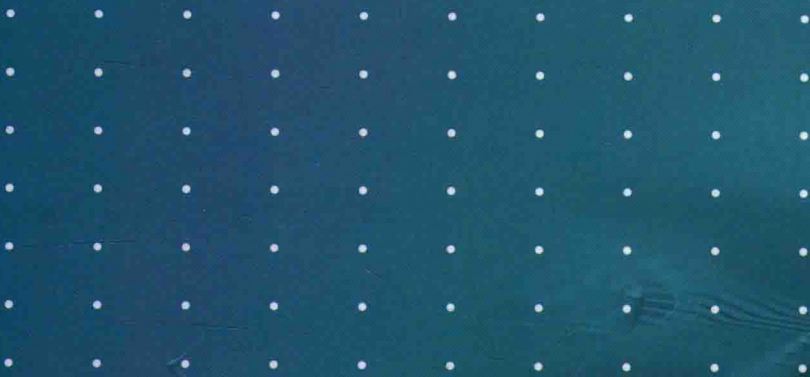


教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会推荐教材

模拟电子技术基础

■ 主 编 孙景琪
■ 副主编 雷 飞 闫慧兰



高等教育出版社

教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会推荐教材

模拟电子技术基础

■ 主 编 孙景琪

■ 副主编 雷 飞 闫慧兰



高等教育出版社·北京

内容简介

本书是依据教育部相关课程教学指导委员会制定的教学基本要求，以“卓越工程师教育培养计划”为背景的一体化改革思路，在长期教学实践的基础上编著的一本教材。本书以案例为先导、追溯知识源头、讲清电路原理、理清分析方法、看懂实际电路、学会工程应用为目标，展开各章节的讨论。

全书共分九章，主要内容包括：半导体二极管与三极管、基本放大电路、集成运算放大电路、功率放大电路、反馈放大电路与振荡电路、放大电路的频率响应与滤波电路、直流稳压电源等。对整个模拟电路的内容与体系作了优化处理，对某些内容进行了必要的归类和压缩。教材的最后一章以专题方式讨论了模拟电路与系统的设计、调测、故障分析等一系列实际问题的处理，目的在于学生知识的拓展及工程能力的培养。

本书适合作为高等院校电子信息类、自动化类、电气类、机械类、计算机类、物流管理与工程类、生物医学工程类、物理学类等诸多专业相关课程的教材，尤其适合卓越工程师和创新模式的工程教育使用，也可作为众多领域工程技术人员和工程师认证的参考书。

图书在版编目 (C I P) 数据

模拟电子技术基础 / 孙景琪主编. —北京: 高等教育出版社, 2016. 7
ISBN 978-7-04-045598-4

I. ①模… II. ①孙… III. ①模拟电路—电子技术—高等学校—教材 IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 121614 号

策划编辑	欧阳舟	责任编辑	平庆庆	封面设计	赵 阳	版式设计	马敬茹
插图绘制	杜晓丹	责任校对	刘娟娟	责任印制	朱学忠		

出版发行	高等教育出版社	咨询电话	400-810-0598
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	网 址	http://www.hep.edu.cn
邮政编码	100120		http://www.hep.com.cn
印 刷	高教社(天津)印务有限公司	网上订购	http://www.hepmall.com.cn
			http://www.hepmall.com
开 本	787mm×1092mm 1/16		http://www.hepmall.cn
印 张	20.75	版 次	2016 年 7 月第 1 版
字 数	500 千字	印 次	2016 年 7 月第 1 次印刷
购书热线	010-58581118	定 价	34.50 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 45598-00

自 1999 年以来,我国高等教育的规模发生了历史性变化,开始进入大众化的发展阶段。高等院校从生源基础知识水平、课程设置、教学目的到培养目标都趋于多元化,原有教材类型和种类较少的现状已经难以满足不同类型高等院校培养不同类型人才的需求。而在本科教育中,基础课程建设是保证和提高教学质量的关键。为此,“教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会”与高等教育出版社合作,以教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会最新制定的《电子电气基础课程教学基本要求》、电子信息科学类与电气信息类各教学指导分委员会最新制定的专业规范以及《全国工程教育专业认证标准(试行)》为依据,共同组织制订了“电子信息科学类与电气信息类专业平台课程教材规划”。

这套规划教材的制订和编写遵循了以下几点原则:

1. 尊重历史,将高等教育出版社经过半个多世纪的积淀所形成的名家名作、精品教材纳入规划。这些教材经过数十年的教学实践检验,具有很好的教学适用性。此次规划将依据新的《电子电气基础课程教学基本要求》以及电气信息学科领域的最新发展,对教材内容进行修订。

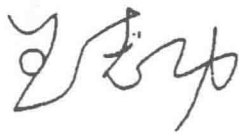
2. 突出分类指导,突出不同类型院校工程教育的特点。大众化教育阶段,不同类型院校的人才培养目标定位不同,应当根据不同类型院校学生的特点组织编写与之相适应的教材。鼓励有编写基础的一般院校和应用型本科院校经过 2~3 年的试用,形成适用于本层次教学的教材。

3. 理论知识与实际应用相结合。提倡在教材编写中把理论知识与在实际生产和生活中的应用紧密结合,着重培养学生的工程实践能力和创新能力,以适应社会对工程教育人才的要求。

4. 数字化的多媒体资源与纸质教材内容相结合。在教育部“加快教育信息化进程”的倡导下,提倡利用多样化、立体化的信息技术手段(如动画、视频等),将课程教学内容展现给学习者,以加深他们对知识的理解,达到更好的教学效果。

教材建设是一项长期、艰巨的工程。我们将本着成熟一批出版一批的指导思想,把这项工作扎实持续地推进下去,为电子信息科学类与电气信息类专业基础课程建设一批基础扎实、教学适用性强、体现时代气息的规划教材,为提高高等教育教学质量,深化高等教育教学改革做出应有的贡献。

教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会主任委员



2010 年 12 月

前言

随着电子技术的飞速发展、教育改革的逐步深入、工程教育的回归,对电子电路的教学,特别是对模拟电子电路的教学提出了更高的要求,赋予更新的历史使命,教材改革已是当务之急,重中之重。

本书依据教育部相关课程教学指导委员会制定的“模拟电子技术基础”课程教学基本要求和教育部推进的“卓越工程师教育培养计划”精神,本着工程教育一体化的改革思路,针对现行教材所存在的问题,结合笔者五十多年来在电子技术领域教学和科研的积淀,并在诸多同仁和教学新秀多年教育实践的基础上逐步形成了本教材的编写思路、结构体系和主要内容。

1. 以案例为先导,以应用为目标,优化教材的体系与结构。教材开篇之初即引出典型电子电路与系统实例,以后各章也均有实例的分析或相关设计,目的是使读者在学习单元电路之前树立总体概念或应用之需,先见森林再见树木,先观全景再看特写,尽可能解决“学有何用”的老问题,将学习主动权交给学生。

2. 突出重点,精简内容,压缩体量,以适应工程教育之需。教材特别重视知识源头的追溯,重视物理概念和问题的论述,重视电路分析方法和设计的讨论,由表及里逐步深入,对一些繁杂内容和赘述作了必要的删除,教材便于教学改革和学生的自学。

3. 增添了必要的电路技术和许多实用案例。如D类宽频带放大电路,放大电路的增益控制及自动增益控制AGC,电流模运算放大电路等内容。并设专门章节(第九章),以专题方式讨论了模拟电路与系统的设计方法、设计流程、接地技术、调测及故障处理等内容,并列举了二十余例应用电路与系统的设计和分析,这些电路与案例均来源于工程实践、来源于科研、来源于各类电子设计竞赛。这些内容尽可能将理论与实际、系统与电路、知识与应用密切结合在一起,以利于学生知识的拓展、工程实践能力的培养。

本书可作为高等院校电子信息类、自动化类、电气类、机械类、计算机类、物流管理与工程类、物理学类等诸多专业作“模拟电子电路”、“模拟电子技术基础”、“低频电路”等专业基础课程的教材,也可供从事电子电路与系统等众多领域技术人员的参考书。

本书由孙景琪主编、负责全书策划和定稿,雷飞、闫慧兰任副主编,协助主编工作。本书由北京航空航天大学王俊教授(博导)主审,王教授认真审阅了全部稿件,并提出了许多宝贵的意见和建议,在此作者谨致衷心的感谢。

在本书的编著与出版过程中,王卓峥、刘军华、刘旭东、严峰、孙京、石婧、白英良、奥顿、汪啸云、李建海等诸位老师和同仁给予了大力支持与帮助,编著者在此向他们表示最诚挚的感谢。

由于编著者水平有限,本书难免有不妥或错误之处,敬请批评与指正,将不胜感激。作者联系方式:13718591111,leifei@bjut.edu.cn。

编著者

2016-6-16

目 录

第一章 绪论	1	第二章 半导体二极管与三极管	17
§ 1-1 模拟信号	1	§ 2-1 半导体的基本知识及 PN 结	17
一、模拟信号与数字信号	1	一、半导体的主要特性	17
二、由物理量到模拟量再到数字量的转换 过程	2	二、P 型半导体和 N 型半导体	18
三、模拟电路的主要作用	3	三、PN 结	19
四、模拟放大电路的主要技术指标	5	§ 2-2 半导体二极管	21
§ 1-2 模拟信号系统典型设备简介 ..	6	一、二极管的伏安特性	21
一、扩音机简介	6	二、二极管的主要参数	23
二、串联调整型直流稳压电源	7	三、二极管的等效模型	24
三、正弦波信号发生电路(信号源) 简介	8	四、二极管的应用举例	25
§ 1-3 理想运算放大器的模型及 简单应用	9	§ 2-3 特殊二极管	27
一、概述	9	一、稳压二极管	28
二、运算放大器的几个主要理想条件	10	二、光电二极管	29
三、同相运算放大电路	10	三、发光二极管	30
四、反比例放大电路	11	四、变容二极管	30
§ 1-4 电子设计自动化(EDA) 简介	12	五、肖特基二极管(SBD)	31
一、PSpice 软件	12	六、激光二极管	31
二、EWB 与 Multisim 软件	13	七、PIN 型二极管(PIN Diode)	32
三、MATLAB 软件	13	八、瞬变电压抑制二极管(TVS)	32
§ 1-5 模拟电子技术课程的特点与 学习思考	14	九、恒流二极管(CRD)	32
一、模拟电子技术课程特点	14	§ 2-4 晶体三极管	33
二、模拟电子技术课程的学习思考	15	一、BJT 的结构、放大原理与电流分配	34
三、模拟电子技术课程的主体内容及 要点	15	二、BJT 的输入、输出特性曲线	37
自测题与习题	16	三、BJT 的正向转移特性及 β 值的 变化特性	38
		四、BJT 的主要参数	39
		五、复合管	40
		六、恒流三极管(CRT)	41
		七、晶体管应用电路举例	43
		自测题与习题	45

第三章 基本放大电路	48	三、共源、共漏、共栅三种基本放大器	
§ 3-1 概述	48	的性能比较	82
一、放大电路的分类	48	§ 3-9 多极放大电路	82
二、放大电路的主要性能参数	49	一、RC 阻容耦合多级放大电路	83
§ 3-2 基本共发射极放大电路	51	二、直接耦合多级放大电路	85
一、器件作用	51	三、光电耦合放大电路	86
二、放大过程	52	§ 3-10 小信号放大电路电压增益	
三、直流工作点的重要性	52	的控制	87
四、BJT 的微变等效电路	55	一、电压增益受控原理	87
五、放大器的交流等效电路	55	二、电压增益受控电路	88
六、放大倍数、输入电阻及输出电阻		三、控制电压的产生	89
的计算	56	自测题与习题	90
七、电容 C_1 、 C_2 的影响	57	第四章 功率放大电路	96
八、温度对晶体管工作电流的影响	57	§ 4-1 概述	96
§ 3-3 分压偏置式共发射极		一、主要技术指标	96
放大电路	58	二、甲(A)、乙(B)、丙(C)类放大器	
一、主要元件的作用及直流工作点的		的概况	97
计算	58	§ 4-2 互补型功率放大电路	99
二、直流工作点的稳定	59	一、基本电路与工作原理	99
三、交流等效电路与交流参数的计算	59	二、OCL 功放技术指标的计算	100
四、 C_e 开路的共发射极放大电路	62	三、OTL 功放技术指标的计算	102
§ 3-4 共集电极放大电路	63	四、BTL 功放的分析计算	103
一、电路及交流等效电路	64	五、交越失真的削弱与消除	104
二、计算	64	六、集成功率放大电路实例	106
§ 3-5 共基极放大电路	66	§ 4-3 D(丁)类低频功率放大	
一、典型电路及工作特点	66	电路	109
二、交流等效电路及交流参数的计算	67	一、D(丁)类低频功率放大电路的	
§ 3-6 共发射极、共集电极、共基极		组成原理	109
三种基本电压放大器的		二、PWM 脉冲形成原理及电路分析	110
比较	67	§ 4-4 功率放大器件的保护	112
§ 3-7 场效应管	69	自测题与习题	112
一、结型场效应管(JFET)	70	第五章 集成运算放大电路	116
二、绝缘栅型场效应管(MOSFET)	73	§ 5-1 概述	116
三、功率场效应管	75	一、集成运算放大器的电路符号、	
四、场效应管的主要参数	76	组成框图及元件特点	116
§ 3-8 场效应管放大电路	77	二、内部元器件特点	117
一、自偏压共源放大电路	77		
二、场效应管共漏极放大电路	80		

§ 5-2 集成运算放大器中的直流 电流源	117
一、镜像电流源	118
二、微电流源	120
三、多路电流源	120
四、电流源用作有源负载	121
§ 5-3 差分放大电路	122
一、电路分析与计算	122
二、具有射极电阻的差分放大电路	126
三、具有恒流源的差分放大电路	128
四、差分放大电路的传输特性	129
五、四种不同接法差分放大器的比较	130
§ 5-4 模拟乘法电路	131
一、单差分模拟乘法电路	131
二、双差分模拟乘法电路	133
三、乘法器应用举例	134
§ 5-5 集成运算放大电路的主要 参数与实例	134
一、集成运算放大器的主要参数	135
二、集成运算放大器实例	136
§ 5-6 集成运算放大电路在信号 放大及运算方面的应用	139
一、运算放大电路作理想应用时的条件	140
二、放大电路	140
三、运算电路	145
§ 5-7 集成运算放大电路在信号 变换方面的应用	150
一、电流-电压(I/U)转换器	150
二、电压-电流(U/I)转换器	150
三、比较电路	152
§ 5-8 集成运放单电源供电问题	156
一、集成运放的调零问题	156
二、单电源交流运算放大电路	156
三、单电源直接耦合运算放大电路	157
§ 5-9 电流模集成运算放大器	158
一、基本电路组成	158
二、应用	159
三、电流模集成运放芯片举例	160

自测题与习题	161
--------------	-----

第六章 放大电路的频率响应与 滤波电路	167
§ 6-1 共发射极放大电路的 频率响应	167
一、概述	167
二、低频段频率响应的分析	168
三、高频段频率响应的分析	171
四、BJT 的小信号模型及频率参数	173
五、放大电路整个频段的电压增益 表达式和波特图	175
§ 6-2 共集电极、共基极放大电路 的频率响应	176
一、共集电极放大电路的频率响应	176
二、共基极放大电路的频率响应	177
三、多级放大电路的频率响应	178
§ 6-3 放大器的瞬态响应 (阶跃响应)	179
一、概述	179
二、定量分析	180
§ 6-4 滤波器的基础知识	182
一、滤波电路的分类	182
二、几种常用滤波器的基本电路及其 幅频特性	183
§ 6-5 低通滤波电路	184
一、一阶低通滤波电路	184
二、二阶低通滤波电路	185
§ 6-6 高通滤波电路	188
一、一阶高通滤波电路	188
二、二阶高通滤波电路	189
§ 6-7 带通滤波电路与带阻 滤波电路	189
一、无源带通滤波电路	190
二、有源带通滤波电路与带阻滤波 电路	190
三、无源双 T 型带阻(阻带)滤波 电路	192

四、有源双 T 型带阻滤波电路	193	波振荡电路)	224
五、全通滤波电路	193	三、由门电路组成的 RC 正弦波	
§ 6-8 开关电容滤波电路	194	振荡器	226
一、基本原理	194	§ 7-6 三点式 LC 正弦波振荡器	226
二、有源开关电容滤波电路与集成		一、三点式振荡器的组成原则	227
开关电容滤波电路	196	二、四种三点式 LC 振荡电路的综述	228
三、单片开关电容集成滤波器芯片		三、三点式振荡电路实例	230
简介	196	§ 7-7 石英晶体振荡器	231
§ 6-9 LCR 滤波电路	198	一、石英谐振器简介	231
一、 LCR 带通滤波电路	198	二、石英晶体振荡电路	232
二、 LCR 带阻滤波电路	199	§ 7-8 其他类振荡器	234
三、 LCR 带通滤波器与带阻滤波器		一、由正弦波产生方波(矩形波)、	
的组合应用	201	三角波	234
自测题与习题	203	二、方波(矩形波)振荡电路	234
第七章 反馈放大电路与振荡电路	208	三、集成化单片函数发生器 MAX038 ...	235
§ 7-1 负反馈概述	208	自测题与习题	238
一、负反馈放大器的组成及分类	208	第八章 直流稳压电源	243
二、反馈的判别	210	§ 8-1 直流稳压电源的组成及	
§ 7-2 负反馈对放大器性能指标		主要技术指标	243
的影响	211	一、系统组成框图	243
一、使放大倍数降低	211	二、主要技术指标	244
二、使放大器多项性能指标得到改善 ...	212	§ 8-2 变压、整流、滤波	245
三、负反馈对放大器输入电阻、输出		一、变压	245
电阻的影响	214	二、整流	246
四、负反馈能提高放大器增益的		三、滤波	249
稳定性	214	§ 8-3 串联型晶体管稳压电源	252
§ 7-3 四类负反馈放大电路	215	一、串联调整型稳压原理	252
一、电压串联负反馈放大电路	215	二、带有比较放大器的串联型稳压	
二、电压并联负反馈放大电路	216	电源	253
三、电流串联负反馈放大电路	217	三、串联调整型稳压电路的改进	255
四、电流并联负反馈放大电路	217	§ 8-4 三端集成稳压电路	256
§ 7-4 正弦波振荡电路概述	219	一、固定输出三端集成稳压电路	256
一、概述	219	二、固定输出三端集成稳压器的应用	
二、正弦波振荡器的基本工作原理	220	电路	257
§ 7-5 RC 正弦波振荡器	222	三、可调输出三端集成稳压器	259
一、 RC 选频网络	223	四、程控稳压电源电路	260
二、文氏电桥振荡电路(RC 正弦		§ 8-5 开关型稳压电源	261

一、开关型稳压电源的组成框图及 EMI 滤波器	262	九、印制电路板的布线问题	285
二、串联型开关稳压电源	263	十、电路与系统中电磁干扰与传播 途径	286
三、并联型开关稳压电源	265	十一、电路与系统抗干扰的几种方法 ...	287
四、变压器型开关稳压电源	266	§ 9-2 电路、系统的调试与故障 处理	287
五、开关型电源的稳压电路	266	一、电路与系统的调整测试	288
六、开关电源三种换能电路的比较	267	二、电路与系统的故障检测与排除	289
§ 8-6 集成开关电源器件举例	268	三、电路与系统中产生自激振荡的 原因	290
一、LM2596-5.0 的应用	268	四、电路与系统中自激振荡的防治	291
二、MC34063 的应用	268	§ 9-3 模拟电路与系统设计举例 ...	292
§ 8-7 晶闸管(可控硅)	270	一、放大电路的设计	292
一、晶闸管的符号、结构与工作原理	270	二、正弦波信号源的设计	294
二、晶闸管的伏安特性	271	三、多波形信号发生电路的设计	296
三、晶闸管的主要参数	272	四、移相、鉴相电路的设计	298
自测题与习题	273	§ 9-4 模拟电路与系统案例分析 ...	301
第九章 模拟电路与系统的设计及 电路分析	277	一、音响电路的分析	301
§ 9-1 模拟电路与系统的设计 方法	277	二、自动增益控制(AGC)放大电路	302
一、电子设备与系统的组成模型	277	三、DC~1 100 MHz 低噪声放大电路	303
二、电路与系统设计的基本原则	278	四、由 LM317 构成的 0~25 V 可调 稳压电路	304
三、电子电路与系统的设计方法	278	五、开关电源电路	305
四、电路与系统的设计流程	279	六、电子心音听诊器电路	306
五、电子电路与系统设计报告或设计 论文的主要结构	282	七、照相机电子闪光灯电路	307
六、电路与系统中常用的几种接地 方式	282	八、数字式电容容量测量电路(局部) ...	308
七、单点接地、多点接地、双绞线及 同轴电缆接地	283	九、某温控系统电路	309
八、印制电路板上的接地问题	284	十、声、光控路灯电路	310
		部分自测题与习题答案	312
		参考文献	317

“模拟电子技术”是高校理工科众多专业的必修课程和主干课程,模拟电路是多种电子产品、电子设备必不可少的基本组成单元,也是绝大多数物理量在转换成数字信号之前所必须经过的关键电路。

大千世界中,众多物理量均呈连续变化的状态:温湿度的高低、物体(压力)的轻重、光照的强弱、气体的浓淡、液体的流速、声音的大小、图像的浓淡、色彩的变化等无一不是如此。对这些物理量的处理与检测基本上是由相关的传感器将其转换成电信号,然后再由模拟电路、数字电路、智能化控制电路等作必要的处理,最后送至设备终端(信宿)为人们所识别所利用,此终端可以是指针式仪表、数码管、液晶屏、计算机、打印机、绘图机等设备,在音频系统中,扬声器(喇叭)可发出美妙的声响,在视频系统中,显示器(屏)可显现出艳丽的图像。

多年来,“模拟电子技术”是一门所谓难教难学的课程。究其原因有多方面的因素,其中教材、教法、实践等诸多环节的不尽人意之处也是其中原因之一。但不管怎样,学好这一门课是教育之需、科研生产之需、工程实践能力培养之需,本教材力争为此尽微薄之力。

本章内容目的在于让读者在学习半导体器件、放大电路、信号源、稳压电源等具体单元电路之前,先对这些电路在典型的、常见的电子设备中的位置和作用有一个粗略的了解,使读者先见森林、后见树木,先看全景、再看特写,尽可能解决以往在单元电路教学中学生常常提出“学这些电路有何用”的老问题。

§ 1-1 模拟信号

一、模拟信号与数字信号

一个在二维坐标中作连续变化的量就是模拟量,即在时间上和幅值上都是连续变化的物理量或电参量均为模拟量。例如,温度的高低通常是随时间而连续变化的模拟量,经温度传感器的转换,可得到其相应的电信号(电压或电流),其示意如图 1-1(a)所示,其表述为

$$u(\text{或 } i) = f(t)$$

即 u 或 i 是时间的连续变化函数。

又如发电机所发出的电信号(50 Hz 交流市电)也是随时间变化的正弦波或余弦波,是典型的模拟信号,其示意如图 1-1(b)所示,数学表述为

$$u = U_m \sin \omega_0 t$$

式中 $\omega_0 = 2\pi f, f = 50\text{ Hz}$, 图中纵坐标在 A 点时为正弦信号, 在 B 点时为余弦信号。

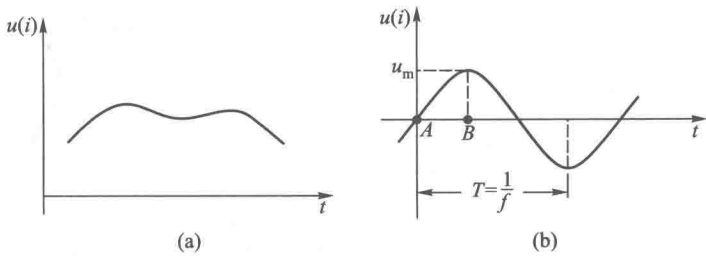


图 1-1 模拟信号示例

而数字信号则是二维坐标中均为不连续的量,即在时间上和幅值上都是离散变化的物理量,且其幅值的增减应是最小数量单位的整数倍。最常见的 0、1 代码就是典型的数字信号。图 1-2 给出了两种数字信号的波形。

图 1-2(a)为常见的 0、1 代码,为 8 位二进制 0110 1001,其值对应于十进制的 105。

图 1-2(b)为多电平的数字信号。每一电平代表两位二进制代码。各电平的高低呈整数倍关系。此类数字信号常用在数据通信和数字电视系统中,优点很多。

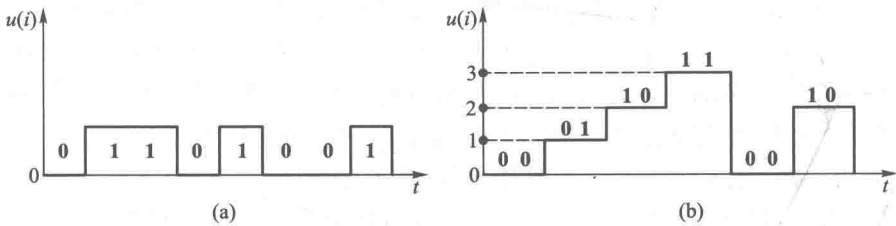


图 1-2 数制信号示例

二、由物理量到模拟量再到数字量的转换过程

这一转换过程是大量电子设备与系统均要面对的一个问题:温度、湿度、压力(重量)等的数字检测,语音的数字存储,电子照相机的影像存储等无不与此有关,这类问题的转换过程和设备的

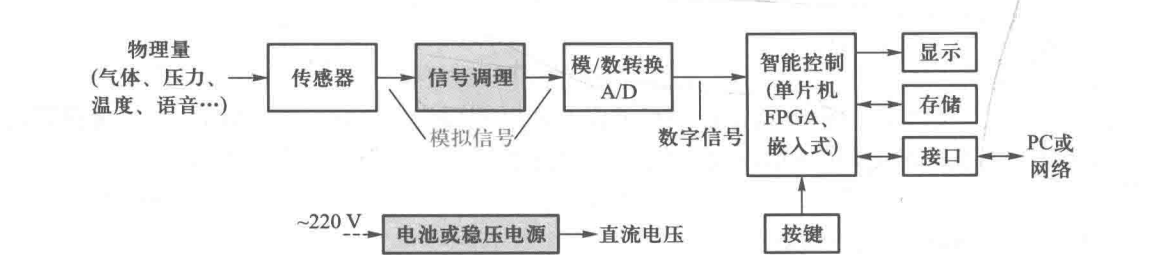


图 1-3 由物理量到模拟量再到数字量的转换过程

图中:

传感器——将物理量转换成电信号输出。如温度传感器将温度变化转换成电压或电流输出,送话器(麦克风)能将语音引起的空气振动转换成电压输出等。

信号调理——也称信号变送,它要对传感器送入的电信号进行处理与变换,如对多路输入信号进行选择,将电流信号转换成电压信号,对信号进行放大或衰减,对信号进行滤波(如心电信号要滤除 50 Hz 的交流干扰)等。信号调理电路是物理量检测系统中关键部件。

模/数(A/D)转换——它要将模拟信号转换成数字信号输出。近年来,许多智能控制电路已将 A/D 电路集成其中,为电路设计带来许多方便。

智能控制及显示、存储——常由单片机、嵌入式、FPGA 等集成芯片构建的小系统组成,任务是对系统运行、信号处理、A/D 转换、数据显示与存储、信号与上位机或网络通信等进行指挥与控制,协调各电路按序工作,最终实现对物理量的检测与传输。

按键——它是人机交换的界面,是每个电子设备都应具备的部件。

接口电路——每个智能系统几乎都有多个外部接口,以便与上位机 PC 或网络或无线收发模块或打印机等进行连接,以完成用户之所需。

电池或稳压电源——为设备各电路提供能源,这是任何电子设备所必需的,在简单的便携式装置中,常用电池供电,而在较复杂的设备中,几乎都用稳压电源供电,由 220 V 交流市电经稳压电路,输出所需的直流电压。

三、模拟电路的主要作用

在电子设备与系统中,模拟电路常常起到举足轻重的作用。其主要任务可归纳为如下几点:

1. 信号的放大

由传感器获得的信号幅值常常是很小的,需要放大,使其幅值能满足后继电路的要求,如扩音机送话器(麦克风)输出的音频信号幅值约为毫伏级,若要在终端 $8\ \Omega$ 扬声器(喇叭)中发出 500 mW 的功率。则其两端的电压幅值应为

$$U_m = \sqrt{2PR} = \sqrt{2 \times 0.5 \times 8}\ \text{V} = \sqrt{8}\ \text{V} = 2.83\ \text{V}$$

由送话器的毫伏级信号至扬声器所需的 2.83 V 信号,放大器的放大倍数约为

$$A_u = \frac{U_m}{\text{几毫伏}} = \text{几百倍} \sim \text{几千倍}$$

另外,收音机、电视机、心电监护仪、电子温度计等设备中,模拟信号的放大常在几十倍、几百倍,甚至是几千倍的范围中。

2. 信号的滤波

在电子设备中,所要处理的信号中常常有许多不需要的信号需要滤除:如 50 Hz 交流市电的干扰,高频段或低频段噪声的干扰,邻近频道信号(相邻电台)的干扰等,这些干扰和噪声常常要用滤波器来解决。

常用的模拟型滤波器有低通、高通、带通、带阻四种类型,其滤波特性如图 1-4 所示,图中 A_u 为滤波电路输出信号幅值与输入信号幅值之比,它表明滤波电路对不同频率信号的通过能力(即增益大小)。顾名思义,这四种滤波电路的含义为:

低通滤波器——只能让低于某一频率[图 1-4(b)中的 f_H]的各种频率的信号通过,而滤除

高于这一频率的各种高频信号；

高通滤波器——只能让高于某一频率[图 1-4(c)中的 f_L]的各种频率的信号通过,而滤除低于这一频率的各种低频信号；

带通滤波器——只能让某一频率[图 1-4(d)中的 f_0]的信号通过,而滤除较高和较低的各种频率信号；

带阻滤波器——与带通滤波器相反,它不能让某一频率[图 1-4(e)中的 f_0]的信号通过,而能让较高和较低的各种频率信号通过。

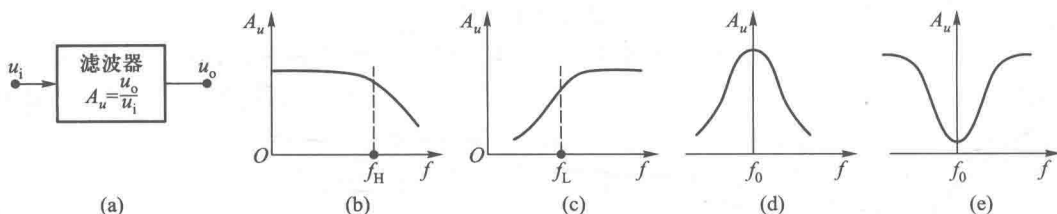


图 1-4 四种滤波器的滤波特性

就电路组成而言,滤波器有无源与有源之分:

无源滤波器——一般由 RC 或 RLC 基本元件组成,电路简单,无电源供给,但无增益;

有源滤波器——一般由 RC 、 RLC 与运算放大电路组成,电路稍复杂,但有增益,性能较好,需电源供给。

3. 信号变换

电子设备中,常常要将电流转换成电压或相反(如某些温度传感器,光电传感器输出的电流信号需转换成电压信号),或要将电压变化转换成频率的变化(或相反),在通信、广播、电视系统中要对传送的语音、图像、数字等信号进行各种频率变换,如调制、解调、混频等工作,上述这些变换常常由模拟电路来承担。

4. 信号产生

信号源或信号产生电路是多种电子设备不可缺少的电路,它的任务是要产生正弦波(或余弦波)信号输出。或产生锯齿波、三角波、阶梯波、矩形波、方波等信号输出。绝大多数信号源均由模拟电路组成。

常见的信号源有: RC 振荡电路、 LC 三点式振荡电路、石英晶体振荡电路、DDS 集成模块振荡电路等多种。

5. 电源电路

电源电路,特别是稳压电源电路是各种电子设备的重要组成部分,它要为整机和系统供给足够的电能,即提供所需的电压与电流。

常用稳压电源有串联调整型直流稳压电源和开关型直流稳压电源。前者的特点是电路简单,设计、制作方便,纹波也很小,但效率低是它的缺点,故常用在小功率电子设备中;开关型电源的特点是效率高,稳压范围很宽,但其纹波干扰较大,电路也较复杂,如今电视机、台式计算机等设备均采用开关电源,以节约可贵的能源。

上述讨论充分表明了模拟电子电路在电子产品和电子设备中的重要地位与作用,故本书的任务是要对此相关电路与技术作一系统的分析与研讨。

四、模拟放大电路的主要技术指标

放大电路的主要技术指标有如下几类：

1. 电压放大倍数 A_u

A_u 是如图 1-5 所示放大电路输出电压 u_o 与输入电压 u_i 之比值, 即

$$A_u = \frac{u_o}{u_i}$$

放大倍数可为正值, 也可为负值, 正值表明 u_o 与 u_i 同相, 相位差为零, 负值表明 u_o 与 u_i 反相, 相位差为 180° 。

A_u 值可用倍数表示, 如 10 倍、100 倍等, 也可用分贝数 dB 表示, 两者的关系为

$$\text{分贝数} = 20 \lg A_u = 20 \lg \frac{u_o}{u_i}$$

例如: $A_u = 10$ 倍, 则 $20 \lg A_u = 20 \lg 10^1 = 20 \text{ dB}$

$A_u = 100$ 倍, 则 $20 \lg A_u = 20 \lg 10^2 = 40 \text{ dB}$

$A_u = 1\,000$ 倍, 则 $20 \lg A_u = 20 \lg 10^3 = 60 \text{ dB}$

用分贝数计算多级放大电路的总增益时, 可将放大倍数相乘的关系改用分贝数的相加关系

2. 通频带宽度 BW

所谓通频带宽度是指放大电路电压放大倍数 A_u 变化不大、较为平坦的一段频率区间, 如图 1-6 所示。图中, 放大电路通频带宽度为

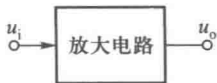


图 1-5 放大电路模块

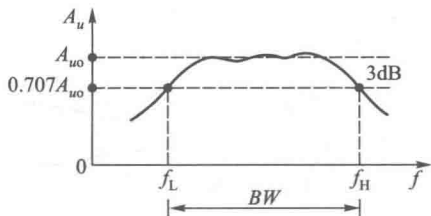


图 1-6 放大电路的幅频特性

$$BW = f_H - f_L$$

式中

f_H ——称放大电路的上限截止频率, 对应 A_u 平坦段 A_{uo} 下降 3 dB (即 $0.707A_{uo}$) 所对应的高端频率值。

f_L ——称放大电路的下限截止频率, 对应 A_u 平坦段 A_{uo} 下降 3 dB 所对应的低端频率值。

例如: 对于音频放大电路而言, 好的音响系统, 其 f_L 在 20 Hz 上下, f_H 在 15~20 kHz 上下, 若低音好, 则要求 f_L 低; 若高音好, 则要求 f_H 高。

3. 输入电阻 R_i

由输入端向放大器看进去的电阻 (即图 1-5 中由 u_i 向右侧看进去的电阻), 即输入电压 u_i 与输入电流 i_i 的比值

$$R_i = \frac{u_i}{i_i}$$

放大器的这一电阻是并接在前级电路的输出端的,故它的大小,对前级性能指标会有较大影响,此电阻越小前级供出的能量就越多(电流 i_i 越大),其影响也就越大,反之亦然。

在频率较高的放大电路,其输入电阻是一复数阻抗,通常为一电阻与一电容的并联值。

4. 输出电阻 R_o

由输出端向放大器看进去的电阻(即图 1-5 中由 u_o 向左侧看进去的电阻),即输出电压 u_o 与放大器负载开路时电流之比值。

放大器的这一电阻是负载的信号源内阻,其值大小将影响放大的带载能力,此电阻值越小,其输出电压不会随负载变化作很大变动,即其带载能力强,输出电压较稳定。

5. 输出信号的失真

通常考虑的是非线性失真,即放大器输出电压 u_o 的波形与输入电压 u_i 波形相近似的程度。

放大器的失真指标可以通过失真仪来检测,通常应在 3% 以上,对于正弦波形而言,若人眼已能觉察出该波形有些失真,则其失真度大概在 7%~10% 以上了。

§ 1-2 模拟信号系统典型设备简介

在学习模拟电子技术各单元电路之前,最好对典型的模拟信号系统有一个大致了解。使读者进一步了解模拟电路在整机系统中的位置与作用,尽可能避免以往所学不知何用的难题。本节列举三个典型案例作一说明。

一、扩音机简介

扩音机是开会、讲课、舞台演出等必备(用)的电子设备,这是模拟电子技术应用最有代表性的一种电子设备。其主要任务是要将送话器(麦克风)所拾取的信号进行放大、处理,最后由扬声器(喇叭)发出足够大的声音。

扩音机的电路组成框图如图 1-7 所示。

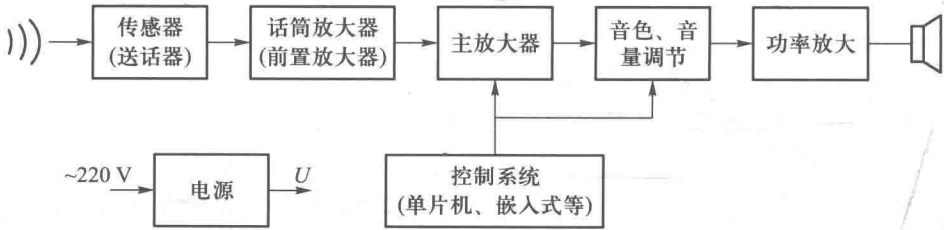


图 1-7 扩音机的电路组成框图

图中:

1. 传感器

扩音机中的传感器一般称为送话器或话筒或麦克风。它能将音乐、语音等的机械振动转换成电信号输出。信号的强度在毫伏级,此值应越大越好。

2. 话筒放大器

话筒放大器有时也为前置放大器,其作用是对传感器送入的音频信号进行放大。由于话筒输出信号的幅值较小(毫伏级),为了降低整机的噪声水平,常将这一放大器尽可能靠近话筒,以缩短二者间的连线长度。此放大器的放大倍数一般在 10~40 倍上下,通频带宽度在 20 Hz~20 kHz 左右,其下限频率越低则低音音质越好,上限频率越高则高音效果越佳,另外,作为小信号的话筒放大器,要求它的噪声系数越小越好。

3. 主放大器

主要承担信号的放大任务。对输入信号作进一步放大,其电压放大倍数可在 10~50 倍间调节。

4. 音色音量调节

任何级别的扩音机都会有音量控制设置,以满足用户之需。而音色(音调)控制则可有可无,视扩音机的级别而定,差别较大:有的只作高、低音调节,有的要将音频信号按频率分成若干段,分路放大,然后合成输出。这样可按听众(或调音师)的需求分别调整,以补偿或改善语音或歌唱者声音中的某些缺陷和不足,使音质达到最佳水平。

5. 功率放大器

功率放大器也称输出级,主要作功率放大,以推动扬声器发声。功率放大级主要是对信号作电流放大,电压增益一般接近于 1。这一级的主要技术指标是输出功率大小、效率高低、失真多少。根据扩音机的级别不同,其输出功率可低至几瓦,高至几十瓦至几百瓦。

在一些较好的扩音系统中(如家庭音响),其输出级可分高、低音或高、中、低音输出,在立体声系统中,扩音机的输出可能有 5 路或 7 路之多。

顺便指出,收音机、电视机、手机等家用、个人用电子产品中,低频功率放大器是必不可少的,其扬声器发出的功率在百毫瓦至瓦级之间。

6. 控制系统

常由单片机、嵌入式等小系统组成,在级别较低的扩音机中,基本无智能控制,在性能较好的近代扩音系统中均增设这一模块。

7. 稳压电源

小功率扩音机可采用较为简单的串联调整型稳压电源电路,但在中大功率的扩音系统中,为节省能源,常采用开关电源供给电能。

二、串联调整型直流稳压电源

直流稳压电源的作用是要将输入的 220 V 交流市电转换成所需的直流电压输出,以供各电子电路与系统所需。有时也称此电源为 AC-DC 转换装置。

串联调整型直流稳压电源的电路组成及基本电路如图 1-8 所示。

下面要对图 1-8 作一简单的论述:

1. 图中第一排为电路组成框图,显然它由如下几大部分组成:

变压——常用电源变压器将 220 V 交流电压变换成所需的交流电压,在一般的小功率电子设备中, u_2 低于 u_1 ,呈降压应用,例如当输出 $U_0 = 12\text{ V}$ 时, u_2 的有效值为 14~15 V。