



DIANNENG JILIANG ZHUANGZHI
ANZHUANG YU JIEXIAN PANDU

电能计量装置 安装与接线判读

濮贤成 程文 孟樱 卜晓晟 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

DIANNENG JILIANG ZHUANGZHI
ANZHUANG YU JIEXIAN PANDU

电能计量装置 安装与接线判读

濮贤成 程 文 孟 樱 卜晓晟 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

为了方便广大用电管理人员了解和掌握有关电能计量装置选择安装及其接线和反窃电必备知识与技术,增强解决实际问题的能力,提高工作效率,作者精心编写了本书。

本书较为全面地阐述了电能计量装置选择、安装及其正确接线与错误接线,列举和分析了窃电方法(手段)与反窃电办法和措施。书中还收集了三相四线和三相三线有功电能表全部接线(288种+576种)方式的功率表达式,以便读者在工作中查阅。

本书可作为供电企业计量管理、用电检(督)查、用电营销、农电管理、供电所及线损管理等相关人员必备的工具书,也可供大、中专院校相关专业的师生教学参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

电能计量装置安装与接线判读/濮贤成等编著. —北京:中国电力出版社, 2013. 8

ISBN 978-7-5123-4368-9

I. ①电… II. ①濮… III. ①电能计量-装置-安装②电能计量-装置-导线连接 IV. ①TM933.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 086229 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2013 年 8 月第一版 2013 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 21.5 印张 523 千字

印数 0001—3000 册 定价 45.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

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

前言

在市场经济不断发展的当今时代,我国的经济形势和人们在从事经济活动中的经营意识都发生了深刻的变化,能效也被更多的人和企业关注。由于电能费用占企业成本比重较大,一些不法经营者、个体私营业主为牟取暴利,置国家法律、法规于不顾,不择手段地大肆窃取国家电能。电能计量的正确与否,不仅直接涉及供、用电双方贸易结算的利益,而且对供(用)电企业内部经营效益考核也至关重要。一句话,电能计量的正确是公平、公正根本之所在。

电能计量装置的正确接线是保证电能计量准确的必要条件。随着新型电能计量表计、电能计量装置及新的计量手段不断更新,窃电手法也正在向更隐蔽、更科技化的趋势发展。因此确保电能计量及其装置的准确性、提高相关人员业务素质就显得尤为重要。为了方便广大用电管理人员了解和掌握有关电能计量装置(选择、安装及接线)和反窃电必备知识与技术,增强解决实际问题的能力,提高工作效率,我们根据工作体验,结合有关文献精心编写了本书。

本书由濮贤成、程文、孟樱、卜晓晟编著。全书共分七章,主要包括:电工基础知识,电能计量装置的选择与安装,电能计量装置的正确接线,电能计量装置的错误接线,反窃电,查处窃电的工作方法与措施,典型窃电案例判决情况及评析等。书中附录还列举了一些供用电法律、法规,收集了三相四线和三相三线有功电能表全部接线(288种+576种)方式的功率表达式,以便读者在工作中查阅。

本书本着理论联系实际的原则,以简明的文字、数学公式及图形的形象描述,通俗易懂,较为全面地阐述了电能计量装置选择、安装及其正确与错误接线,列举和分析了窃电方法和反窃电办法与措施等用电管理人员必备的知识与技术,帮助读者增强解决实际问题的能力和提高工作效率。

本书在编写过程中,安徽电力舒城电力有限责任公司和舒城县政协领导、县科技局、安徽六安市电机工程学会给予高度关注,舒城供电公司王立胜、王少华、詹昭、余晓东、卜晓晟、李家腾、张学财、魏征、顾钊、王甫如、桂舒梅、李蒙、李红霞、陶勇、周霞、张鹏、梁波、熊鹏飞、孙其柱、李莉(大)等同志给予热情支持;匡先忠、梅章鉴等老师不吝赐教,钟丹、杨基琴、姜涛在电子录制中付出艰辛贡献,在此一并表示衷心感谢。本书还参考了国内部分相关技术文献,在此谨向相关作者和出版社深表谢意。

由于水平和时间有限,缺点和错误之处在所难免,恳请有关专家、学者与读者赐教和指正。

作者

2013年7月

目 录

前言

第一章 电工基础知识	1
第一节 常用名词及概念	1
第二节 常用电工定律	8
第三节 电工常用计算公式	12
第四节 对称正弦三相交流电	17
第五节 线损管理常用名词及相关计算公式	23
第二章 电能计量装置的选择与安装	26
第一节 电能计量装置的有关规定	26
第二节 电能表的基础知识	27
第三节 交流感应式电能表的结构和工作原理	31
第四节 电子式电能表的分类与特点及技术参数	35
第五节 机电脉冲式电子电能表的结构与工作原理	38
第六节 全电子式电能表的结构与工作原理	42
第七节 智能电能表及其功能作用	50
第八节 智能电能表企业标准设计功能	56
第九节 测量用电磁式电流互感器及其接线	59
第十节 电磁式电压互感器工作原理及其接线	64
第十一节 电能计量柜简介	68
第十二节 电能计量装置的安装	71
第三章 电能计量装置的正确接线	77
第一节 交流感应式单相电能表的正确接线	77
第二节 交流感应式三相三线两元件有功电能表的正确接线	80
第三节 交流感应式三相四线有功电能表的正确接线	83
第四节 交流感应式无功电能表的正确接线	84
第五节 有功电能表和无功电能表联合正确接线	87

第六节	电磁式电流互感器的正确接线方式	90
第七节	电磁式电压互感器的正确接线	98
第四章	电能计量装置的错误接线	104
第一节	单相有功电能表的错误接线	104
第二节	三相两元件有功电能表进表电压、电流回路的错误接线	105
第三节	三相两元件有功电能表配用电流互感器极性反接进表的错误接线	112
第四节	三相两元件有功电能表配用电压、电流互感器反接进表的错误接线	117
第五节	三相两元件有功电能表电压、电流回路的断线和短路情况分析	125
第六节	三相三元件有功电能表的错误接线分析	129
第七节	电压互感器的错误接线	138
第八节	电流互感器的错误接线	144
第九节	电能计量装置错误接线追补电量电费的计算	147
第五章	反窃电	151
第一节	反窃电工作概述	151
第二节	常见窃电方式	153
第三节	无表窃电	156
第四节	越表窃电	158
第五节	自设接地线实施窃电	160
第六节	改变电流回路实施窃电	162
第七节	改变电压回路实施窃电	165
第八节	改动相位实施窃电	169
第九节	损坏电能计量装置与改动电能表内部结构实施窃电	172
第十节	窃电器的构造、窃电的手段及其防范措施	173
第六章	查处窃电的工作方法与措施	176
第一节	窃电现场检查应具备的知识	176
第二节	窃电证据的收取方法及内容	180
第三节	电能计量装置的异常情况判断	184
第四节	在现场用估算法测试低压计量表计异常的方法和步骤	186
第五节	现场测试计量装置误差的其他方法	187
第六节	判断和检查电能计量装置接线	191
第七节	单相和三相四线有功电能表接线的检查	192
第八节	三相三线有功电能表的接线检查	194
第九节	TV、TA 错误 (含故障) 接线类型判断与分析	198
第十节	常用检查仪表的使用	202
第十一节	对用户使用电量的核对检查	205
第十二节	防止窃电的技术措施与管理措施	207

第十三节 追补窃电电量、电费的计算方法举例·····	209
第七章 典型窃电案例判决情况及评析·····	214
案例一 供电局职工窃电数额巨大,窃电人能投案自首,认罪悔罪, 积极退赃判决情况·····	214
案例二 农村居民长期窃电,多次查获,但置若罔闻窃电案判决情况·····	216
案例三 村电工为牟私利窃电案判决情况·····	216
案例四 图谋私利,窃电数额巨大,共同窃电案判决情况·····	217
案例五 窃电犯抗诉判决案件终审判决情况·····	219
案例六 切断电能计量装置接线实施窃电,窃电数额特别巨大案件判决情况·····	220
案例七 多次窃电,数额巨大,被告不服上诉案件终审判决情况·····	221
案例八 窃电证据确凿,被告人辩解原告抗诉案件终审判决情况·····	223
案例九 开启、伪造电能表计量封印造成供电方电量丢失案件判决情况·····	224
案例十 秘密窃取电能,数额较大窃电案件判决情况·····	226
案例十一 断电压线,窃电数额巨大窃电案件判决情况·····	227
案例十二 断电压线窃电者不服一审判决上诉案件终审判决情况·····	229
案例十三 短接 TA 二次端子,大肆窃电案件判决情况·····	230
案例十四 电工利用自制设备倒表窃电案件判决情况·····	232
案例十五 故意伤害用电稽查人员案件判决情况·····	233
案例十六 村电工私自开启计量装置倒表窃电案件判决情况·····	234
案例十七 谎称自己是供电方管电负责人,诈骗用电户钱财案件判决情况·····	235
案例十八 窃电户不服查处,干扰查电工作案件判决情况·····	235
案例十九 制造、贩卖窃电器案件的查处及评析·····	236
案例二十 用户雇佣他人窃电案件的查处及评析·····	237
案例二十一 某加工厂承包人伙同他人共同窃电案件的查处及评析·····	239
附录 A 供用电法律法规(对查处窃电的相关规定)摘录·····	240
A-1 《中华人民共和国电力法》摘录·····	240
A-2 《中华人民共和国计量法》摘录·····	241
A-3 《电力供应与使用条例》摘录·····	242
A-4 《供用电监督管理办法》摘录·····	243
A-5 《用电检查管理办法》摘录·····	244
A-6 《供电营业规则》摘录·····	246
A-7 《中华人民共和国刑法》摘录·····	249
A-8 《电能计量装置技术管理规程》(DL/T 448—2000)摘录·····	249
附录 B 三相四线有功电能表全部接线方式的功率表达式对照表·····	257
附录 C 三相三线有功电能表全部接线方式的功率表达式对照表·····	279

第一章

电 工 基 础 知 识

第一节 常用名词及概念

一、电学

1. 电荷

物体的带电质点称为电荷。电荷有正、负两种，同性电荷相互排斥，异性电荷相互吸引。电荷的代表符号是字母“Q”，度量单位是“库仑（C）”。

（1）正电荷。正电荷也称阳电荷，如质子所带的电。中性物体失去电子后即带正电荷。

（2）负电荷。负电荷也称阴电荷，如电子所带的电。中性物体获得额外电子后即带负电荷。

2. 电

现代科学指出：一切物体都是由大量的原子构成，而原子则是由带正电的原子核和带负电的电子组成。在正常情况下，同一个原子中正、负电荷的电量相等，因此整个物体被认为是不带电的或称中性的。当它们由于某种原因（如摩擦、受热、化学变化等）而失去一部分电子时就带上正电，相反某物体获得额外电子时就带上负电。电荷周围存在着电场，而运动电荷存在着磁场。随着人们对电的本质、特征和控制方法逐步了解和掌握，电在生产、生活和科学实验中的应用日益广泛。

3. 自由电荷

存在于物质内部的、在外电场作用下能够自由运动的正、负电荷叫自由电荷。这种正、负电荷之间的相互作用力比外界电场给它们的力弱，因此可以彼此脱离而移动。例如，金属中的自由电子，电解液或气体中的离子等。

4. 束缚电荷

当电介质（如电容器极板间绝缘物）处于外电场中被极化时，在电场力的作用下，分子中的正、负电荷中心将发生相对位移，形成新的电偶极子，对于一块电介质整体来说，由于电介质中每一个分子都成为电偶极子，在电介质内部保持中性，而在电介质的两个和外电场相垂直的表面上分别出现了正电荷和负电荷，这些电荷不能离开电介质，也不能在电介质中移动，这类电荷称为束缚电荷，有时也称极化电荷。

5. 点电荷

不考虑其大小和分布状况而看作集中于一点的电荷叫点电荷。如果电荷分布在带电体上,则当带电体为线型且它的线长度在所讨论问题中,远小于其距离或长度时,这种电荷分布也可当作点电荷。点电荷只是一个为讨论问题而引入的理想概念。

6. 电荷量

电荷量是度量物体所带电荷多少的量度,常简称为电量,国际单位制电量的单位为库仑。电子电量是电量的最小单元,其值为 $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$,一般来说带电体的电量数值上都是电子电量的整数倍。在讨论电场问题时会提到这种“电量”,它与我们日常生活中的电能表中计量(或日常口语中)的电量有本质区别,后者是电能量的简称。

7. 电荷密度

电荷密度是对电荷分布疏密程度的量度。电荷分布在物体内部时,物体单位体积内的电量称为电荷体密度;电荷分布在物体表面时,物体表面单位面积上的电量称为电荷面密度;而电荷分布在线上时,则单位长度上的电量称为电荷线密度。导体带电时,电荷都是分布在表面,而尖端处的密度最大。

8. 电偶极子

两个相距极近、等量且异性的点电荷所组成的系统称为电偶极子。一个电荷的电量和两个电荷之间距离的乘积称为电偶极距,它是矢量,其方向为沿着两个电荷的连线,自负电荷指向正电荷。对于复杂的中性分子的电结构,如果其正电荷中心与负电荷中心不重合,也可近似地认为是一个等效的电偶极子。

9. 电场

电场是传递电荷和电荷间相互作用的物理场所,是一种特殊物质。电荷周围总有电场存在,同时电场对场中其他电荷,会发生力的作用。电场来源有以下三种:

(1) 库仑电场,即由于电荷的存在而产生的电场。如果电荷是静止的,则它周围的电场即称为静电场。由于这类电场力符合库仑定律,故又称为库仑电场。

(2) 感应电场,即由电磁感应而来的电场。当某处或其附近有变动的磁场时,则该处即同时存在感应电场。

(3) 局外电场,是指非电磁原因所得的电场,例如,化学作用、热电作用及光电作用而得的电场等,均称局外电场。

10. 电场强度

电场强度是表示电场强弱和方向的物理量,它表征电场力的性质。电场强度符号用大写字母 E 表示,它的国际单位为 V/m 。电场中某点的电场强度,等于放在该点的检验电荷所受的电场力跟其电量的比,即可用 $E=F/q$ 表示。电场的方向可用检验电荷(正电荷)在该点所受电场力的方向来确定。

11. 静电学与静电屏蔽

静电学是指研究静电场的性质、静止的带电体和静电场的相互作用以及有关的现象和应用等的科学。

静电屏蔽是指为了避免外界静电场对电或非电设备的影响,或者为了避免电气设备的静电场对外界的影响,需要把这些设备放在接地的封闭或近乎封闭的金属罩(金属壳或金属网)里的措施。

12. 静电感应

导体因受附近带电体的影响而在其表面的不同部分出现正、负电荷现象叫静电感应。处在电场中的导体,由于电场的作用,导体中的自由电子将会进行分布,导体内的电场跟着变化,直到导体内的电场强度减小到零为止。这样将造成靠近带电体的一端出现与带电体异性的电荷,而它的另一端出现与带电体同性电荷的结果。如果导体原来不带电,则两端带电的数量相等,如果导体原来已经带电,则它两端电量的代数和应与导体原来所带电量相等。

13. 电容

在相互绝缘的两个导体上加上一定电压就具有储存电荷的性质,所储存的电荷与所加电压之比称为电容,其代表符号是 C , 单位为法拉(F)。

电容是表征导体或导体体系储存电荷能力的物理量。孤立导体的电容等于它所带电量与它具有的电势的比值,即 $C=q/U$ 。

14. 电容器

电容器是电路中用来储积电能的元件,有时简称电容,常用字母 C 表示。电容器是由电介质相隔开的两片(或两组)相互靠近、又彼此绝缘的金属片组成的,其图形符号如图 1-1 所示。电容器储藏电荷的能力用电容量(有时也简称为容量)来表示。常用的电容量的单位有法(F)、微法(μF)。



图 1-1 电容器图形符号
(a) 一般符号; (b) 有极性

电容器所用的电介质有固体的、气体的(包括真空)和液体的。电容器按构造可分为固定的、可变的、半可变的三类;按所用电介质则可分为空气电容器、真空电容器、纸介质电容器、塑料薄膜电容器、金属化聚丙烯膜电容器、云母电容器、陶瓷电容器、电解电容器等。

15. 介电常数

介电常数也称电容率、相对电容率,它是指在同一个电容器中某一物质为电介质时的电容和其中为真空时的电容的比值,介电常数通常随温度和介质中传播的电磁波的频率而变。电容器的介质要求具有较大的介电常数,以便减少电容器的体积和质量。

二、电磁学

1. 磁场

磁场是传递运动电荷或电流之间相互作用的物理场所,是一种特殊物质,由运动电荷或电流产生,同时对场中其他运动电荷或电流发生力的作用。运动电荷或电流之间的相互作用是通过磁场和电场来传递的。永磁体之间的相互作用只通过磁场来传递。变化的电场可以引起磁场,所以运动电荷或电流之间的作用要通过电磁场来传递。

2. 磁体

磁体是指具有磁性的物体。磁是指某些物质能吸引铁、镍、钴等物质的一种属性。天然磁体称为磁石(天然磁体化学分子式为 Fe_3O_4),人造磁体有条形、马蹄形、环形等形状。每个磁体的两端磁性最强,称之为磁极。可以水平自由转动的条形磁体或磁针,在地球磁场的作用下,方向大致指南、北,我们则称指向北的一端为北极,常用字母 N 表示,指南的一端为南极,常用字母 S 表示。任何磁体都有 N 和 S 两个磁极。与电荷同样,同名磁极相互排斥,异名磁极相互吸引。

3. 磁极强度

磁极强度又简称为“极强”，它是表示磁极强弱的物理量，两个强弱相同的磁极，在真空中相距 1cm 时，如果它们之间的相互作用力等于 $1 \times 10^{-5} \text{ N}$ ，则每个磁极的强度就规定为一个电磁系单位制中的磁极强度单位。

4. 磁矩

条形磁体两个磁极间的距离和一个磁极强度的乘积称为磁矩。它是一个矢量，方向规定为沿着两磁极的连线自南极指向北极。电流回路在磁场中所受到的转矩，与条形磁铁在磁场中受到的转矩相似，所以也有磁矩，它的数值与电流回路面积和电流强度的乘积成正比，方向垂直于电流回路平面，其指向可用右手螺旋法则确定，即当电流回路绕着螺旋柄旋转时，磁矩方向就是回路平面的法线方向。

5. 磁化与磁感应

磁化是指使原来不显磁性的物体在磁场中获得磁性的过程。最容易磁化的是铁磁性物质，如软铁、硅钢等。由于电流能引起很强的磁场，并便于控制，所以常利用电流的磁场使铁磁物质磁化，如常见的电力变压器铁芯就是如此。

磁感应则是指把铁棒等物体置于永磁体附近就能显示磁性的现象。铁棒靠近永磁体 N 极的一端则显示 S 极，而另一端同时显示 N 极。

6. 磁感应强度

磁感应强度是表示磁场强弱和方向的物理量。它表示了磁场力的性质，是一个矢量。磁场中某点磁感应强度等于这个磁场对放在该点的通电导线的最大作用力跟电流强度和导线长度的乘积的比，即可用公式 $B = F / (IL)$ 表示，式中， B 为磁感应强度， F 为作用力， I 为电流强度， L 为导线长度。磁感应强度的单位为“特斯拉”（或用字母 T 表示） $1 \text{ T} = 1 \text{ N} / (\text{A} \cdot \text{m})$ 。在厘米、克、秒单位制中，磁感应强度单位为“高斯”（或用字母 Gs 表示，且有 $1 \text{ T} = 10^4 \text{ Gs}$ ）。

7. 磁力线

磁力线是描述磁场分布情况的假想曲线。曲线上各点的切线方向就是该点的磁场方向。磁力线永远是闭合的曲线，棒形永磁体磁场的磁力线可以认为是从磁体的北极（N）出发经磁体四周外侧再回到磁体的南极（S）。磁力线的疏密程度表示该处磁场的强弱。

8. 磁通量

磁通量是表示磁场分布情况的物理量。通过磁场任一单位面积元 ds 的磁通量 $d\Phi$ 等于磁感应强度在该面积元法线方向上的分量 B_n 和面积元的乘积，即有 $d\Phi = B_n ds$ ，或 $B_n = d\Phi / ds$ ，在匀强磁场中 $\Phi = BS$ ，式中， S 为 B 与磁场方向垂直的平面的面积。

因此，磁感应强度 B_n 数值上可以看成是与磁场相垂直的单位面积之上的磁通，故又称为磁通密度，它是表征磁感应强度的大小。

9. 电磁场

电磁场是相互依存的电场和磁场的总称。电场随时间变化而引起磁场，磁场随时间变化又产生电场。两者互为因果，形成电磁场。电磁场一般以光的速度向四面八方传播，即形成电磁波。电磁波是物质存在的一种形式，具有质量、动量和能量。

10. 电磁感应

通过闭合回路所包围面积的磁通量发生变化时，回路中就会产生电流的现象叫电磁感应。由于电磁感应而产生的电动势称为感应电动势，由于电磁感应而产生的电流称为感生

电流。

11. 涡流与涡流损耗

涡流也称傅科电流，是交变磁场在导体内部产生的感生电流，在垂直于磁场方向的平面内沿环形流通，形状如同水的旋涡，故一般称涡电流，又简称涡流。磁场变化越快，涡流越强。涡流能造成导体发热，即大量消耗电能，因涡流产生的电阻损耗称为涡流损耗，因此在许多电气设备中都要设法尽量减小涡流。电机和变压器的铁芯不用整块的材料，而用涂有绝缘介质膜的薄硅钢片叠压做成，就是为了减少涡流。

12. 电感线圈与自感

(1) 电感线圈。电感线圈是用已经绝缘处理（涂以绝缘漆等）的导线一圈一圈地绕在绝缘管或铁芯上而制成的器件，因此也叫电感器，有时简称线圈，一般用字母 L 表示。其中，绕在绝缘管上的叫空芯线圈，用图 1-2 (a) 表示；绕在铁芯上的叫铁芯线圈，用图 1-2 (b) 表示。



图 1-2 电感线圈示意图

(a) 空芯线圈；(b) 铁芯线圈

电感线圈的特性正好与电容相反，即直流顺利通过，而交流通过时却受到阻碍。直流电通过线圈时，立即在线圈圈内空间产生磁场，这就是大家常说的“电生磁”，但把这种线圈接到交流电路中，因交流电的电流大小和方向随时间不断变化，使得在单位时间内通过线圈横截面的磁通量发生变化，线圈就会产生出反向电动势，阻碍电流变化，即出现“磁又生电”现象。

(2) 自感。当闭合回路中的电流发生变化时，由这种电流所产生的穿过回路（线圈圈管内）本身的磁通量将发生变化，因此在回路中将产生感应电动势来阻止电流变化，这种现象叫自感现象。而这个电动势则称为自感电动势。自感电动势与线圈通过的电流的变化率成正比。

线圈自感量的大小，用自感系数来表示，简称电感(L)，单位为亨利(H)，小一点的单位还有毫亨(mH)等。线圈圈数越多，直径越大，它的电感量越大，线圈在空间产生的磁场越强，线圈中若有铁芯，它的电感量会大大增加，由于磁力线被束缚集中了，使线圈横截面内的磁场大大增强，变压器、继电器等元件线圈就是根据这一原理而制作的。

13. 互感

当两个线圈互相靠近时，一个线圈内的电流所产生的磁通会有一部分与另一个线圈环链。当一个线圈中的电流发生变化时，而环链的磁通也发生变化，即也将产生感应电动势。所以说互感是指由于一个电路中电流变化而在邻近的另一个电路中引起感生电动势的现象。互感量的大小，用互感系数(M)来表示。

14. 同名端

两个线圈分别由某个端点流入（或流出）电流 I_1 和 I_2 ，如图 1-3 所示，如果它们所产生的磁通量是互相增强的，则该两个端点叫做同名端或叫对应端。在电路图中常常为了作图

简便起见，并不画出线圈的绕法，这就要用一种特殊标记来表示这种绕法，这种标记是用来表示同名端的记号，常用记号“*”或黑圆点“·”符号表示。

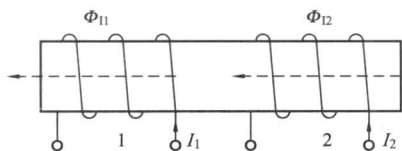


图 1-3 同名端示意图

15. 感抗

交流电流通过具有电感的电路时，电感有阻碍电流通过的作用，这种作用叫做感抗。

16. 容抗

交流电流通过具有电容电路时, 电容也有“阻碍”电流通过的作用, 这种作用叫做容抗。

17. 阻抗

交流电流通过具有电阻、电感、电容的电路时它们都有阻碍电流通过的作用, 这种作用通称阻抗, 代表符号为 Z 。

三、与电能相关的名词

1. 电能或电功能

在电力系统及电气设备和国民实际生产、生活中, 我们所需的并不是电流本身, 而是伴随电压、电流的电磁场能量, 它就被广泛地称之为电能或电能量。

(1) 电能。电流所做的功叫做电功。电流做功的过程就是电能转化为其他形式的能量的过程, 电流做了多少功, 就表示有多少电能转化成了其他形式的能。电流在一段电路上所做的功, 跟这段电路两端的电压、电路通过的电流强度和通电的时间成正比, 即有 $W = IU_t$ 。

(2) 电功率。电流在 1s 时间内所做的功叫电功率。

2. 导体

导体是指具有大量能够在外界电场力作用下自由移动的带电粒子(如自由电子), 因而能够很好地传导电流的物体。金、银、铜、铁等一切金属, 以及含有正、负离子的电解质等都是导体。

3. 绝缘体

绝缘体与导体刚好相反, 所以有时也称“非导体”。它是具有良好的电绝缘和热绝缘的物体, 如玻璃、塑料、橡胶、毛皮、瓷器、云母等物质都是绝缘体。绝缘体内几乎没有自由电荷, 所以不能导电。

4. 电介质

电介质是不导电物质的学名。电介质的基本特征是它在外电场作用下产生极化。当外电场强度超过某极限值时, 电介质会被击穿, 而失去介电性能。电介质在工程上常被用作电气绝缘材料、电容器的介质及特殊的电介质器件等。

5. 电阻

电阻是物质(导体)阻碍电流通过的一种性质。当电路中两点间电压一定时, 电阻是决定电流强度的一个物理量, 不同物质电阻差别很大。导体的电阻最小, 但随温度升高而增大, 绝缘体电阻最大。

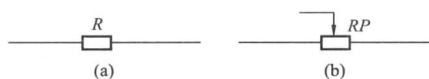


图 1-4 电阻(器)的图形和符号

(a) 固定电阻; (b) 可变电阻

一段有一定电阻的导体, 可用一个电阻来表示; 另外用电器的性质为电阻性, 如电热毯、白炽灯、电炉子等, 也可用一个电阻来表示, 其图形符号如图 1-4 所示。

6. 电阻温度系数

电阻温度系数表示物质的电阻率随温度变化的物理量, 金属的电阻率与温度的关系为 $\rho = \rho_0(1 + \alpha t)$, 其中, ρ_0 为 0°C 时的电阻率, t 为摄氏温度, 则 ρ 为当温度为 $t^\circ\text{C}$ 时的电阻率, α 为温度系数。

7. 电力线

与磁力线相仿, 电力线是描述电场分布情况的曲线, 实际上并不存在。曲线上各点的切线方向就是该点的电场方向, 电力线的条数的多少可以形象地描述该点电场的强弱, 也就是电场强度的大小。在静电场中, 电力线从正电荷出发终止于负电荷, 不形成闭合线, 也不中断。在交变电磁场中, 电力线是围绕磁力线的闭合线。由于电场中每一点只有一个电场方向, 所以任何两条电力线不能相交。

8. 电动势

电动势是描述电场能量性质的物理量。电场中某点的电动势在数值上等于单位正电荷在该点所具有的电势能, 即有 $U=W/q$ 。在理论上常把“无限远”处作为电动势零点, 实际常取地球表面为电动势零点。电场中某点的电动势在数值上也就等于单位正电荷从该点到无限远处(或地面)时电场对其所做的功。这个功与路径无关。当电荷在电场力的作用下移动时, 它的电能减少; 电荷在外力作用下克服电场做功时, 电荷的电势能增加。若电荷自无限远处移到电场中某一点时, 需要克服外力做功, 则电荷在这一点上的电动势大于零; 如果电荷自无限远处移到电场中某一点时, 是电场力做功, 则电荷在这一点上的电势能小于零(即为负值)。电动势是标量, 它们可以为正值、负值或零。

9. 电动势差与电压

电动势差有时也称“电位差”、“电压”。它是静电场中或直流电路中两点间的电动势差值, 在数值上等于电场力使单位正电荷从一点移动到另一点所做的功, 即表示为 $U_{AB}=U_A-U_B=W/q$ 。在交流电路中, 两点间的电动势差在正、负极大值之间做周期性变化, 在交流电路中的电动势差只有瞬时值的意义, 所以常用有效值表示: 即有 $U=U_m/\sqrt{2}$ 。

10. 电流、电流强度

电荷的定向流动称为电流。单位时间内通过导体截面积的电荷量称为电流强度, 常简称为电流。

11. 电流密度

电流密度是指通过单位面积的电流大小。

12. 电动势、反电动势

(1) 电动势。电动势是指非静电力在电源内部把正电荷从负极不经过外界直接移到正极所做的功跟被移送电量的比值, 称为电源的电动势, 即有 $\epsilon=W/q$ 。每个电源的电动势的大小是由电源本身性质决定的, 跟外界电路无关。电动势是标量, 习惯上规定电动势的指向是在电源内部从负极指向正极, 沿着电动势的方向。从能量的转化的守恒定律来看, 电动势是其他形式的能转化为电能所引起的电势差。

(2) 反电动势。反电动势是与外加电压方向相反的电动势。例如, 电动机转动时, 由于电枢和磁场相对运动在电枢线圈中产生的感应电动势就是反电动势。此时通过电枢线圈的电流, 正比于外加电压与反电动势之差。电动机转速越快, 反电动势也越大。电流通过电解槽时, 由于电极或电解质发生化学变化, 也有反电动势。

13. 路端电压

路端电压是指电路接通时的电源两极间的电压, 它在数值上等于电源的电动势减去内电路的电压, 用算式表示有 $U=E-Ir$, r 表示电源的内电阻。当外电路断开时, 即相当于外电路的电阻无穷大, 即可看作 $I=0$, 所以路端电压就等于电源电动势。路端电压有时又简

称为端电压。

14. 气体放电

气体放电是指电流通过气体时发生的现象。由于紫外线、宇宙射线、微量放射性物质的作用，气体常含有少量的正、负离子，这些离子在外加电压下运动而形成电流。电流通过气体时常伴有发光、发声等现象。另外，由于气体性质、气压、电极形状、外加电压等情况不同，因而呈现不同的放电现象。例如，电晕、弧光放电、辉光放电、火花放电等。气体放电的研究与高电压绝缘、高温、照明等问题都有密切联系。

15. 电晕

电晕是指带电体表面在气体或液体介质中局部放电的现象。它常发生在不均匀电场中和电场强度很高的区域。例如，高压导线周围带电体尖端附近，其特征是出现与日晕相似的光层，并发出嗤嗤的声音，同时产生臭氧、氧化氮等。电晕会引起电能的损耗，并会对通信和广播发生干扰。

16. 弧光放电

弧光放电是指显示弧形白光、产生高温的气体放电现象。其特点是需要的电压不高，但电流很大。电弧可作为强光源（如弧光灯）、紫外线源（太阳灯）、强热源（电弧炉、电焊机）。在开关电器中由于触头分开引起电弧，易烧毁触头，这种情况下必须采取措施，使其迅速熄灭。

17. 辉光放电

辉光放电是指在低气压的气体中显示辉光放电现象。其特征是需电压、电阻和电流密度都很小，荧光灯、霓虹灯等均是利用辉光放电发光的。

18. 火花放电

火花放电是指在电动势差很高的正、负带电区域间，显示闪光并发出声音的短时间气体放电现象。在放电的空间内，气体分子发生电离，气体迅速剧烈发热，发出闪光和声音。火花放电常用在光谱分析、金属电火花加工、内燃机的点燃设备（火花塞）等方面。

19. 尖端放电

尖端放电是指导体尖端处发生的放电现象。当导体带电时，尖端附近的电场特别强，致使附近气体电离，从而导致放电。避雷针就是根据尖端放电的原理制作的。

第二节 常用电工定律

1. 库仑定律

库仑定律是表示两个静止点电荷间相互作用力的定律，是法国物理学家库仑在 1785 年发现的。库仑定律内容为：两个点电荷间的作用力（称为库仑力）的方向在这两个点电荷的连线上，作用力的大小跟每个点电荷的电量成正比，跟点电荷间的距离的平方及电荷所在介质的介电常数成反比，公式如下：

$$F = K \frac{Q_1 Q_2}{\epsilon R^2} \quad (1-1)$$

式中 F ——点电荷之间的作用力，N；

K ——比例常数，在国际单位制中， $K=9.8\text{N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$ ；

Q_1 、 Q_2 ——两个点电荷分别所带电量，C；

ϵ ——介电物质的介电常数；

R ——两个点电荷之间的距离，m。

同种电荷间为斥力，异种电荷间为引力。

2. 电阻定律与电阻率

(1) 电阻定律是确定导体电阻值的定律。导体的电阻跟导体的长度成正比，跟导体的电阻率成正比，而跟导体的横截面积成反比，公式如下：

$$R = \rho L / S \quad (1-2)$$

式中 R ——导体电阻， Ω ；

ρ ——导体的电阻率， $\Omega \cdot \text{m}$ ；

L ——导体的长度，m；

S ——导体横截面积， m^2 。

(2) 电阻率。电阻率是表示物质导电性能的物理量。它将随温度的变化而变化，电阻率越小表示物质的导电本领越强。

3. 欧姆定律

欧姆定律由德国科学家欧姆在 1827 年发现的，是表示电流通过电路中，电流、电压、电阻之间关系的规律。

(1) 部分电路（直流电路或纯电阻负载交流电路）欧姆定律：通过部分电路的电流与该段电路两端电压成正比，与该段电路的电阻成反比，公式如下：

$$I = U / R \quad (1-3)$$

式中 I ——电路中通过的电流，A；

U ——电路两端之间电压，V；

R ——电路的电阻， Ω 。

如再联系功率则欧姆定律表达式有

$$\left. \begin{aligned} I &= \frac{U}{R} = \frac{U}{R} \cdot \frac{I}{I} = \frac{P}{U} \\ U &= IR = IR \cdot \frac{I}{I} = \frac{P}{I} \\ R &= \frac{U}{I} = \frac{U}{I} \cdot \frac{I}{I} = \frac{P}{I^2} \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

$$P = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-5)$$

(2) 部分电路在具有电阻、电抗的交流电路中的欧姆定律表示式有

$$\left. \begin{aligned} I &= \frac{U}{Z} \\ U &= IZ \\ Z &= \frac{U}{I} = \sqrt{R^2 + X^2} \\ Z &= \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + (\omega L - \omega C)^2} \end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$

在纯电容电路中有

$$I = \frac{U}{\frac{1}{\omega C}} = \frac{U}{X_C} \quad (1-7)$$

在纯电感电路中有

$$I = \frac{U}{\omega L} = \frac{U}{X_L} \quad (1-8)$$

式中 I ——电路的电流, A;

U ——电路的电压, V;

Z ——电路的阻抗, Ω ;

P ——电路的功率, W;

L ——电路的电感量, H;

C ——电路的电容量, F;

ω ——交流电的角频率, $\omega = 2\pi f$, rad/s;

f ——交流电频率, Hz;

X_C ——电路的容抗, Ω ;

X_L ——电路的感抗, Ω 。

4. 右手螺旋法则 (安培定则)

右手螺旋法则也叫安培定则, 它是表示电流和其所产生的磁场之间方向关系的定则。它适用于两种情况:

(1) 直导线电流的磁场。当通电导体为直导体时, 设想用右手握住导体, 让伸直的大拇指所指的方向与电流方向一致时, 则弯曲的四指所指的方向就是导体周围磁力线的环绕方向, 如图 1-5 (a) 所示。

(2) 螺旋管或线圈电流的磁场。当通电导体为螺旋管式的线圈时, 设想用右手握住螺旋管, 让弯曲的四指所指的方向与电流方向一致时, 则大拇指所指的方向就是通电螺旋管所产生的磁场磁力线的方向, 即磁场北极, 如图 1-5 (b) 所示。

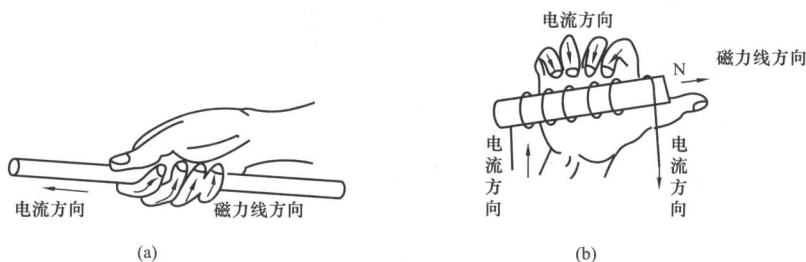


图 1-5 通电导线周围磁场方向

(a) 直导线; (b) 线圈

5. 楞次定律

楞次定律是确定由于电磁感应而产生的感生电流方向的定律, 它由德国科学家楞次在 1833 年提出。楞次定律指出: 感生电流的方向, 总是使自己的磁场阻碍原来磁场的变化。楞次定律完全符合能量的转化和能量守恒定律。

6. 右手定则 (也称发电机定则)

右手定则是确定当导体在磁场中运动时, 导体中感生电动势方向和磁场方向及导线运动