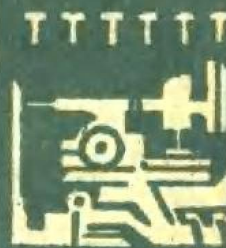




七·二一工人大学教材

电子学与工业电子学



江苏科学技术出版社

内 容 简 介

本书共分三篇。第一篇为电路基础知识，第二篇为电机与控制，第三篇为工业电子学。根据工厂实际需要，对生产中常用的组合机床电气线路作了比较详细的介绍，对正在逐步推广的电子程序控制器和继电器程序控制器等新技术也作了简要的介绍。

为便于自学，本书对每章内容都做了小结，并附有一定数量的习题和思考题，供读者选用。

电 工 学 与 工 业 电 子 学

镇江农业机械学院电工学教研组编

•

江苏科学技术出版社出版

江苏省新华书店发行

镇江前进印刷厂印刷

1979年10月第1版

1979年10月第1次印刷

印数：1—21,500

书号15196·018 每册2.90元

前 言

本书是为江苏省工人业余大学机械类专业编写的教材。

本书由陈正传、陈欣荣和陈金华编写，并由陈金华对全书进行了修改加工。书中第三篇的内容，是以我院电工学教研组所编讲义（电工学下册）为基础，经过修改补充而成。

书稿在编写中，南京工学院、南京航空学院、华东工程学院、南京化工学院、南京机器制造学校、南京无线电厂工大、南京微分电机厂工大、苏州市一轻局工大、南通市机械局工大、常州市戚墅堰机车车辆厂工大、无锡机床电器厂工大和常州冶金机电修造厂工大等单位有关教师提出了许多宝贵的意见，其中南京工学院八系有关教师对本书的部分章节作过修改，在此一并表示感谢。

由于我们水平有限，书中可能存在着缺点和错误，希读者指正。

编 者

1979.4

目 录

第 一 篇

第一章 直流电路	(1)
第一节 直流电路的基本概念	(1)
一、电场和电场强度 二、电位和电位差(或电压) 三、导体、半导体和绝缘体	
四、电路的组成 五、电流 六、电源和电动势 七、电阻和电阻率	
第二节 欧姆定律	(6)
一、一段电路的欧姆定律 二、全电路欧姆定律	
第三节 电功和电功率	(8)
一、电功 二、电功率 三、负载获得最大功率的条件	
第四节 电流的热效应	(10)
一、楞次——焦耳定律 二、电气设备的额定值	
第五节 基尔霍夫定律	(12)
一、基尔霍夫第一定律——节点电流定律 二、基尔霍夫第二定律——回路电压定律	
第六节 电阻的串联、并联和混联	(15)
一、电阻的串联 二、电阻的并联 三、电阻的混联	
第七节 复杂直流电路的计算	(20)
一、叠加原理 二、等效电源定理 三、电桥电路	
第八节 电容器及其充放电过程	(25)
一、电容器和电容 二、电容器的串联和并联 三、电容器的充放电过程	
小 结	(29)
习题和思考题	
第二章 磁场和电磁感应	(35)
第一节 磁场的基本概念	(35)
一、磁铁的磁现象 二、电流的磁现象 三、磁场的几个基本物理量	
第二节 铁磁物质	(40)
一、铁磁物质的磁化曲线 二、铁磁物质的磁滞回线 三、基本磁化曲线 四、常	
用铁磁材料简介	
第三节 磁路的基本概念	(44)
一、磁路 二、磁路的全电流定律 三、电磁铁及其应用 四、磁屏蔽的概念	
第四节 磁场对电流的作用	(47)
一、磁场对载流直导线的作用力 二、磁场对通电线圈的作用力矩	
第五节 电磁感应	(49)
一、电磁感应现象 二、感应电动势的大小和方向 三、楞次定律 四、电磁感	
应定律	
第六节 自感应	(53)
一、自感现象 二、自感电动势 自感系数	

第七节 互感应	(54)
一、互感现象 二、互感电动势 互感系数	
第八节 涡流	(55)
小 结	(56)
习题与思考题	
第三章 单相交流电路	(60)
第一节 概 述	(60)
第二节 正弦交流电的产生及其周期、频率和角频率	(60)
一、正弦交流电的周期和频率 二、正弦交流电的产生、角频率	
第三节 正弦交流电的相位、初相位和相位差	(62)
一、正弦交流电的相位、初相位 二、正弦交流电的相位差	
第四节 正弦交流电的有效值	(64)
第五节 正弦交流电的矢量图示法	(65)
一、正弦交流电用矢量表示 二、正弦交流电的矢量运算	
第六节 纯电阻电路	(67)
第七节 纯电感电路	(69)
一、纯电感电路中电流和电压的关系 二、纯电感电路中的功率	
第八节 纯电容电路	(71)
一、纯电容电路中电流和电压的关系 二、纯电容电路中的功率	
第九节 R、L串联电路——日光灯电路	(73)
一、日光灯的结构和工作原理 二、日光灯电路的分析	
第十节 R、L、C串联电路	(78)
一、R、L、C串联电路中电流和电压的关系 二、R、L、C串联电路中的功率	
三、串联谐振	
第十一节 功率因数的提高、并联谐振	(80)
一、提高功率因数的意义 二、用并联电容器的方法提高功率因数 三、并联谐振	
小 结	(83)
习题和思考题	
第四章 三相交流电路	(89)
第一节 三相交流电源	(89)
第二节 三相负载的联接	(91)
一、负载的星形(Y)联接 二、负载的三角形(Δ)联接	
第三节 三相交流电路的功率	(95)
小 结	(96)
习题和思考题	

第 二 篇

第五章 变 压 器	(99)
第一节 概 述	(99)
一、为什么要用变压器 二、变压器的基本结构	
第二节 变压器的工作原理	(100)
一、变压器的空载运行 二、变压器的负载运行	

第三节 三相变压器	(102)
第四节 常用的一些特殊变压器介绍	(103)
一、自耦变压器 二、互感器 三、电焊变压器	
第五节 小型变压器简易计算	(106)
第六节 单相变压器线圈的极性及其测定	(112)
小 结	(113)
习题和思考题	
第六章 三相异步电动机	(115)
第一节 异步电动机模型	(115)
第二节 三相异步电动机的结构	(116)
第三节 三相异步电动机的工作原理	(117)
一、旋转磁场的产生 二、旋转磁场的转向和转速 三、转子的转动原理	
第四节 三相异步电动机的机械特性	(121)
一、额定转矩、起动转矩和最大转矩 二、稳定工作区 三、电源电压对机械特性的影响	
第五节 三相异步电动机的铭牌数据	(123)
第六节 异步电动机的起动	(125)
一、鼠笼式电动机的起动 二、绕线式异步电动机的起动	
第七节 异步电动机的制动与调速	(130)
一、异步电动机的制动 二、异步电动机的调速	
第八节 异步电动机的选择	(133)
一、容量的选择 二、结构型式的选择 三、转速的选择 四、转矩的校验	
小 结	(135)
习题和思考题	
第七章 直流电机	(138)
第一节 直流电机的结构和工作原理	(138)
一、直流电机的结构 二、直流电机的工作原理	
第二节 直流发电机	(140)
第三节 并激电动机	(142)
一、并激电动机的电磁转矩 二、并激电动机的反电势和电压平衡方程式 三、并激电动机的机械特性 四、并激电动机的起动与反转	
第四节 并激电动机的调速	(144)
一、改变磁通 ϕ 调速 二、在电枢电路中串电阻调速 三、改变电枢端电压调速	
第五节 直流电动机的铭牌	(146)
小 结	(147)
习题和思考题	
第八章 继电器接触器控制	(149)
第一节 三相异步电动机正转控制电路	(149)
一、铁壳开关控制电路 二、接触器正转点动控制电路 三、具有自锁的接触器正转控制电路 四、具有过载保护的接触器正转控制电路	
第二节 三相异步电动机正反转控制电路	(160)

一、倒顺开关控制电路 二、接触器控制电路 三、电动机正反转点动电路	
第三节 三相异步电动机的联锁控制	(164)
第四节 三相异步电动机的行程控制	(166)
一、行程开关 二、用行程开关实现自动循环运动和限位保护	
第五节 三相异步电动机的时间控制	(168)
一、时间继电器 二、时间控制电路举例	
第六节 三相异步电动机的速度控制	(172)
一、速度继电器 二、速度继电器控制的反接制动电路	
第七节 机床电气控制电路举例	(175)
一、电气原理图和电气接线图 二、机床电气线路的阅读 三、M7130平面磨床电 气控制线路 四、X62W万能铣床电气控制线路	
小 结	(192)
习题和思考题	
第九章 组合机床电气控制简介	(195)
第一节 概述	(195)
第二节 几种常用的基本控制电路	(195)
一、多电机同时起动的控制电路 二、主轴不转的引入和退出电路 三、两个动力头 退回原位时自动切断电动机的电路 四、两个动力头退回原位分别切断电动机 的电路 五、危险区切断电动机电路	
第三节 通用部件的参考控制电路举例	(199)
一、电动机机械扳手的控制电路 二、由攻丝行程控制机构控制的攻丝电路 三、箱体 移动式机械动力头——JT4036 四、液压动力滑台(YT4523、YT4533、YT4543、 YT4553) 五、液压镗孔车端面动力头 六、大型液压传动回转工作台 (YT2441、YT2451)	
第四节 组合机床电气线路举例	(210)
一、双面钻孔组合机床 二、具有定位夹紧、一次进给液压传动的单面多轴组合机床 三、多工位液压传动组合机床	
第五节 继电器程序控制器	(215)
一、继电器程序控制的基本原理 二、CKQ-12J继电器程序控制器简介	
习题和思考题	

第 三 篇

第十章 晶体二极管	(222)
第一节 半导体的导电性能	(222)
一、什么是半导体 二、本征半导体及本征激发 三 半导体中的特殊载流子—— 空穴 四、P型半导体和N型半导体	
第二节 PN结及其特性	(225)
一、感性认识 二、PN结的根本矛盾——扩散运动与漂移运动的矛盾 三、PN结 单向导电的物理本质	
第三节 晶体二极管的伏安特性	(228)
一、正向特性 二、反向特性 三、反向击穿	
第四节 二极管的分类、参数和判别	(230)

小 结	(231)
-----------	---------

习题和思考题

第十一章 晶体三极管	(233)
------------------	---------

第一节 晶体三极管的结构和放大作用	(233)
-------------------------	---------

一、晶体三极管的基本结构 二、晶体三极管的电流放大作用

第二节 晶体三极管的输入特性与输出特性	(236)
---------------------------	---------

一、输入特性 二、输出特性

第三节 晶体三极管的主要参数	(238)
----------------------	---------

一、电流放大系数 二、极间反向电流 三、极限参数 四、频率特性参数

第四节 晶体管的简易测试	(240)
--------------------	---------

一、确定基极和判别管子类型 二、确定集电极c和发射极e 三、测定穿透电流
四、测定电流放大系数

小 结	(242)
-----------	---------

习题和思考题

第十二章 交流放大器	(244)
------------------	---------

第一节 简单交流放大器的工作原理	(244)
------------------------	---------

一、简单的交流放大器 二、为什么要设置静态工作点 三、放大电路的表示方法
四、放大电路的三种接法

第二节 放大电路的分析方法	(247)
---------------------	---------

一、图解法 二、计算法

第三节 工作点的稳定	(257)
------------------	---------

一、温度对放大器工作点的影响 二、工作点稳定的典型电路 三、其他工作点稳定的放大电路

第四节 多级放大器	(262)
-----------------	---------

一、阻容耦合放大器 二、放大器的输入电阻和输出电阻 三、放大器的频率响应

第五节 放大器中的负反馈	(267)
--------------------	---------

一、负反馈的概念 二、负反馈为什么能改善放大器的质量指标 三、几个典型的负反馈放大器

第六节 功率放大器	(272)
-----------------	---------

一、单管功率放大器 二、推挽功率放大器 三、无变压器功率放大器

第七节 放大器的调整测试	(283)
--------------------	---------

一、静态调试 二、动态调试 三、放大器的干扰与噪声的抑制 四、自激振荡的消除

习题和思考题

第十三章 直流放大器	(293)
------------------	---------

第一节 多级直流放大器的级间耦合	(293)
------------------------	---------

一、级间耦合 二、几种常用的耦合方法

第二节 零点漂移	(295)
----------------	---------

第三节 差动放大器	(295)
-----------------	---------

一、差动放大器的工作原理 二、典型的差动放大器 三、具有恒流源的差动放

小 结	(301)
-----------	---------

习题和思考题

第十四章 正弦波振荡器	(303)
--------------------------	----------------

第一节 自激振荡的基本原理	(303)
---------------------	---------

- 一、从放大器到振荡器 二、自激振荡的条件和振荡器的组成 三、自激振荡的产生和稳定

第二节 RC 振荡器	(305)
------------------	---------

- 一、RC移相式振荡器 二、RC桥式振荡器

第三节 LC 振荡器	(309)
------------------	---------

- 一、LC并联谐振 二、变压器反馈振荡器 三、电感三点式振荡器 四、电容三点式振荡器 五、LC振荡器应用举例

小 结	(319)
-----------	---------

习题和思考题

第十五章 直流电源	(321)
------------------------	----------------

第一节 整流电路	(321)
----------------	---------

- 一、单相半波电阻负载整流电路 二、单相全波电阻负载整流电路 三、单相桥式电阻负载整流电路 四、倍压整流电路 五、三相整流电路

第二节 滤波电路	(329)
----------------	---------

- 一、电容滤波电路 二、电感滤波电路 三、复式滤波电路

第三节 硅稳压管稳压电源	(332)
--------------------	---------

- 一、硅稳压管的伏安特性 二、稳压管的主要参数 三、硅稳压管稳压电源 四、应用举例

第四节 串联型晶体管直流稳压电源	(336)
------------------------	---------

- 一、最简单的串联型晶体管稳压电源 二、带有放大环节的稳压电源 三、稳压电源的主要指标 四、应用举例

小 结	(344)
-----------	---------

习题和思考题

第十六章 晶体管开关电路及其应用	(347)
-------------------------------	----------------

第一节 晶体管开关特性	(347)
-------------------	---------

- 一、晶体管开关特性 二、晶体管反相器 三、应用实例

第二节 门电路	(353)
---------------	---------

- 一、门电路的引出 二、二极管“与”门电路 三、二极管“或”门电路 四、“非”门电路

第三节 RC 电路及其应用	(359)
---------------------	---------

- 一、微分电路 二、积分电路 三、延时开关电路

第四节 双稳态电路	(363)
-----------------	---------

- 一、双稳态电路的工作原理 二、触发电路 三、触发方式 四、应用举例

第五节 单稳态电路	(370)
-----------------	---------

- 一、单稳态电路的工作原理 二、输出脉冲宽度和幅度

第六节 多谐振荡器	(374)
-----------------	---------

- 一、多谐振荡器的工作原理 二、振荡周期和振荡幅度 三、应用实例

第七节 集成电路简介	(378)
一、二极管——晶体管逻辑 (DTL) “与非”门电路	
二、高阈值逻辑 (HTL) “与非”门电路	
三、集成电路“与非”门的参数及其测定	
四、R—S触发器	
五、T型触发器及其应用	
第八节 应用举例——程序控制器	(387)
一、概述	
二、程序控制器的基本原理	
三、程控制器的主要组成部分	
四、整机电路工作原理分析	
习题和思考题	
第十七章 可控硅元件及其应用	(401)
第一节 可控硅整流元件	(401)
一、可控硅的工作情况	
二、可控硅元件的工作原理	
三、可控硅的伏安特性与主要参数	
第二节 可控整流电路	(405)
一、单相半波可控整流电路	
二、单相桥式可控整流电路	
三、可控硅的保护	
第三节 可控硅的触发电路	(409)
一、单结晶体管	
二、单结晶体管振荡电路	
三、可控硅触发电路	
第四节 应用实例——小功率直流电动机可控硅无级调速系统	(413)
一、主电路	
二、触发电路	
三、反馈环节	
小 结	(415)
习题和思考题	
附录一 常用导线选择数据	(417)
附录二 J ₂ 、JO ₂ 、JO ₃ 、JO ₄ 系列三相异步电动机技术数据	(419)
附录三 控制电路中常用符号 (摘自 GB 312—64)	(423)
附录四 电工测量	(429)
一、电工测量仪表的分类	
二、电流的测量	
三、电压的测量	
四、功率的测量	
五、绝缘电阻的测量	
六、万用表	
附录五 安全用电常识	(439)
一、电流对人体的危害	
二、触电方式	
三、保护接地与保护接零	
四、电气保安基本措施和触电急救	
附录六 半导体器件型号命名法	(445)
附录七 常用晶体二极管参数	(446)
附录八 常用晶体三极管参数	(451)
附录九 常用稳压二极管参数	(466)
附录十 普通可控硅的参数	(471)
附录十一 常用单结晶体管参数	(472)
附录十二 示波器简介	(474)
一、示波器波形显示原理	
二、SB—10型示波器主要技术数据	
附录十三 JT—1 型晶体管特性图示仪简介	(480)
一、概述	
二、主要技术性能	
三、使用方法	

第一篇

第一章 直流电路

直流电是生产技术和科学实验不可缺少的能源之一。目前已广泛地应用于电介、电镀、电子仪器、电子计算机和自动控制等设备中。直流电路虽然比较简单，但是直流电路的一些基本规律和分析方法也适用于其它电路，是研究其它电路的基础。

第一节 直流电路的基本概念

一、电场和电场强度

物理学告诉我们：世界上的一切物质，都是由大量的分子组成的，而分子又是由更小的微粒原子组成的。原子还可以继续分裂为一个原子核和一些电子。原子核带正电荷，电子带负电荷，电子围绕着原子核不停地运动。

在一般情况下，原子核所带的正电荷与电子所带的负电荷数量相等，所以物体不带电，即呈现中性。但是正负电荷在一定的条件下是可以互相分离和转移的，这时物体才显示出带电现象。例如当用丝绸摩擦玻璃棒时，使得棒中带负电的电子比较容易地摆脱原子核的束缚而进入丝绸。结果，失去电子的玻璃棒就带了正电，获得多余电子的丝绸就带了负电。其它又如加热电子管的阴极，可以发射出一些电子；干电池通过化学作用也可以使正负电荷分别集中到正极和负极等等。

可见电荷既不能被创造，也不能被消灭，它们只能从一个物体转移到另一个物体。

带电体所带电荷的数量叫作电量，用“Q”表示，电量的单位是库仑。

人们在实践中还发现带有同性电荷的两个物体之间具有相互排斥的力量，带有异性电荷的两个物体之间具有相互吸引的力量。这里两个物体并没有直接接触，为什么相互间存在着作用力呢？这是因为带电体周围存在着一种特殊的物质，称为电场。电场也是一种物质，虽然看不见，摸不到，但可以感觉到它的客观存在。例如把一个试验电荷放到电场里去，试验电荷就会受到力的作用，我们称这种力为电场力。试验电荷在电场力的作用下运动，电场力对电荷要作功，表示电场具有能量。

实践证明，电荷在电场中的某一点上所受到的电场力F与该电荷所带的电量Q成正比，即

$$F = \epsilon Q \quad (1-1)$$

式中的比值 ϵ 就是电场中某一点的电场强度。也就是说，电场中任一点的电场强度，在数值上等于放在该点的单位正电荷所受电场力的大小。电场强度的方向就是正电荷受力的方

向，所以电场强度是一个既有大小又有方向的量。

在实用制单位中，电场力F的单位是牛顿；电量Q的单位是库仑；电场强度E的单位为牛顿/库仑。

二、电位和电位差（或电压）

电场具有能量，表现在电场力能够使电场中的电荷运动而作功。电场力作功与力学中的重力作功很相似，都决定于位移的起点和终点的位置，而与位移的路径无关。因此，与物体在重力场中的不同位置上具有不同的重力位能相似，电荷在电场中的不同位置上也具有不同的位能，电荷在电场中的某一点上所具有的位能称为该点的电位能。

电位能与重力位能一样，是一个相对的量，要说明电荷在电场中某一点的电位能高低，必须说明它是和那一点作比较，只有当我们选定了电荷在某一位置的电位能等于零（这个位置称为参考点）时，电荷在其它位置的电位能才有确定的数值。一般我们规定在无限远处电荷的电位能等于零，例如在电场中的a点有一正电荷Q，在电场力作用下逐渐离开a点运动到无限远处，在这个移动的过程中，电场要对正电荷Q作功，Q的电位能将逐渐减小，到无限远处时，电位能减小到零。因此电场力所作的全部功就等于正电荷Q在电场中a点所具有的电位能。

我们把电场力将单位正电荷从电场中的某点移到参考点所做的功，叫做该点的电位，即

$$\varphi_a = \frac{W_a}{Q}$$

式中 W_a 表示正电荷Q在电场中某点所具有的电位能， φ_a 表示电场中相应点的电位。

在实际应用中，常选择大地作为参考点。而在电气设备中，从安全和需要出发，把金属外壳接地，因此设备的外壳也成为参考点。

由于电场中各点的电位常常是不同的，我们把电场中任意两点之间的电位差别称为电位差。例如a点的电位为 φ_a ，b点的电位为 φ_b ，则ab两点间的电位差为

$$\varphi_{ab} = \varphi_a - \varphi_b$$

电位差又称为电压，电位差的单位与电位一样都是伏特，并用符号V表示。其较大的单位用千伏（KV），较小的单位用毫伏（mV）和微伏（ μV ）

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

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

$$1\mu\text{V} = 10^{-6}\text{V}$$

电压的方向是从高电位指向低电位，即电压降的方向。电压的大小可以用电压表来测量。

应该指出，电位和电压是有区别的，电位的数值是一个相对的概念，因为电场中某一点的电位数值与参考点的选择有关，参考点不同，其电位数值也就不相同。但是电压的数值是一个绝对的概念，电压只表示电场中两点之间的电位差别，与参考点的选择无关。

然而在某些情况下，电位与电压又是一致的，例如在电场中a点的电位实际上也就是a点与参考点之间的电压。

三、导体、半导体和绝缘体

一切物质按其传导电荷的性能，可以分为导体、半导体和绝缘体三类。

导体之所以有比较好的导电性能，是因为这类物质的原子外层的电子与其原子核的结合

比较松弛，最外层的电子容易在外力的作用下离开自己的原子核而成为自由电子，如果这些自由电子在电场力的作用下按同一方向运动，就形成了电流。如银、铁、铜和铝等各种金属都是良导体。

另一类物质，如橡皮、玻璃、塑料、木材和云母等，其原子核对电子的束缚力很强，在一般情况下，不容易产生大量的自由电子，因此不容易导电，通常称它们为绝缘体。应该指出，绝缘体也不是绝对不导电的，当绝缘体所承受的电压超过一定值时，也会产生出大量的自由电子来，使其失去绝缘的特性，这种现象称为击穿。

此外，还有一类物质的导电性能介于导体和绝缘体之间，如硅、锗、硒和氧化铜等，我们称之为半导体。关于半导体的性能将在第三篇里讨论。

四、电路的组成

电路是电流所通过的路径。如图 1—1 所示为手电筒的电路，它是由电池、开关、电珠和金属外壳所组成的。当开关按下后，就形成电流的通路，电珠就会发光。

可见要构成一个电路，至少需有三个部分：

1. 电源 电源是指把其它形式的能量转换为电能的设备，如发电机、蓄电池等。电源是电路中电能的来源，是推动电流流动的原动力。这个电路里的电源是干电池。

2. 负载 是指用电设备。它的作用是把电能转换成其它形式的能量，上图中的负载是电珠，它把电能转换成光能。其它如电烙铁能把电能转换为热能；电动机能把电能转换为机械能；电喇叭能把电能转换成声能。可见负载都是要消耗电能的。

3. 联接导线 它把电源和负载联接成一个闭合回路，实现电能传输和分配的作用。常用的联接导线是由铜和铝做成的。

当然，我们在实际工作中所碰到的电路要比这个电路复杂得多，为了使电路能满足安全、可靠和易于控制等各种不同的需要，电路中除上述三个部分之外，往往还有开关、指示灯、控制器、保险丝和测量电表等附属设备。但不管电路结构怎样复杂，它们的基本组成部分还是相同的。

电路的主要任务是实现电能的传送、控制和转换。

电路分外电路和内电路，对电源来说，负载和联接导线称为外电路，电源内部的电路称为内电路。

象图 1—1 那样的实物电路图，看起来易懂，但画起来太麻烦，又没有突出电路的本质。因此工程上实用的电路图是用各种符号表示的，这样简单、明了。如图 1—1 的实物电路图可画成图 1—2 所示的原理电路图。

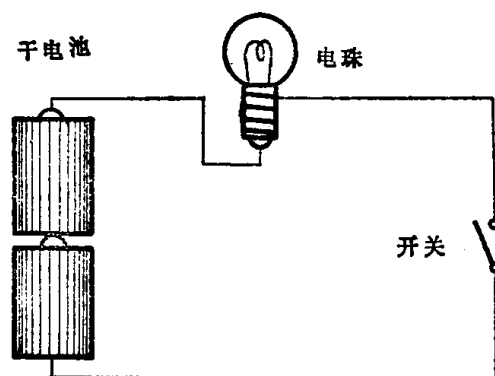


图 1—1 手电筒电路

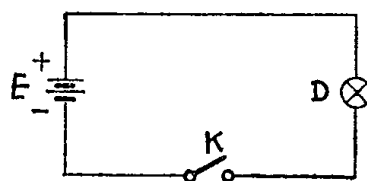


图 1—2 原理电路图

五、电 流

电荷在电路中作有规则的定向移动，就形成了电流。

而要形成电流必须具备三个条件：第一，组成电路的物质内必须有自由电子存在，这是形成电流的内因。第二，一定要有一个电源供电，使电路中存在着电位差。第三，电路必须是一个闭合的回路。

如图 1—3 所示，当导体 AB 的两端存在着电位差时，且 A 端的电位高于 B 端，则就会有自由电子自 B 向 A 移动，形成了电流。不过长期以来，人们习惯上规定以正电荷移动的方向作为电流的正方向，所以导体 AB 中的电流方向是由 A 向 B，用符号“ I ”和箭头表示。这与实际情况恰恰相反，不过从传输能量的角度而言，是无关紧要的，所以尊重传统的习惯，不再改正。

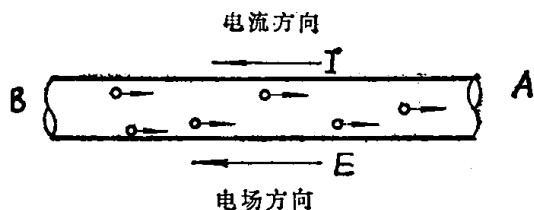


图 1—3 电 流

电流的大小是用单位时间内通过导线某一横截面的电荷量来量度的，即

$$I = \frac{Q}{t} \quad 1 \text{ 安培} = \frac{1 \text{ 库仑}}{1 \text{ 秒}}$$

电流的单位为安培，简称安，用符号“ A ”表示。电流较小的单位是毫安（ mA ）和微安（ μA ）

$$1 A = 10^3 mA$$

$$1 A = 10^6 \mu A$$

如手电筒中流过电珠的电流为 $0.15A \sim 0.3A$ ；晶体管收音机中的整机电流约为几十毫安；大型电动机的电流可达百余安。

六、电 源 和 电 动 势

任何带电现象都是正负电荷分离的结果，而要使正负电荷分离，必须有一个外部的力量来克服它们之间的吸力而做功。电源就是能产生这种外部力量把其它形式的能量转换为电能的装置。电源工作时，可以把电源内部导体中所存在的正负电荷分别推向两极，使得一个极具有一定量的正电荷（正极），另一个极具有一定量的负电荷（负极）。于是在电源的两极之间形成了电场，出现了一定的电位差。

电源既然能使电荷移动，就说明它能做功。这种能将单位正电荷从电源的负极移到正极所做的功，称为电源的电动势，用符号 E 表示，电动势的单位是伏特。

可见电动势是衡量电源作功能力的一个物理量，这和用电压来衡量电场力作功的能力是相似的。它们的区别在于电场力能够在外电路中把正电荷从高电位端（正极）移向低电位端（负极）。而电动势却能把电源内部的正电荷从低电位端（负极）移向高电位端（正极）。因此电压的正方向规定为自高电位端指向低电位端，也就是电位降低的方向。而电动势的正方向则规定为在电源内部自低电位端指向高电位端，也就是电位升高的方向。

七、电 阻 和 电 阻 率

自由电子在物体里作定向移动时，会遇到一定的阻力，这个阻力是自由电子和物体中的

原子发生碰撞而产生的。这种阻碍电流通过的能力用“电阻”这一物理量来表示，电阻的符号是“R”或“ γ ”。

衡量电阻大小的单位是欧姆（简称欧），用符号“ Ω ”表示。电阻的较大单位是千欧（ $K\Omega$ ）和兆欧（ $M\Omega$ ）

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

$$1 M\Omega = 10^6 \Omega$$

导体的电阻不仅和导体的材料种类有关，而且还和导体的尺寸有关。实验证明，同一材料的导体电阻和导体的截面积S成反比，和导体长度L成正比，用式子表示如下：

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-2)$$

式中L的单位为米，S的单位平方毫米，R的单位为欧， ρ 是比例常数，叫做导体的电阻率，单位是欧·毫米²/米。

电阻率是一个仅与导体材料的种类有关的物理量，在数值上等于长一米，截面积为一平方毫米的导体在温度为20°C时所具有的电阻值。例如：铜的电阻率 $\rho = 0.0175$ 欧·毫米²/米，就是指长一米，截面为一平方毫米的铜棒所具有的电阻值为0.0175欧。

〔例1—1〕有一根铜导线，它的截面积为1.5平方毫米，长度为0.5米，计算温度为20°C时该导线的电阻值。

〔解〕铜的电阻率 $\rho = 0.0175 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

$$\text{所以该导线的电阻值为 } R = \rho \frac{L}{S} = 0.0175 \times \frac{0.5}{1.5} = 0.00583 \Omega$$

可见用铜线作电路的联接导线时，其电阻是很小的，通常负载电阻要比它大得多，相比之下，一根铜线的电阻可以忽略不计，所以在以后的电路里，我们把联接导线的电阻都当作零。

对于很多用电设备，如电机、变压器、电子仪器等所用的导线，其电阻值要小，不然会造成过大的电能损失和电压损失。因此，对于这类设备要使用导电性较好，电阻率较小的材料，如铜、铝和银等。银的电阻率最小，但价格贵，不适用于做一般导电材料，只有在某些有关键意义的地方才使用它。如继电器和接触器的触头是用银来制造的。

而对于另一类用电设备，如电灯泡、电烙铁、电阻炉和电阻元件等，就必须具有一定的电阻值，才能正常使用。而且希望用电阻率较大的导电材料来制造，如铁铬铝、康铜和镍铬等合金材料，它们的电阻率比铜大几十倍。

值得注意的是：导体的电阻值还与温度有关。例如：将一只220V、100W的灯泡接在电源上，用电表测得的电阻为484 Ω ，但当灯泡在不工作时（处于冷却状态），测得的电阻只有36 Ω 。说明灯丝在热态下的电阻要比冷态下的电阻大十多倍。

经过大量的实验证明，各种导体的电阻都随温度的升高而增大，而某些半导体材料或电解液的电阻却随温度的升高而减小。还有一些材料，当温度降低到某一数值，（一般接近于绝对零度）时，它的电阻突然完全消失，这种现象称为超导电现象，具有这种特性的物质称为超导体，例如：铌钛。超导体在工业上也开始得到广泛的应用。

为了计算导体在不同温度下的电阻值，我们引进电阻温度系数这一概念。所谓电阻温度系数是指：导体在温度每增加1°C时，电阻值所增大的百分数，用符号“ α ”表示。常用材料的电阻温度系数列于表1—1中。

表 1—1 材料的电阻率和电阻温度系数

材 料 名 称	电 阻 率 ρ [20°C] (欧·毫米 ² /米)	平 均 电 阻 温 度 系 数 α (1/°C)
银	0.016	0.004
铜	0.0175	0.004
铝	0.029	0.004
钨	0.056	0.0046
钢	0.13~0.25	0.006
铁	0.13~0.3	0.006
锰 铜	0.42	0.000005
康 铜	0.4~0.51	0.000005
镍 铬 铁	1.0	0.00013
铝 铬 铁	1.2	0.00008
铂	0.106	0.00389

从表中可以看出，康铜和锰铜的电阻温度系数 α 比较小，常用来制造标准电阻、变压器以及仪表中的分流器、倍压器等。铂的 α 比较大，可以用来制造电阻温度计，将它放在待测的电气设备中，通过测量铂的电阻变化，就可知道设备的温度。

知道导体的温度系数 α ，就可以算出材料在温度变化时的电阻。例如： R_1 是温度为 t_1 时的导体电阻， R_2 是温度为 t_2 时的导体电阻。当温度变化1°C时，电阻的变化量为 αR_1 ，现在温度变化 $(t_2 - t_1)$ 度，所以电阻的变化量为 $\alpha R_1 (t_2 - t_1)$ 。把这个变化量再加入到原来的电阻值 R_1 上，就得到温度为 t_2 时的导体电阻 R_2 ，即

$$R_2 = R_1 + \alpha R_1 (t_2 - t_1) = R_1 [1 + \alpha (t_2 - t_1)] \quad (1-3)$$

〔例 1—2〕在发电机内部常常装有铂丝制成的电阻温度计，在20°C时测得它的电阻是49.5Ω，在发电机运行后，测得电阻是60.9Ω。问这时发电机的温度是多少？

〔解〕因为铂的 $\alpha = 0.00389 \quad 1/^\circ\text{C}$

将已知数代入(1—3)式，得 $60.9 = 49.5 + 0.00389 \times 49.5 (t_2 - 20)$

经过简单运算后得 $t_2 = 80^\circ\text{C}$

第 二 节 欧 姆 定 律

一切客观事物是互相联系和具有内部规律的。电路中的电压、电流和电阻三者之间也是这样，而欧姆定律就是反映这三者之间的内部规律性的。

一、一段电路的欧姆定律

我们知道，当电阻两端加上电压时，电阻中就会有电流通过，如图 1—4 所示。那么电流的大小和所加电压的高低有什么关系呢？

实验证明：在一段没有电动势而只有电阻的电路中，电流的大小与电阻两端的电压高低成正比，与电阻值大小成反比。这就是一段电路的欧姆定律，它是电路的基本定律之一，应

用很广。

欧姆定律还可下式表示

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-4)$$

从上式可以看出：

1. 如果保持电阻不变，当电压增加时，电流也随之增加。反之，当电压减小时，电流也随之减小，电压与电流之间成正比变化。

2. 如果保持电压不变，当电阻增加时，电流减小，当电阻减小时，电流就增大，电阻与电流之间成反比变化。

所以欧姆定律表示了电压、电流和电阻三者之间的变化关系，只要知道其中任意两个量，就可以求出第三个量。

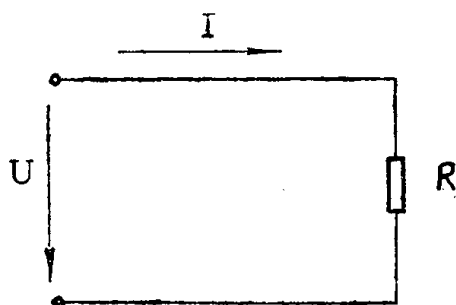


图 1-4

二、全电路欧姆定律

在实际工作中常常会碰到以直流发电机或蓄电池等作电源供电给负载的电路。如图 1-5 所示。

图中电源的电动势为 E ，电源的内阻为 r_0 ， E 与 r_0 构成了电源的内电路，如图中虚线所框的部分。负载电阻 R 是电源的外电路。外电路和内电路共同组成了全电路。

实践证明，对于全电路的计算，仍可用欧姆定律进行，只是形式要作些改变，即

$$I = \frac{E}{R + r_0} \quad (1-5)$$

或

$$E = IR + Ir_0 = U + Ir_0$$

$$U = E - Ir_0$$

(1-6)

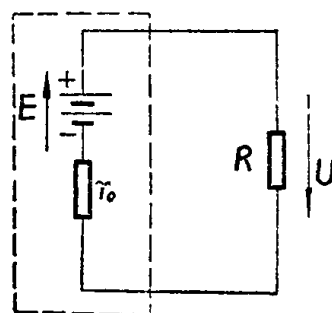


图 1-5

这些都是欧姆定律的表达式。式中 Ir_0 称为电源内部的电压降； U 称为电源的端电压。当电路闭合时，电源的端电压 U 等于电源的电动势 E 减去内阻电压降 Ir_0 。

一般情况下，电路的负载电阻总是要比电源的内阻大得多，因而电源的内阻压降 Ir_0 总是比电源的端电压要小得多，电源电动势与电源端电压接近相等。

下面我们来讨论一下电路工作时的两种特殊情况：

1. 开路工作状态

如图 1-6 所示，当开关 K 打开时，电路处于开路状态。断开处的电阻无限大，电路中的电流为零，对电源来说，电路处于空载状态，这时式 (1-6) 就成为

$$U = E - Ir_0 = E$$

也就是说开路时，电源端电压与电源电动势在数值上相等。

2. 短路工作状态

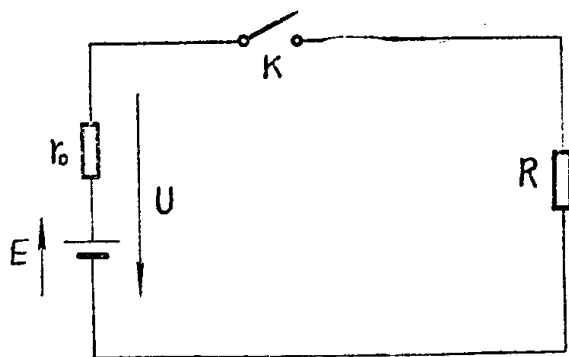


图 1-6