



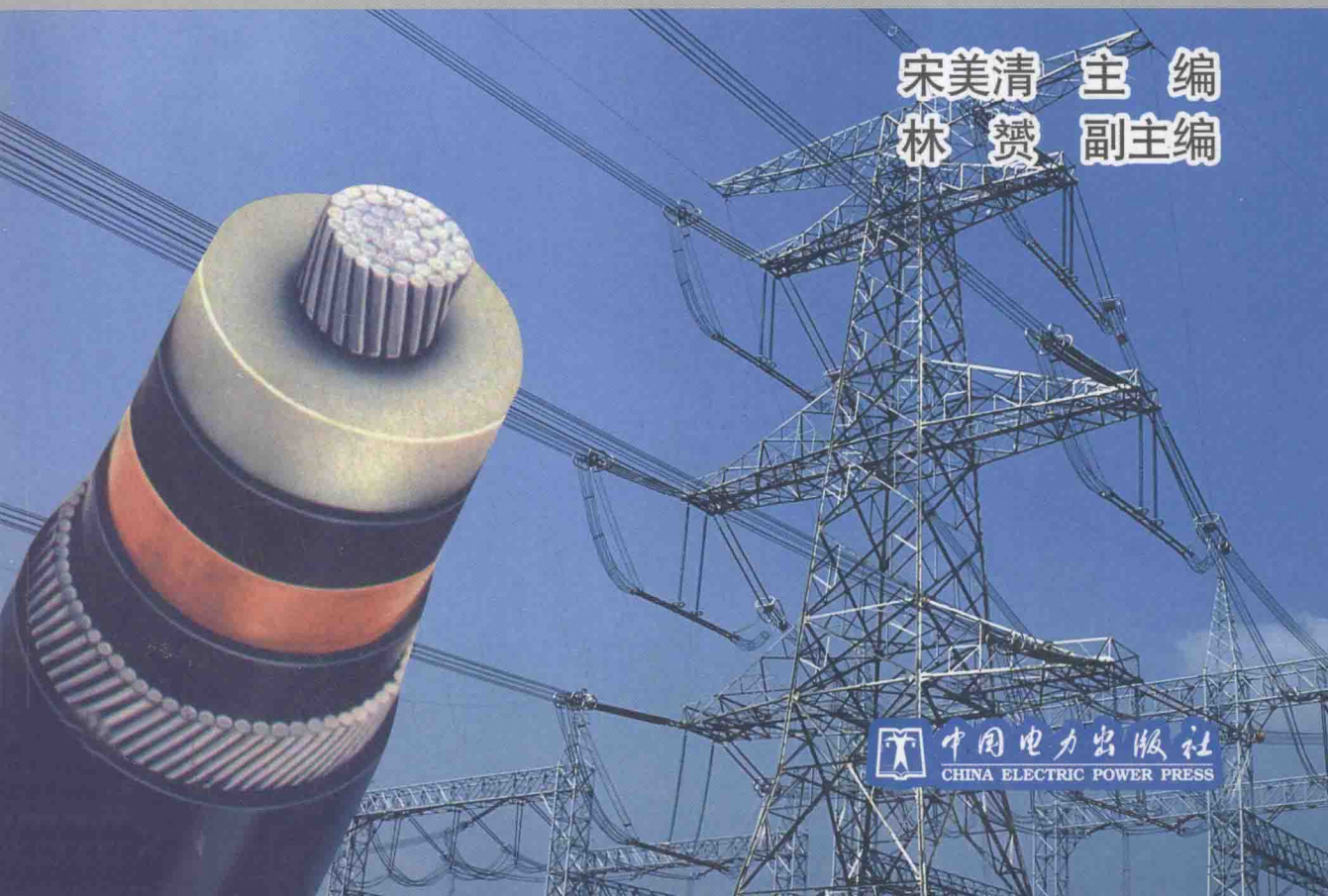
电力电缆工职业技能鉴定适用

DIANLI DIANLANGONG ZHIYE JINENG JIANDING SHIYONG

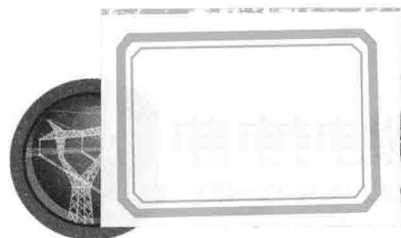
电力电缆工 培训教材

(高级 技师)

宋美清 主 编
林 赞 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



电力电缆工职业技能鉴定适用

电力电缆工职业技能鉴定适用

电力电缆工培训教材

(高级 技师)

宋美清 主 编

林 赟 副主编

陆颖铨 严丹昭 关铃英 参 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本教材根据《中华人民共和国国家职业标准 电力电缆工》的要求编写。教材编写努力做到理论与实际相结合、深入浅出、通俗易懂、面向生产实际、强调实践,旨在使广大电力电缆工了解和掌握本工种相关技术,适应生产发展需要。为了便于学习和培训,每单元后附有理论知识和技能操作单元测试题与答案。为检测培训水平,熟悉考核,每个等级附有职业技能鉴定标准概况相关内容和模拟试题两套,以便学员掌握考核鉴定的范围和内容。

本书主要介绍了电力电缆工高级工、技师必须掌握的电工学与电网基础知识、识图与绘图、常用配电设备、电力电缆线路的有关计算、电力电缆施工、电力电缆试验、电力电缆故障测寻、培训指导、施工工程的质量管理等内容。本书标注“*”的内容只要求技师掌握,对高级工不作要求。

本书适合各级鉴定机构和培训机构组织考前强化培训和申请参加技能鉴定的人员自学使用,对于各类职业技术学校师生、相关行业技术人员均有重要的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

电力电缆工培训教材:高级技师/宋美清主编. —北京:中国电力出版社, 2012. 8

ISBN 978 - 7 - 5123 - 3377 - 2

I. ①电… II. ①宋… III. ①电力电缆 - 电缆敷设 - 技术培训 - 教材 IV. ①TM757

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 180879 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 [http://www. cepp. sgcc. com. cn](http://www.cepp.sgcc.com.cn))

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2013 年 1 月第一版 2013 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 25 印张 665 千字

印数 0001—3000 册 定价 68.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

本教材根据《中华人民共和国国家职业标准 电力电缆工》的要求编写。编写指导思想是坚持“鉴定什么，编什么”，紧扣“准确性、实用性、先进性”的原则。基本理论部分的编写以必需和够用为度，突出技能和技巧，注重能力的培养。此外，教材从当前电力电缆工工作的实际出发，努力做到理论与实际相结合、深入浅出、通俗易懂。

本教材内容以《职业技能鉴定培训大纲》（以下简称《培训大纲》）模块为依据进行全面整合，全书内容和单元设置力求与《培训大纲》模块、实际应用和最新知识进展保持基本一致。在编写上，对应初、中、高级和技师四个等级分成初级、中级和高级、技师两本教材，每本教材按相应等级《培训大纲》知识要求和技能要求组织教学内容。在基本保证知识连贯性的基础上，着眼于技能操作，力求浓缩精炼，突出针对性、典型性、实用性。教材力求反映本工种的现状和趋势；体现基础理论、基础知识、基本技能；突出新内容、新知识、新特点。

本版教材在编写上有三个特点：

第一，主要按《培训大纲》要求整合教学单元，单元中每节开始有明确的教学目标，而且教学目标基本就是《培训大纲》知识点模块（LE）的学习目标，为学习者的学习起到引导作用。由于高级工与技师应掌握的知识点相同部分比较多，因此，编写中在保持单元不变的基础上，对只要求技师掌握的内容加“*”号予以区别。

第二，在每个单元教学内容后，都编写了具有代表性的理论知识和技能操作单元测试题与答案，便于学习者对学习内容的自检和巩固。

第三，每个等级编写了两套模拟题，供学习者模拟测试，起到检测培训水平，熟悉鉴定考核的功能。

本书由福建省电力有限公司培训中心特级教师宋美清担任主编，并负责第八单元的编写及全书的统稿工作。福建省电力有限公司培训中心高级技师林赞担任副主编并参与第二、四、六、九单元的编写，福州电业局高级技师严丹昭参与第五、七单元的编写，福建调通中心工程师陆颖铨参与第一单元的编写，福建省南平高速公路有限责任公司高

级工程师关铃英参与第三单元的编写。

在本教材的编写过程中，参考了大量文献，在此对其作者表示衷心感谢，同时也感谢中国电力出版社和各位编者所在单位给予的大力支持！

限于编者的经验和水平，加上知识的不断更新，对本教材在内容和文字上的种种缺陷和错误，诚恳地欢迎广大读者提出批评指正。

育 道

编 者

2012 年 7 月

目 录

前言	1
第一单元 电工学与电网基础知识	1
第一节 直流电路	1
第二节 交流电路	7
第三节 电工材料	11
第四节 电子技术基础	16
第五节 电力系统基础知识	26
单元测试题与答案	34
第二单元 识图与绘图	45
第一节 识读地理图和地形图	45
第二节 识读电缆井土建施工图	52
第三节 识读电力电缆安装图	58
单元测试题与答案	67
第三单元 常用配电设备	72
第一节 高、低压开关柜	72
第二节 环网柜	78
第三节 开关柜的安装	80
第四节 箱式变电站	90
单元测试题与答案	96
第四单元 电力电缆线路的有关计算	99
第一节 电力电缆主要电气参数及计算	99
第二节 电力电缆的发热和载流量	107
第三节 电力电缆敷设计算	116
单元测试题与答案	121
第五单元 电力电缆施工	128
第一节 电力电缆敷设方法	128
第二节 电力电缆终端和中间接头的安装	140
* 第三节 电力电缆施工组织	164
单元测试题与答案	177
第六单元 电力电缆试验	198
第一节 电力电缆试验项目和要求	198
第二节 电力电缆试验	204

目 录

第三节 直流电力电缆及其试验	227
单元测试题与答案	235
■ 第七单元 电力电缆故障测寻	247
第一节 电力电缆故障测距定点设备	247
第二节 电力电缆故障测距定点的操作	255
第三节 案例分析	263
单元测试题与答案	282
■ * 第八单元 培训指导	296
第一节 理论培训	296
第二节 技能培训	315
单元测试题与答案	319
■ * 第九单元 施工工程的质量管理	322
第一节 全面质量管理	322
第二节 质量保证体系	323
第三节 质量管理要求和控制	325
第四节 质量评定和质量事故处理	327
第五节 质量管理 (QC) 小组	329
单元测试题与答案	333
■ 附录 A 电力电缆工职业技能鉴定标准概况	336
■ 附录 B 电力电缆工 (高级) 职业技能鉴定考试模拟试卷	345
■ 附录 C 电力电缆工 (技师) 职业技能鉴定考试模拟试卷	366
■ 参考文献	394

第一单元 电工学与电网基础知识

第一节 直流电路



培训目标

1. 了解电流源、电压源的概念。
2. 能够运用支路电流法、回路电流法和节点电位法进行简单计算。
3. 能简要说明戴维南定理的含义。

一、电压源、电流源及等效互换

电压源、电流源是将实际电源经过抽象化、理想化形成的二端电源元件，主要用于电路的分析、计算。电压源、电流源的输出值不受外电路的影响。

1. 电压源

电压源又称理想电压源，它的实际电源模型较为常见，如电池、发电机或含有电源的二端网络等。实际电源（如电池）如果考虑内阻的影响，根据全电路欧姆定律，输出电流越大，则电源内部电压降越大，电源端电压就越低。

在理想情况下，如果完全忽略内阻的影响，电源端电压 U 不受外电路及电流的影响，而与电动势 E 的大小始终相等，这样的电源元件即为电压源。如图 1-1 (c) 所示，不论通过电源的电流是多少，电压源的端电压始终为恒定值 U_s 。直流电压源的图形符号如图 1-1 (a)、(b) 所示。

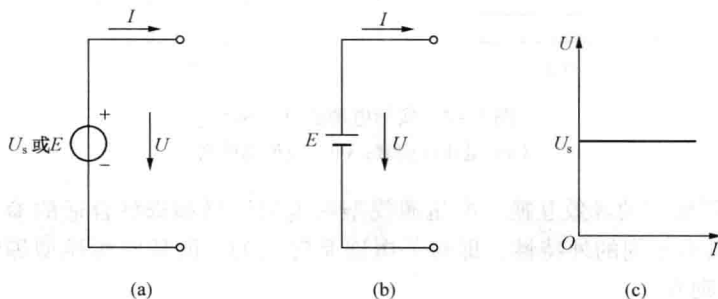


图 1-1 直流电压源的图形符号及外特性曲线

(a) 一般符号；(b) 直流电压源图形符号；(c) 外特性曲线

2. 电流源

电流源又称理想电流源，是由恒流源、电流发生器等实际电源抽象而成的另一种理想化的电源元件。

直流电流源的图形符号和外特性曲线如图 1-2 所示，从图 1-2 (b) 可见：直流电流源向外输出恒定不变的电流，而它的端电压可能为任意值。

3. 电压源与电流源的等效互换

(1) 实际电源的电路模型。用理想电路元件或它们的组合可以模拟实际电路元器件。例

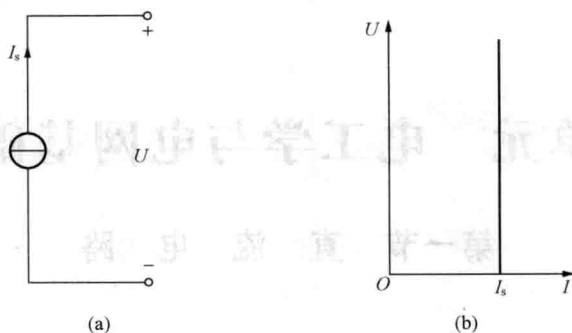


图 1-2 直流电流源的图形符号及外特性曲线

(a) 一般符号；(b) 外特性曲线

如一个实际电源有两种模型：电压源模型和电流源模型。如图 1-3 (a) 所示为电压源模型，用一个电压源与电阻的串联组合来模拟实际电源，该电压源的电压等于实际电源的开路电压 U_{oc} ，电阻的阻值等于实际电源的内阻 R_0 。图 1-3 (b) 所示为电流源模型，用一个电流源与电阻的并联组合来模拟实际电源，该电流源的电流等于实际电源的短路电流 I_{sc} ，此电阻的阻值等于实际电源的内阻 R_0 。

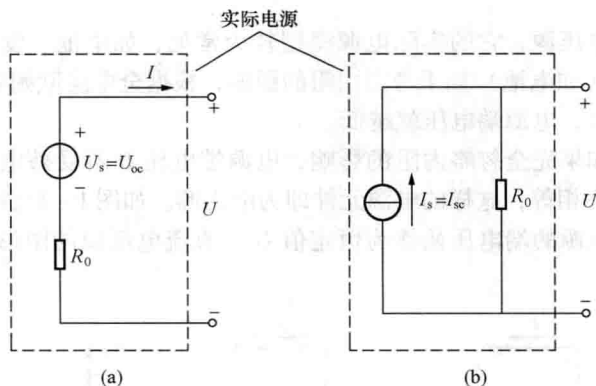


图 1-3 实际电源的电路模型

(a) 电压源模型；(b) 电流源模型

(2) 两种电源模型的等效互换。电压源模型和电流源模型选择合适的参数来模拟同一实际电源时，可以具有相同的外特性，即对外电路是等效的。两种电源模型等效互换，假设内阻 R_0 是相等的，则有

$$U_s = I_s R_0, I_s = \frac{U_s}{R_0} \quad (1-1)$$

转换时应注意：两种模型的极性必须一致，即电流源流出电流的一端与电压源正极端相对应。

由此扩展开来，只要是一个电压源与电阻 R 的串联组合，都可以等效互换为一个电流源与电阻 R 的并联组合，如图 1-4 所示。且有

$$U_s = I_s R, I_s = \frac{U_s}{R}$$

利用两种电源模型的等效互换，可以使复杂电路简化。

【例 1-1】将图 1-5 (a) 所示电压源模型等效互换为电流源模型，并分别求出两电路电

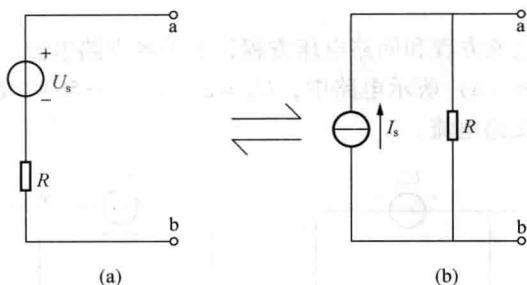


图 1-4 两种模型的等效互换
(a) 电压源模型; (b) 电流源模型

流 I_1 和 I_2 , 其中 $R_L = 15\Omega$ 。

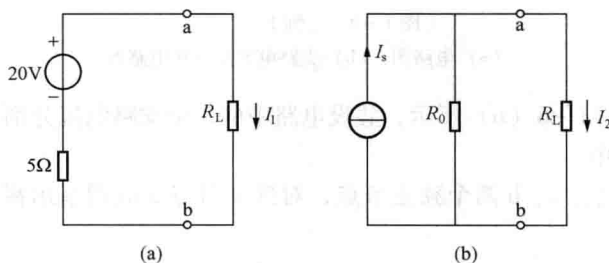


图 1-5 [例 1-1] 图
(a) 电压源模型; (b) 电流源模型

解 电压源模型等效变换为电流源模型如图 1-5 (b) 所示。因为电压源模型中 $R_0 = 5\Omega$, $U_s = 20V$, 所以电流源电流为

$$I_s = \frac{U_s}{R_0} = \frac{20V}{5\Omega} = 4A$$

由电压源模型得

$$I_1 = \frac{U_s}{R_0 + R_L} = \frac{20V}{(5 + 15)\Omega} = 1A$$

由电流源模型得

$$I_2 = \frac{R_0}{R_0 + R_L} I_s = \frac{5}{5 + 15} \times 4A = 1A = I_1$$

由 [例 1-1] 可见, 两种模型对负载提供的电流相等, 说明它们对负载是等效的。

有些电路不能通过串并联规则进行简化, 这样的电路称为复杂电路。接下来以复杂直流电路为例, 介绍常用的几种电路计算方法: 支路电流法、回路电流法、节点电位法和戴维南定理。

二、支路电流法

支路电流法是以电路中各支路的电流为未知变量, 根据基尔霍夫定律列出所需的回路电压方程和节点电流方程, 然后求得各支路电流。支流电流法求解步骤如下:

- (1) 设出各支路电流, 选定其参考方向并标于电路图中。
- (2) 如果该电路共有 n 个节点, 则对电路中任意 $(n-1)$ 个节点分别应用基尔霍夫第一定律 (即基尔霍夫电流定律, KCL), 列出 $(n-1)$ 个节点电流方程。
- (3) 由基尔霍夫第二定律 (即基尔霍夫电压定律, KVL) 列出 m 个独立回路的电压方程,

m 数值为网孔个数。

(4) 联立求解节点电流方程和回路电压方程, 求得各支路电流。

【例 1-2】在图 1-6 (a) 所示电路中, $U_{s1} = 20\text{V}$, $U_{s2} = 50\text{V}$, $R_1 = 20\Omega$, $R_2 = 8\Omega$, $R_3 = 5\Omega$, 用支路电流法求各支路电流。

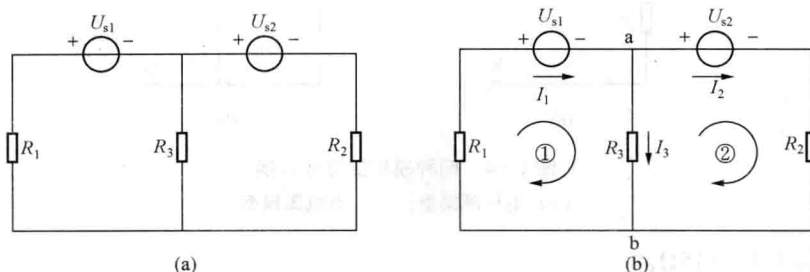


图 1-6 [例 1-2] 图

(a) 电路图; (b) 支路电流法分析电路图

解 步骤 1: 如图 1-6 (b) 所示, 假设电路中的 3 个支路电流分别为 I_1 、 I_2 、 I_3 , 选择其参考方向并标于电路中。

步骤 2: 电路中共有 a 、 b 两个独立节点, 对独立节点 a 应用基尔霍夫第一定律, 列出节点电流方程为

$$I_1 = I_2 + I_3$$

步骤 3: 选择左右两个网孔作为独立回路, 选取顺时针方向为回路的正方向。对网孔应用基尔霍夫第二定律, 列出回路电压方程有

$$\text{网孔①: } I_1 R_1 + I_3 R_3 = U_{s1}$$

$$\text{网孔②: } -I_3 R_3 + I_2 R_2 = U_{s2}$$

步骤 4: 将各已知数据代入以上 3 个方程联立求解, 则有

$$\begin{cases} I_1 = I_2 + I_3 \\ 20I_1 + 5I_3 = 20 \\ -5I_3 + 8I_2 = 50 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I_1 = 1.7\text{A} \\ I_2 = 4.5\text{A} \\ I_3 = -2.8\text{A} \end{cases}$$

所以各支路电流分别为 $I_1 = 1.7\text{A}$ 、 $I_2 = 4.5\text{A}$ 、 $I_3 = -2.8\text{A}$, I_3 的实际流向与参考方向相反。

三、回路电流法

虽然支路电流法比较简单, 但是如果电路的支路数较多, 需要联立求解的方程数也比较多, 使得计算较为繁琐。如图 1-7 所示电路中, 支路数有 6 条, 用支路电流法求解需要 6 个方程进行迭代计算。

如果假设平面电路的每一个网孔中都有一个电流在其中循环流动, 则称这一电流为网孔电流; 如图 1-7 中所设的 3 个网孔电流 I_{11} 、 I_{22} 和 I_{33} 为未知变量, 对每个网孔应用基尔霍夫第二定律可列出回路电压方程; 联立求解这些方程, 得到网孔电流; 最后由网孔电流求得支路电流 $I_1 \sim I_6$ 及其他变量。这种方法称为回路电流法, 具体步骤如下:

(1) 假设各网孔电流和各支路电流, 选定各支路电流的参考方向和各网孔电流的绕行方向, 并标于电路图中, 如图 1-7 所示。

(2) 以网孔电流作为未知变量, 根据基尔霍夫第二定律列出各网孔回路的电压方程。列方程时注意: 相邻回路电流在公共支路电阻上的压降不能遗漏, 压降的正、负根据公共支路上相邻回路网孔电流方向与本回路网孔电流是否一致而定, 一致时取正, 相反时取负。

(3) 代入已知数据, 联立方程组求解各网孔电流。

(4) 根据支路电流与网孔电流之间的关系 (支路电流等于通过该支路的所有网孔电流的代数和), 由网孔电流求得各支路电流, 进而求出各支路电压及其他变量。

【例 1-3】 在图 1-6 (a) 中, 已知数据同 [例 1-2], 用回路电流法求各支路电流。

解 步骤 1: 如图 1-8 所示, 假设各支路电流 I_1 、 I_2 、 I_3 的参考方向和网孔电流 I_{11} 、 I_{22} 的绕行方向并标于电路图中。

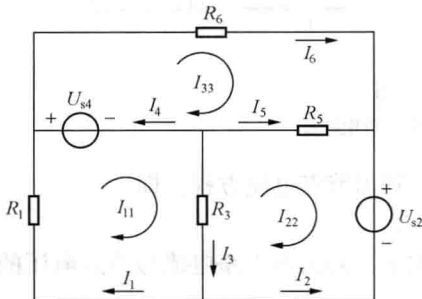


图 1-7 回路电流法

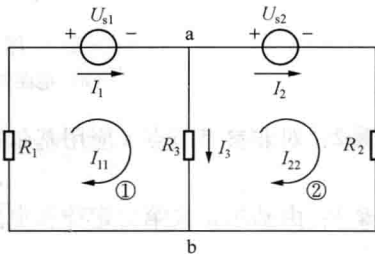


图 1-8 [例 1-3] 图

步骤 2: 以网孔电流为未知变量, 由基尔霍夫第二定律列出回路电压方程:

$$(R_1 + R_3)I_{11} - R_3I_{22} = U_{s1}$$

$$(R_2 + R_3)I_{22} - R_3I_{11} = U_{s2}$$

①、②两个网孔电流在公共支路上的绕行方向相反, 故 R_3 上的电压符号取负。

步骤 3: 代入已知数据, 联立方程组求出各网孔电流。

$$\begin{cases} 25I_{11} - 5I_{22} = 20 \\ 13I_{22} - 5I_{11} = 50 \end{cases}$$

解得 $I_{11} = 1.7 \text{ A}$, $I_{22} = 4.5 \text{ A}$ 。

步骤 4: 由支路电流与网孔电流的关系, 求各支路电流。

$$I_1 = I_{11} = 1.7 \text{ A}, I_2 = I_{22} = 4.5 \text{ A}, I_3 = I_{11} - I_{22} = -2.8 \text{ A}。$$

四、节点电位法

节点电位法是以电路中的各个节点电压为未知变量, 根据基尔霍夫定律列出所需的电路方程, 然后求得各节点电压, 最后由节点电压求得各支路电流及其他变量的方法。节点电位法求解步骤如下:

- (1) 选择参考节点, 设定各节点电压、各支路电流及参考方向, 并标于电路图中。
- (2) 对非参考节点应用基尔霍夫第一定律, 列出节点电流方程。
- (3) 根据基尔霍夫第二定律和电路元件的伏安关系, 求出各支路电流与节点电压的关系。
- (4) 将各支路电流与节点电压的关系代入节点电流方程, 得到以节点电压为未知变量的方程。
- (5) 求解节点电压方程, 求出节点电压。
- (6) 根据支路电流与节点电压的关系, 由节点电压求得支路电流, 进而求得其他变量。

【例 1-4】 应用节点电压法求图 1-9 (a) 中各支路的电流, 已知 $U_{s1} = 40 \text{ V}$, $U_{s2} = 20 \text{ V}$, $R_1 = 10 \Omega$, $R_2 = 5 \Omega$, $R_3 = 20 \Omega$, $R_4 = 15 \Omega$ 。

解 图 1-9 (a) 中共有 a、b 2 个节点和 4 个支路。

步骤 1: 选择 b 点为参考节点, 假设 a 节点电位为 φ_a 、各支路电流为 I_1 、 I_2 、 I_3 、 I_4 , 参考方向如图 1-9 (b) 所示。

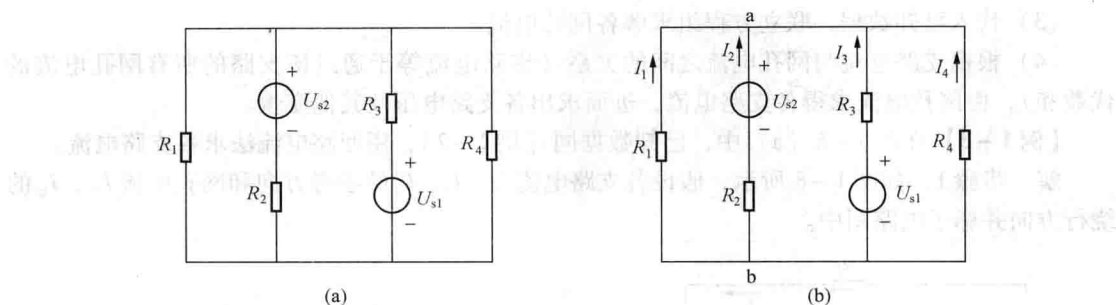


图 1-9 [例 1-4] 图
(a) 电路图; (b) 节点电压法分析电路图

步骤 2: 对非参考节点 a 应用基尔霍夫第一定律, 列出节点电流方程, 即

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

步骤 3: 由基尔霍夫第二定律和电路元件的伏安关系, 列出各支路电流与节点电压的关系表达式

$$\begin{cases} I_1 = -\frac{\varphi_a}{R_1} = -\frac{\varphi_a}{10} \\ I_2 = \frac{U_{s2} - \varphi_a}{R_2} = \frac{20 - \varphi_a}{5} \\ I_3 = \frac{U_{s1} - \varphi_a}{R_3} = \frac{40 - \varphi_a}{20} \\ I_4 = -\frac{\varphi_a}{R_4} = -\frac{\varphi_a}{15} \end{cases}$$

步骤 4: 将各支路电流与节点电压的关系代入节点电流方程, 从而得到以节点电压为未知变量的方程

$$-\frac{\varphi_a}{10} + \frac{20 - \varphi_a}{5} + \frac{40 - \varphi_a}{20} - \frac{\varphi_a}{15} = 0$$

步骤 5: 求解节点电压方程, 得出节点电位 $\varphi_a = 14.4\text{V}$ 。

步骤 6: 根据支路电流与节点电压的关系, 由节点电压求得各支路电流分别为 $I_1 = -1.44\text{A}$, $I_2 = 1.12\text{A}$, $I_3 = 1.28\text{A}$, $I_4 = -0.96\text{A}$ 。

五、戴维南定理

电路或网络的端口是向外引出的端子, 如图 1-10 (a) 中的 a、b 端子。只有两个输出端子的网络称为二端网络; 内部含有电源的二端网络, 称为有源二端网络; 不含电源的二端网络, 称为无源二端网络。

戴维南定理可叙述为: 任何一个线性有源二端网络, 就其对外电路而言, 都可以用一个电压源和电阻的串联电路来等效代替。这个电压源的电压等于网络的开路电压 U_{oc} , 电阻等于将二端网络内部的所有独立电源置零后, 从二端网络端口看进去的等效电阻 R_i 。

图 1-10 (a) 表示一个有源二端网络及其外电路。对于有源二端网络 A, 不论其内部网络结构如何, 对外电路 R_L 来说, 都可以用图 1-10 (b) 中虚线所框的部分来等效替代, 称为二端网络的戴维南等效电路。开路电压 U_{oc} 就是把外电路断开后在引出端 a、b 间的电压, 等效电阻 R_i 就是将内部所有电源置零的情况下从 a、b 看进去的总电阻。在电路计算中, 如果只需求出某一支路的电流, 应用戴维南定理可减少计算工作量。

【例 1-5】已知电路如图 1-11 所示, 应用戴维南定理计算电流 I_3 。

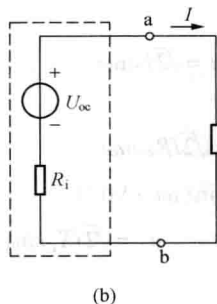
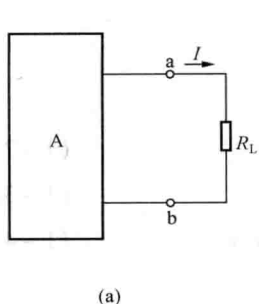


图 1-10 戴维南等效电路

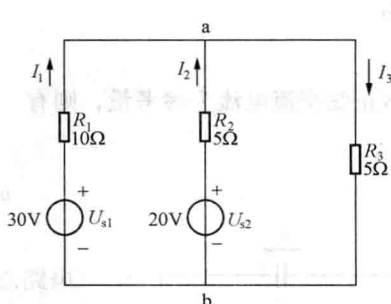


图 1-11 [例 1-5] 图

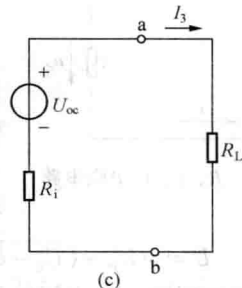
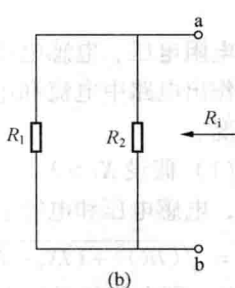
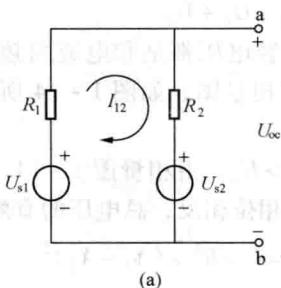


图 1-12 图 1-11 的戴维南等效电路

解 假设除电阻 R_3 以外的电路为一有源二端网络，如图 1-12 (a) 所示。a、b 两点间开路，内部电流 I_{12} ，取顺时针方向为参考方向，则开路电压为

$$U_{oc} = I_{12}R_2 + U_{s2} = \frac{U_{s1} - U_{s2}}{R_1 + R_2}R_2 + U_{s2} = \frac{70}{3} \text{ V}$$

再将此网络中的电源置零，如图 1-12 (b) 所示。从二端网络端口看进去的等效电阻为

$$R_i = \frac{10 \times 5}{10 + 5} \Omega = \frac{10}{3} \Omega$$

以戴维南等效电路替代图 1-11 网络，可得图 1-12 (c) 所示等效电路 ($R_L = R_3$)，求得 I_3 为

$$I_3 = \frac{U_{oc}}{R_i + R_L} = 2.8 \text{ A}$$

第二节 交流电路



培训目标

1. 能叙述电阻、电感、电容以及它们的电压与电流的基本关系式，并进行简单计算。
2. 能说明电流三角形、电压三角形、阻抗三角形、功率三角形的意义。

一、电阻、电感、电容串联电路 (R 、 L 、 C 串联电路)

1. 电压与电流

当正弦电流通过一段由电阻、电感和电容串联组成的电路时，根据基尔霍夫定律，电路两端的电压等于各元件上的电压之和，如图 1-13 所示。设在此电路中通过的正弦交流电

流为

$$i = I_m \sin \omega t = \sqrt{2} I \sin \omega t$$

取该正弦交流电流为参考量, 则有

$$u_R = Ri = \sqrt{2} IR \sin \omega t \quad (1-2)$$

$$u_L = \sqrt{2} IX_L \sin(\omega t + 90^\circ) \quad (1-3)$$

$$u_C = \sqrt{2} IX_C \sin(\omega t - 90^\circ) \quad (1-4)$$

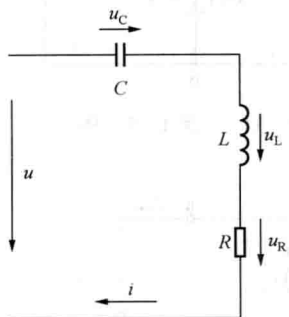


图 1-13 R、L、C 串联电路

电路总电压为

$$u = u_R + u_L + u_C$$

用相量表示为

$$\dot{U} = \dot{U}_R + \dot{U}_L + \dot{U}_C$$

电阻电压、电感电压、电容电压都是和电流同频率的正弦量, 作出电路中电流和电压的相量图, 如图 1-14 所示, 有三种情况。

(1) 假设 $X_L > X_C$, 则 $U_L > U_C$, 由相量图 1-14 (a) 可以看出, 电感电压和电容电压的相位相反, 总电压的有效值为

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} = \sqrt{(IR)^2 + (IX_L - IX_C)^2} = I \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (1-5)$$

总电压与回路电流之间的相位差, 即电路的阻抗角 φ 为

$$\varphi = \arctan \frac{U_L - U_C}{U_R} = \arctan \frac{I(X_L - X_C)}{IR} = \arctan \frac{X_L - X_C}{R} \quad (1-6)$$

由式 (1-6) 看出, 当 $X_L > X_C$ 时, $U_L > U_C$, $\varphi > 0$, 总电压超前于电流, 电路为感性电路。

(2) 当 $X_L < X_C$ 时, 如图 1-14 (b) 所示, $U_L < U_C$, $\varphi < 0$, 总电压滞后于电流, 电路为容性电路。

(3) 当 $X_L = X_C$ 时, 如图 1-14 (c) 所示, $U_L = U_C$, 且方向完全相反; $\varphi = 0$, 总电压 $\dot{U} = \dot{U}_R$, 和电流同相位, 电路为电阻性电路, 此时的电路称为串联谐振电路。

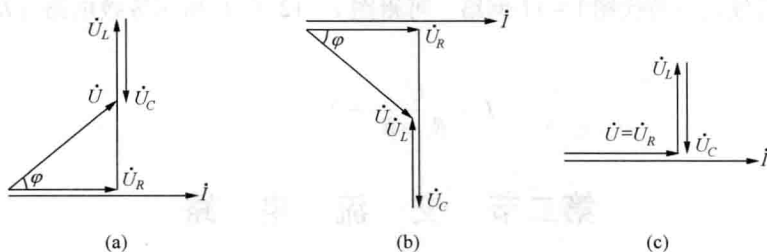


图 1-14 R、L、C 串联电路相量图的几种形式

(a) 感性电路; (b) 容性电路; (c) 电阻性电路

2. 阻抗

R、L、C 串联电路中电压与电流有效值的比值 Z , 称为电路的阻抗, 且有

$$Z = \frac{U}{I} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (1-7)$$

式中, $X = X_L - X_C$ 称为电路的电抗。阻抗 Z 和电抗 X 的单位与电阻 R 一样为 Ω , 三者组成的阻抗三角形如图 1-15 所示。

3. 功率

(1) 有功功率。整个电路中消耗的有功功率等于总电阻所消耗的有功功率, 根据图 1-14 (a), 得

$$P = U_R I = UI \cos \varphi = I^2 R \quad (1-8)$$

(2) 无功功率。整个电路消耗的无功功率等于电感和电容消耗的无功功率之差, 即

$$Q = (U_L - U_C) I = UI \sin \varphi = I^2 (X_L - X_C) \quad (1-9)$$

(3) 视在功率。电源输出的总电流与总电压有效值的乘积称为电路的视在功率, 用 S 表示, 即

$$S = UI \quad (1-10)$$

有功功率、无功功率和视在功率之间的关系是

$$\begin{cases} S = \sqrt{P^2 + Q^2} \\ P = S \cos \varphi \\ Q = S \sin \varphi \end{cases} \quad (1-11)$$

(4) 功率因数。有功功率与视在功率的比值称为功率因数, 用 $\cos \varphi$ 表示, 即

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{R}{Z} \quad (1-12)$$

【例 1-6】在一电阻、电感、电容串联电路中, 已知 $R = 40 \Omega$, $L = 223 \text{mH}$, $C = 79.6 \mu\text{F}$, 电路电流 $i = 4.6 \sqrt{2} \sin 314t$ 。试求: (1) 总电压; (2) P , Q , S , $\cos \varphi$; (3) 作电压相量图, 并分析电路的性质。

解 电路中, 感抗为

$$X_L = \omega L \approx 314 \times 223 \times 10^{-3} \Omega \approx 70 \Omega$$

容抗为

$$X_C = \frac{1}{\omega C} \approx \frac{1}{314 \times 79.6 \times 10^{-6}} \Omega \approx 40 \Omega$$

总阻抗为

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{40^2 + (70 - 40)^2} \Omega = 50 \Omega$$

总电压有效值为

$$U = IZ = 4.6 \text{A} \times 50 \Omega = 230 \text{V}$$

阻抗角为

$$\varphi = \arctan \frac{X_L - X_C}{R} = \arctan \frac{70 - 40}{40} = 36.9^\circ$$

总电压瞬时值表达式为

$$u = 230 \sqrt{2} \sin(314t + 36.9^\circ)$$

回路视在功率为

$$S = UI = 230 \text{V} \times 4.6 \text{A} = 1058 \text{VA}$$

有功功率为

$$P = S \cos \varphi = 1058 \text{VA} \times \cos 36.9^\circ \approx 846 \text{W}$$

无功功率为

$$Q = S \sin \varphi = 1058 \text{VA} \times \sin 36.9^\circ \approx 635 \text{var}$$

功率因数为

$$\cos \varphi = \cos 36.9^\circ \approx 0.8$$

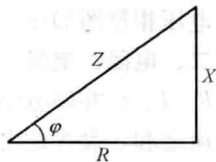


图 1-15 阻抗三角形

电压相量图如图 1-16 所示, $X_L > X_C$, $\dot{U}_L > \dot{U}_C$, $90^\circ > \varphi > 0$, 电路呈感性。

二、电阻、电感、电容并联电路 (R 、 L 、 C 并联电路)

R 、 L 、 C 并联电路如图 1-17 所示。根据基尔霍夫定律, 电路总电流等于流过各元件上的电流之和。设在此电路中加入的正弦交流电压为

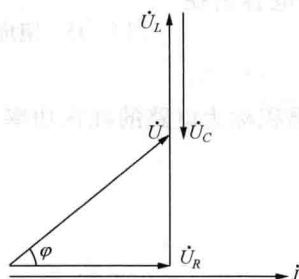


图 1-16 相量图

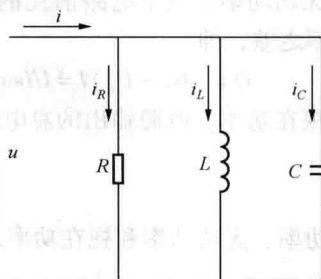


图 1-17 R 、 L 、 C 并联电路

$$u = U_m \sin \omega t = \sqrt{2} U \sin \omega t$$

以该电压为参考量, 则有

$$i_R = \frac{u}{R} = \frac{\sqrt{2} U}{R} \sin \omega t \quad (1-13)$$

$$i_L = \frac{u}{X_L} = \frac{\sqrt{2} U}{X_L} \sin(\omega t - 90^\circ) \quad (1-14)$$

$$i_C = \frac{u}{X_C} = \frac{\sqrt{2} U}{X_C} \sin(\omega t + 90^\circ) \quad (1-15)$$

电阻、电感、电容流过的电流都是和电压同频率的正弦量, 且电阻电流与电压同相位、电感电流滞后于电压 90° 、电容电流超前于电压 90° 。

电路总电流为

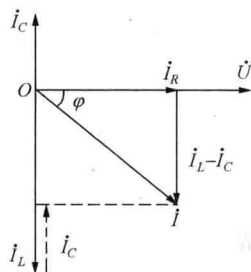
$$i = i_R + i_L + i_C$$

用相量表示为

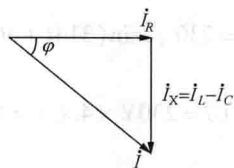
$$\dot{I} = \dot{I}_R + \dot{I}_L + \dot{I}_C$$

假设 $I_L > I_C$, 作出电路中电压和电流的相量图, 如图 1-18 (a) 所示。由相量图可以看出, 电感电流和电容电流的相位相反, 根据相量图, 求出总电流的有效值为

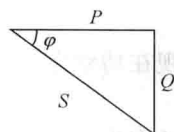
$$I = \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2} \quad (1-16)$$



(a)



(b)



(c)

图 1-18 R 、 L 、 C 并联电路相量图

(a) 相量图; (b) 电流三角形; (c) 功率三角形