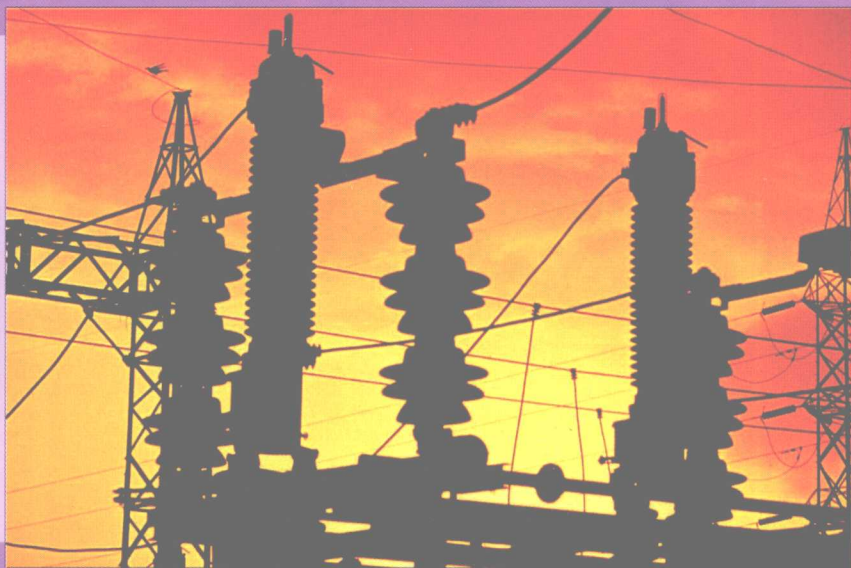


最新统一编写电力行业职业技能鉴定暨岗位培训教材

(初、中、高级工及技师、高级技师适用)

总主编 丁毓山 罗毅

变电站值班员



知识

技能

题库

主编 张中清 张运山



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

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

变电站值班员

主编 张中清 张运山



152545

广西工学院鹿山学院图书馆



d152545



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。

本书共分6篇22章,内容包括:电工基础知识,电气设备,箱式变电站与无功补偿,变电站的主接线和倒闸操作,微机保护,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与习题,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

变电站值班员 / 张中清, 张运山主编. — 北京 :
中国水利水电出版社, 2010. 1

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 978-7-5084-7234-8

I. ①变… II. ①张… ②张… III. ①变电所—电工
—技术培训—教材 IV. ①TM63

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第025926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) 变电站值班员 |
| 总 主 编 | 丁毓山 罗毅 |
| 作 者 | 主 编 张中清 张运山 |
| 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 |
| 印 刷 | 北京纪元彩艺印刷有限公司 |
| 规 格 | 184mm×260mm 16开本 31.25印张 741千字 |
| 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 | 58.00元 |

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·变电站值班员》。

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，以往教材的内容以略显陈旧，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6篇22章，其主要内容包括：电工基础知识，电气设备，箱式变电站与无功补偿，变电站的主接线和倒闸操作，微机保护，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：张中清、张运山、刘志伟、白荣伟、李伟、吴彤、

于福海、董宏宇、刘兴洲、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、罗毅、赵振伟、黄怡然、耿光飞、王向臣、曹一萍、徐宏全、杜江、周世新、吴运峰、赵友鹏、金永柱、苗庆仁、刘武、杜琳、李茂林、赵铁民、邹晶、寇艳秋、胡建光、姜新明、曹晋利、唐立敏、周丽、王天策、侯庭阳、程云峰、李奎生、李伟、刘宁、吴秀华、张锦梅、张立富、朱显富、张福华、邢焱、唐燕、高宏、刘佳。全书由丁毓山、罗毅同志统稿。

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

目 录

前言

第一篇 电工基础知识

| | |
|-----------------------------------|----|
| 第一章 直流电路 | 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 | 6 |
| 复习思考题与习题 | 14 |
| 第二章 电与磁 | 24 |
| 第一节 磁的性质和电流的磁场 | 24 |
| 第二节 感应电势和载流导体受力 | 28 |
| 复习思考题与习题 | 32 |
| 第三章 单相交流电路 | 34 |
| 第一节 R 、 L 、 C 串联电路的分析 | 34 |
| 第二节 R 、 L 、 C 并联电路的分析 | 38 |
| 复习思考题与习题 | 40 |
| 第四章 三相交流电路 | 49 |
| 第一节 三相电势的产生和三相电路的连接 | 49 |
| 第二节 不对称三相电路的概念和三相电路的功率 | 55 |
| 复习思考题与习题 | 59 |

第二篇 电气设备

| | |
|---------------------------|-----|
| 第一章 变压器 | 69 |
| 第一节 变压器的发展 | 69 |
| 第二节 变压器的工作原理和结构组成 | 73 |
| 第三节 变压器的运行和中点接地方式 | 81 |
| 第四节 变压器经济运行 | 85 |
| 第五节 无载分接开关的运行、检测与调试 | 93 |
| 第六节 电力变压器有载分接开关的运行 | 97 |
| 第七节 变压器安全运行 | 103 |
| 第八节 变压器的正常运行 | 110 |
| 第九节 变压器的异常运行和事故处理 | 116 |

| | |
|---|-----|
| 复习思考题与习题 | 122 |
| 第二章 电压和电流互感器 | 125 |
| 第一节 电压互感器 | 125 |
| 第二节 电压互感器的使用维护和故障处理 | 130 |
| 第三节 电流互感器 | 133 |
| 第四节 电流互感器常见故障与处理 | 138 |
| 复习思考题与习题 | 141 |
| 第三章 断路器 | 145 |
| 第一节 真空断路器的基本结构 | 145 |
| 第二节 户内、户外真空断路器 | 150 |
| 第三节 真空断路器机械参数及其调整 | 152 |
| 第四节 真空断路器拒动处理及巡视要求 | 156 |
| 第五节 截流过电压产生和对电机产生的危害 | 157 |
| 第六节 真空断路器的应用 | 161 |
| 第七节 六氟化硫 (SF ₆) 气体的特性安全防护 | 164 |
| 第八节 SF ₆ 断路器结构和灭弧原理 | 167 |
| 第九节 SF ₆ 断路器的管理 | 172 |
| 复习思考题与习题 | 177 |
| 第四章 重合器、分段器与隔离开关 | 185 |
| 第一节 重合器 | 185 |
| 第二节 线路分段器 | 187 |
| 第三节 FDK10—12/D 型户外跌落式分段器 | 188 |
| 第四节 配电开关 | 190 |
| 第五节 开关设备与熔断器的配合 | 193 |
| 第六节 隔离开关和负荷开关 | 197 |
| 第七节 SF ₆ 负荷开关 | 200 |
| 复习思考题与习题 | 202 |
| 第五章 消弧线圈的运行 | 208 |
| 第一节 小接地系统的单相接地运行 | 208 |
| 第二节 消弧线圈的作用原理及补偿方式 | 209 |
| 第三节 消弧线圈的运行 | 211 |
| 复习思考题与习题 | 211 |
| 第六章 防雷与接地 | 213 |
| 第一节 大气过电压 | 213 |
| 第二节 避雷器与避雷针 | 217 |
| 第三节 金属氧化物避雷器的接线分析 | 224 |
| 第四节 金属氧化物避雷器损坏的原因 | 228 |
| 第五节 变电站的防雷保护 | 231 |

| | |
|----------------|-----|
| 第六节 接地 | 234 |
| 复习思考题与习题 | 238 |

第三篇 箱式变电站与无功补偿

| | |
|----------------------------|-----|
| 第一章 箱式变电站及其运行 | 241 |
| 第一节 箱式变电站概述 | 241 |
| 第二节 箱变配变、补偿电容的容量确定 | 244 |
| 第三节 箱式变电站的运行 | 247 |
| 第四节 箱变的安装与现存问题 | 249 |
| 第五节 箱式变电站的操作与维护 | 254 |
| 第六节 箱式变电站实例 | 256 |
| 复习思考题与习题 | 265 |
| 第二章 配电网的无功补偿 | 267 |
| 第一节 配电网的无功补偿概述 | 267 |
| 第二节 补偿容量的确定和电容器的运行 | 271 |
| 复习思考题与习题 | 275 |

第四篇 变电站的主接线和倒闸操作

| | |
|-------------------------------|-----|
| 第一章 变电站的主接线 | 278 |
| 第一节 变电站的主接线装设原则 | 278 |
| 第二节 几种常用的主接线 | 279 |
| 复习思考题与习题 | 288 |
| 第二章 变电站倒闸操作 | 289 |
| 第一节 电业安全工作规程关于倒闸操作的有关规定 | 289 |
| 第二节 倒闸操作的实施 | 294 |
| 第三节 倒闸操作的实例 | 296 |
| 第四节 变电站倒闸操作综合举例 | 299 |
| 第五节 220kV 变电站倒闸操作规程实例 | 306 |
| 第六节 电网运行管理 | 309 |
| 复习思考题与习题 | 313 |

第五篇 微机保护

| | |
|--------------------------|-----|
| 第一章 继电保护概述 | 315 |
| 第一节 继电保护基础 | 315 |
| 第二节 数据采集系统 | 323 |
| 第三节 A/D 转换电路 | 328 |
| 第四节 开关量、模拟量输入、输出电路 | 334 |

| | |
|-------------------------------|-----|
| 复习思考题与习题 | 340 |
| 第二章 变送器 | 343 |
| 第一节 电流、电压变送器 | 344 |
| 第二节 功率变送器 | 346 |
| 第三节 电量变送器和频率变送器 | 351 |
| 第四节 影响变送器精度的因素和提高精度的方法 | 354 |
| 第五节 交流变送器和小电流接地选线变送器 | 355 |
| 复习思考题与习题 | 356 |
| 第三章 微机保护的软件 | 359 |
| 第一节 微机保护软件的系统配置 | 359 |
| 第二节 微机保护主程序 | 361 |
| 第三节 采样中断服务程序原理 | 363 |
| 第四节 故障处理程序框图原理 | 366 |
| 复习思考题与习题 | 369 |
| 第四章 微机线路保护 | 372 |
| 第一节 35kV/10kV 微机线路保护的整定计算 | 372 |
| 第二节 66kV 微机线路保护装置 | 375 |
| 第三节 微机零序电流方向保护 | 383 |
| 第四节 距离保护的有关概念 | 386 |
| 复习思考题与习题 | 388 |
| 第五章 变压器保护 | 390 |
| 第一节 概述 | 390 |
| 第二节 瓦斯保护 | 393 |
| 第三节 变压器比率差动保护与保护判据 | 396 |
| 第四节 按二次、偶次谐波原理形成的差动保护 | 402 |
| 第五节 变压器微机后备保护 | 405 |
| 第六节 阻抗保护 | 409 |
| 复习思考题与习题 | 411 |
| 第六章 综合自动化厂站端总体布局 | 414 |
| 第一节 布局方式 | 414 |
| 第二节 110kV 变电站厂站的综合自动化装置总体布局方案 | 416 |
| 第三节 设备配置 | 420 |
| 第四节 RTU | 422 |
| 第五节 厂站端总体布局举例 | 424 |
| 复习思考题与习题 | 445 |

第六篇 技能操作

| | |
|--------------------|-----|
| 第一章 初级工单项操作 | 447 |
|--------------------|-----|

第二章 多项操作、综合操作节选..... 461

附 录

附录一 变电站值班员职业技能鉴定初级工试卷..... 472
附录二 变电站值班员职业技能鉴定中级工试卷..... 476
附录三 变电站值班员职业技能鉴定考核题集锦..... 480

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，做有规则的定向运动，称为电流。习惯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千安 (kA)、安 (A)、毫安 (mA)、微安 (μ A) 表示，且

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

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

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

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。其单位为伏特，简称伏 (V)。

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。

电压的单位可用千伏 (kV)、伏 (V)、毫伏 (mV)、微伏 (μ V) 表示，即

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

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

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

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、电源的电势

电势是电源内部的电源力，常称局外力，是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，可用下式表示为

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

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。电阻常用的单位为兆欧（ $M\Omega$ ）、千欧（ $k\Omega$ ）、欧（ Ω ），即

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

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

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

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 Ω 。即

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

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

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

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。

表 1-1-1

温度为20 $^{\circ}\text{C}$ 时的 ρ 和 α 值

| 材料 | ρ ($\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$) | α ($\frac{1}{^{\circ}\text{C}}$) | 材料 | ρ ($\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$) | α ($\frac{1}{^{\circ}\text{C}}$) |
|----|---|--|----|---|--|
| 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 |

为了考虑温度对导体电阻的影响,引入了温度系数 α ,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 时电阻的数值为 R_t ,若温度由 t 增加到 T ,则电阻的变化量为

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

由此,在 T 时电阻的总值应为电阻的原值 R_t 加上变化值 ΔR ,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 时的电阻, Ω ;

R_t ——温度为 t 时的电阻, Ω 。

五、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对电阻串、并、混联求解的电路。

2. 外电路欧姆定律

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

$$I = \frac{U}{R}$$

或写成

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

式中 U ——电压, V ;

I ——电流, A ;

R ——电阻, Ω 。

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, Ω ;

r ——电源内阻, Ω 。

六、功和功率

在一段时间内,电源力(电场力)做的功称为电功或电能,电能用符号 A 表示。其单位是焦耳(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。二者之间的换算关系为 $1 \text{度} (\text{kW} \cdot \text{h}) = 3.6 \times 10^6 \text{焦} (\text{J})$

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,常用的单位为千瓦(kW)、瓦(W)、毫瓦(mW)等,即

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

电功率的计算公式为

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

式中 P ——电功率, kW;

t ——时间, h;

A ——电能, kW·h。

$$1\text{kW} = 1.36 \text{ 马力}$$

七、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, 即

$$Q = 0.24 I^2 R \text{ (cal/s)} \quad (1-1-8)$$

式中 0.24——热功当量, 即 1 焦耳的电能与 0.24 卡的热量相当。

八、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应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破坏。

九、电阻的串并联

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

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

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。

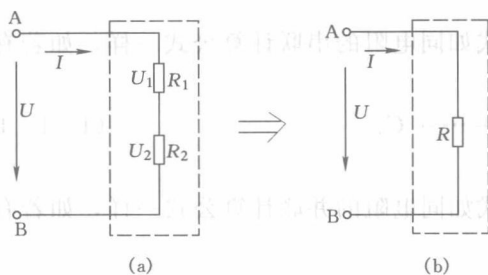


图 1-1-1 串联电路

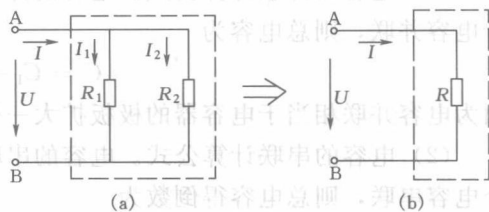


图 1-1-2 并联电路

(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

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

故

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (1-1-10)$$

对于 n 个电阻并联则有

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

十、纯电容电路

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 1-1-3 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。

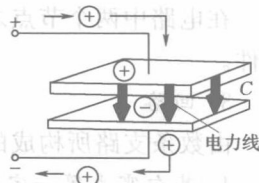


图 1-1-3 电容器

电容器电容的大小是按着下述方法定义的：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

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

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

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。

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，如有 n 个电容并联，则总电容为

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

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，如有 n 个电容串联，则总电容得倒数为

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

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，相当于电容器的极板缩小一样。

第二节 复杂电路计算

一、基尔霍夫定律

1. 电路的节点

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

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

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

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 1-1-4 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。

5. 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 1-1-5 来证明这个结论。

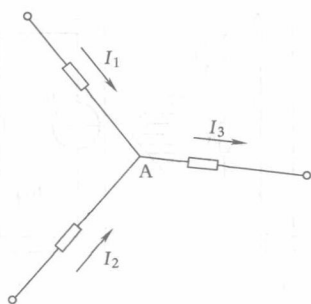


图 1-1-4 基尔霍夫
第一定律图形

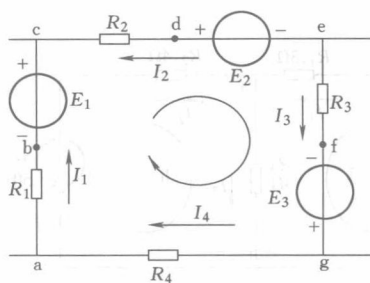


图 1-1-5 基尔霍夫
第二定律图形

今假定点 a (图 1-1-5) 为参考点, 即 $\varphi_a = 0$, 则

$$b \text{ 点的电位} \quad \varphi_b = \varphi_a - I_1 R_1$$

$$c \text{ 点的电位} \quad \varphi_c = \varphi_b + E_1$$

$$d \text{ 点的电位} \quad \varphi_d = \varphi_c + I_2 R_2$$

$$e \text{ 点的电位} \quad \varphi_e = \varphi_d - E_2$$

$$f \text{ 点的电位} \quad \varphi_f = \varphi_e - I_3 R_3$$

将上述所有方程式等号左边的相加, 等号右边的也相加, 将所有电位都消去, 再将剩余部分经过移项后, 得

$$E_1 + E_3 - E_2 = R_1 I_1 - R_2 I_2 + R_3 I_3 + R_4 I_4 \quad (1-1-17)$$

式 (1-1-17) 就是第二定律的内容, 式中符号的选取应遵循下述原则: 凡与循行方向一致的电势、电流取正号, 相反的取负号。所谓循行方向就是沿回路求出各点电位时的绕行方向, 这个绕行方向也是任意选取的。

二、支路电流法

图 1-1-6 所示的电路, 电势、电阻已标在图中, 求电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 中的电流。

解: 第一步, 先假定三个支路中电流的方向, 如图 1-1-6 中 I_1 、 I_2 、 I_3 所示。

第二步, 列写节点方程式。

$$\text{对节点 a 有} \quad I_1 + I_2 - I_3 = 0 \quad (1-1-18)$$

$$\text{对节点 b 有} \quad -I_1 - I_2 + I_3 = 0 \quad (1-1-19)$$

式 (1-1-18)、式 (1-1-19) 只是符号相反, 因此, 两个方程只有一个是独立的, 即可用式 (1-1-18) 改变符号的办法推导出式 (1-1-19) 来。图 1-1-6 中有两个节点, 可列写一个独立方程式。一般说来, 如果有 n 个节点, 则可列写 $n-1$ 个独立方程式。

第三步, 列写回路电压方程式。

在电路中要求出的有三个电流: I_1 、 I_2 、 I_3 , 因此需要三个独立方程式联立求解。而由基尔霍夫第一定律已列写一个独立方程式 (1-1-18), 其余两个独立方程可由基尔霍夫第二定律来补写。一般来讲, 如果要求电流数为 m 个, 节点为 n 个, 则由基尔霍夫第二定律所补写的回路方程数为 $P = m - n + 1$ 个。