

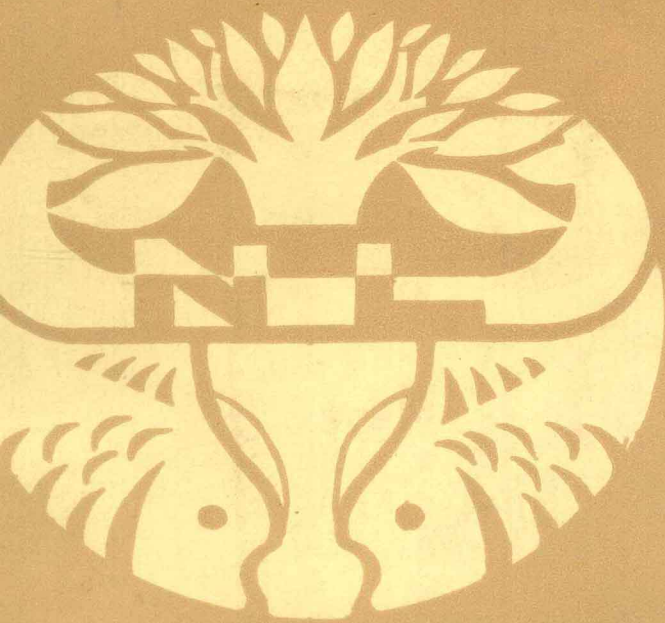
实用电工学

——
全国高等农林专科统编教材

● 王建东 主编

● 农产品加工和轻工类专业用

● 中国农业出版社



全国高等农林专科学校统编教材

实 用 电 工 学

王建东 主编

中 国 农 业 出 版 社

主 编 王建东 (浙江农业大学)
副主编 叶文孙 (安徽农业大学)
编 者 项士英 (浙江农业大学)
主审人 张英书 (沈阳农业大学)
审稿人 孙葛英 (浙江丝绸工学院)

出版说明

高等农林专科教育是高等农林教育体系中一个相对独立、不可缺少的层次。

我国高等农林专科教育，自进入80年代以来，有了长足发展，在校人数迅速增加，为适应发展的需要，改变教学多年来一直借用本科教材的局面，建设具有农林专科教育特色的教材体系，经国家教委批准，于1986年7月成立全国高等农林专科基础课程教材委员会，并在全国高等农林专科教育研究协作组制定的农林专科生培养基本要求和部分专业教学计划以及课程教学基本要求的基础上，首批组织统编了49种教材。

本批教材力求体现农林专科生培养基本要求，突出应用性，加强实践性，强调针对性，注意灵活性；遵循教学规律，具有科学性、系统性，由浅入深，循序渐进，理论联系实际；既具有广泛的适应性，又具有先进性和时代特征。

这批教材在适用农林专科教育的修业年限上，兼顾了二、三年制的需要，同时可供电大、函授等专科教育和中等专业学校教师，以及有关科技人员参考。

这批教材的编审出版是在国家教委高教司直接领导下进行的，并得到中国农业出版社、高等教育出版社、中国林业出版社、四川科学技术出版社、广西科学技术出版社的通力合作与大力支持，在此深致谢意。

本教材的编审出版，不仅是为了解决部分课程教学所用教材的有无问题，而更重要的是在新的历史条件下，为建设具有高等农林专科教育特色的教材体系探索路子，试图提供一些有益的尝试，故缺点错误在所难免，恳望各校在使用过程中提出宝贵意见，以便再版时作进一步修改。

全国高等农林专科基础课程教材委员会

1990年

前 言

本书是受国家教委委托，由全国高等农林专科基础课程教材委员会组织编写的全国统编教材。《实用电工学》是一门实践性较强的技术基础课。其目的与任务是使学生获取有关电路和电气设备的基本理论、基本知识与基本技能，学习有关电子技术知识及供用电常识，为学习后续课程及今后从事工程技术推广应用或管理工作打下基础。

《实用电工学》是为高等农林专科而编写的少学时教材，教学时数为50—60学时。也可供农林、轻工类院校有关专业选用，或作为函大、刊大及有关管理干部的参考书。本书注重选材的实用性并配有精炼实用的例题、习题和实验，尽力做到实用、精炼、协调、流畅并富于启发性。

全书内容可分四部分：第一至第三章为电路，包括直流、交流与三相电路；第四至第八章为电气设备及其选配，包括磁路与变压器、交流电动机、电热器与电炉、电气照明及低压电器与控制电路；第九章为供电与安全用电；第十至第十二章为电子技术应用，包括半导体整流电路、放大电路与振荡电路、数字电路。编写分工是：王建东编写第一至第七章；项士英编写第八、九章及实验与现场教学提纲；叶文孙编写第十至第十二章。全书由王建东统稿。

沈阳农业大学张英书教授与浙江丝绸工学院孙葛英副教授为本书审稿，他们提出许多宝贵的意见和建议，我们表示感谢！我们也感谢孙大开、陆秋君、朱莉莉为本书制图、誉写所作的贡献！

对于少学时教材的内容处理，难度较大，加以编写水平所限，缺点与不足之处，恳请批评指正。

编 者

1993年10月

目 录

绪论	1
第一章 直流电路	3
第一节 电路的基本物理量与电阻	3
一、电路的组成	3
二、电路中的基本物理量与电阻	3
第二节 电路的工作状态及电源的外特性	6
一、空载	6
二、负载	6
三、短路	7
第三节 负载连接及其额定值	8
一、负载的串联与并联	8
二、负载的额定值	9
第四节 导线和熔丝的选择	11
一、导线的选择	11
二、熔丝的选择	13
第五节 复杂电路的计算	14
第二章 正弦交流电路	19
第一节 正弦交流电及其相量表示法	19
一、正弦量的三要素	19
二、正弦量的相量表示法	22
第二节 交流电路中的电阻、电感与电容元件	26
一、纯电阻电路	26
二、纯电感电路	27
三、纯电容电路	29
第三节 电阻与电感串联的交流电路	32
第四节 阻抗的串联与并联	36
一、阻抗的串联	36
二、阻抗的并联	36
第五节 电路的谐振	38
一、串联谐振	39
二、并联谐振	41
第六节 功率因数的提高	42
第三章 三相交流电路	47
第一节 三相交流电源	47

一、三相交流电动势的产生	47
二、三相四线制	48
第二节 负载星形连接的三相电路	49
一、负载的星形连接	49
二、三相三线制	50
第三节 负载三角形连接的三相电路	53
第四节 三相电路的功率	55
第四章 磁路与变压器	59
第一节 磁路与交流铁心线圈电路	59
一、磁场的基本物理量	59
二、磁性材料及其分类	60
三、磁路	61
四、交流铁心线圈电路	62
第二节 变压器结构和工作原理	63
一、变压器的工作原理	63
二、变压器的结构	65
三、三相电力变压器	66
第三节 变压器铭牌值及容量选择	67
一、变压器的铭牌值	67
二、变压器容量的选择	68
第四节 特殊变压器	69
一、自耦变压器	69
二、交流电焊机	70
三、仪用互感器	71
第五节 电磁铁	72
第五章 交流电动机	76
第一节 三相异步电动机的结构	76
第二节 旋转磁场及交流电动机工作原理	77
一、异步电动机转动原理	77
二、旋转磁场的产生	78
三、三相异步电动机的极数与转速	79
第三节 三相异步电动机的电磁转矩与机械特性	80
第四节 三相异步电动机的使用	83
一、三相异步电动机的铭牌及主要技术数据	83
二、三相异步电动机的起动	85
三、三相异步电动机的运行	88
第五节 单相电动机	90
第六节 电动机的选择	92
一、类型及结构形式的选择	92
二、转速的选择	93

三、功率的选择	93
第六章 电热器与电炉	96
第一节 电阻炉	96
第二节 电弧炉	97
第三节 感应炉	98
第四节 高频电场加热设备	99
第五节 红外线加热设备	101
第七章 电气照明	103
第一节 电照明的基本概念	103
第二节 白炽灯与卤钨灯	103
一、白炽灯	103
二、卤钨灯	104
第三节 荧光灯与高压汞灯	104
一、荧光灯	104
二、荧光高压汞灯	105
三、场致发光灯	106
第四节 室内照明概述	107
一、照明方式及照度要求	107
二、灯具	107
三、照度标准	108
第八章 低压电器与控制电路	112
第一节 常用低压电器	112
一、熔断器	112
二、开关和转换开关	113
三、万能转换开关	115
四、自动开关	116
五、按钮	117
六、交流接触器	118
七、热继电器	119
第二节 笼式异步电动机直接起动控制电路	120
第三节 笼式异步电动机正反转的控制电路	123
第四节 行程控制	125
第五节 时间控制	126
第九章 供电与安全用电	131
第一节 电能的产生与输送	131
一、发电厂	131
二、电力系统	131
第二节 企业供电方式与供电质量	132
一、电力负荷的分类	132
二、企业供电方式	133

三、企业供电系统采用的电压等级	133
四、供电质量标准	134
第三节 低压配电	134
一、低压配电所	134
二、低压配电线路	135
三、导线截面选择	136
第四节 安全用电	140
一、人体触电	140
二、保护接地	141
三、保护接零	141
四、漏电保护开关	142
第五节 防雷保护	144
一、雷电过电压的形成及其危害性	144
二、防雷保护	144
第十章 半导体整流电路	147
第一节 半导体的导电性能与半导体二极管	147
一、半导体的导电性能	147
二、半导体二极管	148
第二节 单相整流电路	151
一、单相桥式整流电路的工作原理	151
二、单相桥式整流电路中电压、电流的计算及整流元件的选择	152
第三节 滤波电路	153
一、电容滤波电路	153
二、电感滤波电路	155
三、复式滤波电路	155
第四节 稳压电路	156
一、稳压管直流稳压电源	156
二、晶体三极管及晶体管稳压电源	158
三、集成块稳压电源	163
第五节 可控整流电路	165
一、可控硅	165
二、单相可控整流主电路	167
三、可控硅保护电路	170
四、可控硅的触发电路	171
第十一章 晶体管放大电路与振荡电路	177
第一节 交流电压放大电路	177
一、基本交流电压放大电路的工作原理和分析方法	177
二、静态工作点稳定的放大电路	181
三、多级电压放大电路	182
第二节 放大电路中的负反馈	184
一、什么是负反馈	184

二、负反馈的类型及其判别	184
三、负反馈对放大电路工作性能的影响	185
四、射极输出器	186
第三节 直接耦合放大电路及运算放大器的应用	187
一、简单直接耦合放大电路	187
二、差动放大电路	188
三、集成运算放大器简介	190
四、集成运算放大器的基本运算电路	192
第四节 功率放大电路	196
一、无输出电容的互补对称式功率放大电路 (OCL电路)	196
二、无输出变压器的互补对称式功率放大电路 (OTL电路)	197
第五节 正弦波振荡电路	197
一、LC正弦波振荡器的工作原理	197
二、振荡电路	199
第十二章 数字电路	205
第一节 基本逻辑关系及其门电路	205
一、“与”逻辑和“与”门电路	205
二、“或”逻辑和“或”门电路	206
三、“非”逻辑和“非”门电路	207
四、“与非”门电路	208
五、“或非”门电路	208
第二节 组合逻辑电路的分析和综合	209
一、逻辑代数运算法则	209
二、组合逻辑电路的分析	209
三、组合逻辑电路的综合	210
第三节 加法器	211
一、二进制数	211
二、半加器	212
三、全加器	213
第四节 编码器、译码器和数字显示	214
一、编码器	214
二、译码器和数字显示	215
第五节 双稳态触发器	218
一、基本R-S触发器	218
二、可控R-S触发器	219
三、主从型J-K触发器	220
四、D触发器	221
第六节 寄存器	222
一、并行输入并行输出寄存器	222
二、串行输入串行输出寄存器	223
第七节 计数器	224

一、二进制加法计数器.....	224
二、十进制计数器.....	227
三、数字钟.....	228
第八节 555定时器的原理和应用	229
一、555定时器的工作原理和逻辑功能	229
二、555定时器的应用	230
实验与现场教学提纲.....	234
一、认识实验	234
二、荧光灯电路及提高功率因数	236
三、三相负载星形与三角形连接	237
四、三相异步电动机	239
五、异步电动机的控制	241
六、企业供电及常用电气设备现场教学	242
七、直流稳压电源	242
八、单管电压放大电路	245
九、运算放大器应用	246
十、方波发生器、计数、译码和显示	248
附录 I 国产半导体型号命名法.....	250
附录 II 常用半导体器件主要参数.....	252

绪 论

实用电工学是研究电能在技术领域中的应用的技术基础课程。电的应用是极其广泛的,在工农业生产和人们的生活中处处都离不开它。如电动机、电炉、电焊机、电力排灌设备、农副产品的电力加工装置、自动控制设备和电子计算机,以及家庭中的电灯、电话、电视、电扇等各种家用电器。因此现代科学技术的发展与电有着非常密切的关系。所谓电气化,就是要将整个国民经济转移到最先进的机器设备的基础上,在生产和生活中最广泛应用电能。

电的应用及电能的优越性可以从以下两个方面来说明:

1. 电可以作为能源。与其它形式的能源相比,它具有便于转换、便于输送和便于控制的三大优点。电能可以从水能(水力发电)、热能(火力发电)、原子能(原子能发电)、化学能(电池)及光能(光电池)、风能(风力发电)等转换而得。同时又可以将电能转换为其它所需要的能源形态。例如电动机将电能变为机械能,电炉将电能变为热能,电灯将电能变为光能,扬声器将电能变为声能。电能可以方便地远距离输送,而且效率很高,分配容易。这是蒸汽机、柴油机、汽油机无法比拟的。利用电能可以达到高度的自动化,如生产过程及设备的程序控制、数字控制、最佳状态控制,能实现自动检测、自动调节以及管理自动化。

一个国家的电能年产量是国民经济发展水平的重要标志。我国在1949年建国初期,全国发电能力仅有185万千瓦,年发电量43亿度;到1992年底,总装机容量达16653万千瓦,年发电量7542亿度,跃居世界前列。

2. 电可以作为信号。作为能源和动力的电能往往是功率较大的,常称“强电”,而作为信号的电能称“弱电”。随着生产及科学技术的发展,弱电得到迅速发展并逐渐进入强电领域与之结合,推动了自动化技术的进步。例如在生产过程中,各种物理量如温度、转速、压力、光通量、厚度、变形等都可以通过一定的装置转换为相应的电信号,然后经电测仪表读出。这种方法既精确又能做到远距离集中观测,称为非电量的电测法。同时,更进一步,将这些信号经一定处理之后,去驱动执行机构对生产过程进行调节和控制,形成以弱电控制强电的自动调节系统,如图0-1所示。

近年来,由于电子计算机的广泛应用,整个车间或工厂的计算机集中控制与管理、精密机床的微电脑控制迅速发展。新一代的智能仪表已投入应用,它能模拟人工智能去操纵生产过程。这些都进一步证明科学技术是第一生产力,它正推动整个国民经济的高速发展。

在高等农林专科院校的工程类非电专业(如农产品加工专业等)及农林、轻工类院校有关专业中,实用电工学是一门实践性较强的技术基础课。它的目的和任务是使学生获得有关电路和常用电气设备的基本理论、基本知识与基本技能,学习有关电子技术知识及供

电用电常识。为学习后续课程及今后从事工程技术推广应用工作打下必要的基础。

为了学好本课程，首先要树立为我国社会主义现代化而学习的正确态度，在学习过程中刻苦钻研，踏踏实实以求获得优良成绩。现根据本课程特点提出如下几点应注意的学习方法，供读者参考。

1. 学习时要抓住物理概念、基本理论、工作原理和分析方法；要理解问题的提出以及如何解决并实际应用的；要注意各部分的内容之间的内在联系；要重在理解，多问几个为什么，积极思考不要死记，独立完成作业，使知识及时消化、巩固及融汇贯通。培养自学能力以不断获取新的知识。

2. 要重视实践。如果离开实践去学习电的理论往往会感到抽象难懂。而通过实践就会成为具体生动的知识。因此，必须高度重视理论联系实际并上好实验课。在实验课中要学会诸如万用表、示波器等常用仪表和仪器的用法以及电动机、磁力起动器等常用电机、电器的接线和使用。

3. 要学会利用技术资料。电工手册、技术标准、产品目录及说明书都是工程技术人员的重要工具。它能增加我们的信息量，丰富知识和经验，在学习本课程的过程中应逐步熟悉它们，学会查阅和利用技术资料的方法，使它成为今后工作中的有力助手。

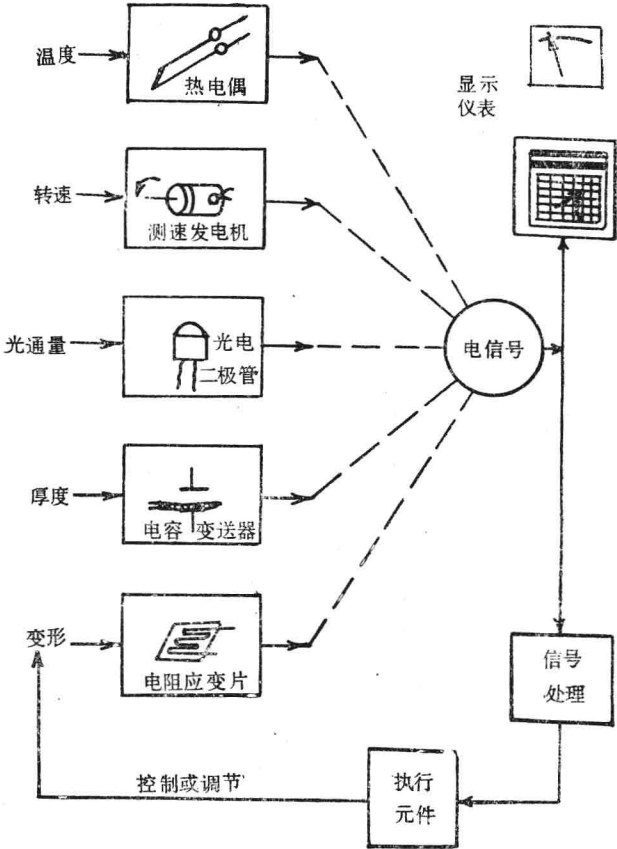


图 0-1 信号变换和测量调节系统示意图

第一章 直流电路

本章主要讨论电路的基本物理量、基本定律以及电路的工作状态、额定值等。这些内容都是分析与计算电路的基础，在一定条件下也可用于解决交流电路的问题。

第一节 电路的基本物理量与电阻

一、电路的组成

电路是电流的通路。图1-1绘出的是一个简单电路，它由电源、线路和负载三部分组成。作为电源的发电机 G 把机械能转换为电能；作为负载的电阻器 R 把电能转换为热能。而线路则用来传输电能，同时还装有控制和保护装置如开关 S 和熔断器 FU 等，这些合称为电路的中间环节。

电路的另一种作用是传递和处理信号。例如扩音机，它由话筒把语言或音乐转换为电信号经放大器放大和处理等中间环节，然后传送给作为负载的扬声器。

二、电路中的基本物理量与电阻

电路中的主要物理量有电流、电动势、电压、电能与电功率等。

1. 电流 (I) 电荷的定向移动形成电流，正电荷移动的方向或负电荷移动的反方向被规定为电流的方向，如图1-2所示。

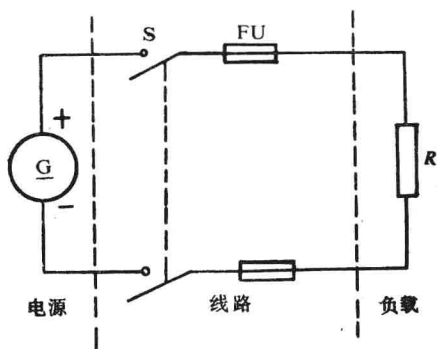


图 1-1 电路的组成

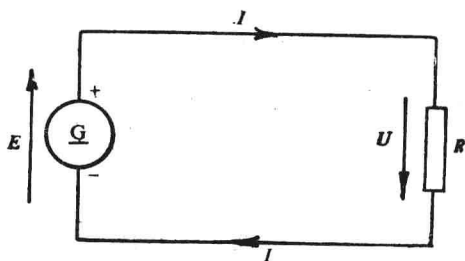


图 1-2 电流、电压、电动势

电流的数值等于单位时间内通过导体截面的电荷量，即

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-1)$$

式中 Q 是在时间 t 内通过导体横截面的电荷量。若电荷量的单位为库仑 (C)，时间为秒

(s), 则电流的单位为安培(A)。若电路中电流是变化的, 则电流表示为 $i = \frac{dQ}{dt}$ 。

在一段无分支电路中, 电流必然处处相等。因为在电荷移动过程中不可能在某一点堆积或消失, 这一规律称为电流的连续性。图1-2为单一回路的电路, 各处电流均为同一数值。

2. 电动势(E) 在电源内部, 局外力(如化学力、电磁力等)对电荷做功, 把正电荷从电源负极移向电源正极, 提高了电荷的电位能, 这就是其他形式的能量转换为电能的过程。电动势的数值等于局外力把单位正电荷从电源负极经电源内部移到正极所做的功。电动势的方向规定为电源负极指向正极, 如图1-2所示。

若功的单位为焦耳(J), 电荷单位为库仑(C), 则电动势的单位为伏特(V)。

3. 电压(U) 电源正负极间积聚的电荷形成电场, 正极电位最高而负极最低。在外部电路中, 电场力使正电荷从高电位移向低电位, 电场力移动电荷所作的功在负载上转换为其他形式的能量。电压的数值等于电场力把单位正电荷从高电位端移到低电位端所做的功。电压的方向规定为从高电位端指向低电位端, 其单位也是伏特(V)。

4. 电阻(R) 通常流过电阻的电流与电阻两端的电压成正比, 这就是欧姆定律, 即

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-2)$$

式中 R 是负载的电阻, 单位为欧姆(Ω)。

把负载(或元件)上的电压、电流之间的关系用图表示, 称为负载的伏安特性, 见图1-3。

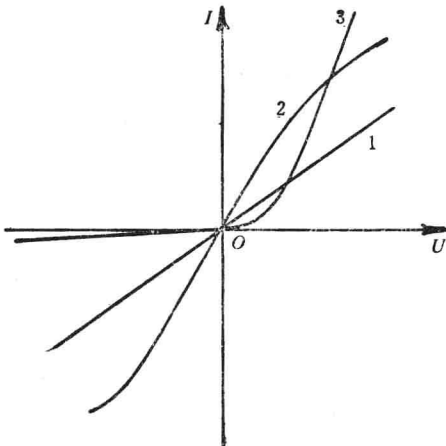


图 1-3 电阻元件的伏安特性

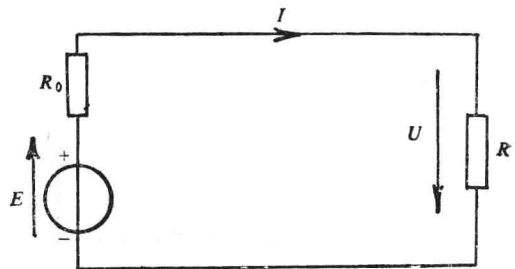


图 1-4 有电源内阻的等效电路

一般情况下 R 为常量, 它不随电流、电压的改变而改变, 这时其伏安特性是一条通过原点的直线, 如图中直线1, 这种元件称线性电阻元件。也有的元件电阻不是常量, 而是随着加在元件两端的电压或电流不同而变化, 其伏安特性不是直线, 称为非线性电阻元件。例如曲线2为白炽灯的伏安特性, 其钨丝电阻随着电流增加和温度升高而增大。曲线3为半导体二极管的伏安特性。

电源都有一定的内电阻, 简称内阻, 用 R_0 表示。为分析方便, 通常我们把实际电源看成一个仅有电动势 E 而内电阻为零的理想电源和一个电阻 R_0 串联而成的等效电路, 如图1-4所示。于是对整个回路, 欧姆定律可以写成如下形式

$$I = \frac{E}{R + R_0} \quad (1-3)$$

此式称为全电路欧姆定律。

5. 电能量(W)与电功率(P) 由式(1-3)可得

$$E = RI + R_0 I \quad (1-4)$$

或

$$E = U + U_0 \quad (1-5)$$

式中 $U_0 = R_0 I$ 称为电源内部电压降, 式(1-4)和(1-5)称为电路的电压平衡方程。将方程两边乘以在某一时间 t 内通过电路的电荷量 Q , 即可得到能量平衡方程:

$$EQ = UQ + U_0 Q \quad (1-6)$$

或写成

$$EIt = UI t + U_0 I t \quad (1-7)$$

$$W_s = W_L + W_0 \quad (1-8)$$

等式左边是电源向电路提供的能量 W_s , 右边是负载得到的能量 W_L 及电源内部损耗的能量 W_0 , 它体现了能量守恒原理。

式(1-7)各项分别除以时间 t , 可得电路的功率平衡方程

$$EI = UI + U_0 I \quad (1-9)$$

或写成

$$P_s = P_L + P_0 \quad (1-10)$$

等式左边是电源供给电路的功率 P_s , 右边是负载得到的功率 P_L 及电源内部损耗的功率 P_0 。

功率的单位是瓦特(W); 能量的单位是焦耳(J)。电能量的常用导出单位还有千瓦时(kWh), 也称为“度”。

$$1\text{kWh} = 3.6 \times 10^6 \text{J} \quad (1-11)$$

上面我们所介绍的各个物理量的基本单位, 都是我国的法定计量单位即国际单位制单

表 1-1 常用的国际单位制词头

因 数	词头的中文名称	符 号
10^6	兆	M
10^3	千	k
10^2	百	h
10^1	十	da
10^{-1}	分	d
10^{-2}	厘	c
10^{-3}	毫	m
10^{-6}	微	μ
10^{-9}	纳	n
10^{-12}	皮	p

位,在实际应用中可以冠以相应的词头构成十进的分或倍数单位,如毫安(mA)、千伏(kV)、兆欧(MΩ)等。常用词头如表1-1所示。

〔例1-1〕如图1-4所示,设已知电动势 $E = 125\text{V}$,端电压 $U = 115\text{V}$,电流 $I = 4\text{A}$, (1)求 P_S 、 P_L 、 P_0 及内阻压降 U_0 ; (2)若负载连续工作24h,问电源及负载消耗多少电能?

解:

$$(1) \quad P_S = EI = 125 \times 4 = 500\text{W}$$

$$P_L = UI = 115 \times 4 = 460\text{W}; U_0 = E - U = 10\text{V}$$

$$P_0 = U_0 I = (125 - 115) \times 4 = 40\text{W}$$

$$(2) \text{电源发出电能 } W_S = P_S t = 0.5 \times 24 = 12\text{kWh}$$

$$\text{负载消耗电能 } W_L = P_L t = 0.46 \times 24 = 11.04\text{kWh}$$

$$\text{内阻上消耗电能 } W_0 = W_S - W_L = 0.96\text{kWh}$$

第二节 电路的工作状态及电源的外特性

电路的工作状态有三种,即空载、负载和短路状态,如图1-5(a)、(b)、(c)所示。

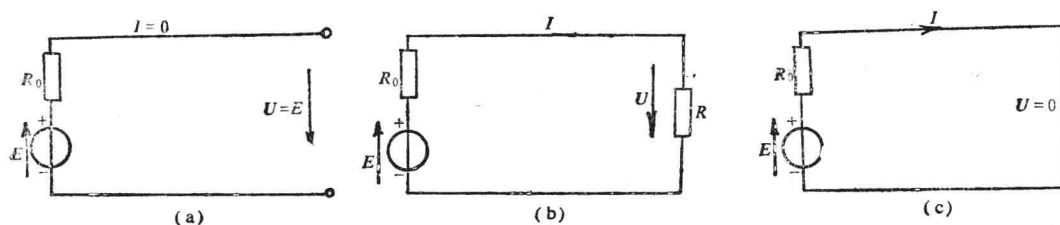


图 1-5 电路的三种工作状态

(a)空载 (b)负载 (c)短路

一、空 载

空载是外电路断路的电路工作状态。显然,此时电流为零,电源不向外电路提供能量。而由于电源内阻电压降为零,由式(1-5)可知,电源端电压等于电源电动势。即有

$$I = 0; \quad U = E; \quad P = 0$$

二、负 载

负载是外电路接有电阻 R ,电源向外电路供给能量时的工作状态。其电流、电压功率为

$$I = \frac{E}{R + R_0}; \quad U = E - IR_0 < E; \quad P = UI$$

显然,电源端电压小于电动势。当负载电阻 R 逐步减小,电流 I 随之增大,电源的内阻压降 $R_0 I$ 随之增大,将使端电压逐步下降。这种电源端电压随电流变化的规律即 $U = f(I)$ 称为电源的外特性,如图1-6所示。

当电源输出电流增大时,电源内部损耗功率随之增大,即 $P_0 = I^2 R_0$,它将转换为热量