



电子与电气工程丛书

PEARSON

电工学 原理及应用

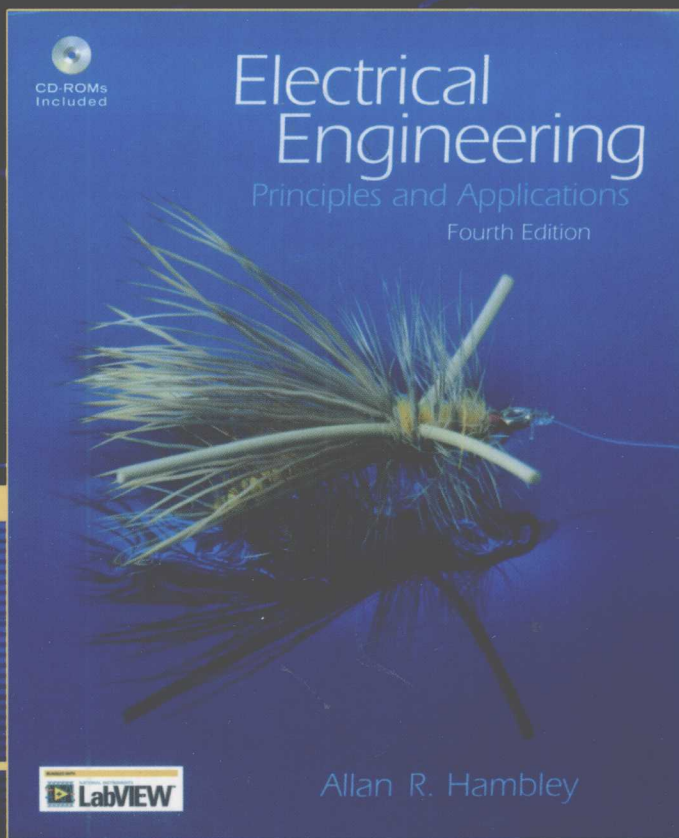
(第4版·本科教学版)

Electrical Engineering

Principles
and
Applications

(Fourth Edition)

(美) Allan R. Hambley 著
熊兰等编译



本书是电气工程概论领域的经典教材,也是畅销教材。作者 Allan R. Hambley 通过讲授电气工程原理来激励学生学习,并应用于解决各个工程领域的专门的、或者有趣的问题,同时还提供了详尽的例题和实际应用范例。

本书注重理论体系的完整,同时兼顾应用实践的拓展,每一章都专门安排了一段概括本章内容在各工程领域中应用的文字介绍。本书主要内容包括:基本电路的分析和测量、一阶电路的暂态响应、交流稳态电路、数字逻辑电路、二极管电路、放大电路、场效应管和双极结型晶体管(三极管)电路、运算放大器。

本书涵盖了电路理论、数字逻辑电路和模拟电子技术等三门课程的基本内容,适用于化工、生物、土木工程等非电类本科专业的“电工学”课程,也可以作为电气工程、计算机、自动化等本科专业的“专业导论”课程的教材。

Simplified Chinese edition copyright © 2010 by Pearson Education Asia Limited and China Machine Press.

Original English language title: *Electrical Engineering Principles and Applications, Fourth Edition (ISBN 978-0-13-198922-1)* by Allan R. Hambley, Copyright ©2008 by Pearson Education Inc.

All rights reserved.

Published by arrangement with the original publisher, Pearson Education, Inc., publishing as Prentice-Hall.

本书封面贴有 Pearson Education (培生教育出版集团) 激光防伪标签,无标签者不得销售。

封底无防伪标均为盗版

版权所有,侵权必究

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

本书版权登记号: 图字: 01-2009-4504

图书在版编目(CIP)数据

电工学原理及应用/(美)汉伯利(Hambley, A. R.)著;熊兰等编译. —北京:机械工业出版社, 2010. 2

(电子与电气工程丛书)

书名原文: *Electrical Engineering: Principles and Applications, Fourth Edition*

ISBN 978-7-111-29336-1

I. 电… II. ①汉… ②熊… III. 电气工程 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 233513 号

机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 曾 珊

北京京师印务有限公司印刷

2010 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·22.5 印张

标准书号: ISBN 978-7-111-29336-1

定价: 59.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

客服热线:(010) 88378991; 88361066

购书热线:(010) 68326294; 88379649; 68995259

投稿热线:(010) 88379604

读者信箱: hzjsj@hzbook. com

编译者序

自 2001 年教育部颁发了《关于加强高等学校本科教学工作提高教学质量的若干意见》以来,国内高等院校不断加大在公共课和专业课教学中推广与普及双语教学的力度,推动着双语教学的改革与试点。双语教学的开展与普及对于中国高等教育的全球化发展和培养国际化、高素质的综合性人才具有显著的积极意义。2007 年 1 月,本书的部分编者开始了“电工学”课程双语教学的改革试点,通过广泛比较各种相关课程的外文原版教材,最终选择了由 Allan R. Hambley 编著、Pearson Education 出版的 *Electrical Engineering Principles and Applications*。该教材一直被美国蒙大拿大学、科罗拉多大学以及加拿大滑铁卢大学等院校的机械、化学、环境、地理甚至计算机等专业选用。

从教材的结构与内容来看,原版教材与国内现行的教学大纲和教学基本要求基本吻合,所以适合双语教学的需要。该教材的特点是:对知识点和概念的介绍清晰、生动,列举应用电路的实例丰富,而且文字叙述简明、生动。同时,练习题量大,便于学生自学和复习。从双语教学试点班学生的反馈信息来看,他们对教材的总体评价是易学、易懂,本书对培养学生的创造力和想象力有潜移默化的影响。学生对英语专业术语有了一定程度的掌握,而且逐渐养成用英语思维的习惯,为未来的专业学习和发展打下了良好的基础。不过,该教材内容广泛、篇幅多,因而教材厚,而且价格不菲,即使是影印版教材的价格也不低。另外,该教材与国内课程学时、教材内容体系、教学大纲的内容及难度要求仍然有一定差异。

因此,本书是对原书第 4 版主要内容的翻译和改编,基本保留了原版教材的风格、内容和特点。当然,为了适应我国教学指导委员会提出的“电工学”教学基本要求,本书也适当删减和改编了部分章节,具体细节将在后面加以介绍。

随着科学技术的不断发展,各学科与电工学科之间的联系不断加强。目前,各高校开设“电工学”课程的专业和学科越来越多,“电工学”课程已经不只是非电类工科学生的技术基础课,也成为经管类和理科类专业的选修课程。为适应各专业的需求,“电工学”课程的模块化教学日益明显,课程类别主要分为 3 类:① 包含电路理论、电子技术和电机控制及其应用的“电工电子技术”课程;② 仅包含电路理论和电子技术的“电路与电子技术”课程;③ 仅包含电路理论和模拟电子技术的“电路与模拟电子技术”课程。

Electrical Engineering Principles and Applications 原版教材的内容非常丰富,包括电路分析、数字系统、电子学和电机与电器等内容。但是,其价格高、书本厚、内容宽泛,并不适应我国高等学校学生在学习过程中普遍购买配套教材的现状。基于前述理由,有必要将原版教材的内容按模块分类,重新编译。首先,将第一部分的电路理论和第二、三部分的(数字和模拟)电子技术内容编辑为一册;如果有必要,可将第二部分的微型计算机、计算机测量以及第四部分的变压器、电机控制及其应用等内容另行组合为第二册教材。这样的安排比较合理、可行,更适用作为国内“电工学”课程的双语教材。

综上所述,本书包括电路理论和电子技术这两部分内容,适用于化工、生物、土木等电专业学生的“电工学”课程,也可以作为电气工程、计算机、自动化等专业学生的“专业导

论”课程的参考教材。

本书主要内容

- 基本电路的分析和测量
- 一阶电路的暂态响应
- 交流稳态电路
- 逻辑电路
- 二极管电路
- 场效应管和双极结型晶体管(三极管)电路
- 放大电路
- 运算放大器

先修课程

先修课程为“大学物理”和“高等数学”，尤其需要电学基础和复数运算、单变量微积分等知识。

目录及内容组织

第一部分 电路

第1章 定义电流、电压、功率和能量，介绍基尔霍夫定律、欧姆定律，定义电源和电阻

第2章 分析电阻电路，介绍串并联电阻等效电路、节点电压法、戴维宁等效电路、诺顿等效电路、电源变换、叠加原理等电路分析方法，以及惠斯通电桥。

第3章 介绍电容、电感和互感。考虑到国内学生在“大学物理”课程中已经学习了电容、电阻和电感元件的结构、特性和串并联等效关系，在“高等数学”课程中已经学习过对一阶常系数微分方程的求解，因此适当精简了内容。

第4章 讨论电路的暂态响应，求解一阶 RL 和 RC 电路的微分方程，以及三要素法分析。考虑到国内学生在高等数学课程中已经学习过对一阶常系数微分方程的求解，此章精简了对微分方程求解暂态响应方法的应用。同时，基于“电工学”课程的教学要求，增加了国内教材普遍介绍的三要素法及其应用，删去了对二阶电路的介绍和应用。

第5章 讨论正弦稳态电路，介绍电感和电容的复阻抗和伏安关系，各种功率的概念和计算，应用戴维宁等效和叠加原理分析正弦交流电路，以及对三相对称电路的分析计算。

第6章 讨论频率响应、波特图、谐振和滤波器，建立傅里叶理论的基本概念和应用。删去了二阶滤波器、数字信号处理等部分内容。

第二部分 电子技术

第7章 介绍逻辑系统、门电路、布尔代数、卡诺图、触发器，以及编码器、译码器等组合逻辑电路，寄存器、计数器等时序逻辑电路[⊖]。

第8章 介绍二极管的电路模型、负载线分析和各种应用电路，例如整流电路、稳压电路和波形整形电路等。

第9章 以系统的形式介绍放大器的性能参数和多种电路模型，包括各种增益、阻抗、

⊖ 删去了原片教材中的第8章“微型计算机系统”和第9章“基于计算机的测量系统”。——译者注

负载效应、频率响应、非线性失真、共模抑制、直流漂移等内容。

第 10 章 介绍 MOS 场效应管的结构、工作原理和特性曲线, 负载线分析、大信号和小信号模型、偏置电路, 以及共源放大器和共漏放大器的直流和交流分析。

第 11 章 介绍双极结型晶体管的结构、工作原理和特性曲线, 负载线分析、大信号和小信号模型、偏置电路, 以及共射放大器和共集放大器的直流和交流分析。

第 12 章 讨论运算放大器的结构、工作原理及其各种线性应用。

本书重点强调对电路理论和电子技术知识的介绍, 因此删去了原书第四部分的磁路、电机与电器的内容。

本书配有大量习题, 其中习题号前加“*”标记表示该题答案能在 OrCAD CD 或 www.myengineeringlab.com 中找到。

本书由重庆大学“电工学”课程组进行编译, 教材的编写大纲经过课程组教师的共同讨论得以确定, 由熊兰负责编译工作。彭光金编译第 1~2 章; 孙韬编译第 3~5 章; 彭文雄编译第 6 章; 熊兰编译第 7~8 章; 余传祥编译第 9~12 章。

在编译过程中, 译者认真总结多年的教学经验, 学习参考了国内外同类和相关中英文教材, 力求本教材能够贴近国内教学大纲和教学要求, 内容有针对性, 符合我国学生的认知能力。同时, 力求语言叙述流畅、清晰易懂, 篇幅适当, 在章节之间注意内容的衔接与连贯性, 过渡自然。在教材编写后期, 教材试用得到了 2007 届电工学双语课程试点班同学的支持, 他们提出了很多宝贵的意见和建议, 在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限, 书中难免存在缺点和错误, 恳请广大读者批评指正。

译 者
2009 年 12 月

目 录

编译者序

第一部分 电路理论

第 1 章 绪论	2	第 2 章 电阻电路	29
1.1 对电气工程的展望	2	2.1 电阻的串联和并联	29
1.1.1 电气工程的应用领域	3	2.1.1 电阻的串联	29
1.1.2 为什么学习电气工程	5	2.1.2 电阻的并联	30
1.1.3 本书内容	5	2.1.3 串联和并联电路	31
1.2 电路、电流与电压	5	2.2 用串并联等效变换进行电路 分析	32
1.2.1 电路知识	5	2.2.1 应用串并联等效变换分析 电路	32
1.2.2 液体流动模拟	6	2.2.2 用串并联热电阻控制功率	34
1.2.3 电路	6	2.3 分压和分流电路	34
1.2.4 电流	7	2.3.1 分压原理	34
1.2.5 电压	9	2.3.2 分流原理	35
1.2.6 开关	10	2.4 戴维宁等效电路和诺顿等效 电路	37
1.3 功率与能量	11	2.4.1 戴维宁等效电路	37
1.3.1 关联参考方向	11	2.4.2 诺顿等效电路	41
1.3.2 能量计算	12	2.4.3 分析戴维宁(诺顿)等效电路的 步骤	42
1.3.3 单位前缀	12	2.4.4 电源的等效变换	43
1.4 基尔霍夫电流定律	13	2.4.5 最大功率传输	44
1.4.1 基尔霍夫电流定律的物理 基础	14	2.5 叠加原理	45
1.4.2 串联电路	14	2.5.1 线性	46
1.5 基尔霍夫电压定律	15	2.5.2 用叠加法求解电路	47
1.5.1 基尔霍夫电压定律中的能量 守恒	16	2.5.3 一种用叠加原理求解含受控源 电路的新方法	47
1.5.2 并联电路	16	2.6 惠斯通电桥	49
1.6 电路元件简介	17	本章小结	50
1.6.1 导线	17	习题	51
1.6.2 电压源	17	第 3 章 电感与电容	56
1.6.3 电流源	19	3.1 电容	56
1.6.4 电阻器和欧姆定律	20	3.1.1 流体模型	57
1.7 电路简介	22	3.1.2 根据电压计算储存的电荷	57
本章小结	25	3.1.3 根据电压计算电流	58
习题	26	3.1.4 根据电流计算电压	59
		3.1.5 储存的能量	60

3.2 电容的串联与并联	63	5.3.3 电阻	101
3.2.1 电容的并联	63	5.4 用相量和复阻抗进行电路	
3.2.2 电容的串联	63	分析	103
3.3 电容器的物理特征	64	5.4.1 基尔霍夫定律的相量形式	103
3.3.1 平行板电容器的电容	64	5.4.2 分析电路	104
3.3.2 实际电容器	65	5.5 交流电路的功率	106
3.4 电感	67	5.5.1 单个负载的功率	107
3.4.1 流体模型	67	5.5.2 无功功率的重要性	108
3.4.2 根据电压计算电流	68	5.5.3 一般负载功率的计算	108
3.4.3 储存的能量	68	5.5.4 功率因数校正	113
3.5 电感的串联与并联	71	5.6 正弦交流电路的戴维宁等效	
3.6 实际电感元件	71	电路和诺顿等效电路	114
3.7 互感	73	5.6.1 戴维宁等效电路	114
本章小结	75	5.6.2 诺顿等效电路	115
习题	75	5.6.3 最大功率传输	116
第4章 暂态分析	78	5.7 三相对称电路	118
4.1 一阶RC电路	78	5.7.1 Y-Y连接	119
4.1.1 电容通过电阻进行放电	78	5.7.2 Δ 型电源	123
4.1.2 直流电源对电容充电	80	本章小结	126
4.1.3 三要素分析法	81	习题	128
4.2 直流稳态	83	第6章 频率响应、波特图和谐振	132
4.3 一阶RL电路	84	6.1 傅里叶分析、滤波器和	
4.3.1 RLC电路初始值的计算	84	传递函数	132
4.3.2 一阶RL电路暂态响应的		6.1.1 傅里叶分析	132
三要素法分析	85	6.1.2 滤波器	134
本章小结	88	6.2 一阶低通滤波器	138
习题	88	6.2.1 传递函数	139
第5章 正弦稳态分析	91	6.2.2 一阶低通滤波器的应用	141
5.1 正弦电流和电压	91	6.2.3 不同频率下的相量用法	141
5.1.1 均方根值	92	6.3 分贝、级联和对数频率坐标	141
5.1.2 正弦电量的均方根值	93	6.3.1 二端口网络的串联	143
5.1.3 非正弦电压或电流的有效值	94	6.3.2 对数频率坐标	144
5.2 相量	96	6.4 波特图	145
5.2.1 相量的定义	96	6.5 一阶高通滤波器	147
5.2.2 用相量计算多个正弦量相加	97	6.5.1 传递函数的幅频特性和	
5.2.3 正弦量求和运算的步骤	97	相频特性	147
5.2.4 用旋转矢量表示相量	98	6.5.2 一阶高通滤波器的波特图	148
5.2.5 相位关系	99	6.5.3 计算机绘制波特图	149
5.3 复阻抗	99	6.6 串联谐振	151
5.3.1 电感	100	6.7 并联谐振	155
5.3.2 电容	101	本章小结	157

习题	158	8.5 分段线性二极管模型	209
第二部分 数字系统			
第7章 逻辑电路	162	8.6 整流电路	211
7.1 逻辑电路的基本概念	162	8.6.1 半波整流电路	211
7.1.1 数字电子技术的优点	163	8.6.2 全波整流电路	213
7.1.2 正逻辑与负逻辑	163	8.7 波形整形电路	216
7.1.3 电平区和噪声区	163	8.7.1 限幅(削波)电路	216
7.1.4 数字字	164	8.7.2 钳位电路	219
7.1.5 数字信息的传输	164	8.8 线性小信号等效电路	220
7.2 二进制数的表示	165	8.8.1 电子电路中电流电压的 标记法	222
7.2.1 二进制数	165	8.8.2 压控衰减器	222
7.2.2 十六进制数和八进制数	166	本章小结	224
7.2.3 二进制编码的十进制数	167	习题	225
7.2.4 格雷码	168	第9章 放大器的分类和外部特性	232
7.2.5 补码运算	168	9.1 放大器的基本概念	232
7.3 组合逻辑电路	170	9.1.1 公共接地端	233
7.3.1 基本门电路	170	9.1.2 电压放大器模型	234
7.3.2 布尔代数	171	9.2 级联放大器	236
7.3.3 与非、或非和异或门	174	9.3 功率和效率	238
7.3.4 电路的与非门和或非门实现	175	9.3.1 功率	238
7.4 逻辑电路的综合	176	9.3.2 效率	239
7.4.1 与或式的电路实现	176	9.4 其他放大器模型	240
7.4.2 或与式的电路实现	176	9.4.1 电流放大器模型	240
7.4.3 译码器和编码器	179	9.4.2 跨导放大器模型	241
7.5 逻辑电路的化简	181	9.4.3 互阻放大器模型	241
7.6 时序逻辑电路	184	9.5 放大器阻抗在不同应用中的 重要性	242
7.6.1 触发器	184	9.5.1 对输入阻抗的要求	242
7.6.2 寄存器	188	9.5.2 对输出阻抗的要求	243
7.6.3 计数器	190	9.5.3 对特殊阻抗的要求	244
本章小结	193	9.6 理想放大器	244
习题	194	9.7 频率响应	245
第8章 二极管	199	9.7.1 增益的频率响应	246
8.1 二极管的基本概念	199	9.7.2 交流耦合与直流耦合	247
8.1.1 物理结构简介	200	9.7.3 高频区	247
8.1.2 小信号模型	200	9.7.4 半功率频率与带宽	248
8.1.3 肖克莱方程	201	9.7.5 宽带与窄带放大器	248
8.1.4 齐纳二极管(稳压管)	202	9.8 线性波形失真	248
8.2 二极管电路的负载线分析法	202	9.8.1 幅值畸变	248
8.3 稳压管稳压电路	204	9.8.2 相位失真	249
8.4 理想二极管模型	207	9.8.3 对无失真放大的要求	250

9.8.4 增益的再定义	251	第 11 章 双极结型晶体管	294
9.9 脉冲响应	252	11.1 电流和电压的关系	294
9.10 传输特性和非线性失真	254	11.2 共射极特性曲线	296
9.11 差分放大器	256	11.3 共射极放大器的负载线 分析	298
9.11.1 共模抑制比	257	11.3.1 输入电路的分析	298
9.11.2 CMRR 的测量	258	11.3.2 输出电路的分析	299
9.12 失调电压、偏流和失调 电流	259	11.3.3 非线性失真	300
9.12.1 降低偏流的影响	260	11.4 <i>pnp</i> 型双极结型晶体管	302
9.12.2 平衡电路	261	11.5 大信号直流等效模型	304
本章小结	263	11.6 BJT 电路的大信号直流 分析	306
习题	263	11.7 小信号等效电路	311
第 10 章 场效应晶体管	266	11.8 共射极放大器	313
10.1 NMOS 和 PMOS 晶体管	266	11.9 射极跟随器	317
10.1.1 简介	266	本章小结	320
10.1.2 工作特性	267	习题	321
10.1.3 PMOS 晶体管	271	第 12 章 运算放大器	326
10.2 一个简单 NMOS 放大器的 负载线分析	272	12.1 理想运算放大器	326
10.3 偏置电路	274	12.2 反相放大器	328
10.4 小信号等效电路	276	12.2.1 基本反相器	328
10.4.1 元件参数和 Q 点对互导的 影响	277	12.2.2 “虚短”的概念	329
10.4.2 较复杂的等效电路	278	12.2.3 反相电路的分析	330
10.4.3 偏微分形式表示的互导和漏极 电阻	278	12.2.4 正反馈	332
10.5 共源极放大器	279	12.3 同相放大器	333
10.6 源极跟随器	282	12.4 运算放大器线性工作的 缺陷	336
10.7 CMOS 逻辑门	285	12.5 非线性限制	339
10.7.1 CMOS 反相器	286	12.6 直流缺陷	341
10.7.2 CMOS 与非门	287	12.7 差分放大器和仪用放大器	342
10.7.3 CMOS 或非门	287	12.8 积分器和微分器	344
本章小结	290	本章小结	345
习题	291	习题	346

第一部分 电路理论

- ◎ 第1章 绪论
- ◎ 第2章 电阻电路
- ◎ 第3章 电感与电容
- ◎ 第4章 暂态分析
- ◎ 第5章 正弦稳态分析
- ◎ 第6章 频率响应、波特图和谐振

电气工程及其应用领域包括数字逻辑、计算机、仪表系统、电子学、电机、功率转换和功率分配等内容。电路理论是本书的第一部分，是所有电气工程及其应用的基础。

本书第1章描述了电气工程的各个应用领域，以及本课程对所有的工程师和科学家的重要性；第2章分析了由直流电源供电的电阻电路；第3章讨论电容和电感；第4章分析暂态电路；第5章分析稳态正弦交流电路；第6章介绍频率响应和谐振。

研究电路与研究其他工程学科领域有相似之处。对电阻电路的直流分析为静态分析，对电路的暂态分析为动态分析，而关于交流电路的稳态、频率响应、谐振等概念则与声学 and 振动学有相似之处。通过学习电路分析方法将有助于加强数学和思维技巧，这些能力的培养对工程实践或科学研究工作尤其需要。

第 1 章 绪 论

本章学习目标

1. 理解电气工程和其他科学及工程领域之间的关系。
2. 了解电气工程的主要应用领域。
3. 理解学习电工学课程的重要性。
4. 理解电流、电压、功率的定义与单位。
5. 掌握功率和能量的计算，区别电路元件是提供还是消耗能量。
6. 掌握基尔霍夫定律。
7. 理解电路的串并联结构。
8. 理解电压源和电流源及其主要特征。
9. 掌握欧姆定律的应用。
10. 掌握简单电路的电流、电压和功率的求解方法。

本章介绍

在这一章中，我们将介绍电路的各个电量(电流、电压、功率、能量)和电量遵循的定律以及几种电路元器件(电流源、电压源和电阻)。

1.1 对电气工程的展望

电气工程师设计的系统功能有两种：

- 1) 信息的收集、存储、处理、转换和显示。
- 2) 能量的分配、存储和转换。

在很多电气系统中，对能量和信息处理是相互依存的。例如，关于信息方面的知识应用于天气预报中，有关云层覆盖、降雨、风速等方面的数据被气象卫星、地面雷达系统和众多的气象站中的传感器采集起来(传感器是一种将物理测量结果转换成电子信号的装置)，这些信息通过通信系统和计算机系统加以传输和处理并用于天气预报，其结果通过电的方式进行传播和显示。

在发电厂中，各种形式的能量被转化成电能。电力调度系统将能量传输到全球各工厂、家庭和企业，在那里，能量被转换为各种有用的形式，如机械能、热能和光能。

毫无疑问，你可以列举日常生活中电气工程的很多应用。电力电子技术越来越多地融合在新的产品中，轿车和卡车即为例证。电子设备在轿车上的应用加快了轿车的增值，使汽车设计师们认识到电子技术的应用是一个增加功能、降低成本的好方法。表 1-1 阐述了一些电气工程在汽车方面的应用。

另一个应用实例是众多家用电器中集成的控制按钮、传感器、电子显示屏和芯片，还有开关、加热器件和发动机。可见，电子器件已经和机器设备紧密地整合在一起，于是一个新的名词应运而生，即“机电一体化”。

表 1-1 现代电力电子技术在轿车和卡车中的应用

安全性能	便利性
防抱死系统	电子导航
安全气囊	个性化的座位/镜子/广播收音设定
碰撞的预警和防避	电子门锁
车辆盲区检测(尤其针对大型卡车)	排放、性能和燃料经济性
红外夜视系统	汽车仪表
仪表显示	电子点火
自动故障提示	轮胎压力感应器
通信和娱乐	程序化的性能评估和行程维护
AM/FM 广播	适应性悬挂系统
数字音频播放	交替推进系统
CD/磁带播放器	电动汽车
车载电话	高效电池
电脑/邮件	混合动力汽车
卫星广播	

可惜的是,似乎很多工程师还没有足够的去设计机电一体化的产品:

工程领域就像很多的岛屿,如果居民只熟悉自己的岛屿,而对别的岛屿知之甚少,也很少接触,这样必然阻碍工程师的设计开发能力。无论研究领域是电力、电子、机械、化学、土木还是企业,现代的工业生产体系也包括生产如飞机、汽车、电脑和很多的复杂产品,这些都要依靠各种不同学科的技术有机、和谐地结合在一起。(Richard Comerford,“Mecha... what?”*IEEE Spectrum*,1994-8)

1.1.1 电气工程的应用领域

下面展示一个电气工程的应用列表,简要讨论了8个主要的应用领域。

1) **通信系统**以电子形式传播信息。手机、广播、卫星电视和因特网都是通信系统的例子。这使得在地球上的两个人同步通话成为可能。一个在尼泊尔山顶的登山者可以给他的朋友通电话或者发电邮,不管朋友是在阿拉斯加徒步旅行或者是在纽约的办公室。这种通信影响了我们的生活方式、商业经营方式以及工程设计。例如,通信系统将改变高速公路的设计,因为交通和路面状况的信息可以通过路边的传感器,采集起来传输到当地的交通控制中心。当某个交通事故发生时,一个电子信号会在安全气囊展开后自动发出,给出汽车的确切位置并寻求帮助,并且还会通知交通控制中心的计算机系统。

2) **计算机系统**以数字信号的形式处理和存储信息。毫无疑问,在你的身边已经有了计算机的应用。另外,计算机还被应用到很多不为人注意的地方,比如家用电器和汽车。一个典型的现代汽车会包含很多特定的计算机控制功能,而化学工艺流程和铁路交通调度也是通过计算机加以控制。

3) **控制系统**通过传感器收集信息,并用电能对物理过程进行控制。居室里的加热和冷却系统就是一个简单的控制系统,传感器(或温控器)比较当前温度与设定值之间的差距,控制电路通过控制电炉或空调以达到设定的温度。在轧制钢板时,通过电子控制系统可以得到想要的厚度,如果钢板过厚(或者过薄),更多(或者更少)的力将被用到轧辊上来修正偏差。

化学过程中的温度和流动速度也通过相同的方式来控制，控制系统被安装到高层建筑中，用于减少因风而引起的建筑物晃动。

4) **电磁学**是对电场和磁场领域的研究和应用。磁控管在烤箱中产生微波用于加热是一种应用。与此相似但具有更大能量的设备则用于生产胶合板，电磁场加热胶合板各层之间的胶，使各板很快地结合；手机和电视天线也是电磁设备应用的实例。

5) **电子学**是对以下领域的研究和应用，例如：材料、设备以及放大和开关电信号的电路。最重要的电子元器件是各种各样的晶体管，只要是关于电能和电气信息方面的应用都需要它们。例如，心脏起搏器是一个感应心脏跳动的电子电路，如果心脏停止跳动，起搏器会对心脏进行持续一分钟的刺激。电子仪表和电子传感装置应用到了几乎所有的科学和工程领域，本书在介绍各种放大器时也介绍了它们在各个工程领域中的应用。

6) **光电子学**是一个在科学和工程上令人兴奋的新兴领域，极有可能取代传统的、以驱动电子为基础的计算、信号处理、信号感应和通信设备，转而推进以驱动光子为基础的生产方式，极大地提高生产率。光电子学包括新一代的激光和发光二极管，通过光电器件实现传输光信息以及开关、调制、放大和检测等功能，也包括用于驱动光信号的电学、声学 and 成像学设备。目前的应用包括 DVD 读取设备、全息图、光学信号处理器和光纤通信系统，未来的应用将包括光学计算机、全息存储和医疗设备。光电子学给所有科学家和工程师提供了一个巨大的机遇。

7) **电力系统**将发电厂发出的电能传输到距离很远的地方。这个系统由发电机、变压器、输电线路、电动机和其他一些设备组成。机械工程师通常用电动机来完成他们的设计，而电动机的选择需要依据其机械特性。

8) **信号处理**是针对载有信息的电信号，通常是来自传感器的信号中提取有用的信息。其中一种应用是处理机器人的视觉信号，另一种应用是对内燃机点火系统的控制。内燃机点火的时机对其运行状况和减少污染水平至关重要，影响机轴旋转的最佳点火时机取决于如下因素：燃料质量、空气温度、油门的设定、发动机的转速以及其他因素。

如果点火时间稍微超过了最佳时机，发动机会振动，发出刺耳的金属声，这是由于化学燃料在燃烧室里释放能量时造成的快速压力波动引起的。燃烧室的压力波动通过外在的振动体现出来，见图 1-1。剧烈振动将会很快损坏发动机，因此，在更实用的信号处理装置出现之前，发动机的计时只能在不理想的直视状态下凭经验进行控制，以避免在不同运行状态下的发动机振动。

通过在燃烧室中接入一个传感器而获得一个与压力成正比的电子信号，电子电路分析处理这个信号，并判断是否因过快的压力波动特性而引起振动，这时，电子电路不断调整点火时间以避免撞击。

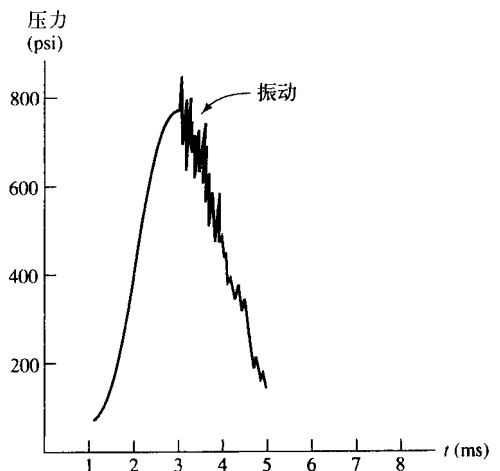


图 1-1 受到振动时，内燃机中的压力与时间的关系曲线

注：传感器将压力转换为电信号，以便调整燃烧时间，减小污染，实现更佳的性能。

1.1.2 为什么学习电气工程

作为本书的读者，你可能在从事其他工程领域和科学领域的工作，或者上一些关于电气工程的必修课程。你的学习目标可能是为了达到获得学位所必须的课程要求。另外，基于以下原因有必要学习和掌握一些电气工程的基础知识。

1) 通过基本的工程知识(Fundamentals of Engineering, FE)考试，为成为注册执业工程师做准备。在美国，要求从事公共工程者必须成为注册执业工程师(Professional Engineer, PE)。本书提供了注册考试中电气工程方面的知识，可把本教材和相关课程笔记作为 FE 考试的复习资料。

2) 拓展自身的知识面，有助于工程设计的工作。在其他领域的科学实验和工程设计中涉及电气工程的内容已经成为一种发展趋势，工业社会要求工程师不仅相互协作，而且要具备较宽的知识面，那些只熟悉和关注本专业的工程师或科学家将很难登上领导岗位。从这方面而言，电气工程师应该是非常幸运的，因为结构、机械和化学处理等方面的基础知识可以在日常生活中获得，然而，对没有进行系统学习的人来说，电气工程知识是比较深奥难懂的。

3) 可以操作和维护电气系统，如机械加工过程的控制系统。大多数电路故障的排除只需要掌握基本的电工学知识就足够，能够把电气工程知识应用到工程实践中的工程师或科学家是非常优秀和宝贵的。

4) 可以与电气工程师进行交流。如果工作中需要经常与电气工程师紧密联系，本书提供了与电气工程师交流常用的基本知识。

1.1.3 本书内容

电气工程涵盖的内容太广泛，不可能在一两门课程中讲完。本书的目的是介绍一些常用的电气基本概念。电路理论是电气工程师最基本的工具，因此本书第一部分中有共计 6 章的内容介绍电路理论。

本书第二部分重点介绍计算机和电气仪表中常用的逻辑电路和模拟电子技术。

本书介绍了很多基本概念，可用于电气工程师的入门学习课程。另外，无论是其他专业还是电气专业的工程师或科学家，均可以通过本书的学习来了解电工学知识是如何应用于其他领域的。

1.2 电路、电流与电压

1.2.1 电路知识

在细致讨论电路之前，我们先用一个简单的例子来理解电路的概念，例如：汽车车灯的电路模型。这个电路包括一个电源、一个开关、前灯以及连接它们而构成闭合回路的导线，见图 1-2。

电池中的化学能产生电荷(电子)流过电路，电荷从电池中的化学能得到能量并传递给汽车前灯，电池的电压(一般为 12V)是一个单位电荷通过电池所得到能量的度量单位。

导线由良好的电导体(铜)构成，这些导线通过缠绕在外周的绝缘体(塑胶)而相互绝缘。电子可以通过铜导线但不会通过塑料绝缘体，所以，电荷的流动(电流)必然沿着导线直至前灯。众所周知，空气也是一种绝缘体。

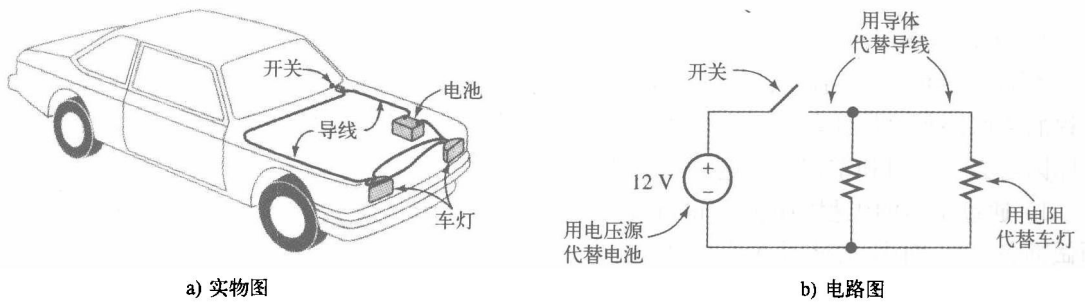


图 1-2 车灯电路

开关用来控制电流。当开关的导线金属片互相接触时，称之为开关闭合，电流通过开关。反之，当金属导线部分没有接触时，称之为开关断开，没有电流通过。

前灯装置包括特殊的耐高温的钨丝。钨丝没有铜的导电性能好，当电子与钨丝的原子发生碰撞时，导致钨丝发热，我们称钨丝具有电阻。所以，当能量从电池中的化学能转移给电子，再转移至钨丝时表现为发热，钨丝达到足够的温度后就会发出大量的光。而且，电子转移的功率等于由电池提供的电流(电荷的流速)和电压(又被称为电势)的乘积。

实际上，对汽车前灯电路的简单描述更适合于传统汽车。在现代汽车中，传感器可以为内嵌计算机提供关于周围环境的亮度信息，确定灯具是否需提供能量，转换装置是否启动。只需通过仪表盘开关输入一个逻辑信号给计算机，表明操作者对前灯进行操作的目的。根据这些输入的信息，计算机将控制前灯电路的开关。当灯具是熄灭的，而且周围光线很暗时，计算机将保持灯亮几分钟，以便乘客下车，然后将灯关闭，从而节约电池的能量。这个典型例子说明采用高性能的电力电子与计算机技术能增强所有工程领域中的工程设计能力。

1.2.2 液体流动模拟

电路类似于液体流动系统。电池好比一个泵，电荷类似于液体，而导线(通常为铜丝)对应于有液体流过的无摩擦阻力的管道。这样，电流相当于液体的流动，电压相当于液体环路中各个点之间的压力差，开关相当于阀门。最后，钨丝灯泡的电阻把电能转变为热能，类似于在液流系统中导致出现湍流的一个束紧装置。实际上，电流是衡量电荷通过电路元件横截面的流速，而电压是用一个电路元件两端或者其他两点之间的电势差来衡量的。

现在，我们对简单电路有了基本的理解，可以更准确地理解相关的概念和术语。

1.2.3 电路

电路是一种由导线连接包含各种电路元件的闭合回路，图 1-3 表示了一个很简单的电路。电路元件可以是电阻、电感、电容和电压源等，各元件的符号见图 1-3。后面我们将细致地讨论各种类型元器件的性质。

电荷很容易通过连接各电路元件的导线，在实际电路中，导线相当于连接线。电压源为电荷流过导线和元件提供动力，使能量在各元件中传递，最后转化为一种有用的形式。

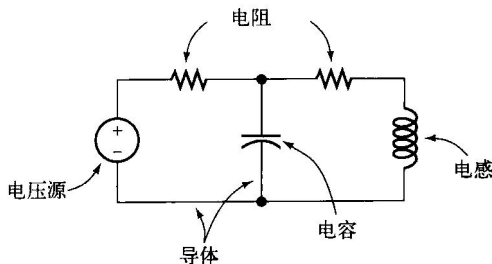


图 1-3 由多个电路元件(电压源、电阻、电感和电容)组成,并用导线连接为闭合回路的电路

1.2.4 电流

电流是单位时间流过导线或电路元件横截面的电荷量,其单位是安培(A),即库仑每秒(C/s)。每个电子的电荷量为 $-1.602 \times 10^{-19} \text{C}$ 。

一般地,为了计算一个已知元件的电流,首先,应选择电流的方向大致垂直于该元件的横截面。然后,沿电流方向选择一个参考方向,见图 1-4。

接下来,假设已知流过横截面的电荷量。若正电荷沿着参考方向穿过横截面被认为是使净电荷量增加,则正电荷沿着与参考方向相反的方向穿过横截面被认为是使净电荷量减少。负电荷沿着参考方向穿过横截面被认为是使净电荷量减少,若沿着与参考方向相反的方向穿过横截面,则被认为是使净电荷量增加。

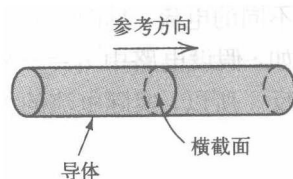


图 1-4 电流是单位时间内流过导线或电路元件横截面的电荷量

如果电荷量关于时间的函数为 $q(t)$,则流过元件的电流可以表示为

$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt} \quad (1-1)$$

1 安培的电流表示每秒内有 1 库仑的电荷穿过元件的横截面。

为了利用电流值得到电荷量,需要进行积分运算,有

$$q(t) = \int_{t_0}^t i(t) dt + q(t_0) \quad (1-2)$$

其中, t_0 是电荷量已知的初始时刻。

通过同一电路元件横截面的电流值是相同的,在第 3 章介绍电容时会证明这个结论,即电流从元件的一端流入,另一端流出。

例 1.1 由电荷量确定电流大小

假设电荷量随时间变化的关系如下

$$\begin{aligned} q(t) &= 0 & t < 0 \\ q(t) &= 2 - 2e^{-100t} & t > 0 \end{aligned}$$

画出 $q(t)$ 、 $i(t)$ 随时间变化的曲线。

解:由式(1-1)得到

$$\begin{aligned} i(t) &= dq(t)/dt = 0 & t < 0 \\ i(t) &= dq(t)/dt = 200e^{-100t} & t > 0 \end{aligned}$$

$q(t)$ 、 $i(t)$ 随时间变化的曲线见图 1-5。