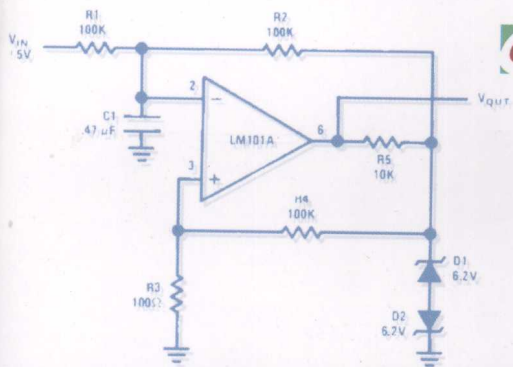




国家电工电子教学基地系列教材

模拟电子技术

◎ 刘颖 主编
◎ 任希曾涛 编著
◎ 侯建军 审



清华大学出版社
<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



北京交通大学出版社
<http://press.bjtu.edu.cn>

国家电工电子教学基地系列教材

模拟电子技术

	刘 颖	主编
任 希	曾 涛	编著
	侯建军	审

清华大学出版社
北京交通大学出版社
·北京·

内 容 简 介

本书为北京交通大学国家电工电子教学基地和国家电工电子实验教学示范中心课程建设的教材之一,是作者在多年教学实践基础上,吸收了国内外优秀电子技术教材的特点编写而成的。针对模拟电子技术中的重点、难点,本教材提供了大量例题,在例题分析过程中注重对同一问题不同层次的分析解决方法,培养学生分析问题、解决问题的能力及创新意识。

全书共 12 章,内容包括绪论、半导体器件基础、双极型三极管基本放大电路、场效应管基本放大电路、模拟集成放大电路基础、级联放大电路、负反馈放大电路、功率放大电路、理想运算放大电路及其应用、周期信号发生器电路、直流稳压源电路和现代电子电路仿真调试方法应用。

本书可作为高等学校电气信息类等本科生、专科生“模拟电子技术”课程的教材和教学参考书,也可作为电子技术相关人员的参考书。

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 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术 / 刘颖主编; 任希, 曾涛编著. — 北京: 清华大学出版社; 北京交通大学出版社, 2008.3

(国家电工电子教学基地系列教材)

ISBN 978-7-81123-238-7

I. 模… II. ①刘… ②任… ③曾… III. 模拟电路-电子技术-高等学校-教材
IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 022244 号

策划编辑: 韩 乐

责任编辑: 郭东青 特邀编辑: 李晓敏

出版发行: 清华大学出版社 邮编: 100084 电话: 010-62776969

北京交通大学出版社 邮编: 100044 电话: 010-51686414

印刷者: 北京东光印刷厂

经 销: 全国新华书店

开 本: 180×230 印张: 23.25 字数: 533 千字

版 次: 2008 年 4 月第 1 版 2008 年 4 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-81123-238-7/TN·57

印 数: 1~4000 册 定价: 36.00 元

本书如有质量问题, 请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评, 我们表示欢迎和感谢。

投诉电话: 010-51686043, 51686008; 传真: 010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

国家电工电子教学基地系列教材

编审委员会成员名单

主 任 谈振辉

副主任 张思东 赵乐沅 孙雨耕

委 员 (以姓氏笔画为序)

王化深	卢先河	刘京南	朱定华	沈嗣昌
严国萍	杜普选	李金平	李国国	李哲英
张有根	张传生	张晓冬	陈后金	邹家騄
郑光信	屈 波	侯建军	贾怀义	徐国治
徐佩霞	廖桂生	薛 质	戴瑜兴	

总 序

当今信息科学技术日新月异,以通信技术为代表的电子信息类专业知识更新尤为迅猛。培养具有国际竞争能力的高水平信息技术人才,促进我国信息产业发展和国家信息化水平的提高,都对电子信息类专业创新人才的培养、课程体系的改革、课程内容的更新提出了富有时代特色的要求。近年来,国家电工电子教学基地对电子信息类专业的技术基础课程群进行了改革与实践,探索了各课程的认知规律,确定了科学的教育思想,理顺了课程体系,更新了课程内容,融合了现代教学方法,取得了良好的效果。为总结和推广这些改革成果,在借鉴国内外同类有影响教材的基础上,国家电工电子教学基地决定出版一套以电子信息类专业的技术基础课程为内容的“国家电工电子教学基地系列教材”。

本系列教材具有以下特色:

- 在教育思想上,符合学生的认知规律,使教材不仅是教学内容的载体,也是思维方法和认知过程的载体。
- 在体系上,建立了较完整的课程体系,突出了各课程内在联系及课程群内各课程的相互关系,体现微观与宏观、局部与整体的辩证统一。
- 在内容上,体现现代与经典、数字与模拟、软件与硬件的辩证关系,反映当今信息科学与技术的新概念和新理论,内容阐述深入浅出、详略得当。增加工程性习题、设计性习题和综合性习题,培养学生分析问题和解决问题的素质与能力。
- 在辅助工具上,注重计算机软件工具的运用,使学生从单纯的习题计算转移到基本概念、基本原理和基本方法的理解和应用,提高了学习效率和效果。

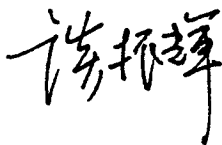
本系列教材包括:

《基础电路分析》、《现代电路分析》、《电路分析学习指导及习题精解》、《模拟集成电路基础》、《模拟电子技术》、《信号与系统》、《信号与系统学习指导及习题精解》、《电子测量技术》、《微机原理与接口技术》、《电路基础实验》、《电子电路实验及仿真》、《数字实验一体化教程》、《电路基本理论》、《现代电子线路》(上册)、《现代电子线路》(下册)、《电工技术》、《单片机原

理与应用》。

本系列教材的编写和出版得到了教育部高等教育司的指导、北京交通大学教务处及电子与信息工程学院的支持,在教育思想、课程体系、教学内容、教学方法等方面获得了国内同行们的帮助,在此表示衷心的感谢。

北京交通大学
“国家电工电子教学基地系列教材”
编审委员会主任

A stylized handwritten signature in black ink, likely belonging to Chen Hui, the chief reviewer.

2008年4月

前 言

在电子技术迅猛发展的今天,电子技术和电子产品已经渗透到生活中的各个领域,小到门铃、DVD 播放机、电话机,大到雷达、导航系统、全球定位系统等。电子技术与固体物理学、器件工艺学、信息技术、计算数学、数据库、图形学、计算数学等技术理论广泛的交叉结合,加速了电子技术的发展。在模拟电子技术课程的教学工作中,既要重视基础教学内容,又要跟踪现代新技术的发展,这对于教学工作者提出了更大的挑战。

在编写过程中,总结了北京交通大学国家电工电子教学基地、国家电工电子实验教学示范中心在创新人才培养过程中的教学体会,参考了国内外优秀教材,总结了多年的教学经验,力求处理好基础内容和新技术之间的关系。

本教材在内容安排方面,通过绪论全面地介绍了电子技术应用过程中各个环节遇到的问题,使读者了解教材中各章节内容在电子电路和电子系统中的位置和作用。教材重点介绍了基础理论,如半导体器件、双极型三极管基本放大电路、场效应管基本放大电路,注重集成电路的原理及应用,如差分放大电路、电流源电路的分析。教材在详细介绍模拟电子技术的基础上,介绍了先进的现代电子技术设计方法及相关的软件,利用这些模拟调试软件对教材中各章节的典型电路进行了模拟调试,突出了新技术的应用。

本教材在结构安排方面遵循先基础、后应用的原则,循序渐进,由单一模块到综合模块,将课程中的重点、难点分散到各章节之中,在重点、难点内容引入例题的同时,注重对同一问题不同层次的分析解决方法,以培养学生的创新意识。本教材将各单元电路与相关专业的应用结合起来,以突出教材对各专业学生的适用性。另外,还适量增加了例题比例,易于学生自学。在文字叙述方面力求简练、注重启发性。

本教材配备教师授课使用的多媒体电子教案,图文并茂,便于学生理解。教学内容和教学结构安排已经在北京交通大学改革试点班中试用了两次,教学效果良好。

本教材的编写教师多年从事电子电路课程体系、课程内容的建设、改革工作,具有丰富的教学经验。本教材由刘颖主编,第 8、10、11 章由任希编写,第 2、9 章由曾涛编写,刘颖编写其余 7 章,并负责全书的整理和统稿。侯建军教授审阅了全书,并提出了许多宝贵的建议,对提高本书质量起到了十分重要的作用。最后向所有关心、支持和帮助过本教材编写、修改、校对、出版、发行工作的同志们表示最真诚的谢意。

由于编者水平有限,书中难免有不妥和错误之处,恳请读者批评指正。

本书电子教案可以从北京交通大学出版社网站上免费下载。

编 者

2008 年 3 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 电子电路系统	1
1.2 放大电路性能及指标	3
1.3 电子电路设计过程	8
1.4 电子电路调试方法	9
1.5 模拟电子技术课程特点	10
1.6 电子技术发展概况	10
第 2 章 半导体器件基础	12
2.1 半导体基础知识	12
2.1.1 半导体材料及特性	12
2.1.2 本征半导体	13
2.1.3 杂质半导体	15
2.2 PN 结	17
2.2.1 PN 结的形成	18
2.2.2 PN 结的伏安特性	20
2.2.3 PN 结电容	21
2.2.4 PN 结的反向击穿	23
2.2.5 PN 结光电效应与电致发光效应	24
2.3 二极管	25
2.3.1 二极管的结构类型	25
2.3.2 二极管的特性曲线	26
2.3.3 二极管的等效电路	28
2.3.4 稳压二极管	31
2.3.5 变容二极管	32
2.3.6 肖特基二极管	32
2.3.7 光电二极管	33
2.3.8 发光二极管	34
2.3.9 二极管的典型应用	34
2.4 双极结型三极管	37

2.4.1	三极管的结构及类型	37
2.4.2	三极管的电流放大工作原理	38
2.4.3	三极管的输入输出特性曲线	41
2.4.4	三极管的主要参数	43
2.4.5	温度对三极管特性和参数的影响	46
2.5	场效应管	47
2.5.1	场效应管分类	47
2.5.2	绝缘栅型场效应管	47
2.5.3	结型场效应管	55
2.5.4	场效应管的主要参数及特点	58
2.6	常用半导体器件介绍	59
	本章小结	62
	习题	63
第3章	双极型三极管基本放大电路	67
3.1	概述	67
3.2	基本放大电路的放大原理	67
3.2.1	基本放大电路组成	68
3.2.2	典型基本放大电路	68
3.2.3	直流通路和交流通路	69
3.2.4	放大电路工作原理	70
3.3	共射放大电路静态(直流)分析方法	72
3.3.1	直接计算法	72
3.3.2	图解法	75
3.4	共射放大电路动态(交流)分析方法	76
3.4.1	图解法	77
3.4.2	等效电路法	80
3.5	放大电路的频率响应	87
3.5.1	频率响应的基本概念	87
3.5.2	频率响应的波特图及其渐近线	87
3.5.3	共射放大电路频率响应分析	90
3.5.4	三极管电流增益特性及带宽增益积	93
3.6	共集电极放大电路	94
3.6.1	静态分析	94
3.6.2	动态分析	95
3.7	共基极放大电路	99

3.7.1 静态分析	99
3.7.2 动态分析	99
3.8 三种组态放大电路性能比较	101
本章小结	102
习题	102
第4章 场效应管基本放大电路	113
4.1 概述	113
4.2 场效应管放大电路静态分析方法	113
4.2.1 场效应管的直流模型	114
4.2.2 直流偏置电路及静态分析	114
4.3 场效应管放大电路动态分析方法	117
4.3.1 场效应管交流等效电路模型	117
4.3.2 共源放大电路交流分析	119
4.4 共漏放大电路	121
4.5 共栅放大电路	124
本章小结	126
习题	126
第5章 模拟集成放大电路基础	132
5.1 集成运算放大电路概述	132
5.2 集成运算放大电路中的电流源	133
5.2.1 基于三极管的电流源电路	133
5.2.2 基于场效应管的电流源电路	137
5.2.3 电流源电路应用	138
5.3 差分放大电路	140
5.3.1 零点漂移	140
5.3.2 双极型差分放大电路的工作原理及性能分析	141
5.3.3 具有恒流源的双极型差分放大电路	150
5.3.4 单极型差分放大电路	152
5.4 差分放大电路的传输特性	152
5.5 集成运算放大电路	154
5.5.1 集成运算放大电路的组成	154
5.5.2 基于三极管的集成运算放大电路	155
5.5.3 基于场效应管的集成运算放大电路	157
5.5.4 混合管集成运算放大电路	158
5.6 集成运算放大电路指标及其芯片介绍	159

5.6.1 集成运算放大电路的主要指标	159
5.6.2 集成运算放大电路芯片分类及型号	163
5.7 集成运算放大电路器件的注意事项	165
5.7.1 正确选择集成运算放大电路器件	165
5.7.2 集成运算放大电路器件的使用要点	165
本章小结	168
习题	169
第6章 级联放大电路	178
6.1 概述	178
6.2 多级放大电路的耦合方式	178
6.2.1 阻容耦合	178
6.2.2 变压器耦合	179
6.2.3 光电耦合	180
6.2.4 直接耦合	181
6.3 多级放大电路的分析方法	182
6.3.1 级联放大电路增益计算方法	182
6.3.2 复合管	188
本章小结	190
习题	190
第7章 负反馈放大电路	198
7.1 反馈的基本概念	198
7.1.1 反馈的定义	198
7.1.2 反馈的分类	199
7.1.3 反馈类别的判别方法	199
7.1.4 负反馈放大电路的基本反馈方程式	202
7.2 负反馈放大电路的分类	203
7.2.1 电流串联负反馈放大电路	203
7.2.2 电流并联负反馈放大电路	205
7.2.3 电压串联负反馈放大电路	206
7.2.4 电压并联负反馈放大电路	208
7.3 负反馈对放大电路性能的影响	209
7.3.1 负反馈对静态工作点的稳定作用	209
7.3.2 负反馈对增益的影响	210
7.3.3 负反馈对通频带的影响	210
7.3.4 负反馈对非线性失真的影响	211

7.3.5	信号源内阻对负反馈放大电路性能的影响	212
7.3.6	负反馈对输入阻抗的影响	214
7.3.7	负反馈对输出阻抗的影响	215
7.4	负反馈放大电路分析方法	217
7.4.1	等效电路法	217
7.4.2	方框图法	217
7.4.3	深度负反馈放大电路增益的近似计算	220
7.5	负反馈放大电路的稳定性	223
7.5.1	负反馈放大电路自激振荡的原因和条件	223
7.5.2	负反馈放大电路自激振荡的消除方法	225
本章小结	.....	228
习题	.....	229
第8章	功率放大电路	236
8.1	功率放大电路概述	236
8.1.1	功率放大电路的特点	236
8.1.2	功率放大电路的工作状态分类	237
8.1.3	功率放大电路的一般问题	239
8.2	乙类双电源互补对称功率放大电路	239
8.2.1	电路的组成	239
8.2.2	分析计算	240
8.2.3	功率管的选择	243
8.3	甲乙类互补对称功率放大电路	244
8.3.1	甲乙类双电源互补对称电路	245
8.3.2	甲乙类单电源互补对称电路	245
8.3.3	复合管功率放大电路	245
8.4	集成功率放大电路	247
8.4.1	集成功率放大电路的分析	247
8.4.2	集成功率放大电路的主要性能指标	248
8.4.3	集成功率放大电路的应用	249
8.5	常用功率放大电路器件介绍	250
8.5.1	双极性大功率三极管	250
8.5.2	功率 MOS 管	252
8.5.3	功率模块	253
本章小结	.....	254
习题	.....	255

第9章 理想运算放大电路及其应用	257
9.1 理想运算放大电路	257
9.1.1 理想运算放大电路的电路模型	257
9.1.2 理想运算放大电路的主要性能指标	258
9.1.3 理想运算放大电路的线性与非线性应用	258
9.2 比例运算电路	259
9.2.1 反相比例运算电路	259
9.2.2 同相比例运算电路	260
9.3 基本运算电路	261
9.3.1 加法电路	261
9.3.2 减法电路	263
9.3.3 积分电路	264
9.3.4 微分电路	265
9.3.5 对数运算电路	266
9.3.6 指数运算电路	268
9.4 电压比较器	268
9.4.1 单限比较器	269
9.4.2 迟滞比较器	271
9.5 信号转换电路	274
9.5.1 电压与电流转换电路	274
9.5.2 精密整流电路	275
9.5.3 电压-频率转换电路	276
9.6 有源滤波器	279
9.6.1 低通滤波器	282
9.6.2 高通滤波器	285
9.6.3 其他滤波器	287
本章小结	291
习题	291
第10章 周期信号发生器电路	295
10.1 正弦波振荡电路	295
10.1.1 反馈振荡器的基本原理	295
10.1.2 正弦波振荡电路的组成和分类	296
10.1.3 RC振荡电路	297
10.2 非正弦周期信号产生电路	299
10.2.1 矩形波发生电路	299

10.2.2	三角波发生电路	301
10.2.3	锯齿波发生电路	304
10.2.4	波形变换电路	305
10.3	任意波形周期信号产生电路	308
10.4	常用信号发生器芯片介绍	310
本章小结	.....	312
习题	.....	313
第 11 章	直流稳压源电路	319
11.1	直流稳压电路组成及各部分的作用	319
11.2	整流电路	319
11.2.1	单相桥式整流电路	319
11.2.2	滤波电路	321
11.3	稳压管稳压电路	324
11.3.1	稳压电路主要性能指标	324
11.3.2	稳压电路组成及设计原理	325
11.4	串联反馈式稳压电路	327
11.4.1	串联反馈式稳压电路的工作原理	328
11.4.2	三端集成稳压电路	329
11.4.3	三端集成稳压电路的应用	331
11.5	开关型稳压电路	333
11.5.1	开关型稳压电路的分类	334
11.5.2	串联开关型稳压电路	334
11.5.3	并联开关型稳压电路	336
11.6	常用直流稳压芯片介绍	337
本章小结	.....	338
习题	.....	339
第 12 章	电子电路仿真调试方法应用	344
12.1	概述	344
12.2	常用电路仿真调试软件介绍	344
12.2.1	PSPICE	344
12.2.2	MULTISIM	346
12.2.3	Electronics Workbench	346
12.2.4	PAC-DESIGNER	347
12.3	模拟电路仿真调试举例	347
本章小结	.....	355
参考文献	.....	356

第1章 绪论

本章问题的提出

1. 什么是电子技术？电子技术包含哪些内容？
2. 模拟电子电路有哪些功能模块？放大器模块有哪些指标？
3. 模拟电子技术研究的内容是什么？模拟电子技术课程有哪些特点？
4. 电子技术的发展进程如何？

1.1 电子电路系统

通常情况下把由电阻、电容、三极管、二极管、集成电路等电子元器件组成的并具有一定功能的电路称为电子电路,简称为电路。电子技术是研究电子器件及电路系统设计、分析及制造的工程实用技术。目前,电子技术主要由模拟电子技术和数字电子技术两部分组成。模拟电子技术主要是研究处理模拟信号的电子电路,模拟信号是幅度连续的信号,如温度、压力、流量等,如图 1-1 所示。数字电子技术主要是研究处理数字信号的电子电路,数字信号通常是指时间和幅度均离散的信号,如电报信号、计算机数据信号等,如图 1-2 所示。

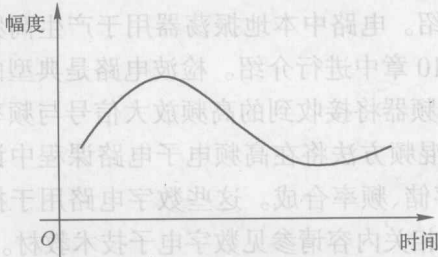


图 1-1 模拟信号波形

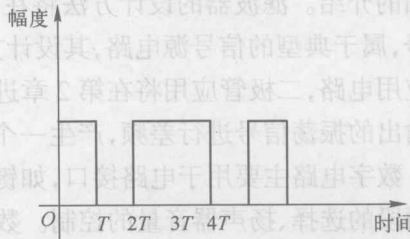


图 1-2 数字信号波形

在电子技术迅猛发展的今天,电子电路的应用在日常生活中无处不在,小到门铃、收音机、DVD 播放机、电话机等,大到全球定位系统(Global Positioning Systems, GPS)、雷达、导航系统等。一个完整的电子电路系统通常由若干个功能电路组成,功能电路主要有放大电路、滤波电路、信号源、波形发生电路、数字逻辑电路、数字存储器、电源、模拟/数字转换电路等。放大电路主要用于增加信号的功率电平。滤波电路用于从输入信号中分离出需要的成分并抑制

噪声和信号的干扰。信号源通常产生余弦波、方波或任意波形等周期信号。波形形成电路可以将一种波形的周期信号转变为另外一种波形的周期信号,如将余弦波转换为方波、方波转换为三角波。电源电路给各功能电路提供必要的直流电源。数字逻辑电路主要用于处理逻辑信号。存储器通常以数字形式存储信息。模拟/数字转换电路将模拟信号转换为数字信号,反之亦然。

图 1-3 为目前典型的有频道设置存储功能的 AM 收音机电路结构框图。

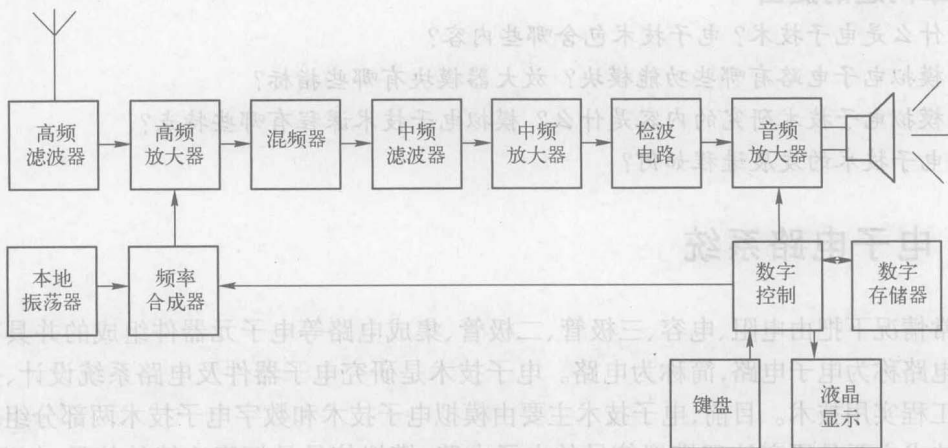


图 1-3 AM 收音机电路结构框图

图 1-3 电路中有三个放大器、两个滤波器。放大器设计方法将在第 3,4,5,6,7,8 章中进行详细的介绍。滤波器的设计方法将在 9.6 节中介绍。电路中本地振荡器用于产生高频余弦信号,属于典型的信号源电路,其设计方法将在第 10 章中进行介绍。检波电路是典型的二极管应用电路,二极管应用将在第 2 章进行介绍。混频器将接收到的高频放大信号与频率合成器输出的振荡信号进行差频,产生一个中频信号,混频方法将在高频电子电路课程中详细介绍。数字电路主要用于电路接口,如键盘、显示、存储、频率合成。这些数字电路用于控制收音频段的选择、扬声器音量的控制。数字电子技术相关内容请参见数字电子技术教材。

利用功能电路可以设计 AM 接收电路,还可以设计通信系统电路、数字信号处理电路、医学信号处理电路、控制系统电路、计算机系统等。在信息化社会的今天,一个大型的电子电路系统中数字电路和数字信息处理单元占有很大的比重,如数字传输、数字储存、数字分析处理等。而模拟电子电路主要用于系统接口端模拟信源信号的采集、放大、处理,如将麦克风输出的微弱语音信号进行放大处理、数字合成的语音信号放大后经扬声器输出。图像、温度、压力、人体的脉搏等信号同样需要相应的模拟电子电路进行数据采集和处理。在一个大型电子系统设计过程中,模拟电路占电路的规模可能不是很大,但是这部分电路的设计具有极大的挑战性。

1.2 放大电路性能及指标

模拟电子电路中最重要功能模块是放大电路,如图 1-4 所示。其他功能电路,如模拟滤波器、振荡器、稳压电路、运算电路等都是以放大电路为基础的。

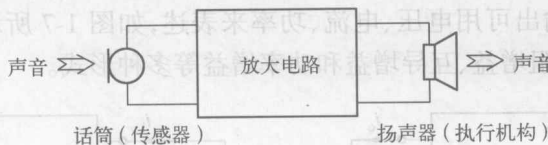


图 1-4 放大电路示意图

通常在模拟电路输入端,模拟信号传感器输出的信号都非常微弱,因此需要利用放大电路对其进行放大。输入信号经过放大器后,输出电压或电流在幅度上得到了放大,输出信号的能量得到了加强。需要注意的是,放大电路的放大对象是变量,这里的“放大”指的是不失真的放大,即输出的信号波形和输入的信号波形相同,只是信号幅度发生线性变化,如图 1-5 所示。放大电路需要直流电源供电,输出信号的能量实际上是由直流电源提供的,只是经过了三极管或场效应管放大器件的控制,使之转换成为信号能量,提供给负载。

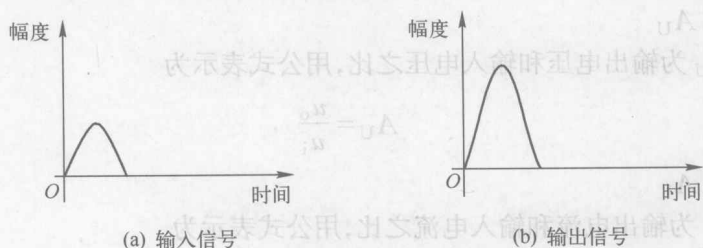


图 1-5 放大器输入输出示意图

放大器可以分为同相放大器和反相放大器,其输入和输出的关系如图 1-6 所示。

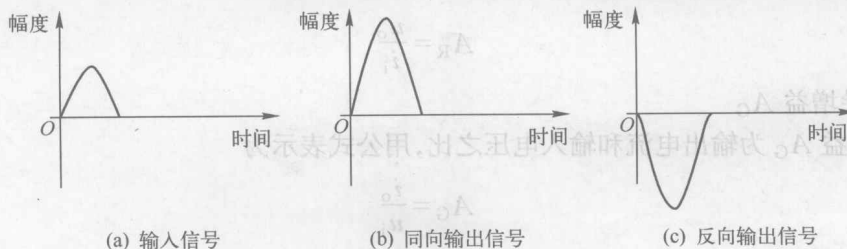


图 1-6 放大器同相放大、反相放大示意图