

Electric Power Technology

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI (高职高专教育)



DIANNENG JILIANG

电能计量

祝小红 主 编
周 敏 副主编



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI (高职高专教育)



DIANNENG JILIANG

电能计量

主 编 祝小红
副主编 周 敏
编 写 徐耘英 徐文靖
主 审 刘建华



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材（高职高专教育）。

本书从高职高专教育的特点出发，具有理论联系实际，深入浅出，通俗易懂的特点。全书以电能计量装置为线索，介绍了各部分的构成及工作原理，阐述了电能表、互感器的校验方法，并重点介绍了常见计量装置的外部接线及反窃电检查手段；此外，以电子式电能表为核心，介绍了大量的新技术、新设备。书中配有丰富的图、表，有助于读者理解内容。每章均配有习题，最后第十一章是实验内容，便于读者巩固和运用理论知识。

本书可作为高职高专院校相关专业的教材，也可作为培训教材以及电气工程技术人员从事电能计量、用电检查和用电营业工作的参考书。

图书在版编目（CIP）数据

电能计量/祝小红主编. —北京：中国电力出版社，
2007. 1

普通高等教育“十一五”规划教材. 高职高专教育
ISBN 978 - 7 - 5083 - 4851 - 3

I. 电... II. 祝... III. 电能—电量测量—高等学校：
技术学校—教材 IV. TM933.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2006）第 120261 号

中国电力出版社出版、发行

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

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2007 年 1 月第一版 2007 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 10.75 印张 263 千字

印数 0001—3000 册 定价 16.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

（本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换）

前 言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神,加强教材建设,确保教材质量,中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校,满足学科发展和人才培养的需求,坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为新编教材。

本书从高职高专教育的特点出发,严格执行国家电能计量管理规程,具有理论联系实际,深入浅出,通俗易懂的特点。全书以电能计量装置为线索,介绍了各部分的构成及工作原理,阐述了电能表、互感器的校验方法,重点介绍了常见计量装置的外部接线及反窃电检查手段;此外,以电子式电能表为核心,介绍了大量的新技术、新设备。书中配有丰富的图、表,有助于读者理解内容。每章均配有习题,最后第十一章是实验内容,便于读者巩固和运用理论知识。

全书共分十一章。其中绪论、第二、四、五、六章由祝小红同志编写,第一、七、八、十章由周敏同志编写,第三章由徐耘英同志编写,第九章由徐文靖、徐耘英同志编写,四位同志编写的实验内容构成了第十一章。全书由祝小红主编,并负责全书的统稿和定稿工作;由湖北省电力试验研究院刘建华主审。

在本书的编写过程中,曾得到武汉电力职业技术学院、四川电力职业技术学院和武汉电力公司有关同志的大力支持和帮助,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有错误或不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2006.9

目 录

前言

绪论	1
第一章 感应式电能表的结构和工作原理	5
第一节 单相电能表的结构	5
第二节 感应式单相电能表的工作原理	9
第三节 三相电能表的结构及测量原理	16
习题	19
第二章 感应式无功电能表	20
第一节 测量无功电能的意义	20
第二节 感应式无功电能表的工作原理	21
第三节 感应式无功电能表的特点	25
习题	27
第三章 测量用互感器	29
第一节 电压互感器的结构和误差	29
第二节 电压互感器的正确使用	33
第三节 电流互感器的结构和误差	35
第四节 电流互感器的正确使用	40
习题	41
第四章 电能计量装置的接线及配置	42
第一节 电能计量装置的正确接线	42
第二节 电能计量装置的错误接线	52
第三节 电能计量装置的配置	53
习题	55
第五章 窃电的检查及处理	56
第一节 寻找窃电嫌疑	56
第二节 判断窃电行为	59
第三节 确定窃电方式	64
第四节 处理窃电案件	74
习题	79
第六章 电子式电能表	80
第一节 电子式电能表的基本知识	80
第二节 电子式电能表的原理和结构	82
第三节 电子式电能表的多种功能	85
第四节 电子式电能表的接线	90

习题	93
第七章 电能表的误差及其调整装置	95
第一节 感应式电能表的误差	95
第二节 感应式电能表误差调整装置	97
第三节 电子式电能表的误差及其调整	105
习题	107
第八章 电能表的检定	108
第一节 电能表检定装置	108
第二节 感应式电能表的检验与调整	115
第三节 电子式电能表的检验	126
第四节 电子式电能表特殊功能的检验	129
第五节 电能表的现场检验	134
习题	137
第九章 测量用互感器试验	139
第一节 互感器校验仪	139
第二节 互感器的试验	143
习题	148
第十章 综合误差	149
第一节 误差理论	149
第二节 电能计量装置的综合误差	151
第三节 校验装置的综合误差	157
第四节 减小综合误差的方法	158
习题	159
第十一章 实验	160
实验一 电能表的结构认识	160
实验二 单相电能表的接线及检查	160
实验三 感应式单相电能表的检定	161
实验四 三相电能表的检定	162
实验五 互感器的极性测试	164
参考文献	165

绪 论

一、电能计量装置概念

电能是一种特殊商品,其产、供、用几乎在同一时刻完成。为了贸易结算,电能从发电厂到客户间的升压、输送、降压、使用等过程均有电能计量装置,其构成如图 0-1 所示。

电能计量装置的作用是计量发电量、厂用电量、供电量和销售电量等。如计量居民用电量的单相电能表就是一种最简单的电能计量装置,它计量的用电量是居民缴纳电费的依据。居民的单相电能表一般都是直接接入电路,但是,在高电压、大电流系统中,实际电压和电流超过了电能表的量程,电能表就必须先通过互感器将高电压、大电流变换成低电压、小电流,才能接入电能表进行测量。

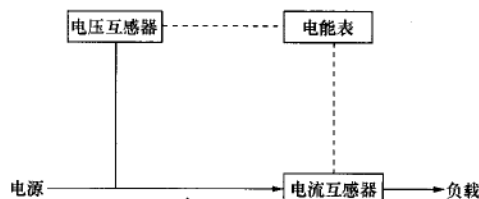


图 0-1 电能计量装置示意图

一般我们把电能表、测量用互感器、电能表到互感器的二次回路(图 0-1 虚线所示部分)以及计量箱统称为电能计量装置。

二、电能计量装置各部分作用

1. 电能表的作用

电能表俗称电度表,是电能计量装置的核心部分。其作用是计量负载消耗的或电源发出的电能。由于电能等于功率乘以时间,因此电能表测量的是功率的累积值。如某居民客户安装了一块单相电能表,上午 7:00—12:00 期间用电负荷情况如下:

7:00—8:00	$P_1 = 1000\text{W};$
8:00—10:00	$P_2 = 600\text{W};$
10:00—11:00	$P_3 = 1500\text{W};$
11:00—12:00	$P_4 = 2000\text{W}.$

则单相电能表计量的电能为 $W_P = P_1 \times t_1 + P_2 \times t_2 + P_3 \times t_3 + P_4 \times t_4$
 $= 1 \times 1 + 0.6 \times 2 + 1.5 \times 1 + 2 \times 1 = 5.7 (\text{kW} \cdot \text{h})$

即该客户上午的用电量是 5.7kW·h。

2. 互感器的作用

互感器就是小容量的变压器。它在电能计量装置中的作用有以下三个方面:

(1) 扩大电能表的量程。电压互感器把高电压变换成低电压;电流互感器将大电流变换成小电流,再接入电能表,使得电能表可以完成超过其量程的电能测量任务,因此,电能表的测量范围扩大了。

(2) 减少仪表的生产规格。电能表的量程由电压和电流两个参数决定。实际供电线路的电压等级虽不多,实际电流的等级却有很多。电压互感器二次额定电压一般为 100V,电流互感器二次额定电流为 5A,因此,如果电能表带互感器,则计量高电压、大电流客户的电能表量程只需制造 100V、1.5(6)A 一种规格即可。所以互感器的使用减少了仪表的生产

规格。

(3) 隔离高电压、大电流,保证了人员和仪表的安全。抄表人员经常接近电能表;电能表带互感器后,正常情况下的二次电压、电流都很小,并且都有一段保安接地,使得人和指示仪表的安全系数大大提高。

带互感器的计量装置的电量抄读比较特殊。如图 0-1 所示,电压互感器的额定变比 $K_U = \frac{10\text{kV}}{100\text{V}}$, 电流互感器的额定变比 $K_I = \frac{50\text{A}}{5\text{A}}$, 电能表计度器的变化数字为 $W_2 - W_1$, 则此套计量装置计得的有功电能是 $W_P = (W_2 - W_1) \times K_U \times K_I = (W_2 - W_1) \times \frac{10000}{100} \times \frac{50}{5} = (W_2 - W_1) 1000\text{kW} \cdot \text{h}$, 也就是说,该客户电能表计度器个位的一个数字代表 $1000\text{kW} \cdot \text{h}$ 电量。

3. 二次回路的作用

二次回路的作用是连接电能表和互感器。电能计量装置的二次回路包含电压二次回路和电流二次回路,它们对计量装置的准确度有影响。

电压二次回路是指由电压互感器的二次线圈、电能表的电压线圈以及连接二者的导线所构成的回路。由于连接导线的阻抗等因素使得 100V 电压部分降落在二次导线上称之为电压互感器的二次压降。这样,电能表上实际获得的电压值小于额定值 (100V)。因此,电能表因欠压会少计电能。

电流二次回路是指由电流互感器的二次线圈、电能表的电流线圈以及连接二者的导线所构成的回路。电流互感器的二次负载会影响电流互感器的准确度等级。二次负载包括电能表电流线圈的阻抗、二次连接导线的阻抗、连接端钮间的接触电阻等。电流互感器的二次负载增加也会使得二次电流减小,从而使得电能表因欠流而少计电能。

互感器的二次压降和二次负载对计量装置准确度影响的具体分析参见第三章。

4. 计量箱(柜)

计量箱内可安装电能表、互感器、二次回路、终端设备、负荷控制开关、接线盒等,外加封和锁。其作用是封闭、保护、隔离计量装置中的电能表、互感器、二次回路以及裸露在外的变压器低压桩头,使客户不易窃电。计量箱应符合国家标准 GB/T 16934—1977《电能计量柜》技术规范。按材质分为塑料箱、金属箱;按用途分为单相计量箱、三相计量箱、互感器低压装头罩等。

三、电能计量装置的分类

根据 DL/T 448—2000《电能计量装置技术管理规程》规定,运行中的电能计量装置按其所计电能的数量和计量对象的重要程度分为五类(I、II、III、IV、V)。它们的特点如表 0-1 所示。

表 0-1

电能计量装置的分类

电能表计量装置类别	特 点
I 类	月平均用电量 500 万 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 及以上或变压器容量为 $10000\text{kV} \cdot \text{A}$ 及以上的高压计费客户; 200 万 MW 及以上的发电机; 发电企业上网电量; 电网经营企业之间的电量交换点; 省级电网经营企业与其供电企业的关口计量点的电能计量装置

续表

电能表计量装置类别	特 点
Ⅱ类	月平均用电量100万kW·h及以上或变压器容量为2000kV·A及以上的高压计费客户;100万MW及以上的发电机;供电企业之间的电量交换点的电能计量装置
Ⅲ类	月平均用电量10万kW·h及以上或变压器容量为315kV·A及以上的计费客户;100万MW以下的发电机;发电企业厂(站)用电量、供电企业内部用于承包考核的计量点、考核有功电量平衡的110kV及以上的送电线路电能计量装置
Ⅳ类	容量为315kV·A以下的计费客户;发供电企业内部经济技术指标分析、考核用的电能计量装置
Ⅴ类	单相供电的电力客户计费用的电能计量装置

四、电能计量方式

供电线路分为单相、三相四线和三相三线电路,那么,与之对应的电能表也有单相电能表、三相四线电能表和三相三线电能表。所谓计量方式并非按电能表分类,而是按电能计量装置相对供电变压器的位置不同来区分。图0-2中的A、B、C分别是计量装置的安装点。

例如:A点表示计量装置安装在变压器的高压侧,其计量方式称为高供高量,专变客户一般采用这种计量方式;B点表示电

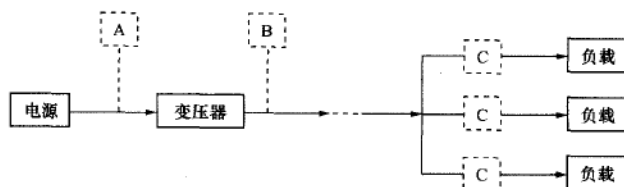


图0-2 电能计量方式示意图

能计量装置安装在变压器的低压侧出口处,其计量方式称为高供低量;C点表示电能计量装置安装在低压供电线路客户的产权分界处,其计量方式称为低供低量,如居民客户安装的单相电能表等。

五、电能表的发展概况

从1880年爱迪生发明第一块电能表至今,电能表的原理基本没有改变,而实现计量的方式却经历了三个阶段:由最初的电磁感应式到机电一体式再到今天的全电子式。其准确度越来越高,体积越来越小,重量越来越轻,功能却越来越多。表0-2是电能表按电源和用途的分类体系表。表0-3是电能表按计量原理分类的特点。

表0-2

电能表的分类体系

按电源分	按用途分	名 称	准确度等级	过载倍数	备 注
交流类	工业与民用电能表	单相电能表	1.0, 2.0	2~6	直接接入
		三相四线电能表	1.0, 2.0	2~4	
		三相三线电能表	1.0, 2.0	2~4	带互感器
		三相四线电能表	1.0, 2.0	2~4	
		三相无功电能表	2.0, 3.0	2~4	
	特殊用途电能表	单相预付费电能表	1.0, 2.0	2~6	直接接入
		单相多功能电能表	1.0, 2.0	2~6	
		单相电力机车用电能表	0.5, 1.0, 2.0	2~6	
		三相电子式电能表	1.0, 2.0	2~4	
		三相电子式多功能电能表	1.0, 2.0	2~4	带互感器

续表

按电 源分	按用途分	名 称	准确度等级	过载倍数	备 注
交 流 类	标准电能表 (电子式)	单相电能表 三相三线电能表 三相四线电能表 三相无功电能表	0.05, 0.1, 0.2 0.05, 0.1, 0.2 0.05, 0.1, 0.2 0.2, 0.5	2~4	带互感器
直 流 类	安培小时计		2.0 4.0	100A, 300A 600A, 700A 100A, 150A	

表 0-3

电能表按计量原理分类的特点

种 类	电能表结构		特 点				
	表 芯	计度器	功耗	灵敏度	功能	环境要求	价格
机械式	机械式	机械式	大	低	少	低	廉
机电式	机械式	电子式	大	低	少	低	廉
	电子式	机械式	小	高	少	高	贵
电子式	电子式	电子式	小	高	多	高	贵

第一章 感应式电能表的结构和工作原理

本章介绍感应式有功电能表的结构和工作原理,包括:单相、三相电能表结构特点,电能表转盘转动的定性和定量分析,电能表的测量原理等。

感应式电能表是利用电磁感应原理制成的,也叫机械式电能表。它以结构简单、构架坚固和对工作条件要求低的优势一直被沿用到现在。尽管目前正在推广使用电子式电能表,但是机械式电能表并没有完全退出市场。而且,从电能计量理论教学的角度看,机械式电能表具有不可替代的位置。机械式电能表的构成部件分离,误差调整能够操作,这些都便于学生学习和掌握电能表的测量原理和误差理论。而电子式电能表内部是高度集成化的电路板,不便于初学者认识电能表的工作原理。因此,我们首先介绍感应式电能表。

第一节 单相电能表的结构

感应式电能表的种类、型号很多,但它们的基本结构都是相似的,即都是由测量机构(驱动元件、转动元件、制动元件、轴承、计度器)、误差补偿调整装置和辅助部件(外壳、机架、端钮盒、铭牌)所组成。

一、测量机构

测量机构是电能表实现电能测量的核心部分,也叫电能计量单元。图1-1是感应式单相电能表测量机构简图。它由下述部件组成。

1. 驱动元件(电磁元件)

驱动元件由电压元件与电流元件构成。被测电路的电压和电流作用于电压元件和电流元件,产生的交变磁通与其在转盘内产生的感应电流(也叫涡流)相互作用产生驱动力矩,推动转盘转动。

(1) 电压元件:由图1-1中的电压铁芯1、电压线圈2和回磁极12组成。绕在电压铁芯上的电压线圈与负载并联,接在被测电压线路上,所以称为并联电路或电压回路。不管有无负载电流,电压线圈总是带电的,要消耗功率。为了其消耗的功率(一般不应超过 $0.5\sim 1.5\text{W}$),绕制电压线圈时,在保证所需安匝数($100\sim 200\text{A}\cdot\text{匝}$)的条件下,应选取匝数 $[(25\sim 50)\text{匝}/\text{V}]$ 多,线径较细的漆包线(直径为 $0.08\sim 0.16\text{mm}$)。匝数多,电压线圈的阻抗就大,限制了并联回路中的电流和功率消耗,并使电压线圈

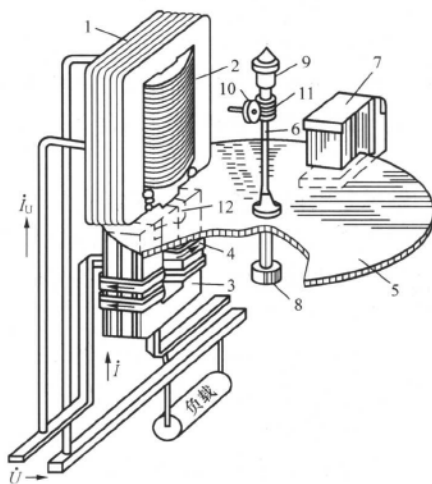


图1-1 感应式单相电能表测量机构简图

- 1—电压铁芯; 2—电压线圈; 3—电流铁芯;
4—电流线圈; 5—转盘; 6—转轴; 7—永久磁铁;
8—下轴承; 9—上轴承; 10—蜗轮; 11—蜗杆;
12—回磁极

中的电流滞后电压的相位角几乎达到 90° 。

回磁极用 1.5~2.0mm 厚的铁板冲压而成, 构成电压工作磁通的回路, 并在上面装设了补偿力矩调整装置。

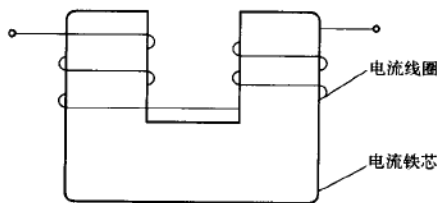


图 1-2 电流线圈的绕制

(2) 电流元件: 图 1-1 中的 4 是电流线圈, 其线径粗, 匝数少, 且为绝缘铜线。套在 U 形的电流铁芯 3 上。电流线圈串接在电源与负荷之间, 故又叫串联线圈。电流线圈绕制的方向必须按图 1-2 所示, 使左柱的磁通由下往上时, 则右柱的磁通由上往下, 即两柱上线圈缠绕方向相反, 这样两柱上所产生的磁通才能叠加起来, 否则两磁

通会相互抵消, 不能产生驱动力矩。

驱动元件相对于圆盘的位置可分为正切式及辐射式两种。正切式是指电压元件平面在转盘上的投影线与转盘半径方向相垂直; 辐射式是指电压元件平面在转盘上的投影线与转盘半径方向一致。我国多采用正切式电磁元件。

2. 转动元件

转动元件由铝质转盘和转轴用合金压铸而组成。转盘材料要求导电性能良好, 质量轻, 耐腐蚀, 因此, 选择铝作为转盘材料。铝的纯度约为 99%, 转盘直径一般为 80~100mm, 厚度为 0.5~1.2mm, 质量为 20g 左右。其作用是: 在驱动元件建立的交变磁通作用下, 转盘上产生感应电流, 进而产生驱动力矩使转盘转动, 并把转动的圈数通过蜗轮与蜗杆的啮合传递给计度器。转盘固接在转轴上, 边缘涂有计读转数的有色标记, 有的在背面喷有校正平衡的重质涂料, 转轴上部套有蜗杆以便和计度器的齿轮啮合。

3. 制动元件 (永久磁铁)

制动元件由永久磁铁及其调整元件组成, 其作用是产生与驱动力矩相反的制动力矩, 使转盘的转动速度与被测电路的功率成正比。永久磁铁用具有较高矫顽力和剩磁感应强度的材料制成, 如铝镍合金和铝镍钴合金等。

4. 轴承

轴承是电能表的一个重要部件, 分为上轴承和下轴承。上轴承位于转轴上端, 只起定位和导向作用。下轴承位于转轴下端, 用以支撑转动元件的全部重量, 下轴承的质量好坏对电能表的准确度和使用寿命有很大的影响。现代电能表的轴承主要分为钢珠宝石结构和磁力结构两种。

(1) 钢珠宝石轴承: 结构如图 1-3 所示。它分为单宝石轴承和双宝石轴承, 其中双宝石轴承的摩擦力较小, 耐磨性能更好, 寿命也更长。

(2) 磁力轴承: 主要有磁推轴承和磁悬轴承两种。磁推轴承是下轴承采用同极性磁铁的排斥力支撑转动元件, 而磁悬轴承是上轴承采用异极性磁铁的吸引力, 将转动元件悬浮。由于磁力轴承减少了机械磨损, 因而提高了电能表的灵敏度, 延长了电能表的使用寿命。目前推广的长寿命电能表大多采用了磁力轴承。

5. 计度器 (积算机构)

计度器的作用是累计电能表转盘的转数, 并通过齿轮比换算为电能单位的指示值。目前, 机械计度器主要有两种: 字轮式和指针式。它们的面板如图 1-4 所示。

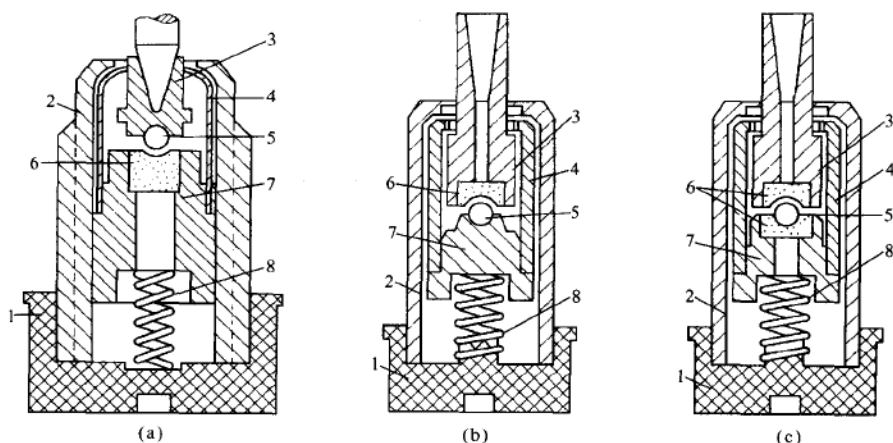


图 1-3 钢珠宝石轴承

(a) 正宝石轴承; (b) 倒宝石轴承; (c) 双宝石轴承

1—螺帽; 2—衬管; 3—轴承; 4—卡套; 5—钢珠; 6—宝石; 7—支撑; 8—弹簧

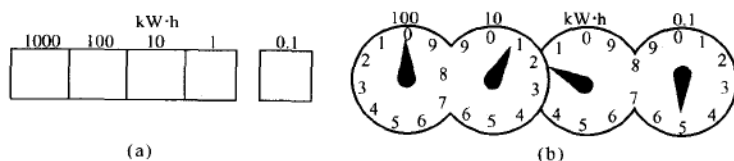


图 1-4 计度器面板图

(a) 字轮式; (b) 指针式

指针式计度器摩擦力均匀, 结构简单, 有的国家在精密电能表中多采用它, 但其示数抄读困难, 容易发生错误, 普通表很少使用它。最常见的为字轮式计度器, 其结构如图 1-5 所示。字轮式计度器直接按十进制数字方式表示读数, 抄读便利, 外观漂亮, 但其摩擦力不均匀, 尤其是几个字轮同时翻转 (进位) 时, 摩擦较大, 影响表速, 产生负误差。

字轮式计度器有一个重要的参数, 即传动比 K 。计度器的传动比是指其末位字轮转一整圈时转盘转过的转数。它在数值上等于转盘转速与末位字轮转速之比。用公式可表示为

$$K = \frac{\text{从动轮齿数之积}}{\text{主动轮齿数之积}}$$

图 1-5 计度器的传动比为

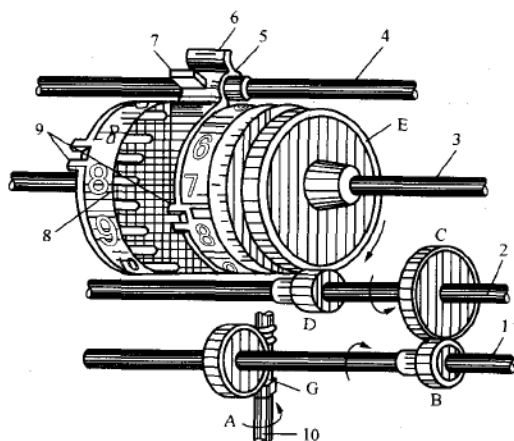


图 1-5 字轮式计度器结构图

A—蜗轮; G—蜗杆; B、D—主动轮; C、E—从动轮

1~4—横轴; 5—进位轮; 6—长齿; 7—短齿;

8—梢齿; 9—槽齿; 10—转轴

$$K = \frac{Z_a}{Z_g} \times \frac{Z_c}{Z_b} \times \frac{Z_e}{Z_d} \quad (1-1)$$

式中 Z_a 、 Z_c 、 Z_e ——从动轮 A、C、E 的齿数；

Z_b 、 Z_d ——主动轮 B、D 的齿数；

Z_g ——蜗杆 G 的头数，一般取 1。

计度器的传动比一般用于核实、校对电能表铭牌常数的准确性。

二、误差调整装置

误差调整装置是改善电能表的工作特性和满足准确度要求不可缺少的部分。每只单相电能表都设有满载、轻载、相位角调整装置和防潜动装置，某些电能表还装了过载和温度补偿装置。三相电能表还应另设平衡调整装置。误差调整装置的结构、原理及调整方法在第七章讲授。

三、辅助部件

1. 外壳

外壳由底座和表盖组合而成。底座的作用是将电能表基架、端钮盒及表盖固定在它的上面，并供电能表安装固定用，它一般用金属材料制作，也可用塑料绝缘材料制作。表盖起封闭和保护作用，通过透明部分可以看到转盘转动和计度器的示数，它一般用铝板拉伸而制成，也有塑料和玻璃制的表盖。除玻璃或有机玻璃等透明表盖外，所有表盖都留有供读数的窗口，窗口用玻璃，四周密封。表盖与表底板之间应密封，以防潮湿、灰尘及腐蚀性气体等对表内的侵蚀，目前，大多采用橡胶密封圈。在大容量电能表底板上应设计有过滤物质的防爆孔。

2. 基架

基架用来支撑和固定测量机构各元件。因此，要求它具有足够的机械强度和精密的加工工艺，以保证元件之间的相对位置安装精确、牢固。基架一般用钢板冲压或用铝合金压铸成型。

3. 端钮盒及盒盖

端钮盒的主要功能是将内部电流、电压线圈与外电路相接，端钮盒与底座的连接应有良好的密封性，并要求它具有足够的机械强度和良好的电气绝缘。盒盖上应有电能表接线图。

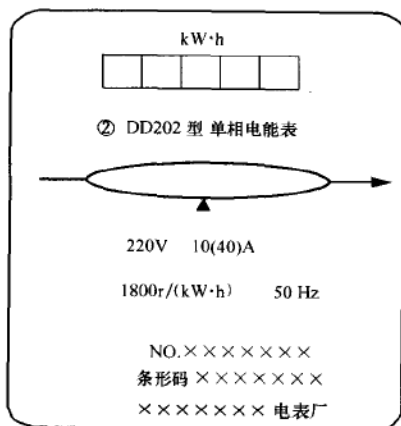


图 1-6 电能表的铭牌示意图

4. 铭牌

为了使用者了解电能表的技术性能，根据有关标准规定，铭牌上必须标注以下内容（以图 1-6 为例）：

(1) 准确度等级。将准确度等级数字置于一个圆圈内。如图 1-6 中“②”表示准确度等级为 2.0 级。

(2) 计量单位的名称或符号。有功电能表用 $\text{kW} \cdot \text{h}$ ，无功电能表用 $\text{kvar} \cdot \text{h}$ 。

(3) 电能表规格：

1) 额定电压：指电能表长期正常工作能够承受

的最大电压值,以 U_N 表示,对于单相表以电压线路接线端上的电压表示,如220V;对于三相四线电能表则以相数乘以相电压/线电压表示,如 $3\times 220/380\text{V}$;对于三相三线电能表则以相数乘以线电压表示,如 $3\times 380\text{V}$ 或 $3\times 100\text{V}$ 。如果电能表通过测量用互感器接入,并且在常数中已考虑互感器变比时,应标明互感器额定变比,如 $3\times 6000/100\text{V}$ 。

2) 标定电流及额定最大电流:如10(40)A。10A是标定电流,也是最小的额定电流。以 I_b 表示;40A是额定最大电流,指电能表长期正常工作而误差和温升又能满足准确度要求的最大电流,以 $I_{\max}$ 表示。如果额定最大电流小于基本电流的150%时,则只标注 I_b 。对于三相电能表还应在前面乘以相数,如 $3\times 5(20)\text{A}$;对于经电流互感器接入式电能表则标明互感器次级电流,以5A表示,电能表的标定电流和额定最大电流可以包括在型式符号中,如FL246—1.5(6)A,若电能表常数中已考虑互感器变比时,应标明互感器变比,如 $3\times 1000/5\text{A}$ 。

3) 电能表常数:如 $1800\text{r/kW}\cdot\text{h}$,它是指电能表计度器 $1\text{kW}\cdot\text{h}$ 对应转盘转过的圈数为1800r。

(4) 电能表的型号:如DD202型。其中

1) 类别代号。D—电能表。

2) 组别代号。表示相线分类:D—单相;S—三相三线有功;T—三相四线有功。表示用途分类:A—安培小时计;B—标准;D—多功能;H—总耗;J—直流;M—脉冲;S—全电子式;X—无功;Z—最大需量;Y—预付费;F—复费率。

3) 设计序号。用阿拉伯数字表示,如201,202,862等。

4) 派生号。T—湿热、干燥两用;TH—湿热带;TA—干热带用;G—高原用;H—船用;F—化工防腐用。例如:

DD——表示单相电能表,如DD702型,DD862型;

DDY——表示单相预付费电能表,如DDY59型;

DBT——表示三相四线有功标准电能表,如DBT25型;

DSSD——表示三相三线全电子式多功能电能表,如DSSD—331型。

5) 制造厂的厂名、制造年份和该厂的本身编号。

6) 铭牌中间窗口及箭头表示转盘转动方向。计度器带小数点前面的窗口为整数位,后面的窗口为小数位。

第二节 感应式单相电能表的工作原理

单相电能表的原理分析,一是定性分析,即电能表的转盘为什么会转动?二是定量分析,即转盘的转速与负载功率、负载消耗电能的关系。

一、转盘转动定性分析

1. 磁通的分布情况

根据右手螺旋定则,交变电流通过线圈时会产生磁场,电能表内的磁通分布如图1-7所示。电压元件位于转盘的上方,电压线圈并联在电源两端,电压 $\dot{U}$ 在电压线圈中产生激磁电流 $\dot{I}_U$, $\dot{I}_U$ 产生的磁通 Φ_U 从电压铁芯中柱经回磁极穿过转盘回到铁芯中柱,叫做电压工作磁通。

电流元件位于转盘下方，电流线圈串联在交流电路电源和负载之间，负载电流 i 产生的电流工作磁通 Φ_i 和 Φ'_i 穿过转盘。由此可知，有三束磁通 Φ_U 、 Φ_i 和 Φ'_i 从不同的空间位置穿过转盘。所以，我们把感应式电能表又称为“三磁通”电能表。

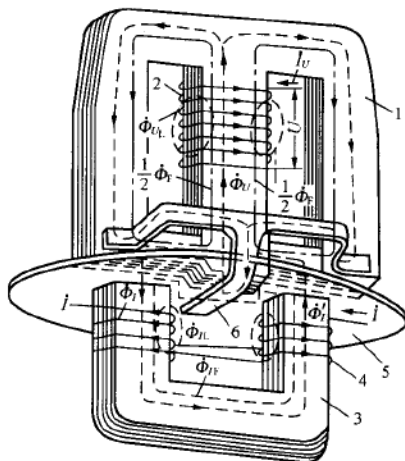


图 1-7 电能表内磁通的分布情况

1—电压铁芯；2—电压线圈；3—电流铁芯；
4—电流线圈；5—转盘；6—回磁极

2. 驱动力矩的产生

在空间上依次排列的磁通 Φ_i 、 Φ_U 和 Φ'_i 都是周期性随时间变化的。它们在转盘中产生感应电势引起感应电流（涡流），涡流又与电磁元件的磁场相互作用产生转矩，使转盘连续转动。为了便于分析，我们将三个工作磁通与它们产生的三个感应电流的变化规律用图 1-8 描述。因电压铁芯和电流铁芯都不闭合，有气隙，所以在磁路不饱和段可看成线性铁芯，当激磁电流 $\dot{I}$ 和 $\dot{I}_U$ 为正弦波时，其产生的响应磁通也为正弦波。

Φ_i 、 Φ_U 和 Φ'_i 是由不同线圈中的电流产生的，虽然具有相同的频率，但在时间上存在一定的相位差。

首先分析图 1-8 中 $0 \sim \frac{1}{8}T$ 时间内电磁力的方向，如图 1-9 (a) 所示。图中用“×”

表示磁通自上而下穿过转盘，用“·”表示磁通自下而上穿过转盘。由于在 $0 \sim \frac{1}{8}T$ 时间内 Φ_i 处于正半周趋于增加， Φ'_i 是在负半周趋于增加， Φ_U 是在负半周趋于减小，根据楞次定律和右手定则可以判断它们产生的感应电流 i_{pi} 、 i_{pu} 、 i'_{pi} 方向分别为逆时针、逆时针、顺时针。感应电流 i_{pi} 与磁通 Φ_U 相互作用产生图中的电磁力 F_1 ； i'_{pi} 与磁通 Φ_U 相互作用产生图中的电磁力 F_2 ； i_{pu} 与磁通 Φ_i 相互作用产生图中的电磁力 F_3 ； i_{pu} 与磁通 Φ'_i 相互作用产生图中的电磁力 F_4 。这四个电磁力的分析由左手定则判断都向右，因此，使得转盘逆时针转动。

同理分析 $t = \frac{2}{8}T \sim \frac{3}{8}T$ 、 $t = \frac{4}{8}T \sim \frac{5}{8}T$ 、 $t = \frac{6}{8}T \sim \frac{7}{8}T$ 等几个时段内电磁力的方向，如图 1-9 (b)、(c)、(d) 所示。

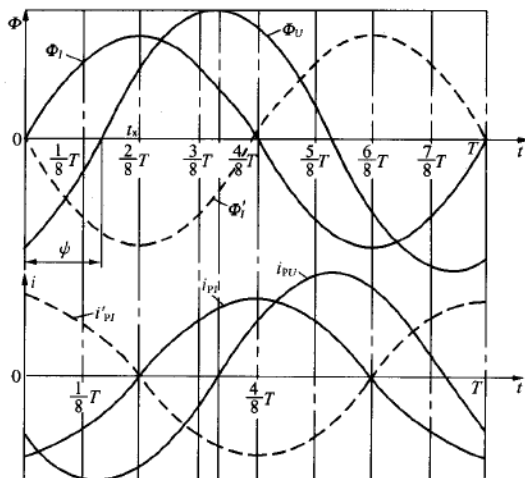


图 1-8 工作磁通与感应电流随时间变化曲线

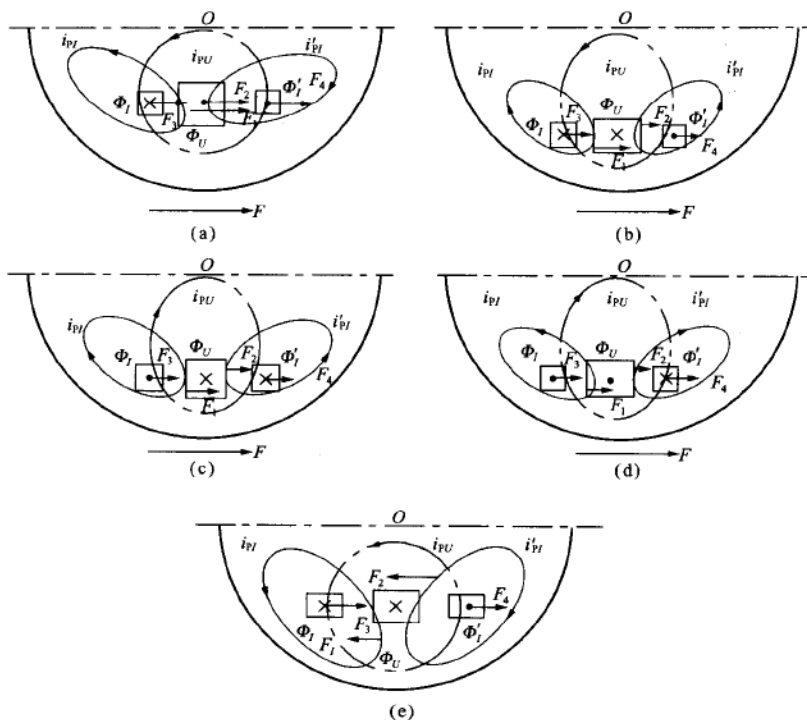


图 1-9 电磁力的产生分析图

(a) $t=0 \sim \frac{1}{8}T$ 时的情况; (b) $t=\frac{2}{8}T \sim \frac{3}{8}T$ 时的情况; (c) $t=\frac{4}{8}T \sim \frac{5}{8}T$

时的情况; (d) $t=\frac{6}{8}T \sim \frac{7}{8}T$ 时的情况; (e) $t=t_x$ 时的情况

现在我们分析 $t=\frac{1}{8}T \sim \frac{2}{8}T$ 内某一时刻 $t=t_x$ 的电磁力的情况。图 1-8 中, 此段的 $\dot{\Phi}_I$ 、 $\dot{\Phi}_U$ 都是在正半周且趋于增加, $\dot{\Phi}_I'$ 是在负半周也趋于增加。所以, 它们产生的感应电流如图 1-9 (e) 所示, i_{PI} 、 i_{PU} 为逆时针, i_{PI}' 为顺时针。根据左手定则判断结果是电磁力 F_1 、 F_2 方向向左, F_3 、 F_4 方向向右。在 $t=\frac{7}{8}T \sim T$ 时间段内也会出现这种情况。那么, 转盘到底朝着逆时针还是顺时针方向转呢? 由于转盘的转动方向由一个周期内平均电磁力的方向决定, 即由多数时刻电磁力的方向决定, 且其转动具有惯性。所以, 在一个周期 T 内, 转盘始终朝着逆时针方向转动。

二、转盘转动定量分析

1. 驱动力矩的大小

设 $\dot{\Phi}_I$ 的瞬时值为 $\phi_I(t) = \sqrt{2}\Phi_I \sin \omega t$, 则

$$\phi_I'(t) = \sqrt{2}\Phi_I' \sin(\omega t - 180^\circ)$$

$$\phi_U(t) = \sqrt{2}\Phi_U \sin(\omega t - \psi)$$

式中 Φ_I 、 Φ_I' 、 Φ_U ——电流和电压工作磁通的有效值;