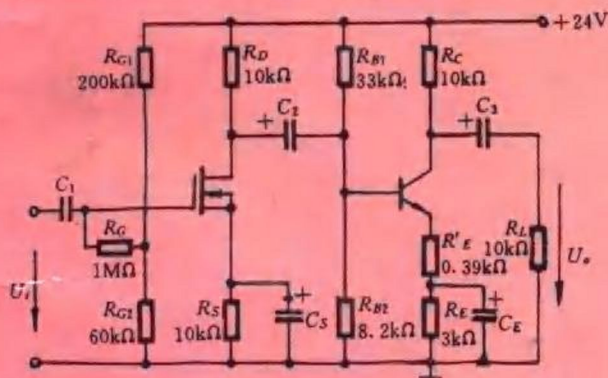
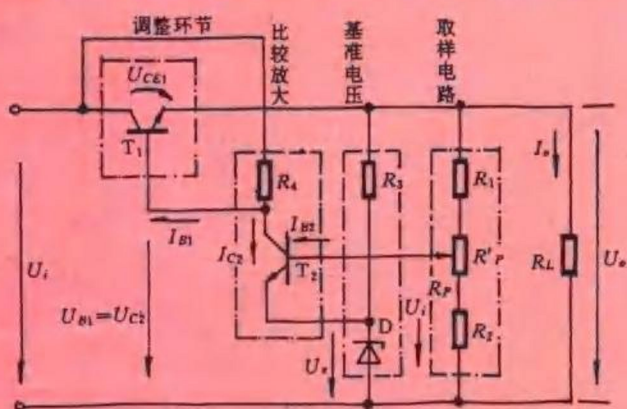


李顺金 沈以煦 李丽英 主编

电 工 学



中国农业出版社

电 工 学

李顺金 沈以煦 李丽英 主编

ND12/23

李丽英

A ①~③
B ④~⑥
C ⑦~⑨

15周周-

中国农业出版社

14.7- 7:00-9:00
15 8:30-10:30

1-7 2:30-5:00
14.7:30-9:30

11.11.10

电 工 学

李顺金 沈以煦 李丽英 主编

* * *

责任编辑 段丽君 彭明喜

中国农业出版社出版 (北京市朝阳区农展馆北路2号)

新华书店北京发行所发行 华燕印刷厂印刷

787×1092mm16 开本 25.75 印张 610 千字

1996年1月第1版 1996年1月北京第1次印刷

印数 1—3,900 册 定价 30.00 元

ISBN 7-109-04201-4/TM·29

1996

内 容 提 要

本书是根据 1987 年国家教委颁发的高等工业学校“电工技术（电工学 I）”和“电子技术（电工学 II）”两门课程教学基本要求编写的。在编写过程中，充分考虑了新下达的课程教学基本要求（1993 年修订）讨论稿中的内容。

本书分为三个部分：电路与模拟电子技术、数字电路及应用、电机及其控制。

本书可做为高等工业学校非电专业的教材，也可供非电专业的工程技术人员参考。

供 110—120 学时使用。

前 言

本书是根据 1987 年国家教委颁发的高等工业学校“电工技术 (电工学 I)”和“电子技术 (电工学 II)”两门课程教学基本要求编写的。在编写过程中,充分考虑了新下达的课程教学基本要求 (1993 年修订) 讨论稿中的内容。

本书在课程内容体系上作了调整,全书分为三大部分:上篇为电路与模拟电子技术、中篇为数字电路及应用、下篇为电机及其控制。这种调整,有利于灵活地组织教学。电工测量部分,没有编入教材,这部分内容可编入实验指导书,结合实验课进行教学。

本书上篇第一章至第四章的内容由孙晓燕参加编写,第五章至第七章的内容由李顺金编写;中篇全部内容由李丽英编写;下篇的第一章及第三章由彭群参加编写,其余内容由沈以煦编写。全书由李顺金、沈以煦、李丽英三人共同主编。全书由大连理工大学龙连文教授主审,北京农业工程大学藤松林教授审阅了部分内容。此外,陈一飞、王一、魏章怀、李玲等同志,在本书编写过程中也给予了帮助。

由于编者水平所限,本书有些内容难免不够妥善,甚至会有错误之处,希望读者和使用本书的教师和同学给予批评、指正,以便今后修订提高。

编 者

1995 年 7 月

目 录

上篇 电路与模拟电子技术

第一章 电路的基本概念、定律和分析方法	(1)
§ 1-1 电路的组成及其基本物理量	(1)
§ 1-2 电路的状态	(5)
§ 1-3 电路的基本定律	(9)
§ 1-4 电阻的串联和并联	(13)
§ 1-5 电压源与电流源	(16)
§ 1-6 叠加原理与戴维南定理	(20)
§ 1-7 电路中电位的概念及计算	(24)
第二章 正弦交流电路	(30)
§ 2-1 正弦电压、电流的三要素	(30)
§ 2-2 正弦量的相量表示法	(32)
§ 2-3 单一参数的正弦交流电路	(33)
§ 2-4 电阻、电感、电容元件串联的正弦交流电路	(40)
§ 2-5 阻抗的串联与并联	(46)
§ 2-6 功率因数的提高	(49)
§ 2-7 电路的谐振	(51)
第三章 三相电路	(59)
§ 3-1 三相电源	(59)
§ 3-2 三相负载的联接	(62)
§ 3-3 三相不对称电路	(64)
§ 3-4 三相电路的功率	(66)
第四章 电路中的暂态过程	(71)
§ 4-1 换路定则与电压和电流初始值的确定	(72)
§ 4-2 RC 电路的响应	(75)
§ 4-3 一阶线性电路暂态分析的三要素法	(81)
§ 4-4 微分电路与积分电路	(84)
§ 4-5 RL 电路的响应	(86)
第五章 半导体二极管和整流电路	(93)
§ 5-1 半导体二极管	(94)
§ 5-2 整流电路	(98)
§ 5-3 滤波电路	(103)
§ 5-4 稳压管及其稳压电路	(107)

第六章 晶体管基本放大电路	(110)
§ 6-1 晶体管	(110)
§ 6-2 基本放大电路的组成	(116)
§ 6-3 放大电路的静态分析	(118)
§ 6-4 放大电路的动态分析	(121)
§ 6-5 分压式偏置放大电路	(128)
§ 6-6 射极输出器	(133)
§ 6-7 功率放大电路	(138)
§ 6-8 阻容耦合多级放大电路	(142)
§ 6-9 场效应管及其放大电路	(147)
第七章 集成运算放大电路	(157)
§ 7-1 差动放大电路	(157)
§ 7-2 集成运算放大器的简单介绍	(163)
§ 7-3 放大电路中的负反馈	(167)
§ 7-4 运算放大器在模拟信号运算方面的应用	(171)
§ 7-5 运算放大器在信号测量方面的应用	(178)
§ 7-6 运算放大器在信号处理方面的应用	(182)
§ 7-7 运算放大器在波形产生方面的应用	(186)
§ 7-8 使用集成运放时应注意的几个问题	(191)

中篇 数字电路及应用

第一章 概述	(197)
§ 1-1 数字电路及数字信号	(197)
§ 1-2 数制	(201)
§ 1-3 逻辑代数及其应用	(204)
第二章 逻辑门电路	(210)
§ 2-1 基本逻辑门电路	(210)
§ 2-2 复合门电路	(213)
§ 2-3 MOS 集成门电路	(216)
第三章 组合逻辑门电路	(219)
§ 3-1 组合逻辑电路的分析	(219)
§ 3-2 组合逻辑电路的设计	(220)
§ 3-3 编码器	(222)
§ 3-4 译码器和数码显示	(224)
§ 3-5 数据分配器和选择器	(228)
§ 3-6 运算器	(230)
第四章 触发器和时序逻辑电路	(233)
§ 4-1 触发器	(233)
§ 4-2 寄存器	(242)
§ 4-3 二进制计数器	(244)
§ 4-4 十进制计数器	(247)

§ 4-5	数字集成电路计数器的应用	(249)
第五章	脉冲波形的产生与整形	(254)
§ 5-1	单稳态触发器	(254)
§ 5-2	无稳态触发器 (多谐振荡器)	(257)
§ 5-3	数字集成电路定时器 (555 集成定时器)	(258)
第六章	数字量与模拟量的相互转换	(263)
§ 6-1	数—模转换器 (D/A)	(263)
§ 6-2	模—数转换器 (A/D)	(267)
第七章	半导体存储器	(271)
§ 7-1	读写存储器 (RAM)	(272)
§ 7-2	只读存储器 (ROM)	(275)
§ 7-3	数字电路应用举例	(277)

下篇 电机及其控制

第一章	磁路和变压器	(281)
§ 1-1	磁路	(281)
§ 1-2	电磁铁	(286)
§ 1-3	变压器	(288)
§ 1-4	变压器的运行特性及额定值	(295)
§ 1-5	特殊变压器	(297)
第二章	异步电动机	(303)
§ 2-1	三相异步电动机的结构	(303)
§ 2-2	三相异步电动机的工作原理	(305)
§ 2-3	三相异步电动机的电磁转矩和机械特性	(309)
§ 2-4	三相异步电动机的铭牌和技术数据	(313)
§ 2-5	三相异步电动机的使用	(316)
§ 2-6	三相异步电动机的选择	(321)
§ 2-7	单相异步电动机	(322)
第三章	继电接触控制线路	(326)
§ 3-1	低压电器	(326)
§ 3-2	鼠笼式异步电动机直接起动控制线路	(332)
§ 3-3	三相鼠笼式异步电动机正反转控制线路	(333)
§ 3-4	行程控制	(335)
§ 3-5	时间控制	(336)
§ 3-6*	速度控制	(338)
§ 3-7*	应用举例	(339)
第四章	安全用电	(345)
§ 4-1	概述	(345)
§ 4-2	保护接地和保护接零	(346)
§ 4-3	家用电器的保护接零	(347)
§ 4-4	静电防护和电器防火、防爆	(348)

第五章 可编程序控制器	(348)
§ 5-1 概述	(348)
§ 5-2 可编程序控制器的组成	(349)
§ 5-3 可编程序控制器的基本工作原理	(351)
§ 5-4 小型可编程序控制器介绍	(353)
§ 5-5 可编程序控制器的编程	(359)
§ 5-6 可编程序控制器的应用举例	(374)
第六章 晶闸管及其应用	(382)
§ 6-1 晶闸管	(382)
§ 6-2 可控整流电路	(385)
§ 6-3 晶闸管的保护	(388)
§ 6-4 单结晶体管触发电路	(389)
§ 6-5 晶闸管变频电路和交流电动机变频调速	(392)
附录一、国产半导体器件型号命名法	(395)
附录二、半导体集成电路型号命名法	(396)
附录三、TTL 集成电路型号命名规则	(397)
附录四、几种常用国产集成运算放大器主要参数表	(398)
上篇 部分习题答案	(399)
中篇 部分习题答案	(401)
下篇 部分习题答案	(402)
参考文献	(403)

上篇 电路与模拟电子技术

第一章 电路的基本概念、定律和分析方法

本章主要阐述电路的作用与组成部分、电路模型、电路的基本物理量及其正方向、电路定律、电路的有载工作状态、开路与短路、电路的分析方法等，这些内容构成了分析与计算电路的基础。虽然其中有某些内容在物理课中已讲述过，但这些内容在本书中均有扩展，这样是为了加强理论的系统性和满足电工技术的需要。

§ 1-1 电路的组成及其基本物理量

一、电路的基本组成部分

电路是电流流经的路途。根据不同的工作要求，由某些电工设备或电工元件按不同的方式可以组合成不同的电路。电路的结构不同，要完成的任务也会有所不同。电路的构成形式很多，但从其功能来分，构成电路的目的有两个：进行能量的传输、分配和转换及进行信息的传递、处理和运算。

电路分析要研究的是：电路中能量转换过程中的一般规律，为研究具体电路建立分析、计算的方法。因此，对于组成电路的具体元件的结构与工作原理不予讨论，仅对组成电路的元件在电路中所表现出的电特性及这些元件连接起来后，它们在能量转化、分配过程中所表现的规律进行讨论。

不论电能的传输和转换，或者信号的传输和转换，或者信号的传递和处理，其中电源或信号源的电压或电流被称为激励，它推动电路工作，而激励在电路各部分产生的电压和电流被称为响应。所以，也可以说，电路的分析，就是在已知电路结构和元件参数的条件下，讨论电路的激励和响应之间的关系。

实际的电路都是由一些起着不同作用的实际电路元件或器件所组成的。组成电路的基本部件可概括为：

电源：它是电路中电能的来源。电源的作用是将其它形式的能量转换成为电能。例如电池将化学能转换成为电能，发电机将机械能转换成为电能，等等。

负载：它是将电能转换为其它形式的能量的用电设备。例如：手电筒中的灯泡就是负载，它将电能转换为光能。其它用电设备，如电动机将电能转化为机械能，电炉将电能转换为热能，等等。

中间环节：它们的作用是将电源及负载连接起来，主要包括连接导线和控制电路通断的开关电器。

所有电路从本质上来说，都是由电源、负载、中间环节所组成的，因此，电源、负载和中间环节被称为组成电路的“三要素”。

实际的电路元件和器件，如发电机、变压器、电动机、电池、晶体管以及各种电阻器和电容器等，它们的电磁性质较为复杂，为了便于对实际电路进行分析和用数学描述，于是将实际元件理想化，即：在一定条件下突出其主要的电磁性质，忽略其次要因素，把它近似地看做理想的电路元件，这样，由一些理想电路元件（如电感、电容、电阻、电压源、电流源等）所组成的电路，就是代表实际电路的电路模型，它是对实际电路电磁性质的科学抽象和概括。在电路模型中的理想元件分别由相应的参数来表征。

例如：常见的手电筒，其电路模型如图 1-1 (b) 所示，而其实际电路如图 1-1 (a) 所示。灯泡是电阻元件，其参数为电阻 R ，干电池是电源元件，其参数是电动势 E 和内电阻（简称内阻 R_0 ），电筒筒体是联接干电池与电珠的中间环节（还包括开关），其电阻很小，可以忽略不计，被认为是一段无电阻的理想导体。

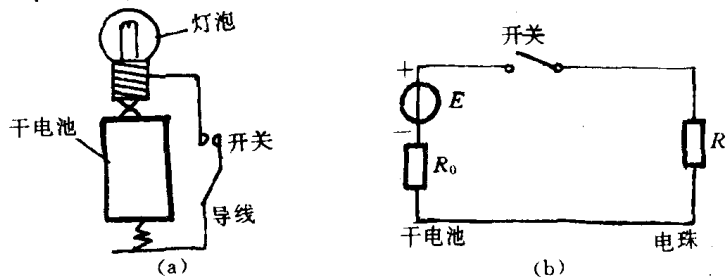


图 1-1 手电筒电路及电路模型

电路分析是对电路模型的分析。本书所分析的都是指电路模型，简称电路。在电路图中，各种电路元件用规定的图形符号表示。

不论电能的传输和转换，或者信号的传递和处理，都要通过电流、电压和电动势来实现，所以在分析与计算电路之前，首先讨论一下电路的这几个基本物理量。

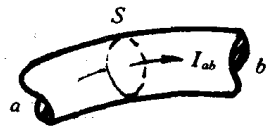
二、电路中的基本物理量

1. 电流 电流是电荷的有规则的定向运动。在金属内部电流是自由电子在电场力作用下定向运动而形成的。

电流的大小用电流强度来表示。电流强度是指在单位时间内通过导体横截面的电荷量。

假设在极短的时间 dt 内通过导体截面 S (图 1-2) 的微小电荷量为 dq ，则电流为

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



式中， i 为电流， i 是随时间变化的，是时间的函数。

图 1-2 导体中的电流

如果电流不随时间而变化，即 $\frac{dq}{dt} = \text{常数}$ ，则这种电流称为恒定电流，又称直流。通常直流用大写字母 I 表示。如果是直流则式 (1-1) 改写为

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

式中， q 是在时间 t 内通过导体横截面 S 的电荷量。

电流的单位是安培 (A)，即当 1s 内通过导体横截面的电荷量为 1C 时，则电流强度为 1A。计量微小的电流时，以毫安 (mA) 或微安 (μA) 为单位，1A 为 1000mA，1A 为 $1 \times 10^6 \mu\text{A}$ 。

如上所述，电荷的有规则移动形成了电流，而形成电流的电荷可能是正电荷（如正离

子)，也可能是负电荷（如电子或负离子）。于是电流就需要规定一个正方向。我们习惯上规定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（实际方向）。

电流的方向是客观存在的，但在分析复杂的、真实的电路时，往往事先难以确定某支路里流动的电流的实际方向，而且在分析交流电路中，其电流的方向随时间而变化。为此，在分析与计算电路时，常常任意选定某一方向作为电流的正方向，这样任意选定的正方向，称为电流的**参考正方向**。

电流的参考正方向与其实际方向并不一定一致，所以在进行电路分析时，如果求得电流的值为正值，则电流的实际方向与选定的正方向一致，如果求得电流的值为负值，则电流的实际方向与选定的正方向相反。电流的正方向与它的真实方向是两个不同的概念，不能混淆。电流的真实方向是一种客观存在，不能任意选定，而电流的正方向则可以任意选定，选定了电流的正方向，就可以通过计算电流的值来确定电流的真实方向。一段电路里电流的正方向虽然是可以任意选定的，但是在可能的条件下，总是尽量使选定的参考正方向与真实方向相一致。需要注意的是，电流的正方向一经确定，在整个分析与计算过程中就必须以此为准，不允许再更改了，在电路图中所标注的电流方向也都是正方向。

2. 电压与电动势

(1) 电压。如上所述，电荷在电场力作用下运动而形成电流，电场力推动电荷运动做功，为了表示电场力对电荷做功的大小，我们引入了“电压”这个物理量。

电路通电后，在如图 1-3 所示一段电路中，设正电荷 dq 从 a 运动到 b 时，电场力做的功是 dW ，则 a 、 b 两点间的电压用 U_{ab} 来表示，得

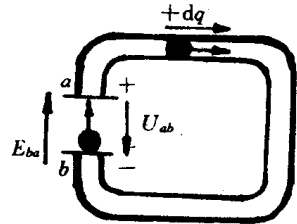


图 1-3 电荷的运动

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

式 (1-3) 说明 a 、 b 两点间的电压 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，也就是单位正电荷从 a 点（高电位）移到 b 点（低电位）所失去的电能。

在电场内两点间的电压也常称为两点间的电位差，即

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-4)$$

式中， V_a 为 a 点的电位； V_b 为 b 点的电位。

正电荷在电场的作用下，从高电位向低电位移动，这样电极 a 因正电荷的减少而使电位逐渐降低，电极 b 因正电荷的增多而使电位逐渐升高，其结果是 a 和 b 两极的电位差逐渐减小到等于零，与此同时，联接导体中的电流也相应地减小到零。在实际分析中，仅仅知道两点间的电压数值是不够的，而且还要知道电压的方向。在图 1-3 中正电荷自 a 移动到 b ，电场力做功，表明这段电路是吸收电能的，而且正电荷在 a 点时比在 b 点时具有更高的电能，在电工学中规定：在一段电路上，电压的实际方向是由高电能点指向低电能点，所以，正电荷在移动中，电场力做功而且电路吸收能量，则电压为正，即电压的实际正方向是正电荷移动的方向，亦即电流的实际正方向。反之，如果在一段电路中，正电荷的移动是非电场力做功，而且电路消耗能量，则电压为负，即电压的实际方向是正电荷移动的反方向。

(2) 电动势。电动势是表征电源性质的物理量。

在图 1-3 中, 在电源以外的部分电路, 正电荷总是从电源正极流出, 最后流回电源的负极, 这是电场力推动正电荷做功的结果, 为了维持电流不断地在联接导体中流通, 并保持恒定, 也就是要使电极 b 上所增加的正电荷经过电源内部流向电极 a 。但由于电场力的作用, 电极 b 上的正电荷不能逆电场而上, 因此必须要有另一种力能克服电场力而使电极 b 上的正电荷流向电极 a 。电源就能产生这种力, 被称为电源力。电源力是电源内部的某种非电场力, 它使得在电源内部的正电荷从电源的负极, 经过电源内部, 不断地被送到电源正极, 这种非电场力, 在电源内克服电场力而做功。这种非电场力可以是电池内因化学作用而产生的化学力, 发电机内部因电磁感应作用而产生的电磁力, 等等。我们用电动势这个物理量衡量电源力对电荷做功能力的大小。电源的电动势在数值上等于非电场力把单位正电荷从负极经电源内部运动到正极时所做的功。在电源力的作用下, 电源不断地把其它形式的能量, 如: 化学能、热能、机械能等, 转化为电能。根据这个定义, 电动势的单位自然也就是伏特。

由于电动势的作用是使正电荷自电源的负极移向电源的正极, 使正电荷的电位能增加, 所以电工学规定电动势的实际正方向与电压的实际正方向相反。

在电源内部电动势的实际正方向是由电源的负极板指向正极板。图 1-4 是一般直流电压源的表示方法, 电压源的正、负极板分别用 “+”、“-” 号标出, 一经标定, 这个电源的电动势方向就可以确定了, 作为分析与计算电路的一种方法, 同样在分析电路前需先选定电动势的参考正方向。在选定了正方向下电动势也是一个代数量。

电动势与电压是两个不同的概念, 应该注意在不同正方向之下, 二者的区别与联系。

和电流一样, 在电路图上所标的电压和电动势的方向也都是正方向 (有时也用双下标表示), 它们是正值还是负值, 视选定的正方向而定。假如电压 U 的正方向与实际正方向一致, 则 U 为正值; 若电压 U 的正方向与实际正方向相反时, 则 U 为负值。

在国际单位制中, 电压和电动势的单位均为伏特 (V)。当电场力把 1C 的电荷量从一点移到另一点所做的功为 1J 时, 则该两点间的电压为 1V。计算微小电压时, 则以毫伏 (mV) 或微伏 (μV) 为单位, 计算高电压时, 则以千伏 (kV) 为单位。

3. 功率 构成电路的目的就是为了进行电能与其它形式能量之间的转换, 所以在电路的分析与计算中还经常用到另外一个物理量——功率。

功率的定义为: 单位时间内电场力所做的功, 用 P 表示。在图 1-5 中, 假设正电荷 q 从电路中 A 点移到 B 点, 根据电压的定义很容易得到电场力所做的功为 $W = U_{AB} \cdot q$, 又因为 $q = I \cdot t$, 所以 $W = U_{AB} \cdot I \cdot t$ 。上述功率定义的数学表达式为 $P = \frac{W}{t}$, 这样将 $W = U_{AB} \cdot q = U_{AB} \cdot I \cdot t$ 代入功率表达式, 可得功率的常用计算公式:

$$P = U_{AB} \cdot I \quad (1-5)$$

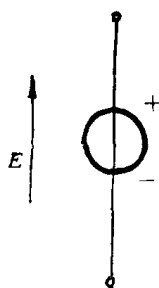


图 1-4 电源的电动势

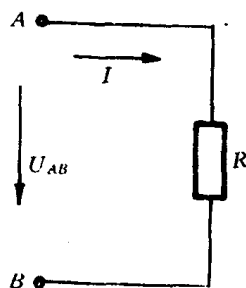


图 1-5 功率的计算

在国际单位制中电压的单位是伏特，电流的单位是安培，则功率的单位是瓦特，简称瓦 (W)。

在式 (1-5) 中，电流和电压都是代数量，所以功率也具有正值或负值。在电路分析与计算时，如果我们选定电压与电流在某一段电路中正方向相同，在计算功率时，若得到的 P 值为正值，则说明电路吸收了功率，或者说电路消耗了功率，而消耗功率的电路元件必是电阻元件或处于充电状态的电源元件。反之，如果求得的电功率 P 值为负值时，则说明这段电路发出了功率，或者说提供了电动势，因此这段电路中包含有电源元件。

§ 1-2 电路的状态

在电路的实际运行中，由于不同的用电需要以及不同的负载情况，可呈现不同的电路状态，值得注意的是：其中有的状态并不是正常的工作状态而是事故状态，应尽量避免和消除。因此，了解并掌握使电路处于不同状态的条件和特点是正确、安全用电的前提。

现在我们以最简单的直流电路 (图 1-6) 为例分别讨论电路的有载工作状态、开路状态及短路状态，讨论电路在上述工作状态下的电流、电压和功率方面的特征。

在图 1-6 中， E 、 U 和 R_0 分别为电源的电动势、端电压和内阻，开关和联接导线为中间环节。

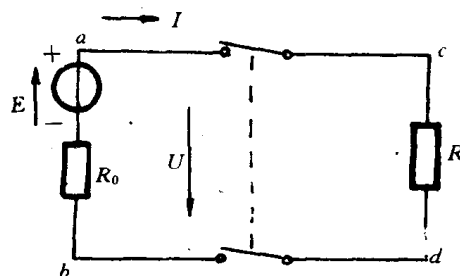


图 1-6 最简单的电路

一、有载工作状态

如果将图 1-6 中的开关合上，接通电源与负载，这就是电路的有载工作状态。电路中的电流为

$$I = \frac{E}{R_0 + R} \quad (1-6)$$

通常电源的电动势 E 和内阻 R_0 是一定的，由上式可见，负载电阻 R 愈小，则电流 I 愈大。

负载电阻两端的电压为

$$U = IR$$

将上式代入式 (1-6)，则得

$$U = E - IR_0 \quad (1-7)$$

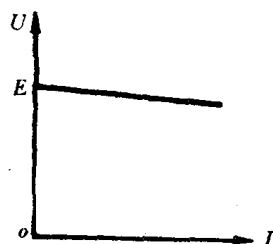


图 1-7 电源的外特性曲线

从上式看出，电源的端电压总是小于电源的电动势，这是由于电源内阻的存在，而且电源的端电压与电源的电动势的差是电流在流经电源内部时在电源内阻上所产生的电压降 IR_0 。电流愈大，则电源端电压下降得愈多。我们把表示电源端电压与输出电流 I 之间的关系曲线，称为电源的外特性曲线。电源的外特性曲线，在直流负载情况下，应为一 条直线，如图 1-7，其斜率与电源的内阻有关，当电源内阻很小时 (近似为零)，外特

性曲线是平行于横轴的一条直线。

当电源内阻很小时, $U \approx E$, 实际上电压源的内阻都很小, 所以电压源的外接负载变动时, 对电源的端电压变动不大。

现在我们来分析一下, 电路在有载工作状态下的功率情况。

式 (1-7) 两边同乘电路电流 I , 得

$$\begin{aligned} UI &= EI - I^2 R_0 \\ P &= P_E - \Delta P \end{aligned} \quad (1-8)$$

式中, P_E 为电源产生的功率, $P_E = EI$; P 为电源输出的功率, 也是负载得到的功率, $P = UI$; ΔP 是电源内阻上损耗的功率, $\Delta P = I^2 R_0$ 。式 (1-8) 说明在一个电路中, 电源产生的功率和负载取用的功率以及内阻上所消耗的功率是平衡的, 故式 (1-8) 又称功率平衡式。

例 1-1 在图 1-8 的电路中, 已知 $E_1 = 223\text{V}$, $E_2 = 217\text{V}$, $I = 5\text{A}$, 方向如图所示, 试说明功率平衡

解: 设 E_1 的功率为 P_{E1} , R_{01} 消耗的功率为 P_{01} , 设 E_2 的功率为 P_{E2} , R_{02} 消耗的功率为 P_{02} 。

则: $P_{E1} = E_1 \cdot I = 223 \times 5 = 1115\text{W}$

$$P_{01} = I^2 \cdot R_{01} = 5^2 \times 0.6 = 25 \times 0.6 = 15\text{W}$$

$$P_{02} = I^2 \cdot R_{02} = 5^2 \times 0.6 = 25 \times 0.6 = 15\text{W}$$

$$P_{E2} = I \cdot E_2 = 217 \times 5 = 1085\text{W}$$

对电源 E_1 来说, 它的端电压与电流 I 方向相反, 故 P_{E1} 为电源发出功率, 对电源 E_2 来说, 它的端电压与电流 I 方向相同, 为电源吸收功率, 即电源 E_2 处于充电状态, 假设电源发出功率为负, 则得:

$$-P_{E1} + P_{E2} + P_{01} + P_{02} = 0$$

$$P_{E1} = 1115\text{W}$$

$$P_{E2} + P_{01} + P_{02} = 1085 + 15 + 15 = 1115\text{W}$$

由此可见, 在一个电路中, 电源产生的功率和负载取用的功率及内阻上所损耗的功率是平衡的。

值得注意的是, 某一电路元件在某些实际运行条件下是起电源的作用, 而在另外的某些条件下却是起负载的作用。在电路分析中, 可根据电压和电流的实际方向确定某一电路元件是电源还是负载:

电源: U 和 I 的实际方向相反。

负载: U 和 I 的实际方向相同。

如果一个电源在实际电路中, 它的端电压与电流方向相同, 那么此时的电源为一负载, 向电源吸取能量, 此时的电源处于充电状态。

通常负载 (例如电灯、电动机等) 都是并联运用的。因为电源电阻很小, 电源的端电压几乎不变, 所以负载的端电压也几乎不变。因此当负载增加时, 负载所取用的总电流和总功率都增加, 即电源输出的功率和电流都相应增加。就是说, 电源输出的功率和电流决定于负载的大小。

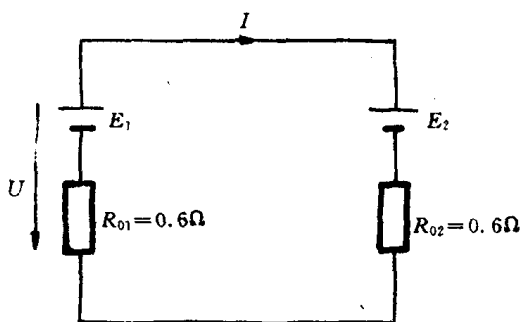


图 1-8 例题 1-1 图

对于负载元件来说,它的功率是有限制的,即每个负载所能承受的电压和电流都有一定限额。对电源来说,由于电源本身的限制,它的输出功率也有一定限额。当负载流过的电流太大时,将使导体发热,温度过高,导致设备烧毁。为了使电源和用电设备能够长期安全可靠地运行,就必须给它们的工作电压和电流规定一些必要的限制数值,引入额定值这一术语。

各种电气设备的电压、电流及功率等都有一个额定值。电气设备在额定值下运行,可得到最充分、最经济合理的使用。所以设备制造厂家在设计用电设备时,全面考虑了经济性、可靠性和寿命等因素,经过精确计算,对各种用电设备,一一规定了它的额定值,设备在高于或低于额定值情况下工作,如果持续时间较长,会影响设备的寿命或不能充分利用设备的能力,一般是不允许出现这种情况的。

各种电气设备的电压、电流及功率等都有一个额定值。例如一盏电灯的电压是 220V,功率是 60W,这就是它的额定值。电气设备或元件的额定值常标在铭牌上或写在它的说明书中,在使用用电设备时,应充分考虑它们的额定值。额定电压、额定电流和额定功率分别用 U_N 、 I_N 和 P_N 表示。

对发电机来讲,虽然铭牌上标明了它的额定功率和额定电流,而在实际使用中发电机发出多大功率和电流,完全决定于负载的需要,但一般不应超过额定值。对电动机也是这样,它的实际功率和电流也决定于它轴上所带机械负载的大小,通常电动机也不一定处于额定工作状态。

例 1-2 一个电阻元件,标注其阻值为 $1k\Omega$,额定功率为 1W,求它的额定电压和额定电流各是多少?

解 根据额定功率的定义,即当该电阻流过额定电流 I_N 时消耗的功率是额定电功率 P_N 。这时电阻功率的计算公式是: $P_N = I_N^2 \cdot R$

所以
$$I_N = \sqrt{\frac{P_N}{R}} = \sqrt{\frac{1}{1000}} = 0.0316A = 31.6mA$$

又因为
$$U_N = \frac{P_N}{I_N} = \frac{1W}{0.0316A} = 31.6V$$

另外,也可根据欧姆定律计算出它的额定电压

$$U_N = I_N \cdot R = 0.0316 \times 1000 = 31.6V$$

二、开 路

在图 1-6 所示的电路中,当开关断开时,电路则处于开路(空载)状态。如果电路是空载状态,外电路的电阻对电源来说等于无穷大,因此电路中电流为零。这时电源的端电压等于电源电动势。此时的端电压又称为开路电压或空载电压。电路在空载状态时电源不输出电能。

电路在开路状态时,有如下特征:

$$\begin{aligned} I &= 0 \\ U &= U_0 = E \\ P &= 0 \end{aligned}$$

三、短 路

在图 1-6 所示的电路中,当负载电阻 $R=0$ 时,或电源的两端 a 和 b 被一条导线联在了一起,称电源被短路,电路此时处于短路状态。由于电流有捷径可通,不再流过负载。由于在电流回路中仅有电源内阻 R_0 且 R_0 很小,所以电路中通过电源的电流会很大,此电流称为短路电流 I_s 。短路电流可能将电源毁坏。此时电源所产生的电能全被内阻所消耗。电源短路时由于外电路的电阻为零,所以电源的端电压也为零,而电源的电动势全部降在内阻上。

如上所述,电源短路时的特征如下:

$$U=0$$

$$I=I_s=\frac{E}{R_0}$$

$$P_E=\Delta P=I^2 R_0, P=0$$

短路可发生在负载端或线路的任何处。

短路通常是一种严重事故,应尽量避免。产生短路的原因,主要是绝缘损坏或接线错误,因此经常检查电气设备和线路的绝缘情况是一项很重要的安全措施。

为了防止短路事故所产生的后果,通常在电路中接入熔断器或自动断路器,以便发生短路时,能迅速将故障自动切除。但是,有时由于某种需要,可以将电路中的某一段短路(常称为短接)或进行某种短路实验。

四、负载获得最大功率的条件

一个负载不论它是直接接在电源输出端,还是接在有源网络中,它所获得的功率均可以通过图 1-9 所示的电路计算出来。图 1-9 中,假设负载的电阻为 R_L ,通过的电流为 I_L ,如果将有源网络化简后,得等效电路的电压源电动势为 E_e ,等效电路的内电阻为 R_0 ,则可得负载 R_L 的功率为

$$P_L=\left(\frac{E_e}{R_0+R_L}\right)^2 \times R_L \quad (1-9)$$

在什么情况下负载可获得最大功率呢? 我们可对式 (1-9) 中的 R_L 求导,并令 $dP_L/dR_L=0$,即可获得最大功率的负载条件。

首先,对式 (1-9) 求导得:

$$\frac{dP_L}{dR_L}=E_e^2 \cdot \frac{(R_0+R_L)^2-2R_L(R_0+R_L)}{(R_0+R_L)^4}$$

然后,令 $\frac{dP_L}{dR_L}=0$

求出获得最大功率的条件是

$$R_L=R_0 \quad (1-10)$$

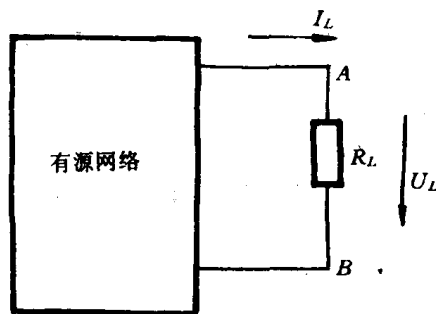


图 1-9 有源网络输出功率