平输出时的拉电流允许值
$I_{IL(max)}$	低电平输入时的最大输入电流
$I_{IH(max)}$	高电平输入时的最大输入电流
$V_{NL(max)}$	低电平输入时的噪声容限($\leq V_{IL(max)} - V_{OL(max)}$)
$V_{NH(max)}$	高电平输入时的噪声容限($\leq V_{OH(min)} - V_{IH(min)}$)
N_{OL}	低电平扇出系数($N_{OL} = \frac{I_{OL(max)}}{I_{IL(max)}}$)
N_{OH}	高电平扇出系数($N_{OH} = \frac{I_{OH(max)}}{I_{IH(max)}}$)
t_{PHL}	输出从高电平转换为低电平所需时间
t_{PLH}	输出从低电平转换为高电平所需时间
t_{pd}	平均传输延迟时间($t_{pd} = \frac{t_{PHL} + t_{PLH}}{2}$)

第一篇 电子系统与电子电路基础	1
本篇导读	1
第 1 章 初识电子系统	3
1.1.1 电子系统的组成和类型	3
1.1.2 语音录制与回放系统简介	9
习题	15
第 2 章 半导体器件结构、特性和模型	17
1.2.1 半导体与 PN 结	17
1.2.2 半导体二极管	30
1.2.3 晶体管	44
1.2.4 场效应晶体管	59
习题	70
第 3 章 半导体三极管基本放大电路	78
1.3.1 放大电路基础	78
1.3.2 放大电路的基本性能指标	94
1.3.3 放大电路的三种基本组态	102
1.3.4 放大电路的动态分析	105
1.3.5 恒流源电路及其应用	114
习题	121
第 4 章 单管放大电路的频率特性	130
1.4.1 频率响应概述	130
1.4.2 半导体三极管的高频小信号模型	136
1.4.3 单管放大电路的频率响应	139
1.4.4 单管放大电路的瞬态响应	144
习题	147