

21世纪 高职高专通用教材



电路与电工技术基础

(上册)

● 宗祥娟 主编

上海交通大学出版社

中国工程咨询业 2006 年工作会议

2006.12.28

2006.12.28

21 世纪高职高专通用教材

电路与电工技术基础

上册

宗祥娟 主编

上海交通大学出版社

内 容 简 介

“电路与电工技术基础”上册全书共分12章。第1~3章以直流电路为对象,介绍了电路的基本概念、基本连接方法及基本分析方法,第4~8章以相量法为基础介绍了交流电路(包括正弦交流电路、谐振电路、互感电路、三相电路及非正弦周期电流电路)的分析方法,第9章介绍了二端口网络的参数方程及基本连接方法,第10、11章介绍了线性动态电路的时域分析及复频域分析,第12章简单介绍了非线性电阻电路。

全书抓住了各章节的有机联系循序渐进,以培养技术应用型人才为目标,力求做到概念明确,强化应用。本书编入了适当的例题,并收集了较多的思考题与习题。

本书适用于电气类、机电类、计算机类专业的电路分析课程。

图书在版编目(CIP)数据

电路与电工技术基础.上册/宗祥娟主编. —上海:上海交通大学出版社,2001

21世纪高职高专通用教材

ISBN 7-313-02624-2

I. 电… II. 宗… III. ①电路-高等学校:技术学校-教材②电工技术-高等学校:技术学校-教材 IV. TN1

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第87420号

电路与电工技术基础

上册

宗祥娟 主编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路877号 邮政编码200030)

电话64071208 出版人张天蔚

常熟市文化印刷厂印刷 全国新华书店经销

开本:890mm×1240mm 1/32 印张:12.5 字数:356千字

2001年2月第1版 2001年2月第1次印刷

印数:1—5050

ISBN 7-313-02624-2/TN·085 定价:22.00元

版权所有 侵权必究

序

发展高等职业技术教育,是实施科教兴国战略、贯彻《高等教育法》与《职业教育法》、实现《中国教育改革与发展纲要》及其《实施意见》所确定的目标和任务的重要环节;也是建立健全职业教育体系、调整高等教育结构的重要举措。

近年来,年青的高等职业教育以自己鲜明的特色,独树一帜,打破了高等教育界传统大学一统天下的局面,在适应现代社会人才的多样化需求、实施高等教育大众化等方面,做出了重大贡献。从而在世界范围内日益受到重视,得到迅速发展。

我国改革开放不久,从1980年开始,在一些经济发展较快的中心城市就先后开办了一批职业大学。1985年,中共中央、国务院在关于教育体制改革的决定中提出,要建立从初级到高级的职业教育体系,并与普通教育相沟通。1996年《中华人民共和国职业教育法》的颁布,从法律上规定了高等职业教育的地位和作用。目前,我国高等职业教育的发展与改革正面临着很好的形势和机遇:职业大学、高等专科学校和成人高校正在积极发展专科层次的高等职业教育;部分民办高校也在试办高等职业教育;一些本科院校也建立了高等职业技术学院,为发展本科层次的高等职业教育进行探索。国家学位委员会1997年会议决定,设立工程硕士、医疗专业硕士、教育专业硕士等学位,并指出,上述学位与工程学硕士、医学科学硕士、教育学硕士等学位是不同类型的同一层次。这就为培养更高层次的一线岗位人才开了先河。

高等职业教育本身具有鲜明的职业特征,这就要求我们在改革课程体系的基础上,认真研究和改革课程教学内容及教学方法,努力加强教材建设。但迄今为止,符合职业特点和要求的教材却似凤毛麟角。由泰州职业技术学院、上海第二工业大学、金陵职业大学、扬州职业大学、彭城职业大学、沙州职业工学院、上海交通高等职业技术学校、上海交大技术学院、上海汽车工业总公司职工大学、江阴职工大学、江南学院、常州职业技术师范学院、苏州职业大学、锡山市职业教育中心、上海

商业职业技术学院、福州大学职业技术学院、芜湖职业技术学院、青岛职业技术学院、宁波高等专科学校、上海工程技术大学等 70 余所院校长期从事高等职业教育、有丰富教学经验的资深教师共同编写的《21 世纪高职高专通用教材》，将由上海交通大学出版社陆续向读者朋友推出，这是一件值得庆贺的大好事，在此，我们表示衷心的祝贺。并向参加编写的全体教师表示敬意。

高职教育的教材面广量大，花色品种甚多，是一项浩繁而艰巨的工程，除了高职院校和出版社的继续努力外，还要靠国家教育部和省（市）教委加强领导，并设立高等职业教育教材基金，以资助教材编写工作，促进高职教育的发展和改革。高职教育以培养一线人才的岗位与岗位群能力为中心，理论教学与实践训练并重，二者密切结合。我们在这方面的改革实践还不充分。在肯定现已编写的高职教材所取得的成绩的同时，有关学校和教师要结合各校的实际情况和实训计划，加以灵活运用，并随着教学改革的深入，进行必要的充实、修改，使之日臻完善。

阳春三月，莺歌燕舞，百花齐放，愿我国高等职业教育及其教材建设如春天里的花园，群芳争妍，为我国的经济建设和社会发展作出应有的贡献！

叶春生

2000 年 4 月 5 日

前 言

随着我国高等教育改革的不断深化,高等职业教育正在蓬勃发展。为了适应高等教育的发展,我们编写了《电路与电工技术》教材,全书分上、下两册出版。

本册介绍电路分析的基本内容,包括电路的基本概念、电路的基本连接方法及电路的基本分析方法。通过本教材内容的学习,要求掌握分析电路的基本方法,为学习后续课程准备必要的电路知识,并为从事本专业工作打下基础。

为培养技术应用型人才的需要,本书在教学中以掌握概念、强化应用为重点。本书编入的内容以工程实践中正在使用和近期有可能推广使用的技术所需的基础理论为主。力求做到突出概念、强化应用、深入浅出,又不影响电路课程本身的严密性与逻辑性。

本书还编入了一些典型例题、思考题和习题,使学生能加深理解,提高分析问题和解决问题的能力。

本书适用于电类、机电类、计算机类专业的电路分析课程。建议教学时间为 70~90 学时。

本书由上海应用技术学院宗祥娟任主编,南京化工学校孙琴梅和上海应用技术学院席惠任副主编。

本书为探索培养技术应用型人才的教學需要,对电路课程的某些内容及方法作了变动与尝试。书中若有不足或错误,敬请读者批评指正。

编者

2000 年 10 月

目 录

1 电路的基本概念	1
1.1 电路及电路模型	1
1.2 电路的基本物理量	3
1.3 电阻元件	12
1.4 电容元件	15
1.5 电感元件	18
1.6 电压源与电流源	21
1.7 基尔霍夫定律	27
小结	34
习题	36
2 电路的基本连接	41
2.1 电路的串联、并联及混联	41
2.2 电阻的 Y- Δ 等效变换	57
2.3 电压源、电流源的连接	63
小结	69
习题	70
3 线性网络的一般分析及定理	77
3.1 支路法	77
3.2 回路电流法	82
3.3 节点电压法	88
3.4 叠加定理	96
3.5 替代定理	103

3.6 戴维南定理	104
3.7 诺顿定理	113
3.8 对偶性	115
小结	117
习题	118
4 正弦交流电路	124
4.1 正弦交流电路的基本概念	124
4.2 复数	128
4.3 正弦量的相量表示	132
4.4 电阻、电感和电容元件上电压与电流的相量关系	134
4.5 基尔霍夫定律的相量形式	144
4.6 正弦交流电路的相量分析	145
4.7 用相量法分析复杂交流电路	161
4.8 正弦交流电路中的功率及功率因数的提高	165
4.9 正弦交流电路负载获得最大功率的条件	170
小结	172
习题	174
5 三相交流电路	181
5.1 三相电源	181
5.2 对称三相电路	187
5.3 不对称三相电路	194
5.4 三相电路的功率	198
小结	201
习题	202
6 谐振	206
6.1 串联谐振	206
6.2 并联谐振	210

小结	214
习题	215
7 互感电路	217
7.1 互感的基本概念	217
7.2 具有互感的电路	221
7.3 空芯变压器	227
7.4 理想变压器	231
小结	233
习题	234
8 非正弦周期电流电路	237
8.1 非正弦周期电流	237
8.2 周期函数分解为傅里叶级数	238
8.3 非正弦周期电流电路的有效值和平均功率	245
8.4 非正弦周期电流电路的计算	248
8.5 滤波器	250
小结	253
习题	254
9 二端口网络	256
9.1 二端口网络的基本概念	256
9.2 二端口网络的方程及参数	258
9.3 二端口网络的等效电路	269
9.4 二端口网络的连接	271
小结	277
习题	278
10 线性动态电路的时域分析	280
10.1 动态电路	280

10.2 换路定则和电路初时值的计算	281
10.3 一阶电路的零输入响应	286
10.4 一阶电路的零状态响应	298
10.5 一阶电路的全响应	306
10.6 阶跃函数和一阶电路的阶跃响应	315
小结	321
习题	323
11 线性动态电路的复频域分析	335
11.1 拉普拉斯变换与基本性质	335
11.2 拉普拉斯反变换的部分分式展开法	339
11.3 电路元件伏安关系和电路定律的复频域形式	344
11.4 用拉普拉斯变换分析线性动态电路	348
11.5 网络函数	356
小结	359
习题	361
12 非线性电阻电路	366
12.1 非线性电阻元件	366
12.2 非线性电阻电路的图解法	369
12.3 非线性电阻电路的小信号分析法	370
小结	375
习题	375
参考答案	377

1 电路的基本概念

本章主要介绍:电路的基本物理量——电流、电压及功率;电路的基本元件——电阻、电容、电感及电源;电路的基本定律——基尔霍夫电流定律及基尔霍夫电压定律。

1.1 电路及电路模型

电路是由电气设备或器件按一定的方式连接起来的总体,它提供了电流流动的路径。电路也可称为网络。随着电流的流动,电路中进行着电能量与其他形式能量的转换,其中提供电能量(将其他形式的能量转换成电能量)的设备称为电源,如电池、发电机、信号发生器等。消耗电能量(将电能量转换为其他形式能量)的设备称为负载,如各种用电器、电容器、继电器、晶体管、电动机等。

电路的形式是多种多样的。有长达数百公里的输配电线路,也有小到只有几毫米的集成电路。

电路可以实现电能的传输、分配和把电能量转换成其他形式的能量。如电力系统中,发电厂的发电机把热能、水能或原子能转换成电能,通过变压器和输电线路传输到各用电单位,通过负载把电能又转换成其他形式的能量。电路还可以实现多种电信号的传递和处理,通过电路把施加的信号(称为激励)转换成所需要的输出信号(称为响应)。如收音机中的调谐电路,它可以从发射台发出的不同信号中选择出所需要的信号。

综上所述,电路主要由电源、负载和传输环节等三部分组成:电源是提供电能或电信号的设备;负载是消耗电能或输出信号的设备;电源与负载之间通过传输环节连接。为了保证电路按不同的需要完成工作,在电路中还需加入适当的控制设备,如开关等。

电路分析是研究电路中所发生的电磁现象及过程,探讨决定电路特性的基本定律及电路的基本计算方法。组成电路的实际元件的电磁性能较为复杂,每一个实际元件都会出现好几种电磁现象,如电流通过电阻器时不但会消耗电能而发热,还同时会产生磁场;在交流电路中工作的电容器中会有变化的电场和磁场,介质中还有热损耗。因此直接分析由实际元件组成的电路是比较困难的,为了便于分析,常常在一定条件下对实际元件理想化,从实际元件中抽象出一些理想化的电路元件,如用来表征将电能量转换成热能的电阻器、表征电场储能现象的电容器、表征磁场储能现象的电感器及独立电源等。每一种实际元件中只考虑起主要作用的电磁现象,而忽略其他现象,用理想元件来构成实际元件的模型,然后再分析模型中出现的电磁现象。这种模型就称为电路元件。

用一个或几个理想电路元件构成的模型去模拟一个实际电路,模型中出现的电磁现象与实际电路中的电磁现象十分接近,这个由理想电路元件组成的电路称为电路模型。

当实际电路尺寸远小于电路中电流的波长时,可以认为电能量的损耗、电场储能和磁场储能是分别聚集在电阻元件、电容元件和电感元件中发生的,由这种理想的集中参数元件构成的电路叫集中参数电路。

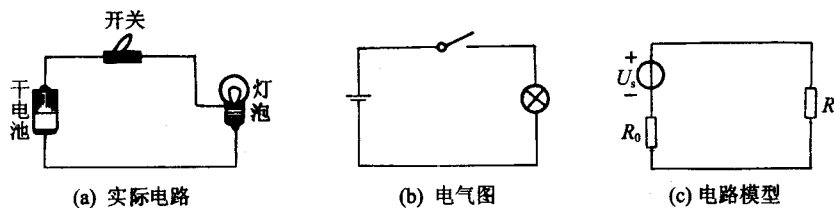


图 1.1 一个简单实际电路的电路模型

表 1.1 部分电气图用图形符号

(根据国家标准 GB4728)

名称	符号	名称	符号	名称	符号
导线		传声器		电阻器	
连接的导线		扬声器		可变电阻器	
接地		二极管		电容器	
接机壳		稳压二极管		电感器、绕组	
开关		隧道二极管		变压器	
熔断器		晶体管		铁心变压器	
灯		电池		直流发电机	
伏特表				直流电动机	

1.2 电路的基本物理量

电路分析是在已知电路的结构及元件的情况下求解电路中电流、电压及功率的分布。本节讨论电流、电压及功率的概念。

1.2.1 电流

电荷的定向运动形成电流。为了衡量电流的大小,把单位时间内通过导体横截面的电荷量定义为电流强度。电流强度常简称为电流,用符号 i 表示,即

$$i \stackrel{\text{def}}{=} \frac{dq}{dt} \quad (1.1)$$

习惯上把正电荷运动的方向作为电流的方向。

在国际单位制(SI)中,电流的单位是安培(简称为安,用符号 A 表示)。1 安培的电流表示在 1 秒钟的时间内,通过导体某一横截面的电荷量是 1 库仑。

$$1 \text{ 安培} = \frac{1 \text{ 库仑}}{1 \text{ 秒}}$$

当电流较小时,可用毫安(mA)或微安(μA)作单位。

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

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

电流是一个既有大小又有方向的物理量。因为电流只有两个方向,因此可以用一个代数量来表示,代数量的绝对值表示电流的大小,代数量的正、负值反映电流的方向。要以代数量的正、负反映电流的方向,必须引入电流参考方向的概念。在一个二端元件上,任意选定一个方向作为电流的参考方向,用实线箭头标在连接线的旁边。如果电流的真实方向与参考方向一致,电流为正值;如果两者相反,电流为负值。这样,就可以利用电流的正负值结合参考方向来表明电流的真实方向。例如图 1.2(a)中, $i > 0$ 时,电流实际方向与参考方向一致。图 1.2(b)中, $i < 0$ 时,电流实际方向与参考方向相反。



图 1.2 电流的参考方向与实际方向

电路中的电流在没有求得以前,它的方向与大小同样是未知的,有时也不能简单地加以判断,有时电流的方向是变化的(如正弦交变电流)。因此在分析电路以前首先要设定元件中电流的参考方向,电流的参考方向可以任意设定,但是,一经设定以后,列写出方程分析电路时,就以这个方向为准,在整个计算过程中不能随意改变。一般在电路图中用箭头标明电流的参考方向,由电流值的正、负反映实际电流的方向,而不必再将电流的实际方向在电路图中画出来。

例 1.1 图 1.3 中所示的 A、B、C 三个元件中, 电流 i_A, i_B, i_C 的参考方向如图所示。若有 $i_A = -10\text{mA}, i_B = 6\text{mA}, i_C = -16\text{mA}$ 问这三个代数值表示什么意思?

解 $i_A = -10\text{mA}$ 表示元件 A 中有 10mA 的电流通过, 电流的实际方向由 d 端流向 a 端。

$i_B = 6\text{mA}$ 表示元件 B 中有 6mA 的电流通过, 电流的实际方向由 d 端流向 b 端。

$i_C = -16\text{mA}$ 表示元件 C 中有 16mA 的电流通过, 电流的实际方向由 c 端流向 d 端。

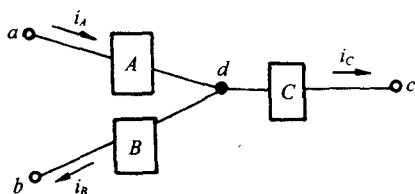


图 1.3 例 1.1 图

电流的大小和方向不随时间改变时, 这种电流称为直流电流, 简称为直流(Direct current 简称为 DC)。直流电流常用大写字母 I 表示。电流的大小和方向随时间周期变化, 并且平均值为零的电流称为交流电流, 简称为交流(Alternating current 简称为 AC)。

1.2.2 电压、电位、电动势

1) 电压

电荷在电场力作用下做有规则的运动, 电场力对电荷做了功, 电压就是衡量电场力做功能力的一个物理量, 电压又叫电位差, 用字母 u 表示。 a, b 两点间的电压 U_{ab} 在数值上等于电场力把单位正电荷从 a 点移动到 b 点所做的功。

它的定义式为

$$U_{ab} \stackrel{\text{def}}{=} \frac{dW}{dq} \quad (1.2)$$

在国际单位制(SI)中,电压的单位为伏特(简称为伏,用符号V表示)。两点间的电压为1伏特表示电场力将1库仑的正电荷从一点移动到另一点做了1焦耳的功。

$$1 \text{ 伏特} = \frac{1 \text{ 焦耳}}{1 \text{ 库仑}}$$

计量微小电压时用毫伏(mV)或微伏(μV)为单位;计量大电压时,用千伏(kV)为单位。

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

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

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

电压的定义还规定了在电场力作用下,正电荷移动的方向是电压的实际方向,或者说电压的实际方向是从高电位指向低电位的(电位降低的方向),如果用符号“+”与“-”表示电位的高与低,也可称电位高的那一端电压的极性是“+”的,电位低的那一端电压的极性是“-”的。

像设定电流的参考方向一样,也需要设定电压的参考方向。电压的参考方向有三种表示方法:①用双下标表示,如用 u_{ab} 表示参考方向为 a 指向 b 的电压;②用极性符号“+”与“-”标注在电路的两端,表示电压的参考方向为“+”端指向“-”端;③用箭头“ \rightarrow ”表示电压的参考方向。

在设定了电压参考方向后,电压 u 也是一个代数量。若 $u > 0$,表示电压的实际方向与参考方向一致,如图1.4(a)所示;若 $u < 0$ 表示电压的实际方向与参考方向相反,如图1.4(b)所示。

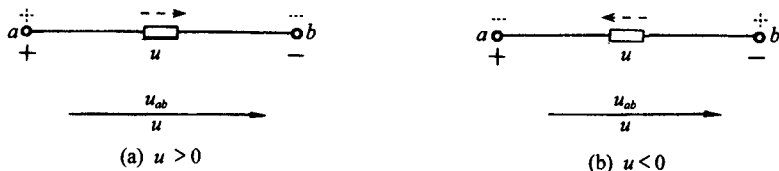


图 1.4 电压的方向