

面向21世纪

高职高专系列教材

电路基础 及仿真

◎王 丽 主编

◎陈永专 审



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



面向 21 世纪高职高专系列教材

电路基础及仿真

王 丽 主编
陈永专 审



机械工业出版社

本书主要讲述电路的基本原理及应用。书中借助 Electronics Workbench 电子工作平台,使理论分析直观简单。全书主要内容有:电路的基本概念和基本定律,直流电路的分析与应用,正弦交流电路、三相交流电路、谐振电路、互感耦合电路、线性电路的过渡过程,磁路与铁心线圈电路分析,EWB 电路仿真软件简介。

本书可作为高职高专学生教材,也可作为工程技术人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电路基础及仿真/王丽主编. —北京:机械工业出版社, 2003.3

(面向 21 世纪高职高专系列教材)

ISBN 7-111-11602-X

I. 电… II. 王… III. ①电路理论-高等学校: 技术学校-教材②电子电路-计算机仿真-高等学校: 技术学校-教材 IV. ①TM13②TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 008293 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策 划: 胡毓坚 责任编辑: 王 虹 版式设计: 张世琴

责任印制: 闫 焱 责任校对: 程俊巧

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2003 年 3 月第 1 版·第 1 次印刷

1000mm×1400mm B5·6.125 印张·246 千字

0 001—5 000 册

定价: 17.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

面向 21 世纪高职高专 机电专业系列教材编委会成员名单

顾问	王文斌	陈瑞藻	李奇	冯炳尧		
主任委员	吴家礼					
副主任委员	朱家健	任建伟	孙希羚	梁栋	张华	
	帕尔哈提	朱建风				
委员	刘靖华	韩满林	丛晓霞	朱旭平	陈永专	
	吕汀	刘靖岩	刘桂荣	杨新友	陈剑鹤	
	张伟	何彦廷	陶若冰	陈志刚		
秘书长	胡毓坚					
副秘书长	郝秀凯					

出 版 说 明

积极发展高职高专教育,完善职业教育体系,是我国职业教育改革和发展的一项重要任务。为了深化职业教育的改革,推进高职高专教育的发展,培养21世纪与我国现代化建设要求相适应的,并在生产、管理、服务第一线从事技术应用、经营管理、高新技术设备运作的高级职业技术应用型人才,尽快组织一批适应高职高专教学特色的教材,已成为各高职高专院校的迫切要求。为此,机械工业出版社与高职高专计算机专业、电子技术专业和机电专业教材编委会联合组织了全国40多所院校的骨干教师,共同研究开发了一批计算机专业、电子技术专业和机电专业的高职高专系列教材。

各编委会确立了“根据高职高专学生的培养目标,强化实践能力和创新意识的培养,反映现代职业教育思想、教育方法和教育手段,造就技术实用型人才为立足点”的编写原则。力求使教材体现“定位准确、注重能力、内容创新、结构合理和叙述通俗”的编写特色。

本套系列教材是由高职高专计算机专业、电子技术专业、机电专业教材编委会分别会同各院校第一线专业教师针对高职高专计算机、电子技术和机电各专业的教学现状和教材存在的问题开展研讨,尤其针对目前高职高专教学改革的新情况,分别拟定各专业的课程设置计划和教材选题计划。在教材的编制中,将教学改革力度比较大、内容新颖、有创新精神、比较适合教学、需要修编的教材以及院校急需、适合社会经济发展的新选题优先列入选题规划。在广泛征集意见及充分讨论的基础上,由各编委会确定每个选题的编写大纲和编审人员,实行主编负责制,编委会通过责任编辑和主审对教材进行质量监控。

担任本套教材编写的老师们都是来自各高职高专院校教育第一线的教师,他们以高度的责任感和使命感,经过近一年的努力,终于将本套教材呈现在广大读者面前。由于高职高专教育还处于起步阶段,加上我们的水平和经验有限,在教材的选题和编审中可能出现这样那样的问题,希望使用这套教材的教师和学生提出宝贵的意见和建议,以利我们今后不断改进,为我国的高职高专教育事业的繁荣而共同努力。

高职高专系列教材编委会

机械工业出版社

前 言

伴随着人类社会的不断发展,各种与电子技术相关的科学门类,诸如计算机技术、通信技术以及自动控制技术等越来越多地渗透到社会生活的各个领域,对人类社会乃至人们的日常生活产生了巨大而深远的影响。作为这些学科所必须的重要基础课程之一的“电路基础”因其具有完整的理论和在工程实践中的广泛应用显示出了强大的生命力。掌握好电路的基本概念、基本原理、基本分析方法及实践技能,对学生学习后续课程及今后从事专业技术工作起着举足轻重的作用。

本书根据学生特点及知识结构,在编写过程中,注意改变传统教学方法和教学手段,运用计算机辅助教学,借助 Electronics Workbench 电子工作平台,将新知识、新技术、新工艺融入课堂教学,使学生在在学习电路理论的过程中与实践更贴近、更直观,学习起来更轻松,既提高了学生的学习兴趣,同时也增强了学生理解和应用的能力。

本书结构完整,深浅适度,注重实用,避免繁琐理论推导,力求语言精练。主要内容包括:直流电路、交流电路、谐振电路、互感电路及线性电路过渡过程等典型电路的分析与应用。书中所示仿真电路图的元件符号均为本软件所有,因此没有进行更正。

本书由黑龙江省电子工业学校王丽主编,上海市机电工业学校陈永专审阅。参加编写的人员有王丽(第1章、第2章),黑龙江省电子工业学校周谟彦(第3章、附录B),本溪电子工业学校徐建军(第4章),山东电子工业学校李新平(第5章、第6章、第7章),河南职业技术学院张伟(附录A),全书由王丽统稿。本书在编写过程中,得到本溪电子工业学校梁栋老师和黑龙江省电子工业学校领导与老师们热情关心和大力支持,在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在不妥之处,恳请使用本书的师生及其他读者,给予批评指正。

编 者

目 录

出版说明

前言

第 1 章 电路的基本概念及基本定律	1
1.1 电路	1
1.1.1 电路	1
1.1.2 电路的三种状态	1
1.1.3 电路图	2
1.2 电路的基本物理量	3
1.2.1 电流	3
1.2.2 电压	4
1.2.3 功率	6
1.3 电阻元件	7
1.4 电容元件	9
1.4.1 电容元件	9
1.4.2 电容的电压、电流关系	10
1.5 电感元件	11
1.5.1 自感系数	11
1.5.2 自感电压	12
1.5.3 电感的电压、电流关系	12
1.6 电源元件	13
1.6.1 独立电源	13
1.6.2 受控源	14
1.7 电路的基本定律	15
1.7.1 欧姆定律	15
1.7.2 基尔霍夫定律	16
1.8 小结	19
1.9 习题	20
第 2 章 直流电路分析与应用	23
2.1 电阻连接及其应用	23
2.1.1 电阻串联电路	23
2.1.2 电阻并联电路	26

2.1.3 电阻其他形式的连接	29
2.2 实际电源的等效变换	31
2.2.1 实际电源的两种模型	31
2.2.2 两种电源模型的等效变换	32
2.2.3 仿真实验	33
2.3 叠加定理	35
2.4 戴维南定理和诺顿定理	37
2.4.1 戴维南定理	37
2.4.2 诺顿定理	39
2.5 回路电流法	40
2.5.1 支路电流法	40
2.5.2 回路电流法	41
2.6 节点电位法	43
2.6.1 电路中电位的计算	43
2.6.2 节点电位法	44
2.7 负载获得最大功率的条件	48
2.8 含受控源的电路分析	49
2.9 小结	51
2.10 习题	51
第3章 正弦交流电路	57
3.1 正弦交流电的基本概念	57
3.1.1 正弦交流电的三要素	57
3.1.2 正弦交流电的相位差	60
3.1.3 正弦交流电的有效值	62
3.2 正弦量的相量表示法	66
3.2.1 正弦量的相量表示法	66
3.2.2 相量形式的基尔霍夫定律	69
3.3 单一元件的正弦交流电路	70
3.3.1 纯电阻元件的正弦交流电路	70
3.3.2 纯电感元件的正弦交流电路	72
3.3.3 纯电容元件的正弦交流电路	75
3.4 RLC 串联的正弦交流电路	79
3.4.1 RLC 串联电路中电压与电流的相量关系	79
3.4.2 功率的计算	84
3.5 功率因数的提高	88
3.5.1 提高功率因数的意义	88

3.5.2 提高功率因数的方法	88
3.6 非正弦交流电路的基本概念	89
3.6.1 非正弦周期波形的分解与合成	90
3.6.2 非正弦周期性电流、电压等参数的计算	91
3.7 小结	94
3.8 习题	95
第4章 三相交流电路	104
4.1 三相交流电源	104
4.1.1 三相对称交流电的产生	104
4.1.2 三相电源的连接	106
4.2 三相负载的连接	108
4.2.1 三相负载的星形联结	108
4.2.2 三相负载的三角形联结	111
4.2.3 三相电路的功率	112
4.3 小结	114
4.4 习题	114
第5章 谐振电路	116
5.1 串联电路的谐振	116
5.1.1 串联谐振现象	116
5.1.2 串联谐振条件	116
5.1.3 串联谐振电路的基本特征	117
5.2 串联谐振电路的谐振曲线	119
5.3 串联谐振电路的通频带	120
5.4 并联谐振电路	126
5.4.1 并联谐振条件	126
5.4.2 并联谐振特征	127
5.5 并联谐振电路的谐振曲线	128
5.5.1 并联谐振曲线	128
5.5.2 并联谐振电路的选择性	130
5.5.3 并联谐振电路的通频带测试	131
5.6 小结	131
5.7 习题	132
第6章 互感耦合电路	134
6.1 互感现象与互感系数、耦合系数	134
6.2 互感线圈的连接	137
6.2.1 互感线圈的同名端	137

6.2.2 互感线圈的串联	140
6.3 小结	142
6.4 习题	143
第7章 线性电路的过渡过程	144
7.1 电路中的过渡过程及换路定律	144
7.1.1 过渡过程的概念	144
7.1.2 换路定律	146
7.1.3 电压、电流初始值的计算	147
7.2 RC 串联电路的过渡过程	148
7.3 RL 串联电路的过渡过程	154
7.4 过渡过程的分析方法——三要素法	157
7.5 小结	160
7.6 习题	160
附录A 磁路与铁心线圈电路分析	163
A.1 磁路及其基本定律	163
A.1.1 磁路的基本概念	163
A.1.2 磁路的基本定律	163
A.2 交流铁心线圈电路	166
A.2.1 电磁关系	166
A.2.2 铁心变压器	168
附录B EWB 电路仿真软件简介	171
B.1 EWB 的软件安装	172
B.2 EWB 的主窗口	172
B.3 EWB 的基本操作	179
B.3.1 电路设计与编辑的基本方法	179
B.3.2 电路编辑与仿真举例	180
参考文献	183

第 1 章 电路的基本概念及基本定律

本章主要介绍电路的基本概念、基本物理量、基本元件和基本定律。本章介绍的内容是贯穿全书的主线，因此本章是学好其他各章的基础。

1.1 电路

1.1.1 电路

电路就是电流流通的路径，用于传递能量和信息转换、实现能量的转换和信息控制。图 1-1 所示的简单仿真实验电路是由一个灯泡用导线经过开关连接到干电池构成。实验步骤如下：

(1) 在 Electronics Workbench 5.0 中按图 1-1 所示调入课件连接电路。

(2) 闭合仿真开关，按下空格键，有电流流过灯泡，灯泡亮，电池不断供给电能，灯泡不断消耗电能而发出热和光。

从这个例子可以看出，电路是由如下部分构成的：

(1) 电源 它是电路中供给电能的装置，如发电机、干电池等都是电源。电源工作时，将机械能（或化学能）等转换为电能。

(2) 负载 负载是消耗电能的装置，负载又称用电设备，如电灯、电炉和电动机等都是负载。它们能将电能转换成光能、热能和机械能等。

(3) 中间环节 中间环节由连接导线和控制电器组成。连接导线用来传输电能，它将电源

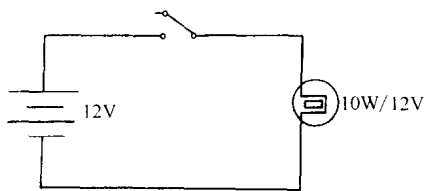


图 1-1 简单仿真实验电路

与控制电器及负载联成一个回路。最常用的导线有铜线和铝线。控制电器用来控制电路的通断，有些控制电器能对电源和负载起保护作用。

上述电路，在开关断开后，电流就不能流通，灯泡不亮，电池也不供给电能，电路停止工作。由此可见，只有电路中存在电流才会有能量的转换过程。

1.1.2 电路的三种状态

1. 开路

在图 1-1 所示的电路中，当开关断开时，称电路为开路（断路），此时电路中无电流。

2. 闭路

当开关闭合时，称电路为闭路，此时电路中有电流流过灯泡。

3. 短路

将电路中电位不同的两点直接连接时(如用导线将电池的正负极直接连接时)为短路，电路短路时产生很大电流，会使电源损坏。

1.1.3 电路图

如图 1-2 所示为电路图。

图 1-2a 是以用电设备实物图形表示的电路，这种电路图的优点是直观，但画起来非常麻烦，并且不便于分析和计算。

为了有利于电路分析，在工程计算允许的情况下，常把电路中的元件看成是理想元件并用图形符号表示，如导线电阻可以近似为零，灯泡用消耗电能的负载元件表示。这样，图 1-2a 便可用图 1-2b 表示。图 1-2b 称为电路原理图或电路图。在电路图中并不反映实际电路的几何尺寸和元件的实际形状，只反映各元件在电路中的电性能和各元件的连接关系。常用电路元件和仪表符号如表 1-1 所示。

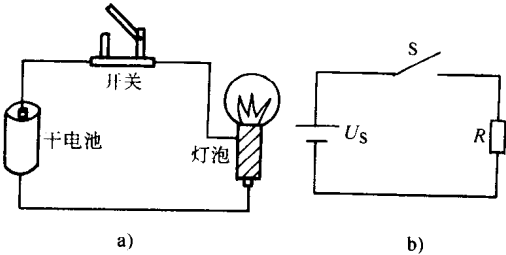


图 1-2 电路图

表 1-1 常用电路元件和仪表符号

名 称	符 号	名 称	符 号	名 称	符 号
独立电流源		理想导线		电感	
独立电压源		连接的导线		理想变压器耦合电感	
受控电流源		电位参考点		二端元件	
受控电压源		理想开关		电流表	
电阻		开路		电压表	
可变电阻		短路		扬声器	
非线性电阻		电容		电池	

1.2 电路的基本物理量

1.2.1 电流

1. 电流

在金属导体中存在着大量的带负电荷的自由电子,在没有外电场力的情况下,这些自由电子仅做无规则的热运动。由于这种热运动是杂乱无章的,因此,从宏观角度看,通过导体任一截面的总电量为零,对外显示不出电流。当金属导体中有外电场力作用时,带有负电荷的自由电子除做热运动外,还将在电场力的作用下有规则的运动。电荷有规则的定向运动,称为电流。

2. 电流方向

在金属导体中,实际上移动的是带负电荷的自由电子,照例应把负电荷移动的方向定为电流的实际方向。但在历史上,人们已习惯于把正电荷移动的方向定为电流方向,因此,电流方向与自由电子移动的方向相反。标定电流的方向用一个有向线段表示,如图 1-3 所示。



图 1-3 电流方向

3. 电流强度

电流强度为单位时间内通过导体横截面的电荷量。如果在任何相同的时间间隔内,通过导体横截面的电量都是相同的,那么,电流强度公式为

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

式中 I ——电流强度;

q ——电量;

t ——时间。

电流强度习惯上简称为电流。在法定计量单位中,电流的单位是〔安培〕(A),电量的单位为库〔仑〕(C),时间的单位为秒(s)。1安培(A)电流等于1秒(s)内通过截面的电荷为1库仑(C)。电流较大时电流的单位可用千安(kA)表示,电流较小时用毫安(mA)或微安(μ A)表示,它们之间的关系是

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

$$1\text{mA} = 10^{-3}\text{A}$$

$$1\mu\text{A} = 10^{-3}\text{mA} = 10^{-6}\text{A}$$

大小和方向不随时间变化的电流称为恒定电流或称直流,如图 1-4 所示。

如果在不同的时间内电流强度发生变化,则电流强度应取极短时间间隔 dt 内通过导体横截面的极小电量 dq 与该时间间隔 dt 之比来表示,即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-2)$$

此时,电流强度 i 是时间的函数。大小和方向随时间变化的电流称为变动电流。大小和方向随时间作周期性变化且平均值为零的变动电流,称为交变电流,简称交流。用小写字母 i 表示,如图 1-5 所示。

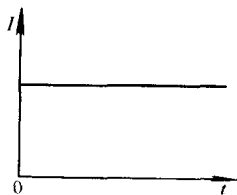


图 1-4 直流电流

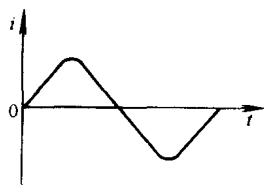


图 1-5 交流电流

4. 电流的测量

测量电流所使用的仪表是电流表。根据被测电流的性质不同,可选择直流电流表或交流电流表。由于被测电流大小不同,所以电流表有安培表、毫安表和微安表,在表盘上分别用 A、mA、 μ A 标明。图 1-6 所示为直流电流测量仿真实验电路。直流电流表测量电流时应注意以下几点:

(1) 电流表必须与被测电路串联连接,被测电流由电流表的“+”端流入,“-”端流出。

(2) 根据被测电流值的大小,选择适当量程的电流表,电流表的量程一定要超过被测电流的实际数值。

(3) 电流表不能并联连接在负载或电源上,否则将烧毁电流表。

在实际应用中,人们常用万用表的直流、交流电流档测量直流电流或交流电流。

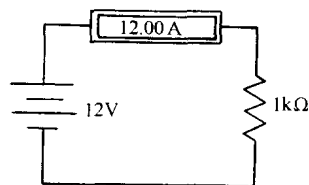


图 1-6 直流电流测量仿真实验电路

1.2.2 电压

1. 电压

电荷在电场力作用下运动形成电流。在这个过程中电场力推动电荷移动而作功,电场力移动电荷作功的能力用电压表示,符号 U 。如图 1-7 所示,电路中 a、b 两点间的电压是电场力移动单位正电荷从 a 点到 b 点所作的功。若功用 W 表示,则

$$U_{ab} = \frac{W}{q} \quad (1-3)$$

在法定计量单位中,电荷的单位为库〔仑〕(C),功的单位为焦〔耳〕(J),电

压的单位为伏〔特〕(V)，即

$$1\text{V} = \frac{1\text{J}}{1\text{C}}$$

它表示电场力将 1C 正电荷从 a 点移至 b 点所作的功为 1J， U_{ab} 则表示 a、b 两点间的电压等于 1V。电压的单位除 V 外，常用的单位还有 kV、mV 和 μV 等，它们之间的换算关系如下

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

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

$$1\mu\text{V} = 10^{-3}\text{mV} = 10^{-6}\text{V}$$

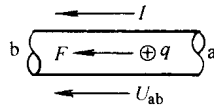


图 1-7 电压

电压的大小和方向不随时间变化，称为直流电压，用大写字母 U 表示，如图 1-8 所示。电压的大小和方向随时间变化，称为变动电压。电压的大小和方向随时间作周期性变化且平均值为零的，称为交变电压或交流电压，用小写字母 u 表示，如图 1-9 所示。

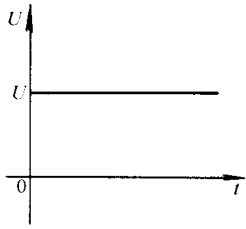


图 1-8 直流电压

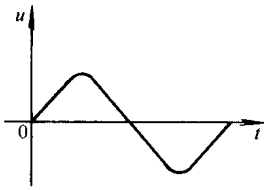


图 1-9 交流电压

2. 电位

正电荷在电路某点所具有的能量叫做正电荷在该点的电位能。电位能与电量的比值叫电位。为了说明各点电位的高低，可以指定电路中任意一点的电位为零，这一点称为电路的参考点。参考点确定后，电路中各点的电位是代数量，电位高于参考点的为正，低于参考点的为负。电路中 a 点和 b 点的电位分别用 V_a 、 V_b 表示。电位的单位也是伏 (V)。按照上面的论述可知，电路中两点之间的电压等于两点电位之差，即

$$U_{ab} = V_a - V_b$$

3. 电压的测量

测量电压所使用的仪表是电压表。根据被测电流的性质，可选择直流电压表或交流电压表。由于被测量电压的大小不同，电压表有伏特表、毫伏表、微伏表，在表盘上分别用 V、mV、 μV 标明，图 1-10 所示为直流电压测量仿真实验电路。用直流电压表

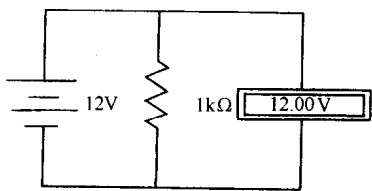


图 1-10 直流电压测量仿真实验电路

测量电压时应注意以下几点：

(1) 电压表必须与被测电路并联联接，电压表的正端接被测电压的“+”极，电压表的负端接被测电压的“-”极。

(2) 根据被测电压值的大小，选择适当量程的电压表，电压表的量程一定要超过被测电压的实际值。

在实际应用中，人们常常用万用表的直流或交流电压档测量直流电压或交流电压。

4. 参考方向

(1) 参考方向 电压、电流都是具有方向的物理量。在实际电路分析中有些物理量的真实方向不知道，为了电路分析和计算方便，对电流、电压等物理量标出一个假定方向，这个假定方向称为参考方向。参考方向可用箭头表示，也可以用“+”、“-”号表示。

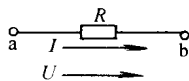


图 1-11 关联参考方向

(2) 关联参考方向 当一个元件或一段电路上的电流、电压参考方向一致时，则称它们为关联参考方向，如图 1-11 所示。

1.2.3 功率

1. 功率

如果一个元件或一段电路中的电流、电压为关联参考方向时，输入这段电路的功率等于电压和电流的乘积，用 P 表示

$$P = UI \quad (1-4)$$

如果电压和电流是交变量时，则

$$P = ui \quad (1-5)$$

2. 功率的单位

式 (1-4) 中电压的单位为 V ，电流的单位为 A ，功率的单位为 W 。根据功率的大小，可用 kW 或 mW 作单位。其关系是

$$1kW = 10^3 W$$

$$1mW = 10^{-3} W$$

3. 吸收功率和发出功率

当一段电路中电流和电压的实际方向一致时，计算出的功率为正，表示该电路为吸收（消耗）功率，这段电路是负载；电压和电流实际方向不一致时，功率为负，表示这段电路发出功率，这段电路是一个电源。

例 1-1 在图 1-12 所示的电路中，已标出各元件电压、电流的参考方向。已知

$I_1=3\text{A}$, $I_2=5\text{A}$, $I_3=5\text{A}$, $U_1=-5\text{V}$, $U_2=6\text{V}$, $U_3=-5\text{V}$, 求各元件电路中吸收或发出的功率。

解 按式 (1-4) 计算功率

元件 1 $P_1=U_1I_1=-5\text{V}\times 3\text{A}=-15\text{W}$ (发出功率)

元件 2 $P_2=U_2I_2=6\text{V}\times 5\text{A}=30\text{W}$ (吸收功率)

元件 3 $P_3=U_3I_3=-5\text{V}\times 3\text{A}=-15\text{W}$ (发出功率)

例 1-1 证明, 整个电路的发出功率等于吸收功率, 符合能量守恒定律。

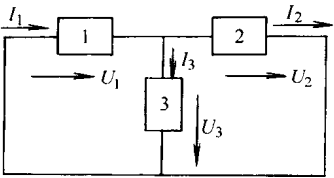


图 1-12 例 1-1 的电路图

1.3 电阻元件

1. 电阻

电阻是一种物理现象。当电子在金属导体里作定向运动时会受到阻碍, 这种阻碍作用称作电阻。任何导体都有电阻, 对于给定的材料, 在一定的温度下, 导体的电阻与截面积成正比, 与长度成反比, 若电阻用 R 表示, 则

$$R=\rho \frac{l}{S} \tag{1-6}$$

式中 l ——导体的长度 (m);

S ——导体的截面积 (mm^2);

ρ ——导体的电阻率 ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)。

电阻的单位是 Ω , 电阻较大时, 其单位可使用 $\text{k}\Omega$ 或 $\text{M}\Omega$, 它们之间的关系是

$$1\text{k}\Omega=10^3\Omega$$

$$1\text{M}\Omega=10^3\text{k}\Omega=10^6\Omega$$

电阻率与导体材料的性质和温度有关, 对于给定的材料, ρ 是一个常数。常用的一些材料在 20°C 时的电阻率和电阻温度系数见表 1-2。

表 1-2 材料的电阻率和电阻温度系数

	材料名称	电阻率(20°C) / $(\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})$	平均电阻温度系数 ($0\sim 100^\circ\text{C}$) $\alpha/(1/^\circ\text{C})$
导电材料	银	0.0165	0.0036
	铜	0.0175	0.004
	铝	0.0283	0.004
	低碳钢	0.13	0.006