

职业技能鉴定培训教材

中级 制冷设备 维修工

家电类职业技能鉴定培训教材编委会 组编
山东省家用电器职业技能鉴定所

ZHONG JI
ZHILENGSHEBEI
WEIXIUGONG



机械工业出版社
China Machine Press

本书根据《中华人民共和国职业技能鉴定规范——制冷设备维修工》(中级工)要求编写,是中级制冷设备维修工技能考核鉴定指导用书。

根据《规范》要求,本书按照中级制冷设备维修工考核鉴定的知识和技能要求,涉及电工学基础,电子学基础,空气调节基础,家用空调器,小型冷库等方面的知识内容。

本书是考核鉴定前培训和自学教材,也可作为各级各类职业技术学校的选用教材,还可供从事制冷空调设备维修人员的工作参考书。

图书在版编目(CIP)数据

中级制冷设备维修工/尹选模主编. —北京:机械工业出版社,
2001.4

职业技能鉴定培训教材

ISBN 7-111-08701-1

I. 中… II. 尹… III. 制冷-设备-维修-职业技能鉴定-
教材 IV. TB657

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 02302 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑:舒莹 牛新国 版式设计:张世琴 责任校对:韩晶
封面设计:李雨桥 责任印制:路琳
高等教育出版社印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
2001 年 5 月第 1 版第 1 次印刷
787mm×1092mm1/16·20 印张·496 千字
0001—5000 册
定价:32.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010) 68993821、68326677-2527

序 言

《中华人民共和国劳动法》明确规定：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鉴定。

职业技能鉴定是提高劳动者素质，增强劳动者就业能力的有效措施，进行考核鉴定，并通过职业资格证书制度予以确认，为企业合理使用劳动力以及劳动者自主择业提供了依据和凭证。

目前，国家公布了实行就业准入的 90 个工种目录，其中家用电器产品维修工（包括制冷设备维修工、家用电热器具与电动器具维修工）和家用电子产品维修工（包括家用视频设备维修工、家用音频设备维修工）为实行就业准入的范围。

国家劳动和社会保障部 2000 年第 6 号令明确规定：技工学校、职业（技术）学校、就业训练中心及各类职业培训机构的毕（结）业生，必须取得相应职业资格证书后，才能到技术工种岗位就业；对从事技术工种的学徒，用人单位应按照《中华人民共和国工种分类目录》所规定的学徒期进行培训；对转岗从事技术工种的劳动者，用人单位应按照国家职业（技能）标准的要求进行培训，达到相应职业技能要求后再上岗。

实施职业技能鉴定，教材建设是重要的一环。为适应职业技能鉴定的迫切需要，推动职业培训教学改革，提高培训质量，根据“国家职业技能鉴定规范”的要求，参照目前职业技能考核鉴定办法和考核鉴定内容，我们组织家用电器维修专业相关工种的专家和考评员编写这套职业技能鉴定培训教材。考虑到教材的实用性和针对性，邀请名牌家电生产企业参加编写。

这套培训教材，以“国家职业技能鉴定规范”为依据，编写内容限定在工种考核鉴定范围内。考虑到“国家职业技能鉴定规范”要不断修改，工种考核内容的不断更新，这套培训教材对本工种的新技术、新产品也进行较为详细介绍。

家电类职业技能鉴定培训教材共包括以下 9 种：

1. 初级制冷设备维修工
2. 中级制冷设备维修工
3. 高级制冷设备维修工
4. 初级家用电热器具与电动器具维修工
5. 中级家用电热器具与电动器具维修工
6. 高级家用电热器具与电动器具维修工
7. 初级家用电子产品维修工（含视频设备维修工、音频设备维修工）
8. 中级家用电子产品维修工（含视频设备维修工、音频设备维修工）
9. 高级家用电子产品维修工（含视频设备维修工、音频设备维修工）

为便于各职业学校和培训单位组织教学，同时照顾到申请参加职业技能鉴定人员自学和复习使用。本套培训教材对每一工种分别按初、中、高三个等级编写，独立成册，具有很强的实用性和针对性。

参加这套培训教材编写工作的单位有：青岛海尔集团、山东小鸭集团、青岛澳柯玛集团、山东省商业职业技术学院、淄博商业学校、山东省电子学校、临沂工业学校、滨州经济学校、潍坊贸易学校、潍坊经济学校、淄博工业学校、山东大禹学院、聊城建设学校、山东省公安学校、济宁市工业学校、济南教育学院、德州财贸经济学校、济南铁路机械学校等。

为便于读者应考，在书后附有近期使用过的国家题库统一鉴定试卷，为读者应考提供复习参考。

由于时间仓促，不足之处在所难免，欢迎各使用单位和个人提出宝贵的意见和建议。

家电类职业技能鉴定培训教材编委会

2000年6月

前 言

《中华人民共和国劳动法》明确规定，国家对规定的职业实施职业技能鉴定。职业技能鉴定是提高劳动者素质，增强劳动者就业能力的有效措施，为了提高制冷设备维修中级工知识水平，更好地为社会服务，我们根据《中华人民共和国职业技能鉴定规范——制冷设备维修工》对中级工的要求而编写此书。本书是制冷设备维修中级工的培训和自学教材，也可供各类职业技术学校作为教材使用，还可作为相关行业技术人员参考。

本书的主要内容包括：电工学基础，电子学基础，空气调节基础知识，家用空调器的原理、安装及维修知识，小型冷藏库的组成，制冷压缩机、制冷设备的结构和工作原理，同时还介绍了有关冷库制冷设备的安装、调试和维修等方面的知识。

本书由尹选模主编，具体编写人员的分工如下：尹选模（第六、十一、十二、十三、十四章），李军（第一、二、三、四章），苏燕（第五章），尹选模、邵长波（第七章），尹选模、孟宪香（第八章），尹选模、张金贵（第九、十章）。

本书在编写过程中，参阅了许多有关书刊和资料，同时还得到了一些空调器生产厂家的支持，在此对提供资料的单位和个人表示感谢。

由于编著者水平有限，书中难免有错误和不当之处，恳请读者批评指正。

主编 尹选模

目 录

第一章 电工技术基础 1

第一节 直流电路 1

第二节 单相正弦交流电路 6

第三节 三相交流电路 21

第四节 三相交流异步电动机 27

第五节 变压器 33

复习题 39

第二章 常用电工测量仪表 42

第一节 电工测量仪表的分类 42

第二节 万用表 43

第三节 兆欧表 46

第四节 钳形电流表 48

第三章 常用电器及其控制电路 50

第一节 常用电器 50

第二节 电动机的基本控制线路 59

第四章 安全用电 62

第五章 电子技术基础 66

第一节 基本交流放大电路 66

第二节 串联型稳压电源 71

第三节 正弦振荡电路 72

第四节 门电路的基本知识 74

复习题 79

第六章 空气调节基础知识 81

第一节 空气调节概述 81

第二节 空气的性质和状态参数 82

第三节 空气的焓湿图 86

第四节 焓湿图的应用 87

复习题 91

第七章 空调系统简介 93

第一节 空调系统的分类 93

第二节 集中式空调系统的组成和工作原理 94

第三节 风机盘管空调系统的组成和工作原理 98

复习题 101

第八章 空调设备 102

第一节 空气热湿处理设备 102

第二节 空气的净化处理设备 109

复习题 113

第九章 空调器概述 114

第一节 空调器的功能 114

第二节 空调器的分类与型号 115

复习题 120

第十章 窗式空调器 121

第一节 窗式空调器的结构和工作原理 121

第二节 窗式空调器的电路系统 124

第三节 窗式空调器的零部件 127

第四节 窗式空调器的安装、使

用和保养	137	第二节	活塞式制冷压缩机 ...	231
第五节 空调器故障的分析及 排除	140	第三节	制冷设备	240
第六节 制冷系统检漏、抽真空 和充注制冷剂	142	第四节	制冷压缩机和设备的 安装	256
复习题	143	第五节	制冷压缩机的试 运转	259
第十一章 分体式空调器	144	第六节	活塞式制冷压缩机的 检修	262
第一节 分体式空调器的 特点	144	第七节	制冷设备的检修	270
第二节 分体式空调器的 类型	145	复习题	272	
第三节 分体式空调器的 安装	154	第十四章 制冷装置的控制 与调节元件	274	
第四节 分体式空调器的安装 实例	158	第一节	温度继电器与温度测量 调节仪表	274
第五节 分体式空调器的 修理	164	第二节	压力继电器	282
复习题	166	第三节	压差控制器	285
第十二章 国内部分空调器产 品原理、技术参数 及维修	167	第四节	电磁阀	289
第一节 海尔牌空调器	167	第五节	热力膨胀阀	290
第二节 科龙牌空调器	201	复习题	293	
第三节 春兰牌空调器	220	附录	294	
第四节 格力牌空调器	223	附录 A	湿空气的密度、水蒸气 压力、含湿量和焓 ...	294
第五节 美的牌空调器	225	附录 B	饱和水与干饱和蒸汽表 (按压力排列)	296
第六节 天鹅牌空调器	226	附录 C	湿空气焓湿图	298
第十三章 小型冷库	229	附录 D	空调器用压缩机有关性 能参数	300
第一节 冷库制冷系统概述 ...	229	附录 E	中级制冷设备维修工知 识要求部分练习题 ...	308

第一章 电工技术基础

内容提要：通过学习分析电路的基本原理与方法，要求能够根据电路的结构特点寻找分析与计算电路的最简便方法并加以求解。

第一节 直流电路

一、基尔霍夫定律

基尔霍夫定律是分析电路的基本定律，不仅适用于求解复杂电路，也适用于求解简单电路。凡是不能用电阻串、并联分析方法简化成无分支的单一回路的电路称为复杂电路。

基尔霍夫定律包含两部分：第一定律和第二定律。下面结合图 1-1 所示的电路介绍几个名词。

(1) 支路：电路中通过同一电流的每个分支称为支路。图 1-1 中共有三条支路：BAFH、BH 和 BCDH。

(2) 节点：电路中三条或三条以上支路相连接的点称为节点。在图 1-1 中共有两个节点：B 和 H。

(3) 回路：电路中任一闭合的路径称为回路。在图 1-1 中共有三个回路：ABHFA、ABCDHFA 和 BCDHB。

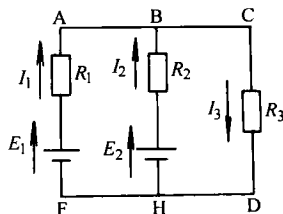


图 1-1 复杂电路举例

1. 基尔霍夫第一定律——节点电流定律 基尔霍夫第一定律是用来确定连接在同一节点上的各支路电流间关系的。因为电流具有连续性，在电路的任一节点上均不可能发生电荷持续聚集的现象。所以流入节点的电流之和必定等于从该节点流出的电流之和，即

$$\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}} \quad (1-1)$$

根据图 1-1 所设定的电流正方向由节点 A 可得

$$I_1 + I_2 = I_3$$

或将上式改写成

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

即

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

就是在任一瞬时，一个节点上电流的代数和恒等于零。这是基尔霍夫第一定律的另一种表述。如果规定流入节点的电流为正值，则流出节点的电流就为负值。

基尔霍夫第一定律不仅适用于电路中的一个实际节点，也可以把它推广应用于包围部分电路的任意假设的闭合面。

2. 基尔霍夫第二定律——回路电压定律 基尔霍夫第二定律是用来确定回路中各段电压间关系的。即沿任意回路绕行一周，回路中各电位升之和必定等于各电位降之和，即

$$\sum U_{\text{升}} = \sum U_{\text{降}}$$

$$E_1 + I_1 R_1 = E_2 + I_2 R_2$$

$$E_1 - E_2 = I_1 R_1 - I_2 R_2$$

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

这是基尔霍夫第二定律的另一种表达形式，即沿任意回路绕行一周，回路中所有电动势的代数和等于所有电阻上的所有电压降的代数和。

在计算复杂电路时，常应用公式 (1-3)，只要把回路中所有的电动势写在等号的一边，而把所有的电阻上的电压降写在等号的另一边即可。至于电动势和电阻上的电压降的正负号，可由回路的绕行方向来确定。当电动势的方向与回路绕行方向一致时，则此电动势取正号，反之取负号；当电阻上的电流方向与回路绕行方向一致时，则此电阻上的电压降取正号，反之取负号。

基尔霍夫第二定律不仅适用于一个闭合的电路，也可推广应用于一个假想的回路。

二、支路电流法

支路电流法是以支路电流为未知量，应用基尔霍夫定律，列出与支路电流数目相等的独立方程式，再联立求解。这是分析、计算复杂电路的一种最基本方法。解题步骤为：

(1) 确定各支路电流的正方向。

(2) 应用电流定律，列出节点电流方程式，若电路有 n 个节点，则只能列出 $(n-1)$ 个独立的节点电流方程式。

(3) 应用电压定律列出不足的方程式。例如，图 1-1 中共有三个未知电流，但只能列出一个独立的节点电流方程式，还要再列出两个独立的电压方程式，电路才能求解。

在列回路电压方程式时，应先确定回路的绕行方向，依此确定 E 和 IR 前面的正负号；若每次所取的回路能含有一个新支路，则此回路电压方程式就是独立的。

例 1-1 在图 1-1 所示的电路中，设 $E_1 = 140\text{V}$ ， $E_2 = 90\text{V}$ ， $R_1 = 20\Omega$ ， $R_2 = 5\Omega$ ， $R_3 = 6\Omega$ ，试求各支路电流。

解：应用基尔霍夫电流定律和电压定律列方程

$$I_1 + I_2 = I_3$$

$$E_1 = I_1 R_1 + I_3 R_3$$

$$E_2 = I_2 R_2 + I_3 R_3$$

将已知数据代入方程组，得

$$I_1 + I_2 = I_3$$

$$140 = 20I_1 + 6I_3$$

$$90 = 5I_2 + 6I_3$$

解之得

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

三、电压源和电流源

一个电源可以用两种不同的电路模型来表示。一种是用电压的形式来表示，称为电压源；一种是用电流的形式来表示，称为电流源。

1. 电流源 任何一个电源，例如发电机、电池或各种信号源，都含有电动势 E 和内阻 R_0 。在分析与计算电路时，往往把它们分开，组成由 E 和 R_0 串联的电源的电路模型，此即

电压源。如图 1-2 的点划线内所示。

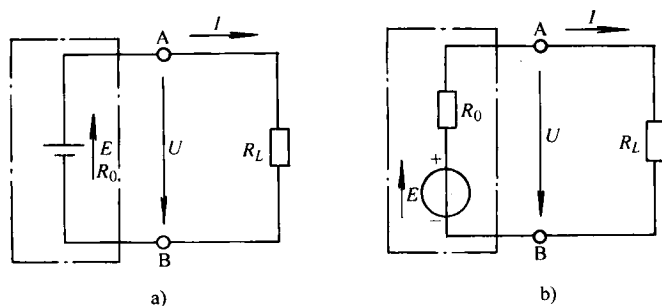


图 1-2 电源及其等效电路

a) 电源为电池 b) 电源用电压源表示

电压源是以输出电压的形式向负载供电的，输出电压的大小可由下式求出：

$$U = E - IR_0$$

由于式中 E 、 R_0 均为常数，所以随着电流 I 的增加，内阻 R_0 上的电压降增大，输出电压 U 就降低，因此要求电压源的内阻 R 越小越好。如果内阻 $R_0 = 0$ 时，那么不管负载变动时输出电流 I 如何变化，电压源始终输出恒定电压，且等于电源的电动势，即 $U = E$ 。这种电源称为理想电压源或恒压源，如图 1-3 所示。

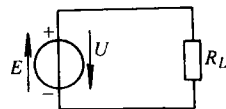


图 1-3 理想电压源

理想电压源实际上是不存在的，但从理论分析的角度看，若电源的内阻 R_0 远小于负载电阻 R_L ，都可看作理想电压源。例如稳压电源在它的工作范围内，就可看作理想电压源。

2. 电流源 电源除用电动势 E 和内阻 R_0 串联的形式表示外，还可用恒定电流 I_S 和内阻 R_0 并联的形式表示，此即为电流源。公式为

$$I = I_S - I_0$$

如图 1-4a 所示， I 是供给负载的输出电流， I_0 是内阻上分得的电流。显然，电流源的输出电流总小于恒定电流。当电流源的内阻越大，且远大于负载电阻时，则输出电流就越大，越接近恒定值。如果内阻 $R_0 \rightarrow \infty$ 时，则不管负载的变化引起端电压如何变化，电源始终输出恒定电流。如图 1-4b 所示，这种电源叫做理想电流源或恒流源。

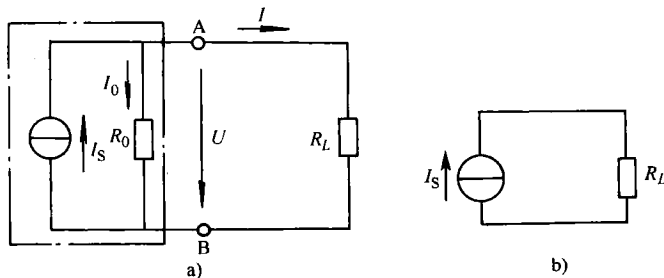


图 1-4 电流源电路

a) 电流源电路 b) 理想电流源

理想电流源实际也是不存在的，如果电源的内阻远大于负载电阻，那么随着外电路负载电阻变化，电源输出的电流几乎不变，这种电源接近于一个恒流源，例如，晶体三极管的输出回路就可看作一个受基极电流控制的恒流源。

3. 电压源和电流源的等效变换 一个实际的电源即可用电压源表示,也可用电流源表示,因此它们之间可以进行等效变换。

实际上,电压源是电动势为 E 的理想电压源和内阻 R_0 串联的电路;电流源是电流为 I_S 的理想电流源和内阻 R_0 并联的电路。应用时,不一定仅限于电源的内阻。只要在恒压源电路上串联有电阻,或在恒流源的两端并联有电阻,则两者均可进行等效变换,如图 1-5 所示。图中

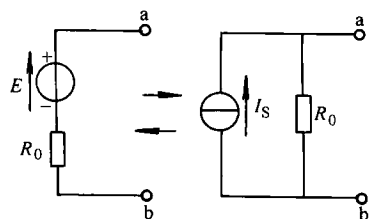


图 1-5 电压源和电流源的等效变换

$$I_S = \frac{E}{R_0} \text{ 或 } E = I_S R_0$$

在进行等效变换时,应注意以下几点:

- (1) 电压源和电流源的等效变换只能对外电路等效,对内电路则不等效。
- (2) 恒压源和恒流源之间不能进行等效变换。
- (3) 等效变换时,注意恒定电流的方向与恒定电动势的方向一致。

例 1-2 试用电压源与电流源等效变换的方法计算图 1-6a 中 1Ω 电阻上的电流 I 。

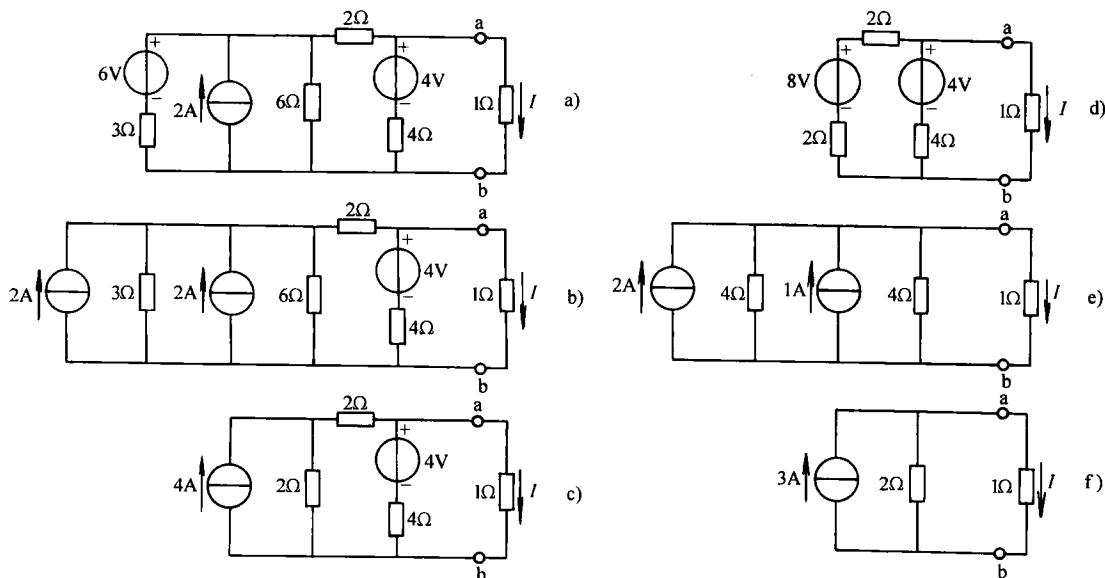


图 1-6 例 1-2 的电路

解: 根据图 1-6 的变换次序,最后化简为图 1-6f 的电路,由此可得 $I = \frac{2\Omega}{(2+1)\Omega} \times 3A = 2A$

四、叠加原理

叠加原理是线性电路的一个重要原理。所谓线性电路是指电路的参数不随外加电压及通过其中的电流而变化,也就是电压和电流成正比的电路。对于线性电路,任何一条支路中的电流,都可以看作是电路中各个电源(电压源或电流源)单独作用时,在该支路产生的电流的代数和。

应用叠加原理时必须注意:

- (1) 叠加原理只能用于线性电路，不能用于非线性电路。
- (2) 叠加原理只用来计算电流、电压而不能计算功率，因为功率不是电压电流的一次函数。
- (3) 应用叠加原理时，对于所谓不作用的电动势做短路处理，对于所谓不作用的恒流源做断路处理。
- (4) 叠加时，电源单独作用时电流方向若与原电路电流方向相同，则该电流前面符号取正，反之取负。

例 1-3 在图 1-7a 中，已知 $E_1 = E_2 = 17V$ ， $R_1 = 2\Omega$ ， $R_2 = 1\Omega$ ， $R_3 = 5\Omega$ ，用叠加原理求支路电流 I_1 、 I_2 、 I_3 。

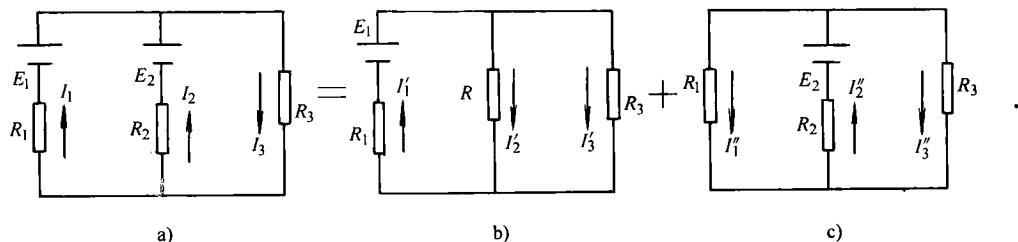


图 1-7 例 1-3 的图

解：在图 1-7b 中， E_1 单独作用时：

$$I_1' = \frac{E_1}{R_1 + R_2 // R_3} = \frac{E_1}{R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}} = 6A$$

$$I_2' = \frac{R_3}{R_2 + R_3} \cdot I_1' = 5A$$

$$I_3' = I_1' - I_2' = 1A$$

在图 1-7c 中， E_2 单独作用时：

$$I_2'' = \frac{E_2}{R_2 + R_1 // R_3} = \frac{E_2}{R_2 + \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3}} = 7A$$

$$I_1'' = \frac{R_3}{R_1 + R_3} \cdot I_2'' = 5A$$

$$I_3'' = I_2'' - I_1'' = 2A$$

E_1 、 E_2 共同作用时各支路电流：

$$I_1 = I_1' - I_1'' = 1A$$

$$I_2 = I_2'' - I_2' = 2A$$

$$I_3 = I_3' + I_3'' = 3A$$

五、戴维南定理

任何一个复杂电路，如果只需要研究一个支路的电流或电压，而不需要求解其他支路的电流时，最简单的求解方法就是利用戴维南定理来进行计算。可先把待求支路划出，再把这个支路以外的所有电路看做是一个有源二端网络，如图 1-8 所示。

电路也称为网络，任何具有两个引出端的部分电路都可称为二端网络。若网络中有电源存在称为有源二端网络，没有电源的二端网络则称为无源网络。

戴维南定理的内容是：任何一个有源线性二端网络都可用一个等效的电压源来表示。等效电压源的电动势 E 等于待求支路断开时有源线性二端网络的开路电压 U ；等效电压源的内阻 R_0 等于待求支路断开时从两端向有源线性二端网络看进去的电阻（此时网络内的所有电动势做短路处理，所有恒流源做断路处理）。

内阻 R_0 等于待求支路断开时从两端向有源线性二端网络看进去的电阻（此时网络内的所有电动势做短路处理，所有恒流源做断路处理）。

例 1-4 如图 1-9a 所示，已知 $E_1 = 5V$ ， $E_2 = 15V$ ， $R_1 = 4\Omega$ ， $R_2 = 6\Omega$ ， $R = 3.6\Omega$ ，试用戴维南定理求通过电阻 R 中的电流 I 。

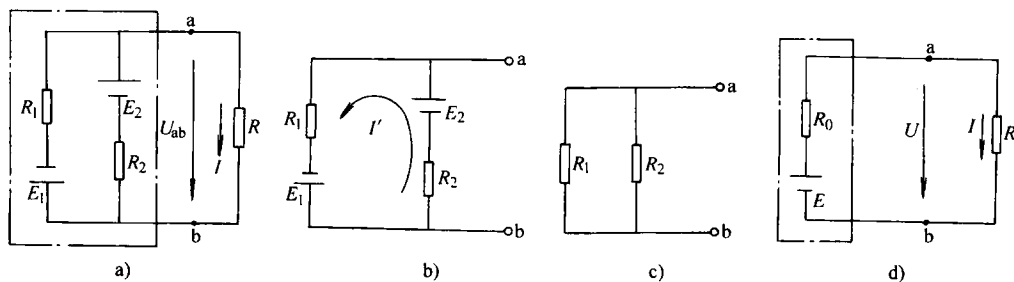


图 1-9

解：将待求支路断开，如图 1-9b 所示，计算开路电压 U_{ab} ，即得 E ：

$$I' = \frac{E_1 + E_2}{R_1 + R_2} = \frac{(5 + 15)V}{(4 + 6)\Omega} = 2A$$

$$E = U_{ab} = I'R_1 - E_1 = (2 \times 4)V - 5V = 3V$$

如图 1-9c 所示，计算等效电阻 R_{ab} 即 R_0 ：

$$R_0 = R_{ab} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{4 \times 6}{4 + 6}\Omega = 2.4\Omega$$

将等效电源与待求支路接通，形成图 1-9d，计算电流 I ：

$$I = \frac{E}{R_0 + R} = \frac{3V}{(2.4 + 3.6)\Omega} = 0.5A$$

第二节 单相正弦交流电路

学会分析与计算单相正弦交流电路，明确不同的正弦交流电路中电压与电流的数值关系和相位关系，以及功率问题分析。

一、正弦交流电的基本概念

大小和方向随时间作周期性变化的电动势、电压、电流分别称做交变电动势、交变电压

和交变电流，统称为交流电。随时间按正弦规律变化的交流电，称做正弦交流电，如图 1-10 所示。

交流电在生产和生活中有极为广泛的应用，这是因为交流电和直流电相比较有以下几个优点：交流电可以利用变压器交变电压，便于高压输电和低压配电；相同功率的交流电机和直流电机相比构造简单、成本低；可以利用整流设备，把交流电转换成所需的直流电等。

在图 1-10 中，横坐标表示时间，纵坐标表示电流。用表达式表示为

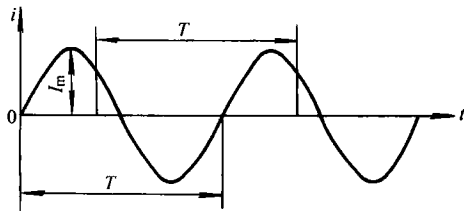


图 1-10 正弦交变电流

$$i = I_m \sin \omega t$$

介绍几个名词：

(1) 瞬时值 表示交流电在某一瞬时的数值，规定用小写字母表示，如 i 、 u 、 e 等分别表示交变电流、交变电压交变电动势的瞬时值。

(2) 周期 表示交流电循环变化一周所需的时间，用字母 T 表示，周期的单位是秒 (s)。

(3) 最大值 表示交流电在一个周期中所出现的最大瞬时值，用大写字母加下标 “m” 表示，如分别用 I_m 、 U_m 、 E_m 表示电流、电压和电动势的最大值。

(4) 频率 表示交流电在一秒中所含有的周期数，用字母 f 表示，频率的单位是赫兹 (Hz)，简称赫。

频率和周期互为倒数关系，即 $f = 1/T$

我国发电厂发出的交流电的频率为 50Hz，这是我国工业用电的标准频率，习惯上称为工频。

(5) 角频率 表示交流电在单位时间内变化的电角度，用 ω 表示，单位是弧度/秒 (rad/s)，它与周期、频率有如下关系：

$$\omega = 2\pi/T = 2\pi f$$

(6) 相位和相位差

$$i = I_m \sin(\omega t + \phi_0)$$

式中 $(\omega t + \phi_0)$ 称为交流电的相角或相位，表示交流电在某一时刻所处的状态，决定了瞬时值的相对幅度和方向。 $t=0$ 时的相位 ϕ_0 叫做初相位 (简称初相角)，表示交流电在起始时刻的状态。例如

$$i_1 = I_{1m} \sin(\omega t + \phi_1)$$

$$i_2 = I_{2m} \sin(\omega t + \phi_2)$$

则 i_1 的相位是 $(\omega t + \phi_1)$ ， i_2 的相位是 $(\omega t + \phi_2)$ ； i_1 的初相角是 ϕ_1 ， i_2 的初相角是 ϕ_2 。

初相角的大小和起始时刻的选择有关，习惯上初相角的大小在 π 和 $-\pi$ 之间，即

$$-\pi < \phi_0 \leq \pi$$

两个同频率交流电的相位之差叫做相位差，用 ϕ 来表示，即

$$\phi = (\omega t + \phi_1) - (\omega t + \phi_2) = \phi_1 - \phi_2$$

由此可见，两个同频率交流电的相位差就等于它们的初相角之差，相位关系有如下几种情况：

- 1) 同相：相位差为零。如图 1-11a 所示。
- 2) 反相：相位差为 π (180°)，如图 1-11b 所示。
- 3) 超前：相位差大于零时，称交流电 i 超前于 u ，如图 1-11c 所示。
- 4) 滞后：相位差小于零时，称交流电 i 滞后于 u ，如图 1-11d 所示。

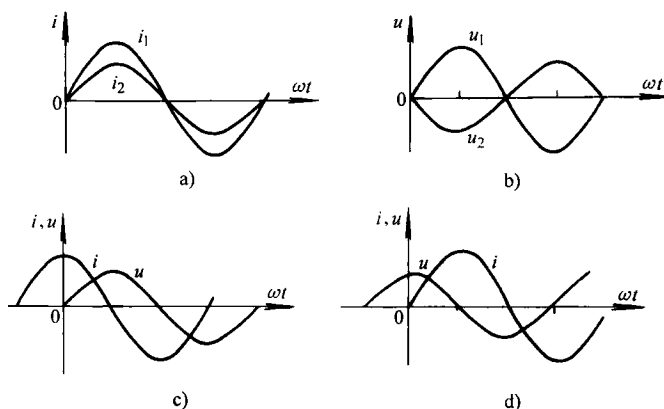


图 1-11 相位关系

a) 同相 b) 反相 c) i 超前于 u d) i 滞后于 u

相位差的实质就是交流电彼此间到达正的最大值或零值或负的最大值等有一段时间差(简称时差)。时差 $t_{12} = \phi_{12}/\omega$ 。一般，相位差的取值范围是

$$-\pi < \phi \leq \pi$$

最大值、频率和初相角是确定正弦交流电变化情况的三个重要数值，叫做正弦交流电的三要素。知道三要素后，正弦交流电的变化情况就完全确定下来。

二、有效值

交变电流的有效值是根据其热效应来确定的，通常用它来计量交流电的大小，符号用大写字母来表示，例如 I 、 U 、 E 。

若把一交变电流和一直流分别通过两个阻值相同的电阻，在一个周期内，它们各自在电阻上产生的热量彼此相等，则此直流值就叫做该交变电流的有效值。因此，交变电流的有效值实际上就是在热效应方面同它相当的直流值。其一般定义式为

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt}$$

对于正弦交流电的有效值和最大值之间的关系如下：

$$I = I_m / \sqrt{2} = 0.707 I_m$$

$$U = U_m / \sqrt{2} = 0.707 U_m$$

$$E = E_m / \sqrt{2} = 0.707 E_m$$

即正弦交流电的有效值等于最大值的 $1/\sqrt{2}$ 或 0.707 倍。

在电工技术中，有效值的应用是很普遍的。一般电器铭牌上标有的电压、电流的数值都是指有效值。交流伏特表和安培表的刻度也是用有效值来表示的。

三、正弦交流电的表示方法

正弦交流电既可用解析式来表示,也可用曲线图来描述,但为了便于正弦交流电的相加和相减的计算,可用旋转矢量来表示一个正弦交流电,从而把正弦交流电的加减计算变换为矢量的加减运算,如图 1-12 所示。

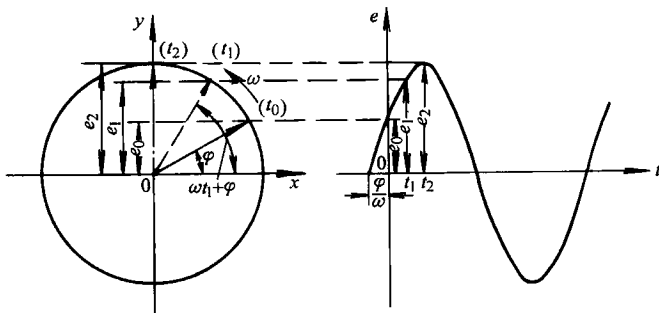


图 1-12 正弦交流电的旋转矢量图

在直角坐标系中画一个旋转矢量,规定其长度等于正弦交流电的最大值,与正向横轴间的夹角等于正弦交流电的初相,按逆时针方向旋转,角速度等于正弦交流电的电角速度。则此旋转矢量既能表示出正弦交流电的三要素,又能通过它在纵轴上的投影求出正弦量的瞬时值。为了区别空间矢量,把旋转矢量记作 $\dot{I}_m$ 、 $\dot{U}_m$ 、 $\dot{E}_m$,这种矢量叫做最大值矢量。如果旋转矢量的长度等于正弦量的有效值,就称为有效值矢量,记作 $\dot{I}$ 、 $\dot{U}$ 、 $\dot{E}$ 。

进行同频率正弦量加减运算,可先作出与正弦量相对应的旋转矢量,即画出矢量图,然后按矢量相加减的法则求出其合成矢量。另外,在分析讨论中,往往只注重各交流电之间的相位差,初相角的大小无关紧要,所以在作矢量图时,可取其中任一矢量作为参考矢量,把它画在任意方向(习惯画在水平方向)上,然后再根据矢量之间的相位关系作出其余矢量。

例 1-5 设已知: $i_1 = 20\sin(\omega t + 60^\circ)\text{A}$, $i_2 = 10\sin(\omega t - 30^\circ)\text{A}$, 求 $i = i_1 + i_2$

先分别画出代表 i_1 、 i_2 的矢量 $\dot{I}_{1m}$ 、 $\dot{I}_{2m}$, 如图 1-13 所示,然后把矢量 $\dot{I}_{1m}$ 及 $\dot{I}_{2m}$ 分解为水平分量和垂直分量。

水平分量的和为

$$\begin{aligned} OX &= OX_1 + OX_2 = I_{1m}\cos\phi_1 + I_{2m}\cos\phi_2 \\ &= 20 \times \frac{1}{2}\text{A} + 10 \times \frac{\sqrt{3}}{2}\text{A} = 18.6\text{A} \end{aligned}$$

垂直分量的和为

$$\begin{aligned} OY &= OY_1 + OY_2 = I_{1m}\sin\phi_1 + I_{2m}\sin\phi_2 \\ &= 20 \times \frac{\sqrt{3}}{2}\text{A} - 10 \times \frac{1}{2}\text{A} = 12.3\text{A} \end{aligned}$$

由此可得

$$I_m = \sqrt{OX^2 + OY^2} = \sqrt{18.6^2 + 12.3^2}\text{A} = 22.3\text{A}$$

$$\phi = \arctan \frac{OY}{OX} = \arctan \frac{12.3\text{A}}{18.6\text{A}} = 33^\circ 30'$$

所以

$$i = 22.3\sin(\omega t + 33^\circ 30')\text{A}$$

另解: 选择 $\dot{I}_{1m}$ 旋转矢量作为参考矢量, 把它画在水平位置, 再根据 i_1 与 i_2 间的相位

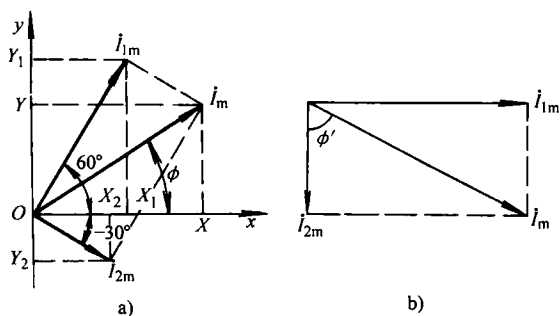


图 1-13 例 1-5 的图

差, 作出 I_{2m} 的旋转矢量, 如图 1-13b 所示, 从而得合成矢量有效值的大小为

$$I_m = \sqrt{I_{1m}^2 + I_{2m}^2} = \sqrt{20^2 + 10^2} \text{ A} = 22.3 \text{ A}$$

矢量 I_{1m} 与 I_{2m} 间的夹角为

$$\phi' = \arctan \frac{20 \text{ A}}{10 \text{ A}} = \arctan 2 = 63^\circ 30'$$

合成矢量的初相为

$$\phi = 63^\circ 30' - 30^\circ = 33^\circ 30'$$

则得

$$i = 22.3 \sin(\omega t + 33^\circ 30') \text{ A}$$

四、纯电阻电路

白炽灯、电阻炉或变阻器等负载, 它们的电感同电阻值相比是极小的, 可略去不计, 这些负载就可看作是纯电阻负载。由交流电源和纯电阻负载组成的电路称为纯电阻电路, 如图 1-14 所示, 图中所标的方向是电流电压的参考方向。

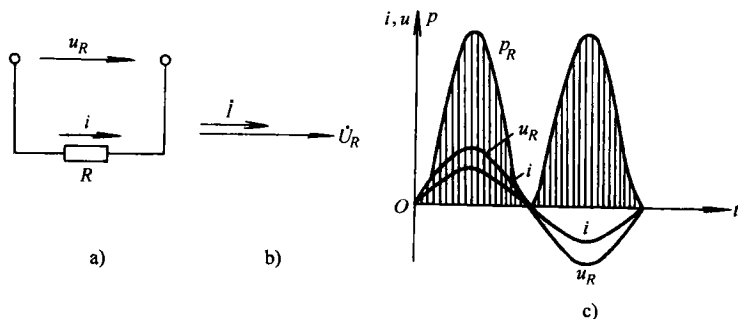


图 1-14 纯电阻电路

a) 电路 b) 矢量图 c) 波形图

1. 电压与电流之间的关系 在每一瞬间, 通过电阻的电流与电阻两端电压是遵从欧姆定律的, 即

$$i = I_m \sin \omega t$$

为了方便分析, 设加在电阻两端的正弦电压为

$$u_R = U_{Rm} \sin \omega t$$

则电阻中通过的电流为

$$i = u_R / R = \frac{U_{Rm}}{R} \sin \omega t = I_m \sin \omega t$$

式中, $I_m = \frac{U_{Rm}}{R}$

等式两边同除以 $\sqrt{2}$, 则得

$$I = \frac{U_R}{R} \text{ 或 } U_R = IR$$

即电压有效值与电流有效值之间服从欧姆定律形式, 它表示了纯电阻电路电压与电流的数量关系。

另外, 由式可知, 在纯电阻电路中电压与电流是同相位同频率变化的, 它表示了纯电阻电路电压与电流的相位关系。