

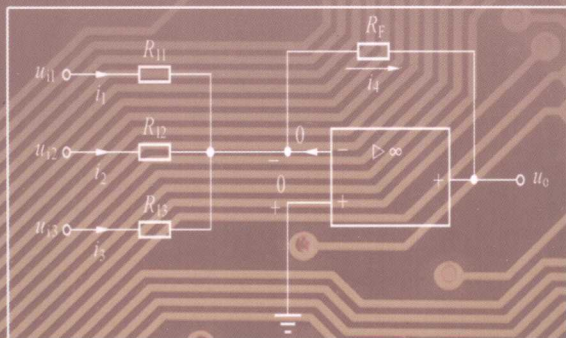
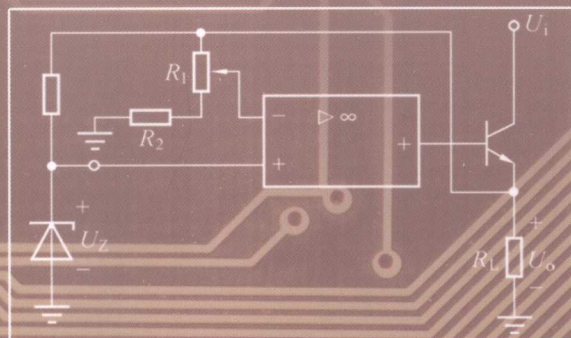


电气工程与电气信息科学技术工程系列丛书

模拟电子技术

主编 林孔元

W. O. Ni
DianZi JiShu



哈尔滨工业大学出版社

电气工程与电气信息科学技术工程系列丛书

模拟电子技术

主编 林孔元

哈尔滨工业大学出版社

内 容 简 介

本书根据高等学校工程教育及现场非电专业技术人员继续教育的需求编写,目的是:在他们已有相关知识的基础上进一步拓展知识面,并深化对电气与信息系统的认识,为他们的实际工作提供切实的帮助。全书共7章,内容涉及信号、放大器及以放大器为核心的模拟信号处理技术、模拟信号传输、整流、斩波、变流等大功率模拟电子技术等。全书按照“重要点不重细节”的原则,以模拟信号处理和电能形式转换两条主线论述模拟电子技术的核心概念、理论和方法的要点,而不过分拘泥于理论及技术细节的讨论。

本书内容丰富、体系明晰、论述通俗,既可作为电类及非电类专业的工程实践和高职高专类相关专业教学的教材,亦可作为在职非电工程技术人员继续教育的教材。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术/林孔元主编. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2008.11

(电气工程与电气信息科学技术工程系列丛书)

ISBN 978-7-5603-2506-4

I. 模… II. 林… III. 模拟电路-电子技术
IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 150933 号

责任编辑 王桂芝 贾学斌

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 肇东粮食印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 8.75 字数 220 千字

版 次 2009 年 1 月第 1 版 2009 年 1 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-2506-4

定 价 22.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

◎ 序

Foreword

随着经济全球化、产业国际竞争的加剧和电子信息科学技术的飞速发展,电气工程与电气信息科学技术领域的国际交流日益广泛,因此,对能够参与国际化工程项目的工程师的需求愈来愈迫切,这便对高等学校电气工程与电气信息科学技术领域专业人才的培养提出了更高的要求。

近些年,国家教育部对本科生教育提出了“厚基础、宽口径”的要求,使学生掌握了比较扎实的基础知识,拓宽了学生的就业方向和就业广度。但与此同时,也显露出刚毕业的大学生工程实践能力差、难以很快适应工作的问题,对于电类专业的学生来说,缺少工程教育的过程,很多工程实际操作、实用技术,因受学时限制,不能讲深、讲透,出现了“理论基础扎实、工程实践能力欠缺”的问题;而对于那些在校时只接触过类似“电工学”这样的电类基础课程,而工作后却从事电气领域相关工作的非电类专业人员来说,这种问题就显得更为突出。目前,教育部已经认识到并着手解决这方面的问题,开始在工科高等学校开展工程教育专业认证工作,积极推进工程教育改革,以提高学生的工程实践能力和创新能力,培养能够参与国际化工程项目的工程师,在实质等效性的要求下推进全球工程教育的交流。

为了更好地配合高等学校的工程教育改革,我们组织编写了《电气工程与电气信息科学技术工程系列丛书》。该丛书侧重介绍当代电气工程与电气信息科学技术领域的主要知识和应用技术,重点讲述工程实践中的一些具体实例,以使这些学生能够尽快了解该领域内的新知识和新技术,领悟工程概念,提高工程实践能力,使其工作后能够尽快进入角色。该丛书的编写原则是理论上“以必须和够用为度”、“重点突出”;实例选择上“以工程实践为基础”、“实用性强”。

该丛书适合于电类专业的在校本科生,使其在拥有较扎实的理论基础上,加强工程实践教学,较快地了解和掌握工程实践中的一些实际应用技术;也适合于毕业后从事电气领域相关工作的非电类专业学生,使其能够通过该丛书系统地了解该领域的主要知识和实际应用技术,尽快进入工作角色。由于其简练的理论阐述和较强的实用特性,该丛书也可以作为高职高专类相关专业的教材。

该丛书作者队伍阵容强大,既有国内电工学教育界的知名学者,也有哈尔滨工业大学电气工程领域从事多年教学和科研工作的教授、博导。他们将近年来该领域的新成果和多年的教学、科研经验,融会于丛书中。相信该丛书必将对广大电气工程与电气信息科学技术人员和在校师生有较大的帮助。

中国高等学校电工学
研究会理事长

2008年6月

◎ 前言

Preface

电气工程、电子技术和信息技术的应用已经深深地嵌入到电类及非电类领域的各个方面,成为各领域技术进步的重要推动力。因此,具备电气工程、电子技术和信息技术的总体的、系统的知识和明晰的、基本的概念,对相关专业的在校大学生和非电工程师而言都是重要的、必需的,是现代大学生及非电工程师基本素养的一个具体体现。

本书结合目前各工科高等学校推行的工程教育改革及考虑到非电类专业工程技术人员从事电类专业工作的现状而编写,目的是帮助他们在过去已经学过相关知识的基础上建立关于模拟电子技术的更加明晰的概念和更加系统的认识。为了上述目的,本书按照下述的观点和原则编写:

1. 信号、系统和电子技术三者密切相关,在理论、方法和技术这三个层面上构成一个统一的整体,而电子技术则处于这个统一体的底层,它支撑系统的构建并支持系统目标的实现。非电工程师无需亲自处理底层的技术问题,他们学习电子技术的目的在于建立相关的概念,掌握基本的方法,以支持对工作现场具体的电气与信息系统、装置的基本工作原理、技术性能的准确了解,以利于他们的实际工作。

2. 本书把模拟电子技术问题定位于信号和系统的总体框架之中,从新的角度、新的高度将电子技术问题作为信号处理的手段和构建系统的基础技术来对待。在本书中,以模拟信号处理和电能形式转换两条主线对模拟电子技术展开论述,所有的内容都不脱离这个总体框架。

3. 鉴于读者已经具备模拟电子技术的初步基础,本书采用时域和频域并重的分析方法,并特别强调频域的观点和方法,目的是进一步深化已有的概念并建立新的概念。强调频域的思想和方法也是为读者进一步理解电气与信息系统的概念、理论和方法做些准备。

全书共分7章编写,除第1章绪论外,其余6章分为两个部分,第一部分:模拟信号与模拟信号处理技术,包括第2、3、4、5章;第二部分:电能形式转换技术部分,包括第6、7章。在第一部分中论述信号与信息的基本概念,并以放大器为核心展开对各种信号处理技术问题的讨论;在第二部分中则进行整流、斩波和变流这三大能量形式变换技术问题的讨论与分析,并介绍大功率电子开关器件的性能和技术指标。这两个部分并不试图涵盖模拟电子技术的全部内容,但追求知识的补充、概念的提升和问题求解的明晰路线,为他们的继续学习提供一些切实的帮助。

本书在编写过程中得到天津大学王萍教授的热情支持和帮助,也得益于作者与王萍教授在共同编写《电气工程学概论》一书的过程中所得到的诸多重要启示。为此要特别向王萍教授表示诚挚的感谢。

由于作者学识所限,书中不妥及疏漏之处在所难免,还望读者不吝指教。

编 者

2008年10月

于天津大学

◎ 目 录

Contents

第 1 章 绪论	1
1.1 模拟电子技术的基本内容	1
1.1.1 模拟电子器件	1
1.1.2 模拟电子电路	2
1.1.3 模拟集成电路	3
1.2 模拟电子技术的弱电应用	4
1.3 模拟电子技术的强电应用	5
1.4 关于本书	6
第 2 章 模拟信号	7
2.1 模拟信号与数字信号	7
2.2 模拟信号分析概要	8
2.2.1 周期信号分析	9
2.2.2 非周期信号分析	11
2.3 模拟信号处理	11
2.3.1 模拟信号的放大	11
2.3.2 模拟信号的变换	12
2.3.3 模拟信号的识别	13
2.4 模拟信号传输	14
2.4.1 短距离传输与长距离传输	14
2.4.2 直接传输与间接传输	14
2.4.3 传输通道的多路复用传输方式	16
练习与思考	17
第 3 章 模拟信号放大技术	19
3.1 放大器的构成模式	19
3.2 放大器的电路模型	21
3.3 放大器的输入/输出阻抗和放大倍数	22

3.4 放大器的频率特性	24
3.4.1 双端口网络及其传递函数	24
3.4.2 频率特性与波特图	26
3.4.3 单级放大器的频率特性	29
3.4.4 多级放大器的频率特性	32
3.5 放大器的失真和漂移	34
3.5.1 放大器的频率失真	34
3.5.2 放大器的非线性失真	36
3.5.3 放大器的漂移	37
3.6 放大器的噪声	38
练习与思考	40
第4章 基于运算放大器的信号处理技术	42
4.1 运算放大器的电路模型及理想化参数	42
4.1.1 运算放大器的表示符号及主要端点引线说明	42
4.1.2 运算放大器的电路模型及理想化参数	43
4.2 模拟信号的比例放大技术	44
4.2.1 反相放大器	44
4.2.2 同相放大器	45
4.2.3 差值放大器	49
4.3 模拟信号的加权求和处理	51
4.4 模拟信号的积分与微分变换处理	53
4.4.1 模拟信号积分器	53
4.4.2 模拟信号微分器	54
4.5 模拟信号的滤波处理技术	54
4.6 运算放大器非理想参数对放大器的影响	58
4.7 基于运算放大器的应用电路的稳定性问题	61
4.8 运算放大器的直流偏移	65
4.8.1 输入偏移电压 U_{IO} 对运算放大器应用电路的影响	65
4.8.2 输入偏移电流 I_{B} 对运算放大器应用电路的影响	66
4.9 基于运算放大器的其他应用电路	67
4.9.1 比较器	67
4.9.2 施密特触发器	69
4.9.3 振荡器	71

4.9.4 理想二极管	72
练习与思考	73
第5章 模拟信号的调制与解调	76
5.1 幅度调制(AM)	76
5.1.1 调幅原理	76
5.1.2 检波原理	80
5.2 相位调制(PM)	82
5.3 频率调制(FM)	83
5.4 脉冲幅度调制(PAM)	86
5.4.1 信号采样与脉冲幅度调制	86
5.4.2 脉冲调幅信号的频域分析	88
5.4.3 脉冲调幅通信系统	89
5.5 脉冲编码调制(PCM)	90
5.5.1 信号的量化问题	91
5.5.2 数字编码信号	93
5.5.3 数字编码信号的传输方式	93
练习与思考	95
第6章 直流电源技术	97
6.1 直流电源的组成	97
6.2 直流电源中的整流器	98
6.2.1 整流器基本电路	98
6.2.2 整流电路的主要问题	102
6.3 整流电源滤波器	105
6.3.1 RC低通滤波器	105
6.3.2 RL低通滤波器	106
6.4 可控整流电源	107
6.5 直流电源稳压器	108
6.5.1 稳压管稳压器	108
6.5.2 负反馈调节稳压器	109
6.5.3 集成稳压器	110
6.5.4 稳压电源的品质指标	111
练习与思考	112

第7章 斩波与变流技术	113
7.1 斩波电路	113
7.1.1 斩波基本原理	113
7.1.2 斩波基本应用	114
7.2 变流电路	117
7.2.1 基于斩波的变流方法	117
7.2.2 基于脉宽调制原理的变流技术	120
7.3 大功率电子开关器件	122
7.3.1 晶闸管的结构及开关特性	122
7.3.2 双极型功率晶体管	124
7.3.3 功率场效晶体管(Power MOSFET)	125
7.3.4 绝缘栅双极型晶体管(IGBT)	125
7.3.5 MOS控制晶闸管(MCT)	126
7.3.6 功率集成电路与 IPM	127
7.3.7 主要功率器件特性比较	128
练习与思考	128
参考文献	130

第1章

绪论

导读:电子技术是构建电气系统的一项基本技术,它以电子器件为核心组成各种电子电路来完成系统中电信号的处理和电能量形式的转换,以实现系统既定的工程目标。例如,在通信系统中,它完成信号的获取、发送、接收、还原等多种处理,实现信号传输和信息交互;在检测系统中,它从对象提取信号并传送给观测者,实现对象状态与过程的监控;在控制系统中,它对信号进行放大、滤波、变换等一系列复杂的处理,实现对象行为的自动控制;在直流输电系统中,它完成超大功率、超高压的交流/直流和直流/交流转换,实现电能量的高效率输送并简化输电线路的调节、控制及保护措施;在电力传动系统中,它处理信号并进行电能量形式的转换,为电力机械的运行提供理想的驱动电源和控制手段等。

从上面的叙述中可以看出,信号、系统和电子技术三者密切相关,在理论、方法和技术这三个层面上构成一个统一的整体,而电子技术则处于这个统一体的底层,它支撑系统的构建并支持系统目标的实现。

通常按照所处理信号类别的不同,将电气系统分为模拟系统和数字系统两大类型,前者处理模拟信号,后者处理数字信号。相应地,把电子技术分为模拟电子技术和数字电子技术两种类型。模拟电子技术应用于弱电和强电两大领域。前者属于信息技术范畴,承担模拟信号处理任务,如通信系统、检测系统、控制系统等;后者则完成电能形式的转换,属于电力技术范畴,涉及电化学工艺系统、电加热系统、电力传动系统、直流输电系统等,通常称应用于强电领域的模拟电子技术为电力电子技术。

1.1 模拟电子技术的基本内容

如前所述,模拟电子技术是实现模拟信号处理和电能形式转换的技术,它依靠模拟电子器件的特定性能构成各种功能电路来实现上述的任务。

1.1.1 模拟电子器件

现代电子技术采用的电子器件绝大多数是半导体器件。半导体器件是运用半导体P-N结的导电特性制成的。P-N结的导电特性包含两个主要的方面,即单向导电特性和这种单向导电的可控制性。单向导电性是P-N结的固有特性,而单向导电的可控制性则是通过多P-N结之间的相互作用来实现的。相应地,半导体器件可分为不受控器件和受控器件两大

类:不受控器件是单 P-N 结器件;受控器件是多 P-N 结器件。

1. 不受控半导体器件

各种二极管均属于这一类,它们都是单 P-N 结器件。半导体二极管分为普通二极管和特种二极管两大类:普通二极管应用于整流、检波、开关、限幅、钳位等多种电子电路中;特种二极管,如齐纳二极管、光电二极管、发光二极管等,则是应某些特殊场合的特殊要求而专门设计制造的。

2. 受控半导体器件

双极型晶体管、场效应晶体管,以及各种可控晶闸管,如 SCR、GTO 等属于这一类,它们都是多 P-N 结器件。双极型晶体管是电流控制器件,场效应晶体管是电压控制器件,它们由两个 P-N 结构成,广泛应用于各种电子电路之中,是模拟电子电路的核心器件。可控晶闸管器件由多个 P-N 结构成,通常应用于大功率的整流、变流装置中。

1.1.2 模拟电子电路

在模拟电子技术中,电子器件不能独立完成模拟信号处理和电能量转换的任务,这些任务是靠各种各样的电子电路来实现的。电子器件是电子电路的核心,电路利用器件的特性来实现各种复杂的功能。

模拟系统对信号处理和电能量转换的要求是多种多样的,所以模拟电子电路的形式也是多种多样的,最基本、最常用的模拟电子电路大致有如下几种类型。

1. 信号放大电路(本书第 3 章)

放大电路是以双极型晶体管或场效应晶体管为核心组建的,主要有两种类型:一种是电压放大电路,它将微弱的电压信号放大到足够的幅度以满足进一步处理的要求;一种是功率放大电路,它将信号的功率增强到足够的强度,以满足驱动其负荷的需要。电压放大电路的主要问题是怎样保证信号能得到原样、不失真的放大;功率放大电路关注的主要问题是它的功率输出能力和放大器的效率。

放大电路是模拟电子电路中最基础、通用性最强的电路单元,许多其他的电子电路都是以它为基础组建的。

2. 信号滤波电路(本书第 4 章)

滤波是信号处理的一项重要技术,它滤除模拟信号中特定的谐波组分,从而改变信号的频谱结构和模拟信号波形的形状,广泛应用于信号提取、干扰消除和信号变换的处理之中。

滤波电路利用惯性电路元件的特性组建,有无源滤波电路和有源滤波电路两种类型。无源滤波电路由基本电路元件 R 、 L 、 C 构成,它的滤波效果和负载能力有限;有源滤波电路以放大电路为核心组建,它具有优良的滤波特性和更强的负载能力。

3. 信号变换电路(本书第 4 章)

应系统信息处理的要求,经常需要对模拟信号进行一些基本的数学处理与变换,其中包括信号的相加、相减、比例、积分及微分等处理。从模拟信号的时间曲线或波形图上看,经过上述变换处理之后,信号的波形发生了变异,或者说,一种信号被变换为另一种信号。信号变换电路以放大器为基础构建,广泛应用于各种模拟系统中。

4. 信号生成电路(本书第3、4章)

信号生成电路用来产生各种具有确定描述函数形式的模拟信号,如正弦波信号、锯齿波信号、方波信号和三角波信号等。信号生成电路以放大电路为基础组建,在模拟系统中,它作为信号源为系统功能的实现提供所需要的信号,如通信系统中的载波信号,控制系统中的特定函数信号等。

5. 调制解调电路(本书第5章)

调制解调电路是通信系统中的基本电路。在发送端,调制电路将模拟信号调制于某一高频载波之上,以利于信号的远距离传输(包括有线和无线传输);在接收端,解调电路将调制于载波之上的模拟信号提取出来。调制技术把模拟信号转换为高频信号加以传送,这不仅大大提高了传输通道的传输效率和传输质量,而且大大增加了传输通道的容量。

6. 整流电路(本书第6章)

整流技术指的是变交流电为直流电的技术。整流包含两个主要过程:第一个过程是将双向交变的交流电转换为单向脉动形式的电流或电压;第二个过程是滤除单向脉动电流电压中的所有交流谐波成分,将其转换为单向恒定的直流电。相应地,整流电路由两个主要的电路环节组成,第一个电路环节以单向导电的二极管为核心组建,完成上述的第一个过程;第二个环节是一个滤波电路,它完成上述的第二个过程。

7. 可控整流电路(本书第6章)

可控整流电路的过程与上面的整流过程相似,它的第一个电路环节采用具有可控制性的晶闸管来组建,从而使输出的单向脉动的电流电压的大小可以调节。可控整流电路主要用来为大功率负荷提供直流电能。

8. 变流电路(本书第7章)

变流是将直流电转换为交流电的一项技术,它包含斩波和滤波两个过程:前者将恒定直流电斩劈成单向的方波;后者通过滤波将单向方波中的直流成分和其他多余的谐波组分滤除,最终得到正弦交流电。由于斩波的频率可以自由控制,所以变流技术又是一项变频技术。变流技术广泛应用于各种电力传动、自动控制,以及直流输电等系统中。

1.1.3 模拟集成电路

集成电路是电子器件和电子电路的综合体,是现代半导体工艺技术进步的产物。它将器件和以器件为核心组成的、具有通用性的功能电路完整地集成在一个单独的半导体芯片上,形成一个独立的电路组件。集成电路在系统中是一个具有独立功能的部件,它的应用大大简化了现代电子系统的设计、组建、调试及维护工作,是电子工程技术进步的主要标志。功能的通用性是集成电路的主要优势,一般来讲,集成电路的规模越大,经济性也越好,用它所构建的系统也越简单,但它的通用性则越差。

与数字电路不同,由于模拟信号的多样性和模拟信号处理的复杂性,模拟电子电路的个性化特点突出,而通用性很差,这不利于模拟集成电路的大规模生产和大范围使用。从功能通用性上讲,放大电路是具有最强通用性的功能电路;从使用广泛性上讲,小功率直流稳压电路、滤波器电路、调制解调电路、振荡电路等,在电子产品和电子系统中都有大量应用。所以,在模拟集成电路中,集成运算放大电路几乎就是唯一的通用集成电路产品,而其他诸多类型的集成模

拟电路则几乎都是针对单一功能和用途设计的专用集成电路产品。

1.2 模拟电子技术的弱电应用

在弱电系统中,模拟电子技术承担系统中模拟信号的处理任务。图 1.1 给出几种典型的弱电模拟系统结构框图,它们是模拟检测系统[图 1.1(a)]、模拟控制系统[图 1.1(b)]和模拟通信系统[图 1.1(c)],图中除椭圆框外的其他环节都是模拟信号处理环节。

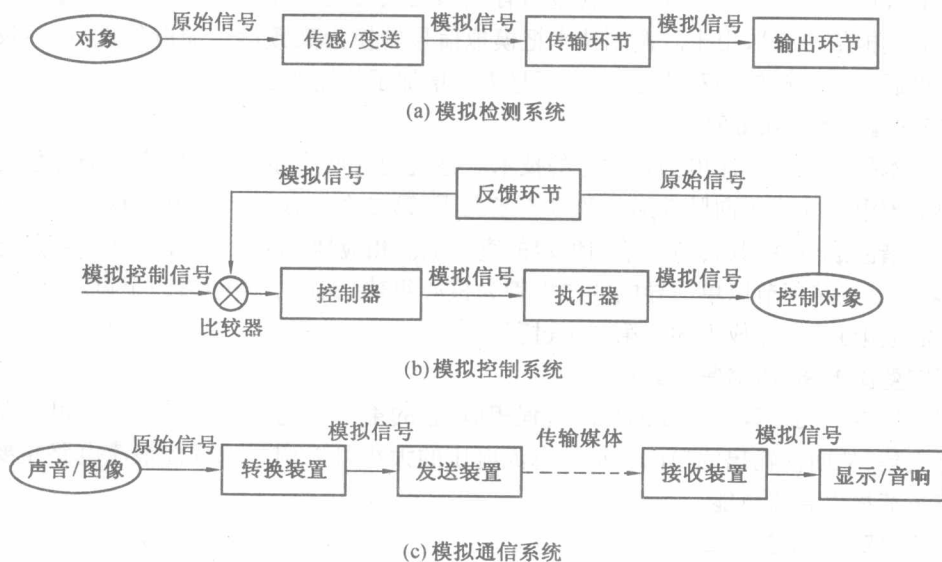


图 1.1 几种典型的弱电模拟系统

1. 模拟检测系统

在模拟检测系统中:传感/变送环节将原始的非电信号转换为电信号,并对电信号的幅值进行量化,使之在直流 $0 \sim 5\text{ V}$ 或 $0 \sim 20\text{ mA}$ 的范围内输出模拟信号;传输环节中的传输媒体通常由双绞线或同轴电缆构成,必要时还担负干扰抑制和衰减补偿任务;输出环节中的指示仪表、记录仪器及声光报警器等分别完成信号量值指示、过程记录及越限报警等任务。

2. 模拟控制系统

在模拟控制系统中:控制器根据系统的控制策略对信号进行滤波、放大及各种变换(如微分变换、积分变换等)处理,以满足系统的控制要求和品质指标;反馈环节实质上是控制系统中的一个检测子系统,其功能与图 1.1(a)的系统相类似;比较器将控制信号与反馈信号进行比较并取其差值对系统进行控制与调节,直至差值信号等于 0 为止;控制系统的执行器将其输入的信号增强至足够强度并转换为适当的信号形式,用于驱动控制对象。

通常把以电力机械为执行器,并驱动机械设备(如生产机械、运输机械等)的控制系统称为电力传动系统。由于使用了大功率电动机,电力传动系统的执行环节还需要完成电能量形式的转换,以便为电动机提供合适的电源和控制手段。

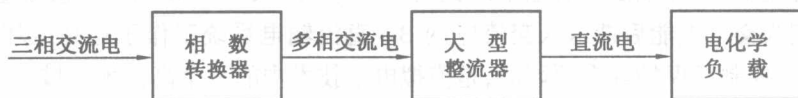
3. 模拟通信系统

在模拟通信系统中:转换装置将原始的声音、图形、图像信号转换成电信号;发送装置对信

号进行调制、放大,使之适合远距离传输的要求;接收装置通过解调、滤波等处理手段从所接收到的信号中提取出所传送的图像、声音等信号;显示/音响装置将图像或声音的模拟信号还原成它们的原始信号形式。

1.3 模拟电子技术的强电应用

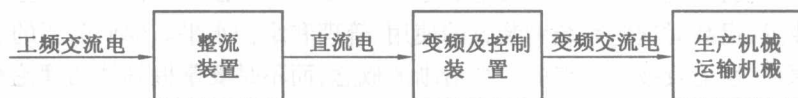
在强电系统中,模拟电子技术用来完成电能形式的转换,主要指大功率直流电能形式与交流电能形式之间的相互转换。在图 1.2 所表示的几种强电应用系统中,模拟电子技术的具体应用情况如下。



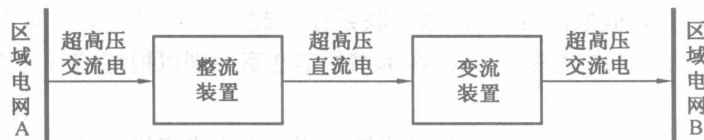
(a) 电化学工艺加工系统



(b) 中频感应加热系统



(c) 交流电力传动系统



(d) 直流输电系统

图 1.2 几种典型的强电模拟系统

1. 电化学工艺加工系统

在电化学工艺加工系统[图 1.2(a)]中,整流装置将工频交流电转换为直流电,以满足电解、电镀等生产工艺的用电要求。电化学工艺加工过程通常在低电压、大电流的状态下运行,特别是海水电解及有色金属电解生产过程所需要的直流电流可高达数万安培之巨,因此,这种系统中采用大功率整流装置。

2. 中频感应加热系统

中频感应加热系统[图 1.2(b)]利用电磁感应原理,在 $1 \sim 2$ kHz 交流电源的激励下对金属机械零部件进行感应加热处理。系统中的整流装置将工频交流电转换为直流电,接着由变流装置将直流电转换为中频交流电来满足中频加热系统的要求。

3. 交流电力传动系统

交流电力传动系统[图 1.2(c)]是一种获得广泛应用的、由交流电动机驱动的生产机械或运输机械系统,该系统要求对生产机械或运输机械的运动速度或运动位置实施精确控制。在这类系统中,整流装置将工频交流电转换为输出可控的直流电,然后由变流装置将直流电转换为频率可调节的交流电来满足交流电动机变频调速的需要。

4. 直流输电系统

直流输电系统[图 1.2(d)]用于建立超高压区域电网之间的能量通道。直流输电技术是现代大型电网普遍采用的一项新技术,由于直流通道的两个区域交流电网之间的隔离作用,从而可以大大提高大型电网的运行品质。图 1.2(d)中区域电网 A 一侧的可控整流装置将交流电能转换为直流电能,并经由直流输电线路传送给出去,区域电网 B 侧的变流装置将输送来的直流电能转换为交流电能后馈送入交流电网 B。直流输电系统工作于超高压环境,并承担输电线路的调节、控制及保护等多项职能,是模拟电子技术中的一个高技术领域。

1.4 关于本书

本书为那些意欲提高工程实践水平的在校大学生及工作在第一线的非电专业工程师编写,他们已经具备电工电子技术的初步基础,并且要求进一步学习相关的知识。

鉴于在校大学生学习中接触的工程实践知识有限,而非电工程师实际接触的是运行在现场的电气系统和装置,他们进一步学习电工电子知识的目的是更好地了解这些工程实践中的电气系统和装置,提高对这些系统和装置的使用、管理和维护水平。他们需要的是建立电气系统和装置的原理、性能及技术要点的更加清晰的概念,而不是要掌握具体的理论和技术细节。

本书的编写从下述几个方面来满足上述的要求:

(1)以系统为核心,将信号、系统和电子技术三者统一起来作为一个大的概念来对待,从而把电子技术问题与信号问题和系统应用紧密联系在一起。在本书的第 1 章中,以电子技术在系统中的应用为主题将三者联系在一起;在本书的第 2 章中则以模拟信号为主题,进一步阐明这个主题。

(2)以模拟系统中的信号处理和电能形式转换两条主线来组织模拟技术的体系和内容,使得分散在各章中的具体技术内容的论述都不脱离系统这个主题,使得这些技术内容不会沦为零散、孤立的技术知识孤岛。本书的第 2~5 章讲述模拟信号及其处理技术,第 6~7 章则主要讨论电能形式转换问题。

(3)在内容的讲述上,重概念、方法和技术要点,而不拘泥于细节问题的讨论,例如,在信号放大一章中,放大器是作为一个整体加以讨论的,注重的是它的频率特性、带宽、输入/输出阻抗,以及噪声、干扰等问题的分析,而不过多地纠缠于放大器内部具体电路的分析。这种处理的另一个重要依据是:在现代电子系统中,各个主要环节都是采用通用或专用的集成电路组建的,所以,对于电子技术的使用者来说,根本没有必要去钻研这些组件内部的结构和具体的工作原理。信号放大一章的这种处理原则贯穿于全书的各个章节之中。

第2章

模拟信号

导读:从工程意义上讲,信号是指可被观测到的现象,如光、力、声、热、机械、电磁等物理现象,以及其他化学的、生理生化等现象等。信号是信息的载体,它借助物理媒体传送信息。信号是物理的、具体的,可以对它进行传输、加工和处理;信息是抽象的,它只能借助信号才能进行传送和处理。所以,也可以说“信号是信息的表现形式”;或者说,“信息是具有特定含义的信号”。

工程上处理两种类型的信号:一种是直接观测对象所获得的信号,即所谓的模拟信号,它包含对象的原始信息;一种是人为生成的,用来承载信息的编码信号,即所谓的数字信号。处理模拟信号的系统称为模拟系统;处理数字信号的系统称为数字系统。

人们根据所观测到的模拟信号来直接获取对象的信息,例如,观测化学反应器中的温度、压力、流量等信号,获取化工过程的信息;观测机械零件和建筑结构中的应力、变形等信号,获取机械或建筑物的状态信息等。人们在收到数字信号之后要根据事先约定的编码规则来解读其中所包含的信息,例如,根据二进制数规则解读它所代表的“数”的信息;根据 ASCII 编码规则解读它所表示的字母、文字或符号信息等。

2.1 模拟信号与数字信号

直接观测对象所获取的信号是随时间变化的,称之为时间信号。鉴于电子技术只能处理电信号,所以,经由观测所得到的各种形态的时间信号都必须转换成电信号之后才能加以处理。这种“转换”称为“模拟”,相应地,由原始时间信号转换而来的电信号就称为模拟信号。图 2.1(a) 和图 2.1(b) 分别表示一个原始的压力信号和它的电压模拟信号。可以看出,模拟信号的变化规律必须与原始信号相同,而它的幅值变化区间则通常控制在便于处理的范围之内,例如在检测系统中,模拟信号的幅值范围为 $0 \sim 5\text{ V}$ (电压信号) 或 $0 \sim 20\text{ mA}$ (电流信号)。由于上述的“模拟”转换在观测过程中就已实际完成,所以在电子技术的范畴内,通常指时间信号为模拟信号。

时间信号分为两种类型,即连续时间信号和离散时间信号。连续时间信号在时间和量值上都可以连续取值,可以用连续时间函数[如 $p = f(t)$] 或连续时间曲线(如图 2.1 的曲线)来表述;离散信号只在特定的离散时间点上取值,而在其他时间点上的量值是不加定义的。离散信号只能用离散时间序列函数,如

$$p = f(0) + f(T) + f(2T) + f(3T) + \cdots + f(nT)$$

或离散时间曲线(图 2.2)加以描述。

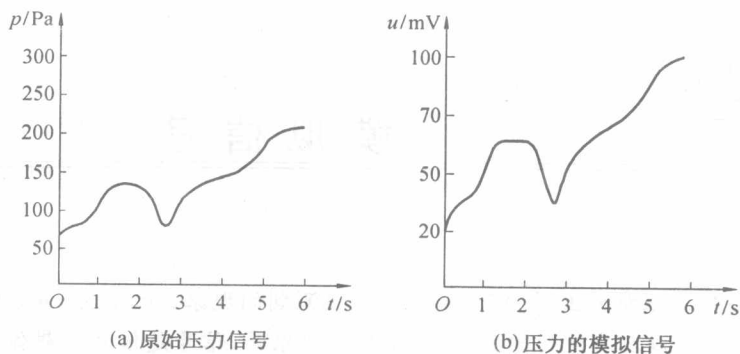


图 2.1 模拟信号

模拟信号的时间曲线表述形式称为信号的波形图。图 2.1 表示的是一种连续时间信号的波形图;图 2.2 表示的是一种离散时间信号的波形图。

图 2.3 所表示的是一个数字信号的波形图。

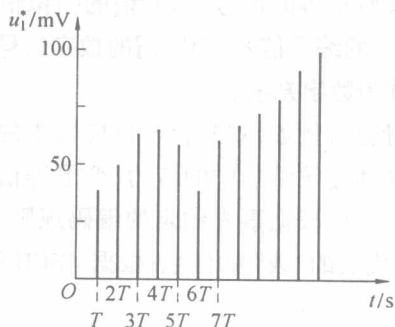


图 2.2 离散信号

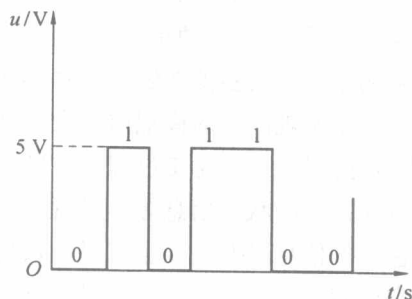


图 2.3 数字信号

【注意】这个波形图表示的是数字信号中“0”和“1”代码序列的排列形式,而不是时间函数的表示形式!例如图 2.3 中的数字信号表示的是一串数字代码:0101100,它可以是一个数,如 44 的二进制编码,也可以表示一个逻辑函数的值或电路中一组开关的实时状态。在数字系统中只处理数字信号的代码,并不特别关注系统的激励和响应过程,因此一般不把数字信号当作时间信号来对待(只有在数字信号传输中讨论信号衰减和畸变问题时,才对它进行时间信号的分析)。

鉴于时间信号中的离散信号通常是利用数值方法进行分析并运用数字方法进行处理,所以习惯上并不把它归入模拟信号的行列,这就是说,“通常所说的模拟信号实际上是指连续的时间信号”。

2.2 模拟信号分析概要

信号分析是系统分析的基础,也是信号处理的重要依据。