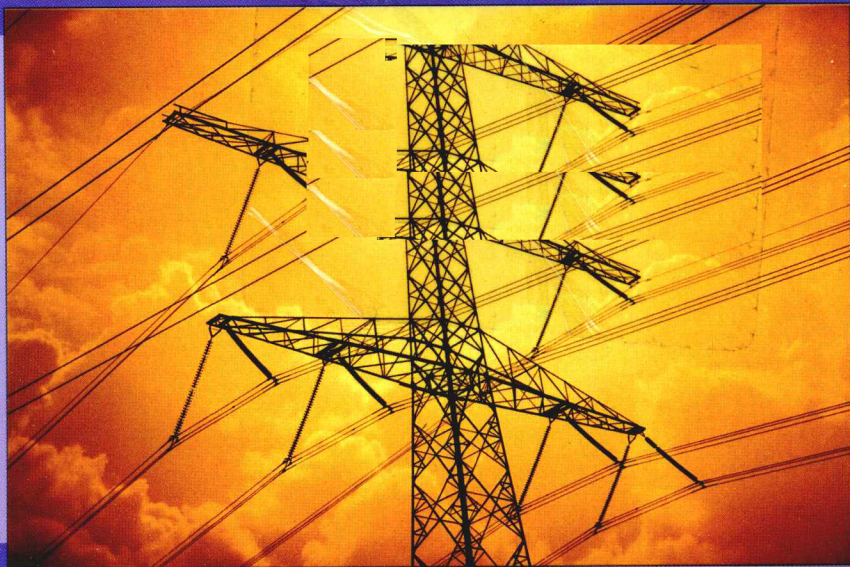


最新统一编写电力行业职业技能鉴定暨岗位培训教材

(初、中、高级工及技师 高级技师适用)

总主编 丁毓山 罗毅

# 配 电 线 路



知识

技能

题库

主 编 刘兴洲 肇毓君  
副主编 喻亮亮 程云峰



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

## 内 容 提 要

本书根据劳动和社会保障部的电力行业《国家职业技能鉴定规范》、电力行业职业技能鉴定指导中心的《电力行业职业技能鉴定指导书》(第二版)、《电力工人技术等级标准》及相关专业国家标准、行业标准和岗位规范编写,为《最新统一编写电力行业职业技能鉴定暨岗位培训教材》之一。

本书共七篇 27 章,内容包括:电工基础知识,电气设备,工程力学基础,配电网的规划,配电线路的施工、运行与维护,配电网自动化管理,技能操作等。为了便于学习和培训,每章后附有大量复习思考题,并附有答案。

本书为电力行业职业技能鉴定及岗位培训教材,也可供相关技术人员及管理人员在日常工作中学习和参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

配电线路 / 刘兴洲, 肇毓君主编. — 北京: 中国水利水电出版社, 2010. 2  
最新统一编写电力行业职业技能鉴定暨岗位培训教材  
初、中、高级工及技师、高级技师适用  
ISBN 978-7-5084-7215-7

I. ①配… II. ①刘… ②肇… III. ①配电线路—技术培训—教材 IV. ①TM726

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第023896号

书 名	最新统一编写电力行业职业技能鉴定暨岗位培训教材 (初、中、高级工及技师、高级技师适用) <b>配电线路</b>
总 主 编	丁毓山 罗毅
作 者	主 编 刘兴洲 肇毓君 副主编 喻亮亮 程云峰
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
刷 印	北京市地矿印刷厂
规 格	184mm×260mm 16开本 31印张 735千字
版 次	2010年2月第1版 2010年2月第1次印刷
印 数	0001—5000册
定 价	<b>58.00元</b>

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

# 前言

为了提高电力技术工人的业务素质，满足电力行业职业技能鉴定和岗位培训工作的需要，根据劳动和社会保障部制定的电力行业《国家职业技能鉴定规范》和电力行业技能鉴定指导中心组织编写的《电力职业技能鉴定指导书》（第二版）的要求，本书作者编写了《最新统一编写电力行业职业技能鉴定暨岗位培训教材·配电线路》。

随着电力体制改革的深入，我国电力网正在向大电网、大电厂、超高压和特高压、核电站、高度自动化的方向发展，输电网、配电网和发电厂正在经历着一次重大的变革。面对电力系统这种发展的新形势，以往教材的内容已略显陈旧，特别是有些内容与当代的现实相差较远。为了配合新形势下电力系统人员培训的需要，中国水利水电出版社决定，组织有关专家和培训一线的教师编写这套教材。其编写原则是：反映电力新技术、新设备、新方法，以满足当前电力企业的培训要求；不要求面面俱到，力求少而精，抓住重点，深入浅出。全书包含三方面内容：知识、技能、题库。为此，总主编聘请了辽宁省电力公司、沈阳农业大学、华北电力大学、中国农业大学、沈阳大学有关专家和教授参与编写。

本套培训教材在编写过程中注重各工种专业技术知识的系统性和全面性，将公用基础理论知识融汇到专业技术知识当中，力求做到学以致用，避免理论与实际相脱节。本套培训教材还具有专业技术丛书的功能，突出技能方面的要求，坚持实用性。本套培训教材不仅适用于各工种专业技术人员的岗位培训及职业技能考核的需要，而且对现场的工程技术人员，也有较好的参考价值。

本书共分七篇 27 章，其主要内容包括：电工基础知识，电气设备，工程力学基础，配电网的规划，配电线路的施工、运行与维护，配电网自动化管理，技能操作等。在附录中只给出了初级和中级人员的理论鉴定试题，以供参考。每章后面皆附有复习思考题与习题，并附有答案。

本套培训教材由丁毓山、罗毅担任总主编。

参与本书编写的人员有：刘兴洲、肇毓君、喻亮亮、刘志伟、白荣伟、

李伟、吴彤、于福海、董宏宇、张小辉、王庆旭、韦晓东、胡亚青、李文波、尚丽霞、亢文奇、金峰、刘志勇、孙兴有、明旭东、于长永、刘洋、邢路明、邢篮心、艾婷、韩晶晶、刘宁、李奎生、冯勃、王天策、周丽、程云峰、裴路国、侯庭阳、孙成宝、金开宇、张福华、吕志恒、唐艳、邢焱、周晓彤、鞠英俊、刘志、邹德清、刘春荣、吴秀华、陈春玲、丁毓山。全书由丁毓山、罗毅统稿。

提供资料并参加本书部分编写工作的还有：叶常容、谈文华、张强、王卫东、石威杰、贺和平、潘利杰、张娜、石宝香、李新歌、尹建华、苏跃华、刘海龙、李小方、李爱丽、王志玲、李自雄、陈海龙、韩国民、刘力侨、任翠兰、张洋、李翱翔、孙雅欣、李景、赵振国、任芳、吴爽、李勇高、杜涛涛、李启明、郭会霞、霍胜木、李青丽、谢成康、马荣花、张贺丽、薛金梅、李荣芳、孙洋洋、余小冬、丁爱荣、王文举、徐文华、李键、孙运生、王敏州、杨国伟、刘红军、白春东、魏健良、周凤春、董小玫、吕会勤、孙金力、孙建华、孙志红、孙东生、王惊、李丽丽等。

作者虽尽了很大努力，但疏漏之处定然难免，深望广大读者多加批评指正。

作者

2010年1月

## 前言

### 第一篇 电工基础知识

<b>第一章 直流电路</b> .....	1
第一节 直流电路基本概念和简单直流电路 .....	1
第二节 复杂电路计算 .....	8
复习思考题与习题 .....	11
<b>第二章 磁场的基本知识</b> .....	14
第一节 磁的性质和电流的磁场 .....	14
第二节 感应电势和载流导体受力 .....	17
复习思考题与习题 .....	21
<b>第三章 单相交流电路</b> .....	22
第一节 交流电路的基本概念 .....	22
第二节 单参数单相交流电路 .....	27
第三节 多参数单相交流电路 .....	29
复习思考题与习题 .....	36
<b>第四章 三相交流电路</b> .....	42
第一节 三相电势的产生和三相电路的连接 .....	42
第二节 不对称三相电路的概念和三相电路的功率 .....	45
第三节 三相电路的计算 .....	46
复习思考题与习题 .....	51

### 第二篇 电气设备

<b>第一章 变压器</b> .....	57
第一节 变压器的分类及工作原理 .....	57
第二节 变压器的额定技术数据 .....	59
第三节 变压器的构造 .....	62
第四节 分接开关与调压变压器 .....	67
第五节 温度计 .....	69
第六节 配电变压器 .....	70

第七节 配电变压器容量的确定和经济运行 .....	74
复习思考题与习题 .....	79
<b>第二章 仪用互感器</b> .....	<b>83</b>
第一节 电压互感器的用途、原理和参数 .....	83
第二节 电压互感器与绝缘监察 .....	90
第三节 电流互感器 .....	92
复习思考题与习题 .....	96
<b>第三章 断路器</b> .....	<b>99</b>
第一节 真空断路器的基本结构 .....	99
第二节 户内、户外真空断路器 .....	104
第三节 真空断路器机械参数及其调整 .....	107
第四节 真空断路器拒动处理及巡视要求 .....	110
第五节 截流过电压产生和对电机产生的危害 .....	112
第六节 六氟化硫(SF <sub>6</sub> )气体的特性安全防护 .....	115
第七节 SF <sub>6</sub> 断路器结构和灭弧原理 .....	118
第八节 SF <sub>6</sub> 断路器的管理 .....	123
复习思考题与习题 .....	128
<b>第四章 重合器、分段器与隔离开关</b> .....	<b>136</b>
第一节 重合器 .....	136
第二节 线路分段器 .....	138
第三节 FDK10—12/D型户外跌落式分段器 .....	139
第四节 配电开关 .....	141
第五节 开关设备与熔断器的配合 .....	144
第六节 隔离开关 .....	148
第七节 SF <sub>6</sub> 负荷开关 .....	150
复习思考题与习题 .....	153
<b>第五章 低压成套电器设备</b> .....	<b>158</b>
第一节 智能型箱式变电站 .....	158
第二节 DXB型12kV组合箱式变电站 .....	165
第三节 ZBW22—12型组合式变电站 .....	168
复习思考题与习题 .....	173
<b>第六章 雷电及防雷保护</b> .....	<b>175</b>
第一节 雷电的形成、参数及活动规律 .....	175
第二节 避雷针与避雷器 .....	179
第三节 线路的防雷保护 .....	183
第四节 配电变压器及配电设备的防雷保护 .....	185
第五节 变电站的防雷保护 .....	187
复习思考题与习题 .....	192

<b>第七章 接地和接零</b> .....	196
第一节 工作接地与保护接地 .....	196
第二节 保护接零 .....	201
第三节 接地装置 .....	206
复习思考题与习题 .....	209
<b>第八章 配电网的无功补偿</b> .....	212
第一节 配电网的无功补偿规划 .....	212
第二节 从提高功率因数的观点确定补偿容量 .....	218
第三节 考虑负荷分布时配电线路补偿容量和补偿位置的确定 .....	222
复习思考题与习题 .....	225

### 第三篇 工程力学基础

<b>第一章 力的基本公理与定理</b> .....	227
第一节 力的基本概念 .....	227
第二节 平面汇交力系的合成与分解 .....	231
第三节 力矩与力偶 .....	234
第四节 弯曲的概念 .....	239
复习思考题与习题 .....	240
<b>第二章 力学在送电线路中的应用</b> .....	242
第一节 力矩平衡与长度计算 .....	242
第二节 起重与应力计算 .....	244
复习思考题与习题 .....	248

### 第四篇 配电网的规划

<b>第一章 配电网电力负荷的预测</b> .....	249
第一节 配电网电力负荷的预测内容和方法 .....	249
第二节 负荷曲线 .....	251
第三节 负荷预测的一般方法 .....	254
第四节 预测精度分析 .....	258
复习思考题与习题 .....	260
<b>第二章 供电电源规划</b> .....	263
第一节 电源规划的原则和步骤 .....	263
第二节 变电站规划 .....	266
复习思考题与习题 .....	273
<b>第三章 城网和农网规划</b> .....	276
第一节 架空送电线路及高压配电线路的规划要求 .....	276
第二节 供电方式和 N-1 准则 .....	278

第三节	电网规划程序	282
第四节	电网规划中的容载比	292
第五节	线路长度的比例配置	295
第六节	农网规划的一般问题	298
	复习思考题与习题	301

## 第五篇 配电线路的施工、运行与维护

<b>第一章</b>	<b>配电线路的杆塔</b>	304
第一节	配电线路概述	304
第二节	架空配电线路的杆塔	309
	复习思考题与习题	317
<b>第二章</b>	<b>电缆线路</b>	319
第一节	电力电缆线路的敷设要求及方法	319
第二节	配电电缆截面的优化选择	323
第三节	电缆线路本体工程概算方法	326
第四节	电缆工程概算表	330
	复习思考题与习题	335
<b>第三章</b>	<b>架空线路的施工</b>	337
第一节	电杆基础、杆头组装和立杆	337
第二节	拉线及其安装	344
第三节	导线的连接	350
第四节	导线架设	353
第五节	接户线	360
	复习思考题与习题	362
<b>第四章</b>	<b>架空配电线路和电缆的运行</b>	368
第一节	架空配电线路的运行	368
第二节	电缆线路的运行	371
	复习思考题与习题	378
<b>第五章</b>	<b>配电线路的防护</b>	381
第一节	配电线路的防雷	381
第二节	防污	383
第三节	导线的故障及其防止措施	385
第四节	倒杆、断杆和断横担故障及其防止措施	390
第五节	绝缘子故障及其防止措施	392
第六节	跌落式保险器故障及其防止措施	393
	复习思考题与习题	395
<b>第六章</b>	<b>杆塔的基础施工和弧垂观测</b>	397
第一节	杆塔基础	397



第二节 弧垂的观测 .....	406
第三节 导线对跨越物的垂距测量 .....	409
复习思考题与习题 .....	412

## 第六篇 配电网自动化管理

<b>第一章 配电网自动化的一般问题</b> .....	415
第一节 配电网自动化的发展和通信手段 .....	415
第二节 配电网自动化方案及设备选型 .....	419
第三节 配电网 GIS 功能的描述 .....	423
复习思考题与习题 .....	425
<b>第二章 配电自动化系统</b> .....	427
第一节 概述 .....	427
第二节 TOSCAN—D3000C 配电自动化系统 .....	428
第三节 DA—2000 配电自动化系统 .....	430
复习思考题与习题 .....	434

## 第七篇 技能操作

<b>第一章 单项操作</b> .....	435
<b>第二章 多项操作</b> .....	446
<b>第三章 综合操作</b> .....	453

## 附 录

<b>附录一 配电线路职业技能鉴定初级工试题</b> .....	457
<b>附录二 配电线路职业技能鉴定高级工试题</b> .....	459
<b>附录三 配电线路职业技能鉴定中级工试题</b> .....	460
<b>附录四 配电线路专业考核题集锦及答案</b> .....	463

# 第一篇 电工基础知识

## 第一章 直流电路

### 第一节 直流电路基本概念和简单直流电路

#### 一、电流

导体中的自由电子在电场力的作用下，作有规则的定向运动，称为电流。工程上规定正电荷移动的方向为电流的方向。因此，在金属导体中，电流的方向与自由电子的实际移动方向是相反的。

电流的大小用电流强度来表示，其数值等于单位时间内通过导体截面的电量，通常用符号  $I$  表示，即

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-1-1)$$

式中  $I$ ——电流强度，A；

$Q$ ——通过导体截面的电荷量，C；

$t$ ——通过电荷量  $Q$  所用的时间，s。

电流强度的单位可用 kA（千安）、A（安）、mA（毫安）、 $\mu$ A（微安）表示，它们之间的换算关系是

$$1\text{kA} = 1000\text{A}$$

$$1\text{A} = 1000\text{mA}$$

$$1\text{mA} = 1000\mu\text{A}$$

#### 二、电位和电压

##### 1. 电位

电场中某点的电位，在数值上等于单位正电荷沿任意路径从该点移至无限远处电场力所做的功。其单位为 V（伏特），简称伏。

在电场中电位等于零的点叫做参考点，凡电位高于零电位的点，电位为正；凡电位低于零电位的点，其电位为负。通常往往以大地作为参考点。

##### 2. 电压

电场中任意两点间的电压，等于这两点电位差。因此，电压也称电位差。

电压的单位可用 kV（千伏）、V（伏）、mV（毫伏）、 $\mu$ V（微伏）表示，它们之间的换算关系是

$$1\text{kV} = 1000\text{V}$$

$$1\text{V} = 1000\text{mV}$$

$$1\text{mV} = 1000\mu\text{V}$$

电场中各点的电位，随着参考点的改变而不同，但是无论参考点如何改变，任意两点间的电位差是不变的。电压的正方向是从高电位点指向低电位点。

### 三、电势

电势是电源内部的电源力，常称局外力，将单位正电荷从电源负极移到正极时所做的功。因此电源电势是衡量电源力做功能力的物理量，可用下式表示

$$E = \frac{A}{Q} \quad (1-1-2)$$

式中  $E$ ——电势，V；

$A$ ——电源力所做的功，J；

$Q$ ——正电荷的电荷量，C。

电势的方向规定为电源力推动正电荷运动的方向，即从负极指向正极的方向，也就是电位升高的方向。

### 四、电阻和电阻率

在电场力的作用下，电流在导体中流动时，所受到的阻力，称为电阻，用“ $R$ ”或“ $r$ ”表示。电阻常用的单位为： $M\Omega$ （兆欧）、 $k\Omega$ （千欧）、 $\Omega$ （欧），它们之间的换算关系是

$$1M\Omega = 1000000\Omega$$

$$1k\Omega = 1000\Omega$$

$$1\Omega = 1000m\Omega = 1000000\mu\Omega$$

当导体两端的电压是1V，导体中的电流是1A时，这段导体的电阻为1 $\Omega$ 。即

$$1\Omega = \frac{1\text{V}}{1\text{A}}$$

同一种材料对电流的阻力，主要决定于导体的长度和横截面积。如截面积相同时，则导体越长，电阻越大；如长度相同时，则截面积越大，电阻越小。所以电阻与导线长度 $L$ 成正比；而与导线截面积 $S$ 成反比。即

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-1-3)$$

式中  $\rho$ ——电阻率， $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 。

$\rho$ 的物理意义是：在20 $^{\circ}\text{C}$ 时，长度为1m，横截面积为1 $\text{mm}^2$ 的导线的电阻值。与材料性质有关， $\rho$ 值越小，导电性能越好。

### 五、导体电阻与温度关系

电流通过导体时，其温度增高；导体的环境温度增高时，其温度也增高。温度升高，导体中分子运动加快，电子与分子碰撞机会增多，致使导体的电阻增大。表1-1-1中所列的 $R$ 值为20 $^{\circ}\text{C}$ 时的数值，温度增高， $R$ 值增大。

为了考虑温度对导体电阻的影响，引入了温度系数 $\alpha$ ，其物理意义是：温度每升高

1°C时, 1Ω电阻的变化量。

设温度为  $t^\circ\text{C}$  时电阻的数值为  $R_t$ , 若温度由  $t^\circ\text{C}$  增加到  $T^\circ\text{C}$ , 则电阻的变化量为

$$\Delta R = R_t \alpha (T - t)$$

表 1-1-1 温度为 20°C 时的  $\rho$  和  $\alpha$  值

材 料	$\rho\left(\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}\right)$	$\alpha\left(\frac{1}{^\circ\text{C}}\right)$	材 料	$\rho\left(\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}\right)$	$\alpha\left(\frac{1}{^\circ\text{C}}\right)$
铜	0.0175	0.004	锡	0.114	0.00438
铝	0.0283	0.004	铅	0.222	0.00387
铁	0.1	0.0057	康铜	0.44	0.00004

由此, 在  $T^\circ\text{C}$  时电阻的总值应为电阻的原值  $R_t$  加上变化值  $\Delta R$ , 即

$$R_T = R_t + \Delta R = R_t + R_t \alpha (T - t) = R_t [1 + \alpha (T - t)] \quad (1-1-4)$$

式中  $R_T$ ——温度为  $T^\circ\text{C}$  时的电阻,  $\Omega$ ;

$R_t$ ——温度为  $20^\circ\text{C}$  时的电阻,  $\Omega$ 。

## 六、欧姆定律

### 1. 简单直流电路的意义

简单直流电路是指能用欧姆定律做电阻串、并、混联求解的电路。

### 2. 电路欧姆定律

外电路欧姆定律指出: 在一段电路中, 流过电阻  $R$  的电流  $I$  与电阻两端的电压  $U$  成正比, 而与这段电路的电阻成反比。用公式表示是

$$I = \frac{U}{R}; \quad U = IR; \quad R = \frac{U}{I} \quad (1-1-5)$$

式中  $U$ ——电压, V;

$I$ ——电流, A;

$R$ ——电阻,  $\Omega$ 。

### 3. 全电路欧姆定律

全电路欧姆定律是用来说明在一个闭合电路中, 电势、电压、电流、电阻之间基本关系的定律。即, 在一个闭合电路中, 电流与电源的电势  $E$  成正比, 与电路中电源的内阻  $r$  和外电阻  $R$  之和成反比。用公式表示为

$$I = \frac{E}{R + r} \quad (1-1-6)$$

式中  $E$ ——电路中电源电势, V;

$I$ ——电流, A;

$R$ ——外电阻, 即负载电阻,  $\Omega$ ;

$r$ ——电源内阻,  $\Omega$ 。

## 七、功和功率

在一段时间内, 电源力 (电场力) 所做的功称为电功或电能, 电能用符号  $A$  表示。其总值是焦耳 (J)。通常电能也以电量的形式表现, 以千瓦时 ( $\text{kW} \cdot \text{h}$ ) 为单位, 称为

度。两者之间的换算关系为

$$1\text{kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{J}$$

单位时间内电源力所做的功称为电功率。电功率用符号  $P$  表示，常用的单位为 kW（千瓦）、W（瓦）等，即

$$1\text{kW} = 1000\text{W}$$

$$1\text{W} = 1000\text{mW}$$

电功率的计算公式为

$$P = \frac{A}{t} = \frac{UIt \times 10^{-3}}{t} = UI \times 10^{-3} = I^2 R \times 10^{-3} = \frac{U^2}{R} \times 10^{-3} \quad (1-1-7)$$

式中  $P$ ——电功率，kW；

$t$ ——时间，h；

$A$ ——电能，kW·h。

$$1\text{kW} = 1.36 \text{ 马力}$$

## 八、电流的热效应

当电流流过导体时，由于导体具有一定的电阻，因此，就要消耗一定的电能。这些电能不断地转变为热能，使导体温度升高，这种现象就叫做电流的热效应。根据能量守恒原理，电路中消耗的电功率将全部转换为热功率，由式（1-1-7）知

$$Q = 0.24I^2 R \quad (1-1-8)$$

式中 0.24——热功当量。

## 九、短路和断路

如果电源通向负载的两根导线不经过负载而相互直接接通，就发生了电源被短路的情况。这时电路中的电流可能增大到远远超过导线所允许的电流限度。

断路，一般是指电路中某一部分断开，例如导线、电气设备的线圈等断线，使电流不能导通的现象。

短路会造成电气设备的过热，甚至烧毁电气设备、引起火灾。同时，短路电流还会产生很大的电动力，造成电气设备损坏，严重的短路事故甚至还会破坏系统稳定，所以对运行中的电气设备必须采取一定的保护措施，例如安装自动开关、熔断器等，当发生短路故障时，这些装置可将短路点及时切除，以防止短路造成电气设备的损坏。

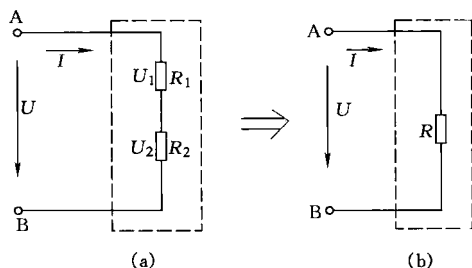


图 1-1-1 串联电路

(a) 实际电路；(b) 等效电路

## 十、电阻串并联电路

### 1. 串联电路

图 1-1-1 所示的为两个电阻  $R_1$ 、 $R_2$  的串联电路，其特点是：

(1) 两个电阻  $R_1$ 、 $R_2$  首尾相接，没有分支。

(2) 电路总电压等于  $R_1$ 、 $R_2$  上的分电压  $U_1$ 、 $U_2$  之和。

(3) 所有电阻流过相同的电流。

串联电路的总电阻等于参与串联的所有电阻之和，即

$$R = R_1 + R_2$$

对于  $n$  个电阻的串联电路的总电阻等于

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (1-1-9)$$

### 2. 电阻的并联

并联电路的特点是：

(1) 所有参加并联电阻的首端并接在一起，末端并接在一起，所有电阻受相同电压的作用，如图 1-1-2 所示。

(2) 并联电路总电流  $I$  等于各个并联电阻的电流  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $\dots$ 、 $I_n$  之和。如果用图 1-1-2 (b) 来等效图 1-1-2 (a)，就是用  $R$  来代替

$R_1$ 、 $R_2$  的作用。对图 1-1-2 (a) 的总电流，应等于所有电阻的各个分电流之和，即

$$I = \frac{U}{R} = I_1 + I_2 = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} = U \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (1-1-10)$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (1-1-11)$$

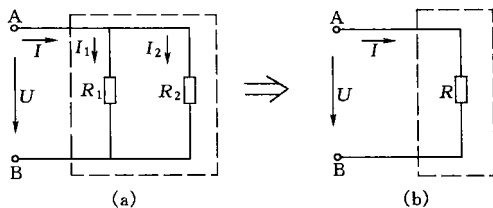
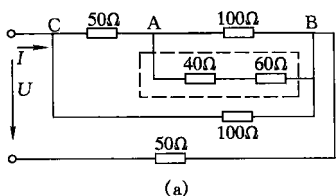


图 1-1-2 并联电路

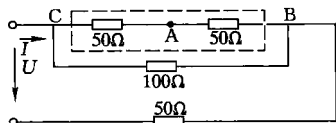
(a) 实际电路；(b) 等效电路

### 3. 算例

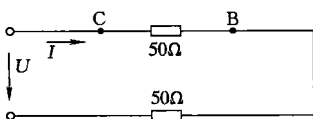
【例 1-1-1】 已知在图 1-1-3 中， $U=220\text{V}$ ，各电阻的阻值标注在图中，求电路的总电流。



(a)



(b)



(c)

图 1-1-3

的总电流。

解：

计算 A、B 两点间的电阻为

$$R_{AB} = \frac{100 \times 100}{100 + 100} = 50(\Omega)$$

计算 C、B 两点间的电阻为

$$R_{CB} = \frac{100 \times 100}{100 + 100} = 50(\Omega)$$

电路的总电流为

$$I = \frac{U}{50 + 50} = \frac{220}{100} = 2.2(\text{A})$$

【例 1-1-2】 在图 1-1-4 中， $R_1=900\Omega$ ， $R_2=300\Omega$ ， $R_3=300\Omega$ ， $R_4=150\Omega$ ， $R_5=600\Omega$ ，求开关 S 打开和闭合时的等效电阻  $R_{ab}$ 。

解：

当开关 S 打开时

$$\begin{aligned} R_{ab} &= \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2 + R_4} + \frac{1}{R_3 + R_5}} \\ &= \frac{1}{\frac{1}{900} + \frac{1}{300 + 150} + \frac{1}{300 + 600}} = 225(\Omega) \end{aligned}$$

当开关 S 闭合时

$$R_{23} = \frac{300 \times 300}{300 + 300} = 150(\Omega)$$

$$R_{45} = \frac{150 \times 600}{150 + 600} = 120(\Omega)$$

$$R_{ab} = \frac{270 \times 900}{270 + 900} \approx 207.69(\Omega)$$

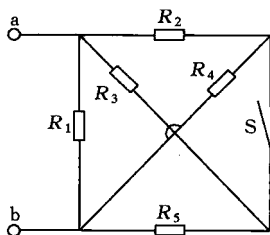


图 1-1-4

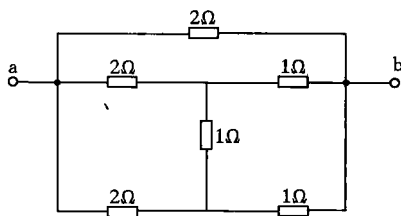


图 1-1-5

【例 1-1-3】 一个电路如图 1-1-5 所示，求它的等效电阻  $R_{ab}$ 。

解：从图中可以看到其中一个电桥存在，由于电桥的对角电阻乘积相等，所以这个电桥是平衡的， $R_{ab}$  等效电阻为

$$R_{ab} = \frac{\frac{2+1}{2} \times 2}{\frac{2+1}{2} + 2} = \frac{6}{7} \approx 0.857(\Omega)$$

## 十一、电容电路中的物理现象

### 1. 电容电路中的物理现象

能够储存电荷的容器称为电容器，例如，两块金属板便可构成一个电容器，如图 1-1-6 所示。在极板面积一定的条件下，电容器的正、负极板上积累的电荷  $Q$  越多，其极板间的电位差越高。

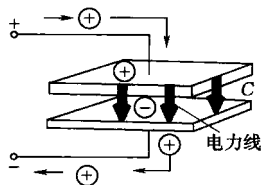


图 1-1-6 电容器

电容器电容的大小是按照下述方法定义的：两极板间的电压升高 1V 所需要的电荷量，称为电容器的电容，单位为法拉，简称法，用符号 F 表示。若将两极板间电压提高 100V，所需的电荷量为 50C，则该电容器的电容  $C$  为

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{50C}{100V} = 0.5(F) \quad (1-1-12)$$

$$1F = 10^6 \mu F = 10^6 pF$$

在这里有一个很重要的概念是：电容器两端电压与电荷量成正比例，即  $Q=CU$ 。由于极板上电荷量  $Q$  必须逐步积累，不能突变，所以电容器两端电压不能突变。

此外，若电容器两端电压上升得快，表明极板上电荷积累得快，通过电容器的电流就越大；若两端电压下降得快，表明电荷泄放得快，其放电电流就越大。可见电容器中的电

流由端电压随时间的变化率确定。因此，通过电容器的电流只能是暂态电流和交流。

电容器两端电压上升，称为充电过程；电容器两端电压下降，称为放电过程。

## 2. 电容的串并联计算公式

### (1) 电容的并联计算公式。

电容的并联公式如同电阻的串联计算公式一样，如若有  $n$  个电容并联，则总电容为

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n \quad (1-1-13)$$

因为电容并联相当于电容器的极板扩大一样。

### (2) 电容的串联计算公式。

电容的串联公式如同电阻的并联计算公式一样，如若有  $n$  个电容并联，则总电容的倒数为

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} \quad (1-1-14)$$

对于两个电容则有

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \quad (1-1-15)$$

因为电容串联是把电荷量按电容器的容量分布在各个极板上，相当电容器的极板缩小一样。

## 3. 算例

**【例 1-1-4】** 图 1-1-7 中，电容器  $C_1=1\mu\text{F}$ ， $C_2=3\mu\text{F}$ ， $C_3=6\mu\text{F}$ ， $C_4=2\mu\text{F}$ ， $U=100\text{V}$ ，求各电容器电压。

解：

$$C_5 = \frac{C_3 \times C_4}{C_3 + C_4} + C_2 = \frac{6 \times 2}{6 + 2} + 3 = \frac{9}{2} (\mu\text{F})$$

因为

$$\frac{C_1}{C_5} = \frac{U_5}{U_1}$$

$$U_1 + U_5 = 100\text{V}$$

则

$$U_1 = 81.8\text{V}$$

$$U_5 = U_2 = 18.2\text{V}$$

$$\frac{C_3}{C_4} = \frac{U_4}{U_3}$$

$$U_3 + U_4 = 18.2\text{V}$$

$$U_3 = 4.55\text{V}$$

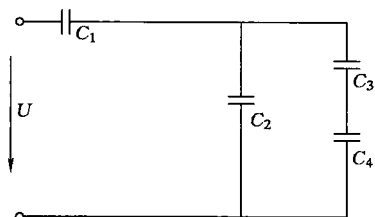


图 1-1-7 求各电容器端电压

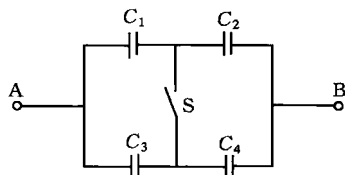


图 1-1-8 求 S 断开与闭合时，A、B 两点的等效电容



$$U_4 = 13.6\text{V}$$

【例 1-1-5】 在图 1-1-8 中,  $C_1 = 0.2\mu\text{F}$ ,  $C_2 = 0.3\mu\text{F}$ ,  $C_3 = 0.8\mu\text{F}$ ,  $C_4 = 0.2\mu\text{F}$ , 求开关 S 断开与闭合时, A、B 两点的等效电容  $C_{AB}$ 。

解:

开关断开时

$$C_{AB} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} + \frac{C_3 C_4}{C_3 + C_4} = \frac{0.2 \times 0.3}{0.2 + 0.3} + \frac{0.8 \times 0.2}{0.8 + 0.2} = 0.28(\mu\text{F})$$

开关闭合时

$$C_{AB} = \frac{(C_1 + C_3)(C_2 + C_4)}{C_1 + C_2 + C_3 + C_4} = \frac{(0.2 + 0.8)(0.3 + 0.2)}{1.5} = 0.33(\mu\text{F})$$

## 第二节 复杂电路计算

### 一、基尔霍夫第一定律

#### 1. 节点的定义

复杂电路是不能用串、并、混联简化的电路。在电路中三条及以上电路汇聚的一点, 叫做节点。

#### 2. 支路的定义

在电路中两个节点之间的电路元件叫做支路。即支路可以有源元件, 也可以是无源元件。

#### 3. 回路的定义

由数条支路所构成的闭合电路, 叫做回路。

#### 4. 基尔霍夫第一定律的内容

基尔霍夫第一定律的内容是: 在网络中, 汇聚于电路节点所有电流的代数和等于零。例如, 对于图 1-1-9 的节点 A 有

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0 \quad (1-1-16)$$

或者写成

$$\sum_A I = 0$$

式中  $\sum_A$  号下的字母 A 表示节点 A。

基尔霍夫第一定律也称为节点电流定律。节点电流的方向如果假定流入为正, 则流出为负, 或者相反。第一定律说明流入节点的电流等于流出节点的电流, 它实质上是电荷不灭定律, 即在节点处电荷既不能消失, 也不能再生, 更不能储存, 流出的电荷等于流入的电荷。

### 二、基尔霍夫第二定律

基尔霍夫第二定律的内容是: 在闭合回路中, 所有电势的代数和等于回路中所有电阻压降的代数和。现利用图 1-1-10 来证明这个结论。

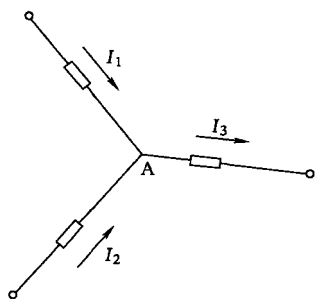


图 1-1-9 基尔霍夫第一定律图形