

电气工程基础

宋公仪 卢秉娟 编

武汉工业大学出版社

PDG

电气工程基础

宋公仪 卢秉娟 编

武汉工业大学出版社

· 武 汉 ·

图书在版编目(CIP)数据

电气工程基础/宋公仪,卢秉娟编. —武汉:武汉工业大学出版社,1997.9
ISBN 7-5629-1254-8

I. 电… I. 宋… III. 电气工程-基础 N. TM.13

武汉工业大学出版社出版发行

(武汉市武昌珞狮路14号 邮编 430070)

核工业中南三〇九印刷厂印刷

(湖北省安陆市九号信箱 邮编 432600)

*

开本:787×1092 1/16 印张:18.875 字数:470千字

1997年9月第1版 1997年9月第1次印刷

印数:1—1600册

定价:21.00元

(本书如有印装质量问题,请向承印厂调换)

前 言

电气工程基础是研究电能在工程技术领域中应用的一门技术基础课程。由于电能具有便于转换、输送、控制的优点,所以在现代化的工农业生产、科学技术领域、国防建设以及现代化的教育和现代化的日常生活中,得到了广泛的应用。随着高新技术的迅速发展,特别是电力技术和计算机技术的发展与普及,对于从事非电专业的工程技术人员,科学管理人员,都必须掌握一定的电气工程基本知识和基本技能,以便在工作中逐步掌握本专业的先进技术,适应本专业新技术的发展。

电气工程基础作为工科非电专业的一门重要的技术基础课,要求学生掌握必要的电气基础理论、基本知识和基本技能,主要学习电路理论基础和电子技术基础两部分的基本内容及其分析方法,并受到必要的实验技能训练。为学习专业知识及从事工程技术工作打好基础。

对于电机与控制和变压器部分内容由该课程的配套教材《电气工程技术》课程中专门讲授。《电气工程基础》和《电气工程技术》这两本教材是根据国家教委对工程专科学校非电专业电工学的基本要求编写的,并结合我校硅酸盐专业教改大纲的要求选择教学内容,力求深浅适宜,主次分明,通俗易懂,理论与实践结合。在教材的总体结构上,注意前呼后应。从高等工程专科学校培养应用型技术人才出发,以应用为目的,以必需、够用为度,加强了实践应用部分。在基础理论的学习中,以定性分析为主,辅助以定量分析,以便突出重点。

《电气工程基础》全书共分六章,包括电路与电子技术两部分。书中有丰富的例题,每一节都有思考题,帮助学生复习总结,每章后有较多的习题,使教师能够灵活的布置课外作业,学生更好地复习。

总之,编写这本教材尽量满足专科学校的需要和教学改革的要求。

本书参考学时为 70~80 学时,其中实验为 10 学时。

本教材由洛阳工业高等专科学校宋公仪老师(第一至第三章),卢秉娟老师(第四至第六章)编写,全书由武汉工业大学朱家万教授主审。

在本书编写过程中,得到了洛阳工业高等专科学校李善之老师的指导和帮助,本书的出版又得到了武汉工业大学出版社的大力支持,在此一并致谢。

由于编者水平有限,书中可能有错误和不妥之处,殷切希望读者,特别是使用本书的教师和同学积极提出批评和修改意见。

编者

1997年5月

目 录

绪论.....	1
第一章 电路分析基础.....	3
第一节 电路	3
一、电路的组成及作用	3
二、电路的基本物理量	4
三、电路的工作状态和电气设备的额定值	8
四、电路中电位计算	11
第二节 电路的基本定律	14
一、欧姆定律	14
二、基尔霍夫定律	15
第三节 电路分析方法	19
一、电阻的串联与并联	19
二、支路电流法	25
三、电压源、电流源及其等效变换	27
四、叠加原理	33
五、代维南定理(等效电源定理)	35
第四节 电容的充电与放电	38
一、电容器	38
二、电容的充电过程	39
三、电容的放电过程	42
四、RC 微分电路和积分电路	44
习 题	47
第二章 正弦交流电路	55
第一节 正弦交流电的基本概念	55
一、正弦交流电的周期频率和角频率	55
二、正弦交流电的初相位和相位差	57
三、正弦交流电的振幅值、有效值及其关系	58
第二节 正弦量的相量表示法	61
一、复数的表示形式和四则运算	61
二、正弦量的相量表示法	64
第三节 单一参数的交流电路	68
一、电阻元件交流电路	68
二、电感元件交流电路	71
三、电容元件交流电路	74
第四节 电阻、电感、电容组成的交流电路	77

一、 R, L, C 串联的交流电路	77
二、 R, L 串联与电容并联的交流电路	86
第五节 三相电路	91
一、三相交流电源的产生及表示方法	91
二、对称三相交流电路的计算	94
三、三相电路的功率及测量	102
第六节 非正弦周期电流电路概述	104
一、非正弦周期量的分解	105
二、非正弦周期量的有效值	107
习 题	109
第三章 半导体二极管和整流电路	114
第一节 半导体的基本知识	114
一、半导体的导电性能	114
二、 PN 结	117
第二节 半导体二极管	119
一、基本结构	119
二、伏安特性	119
三、主要参数	121
第三节 整流电路	122
一、单相整流电路	123
二、三相桥式整流电路	126
第四节 滤波电路	128
一、电容滤波电路	128
二、 RC 滤波电路	131
第五节 稳压管及其稳压电路	132
一、稳压管	132
二、稳压管稳压电路	133
第六节 可控硅和可控整流电路	135
一、可控硅	135
二、可控整流电路	139
三、可控硅的保护	143
四、单结晶体管触发电路	143
习 题	148
第四章 半导体三极管和交流放大及振荡电路	151
第一节 晶体管	151
一、晶体三极管结构	151
二、晶体三极管的电流放大作用	152
三、晶体三极管的特性曲线	155
四、晶体三极管的主要参数	157
第二节 基本交流放大电路的组成	160
第三节 放大电路的分析	161
一、放大电路的静态分析	161
二、放大电路的动态分析	163
三、放大电路中的非线性失真	169
第四节 静态工作点的稳定	171

一、静态工作点 Q 随温度变化的原因	172
二、稳定工作点常用的偏置电路——分压式偏置电路	172
第五节 放大电路的微变等效电路分析法	175
一、晶体管的微变等效电路	176
二、电压放大倍数的计算	177
三、放大电路输入电阻和输出电阻的计算	180
第六节 阻容耦合放大电路	182
一、阻容耦合方式	182
二、电压放大倍数的计算	183
第七节 放大电路中的负反馈	185
一、负反馈及其类型	185
二、反馈的性质及其方式的判断	186
三、负反馈对放大电路性能的影响	188
四、负反馈放大电路的特性——射极输出器	192
第八节 功率放大电路	196
一、功率放大电路的基本要求	196
二、互补对称功率放大电路	197
三、用复合管的互补对称电路	198
第九节 正弦波振荡电路	199
一、振荡电路的自激条件	199
二、 LC 振荡电路	201
三、 RC 振荡电路	203
习 题	205
第五章 直流放大器和集成运算放大器	211
第一节 直流放大电路的直接耦合	211
一、前后级静态工作点的相互影响及采取措施	211
二、关于零点漂移问题	213
第二节 差动放大电路	216
一、差动放大电路的工作情况	216
二、典型差动放大电路的分析	217
三、差动放大电路两种输入和输出方式	218
第三节 运算放大器的基本概念	222
一、运算放大器的组成及表示符号	222
二、理想运算放大器的特点	223
第四节 集成运算放大器的简单介绍	224
一、集成运算放大器的特点	224
二、集成运算放大电路简单说明	225
三、集成运算放大器的主要参数	225
第五节 运算放大器的基本运算电路	226
一、反相比例运算电路	227
二、反相加法运算电路	228
三、同相比例运算电路	229
四、双端输入运算电路(减法器电路)	231
五、积分运算电路	232
六、集成运算放大器的应用	233

习 题	235
第六章 数字电路基础	240
第一节 概 述	240
一、数字电路的主要特点	240
二、脉冲信号波形与参数	241
三、十进制数与二进制数	241
第二节 半导体开关电路	243
一、二极管的开关特性	243
二、三极管的开关特性——反相器	243
三、判断三极管可靠截止和可靠饱和导通的条件	244
第三节 基本逻辑门电路	245
一、“与”门电路	246
二、“或”门电路	247
三、“非”门电路	249
四、“与非”门电路	250
五、“或非”门电路	251
第四节 集成“与门”电路——TTL“与非”门电路	252
一、工作原理	252
二、主要参数	253
第五节 逻辑代数及其在组合逻辑电路中的应用	254
一、逻辑代数的基本运算规则	255
二、组合逻辑电路的分析	255
第六节 触 发 器	257
一、R-S 触发器	257
二、J-K 触发器	262
三、D 触发器和 T 触发器	263
第七节 二进制计数器	265
一、异步二进制加法计数器	265
二、同步二进制加法计数器	266
第八节 译码器与数字显示器件	269
一、译码器	269
二、数字显示器件	270
习 题	272
附录一	278
附录二	278
一、电阻器	278
二、电容器	279
附录三	280
附录四	281
一、半导体二极管	281
二、半导体三极管	286
附录五	291
附录六	293
参考文献	294

绪 论

电气工程基础,是研究电能在工程技术领域中应用的一门技术基础课程,由于电能具有转换方便、便于输送、控制灵活的优点,所以在现代化的工农业生产中、科学技术领域中、国防建设中以及现代化的教育和现代化的日常生活中,都得到了广泛的应用。电能是一种不可缺少的重要能源,由于高新技术的迅速发展,现代通讯得以高速而准确的传递,为生产自动化、电气化奠定了基础,为现代化的物质文化生活提供了必要的条件,特别是电子技术和计算机技术的发展与普及,加速了工农业生产的现代化,科学技术和国防建设的现代化,加快整个社会主义建设的速度,直接关系到全国亿万人民的物质文化生活和切身利益。因此对于从事非电专业的工程技术人员、科学管理人员,都必须掌握一定的电气工程基本知识和基本技能,以便在生产实践中逐步掌握本专业的先进技术,适应本专业新技术的发展。

科学技术现代化是四化建设的关键,而电气化、自动化是衡量科学技术的重要标志。“电气工程基础”作为工科非电专业的一门重要的技术基础课,要求学生掌握必要的电气基础理论、基本知识和基本技能,主要学习电路理论基础和电子技术基础两部分的基本内容及其分析方法,了解本专业范围内经常应用的各种电路、电子、电气元件的性能,以及由这些元件所组成的电路及系统原理,并受到必要的实验技能的训练。“电气工程基础”不单是一门技术理论基础课,也作为有电的后续课程的理论基础,而且也是一门实践性较强的技术课,除要求学生掌握必要的基础理论外,还要学会有关的电气工程实践技能,在工作实践中,能正确地指挥生产、选用设备、全面考虑、科学地进行预测和决策,所以对于该课程的学习是十分必要的。

“电气工程基础”是一门理论性、系统性较强,而且和生产实践有密切联系的课程,为了学好这门课,首先要认识到课程的重要性,要具有正确的学习目的和态度,要有强烈学习电气知识要求,在学习过程中才能刻苦钻研、踏踏实实、多提问题,从而获得优良成绩。为此提出以下几点注意事项,供同学们在学习过程中参考。

1. 在学习中要抓住基本的物理概念和基本的分析方法,要注意问题的提出和解决的思路,如何应用基本概念分析问题以及各部分之间的联系,要积极思考,不能死记硬背,为此在学习过程中要多看一些有关参考书,扩大知识面,培养自学能力。

2. 要认真做好每一章节的习题,以巩固加深所学的理论知识,培养应用理论和分析问题的能力。

3. 实验是本课程的重要环节,通过实验以巩固所学的基本理论,培养学生科学严谨的作风,训练学生实际动手的能力和正确使用电工、电子仪表的方法。为此在实验前务必作好充分准备;实验中要积极思考、多提问题、准确测量、认真记录;实验后要对实验现象和实验数据进行整理分析,编写完整的实验报告。

总之,通过“电气工程基础”课的学习,使非电专业学生,为掌握本专业内与电路、电子有关的新技术,奠定必要的理论基础和实践技能,为今后的社会实践进一步去开拓、发展和创新。

这本教材的编写,是根据国家教委对工程专科学校非电专业电工学的基本要求和我校硅酸盐专业教改大纲的要求选择教学内容,力求深浅适宜,主次分明,理论与实践结合。在教材的

总体结构上,注意前后呼应。在基础理论的学习中,以定性分析为主,辅助以定量分析,这样重点比较突出。教材中每一节都有思考题,帮助学生复习总结,每章习题也比较多,使教师能够灵活地安排课外作业。总之,编写这本教材尽量满足专科教学的需要和教学改革的要求。

由于时间紧迫,教材中的错误和不妥之处一定不少,只有在教学过程中边教边修改,也希望有关教师和同学们在使用中给以指正。

第一章 电路分析基础

本章以直流电路为主,学习电路中的基本物理量、电路的组成及作用、电路的工作状态、电路中的功率和电位计算方法、电路的基本定律、电路的基本分析方法、电路主要参数的性质及RC一阶电路的暂态分析等。本章的内容是电路的基本概念、基本定律和基本的分析方法,它不仅适用于直流电路,也适用于交流电路,读者必须重视本章内容的学习。

第一节 电 路

一、电路的组成及作用

电路:即电流通过的路径,它由电源、负载和中间环节三部分组成。

电源:产生电流的源泉,是电路中能量的供应者,常见的电源有电池、发电机、整流电源、太阳能电源、热电偶等。

负载:用电的设备,在电路中将电能转换成其它形式能量的用电器。如:电灯、电炉、电动机、电镀槽、扬声器等。

中间环节:将电源与负载连接成闭合回路的导线、开关、熔断器等,其作用是把电能安全可靠地传送给负载。

一般情况,把电源内部的电流通路称为内电路,由负载和中间环节所组成的电流路径称为外电路。

由此可见,电路包括电能的发生,电能的传递和电能运用的各种电气部件组合的总体,如图1-1(a)所示的简单电路。为了方便电路分析和绘测,在工程电路图的绘制中,用一些规定的符号来表示各种电路元件。例如图1-1(b)就是以电路元件符号表示1-1(a)电路的图形,图中 E

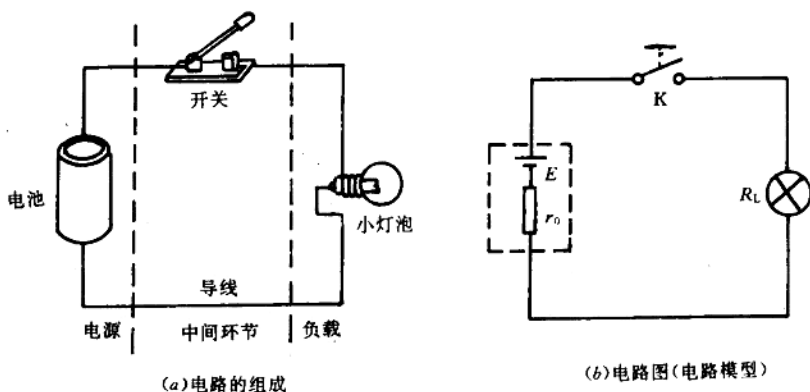


图1-1 电路

为电池电动势; R_L 是负载灯泡的电阻; r_0 为电池的内电阻,因导线电阻与负载电阻相比很小,

一般都忽略不计,电路图中的导线,都认为是电阻为零的理想导线。

通过以上分析可以看出,电路的作用主要有两点:一是用来传递和转换电能;二是用来传递和处理信息。例如图 1-1 就是导线把电源和负载连接成闭合回路。起传递电能的作用,有线电话和电报所组成的电路,起着传递和处理信息的作用。

二、电路的基本物理量

1. 电流

电流即电荷有规则的定向移动,它是一种物理现象,电流的方向规定为正电荷移动的方向。

度量电流大小的物理量称为电流强度,简称电流,用符号 i 表示,其定义为:

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

导体中的电流强度,在数值上等于单位时间内通过导体截面的电荷量。

如果在各相同的时间间隔 t 内,单方向地通过导体截面电荷 Q 都相等,则式子 1-1 可改写为:

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-2)$$

这种大小相等,方向不随时间变化的电流称为直流电流。

若电路中的电流为直流电流,则这样的电路就是直流电路。

在国际单位制中,电流的基本单位是安培,用符号(A)表示,为了使用方便,电流的常用单位还有:

$$\text{千安(kA)} = 10^3 \text{ 安(A)}$$

$$\text{毫安(mA)} = 10^{-3} \text{ 安(A)}$$

$$\text{微安}(\mu\text{A}) = 10^{-6} \text{ 安(A)}$$

上面已经讲到正电荷移动的方向就是电流的正方向,但在实际电路中往往难以事先判断电流的真实方向,因此在分析与计算电路的过程中,总要任意假定某一方向为电流的参考方向,并用箭头标在电路图中,这里所选的电流参考方向不一定与电流的真实方向相符,经过分析计算,若电流为正值,则表示电流的参考方向与真实方向一致;如电流为负值,则表示电流参考方向与真实方向相反,如图 1-2 所示:



图 1-2 电流的真实方向与参考方向

应当注意,在未规定参考方向的情况下,电流的正负是没有意义的。

今后在电路图中用箭头所表示的电流方向,均为电流的参考方向,不一定是电流的真实方向。

2. 电压和电位

电荷在电路中,要受到电场力的作用,且电场力要做功。例如:在图 1-3 中,极板 a 带正电荷,极板 b 带负电荷,则 a 、 b 之间产生电场,如果用导线将 a 、 b 极板与灯泡接通,则 a 极板上的

正电荷在电场力的作用下将从 a 经过灯泡移到 b , 于是就形成了电流, 灯泡发光, 这就说明电场力做了功。为了衡量电场做功的能力, 引入了电压这个物理量, 其定义如下:

$$U_{ab} = \frac{dA}{dq} \quad (1-3)$$

式中的 dq 为由 a 极板移到 b 极板的电荷量, dA 为电场力移动 dq 电荷所做的功。

由定义可知, a 、 b 两点的电压 U_{ab} 在数值上等于电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功。

从图 1-3 中看出, 正电荷在电场力的作用下, 从 a 点经过灯泡移到 b 点时, 把电能转换成其它形式的能量, 所以正电荷在 a 点比在 b 点具有更大的能量。

我们把电荷 q 在电路中某点 a 与参考点相比所具有的能量 W , 对电荷量 q 的导数, 称为该点电位, 用符号 U_a 表示。则:

$$U_a = \frac{dW}{dq} \quad (1-4)$$

所以电路中某一点电位在数值上等于电场力将单位正电荷从该点沿任意路径移到参考点所做的功。例如在图 1-3 中, a 点电位用 U_a 表示, b 点电位用 U_b 表示, 显然 $U_a > U_b$ 。由此可见, 电场对正电荷作用力的方向, 就是电位降落的方向, 因此我们规定电压的方向由高电位指向低电位端。在图 1-3 中, 高电位 a 端用“+”号表示, 低电位 b 端用“-”号表示, 图中用箭头标出电压的方向从 a 指向 b 。以上分析表明, 电压和电流的真实方向都与正电荷移动的方向一致。

根据电压定义, 在电路中某两点之间的电压, 可以用该两点的电位之差表示。即

$$U_{ab} = U_a - U_b \quad (1-5)$$

在直流电路中, 任意两点 a 、 b 之间的电压用 U_{ab} 表示, 由定义式可写成:

$$U_{ab} = \frac{A}{Q} \quad (1-6)$$

式中 A ——正电荷 Q 由高电位 a 端移至低电位 b 端电场力所做的功。

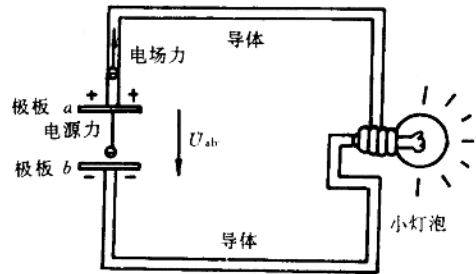


图 1-3 电场力对电荷做功

在电路的分析计算中, 电路图所标的电压方向也是参考方向, 因为当电路中两点之间的电压真实方向不易判断时, 可以先任意假设电压的参考方向, 若假设的电压参考方向与电压的真实方向一致时, 则计算出来的电压为正值; 不一致时, 电压为负值。如图 1-4(a) 中, 电压的参考方向(实线所示)与真实方向(虚线所示)一致, 电压取正值; 在图 1-4(b) 中, 两者方向不一致, 电压取负值。同样应当注意, 在没有规定参考方向的情况下, 电压的正负是没有意义的。

电路中各点的电位计算, 首先要指定电路中某一点为参考点, 参考点电位规定为零电位, 其它各点电位才可能用数值来表示, 比参考点高的电位为正, 比参考点低的电位为负。如果电路中没有参考点, 则计算电路中其它各点的电位是没有意义的。

电压的另一定义是电位差, 所以电路中某一点的电位等于该点与参考点之间的电压, 电路中的参考点原则上可以任意选定, 习惯上都选择大地的电位为零。

一般来说, 用电设备的机壳是需要接地的, 在电路图中用符号“⊥”表示, 凡是与机壳联接的各点电位均为零电位, 有些电气设备的机壳不一定要和大地联接, 但有很多元件要汇集到公

共点,在电路图中要用符号“⊥”表示,为了分析电路方便起见,一般都规定该点为参考点。

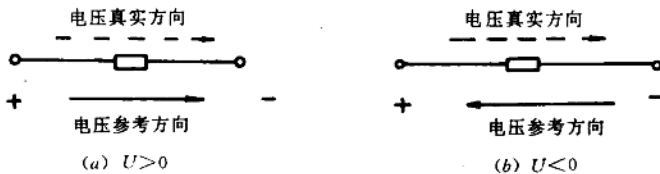


图 1-4 电压的真实方向与参考方向

在国际单位制中,电压、电位的基本单位是伏特(V),简称伏。例如电场力把一库仑(C)的正电荷从 a 点移到 b 点所做的功为一焦耳(J),则 a 、 b 之间的电压为一伏特(V),为了使用方便,常用的电压辅助单位有:

$$\text{千伏(kV)} = 10^3 \text{ 伏(V)}$$

$$\text{毫伏(mV)} = 10^{-3} \text{ 伏(V)}$$

3. 电源的电动势

在图 1-3 中,正电荷在电场力的作用下从高电位 a 端经过负载向低电位 b 端移动,形成了电流,正电荷从 a 移向 b 端时要与负电荷中和,使极板之间电场逐步减小,直至消失,使电流中断。要使电流维持下去,在 a 、 b 极板之间必须有一种非电场力把正电荷源源不断地从低电位 b 端搬到高电位 a 端,使 a 、 b 之间要始终维持一定强度的电场,电源的作用就是把正电荷不断地由低电位端搬向高电位端。如图 1-3 中的电源,由于电池的化学反应,产生一种外力,把正电荷从电池内部负极 b 端移到正极 a 端,我们称这种力为电源力。

电源力在电源内部不断地把正电荷从低电位端搬到高电位端,必须克服电场力做功。为了衡量电源力的能力,引入了电源的电动势这个物理量,在直流电源中,其电动势的定义为:

$$E = \frac{A}{Q} \quad (1-7)$$

式中 Q ——在电源内部被电源力移动的电量;

A ——电源力所做的功。

电源的电动势等于电源力推动单位正电荷从电源的低电位端经电源内部移到高电位端所做的功。

由式(1-7)与式(1-6)相比较,可以看出电动势与电压具有相同的单位,如果电源内部非电场力把 1 库仑正电荷从电源的低电位端移至高电位端所做的功为 1 焦耳,则电源的电动势在数值上为 1 伏特(V)。

电动势与电压单位虽然相同,但它们的物理概念是不同的。

我们规定电动势的方向在电源内部由低电位端指向高电位端,即电位升高的方向,在电源中,非电场力将正电荷从电源的负极送到电源的正极做了功,使正电荷获得了电能,电位升高了。因此电动势的方向是由电源的负极指向电源的正极。在电路图中用图 1-5 所示的符号表示恒定电动势电源,图(a)表示一般电源,箭头表示电动势方向;图(b)表示干电池或蓄电池的直流电源,其中“+”、“-”表示电源的正负极。

【例 1-1】在图 1-6 中,五个元件各代表电源和负载,电流和电压的参考方向如图所示,现通过实验测得: $I_1 = 4\text{A}$, $I_2 = -5\text{A}$, $I_3 = 10\text{A}$, $U_1 = 120\text{V}$, $U_2 = 80\text{V}$, $U_3 = -40\text{V}$, $U_4 = -70\text{V}$, U_5

=30V, 试标出各电流的真实方向和各电压的实际方向。

4. 功和功率

如果在电场中任意两点 a 、 b 之间电压为 U , 电荷 Q 在电场中受到电场力的作用, 在时间 t 内从 a 点移到 b 点, 则电场力所做的功为

$$W = UQ \quad (1-8)$$

或
$$W = UI t$$

电场做功结果是消耗了电能, 其电功率为:

$$P = \frac{W}{t} = UI \quad (1-9)$$

在式(1-9)中, 若电压的单位为伏(V), 电流的单位为安(A), 时间的单位为秒(s), 则功率的单位为瓦特(W), 功的单位为焦耳(J)。

$$1(\text{J}) = 1 \text{ W} \cdot \text{s}$$

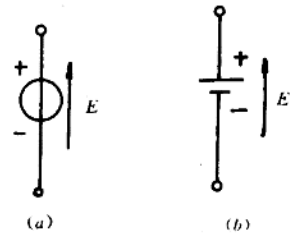


图 1-5 恒定电动势电源符号

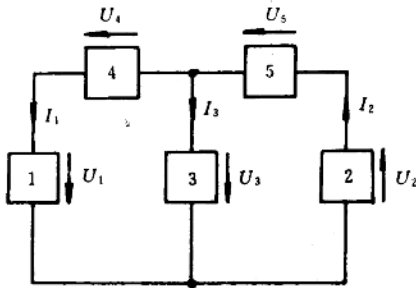


图 1-6 例 1-1 的电路

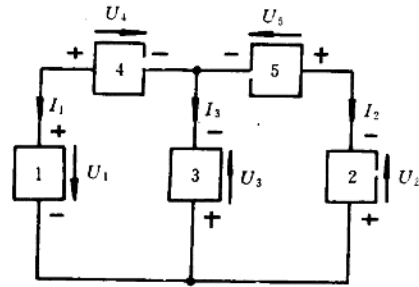


图 1-7 例 1-1 的答案

在实用中, 电功常用的单位为千瓦时, ($\text{kW} \cdot \text{h}$), 1 千瓦时俗称 1 度电。

$$1\text{kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

【例 1-2】 如图 1-8 所示的充电电路中, $U = 220\text{V}$, $I = 5\text{A}$, 内阻 $R_{01} = R_{02} = 0.6\Omega$, 求(1)电源电动势 E_1 和负载的反电动势 E_2 ; (2)说明电路中功率的平衡。

【解】 (1) 电源 E_1 输出的电压

$$U = E_1 - IR_{01}$$

$$E_1 = U + IR_{01} = 220 + 5 \times 0.6 = 223\text{V}$$

负载两端电压为

$$U = E_2 + IR_{02}$$

$$E_2 = U - IR_{02} = 220 - 5 \times 0.6 = 217\text{V}$$

(2) 由电源电动势 E_1 可表示为:

$$E_1 = E_2 + IR_{01} + IR_{02}$$

故 $IE_1 = IE_2 + I^2 R_{01} + I^2 R_{02}$

得 $5 \times 223 = 5 \times 217 + 5^2 \times 0.6 + 5^2 \times 0.6$

$$1115 = 1085 + 15 + 15 = 1115\text{W}$$

其中电源 E_1 产生功率为 $E_1 I = 1115\text{W}$, 即在单位时间内由其它形式的能转换成电能, $E_2 I$

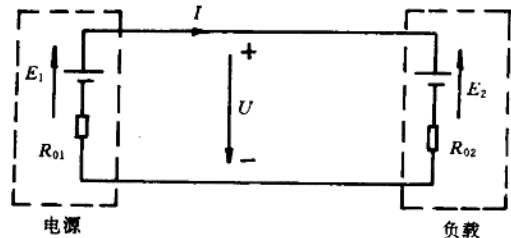


图 1-8 例 1-2 电路

$=1085\text{W}$,被充电池将电能转换成化学能, I^2R_{01} 为电源内阻所消耗的功率, I^2R_{02} 为被充电池内阻上消耗的功率,看出整个电路中功率是平衡的。电路中的基本物理量和真实方向的规定见表 1-1 所示。

电路的基本物理量

表 1-1

名称	物理意义	真实方向的规定
电 流	单位时间内通过导体某截面的电量	在电源内部电流的方向由低电位流向高电位; 在外电路电流的方向由高电位流向低电位
电 压	电场力把单位正电荷由某点移到另一点所做的功,也称两点之间的电位差	在电场里,从高电位端指向低电位端,即电位降落方向
电 位	电场力把单位正电荷从一点移到参考点所做的功	在电场里从某点指向参考点
电动势	外力推动单位正电荷从电源的低电位经电源内部移至高电位端所做的功	电源内部由低电位端指向高电位端
电功率	电流在单位时间内所做的功 负载消耗的功率 $P=UI$ 电源产生的功率 $P_E=EI$	
电 能	电流所做的功 $W=Pt=UIt$	

电路中各物理量的单位、符号和相互关系式见表 1-2。

表 1-2

物理量	电 流	电 压	电 位	电动势	电 阻	电 能	电功率
(SI)单位	安(A)	伏特(V)	伏特(V)	伏特(V)	欧姆(Ω)	焦耳(J)	瓦特(W)
符 号	I i	U u	U_a u_a	E e	R r	A	P p
关系式	$I = \frac{Q}{t}$	$U = \frac{A}{Q}$	$U_a = U_{a0}$		$R = U/I$ $= U^2/P$ $= P/I^2$	$A = Pt$	$P = UI$ $= I^2R$ $= U^2/R$

三、电路的工作状态和电气设备的额定值

由于电源与负载之间联接方式及工作要求不同,电路可能处于开路、短路和接通负载等不

同的工作状态,我们用图 1-9 所示的电路来分析这三种状态下电路中的电压、电流、功率之间关系。

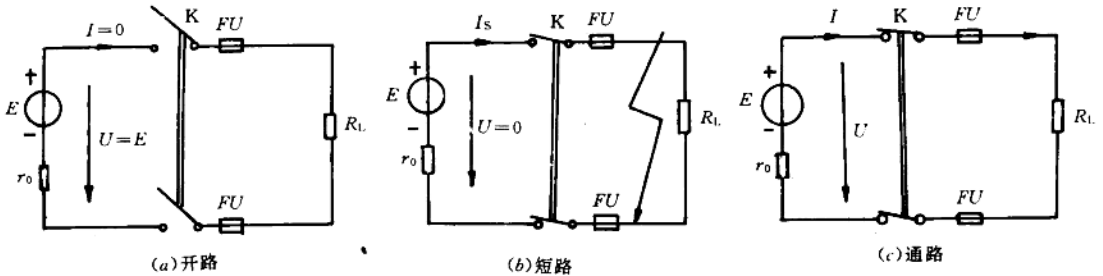


图 1-9 电路的状态

1. 开路(电源与负载断开)

当电源没有与任何外电路接通时,如图 1-9(a)所示,电源的输出电流等于零,称电路处于开路状态,简称开路。电路开路有两种情况,一是电源开关未闭合,这属于正常开路;一是电路中某部分接触不良,或导线已断,或熔断器熔断所造成,这种情况属于事故开路。电路在开路状态下,从理论上讲它相当于电源接了一个无限大的负载电阻,所以输出电流 $I=0$,输出电压等于电源的电动势,称为开路电压,输出功率等于零,电源不输出电能,称电源为空载状态。

由以上分析,电路开路时其特征可用下列式子表示:

$$\begin{aligned} I &= 0 \\ U &= E \\ P &= 0 \end{aligned}$$

2. 短路(电源两端被短接)

如图 1-9(b)所示,当电源两端的两根导线,由于某种事故而直接相连,就称为电源短路。此时电源输出的电流未经负载,只经过连接导线直接流回电源,由于短路处电阻近似为零,而电源内阻 r_0 又很小,所以短路电流 I_s 极大,短路时电源所产生的电能全部被电源的内阻所消耗,又因短路的电阻近似为零,所以电源对外呈现的端电压也为零。

当电路短路时,电路的特征可用下列各式表示:

$$\begin{aligned} I &= I_s = \frac{E}{r_0} \\ U &= 0 \\ P_E &= I_s^2 r_0 \quad (\text{电源内阻所消耗的功率}) \\ P &= 0 \quad (\text{负载中消耗的功率为零}) \end{aligned}$$

根据以上分析,电源短路是十分危险的,因短路电流太大,可能使电源本身和电流所经过的导线被烧毁,为了避免这种事故持续,一种最简单措施就是在电源开关后边安装熔断器,如图 1-9 中的 FU 熔断器,一旦发生短路事故,大电流立即将熔断器烧断,切断故障电路,电气设备就得到保护。电源短路是一种严重事故,应尽量避免。

在电工技术中,为了使电路达到某种性能要求,或为保护某些电气设备免遭大电流的冲击,常将某部分电路或元件两端用导线连起来,为了与电源短路事故相区别,把这种人为的连接称为短接。