

农电工人培训教材

全国“星火计划”丛书

# 电工与电子基础

丁毓山



NGDIAN GONGREN PEIXUN JIAOCAI

水利电力出版社

全国“星火计划”丛书

农电工人培训教材

**电工与电子基础**

丁毓山

\*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

\*

787×1092毫米 32开本 11.25印张 248千字

1989年7月第一版 1989年7月北京第一次印刷

印数00001—30370册

ISBN 7-120-00745-9/TM·206

定价4.90元

## 内 容 提 要

本书是为培训农电3~4级电工而编写的。全书共分六章，主要讲解直流电路的基本概念和计算方法，电与磁的基本知识和电气设备的磁路组成，单相和三相正弦交流电路的分析和计算，模拟电子技术和数字电子技术的基本知识。

为了配合培训的要求和深入理解书中所讲述的内容，在每种计算方法的后面附有相应的例题，而且在每节后面附有足够数量的复习题和思考题。

本书是以初中文化程度为基础而编写的，力求文字通俗易懂，图形清晰。因此，除了作为培训教材外，尚可作为电力系统电气工人的参考读物。

0249 B1

图 书 分 类

目 录

1. 1. 1



## 前 言

近年来，我国农村电气化事业发展很快，农电工人队伍迅速壮大，为提高农电工人的技术业务素质，做好技术培训工作，农电司和水利电力出版社共同组织编写了这套“农电工人培训教材”，作为全国各农电部门培训农电工人的基本教材。这套书适用于培训具有初中文化水平的农电工人，同时也可作为他们的自学参考书。对于教材的内容要求和编写大纲，是同有关省（市）农电负责同志经过几次会议共同研究确定的。该教材由九个省的有关同志分工编写，林虔同志任主编。

这套教材共十二种，分别是《电工与电子基础》、《变电运行工》、《变配电设备检修工》、《外线工》、《内线工》、《电气试验工》、《继电保护工》、《电气仪表工》、《电度表工》、《装表接电工》、《营业管理与营业工》、《农电通讯工》。

各地在使用该教材过程中，可根据学员的文化技术水平作适当的增删，对这套教材有何意见和建议，请及时函告水利电力出版社，以便再版时改正。

水利电力部农电司

1986年11月

## 编 者 的 话

为了提高广大农电战线上工人的技术素质，部农电司和水利电力出版社主持编写了“农电工人培训教材”（共12种）。《电工与电子基础》是这套教材的基础部分。

本书在编写中以初中文化程度为基础，着眼于讲清电工技术中常用的物理概念、基本原理和计算方法。但是，鉴于目前模拟电子技术和数字电子技术以及计算技术的发展，变电所将成为强弱电紧密的结合体。因此，本书编入了模拟电子技术和数字电子技术的内容。

本书在编写过程中，耿宁涛同志对书稿进行了整理，沈阳电业局林虔高级工程师审阅了本书的初稿，北京电力专科学校宋执诚、马亦尚同志审阅了全稿，并提出宝贵的意见，作者在此表示诚挚的谢意！

书中第五章是由沈阳农业大学农业电气化专业刘连锁讲师形成的初稿，编者在此特加申明。

由于编者水平所限，书文定有不妥之处，深望使用本书的老师、农电战线上的技术工人和广大读者批评指正，以便进一步修改。

编 者

1988年2月

# 目 录

前 言	
编者的话	
第一章 直流电路 .....	1
第一节 电流、电位、电压和电势 .....	1
第二节 欧姆定律 .....	20
第三节 电路的计算 .....	39
第四节 等效发电机原理和节点电位法 .....	66
第二章 电磁和磁路 .....	77
第一节 磁的性质和电流的磁场 .....	77
第二节 感应电势和载流导体受力 .....	87
第三节 铁磁物质的特性 .....	102
第三章 单相正弦交流电路 .....	112
第一节 正弦交流电势的产生和表示法 .....	112
第二节 单一参数交流电路 .....	136
第三节 串、并联电路的计算 .....	156
第四章 三相交流电路 .....	179
第一节 三相电势的产生和三相电路的连接 .....	179
第二节 不对称三相电路的概念和三相电路的功率 .....	191
第五章 电子技术基础 .....	202
第一节 常用半导体器件 .....	202
第二节 基本放大电路 .....	230
第三节 各种放大电路与振荡电路 .....	253
第四节 整流电路与稳压电路 .....	276
第五节 电子技术在农村电力网中应用举例 .....	289

第六章	数字电路基础知识 .....	296
第一节	基本逻辑电路 .....	296
第二节	触发器 .....	312
第三节	场效应管数字集成电路 .....	329
第四节	数字电路在继电保护中的应用 .....	336

# 第一章 直 流 电 路

直流电路所要讨论的问题是当电路中流过稳定电流时所发生的物理现象。这些物理现象不但广泛地应用于工程实际中，而且，在后续的章节中许多定理和定律都是从直流电路的基本定理和定律推演而来的。因此，这一章的内容是后续课的基础，深望读者对本章的基本概念、原理，以及对电路的求解方法，应该很好的掌握。

## 第一节 电流、电位、电压和电势

### 一、电流的定义和单位

#### 1. 电流的定义

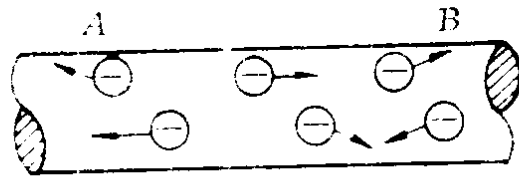
从中学物理学中得知：所有原子都是由原子核和电子构成的，每个电子都带有  $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$  (库[仑]) 的电量，带有电量的电子称为电荷。电荷在导体中作定向运动称为电流，电流的符号用  $I$  表示。

要想电子在导体中作定向运动，必须有定向的外力来推动它。

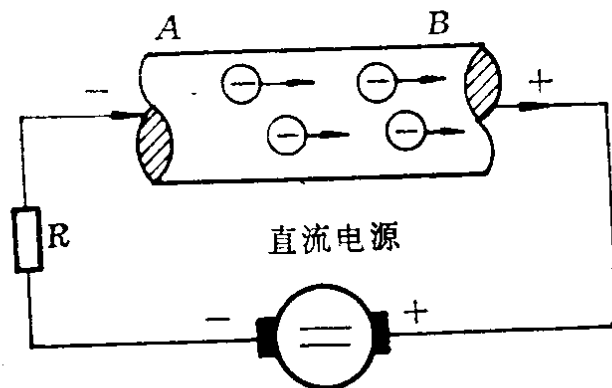
在没有外力作用下，导体  $AB$  中电子的运动是杂乱无章的，如图1-1(a)所示。在这种情况下，电子向哪个方向运动的都有，而且向各个方向运动的机会是均等的，流动的作用互相抵消，显现不出电流来。

如果将导体  $AB$  两侧与直流电源相接，则导体  $AB$  中的电子受到电源力的作用，促使导体中的电子群向右运动，形成





(a)



(b)

图 1-1

电流。

## 2. 电流的方向

在导体中电子运动的方向是电流的实际方向，可是在电子理论确立之前，工程实际中就已经沿用了正电荷的运动方向为电流方向，如图1-2所示。然而，在导体中正电荷是不动的，电子向右运动，相当于正电荷向左运动，这就是说，工程实际中采用的电流方向与实际电流方向是相反的。由于

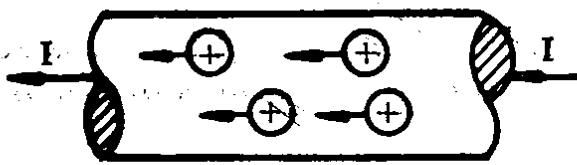


图 1-2

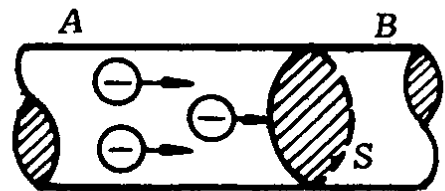


图 1-3

这种规定并不影响电路的计算，所以至今仍被沿用下来。

### 3. 电流的单位

在工程中度量电流的大小采用下述方法：即以单位时间内通过导体截面电量的多少来度量的，如图1-3所示。

如果在1秒钟内，穿过导体截面 $S$ 的电量为1库[仑]，则称导体中通过的电流为1安培，简称为安，以符号A表示，即

$$I_1 = \frac{1\text{C}}{1\text{s}} = 1\text{A}$$

其中 C为库[仑]的符号；s为秒的符号。

如果在1s(秒)内，穿过导体截面的电量为2C(库)，则电流为：

$$I_2 = \frac{2\text{C}}{1\text{s}} = 2\text{A}$$

如果在 $t$ 秒钟内，穿过导体截面的电量为 $Q$ (单位为库[仑])，则电流为

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

公式(1-1)可用来计算时间 $t$ 内电流的平均值，即认为每秒钟内通过导体截面 $S$ 的电量方向不变、数量相等。这种大小和方向都不随时间变化的电流称为直流。

电流的单位除了采用安培之外，对于大的电流，则采用千安为单位，千安以符号kA表示，电力系统短路电流计算中常使用这个单位。在有些情况下，嫌安培这个单位太大，例如在农电通讯中和晶体管继电保护中，常以毫安和微安为单位。毫安用符号mA表示，微安用 $\mu\text{A}$ 表示，这些单位之间有如下的关系：

$$1\text{kA} = 1000\text{A}$$

$$1\text{A} = 1000\text{mA}$$

$$1\text{mA} = 1000\mu\text{A}$$

#### 4. 瞬时电流的表达式

为了说明瞬时电流的计算方法，在表 1-1 中给出了通过导体截面  $S$ （图 1-3）的起始和终了的电量，以及起始和终了的时间。例如起始时间为  $1\text{s}$ （秒），这时通过截面  $S$  的电量为  $10\text{C}$ （库）；终了时间为  $1.1\text{s}$ ，这时通过  $S$  的电量为  $12\text{C}$ 。在  $1\text{s} \sim 1.1\text{s}$  时间内，通过导体  $AB$  中的电流为：

表 1-1

起始时间 $t_1(\text{s})$	起始电量 $Q_1(\text{C})$	终了时间 $t_2(\text{s})$	终了电量 $Q_2(\text{C})$
1	10	1.1	12
1	10	1.01	10
1	10	1.001	9.9
1	10	1.0001	10.01

$$i_1 = \frac{Q_2 - Q_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{12 - 10}{1.1 - 1} = 20\text{A}$$

仿此，可以计算  $1 \sim 1.01\text{s}$ 、 $1 \sim 1.001\text{s}$ 、 $1 \sim 1.0001\text{s}$  时间内导体  $AB$  中的平均电流：

$$i_2 = \frac{Q_2 - Q_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{10 - 10}{1.01 - 1} = 0\text{A}$$

$$i_3 = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{9.9 - 10}{1.001 - 1} = -100\text{A}$$

$$i_4 = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{10.01 - 10}{1.0001 - 1} = 100\text{A}$$

$i_1 \sim i_n$  尽管都是电流的平均值,但是时间间隔取的越短,计算出来的电流值越接近某个特定时间的瞬时值。从计算的数据可以看出:电流不但有大小的变化,而且还有正负方向的变化,这种既有大小又有正负方向变化的电流称为交流,其计算公式为:

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (\text{A}) \quad (1-2)$$

## 二、电 位

### 1. 电场对试验电荷的做功情况

在图1-4中,给出了带有负电的带电体M所产生的电场和带有正电的试验电荷A受力的图形。因为M和A的电荷性质相异,根据库仑定律,M对A有吸引作用,图中M四周的电力线皆指向M,则表示这种吸引作用。吸引力可一直从离M很远处将A吸引到M的边界处,M对A的吸引力为电场力,以 $F_1$ 表示。M在吸引A的过程中,M对A要做功。

今如果要把A从M的边界处拉开,必须有外力F的作用。把A拉得离M越远,F做的功越大,这个功变成了试验电荷A的位能。这就是说,A离M越远,所具有的位能越大,在M边界处,A的位能等于0。

这完全类似于重力场中将重物提高一样,用外力来提高重物时,提升得越高,外力做功越大,这个功变成重物的位能。重物离地平面越高,所具有的位能越大。

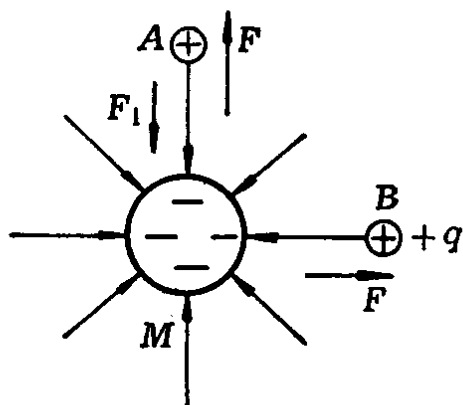


图 1-4

## 2. 物理学中对电位的定义

在物理学中，将带有负电的带电体 $M$ 的周界取为参考点，如果外力 $F$ 移动单位正电荷至图1-4电场中的 $B$ 处，则单位试验电荷 $+q$ 在 $B$ 处必然具有位能，这个位能或者外力 $F$ 所做的功称为 $B$ 点的电位。电位的符号为 $\varphi$ ，电位的单位为 $V$ （伏）。

如果移动的不是单位试验电荷，而是 $Q$ 个单位正电荷，这时外力所做的功为 $W$ ，则 $B$ 点电位可以写成：

$$\varphi = \frac{W}{Q} \quad (V) \quad (1-3)$$

因此，电位的概念是一个能量的概念，这一点是值得注意的。

## 3. 在电力工程中电位参考点是怎样选取的

在电力工程中选取电位的参考点从下述两方面来考虑：第一是方便，第二是安全。

在电路计算中主要着眼于第一点，即怎样选取参考点对解题方便，就取哪一点为参考点，即设该点电位为零。

在电力系统中，通常选取大地为参考点，在仪器设备中，取壳体的电位为参考点，因为运行人员、操作人员总是与大地和壳体接触的。

## 4. 怎样计算电路中的电位

在电路中电位的计算不象物理学中对电位定义那么难以理解，它是非常具体和易于接受的。因此，在学习电路中电位的计算之后，再回过头来体会物理学中对电位的定义，才会进一步深化这个概念。

在计算电路中各点的电位时，应注意掌握下述要点：

1) 选取电位的参考点，电路中各点电位的高低都是相

对参考点而言的；

2) 在确定每个电阻元件两端电位高低时，应观察电阻中电流的方向，电流总是从高电位一端流向低电位一端；

3) 在求电路中各点电位时，应该先求出电位低的一点的电位大小，然后逐次求出电位高的各点电位。这种方法称为“爬高法”；

4) 电路中如果含有电池元件，电池的正极的电位总是比电池的负极的电位高出该电池的电动势。

为了印证上述各点，现举出下述算例。

**【例 1-1】** 在图 1-5 中有三个电阻， $R_1 = 10\Omega$ ， $R_2 = 15\Omega$ ， $R_3 = 20\Omega$ 。这三个电阻串联连接， $R_1$  的一端接地。流过三个电阻  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  中的电流为  $5\text{ A}$ 。试求电路中 A、B、C 三点的电位。

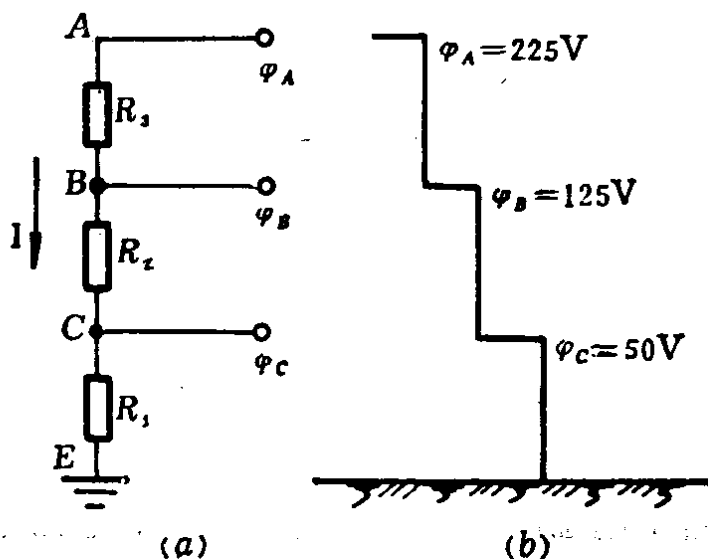


图 1-5

**解** 取大地 E 为参考点，即设  $\varphi_E = 0\text{ V}$ 。

C 点的电位：

因为在电阻  $R_1$  中，电流自上而下流动，所以 C 点电位

比大地E高，所高的数值为电阻 $R_1$ 的压降，即

$$\varphi_C = \varphi_E + IR_1 = 0 + 5 \times 10 = 50V$$

同理，在电阻 $R_2$ 、 $R_3$ 中电流都是自上而下的流动，因此，B点电位比C点高，所高数值为 $R_2$ 上的压降；A点电位比B点高，所高数值为 $R_3$ 上的压降，故A、B两点电位为：

$$\varphi_B = \varphi_C + IR_2 = 50 + 5 \times 15 = 125V$$

$$\varphi_A = \varphi_B + IR_3 = 125 + 5 \times 20 = 225V$$

点A、B、C的电位阶梯图示于图1-5(b)中。

**【例 1-2】** 在图1-6中，有两个电阻， $R_1 = 80\Omega$ ， $R_2 = 100\Omega$ 。 $R_1$ 中电流为5A，其方向从A点流向大地E； $R_2$ 中的电流为3A，其方向从大地E流向B点。试求A、B两点电位是多少？

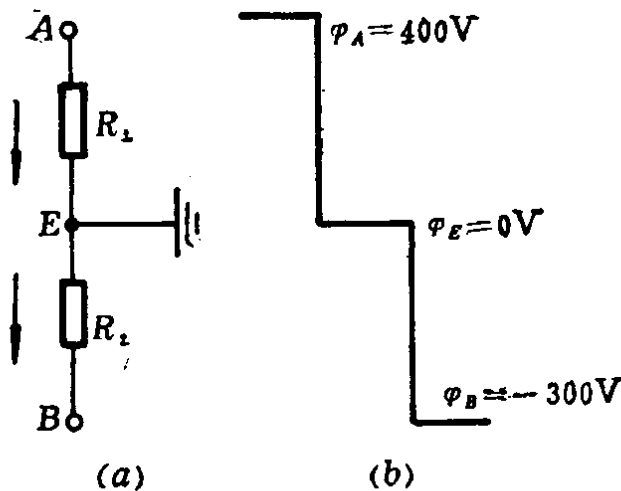


图 1-6

**解** 今取大地E为参考点，即令 $\varphi_E = 0$ 。观察电流方向可知A点电位比大地高，B点电位比大地低，故A、B两点的电位为：

$$\varphi_A = \varphi_E + I_1 R_1 = 0 + 5 \times 80 = 400V$$

$$\varphi_B = \varphi_E - I_2 R_2 = 0 - 3 \times 100 = -300\text{V}$$

【例 1-3】 在图1-7电路中， $R_1 = 60\Omega$ ， $R_2 = 50\Omega$ ， $R_3 = 20\Omega$ ， $I_1 = 14\text{A}$ ， $I_2 = 6\text{A}$ ， $I_3 = 20\text{A}$ ，电势  $E_H = 20\text{V}$ 。求电路中A、B、C、D各点电位。各电流的方向如图中所示。

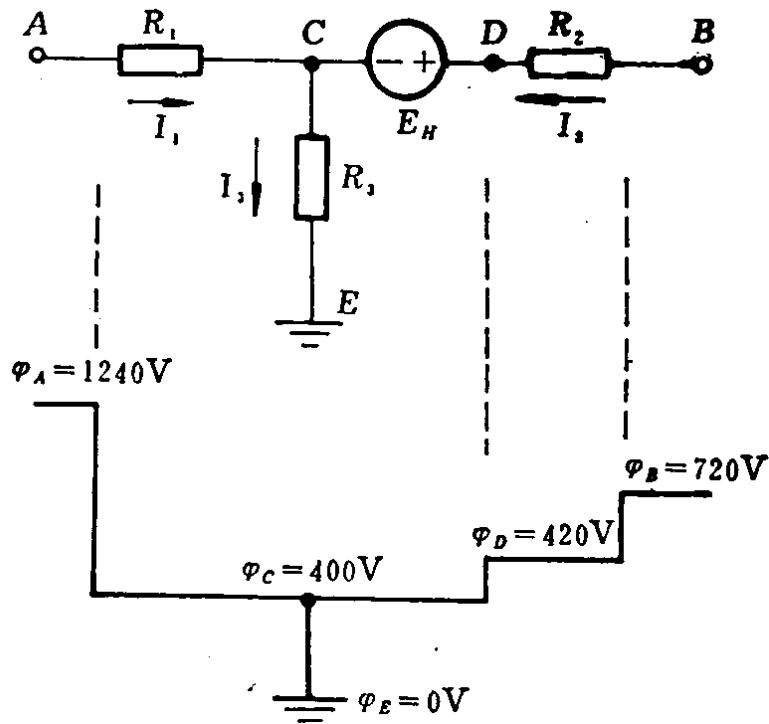


图 1-7

解 取大地E电位 $\varphi_E = 0\text{V}$

$$\varphi_C = \varphi_E + I_3 R_3 = 0 + 20 \times 20 = 400\text{V}$$

$$\varphi_A = \varphi_C + I_1 R_1 = 400 + 60 \times 14 = 1240\text{V}$$

$$\varphi_D = \varphi_C + E_H = 400 + 20 = 420\text{V}$$

$$\varphi_B = \varphi_D + I_2 R_2 = 420 + 6 \times 50 = 720\text{V}$$

### 三、电 压

#### 1. 电场中不同点的电位差

在图1-8中给出了带负电荷的带电体M所形成的电场，



在电场中给出了A、B两点。如果没有外力F的支持，处在A点的正电荷必然被带电体M吸引至B点，最后达M的周界处。可见 $\varphi_A$ 必然大于 $\varphi_B$ 。A、B两点之间的电位之差称为A、B两点之间的电压，以字母U表示，其单位为V，即

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B \quad (\text{V}) \quad (1-4)$$

公式(1-4)为计算电场中两点之间电压的基本公式。

从图1-8可见，若以球体M的球心做许多球面，则这些球面便是一些等电位面，称为等位面。等位面上任何一点的电位都是相等的，它类似于重力场中的等高线，将同一物体放在等高线上任何一点，其位能都是相等的。

另外需要强调一点就是电压的实际方向是由高电位指向低电位，在图1-8中是由A点指向B点。

若 $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$ ，则 $U_{BA} = \varphi_B - \varphi_A$ ，且

$$U_{AB} = -U_{BA} \quad (1-5)$$

## 2. 电路元件两端电压怎样表示

图1-9给出了电源E供给电阻R电能的电路，电源的正端接于A，负端接于B。为计算A、B两点之间的电位差，可取 $\varphi_B = 0$ ，即将点B接地，这时

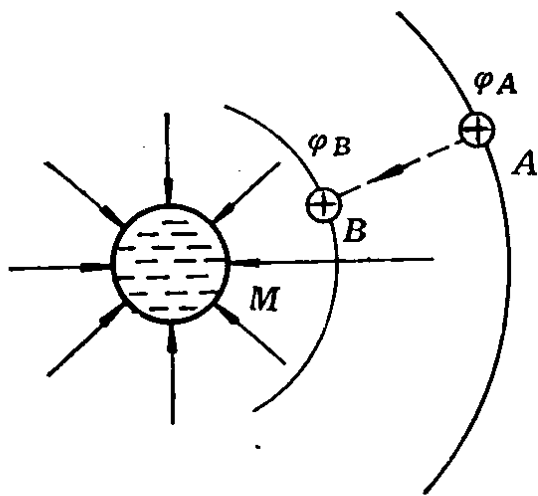


图 1-8

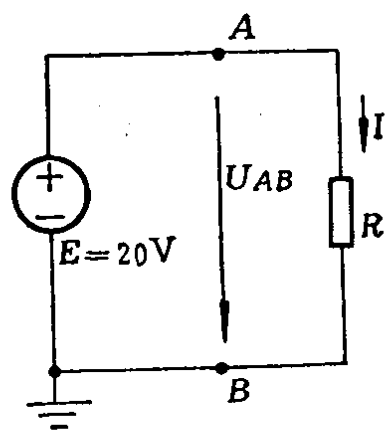


图 1-9