

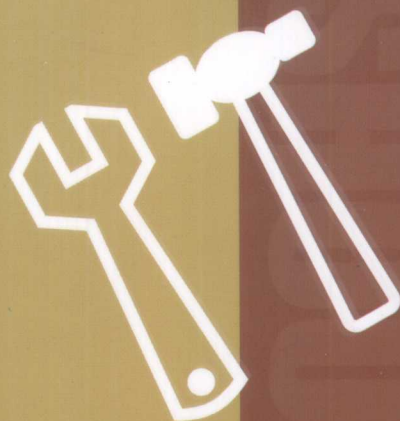
DIANGONG

CHANGJIAN GUZHANG

CHULI SHOUCHE

电工 常见故障 处理手册

尹全英 何利民 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

DIANGONG

CHANGJIAN GUZHANG

CHULI SHOUCHE

电工 常见故障 处理手册



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书是关于电气故障处理的通用型技术手册,比较系统地汇集了电气故障检查、分析、诊断、处理的常用资料及其应用知识。

全书共分15章,按照基本知识、基本方法、实际应用的顺序和框架构成,介绍了电气故障的分类及特点、电气故障处理的理论基础、电气故障检测仪器、工具和材料、电气故障参数检测、电气故障处理的基本方法、具体介绍了电源、电气连接线路、异步电动机、变压器、内燃发电机组、照明电器、开关电器和电气安全常见故障检查分析和处理方法。

本书的主要特点是实例多、通俗易懂、实用性强。

本书可供电气技术人员阅读,也可供有关院校电气专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工常见故障处理手册/尹全英,何利民编著. —北京:
中国电力出版社,2009

ISBN 978-7-5083-8967-7

I. 电… II. ①尹… ②何… III. 电气设备-故障修复-技术手册 IV. TM07-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第097786号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2009年10月第一版 2009年10月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 20.5印张 500千字

印数 0001—3000册 定价 42.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

这是一本关于电气故障处理的通用型技术手册，比较系统地汇集了电气故障检查、分析、诊断、处理的常用资料及其应用。

这本手册的主要内容包括：

第一，基础资料，如电气故障的基本概念、分类和特点，电气故障处理过程中常用材料、易损元器件和故障检测用仪表、工具等的类别、技术数据及其在电气故障处理中的应用。

第二，基本理论，如电气故障发生机理，电工基本定律、定理在电气故障处理中的应用，电气装置正常运行条件，电气故障参数检测方法，电气故障分析处理的基本方法。

第三，故障处理应用，比较详尽地介绍了电源、电气线路和连接线、异步电动机、变压器、发电机、照明电器、开关电器及电气安全等的正常运行条件、参数、故障检测、诊断、处理方法。

从提高实用性出发，本书列举了大量实例、事例，以补充、说明、诠释正文中的某一内容，拓宽其应用范围。这些实例、事例通常采用“例”和“事件”两种形式表述，其中，“例”比较简略，“事件”比较翔实并具有一定的典型性。实例和事例是构成本书的重要内容之一，也是体现本书特色的一个方面。

电气故障的复杂性、多样性、时效性，决定了检查分析和处理电气故障的难度。本书介绍的电气故障处理的方法不可能概全，读者应在实际工作中，具体分析，灵活应用。在这里，掌握一定的理论知识是必要的，但还必须多实践，在实践中不断总结和提高。在某些情况下，实践比理论更重要。

多年来，我们利用闲暇之余，致力于电气技术的宣传普及工作，先后撰写和出版了十余本这方面的著作，虽然不是精品，但仍然得到了广大读者的关心、爱护、支持和帮助。在此即将挂笔之时，谨向读者致以衷心的感谢。

尹全英 何利民

2008年10月 武汉

前言

第一章 基础知识	1
第一节 电气故障相关术语和概念.....	1
第二节 常用电工基本定律.....	6
第三节 电气故障计算.....	9
第四节 电气技术文字符号和其他符号	16
第五节 设备故障及故障管理	19
第六节 电气故障的分类及特点	23
第二章 电气额定值和设备正常运行条件	27
第一节 电源额定值和电能质量指标	27
第二节 电气运行额定参数	29
第三节 额定工作制及其他	31
第三章 电气故障处理常用材料和易损元器件	35
第一节 常用电线	35
第二节 常用绝缘材料	37
第三节 低压熔断器和熔丝	43
第四节 小型 RLC 无源元件.....	45
第五节 半导体元件	49
第六节 导体连接件	53
第七节 消耗类材料	56
第四章 电气故障处理常用器具	59
第一节 万用电表	59
第二节 钳形电流表	62
第三节 绝缘电阻表	64
第四节 直流电桥	66
第五节 相序表和接地电阻表	68
第六节 电气试验辅助设备	69
第七节 故障诊断电气安全器具	72
第八节 电气故障诊断小型工具	74
第五章 电气故障性能参数检测	78

第一节	电气故障检测的特点和基本方法	78
第二节	导电性能检测	81
第三节	绝缘性能检测	84
第四节	导磁性能检测	86
第五节	电压和电流检测	89
第六节	接地电阻检测	90
第七节	常用非电量检测	92
第六章	电气故障发生机理	96
第一节	电接触	96
第二节	电弧	100
第三节	电动力	103
第四节	电气损耗	105
第五节	电气接地	109
第六节	相序和三相电路对称性	113
第七节	环境条件	116
第七章	电气故障分析基本方法	119
第一节	电流分析法	119
第二节	电位和电压分析法	122
第三节	阻抗分析法	125
第四节	类比分析法	126
第五节	单元分割分析法	128
第六节	工作状态分析法	130
第七节	图形变换分析法	134
第八节	推理分析法	138
第九节	故障树分析法	140
第十节	计算机辅助分析法	143
第八章	电源故障	146
第一节	电源的基本特性和分类	146
第二节	电源电压偏移故障	149
第三节	电源频率偏移故障	152
第四节	单相交流电源故障	156
第五节	三相交流电源故障	159
第六节	电源极性故障	161
第九章	连接线和线路故障	165
第一节	连接线和线路的基本特性	165
第二节	断路故障	170
第三节	短路和短接故障	173
第四节	连接线路接地故障	178

第五节 电气连接故障·····	181
第六节 电桥法诊断线路接地和短路故障方法·····	183
第十章 异步电动机故障·····	187
第一节 异步电动机的基本特性·····	187
第二节 常用三相异步电动机主要技术数据·····	191
第三节 异步电动机故障参数检测·····	194
第四节 电动机不能启动故障·····	199
第五节 电动机转速偏低故障·····	207
第六节 电动机过热故障·····	211
第七节 电动机剧烈振动和响声异常故障·····	214
第八节 单相交流电动机故障·····	215
第十一章 变压器故障·····	222
第一节 电力变压器的特性参量·····	222
第二节 小型配电变压器主要技术数据·····	225
第三节 变压器故障参数检测·····	227
第四节 电力变压器运行条件及运行故障检测·····	235
第五节 变压器温升过高故障·····	238
第六节 变压器输出电压不正常故障·····	240
第十二章 内燃发电机组故障·····	243
第一节 内燃发电机组基本构成和特性·····	243
第二节 常用内燃发电机组主要技术数据·····	246
第三节 内燃机发电机组用同步发电机·····	249
第四节 发电机励磁系统故障·····	253
第五节 发电机输出电压故障·····	257
第六节 发电机集电环及电机发热故障·····	258
第十三章 照明电器故障·····	262
第一节 照明电器使用一般技术要求·····	262
第二节 照明电器电源和电路故障·····	266
第三节 常用电光源故障·····	267
第十四章 开关电器故障·····	272
第一节 低压开关电器使用技术要求和故障检测·····	272
第二节 低压开关电器通用故障·····	275
第三节 常用低压开关电器故障·····	277
第四节 高压开关电器使用技术要求和故障检测·····	287
第五节 高压开关电器通用故障·····	290
第十五章 电气安全故障·····	293
第一节 电气安全相关规定和技术要求·····	293

第二节	触电安全防护.....	301
第三节	雷电安全防护.....	306
第四节	静电安全防护.....	311
第五节	电气火灾防护.....	315
参考文献		319

第一章

基础知识

第一节 电气故障相关术语和概念

1. 电工一般术语

电工一般术语见表 1-1。

表 1-1 电 工 一 般 术 语

序 号	名 称	基 本 含 义
1	电路	电流可在其中流通的器件或媒质的组合
2	并联电路	当若干电路接在同一对节点上,使电流从中分开流过时,这些电路称为互相并联
3	串联电路	当各被连接的电路通过同一电流时,这些电路称为互相串联
4	有感电路	在所考虑的特定情况下,电感不能被忽略的电路
5	无感电路	在所考虑的特定情况下,电感可以被忽略的电路
6	端	电路中可用来进行连接的点
7	电路元件	电路中不能从物理上再进一步分割,否则就会失去其特性的一个组成部分
8	无源(电路)元件	所吸收的能量只能是正值或零的电路元件
9	有源(电路)元件	其等效电路中含有电源的电路元件
10	无源电路	只含有无源电路元件的电路
11	线性(电路)元件	端间电压和进入端内的电流之间的关系由线性算子决定的电路元件
12	理想(电路)元件	由一个单一参数表征的器件的抽象表示
13	集中参数电路	可用有限个理想元件的组合来表示的电路
14	分布参数电路	可用无限个理想元件的组合来表示的电路
15	理想电阻器	瞬时电压与瞬时电流成正比的理想二端电路元件
16	理想电容器	瞬时电流与电压对时间的导数成正比的理想二端电路元件
17	理想电感器	瞬时电压与电流对时间的导数成正比的理想二端电路元件
18	电容	电流除以电压对时间的导数之商
19	电感	电压除以电流对时间的导数之商
20	电阻	电压除以电流之商
21	电导	电阻的倒数
22	阻抗	电路的端电压除以通过的电流
23	感抗	电感和角频率的乘积
24	容抗	电容和角频率的乘积的倒数(带负号)
25	等效电路	用理想元件组成的网络来描述电路性能的一种模型
26	电压源	其端电压与通过的电流无关的有源元件

续表

序 号	名 称	基 本 含 义
27	电流源	通过的电流与其端电压无关的有源元件
28	磁路	在给定区域内, 形成磁通通道的、主要由磁性材料构成的媒质组合
29	磁阻	磁动势除以相关联的磁通
30	磁导	磁阻的倒数
31	漏磁通	磁路中的磁通不通过预定路径的部分
32	磁链	线圈的匝数与穿过线圈的磁通之乘积
33	单线电路	由单根导线组成, 而以大地或机架作为返回通路的电路
34	单相系统	由单一交流电压供电的系统

2. 电路性能术语

电路性能术语见表 1-2。

表 1-2

电 路 性 能 术 语

序 号	名 称	基 本 含 义
1	交流电压	平均值为零的周期电压
2	交流电流	平均值为零的周期电流
3	基波因数	非正弦交流电压或电流的基波分量的方均根值与交变量的方均根值之比
4	谐波因数	非正弦交流电压或电流的谐波含量的方均根值与交变量的方均根值之比。同义词: 畸变因数
5	瞬时功率	端口的电压瞬时值与电流瞬时值之乘积
6	表观功率	端口的电压方均根值与电流方均根值的乘积, $S=UI$ 。同义词: 视在功率
7	复功率	正弦电压相量与电流共轭相量的乘积。复功率的模为表观功率, 辐角为电压相量和电流相量之间的角
8	有功功率	一个周期内的瞬时功率的平均值。①对于正弦电压及电流, 复功率的实部就是有功功率; ②对于周期性的非正弦电压及电流, 有功功率是直流分量功率及基波和谐波有功功率之总和
9	无功功率	正弦电压和电流时的复功率的虚部 (供给电感的无功功率为正值)
10	有功电流	与电动势或电压同相的交流电流分量 (此定义仅适用于正弦电流)
11	无功电流	与电动势或电压正交的交流电流分量 (此定义仅适用于正弦电流)
12	功率因数	有功功率与视在功率之比

3. 电磁器件术语

电磁器件术语见表 1-3。

表 1-3

电 磁 器 件 术 语

序 号	名 称	基 本 含 义
1	电气器件	利用电磁能完成所要求功能的元件组合 (可以把器件看作是较大组合中的元件)
2	端子	用来连接器件和外部导体的元件
3	电极	与不同电导率的媒质构成导电界面的导电部件 (在一个电器的两个电极之间通常有电位差, 并可能有电流通过)
4	地	任何一点的电位按惯例取为零的大地导电物质
5	电屏	由导电材料所制成, 用来减弱电场对一个指定区域的穿透的屏

续表

序 号	名 称	基 本 含 义
6	磁屏	由铁磁材料制成, 用来减弱磁场对一个指定区域的穿透的屏
7	电磁屏	由导电材料制成, 用来减弱变化的电磁场对一个指定区域的穿透的屏
8	母线	能分别连接若干电路的低阻抗的导体
9	匝 (线匝)	组成一圈的一根或一组导线
10	线圈	通常是同轴的一组串联的线匝
11	螺线管	长度通常比横向尺寸大得多的圆筒形线圈
12	电气绕组	电气器件中有规定功能的一组线匝或线圈
13	磁芯 (铁芯)	电机或器件中通常缠有绕组的磁性部件
14	磁轭	主要用来连通主磁路的、通常不缠有绕组的固定铁磁部分。同义词: 铁轭
15	气隙 (磁路的)	磁路中磁性材料部分之间很短的空气间隙
16	电阻器	用来提供电阻的器件
17	电感器	用来提供电感的器件
18	电容器	用来提供电容的器件
19	永久磁铁	不需要电流来保持其磁场的磁铁
20	电磁铁	由铁磁铁芯和线圈构成, 当线圈中有电流流过时能产生磁场的装置
21	电气继电器	当激励电 (物理) 量的变化达到规定要求时, 在输出电路中被控电量发生预定的阶跃变化的一种自动器件
22	电能转换器	转换或传递能量 (其中至少有一种是电能) 的器件
23	电信号变送器	转换或传递信号 (其中至少有一种是电信号) 的器件
24	电机	将电能转换成机械能, 或将机械能转换成电能的电能转换器
25	发电机	将机械能转换成电能的电机
26	电动机	将电能转换成机械能的电机
27	变压器	传递电能而不改变其频率的静止的电能转换器
28	变流器 (变流机)	使电力系统的一个或多个特性 (如电压、电流、波形、相数和频率, 包括零频率) 发生变化的设备、装置或机械, 主要包括整流器、逆变器、变频器或类似功能的旋转机械, 不包括变压器
29	变频器 (变频机)	传递电能并改变其频率的电能转换器
30	整流器	将交流电流转换成单向电流的电能转换器
31	逆变器	将单向电流转换成交流电流的电能转换器
32	电传感器	将任何类型的信号转换为电信号的电信号转换器
33	电执行器	将电信号转换为任何类型信号 (如机械位移) 的电转换器
34	电耦合器	利用电磁力方法传递转矩, 在驱动件和被驱动件之间无任何机械接触的器件
35	放大器	借助于外来能源以增大输入信号的振幅或功率的器件
36	半导体器件	由半导体内载流子的流动而形成其基本特征的一种器件
37	光电器件	由于吸收光子引起电子发射而形成其基本特性的一种器件
38	触头 (触点)	机械式开关器件的两个或多个导体, 接触时接通电路, 操作时因其相对运动而断开或闭合电路
39	开关设备	主要用于与发电、输电、配电和电能转换有关的开关电器, 以及这些开关电器和与其相关联的控制、测量、保护及调节设备的组合的通称, 也可指由这些开关电器和设备以及有关的互连件、附件、外壳和支承构件组成的成套设备
40	控制设备	主要用来控制用电设备的开关电器, 以及这些开关电器和与其相关联的控制、测量、保护及调节设备的组合的通称。也可指由这些开关电器和设备以及有关的互连件、附件、外壳和支承构件组成的成套设备

4. 电路联结术语

电路联结术语见表 1-4。

表 1-4 电路联结术语

序 号	名 称	基 本 含 义
1	闭合电路	具有供电流通过的连续路径的电路。同义词：通路
2	断开电路	供电流通过的连续路径已经断开的电路。同义词：开路
3	通断	用人工、机械或电气方式操作一个装置，来断开或闭合一个电路的动作
4	联结	①导体间的接头；②将端子或其他导体结合起来的导体或电路
5	互联	不同的网络间的相互联结
6	串联	使同一电流通过所有相连接的器件的联结
7	并联	使同一电压施加于所有相连接的器件的联结
8	星形联结	所有的相具有一个共同的节点的联结
9	三角形联结	三相连接成一个三角形的联结，其各边的顺序即是各相的顺序
10	曲折形联结（Z 形联结）	由六个绕组按星形连接而成的对称三相系统。六个绕组成对地连接在三个铁芯上，星的每一相均由两个绕组串联而成。不同铁芯上的绕组所产生的电动势依次相差 120° 相位角
11	单相（电压）电源	①可提供单一交流电压的电源；②引申可指各瞬时值之比均为常数的一组交流电压
12	单相（电流）电源	①可提供单一交流电流的电源；②引申可指各瞬时值之比均为常数的一组交流电流
13	多相（电压）电源	可提供两个或多个相互关联的一组交流电压的电源，这些电压具有同一频率，相互之间一般相差一个恒定时滞，且一般具有相同的振幅和波形（此定义也可引申适用于电流电源）
14	对称多相（电压）电源	多个交流电压具有相同的电压波形和振幅，且各相电压的依次时滞均等于周期的 $1/m$ 的整倍数的多相电源
15	谐振电路	在接近于谐振状态下运行的电路
16	串联谐振电路	具有一条包含串联在一起的电容和电感的单一路径的谐振电路
17	并联谐振电路	具有两条并联路径，其中一条包含电容，另一条包含电感的谐振电路
18	主电路	用以完成主要功能的电路
19	辅（助）电路	用以完成辅助功能的电路
20	控制电路	用以操纵主电路和辅助电路中的器件和设备的电路
21	信号电路	供信号灯及用于信号的其他电器的一种辅助电路
22	保护电路	以保护为目的的一种辅助电路

5. 电气器件性能和使用术语

电气器件性能和使用术语见表 1-5。

表 1-5 电气器件性能和使用术语

序 号	名 称	基 本 含 义
1	换接（转换）	与一组导体相连接转移到与另一组导体相连接
2	换向	周期性的、自动的换接
3	操作循环	可以手动或自动地重复的一系列操作
4	输入功率	供给器件或器件组合的总功率

续表

序 号	名 称	基 本 含 义
5	输出功率	器件以特定形式并为了特定目的所供出的功率
6	输入	表示与功率的接收或信号的接收相关联的量（电压、电流、阻抗……）或元件（端子、引线……）时所用的限定术语
7	输出	表示与功率的供出或信号的发出相关联的量（电压、电流、阻抗……）或元件（端子、引线……）时所用的限定术语
8	负载（负荷）	①吸收功率的器件；②器件输出的功率
9	加载	使器件或电路供出功率
10	充电	将电能储存于器件中
11	放电	将储存器件中的电能取出全部或一部分
12	有载运行	器件或电路供出输出功率的运行
13	空载运行	在其他运行条件都正常的情况下，器件或电路无输出功率的运行
14	开路运行	电路或发电机的输出电流为零的空载运行
15	短路运行	电路或发电机的输出端短路、输出电压为零的空载运行
16	满载	由额定运行条件所规定的最大负载值
17	效率	输出功率与输入功率的比，通常以百分比给出
18	损耗（损失）	器件的输入功率与输出功率之差

6. 电工产品层次术语

按照电工产品的从属关系或产品内部结构，一般有 8 个层次，见表 1-6。

表 1-6

电工产品层次术语

序 号	名 称	基 本 含 义
1	基本件	由一个或多个零件结合在一起构成的、在正常情况下不破坏其固有功能就不能分解的产品，如零件、元件、器件
2	部件	由两个或多个基本件构成的产品，是组件、设备等的一部分，如分装配
3	组件	由基本件和（或）部件组合在一起、能完成一种预定功能的产品，如器件、单元、装置
4	设备	由基本件、部件和（或）组件同组件组合在一起、能独立工作的产品，如装置、电器、电机
5	组	由相同的部件、组件或设备组合在一起的产品。它可以是套的一部分，也可以附加到套上，同套联合使用，以扩大套的功能
6	套	一个或多个设备同为实现一种预定功能而组合在一起的基本件、部件、组件所构成的产品，如机组、装置
7	子系统	系统的一个主要部分，能完成一种预定功能的设备、组、套等的组合，如成套装置、成套设备
8	系统	由设备（或组、套）同子系统或由若干子系统组成，以完成预定的各种功能的组合

7. 故障术语

故障术语见表 1-7。

表 1-7

故障术语

序号	名称	基本含义
1	致命故障	可能导致人员伤亡、重要物件损坏或其他不可容忍后果的故障
2	非致命故障	不太可能导致人员伤亡、重要物件损坏或其他不可容忍后果的故障
3	重要故障	影响主要功能的故障
4	次要故障	未影响主要功能的故障
5	误用故障	使用中施加的应力超出设备允许范围引起的故障
6	误操作故障	由于对设备操作不当或粗心引起的故障
7	弱质故障	施加的应力未超出设备允许范围, 由于设备本身薄弱引起的故障
8	设计故障	设备设计不当造成的故障
9	制造故障	由于设备的制造未按设计或规定的制造工艺造成的故障
10	老化故障或耗损故障	由发生概率随时间增大的失效产生的故障, 它是设备固有过程的结果
11	程序敏感故障	执行某些特殊指令序列时出现的故障
12	数据敏感故障	处理特殊形式的数据时出现的故障
13	完全故障或功能阻碍故障	设备完全不能执行所有规定功能的故障
14	部分故障	非完全故障的设备的故障
15	持久故障	设备在完成修复性维修之前, 持续存在的故障
16	间歇故障	设备未经任何修复性维修而在有限的持续时间内自行恢复执行规定功能的故障。这种故障往往是反复出现的
17	确定性故障	某种动作产生某种响应的设备所具有的一种故障, 该故障表现为对所有动作产生的响应是不变的
18	非确定性故障	某种动作产生某种响应的设备所具有的一种故障, 该故障表现为响应的差错依赖于所采取的动作, 例如数据一敏感故障可能就是一种非确定性故障
19	潜在故障	确实存在而尚未发觉的故障

第二节 常用电工基本定律

1. 欧姆定律

欧姆定律是反映电路中电压、电流、电阻（或阻抗）之间关系的基本定律。如图 1-1 所示, 欧姆定律最简单的表达形式是

$$U = IR \text{ 或 } I = U/R \text{ 或 } R = U/I$$

在交流电路中

$$U = IZ \text{ 或 } I = U/Z \text{ 或 } Z = U/I$$

式中: R 为直流电阻, Ω ; Z 为交流阻抗, Ω ; U 为加在 R 或 Z 上的电压, V (交流电压为有效值); I 为流过 R 或 Z 上的电流, A (交流电流为有效值)。

检查分析电气故障时, 经常要用到欧姆定律。例如, 某电路电流超过了额

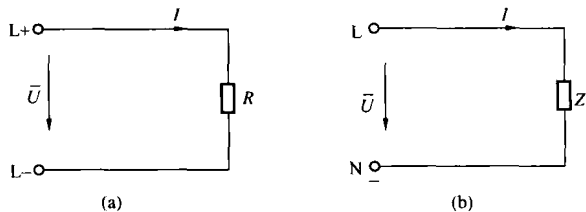


图 1-1 欧姆定律

(a) 直流电路; (b) 交流电路

定电流,属于故障现象。根据欧姆定律,首先应检查电源电压是否升高;若电源电压未升高,则应检查电路的电阻或阻抗,分析出其减小的原因。

2. 节点电流定律

对于任何节点(电路汇结点),在任一时刻流入(或流出)该节点的电流的代数和等于0。换句话说,流入节点的电流等于流出该节点的电流。这一规律称为节点电流定律(基尔霍夫第一定律)。

例如图1-2所示的电路,信号灯H及电动机M1、M2均接于节点A上。流入节点A的电流为 I ,流出节点A的电流为 I_1 、 I_2 、 I_3 。根据节点电流定律,干线上的电流与各支路电流的关系是

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \text{ (直流)}$$

$$\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 \text{ (交流, 矢量关系)}$$

如果电路中出现信号灯H不亮、电动机M1、M2都不能转动的故障,则说明 $I = I_1 + I_2 + I_3 = 0$,这时应将检查分析故障的范围主要集中在干线上,检查干线上是否存在断路点。

若测得 $I > I_1 + I_2 + I_3$,则电路一定还存在某一支路,这一支路可能是漏电支路。正是由于漏电支路的存在,使电路不能正常工作。

3. 回路电压定律

沿任一回路选定一个方向,在任意时刻,其各段电压的代数和为0。这就是回路电压定律(基尔霍夫第二定律)。

例如图1-3所示的直流电路,开关闭合后所构成的回路,其电压之和为0,在忽略导线电阻的情况下

$$U = U_1 + U_2$$

若电源电压 U 正常,但信号灯H不亮,这说明电路中无电流。根据欧姆定律,电阻器 R 和信号灯H两端应无电压降。如果测量出 R 两端的电压 $U_1 = U$,即电源电压全部加在电阻 R 上,这说明 R 内部已经断线。

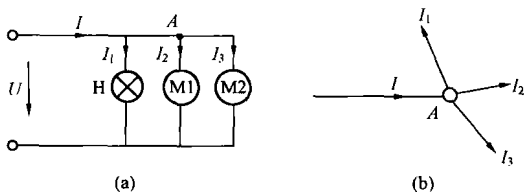


图 1-2 节点电流定律应用示例

(a) 直流电路; (b) 节点电流示意图

H—信号灯; M1、M2—电动机

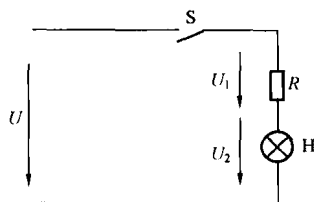


图 1-3 回路电压定律应用示例

H—信号灯; R —限压电阻

4. 电磁感应定律

当穿过某一线圈的磁通发生变化(增加或减少)时,在线圈中要产生感应电动势,其大小等于磁通对时间的变化率的负值,这就是电磁感应定律。如图1-4(a)所示,若在 Δt 时间内,线圈中的磁通由 Φ 变化到 $\Phi + \Delta\Phi$ 时,线圈中的感应电动势为

$$e = -N\Delta\Phi/\Delta t$$

式中: e 为感应电动势; N 为线圈有效匝数; $\Delta\Phi$ 为线圈中的磁通变化量; Δt 为磁通变化所

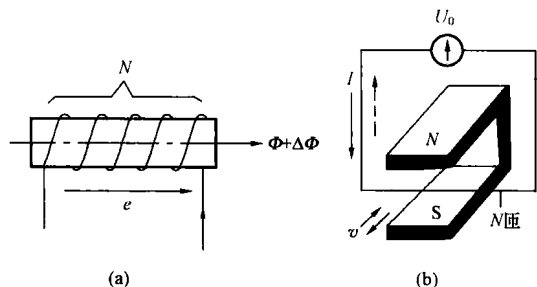


图 1-4 电磁感应定律图解
(a) 线圈形式；(b) 导体形式

经历的时间。

图 1-4(b) 示出了电磁感应定律的另一种表现形式，当长度为 L 的导体在磁场中，以速度 v 水平切割磁力线时，则导体中的感应电压与导体的有效长度、匝数、切割速度及磁场强度成正比，即

$$U = BLvN$$

式中： U 为感应电压，V； B 为磁通密度，T； v 为移动速度，m/s； N 为匝数； L 为导体在磁场中的有效长度，m。

例如，磁通密度 $B=0.5\text{T}$ ，导体 $L=0.1\text{m}$ ， $N=1000$ 匝，运动速度 $v=10\text{m/s}$ ，则感应电压

$$U = BLvN = 0.5 \times 0.1 \times 10 \times 1000\text{V} = 500\text{V}$$

如果线圈有 100 匝短接(匝间短路)，其他条件不变，则感应电压只有 450V；如果要使电压维持不变，达到 500V，导体的有效长度 L 和移动速度 v 不改变时，磁通密度 B 必然增加 10%，从而可能导致铁芯发热及其他不良后果，发生电气故障。

5. 焦耳定律

当电流通过导体时，在导体电阻上必然产生热量，热量的多少与电流大小有关，与导体电阻和通电时间成正比。这一热量可按式计算

$$Q = I^2 R t$$

式中： I 为通过导体的电流，A； R 为导体的电阻， Ω ； t 为通电时间，s； Q 为热量，J。

这一规律称为焦耳定律。

焦耳定律的另一表达形式是：若电能全部转换为热量，则

$$W = Q$$

电能的单位为 kWh，且有如下关系

$$1\text{kWh} = 3.6 \times 10^6\text{J}$$

实际上，焦耳定律所揭示的是电能转换为热量的客观规律。检查分析电气故障时，经常需要从能量转换的原理分析电气故障的原因，进而确定故障点。

例如，电气设备运行时发热，这里的“热”就是一种能量，热从何而来？是因为电气设备在输出有用功时，还存在损耗，这种损耗必须要转换为热量。如果损耗超过了正常值，电气设备的温度就会升高，甚至达到某种危及设备安全运行的程度，这就是一种故障。根据焦耳定律就应检查分析电气设备能量损耗增加的原因。

又如，某段导线过热、绝缘烧坏，检查故障时就应分析导线发热的原因。如果是电流增加造成的，就应从电路上去检查分析；如果是由于导线电阻增加造成的就应从导线连接处去检查分析。

6. 法拉第定律

法拉第定律表示在电流作用下物质化学反应的量化关系。如图 1-5。

$$m = Itc$$

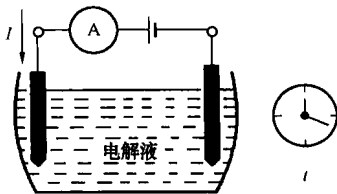


图 1-5 法拉第定律图解

式中: m 为物质的量; I 为电流; t 为时间; c 为电化当量。

【例 1-1】 $I=0.5\text{A}$, $t=100\text{s}$, $c=1.118 \frac{\text{mg}}{\text{As}}$ 。 $m=?$

解 $m=Itc=0.5\text{A} \times 100\text{s} \times 1.118 \frac{\text{mg}}{\text{As}}=55.9\text{mg}$

第三节 电气故障计算

一、基本电气性能参数计算

1. 导体的电阻

导体的电阻可按式计算

$$R = \rho L / S \text{ 或 } R = L / \gamma S$$

式中: R 为导体电阻, Ω ; L 为导体长度, m ; S 为导体截面积, mm^2 ; ρ 为导体的电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$; γ 为导体的电导率, S 。

导体的电阻与温度有关, 其关系为

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)]$$

$$\rho_2 = \rho_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)]$$

式中: R_2 、 R_1 为温度为 t_2 、 t_1 时的电阻, Ω ; ρ_2 、 ρ_1 为温度为 t_2 、 t_1 时的电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$; α 为电阻温度系数, $1/^\circ\text{C}$ 。

常用导体的电阻率、电导率及温度系数, 在 20°C 时的数值见表 1-8。

表 1-8 电阻率、电导率及温度系数 (20°C 时)

序 号	材料名称	电阻率 $\rho(\Omega \cdot \text{m})$	电导率 $\gamma(\text{S})$	温度系数 ($1/10^{-3}^\circ\text{C}$)
1	银	0.016 2	62	3.80
2	铜	0.017 2	58	3.93
3	铝	0.028 2	35	3.90
4	铁	0.100 0	10	5.00

注 近似计算时, 电阻温度系数均取 $0.0039/^\circ\text{C}$ 。

【例 1-2】 某电磁线圈由线径为 $d=0.5\text{mm}$ 的铜线绕制, 其长度 $L=50\text{m}$, 估算该线圈在常温下的直流电阻。

解 $R = \rho L / S = 4 \times 0.0172 \times 50 / (3.14 \times 0.5^2) = 4.39\Omega$

【例 1-3】 在 20°C 时测得一电动机绕组的直流电阻为 1.785Ω , 而电动机正常运行于 70°C 时的标准电阻为 2.828Ω 。试比较电阻大小 (绕组为铜线), 判断可能存在的故障。

解 按 20°C 时的电阻值换算到 70°C 时的电阻应为

$$R_{70} = R_{20} [1 + \alpha(70 - 20)] = 1.785 \times (1 + 3.93 \times 10^{-3} \times 50) = 2.136\Omega$$

其值小于原标准电阻值 2.828Ω , 说明该电动机绕组存在线圈匝间短路故障。

2. 电阻串联和电压分配

如图 1-6 所示的电阻串联电路中

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$