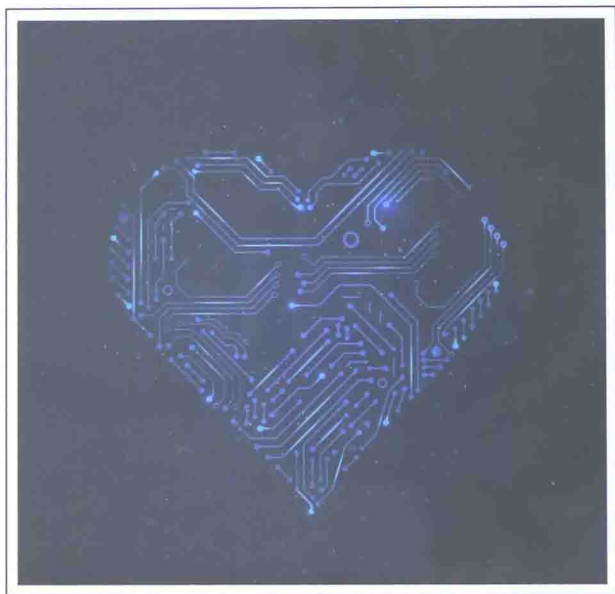
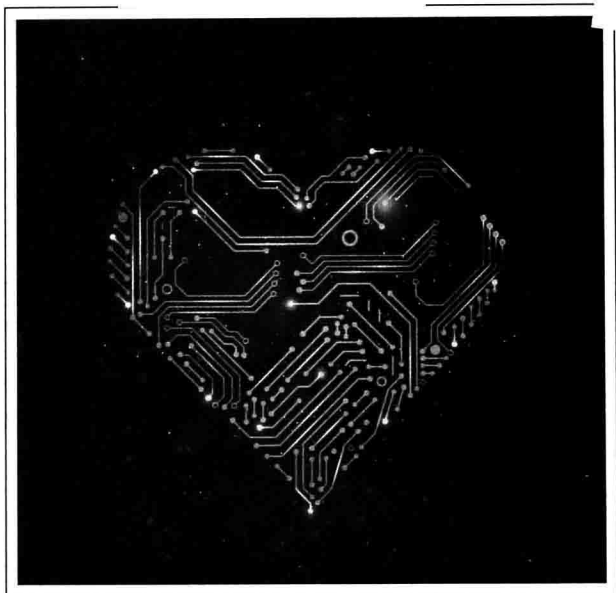




电路中的理论计算 及应用设计

崔金玉 唐红霞 郝利丽◎著



电路中的理论计算 及应用设计

崔金玉 唐红霞 郝利丽 著



清华大学出版社
TSINGHUA UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

电路中的理论计算及应用设计 / 崔金玉, 唐红霞,
郝利丽著. -- 哈尔滨: 黑龙江大学出版社, 2014. 6
ISBN 978 - 7 - 81129 - 718 - 8

I. ①电… II. ①崔… ②唐… ③郝… III. ①电路 -
计算②电路设计 IV. ①TM13②TM02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 090937 号

电路中的理论计算及应用设计

DIANLU ZHONG DE LILUN JISUAN JI YINGYONG SHEJI

崔金玉 唐红霞 郝利丽 著

责任编辑 魏翥然

出版发行 黑龙江大学出版社

地 址 哈尔滨市南岗区学府路 74 号

印 刷 哈尔滨市石桥印务有限公司

开 本 720 × 1000 1/16

印 张 14.5

字 数 222 千

版 次 2014 年 6 月第 1 版

印 次 2014 年 6 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978 - 7 - 81129 - 718 - 8

定 价 32.00 元

本书如有印装错误请与本社联系更换。

版权所有 侵权必究

前 言

《电路中的理论计算及应用设计》一书经过我们三人的共同努力,终于和大家见面了。这本书承载了我们的辛劳和希望。十几年前我就给本科生讲授电工学中的电路部分,做过很多理论计算问题,所以后来我总结了电路中的理论计算方法,以寻求更简单、更容易记忆的计算方法。本书的第一篇(从第1章到第5章)是电路理论计算,通过例题的形式告诉大家如何对电路中的理论进行计算。理论计算是所有应用设计的基础,其目的是更好地进行应用设计。本书的第二篇(从第6章到第13章)是电路设计,共编写了8个设计内容。这部分中设计内容新颖,思路独特,具有一定的应用价值。

本书第3、5、6、7、8、9章由绥化学院的崔金玉老师著,共10万字;第10、11、12、13章由绥化学院的唐红霞老师著,共5万字;第1、2、4章由东北石油大学的郝利丽老师著,共6万字。全书由崔金玉统稿。

崔金玉
2014年5月

目 录

第一篇 电路理论计算

第 1 章 电路的基本分析方法	3
1.1 二端网络中电源的等效互换	3
1.2 支路电流法举例	6
1.3 节点分析法举例	8
1.4 回路分析法举例	13
1.5 叠加原理的应用	17
1.6 等效电源定理的应用	21
1.7 星形网络与三角形网络的等效互换	27
1.8 受控源及其相关计算	32
第 2 章 正弦交流电路	37
2.1 正弦量的相量表示法	37
2.2 正弦交流电路的基本分析方法举例	39
2.3 相量法在谐振电路中的应用	43
第 3 章 三相正弦交流电路	52
3.1 负载的星形接法	52
3.2 负载的三角形接法	62
3.3 三相电路的功率计算	66

第 4 章 非正弦交流电路	69
4.1 概 述	69
4.2 周期函数分解为傅里叶级数	71
4.3 非正弦交流电路的计算	77
第 5 章 动态电路的时域分析法	80
5.1 动态电路电压和电流初始值的计算	80
5.2 一阶电路的零输入响应举例	83
5.3 一阶电路的零状态响应举例	90
5.4 一阶电路的全响应	95
5.5 阶跃信号和阶跃响应的应用	100
5.6 二阶电路的零输入响应举例	106
5.7 二阶电路的零状态响应举例	111

第二篇 电路设计

第 6 章 智能卫士系统通信问题的研究设计	117
6.1 智能卫士系统的特点	117
6.2 通信接口的基本工作过程	118
6.3 其他接口的基本工作过程	125
第 7 章 基于 PLC 的四层电梯控制系统的设计	128
7.1 电梯的简介	128
7.2 可编程逻辑控制器(PLC)	132
7.3 电梯 PLC 型号的选择	137
7.4 四层电梯控制系统的设计过程	140
第 8 章 智能安全学生公寓的设计	146
8.1 系统的设计方案	146
8.2 功能与指标	149
8.3 功能实现过程	152

8.4 特色与创新	153
第9章 无线通信接收与发射机的设计	156
9.1 设计目标	156
9.2 方案论证与比较选择	157
9.3 分析与计算	159
9.4 系统测试	167
第10章 智能风扇的设计	169
10.1 智能风扇的设计方法与原理	169
10.2 硬件系统的实现	172
10.3 软件设计	175
10.4 系统调试	179
第11章 CPU 智能散热系统的设计	181
11.1 CPU 散热系统概述	181
11.2 设计所需要的器材简介	184
11.3 CPU 智能散热系统的组成及工作原理	188
11.4 系统控制的实现	192
第12章 超声波测距仪的设计	197
12.1 超声波测距仪的设计背景	197
12.2 超声波测距仪的设计思路	198
12.3 系统的硬件设计	199
12.4 系统的软件设计	205
12.5 系统软硬件的调试	206
第13章 噪声测量仪的设计	208
13.1 噪声测量仪简介	208
13.2 噪声测量仪的电路设计	210
13.3 系统的测试	220

第一篇

电路理论计算

第1章

电路的基本分析方法

1.1 二端网络中电源的等效互换

在电路分析中,有时只要求出某个或某几个支路的电流或电压,而不需要求出全部支路的电流和电压。为了简化电路的分析,可以在适当的部位,把电路分成两个部分,将含有待求支路的部分(即外电路)去掉,则剩余部分为有源二端网络,我们称之为内电路。为方便求出外电路电压,希望将此二端网络中的电压源、电流源进行等效互换,转化成较为简单的电路,这就是电压源与电流源的等效互换问题。

在图1-1-1所示电路中,要想使(a)、(b)两电源进行等效互换,则必须保证A、B两端钮与外电路相连时具有同样的伏安关系,即二端网络的端口电压、电流之间的关系不能改变。

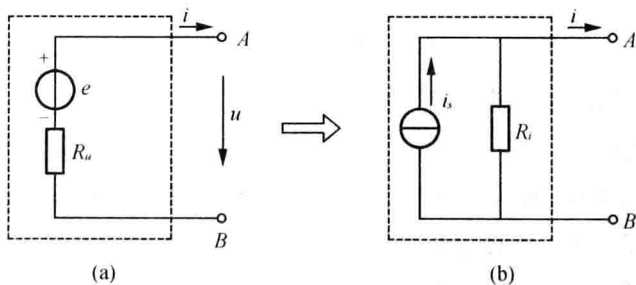


图1-1-1 电压源和电流源等效互换

在图 1-1-1(a) 中,电压源的特性方程为

$$u = e - R_u i$$

也可将其写成

$$i = \frac{e}{R_u} - \frac{u}{R_u} \quad (1-1-1)$$

在图 1-1-1(b) 中,电流源的特性方程为

$$i = i_s - \frac{u}{R_i} \quad (1-1-2)$$

对比式(1-1-1)和式(1-1-2)可知,要使两电源的特性方程不变,即具有相同的伏安关系,就必须满足下列关系

$$R_i = R_u \quad (1-1-3)$$

$$i_s = \frac{e}{R_u} \quad (1-1-4)$$

如前所述,若按照上面两式所表示的关系把电压源变换为电流源(或相反),则其对外电路产生的作用不变。

在实际进行电压源、电流源的等效变换时必须注意以下三点。

- (1) 待变换的电路必须是有源二端电阻网络,且不能含有待求支路。
- (2) 理想电压源和理想电流源之间不能等效变换。

(3) 等效是对外电路而言的,对于待变换的电路内部而言并不等效。例如:当外电路断开时,电压源内阻因无电流通过而不消耗功率,而电流源内阻却仍要消耗功率;同样,当外电路短路时,电压源内阻消耗功率最大,而电流源此时不消耗功率。

例 1-1-1 电压源 $e = 10 \text{ V}$ 、 $R_1 = 1 \text{ } \Omega$, 电流源 $i_s = 10 \text{ A}$ 、 $R_2 = 4 \text{ } \Omega$, 二者并联后对 $R = 20 \text{ } \Omega$ 的负载供电,求负载端电压 u_R 。

解 利用电压源与电流源的等效变换,先将电压源变换为电流源,即得图 1-1-2(a) 所示的电路,再将图 1-1-2(a) 中的理想电流源和电阻分别合并,即得图 1-1-2(b)。计算过程如下。

将电压源变换为等效电流源

$$i_{s1} = \frac{e}{R_1} = \frac{10}{1} = 10 \text{ A}$$

合并电流源

$$i'_s = i_{s1} + i_s = 10 + 10 = 20 \text{ A}$$

$$i = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1 \times 4}{1 + 4} = 0.8 \text{ } \Omega$$

在图 1-1-2(b) 中通过 R 的电流为

$$i = \frac{R_0 i'_s}{R + R_0} = \frac{0.8}{20 + 0.8} \times 20 = 0.769 \text{ A}$$

所以

$$u_R = Ri = 20 \times 0.769 = 15.38 \text{ V}$$

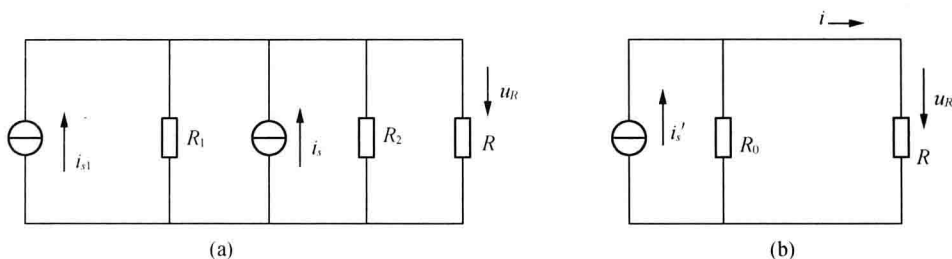


图 1-1-2 例题 1-1-1 等效电路图

例 1-1-2 如图 1-1-3(a), 已知 $E = 8 \text{ V}$, $I_s = 2 \text{ A}$, $R_1 = 6 \text{ } \Omega$, $R_2 = 2 \text{ } \Omega$, 求通过 R_2 的电流。

解 将图 1-1-3(a) 中右侧的电流源转换为电压源, 得到图 1-1-3(b) 所示电路, 其中

$$E_s = R_1 I_s = 6 \times 2 = 12 \text{ V}$$

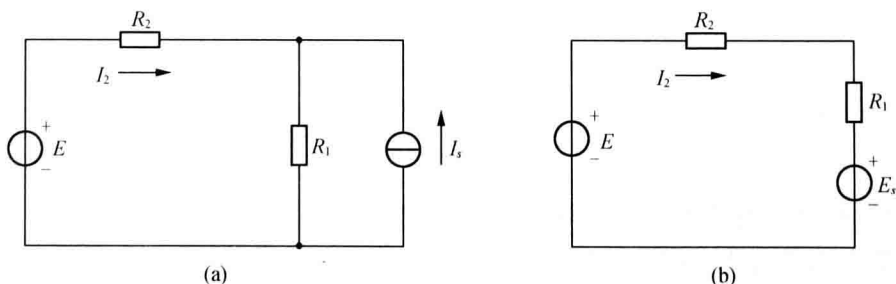


图 1-1-3 例题 1-1-2 图

所以通过 R_2 的电流

$$I_2 = \frac{E - E_s}{R_1 + R_2} = \frac{8 - 12}{6 + 2} = -0.5 \text{ A}$$

其方向和图中参考方向相反。

1.2 支路电流法举例

支路电流法是以支路电流为求解变量,应用基尔霍夫定律建立电路方程求解支路电流的一种方法。

图 1-2-1 所示的电路中含有 2 个节点、3 条支路,可以应用基尔霍夫电流定律(KCL)列出 2 个节点电流方程,应用基尔霍夫电压定律(KVL)列出回路电压方程。

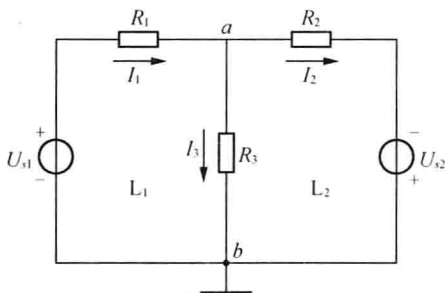


图 1-2-1 支路电流法

首先,用基尔霍夫电流定律列出独立的节点电流方程:

对节点 a

$$I_1 = I_2 + I_3$$

对节点 b

$$I_2 + I_3 = I_1$$

可见,对具有 2 个节点的电路,应用基尔霍夫定律只能列出 $2 - 1 = 1$ 个独立的节点电流方程。可以证明,对于有 n 个节点的电路,应用基尔霍夫定律只能列出 $n - 1$ 个独立的节点电流方程。

其次,用基尔霍夫电压定律列出独立的回路电压方程:

对网孔 L_1 可列出

$$R_1 I_1 + R_3 I_3 - U_{s1} = 0$$

对网孔 L_2 可列出

$$-R_2 I_2 + R_3 I_3 - U_{s2} = 0$$

可见,对于有 2 个节点、3 条支路的电路,用基尔霍夫电压定律可列出 3-1 个独立的回路电压方程。可以证明,对于由 n 个节点、 m 条支路组成的电路,可列出 $m - (n - 1)$ 个独立的回路电压方程。

综上,对于由 n 个节点、 m 条支路组成的电路,应用基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律,一共可列出 $(n - 1)$ 个节点电流方程和 $m - (n - 1)$ 个回路电压方程,共 n 个方程,故可解出 m 个支路电流。

例 1-2-1 图 1-2-2 中,若已知 $U_{s1} = 140 \text{ V}$, $U_{s2} = 90 \text{ V}$, $R_1 = 20 \Omega$, $R_2 = 5 \Omega$, $R_3 = 6 \Omega$,求各支路电流。

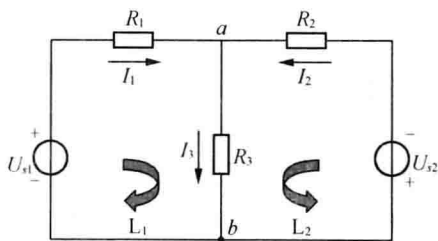


图 1-2-2 例题 1-2-1 图

解 假设各支路电流和回路绕行方向如图 1-2-2 所示,该电路共有 2 个节点,可列 1 个节点电流方程:

对节点 a

$$I_1 = I_2 + I_3$$

取网孔为独立回路,列回路电压方程:

对网孔 L_1 可列出

$$R_1 I_1 + R_3 I_3 - U_{s1} = 0$$

对网孔 L_2 可列出

$$R_2 I_2 + R_3 I_3 - U_{s2} = 0$$

联立方程组,代入数据求解

$$\left. \begin{aligned} I_1 + I_2 &= I_3 \\ R_1 I_1 + R_3 I_3 - U_{s1} &= 0 \\ R_2 I_2 + R_3 I_3 - U_{s2} &= 0 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{cases} I_1 + I_2 = I_3 \\ 20I_1 + 6I_3 - 140 = 0 \\ 5I_2 + 6I_3 - 90 = 0 \end{cases}$$

解得

$$\begin{cases} I_1 = 4 \text{ A} \\ I_2 = 6 \text{ A} \\ I_3 = 10 \text{ A} \end{cases}$$

电流 I_1 、 I_2 、 I_3 均为正值,说明各电流实际方向与假定电流参考方向相同。

另外,对于含有理想电流源的电路,在列回路电压方程时,还应考虑端电压的作用。

1.3 节点分析法举例

节点分析法(Nodal Analysis Method)的基本指导思想是用未知的节点电压代替未知的支路电压来建立电路方程,以减少联立方程的元数。节点电压是指独立节点对非独立节点的电压。应用基尔霍夫电流定律建立节点电流方程,然后用节点电压去表示支路电流,最后求解节点电压的方法叫节点分析法。

对于具有 n 个节点、 m 条支路的电路,若用基尔霍夫电流定律列出节点电流方程,则只需解 $(n-1)$ 个联立方程。下面我们来研究图 1-3-1 所示的电路。这是一比较复杂的电路,具有 4 个节点(依次为 0、1、2、3)、6 条支路。选 0 点为参考点,则各节点电压依次为 U_{10} 、 U_{20} 、 U_{30} 。

对节点 1

$$I_1 + I_3 - I_4 = 0$$

对节点 2

$$I_4 - I_5 + I_6 = 0$$

对节点 3

$$I_2 - I_3 - I_6 = 0$$

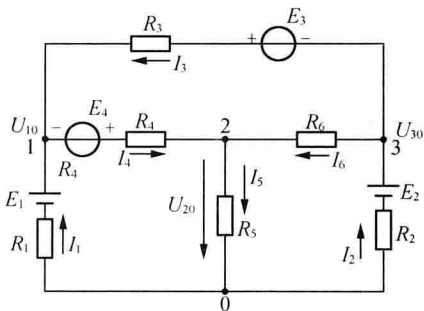


图 1-3-1 具有 4 个节点、6 条支路的电路

在图 1-3-1 中根据基尔霍夫电压定律解得

$$U_{10} = E_1 - R_1 I_1$$

$$U_{20} = R_5 I_5$$

$$U_{30} = E_2 - R_2 I_2$$

$$U_{12} = U_{10} - U_{20} = -E_4 + R_4 I_4$$

$$U_{23} = U_{10} - U_{30} = -R_6 I_6$$

$$U_{31} = U_{30} - U_{10} = -E_3 + R_3 I_3$$

$$I_1 = (E_1 - U_{10}) G_1$$

$$I_2 = (E_2 - U_{30}) G_2$$

$$I_3 = (U_{30} - U_{10} + E_3) G_3$$

$$I_4 = (U_{10} - U_{20} + E_4) G_4$$

$$I_5 = U_{20} G_5$$

$$I_6 = (U_{30} - U_{20}) G_6$$

将各支路电流代入节点电流方程,并加以整理得

$$(G_1 + G_3 + G_4) U_{10} - G_4 U_{20} - G_{30} U_{30} = E_1 G_1 + E_3 G_3 - E_4 G_4$$

$$-G_4 U_{10} + (G_4 + G_5 + G_6) U_{20} - G_6 U_{30} = E_4 G_4$$

$$-G_3 U_{10} - G_6 U_{20} + (G_2 + G_3 + G_6) U_{30} = E_2 G_2 - E_3 G_3$$

上式中 $E_1 G_1$ 是第一条支路的电动势与本支路电阻的比值,即将电压源转换为电流源时,电激流的值 I_{s1} 。依此类推,上面三式可以写成

$$\left. \begin{aligned} G_{11}U_{10} + G_{12}U_{20} + G_{13}U_{30} &= I_{s11} \\ G_{21}U_{10} + G_{22}U_{20} + G_{23}U_{30} &= I_{s22} \\ G_{31}U_{10} + G_{32}U_{20} + G_{33}U_{30} &= I_{s33} \end{aligned} \right\} \quad (1-3-1)$$

式(1-3-1)中

$$G_{11} = G_1 + G_3 + G_4$$

$$G_{22} = G_4 + G_5 + G_6$$

$$G_{33} = G_2 + G_3 + G_6$$

$$G_{12} = G_{21} = -G_4$$

$$G_{23} = G_{32} = -G_6$$

$$G_{31} = G_{13} = -G_3$$

其中 G_{jj} 是第 j 个节点的自电导, 等于和第 j 个节点相连接的各支路电导之和; G_{jk} 是第 j 个节点与第 k 个节点之间的互电导, 等于 j, k 两点间的电导, 而且总是负值; I_{sj} 是流入第 j 个节点的各支路电激流的代数和(流入为正)。

还需注意的是, 如果某一支路上有几个电阻串联, 则该支路电导 $G = \frac{1}{\sum R}$, 不要弄错。

在某一给定的电路中, 当各支路的电压源(或电流源)和电阻(或电导)均为已知时, 由式(1-3-1)可以求出各节点对参考点的电压, 进一步可以求出各支路电流。

综上, 节点分析法以各节点对参考点的电压为未知量, 根据基尔霍夫电流定律列出独立的节点电流方程并求解。因为节点对参考节点的电压就是节点的电压, 所以节点分析法也称为节点电压法。

以上讨论的是具有 4 个节点的电路。如某一电路具有 n 个节点, 则可仿照式(1-3-1)列出 $(n-1)$ 个独立方程, 这里就不再赘述了。

当电路中支路很多, 但只有 2 个节点时, 用节点分析法, 只要列 1 个方程求出 U_{10} 再求各支路电流即可, 非常简便。此时, 节点电压方程简化为

$$G_{11}U_{10} = I_{s11}$$

即节点电压