

沈世锐 刘蕴陶
李立群 李西平

编

电工学计算方法

辽宁科学技术出版社

电 工 学 计 算 方 法

Diangongxue Jisuan
Fangfa

沈 世 锐 刘 蘊 陶 编
李 立 群 李 西 平

辽宁科学技术出版社出版 (沈阳市南京街6段1里2号)
辽宁广播电视大学发行 辽宁清原县印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: 10 1/8 字数: 210,000
1985年10月第1版 1985年10月第1次印刷

印数: 1—20,000

统一书号: 15288·186 定价: 1.65元
(委托出版)

前 言

本书主要根据我国一般大学电工学120学时类型的教学大纲及中央电大电工学教学大纲在计算方面的要求而编写的。

全书由直流电路、单相正弦交流电路、三相电路、非正弦电路、过渡过程、变压器、异步电机、异步电机控制、直流电机、半导体二极管及整流电路、交流放大器和直流放大器等十二章组成。每章一般包括主要计算公式、例题讲解、练习题、练习题选答四部分内容。

书中例题及练习题力求与一般院校的《电工学》及电大《电工学》教材中的内容和习题紧密配合。对每个例题题意均做了扼要的分析，解题步骤简明、计算准确。多数练习题附有答案或提示。它们可帮助学员系统地掌握电工学的计算方法，对培养学员计算问题、分析问题的能力将有所裨益。

对电大《电工学》教材中的振荡器部分，因无定量计算的要求，故本书中未列入，但异步电动机的继电接触控制的习题，虽无定量计算的要求，因其解法特殊，故仍列入本书。

本书可作一般大专院校、电视大学、函授大学及职工大学等非电专业学员学习电工学的参考书，也可供有关教师参考。

本书由北京工业学院沈世锐（编前言、第二、三、七、八章）、刘蕴陶（编第一、九、十二章）及中央广播电视大学李立群（编第四、五、六章）、李西平（编第十、十一章）

四同志合编，全书由沈世锐同志统校。

限于编者的水平，错漏之处，请读者指正。

编者 1985年4月

目 录

第一章 电路的基本分析方法

1 - 1	主要计算公式	1
1 - 2	例题讲解	6
1 - 3	练习题	29
1 - 4	练习题选答	34

第二章 单相交流电路

2 - 1	主要计算公式	43
2 - 2	例题讲解	52
2 - 3	练习题	74
2 - 4	练习题选答	79

第三章 三相正弦交流电路

3 - 1	主要计算公式	86
3 - 2	例题讲解	90
3 - 3	练习题	101
3 - 4	练习题选答	104

第四章 非正弦交流电路

4 - 1	主要计算公式	109
4 - 2	例题讲解	116

4—3	练习题	124
4—4	练习题选答	127

第五章 电路中的过渡过程

5—1	主要计算公式	131
5—2	例题讲解	136
5—3	练习题	150
5—4	练习题选答	154

第六章 变压器

6—1	主要计算公式	160
6—2	例题讲解	163
6—3	练习题	170
6—4	练习题选答	174

第七章 异步电动机

7—1	主要计算公式	178
7—2	例题讲解	181
7—3	练习题	187
7—4	练习题选答	189

第八章 异步电动机继电——接触控制线路

8—1	内容提要	192
8—2	例题讲解	192
8—3	练习题	200
8—4	练习题选答	203

第九章 直流电动机

9—1	主要计算公式	207
9—2	例题讲解	209
9—3	练习题	218
9—4	练习题选答	220

第十章 半导体二极管和整流电路

10—1	主要计算公式	226
10—2	例题讲解	230
10—3	练习题	237
10—4	练习题选答	241

第十一章 半导体三极管及交流放大电路

11—1	主要计算公式	246
11—2	例题讲解	253
11—3	练习题	266
11—4	练习题选答	273

第十二章 直流放大器

12—1	主要计算公式	288
12—2	例题讲解	292
12—3	练习题	304
12—4	练习题选答	307

第一章 电路的基本分析方法

这一章的主要内容是结合直流电路介绍有关电路的基本概念、基本物理量、基本定律和基本分析方法。这些内容有的本身就是计算问题，是整个《电工学》课程的理论基础。

1 - 1 主要计算公式

一、电路的基本定律

1. 欧姆定律I适用于一段线性纯电阻电路(图1-1), 电压V与电流I的正方向关联一致。

$$I = \frac{V}{R}$$

I - 安培(A)

V - 伏特(V)

R - 欧姆(Ω)



2. 克希荷夫定律: 包括电流定律和电压定律。

图 1 - 1 欧姆定律

克希荷夫电流定律 (KCL)

$$\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}}$$

在任意时刻, 电路中流入某节点的电流总和等于流出该节点的电流总和。

克希荷夫电流定律的另一种形式

$$\sum I = 0$$

在任意时刻, 流经任何节点的电流代数和等于零。

克希荷夫电压定律 (KVL)

$$\Sigma V = 0$$

在任意时刻，沿任何闭合回路绕行一周，各段电路的电压降的代数和等于零

如果回路中包含有恒压源，且用恒压源的电动势 E 表示其正、负极间的电位差，克希荷夫电压定律可以表示为

$$\Sigma E = \Sigma V$$

即沿任一闭合回路绕行一周，电位升的代数和（ ΣE ）等于电位降的代数和（ ΣV ）。

如果回路中只包含恒压源和线性电阻元件，则克希荷夫电压定律可以表示为

$$\Sigma E = \Sigma IR$$

二、电路中电压与电位的计算

电路中任意两点之间的电压等于该二点的电位之差

$$V_{AB} = V_A - V_B$$

电路中某一点的电位就是该点到参考点的电压。如A点的电位

$$V_A = V_{AO} = V_A - V_O$$

V_O 是参考点O的电位，一般取 $V_O = 0$

三、电功率和电功的计算

1. 电功率 $P = VI$

式中 V - 伏特(V) I - 安培(A) P - 瓦(W)

线性电阻元件消耗的电功率

$$P = VI = I^2 R = \frac{V^2}{R}$$

2. 电功 $A = P \cdot t = VIt$

式中 V - 伏特(V) I - 安培(A) t - 秒(S)

A - 焦耳(J)

电工技术中电功的单位还经常使用“千瓦小时”、简称“度”， 1 千瓦小时 $= 3.6 \times 10^6$ 焦耳。

四、电阻的串、并联公式

1. 电阻串联电路(图 1-2)

等效电阻 $R = R_1 + R_2$

分压公式 $V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot V$

$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V$$

图 1-2 电阻串联电路

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{R_1}{R_2} \quad \text{各电阻上分配的电压与该电阻}$$

的阻值成正比。

2. 电阻并联电路(图 1-3)

等效电阻 $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$

分流公式 $I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot I$

$$I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot I$$

图 1-3 电阻并联电路

五、电源的等效化简与变换

1. 多个恒压源串联的等效化简(图 1-4)

多个恒压源串联可以用一个恒压源来等效代替。等效条件是

$$E_S = E_{S1} + E_{S2}$$

当串联恒压源

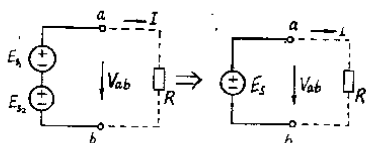


图 1-4 恒压源串联的等效化简

与等效恒压源的极性相反时，其电动势取负值。

2. 多个恒流源并联的等效化简 (图 1-5)

多个恒流源并联可以用一个恒流源来等效代替。等效条件是

$$I_S = I_{S1} + I_{S2}$$

当并联恒流源的电流方向与等效恒流源电流方向相反时，其电流取负值。

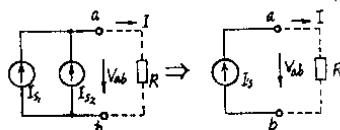
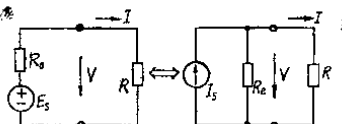


图 1-5 恒流源并联的等效化简

3. 电流源与电压源之间的等效变换 (图 1-6)

电压源等效变换成为电流源。若电压源 E_S 、 R_0 已知，则其等效电流源为



$$I_S = \frac{E_S}{R_0}, R_e = R_0$$

图 1-6 电流源与电压源的等效变换

电流源等效变换成为电压源。

若电流源 I_S 、 R_e 已知，则其等效电压源为

$$E_S = I_S R_e$$

$$R_0 = R_e$$

六、支路电流法

用来计算与分析复杂电路。

以支路电流为未知变量，应用KCL和KVL列出电路方程，联立求解各支路电流。

正确使用支路电流法的关键是

第一、列出足够数目的方程；

第二、注意方程的独立性。

七、迭加原理

在线性电路中，若含有多个电源，则网络中任一支路的电流和电压就等于各个电源单独作用时在该支路产生的电流或电压的代数和。

注意：当只考虑某一电源作用时，其余电源均应作“零值”处理：恒压源短路、恒流源开路。但这些电源的内阻均应保留在电路中。

八、戴文宁定理

任何一个线性有源二端网络就其外特性来说，可以用一个简单的电压源来等效代替〔图 1 - 7 (a)〕。该电压源的电动势等于线性有源二端网络的开路电压： $E_o = V_{ab}$ 〔图 1 - 7 (b)〕。电压源的内阻 R_o 等于二端网络内部电源不作用时（恒压源短路、恒流源开路），即与原有源二端网络相对应的无源二端网络的输入电阻〔图 1 - 7 (c)〕。

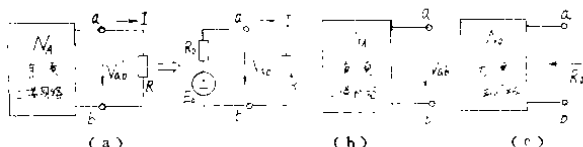


图 1 - 7 戴文宁定理

1 - 2 例题讲解

〔例 1 - 1〕 在图 1 - 8 所表示的电路中，已知 $I_1 = 0.7$ 安、 $I_2 = 0.4$ 安、 $I_3 = 0.9$ 安，计算 I_4 （各支路电流的正方向已给定，并示于图中）。

〔解〕 题意分析：本题目的是灵活运用克希荷夫电流定律，并深入理解电流正方向的物理意义。

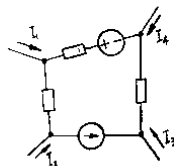


图 1 - 8 〔例 1 - 1〕 图

克希荷夫电流定律不仅适用于节点，也适用于电路的某一部份。方法是用一个假想的封闭表面将这一部份电路包围，并将它看成是一个大节点，然后再列写 KCL 方程。

解题步骤：（1）将图中所示的部份电路看作是一个大节点，据 KCL： $\sum I = 0$ ，所以

$$I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 0$$

$$I_4 = - (I_1 + I_2 + I_3)$$

$$\begin{aligned} \text{代入数据 } I_4 &= - (0.7 + 0.4 + 0.9) \\ &= - 2 \text{ (A)} \end{aligned}$$

（2）讨论：电路图中用箭头所表示的支路电流方向除

非特别指明的以外，均为参考方向。电流的正方向是确定支路电流真实方向的标准：当真实方向与正方向一致时，电流为正值；反之便是负值。所以根据某一支路电流的正、负值和它的正方向就能够确定电流的真实方向。本题中 I_1 、 I_2 、 I_3 均为正值，说明它们的真实方向与图示正方向一致。 I_4 为负值，它的真实方向与图示正方向相反。

〔例 1-2〕 在图 1-9 所表示的电路中，① 如果 $V_1 = 14$ 伏、 $V_2 = 2$ 伏、 $V_4 = 9$ 伏，计算 V_3 （正方向均已标示在图中）。② 各段电压数值为如上述，且 ab 段为一电阻元件 $R_1 = 14$ 欧， bc 段和 da 段也都只包含电阻 R_2 和 R_4 ， cd 段包含一恒压源，试画出这个电路的组成，并计算 R_2 和 R_4 的阻值。

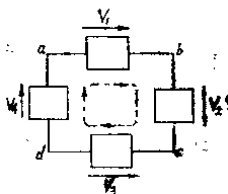


图 1-9 〔例 1-2〕图

〔解〕 题意分析：本题电路是一个简单电路，通过计算可帮助我们加深对克希荷夫定律和欧姆定律的理解。电路图中用方框表示各段电路所包含的任何电路元件（不一定是电阻元件）。

解题步骤：（1）该闭合电路内各部份电压之间符合 KVL，并取顺时针方向作为绕行方向，有

$$V_1 + V_2 - V_3 + V_4 = 0$$

代入数据 $V_3 = V_1 + V_2 + V_4 = 14 + 2 + 9 = 25(V)$

（2）据题意可得电路如图 1-10 所示。 bc 、 da 段都是纯电阻电路，端电压是已知的，只要计算出电流就可以根据欧姆定律求出 R_2 、 R_4 的阻值。选取电流 I 的正方向并表示

于图 1-10 中。

ab 段也是纯电阻电路，据欧姆定律求解 I

$$I = \frac{V_1}{R_1} = \frac{14}{14} = 1 \text{ (A)}$$

故 $R_2 = -\frac{V_2}{I} = -\frac{2}{1} = 2 \text{ } (\Omega)$

$$R_4 = -\frac{V_4}{I} = -\frac{9}{1} = 9 \text{ } (\Omega)$$

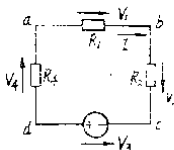


图 1-10 [例 1-2] 图 1

(3) 讨论：对于一个闭合回路来说，各部份电压之间必定符合 KVL，即受 KVL 的限制和约束，满足 $\sum V = 0$ 。这种约束和电路的具体结构及连接方式有关，而与每一段电路包含什么元件，以及元件的性质、特点无关。本题的第一问就说明了这一点。

本题的第二问说明，对于每一个具体的电路元件来说，它们的端电压与电流之间必定符合确定的伏安特性，即受元件伏安特性的限制和约束，这种约束是由元件的性质决定的，而与电路的结构无关。例如线性电阻元件的伏安特性是欧姆定律，（或元件的伏安特性恒压源的伏安特性则为恒压，与流过它的电流无关。

电路的这两种约束关系就是电路的基本定律：克希荷夫定律和欧姆定律（或元件的伏安特性），是分析与计算电路的理论基础和基本方法。

[例 1-3] 对于图 1-11(a) 所表示的电路，计算 ab 端的等效电阻 R_{ab} 。

[解] 题意分析：对于比较复杂的混联电阻网络，计算

其等效电阻的方法大致可分为以下几步：（1）将所有无用导线连接的点各自归结为同一节点；（2）在不改变电路连接关系的前提下，可根据需要改画电路，以便更清楚地表示出元件的串、并联关系；（3）采用逐步化简的方法，按照顺序简化电路，最后算出等效电阻。

解题步骤：

（1）在图 1-11(a) 中将有关各点标上字母 A~F。

（2）A、C、D 三点用无阻导线连接，相当于同一点。

B、F、E 三点用无阻导线连接，相当于同一点。

据此得图 1-11(b)，表明 6 个电阻就是并联连接的。

$$\begin{aligned} \text{计算等效电阻 } R_{ab} &= 1 // 2 // 5 // 10 // 5 // 0.5 \\ &= 0.25 \Omega \end{aligned}$$

〔例〕1-4 电路如图 1-12。以接地点 O 为电位参考点，A、B、C 点的电位 $V_A = 10$ 伏、 $V_B = 3$ 伏、 $V_C = 1$ 伏，电阻 $R_1 = 20$ 欧、 $R_3 = 28$ 欧、 $R_4 = 3$ 欧、 $R_7 = 10$ 欧。要求计算支路电流 $I_1 \sim I_7$ 和恒流源的电流 I_s 。

〔解〕题意分析：本题各

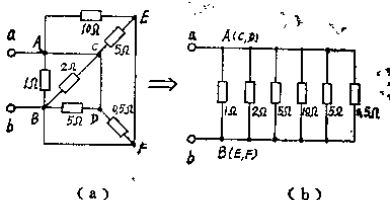


图 1-11 〔例 1-3 图〕

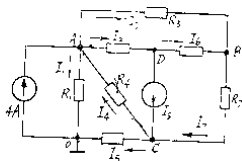


图 1-12 〔例 1-4〕图

支路电流可以用欧姆定律和KCL计算求解，达到熟练运用以上定律，深入理解电位和电压概念的目的。

解题步骤：（1）规定各支路电流的正方向，并表示在图中。

（2）根据已知的电位数值，利用欧姆定律可以算出电流 I_1 、 I_3 、 I_4 和 I_7 。

$$I_1 = \frac{V_{A0}}{R_1} = \frac{V_A}{R_1} = \frac{10}{20} = 0.5(\text{A})$$

$$I_3 = \frac{V_{AB}}{R_3} = \frac{V_A - V_B}{R_3} = \frac{10 - 3}{28} = 0.25(\text{A})$$

$$I_4 = \frac{V_{CA}}{R_4} = \frac{V_C - V_A}{R_4} = \frac{1 - 10}{3} = -3(\text{A})$$

$$I_7 = \frac{V_{BC}}{R_7} = \frac{V_B - V_C}{R_7} = \frac{3 - 1}{10} = 0.2(\text{A})$$

（3）对有关节点列写KCL方程可算出其余未知电流。

$$\text{节点A} \quad I_1 + I_2 + I_3 = 4 + I_4$$

$$\begin{aligned} I_2 &= 4 + I_4 - I_1 - I_3 \\ &= 4 + (-3) - 0.5 - 0.25 \\ &= 0.25(\text{A}) \end{aligned}$$

$$\text{节点B} \quad I_3 + I_6 = I_7$$

$$I_6 = I_7 - I_3 = 0.2 - 0.25 = -0.05(\text{A})$$

$$\text{节点D} \quad I_2 = I_6 + I_5$$

$$I_5 = I_2 - I_6 = 0.25 - (-0.05) = 0.3(\text{A})$$

$$\text{节点C} \quad I_3 + I_7 = I_4 + I_5$$

$$I_5 = I_3 + I_7 - I_4$$