

21
世纪

高职高专新概念教材

李中发 主 编

谢胜曙 方厚辉 胡 锦 副主编

电工技术基础

21 Shi Ji Gao Zhi Gao Zhuan Xin Gai Nian Jiao Cai



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

21 世纪高职高专新概念教材

电工技术基础

李中发 主 编

谢胜曙 方厚辉 胡 锦 副主编

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书系统地介绍了电工技术的基本概念、基本理论、基本方法及其在实际中的应用。主要内容包括电路模型与电路定律、直流电阻电路分析、单相正弦电路分析、三相正弦电路分析、一阶动态电路分析、磁路与变压器、电动机、电动机的继电接触器控制、可编程控制器、电工测量。

本书充分体现了高职高专教育的特点，集电工技术和应用于一体。全书叙述简明，概念清楚；知识结构合理，重点突出；内容深入浅出，通俗易懂，图文并茂；例题、习题丰富，并在书后附有部分习题答案；各章均有学习要求、概述和小结。

本书可作为各类高等学校非电专业电工技术课程的教材或参考书，也可供有关工程技术人员参考。

本书为授课教师免费提供电子教案，此教案用 PowerPoint 制作，可以任意修改。需要者可以从中国水利水电出版社网站 www.waterpub.com.cn 下载，也可与北京万水电子信息有限公司联系，联系电话：(010) 82564395。

图书在版编目 (CIP) 数据

电工技术基础/李中发主编. —北京：中国水利水电出版社，2004

(21 世纪高职高专新概念教材)

ISBN 7-5084-2294-5

I. 电… II. 李… III. 电工技术—高等学校：技术学校—教材 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 076504 号

书 名	电工技术基础
主 编	李中发
副 主 编	谢胜曙 方厚辉 胡 锦
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)、82562819 (万水) 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
经 售	
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	北京蓝空印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 19.75 印张 437 千字
版 次	2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月第 1 次印刷
印 数	0001—5000 册
定 价	28.00 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

21 世纪高职高专新概念教材 编委会名单

主任委员 刘 晓 柳菊兴

副主任委员 胡国铭 张栻勤 王前新 黄元山 柴 野

张建钢 陈志强 宋 红 汤鑫华 王国仪

委 员 (按姓氏笔画排序)

马洪娟	马新荣	尹朝庆	方 宁	方 鹏
毛芳烈	王 祥	王乃钊	王希辰	王国思
王明晶	王泽生	王绍卜	王春红	王路群
东小峰	台 方	叶永华	宁书林	田 原
田绍槐	申 会	刘 猛	刘尔宁	刘慎能
孙明魁	安志远	许宇东	闫 菲	何 超
宋锦河	张 晞	张 慧	张弘强	张怀中
张晓辉	张浩军	张海春	张曙光	李 琦
李存斌	李作纬	李珍香	李家瑞	李晓桓
杨永生	杨庆德	杨名权	杨均青	汪振国
肖晓丽	闵华清	陈 川	陈 炜	陈语林
陈道义	单永磊	周杨娣	周学毛	武铁敦
郑有想	侯怀昌	胡大鹏	胡国良	费名瑜
赵 敬	赵作斌	赵秀珍	赵海廷	唐伟奇
夏春华	徐 红	徐凯声	徐雅娜	殷均平
袁晓州	袁晓红	钱同惠	钱新恩	高寅生
曹季俊	梁建武	蒋金丹	蒋厚亮	覃晓康
谢兆鸿	韩春光	詹慧尊	雷运发	廖哲智
廖家平	管学理	蔡立军	黎能武	魏 雄

项目总策划 雨 轩

编委会办公室 主 任 周金辉

副主任 孙春亮 杨庆川

参编学校名单

(按第一个字笔划排序)

三门峡职业技术学院	华东交通大学
山东大学	华北电力大学工商管理学院
山东交通学院	华北航天工业学院
山东建工学院	江汉大学
山东省电子工业学校	江西渝州电子工业学院
山东农业大学	江西赣西学院
山东省农业管理干部学院	西安外事学院
山东省教育学院	西安欧亚学院
山东商业职业技术学院	西安铁路运输职工大学
山西阳泉煤炭专科学校	西安联合大学
山西运城学院	孝感职业技术学院
山西经济管理干部学院	杨陵职业技术学院
广州市职工大学	昆明冶金高等专科学校
广州铁路职业技术学院	武汉大学动力与机械学院
中华女子学院山东分院	武汉大学信息工程学院
中国人民解放军第二炮兵学院	武汉工业学院
中国矿业大学	武汉工程职业技术学院
中南大学	武汉广播电视大学
天津市一轻局职工大学	武汉化工学院
天津职业技术师范学院	武汉电力职业技术学院
长沙大学	武汉交通管理干部学院
长沙民政职业技术学院	武汉科技大学工贸学院
长沙交通学院	武汉商业服务学院
长沙航空职业技术学院	武汉理工大学
长春汽车工业高等专科学校	武汉铁路职业技术学院
北京对外经济贸易大学	河南济源职业技术学院
北京科技大学职业技术学院	郑州工业高等专科学校
北京科技大学成人教育学院	陕西师范大学
石油化工管理干部学院	南昌水利水电高等专科学校
石家庄师范专科学校	哈尔滨金融专科学校
辽宁交通高等专科学校	济南大学
华中电业联合职工大学	济南交通高等专科学校
华中科技大学	济南铁道职业技术学院

荆门职业技术学院
贵州无线电工业学校
贵州电子信息职业技术学院
恩施职业技术学院
黄冈职业技术学院
黄石计算机学院
湖北工学院
湖北丹江口职工大学
湖北交通职业技术学院
湖北汽车工业学院
湖北经济管理大学
湖北药检高等专科学校

湖北经济学院
湖北教育学院
湖北鄂州大学
湖北水利水电职业技术学院
湖南大学
湖南工业职业技术学院
湖南计算机高等专科学校
湖南省轻工业高等专科学校
湖南涉外经济学院
湖南郴州师范专科学校
湖南商学院
湖南税务高等专科学校

序

根据 1999 年 8 月教育部高教司制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》)的精神,由中国水利水电出版社北京万水电子信息有限公司精心策划,聘请我国长期从事高职高专教学、有丰富教学经验的教师执笔,在充分汲取了高职高专和成人高等学校在探索培养技术应用性人才方面取得的成功经验和教学成果的基础上,撰写了这套《21 世纪高职高专新概念教材》。

为了编写本套教材,出版社进行了广泛的调研,走访了全国百余所具有代表性的高职专科学校、高等职业技术学院、成人教育高等院校以及本科院校举办的二级职业技术学院,在广泛了解情况、探讨课程设置、研究课程体系的基础上,经过学校申报、征求意见、专家评选等方式,确定了本套书的主编,并成立了编委会。每本书的编委会聘请了多所学校主要学术带头人或主要从事该课程教学的骨干,教学大纲的确定以及教材风格的定位均经过编委会多次认真讨论。

本套《21 世纪高职高专新概念教材》有如下特点:

(1) 面向 21 世纪人才培养的需求,结合高职高专学生的培养特点,具有鲜明的高职高专特色。本套教材的作者都是长期在第一线从事高职高专教育的骨干教师,对学生的基本情况、特点和认识规律等有深入的了解,在教学实践中积累了丰富的经验。因此可以说,每一本书都是教师们长期教学经验的总结。

(2) 以《基本要求》和《培养规格》为编写依据,内容全面,结构合理,文字简练,实用性强。在编写过程中,作者严格依据教育部提出的高职高专教育“以应用为目的,以必需、够用为度”的原则,力求从实际应用的需要(实例)出发,尽量减少枯燥、实用性不强的理论概念,加强了应用性和实际操作性强的内容。

(3) 采用“问题(任务)驱动”的编写方式,引入案例教学和启发式教学方法,便于激发学习兴趣。本套书的编写思路与传统教材的编写思路不同:先提出问题,然后介绍解决问题的方法,最后归纳总结出一般规律或概念。我们把这个新的编写原则比喻成“一棵大树、问题驱动”的原则。即:一方面遵守先见(构建)“树”(每本书就是一棵大树),再见(构建)“枝”(书的每一章就是大树的一个分枝),最后见(构建)“叶”(每章中的若干小节及知识点)的编写原则;另一方面采用问题驱动方式,每一章都尽量用实际中的典型实例开头(提出问题、明确目标),然后逐渐展开(分析解决问题),在讲述实例的过程中将本章的知识点融入。这种精选实例,并将知识点融于实例中的编写方式,可读性、可操作性强,非常适合高职高专的学生阅读和使用。本书读者通过学习构建本书中的“树”,由“树”找“枝”,顺“枝”摸“叶”,最后达到构建自己所需要的“树”的目的。

(4) 部分教材配有实验指导和实训教程,便于学生练习提高。

(5) 部分教材配有动感电子教案。为顺应教育部提出的教材多元化、多媒体化发展的要求,大部分教材都配有电子教案,以满足广大教师进行多媒体教学的需要。电子教案用 PowerPoint 制作,教师可根据授课情况任意修改。相关教案的具体情况请到中国水利水电出版社网站 www.waterpub.com.cn 下载。

(6) 提供相关教材中所有程序的源代码,方便教师直接切换到系统环境中教学,提高教学效果。

总之,本套教材凝聚了数百名高职高专一线教师多年的教学经验和智慧,内容新颖,结构完整,概念清晰,深入浅出,通俗易懂,可读性、可操作性和实用性强。

本套教材适用于高等职业学校、高等专科学校、成人及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校。

新的世纪吹响了我国高职高专教育蓬勃发展的号角,新世纪对高职教育提出了新的要求,高职教育占据了全面素质教育中所不可缺少的地位,在我国高等教育事业中占有极其重要的位置,在我国社会主义现代化建设事业中发挥着日趋显著的作用,是培养新世纪人才所不可缺少的力量。相信本套《21 世纪高职高专新概念教材》的出版能为高职高专的教材建设和教学改革略尽绵薄之力,因为我们提供的不仅是一套教材,更是自始至终的教育支持,无论是学校、机构培训还是个人自学,都会从中得到极大的收获。

当然,本套教材肯定会有不足之处,恳请专家和读者批评指正。

21 世纪高职高专新概念教材编委会
2001 年 3 月

前 言

电工技术是研究电能在各个技术领域中的应用的一门科学技术。电工技术的发展是和电能的应用紧密联系的。电自被发现并被应用以来,对人类社会的发展产生了极其广泛而深刻的影响。目前,电工技术应用十分广泛,并且已经渗透到国民经济、国防和日常生活的一切领域,在我国社会主义现代化建设中占有极其重要的地位。电能之所以得到这样广泛的应用,是因为与其他能源相比,电能具有便于转换、便于输送、便于控制等诸多优点。

电工技术课程是高等工业学校非电类专业的一门技术基础课,学生通过本课程的学习,能够获得电工技术必要的基本理论、基本知识和基本技能,了解电工技术的应用和发展,为学习相关后续课程以及从事与本专业有关的工程技术工作和科学研究工作打下一定的基础。

本教材与《电子技术基础》(李中发主编,中国水利水电出版社出版)作为电工学的一套教材,在章节安排和内容取舍上作了仔细协调。本书集电工技术和应用于一体,在内容和结构上对电工技术课程进行了优化整合。在本书编写过程中,作者根据自己多年的教学经验以及对课程改革的实践尝试,从时代发展、技术进步、知识结构、课程体系上进行总体考虑,力图实现以下目标:叙述简明,内容深入浅出,通俗易懂,便于教与学;内容精练,基本概念清楚,重点突出,难点不难;系统性强,使学生建立完整有序的概念;知识结构合理,为进一步学习相关后续课程和实际应用打下良好基础;理论教学与实践教学紧密结合,注重学生的智力开发和能力培养;力图反映新技术、新动向,以适应电工技术发展和变化的需要。

本教材的理论教学时数约为 60 学时,实践教学时数约为 20 学时,可根据各专业的实际情况进行适当取舍。

本书是在教育部“高职高专教育电工课程教学内容体系改革、建设的确定与实践”(项目编号 III31-1)课题组和中国水利水电出版社指导下编写完成的。参加本书编写工作的有:许新民(第 1 章),邹津海(第 2 章),胡锦(第 3 章),李中发(第 4 章、第 5 章),谢胜曙(第 6 章),方厚辉(第 7 章),陈洪云(第 8 章),江亚群(第 9 章),向阳(第 10 章),杨华、周少华参加了部分习题的选编工作,陈玉英、李珊珊、陈南放等做了本书的文字录入和图表制作工作。全书由李中发担任主编,负责全书的组织、修改和定稿工作;谢胜曙、方厚辉、胡锦担任副主编。

限于编者水平,书中疏漏在所难免,恳请广大读者提出宝贵意见。作者的 E-mail 地址为:li_zhongfa@163.net。

编 者
2004 年 6 月

目 录

序

前言

第 1 章 电路模型与电路定律	1
本章学习要求	1
1.1 电路及基本物理量	1
1.1.1 电路的组成与作用	1
1.1.2 电流	2
1.1.3 电压、电位及电动势	3
1.1.4 电功率	5
1.2 电路模型	7
1.2.1 电路模型的概念	7
1.2.2 理想电路元件	8
1.2.3 实际电源的两种模型	11
1.3 电气设备的额定值及电路的工作状态	13
1.3.1 电气设备的额定值	13
1.3.2 电路的工作状态	13
1.4 基尔霍夫定律	16
1.4.1 基尔霍夫电流定律 (KCL)	17
1.4.2 基尔霍夫电压定律 (KVL)	18
1.5 电位的概念及计算	21
1.5.1 电位的概念	21
1.5.2 电位的计算	22
本章小结	24
习题一	25
第 2 章 直流电阻电路分析	29
本章学习要求	29
2.1 简单电路分析	29
2.1.1 电阻的串联	29
2.1.2 电阻的并联	31
2.2 复杂电路分析	33
2.2.1 支路电流法	33
2.2.2 节点电压法	36

2.3	电压源与电流源的等效变换	37
2.3.1	电路等效变换的概念	37
2.3.2	电压源与电流源的等效变换	38
2.4	电路定理	41
2.4.1	叠加定理	42
2.4.2	等效电源定理	44
2.5	含受控源电路的分析	47
2.5.1	受控源	47
2.5.2	含受控源电路的分析	48
2.6	非线性电阻电路的分析	52
2.6.1	非线性电阻	52
2.6.2	非线性电阻电路的分析	53
	本章小结	55
	习题二	56
第3章	单相正弦电路分析	62
	本章学习要求	62
3.1	正弦交流电的基本概念	63
3.1.1	正弦量的三要素	63
3.1.2	相位差	65
3.1.3	有效值	67
3.2	正弦交流电的相量表示法	69
3.2.1	复数及其运算	70
3.2.2	正弦量的相量表示法	73
3.3	电路基本定律的相量形式	75
3.3.1	相量运算规则	75
3.3.2	元件伏安关系的相量形式	76
3.3.3	KCL、KVL 的相量形式	82
3.4	简单正弦电路的分析	85
3.4.1	阻抗	85
3.4.2	RLC 串联电路	86
3.4.3	RLC 并联电路	89
3.4.4	阻抗的串联及并联	91
3.5	正弦电路的功率	93
3.5.1	瞬时功率	93
3.5.2	平均功率	95
3.5.3	无功功率和视在功率	96
3.5.4	功率因数的提高	98

3.6 交流电路的频率特性	100
3.6.1 RC 电路的频率特性	100
3.6.2 电路中的谐振	103
本章小结	108
习题三	109
第 4 章 三相正弦电路分析	114
本章学习要求	114
4.1 三相正弦交流电源	114
4.1.1 三相交流电的产生	114
4.1.2 三相电源的连接	116
4.2 三相电路中负载的连接	117
4.2.1 负载的星形连接	118
4.2.2 负载的三角形连接	121
4.3 安全用电	123
4.3.1 触电方式及其防护	123
4.3.2 接地与接零	124
4.3.3 静电防护和电气防火防爆	126
本章小结	127
习题四	128
第 5 章 一阶动态电路分析	130
本章学习要求	130
5.1 换路定理	130
5.1.1 电路中产生过渡过程的原因	130
5.1.2 换路定理	132
5.2 一阶动态电路的分析方法	134
5.2.1 一阶动态电路的经典分析法	135
5.2.2 一阶动态电路的三要素分析法	141
5.3 零输入响应和零状态响应	145
5.3.1 一阶电路响应的分解	145
5.3.2 一阶电路的零输入响应	149
5.3.3 一阶电路的零状态响应	153
5.4 微分电路与积分电路	156
5.4.1 微分电路	157
5.4.2 积分电路	158
本章小结	159
习题五	160

第 6 章 磁路与变压器	164
本章学习要求	164
6.1 磁路	164
6.1.1 磁场的基本物理量	165
6.1.2 磁路的基本定律	166
6.1.3 磁性材料的磁性能	168
6.2 交流铁心线圈电路	171
6.2.1 交流铁心线圈的电磁关系	172
6.2.2 交流铁心线圈的功率损耗	173
6.3 变压器	175
6.3.1 变压器的基本结构	176
6.3.2 变压器的工作原理	176
6.3.3 变压器的工作特性	182
6.3.4 变压器绕组的同极性端及其测定	183
6.3.5 特殊变压器	185
本章小结	187
习题六	188
第 7 章 电动机	191
本章学习要求	191
7.1 三相异步电动机的结构及转动原理	192
7.1.1 三相异步电动机的结构	192
7.1.2 旋转磁场的产生	193
7.1.3 三相异步电动机的转动原理	195
7.2 三相异步电动机的电磁转矩和机械特性	197
7.2.1 三相异步电动机的电路分析	197
7.2.2 三相异步电动机的电磁转矩	199
7.2.3 三相异步电动机的机械特性	199
7.3 三相异步电动机的运行与控制	202
7.3.1 三相异步电动机的起动	202
7.3.2 三相异步电动机的调速	205
7.3.3 三相异步电动机的反转	206
7.3.4 三相异步电动机的制动	207
7.4 三相异步电动机的选择与使用	208
7.4.1 三相异步电动机的铭牌	209
7.4.2 三相异步电动机的选择	211
7.4.3 电动机的安装原则和接地装置	212
7.5 单相异步电动机	213

7.5.1 单相异步电动机的工作原理与特性	213
7.5.2 单相异步电动机的起动	215
7.6 直流电动机	217
7.6.1 直流电动机的结构及分类	217
7.6.2 直流电动机的工作原理和机械特性	219
7.6.3 直流电动机的运行与控制	221
7.7 步进电动机	223
7.7.1 步进电动机的结构	224
7.7.2 步进电动机的工作原理	224
7.7.3 步进电动机的步距角和转速	226
本章小结	227
习题七	229
第 8 章 异步电动机的继电器接触器控制	232
本章学习要求	232
8.1 常用控制电器	232
8.1.1 开关电器	232
8.1.2 熔断器	234
8.1.3 主令电器	235
8.1.4 交流接触器	236
8.1.5 继电器	237
8.2 三相异步电动机的基本控制电路	240
8.2.1 点动控制和直接起动控制	240
8.2.2 多地控制和顺序控制	242
8.2.3 正反转控制	243
8.2.4 行程控制	245
8.2.5 时间控制	246
本章小结	247
习题八	248
第 9 章 可编程控制器	251
本章学习要求	251
9.1 PLC 的结构及工作原理	252
9.1.1 PLC 的结构	252
9.1.2 PLC 的工作原理	253
9.1.3 PLC 的工作方式	255
9.2 PLC 的编程元件与指令系统	256
9.2.1 PLC 的编程元件	256
9.2.2 PLC 的指令	259

9.3 梯形图的设计规则与设计方法	264
9.3.1 梯形图的设计规则	264
9.3.2 梯形图的经验设计法	266
9.4 PLC 应用实例	267
9.4.1 三相异步电动机 Y- Δ 降压起动控制电路	268
9.4.2 计数器工作电路控制	269
9.4.3 机械手工作过程控制	270
本章小结	271
习题九	272
第 10 章 电工测量	274
本章学习要求	274
10.1 电工仪表的类型、误差和准确度	274
10.1.1 电工仪表的分类	274
10.1.2 电工仪表的误差和准确度	276
10.2 指针式仪表的结构及工作原理	277
10.2.1 磁电式仪表	277
10.2.2 电磁式仪表	278
10.2.3 电动式仪表	279
10.3 电流、电压、功率及电能的测量	280
10.3.1 电流的测量	280
10.3.2 电压的测量	280
10.3.3 功率的测量	281
10.3.4 电能的测量	283
10.4 电阻的测量	284
10.4.1 万用表	284
10.4.2 兆欧表	287
本章小结	288
习题十	288
附录	290
附录 1 电阻器标称阻值系列	290
附录 2 电阻器阻值的色环标志法	291
部分习题参考答案	292
参考文献	300

第 1 章 电路模型与电路定律

本章学习要求

- 理解电压、电流的概念及参考方向的意义，电功率的概念及其计算。
- 理解并能正确应用电路元件的伏安关系。
- 了解电路的负载、开路及短路状态和额定值的意义。
- 理解并能正确应用基尔霍夫电压定律和电流定律。
- 理解电位的概念，会分析计算电路中各点的电位。

电路是电工技术和电子技术的基础，是为学习电子电路、电机电路以及控制与测量电路等打基础的。

本章介绍电路的作用及组成、电路的基本物理量及其参考方向、电路基本元件的电压和电流关系（简称伏安关系）、电路的 3 种工作状态、电气设备的额定值、基尔霍夫电压定律和电流定律，以及电路中电位的概念及其计算。这些基本概念和基本定律是电路分析的重要基础。

1.1 电路及基本物理量

1.1.1 电路的组成与作用

1. 电路的组成

电路是为了某种需要而将某些电工设备或元件按一定方式组合起来所构成的电流通路。

不论电路结构的复杂程度如何，其组成都包括电源、负载和中间环节 3 个基本部分。

电源是提供电能的设备，如干电池、蓄电池、发电机等，其作用是将其其他形式的能量转换为电能。此外，还有将某种形式的电能转换成另一种形式的电能的装置，通常也称为电源，如直流稳压电源就是将交流电转换为直流电，并在一定范围内保持输出电压稳定。

负载是取用电能的设备，如电灯、电炉、电动机等，其作用是将电能转换为其他形式的能量，如电灯把电能转换成光能和热能，电动机将电能转换成机械能等。

中间环节在电路中起传递、分配和控制电能的作用。最简单的中间环节是开关和连接导线，一般还有保护和测量装置。更为复杂的中间环节是各种电路元件组成的网络系统，电源接在它的输入端，负载接在它的输出端。

2. 电路的作用

电路的结构形式和所能完成的任务是多种多样的。按工作任务划分，电路的主要功能有两类。

电路的第一类功能是进行能量的转换、传输和分配，如电力系统电路，可将发电机发出的电能经过输电线传输到各个用电设备，再经用电设备转换成热能、光能、机械能等，其示意图如图 1-1 (a) 所示。

电路的第二类功能是实现信号的传递和处理等。输入信号称为激励（或信号源），输出信号称为响应，如扩音机电路，先由话筒把语言或音乐（通常称为信息）转换为相应的电压和电流，即电信号，通过放大和转换（称为信号的处理）后传递到扬声器，把电信号还原为语言或音乐，其示意图如图 1-1 (b) 所示。

更简单的电路如图 1-1 (c) 所示的手电筒电路。

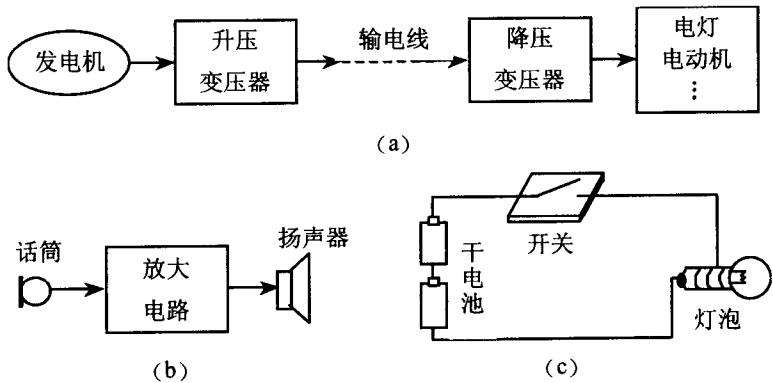


图 1-1 电路的例子

(a) 电力系统电路； (b) 扩音机电路； (c) 手电筒电路

研究电路的基本规律，首先要掌握电路中的电流、电压和功率等基本物理量。

1.1.2 电流

电流是由电荷有规则的定向运动形成的。电流是一种物理现象，又是一个表示电流强弱的物理量，在数值上等于单位时间内通过某一导体横截面的电量。

在如图 1-2 所示的导体内，设在时间 dt 内，通过导体横截面 S 的电量为 dq ，则导体中的电流为：

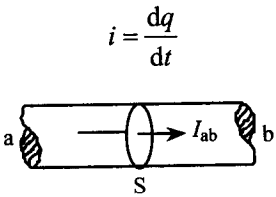


图 1-2 导体中的电流