

职业技能鉴定培训教材

中级家用 电热器具与电动器具 维修工

家电类职业技能鉴定培训教材编委会
山东省家用电器职业技能鉴定所 组编

ZHONGJIJIAYONG
DIANREQUIJU YU DIANDONGQIJU
WEIXIUGONG



机械工业出版社
China Machine Press

职业技能鉴定培训教材

中级家用电热器具与 电动器具维修工

家电类职业技能鉴定培训教材编委会
山东省家用电器职业技能鉴定所 组编

姜宝港 主编

谭佃文 辛 涛 陈守林 编



机械工业出版社

本书为“中级家用电热器具与电动器具维修工”鉴定培训教材,详细介绍了电子电饭锅、电子消毒柜、热水器、微波炉、电子风扇、洗碗机以及波轮式、滚筒式、搅拌式全自动洗衣机等家用电器的基本结构、工作原理、安装、使用、日常维护与保养、常见故障及其检修。

本书不仅适合作为职业技能鉴定、高职、中专以及职业学校的教材。也可供家电维修人员参考,同时对广大家用电器用户具有极高的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

中级家用电热器具与电动器具维修工/姜宝港主编. —北京:机械工业出版社, 2001.8

职业技能鉴定培训教材

ISBN 7-111-08906-5

I. 中… II. 姜… III. 日用电气器具—维修—职业技能鉴定—教材
IV. TM925.07

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 20753 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:贾玉兰 版式设计:冉晓华 责任校对:申春香

封面设计:方 芬 责任印制:郭景龙

北京第二外国语学院印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2001 年 7 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm $\frac{1}{16}$ ·19.75 印张·488 千字

0 001—4 000 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

家电类职业技能鉴定培训教材编委会

顾 问:

李 奇 机械工业出版社 副社长
刘金良 国家轻工业局人才培训中心 常务副主任
程广辉 山东省第二轻工总会 副会长
徐本高 山东省家用电器行业协会 理事长

主 任:

李佩禹 山东省家用电器职业技能鉴定所 所长
范兴国 机械工业出版社电工电子编辑室 主任
宋术山 海尔集团顾客服务事业部 部长

副主任:

姜亚彬 海尔集团冰箱顾客服务事业部 部长
王海东 小鸭集团销售公司人力资源中心 主任
苗 滨 山东省商业职业技术学院工程系 主任

委 员:

陈国华 机械工业出版社 编审
姜宝港 山东省商业职业技术学院 高级讲师
于晓平 济南教育学院 副教授
尹选模 山东省商业职业技术学院 高级讲师
许 华 山东省家用电器职业技能鉴定所 工程师
刘 伟 海尔集团顾客服务事业部技术部 工程师
陶登涛 小鸭集团人力资源培训中心 工程师
邢振禧 山东省商业职业技术学院 高级讲师
齐运州 山东济南百大集团公司 工程师
张新芝 山东省商业职业技术学院 高级讲师
周兴前 山东大禹学院 讲师
胡玉叶 山东省淄博商业学校 高级讲师
谭桂峰 济宁工业学校 讲师

原 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，用人单位应按照国家《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，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教材共包括以下九种：

- 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（视频、音频设备）维修工
- 8、中级家用电子产品（视频、音频设备）维修工
- 9、高级家用电子产品（视频、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。

参加此套丛书编写的单位有：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意见和建议。

家电类职业技能鉴定教材编委会

2000年6月

前 言

本书是家用电热与电动器具职业技能鉴定教材，主要包括电热器具与电动器具两大部分。系统介绍了现在市场上流行的电子电饭锅、电子消毒柜、热水器（电热水器、燃气热水器和太阳能热水器）、微波炉、电子电风扇、洗碗机以及波轮式、滚筒式和搅拌式全自动洗衣机等新潮家用电器的基本结构、工作原理、安装、使用、日常维护与保养以及常见故障及其检修。

为了方便读者与实物对照，本书中涉及到的典型产品的电气图中的图形符号和文字符号未按国家标准作全书统一。

本书内容新颖，图文并茂，通俗易懂，有很强的实用性。

本书在编写过程中参考了近几年来的有关书刊，在此对有关书刊的作者表示感谢。

本书的第一~三章由谭佃文先生执笔；第四、五、六、八、九章由姜宝港先生执笔；第七章由辛涛先生执笔；第十~十二章由陈守林先生执笔。

本书由姜宝港先生统稿主编。

参加本书编写等工作的还有王学祖、孟宪香、姜少良、张景贵、李兴朴等先生。

本书不仅适合作为职业技能鉴定、高职、中专以及职业学校的教材，也可供家电维修人员参考，同时对广大家用电器用户具有极高的参考价值。

对于书中疏漏、错误之处，敬请有关专家、学者和广大读者不吝批评指正。

编著者

目 录

第一章 电工学基础	1	第六章 热水器	110
第一节 直流电路	1	第一节 电热水器	110
第二节 单相正弦交流电路	8	一、即热式电热水器的基本结构与工作 原理	110
第二章 模拟电子技术基础	17	二、贮水式电热水器	112
第一节 晶体管电压放大电路	17	三、电热水器的选购、安装、使用与保 养常识	117
第二节 集成运算放大器	34	四、常见故障及其检修	120
第三节 负反馈放大器	40	第二节 燃气热水器	122
第四节 正弦波振荡电路	44	一、分类	122
第五节 集成运放在信号运算和检测 中应用	49	二、快速燃气热水器	123
第六节 功率放大电路	56	三、贮水式燃气热水器	134
第七节 直流稳压电路	61	四、燃气热水器的安装、使用与维护保 养	135
第三章 常用仪器与仪表	70	五、万家乐牌 H 型水控自动点火式燃气 热水器简介	138
第一节 数字式万用表	70	第三节 太阳能热水器	140
第二节 直流电桥	75	第七章 微波炉	148
第三节 通用示波器	78	第一节 微波炉基础知识	148
第四章 电饭锅	86	第二节 微波炉的基本结构与工作原 理	154
第一节 电子自动保温电饭锅	86	第三节 微波炉的使用	165
第二节 自动压力电饭锅	90	第四节 微波炉的常见故障及其 检修	177
第三节 电子控制自动压力电饭锅	93	第八章 电子电风扇电路	197
第四节 微电脑控制电饭锅	95	第一节 无级调速电路	197
第五章 电子消毒柜	101	第二节 模拟自然风电路	199
第一节 电子消毒柜的分类	101	第三节 遥控电风扇电路	205
第二节 高温型电子消毒柜	101	第四节 电脑程控电风扇电路	211
第三节 低温(常温)型电子消 毒柜	105	第五节 电子定时电风扇	213
第四节 高温、低温型电子消毒柜	107	第九章 洗碗机	218
第五节 高温型电子消毒、自动电开 水两用柜	107	第一节 洗碗机的基本结构	219
第六节 常见故障及其检修	108		

第二节 洗碗机的工作原理	221	第四节 滚筒式全自动洗衣机的电路分析	255
第十章 波轮式全自动洗衣机	226	第五节 搅拌式全自动洗衣机	265
第一节 波轮式全自动洗衣机的基本结构	226	第十二章 全自动洗衣机的故障检修	269
第二节 波轮式全自动洗衣机的控制器件	229	第一节 故障种类与检修要求	269
第三节 波轮式全自动洗衣机的控制电路	234	第二节 电动控制波轮式全自动洗衣机主要部件的检修	270
第四节 波轮式全自动洗衣机的实际电路分析	240	第三节 电动控制波轮式全自动洗衣机常见故障的检修	275
第十一章 滚筒式和搅拌式全自动洗衣机	247	第四节 电脑控制波轮式全自动洗衣机的检修	279
第一节 滚筒式全自动洗衣机的种类和工作原理	247	第五节 滚筒式洗衣机的检修	289
第二节 滚筒式全自动洗衣机的基本结构	249	附：职业技能鉴定国家题库统一试卷	294
第三节 滚筒式全自动洗衣机的电气部分	253	参考文献	307

第一章 电工学基础

学习提要 掌握基尔霍夫第一、第二定律；学会用支路电流法和节点电压法计算复杂电路中各支路电流及各节点电位。理解电容器概念，了解电容器种类、连接方式及其特点；掌握电容器主要参数意义；理解电容器充、放电过程特点及时间常数概念。掌握正弦交流电的表示方法；掌握 R 、 L 、 C 纯电路特点；学会用相量图分析 RLC 串联电路电压和电流的数量关系、相位关系；理解功率因数概念；了解串联谐振概念、条件、特点；学会用相量图分析 RL 与 C 并联电路总电流与电压间数量关系、相位关系；了解并联谐振概念、条件及特点。

第一节 直流电路

一、基尔霍夫定律

基尔霍夫定律是确定任意形式电路，特别是复杂电路中流过各节点的电流之间或各回路的电压之间所应遵循的普遍规律。所谓节点，是指电路中三条或三条以上支路的交点；支路是指电路中通过相同电流的每条分支。所谓回路是指由支路组成的闭合路径。

基尔霍夫定律包含两个定律：第一定律应用于节点，第二定律应用于回路。

(一) 基尔霍夫第一定律

基尔霍夫第一定律，也称为节点电流定律 (KCL)，它是电流连续性原理的推断。

1. 内容 KCL 有两种表达形式。

(1) 任何时刻流入电路中某节点的电流总和，必等于从该节点流出的电流总和，即

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

(2) 对电路任一节点来说，所有电流的代数和恒为零，即

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

通常规定流入节点电流为正，则流出节点的电流为负。

2. 应用

(1) 方法 在应用 KCL 时，首先要标出各支路电流参考正方向。对于已知的电流，正方向可按实际方向标出；对于未知的电流，可以任意标出参考正方向。

(2) 范围 基尔霍夫第一定律不仅适用于任何节点，也适用于包围着几个节点的闭合面，即通过任一闭合面的电流的代数和也为零。

(二) 基尔霍夫第二定律

基尔霍夫第二定律，也称为回路电压定律 (KVL)，用于确定回路中各部分电压的关系，它是能量守恒定律的体现。

1. 内容 KVL 也有两种表达形式。

(1) 沿任一回路绕行一周，各段电压的代数和恒为零，即

$$\sum U = 0 \quad (1-3)$$

(2) 在电路的任一闭合回路中，总电位升必等于总电压降。在规定了绕行正方向前提

下, 电动势的代数和等于电阻上电压的代数和, 即

$$\sum E = \sum IR \quad (1-4)$$

2. 应用

(1) 应用式 (1-3) 时, 需要规定回路绕行的方向。凡电压参考方向与回路绕行方向一致者, 此电压前面取正号; 否则, 取负号。

(2) 在计算复杂电路时, 常应用式 (1-4)。当电动势参考方向与回路绕行方向一致者, 前面取正号; 否则取负号。当电阻上电流的参考方向与回路绕行方向一致者, 前面取正号; 否则取负号。

二、电路中电位的计算

在进行电路分析时, 经常要研究电路中各点电位的高低。为了求得电路中各点的电位值, 必须在电路中选择参考点, 称为“接地”, 用符号 $\perp$ 表示。但实际上参考点不一定是真正的接地, 只是当作一个零电位点, 作为其他各点电位高低的比较标准。电路中某点的电位值就等于该点与零电位点之间的电位差, 亦即等于该点与零电位点之间的电压。

(一) 简单电路的电位计算

简单电路是指由串联和并联方式构成或能用串联和并联的等效变换进行化简的电路。对于简单电路的计算, 可运用全电路欧姆定律和电阻串并联特点求得电路中电流和电压。

1. 电位计算基本步骤

(1) 选定零电位点 一般情况下, 电路图中已指定; 未指定时, 可以任意选择, 以计算方便为好。

(2) 选择路径 要计算某点电位, 可从该点出发, 通过一定路径绕到零电位点。电位与选择的路径无关。

(3) 确定正负 某点电位等于绕行路径上电阻电压和电源电动势的代数和。若电阻上电流方向与路径方向相同, IR 取正; 相反取负。电源电动势方向与路径方向相同, E 的值取负; 相反则取正。

2. 实例分析

例题 1-1 如图 1-1 所示, 已知 $E_1 = 12V$, $E_2 = 6V$, $R_1 = 200\Omega$, $R_2 = 1.6k\Omega$, 求 A 、 B 、 C 各点电位及 B 、 C 两端电压 (忽略电源内阻)。

解 根据电动势方向可标出电流方向如图所示。

1) 根据全电路欧姆定律求出电流大小

$$I = \frac{E_1 + E_2}{R_1 + R_2} = \frac{(12 + 6) V}{(200 + 1600) \Omega} = 0.01 A$$

D 点为参考点, 则 $V_D = 0$ 。

2) 计算 C 点电位选择 $C \rightarrow E_1 \rightarrow D$ 路径

$$V_C = E_1 = 12V$$

3) 计算 B 点电位选择 $B \rightarrow E_2 \rightarrow D$ 路径

$$V_B = -E_2 = -6V$$

4) 计算 A 点电位选择 $A \rightarrow R_1 \rightarrow C \rightarrow E_1 \rightarrow D$ 路径

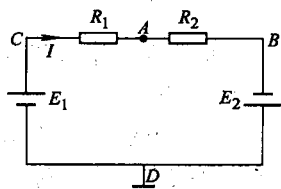


图 1-1 例题 1-1 图

$$V_A = -IR_1 + V_C = -0.01 \times 200V + 12V = 10V$$

或选择 $A \rightarrow R_2 \rightarrow B \rightarrow E_2 \rightarrow D$ 路径

$$V_A = IR_2 + V_B = 0.01 \times 1600V - 6V = 10V$$

(二) 复杂电路的计算

所谓复杂电路,是指不能用串、并联方法进行化简的电路。复杂电路计算,单用欧姆定律无法解决,必须应用基尔霍夫定律等方法。

1. 支路电流法 以支路电流为未知量,利用 KCL 和 KVL 列出和未知量数目相等的独立方程式,再联立求解,这种解题方法,称为支路电流法。

(1) 解题方法

1) 首先要分析电路中,共有几个未知电流,并标明各支路电流的参考方向。

2) 利用 KCL 列出节点电流方程式。若电路有 n 个节点,则可列出 $(n-1)$ 个独立的电流方程式。

3) 不足的方程式用 KVL 列出。应用 KVL 列电压方程式时,每次所取的回路必须包含一个新支路。为方便起见,通常选择最简单的回路。

4) 解联立方程,求得各支路电流。若某支路电流为负值,说明该支路中电流实际方向与参考方向相反。

(2) 实例分析

例题 1-2 如图 1-2 所示,表示一台直流发电机、蓄电池和负载相并联的电路。已知 $E_1 = 12V$, $R_{01} = 1\Omega$, $E_2 = 6V$, $R_{02} = 1\Omega$, $R_3 = 4\Omega$, 求各支路电流和负载两端电压。

解 1) 电路中有三条支路,假设各支路电流 I_1 、 I_2 、 I_3 的参考方向如图所示。

2) 列节点电流方程。电路中有 A 、 B 两个节点,可列一个独立节点电流方程。对节点 A 有

$$I_1 + I_2 = I_3$$

3) 列回路电压方程,需要两个。图 1-2 中已标出回路 I、II 的绕行方向,则有

$$I_1 R_{01} - I_2 R_{02} = E_1 - E_2$$

$$I_2 R_{02} + I_3 R_3 = E_2$$

4) 将已知数代入方程求解。

$$\begin{cases} I_1 + I_2 = I_3 \\ I_1 - I_2 = 12 - 6 \\ I_2 + 4I_3 = 6 \end{cases}$$

可得 $I_1 = 4A$, $I_2 = -2A$, $I_3 = 2A$ 。

电流 I_2 为负值,说明 I_2 实际方向与参考方向相反,即应从 A 流向 B ,此时蓄电池处于充电状态。

负载两端电压

$$U_{AB} = I_3 R_3 = 2 \times 4V = 8V$$

2. 节点电压法 在对复杂电路进行计算,有时会碰到支路较多而节点较少的电路,图

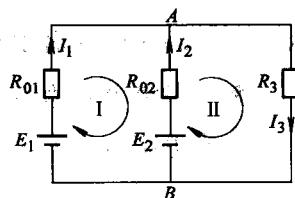


图 1-2 例题 1-2 图

1-3 所示的电路属于此类。对于这样的电路用节点电压法计算比较方便。所谓节点电压法，是设其中一个节点的电位为零，求出两个节点间电压，从而计算出各支路电流的一种方法。本书主要讨论只有两个节点的复杂电路。

(1) 解题步骤

1) 指定参考节点，选择节点电压方向。图 1-3 中，设 B 点为参考点，则 $V_B = 0$ ；节点电压参考方向由 A 指向 B 。

2) 求出节点电压。 U_{AB} 由下式确定

$$U_{AB} = \frac{\sum (E/R)}{\sum (1/R)} \quad (1-5)$$

$$= \frac{\sum (EG)}{\sum (G)} \quad (1-6)$$

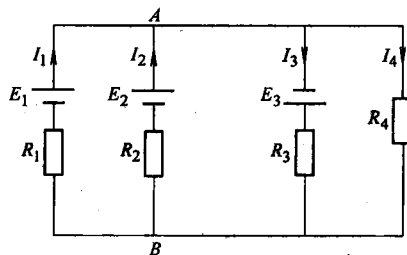


图 1-3 节点电压法用图

节点电压等于各支路电动势和电导乘积的代数和，除以各支路电导之和。式 (1-5) 中，分母各项符号为正，分子各项符号按以下原则确定：凡电动势促使节点电压升高者取正号，使节点电压降低者取负号。

3) 根据欧姆定律求出各支路电流。

(2) 实例

例 1-3 在图 1-3 中，已知 $E_1 = 12\text{V}$ ， $E_2 = 16\text{V}$ ， $E_3 = 14\text{V}$ ， $R_1 = 40\Omega$ ， $R_2 = 50\Omega$ ， $R_3 = 80\Omega$ ， $R_4 = 60\Omega$ ，求各支路电流 I_1 、 I_2 、 I_3 和 I_4 。

解 指定 B 点为参考节点，则 $V_B = 0$ 。

节点电压 U_{AB} 为

$$\begin{aligned} U_{AB} &= \left(\frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} - \frac{E_3}{R_3} \right) / \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right) \\ &= \left(\frac{12}{40} + \frac{16}{50} - \frac{14}{80} \right) / \left(\frac{1}{40} + \frac{1}{50} + \frac{1}{80} + \frac{1}{60} \right) \text{V} \\ &= 6\text{V} \end{aligned}$$

各支路电流为

$$I_1 = \frac{E_1 - U_{AB}}{R_1} = \frac{(12 - 6) \text{V}}{40\Omega} = 0.15\text{A}$$

$$I_2 = \frac{E_2 - U_{AB}}{R_2} = \frac{(16 - 6) \text{V}}{50\Omega} = 0.2\text{A}$$

$$I_3 = \frac{E_3 + U_{AB}}{R_3} = \frac{(14 + 6) \text{V}}{80\Omega} = 0.25\text{A}$$

$$I_4 = \frac{U_{AB}}{R_4} = \frac{6\text{V}}{60\Omega} = 0.1\text{A}$$

三、电容器及其充放电

(一) 电容器概念、种类和主要参数

1. 电容器概念 用绝缘体隔开的两个导体的组合就叫做电容器。组成电容器的导体称

为电极，中间的绝缘体称为介质。符号如图 1-4a 所示。

如果在电容器两个电极上加上电压，则在两个电极上将分别出现数量相等而符号相反的电荷，如图 1-4b 所示。实验证明，电极上带的电荷 Q 与电容器两端的电压 U 成正比，即

$$Q = CU$$

上式还可写成

$$C = \frac{Q}{U} \quad (1-7)$$

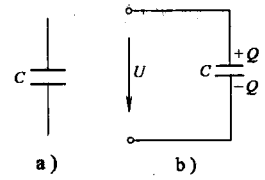


图 1-4 电容器及储存电荷
a) 符号 b) 储存电荷

式中 C ——电容器的电容 (F);

Q ——电极上电荷 (C);

U ——两极间电压 (V)。

电容是表征电容器容纳电荷本领的物理量，是电容器的固有参数。

电容的单位有法拉 (F)，实用单位还有微法 (μF)、纳法 (nF) 和皮法 (pF)。其换算关系为

$$1\text{F} = 10^6 \mu\text{F} = 10^9 \text{nF} = 10^{12} \text{pF}$$

对平板电容器而言，电容大小与两极板间正对面积成正比，与两极板间距离成反比，并与极间电介质有关。

2. 电容器种类 电容器分类如图 1-5 所示。

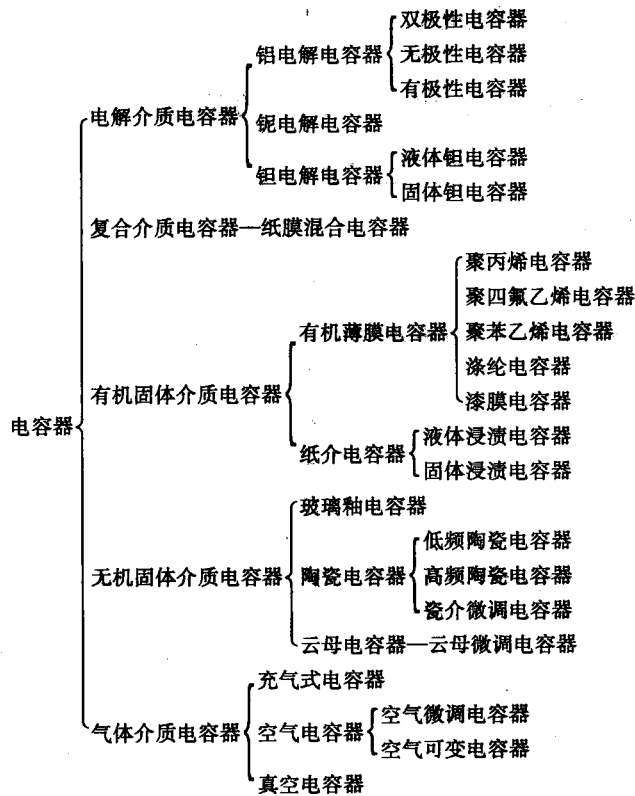


图 1-5 电容器的分类

3. 电容器的主要参数

(1) 标称电容和允许偏差 电容器上标出的电容称为标称电容。允许偏差可由下式定义

$$\delta = \frac{C - C_R}{C_R} \times 100\% \quad (1-8)$$

式中 δ ——允许偏差；

C ——电容器实际电容 (F)；

C_R ——电容器标称电容 (F)。

(2) 耐压 耐压是指电容器在电路中长期可靠地工作允许加的最高直流电压或交流电压的有效值。

(3) 漏电阻 电容器介质并不是绝对的绝缘体，或多或少总有些漏电。用万用表电阻挡测试电容，指针稳定后所指示的值就是漏电阻。漏电阻越大，则漏电电流越小，说明漏电越小。

(二) 电容器的串联和并联

1. 电容器的串联 几个电容器首尾顺次相连无分岔的连接方式称为电容器的串联，如图 1-6 所示。电容器串联时有以下几个特点：

(1) 每个电容器上的电荷 Q 应相等，即

$$Q = Q_1 = Q_2 = \cdots = Q_n \quad (1-9)$$

(2) 总电压等于各个电容器上电压之和，即

$$U = U_1 + U_2 + \cdots + U_n \quad (1-10)$$

(3) 等效电容 C 的倒数等于每个电容器的电容的倒数之和，即

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \cdots + \frac{1}{C_n} \quad (1-11)$$

当两个电容器串联时

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \quad (1-12)$$

(4) 每个电容器分得的电压与电容成反比。当两个电容器串联时， C_1 、 C_2 分得的电压为

$$\begin{aligned} U_1 &= \frac{C_2}{C_1 + C_2} U \\ U_2 &= \frac{C_1}{C_1 + C_2} U \end{aligned} \quad (1-13)$$

式 (1-13) 为电容器串联时的分压公式。由式可见，电容串联时，电容较小的电容器承受的电压较高。

2. 电容器的并联 几个电容器的一端连在一起，另一端也连在一起，这种方式称为并联。如图 1-7 所示。电容器并联时有以下几个特点：

(1) 每个电容器两端的电压相同，即

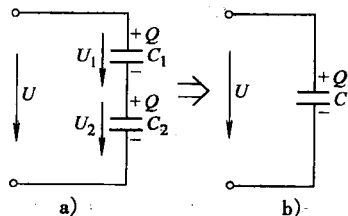


图 1-6 电容器串联
a) 串联电路 b) 等效电路

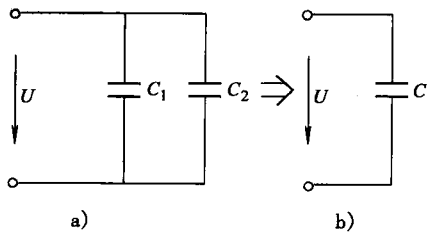


图 1-7 电容器并联及等效
a) 并联电路 b) 等效电路

$$U = U_1 = U_2 = \cdots = U_n \quad (1-14)$$

(2) 并联电路内的总电荷等于各电容器的电荷之和, 即

$$Q = Q_1 + Q_2 + \cdots + Q_n \quad (1-15)$$

(3) 当几个电容器并联时, 其等效电容 C 等于每个电容器的电容之和, 即

$$C = C_1 + C_2 + \cdots + C_n \quad (1-16)$$

(三) 电容器的充电和放电

1. 电容器的充电 把电容器与电阻串联后, 再接到端电压 U 为恒定值的电源两端, 使电容器充电, 如图 1-8 所示。在电路刚接通瞬间, 因电容器上无电荷, 它两端的电压为零, 这时充电电流最大

$$i_1 = U/R_1$$

随后, 由于电容器两极板上的电荷不断聚集, 电容器两端的电压就逐渐增大, 而电源的端电压与电容器的端电压之差却逐渐减小, 因此充电电流不断衰减。最后当电容器端电压和电源端电压相等时, 充电电流衰减到零, 至此充电便告结束, 电路处于稳态。此时电极上的电荷达到稳定值 Q 。

电容器在充电过程中, 它两端的电压 u_c 和充电电流 i_1 都是按指数规律变化的, 如图 1-9 所示。

$$u_c = U (1 - e^{-\frac{t}{R_1 C}}) \quad (1-17)$$

$$i_1 = \frac{U}{R_1} e^{-\frac{t}{R_1 C}} \quad (1-18)$$

由式 (1-17) 和式 (1-18) 可知, 当 $t = 0$ 时, $u_c = 0$, $i_1 = U/R_1$; 当 $t \rightarrow \infty$ 时, $u_c \rightarrow U$, $i_1 \rightarrow 0$ 。于是可得出以下几个很重要的结论:

(1) 当电路刚接通瞬间, 电容器在直流电路中作用, 相当于把电容器的两端短接; 当电容器达到稳定状态后, 电容器在直流电路中作用, 相当于把电路断开。

(2) 电容器两端的电压不可能突变, 它要延迟一定的时间后, 才能达到稳定值 U 。

(3) 电容器充电过程快慢与电阻 R_1 和电容 C 的乘积有关。 $R_1 C$ 越小, 则充电过程越快; 反之, 则越慢。 $R_1 C$ 称为电路的时间常数, 用 τ 表示

$$\tau = R_1 C \quad (1-19)$$

式中 τ ——时间常数 (s);

R_1 ——充电回路电阻 (Ω);

C ——电容 (F)。

实验证明, 只要经过 $(3 \sim 5) \tau$ 的充电时间就可认为充电过程基本结束。

(4) 电容器在充电过程中, 从电源处吸收电能, 把它储存在电容器的电场之中, 它所储存的最大能量为

$$W_c = \frac{1}{2} C U^2 \quad (1-20)$$

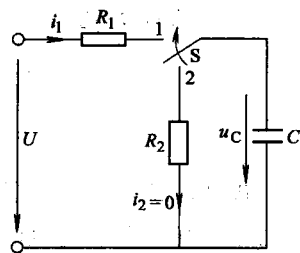


图 1-8 电容器的充电电路

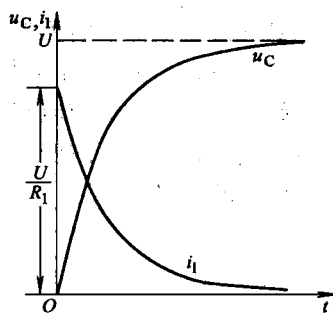


图 1-9 充电时 u_c 和 i_1 变化曲线

2. 电容器放电 在电容器充电完毕后, 把开关 S 从 1 端迅速扳到 2 端, 此时电容器开始放电, 如图 1-10 所示。同样, 在电路刚接通瞬间放电电流最大。随着电容器两极板上的电荷不断减少, 其两端的电压就逐渐降低。最后, 放电完毕, 放电电流便等于零, 电路达到新的稳态。

电容器在放电过程中, 它两端的电压 u_C 和放电电流 i_2 也是按指数规律变化的。

$$u_C = U e^{-\frac{t}{R_2 C}} \quad (1-21)$$

$$i_2 = -\frac{U}{R_2} e^{-\frac{t}{R_2 C}} \quad (1-22)$$

式 (1-22) 中 i_2 为负值, 表示放电电流与充电电流方向相反 (以电容充电时电流方向为参考正方向)。电容器放电时 u_C 和 i_2 变化曲线如图 1-11 所示。

电容器放电过程中所放出的能量, 就是它在充电过程中储存在电场中的全部能量。释放出的能量被电阻消耗, 电容器基本上不消耗能量。

综上所述, 在电阻和电容组成的电路中, 电容器充、放电时间的长短与电路的时间常数 RC 有关。选择不同的 R 、 C 值, 可改变电容器充、放电时间, 即改变充、放电的快慢。

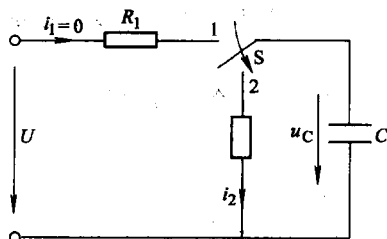


图 1-10 电容器的放电

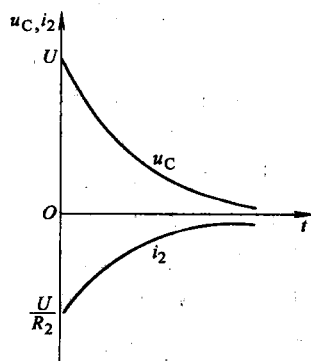


图 1-11 电容器放电时变化曲线

第二节 单相正弦交流电路

一、正弦交流电的表示法

对于正弦量, 一般都可“数”与“形”两种不同表达方式来描述。“数”的表示法包括三角函数式和复数形式; “形”的表示法包括波形图和相量图。

1. “数”的表示

(1) 三角函数式——解析式 正弦交流电压瞬时值可用三角函数表示为

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi)$$

(2) 复数形式 设正弦电压 $u = U_m \sin(\omega t + \varphi)$, 若用复数形式表示, 则为

$$\dot{U} = U e^{j\varphi} = U / \varphi \quad (1-23)$$

复数 $\dot{U}$ 包含了正弦电压的有效值和初相两个要素。若给定角频率 ω , 就可以完全确定一个正弦电压。把能表征正弦交流电的复数称为相量。在分析过程中, 暂不考虑 ω 的因素, 把正弦量用对应的相量表示。注意只有正弦量才能用相量表示。

2. “形”的表示

(1) 波形图 正弦电压 $u = U_m \sin(\omega t + \varphi)$ 的波形图如图 1-12a 所示。

(2) 相量图 作为一个复数 $\dot{U}$, 相量在复平面上用有向线段表示, 如图 1-12b 所示。相量在复平面上的图示称为相量图。注意, 只有同频率的正弦量才能画在同一相量图上, 并进