



配电设备运行

故障查找及案例分析

● 富阳市供电局 编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

配电设备运行 故障查找及案例分析

富阳市供电局 编

第一章 绪论	1
第一节 配电设备运行的重要性	1
第二节 配电设备运行的基本要求	2
第三节 配电设备运行的一般规定	3
第二章 配电设备运行故障查找	4
第一节 故障查找的一般原则	4
第二节 故障查找的步骤	5
第三节 故障查找的方法	6
第三章 配电设备运行案例分析	7
第一节 案例一	7
第二节 案例二	8
第三节 案例三	9
第四章 配电设备运行维护	10
第一节 维护的一般要求	10
第二节 维护的内容	11
第三节 维护的方法	12



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书内容主要包括：电工基本理论知识，常用高低压输配电设备及不同电压等级对材料的选择和要求，扼要地回顾了有关材料、设备的参数、性能、规格等，并讨论了对线路敷设、施工布置、工艺及有关注意事项；叙述了配电系统中过压、过流、防雷、避雷安全接地保护等；介绍了配电设备和配电线路在运行管理、施工运作中有关安全条例及事故处理。

本书可供供用电部门管理人员及有关电气安装、施工、检修的技术人员学习和使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

配电设备运行故障查找及案例分析 / 富阳市供电局编.
北京：中国水利水电出版社，2008

ISBN 978-7-5084-4950-0

I. 配… II. 富… III. 发电厂—电气设备—运行—故障
检测 IV. TM621.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 139054 号

书 名	配电设备运行故障查找及案例分析
作 者	富阳市供电局 编
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (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	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 32.25 印张 765 千字
版 次	2008 年 4 月第 1 版 2008 年 4 月第 1 次印刷
印 数	0001—2000 册
定 价	86.00 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

《配电设备运行故障查找及案例分析》

编写委员会

主任：张 帆

委员：杨树高 张富新 袁正平 章晓鸣

张建民 华 平 洪 洲

主 编：张 帆

副主编：章晓鸣 张建民

编 写：陆国华 马国泉 汪关荣

主 审：陈淑芳 仇兴成 寿晓燕 王胜昌 顾凌云

夏旭华 朱立弘 王永光 何 颀 罗 良

统 筹：王 磊 方旭峰

前言

电气设备运行中的不安全所导致的灾害在我国相当严重，以相同用电量比较，我国电击死亡人数是发达国家的数十倍，而我国每年发生的电气火灾事故占总火灾事故的30%，由事故引起的电气设备的损坏也相当严重。电气灾害已影响到国民经济的发展。因此必须认真对待，以减少电气事故的发生。

保证电气设备安全运行必须从电气设计、设备选型、电气安装、运行维护着手，保证各个环节不出问题。否则无论是哪一步考虑不周到，留有隐患，都会发生电气设备故障，而故障处理不及时或处理不到位，发展成事故，扩大了事故范围，影响就更大。本书中的一些事故案例，最初是因设计不当、安装不符合要求，或运行维护不力和缺乏电工基本知识所造成的。

由鉴于此，书中内容首先以电工基础理论入手，重温了电工学的基本理论，其次重新提出了电气设备安全技术及其相关的基础知识，并以此为切入点，最后全方位介绍了较典型和有普遍意义的电气事故案例，包括了人身电击伤亡，电气设备损毁和电气火灾等几部分。每部分的资料内容都来自生产实际、经验和教训，曾付出了沉痛的代价。事故的方方面面，本书中加以分类，归纳和梳理，介绍了每一个事故的起因、事故的经过、事故分析和处理，以及反事故的对策和预案，最后提出了改进措施，已经实践检验。

在这本书中，使我们受到启迪，警示我们增强安全用电的意识，避免重蹈覆辙，进一步提高用电质量，降低电气事故的发生率，这便是编写本书的宗旨。

本书聘请有关电气专家审定，最后两章涉及实际工作中的具体事故案例，邀请了有实践经验的专家审核。

本书由中国电机工程学会的有关专家协助审核，最终由陈淑芳、王磊、方旭峰审定。

由于时间紧迫，作者、编者的水平有限，书中的错误和不足之处请批评指正。

编者

2007.9

目 录

前言

第一章 电工知识	1
第一节 直流电路的基本物理量	1
第二节 磁场及电磁感应	12
第三节 正弦交流电路	19
第四节 三相交流电路	27
第二章 电力变压器	32
第一节 变压器的工作原理和结构	32
第二节 电力变压器的型号及技术参数	35
第三节 变压器的运行	40
第四节 常用电力变压器	43
第五节 互感器	45
第六节 变压器油色谱在线监测系统	48
第三章 高压电器及成套装置	50
第一节 高压电器设备	50
第二节 高压断路器	52
第三节 高压隔离开关	62
第四节 高压负荷开关	66
第五节 高压熔断器	68
第六节 高压成套装置	71
第四章 低压电器和低压成套装置	82
第一节 概述	82
第二节 低压断路器	84
第三节 熔断器	90
第四节 双电源自动切换开关	96
第五节 接触器	100
第六节 热继电器	106
第七节 隔离开关	109

第八节	低压成套装置	112
第五章	电力线路	122
第一节	高压架空电力线路	122
第二节	高压电力电缆线路	139
第三节	低压架空配电线路	145
第四节	低压电缆线路	151
第五节	室内布线	159
第六节	高处作业事故案例	161
第七节	倒杆事故案例	164
第六章	电容器与无功补偿	167
第一节	并联电容器	167
第二节	无功补偿	174
第七章	供电质量与高次谐波的抑制	180
第一节	供电质量	180
第二节	高次谐波的抑制	190
第八章	过电压保护与避雷器	195
第一节	过电压及其危害	195
第二节	过电压保护	200
第三节	过电压保护设备	205
第九章	剩余电流保护器的运行维护	210
第一节	剩余电流保护器的工作原理	210
第二节	剩余电流保护器的结构	212
第三节	剩余电流保护器的类别	214
第四节	剩余电流保护器的特性及其主要额定参数	215
第五节	安装剩余电流保护器的设备和场所	216
第六节	分级保护	219
第七节	剩余电流保护器的运行管理维护	222
第八节	组合式剩余电流保护器故障及排除	226
第九节	组合式剩余电流保护器的投运	237
第十节	剩余电流保护器故障排除实例	247
第十章	电气安全	250
第一节	电击及其防护	250
第二节	在电气设备上工作保证安全的措施	259
第三节	对突然来电和反送电的防护	266
第四节	防止电气误操作的安全措施	270

第五节	高处作业和带电作业反事故措施.....	273
第六节	电气线路工作的安全措施.....	274
第七节	电气安全用具.....	275
第十一章	人身电击和误操作事故	290
第一节	人身电击伤亡事故分析与对策.....	290
第二节	误操作事故的分析与对策.....	328
第三节	起重运输事故的分析与对策.....	375
第十二章	电气故障查找及排除案例	390
第一节	电气故障查找方法.....	390
第二节	电气故障排除实例.....	430



第一章 电 工 知 识

第一节 直流电路的基本物理量

一、直流电

金属导体内的自由电子或电解液内的正负离子，通常都处在不规则的运动状态，因此在任一瞬间通过导体任一截面的电量能相互抵消，即导体内没有电流流过。

当导体内的自由电子受电场力的作用后，电子就以一定方向，从电位低的一端向电位高的一端移动。在这种情况下，导体的任何截面（在任一瞬间），将有一定的电量通过，也就是说导体内有电流流动。

（一）直流电流

如果通过导体横截面上电流的方向和大小不随时间变化而变化，这种电流叫稳恒电流，或叫直流电流，如图 1-1 所示。一般规定电流的方向与电子移动的方向是相反的，如图 1-2 所示。

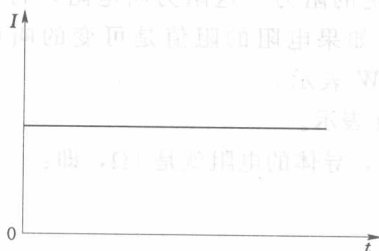


图 1-1 直流电流

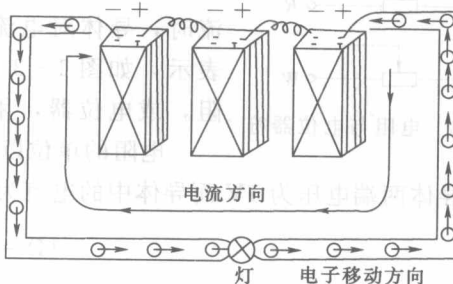


图 1-2 导体中电子移动的方向和电流的方向示意图

（二）电流强度

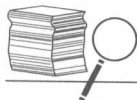
电流的强弱，用电流强度（简称电流） I 表示是，在单位时间内，通过导体横截面的电量。根据定义：

$$I = \frac{Q}{t}$$

在 1s 内，通过导体横截面的电量为 1C，则导体内的电流为 1A，即：

$$1A = \frac{1C}{1s}$$

在测量微小电流时，取 1A 的 1/1000 为单位，为 1mA。或取 1A 的 1/1000000 为单



位, 为 $1\mu\text{A}$ 。

(三) 电流密度

流过导体内单位截面积的电流叫电流密度。所取的截面积应与电流方向相垂直, 也就是要和导线上的电流强度相垂直。截面积的单位用 mm^2 表示。

假定电流在导体截面积上分布是均匀的, 则:

$$\text{电流密度} = \frac{\text{电流}}{\text{导线截面积}}$$

$$J = \frac{I}{S}$$

式中 J ——电流密度, A/mm^2 ;

I ——导体内电流强度, A ;

S ——与导体内电流相垂直的横截面积, mm^2 。

【例题 1-1】在横截面积为 2.5mm^2 的导线中, 流过电流为 10A , 则电流密度为:

$$J = \frac{I}{S} = \frac{10}{2.5} = 4(\text{A}/\text{mm}^2)$$

二、电阻与电导

(一) 电阻

当自由电子在导体中运动时, 它们会与失去最外层电子的原子所形成的晶体点阵相碰撞, 因而损失了一部分能量, 也就是说导体内通过电流时, 导体对电流有一定的阻力。这阻力叫电阻, 符号用 R 表示, 如图 1-3 所示。如果电阻的阻值是可变的可变电阻, 或电位器, 用符号 W 表示。

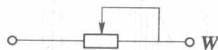


图 1-3 电阻与电位器符号

电阻的单位以字母 Ω 表示。

当导体两端电压为 1V 而导体中的电流为 1A 时, 导体的电阻就是 1Ω , 即:

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

电阻经常采用两种较大的单位: $\text{k}\Omega$ 和 $\text{M}\Omega$ 。

$$1\text{k}\Omega = 10^3\Omega$$

$$1\text{M}\Omega = 10^6\Omega$$

同一物质对电流的阻力, 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; 而电阻与导线截面积 S 成反比, 如图 2-4 所示, 即:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

式中 ρ ——电阻率。

通常给出电阻率的条件是:

在 $+20^\circ\text{C}$ 时, 长度为 1m , 横截面积为 1mm^2 的导线的电阻, ρ 的值与材料性质有关, 是一个常数。 ρ 的单位为: $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 。



(二) 电导

电导即电阻的倒数, 它表示导体通过电流的能力。导体电阻越大, 电导越小, 说明导体通过电流的能力小。电导的符号用 G 表示, 其单位用 $1/\Omega$, 称为西门子。即:

$$G = \frac{1}{R}$$

例如有一导线的电阻是 1000Ω , 则这导线的电导便是 $0.001\ 1/\Omega$

各种导电材料的电阻率 ρ 是不同的。电阻率最小的是银, 其次是铜、铝。

【例题 1-2】 在某设备中, 需绕一个 4Ω 的电阻, 现采用长度为 40m 的铜丝绕制, 试计算所用铜丝的横截面积, 已知铜丝电阻率为 $0.42\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 。

$$S = \rho \frac{L}{R} = 0.42 \times \frac{40}{4} = 4.2(\text{mm}^2)$$

(三) 电阻温度系数

导体的电阻随温度而变化, 变化的原因有两种:

一种是由于导体的温度升高, 导体内电子与晶体点阵之间相互碰撞的次数增多, 导体内自由电子运动的平均速度降低, 即电流的阻力增大而使电流减小, 因此导体的电阻随温度升高而增加了。金属导体的电阻基本是随温度的升高而增加。

另一种是由于导体的温度升高, 单位体积内的自由电子或离子数增加, 使电流增大。因此这类导体的电阻随温度升高而降低了, 例如电解液和碳素物质的电阻, 基本是随温度升高而降低。

某些合金, 如康铜、锰铜等, 温度变化其阻值几乎不变。

由上可知, 温度的变化, 对不同导体的电阻影响不同。为了便于比较, 往往取导体电阻为 1Ω , 当温度变化为 1°C 时, 它的电阻的变化数值作为比较的标准。这个变化数值叫做电阻的温度系数, 一般用字母 “ α_r ” 表示, 其电阻温度系数 α_r 即温度增加 1°C 时, 电阻的相对增量。

如果温度为 $T_1^\circ\text{C}$ 时导体的电阻为 R_1 。而温度变化为 $T_2^\circ\text{C}$ 时, 它的电阻的计算可做如下推算:

当导体电阻是 1Ω , 温度变化为 1°C 时, 电阻变化后的数值为:

$$R_2 = R_1 + R_1 \alpha_r \cdot 1^\circ\text{C} = R_1 (1 + 1 \cdot \alpha_r \cdot 1^\circ\text{C})$$

因为 $R_2 = 1\Omega$; 所以 $R_2 = 1 + 1 \cdot \alpha_r \cdot 1^\circ\text{C}$

现在温度变化不是 1°C 而是 $(T_2 - T_1)^\circ\text{C}$, 那么变化后的电阻为:

$$R_2 = R_1 + R_1 \alpha_r (T_2 - T_1)$$

或

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha_r (T_2 - T_1)]$$

【例题 1-3】 一根铜线在 $+20^\circ\text{C}$ 时, 测得的电阻为 150Ω , 过了一段时间后, 测得的电阻为 270Ω , 问这时的温度是多少? (已知铜线的电阻温度系数 $\alpha_r = 0.004\ 1/^\circ\text{C}$)

解 因为 $R_2 = R_1 + R_1 \alpha_r (T_2 - T_1)$, 所以:

$$T_2 = \frac{R_2 - R_1}{R_1 \alpha_r} + T_1 = \frac{270 - 150}{150 \times 0.004} + 20 = 220(^\circ\text{C})$$

三、直流电路

导线两端与电源和负载连接, 形成闭合回路, 就会产生电流。电流流经的闭合回路叫



电路。

电路由三部分组成。即：

(1) 电源：它是供给电路中电流的能源。如蓄电池、发电机等都是电源。

(2) 负载：也叫负荷。是电流在电路中工作的地方。即电源做功的地方。如电灯泡、电炉、电动机、变压器等。

(3) 导线：也叫电线，是电源与负载之间的连接线，它把电流由电源引出来，通过负载再送回电源，构成电流的完整回路。如图 1-4 所示，就是一个简单的直流电路。

为了研究电路的方便，可以把电路看成由外电路和内电路两部分组成。即：

外电路：图中由电源引出端至返回端，即负载、导线、仪表所组成的部分电路叫外电路。

内电路：电源内部的电路叫内电路，如图 1-4 中 1、2 点内包括发电机的电路。

断路：有中断的电路叫断路，如图 1-5 中导线 1、2 点间断开，也叫开路。

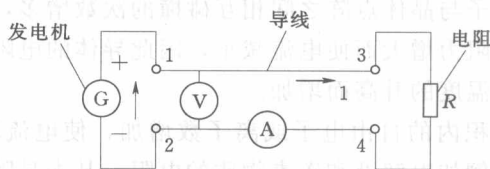


图 1-4 简单电路图

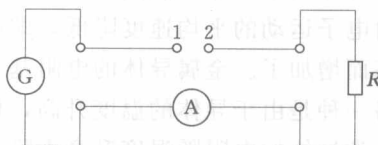


图 1-5 断路

电流必须在电源和外电路构成闭合回路时，才能形成，电流在外电路被认为是从电源的正极流向负极，而在电源内部则相反，是由电源负极流向正极。

四、电动势与电压降

在电源内部，电流在非静电力的作用下是从负极流向正极，单位正电荷从负极通过电源内部移到正极时，非静电力所做的功，定义为电源的电动势 ϵ 。电动势可用各种方法来产生，常用的有电磁和化学的方法来产生。

在外电路自由电子受静电场力的作用从低电位向高电位移动。但电源内部是依靠非静电力将电子从高电位推向低电位。电动势的形成是各种形式的能量如化学能、机械能、电磁能、热能、辐射能等转变为电能的过程。在电源内部，静电力和非静电力都同时作用在电子上。在非静电力作用下，电子向电源的负极方向移动，于是电源内部两极等量异号电荷越积越多，静电场越来越大，静电力也随着增大，静电力要阻止电子的定向移动，当非静电力和静电力平衡时，则电源内部自由电子就停止移动，电源的两极之间形成稳定的电位差。

单位正电荷在电源内部从正极移到负极所做的功，叫做电源的电动势，用 ϵ 来表示。

根据其定义：

$$\epsilon = \frac{W}{Q}$$

式中 W ——非静电力移动电荷所做的功；

Q ——被移动的电荷。



电动势的单位是伏，用字母 V 表示。

电动势的方向从负极指向正极，与电源内的电流方向相同。

电源：提供非静电力的装置叫电源。如蓄电池、干电池、发电机等。用图 1-6 的符号来表示。

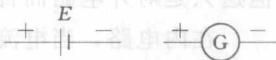


图 1-6 电源符号

电源的一端标“+”号，另一端标“-”号，是表示电源的两极。“+”号一端是高电位，也叫正电位；“-”号一端是低电位，也叫负电位。电源的电动势是一个定值与外电路的负载大小无关。

若将电源接于电路中，则该电源的两端的电位差就叫端电压。端电压在数量上等于电源在外电路上移动单位电荷时所做的功。用符号 U 来表示。

电动势与端电压的关系，由下例说明，如图 1-7 所示是一个由内阻为 r_0 的电源组成的简单电路。

在电路闭合时，电路中就有电流产生。这时电源的电动势一部分消耗在电源内部，叫内电压降，用 U_0 表示。另一部分消耗在外电路中，叫外电压降，用 U 表示。因此电源的电动势等于内电压降和外电压降之和。即：

$$E = U_0 + U$$

电源的端电压为：

$$U = E - U_0$$

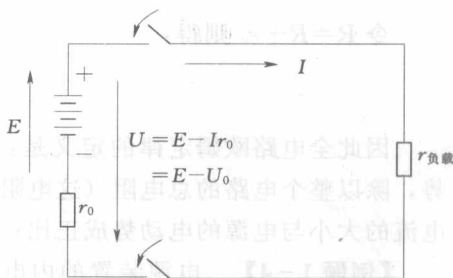


图 1-7 电源电阻的简单电路

当电路断开时，电动势在数值上等于电源两端的端电压。

五、欧姆定律

(一) 部分电路欧姆定律

在闭合电路中，在电源的电动势作用下产生电流，电流的大小不仅决定于电动势的大小；而且也决定于电路中电阻的大小。当电流通过一均匀导体而温度保持不变时，加在导体两端的电压越大，电流也越大，因此电流与电压成正比，即：

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

如图 1-8 所示，通过导体中的电流强度 I 与导体两端的电压成正比，而与导体本身的电阻成反比。这就是部分电路的欧姆定律。

(二) 全电路欧姆定律

图 1-8 是由负载、电源和导线组成的电路。当电路闭合时，导线中有电流流过，在导线上就会产生电压降。如导线较长，导线电阻不可忽略时，导线上的电压降也不可忽略。导线越长，则电阻越大，导线上的电压降也越大。

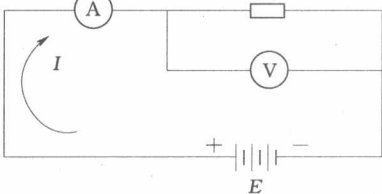


图 1-8 全电路欧姆定律电路图

当电源电势一定时，在外电路中，导线的电阻越大，电流就越小。这是因为有很大一部分能量消耗在导线的电阻上。电流和电阻越大，则电压降也越大。由欧姆定律得知：电路中的电压降，等于流经这段线



路的电流乘上这段电路的总电阻 ($r_{\text{负载}} + r_{\text{导线}} = R$)。即:

$$U = IR$$

但这只是对外电路而言。

在内电路,当电流流过电源内部时,因为电源内部也有电阻 r_0 。简称内阻。所以电源内也有电压降,这个内阻压降用 U_0 表示。根据欧姆定律:

$$U_0 = Ir_0$$

故电源电势等于内电路与外电路电压降之和。即电源电势:

$$E = U + U_0 = Ir + Ir_0$$

所以

$$I = \frac{E}{r + r_0}$$

令 $R = R + r_0$ 则得:

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

因此全电路欧姆定律的定义是:在闭合电路中,电流的大小,等于该电路中的电动势,除以整个电路的总电阻(这电阻为内、外电路电阻的和)。也就是说:在闭合回路中,电流的大小与电源的电动势成正比;而与整个电路的电阻成反比。

【例题 1-4】 电源装置的内电阻是 0.2Ω ,要想使离电源装置 500m 远的工厂得到 220V 的电压,工厂里需用的电流是 100A,铜导线的横截面积是 50mm^2 ,铜的电阻系数 $\rho = 0.0175\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$,求发电机的电动势是多少?

解 输电线的电阻: $r_1 = \rho \frac{L}{S} = 0.0175 \times \frac{500}{50} \times 2 = 0.35 (\Omega)$

工厂负载电阻为: $r_2 = \frac{U}{I} = \frac{220}{100} = 2.2 (\Omega)$

外电路总电阻: $R = r_1 + r_2 = 0.35 + 2.2 = 2.55 (\Omega)$

所以,发电机电动势为:

$$E = I(R + r_0) = 100(2.55 + 0.2) = 275 (\text{V})$$

六、电功率和电能

(一) 电功率

电流通过导体所做的功叫做电功,用 W 表示。

$$W = UIt$$

电功等于导体两端的电压 U 、通过导体的电流 I 和通电时间 t 的乘积。

如果这个电功是 t 秒内所做的,那么把 1s 内所做的功叫电功率,简称功率,用字母 P 来表示。即:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{UIt}{t}$$

所以

$$P_{\text{电源}} = IE$$

从欧姆定律可知:

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



$$P_{\text{负载}} = UI = \frac{U^2}{R} = I^2 R$$

由此看出, 当 I 一定时, 电功率 P 和电阻 R 成正比; 当电压 U 一定时, 电功率 P 和电阻 R 成反比。

电功率的单位用符号 W 表示:

$$1W = \frac{1J}{1s} = \frac{1V \cdot C}{1s} = 1VA$$

也就是说: $1W$ 是当电压 (或电势) 为 $1V$, 电流是 $1A$ 时的功率。

在实际运算中:

$$P = UI$$

式中 U ——电路中的电压;

I ——通过电路的电流。

有时碰到下面的单位换算:

$$1 \text{ 马力} = 75 \frac{\text{kgf} \cdot \text{m}}{\text{s}} = 736W \cdot \text{h} = 0.736\text{kW} \cdot \text{h}$$

功率较大的单位是 kW , 较小的单位是 mW 、 μW 。

(二) 电能

电能的单位是 $kW \cdot h$, 通常称“度”。

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

由此可得:

$$P = I^2 R = W/t$$

根据能量守恒定律, 电流的功率应等于电源内部的功率 (也叫损失功率) 与电源外部的负载功率之和。因此:

$$P_{\text{电源}} = P_{\text{损失}} + P_{\text{负载}}$$

【例题 1-5】 在某电路中, 电阻 $r=5\Omega$, 电流 $I=10A$, 求经过 $20s$ 后, 电流所做的功和功率?

解 电流所做的功: $W = Pt = I^2 rt = 10^2 \times 5 \times 20 = 10000 (J)$

功率: $P = I^2 r = 10^2 \times 5 = 500 (W)$

【例题 1-6】 一台电视机, 每日收看 $6h$, 它的功率是 $800W$, 电费为 $0.53/ (kW \cdot h)$ 元, 问用户使用这台电放机时, 每月电费是多少?

解 每月用电小时数: $t = 30 \times 0.53 = 76.32 (h)$

每月消耗的电能: $W = Pt = 800 \times 10^{-3} \times 76.32$
 $= 61 (kW \cdot h)$

所以用户每月应付电费 $144 \times 0.53 = 76.32 (元)$ 。

七、电阻的串联、并联和串并联

在实际中应用中, 电路不是由单纯的一个负载 (电阻) 所构成, 而是由许多负载, 用不同的方法连接起来的。电路中电阻的连接方法主要有: 串联; 并联; 串并联。

(一) 电阻的串联

两个以上的电阻, 一个接一个的串接起来, 称为电阻的串联。将串联电阻的两端接上



电源,即组成了电阻串联电路,如图1-9所示。

一个由电源和三个电阻组成的串联电路如图1-10所示。

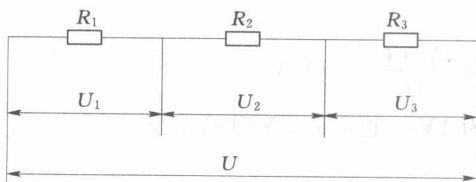


图1-9 电阻串联电路

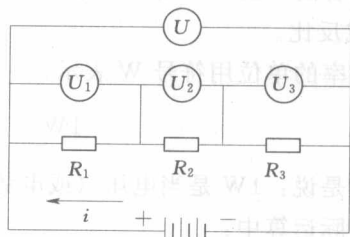


图1-10 电阻串联电路

此电路由电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 和电源串联组成。电路两端的电压等于电路各段电压的总和。即:

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

因串联电路中,只有一条电流流通的路径,所以各电阻上的电流强度相等,因此各个电阻上的电压分别为:

$$U_1 = IR_1$$

$$U_2 = IR_2$$

$$U_3 = IR_3$$

则代入式中得:

$$U = IR_1 + IR_2 + IR_3 = I(R_1 + R_2 + R_3)$$

因为

$$U = IR$$

所以

$$IR = I(R_1 + R_2 + R_3)$$

两边各除以 I 得:

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

当电阻串联时,串联的总电阻等于串联各个电阻之和。

电路如果是由 n 个电阻组成,则串联总电阻(又称等值电阻)为:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_n$$

将上式两端各乘以 I^2 得:

$$I^2 R = I^2 R_1 + I^2 R_2 + I^2 R_3 + \cdots + I^2 R_n$$

即:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + \cdots + P_n$$

因此当电阻串联时,串联电路的功率等于串联电路中各个电阻的功率之和。

【例题1-7】 设有一电路,由三个电阻串联, $R_1 = 30\Omega$ 、 $R_2 = 20\Omega$ 、 $R_3 = 10\Omega$, 电流 $I = 10A$, 求电路总电阻 R 和加在电路两端的电压及 R_1 、 R_2 、 R_3 各个电阻上的压降?

解

串联电路总电阻: $R = R_1 + R_2 + R_3 = 10 + 20 + 30 = 60(\Omega)$



电路端电压： $U = IR = 10 \times 60 = 600 \text{ (V)}$

R_1 电阻上的压降： $U_1 = IR_1 = 10 \times 30 = 300 \text{ (V)}$

R_2 电阻上的压降： $U_2 = IR_2 = 10 \times 20 = 200 \text{ (V)}$

R_3 电阻上的压降： $U_3 = IR_3 = 10 \times 10 = 100 \text{ (V)}$

验证： $U = U_1 + U_2 + U_3 = 300 + 200 + 100 = 600 \text{ (V)}$

(二) 电阻的并联

两个或两个以上的电阻的一端全部连接在一节点上，而另一端全部连接在另一节点上，这样的连接叫电阻的并联。将并联电阻的两端接上电源，即组成了电阻并联电路如图 1-11，是一个简单的电阻并联电路。它由一个电源三个电阻并联而成。

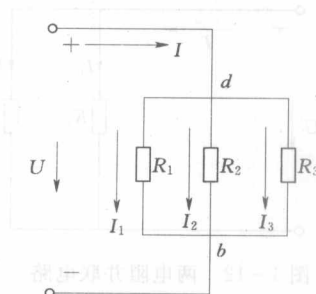


图 1-11 电阻并联电路

因为并联电阻两端的电压相同，故根据欧姆定律可求出各并联支路的分支电流为：

$$I_1 = \frac{U}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2}$$

$$I_3 = \frac{U}{R_3}$$

由于电路中总电流等于各分支电流的和。即：

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

亦即

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}$$

式中 R ——并联电路总电阻。

将上式两端同除以 U 即得出并联电路的总电导之和：

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

将上式两边各乘以 U 得：

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}$$

所以

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

即电阻并联电路总功率等于各分支电路中的功率之和。

若电路是由 n 个电阻并联而成，则并联电路总电导等于：

$$g = g_1 + g_2 + g_3 + \cdots + g_n$$

n 个电阻并联电路总功率等于

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + \cdots + P_n$$

如图 1-12 所示，是两个相同的电阻并联的电路，且 $P_1 = P_2 = P_{\text{支}}$ ，则它的总电阻为：

$$R = \frac{1}{g} = \frac{1}{g_1 + g_2}$$