



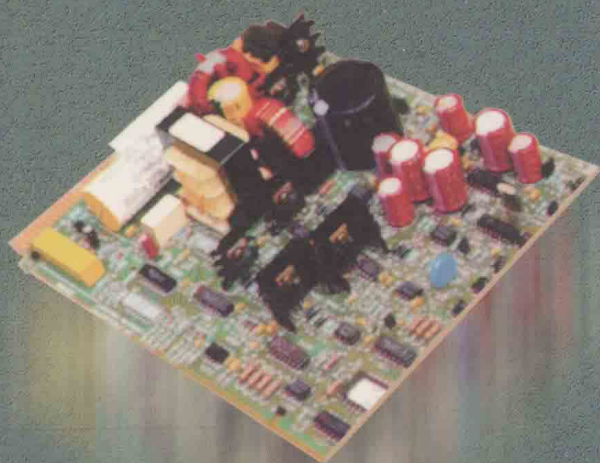
国家教委中等专业学校规划教材

电工类专业通用

电工基础

(删订本) 上册

谭恩鼎 主编



高等教育出版社

电 工 基 础

(删 订 本)

上 册

谭恩鼎 主编

高等教育出版社

内 容 简 介

本书是中等专业学校试用教材《电工基础》(谭恩鼎主编)的删订本。本书内容符合国家教委 1987 年 3 月审定的中等专业学校工科电工类《电工基础教学大纲》的基本要求,并经国家教委全国中等专业学校电工基础课程组审查通过,同意作为试用教材供四年制中专电工类各专业使用。

删订本仍分上下册出版。全书由原来的十七章精简归并为九章,总篇幅减少三分之一。上册共五章,内容有:电路的基本概念和基本定律,直流电路的分析,正弦交流电路的分析,互感电路,三相正弦交流电路。下册共四章,内容包括:非正弦周期性电流电路,线性动态电路的分析,电场与磁场,铁心线圈和磁路。每章均有引言和结束语,节后有小结。书末附有习题答案。

本书亦可供业余中等专业学校、职业高中有关专业选用。

图书在版编目(CIP)数据

电工基础 上册/谭恩鼎主编. — 2 版. — 北京:高等教育出版社, 1987.10(2004 年重印)

ISBN 7-04-000172-1

I. 电… II. 谭… III. 电工—理论 IV. TM1

中国版本图书馆CIP数据核字(95)第11301号

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010 - 64054588
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800 - 810 - 0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010 - 82028899		http://www.hep.com.cn
经 销	新华书店上海发行所		
印 刷	上海港东印刷厂		
开 本	850×1168 1/32	版 次	1985 年 5 月第 1 版
印 张	13.125		1987 年 10 月第 2 版
字 数	314 000	印 次	2004 年 1 月第 28 次印刷
		定 价	19.70 元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

删订本前言

一九八五年五月出版的中等专业学校试用教材《电工基础》上下册是根据一九八一年十月原教育部组织制订的中等专业学校工科电工类《电工基础教学大纲(试行草案)》编写的。

鉴于当时的实际情况,这份教育大纲及相应的教材既要适用于招收初中毕业生的四年制中等专业学校的教学需要,又要照顾到招收高中毕业生的中专学校要求。但经过两年的试用表明,由于学生基础不同,两者很难兼顾,对四年制中专学校来说,原书内容存在偏多偏深的问题。

一九八六年十月国家教委组织全国中等专业学校电工基础课程组重新审订了四年制中等专业学校工科电工类《电工基础教学大纲》,并决定尽快对原教材进行删订,以供四年制中专校当前教学使用。同时为了满足招收高中生的中专校以及社会其它方面的需要,原版本仍将继续印行。

删订本参照新大纲对原版本进行删节,删除了原版本的选学内容,对超过新大纲要求的进行精简,部分内容作了归并或改写,个别错误作了订正。具体变动说明如下。

删订本将原书十七章删减合并为九章,总篇幅减少三分之一。全部删除的为原版本的选学内容,有恒定电流场(原第十二章),交变电磁场(原第十四章),网络分析与网络方程(原第十六章),与均匀传输线(原第十七章)共四章。原第九章非线性电阻电路作了较大的删节改为第二章的一节,原第七章二端口网络删节后作为第三章的一节。此外还将原第三、四两章合并为正弦交流电路的分析一章。原第十一章静电场与第十三章恒定磁场合并为电场与磁

场一章。其它各章内容也参照新大纲进行了删减。

单相正弦交流电路合为一章后,在讨论正弦交流基本概念之后,随即用相量表示正弦量,用相量形式的欧姆定律和基尔霍夫定律分析电阻、电感、电容和它们的串联电路,而不再单独用函数式计算,避免不必要的重复,从而紧凑简捷一些。属于数学内容的复数和复数运算,改放在附录中。对于在数学中已学过复数的可不再讲授。

原线性电路的过渡过程一章,改为线性动态电路的分析,因为研究的不仅是过渡过程,而是含线性动态元件的电路的暂态和稳态的全过程。使学者对电路部分有较全面、较完整的概念。其中有关拉氏变换的数学内容改放在附录中。

电场和磁场合并为一章后,对偏深的内容作了较多的删减,以更适合四年制中等专业学校的要求。补充了位移电流与电磁感应的简单介绍,使读者对电场与磁场的相互影响有一基本概念。

删订本仍分上下册出版。上册内容有:电路的基本概念和基本定律,直流电路的分析,正弦交流电路的分析,互感电路,三相正弦交流电路。下册内容包括:非正弦周期性电流电路,线性动态电路的分析,电场与磁场,铁心线圈和磁路。

本删订本由上海电机制造技术专科学校谭恩鼎进行删订。除删减、合并或改写外,其余部分仍采用原书。

本删订本由全国中等专业学校电工基础课程组委托课程组成员西安航空工业技术专科学校曹彦芳同志主审,并于一九八六年十二月课程组会议上讨论通过。

主审曹彦芳同志对本书作了认真审阅和修改;课程组全体成员给了大力支持,并提出宝贵意见;原书三位协编湘潭机电专科学校周伯孚,哈尔滨机电专科学校杨其允、刘庆田同志给予积极支持和协助;上海电机制造技术专科学校袁兆熊、瞿龙祥同志协助组织

和整理工作,对此,编者致以衷心的感谢。

原版本在使用过程中得到兄弟学校师生的批评指正,编者在此一并致以谢意。

由于编者水平有限,本删订本可能仍有不妥和错误之处,恳切希望读者对删订本和原版本予以指正。

编 者

一九八七年二月

原 序

本书是根据一九八一年十月教育部组织制定的中等专业学校工科电工类《电工基础教学大纲(试行草案)》编写的,供中等专业学校有关专业试用。

《电工基础》是电工类专业的技术基础课。它的任务是阐明电工技术中电磁现象的基本概念、基本规律和基本分析方法,为学习专业课程打下基础。

本书分上下册共十七章。上册一至九章全部为电路内容,即第一、二章直流电路,第三、四章单相交流电路,第五章互感电路,第六章三相电路,第七章二端口网络,第八章非正弦周期电路与第九章非线性电阻电路。下册计八章,除第十章过渡过程是电路的内容外,第十一、十三、十五等三章分别为静电场、恒定磁场和磁路与铁心线圈。根据教学大纲规定,为了适应新技术的发展以及不同专业的需要,还编写了恒定电流场(第十二章),交变电磁场(第十四章),网络分析与网络方程(第十六章),均匀传输线(第十七章),均标以*号,供选用。

由于电工技术内容非常广泛,根据本课程的性质与任务,本书把重点放在电工技术的基本原理和分析计算方法上。编写中始终强调物理模型、数学模型和等效的概念,以逐步培养学生对复杂的实际问题的概括、简化和将原理、定律用来解决实际问题的能力。

学习本书的基础是高中物理和必需的高等数学,或与之相应的中专物理和中专数学。在编写中注意了衔接问题。在基本概念方面,需要复习一些物理中已学过的知识,并从电工技术方面予以引申,避免不必要的重复。对数学的配合上可能出现的困难,需要采取措施,例如先阐明物理概念,以后再进行数学运算。

为了便于学生阅读,本书对概念的叙述比较详细,并力求深入浅出,例题也比较多些,因而建议有些内容在课堂上可以少讲或不讲,以培养学生的自学能力。

每章的引言,节后的小结,章后的结束语,仅仅希图理清一下思路,以利于教学。节后所附练习,以巩固所学概念为主,计算比较简单,一般可作复习提问使用。每一章后选编了数量较多的习题,供选作课外作业。

参加本书编写的有上海电机制造学校谭恩鼎、湘潭机电专科学校周伯孚、哈尔滨机电专科学校杨其允、刘庆田四位同志,由谭恩鼎主编。其中第一至第七章和第十四章由谭恩鼎执笔,第十一、十二、十三、十五和第十七章由周伯孚执笔,第八、九章和第十六章由杨其允执笔,第十章由刘庆田执笔。

本书承重庆大学彭扬烈同志初审,江泽佳同志主审。上册经一九八三年七月上海闵行审稿会议,下册经一九八四年四月重庆审稿会议讨论通过。参加审稿会的还有吉林冶金电气化学校,西安航空工业学校,南京机电学校,上海机电工业学校,沈阳机电工业学校,郑州机械专科学校,北京机械工业管理专科学校,重庆机器制造学校,福建机电工业学校和上海电机制造学校的教师代表。他们提供了许多宝贵意见,对修改起了重要的作用。在编写、审稿过程中,还得到重庆大学、编者所在三所学校的大力支持。上海电机制造学校的袁兆熊等许多同志在组织和抄写、打印、绘图等方面做了大量的工作,付出了辛勤劳动。编者在此谨致以深切的谢意。

由于编者水平限制,书中不妥和错误之处可能不少,恳切希望使用本书的师生和其他读者指正。

编 者

一九八四年四月

目 录

第一章 电路的基本概念和基本定律	1
§ 1-1 电路·电路模型	1
§ 1-2 电路的基本物理量	3
§ 1-3 欧姆定律·电阻	15
§ 1-4 电气设备的额定值	24
§ 1-5 基尔霍夫定律	28
§ 1-6 电压源与电流源	40
习题	50
第二章 直流电路的分析	58
§ 2-1 电阻的串并联	58
§ 2-2 电能输送与负载获得最大功率的条件	69
§ 2-3 支路电流法	76
§ 2-4 回路电流法	82
§ 2-5 节点电压法	90
§ 2-6 星形网络与三角形网络的等效变换	97
§ 2-7 叠加定理	103
§ 2-8 戴维南定理与诺顿定理	111
§ 2-9 非线性电阻电路	122
习题	134
第三章 正弦交流电路的分析	145
§ 3-1 正弦交流电动势的产生	145
§ 3-2 正弦量的三要素·相位差	152
§ 3-3 正弦量的有效值	158
§ 3-4 同频率正弦量的相加	163
§ 3-5 正弦量的相量表示法	166
§ 3-6 交流电路中的理想元件	170
§ 3-7 相量形式的欧姆定律与基尔霍夫定律	189

§ 3-8 电导、电纳与复导纳	206
§ 3-9 复阻抗与复导纳的等效互换	209
§ 3-10 阻抗的串并联电路	213
§ 3-11 复功率	224
§ 3-12 功率因数的提高	228
§ 3-13 电路的谐振	234
§ 3-14 二端口网络	247
§ 3-15 交流复杂电路	262
§ 3-16 交流电路中的实际元件	273
习题	279
第四章 互感电路	295
§ 4-1 互感	295
§ 4-2 互感电路的计算	307
§ 4-3 互感消去法	319
§ 4-4 空心变压器	327
§ 4-5 受控源	332
习题	340
第五章 三相正弦交流电路	347
§ 5-1 三相交流电动势的产生	347
§ 5-2 三相电源的联接	350
§ 5-3 三相负载的联接	354
§ 5-4 对称三相电路的计算	359
§ 5-5 不对称三相电路的计算	367
§ 5-6 三相电路的功率	377
§ 5-7 对称分量	380
习题	385
附录 复数·复数的运算	391
习题答案	396

第一章 电路的基本概念和基本定律

电路是电工技术中的主要研究对象,电路理论是电工基础的主要部分,内容非常丰富。本章首先对什么是电路,电路中的电流、电压、电功率三个主要物理量,电路中的重要参数之一电阻,以及电路中的基本定律进行研究,为以后各章深入分析电路问题打下基础。

§ 1-1 电路·电路模型

近代的电气工程(electrical engineering)包括电力工程、通讯、控制三大系统。电工基础是整个电气工程的基础,研究的是整个系统电磁现象的基本规律及其应用,而电路理论在电工基础中又占有很大的比重。

为了研究电路理论,首先要了解什么是电路,即先给电路下一个定义:电路(electric circuit,简称 circuit)是各种电气器件(electrical device)按一定方式联接起来组成的总体,它提供了电流通过的路径。这些电气器件包括发电机、电池、电动机、电炉、电灯、电子管、半导体器件、集成电路块、控制电器等等。它们的结构、原理将在有关专业的书籍中介绍。

电路的另一名称叫电网络(electric network)。两个名词可以通用,不过,一般电网络指复杂些的电路。

按工作任务划分,电路的功能有两类:

第一类功能是进行能量的转换、传输和分配。其中包括将其他能量转变为电能的设备如发电机、电池等,这些设备叫电源(electric source);将电能转变为其他能量的设备如电动机、电炉、

电灯等,叫做负载(load)。而在电源和负载之间的输电线、变压器、控制电器等便是执行传输和分配任务的器件。这些设备构成极其复杂的电网络,称为电力系统。

第二类功能是信号(signal)的处理。输入的信号叫做激励(excitation),输出的信号叫做响应(response)。中间部分便是对信号进行处理的一些器件。例如扩音机的输入(激励)是声的电信号,通过电子管或晶体管组成的放大器,输出(响应)便是放大的声的电信号,实现了放大功能。又如程序控制器,它的激励是手动控制器,或者用穿孔纸带转变为光信号的一系列脉冲指令,经过中间电路的处理加工,发出一系列信号(响应),使电动机按指令要求带动机床动作,就是自动控制的一个例子。

电路可以是简单的,也可能是复杂的。有时会复杂到难以想象的程度。即使是最简单的电路,实际工程中的电气器件牵涉到的知识也很广泛。我们只对电路中的一些规律进行探讨,按照所掌握的规律进行分析。

为了便于对实际的复杂问题进行研究,在工程中常采用一种“理想化”的科学抽象方法,把实际的电气器件看作为电源、电阻、电感与电容等有限几种理想的电路元件(circuit element)。理想电路元件是具有某种确定的电或磁性质的假想元件,例如电阻元件具有消耗电能的特征,我们便将具有这一特征的电灯、电炉等实际元件用抽象的理想电阻元件来近似替代。当然这与工程实际器件的性能会有差异,正像研究自由落体的质点模型,会与实际有空气阻力的落体有差异一样。这些差异不容忽视,但只有掌握了基本规律之后,才有可能去考虑差异。

用理想元件构成的电路叫电路模型(circuit model),用特定的符号代表元件联接成的图形叫电路图(circuit diagram)。

一般的理想元件具有两个与外部联接的端钮,叫二端电路元

件(two terminal circuit element)。没有说明具体性质的二端电路元件用方框符号表示[图 1-1-1(a)],它只表示抽象的一般二端电路元件。

图 1-1-1(b)的符号代表电池,长线代表正极,短线代表负极,可以不另外加正负号。对于一般的理想电压源用圆圈内加正负号表示(图 1-1-1(c))。图 1-1-1(d)长方形符号代表理想电阻元件,白炽灯、电炉、电烙铁都是电阻元件。

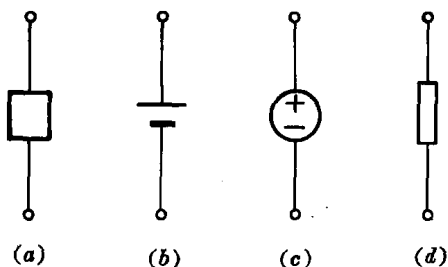


图 1-1-1

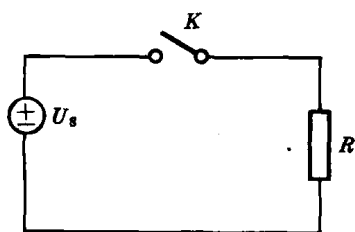


图 1-1-2

图 1-1-2 是一个最简单的电路模型(以后只简称为电路)。它由一个理想电压源供电,负载是一个理想电阻元件,中间是一个控制电路接通或断开的开关。直流电压源是电池时,有时也可用图 1-1-1(b)的符号代表理想电压源。

其他类型二端元件如电感、电容,三端元件如晶体管,以及由此组成的电路,放在以后研究。

§ 1-2 电路的基本物理量

为了定量地分析研究自然界物理现象与规律,需要引进很多物理量,但基本的只有七个(长度、质量、时间、电流、温度、物质的量、光强)。在电路中需要分析研究的物理量也很多,但主要的是电流、电压以及电功率这三个物理量,其中电流、电压是电路中的

基本物理量^①。

关于单位制,我国已于 1984 年 2 月规定统一用国际单位制(system of international units 简称 SI)。在国际单位制中,电磁学采用四个基本单位,即长度单位米(m),质量单位千克(kg),时间单位秒(s),电流单位安(A)。

除了 SI 单位之外,根据实际情况,需要使用较大单位或较小单位时,则在 SI 单位上加 SI 词头。例如:大的长度单位用千米(km),小的用毫米(mm),或微米(μm)。常用的词头如表 1-1 所示。以后讨论电工中的单位时,只研究 SI 单位。如需要采用较大或较小的单位时,可按表在 SI 单位前加上词头。

表 1-1

因 数	词 头	代 号		因 数	词 头	代 号	
		中文	字母			中文	字母
10^6	兆 méga	兆	M	10^{-2}	厘 centi	厘	c
10^3	千 kilo	千	k	10^{-3}	毫 milli	毫	m
10^2	百 hecto	百	h	10^{-6}	微 micro	微	μ
10^1	十 déca	十	da	10^{-12}	皮可 pico	皮	p

下面分别研究电流、电压、电功率等几个物理量。

(一) 电流(electric current)

带电质点有规则的运动形成电流。在金属导体中,能够自由运动的是带负电的自由电子,它们在电场力作用下,逆着电场方向作有规则的运动,便形成电流。在电解液(例如硫酸铜溶液)中,带电质点是带正电和带负电的正、负离子,在电场力作用下,分别向两个方向有规则地运动,都形成电流。这种金属导体、电解液中的

^① 有的教材以电流、电压为基本物理量,有的以电流、电压、电荷、磁通为基本物理量,能量和功率为主要的复合物理量。本书从电工实际出发,重点研究电流、电压和电功率这三个物理量。

电流叫传导电流(conduction current)。

表征电流强弱的物理量叫电流强度(current intensity)。上面所说的电流仅仅是物理现象,但长期以来,往往把电流强度也简称为电流。这样一来,“电流”一词,有时指物理现象,有时指物理量。

电流强度在数值上等于单位时间内通过导体某一截面的电荷的代数和。图 1-2-1 表示一段圆柱金属导体,其中取一个截面 S 。单位时间内通过该截面的自由电子所带电荷的总数便是电流强度。

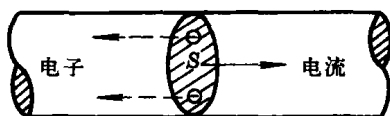


图 1-2-1

根据电流强度和电荷的这个关系,如果 Δt 时间内,通过电荷 Δq ,则 $i = \frac{\Delta q}{\Delta t}$,在极限情况下电流强度为

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

注意,这里的 dq 是 dt 时间内通过截面 S 的电荷总数。关于电流的方向,在十八世纪发现电的现象时,对它的本质还毫无所知,设想电流是带正电的质点运动,电流的方向规定为正电荷运动的方向,一直沿用至今。但是在金属导体内部,参加导电的只有带负电荷的自由电子,所以在图 1-2-1 中,电子运动的方向与电流的方向相反。

对于电解液导电,参加导电的是正负离子,它们都形成电流,但正离子运动方向与电流方向相同,负离子运动方向与电流方向相反, dt 时间内通过截面 S 的电荷总数是 $dq (= dq_+ + dq_-)$ 。

采用国际单位制(SI),电流的单位是安培(ampere),简称安,

其国际符号为 A。计算大电流时用千安(kA)作单位,计算小电流时用毫安(mA)或微安(μ A)作单位。

由基本单位安培可以导出电荷的单位库仑(coulomb),简称库,其国际符号为 C。当通过导体的电流是 1 A 时,则 1 s 通过导体某一截面的电荷便是 1 C。

式(1-2-1)中,电流 i 和电荷 q 都是时间函数[有些教材记为 $i(t)$, $q(t)$]。电流 i 可能有各式各样的变化,图 1-2-2 画出一些例子。

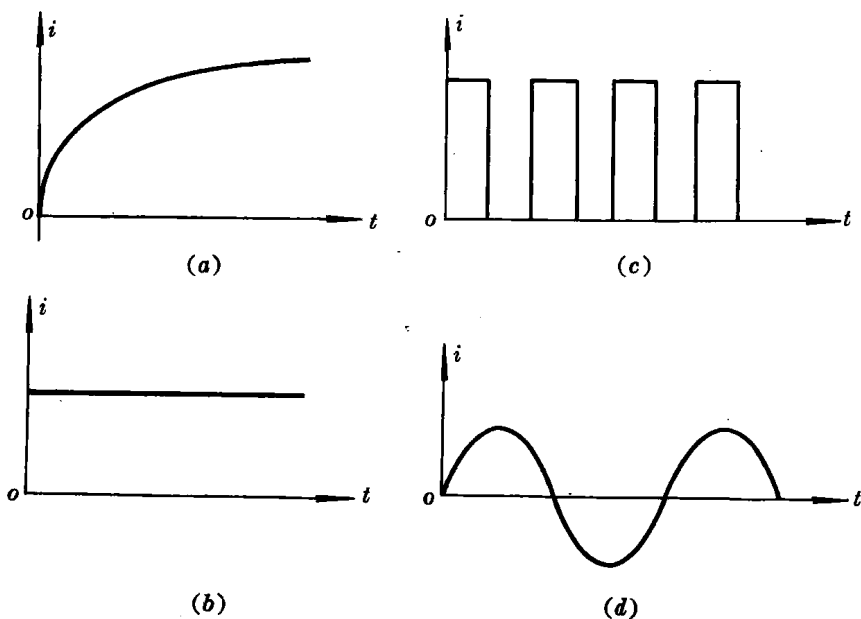


图 1-2-2

图 1-2-2(b)的 i - t 曲线是与 t 轴平行的直线,即电流是恒定的,叫恒定电流,也叫直流电流(direct current),简称直流(dc 或 DC)。

对于直流电流,单位时间内通过截面的电荷是恒定不变的

$$I = \frac{q}{t} \quad (1-2-2)$$

这里用大写字母 I 代表恒定电流,以区别于小写字母 i 代表的变动电流。在这本书里,我们对其他物理量一般也用大写字母代表恒定量,用小写字母代表变动的量,如有例外,我们将加以说明。式中的 q 是 t 秒钟内流过截面的电荷的累计数,仍然是时间函数,所以仍应用小写字母。

(二) 电压、电位、电动势

要在电路中形成电流,带电质点上必须有一电场力的作用。以电池为例,由于化学作用,在电池两端积累有一定数量的正负电荷,分别标为电池的正负极。当金属导体(例如手电筒的小电珠)与电池联接时,电池正负极上积累的正负电荷在导体中形成电场,正电荷受电场力作用通过导体由正极移向负极,形成电流(实际是自由电子由负极移向正极),图 1-2-3 是它的电路模型。这样在图中,电场力将正电荷 q 通过电阻元件(电珠)由正极 a 移动到负极 b ,即电场力对正电荷作了功 A_{ab} 。在导体内部,单位正电荷自 a 点移动到 b 点电场力所作的功定义为 a 、 b 两点间的电压(voltage)

$$U_{ab} = \frac{A_{ab}}{q} \quad (1-2-3)$$

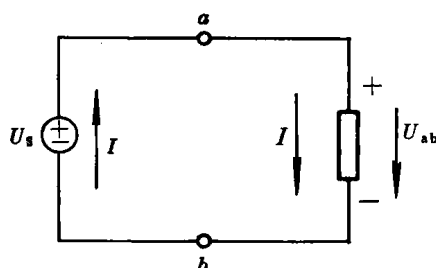


图 1-2-3

电压总是指两点之间而言,所以用双下标 ab 表示,前一个下标 a 代表起点(正电荷运动的起点),后一个下标 b 代表终点。电压的方向则由起点指向终点。也有的用箭头在图上标明,或在起