

电路基础与电动量仪

上册

于汶 强锡富 孙合义 编

哈尔滨工业大学出版社

电路基础与电动量仪

上册

于汶 强锡富 孙合义 编

TM13

1

5713
52

电路基础与电动量仪

上册

于 汶 强锡富 孙合义 编



哈尔滨工业大学出版社

内 容 提 要

本书可作为工科高等院校精密仪器专业函授教材, 全书分上、下两册。上册为电路基础部分; 下册为电动量仪部分。上册内容包括: 直流电路、交流电路、磁和电磁感应、半导体器件、放大器、正弦波振荡器、直流稳压电源、数字电路基础和门电路、触发器、基本数字部件和数-模及模-数转换器。下册内容包括: 传感器的工作原理、转换电路及特点, 模拟式量仪的组成, 电动测微仪、轮廓仪和圆度仪等电动量仪的工作原理、使用特点和调整方法, 数字式量仪的基本概念。

本书内容深入浅出, 适于自学, 并可作为仪器仪表类其它专业的教材和供有关专业工程技术人员参考。

2552/58

电路基础与电动量仪

于 汶 强锡富 孙合义 编

*

哈尔滨工业大学出版社出版

新华书店首都发行所发行

哈尔滨工业大学印刷厂印刷

*

开本787×1092 1/16 印张23 字数470 000

1989年5月第1版 1989年5月第1次印刷

印数1—4 000

ISBN 7-5603-0142-8/TM·5 定价3.70元

前 言

本书是根据哈尔滨工业大学函授部精密仪器专业《电路基础与电动量仪》教学大纲编写的教材。

在精密长度计量仪器领域中,电动量仪的应用日趋广泛。本教材的电路基础部分主要是根据电动量仪内容的要求编写的,它比一般的电工学内容广泛一些,但比电子技术的内容简练一些。电动量仪部分,侧重于说明传感器、电路和常用仪器的工作原理,也介绍一些使用知识。本书共十六章,前十章为上册,介绍电路基础知识;后六章为下册,介绍常用的电动量仪。为便于读者自学,每章均有思考题与习题。上册的某些章附有例题,书后还附有常用的电阻器、电位器和电容器的基本性能及各种半导体器件型号的表示方法等表格,便于查阅。

本书是在哈尔滨工业大学精密仪器专业函授教材编审委员会和函授部李兆金、赵宇明的指导、组织和支持下编写的。上册由于汶主编,其中第四、五、九、十章及第八章的一部分由于汶编写。第一至第三章和第八章的一部分由孙合义编写,第六、七章由强锡富编写。下册由强锡富主编,其中第十二至第十五章由强锡富编写,第十一、第十六章由于汶编写。

由于编者水平有限,可能有错误和不当之处,恳切希望读者提出批评指正。

编 者

1988年6月

目 录

第一章 直流电路

§ 1-1 直流电路的基本概念	(1)
一、电路、电路图	(1)
二、电路的基本物理量	(2)
三、欧姆定律	(4)
四、克希荷夫第一定律	(5)
五、克希荷夫第二定律	(7)
六、电功与电功率	(9)
思考题与习题	(10)
§ 1-2 简单直流电路的分析和计算	(11)
一、串联电路	(12)
二、并联电路	(12)
三、混联电路	(14)
四、电路中电位的计算	(16)
思考题与习题	(19)
§ 1-3 复杂直流电路的分析和计算	(20)
一、支路电流法	(20)
二、网孔电流法	(23)
三、节点电位法	(25)
四、戴维南定理	(27)
思考题与习题	(30)
习题答案	(31)

第二章 交流电路

§ 2-1 正弦交流电路的基本概念	(32)
一、概述	(32)
二、交流电的三个要素	(33)
三、正弦交流电的有效值	(34)
四、正弦交流电的矢量表示法	(35)
五、正弦交流电的复数表示法	(37)
思考题与习题	(39)
§ 2-2 交流电路的分析与计算	(40)
一、电阻元件在交流电路中的作用	(40)
二、电感元件在交流电路中的作用	(41)
三、电容元件在交流电路中的作用	(43)

四、电阻、电感、电容串联电路	(46)
五、电阻、电感、电容并联电路	(49)
思考题与习题	(51)
§ 2-3 正弦交流电路的谐振	(52)
一、串联谐振	(52)
二、并联谐振	(55)
思考题与习题	(56)
习题答案	(57)
第三章 磁和电磁感应	(58)
§ 3-1 磁场	(58)
一、磁的基本现象和实质	(58)
二、磁场和磁感应强度	(59)
三、磁场对载流导体的作用力	(60)
四、通电导体周围的磁场	(61)
§ 3-2 磁路	(62)
一、磁路欧姆定律	(62)
二、铁磁材料及其磁化曲线	(64)
思考题与习题	(67)
§ 3-3 电磁感应和电感	(67)
一、导线切割磁力线产生的感应电动势	(67)
二、回路中的感应电动势	(68)
三、自感电动势	(70)
四、互感电动势	(71)
思考题与习题	(73)
§ 3-4 电磁感应原理的应用	(73)
一、变压器	(73)
二、交流电磁铁	(76)
三、电动机	(77)
思考题与习题	(82)
习题答案	(82)
第四章 半导体器件	
§ 4-1 半导体及其导电特性	(83)
一、什么是半导体	(83)
二、N型半导体和P型半导体	(85)
思考题与习题	(86)
§ 4-2 PN结及其单向导电性	(86)
一、PN结	(86)

二、PN 结的单向导电性	(87)
思考题与习题	(88)
§ 4-3 半导体二极管	(88)
一、二极管的结构和分类	(89)
二、二极管的特性和参数	(90)
三、二极管的简易测试方法	(91)
思考题与习题	(91)
§ 4-4 稳压管	(92)
一、工作原理和伏安特性	(92)
二、主要参数	(92)
思考题与习题	(93)
§ 4-5 晶体管	(93)
一、晶体管的结构和工作原理	(93)
二、晶体管的特性曲线	(96)
三、晶体管的主要参数	(99)
四、利用万用表检查晶体管	(101)
思考题与习题	(103)
§ 4-6 场效应管	(104)
一、结型场效应管	(104)
二、绝缘栅场效应管	(107)
思考题与习题	(109)
§ 4-7 光电元件	(109)
一、发光元件	(110)
二、光电接收元件	(110)
思考题与习题	(113)
习题答案	(113)
第五章 放大器	
§ 5-1 晶体管交流放大器	(114)
一、交流放大器的基本电路	(114)
二、交流放大器的图解法	(117)
三、放大器的偏置与工作点的稳定	(123)
四、单管放大器的等效电路	(127)
五、射极输出器	(134)
思考题与习题	(137)
§ 5-2 多级放大器	(139)
一、多级放大器的组成和级间耦合方式	(139)
二、阻容耦合多级放大器	(140)
思考题与习题	(145)

§ 5-3 放大器中的负反馈	(146)
一、反馈的基本概念	(146)
二、负反馈的类型	(146)
三、反馈放大器的方框图分析	(150)
四、负反馈对放大器性能的影响	(152)
思考题与习题	(157)
§ 5-4 功率放大器	(158)
一、功率放大器的特点	(158)
二、变压器耦合单管功率放大器	(160)
三、推挽功率放大器	(162)
四、互补对称功率放大器	(165)
思考题与习题	(169)
§ 5-5 直流放大器	(170)
一、直流放大器的特点和类型	(170)
二、直流放大器级间的耦合方式	(170)
三、直流放大器的零点漂移	(171)
四、差动式放大器的基本原理	(173)
五、差动放大器的典型电路	(175)
六、改进差动放大器性能的电路	(178)
七、差动放大器的输入和输出方式	(181)
思考题与习题	(184)
§ 5-6 场效应管放大器	(185)
一、偏置电路	(185)
二、基本放大电路	(187)
思考题与习题	(188)
§ 5-7 集成运算放大器	(189)
一、集成运算放大器简介	(189)
二、集成运算放大器的典型电路和主要技术参数	(190)
三、集成运算放大器的应用原理	(193)
四、集成运算放大器组成的运算电路	(197)
五、集成运算放大器的其它应用电路举例	(200)
思考题与习题	(202)
习题答案	(203)
第六章 正弦波振荡器	
§ 6-1 正弦波振荡器的工作原理	(205)
一、由放大器到振荡器	(205)
二、振荡条件	(206)
三、振荡的建立与稳定	(207)

思考题与习题	(208)
§ 6-2 LC 振荡器	(208)
一、LC 并联谐振电路与 LC 振荡器的组成	(208)
二、变压器反馈式 LC 振荡器	(213)
三、电感三点式 LC 振荡器	(216)
四、电容三点式 LC 振荡器	(218)
五、推挽式振荡器	(219)
六、LC 振荡器的基本分析方法和调整措施	(220)
思考题与习题	(223)
§ 6-3 RC 振荡器	(225)
一、RC 移相式振荡器	(225)
二、采用 RC 串并联选频网路的振荡器	(228)
三、采用双 T 选频网路的振荡器	(230)
思考题与习题	(232)
§ 6-4 石英晶体振荡器	(234)
一、石英晶体的基本特性及等效电路	(234)
二、石英晶体振荡电路	(235)
思考题与习题	(236)
习题答案	(237)

第七章 直流稳压电源

§ 7-1 整流电路	(238)
一、单相半波整流电路	(239)
二、单相全波整流电路	(240)
三、单相桥式整流电路	(241)
四、倍压整流电路	(241)
思考题与习题	(243)
§ 7-2 滤波电路	(243)
一、电容滤波电路	(244)
二、电感滤波电路	(245)
三、LC 滤波电路	(246)
四、 Π 型滤波电路	(247)
思考题与习题	(248)
§ 7-3 稳压电路	(248)
一、稳压管稳压电路	(248)
二、单管串联式晶体管稳压电路	(250)
三、串联式晶体管稳压电路	(250)
思考题与习题	(256)
习题答案	(257)

第八章 数字电路基础和门电路

§ 8-1 脉冲的概念与数字式测量系统举例·····	(258)
§ 8-2 二进制计数制·····	(260)
一、十进制与二进制·····	(260)
二、二进制整数与十进制整数的相互换算·····	(261)
思考题与习题·····	(263)
§ 8-3 逻辑代数的基本运算规则·····	(263)
一、最基本的逻辑运算·····	(263)
二、公理和定理·····	(264)
思考题与习题·····	(266)
§ 8-4 二极管的开关特性·····	(266)
一、二极管的开关作用·····	(266)
二、二极管的开关特性·····	(267)
思考题与习题·····	(269)
§ 8-5 晶体管的开关特性·····	(269)
一、晶体管的三种工作状态·····	(269)
二、晶体管的开关特性·····	(270)
思考题与习题·····	(273)
§ 8-6 基本逻辑门电路·····	(273)
一、关于逻辑电路的几个问题·····	(273)
二、与门·····	(274)
三、或门·····	(276)
四、非门·····	(277)
思考题与习题·····	(279)
§ 8-7 复合门电路·····	(280)
一、与非门·····	(280)
二、或非门·····	(283)
三、异或门·····	(284)
思考题与习题·····	(285)
§ 8-8 集成逻辑门电路·····	(285)
一、DTL门电路·····	(286)
二、HTL与非门·····	(287)
三、TTL门电路·····	(288)
四、CMOS集成门电路·····	(292)
思考题与习题·····	(293)
习题答案·····	(293)

第九章 触发器

§ 9-1 基本双稳态触发器·····	(294)
---------------------	-------

一、基本双稳态触发器的构成和稳定状态	(294)
二、置1、置0和逻辑功能	(295)
思考题与习题	(296)
§ 9-2 钟脉冲 R - S 触发器	(297)
一、钟脉冲 R - S 触发器的构成	(297)
二、钟脉冲 R - S 触发器的逻辑功能	(297)
三、钟脉冲 R - S 触发器应用举例	(299)
思考题与习题	(300)
§ 9-3 双稳态触发器的几种逻辑功能	(300)
一、 R - S 触发器	(300)
二、 D 触发器	(302)
三、 J - K 触发器	(302)
四、 T 触发器	(303)
思考题与习题	(304)
§ 9-4 维持-阻塞触发器	(304)
一、对称型维持-阻塞 R - S 触发器	(305)
二、非对称型维持-阻塞 D 触发器	(306)
思考题与习题	(308)
§ 9-5 主从触发器	(309)
一、主从触发器的基本原理	(309)
二、主从 J - K 触发器	(309)
思考题与习题	(311)
§ 9-6 双稳态触发器的简单应用举例	(313)
一、单脉冲发生器	(313)
二、三进制计数器	(313)
思考题与习题	(314)
§ 9-7 单稳态触发器	(315)
一、微分型单稳态触发器	(315)
二、积分型单稳态触发器	(317)
思考题与习题	(318)
§ 9-8 多谐振荡器和施密特触发器	(318)
一、多谐振荡器	(318)
二、施密特触发器	(319)
思考题与习题	(321)
第十章 基本数字部件和数-模、模-数转换器	
§ 10-1 寄存器	(322)
一、数码寄存器	(322)
二、移位寄存器	(324)

三、集成寄存器·····	(327)
思考题与习题·····	(327)
§ 10-2 计数器·····	(328)
一、二进制计数器·····	(328)
二、十进制计数器·····	(333)
三、集成计数器举例·····	(336)
思考题与习题·····	(337)
§ 10-3 译码器和数码显示器·····	(338)
一、二进制数码的显示·····	(338)
二、数码显示器·····	(339)
三、辉光数码管的译码器和显示电路·····	(340)
四、荧光数码管的八段译码显示电路·····	(344)
思考题与习题·····	(344)
§ 10-4 数-模和模-数转换器·····	(345)
一、数-模转换器·····	(346)
二、模-数转换器·····	(347)
思考题与习题·····	(349)
参考文献·····	(349)

附 录

附录一 常用电阻和电位器·····	(350)
附录二 常用电容器·····	(352)
附录三 半导体器件型号表示方法·····	(354)
附录四 集成电路型号表示方法·····	(255)

第一章 直流电路

直流电路，就是电流、电压、电动势等物理量的大小和方向不随时间变化而变化的电路。

这一章的内容包括：电路的基本定律；电路的基本连接方式；简单和复杂电路的分析和计算。这些内容虽然在直流电路中提出来，但原则上也适用于其它各种电路，它是分析和计算电路的理论基础。

学习这一章，要记住一些基本定律，要掌握分析和计算电路的方法。

§ 1-1 直流电路的基本概念

一、电路、电路图

电路，就是电流所流经的路径。它一般由电源、负载及中间环节三部分组成。图1-1是一个简单的电路。

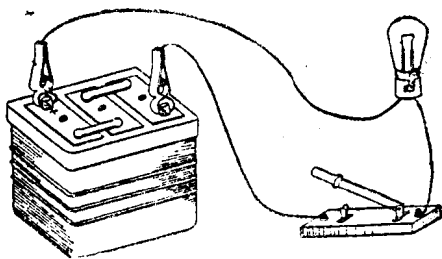


图 1-1 由电源、负载、连接导线和开关组成的简单电路

蓄电池是这个电路的电源，在它内部电源力的作用下，可使电源的两级保持一定的电位差，使得电路中的电流源源不断。蓄电池内部的电源力来自蓄电池内部的化学能，这种化学能是在充电时由电能转换来的。当蓄电池两极接上负载后，它就处于放电状态，将化学能转换成电能送给负载。所以说，电源是把其它形式的能量转换成电能的设备。

灯泡是这个电路的负载，它把电能转换成光能，从而消耗电能。其它如电炉、电烙铁和电动机等电气设备都是电路的负载，它们分别将电能转换成热能和机械能等不同形式的能量。

这个电路的中间环节是导线和开关。导线传输电能，开关控制电路。当合上开关时，电路接通，灯泡才亮。

实际工作中遇到的电路比上述电路复杂得多。为了便于分析和计算电路，画电路的图形时，都用规定的符号代表电路中的具体元件，这样画出的电路图形称为电路图。常用的电路元件符号列在表1-1中。

表 1-1

电路元件的符号

元 件 名 称	符 号	元 件 名 称	符 号
电 源		导 线	
有源元件		交叉并相连接的导线	
电阻 (负载)		交叉不相连接的导线	
可变电阻		开 关	
电 位 器		熔 丝	
灯 泡		电 流 表	
电 感		电 压 表	
电 容		接机壳点	
电解电容		接 地 点	

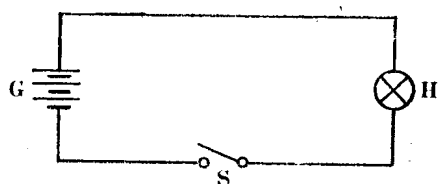


图 1-2

根据表中列出的电路元件符号，图 1-1 可简化为图 1-2 所示的电路图。图中电源 G 表示蓄电池，H 为灯泡，S 为开关。

二、电路的基本物理量

电路有传输电能的作用。在传输过程中，各基本物理量之间有一定的关系，这些基本物理量包括电流、电压、电动势。

1. 电流

电荷的定向移动，形成电流。

金属导体中有自由电子，半导体中有带正电和带负电的载流子；导体和半导体中都可能电荷的流动，而绝缘体中几乎没有带电粒子，因此我们说，形成电流的内在因素是物体中有可以作定向运动的带电粒子。

电流有大小，也有方向。电流的大小用电流强度来表示，一个截面上的电流强度的大小等于单位时间内通过这个截面的总电量。对于直流电流，如果用 I 表示电流强度，在时间 t 内通过截面的总电量为 q ，则

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

在国际单位制中, 电流强度的单位是安培, 符号为A。对于较大或较小的电流强度, 还用千安(kA)、毫安(mA)或微安(μA)为单位, 其换算关系为 $1\text{A} = 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A}$ 。

电流的路径是导线组成的电路, 它在空间没有一定的方向, 但它沿导线流动, 因此在电路图中要标明电流的方向。人们习惯规定正电荷运动的方向作为电流的方向。在进行电路计算时, 有时并不知道电流的实际方向, 此时则先假定一个方向, 称为电流的“正方向”, 计算之后, 若结果为正值, 表示电流的实际方向与假定的正方向相一致; 若结果为负值, 则表示电流的实际方向与假定的正方向相反。

2. 电压和电位

电流有和水流类似的性质, 它是从高电位流向低电位。水位是由地势的高低造成的, 而电位的高低是由带电体聚集电荷的正负造成的。假如有两个金属球A、B, 如图1-3所示, A聚集正电荷, B聚集负电荷; 聚集正电荷的金属球电位高, 聚集负电荷的金属球电位低。

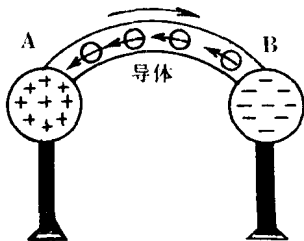


图 1-3 电位不同的两个金属球

当用导线把金属球连上时, 导线中就有电流流过。这两个金属球之间电位的差别就称为电位差或电压。电压的符号用 V 表示, 电压的单位是伏特(V)、千伏(kV)、毫伏(mV)。某两点之间的电压, 有时注以两个下标, 如A、B两点之间的电压称 V_{AB} 。电压的方向为电压下降的方向, 即从高电位指向低电位, V_{AB} 即表示电压方向从A点到B点。在分析和计算电路过程中, 有时难确定电压方向, 所以对某一电压可先规定电压正方向, 再根据计算结果中的正负号来判断实际方向。

讲到电压之前就涉及到电位的概念, 电位与电压既密切相关又有区别。电路中各点的电位与参考点的选择有关, 是一个相对的概念; 而电路中任意两点间的电压是个绝对量, 与参考点的选择无关; 这就好象两座山的高度是从地平面算起, 还是从海平面算起, 其数值是不同的, 但两座山的高度之差, 不管从哪个平面算起总是一定的。

通常, 参考点的电位定为零, 因此, 电位有正负之分。某点电位高于参考点电位时为正, 低于参考点电位时为负。参考点是任选的, 但在电气工程中, 常选择大地的电位为零电位, 接地符号为“ $\perp$ ”。但电路中不一定有真正的接地点, 这时常常将许多元件一起接在某一条公共线上或接在机壳上, 这条公共线或机壳也称为地线, 就把它定为参考点, 其接地符号用“ $\perp$ ”表示。

3. 电势

导体中形成电流的外界因素是导体两端存在电压。图1-3中, 当用导线连接两球时, 导体中的自由电子就从低电位的金属球B流向高电位的金属球A, 形成了方向从A到B的电流。但这样的电流只能短暂存在, 不能长久持续下去; 因为随着电流的流动, A上的正电荷越来越少, 流到B上的正电荷与B本身具有的负电荷中和, B上的负电荷也越来越少; 当A、B间的电位差减到零时, 导线中的电流就消失了。

如果能把流到B的正电荷不断取走, 并送回到A去, 就能维持A、B间存在的电压, 从而就能得到持续的电流。要使正电荷从低电位处移向高电位处, 需要借助于外力, 即电

源力。具有电源力的导体叫做有源元件。所谓电源，就是起维持电源力存在作用的有源元件。

电源力将正电荷从低电位处移向高电位处要做功，为了衡量做功的大小，定义电源力把电量为 q 的正电荷从它的负极移到正极所做的功 W 与 q 的比值为电源的电动势，用符号 E 表示，即

$$E = \frac{W}{q} \quad (1-2)$$

电动势的单位是伏特 (V)，它的方向规定为沿电源内部从低电位点 (负极) 指向高电位点 (正极)，这就是说，在电源内部，电流是从负极流向正极；而在电源外部的电路中，电流是从正极通过负载流向负极。

电源两极之间的电压称为端电压。由于规定的电压方向是电位降低的方向，规定的电动势方向是电位升高的方向，因此，电源端电压的方向和它的电势的方向是相反的。例如，用内附箭头的圆表示电源，如图1-4所示，圆中的箭头表示电势的方向， b 是负极， a 是正极，端电压的方向，则是从 a 到 b 的，如果它的电动势为 E ，则它开路时的端电压 $V = E$ 。

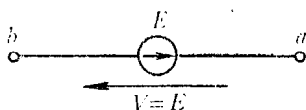


图 1-4 电源的端电压和电势方向相反

三、欧姆定律

电压、电流、电势是电路的三个基本物理量，而电阻则是电路中的参数。对电压、电流、电势作了介绍之后，我们进一步探讨由它们所反映出来的电路基本定律。

欧姆定律总结了电阻元件的电压、电流和电阻间的关系。电阻元件的电流总是从高位的一端流向低电位的一端，如图1-5所示，它表明：电阻元件的电压方向和电流方

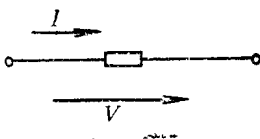


图 1-5 电阻元件的电压和电流的方向

向总是一致的。欧姆定律的内容是：在一段电阻电路上，电阻元件的电压和电流的大小成正比。用 R 表示电阻元件的阻值， V 和 I 表示电阻元件的电压和电流，则欧姆定律的表达式为

$$R = \frac{V}{I} \quad (1-3)$$

式中， I 的单位为安培 (A)； V 的单位为伏特 (V)； R 的单位为欧姆 (Ω)。

欧姆定律是电工学中最基本的定律，在生产实际中非常有用。根据欧姆定律，知道 V 、 I 、 R 中任意两个量就可以求出第三个量的大小。

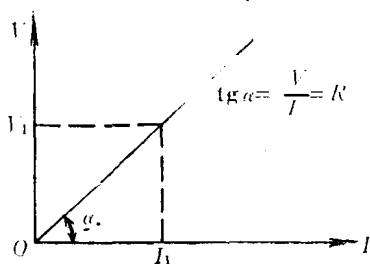


图 1-6 电阻的伏安特性曲线

如果用电压作为纵坐标，电流为横坐标，不同电压值对应不同电流值，可画出一根通过原点的直线，称为电阻的伏安特性，如图1-6所示。若伏安特性是直线，这样的电阻称为线性电阻。由线性电阻组成的电路称为线性电阻电路，欧姆定律适用于线性电阻电路。

对于完整电路来说，欧姆定律的表达方式有所不同，如图1-7a)所示，它是由电源G、用电器R、开关S以及导线组成的电路。电源内部有电阻 R_0 ，为分析方便，将 R_0 画在电源符号的外面，如图1-7b)所示。由前面讨论的一段电路欧姆定律可知，电阻R上的电压为

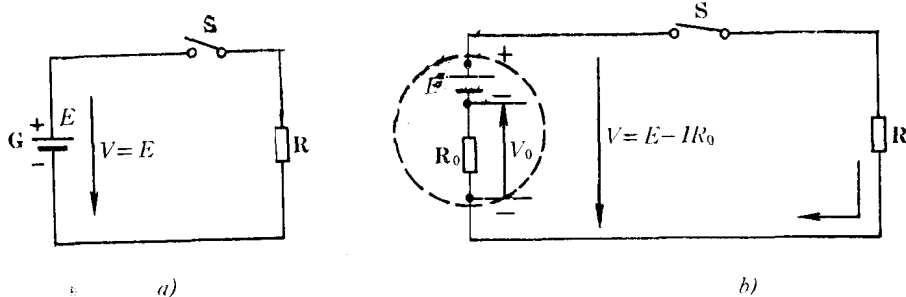


图 1-7 最简单的完整电路

$$V = IR$$

同样，在内电路中，电源内电阻 R_0 上的电压为

$$V_0 = IR_0$$

在闭合电路中，电源产生的电压升等于电路中的电压降，所以

$$E = V + V_0 = IR + IR_0$$

$$I = \frac{E}{R + R_0} \quad (1-4)$$

这就是全电路欧姆定律表达式。此公式表明：电路中流过的电流大小与电动势成正比，与整个电路的电阻成反比。通常，电动势 E 和内阻 R_0 认为是不变的，因此外电路电阻 R 的变化是影响电流大小的唯一因素。

变换公式(1-4)，得到

$$V = E - IR_0$$

从上式可看出，当电流增大时，端电压会减小，因为电源内部电阻要降掉部分电压。当电路断开时，相当于电路空载，电流 I 为零，此时 $V = E$ ，即电源两端的电压等于电动势。

四、克希荷夫第一定律

掌握欧姆定律，只能对简单的电路进行分析和计算，但在生产实践中，常碰到比较复杂的电路。分析这类复杂电路，需用克希荷夫定律。