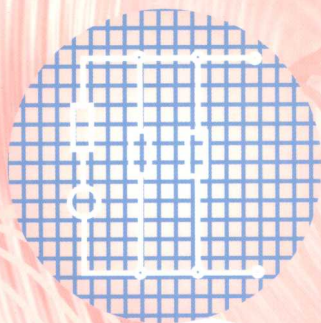




化工技工学校教材

电工电子技术 技术原理

淮南动力技工学校
张立高 主编



化学工业出版社

(京) 新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术技术原理/淮南动力技工学校 张立高主编.
北京: 化学工业出版社, 1999.2
(化工技工学校教材)
ISBN 7-5025-2342-1

I. 电… II. 张… III. ①电工技术-技工学校-教材②电子技术-技工学校-教材 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 35287 号

化工技工学校教材

电工电子技术

技术原理

淮南动力技工学校

张立高 主编

责任编辑: 张建茹

责任校对: 陶燕华

封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

新华书店北京发行所经销

北京市密云云浩印制厂印刷

三河市前程装订厂装订

*

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 17 $\frac{3}{4}$ 字数 440 千字

1999 年 4 月第 1 版 1999 年 4 月北京第 1 次印刷

印 数: 1—4000

ISBN 7-5025-2342-1/G·646

定 价: 20.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换

内 容 提 要

本书是根据原化工部颁发的全国化工技工学校仪表维修专业《电工电子技术基础
技术原理
技能培训
教学大纲》编写的。

全书共分十五章。前四章为：电路的基本概念和基本元件、直流电路分析、正弦交流电、变压器及微型电动机的基本知识；后十一章为：半导体器件、整流滤波电路、单管放大电路、多级交流放大电路、正弦波振荡器、直流放大器、集成运算放大器、晶体管直流稳压电源、数字电路、模/数和数/模转换以及调制型直流放大器。每章都附有相应的习题。本书的图形、文字符号均采用新的国家标准。

本书适合技工学校化工仪表维修专业（工种）学生使用，也可作为相关专业中级工的培训教材。

前 言

化工技工学校为经济建设服务,为化学工业的发展和进步服务,近20年来各校陆续开办了化工仪表维修专业(工种),为企业输送了对口的技术工人。化工自动化仪表更新换代的速度很快,仪表维修技术的广度和深度拓展很宽,化工仪表维修成为一个很重要的工种,劳动部和国家教委1986年末颁发的《技工学校工作条例》,明确规定了中级技术工人的培养目标。对照化工仪表维修工种中级工的技术等级标准和《条例》中技工学校招收初中毕业生,学制三年的规定,化工技工学校完成化工仪表维修中级工的培养目标教学改革的任务十分迫切。在原化工部教育司的直接领导下,化工技校教学指导委员会电仪专业组,从1987年开始有组织、有计划地进行了广泛的调查和深入研讨,制定了以技能培训为主导的教学计划,并相应编写了成套培训教材。

化工仪表维修工种的培训教材为对应的两大系列:技能培训教材和技术原理教材。又依照仪表维修技术的内涵,各分六个部分,即《钳工、管工基础》、《电工电子技术》、《化工测量仪表》、《电动控制仪表》、《气动控制仪表》、《化工自动化系统》。技能培训教材依照实习课题的体例编写,技术原理则仍以章节的体例编写。

考虑到各化工技工学校的实习设施和相关条件不尽相同,欲使整套教材都能适应,如对实习条件较弱的学校,可按照原化工部颁发的教学计划,技术原理教材用作技术基础课和专业课的理论教材,技能培训教材用作实习指导教材;而对实习条件较强的技工学校,就可以以操作技能培训为主线,两部教材一一对应使用,做到讲和练的有机结合,有效地提高培训质量。

这套教材涉及技能培训与技术原理的相关问题,其对应部分之间相关问题的解决比较复杂。天津化工机电技术学校高继群、原化工部淮南动力技工学校宋家霖、天津师范大学杨健和陕西兴平高级技工学校牛连和在编写过程中发挥了主导作用;化工出版社对编写工作进行了热情指导;审稿过程中得到了天津市化工机电技术学校,原化工部淮南动力技工学校,太原化工技校,陕西兴平高级技工学校,山东鲁南化工技校,吉林化工技校,南化公司技工学校,浙江巨化公司技工学校,上海吴泾化工厂技校,云南省化工技校,重庆化工技校,西安医药化工技校,辽宁盘锦化工技校等单位的大力支持。在此一并致谢。

本套教材的编写过程,时间跨度较大,各种不足之处在所难免,热切希望听到对这套教材的批评指导。

本书是电工电子技术基础的技术原理教材。它既与对应部分的技能培训教材相配套,又自成体系,作为学习电工电子技术基础的理论用书。书中加*号部分为选学内容,编写过程中力求做到实用性、科学性、先进性;分析问题深入浅出,语言叙述通俗易懂,尽量避免过多的理论推导和数学计算。每章配有一定数量的习题,供使用者选用。

本书共分十五章,淮南动力技工学校张立高编写了一至十二、十四至十五章;南京化学工业公司技工学校潘群编写了份量较重的第十三章。全书由张立高主编,太原化工技校王黎明主审。另外,参加审稿的有:太原化工技校陆善平、天津化工机电技术学校赵春华、四川省化工技校方文钦、山东鲁南化工技校苗成泉。

全国化工技校教学指
导委员会电仪专业组

1998年7月

目 录

| | |
|--------------------|----|
| 第一章 电路的基本概念和基本元件 | 1 |
| 第一节 电路的基本概念 | 1 |
| 第二节 电路的基本元件 | 4 |
| 习题一 | 11 |
| 第二章 直流电路分析 | 13 |
| 第一节 分压与分流 | 13 |
| 第二节 基尔霍夫定律 | 17 |
| 第三节 支路电流法和回路电流法 | 19 |
| 第四节 叠加原理 | 22 |
| 第五节 电压源、电流源的等效变换 | 24 |
| 第六节 戴维南定理 | 27 |
| 习题二 | 29 |
| 第三章 正弦交流电 | 32 |
| 第一节 正弦交流电的基本概念 | 32 |
| 第二节 单相交流电路 | 38 |
| 第三节 三相交流电的基本知识 | 51 |
| 第四节 安全用电 | 55 |
| 习题三 | 58 |
| 第四章 变压器与微型电动机的基本知识 | 60 |
| 第一节 变压器的基本知识 | 60 |
| 第二节 仪用变压器简介 | 62 |
| 第三节 微型电动机简介 | 64 |
| 习题四 | 69 |
| 第五章 半导体器件 | 71 |
| 第一节 半导体二极管 | 71 |
| 第二节 半导体三极管 | 74 |
| 第三节 场效应管 | 79 |
| 第四节 晶闸管和单结晶体管 | 83 |
| 习题五 | 88 |
| 第六章 整流滤波电路 | 89 |
| 第一节 单相整流电路 | 89 |
| 第二节 滤波电路 | 92 |
| 第三节 硅稳压管稳压电路 | 96 |
| 习题六 | 97 |
| 第七章 单管放大电路 | 99 |

| | | |
|-------------|--------------------|------------|
| 第一节 | 放大电路的组成与工作原理 | 99 |
| 第二节 | 放大电路的图解法分析 | 101 |
| 第三节 | 放大电路的微变等效电路分析法 | 106 |
| 第四节 | 放大电路的偏置稳定电路 | 110 |
| 习题七 | | 112 |
| 第八章 | 多级交流放大电路 | 114 |
| 第一节 | 概述 | 114 |
| 第二节 | 多级电压放大电路 | 114 |
| 第三节 | 负反馈在放大电路中的应用 | 118 |
| 第四节 | 功率放大电路 | 125 |
| 习题八 | | 135 |
| 第九章 | 正弦波振荡器 | 137 |
| 第一节 | 正弦波振荡器的基本原理 | 137 |
| 第二节 | RC型正弦波振荡器 | 138 |
| 第三节 | LC型正弦波振荡器 | 141 |
| 第四节 | 间歇振荡器 | 144 |
| 习题九 | | 147 |
| 第十章 | 晶体管直流放大器 | 149 |
| 第一节 | 概述 | 149 |
| 第二节 | 直接耦合放大器 | 150 |
| 第三节 | 差动式放大器 | 153 |
| 第四节 | 差动电路的四种输入、输出接线方式比较 | 157 |
| 习题十 | | 160 |
| 第十一章 | 集成运算放大器 | 162 |
| 第一节 | 集成电路简介 | 162 |
| 第二节 | 典型的集成运放组件简介 | 163 |
| 第三节 | 集成运放的基本接法及其闭环特性 | 166 |
| 第四节 | 集成运放的典型应用电路 | 169 |
| 习题十一 | | 173 |
| 第十二章 | 晶体管直流稳压电源 | 176 |
| 第一节 | 晶体管串联型固定式稳压电源 | 176 |
| 第二节 | 晶体管串联型可调式稳压电源 | 177 |
| 习题十二 | | 183 |
| 第十三章 | 数字电路 | 185 |
| 第一节 | 概述 | 185 |
| 第二节 | 逻辑门电路 | 186 |
| 第三节 | 数制及逻辑代数 | 199 |
| 第四节 | 组合逻辑电路 | 208 |
| 第五节 | 集成触发器 | 216 |
| 第六节 | 时序逻辑电路 | 222 |

| | |
|------------------------------|------------|
| 第七节 脉冲的产生与变换..... | 228 |
| 习题十三..... | 242 |
| 第十四章 模/数转换与数/模转换..... | 249 |
| 第一节 概述..... | 249 |
| 第二节 模/数转换器 (ADC) | 251 |
| 第三节 数/模转换器 (DAC) | 255 |
| 习题十四..... | 257 |
| 第十五章 调制型直流放大器* | 258 |
| 第一节 调制器..... | 258 |
| 第二节 解调器..... | 260 |
| 第三节 JF-12 型调制式直流放大器 | 264 |
| 第四节 自激调制式直流放大器..... | 266 |
| 习题十五..... | 268 |
| 附录..... | 270 |
| 参考书目..... | 275 |

第一章 电路的基本概念和基本元件

第一节 电路的基本概念

一、电路及其组成部分

电路就是电流所经过的路径。

图 1-1 (a) 是用干电池、开关、导线和小灯泡组成的简单电路。若将开关合上，电路中就有电流流过，小灯泡就发光，若将开关打开，电路中没有电流流过，小灯泡就不亮。将电池、开关、小灯泡及它们之间的连接导线用对应的电路符号按照实际电路的连接方法，画成如图 1-1 (b) 所示的图形，叫做电路图。

若电路中通过的是恒定的电流，称为直流电路，若通过的是大小和方向都在不断变化的电流，称为交流电路。

电路一般由三部分组成：

- (1) 电源 电路中电能的来源，如电池、发电机等。
- (2) 负载 电路中各用电设备的总称，如电灯、电炉、电动机、电阻、电容、电感等。
- (3) 中间环节 电路中传输、分配和控制电能的部分，如金属导线，开关、熔断器等。

电路又可分为外电路和内电路。从电源的一端经过负载再回到电源的另一端的电路称为外电路，电源内部的通路称为内电路。在图 1-1 所示的简单电路中，开关、小灯泡组成的电路即是外电路，干电池两极间（即内部）的电路就叫内电路。

二、电流

电荷的定向运动形成电流。

电流的强弱用电流强度表示，其定义是：一秒钟内通过导体横截面的电量叫做电流强度，用 I 表示。若在 t 秒钟通过某导体横截面的电量是 Q 库仑，则电流强度 I 就可表示为

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

电流强度的单位是安培。即 1 秒钟内通过导体横截面的电量是 1 库仑，则电流强度就是 1 安培。

安培简称安，用字母 A 表示。比安培小的单位有 mA（毫安）、 μ A（微安），它们之间的换算关系是：

$$\begin{aligned} 1\text{A} &= 10^3\text{mA} \\ 1\text{mA} &= 10^3\mu\text{A} \end{aligned}$$

习惯上规定，正电荷定向运动的方向为电流的方向。但在实际应用中，在不知道电路中实际电流方向时，可以设定参考方向，若按参考方向计算的电流强度为正值，则表示选取的

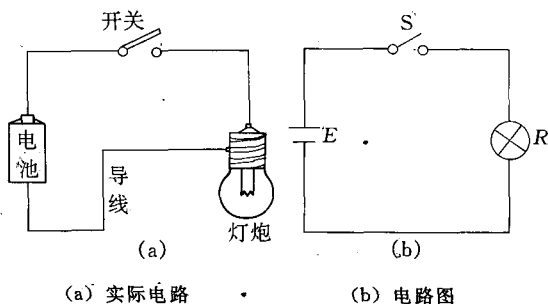


图 1-1 简单电路

参考方向与实际电流方向一致，若计算的电流强度为负值，则表示参考方向与实际电流方向相反。

三、电压、电位、电动势

1. 电压

如图 1-2 所示，电场力把单位正电荷从 a 点移动到 b 点所做的功，称为 a、b 两点间的电压，记作 U_{ab} 。其定义式为



$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{q} \quad (1-2)$$

应当指出，因为电路中也有电场存在，所以在电场中定义的电压的概念，同样适用于电路中。

电压的单位是伏特。若电场力把 1 库仑的电量从一点移动到另一点所做的功是 1 焦耳，则两点间的电压为 1 伏特。

伏特简称伏，用字母 V 表示。比伏特大的单位是 kV（千伏）、比伏特小的单位有 mV（毫伏）、 μ V（微伏），它们之间的换算关系是：

$$1\text{kV} = 10^3\text{V}$$

$$1\text{V} = 10^3\text{mV}; 1\text{mV} = 10^3\mu\text{V}$$

习惯上规定，电压降低的方向为电压方向。但在实际应用中，可以在电路中标定电压的参考方向，若按参考方向得出的电压为正值，则说明参考方向与实际电压方向一致，若为负值，则说明参考方向与实际电压方向相反。

2. 电位

在电场或电路中任选一点为零参考点，则电场或电路中某点的电位可定义为该点到零参考点之间的电压。很明显，零参考点的电位为零电位。通常选择大地或电路中某公共点作为零电位点，俗称接地点，用“ \perp ”表示。

在图 1-3 所示的电路中，选取 d 点为接地点，则各点的电位分别为：

$$U_d = 0\text{V}$$

$$U_b = 1\text{V}$$

$$U_a = -2 + 1 = -1\text{V}$$

$$U_c = 3 + 1 = 4\text{V}$$

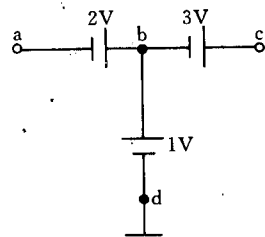


图 1-3 电位的计算

电位为负值，说明该点电位比零电位低。

由电位的定义可以看出，电压与电位之间存在以下关系。

(1) 电压即电位差。例如 $U_{ab} = U_a - U_b$ ，所以电位的单位与电压的单位相同。

(2) 电压的方向即是高电位指向低电位的方向。

(3) 电位与参考点的选择有关，在同一电路中，若参考点一经选定，则各点电位也随之确定，而电压与参考点的选定无关。

3. 电动势

电源是将其他形式的能转换成电能的装置。电动势就是反映电源这种将其他形式的能（如化学能、机械能、光能）转换成电能的本领的物理量。如图 1-4 所示，在电源内部，由非静电力（又称电源力）将单位正电荷由负极搬运到正极所做的功，称作电源的电动势，其定义式为

$$E = \frac{W_s}{q} \quad (1-3)$$

式中 W_s 为非静电力克服电源内部电场力的作用将正电荷 q 从负极搬运到正极所做的功。电动势的单位是伏特，其方向规定为电源的负极指向正极（即电位升高的方向）。图 1-5 为电路中常用的电动势符号，电动势与电压的区别如下：

(1) 电动势反映了电源力做功的能力，而电压则反映的是电场力做功的能力。

(2) 电动势的方向规定为由电源负极指向正极（即电位升高的方向）；电压的方向规定为高电位指向低电位（即电位降低的方向）。

电工学中常使用的电源电压这个概念，它与电动势数值相同，但方向相反。

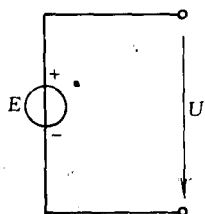


图 1-5 电源的电动势与电源电压

四、电功与电功率

1. 电功

把电能转换成其他形式的能（如热能、光能、机械能）时，电流都要做功。电流所做的功叫做电功。根据公式 $I = \frac{Q}{t}$ 、 $U = \frac{W}{Q}$ ，可得电功 W 的数学表达式为：

$$W = QU = UIt \quad (1-4)$$

上式表明，电流在某段电路上所做的功，跟这段电路两端的电压、电路中的电流强度和通电的时间成正比。

电功的单位是焦耳。电流强度为 1A 的电流在两端电压为 1V 的某段电路中，1 秒钟内所做的功就是 1 焦耳。焦耳简称焦，用字母 J 表示。

2. 电功率

电功率是反映电流做功的快慢的物理量。把单位时间内电流所做的功，称作电功率，用字母 P 表示。其定义式为：

$$P = \frac{W}{t} \quad (1-5)$$

由于 $W = UIt$ ，所以常见的电功率的计算公式为：

$$P = UI \quad (1-6)$$

电功率的单位是瓦特。1 瓦特 = 1 焦耳/秒 = 1 伏安。瓦特简称瓦（用字母 W 表示）。比瓦大的单位是 kW（千瓦）、比瓦小的单位是 mW（毫瓦），它们之间的换算关系为：

$$\begin{aligned} 1\text{kW} &= 10^3\text{W} \\ 1\text{W} &= 10^3\text{mW} \end{aligned}$$

电功与电功率的区别在于：电功只能反映一段时间内电流所做的功的大小，而电功率则反映电流做功的快慢。

在实际工作中，某用电器所做的功（消耗的电能）常用下式计算：

$$W = Pt \quad (1-7)$$

用 kW·h（千瓦时）也称“度”来表示。平时常说的 1 度电就是指 1kW·h（1 千瓦时）。

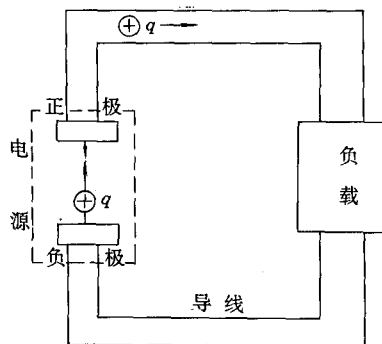


图 1-4 电源内部能量转换示意图

五、电路的三种状态

通常，接触到的电路有三种状态，如图 1-6 所示：(a) 通路，(b) 开路，(c) 短路。

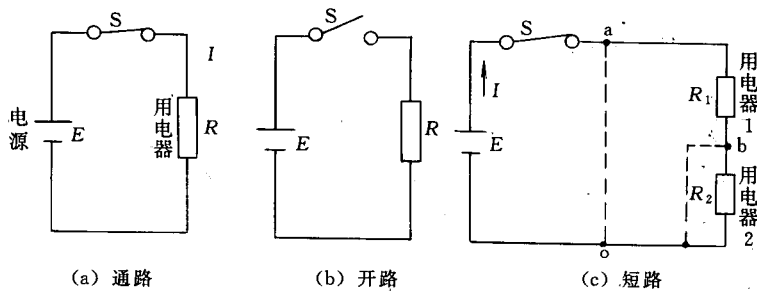


图 1-6 电路的三种状态

1. 通路

通路即指电路中的开关闭合，电路中有电流流过，电源和用电器都能正常工作。

2. 开路

开路也称断路。即指电路中开关断开或某处没有连接好。电源不带负载时也称电源开路。开路状态的明显特征是：电路中没有电流流过，电源两端的电压在数值上与电动势相等。

3. 短路

短路又称捷路。即指电路中电源两端或部分用电器两端用导线直接接通或因其他原因（如设备的绝缘层损坏，错误地操作等）被连接在了一起。在图 1-6 (c) 中，用电器 2 两端用导线连在一起，称作部分短路；电源两端用导线连在一起，称作电源短路。电源短路是绝对不能允许的，它会因为强大的短路电流烧坏电源和其他电器设备，甚至引起火灾事故。因此，电路中通常要安装熔断器（俗称保险丝）或其他自动保护装置，就是为了防止短路事故的发生。短路状态的明显特征是：电路中的电流急剧增大，电源两端的电压明显降低甚至等于零。

第二节 电路的基本元件

一、电阻

1. 电阻

导体对其通过的电流有阻碍作用，电阻就是表示某导体对电流阻碍作用的大小的物理量。通常电阻用字母 R 表示，它在电路中的符号是 $\text{—}\square\text{—}$ 。电阻的单位是 Ω （欧姆），当导体两端的电压为 1V（伏特），流过导体的电流是 1A（安培），这段导体的电阻就是 1Ω （欧姆）。

欧姆简称欧，用字母 Ω 表示。比欧姆大的单位有 $k\Omega$ （千欧） $M\Omega$ （兆欧），它们的换算关系是：

$$1M\Omega = 10^3k\Omega$$

$$1k\Omega = 10^3\Omega$$

导体的电阻是客观存在的，它不随导体两端的电压大小而变化，即使没有电压，导体的电阻仍然存在。

实验证明，导体的电阻与它们的几何尺寸和材料有关。在一定的温度下，一段截面均匀、材料相同的金属导体的电阻为

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-8)$$

式中 ρ ——金属导体的电阻率，与材料的性质有关，单位为 $\Omega \cdot m$ （欧米）；

l ——导体的长度，单位为 m (米)；

S ——导体的横截面的面积，单位为 m^2 (平方米)。

人们常说的电阻，具有双重含意，它既表示理想的电阻元件，又表示电阻值的大小。譬如，电路中某电阻 R ，是指的电阻元件，而说某电阻 R 为多少欧姆，则指的是电阻值。

2. 电导

电阻的倒数称为电导，用字母 G 表示。其定义式为：

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-9)$$

电导是反映导体导电能力的物理量。电导的单位为西门子，简称 S (西)， $1S = \frac{1}{1\Omega}$ 。

3. 欧姆定律

实验证明：在一段不含源的电阻电路中，见图 1-7 所示，通过该段电路的电流与两端的电压成正比，与该段电路的电阻成反比，即

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{或} \quad U = IR \quad (1-10)$$

称为一段不含源电路的欧姆定律，简称欧姆定律。

4. 电阻的串联

两只或两只以上的电阻首尾依次连接的方式，称作电阻的串联，如图 1-8 所示。由图可以看出，电阻串联的特点是：

- (1) 每只电阻中流过同一电流 I ；
- (2) 各电阻上的电压和等于总电压 U ，即

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \cdots + U_n$$

- (3) 串联后的等效电阻等于各串联电阻之和，即

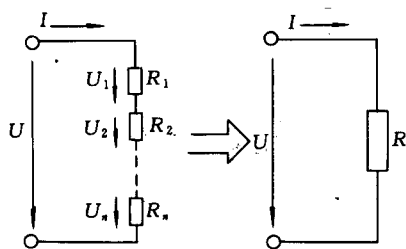
$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_n \quad (1-11)$$

5. 电阻的并联

两只或两只以上的电阻一端接在一起，另一端也接在一起，使每只电阻两端都承受同一电压的作用，这种连接方式称作电阻的并联，如图 1-9 所示。由图中可以看出，电阻并联有以下特征：

- (1) 每只电阻两端承受同一电压 U ；
- (2) 并联电路中总电流等于各电阻中的电流之和，即

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \cdots + I_n$$



(a) 电阻串联 (b) 等效电阻

图 1-8 电阻的串联

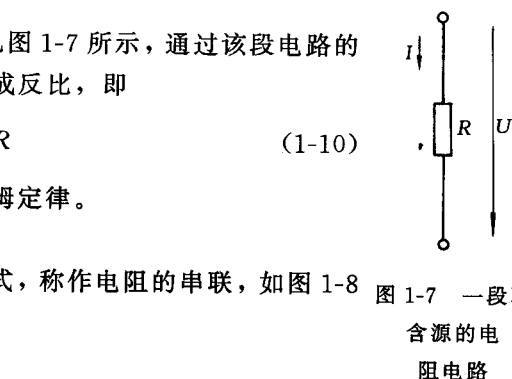
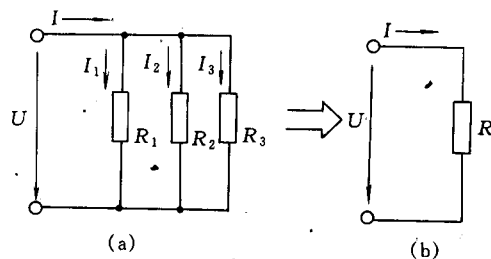


图 1-7 一段不含源的电阻电路



(a) (b)

图 1-9 电阻的并联

利用欧姆定律可以推知，并联后的等效电阻的倒数（即总电导），等于各并联电阻的倒数（分电导）之和，即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (1-12)$$

或

$$G = G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_n \quad (1-13)$$

两只电阻并联（用“//”表示并联），并联后的等效电阻为：

$$R = R_1 // R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (1-14)$$

6. 电阻的混联

既有电阻串联又有电阻并联的电路，习惯上称为电阻的混联电路，如图 1-10 所示。

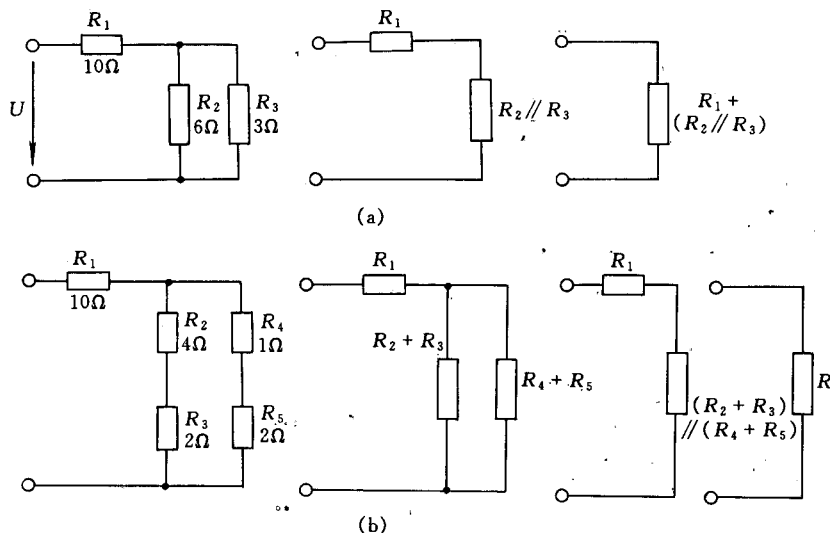


图 1-10 电阻的混联与化简

计算电阻混联的等效电阻时，要根据电路的实际情况，分清各电阻相互联接的关系，灵活运用串联和并联电路的知识，一般先求可以看出并联或串联部分的等效电阻，逐步化简，见图 1-10 (a)、(b)。最后求出总的等效电阻。

例 求图 1-10 (a) 所示电阻混联电路的总等效电阻 R 。

解 图中明显看出 R_2 和 R_3 是并联关系，其等效电阻 R'_2 为

$$R'_2 = R_2 // R_3 = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = \frac{6 \times 3}{6 + 3} = 2\Omega$$

电阻 R_1 与 R'_2 是串联关系，则总的等效电阻 R 为

$$R = R_1 + R'_2 = 10 + 2 = 12\Omega$$

在图 1-10 (b) 所示的电阻混联电路中， R_2 和 R_3 、 R_4 和 R_5 可以明显看出是串联关系，分别求出它们各自的等效电阻后，电路就简化为图 (a) 所示的情形，仿照电路 (a) 的解法，就可求出总的等效电阻值。

二、电容

1. 电容器

电容器是一种能储存电荷或电能的元件。其基本结构是被绝缘体隔开的两个金属导体板

的组合物。其中两个导体板叫做极板，中间的绝缘物质叫做介质。电容器的种类很多，按电介质的不同，可分为空气、纸质、云母、陶瓷、涤纶、玻璃釉、电解电容器等；按结构的不

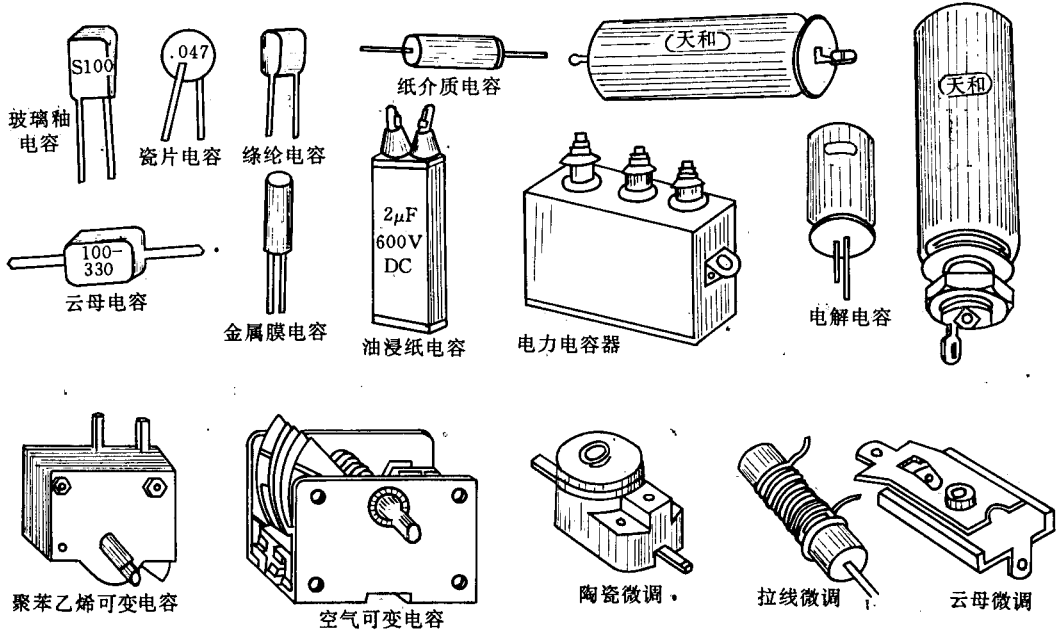


图 1-11 电容器的外形图

同，又分为固定、可变和半可变电容器三种。部分电容器的外形、名称如图 1-11 所示。各种类电容器的电路符号如图 1-12 所示。

2. 电容量

如果将电容器的两个极板分别接到直流电源的两端，如图 1-13 所示。这时两极板间就有电压 U ，在电场力的作用下，驱使自由电子运动，使两极板上聚集数量相等、符号相反的电荷，与电源正极相连的极板带正电荷，与电源负极相连的极板带负电荷。

实验证明，对某一电容来说，其中任一极板所带的电量与极板间的电压的比值是一个常数，写作

$$C = \frac{Q}{U} \tag{1-15}$$

式中， C 为电容器的电容量。它是一个反映电容器储存电荷本领的物理量。电容量的单位为法拉。若电容器两极板间加 1 伏的电压，每极板上所储存的电荷量是 1 库仑，则它的电容量为 1 法拉。

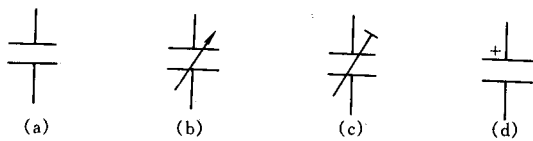


图 1-12 电容器的电路符号
(a). 一般符号；(b) 可变电容器；
(c) 微调电容器；(d) 电解电容器

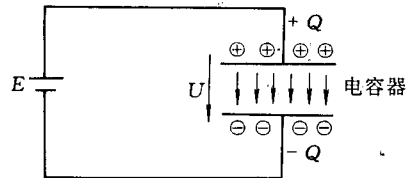


图 1-13 接直流电源的电容器

法拉简称法，用字母 F 表示。法的单位太大，在实际应用中，常用较小的单位 μF （微法）、 pF （皮法），它们之间的换算关系是：

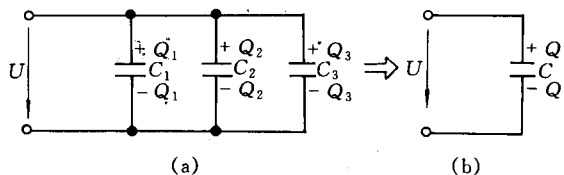


图 1-14 电容器的并联

$$1\text{F} = 10^6 \mu\text{F} = 10^{12} \text{pF}$$

人们常说的电容有双重含意，它既表示电容器，又表示电容量，譬如电路中某电容 C_1 指的是电容器 C_1 ，选择或计算 C_1 等于多少微法，指的又是电容量。

3. 电容器的并联

两只或两只以上的电容器并联，如图 1-14 所示，有以下明显特征：

- (1) 每只电容器两极板间承受相同电压 U ；
- (2) 并联后的等效电容器相当于一只极板面积增大了的电容器，因此储存电荷的总量为

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n$$

因此，并联后等效电容器的总电容量 C 为

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n \quad (1-16)$$

4. 电容器的串联

两只或两只以上的电容器串联，如图 1-15 所示，具有以下明显特征：

- (1) 总电压等于各电容器极板间电压之和，即

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n$$

- (2) 各电容器所带的电量相等，即

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots = Q_n$$

根据公式 $U = \frac{Q}{C}$ 推知，串联电容器的等效电容量的倒数等于各串联电容器的电容量的倒数之和，即

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n} \quad (1-17)$$

若两只电容器 C_1 、 C_2 串联，其等效电容量 C 为

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \quad (1-18)$$

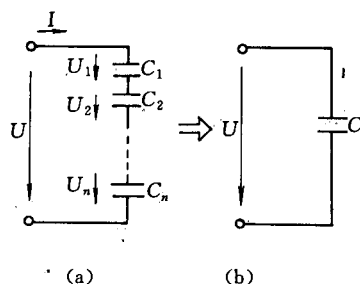
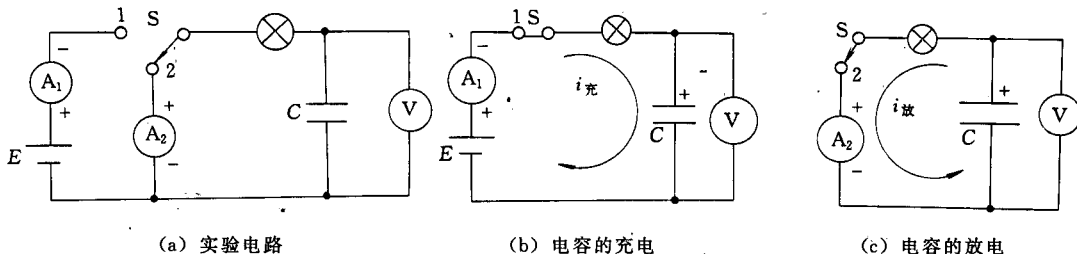


图 1-15 电容器的串联

5. 电容器的充电和放电

将电容器接成如图 1-16 所示的实验电路，可以观察到它的充电和放电现象。

(1) 电容器的充电 在图 1-16 (a) 所示的实验电路中，在开关 S 没有接通电源以前，电路中用于监测电流和电压的电流表和电压表读数为零，灯泡不亮，说明电路中没有电流，也



(a) 实验电路

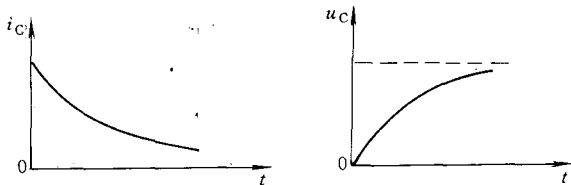
(b) 电容的充电

(c) 电容的放电

图 1-16 电容器充放电实验

不存在电压。

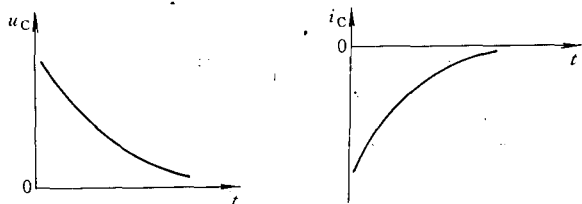
当开关 S 接通触点 1 时, 电源被接通, 其电路如图 1-16 (b) 所示。灯泡起初较亮逐渐熄灭, 与此同时, 电流表 A_1 的读数由起初的较大逐渐减小直到回零, 并接在电容器两端的电压表读数由开始的零值逐渐升高, 经过一定时间后稳定在电源电压值。这一现象可以通过曲线图 1-17 描述。实验说明, 接通电源的一段短暂时间内, 电路中有电流流过电容器, 这个电流由开始的瞬间最大逐渐减小, 经过一定时间后完全消失。与此同时, 电容器两端的电压由开始的瞬间零值逐渐增大, 经过一定时间后, 达到电源电压稳定下来。这一过程叫做电容器的充电过程, 充电过程中通过电容的电流叫做充电电流。充电过程结束后, 通过电容器电流为零, 电容器两端的电压 $U_c \approx E$, 电容器储存的电荷 $Q \approx CE$ 。



(a) 电容器中电流变化 (b) 电容器两端电压变化

图 1-17 电源接通时, 电容器中电流和电压的变化

(2) 电容器的放电 电容器充电结束以后, 电容器上的电压 $U_c \approx E$, 这时若将开关 S 接通触点 2, 切断它与电源 E 的联系, 构成如图 1-16 (c) 所示的电路, 注意观察: 灯泡由起初的较亮逐渐熄灭, 与此同时, 电流表 A_2 的读数也由起初的最大值逐渐回零, 电压表的读数由起初的 E 值逐渐降低回零。这一过程可由曲线图 1-18 描述。实验说明, 充电后的电容器在与负载形成回路的短暂时间内, 电路中有电流流过, 这个电流叫作放电电流, 这个电流由开始瞬间最大逐渐变小, 其方向与充电电流方向相反。电容器上的电压也由起初的 E 逐渐降低, 这一过程叫做电容器的放电过程。放电过程结束, 电容器上的电压为零, 回路中的电流也为零。



(a) 电压变化曲线 (b) 电流变化曲线

图 1-18 电容器放电过程中电压和电流变化曲线

由上述两个实验观察到的现象表明, 电容器在充放电过程中有电流流过, 充放电过程结束, 电流随之消失。在电容器的充电过程中, 两极板上所储存的电荷不断地积累而增加; 在放电过程中, 极板上原先聚集的电荷不断地释放、中和而减少。由此推知, 电容器中电流的变化与电荷量随时间的变化率 $\left(\frac{\Delta Q}{\Delta t}\right)$ 成正比, 即

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = C \frac{\Delta U_c}{\Delta t} \quad (1-19)$$

应当指出, 电容器这种仅仅只在接通直流电源的短暂时间内才有电流流过, 这种现象今后在分析电子和电动仪表的电路时可予以忽略, 而在充电以后的长时间内没有电流通过, 相当于把直流电流隔断, 因此可以认为电容器有隔直流的作用。

如果用大小和方向交替变化的电源或电压, 接在电容器的两端, 致使电容器反复地充电和放电, 电路中就会有大小和方向交替变化的电流流过。

三、电感

1. 电感元件

用金属导线绕制的线圈常被人们作为电感元件使用。但实际线圈存在绕线电阻, 有电流

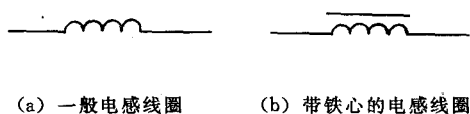


图 1-19 电感元件的电路符号

流过时就会消耗能量,为了研究的需要,人们从中抽象出一种无任何能量损耗的理想化的电感线圈,定义它为电感元件。电感元件的电路符号如图 1-19 所示。

2. 电磁感应定律

将电感线圈、检流计接成如图 1-20 所示的实验电路。用一块条形磁铁作下述实验,注意观察检流计指针的变化。

(1) 当条形磁铁不动时,检流计的指针停在零位不动。

(2) 当条形磁铁迅速地向线圈中插入或从线圈中拔出时,检流计的指针对应地出现方向不同的偏转。

(3) 条形磁铁插入或拔出的愈快,检流计指针对应的偏转幅度愈大。

以上实验表明,条形磁铁的运动,引起了线圈内磁通量(通过与磁场方向垂直的单位面积上磁力线的根数)的变化,使回路中产生了感应电动势(因而检流计中有电流流过)。感应电动势的大小与穿过回路的磁通量的变化率(即变化快慢)成正比,这个规律就叫做法拉第电磁感应定律。

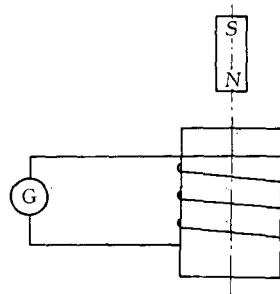


图 1-20 电磁感应实验

让我们通过下面两个实验观察电感线圈的自感现象。

在图 1-21 所示的电路中,HL1、HL2 为两只完全相同的灯泡,电阻为 R , L 为铁心电感线圈,线圈的电阻和 R 相等。

当开关 S 闭合时,灯泡 HL2 立即发亮,而灯泡 HL1 则逐渐变亮。说明接有电感线圈 L 的电路中,电流有一个由无到有、由小到大的变化过程,而接有电阻 R 的电路没有这一过程。

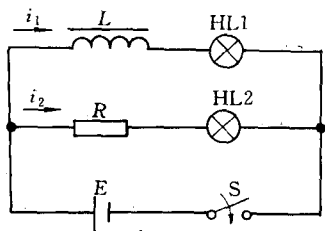


图 1-21 电感接通电源

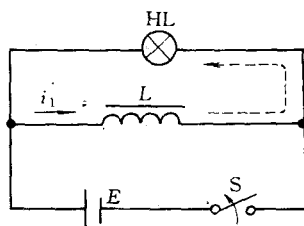


图 1-22 电感从电源上断开

在图 1-22 所示的电路中,线圈电阻比灯泡 HL 的电阻小很多。

当开关 S 接通时,注意观察:灯泡 HL 不亮。说明灯泡 HL 中几乎没有电流流过。当开关断开的瞬间,灯泡 HL 突然亮了一下又逐渐熄灭了。说明断开电源时,由电感 L 与灯泡 HL 组成的闭合电路中却有一个由大到小的电流流过。

对以上的实验结果分析后不难得出这样的结论:凡与电感线圈相接的电路,接通电源时,流过电感线圈的电流不能突然增大;切断电源时,电感线圈中的电流也不会立即消失,因此,电感线圈具有阻止电流变化的作用。

由电感线圈阻止电流变化的现象可知,电感线圈内的磁通发生了变化,根据法拉第电磁感应定律,电感线圈两端产生了感应电动势阻止了线圈中电流的变化。我们把这种由于流过线圈本身的电流变化而引起的电磁感应叫做自感应,简称“自感”。