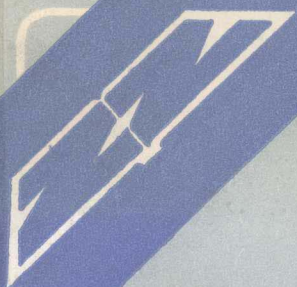
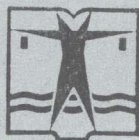


中等专业学校教材

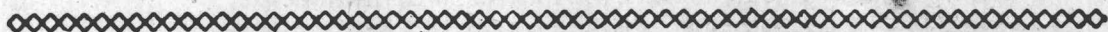


电工与电子技术基础

湖北省水利水电学校 盛传鼎 主编

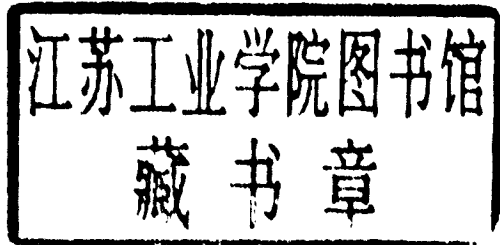


中等专业学校教材



电工与电子技术基础

湖北省水利水电学校 盛传鼎 主编



(京)新登字 115 号

内 容 提 要

本书分上、下两篇。上篇为电工技术部分,包括直流电路、电磁、单相及三相交流电路、变压器、三相异步电动机及其控制、电工仪表及测量、安全用电等八章;下篇为电子技术基础部分,包括半导体二极管、三极管,半导体交流放大器、正弦波振荡器、直流放大器与运算放大器、直流电源电路、脉冲电路、数字电路基础等七章。

本书可作为四年制中专水利水电类各非电专业的《电工与电子技术基础》课程的教材。由于上、下篇分别自成体系,故也可用作三年制职工中专非电专业的《电工学》或《电子技术基础》课程的教材,还可作为有关专业相应课程的函授教材。

基于本书的编写特点,它还适于具有初中毕业水平的人自学《电工与电子技术基础》之用。

中等专业学校教材

电工与电子技术基础

湖北省水利水电学校 盛传鼎 主编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

北京市朝阳区小红门印刷厂印刷

*

787×1092 毫米 16 开本 25.25 印张 573 千字

1995 年 11 月第一版 1995 年 11 月北京第一次印刷

印数 0001—6570 册

ISBN 7-120-02159-1/TV·845

定价 19.30 元

前 言

本书是根据水利部在1989年1月颁发的《1990~1995年中等专业学校水利水电类专业教材选题和编审出版规划》中规定为新编,并按在同年8月由水利机电专业组在南昌召集的课程组会上讨论制定、1990年水利部批准的教学大纲编写的。

编写本书的目的是为了解决水利水电类各非电专业,如水文、水管、测量等专业《电工与电子技术基础》课程尚缺相适应的教材这一矛盾。

在编写本书的过程中,参与编写的几位老师,都从各自的多年教学实践出发,注重了对每个问题物理意义的阐释,力求用浅显易懂的语言和循序渐进的讨论,使学生了解和掌握电工与电子技术的基本概念、基本规律和基本分析方法。还特别注意了每个问题的起点和引入,以及如何使每个问题的讨论尽可能地符合人对事物的认识过程,以期做到易教好学。还考虑到中等专业学校特点,在举例及例题中,尽量联系实际,希望以此加强学生分析处理实际问题能力的锻炼。书中每章之后附有小结及一定数量的思考题和习题。书后附录主要作为学生认识器件、解题和培养查阅手册能力之用。

电气产品近年来升级换代很快,电子技术的发展更是日新月异,所以编写时注意了教材内容的更新。电气设备部分所介绍的均为新型号产品,电子技术部分在以分立器件为基础的同时,也加强了集成器件如集成运放、集成稳压器,特别是数字集成电路的介绍和讨论。

本书分上、下两篇。上篇电工技术部分的第一至第四章由湖南省水利电力学校彭少华老师编写;第五至第八章由陕西省水利学校辛仲轩老师编写。下篇电子技术基础部分的第九至第十二章由湖北省水利水电学校盛传鼎老师编写;第十三至第十五章由湖北省水利水电学校刘永胜老师编写。盛传鼎老师任全书主编。

云南省水利水电学校扈宝鼎老师担任本书的主审,对主书稿进行了认真仔细的审阅,提出许多具体的修改的意见和建议。1991年11月,水利部水利水电中专教研会在昆明召开的电工课程组会专门对本书稿进行了审查评议,会上广东省水电学校周宝銮老师、郑州水利学校张裕齐老师及其它兄弟学校的一些教师对本书也提出了宝贵意见。对此,编者谨在此一并致以衷心的感谢!

限于编者的学识水平,书中不妥甚至错误之处,诚恳希望广大读者批评指正!

编 者

1992年9月于武汉

目 录

前 言

上篇 电 工 技 术

| | |
|-------------------------|----|
| 第一章 直流电路 | 1 |
| 第一节 电路及其基本物理量 | 1 |
| 第二节 简单电路的计算 | 5 |
| 第三节 基尔霍夫定律 | 8 |
| 第四节 支路电流法 | 10 |
| 第五节 电压源与电流源 | 12 |
| 第六节 戴维南定理 | 15 |
| 小结 | 17 |
| 思考题与习题 | 18 |
| 第二章 电磁 | 22 |
| 第一节 磁场及其基本物理量 | 22 |
| 第二节 铁磁物质的磁性 | 26 |
| 第三节 磁路的基本概念 | 28 |
| 第四节 电磁感应 | 29 |
| 小结 | 34 |
| 思考题与习题 | 34 |
| 第三章 单相交流电路 | 37 |
| 第一节 正弦交变电动势的产生 | 37 |
| 第二节 相位和相位差 | 41 |
| 第三节 交流电的有效值 | 44 |
| 第四节 正弦量的矢量表示法 | 45 |
| 第五节 纯电阻电路 | 48 |
| 第六节 纯电感电路 | 50 |
| 第七节 纯电容电路 | 53 |
| 第八节 电阻与电感串联的交流电路 | 57 |
| 第九节 电阻、电感与电容串联的电路, 串联谐振 | 61 |
| 第十节 感性负载与电容器并联的电路 | 64 |
| 小结 | 69 |
| 思考题与习题 | 70 |
| 第四章 三相交流电路 | 74 |
| 第一节 三相交流电源 | 74 |
| 第二节 三相负载 | 78 |

| | |
|---------------------------|-----|
| 第三节 三相电路的功率 | 85 |
| 小结 | 87 |
| 思考题与习题 | 88 |
| 第五章 变压器 | 90 |
| 第一节 变压器概述 | 90 |
| 第二节 单相变压器 | 91 |
| 第三节 三相变压器与互感器 | 96 |
| 小结 | 102 |
| 思考题与习题 | 102 |
| 第六章 三相异步电动机及其控制 | 104 |
| 第一节 三相异步电动机的结构和工作原理 | 104 |
| 第二节 异步电动机的转差率和机械特性 | 111 |
| 第三节 三相异步电动机的铭牌及技术数据 | 113 |
| 第四节 三相异步电动机的起动 | 116 |
| 第五节 常用低压电器 | 120 |
| 第六节 三相异步电动机常用控制电路 | 128 |
| 小结 | 133 |
| 思考题与习题 | 134 |
| 第七章 电工仪表及测量 | 136 |
| 第一节 电工测量的一般知识 | 136 |
| 第二节 电流和电压的测量 | 138 |
| 第三节 电功率和电能的测量 | 143 |
| 第四节 电桥与电位差计 | 148 |
| 第五节 兆欧计、万用表及其使用 | 151 |
| 小结 | 154 |
| 思考题与习题 | 155 |
| 第八章 安全用电 | 156 |
| 第一节 安全用电常识 | 156 |
| 第二节 电气设备的保护接地和保护接零 | 157 |
| 第三节 防雷知识 | 159 |
| 小结 | 161 |
| 思考题与习题 | 161 |

下篇 电子技术基础

| | |
|-------------------------|-----|
| 第九章 半导体二、三极管 | 162 |
| 第一节 半导体的基础知识 | 162 |
| 第二节 半导体二极管 | 168 |
| 第三节 半导体三极管 | 172 |
| 第四节 半导体二、三极管的简易测试 | 181 |
| 小结 | 183 |

| | |
|-------------------------------|------------|
| 思考题与习题 | 184 |
| 第十章 晶体管交流放大器 | 187 |
| 第一节 基本放大电路 | 187 |
| 第二节 放大电路的图解分析法 | 191 |
| 第三节 放大电路的微变等效电路分析法 | 198 |
| 第四节 静态工作点的稳定 | 201 |
| 第五节 阻容耦合多级放大器 | 204 |
| 第六节 具有负反馈环节的放大器 | 207 |
| 小结 | 215 |
| 思考题与习题 | 216 |
| 第十一章 正弦波振荡器 | 221 |
| 第一节 正弦波振荡器的基本概念 | 221 |
| 第二节 LC 正弦波振荡器的几种形式 | 224 |
| 第三节 石英晶体振荡器 | 227 |
| 小结 | 230 |
| 思考题与习题 | 230 |
| 第十二章 直流放大器与运算放大器 | 233 |
| 第一节 直接耦合放大器 | 233 |
| 第二节 差动放大器 | 235 |
| 第三节 运算放大器 | 240 |
| 第四节 集成运算放大器的应用 | 247 |
| 第五节 功率放大器 | 251 |
| 小结 | 258 |
| 思考题与习题 | 259 |
| 第十三章 直流电源电路 | 263 |
| 第一节 单相整流电路 | 263 |
| 第二节 滤波电路 | 266 |
| 第三节 硅稳压管稳压电路 | 270 |
| 第四节 串联型晶体管稳压电源 | 272 |
| 第五节 晶闸管 | 279 |
| 第六节 可控整流电路 | 283 |
| 第七节 晶闸管的触发电路 | 286 |
| 小结 | 293 |
| 思考题与习题 | 293 |
| 第十四章 脉冲电路 | 296 |
| 第一节 脉冲电路的基础知识 | 296 |
| 第二节 晶体管的开关特性 | 299 |
| 第三节 反相器 | 301 |
| 第四节 多谐振荡器 | 305 |
| 第五节 单稳态触发器 | 307 |

| | |
|-------------------------------|------------|
| 第六节 双稳态触发器 | 309 |
| 小结 | 314 |
| 思考题与习题 | 314 |
| 第十五章 数字电路基础 | 316 |
| 第一节 逻辑门电路 | 316 |
| 第二节 数制和逻辑代数 | 334 |
| 第三节 组合逻辑电路基础 | 341 |
| 第四节 集成触发器 | 347 |
| 第五节 计数器和寄存器 | 354 |
| 第六节 译码器和数字显示器 | 361 |
| 第七节 集成脉冲电路及 555 定时器 | 366 |
| 第八节 数-模和模-数转换的概念 | 372 |
| 小结 | 377 |
| 思考题与习题 | 378 |
| 附录 | 382 |
| 附录 1 几种小型配电变压器的主要技术数据 | 382 |
| 附录 2 几种互感器的主要技术数据 | 382 |
| 附录 3 几种低压熔断器的技术数据 | 383 |
| 附录 4 几种刀开关的技术数据 | 384 |
| 附录 5 几种交流接触器的主要技术数据 | 384 |
| 附录 6 几种热继电器的主要技术数据 | 385 |
| 附录 7 自动空气开关的主要技术数据 | 385 |
| 附录 8 几种起动器的技术数据 | 386 |
| 附录 9 常用电机、电器的图形符号 | 386 |
| 附录 10 国产半导体分立器件型号命名方法 | 387 |
| 附录 11 部分半导体二、三极管的主要参数 | 389 |
| 附录 12 部分稳压二极管的主要参数 | 391 |
| 附录 13 部分三端集成稳压器的主要参数 | 391 |
| 附录 14 晶闸管的命名方法及部分晶闸管的参数 | 392 |
| 附录 15 部分单结晶体管的参数 | 393 |
| 附录 16 我国半导体集成电路命名方法 | 393 |
| 附录 17 我国 TTL 集成电路命名方法 | 394 |
| 附录 18 我国 CMOS 集成电路命名方法 | 395 |
| 参考文献 | 396 |

上篇 电 工 技 术

第一章 直 流 电 路

本章的主要内容，包括电路的基本物理量（如电流、电压、电动势及电功率）和电路的基本定律（如欧姆定律和基尔霍夫定律）等。此外还要讨论复杂直流电路的几种分析方法，如电压源与电流源的等效变换，戴维南定理及支路电流法等。

通过学习，要求理解与掌握电路的基本物理量及基本定律、定理，并能运用这些定律和定理去分析处理问题。

第一节 电路及其基本物理量

一、电路的组成及其作用

电路就是电流通过的闭合路径。电流可分为直流与交流两种。方向不变的电流称为直流电流，简称直流。方向与大小都保持不变的电流称为恒定直流，也简称为直流。方向与大小随时间作周期性地变化，而且在一个周期内平均值等于零的电流称为交变电流，简称交流。图 1-1 为一最简单的直流电路，它由电源、负载、连接导线和控制设备等四个部分组成。

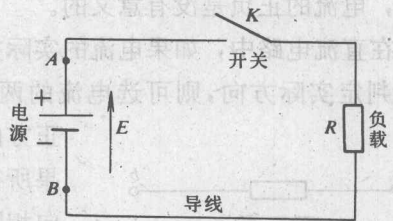


图 1-1 简单的直流电路

本章仅讨论通过恒定电流的直流电路。

电源是将非电能转换成电能和设备，例如发电机、电池等。

负载就是各种用电设备。它的作用是将电能转换成其它形式的能量，例如电动机、电灯、电炉、电视机等。

连接导线的作用是将电源和负载接成回路，实现电能的传输和分配。

控制设备的作用则是对电路进行控制和保护，如开关、熔断器等。

一般将负载、连接导线和控制设备等电源以外的电路称为外电路；电源内部的一段电路称为内电路。

判断一个装置在电路中究竟是电源还是负载的关键在于看它是产生电能还是消耗电能。例如同是蓄电池，将它与灯泡连接成电路时，它向灯泡提供电能使灯泡发光，这时它是电源。而为了向蓄电池充电，将它接到另外适当的直流电源上，蓄电池是取用电能变为化学能贮存起来，这时的蓄电池就成了负载。

二、电路的基本物理量

电路的基本物理量有：电流、电压和电动势等。在直流电路中，它们都是与时间无关

的量。

(一) 电流与电流的正方向

(1) 电流。电荷的定向运动就形成了电流。习惯上规定正电荷运动的方向作为电流的实际方向。

电流的大小用单位时间内通过导体某一横截面的电量来衡量，并称为电流强度，习惯上也常将之简称为电流，用符号 I 表示。

对于恒定电流，若以 Q 表示在时间 t 内通过导体某横截面的总电量，则电流的大小为

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

式中：电量 Q 的单位为库仑，C；时间 t 单位为秒，s；电流 I 单位为安培，A。

电流强度的辅助单位有：千安 (kA)、毫安 (mA) 和微安 (μA)。它们的关系是

$$1\text{kA} = 10^3\text{A}, 1\text{A} = 10^3\text{mA}, 1\text{mA} = 10^3\mu\text{A}$$

(2) 电流的正方向。在简单电路中，电流的实际方向容易根据电源的极性予以判定，对于复杂电路，电流的实际方向一般难于直接判断，但在导体中电流方向只有两种可能。因此，可引用正负数的概念，在其可能的两个方向中任意选定一个方向作为电流的正方向（或称参考方向），亦即作为决定其数值为正的标准。如果电流的实际方向与正方向一致，电流为正值。如果电流的实际方向与正方向相反，则电流为负值。这样规定的益处是，一个电流的大小和方向便由一个正或负的数值同时表达出来了，而且不致因为无法判断电路中电流的实际方向无法予以分析计算。当然，不难理解，在未选定电流的正方向即参考方向之前，电流的正负是没有意义的。

在直流电路中，如果电流的实际方向已知，则应选取电流的实际方向为正方向。如果不能判定实际方向，则可选电流的两个可能方向中的任一方向为正方向，并在所认定的

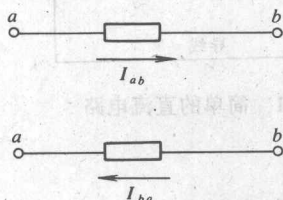


图 1-2 电流的参考方向的标注

正方向下，根据有关定律对电路进行分析计算。当求解结果所得电流为正值时，则表明电流的实际方向与所选正方向相同。若所得电流为负值，由以上规定可知，这表明电路中电流实际方向与所选正方向相反。

在电路图中，电流的正方向通常用箭头表示，也可用双下标表示，如图 1-2 所示。显然， I_{ab} 表示该电流的正方向为由 a 至 b ，而 I_{ba} 则表示该电流的正方向是由 b 至 a 。本书电路图中所标出的电流方向，均为正方向。

(二) 电压和电动势及其正方向

(1) 电压。在电场中，电场力能移动电荷做功，因此电场具有能量。电场中某点能量大小，可用单位电荷在该点所具有的电位能的大小来表示，并称为该点的电位。

直流电源有两个电极，这两个电极有不同的电位，其中电位较高的电极称为正极，电位较低的电极称为负极。如果用导线将电源两极与负载相连，则导线及负载内出现电场，在电场力作用下，电源正极及外电路中的正电荷将沿着外电路移向负极，从而形成电流。同时，电场力还对这些移动着的电荷做功，为了衡量电场力移动电荷做功的能力，引用了电

压这个物理量。电场或电路中某两点 A 、 B 之间的电压，它所表征的就是电场力将单位正电荷从 A 点移动到 B 点所作的功，记为 U_{AB} 。

应该说明，若单位正电荷从电源正极经外电路移到电源负极时，尽管这一过程中电场力对它作正功，由于负极电位较低，因而它在负极的电位能还是较低，这是因为在外电路的负载中，电能被转换成为了其它形式的能量的缘故。

设电场力将正电荷 Q 从 A 点移到 B 点所作的功为 A_{AB} ，则依前述， A 、 B 间的电压大小即为

$$U_{AB} = \frac{A_{AB}}{Q} \quad (1-2)$$

若 φ_A 表示 A 点电位， φ_B 表示 B 点电位，则 A 、 B 两点间的电压又可表示为

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$$

电压的单位为伏特 (V)。其辅助单位有千伏 (kV)、毫伏 (mV)。它们的关系是 $1\text{kV} = 10^3\text{V}$ ， $1\text{V} = 10^3\text{mV}$ 。

(2) 电动势。由以上讨论可知，为了维持外电路中的恒定电流，必须保持电源两极间的恒定电压。为此，从电源正极经由外电路到达负极的正电荷应不断地由低电位的负极，经电源内部被移回高电位的正极。但是电场力只能将正电荷从高电位点移向低电位点，而不能将正电荷从低电位点移向高电位点，可见，在电源内部必定存在另外某种非电力，这就是电源力。作为电源，正是因为具有这种非静电的电源力，正电荷才从它的低电位负极经其内部被移送到了高电位的正极，而维持两极间一个恒定的电压。为了衡量电源力在这一反抗电场力作功过程的能力，引进了电动势这个物理量，并定义电源的电动势的大小，等于电源力将单位正电荷从电源负极 B (参见图 1-1) 经电源内部移到正极 A 所作的功，记为 E_{BA} 。

设电源力将正电荷 Q 从电源负极 B 经其内部移到正极 A 所作的功为 A_{BA} ，则有

$$E_{BA} = \frac{A_{BA}}{Q} \quad (1-3)$$

电动势单位与电压单位相同。按习惯，电压的实际方向是从高电位点指向低电位点，电动势的实际方向，则是从电源的低电位端经电源内部指向高电位端。

为了便于分析计算，和电流一样，电压和电动势也必须选定正方向。当实际方向已知时，应选取实际方向为正方向，否则也可先暂任意选定，最后根据计算所得值的正负进而判定实际方向。电压和电动势的正方向也常用箭头表示，有时也用“+”、“-”号分别表示高电位端和低电位端，双下标也是常用的一种表示方法，如 U_{AB} 表示电压的正方向是 A 指向 B 。

对于一个电源来说，既有电动势又有电压，电动势仅仅存在于电源内部，在此电动势作用下电源两极间 (对外电路) 维持一个电压，这个电压也叫端电压。电源不带负载 (即外电路为开路) 时，电源的电动势与端电压大小相等、方向相反，而在带有负载时，端电压则小于电动势。

应该指出的是，电动势这一概念对理解电源的作用是有帮助的，但就通常所关心的外

电路的计算结果而言，一个电路具有从 B 到 A 的几伏电动势，与方向从 A 到 B 的几伏电压，这两者是没有区别的。所以近年来关于电路理论及某些教材中，已逐渐省略了电动势这个物理量。一个实际的电源在电路计算中也常常用一个适当的电源模型来替代，使计算变得方便一些。

(三) 电功率和电能

电流通过电路时，在电源和负载中都有能量的转换。

在电源内，是电源力将非电能转换成电能。根据电动势的定义可知，由非电能转换成的电能大小为

$$A = EQ = EIt$$

由于电功率 $P = \frac{A}{t}$ ，因此相应电源的电功率为

$$P_E = EI \quad (1-4)$$

当电源确实是作为电源向电路供给电能时， I 与 E 的方向相同，电流从电源的正极流出， P_E 表示电源产生的电功率，即电源将非电能转换成电能过程的功率；但在另一种情况，如前述蓄电池被充电时， I 与 E 的方向相反，电流是从“电源”的正极流进， E 则被称为反电动势，此时 P_E 表示的这个含有反电动势的负载所吸取的电功率，即它将电能转换成非电能过程的功率。

在负载中，是电场力将电能转换成非电能。根据电压的定义可知，由电能转换成非电能的大小为

$$A = UQ = UI t$$

相应的电功率为

$$P_U = UI \quad (1-5)$$

当 I 与 U 方向相同时，电流从电路的高电位端流进， P_U 表示的是电路的输入电功率；当 I 与 U 的方向相反时，电流从电路的高电位端流出， P_U 表示的是电路的输出电功率。

功率的单位是瓦特，简称瓦 (W)。显然

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

功率的辅助单位有千瓦 (kW)，兆瓦 (MW)，毫瓦 (mW)。它们的关系是

$$1\text{MW} = 10^3\text{kW} = 10^6\text{W}, \quad 1\text{kW} = 10^3\text{W}, \quad 1\text{W} = 10^3\text{mW}$$

电功率是电场力 (或电源力) 在单位时间转换的能量，亦即其所作的功，因此电功率和电能的关系为

$$A = Pt \quad (1-6)$$

式中： t 表示作功时间。

能 (或功) 的单位是焦耳，简称焦 (J)。较大的电能采用千瓦·小时 (kW·h) 为单位，它们的关系是

$$1\text{J} = 1\text{W} \times 1\text{s}, \quad 1\text{kW} \cdot \text{h} = 36 \times 10^5\text{J}$$

【例 1-1】 图 1-3 所示为电源给蓄电池充电的电路。设电源电压 $U = 24\text{V}$ ，蓄电池组的电动势 $E = 21\text{V}$ ，内阻 $R_0 = 0.3\Omega$ ，充电电流 $I = 10\text{A}$ 。求蓄电池输入的总功率，蓄电池转换

成化学能的电功率及内阻上所消耗的电功率。

解 由于 I 与 U 同方向, 故 $P_U > 0$ 。因此蓄电池组输入的总功率为

$$P_U = UI = 24 \times 10 = 240\text{W}$$

由于 I 与 E 反向, 故 $P_E < 0$, 因此 E 为反电动势。蓄电池转换成化学能部分的电功率为

$$P_E = EI = 21 \times 10 = 210\text{W}$$

蓄电池内阻上消耗的电功率为

$$P_{R_0} = I^2 R_0 = 10^2 \times 0.3 = 30\text{W}$$

校验: $30\text{W} + 210\text{W} = 240\text{W}$ 与蓄电阻输入的总功率相等, 故结果正确。

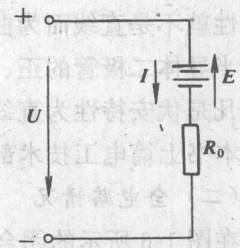


图 1-3 例 1-1 的图

第二节 简单电路的计算

一、欧姆定律及其应用

任何导体对通过它的电流都呈现阻力, 导体的这一性质称为电阻。实验表明, 通过导体的电流 I 与这段导体两端的电压 U 成正比, 而与这段导体的电阻 R 成反比, 这一关系称为欧姆定律 (Ohm's law)。

欧姆定律是用来分析计算电路的基本定律。在具体应用时分以下几种情况。

(一) 一段电阻电路的情况

图 1-4 (a) 是闭合电路的某一段, 它不含电源而仅有电阻元件, 故为一段电阻电路。在图示电压 U 与电流 I 正方向一致的条件下, 根据欧姆定律, U 、 I 、 R 三者有如下关系, 即

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-7)$$

上式也常被称为一段电阻电路的欧姆定律。式中电阻的单位为欧姆, 简称欧 (Ω)。

在这里欧姆定律表达了电阻元件两端的电压和其中电流的关系。这一关系在 U - I 平面坐标系中用曲线表示时, 为一条通过坐标原点的直线, 如图 1-4 (b) 所示, 称为电阻元件的伏安特性。

伏安特性曲线是一条直线的电阻叫做线性电阻, 其图形符号如图 1-5 (a) 所示。

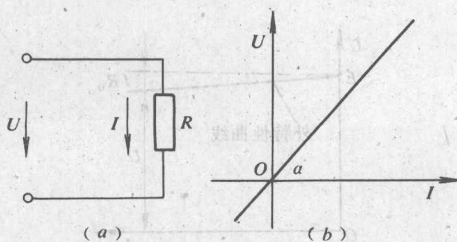


图 1-4 一段电阻电路

(a) 一段电阻电路; (b) 伏安特性曲线

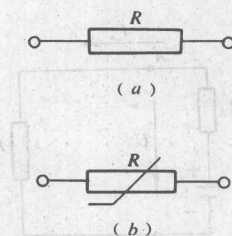


图 1-5 线性电阻与非线性电阻符号

(a) 线性电阻; (b) 非线性电阻

如果导体电阻不是一个常数，而随外加电压或通过它的电流的变化而变化，则它的伏安特性就不是直线而为曲线，这种电阻称为非线性电阻，其图形符号如图 1-5 (b) 所示。

半导体二极管的正、反向电阻和半导体三极管的输入电阻等，都属于非线性电阻。

凡是伏安特性为直线的元件，都称为线性元件。由线性元件组成的电路，称为线性电路。本书上篇电工技术部分，只讨论线性电路。

(二) 全电路情况

在图 1-6 所示的闭合电路中， E 表示电源的电动势， R_0 表示电源的内阻， R 为外电路负载电阻。在电动势的作用下，回路有电流 I 通过，其方向是从电源正极，经负载电阻到电源的负极，再通过电源内阻回到正极。

实验表明，这个闭合电路中的电流强度 I 与电源电动势 E 的大小成正比，与回路的总电阻 $(R+R_0)$ 成反比。在图示正方向情况下，上述关系可表示为

$$I = \frac{E}{R + R_0} \quad (1-8)$$

上式常被称为全电路的欧姆定律。

式 (1-8) 也可写成

$$E = IR + IR_0 \quad \text{或} \quad U = IR = E - IR_0 \quad (1-9)$$

式中： U 称为外电路的路端电压，也是电源的端电压； IR_0 为电源内部电压降。

式 (1-9) 表出了一个简单的闭合电路中 E 、 U 、 I 和 R_0 之间的关系。由于电源的电动势和内阻基本不变，且通常 $R_0 \ll R$ ，因此负载电阻是影响电路电流大小的决定性因素。

在负载增大（即负载电阻 R 的数值减小），因而电源的输出电流加大时， IR_0 即电源内部压降也随之加大，而 E 不变，由式 (1-9) 可知，电源的端电压 U 将降低。

反映电源的端电压与电源输出电流 I 之间的关系曲线 $U=f(I)$ 称为电源的外特性曲线，简称电源的外特性。由于一般情况下式 (1-9) 中的 E 和 R_0 可看作常量，这样绘出的电源外特性是一条直线，如图 1-7 所示。这一直线在纵轴上的截距等于电源电动势 E 。由此可见，电源内阻愈大，其外特性愈陡，这表明内阻愈小的电源，在输出电流变化时其端电压会更稳定。

当外电路断开时，电路中没有了电流，也就不存电源内阻上的压降，由式 (1-9)，这时电源端电压在数值上等于其电动势，即

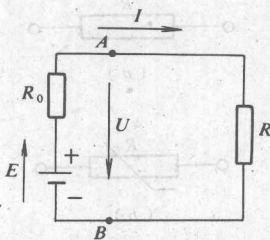


图 1-6 简单的闭合电路

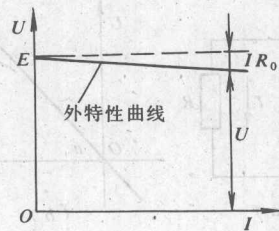


图 1-7 电源的外特性曲线

$$U = E \quad (1-10)$$

也就是说，电源的电动势的大小等于其开路时的端电压。

当 $R=0$ ，亦即外电路短路时，端电压 $U=IR$ 也就等于零，此时回路中的电流称为短路电流，由符号 I_s 表示。由式 (1-9) 可知

$$I_s = E/R_0 \quad (1-11)$$

由于 R_0 一般比负载电阻小得多，所以短路电流总是很大的。

(三) 一段含源电路的情况

参见图 1-6，图中 AB 两点间左侧包含有电源 E 的一段电路就是一段最简单的含源电路。图中 R_0 实际是电源的内电阻，因为 R_0 为纯电阻，依欧姆定律，它上面的压降应为

$$U_0 = IR_0$$

进一步，结合式 (1-9) 可得

$$U_0 = IR_0 = E - U \quad \text{或} \quad I = \frac{E - U}{R_0} \quad (1-12)$$

式 (1-12) 被称为一段含源电路的欧姆定律。它表明，对于某个闭合电路中的某一段含有电源的电路来说，这段电路两端必然存在一个端电压，这段电路中的电流大小，就等于所含电源的电动势与其端电压之差，再除以这段电路所含的电阻值。对于图 1-6 AB 两点左侧这段电路，所含电阻则仅为电源内阻 R_0 。

综上所述，欧姆定律对于一段电阻电路、全电路及一段含源电路，各有不同的表述方式。在分析计算电路时，应根据问题性质，正确地选用。

【例 1-2】 在图 1-6 中，已知 $E=110\text{V}$ ， $R_0=1\Omega$ ， $I=10\text{A}$ ，求电源的端电压 U 和负载电阻 R 。

解 据 $U = E - IR$ 得 $U = 110 - 10 \times 1 = 100\text{V}$

又据 $I = \frac{U}{R}$ 得 $R = \frac{U}{I} = \frac{100}{10} = 10\Omega$

二、电路中电位的计算

在某些问题如电子电路中，用电位来分析电路比较方便，为此常需计算电路中某点的电位值。由物理学中的讨论已知，电路中某点的电位即为该点与电位参考点之间的电压，并规定参考点的电位为零电位。电位参考点的选择是随意的，但习惯上在电工技术中取大地电位为电位参考点，因为地球作为导体其电容量很大，因而其电位很稳定，这好比选取海平面的高度为高度参考点，用来计算各地的海拔一样。在电子电路中常以机壳（或底板）作为电位参考点，接（大）地和接机壳的电路符号如图 1-8 所示。

若电路中 a 点电位记为 φ_a ，参考点电位记为 φ_0 ，则 a 点电位为 $\varphi_a = U_{a0} = \varphi_a - \varphi_0$ 。

下面以图 1-9 为例，具体说明电路中某点电位的计算方法。

设图中 $R_1=R_2=10\Omega$ ， $R_3=20\Omega$ ， $E_1=4\text{V}$ ， $E_2=2\text{V}$ ， $I_1=0.16\text{A}$ ， $I_2=-0.04\text{A}$ ， I_3

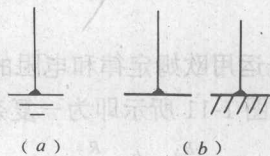


图 1-8 接地和接机壳的电路符号
(a) 接地符号；(b) 接机壳符号

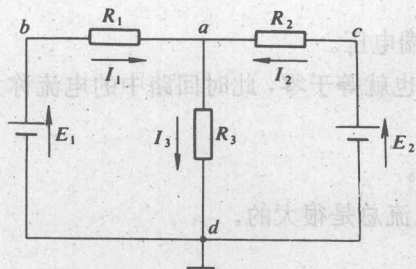


图 1-9 电位计算举例

$= 0.12\text{A}$ 。

当取 d 点为电位参考点, 即令 $\varphi_d = 0$ 时, 电路中各点的电位值为

$$\varphi_a = U_{ad} = I_3 R_3 = 0.12 \times 20 = 2.4\text{V}$$

$$\varphi_b = U_{bd} = E_1 = 4\text{V}$$

$$\varphi_c = U_{cd} = E_2 = 2\text{V}$$

当取 a 点为电位参考点, 即令 $\varphi_a = 0$ 时, 电路中各点的电位值为

$$\varphi_d = U_{da} = -I_3 R_3 = -0.12 \times 20 = -2.4\text{V}$$

$$\varphi_b = U_{ba} = I_1 R_1 = 0.16 \times 10 = 1.6\text{V}$$

$$\varphi_c = U_{ca} = I_2 R_2 = -0.04 \times 10 = -0.4\text{V}$$

由以上计算可知, 参考点选择不同, 电路中各点的电位值也不同, 但任意两点间的电压值却不变。所以电位值是相对的, 电压值则是绝对的。

必须指出, 电位参考点选定后, 电路中各点电位即为定值, 与计算时所选路径无关。图 1-9 中从 c 点到 d 点有三条可能的路径, 即有

$$\varphi_c = U_{cd} = E_2, \varphi_c = U_{cd} = I_2 R_2 + I_3 R_3, \varphi_c = U_{cd} = I_2 R_2 - I_1 R_1 + E_1$$

计算结果 φ_c 均为 2V 。而其中以 $U_{cd} = E_2$ 这条路径最为简捷。

计算某点电位时, 还应注意所计算点与参考点之间电压的正负。如果是从高电位点到低电位点, 电压为正值, 反之为负值。对电阻而言, 电流流入端为高电位, 流出端为低电位, 至于电源, 其两端电位可直接看出。

在电子电路中, 图 1-9 所示电路常简化为图 1-10, 图中不再画出电源, 只在相应各端上标出该点电位值。

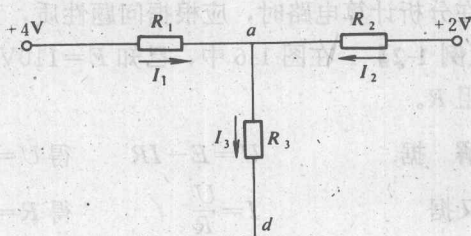


图 1-10 用电位的高低和数值标注的电路

第三节 基尔霍夫定律

凡运用欧姆定律和电阻的串、并联公式就能求解的电路称为简单电路, 否则就是复杂电路。图 1-11 所示即为一复杂电路, 因为图中 R_1 、 R_2 、 R_3 不存在简单的串、并联关系而无法等效为一个电阻, 因而也就无法用欧姆定律直接求解。

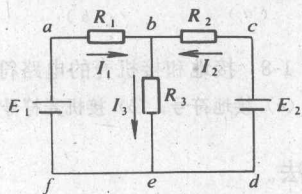


图 1-11 复杂电路举例

对于复杂电路, 求解过程中除了要用到欧姆定律外, 还需用到基尔霍夫定律。

基尔霍夫第一定律又名节点电流定律, 它指出了节点电流分配规律; 基尔霍夫第二定律又名回路电压定律, 它指出了回路中电压的规律。

因此有必要先说明什么是支路、节点和回路。

支路是指由一个或若干个元件依次串联并通过同一电流的一段电路。图 1-11 中的 be 、 baf 、 bcd 即为三条支路。

节点是指电路中三条或三条以上支路的交点。图 1-11 中的 b 点和 e 点即为节点，而 a 、 f 、 c 、 d 则不是节点。

回路是指电路中的任一闭合路径。图 1-11 中的 $abefa$ 、 $bcdeb$ 和 $abcdefa$ 即为三个回路。

一、基尔霍夫第一定律

基尔霍夫第一定律 (Kirchhoff's Current Law, 可简写成 KCL) 表述的是电路中连接于同一节点的各支路电流间的关系。根据电流的连续性原理: 电路中流入某点的电荷量, 必定等于同时从这一点流出的电荷量。所以对于电路中的任一节点, 流入节点的电流之和必定等于从该点流出的电流之和, 这就是基尔霍夫第一定律。在图 1-11 中的节点 b , 流入的电流有 I_1 和 I_2 , 流出的电流为 I_3 , 依 KCL, 则应有

$$I_1 + I_2 = I_3$$

移项得 $I_1 + I_2 - I_3 = 0$ 亦即 $\sum I = 0$ (1-13)

式 (1-13) 为 KCL 的一般表达式。它表明在电路的任一节点上, 电流的代数和等于零。这实际是 KCL 的另一种表述形式。式中如果流入节点的电流取为正, 则流出该节点的电为负, 反之亦可。

基尔霍夫第一定律不仅适用于电路中的任一节点, 还可以推广到电路中任意假定的一个封闭面。在图 1-12 中, 将半导体三极管的外壳看成是一个封闭面 S , 它的基极电流 I_B , 集电极电流 I_C 和发射极电流 I_E 之间也服从 KCL 而有 $I_E = I_B + I_C$ 。这里假定的封闭面 S 所包围的区域, 被称为广义节点。

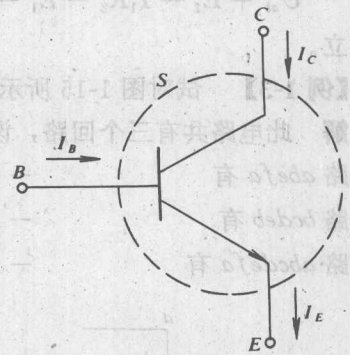


图 1-12 广义节点

二、基尔霍夫第二定律

基尔霍夫第二定律 (Kirchhoff's Voltage Law, 简称为 KVL) 表述的是一个回路各部分电压总的规律。定律指出, 对于电路中任一闭合回路, 各部分电压的代数和等于零。即

$$\sum U = 0$$
 (1-14)

例如, 对于图 1-13 所示电路中的一个闭合回路 $abefa$, 若依顺时针方向绕行一周, 并注意 a 点与 b 点、 e 点与 f 点电位相等, 则回路各部分电压之和

$$\sum U = U_{be} + U_{fa} = (\varphi_b - \varphi_e) + (\varphi_f - \varphi_a) = 0$$

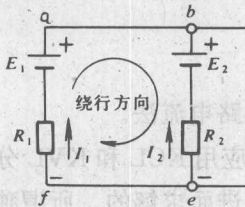


图 1-13 回路示例

KVL 是电位单值性原理或能量守恒定律在电路中的一种表现形式。由于直流电路中任一点的电位都有定值, 因此将单位正电荷沿任一回路绕行一周, 或者说由电路某点出发沿任一闭合回路再回到该点, 其电位能的变化应等于零。

根据式 (1-12), 对于图 1-13, 有

$$U_{af} = E_1 - I_1 R_1 = -U_{fa} \quad \text{或} \quad U_{fa} = -(E_1 - I_1 R_1)$$