

高等学校函授教学参考书（高等教育自学通用）

# 电工学习题分析与解题指导

刘式雍 张金龙 编著

同济大学出版社

## 内 容 提 要

本书是配合高等学校函授教材《电工学》(刘式雍主编,高等教育出版社出版)而编写的辅助读物。全书共九章,包括:直流电路,正弦交流电路,三相交流电路,变压器,三相异步电动机及其控制,半导体二极管及其整流电路,半导体三极管及低频放大电路,集成运算放大器,晶闸管整流电路等。书中每章均按“内容提要”、“思考题及其解答”、“习题分析及其解答”、“自我检查题”的形式编排,内容紧扣教材,由浅入深,具有函授教材的特点。

本书不但可作为函授生的辅助读物,而且也可供全日制大学、职工大学、电视大学的师生参考。

责任编辑 张平官

封面设计 王肖生

电工学习题分析与解题指导

刘式雍 张金龙 编著

同济大学出版社出版

(上海四平路 1239 号)

新华书店上海发行所发行

同济大学印刷厂印刷

\*

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 21.25 字数: 530千字

1986年6月第一版 1986年6月第一次印刷

印数: 1—23,000 定价: 3.50元

统一书号: 13335·018 科技新书目: 123—207

# 前 言

一、本书是为高等学校工科函授各专业编写的教学参考书，可兼作有志攻读大学课程的读者的自学用书和高等教育自学考试参考书，也可供全日制大学、职工大学、电视大学师生教学参考。

二、本书以《电工学函授教学大纲》为依据，是为配合高等学校函授教材《电工学》（刘式雍主编，高等教育出版社出版），作为函授和自学的辅助读物而编写的。编写本书的目的，是使读者在本书的帮助下，能够复习、巩固和加深对电工学基本概念、基本原理和基本分析方法的理解。

三、本书的主要内容是解析电工学中的一些重要概念，以及在学习过程中一时不易理解和容易混淆的问题。同时兼顾其深广度，以普通全日制高等学校电工学同类教学参考书的内容为参考标准。

本书每章均以“内容提要”、“思考题及其解答”、“习题分析及其解答”、“自我检查题”的形式进行编排，“思考题及其解答”、“习题分析及其解答”都用问答的方式进行分析与题解。为了适应函授自学的特点和要求，书中对重点内容的分析力求详尽，并适当结合生产和生活中的实例进行阐述。“自我检查题”是供函授生和自学读者在每学习一阶段后，对全章内容的理解和掌握的深度作一次自我检查。

四、本书由张金龙（第一、二、四章）和刘式雍（第三、五、六、七、八、九章）两同志合编。刘式雍同志负责组织 and 定稿。

五、本书承华东化工学院张大恒教授和余宗廉老师审阅。他们提出了许多宝贵的修改意见，并热情指导了本书的编写，谨致以衷心感谢。

由于作者的水平有限，书中的错误一定不少，敬请读者指正，以使本书不断充实提高。

编 者

1985 年 7 月于同济大学

# 目 录

## 前 言

### 第一章 直流电路

- (一) 本章内容提要 ..... ( 1 )
- (二) 思考题及其解答 ..... (12)
- (三) 习题分析及其解答 ..... (32)
- (四) 自我检查题 ..... (78)

### 第二章 正弦交流电路

- (一) 本章内容提要 ..... (81)
- (二) 思考题及其解答 ..... (89)
- (三) 习题分析及其解答 ..... (104)
- (四) 自我检查题 ..... (137)

### 第三章 三相交流电路

- (一) 本章内容提要 ..... (139)
- (二) 思考题及其解答 ..... (142)
- (三) 习题分析及其解答 ..... (150)
- (四) 自我检查题 ..... (161)

### 第四章 变压器

- (一) 本章内容提要 ..... (164)
- (二) 思考题及其解答 ..... (169)
- (三) 习题分析及其解答 ..... (173)
- (四) 自我检查题 ..... (180)

### 第五章 三相异步电动机及其控制

- (一) 本章内容提要 ..... (181)
- (二) 思考题及其解答 ..... (184)
- (三) 习题分析及其解答 ..... (201)
- (四) 自我检查题 ..... (217)

## 第六章 半导体二极管和整流电路

- (一) 本章内容提要 ..... (219)
- (二) 思考题及其解答 ..... (224)
- (三) 习题分析及其解答 ..... (230)
- (四) 自我检查题 ..... (238)

## 第七章 半导体三极管及低频放大电路

- (一) 本章内容提要 ..... (240)
- (二) 思考题及其解答 ..... (248)
- (三) 习题分析及其解答 ..... (264)
- (四) 自我检查题 ..... (294)

## 第八章 集成运算放大器及其应用

- (一) 本章内容提要 ..... (296)
- (二) 思考题及其解答 ..... (299)
- (三) 习题分析及其解答 ..... (306)
- (四) 自我检查题 ..... (319)

## 第九章 晶闸管整流电路

- (一) 本章内容提要 ..... (321)
- (二) 思考题及其解答 ..... (325)
- (三) 自我检查题 ..... (333)

# 第一章 直流电路

## (一) 本章内容提要

### 1. 电路

#### (1) 实际电路

实际电路是指含有产生、传送和使用电能的各种电气部件的合体，电源、导电线和负载是电路必不可少的三个最基本的部件，由这三者组成的闭合电流通路称为电路。它的作用一是用来传送或转换电能，二是用来实现信息的传递和处理，例图 1—1(a)。

#### (2) 模型电路

用理想的电路元件及其组合来近似地代替实际的电气器件，从而构成了与实际电路相对应的等效电路，即为模型电路，如图 1—1(b) 所示。这里用电动势  $E$  与电阻元件  $r_0$  相串联的等效电路来表示干电池；用电阻元件  $R$  表示灯泡负载；用没有电阻的联接线表示连接导线。在电路分析与计算中，没有特殊说明，电路是指模型电路而言。

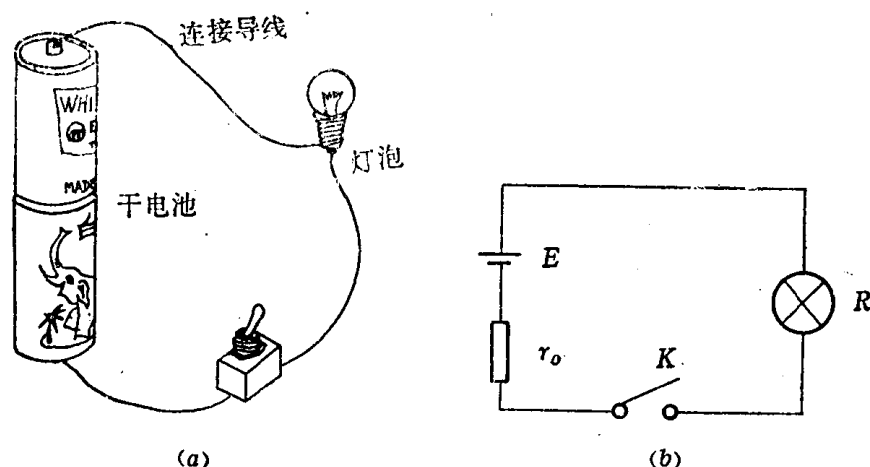


图 1—1

### 2. 描述电路过程和分析计算中常用的物理量

如表 1—1 所示。

### 3. 电压、电流的参考方向

在电路中虽有确定的电流方向和电位的高低之别，但在实际电路中往往难以事先判断电流和电压的真实方向。为了分析和计算的方便，可任意选定一个方向作为参考方向，这样电流、电压物理量就从标量“变”成代数量，有正负之分。当电流或电压的真实方向与参考方

电路的物理量

表 1—1

| 序号 | 物理量名称 | 符号           | 单位<br>(SI) | 定义和说明                                                                                                                          | 关系式                                                                                                    |
|----|-------|--------------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 电 流   | $I, i$       | 安培(A)      | 电流强度的简称。数值上等于单位时间内通过导体某截面的电荷量。                                                                                                 | $I = \frac{Q}{t}$<br>$i = \frac{dq}{dt}$                                                               |
| 2  | 电 压   | $V, v$       | 伏特(V)      | 是指电路中两点间的电位差。在数值上等于电场力把单位正电荷从某点移到另一点所做的功。                                                                                      | $V = \frac{W}{Q}$<br>$v = \frac{dw}{dq}$                                                               |
|    | 电 位   | $V_a, v_a$   | 伏特(V)      | 在数值上等于电场力把单位正电荷从某点 $a$ 移到参考点所做的功。参考点 $O$ 的电位 $V_0 = 0$ 。                                                                       | $V_a = V_{a0}$<br>$= V_a - V_0$                                                                        |
|    | 电 动 势 | $E, e$       | 伏特(V)      | 电源力(非电场力)把单位正电荷从电源的低电位端经内部移到高电位端所做的功。                                                                                          | $E = \frac{W_{\text{外力}}}{Q}$<br>$e = \frac{dW_{\text{外力}}}{dq}$                                       |
| 3  | 电 量   | $Q, q$       | 库仑(C)      | 是指带电粒子(质子和电子)所带正电荷或负电荷的多少。一个电子所带负电荷约等于 $1.6 \times 10^{-19}$ 库仑。                                                               | $Q = I t$<br>$q = \int_{-\infty}^t i \cdot dt$                                                         |
| 4  | 磁 通   | $\psi, \phi$ | 韦伯(Wb)     | 线圈中通有电流时, 在线圈里便产生了磁通。磁通与线圈匝数 $N$ 相交链称为磁链, 其值 $\psi = N\phi$                                                                    | $\therefore v = N \frac{d\phi}{dt} = \frac{d\psi}{dt}$<br>$N\phi = \psi = \int_{-\infty}^t V \cdot dt$ |
| 5  | 电 能   | $W, w$       | 焦耳(J)      | (1) 电阻元件通以电流 $I$ , 在时间 $t$ 内消耗的电能。<br>(2) 电感元件通以电流 $I$ , 线圈中产生磁通形成磁场, 贮藏了磁场能量。<br>(3) 电容元件两端加以电压 $V_c$ , 极板上聚集电荷形成电场, 贮藏了电场能量。 | $W_R = I^2 \cdot R \cdot t = VI t$<br>$W_m = \frac{1}{2} LI^2$<br>$W_c = \frac{1}{2} CV_c^2$           |
| 6  | 电 功 率 | $P, p$       | 瓦特(W)      | 简称功率, 用来衡量单位时间内电能的大小。                                                                                                          | $P = \frac{W}{t}$<br>$P = \frac{VQ}{t} = V \cdot I$                                                    |

\*  $W_{\text{外力}}$ 是指电源力(非电场力)所做的功。

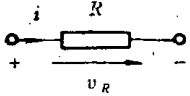
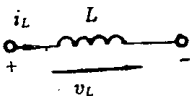
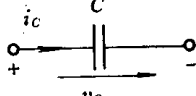
向一致时, 定为正值; 不一致时, 定为负值。如果不选定参考方向, 讨论电流或电压的正负就没有意义。在实际运算中, 常常把元件上的电流和电压的参考方向选得一致(称为关联参考方向), 这样, 在电路图上就只需标出电流或电压参考方向中的一个即可。

#### 4. 电路元件

本章所遇到的元件有电阻、电容、电感以及电压源和电流源。它们的共同点是对外部有两个引出端子, 统称为二端元件。其中电阻、电容和电感是消耗和贮藏能量的元件, 即无源

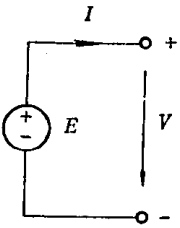
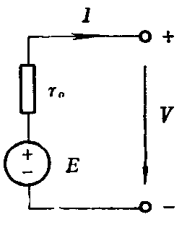
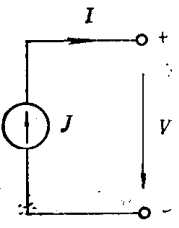
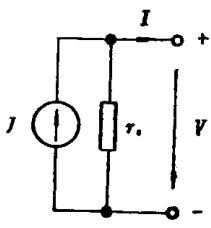
电阻、电感和电容元件的性质

表 1—2

|          | 电 阻 $R$                                                                           | 电 感 $L$                                                                           | 电 容 $C$                                                                             |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 符 号      |  |  |  |
| 定 义      | $R = \frac{V_R}{I_R} \quad (\Omega)$                                              | $L = \frac{N\phi}{I_L} \quad (\text{H})$                                          | $C = \frac{Q}{V_C} \quad (\text{F})$                                                |
| 电压与电流的关系 | $v_R = i_R \cdot R$                                                               | $v_L = L \frac{di_L}{dt}$                                                         | $i_C = C \frac{dv_C}{dt}$                                                           |
| 能量关系     | 耗 能 元 件<br>$W = V_R I_R t$                                                        | 储 能 元 件<br>$W_m = \frac{1}{2} L \cdot i_L^2$                                      | 储 能 元 件<br>$W_e = \frac{1}{2} C \cdot v_C^2$                                        |
| 在直流稳定情况下 | 服从欧姆定律                                                                            | 相当于短路                                                                             | 相当于开路                                                                               |

电压源和电流源

表 1—3

|            | 电 压 源                                                                               |                                                                                     | 电 流 源                                                                                |                                                                                       |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|            | 恒 压 源                                                                               | 电 压 源                                                                               | 恒 流 源                                                                                | 电 流 源                                                                                 |
| 符 号        |  |  |  |  |
| 端口电压与电流的关系 | $V = E$ (恒值)<br>$I$ 任意值                                                             | $V = E - I r_o$                                                                     | $I = J$ (恒值)<br>$V$ 任意值                                                              | $I = J - V / r_s$                                                                     |
| 可提供的能量情况   | 无限大能源                                                                               | 有 限 能 源                                                                             | 无限大能源                                                                                | 有 限 能 源                                                                               |

元件；电压源和电流源是提供能量的元件称为有源元件。

上述两表中的电压和电流关系式都是针对符号图中假定参考方向下给出的，当电流和电压的参考方向选得不一致时，在电压、电流关系式中应加一负号。

## 5. 伏安特性

二端元件上的电压降  $V$  和流过的电流  $I$  的关系即为伏安关系。伏安关系用  $V-I$  平面上的曲线表示，即伏安特性曲线。用伏安特性曲线可简洁明瞭地分析研究元件的性质。

(1) 线性电阻负载两端的电压  $V$  和电流  $I$  的关系是一条通过原点的直线，如图 1—2(a) 所示。直线的斜率就是电阻  $R$ 。当已知  $V$  (或  $I$ )，就可以由伏安特性曲线来确定  $I$  (或  $V$ ) 值。

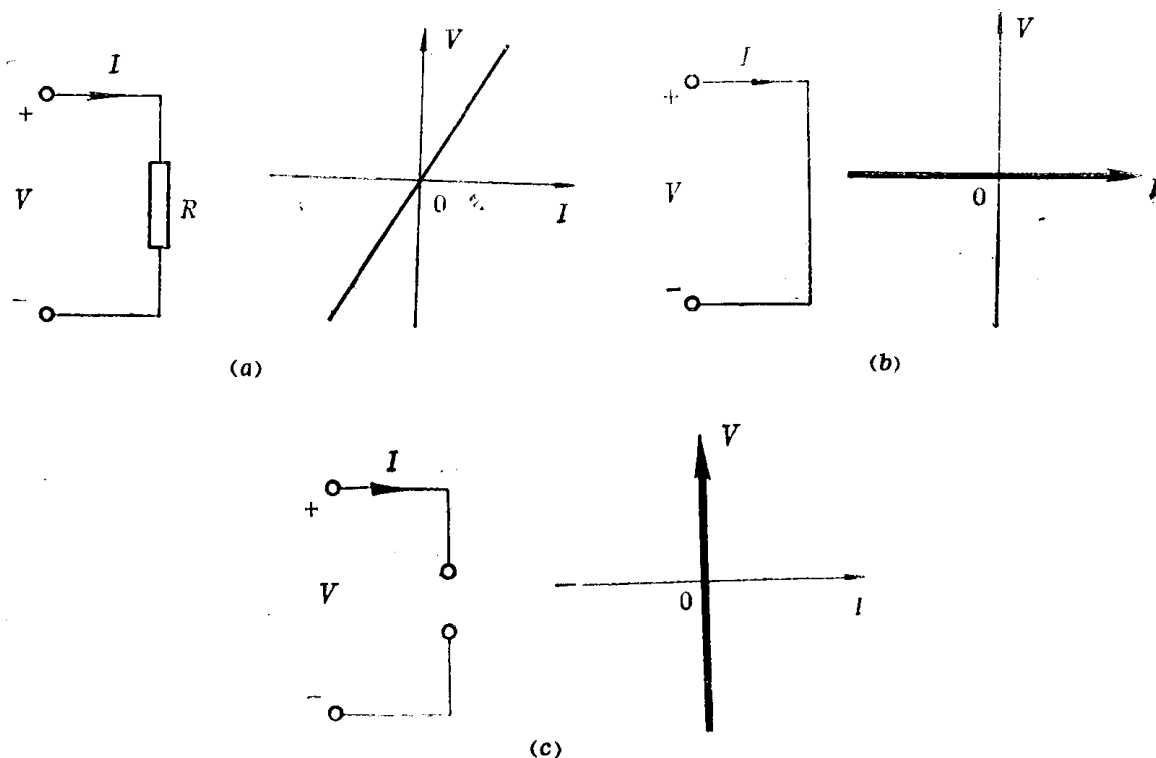


图 1—2

(2) 短路线两端电压  $V$  恒为零，而通过它的电流  $I$  可为任意值，用  $V-I$  曲线表示时，即为横坐标上一条直线，如图 1—2(b) 所示。由图可见，不论电流  $I$  为何值，电压  $V$  永远为零。

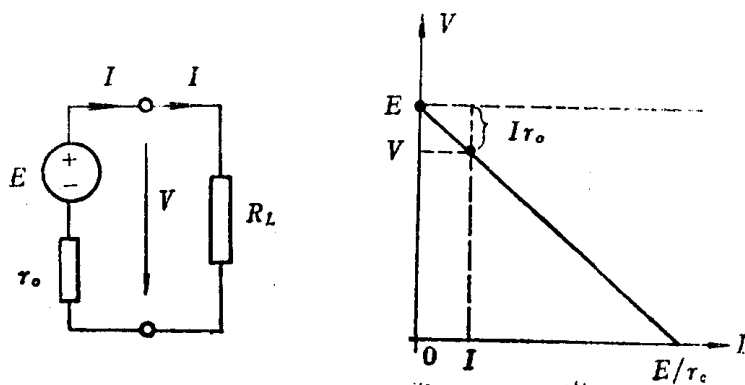
(3) 开路的特征是电流  $I$  恒为零，而它的两端电压可为任意值，它的伏安特性是一条与纵坐标重合的直线，如图 1—2(c) 所示。由图可见，不论电压  $V$  为何值，电流  $I$  恒为零。

(4) 电源的伏安特性曲线 (也称外特性)

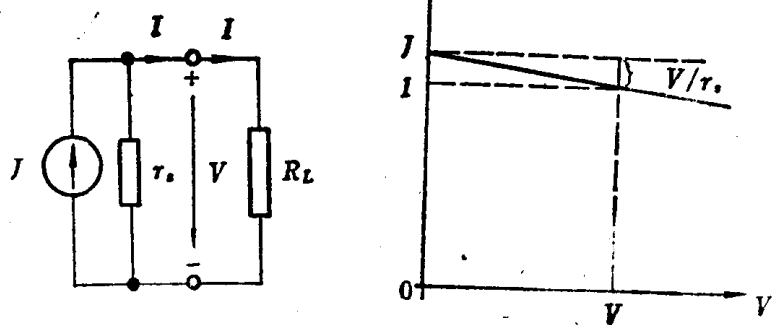
① 电压源的伏安特性如图 1—3(a) 所示，它是一根向下倾斜的直线。当  $I=0$  时，电压源没有电流输出， $V=E$ ；当  $I$  增加时，由于在电压源内阻上产生了一个内部压降  $I \cdot r_o$ ，使端电压  $V$  有所下降， $I$  愈大， $V$  下降得愈多。因此电压源端电压的稳定性完全取决于  $r_o$  的大小，在相同的负载电流下， $r_o$  愈大，电压端电压下降得愈多，外特性愈差。

电路的三种工作状态 (短路、开路、带负载)，在伏安特性曲线上可以清楚地反映出来。当负载短路时，电压  $V=0$ ，则电流  $I$  可由电压源的伏安特性与横轴的交点来确定，其值为  $\frac{E}{r_o}$ ；当负载开路时，电流  $I=0$ ，则电压  $V$  可由电压源的伏安特性与纵轴的交点来确定，其值为  $E$ ；当电压源接有负载时，则由负载电流  $I$  在电压源伏安特性曲线上得到相应的  $V$  值，如图 1—3(a) 所示。

② 电流源的伏安特性如图 1—3(b) 所示，由图可见，当外接负载电阻  $R_L$  增大使  $V$  增



(a)



(b)

图 1-3

加时，由于被内阻  $r_s$  分去部分电流  $V/r_s$ ，使输出电流  $I$  下降。显然，当  $r_s$  值较小时， $I$  下降愈大，电流源的外特性变坏。

③ 恒压源与恒流源的伏安特性分别是平行于  $I$  轴和  $V$  轴的直线，如图 1-4(a)、(b) 所示。

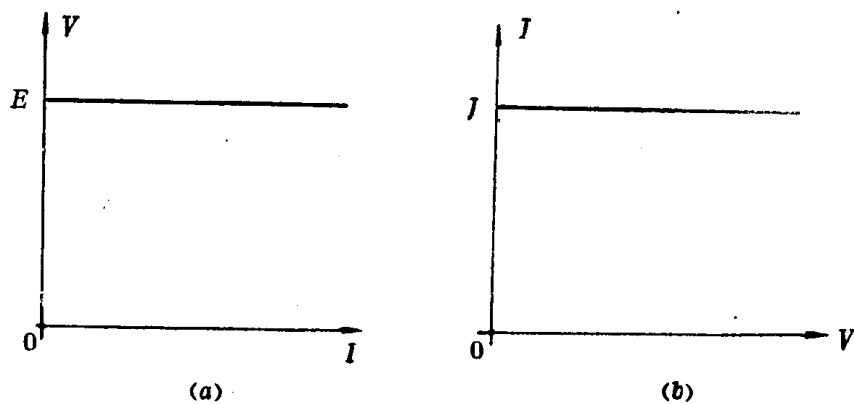


图 1-4

## 6. 电路的基本定律

### (1) 欧姆定律

是描述电阻元件两端电压和流过它的电流之间关系的定律，在电压、电流参考方向一致（关联参考方向）的情况下，可表示为

$$V = IR \quad [1-1(a)]$$

当电压、电流参考方向选得不一致时, 欧姆定律可表示为

$$V = -IR \quad [1-1(b)]$$

## (2) 克希荷夫定律

它包括节点电流定律(KCL)和回路电压定律(KVL)。克希荷夫定律是描述电路中各元件相互连接间的电压、电流应遵循的规律, 它是电荷守恒和能量守恒在电路中的具体体现。

### ① 节点电流定律(KCL)

在任一瞬时, 流入电路某节点的电流之和等于流出该节点的电流之和, 即

$$\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}} \quad [1-2(a)]$$

若取流入节点电流为正, 流出节点电流为负, 则可表示为

$$\sum I = 0 \quad [1-2(b)]$$

### ② 回路电压定律(KVL)

在任一瞬时, 沿任一回路循行方向, 回路内各电压降的代数和等于各电动势的代数和, 即

$$\sum IR = \sum E \quad [1-3(a)]$$

式中把电压、电动势、电流的参考方向与回路循行方向一致的取正, 不一致的取负。

若把电源电动势用其两端电压来表示, 回路电压定律可以定义为沿任一回路循行方向, 各电压降代数和等于零, 用数学式表示为

$$\sum V = 0 \quad [1-3(b)]$$

节点电流定律虽然是适用于节点的, 但可以把它推广使用于电路中的任一假设的封闭面, 如图1—5(a)所示电路, 则有

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

同样, 回路电压定律虽然是适用于任一闭合回路的, 但也可推广应用于任一虚拟回路, 如在图1—5(b)所示的  $abca$  虚拟回路中, 有

$$V_{ab} + V_{bc} - V_{ac} = 0$$

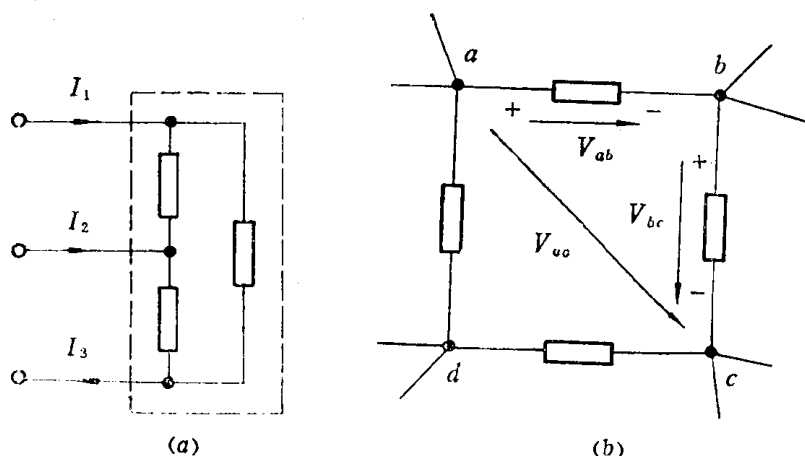


图 1—5

## 7. 电路的基本分析方法

根据克希荷夫定律及元件的电压、电流关系, 就可以推导出电路的各种分析方法, 这些分析方法虽然是从直流电路推导而建立的, 但是略加推广完全可以用来分析交流电路。

### (1) 支路电流法

以支路电流为未知量,应用克希荷夫定律列出电路各元件之间的电压、电流关系,从而建立与未知量(支路数)相等的独立方程数。求解方程,就可得到所求各支路的电流。对于一个具有  $n$  个节点、 $b$  条支路的电路,支路电流法的步骤如下:

- ① 假定各支路的电流参考方向;
- ② 列出  $(n-1)$  个节点电流方程;
- ③ 选出  $l = (b - n + 1)$  个独立回路,并假定这些回路的绕行方向,列出所选定的独立回路的电压平衡方程;
- ④ 将②、③所得的节点电流方程和回路电压方程联列求解,便可得到  $b$  个支路电流。

### (2) 节点电压法

以节点电压为未知量,应用克希荷夫电流定律列出节点电流方程,然后用节点电压来表示各支路电流,代入节点电流方程,就变成以节点电压为未知量的方程。求解方程得节点电压后,再求各支路电流。节点电压法特别适用于节点数少而支路数多的电路计算,尤其在仅有两个节点而支路数多的电路计算中极为简便。

## 8. 电路定理

### (1) 叠加定理

它是线性电路的基本定理。该定理指出,当线性电路中有几个电动势和电流源同时作用时,在某一支路上所产生的电流,等于各个电动势和电流源单独作用时分别在该支路上所产生的电流的代数和。

在求各个电动势和电流源单独作用时,其它的电动势和电流源都不起作用,即电动势短路,电流源开路,而电动势和电流源的内阻仍应保留。

利用叠加定理对有多个电源作用的复杂电路进行分别处理,使计算得到简化。它在线性电路的分析中起着重要作用,是分析线性电路的普遍原理。

叠加定理只适用于电压和电流的计算,而不适用于功率计算及非线性电路的计算。

### (2) 戴维南定理

它是线性电路中一个重要的有源二端网络等效定理。定理指出:任何一个复杂的有源二端网络总可以用一个等效的电压源来代替,等效电压源的电动势  $E_0$  就等于有源二端网络的开路电压,其内阻  $r_0$  等于该有源二端网络除源后的等效电阻。应用戴维南定理简化电路,关键是求有源二端网络的开路电压和除源后的网络等效电阻。

在电路分析中,有时若只需要计算某一支路的电流和电压时,应用该定理十分方便。例如图 1—6(a) 所示电路中,我们只要求  $R_4$  中的电流及其电压,这时可把电路的其余部分用虚线框框起来,把它看作为有源二端网络,并应用戴维南定理把它等效为由  $E_0$  和  $r_0$  相串联的电压源电路,从而把原电路简化为一个单回路电路,如图 1—6(b) 所示,达到简化计算的目的。

## 9. 等效变换的概念

在电路分析中常常应用等效变换的方法来简化计算。这里所谓等效,是指在一定条件下,两个不同的电路对外电路的作用具有相同的效果。电工学中常用的等效变换有:

### (1) 电阻的串联和并联

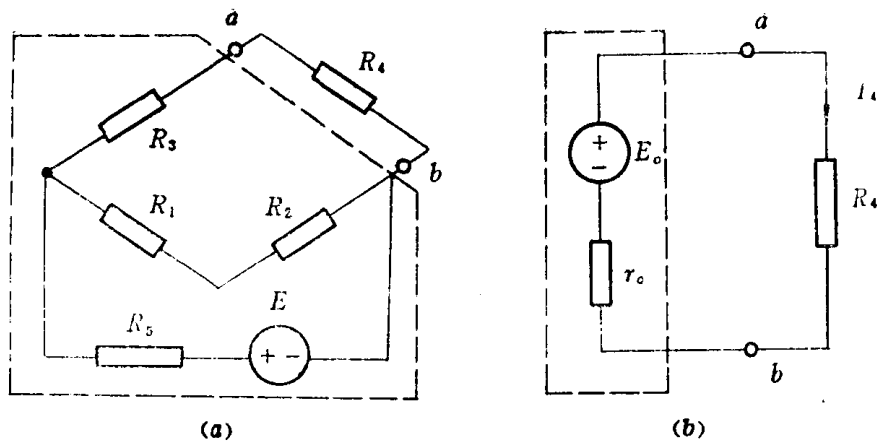


图 1—6

① 若有  $R_1, R_2 \cdots R_n$  电阻串联, 在保持串联电路的两端电压和其中电流不变的条件下, 则可用一个等效电阻  $R$  来代替, 其值为

$$R = R_1 + R_2 + \cdots + R_n = \sum_{i=1}^n R_i \quad (1-4)$$

根据欧姆定理, 可得分压公式为

$$V_i = \frac{R_i}{R} V \quad (1-5)$$

式中  $V$  为串联电路的总电压,  $V_i$  为某一电阻元件上的电压, 可见串联电阻上的电压分配与电阻成正比。

② 若有  $R_1, R_2, \cdots, R_n$  个电阻并联, 在保持并联电路的两端电压和其中电流不变的条件下, 可用一个等效电阻  $R$  来代替, 其值为

$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}} \quad (1-6)$$

同样, 由欧姆定理可得分流公式为

$$I_i = \frac{R}{R_i} I \quad (1-7)$$

式中  $I$  为并联电路总电流,  $I_i$  为某一元件中的电流, 可见并联电阻中的电流分配与电阻成反比。

对于仅有两个电阻相并联的电路, 其分流公式为

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= I \frac{R_2}{R_1 + R_2} \\ I_2 &= I \frac{R_1}{R_1 + R_2} \end{aligned} \right\} \quad (1-8)$$

## (2) 电压源与电流源的等效变换

在电路计算中, 有时要求把电压源等效变换成电流源, 或者把电流源等效变换成电压源。电压源 [图 1—7(a)] 和电流源 [图 1—7(b)] 两端的电压和电流关系为

$$V = E - I r_0 \quad (1-9)$$

$$I = J - V / r_s \quad (1-10)$$

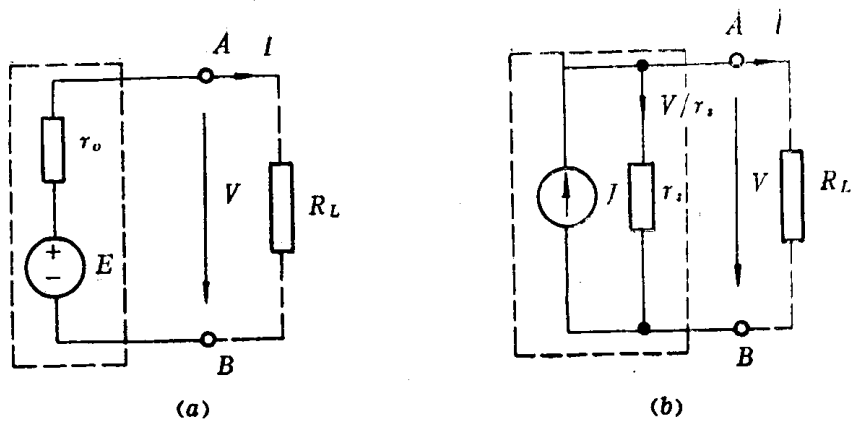


图 1-7

在保持端点 A、B 上电压和电流不变的条件下，可以得到电压源与电流源等效变换的公式

$$\left. \begin{aligned} J &= \frac{E}{r_o} \\ r_s &= r_o \end{aligned} \right\} \quad (1-11)$$

或

$$\left. \begin{aligned} E &= J \cdot r_s \\ r_o &= r_s \end{aligned} \right\} \quad (1-12)$$

电压源与电流源作等效变换时要注意电源的极性，如图 1-7 中，电动势的正极端与电激流的流出端相对应。同时要注意，两种电源的等效变换是对外电路而言的，其内部(虚线框内)是不等效的。

### (3) 恒压源的串联和恒流源的并联

① 当  $n$  个恒压源串联时，可用一个恒压源来等效代替，这个等效恒压源的电动势为各恒压源电动势的代数和：

$$E_n = \sum_{i=1}^n E_i \quad (1-13)$$

② 当  $n$  个恒流源并联时，同样可用一个恒流源来等效代替，这个等效恒流源的电激流为各恒流源电激流的代数和：

$$J = \sum_{i=1}^n J_i \quad (1-14)$$

### (4) 恒压源与恒流源的串联和并联

当一个恒流源与一个恒压源串联，或者一个恒流源与电阻串联[如图 1-8(a)、(b)所示]，其对外电路的性能等效于一个恒流源，如图 1-8(c)所示。由于图 1-8(a)、(b)、(c)

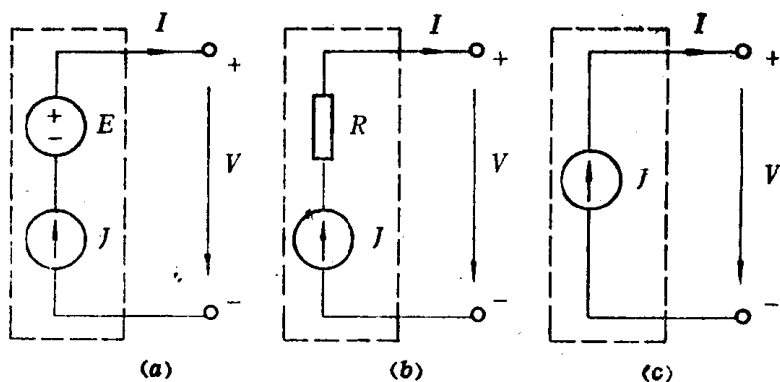


图 1-8

的电路中输出端电流  $I$  都等于电激流  $J$ ，是一恒定值，而它们的端电压  $V$  都取决于外电路负载（图中未画出）的大小，是一任意值。所以图 1—8(c) 电路对外部电路的性能完全等效于图 1—8(a)、(b) 的电路。

同样，当一个恒压源与一个恒流源并联，或者一个恒压源与电阻并联 [如图 1—9(a)、(b) 所示]，其对外电路的性能等效于一个恒压源，如图 1—9(c) 所示。因为在所示电路中，输出端电压  $V$  都等于恒压源电动势  $E$ ，是一恒定值，而它们输出端电流  $I$  都取决于外电路负载（图中未画出）的大小，是一任意值，所以图 1—9(c) 中的电路，就外部性能来讲，同图 1—9(a)、(b) 是等效的。

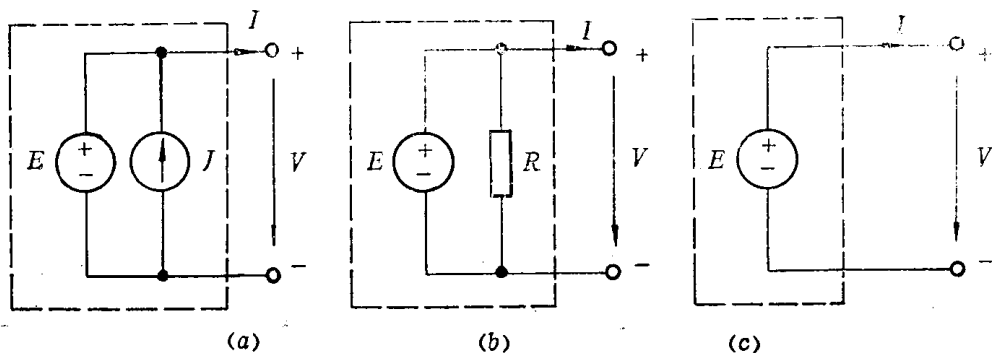


图 1—9

#### (5) 恒压源与恒流源不能等效互换

恒压源要保持端电压恒定(等于电动势)，恒流源要保持输出电流恒定(等于电激流)，所以不可能在输出端找到等效变换的条件，不能等效互换。

(6) 戴维南定理就是有源二端网络等效变换的定理，它把任一复杂的有源二端网络等效于一个电压源电路。

### 10. 电路中的功率与能量

在一个电路中，电源发出的功率和负载消耗的功率（包括线路上、电源内阻消耗的功率）是平衡的，即发出的功率始终和吸收的功率相等。根据电路功率相平衡的原理，常用来校验电路计算正确与否。负载吸收的功率根据能量守恒定律可以转换成其它能量形式的消耗，例如光、热和机械能，也可以转换成电场能、磁场能贮存。

#### (1) 电源的功率

电源在电路中一般作为供给电能的源，但有时也可作为负载（例如蓄电池）被充电，所以要判别电源在电路中是发出还是吸收电能，应视计算结果而定。以图 1—10 所示电路的参考方向，当计算出的电流  $I > 0$  时，则

$$P = E \cdot I > 0 \quad (\text{发出功率})$$

当计算出的电流  $I < 0$  时，则

$$P = E \cdot I < 0 \quad (\text{吸收功率})$$

#### (2) 元件的功率

本章所遇到的三个线性基本元件  $R$ 、 $L$ 、 $C$  在电路中都以负载形式出现的。

① 电阻元件  $R$  表示把吸收的电能转换成光、热和机械能的理想化元件。在电压、电流

参考方向一致的情况下, 吸收功率为

$$P = VI = I^2 R = V^2 / R \quad (1-15)$$

式中的  $V$  和  $I$  是指电阻元件两端的电压和流过它的电流。

② 电容元件  $C$  表示把吸收的电能转换成电场能贮存理想化元件。在电压、电流参考方向一致的情况下, 它吸收的瞬时功率为

$$p = v_C \cdot i_C = C v_C \frac{dv_C}{dt} \quad (1-16)$$

在  $0 \sim t$  时间内, 电容器吸收的电能为

$$\begin{aligned} W_e &= \int_0^t p \cdot dt = \int_0^t C v_C \frac{dv_C}{dt} \cdot dt = \int_0^t C v_C \cdot dv_C \\ &= \frac{1}{2} C v_C^2 \end{aligned} \quad (1-17)$$

式中  $v_C$  为电容器在时间  $t$  时的两端电压值。当电容器两端电压为一直流电压  $V_C$  时, 其贮存的电能为

$$W_e = \frac{1}{2} C V_C^2 \quad (1-18)$$

③ 电感元件  $L$  表示把吸收的电能转换成磁场能贮存的理想化元件。在电压、电流参考方向一致的情况下, 它吸收的瞬时功率为

$$p = v_L \cdot i_L = L \cdot i_L \frac{di_L}{dt} \quad (1-19)$$

在  $0 \sim t$  时间内, 电感吸收的电能为

$$\begin{aligned} W_m &= \int_0^t p \cdot dt = \int_0^t L \cdot i_L \frac{di_L}{dt} \cdot dt = \int_0^t L \cdot i_L \cdot di_L \\ &= \frac{1}{2} L i_L^2 \end{aligned} \quad (1-20)$$

式中  $i_L$  为电感在时间  $t$  时的电流值。当电感中通以直流电流  $I_L$  时, 则贮存的电能为

$$W_m = \frac{1}{2} L I_L^2 \quad (1-21)$$

## 11. 电气设备的额定值

额定值是电气设备的完全使用值, 它决定于电气设备的经济合理性、安全可靠度及使用寿命等诸因素。按照额定值来使用, 既充分发挥了设备的能力, 又保证设备的正常使用寿命。当设备在额定值下工作时, 称为额定工作状态, 简称满载。各种电气设备都有它的额定值, 按设备的不同, 用不同的额定值标志。例如变压器是以额定电压、额定电流和额定功率标志; 电力电容器是以它的额定电压和容量( $F$ )或无功功率( $V_{Ar}$ )来表示的。即使通常使用的电阻元件也有它的额定标志, 即用瓦数(功率)和电阻值标志, 根据给定的瓦数及电阻值可计算出该电阻元件两端可以加多大电压或可通过多大的电流。

## 12. 电路的稳态分析和暂态分析

### (1) 电路的稳态分析

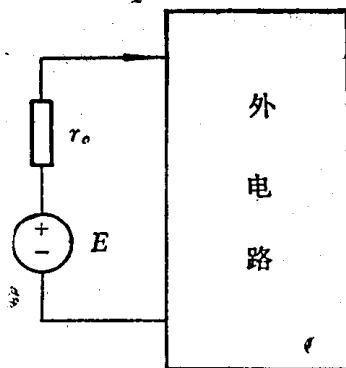


图 1-10

指电路中各分部的电流、电压与电源（电动势或电势流）的变化规律一致，是恒定的或作周期性规律变化，电路的这种工作状态称为稳定状态。对电路的稳定状态进行分析计算称为稳态分析。在直流电源作用下的稳态电路计算中，电路中各部分的电压、电流也都是直流，因此电感和电容在直流稳态计算中相当于短路和开路，所建立的电路方程是一组线性代数方程。

### （2）电路的暂态分析

是指含有储能元件（电感或电容）的电路由一种稳定状态到另一种新的稳定状态的过渡过程的分析。引起过渡过程的实质是能量不能跃变，能量跃变意味着功率为无限大，而在实际中是不可能存在无限大功率电源的。所以一个电路要发生过渡过程必须有两个条件：一是电路中至少含有一个储能元件（电容和电感）；二是电路的状态要发生改变。电路状态改变是指电路接通或开断，电路参数、结构或电源的变化等（通称为换路）。在暂态电路分析中，建立的电路方程是常系数微分方程。

### （3）电路的时间常数 $\tau$

在含有一个储能元件的电路中，所建立的电路方程是一阶微分方程，元件上电压、电流都按指数规律变化，暂态过程的时间决定于电路的时间常数  $\tau$ ，而时间常数  $\tau$  的值完全由电路参数确定。在电阻、电容串联电路中，时间常数  $\tau$  为

$$\tau = R \cdot C \quad (1-22)$$

由上式可知，时间常数  $\tau$  正比于  $R$  和  $C$ ，改变  $R$  或  $C$  的数值可改变暂态过程的快慢。在电阻、电感串联电路中，时间常数  $\tau$  为

$$\tau = \frac{L}{R} \quad (1-23)$$

即时间常数正比于  $L$ 、反比于  $R$ ，改变  $L$  或  $R$  的数值也可改变暂态过程的快慢。

## （二）思考题及其解答

### 1. 电路的作用是什么？它包括哪几部分？

答：电路是电流通过的路径，随着电流的通过它可起两个作用：一是能量的传递和转换，如电力系统；二是实现信息的传递和处理，如通讯和控制系统。概括地说，电路最基本的组成部分，可包括电源、导线和负载三部分。

### 2. 什么叫电路模型？

答：在现实世界中，构成实际电路的器件名目繁多，在一门基础技术课中不可能对实际器件逐一进行研究，但是对它们反映出的电磁现象却有共同的地方，可以用一些理想元件及其组合来近似代替。这样用抽象的理想元件及其组合构成的电路就称为电路模型。它是和实际元件构成的实际电路相对应的抽象电路。

### 3. 电压和电位在概念上有哪些区别和联系？单位“伏特”的含义是什么？

答：电压和电位都是从电场力作功方面来说明电场的物理量。电压是指把单位正电荷从某一点移动到另一点电场力作的功（叫做该两点的电压），所以电压是有确定意义的。电位