

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

发电厂电气值班员



知识

技能

题库

主 编 鞠志涛
副主编 程云峰 喻亮亮



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

发电厂电气值班员

主 编 鞠志涛

副主编 程云峰 喻亮亮



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5篇23章,内容包括:电工基础知识,电气设备及其运行,发电厂的调节和操作,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,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

发电厂电气值班员 / 鞠志涛主编. — 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 978-7-5084-7202-7

I. ①发… II. ①鞠… III. ①发电厂—电气设备—技术培训—教材 IV. ①TM621.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第022968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) 发电厂电气值班员
总 主 编	丁毓山 罗毅
作 者	主 编 鞠志涛 副主编 程云峰 喻亮亮
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 28.75印张 682千字
版 次	2010年1月第1版 2010年1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5篇23章，其主要内容包括：电工基础知识，电气设备及其运行，发电厂的调节和操作，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：鞠志涛、金开宇、喻亮亮、张光辉、王庆旭、

胡亚青、肇毓君、张传玖、金峰、亢文奇、韦晓东、尚丽霞、丁以心、孙岩、谷三林、刘芳、于长永、李文波、明旭东、曾晶、尚新明。此外还有：李海阳、李伟、刘宁、李奎生、冯勃、王天策、周丽、程云峰、裴路国、侯庭阳、孙成宝、张福华、吕志恒、唐艳、邢焱、林敏、鞠英俊、刘志、邹德清、陈伍传、刘春荣、曲晓宇、徐中新、吴秀华、陈春玲、丁毓山。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

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	8
复习思考题与习题	18
第二章 电场与磁场基本知识	30
第一节 电场基本知识	30
第二节 磁的性质和电流的磁场	31
第三节 感应电势和载流导体受力	35
复习思考题与习题	40
第三章 单相交流电路	42
第一节 交流电路基本概念	42
第二节 单参数单相交流电路	47
第三节 多参数单相交流电路	49
复习思考题与习题	57
第四章 三相交流电路	62
第一节 三相电势的产生和三相电路的连接	62
第二节 不对称三相电路的概念和三相电路的功率	65
第三节 三相电路的计算	70
复习思考题与习题	76
第五章 半导体基础知识	82
第一节 半导体整流电路	82
第二节 整流电路	83
第三节 三极管放大电路	87
第四节 运算放大器	91
复习思考题与习题	93

第二篇 电气设备及其运行

第一章 同步发电机的运行	98
第一节 同步发电机的基本知识	98

第二节	同步发电机的运行特性	100
第三节	同步发电机能量图与有功输出	102
第四节	同步发电机的功角特性	104
第五节	同步发电机与无穷大电网并联运行时有功功率调节	105
第六节	同步发电机的非正常运行	107
	复习思考题与习题	110
第二章	发电机的运行与维护	112
第一节	发电机的正常运行	113
第二节	发电机的操作	119
第三节	励磁系统的操作	122
第四节	发电机的异常和事故处理	123
	复习思考题与习题	128
第三章	变压器	130
第一节	变压器的工作原理	130
第二节	变压器的技术数据	131
第三节	变压器的构造	135
第四节	变压器的分接开关	139
第五节	变压器并列运行的条件和经济运行	140
第六节	变压器的发展	143
	复习思考题与习题	148
第四章	发电厂主变压器运行	151
第一节	变压器的正常运行	151
第二节	变压器的异常和事故处理	157
	复习思考题与习题	159
第五章	短路电流的计算	163
第一节	短路种类和标么制	163
第二节	元件阻抗和网络变换	166
第三节	高压系统短路电流计算	170
第四节	高压系统短路电流计算举例	179
	复习思考题与习题	186
第六章	仪用互感器	187
第一节	电压互感器的用途、工作原理和参数	187
第二节	电流互感器	194
第三节	电压、电流互感器的运行及事故处理	197
	复习思考题与习题	199
第七章	断路器	203
第一节	真空断路器的基本结构	203
第二节	户内、户外真空断路器	208

第三节	真空断路器机械参数及其调整	210
第四节	截流过电压产生和对电机产生的危害	214
第五节	六氟化硫 (SF ₆) 气体的特性安全防护	217
第六节	SF ₆ 断路器结构和灭弧原理	219
第七节	SF ₆ 断路器的管理	225
	复习思考题与习题	229
第八章	重合器、分段器与隔离开关	237
第一节	重合器	237
第二节	线路分段器	239
第三节	FDK10—12/D 型户外跌落式分段器	240
第四节	配电开关	242
第五节	隔离开关	245
第六节	SF ₆ 负荷开关	247
	复习思考题与习题	250
第九章	防雷与接地	255
第一节	大气过电压	255
第二节	避雷针与避雷器	259
第三节	金属氧化物避雷器的接线分析	265
第四节	金属氧化物避雷器损坏的原因	269
第五节	变电所的防雷保护	272
第六节	接地	276
	复习思考题与习题	279

第三篇 发电厂的调节和操作

第一章	电力系统的调节要求	283
第一节	电力系统的组成和对其基本要求	283
第二节	电力系统的频率调整	286
第三节	电力系统的调峰	289
第四节	电压调整	290
第五节	动态补偿器的工作原理	296
	复习思考题与习题	299
第二章	发电厂及电力系统的倒闸操作	302
第一节	发电厂及电力系统的倒闸操作的内容及制度	302
第二节	高压开关和隔离开关操作	304
第三节	母线、线路的操作	307
第四节	变压器操作	310
第五节	电源并列解列操作	312
	复习思考题与习题	314

第三章 电力系统的静态和动态稳定	317
第一节 电力系统静、动态稳定的意义	317
第二节 电力系统的暂态稳定	319
第三节 电力系统的动态稳定	321
复习思考题与习题	323
第四章 电气主接线的选择	327
第一节 电气主接线的设计原则和要求	327
第二节 6~220kV 配电装置的基本接线	328
复习思考题与习题	335

第四篇 微机保护

第一章 线路保护	338
第一节 35/10kV 微机线路保护的整定计算	338
第二节 66kV 微机线路保护装置	341
复习思考题与习题	349
第二章 变压器保护	351
第一节 概述	351
第二节 瓦斯保护	354
第三节 变压器比率差动保护与保护判据	357
第四节 按二次、偶次谐波原理形成的差动保护	362
第五节 变压器微机后备保护	364
复习思考题与习题	368
第三章 发电机保护	371
第一节 发电机保护基础	371
第二节 微机型发电机差动保护	372
第三节 定子绕组单相接地保护	375
第四节 发电机的失磁保护	376
复习思考题与习题	379

第五篇 技能操作部分

第一章 单项操作	382
第一节 电动机、发电机操作	382
第二节 变压器、互感器操作	388
第三节 断路器、母线操作	396
第四节 其他操作	398
第二章 多项操作	403
第一节 发电机、变压器	403

第二节	开关操作	407
第三节	线路检修、停送电操作	410
第四节	综合操作	415

附 录

附录 1	发电厂电气值班员职业技能培训要求	423
附录 2	发电厂电气值班员职业技能鉴定初级工试题	430
附录 3	发电厂电气值班员职业技能鉴定高级工试题	432
附录 4	发电厂电气值班员职业技能鉴定中级工试题	434
附录 5	发电厂电气值班员职业技能鉴定考核题集锦	437

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。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，电流的方向是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。

电流强度的单位用 kA（千安）、A（安）、mA（毫安）、 μ A（微安）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 kV（千伏）、V（伏）、mV（毫伏）、 μ V（微伏）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、电阻和电阻率

1. 电阻和电阻的单位

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

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-1-2)$$

2. 电阻率

ρ 为电阻率。 ρ 的物理意义是：在 +20 $^{\circ}C$ 时，长度为 1m，横截面积为 1mm² 的导线的电阻值。与材料性质有关， ρ 值越小，导电性能越好。 ρ 的单位是 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 。

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 $^{\circ}C$ 时的数值，温度增高， R 值增大。

表 1-1-1 温度为 20 $^{\circ}C$ 时的 ρ 和 α 值

材 料	$\rho \left(\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \right)$	$\alpha \left(\frac{1}{^{\circ}C} \right)$	材 料	$\rho \left(\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \right)$	$\alpha \left(\frac{1}{^{\circ}C} \right)$
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

3. 电阻温度系数以及电阻与温度的关系

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 $^{\circ}C$ 时，1 Ω 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

$$R_T = R_t + \Delta R = R_t + R_t \alpha (T - t) = R_t [1 + \alpha (T - t)] \quad (1-1-3)$$

式中 R_T ——温度为 T 时的电阻， Ω ；

R_t ——温度为 20°C 时的电阻, Ω 。

4. 算例

【例 1-1-1】 已知电阻为 R , 在温度 20°C 时, 其阻值为 7Ω , 当温度升高到 75°C 时, 其阻值为多少欧? 导线为铜制。

解: 铜导线的电阻温度系数 $\alpha=0.004$, 当温度升高到 75°C 时, 电阻值为

$$R_T = R_t + \Delta R = R_t + R_t \alpha (T - t) = R_t [1 + \alpha (T - t)] \\ = 7[1 + 0.004(75 - 20)] = 8.54(\Omega)$$

四、电源的电势

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

$$E = \frac{A}{Q} \quad (1-1-4)$$

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。

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和电阻串联、并联、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

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

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 。

4. 算例

【例 1-1-2】 已知 $E=110\text{V}$ ， $R=109\Omega$ ， $r=1\Omega$ ，求：(1) 电路中电流为多少安？(2) 外电路端电压为多少伏？(3) 内阻压降为多少伏？(4) 外电阻、内电阻、全电路消耗的功率为多少瓦？

解：

$$(1) \text{ 电路中电流} \quad I = \frac{E}{R+r} = \frac{110}{109+1} = 1(\text{A})$$

$$(2) \text{ 外电路端电压} \quad U = IR = 1 \times 109 = 109(\text{V})$$

$$(3) \text{ 内阻压降} \quad U_r = Ir = 1 \times 1 = 1(\text{V})$$

$$(4) \text{ 外电阻消耗的功率} \quad P_2 = UI = 109 \times 1 = 109(\text{W})$$

$$\text{内电阻 } r \text{ 消耗的功率} \quad P_3 = U_r I = 1 \times 1 = 1(\text{W})$$

全电路消耗的功率为

$$P_1 = EI = 110 \times 1 = 110(\text{W})$$

$$P_1 = P_2 + P_3 = 109 + 1 = 110(\text{W})$$

【例 1-1-3】 根据全电路欧姆定律对电路工作状态进行判断。

(1) 电力网供电电压保持恒定，对变压器内阻 r 的描述，哪个是正确的？

(A) 越大越好； (B) 越小越好。

分析：根据全电路欧姆定律，变压器的电势 E 与外加电压 U 的关系是

$$U = E - Ir$$

r 越小， U 越易保持恒定，当 $r=0$ 时， $U=E$ ，故答案 (B) 是正确的。

(2) 变压器供电电压夜间上升，试问下述答案哪个是对的？

(A) 变压器内阻 r 变小； (B) 负载电流下降。

分析：变压器业已固定，其内阻是不可能变化的。而电压 $U=E-Ir$ ，故只能是负荷电流 I 减小， Ir 减小， U 值上升，故答案 (B) 是正确的。

(3) 要使变压器供电的线路发生短路时，短路电流小些，下述措施哪个是对的？

(A) 增加变压器电势； (B) 加大外电阻 R ； (C) 增加内阻 r ； (D) 减小内阻 r 。

分析：当发生短路时， $U=0$ ，即

$$U = E - Ir = 0$$

$$E = Ir$$

故增加电势，短路电流将增加；短路时， $U=0$ ，与外电阻大小无关；减小内阻短路电流亦将增加。唯有增加 r ，可使短路电流减小，故答案 (D) 是正确的。

(4) 变电站负荷增加，问下述各点哪一个是引起负荷增加的原因？

(A) 变压器内阻变小； (B) 负载电阻及增大了； (C) 负载电阻 R 减小了。

分析：因电流 $I = \frac{E}{R+r}$ ，当变压器业已固定， r 不能变化；外电阻增加，只能使电流

减小；唯有减小外电阻 R ，才能导致负荷电流增加。故答案 (C) 是引起负荷增加的原因。

(5) 当变电站发生下列情况时，试判断仪表盘上电压表的读数应怎样变化？

(A) 变电站输出电流增加；(B) 变电站外电阻 R 增加；(C) 变电站发生单相金属性接地；(D) 变电站输出电流减小。

分析：(A) 当变电站输出电流增加时，内阻压降 I_r 增加，端电压 $U = E - I_r$ 将要下降，故电压表读数降低。

(B) 当变电站外电阻 R 增加时，负载电流减少，端电压 U 增加，故电压表读数增加。

(C) 当变电站发生单相金属性接地时， $U = 0$ ，故电压表读数近似为零。

(D) 当变电站输出电流减小时，内阻压降 I_r 减小，端电压 U 升高，故电压表读数增加。

六、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 、 W 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， $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

$$1\text{kW} = 1.36 \text{ 马力}$$

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，由式 (1-1-7) 可知

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

式中 0.24 ——热功当量。

电流的热效应在电气设备的正常运行中，以及在电气设备的事故状态下，皆有重要意义。

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。短路是电路、电气设备、电力系统的事故状态，在短路状态下，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，致使电路、电气设备烧毁。

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。在电气设备正常运行时发生断路，也是电路、电气设备的事故状态。因为在这种状态下，将要中断对电力用户的供电。

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. 电阻串联

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

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

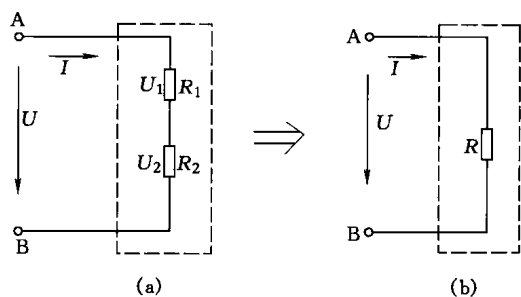


图 1-1-1 串联电路

(a) 实际电路；(b) 等效电路

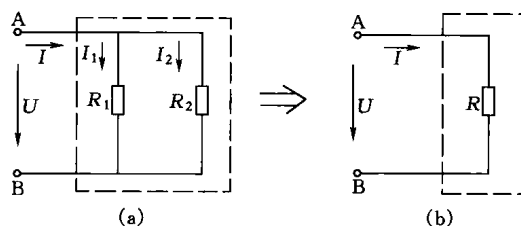


图 1-1-2 并联电路

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

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

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

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

十、电容

1. 电容中的物理现象

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。

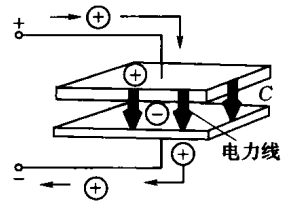


图 1-1-3 电容器

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

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

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

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，表明电荷泄放的快，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，如若有 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，如若有 n 个电容串联，则总电容的倒数为

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

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。