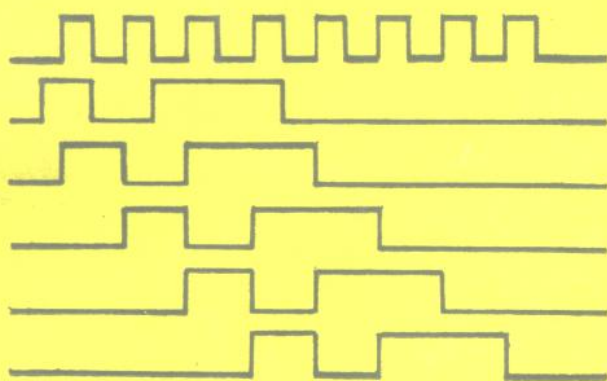


电工与电子技术基础

李海瑞 李茂祥 熊双玲 马子钦 编著



科学普及出版社

电工与电子技术基础

李海瑞 李茂祥 编著
熊双玲 马子钦

科学普及出版社

内 容 提 要

本书共分十四章，包括电工技术和电子技术两大部分。电工技术部分主要讨论了交、直流电路的基本定律和分析计算电路的基本分析方法，线性一阶电路的暂态过程，变压器、异步电动机，常用电工仪表和低压电器的工作原理与使用方法，继电接触基本控制电路的控制原理分析，以及安全用电等基本知识。电子技术部分主要包括半导体器件的工作原理及性能和电子线路的基本结构、工作原理和具体应用，各类门电路和触发器的逻辑功能，寄存器和计数器等时序逻辑电路的工作原理，以及编码、译码和数字显示电路的工作原理等。

本书可作为非电类专业本科学生教学用书，也可作为非电类专业专科、成人高校学生的教材，还可作为有关工程技术人员的参考书。

(京) 新登字 026 号

电工与电子技术基础

李海瑞 李茂祥
熊双玲 马子钦 编著

科学普及出版社 (北京海淀区白石桥路 32 号)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经销
北京市平谷县大北印刷厂印刷

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 26.5 字数: 6.39 千字

1993 年 1 月第 1 版 1993 年 1 月第 1 次印刷

印数: 1-3,800 册 定价: 12.00 元

ISBN 7-110-02294-3/TM·15

前 言

本书是根据高校工科电工学教学指导小组于1986年十月武汉会议制定的“关于非电专业电工与电子技术”课程基本要求编写的。在编写前后，受甘肃省高校电工学协作组的委托和支持，并经甘肃省教材编审指导小组评审后正式出版。本书参考学时范围为90~120学时。

教材覆盖了国家教委1987年下达的《电工课程教学基本要求》的全部内容。删去了以往教材中比较陈旧和重复的内容，并适当地增加了新内容和选学内容，如不同专业根据专业需要取舍选学内容，并不影响全书的系统性讲授。

本书收集了若干新型设备中的典型电路，编入了常用电工仪表的工作原理及使用方法、安全用电及防雷知识以及常用集成块的使用方法等，以便于读者理论联系实际。

在每一章内，均编入了适量的例题和习题，以便于学生能较好地理解基本概念和应用基本分析方法，以逐步提高其分析问题和解决问题的能力。在编写时，注意了教材内容的逻辑性和条理性，引用了深入浅出等教学方法，以便于讲授和自学。

教材由甘肃农业大学李海瑞老师任主编，兰州铁道学院夏伯英老师主审，并对全部内容参与了修改。甘肃工业大学何如聪、曾玲春两老师对书稿曾提出宝贵的修改意见，在此表示衷心的感谢。

本书共分十四章，第一、二、三、四章由李海瑞老师编写；第五、六、七章由甘肃农业大学马子钦老师编写；第八、九、十章由甘肃工业大学熊双玲老师编写；第十一、十二、十三、十四章由兰州铁道学院李茂祥老师编写。

由于我们的水平有限，也缺乏经验，书中难免有不少欠妥之处，恳切希望读者给予批评指正。

编 者

1990年7月

目 录

第一章 直流电路

1.1 电路	(1)
1.1.1 电路的作用及组成	(1)
1.1.2 电流、电压和电动势的参考方向	(1)
1.1.3 电路中的电位	(1)
1.2 电路的基本理想元件	(5)
1.2.1 电阻元件	(5)
1.2.2 电容元件	(7)
1.2.3 电感元件	(9)
1.3 电压源和电流源	(10)
1.3.1 电压源	(10)
1.3.2 电流源	(11)
1.3.3 电压源与电流源的等效变换	(12)
1.4 受控源	(14)
1.5 电路的工作状态	(16)
1.5.1 有载工作状态	(16)
1.5.2 空载(断路)工作状态	(18)
1.5.3 短路工作状态	(18)
1.6 克希霍夫定律	(19)
1.6.1 克希霍夫电流定律(KCL)	(19)
1.6.2 克希霍夫电压定律(KVL)	(20)
1.7 支路电流法	(21)
1.8 节点电压法	(23)
1.9 叠加原理	(25)
1.10 等效电源定理	(27)
1.10.1 戴维南定理	(28)
1.10.2 诺顿定理	(29)
小结	(32)
习题	(33)

第二章 正弦交流电路

2.1 正弦交流电	(40)
-----------------	------

2.1.1	周期和频率	(40)
2.2.2	幅值(最大值)和有效值	(41)
2.2.3	相位	(42)
2.2	正弦量的向量表示法	(44)
2.3	正弦量的复数表示法	(46)
2.4	单一参数的交流电路	(49)
2.4.1	纯电阻电路	(49)
2.4.2	纯电感电路	(50)
2.4.3	纯电容电路	(53)
2.5	电阻、电感、电容元件串联的交流电路	(56)
2.5.1	电压与电流的关系	(56)
2.5.2	电路中的功率	(58)
2.6	感性负载与电容并联的交流电路功率因数的提高	(60)
2.6.1	阻抗并联导纳	(60)
2.6.2	功率因数的提高	(61)
2.7	电路中的谐振	(63)
2.7.1	串联谐振	(63)
2.7.2	并联谐振	(64)
2.8	非正弦周期量的分解	(68)
	小结	(70)
	习题	(72)

第三章 正统三相交流电路

3.1	三相交流电源	(76)
3.1.1	三相电源的星形联接	(77)
3.1.2	三相电源的三角形联接	(78)
3.2	三相电源的负载	(79)
3.2.1	三相负载的星形接法	(79)
3.2.2	三相负载的三角形接法	(80)
3.3	不对称三相电路的概念	(82)
3.4	三相电路的功率及其测量	(85)
3.4.1	三相电路的功率	(85)
3.4.2	三相功率的测量	(86)
3.5	安全用电	(89)
	小结	(95)
	习题	(96)

第四章 电路的暂态分析

4.1 换路定则与电压、电流初始值的确定	(98)
4.2 RC 电路的零输入响应	(100)
4.3 RC 电路的零状态响应	(102)
4.4 RC 电路的完全响应	
一阶电路暂态分析三要素法	(103)
4.5 RC 微分电路和积分电路	(106)
4.6 RL 电路的暂态过程	(108)
4.6.1 零输入响应	(108)
4.6.2 零状态响应	(109)
4.6.3 RL 的完全响应	(110)
小结	(112)
习题	(113)

第五章 磁路和变压器

5.1 磁场的基本物理量	(120)
5.1.1 磁感应强度 B	(120)
5.1.2 磁通 Φ	(121)
5.1.3 磁场强度 H	(121)
5.1.4 导磁系数 μ	(122)
5.2 磁性材料	(123)
5.2.1 导磁性	(123)
5.2.2 磁饱和性	(123)
5.2.3 磁滞性	(124)
5.3 磁路及其基本定律	(125)
5.4 交流铁芯电路	(127)
5.4.1 电压平衡方程	(127)
5.4.2 功率关系	(128)
5.5 变压器	(130)
5.5.1 单相变压器	(130)
5.5.2 三相变压器	(136)
5.6 几种特殊用途的变压器	(138)
5.6.1 自耦变压器	(138)
5.6.2 仪用互感器	(139)
5.6.3 电焊变压器	(140)
5.7 直流和交流电磁铁	(140)

5.7.1 直流电磁铁	(141)
5.7.2 交流电磁铁	(141)
小结	(142)
习题	(143)

第六章 异步电动机及其控制

6.1 异步电动机的结构	(145)
6.1.1 定子	(145)
6.1.2 转子	(146)
6.2 异步电动机的工作原理	(147)
6.2.1 旋转磁场	(147)
6.3 异步电动机的电路分析	(150)
6.3.1 定子电路	(150)
6.3.2 转子电路	(150)
6.4 异步电动机的电磁转矩和机械特性	(152)
6.4.1 异步电动机的电磁转矩	(152)
6.4.2 机械特性	(154)
6.5 异步电动机的铭牌值	(155)
6.6 异步电动机的选择	(157)
6.6.1 电动机容量的选择	(157)
6.6.2 电动机种类的选择	(158)
6.6.3 电动机防护形式的选择	(158)
6.7 异步电动机的使用	(158)
6.7.1 异步电动机的起动	(158)
6.7.2 制动	(160)
6.7.3 调速	(161)
6.7.4 经济运行	(162)
6.8 单相异步电动机	(162)
6.9 常用的低压电器	(165)
6.9.1 按钮	(165)
6.9.2 开关	(165)
6.9.3 接触器(166KM)	(166)
6.10 电器保护线路	(166)
6.10.1 短路保护	(167)
6.10.2 过载保护	(168)
6.11 异步电动机直接起动的控制电路	(169)
6.12 异步电动机正反转的控制电路	(170)
6.13 时间控制电路	(171)

6.14 行程控制电路	(173)
小结	(175)
习题	(176)

第七章 电工测量仪表结构原理及应用

7.1 电工测量仪表的一般知识	(178)
7.1.1 电工测量仪表的分类	(178)
7.1.2 常用仪表的型号	(178)
7.1.3 电工测量仪表的误差	(179)
7.1.4 电工测量仪表刻度盘的符号	(180)
7.2 磁电式仪表	(182)
7.2.1 磁电式仪表的结构、工作原理和特点	(182)
7.2.2 磁电式电流表	(184)
7.2.3 磁电式电压表	(185)
7.3 摇表(兆欧表)及绝缘电阻的测量	(187)
7.3.1 摇表的选择	(190)
7.3.2 测量前的准备	(190)
7.3.3 测量接线圈	(190)
7.3.4 测量	(191)
7.4 万用表	(191)
7.4.1 万用表有以下三个部分组成	(191)
7.4.2 分析万用表的工作原理及测量方法	(192)
7.4.3 使用万用表的注意事项	(196)
7.5 电磁式仪表	(197)
7.5.1 吸入式电磁式仪表的结构和工作原理	(197)
7.5.2 电磁式电流表和电压表	(198)
7.6 电动式功率表	(198)
7.6.1 电动式功率表的结构和工作原理	(198)
7.6.2 交流电路的功率测量	(199)
7.7 感应式电度表	(200)
7.7.1 交流单相电度表的结构	(201)
7.7.2 交流单相电度表的工作原理	(202)
7.7.3 交流电能的测量	(203)
7.8 电工仪表的选择和使用	(203)
7.8.1 仪表种类和型式的选择	(203)
7.8.2 电表内阻及准确度的选择	(204)
7.8.3 仪表量程的选择	(204)
小结	(205)

习题	(206)
----	-------

第八章 半导体器件

8.1 半导体基础知识	(207)
8.1.1 本征半导体	(207)
8.1.2 N型半导体和P型半导体	(208)
8.2 PN结及其导电特性	(208)
8.2.1 PN结的形成	(209)
8.2.2 PN结的单向导电性	(209)
8.3 半导体二极管	(210)
8.3.1 二极管结构简介	(210)
8.3.2 二极管的伏安特性	(211)
8.3.3 二极管的主要参数	(212)
8.3.4 应用举例	(212)
8.4 特殊二极管	(213)
8.4.1 稳压二极管	(213)
8.4.2 光电二极管	(215)
8.4.3 发光二极管	(215)
8.5 半导体三极管	(215)
8.5.1 三极管结构简介	(215)
8.5.2 三极管的电流放大作用	(216)
8.5.3 三极管的特性曲线	(218)
8.5.4 三极管的主要参数	(221)
8.5.5 参数与温度的关系	(222)
8.6 场效应管	(223)
8.6.1 绝缘栅型场效应管的结构和工作原理	(224)
8.6.2 场效应管特性曲线	(225)
8.6.3 场效应管主要参数	(226)
小结	(228)
习题	(228)

第九章 基本交流放大电路

9.1 基本共射放大电路	(231)
9.1.1 电路组成及工作原理	(232)
9.1.2 放大电路的图解分析方法	(233)
9.1.3 放大电路的微变等效电路分析法	(240)
9.2 基本工作点稳定电路	(243)

9.2.1 分压式偏置电路的放大器	(244)
9.2.2 静态工作点的估算	(245)
9.2.3 动态参数的估算	(245)
9.3 基本共集电极放大电路	(248)
9.3.1 静态工作点	(248)
9.3.2 动态参数	(248)
9.4 多级放大电路	(250)
9.5 互补对称功率放大电路	(254)
9.5.1 概述	(254)
9.5.2 互补对称功率放大电路	(255)
9.5.3 互补对称电路的其它形式	(255)
9.6 场效应管放大电路	(256)
小结	(258)
习题	(258)

第十章 集成运算放大电路

10.1 概述	(263)
10.2 差动放大电路	(263)
10.2.1 直接耦合放大电路的零点漂移现象	(264)
10.2.2 差动放大电路	(265)
10.3 集成运算放大电路	(273)
10.3.1 集成运放的基本概念	(273)
10.3.2 主要参数	(274)
10.3.3 集成运放的基本分析方法	(274)
10.4 运算放大器中的负反馈	(275)
10.4.1 反馈放大器的基本关系	(275)
10.4.2 运算放大器中的负反馈	(276)
10.4.3 负反馈对放大器性能的影响	(277)
10.5 基本运算电路	(278)
10.5.1 比例运算电路	(278)
10.5.2 求和运算电路	(284)
10.5.3 和分运算电路	(284)
10.5.4 微分运算电路	(287)
10.6 集成运算放大器的应用	(288)
10.6.1 电压比较器	(288)
10.6.2 带有滞回特性的比较电路	(289)
10.6.3 正弦波振荡电路	(291)
10.6.4 三角波发生器	(294)

10.6.5 精密整流电路	(295)
10.6.6 有源滤波电路	(295)
10.6.7 实用举例	(296)
小结	(297)
习题	(297)

第十一章 整流电路与直流稳压电源

11.1 单相桥式整流电路	(306)
11.2 三相桥式整流电路	(309)
11.3 滤波电路	(311)
11.3.1 电容滤波	(311)
11.3.2 电感滤波	(314)
11.3.3 π 型滤波	(315)
11.4 直流稳压电源	(316)
11.4.1 硅稳压管稳压电路	(316)
11.4.2 串联型晶体管稳压电路	(318)
* 11.5 集成稳压电路	(320)
11.5.1 WA7型集成稳压器的结构	(320)
11.5.2 工作原理	(320)
小结	(324)
习题	(325)

第十二章 组合逻辑电路

12.1 脉冲信号的波形和参数	(328)
12.2 晶体管开关电路	(329)
12.2.1 晶体管三种工作状态的特点及转换条件	(329)
12.2.2 晶体管开关电路(反相器)	(330)
12.3 基本逻辑门电路	(332)
12.3.1 二极管与门电路	(333)
12.3.2 二极管或门电路	(333)
12.3.3 晶体管“非”门电路	(335)
12.3.4 “与非”门电路	(336)
12.4 TTL集成电路与非门	(337)
12.4.1 TTL与非门的电路结构	(337)
12.4.2 TTL与非门电路逻辑功能的分析	(338)
12.4.3 TTL与非门电路的主要参数	(339)
12.5 三态门电路	(340)

12.5.1	三态门电路的工作原理	(341)
12.5.2	三态门电路的应用	(342)
12.6	逻辑代数的基本知识	(342)
12.6.1	基本运算法则	(342)
12.6.2	基本定律	(343)
12.6.3	逻辑代数基本定律扩展运用的三个重要规则	(343)
12.7	组合逻辑电路的分析与综合	(344)
12.7.1	组合电路的分析方法	(344)
12.7.2	组合电路的综合	(346)
12.8	编码器	(349)
12.9	译码器和数码显示器	(352)
12.9.1	辉光数码管译码显示电路	(354)
12.9.2	荧光数码管译码显示电路	(358)
12.10	MOS 逻辑门电路	(360)
12.10.1	NMOS 门电路	(360)
12.10.2	CMOS 门电路	(361)
12.10.3	MOS 电路使用注意事项	(362)
	小结	(362)
	习题	(363)

第十三章 时序逻辑电路

13.1	集成触发器	(368)
13.1.1	基本 RS 触发器	(368)
13.1.2	可控 RS 触发器	(370)
13.1.3	主从型 JK 触发器	(372)
13.1.4	维持阻塞型 D 触发器	(375)
13.1.5	不同功能触发器的相互转换	(377)
13.2	寄存器	(380)
13.2.1	数码寄存器	(380)
13.2.2	移位寄存器	(382)
13.3	计数器	(383)
13.3.1	二进制计数器	(384)
13.3.2	十进制计数器	(386)
13.4	555 定时器及其应用	(389)
13.4.1	555 定时器	(389)
13.4.2	用 555 定时器组成单稳态触发器	(390)
13.4.3	用 555 定时器组成的多谐振荡器	(392)
	小结	(393)

习题.....	(394)
---------	-------

第十四章 数—模和模—数转换

14.1 数—模转换器	(398)
14.1.1 T型网络 D/A 转换器	(398)
14.1.2 例 T型电阻 D/A 转换器	(402)
14.2 模—数转换器	(403)
小结	(405)
习题	(406)

第一章 直流电路

直流电路的分析和计算方法，在物理学中已经学过。本章是在物理学的基础上进一步研究复杂直流电路的分析和计算方法，从而使我们能够比较全面地了解和掌握直流电路的普遍规律。

本章虽然是以直流电路为研究对象，但是只要把所涉及的理论和方法稍加扩展，则可以用来分析交流电路。所以本章的内容也是分析和计算交流电路的理论基础。

1.1 电 路

1.1.1 电路的作用及组成

电路是电流的通路，它是由若干电工设备或元件按一定方式组成的总体，就其形式来说，是多种多样的；就其作用来说，可分两大类：在电力系统中组成的电路，主要是传送、分配和变换电能；在通信、控制和计算机科学领域中，是传送信号和处理信号。

电路一般由电源、负载和中间环节三个基本部分组成。

电源：是提供电能的设备，即是一种将非电能转换成电能的装置。常用的电源有干电池、蓄电池和发电机等，它们分别将化学能或机械能转换为电能。

负载：是取用电能的设备，即是将电能转换为其他形式能量的装置，如电动机、电灯和电炉等。电动机将电能转换为机械能；电灯将电能转换为光能；电炉将电能转换为热能。负载的大小是以在单位时间内消耗电能的多少来衡量的。

中间环节：除导线外包括进行控制、保护及测量的电器和仪表，它的作用是将电能从电源安全可靠地输送和分配到负载。

由负载和中间环节组成了**外电路**，而电源内部的通路则称为**内电路**。

1.1.2 电流、电压和电动势的参考方向

电流的方向，习惯上规定为在电场力作用下正电荷运动的方向或负电荷运动的相反方向为电流的方向，即为电流的实际方向。电流是标量，我们谈电流的方向是指电荷在导体内移动的去向。这个去向是客观存在的。在简单的直流电路中，各元件中电流的实际方向是很容易判断的，在电路图上标明它的方向并不难。但在分析较为复杂的直流电路时，往往难于事先判断某电路中电流的实际方向；对交流电路来讲，其电流的方向随时间而变化，根本无法在电路图上用一个固定的箭头来表示电流的实际方向。为此，在分析与计算电路时，常可任选某一方向作为电流的**正方向**，亦称为电流的**参考方向**。

如图 1-1 所示，先选定其中某一方向作为电流的参考方向，以箭头表示之。当然所选的电流方向并不一定就是电流的实际方向。若电流的参考方向与它的实际方向一致，则电流为正值 ($I > 0$)；

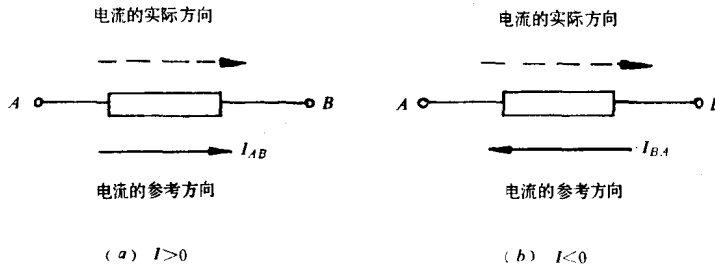


图 1-1 电流的参考方向和它的实际方向

若电流的参考方向与它的实际方向相反，则电流为负值 ($I < 0$)。于是，在指定的参考方向下，并根据电流值的正负，就可以反映出电流的实际方向。

电流的参考方向除用箭头表示外，也可用双下标表示，如 I_{AB} ，其参考方向是由 A 指向 B。

电压也是标量，但在分析电路时，我们也规定了这的方向。电场中任意两点之间的电压的实际方向总是从高电位指向低电位，即电压降的方向，一般用一个箭头表示，也可以用正 (+)、负 (-) 极性来表示。“+”号表示高电位，“-”号表示低电位)。当两点之间电压的实际方向或极性不易判断或随时间变化时，也可以选定其中一个方向为电压的参考方向（即电压的正方向）。当电压的参考方向与它的实际方向一致时，电压为正值 ($U > 0$)；当电压的参考方向与它的实际方向相反时，电压为负值 ($U < 0$)。如图 1-2 所示。

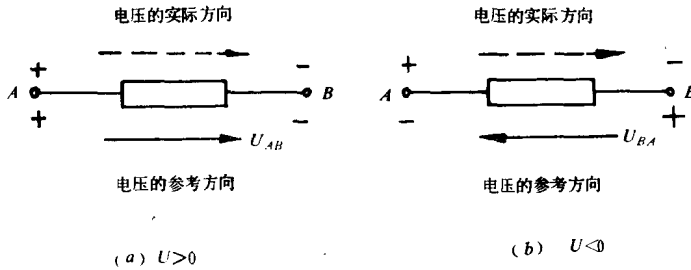


图 1-2 电压的参考方向和它的实际方向

电压的参考方向除用箭头或“+”“-”极性表示外，也可以用双下标表示，如 U_{AB} 表示 A 和 B 之间的参考方向由 A 指向 B。

对一段电路或一个元件上的电压参考方向和电流的参考方向，可以独立地任意指定。但是为了方便起见，我们常采用关联参考方向。所谓关联参考方向，就是电流参考方向应与电压的参考方向一致，即在外电路中，电流应从高电位端流向低电位端。如图 1-3(a) 所示。这样在电路图上就只需标出电流的参考方向或电压的参考极性中任一种就可以了。如图 1-3(b)(c) 所示。

功率是电路分析中常用的另一个物理量，图 1-3 (a) 表示的是电路的一部分。采用

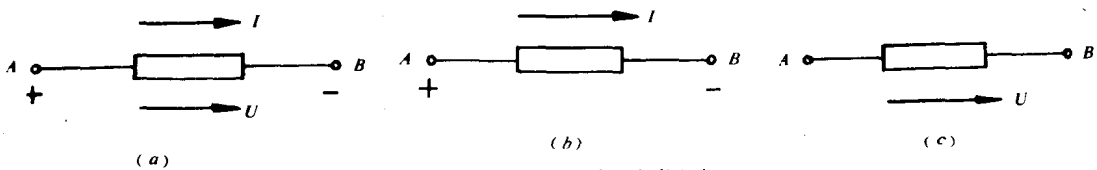


图 1-3 电流和电压的关联参考方向

关联的电流电压参考方向 (图 1-3), 则在这段电路中消耗或发出的功率为

$$P = UI \quad (1-1)$$

在国际单位制中, 功率的单位是瓦特, 简称瓦 (W)。

$$1 \text{ (W)} = 1 \text{ (V)} \times 1 \text{ (A)}$$

根据式 (1-1), 当知道了某个元件或某段电路的电压和电流时, 就可以算出其功率。电流电压采用关联参考方向, 算出的功率为正值时, 表示这部电路消耗功率, 处于负载工作状态; 算出的功率为负值时, 表示这部分电路产生功率, 即送出电功率, 是电源。

根据式 (1-1), 在 t 时间里, 电路消耗的电能

$$W = Pt \quad (1-2)$$

电能的单位是焦耳 (J)

$$1 \text{ (J)} = 1 \text{ (W)} \times 1 \text{ (S)}$$

电能的单位常用千瓦小时来计量, 工业上用“度”表示

$$1 \text{ 度电} = 1 \text{ (kWh)} = 1000 \text{ (W)} \times \text{(h)} = 3.6 \times 10^6 \text{ (J)}$$

例 1-1 图 1-4 所示电路是各电动势的实际方向, 电流 I 和电压 U_1 、 U_2 、 U_R 都是假定的参考方向。试求: (1) 电压 U_1 、 U_2 和电流 I 。(2) 各电路元件所吸收或产生的功率。

解: (1) 电压 U_1 、 U_2 的实际方向与参考方向一致, 则 $U_1 = E_1 = 50\text{V}$, $U_2 = E_2 = 40\text{V}$,

$$I = \frac{E_2 - E_1}{R} = \frac{40 - 50}{10} = -1\text{A}。 “-” 表明电流的$$

参考方向与实际方向相反。

(2) 电压 U_1 和电流 I 的参考方向与关联参考方向一致, 则

$$P_1 = U_1 I = 50 \times (-1) = -50\text{W}$$

ad 这段电路(即电动势 E_1)产生功率;

电压 U_2 和电流 I 的参考方向间, 其中电流的参考方向与关联参考不一致, 则

$$P_2 = -U_2 I = -40 \times (-1) = 40\text{W}$$

bc 这段电路 (即电动势 E_2) 消耗功率;

电阻 R 中电压 U_R 和电流 I 的参考方向间, 其中电流与关联参考方向不一致则

$$U_R = IR = 10 \times 1 = 10\text{V}$$

$$P_R = -U_R I = (-10) \times (-1) = 10\text{W}$$

ab 这段电路 (即电阻 R) 消耗功率。

就整个电路来说, 消耗的总功率等于 $40+10=50$ 瓦; 产生的总功率等于 50 瓦。消耗的功率与产生的功率相等, 这表明在一个电路中功率是平衡的。

电动势的实际方向是由低电位指向高电位, 其参考方向也可以假定。当参考方向与实际方向一致时, 电动势取正值 ($E > 0$); 参考方向与实际方向相反时, 电动势取负值 ($E < 0$)。图 1-5 表示了电动势的实际方向与参考方向之间的关系。

图 1-6 表示的电动势和电流参考方向是一致的, 规定为电动势和电流的关联参考方向 (即电源的关联参考方向)。现采用电源的关联参考方向来计算例 1-1 中的各量。

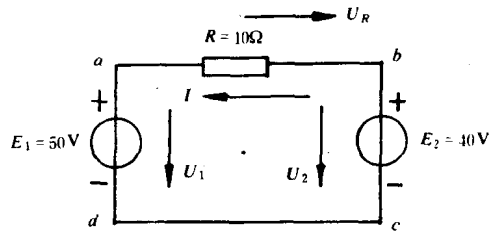


图 1-4 例 1-1 的电路