

WEIXIU DIANGONG



职业技能鉴定培训教材

上海电气(集团)总公司 编

维修电工

(中级)

上海科学技术出版社

· 职业技能鉴定培训教材 ·

维修电工

(中 级)

上海电气(集团)总公司 编

上海科学技术出版社

内 容 提 要

本套教材是按照 1999 年上海市职业技术培训教研室制订的《维修电工》职业技能培训教学计划及教学大纲编写的配套教材。全套教材分为初级、中级及高级 3 册。

中级内容包括电工基础、电子技术基础、电机与变压器、电气控制技术及操作技能培训,共五篇。其中,电工基础介绍直流电路、单相及三相交流电路,以及电路中的过渡过程;电子技术基础介绍放大、反馈、振荡、直接耦合放大器、稳压电路、可控整流电路及常用电子仪器,此外还简要介绍了逻辑门电路的基本概念;电机与变压器介绍变压器、直流电机、交流电机及控制电机;电气控制技术介绍三相异步电动机、直流电机、同步电动机的控制电路,以及可编程序控制器的基本知识与应用;操作技能介绍小型变压器及电动机的修理、电子线路及电气控制线路的安装与检修。本书每章后均附有习题。

本书是中级维修电工的培训教材,也可作为同专业的中专、职校及技校师生的教学参考书。

责任编辑 乐守琪

图书在版编目(CIP)数据

维修电工. 中级 / 上海电气(集团)总公司编. — 上海: 上海科学技术出版社, 2002. 1

职业技能鉴定培训教材

ISBN 7-5323-6096-2

I. 维... II. 上... III. 电工—维修—职业技能鉴定—教材 IV. TM07

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 073986 号

新华书店上海发行所经销 常熟市文化印刷有限公司印刷

开本 787×1092 1/16 印张 27.25 字数 649 000

2002 年 1 月第 1 版 2003 年 10 月第 2 次印刷

印数: 5 201—9 200

ISBN 7-5323-6096-2/TM·128

定价: 33.70 元

本书如有缺页、错装或环损等严重质量问题,
请向本社出版科联系调换

前 言

根据《中华人民共和国劳动法》规定,国家对规定的职业制定职业技能标准,实行职业资格证书制度,由经过政府批准的考核鉴定机构负责对劳动者实施职业技能考核鉴定。

上海市职业技能鉴定中心与上海市机电控股(集团)公司[现为上海电气(集团)总公司]在1996年10月按照部颁维修电工职业技能等级标准编写出版了维修电工《鉴定辅导丛书》,1998年1月又按照维修电工职业技能鉴定规范(考核大纲)的要求重新编写了维修电工职业技能的培训教学计划及各等级、各课程的培训教学大纲,并于1999年8月由上海市职业技术培训教研室作为培训教学文件下发。为了解决课时与教学要求的矛盾,新大纲按照鉴定等级的要求划分了各门课程的教学内容,避免了以往不同等级中教学内容的大量重复,突出了教学重点。2000年起,又按照劳动部关于职业技能培训“四个提升”(鉴定标准提升、从业准入标准提升、培训教材内容和质量提升、实训设施提升)的要求,把可编程序控制器的基本知识与应用列入了中级培训大纲中。自从新的培训大纲出台以后,各培训单位都希望能有一套按照新的教学大纲编写的培训教材,以配合维修电工的培训及鉴定工作。为此,以负责编写《鉴定辅导丛书》及培训大纲的教师为主,组织了本教材的编写工作。

本教材分成初级、中级及高级3册,应知部分的每门课程及操作技能部分在教材中均作为一个单独的篇目,严格按照培训大纲的教学要求进行编写,文字力求流畅通俗,深入浅出,易于教学,便于自学。

本书由柴敬镛主编,徐坤泉审稿。

本书由陈伯元编写第一篇,柴敬镛编写第二篇,李定鸿编写第三篇,蔡志光编写第四篇的前三章,王照清编写第四篇的第四章,蔡克敏编写第五篇。

杨仁刚、沈卫平对本书的编写提供了不少宝贵的意见。

由于我们水平有限,书中一定存有部分错误与不妥之处,敬请各位读者给予批评指正,以便改进。

上海电气(集团)总公司

2001年6月

目 录

第一篇 电 工 基 础

第一章 直流电路	1
第一节 电压源和电流源	1
第二节 复杂电路的分析	5
第三节 戴维南定理	9
第四节 叠加原理	11
第五节 非线性电阻电路	12
第二章 单相正弦交流电路	16
第一节 正弦量的复数表示	16
第二节 交流串联电路	17
第三节 交流并联电路	20
第四节 交流混联电路应用实例	24
第五节 交流铁芯线圈电路	25
第六节 非正弦电路简介	28
第三章 三相交流电路	32
第一节 负载的星形接法	32
第二节 负载的三角形接法	35
第三节 三相电路的功率	36
第四章 电路中的过渡过程	41
第一节 过渡过程概念与换路定律	41
第二节 $R-C$ 电路的过渡过程	43
第三节 $R-L$ 电路的过渡过程	46
第四节 分析过渡过程的三要素法	47
第五节 微分、积分电路	48

第二篇 电子技术基础

第一章 电压放大电路	51
第一节 共发射极放大电路	52
第二节 共集电极放大电路	65
第三节 共基极放大电路	69
第四节 多级放大器	70

第二章 反馈与振荡	76
第一节 反馈的基本概念	76
第二节 负反馈放大电路分析举例	80
第三节 负反馈对放大电路性能的影响	82
第四节 正弦波振荡电路	85
第三章 直接耦合放大器	97
第一节 差动放大器	97
第二节 集成运算放大器简介	101
第三节 功率放大器概述	106
第四章 直流稳压电源	116
第一节 串联式稳压电路	116
第二节 集成稳压电路	119
第五章 逻辑门电路	123
第一节 基本逻辑门电路	123
第二节 集成逻辑门电路	131
第六章 可控整流电路	134
第一节 晶闸管	134
第二节 单相可控整流电路	138
第三节 三相半波可控整流电路	149
第四节 单结晶体管触发电路	154
第五节 晶闸管的保护	158
第六节 小型晶闸管直流调速电路	164
第七章 常用电子仪器	168
第一节 示波器	168
第二节 晶体管特性图示仪	180
第三节 信号发生器	191
第四节 晶体管毫伏表	195
第五节 直流稳压电源	196

第三篇 电机与变压器

第一章 直流电机	199
第一节 直流电机的系列及铭牌	199
第二节 直流电机的结构和工作原理	200
第三节 直流电机的工作特性	218
第四节 直流电动机的机械特性	222
第五节 直流他励电动机的调速	227
第六节 直流电动机的制动	228
第七节 直流电机的常见故障及修理	231
第二章 变压器	238

第一节	变压器的简单工作原理及等值电路	238
第二节	变压器的试验及运行特性	243
第三节	三相变压器	245
第三章	交流电机	253
第一节	异步电动机的等值电路	253
第二节	异步电动机的机械特性	258
第三节	异步电动机的起动、调速及制动	262
第四节	单相交流异步电动机	270
第五节	异步电动机的常见故障及修理	273
第六节	同步电机简介	276
第四章	控制电机	286
第一节	测速发电机	286
第二节	伺服电动机	287
第三节	步进电动机	288
第四节	交轴磁场电机放大机	289

第四篇 电气控制技术

第一章	三相异步电动机的控制电路	292
第一节	主电路与控制电路的元件的选择	292
第二节	双速电动机的控制电路	294
第三节	线绕式电动机的控制电路	297
第四节	典型控制电路分析	300
第五节	继电-接触逻辑控制电路分析	317
第二章	直流电机的控制电路	323
第一节	串励电动机的控制电路	323
第二节	他励电动机的控制电路	325
第三节	直流发电机-电动机调速系统简介	328
第三章	同步电动机控制电路简介	333
第一节	同步电动机的起动及制动	333
第二节	同步电动机的励磁系统	335
第四章	可编程序控制器的基本知识与应用	338
第一节	概述	338
第二节	可编程序控制器的基本工作原理	339
第三节	FX2 系列可编程序控制器	343
第四节	可编程序控制器的基本指令及其编程	347
第五节	编程器及其使用方法	363
第六节	可编程序控制器的应用及具体方法	370

第五篇 操作技能培训

第一章 小型变压器及电动机的修理.....	381
第一节 小型变压器的拆修.....	381
第二节 小型三相鼠笼式异步电动机重绕及接线.....	385
第三节 小型直流电动机的拆装与修理.....	391
第二章 电子电路安装与调试.....	396
第一节 晶体管电路安装与调试.....	396
第二节 晶闸管电路安装调试与检修.....	401
第三章 电气控制线路的安装与检修.....	409
第一节 继电器、接触器控制电路的安装与调试	409
第二节 典型设备控制电路检修.....	412
附录 中级维修电工鉴定规范.....	425

第一篇 电 工 基 础

第一章 直 流 电 路

第一节 电压源和电流源

在电路中任何一个实际的电源,可以有两种不同的表示形式。一种是用电压形式表示的,称为电压源;一种是用电流形式表示的,称为电流源。

一、电压源

若一个电源的端电压与通过它的电流大小无关,是一个恒定的值,这样的电源叫做理想电压源,可简称恒压源。

恒压源具有如下两个特点:

- ① 它的端电压固定不变,即不会由于所接外电路的不同而改变。
- ② 通过它的电流是可以改变的,其大小取决于与其连接的外电路的参数。

恒压源的端电压一般用 U_s 表示,“+”、“-”号是恒压源的极性,其图形符号规定如图 1-1-1a 所示。图 1-1-1b 给出了恒压源的伏安特性。

恒压源的伏安特性是一条与横轴平行的直线,表明其端电压与电流大小无关。

实际上,恒压源这种理想的电压源是不存在的。实际的电压源都具有内电阻。当电路中电流变化时,内电阻的压降也会变化,电源的端电压随之也会因电流变化而变化。

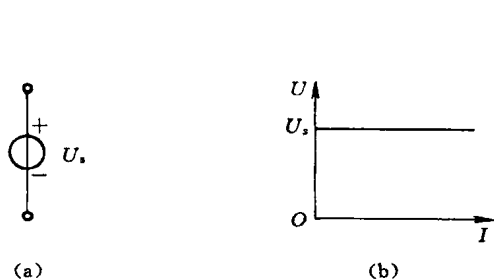


图 1-1-1

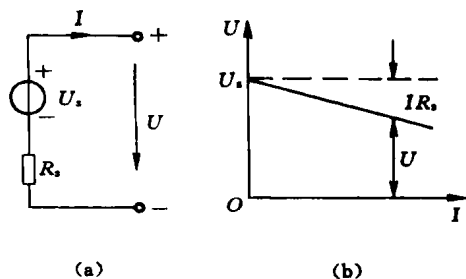


图 1-1-2

通常实际电压源可以用一个恒压源 U_s 与内电阻 R_s 相串联的形式来表示,其端电压为 U ,如图 1-1-2a 所示。图中,电流 I 从电压源的正极流出,端电压的极性与 U_s 的极性相同,这时实际电压源的端电压 U 为

$$U = U_s - IR_s \quad (1-1-1)$$

上式关系也可以用伏安特性曲线表示出来,如图 1-1-2b 所示。在图中可以明显看出,当电流增大时,电压源内电阻上的压降也增大,电压源的端电压 U 却随之而变小。

二、电流源

除了电压源以外,还有一种电源叫电流源。若一个电源输出的电流是个恒定值,与外电路无关,这样的电源叫理想电流源,简称恒流源。恒流源具有如下两个特点:

- ① 通过电流源的电流是定值,与端电压无关。
- ② 电流源的端电压是可以变动的,其大小取决于与其连接的外电路的参数。

恒流源的图形符号如图 1-1-3a 所示,其中 I_s 表示电流源的电流,箭头方向表示电流的流向。图 1-1-3b 表示恒流源的伏安特性曲线。

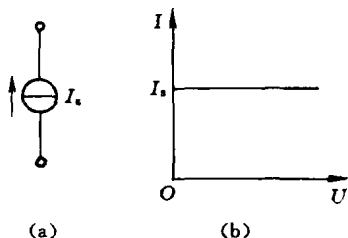


图 1-1-3

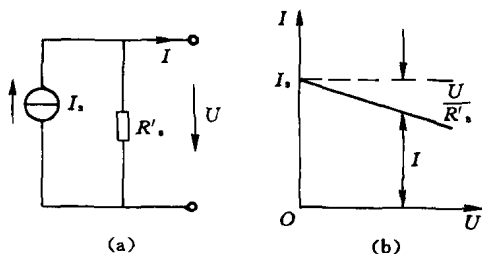


图 1-1-4

恒流源的伏安特性是一条与横轴平行的直线,表明其电流与端电压 U 的大小无关。

同样,电流源由于内阻 R_s 的存在,输出的电流随着端电压的变化而变化的。实际的电流源可以用一个恒流源 I_s 和内电阻 R_s 相并联的形式来表示。内电阻 R_s 表明了电源内部的分流效应,如图 1-1-4a 所示。图中 U 是电流源两端的端电压,电流 I 是流向外电路的电流,显然内电阻 R_s 上的分流电流为 $\frac{U}{R_s}$,这样可得到

$$I = I_s - \frac{U}{R_s} \quad (1-1-2)$$

图 1-1-4b 表示实际电流源的伏安特性。随着端电压的增大,内部分流越大,输出的电流就越小。

例 1 电路如图 1-1-5 所示, 2Ω 负载上的电流 $I=3\text{A}$, 求 I_s 。

解 电流源两端电压

$$U = 2I = 2 \times 3 = 6(\text{V})$$

内部分流电流为

$$\frac{U}{R_s} = \frac{6}{6} = 1(\text{A})$$

所以

$$I_s = I + \frac{U}{R_s} = 1 + 3 = 4(\text{A})$$

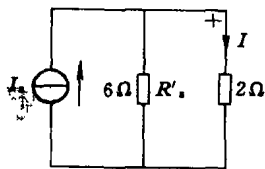


图 1-1-5

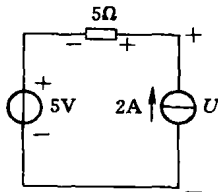


图 1-1-6

例 2 计算图 1-1-6 中 5Ω 电阻上的电压及恒流源的端电压。

解 根据恒流源的特点,输出电流为恒定值,与外电路无关,所以电阻 5Ω 上流过的电流应为 2A ,电阻上电压为 10V ,极性如图中所注。

恒流源的端电压 U 则由与之相连接的外电路决定,设端电压为 U ,则

$$U = 10 + 5 = 15(\text{V})$$

三、电压源和电流源的等效变换

设电阻 R 接在电压源电路中,电阻上电流为 I ,如图 1-1-7a 所示;又设相同阻值的电阻 R 接在电流源电路中,电阻上电流也为 I ,如图 1-1-7b 所示。

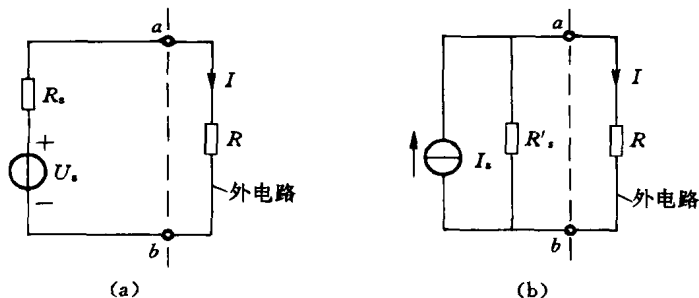


图 1-1-7

由于电阻上电流相同,电阻两端电压 U_{ab} 也相同,我们说此时两种电源对外电路是等效的。

在图 1-1-7a 中,有

$$U_{ab} = U_s - IR_s \quad (1-1-3)$$

或

$$I = \frac{U_s}{R_s} - \frac{U_{ab}}{R_s} \quad (1-1-4)$$

在图 1-1-7b 中,有

$$I = I_s - \frac{U_{ab}}{R'_s} \quad (1-1-5)$$

或

$$U_{ab} = I_s R'_s - IR'_s \quad (1-1-6)$$

因此,如果式 1-1-4 和式 1-1-5 两式的对应项相等时,电压源和电流源是等效的,可得

$$\left. \begin{aligned} I_s &= \frac{U_s}{R_s} \\ R'_s &= R_s \end{aligned} \right\} \quad (1-1-7)$$

式 1-1-7 即为由电压源等效变换到电流源的变换条件。

如果式 1-1-3 和式 1-1-6 两式的对应项相等时,电压源和电流源同样是等效的,可得

$$\left. \begin{aligned} U_s &= I_s R'_s \\ R_s &= R'_s \end{aligned} \right\} \quad (1-1-8)$$

式 1-1-8 即为由电流源等效变换到电压源的变换条件。

在进行电源等效变换时,要考虑电压源的极性和电流源的方向,即必须使电流源的电流流出的一端与电压源的正极性相对应。

由此可见,一个实际电源,既可以用我们早已习惯了的电压源来表示,也可以用一个对外等效的电流源来表示。实际上电源如内阻很小时,则性能接近理想电压源;如内阻很大时,则接近理想电流源。应当指出,理想电压源和理想电流源不存在等效变换的关系。这是因为

理想电压源的内阻为零,理想电流源的内阻为无限大,两者的变换是不可能的。

例 3 求图 1-1-8a 所示电路的等效电流源和求图 1-1-8b 所示电路的等效电压源。

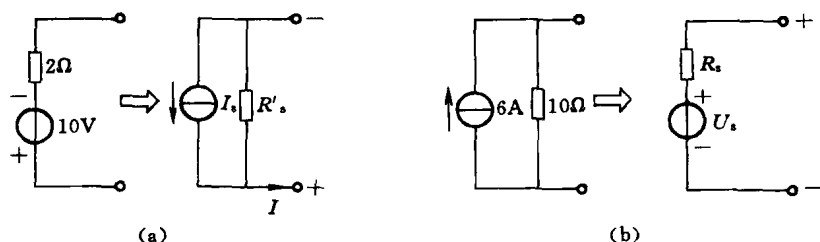


图 1-1-8

解

$$I_s = \frac{U_s}{R_s} = \frac{10}{2} = 5(\text{A})$$

$$R'_s = R_s = 2(\Omega)$$

$$U_s = I_s R'_s = 5 \times 10 = 50(\text{V})$$

$$R_s = R'_s = 10(\Omega)$$

例 4 求图 1-1-9a 中的电流 I 。

解 利用电源的等效变换,将图 1-1-9a 的电路逐步化简到图 1-1-9c 的电路。利用电流的分流公式,从而求得电流

$$I = 2.5 \text{ A}$$

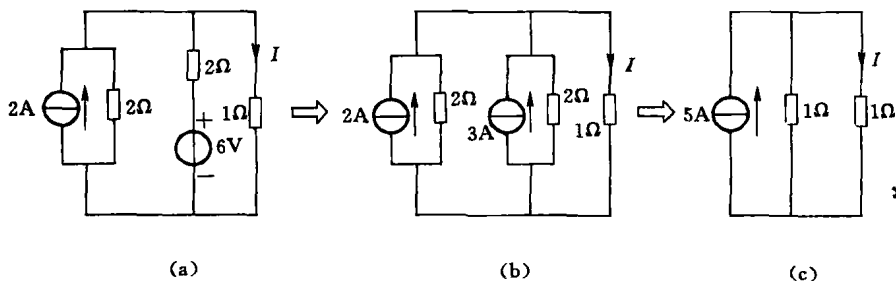


图 1-1-9

四、受控源

上面介绍的电源都是独立源,它们的电压或电流是个定值。正弦交流电源也是独立源,其交流电压是固定的时间函数。在电路分析中还有另一类电源,它们的电压或电流是电路中其他部分的电压或电流的函数,称为受控源。“受控”的含义就是这类电源的电压或电流受其他电压或电流的控制,所以受控源又称为非独立源。

受控源有两对端子,一对为输入端,另一对为输出端。输入端用来施加控制量,以控制输出的电压或电流。根据控制量是电压还是电流,受控的是电压源还是电流源,受控源可分为四种:电压控制电压源、电压控制电流源、电流控制电压源和电流控制电流源,它们在电路中的图形符号分别依次如图 1-1-10a、b、c、d 所示。图中的菱形符号表示受控电压源或受控电流源,字母 μ 、 g 、 r 、 β 分别表示控制系数。

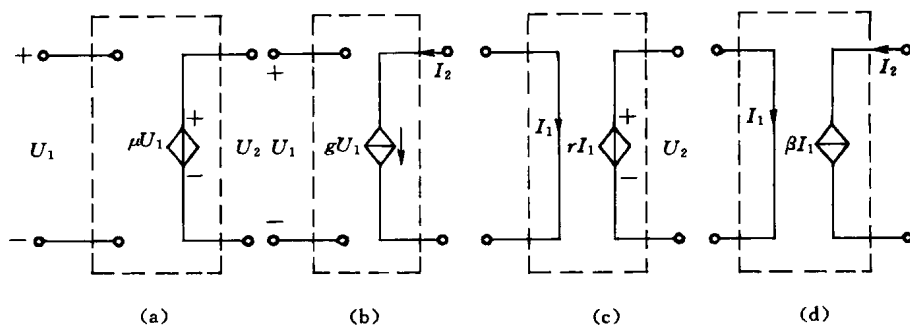


图 1-1-10

(a) 电压控制电压源；(b) 电压控制电流源；(c) 电流控制电压源；(d) 电流控制电流源

实际电路元件中有不少性能接近理想受控源，例如电压互感器（电压控制电压源）、电流互感器、三极管（电流控制电流源）及场效应管（电压控制电流源）等。以三极管为例，我们知道晶体三极管的集电极电流与基极电流的关系是

$$I_C = \beta I_B$$

也就可以说，晶体三极管集电极电流是受基极电流所控

制，因此在电子技术中常把晶体三极管用一个电流控制电流源来表示，这给电子电路的分析带来很大方便，如图 1-1-11 所示。受控源的控制系数 β ，即是三极管的电流放大系数。

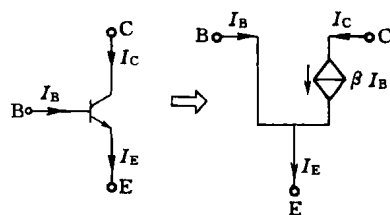


图 1-1-11

第二节 复杂电路的分析

复杂电路指的是无法用电阻串、并联化简的多回路电路。分析复杂电路的方法很多，在应用基尔霍夫电流定律(KCL)和基尔霍夫电压定律(KVL)两个基本定律的基础上，常用的有含源支路欧姆定律、支路电流法、网孔电流法、节点电压法等，在分析电路时要根据电路的结构特点灵活应用。

一、基尔霍夫定律

1. 基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律指出：在任一瞬间，流入一个节点的电流之和等于从该节点流出的电流之和。

对图 1-1-12 的节点 O 点，可以写出

$$I_1 + I_3 = I_2 + I_4$$

或写成

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

即

$$\sum I = 0 \quad (1-1-9)$$

由式 1-1-9 可得基尔霍夫电流定律的另一种表达形式：在任一瞬间，一个节点上电流的代数和恒等于零。如果规定流入节点的电流取正号，从节点流出的电流就取负号，当然也可以作相

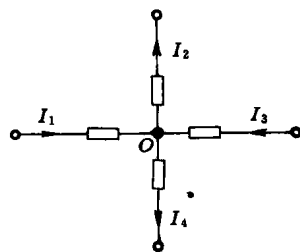


图 1-1-12

反的规定。

2. 基尔霍夫电压定律

基尔霍夫电压定律指出：在任一瞬间，电路中任一回路内各部分电压的代数和恒等于零，即

$$\sum U = 0 \quad (1-1-10)$$

式 1-1-10 称为基尔霍夫电压方程，或回路电压方程。列方程式时，通常需要规定一个绕行回路的方向（顺时针方向或逆时针方向），凡与回路绕行方向一致的电压取正号，相反的取负号。

在图 1-1-13 中，各段电压的参考极性均已标出。按照虚线所示顺时针方向绕行一周，根据电压的参考极性可以列出电压方程

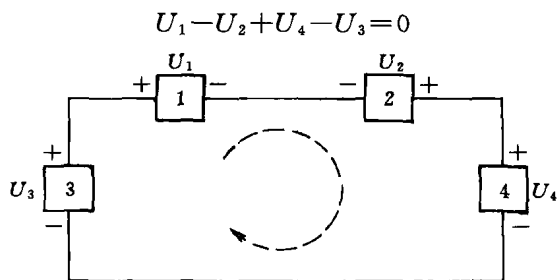


图 1-1-13

基尔霍夫定律反映了电路的一般规律，无论电流和电压是恒定的直流量或是随时间变化的交流量，无论构成电路的元件是线性的或是非线性的，它都是普遍适用的。

二、含源支路欧姆定律

在电路计算中常常要求出一段含有电压源和电阻所组成支路的电压。

假设图 1-1-14 所示的支路由电阻 $R_1, R_2, \dots, R_i$ 与电压源 $U_{s1}, U_{s2}, \dots, U_{si}$ 组成，支路两端电压为 U_{ab} 。

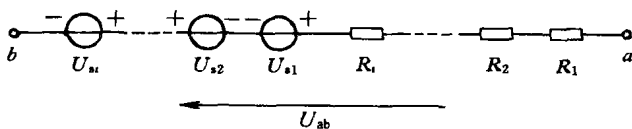


图 1-1-14

含源支路欧姆定律指出

$$U_{ab} = \pm \sum U_{si} \pm \sum IR_i \quad (1-1-11)$$

式中的正、负号是这样确定的：凡电压源的电压方向与 U_{ab} 方向一致时取正，否则取负；凡支路电流方向与 U_{ab} 方向相同时，电阻电压方向取正，否则取负。

图 1-1-15 给出了由三条含源支路组成的电路。

若已知支路电流分别为 I_1, I_2, I_3 ，支路电压

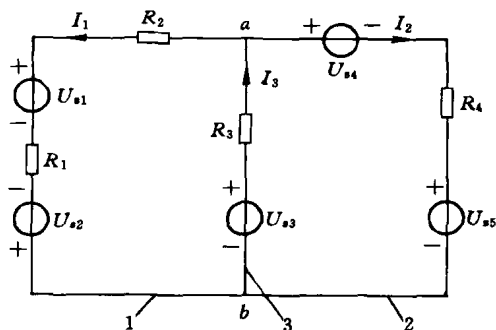


图 1-1-15

U_{ab} 可以由含源支路欧姆定律分别由三条支路给出:

$$\text{支路 1} \quad U_{ab} = I_1 R_2 + U_{s1} + I_1 R_1 - U_{s2}$$

$$\text{支路 2} \quad U_{ab} = U_{s4} + I_2 R_4 + U_{s5}$$

$$\text{支路 3} \quad U_{ab} = -I_3 R_3 + U_{s3}$$

三、支路电流法

支路电流法是以各支路电流为未知量,应用基尔霍夫电流定律和电压定律分别对节点和回路列出所需要的方程组,而后解出各未知支路电流。

设电路中的支路数为 b ,节点数为 n ,那么,应用基尔霍夫电流定律应列出 $(n-1)$ 个独立电流方程;应用基尔霍夫电压定律应列 $b-(n-1)$ 个独立电压方程。一共可列出 b 个独立方程,能解出 b 条支路电流。

支路电流法解题的具体步骤是:

① 标出电路中各电压、电流的正方向。

② 按节点列出 $(n-1)$ 个电流方程。

③ 按网孔列出电压方程,网孔数恰好等于 $b-(n-1)$ 。

④ 解联立方程组,求出各支路电流。如果解得结果为负值,表示它们的实际方向与假设的正方向相反。

现以图 1-1-16 的电路为例,说明支路电流法的应用。

在本电路中,支路数 $b=3$,节点数 $n=2$,共需列出三个方程才能求出三条支路的支路电流 I_1 、 I_2 和 I_3 。

电源电压和电流的正方向,如图中所示。

本题中有两个节点 b 和 e ,现对节点 b 应用基尔霍夫电流定律列出电流方程

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0 \quad (1-1-12)$$

电路中有两个网孔,应用基尔霍夫电压定律列出两个电压方程:

对网孔 $abef$,电压方程是

$$I_1 R_1 + I_3 R_3 - U_{s1} = 0 \quad (1-1-13)$$

对网孔 $bcde$,电压方程是

$$U_{s2} - I_3 R_3 - I_2 R_2 = 0 \quad (1-1-14)$$

解由式 1-1-12、式 1-1-13、式 1-1-14 组成的联立方程组,即可求出支路电流 I_1 、 I_2 、 I_3 。

例 在图 1-1-16 所示的电路中,设 $U_{s1}=140\text{V}$, $U_{s2}=90\text{V}$, $R_1=20\Omega$, $R_2=5\Omega$, $R_3=6\Omega$,试求各支路电流。

解 应用基尔霍夫电流定律和电压定律列出式 1-1-12、式 1-1-13 及式 1-1-14,并将已知数据代入,即得

$$\begin{cases} I_1 + I_2 - I_3 = 0 \\ 20I_1 + 6I_3 = 140 \\ 5I_2 + 6I_3 = 90 \end{cases}$$

解之,得

$$I_1 = 4\text{A}, I_2 = 6\text{A}, I_3 = 10\text{A}$$

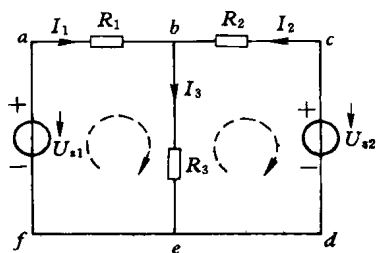


图 1-1-16

四、网孔电流法

电路如图 1-1-17 所示,有三个支路电流 I_1 、 I_2 和 I_3 。

现设电流沿网孔 $abef$ 路径流过,该电流称为网孔电流 I_{m1} ,沿网孔 $bcde$ 路径的电流称网孔电流 I_{m2} 。如果以假设的网孔电流为未知量,应用基尔霍夫电压定律列出网孔电压方程,联立解出网孔电流,这样的分析方法叫网孔电流法,简称网孔法。求出网孔电流之后,可以认为各支路电流就是有关网孔电流的代数和。在图中可看出 $I_1 = I_{m1}$, $I_2 = I_{m2}$, $I_3 = I_{m1} - I_{m2}$ 。

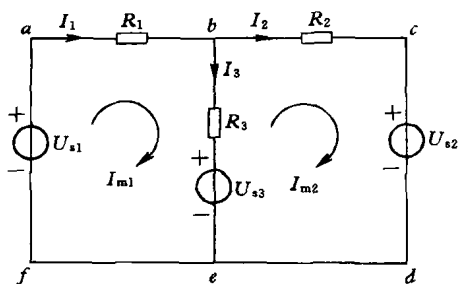


图 1-1-17

在图中,称网孔 $abef$ 为网孔 1,网孔 $bcde$ 为网孔 2,网孔电流分别为 I_{m1} 、 I_{m2} ,网孔电流的方向如图中箭头所示,以顺时针方向绕行。根据基尔霍夫电压定律可列出网孔方程:

$$\text{网孔 1} \quad I_{m1}R_1 + (I_{m1} - I_{m2})R_3 + U_{s3} - U_{s1} = 0.$$

$$\text{网孔 2} \quad I_{m2}R_2 + (I_{m2} - I_{m1})R_3 + U_{s2} - U_{s3} = 0$$

整理得

$$\begin{aligned} (R_1 + R_3)I_{m1} - R_3I_{m2} &= U_{s1} - U_{s3} \\ -R_3I_{m1} + (R_2 + R_3)I_{m2} &= U_{s3} - U_{s2} \end{aligned}$$

令网孔 1 中所有电阻之和 $R_1 + R_3 = R_{11}$,网孔 2 中所有电阻之和 $R_2 + R_3 = R_{22}$,则称 R_{11} 和 R_{22} 分别为网孔 1、2 的自阻,自阻总取正值。 R_3 是网孔 1 与网孔 2 的公共电阻,分别用 R_{12} 和 R_{21} 表示,称 R_{12} 、 R_{21} 为网孔 1、2 的互阻。由于两个网孔电流流过互阻 R_2 上的方向相反,互阻 R_{12} 、 R_{21} 取负,所以 $R_{12} = R_{21} = -R_3$;如果互阻上的网孔电流方向一致时,互阻则取正。

令 $U_{s11} = U_{s1} - U_{s3}$ 是网孔 1 中电压源电压升的代数和, $U_{s22} = U_{s3} - U_{s2}$ 是网孔 2 中电压源电压升的代数和。当电压源电压方向与网孔电流方向一致时,前面取“-”号,否则取“+”号。

这样,对上述具有两个网孔的电路,网孔方程可写成一般形式为

$$\left. \begin{aligned} R_{11}I_{m1} + R_{12}I_{m2} &= U_{s11} \\ R_{21}I_{m1} + R_{22}I_{m2} &= U_{s22} \end{aligned} \right\} \quad (1-1-15)$$

解上述方程组得出网孔电流后,支路电流即可求出。

现将网孔电流法的步骤归纳如下:

- ① 任意设定每一个网孔电流的绕行方向,一般取顺时针方向。
- ② 按式 1-1-15 列出每一个网孔电流方程,式中自阻总是正的,互阻的正负则由通过公共电阻时两有关网孔电流的方向是否一致而定。
- ③ 联立解方程组,求出各网孔电流。
- ④ 在支路电流确定的方向下,由网孔电流求出各支路电流。

图 1-1-17 所示电路中有三条支路,用支路电流法时要列出三个联立方程,而用网孔电流法时则列出两个联立方程,因此网孔法是减少方程数的一种方法。

五、节点电压法

电路中,任意选择某一节点为参考节点,其电位为零,其他节点与此参考节点之间的电

压称为节点电压。现以节点电压为未知量,根据基尔霍夫电流定律列出节点方程,从而解得节点电压,再求出支路电流,这种分析方法叫节点电压法,简称节点法。

如图 1-1-18 所示,设节点 2 为参考节点, $U_2=0$,只要求出节点 1 的电压,各支路电流即可求出。

各支路电流的方向标在图中,据基尔霍夫电流定律可写出

$$\begin{aligned}
 &I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 0 \\
 &\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{U_1 - U_{s1}}{R_1} \\ I_2 &= \frac{U_1 - U_{s2}}{R_2} \\ I_3 &= \frac{U_1 - U_{s3}}{R_3} \\ I_4 &= \frac{U_1}{R_4} \end{aligned} \right\} \quad (1-1-16)
 \end{aligned}$$

代入节点方程,得

$$\begin{aligned}
 &\frac{U_1 - U_{s1}}{R_1} + \frac{U_1 - U_{s2}}{R_2} + \frac{U_1 - U_{s3}}{R_3} + \frac{U_1}{R_4} = 0 \\
 &\text{整理得} \quad U_1 = \frac{\frac{U_{s1}}{R_1} + \frac{U_{s2}}{R_2} + \frac{U_{s3}}{R_3}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} \quad (1-1-17)
 \end{aligned}$$

求得节点电压 U_1 后,各支路电流即可由式 1-1-16 计算求出。

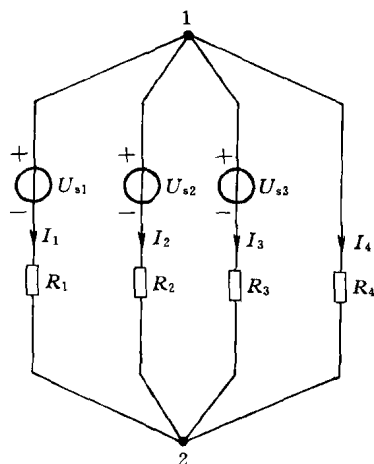


图 1 1-18

第三节 戴维南定理

在前面介绍的电路分析方法都是把所有的支路电流作为未知量来求解的。假如只需要求出某一条支路的电流时,常应用戴维南定理来计算,可以简便一些。

为了了解戴维南定理,先介绍有关两端网络的一些知识。

一、两端网络

在电路分析中,凡是具有两个引出端的部分电路,不管其内部结构如何都叫做两端网络。

图 1-1-19a 给出的两端网络,其内部不含电源称为无源两端网络,其符号的一般形式是画出一个方框和两个引出端,框内写上“P”字,见图 1-1-20a。图 1-1-19b 给出的两端网络,其内部含有电源称为有源两端网络,其符号的一般形式是画出一个方框和两个引出端,框内写上“A”字,见图 1-1-20b。

对于图 1-1-21a 所示的电路,如果只需讨论端点 a 、 b 间的电流,我们可以把端点 a 、 b 左边看成是一个有源两端网络,把 a 、 b 右边看成是一个无源两端网络,如图 1-1-21b 所示。

由于任何一个有源两端网络都可以简化到一个电压源,这样计算 a 、 b 两端的电流就很简便了。