

DIANQI
高职高专电气系列教材

电能计量基础及计量装置 的运行和管理

DIANNENG JILIANG JICHU JI JILIANG ZHUANGZHI
DE YUNXING HE GUANLI

主 编 李斌勤 李 刚



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>

电能计量基础及计量 装置的运行和管理

主编 李斌勤 李 刚

重庆大学出版社

内容提要

本书共6个教学项目,主要内容涉及电能表的基本知识,测量用互感器,电能计量装置的合理配置与装表技术,电能表与互感器的室内检定,电能计量装置的竣工验收与运行维护,电能计量资产的全寿命周期管理等。

本书紧密结合电能计量相关人员的工作职能,以实际工作任务为引导,帮助学生明确电能计量工作的内容和任务。

图书在版编目(CIP)数据

电能计量基础及计量装置的运行和管理/李斌勤,李刚主编. —
重庆:重庆大学出版社,2015.6
高职高专电气系列教材
ISBN 978-7-5624-9079-1

I. ①电… II. ①李…②李… III. ①电能计量—高等职业教
育—教材②电能计量—装置—高等职业教育—教材 IV.
①TM933.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 101508 号

重庆电力高等专科学校骨干建设项目 优质核心课程建设配套教材 电能计量基础及计量装置的运行和管理

主 编 李斌勤 李 刚
策划编辑:周 立
责任编辑:文 鹏 版式设计:周 立
责任校对:关德强 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行
出版人:易树平
社址:重庆市沙坪坝区大学城西路 21 号
邮编:401331
电话:(023) 88617190 88617185(中小学)
传真:(023) 88617186 88617166
网址:<http://www.cqup.com.cn>
邮箱:fxk@cqup.com.cn (营销中心)
全国新华书店经销
重庆升光电力印务有限公司印刷

*

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:14.75 字数:341 千
2016 年 3 月第 1 版 2016 年 3 月第 1 次印刷
印数:1—1 000
ISBN 978-7-5624-9079-1 定价:29.50 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换
版权所有,请勿擅自翻印和用本书
制作各类出版物及配套用书,违者必究

前言

本书是重庆电力高等专科学校国家骨干重点建设专业项目——供用电技术专业建设的成果,是校企合作的产物,是优质核心课程建设的配套教材。

本书由我校专业建设委员会领头,专兼结合组成本书编写小组。编写思路与“建立工作过程化课程体系”的职业教育课程改革方向相一致,主要遵循职业教育规律,满足企业岗位需求,符合学生就业要求。

本书由重庆电力高等专科学校李斌勤副教授和国网重庆市电力公司电力科学研究院高级工程师李刚合作主编,其中项目1、2、4、5由李斌勤编写,项目3和6由李刚编写。全书以教学项目或工作任务为编写单位,以知识、技能和职业技能鉴定为主要教学内容,同时将职业素质教育贯穿其中,以期达到满足理论与实践完美统一的教学模式的需要。

本书在编排上力求目标明确、操作性强、文字简练、图文并茂、通俗易懂。

由于本书采用新的体例,缺点和不足在所难免。在具体教学实践中,我们会不断完善和修改,并期待领导、专家及同行提出批评,更希望本校教师创造性地使用,使本书更加充实和完善,更加体现我校的特色。

编 者

2016年1月

目 录

项目 1 电能表的基本知识	1
任务 1.1 电能表概述	1
任务 1.2 感应式电能表	7
任务 1.3 电子式电能表	16
技能实训一 电能表认识实训	35
技能实训二 单相电能表负荷特性曲线的绘制	36
项目 2 测量用互感器	39
任务 2.1 电磁式电压互感器	39
任务 2.2 电流互感器	50
*任务 2.3 其他几种主要的互感器	60
技能实训一 电流互感器绝缘电阻的测量	68
技能实训二 互感器绕组极性的检查	70
项目 3 电能计量装置的合理配置与装表技术	73
任务 3.1 电能计量装置的构成及其附属设备	74
任务 3.2 电能计量点的设置及计量装置的接线方式	81
任务 3.3 电能计量装置的合理配置	90
任务 3.4 电能计量装置的规范安装	97
技能实训一 低压计量箱的安装接线	107
技能实训二 电能表联合接线实训	109
项目 4 电能表与互感器的室内检定	111
任务 4.1 测量误差和数据处理	112
任务 4.2 交流电能表检定装置	116

任务 4.3	电子式电能表的室内检定	121
任务 4.4	互感器的室内检定	131
技能实训一	电子式电能表的校验	143
技能实训二	互感器的误差测定实训	146
项目 5	电能计量装置的竣工验收与运行维护	150
任务 5.1	电能计量装置的竣工验收	150
任务 5.2	电能计量装置接线检查及差错处理	154
任务 5.3	高压电能表现场实负荷检验与更换	177
技能实训一	电压断开法和交叉法检查三相电能表的接线	186
技能实训二	间接接入式三相三线有功电能表的接线检查	187
项目 6	电能计量资产的全寿命周期管理	190
任务 6.1	电能计量资产全寿命周期管理简介	190
任务 6.2	电能计量资产管理	194
任务 6.3	“四线一库”系统及运行与维护管理要求	199
任务 6.4	电能计量资产全寿命周期管理信息支持系统	205
附录 1	电能计量工作相关法规条款	210
附录 2	计量设备状态信息表	220
附录 3	计量检定检测设备状态信息表	223
附录 4	计量设备全寿命评价指标	224
附录 5	检定检测设备资产全寿命评价指标	225
附录 6	故障类型分类表	226
参考文献		229

项目 1

电能表的基本知识



知识要点

- 理解测量交流电能的原理依据。
- 熟悉感应式电能表的基本构造,掌握其工作原理表达式。
- 清楚感应式电能表的误差特性。
- 理解全电子式电能表工作原理的实现方法。
- 熟悉电子式电能表的主要构成单元及作用。
- 清楚电子式电能表的误差特性及调整方法。
- 理解电能测量四象限的概念和作用。
- 了解复费率电能表、多功能电能表、智能电能表的特点和功能。



技能目标

- 熟悉常用电能表的类别、型号命名规则及铭牌标志含义。
- 能熟练绘制各类电能表的接线图和相量图。
- 能熟练进行单相电能表的正确接线。
- 能通过单相电能表校验台测量电能表的误差,并绘制电能表的负荷特性曲线。
- 能根据多功能电能表的显示对其运行状态进行初步分析和判断。

任务 1.1 电能表概述

交流电能的测量包括单相、三相三线、三相四线电路中有功电能及无功电能的测量。电能是功率对时间的累积,所以电能计量的过程就是对功率连续测量并随时间累积的过程,由此下面均以电功率的形式写出数学表达式来描述交流电能的测量原理。

1.1.1 测量交流电能的原理依据

(1) 单相电路有功电能的测量

以图 1-1 所示正弦交流电路中的一个二端网络为对象,分析交流电路中功率的一般情况。

令图示二端网络的端口电流、端口电压分别为:

$$\begin{aligned} i(t) &= \sqrt{2}I \sin \omega t \\ u(t) &= \sqrt{2}U \sin(\omega t + \varphi) \end{aligned} \quad (1-1)$$

则在图示关联参考方向下该网络接受(或吸收)的瞬时功率为:

$$\begin{aligned} p(t) &= u(t)i(t) = \sqrt{2}U \sin(\omega t + \varphi) \sqrt{2}I \sin \omega t \\ &= UI \cos \varphi - UI \cos(2\omega t + \varphi) \end{aligned} \quad (1-2)$$

由电路理论可知:网络的有功功率 P 反映该网络从外部吸收并消耗电能的平均速率,所以有功功率 P 是瞬时功率 p 在一个周期内的平均值。由此可得其数学表达式为:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t) dt = UI \cos \varphi \quad (1-3)$$

故测量单相电路有功电能的原理接线图如图 1-2 所示,计量元件的电流回路与电源的相线串联,电压回路则跨接在电源端的相线和零线之间。据此采样所得的被测电压和电流即可实现对该网络有功电能的测量,其具体实现方法在后述任务中的电能表结构原理分析部分再详细说明。图中“·”为同名端标志(也可记为“*”)。

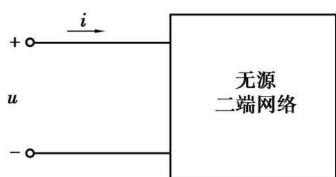


图 1-1 交流电路中的二端网络

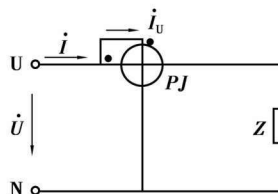


图 1-2 测量单相电路有功电能的原理接线图

(2) 三相四线电路有功电能的测量

三相四线电路可以看成是由三个单相电路构成的,故其有功功率等于各相有功功率的总和,即:

$$\begin{aligned} P &= P_U + P_V + P_W = \frac{1}{T} \int_0^T u_U(t)i_U(t) dt + \frac{1}{T} \int_0^T u_V(t)i_V(t) dt + \frac{1}{T} \int_0^T u_W(t)i_W(t) dt \\ &= U_U I_U \cos \varphi_U + U_V I_V \cos \varphi_V + U_W I_W \cos \varphi_W \end{aligned} \quad (1-4)$$

由此可画出测量三相四线电路有功电能的原理接线图如图 1-3 所示,实际测量中可由三只单相有功表或一只三相四线有功表实现。

(3) 三相三线电路有功电能的测量

因为三相三线电路中各相电流之和为零,即:

$$i_U + i_V + i_W = 0 \quad \text{或} \quad i_V = -(i_U + i_W) \quad (1-5)$$

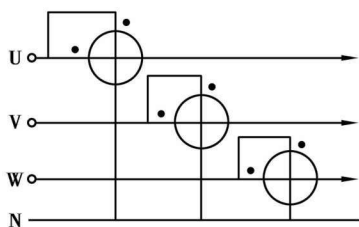


图 1-3 测量三相四线电路有功电能的原理接线图

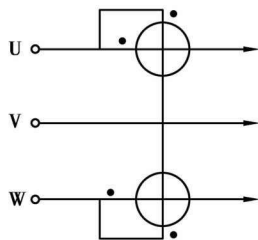


图 1-4 测量三相三线电路有功电能的原理接线图

可得三相三线电路的瞬时功率表达式为：

$$\begin{aligned} p &= u_U i_U + u_V i_V + u_W i_W = (u_U - u_V) i_U + (u_W - u_V) i_W \\ &= u_{UV} i_U + u_{WV} i_W \end{aligned} \quad (1-6)$$

其有功功率为：

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{T} \int_0^T u_{UV}(t) i_U(t) dt + \frac{1}{T} \int_0^T u_{WV}(t) i_W(t) dt \\ &= U_{UV} I_U \cos(\dot{U}_{UV}, \dot{I}_U) + U_{WV} I_W \cos(\dot{U}_{WV}, \dot{I}_W) \end{aligned} \quad (1-7)$$

可见只需采样两对电压电流即可实现对三相三线电路有功电能的测量。所以可画出测量三相三线电路有功电能的原理接线图如图 1-4 所示,实际测量中可由两只单相有功电能表或一只三相三线有功表实现。注意:加在计量元件上的是线电压和线电流。

(4) 交流无功电能的测量原理

电力系统中不仅需要正确测量有功电能,还需要正确测量无功电能,以此计算用户的平均功率因数:

$$\overline{\cos \varphi} = \frac{W_P}{\sqrt{W_P^2 + W_Q^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{W_Q}{W_P}\right)^2}} \quad (1-8)$$

由于提高功率因数对电力系统和国民经济的发展有着积极的现实意义,国家对电力用户采取了依据功率因数调整电费的办法促使其合理补偿无功电能;并且无功功率的平衡是维持整个电网电压质量的关键,所以正确测量无功电能既可考核电力系统无功功率平衡的状况,又可以考核用户无功补偿的合理性。

无功电能即为无功功率在一段时间内的累积量。电路理论中将网络与外部交换能量的最大速率定义为网络接受的无功功率,用 Q 表示。

对于图 1-1 所示的二端网络,将式(1-2)的第二项展开整理可得:

$$p = u(t)i(t) = UI \cos \varphi [1 - \cos(2\omega t)] + UI \sin \varphi \sin(2\omega t) \quad (1-9)$$

其中,第一个分量 $UI \cos \varphi [1 - \cos(2\omega t)]$ 始终 ≥ 0 ,代表二端网络消耗能量的速率,其平均值即为有功功率 $UI \cos \varphi$;第二个分量 $UI \sin \varphi \sin(2\omega t)$ 是一个正负半周面积相等的交变分量,因而表征能量交换规模的无功功率按定义等于其最大值,可得 Q 的数学定义式为

$$Q = UI \sin \varphi \quad (1-10)$$

式(1-10)即为测量无功的原理依据。

式(1-10)中, $U \sin \varphi$ 等于电压 $\dot{U}$ 与 $\dot{I}$ 正交的无功分量 $\dot{U}_r$ 的大小, 因而工程上也将具有 $\pi/2$ 相位差的电压与电流的有效值的乘积称为无功功率。

由无功功率的数学定义式可知, 不含独立源的感性网络接受的无功功率为正值, 而容性网络接受的无功功率为负值, 所以习惯上称网络接受的正的无功功率为感性无功功率, 负的无功功率为容性无功功率, 正、负号表示感性无功和容性无功之间相互补偿的性质。

目前主要采用两大类方法来实现无功的测量原理: 跨相法和 90° 移相法。

跨相法测量无功的实质是在有功电能表的基础上, 通过改变电压、电流回路的接线方式, 改变计量元件采样的电压或电流让表计由反映有功功率 P 的大小转换为反映无功功率 Q 的大小, 从而实现测量无功的目的。

跨相法只适用于三相电路无功功率和电能的测量。常用的有跨相 90° 型和内相角 60° 型两种, 主要在感应式电能表和早期传统的电子式电能表中采用, 当三相电路不对称时将产生较大的原理性误差。

而 90° 移相法直接从无功的数学定义式出发, 对电压进行 90° 移相后测量无功, 根据实现 90° 移相的方法不同可分为模拟移相 90° 乘法、数字移相 90° 乘法等。 90° 移相法不仅适用于三相电路也适用于单相电路, 并且不存在因三相不对称而引起的原理性误差。

1. 1. 2 常用电能表的分类

电能的计量贯穿于电力生产、输送和销售的全过程, 所以电能表应用于发电、供电和用电的各个环节, 是使用量最大、涉及面最广的电能计量器具, 其品种、规格繁多。

按计量元件测量原理实现方式的不同, 电能表可划分为感应式电能表和电子式(静止式)电能表;

按照用途不同可划分为有功电能表、无功电能表、复费率(分时)电能表、最大需量表、损耗电能表、预付费电能表、标准电能表、多功能电能表、智能电能表;

按照准确度等级可划分为普通安装式电能表(0.2、0.2 s、0.5、0.5 s、1.0、2.0、3.0 级)和携带式精密级电能表(0.01、0.02、0.05、0.1、0.2 级);

按照安装接线方式可分为直接接入式和经互感器接入式(间接接入式);

按其相线又可分为单相电能表、三相三线电能表和三相四线电能表等。

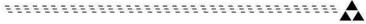
1. 1. 3 电能表的型号命名规则

电能表型号是用英文字母和阿拉伯数字的排列来表示的, 我国对安装式电能表型号的编制方法规定如下:

感应式电能表型号的一般内容为产品类别代号 + 组别代号 + 设计序号 + 改进(派生)代号 + 连接符和规格代号组成, 型号含义见表 1-1。

例如, DDY862-4 表示单相预付费电能表, 设计序号为 862, 电能表的最大电流为标定电流的 4 倍。

电子式电能表的型号内容一般为产品类别代号 + 第一组别代号 + 第二组别代号 + 功能代号 + 注册号 + 连接符和通信方式代号组成, 型号含义见表 1-2。



例如 DTZY862-G 表示三相四线电子式智能电能表,具有费控功能,注册号为 862,电能表的通信方式为 GPRS。

表 1-1 感应式电能表型号含义

类别代号	D—电能表
组别代号	表示相线:D—单相;S—三相三线有功;T—三相四线有功; 表示用途:B—标准表;F—复费率;L—长寿命;M—脉冲;X—无功; Y—预付费;Z—最大需量
设计序号	以阿拉伯数字表示(可指代是某个生产厂家的产品)
改进(派生)代号	T—湿热、干热两用;TH—湿热带用;TA—干热带用;G—高原用; H—船用;F—化工防腐用
规格代号	“X”表示最大电流为标定电流的 X 倍

表 1-2 电子式电能表型号含义

类别代号	D—电能表
第一组别代号	D—单相;S—三相三线;T—三相四线;X—无功
第二组别代号	H—谐波;L—长寿命;S—静止(电子);Z—智能
功能代号	D—多功能;F—多费率(分时);H—多用户;J—防窃;Y—费控、预付费
注册号	以阿拉伯数字表示,是每个厂家向国家电工仪器仪表委员会申请到的产品型号号码
通信方式代号	C—CDMA;G—GPRS;Q—光纤;Z—电力线载波

*:功能代号“Y”只有在第二组别代号“Z”(智能)后时,其含义才为“费控”;在其他代号后时,其含义均为“预付费”。

1.1.4 电能表的铭牌标志及其含义

电能表铭牌是位于电能表内部或外部的易于读取的标牌,如图 1-5 所示。一般铭牌上标注有用于辨别和安装仪表以及解读测量结果的必要信息,具体如下:

(1) 名称、型号和表号

名称说明电能表的用途,型号则表明电能表的类别、结构和功能等,名称和型号通常位于铭牌中间最显眼的地方;表号则用数位阿拉伯数字表示,作为区别不同表计的标志,并辅以条形码供机器识别以适应现代化管理。



图 1-5 电能表铭牌

(2) 额定参数

额定参数包括频率、电流、电压的额定值。

额定频率是指确定电能表相关计量特性的频率值,以 Hz(赫兹)作为单位。

额定电流包括基本电流 I_b 和额定最大电流 $I_{\max}$, I_b 和 $I_{\max}$ 均是表征电能表相关计量特性的电流值。其中,基本电流也叫标定电流或参比电流,是确定电能表有关计量特性的电流值,通常作为计算电能表负载的基数电流值;额定最大电流是仪表能满足其制造标准规定的准确度的最大电流值,在该电流下电能表能长期正常工作且误差与温升完全满足技术条件的规定。在铭牌上,通常基本电流写在前面,额定最大电流写在后面括号内。例如:1.5(6) A 和 3×5(20) A 等。

额定电压也叫参比电压,是指确定电能表有关计量特性的电压值,以 U_N 表示。例如:对于单相、三相三线及三相四线低压电能表分别用 220 V、3×380 V 和 3×220/380 V 表示,高压三相表则表示为 3×100 V 或 3×100/ $\sqrt{3}$ V。

(3) 电能表常数

电能表常数用 C (或 A) 表示,它是表示电能表记录的电能值和相应的转数或脉冲数之间关系的常数,如 $C=2\ 400\ \text{r}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ 、 $C=3\ 600\ \text{imp}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ 、 $C=7\ 200\ \text{imp}/(\text{k var}\cdot\text{h})$ 等,其物理意义是用户每消耗(吸收)单位电量所对应的电表转盘的转数或发出的脉冲数。

(4) 准确度等级

电能表的准确度等级是依据其基本误差来划分的,它以记入圆圈中的数字表示,如①、②表示。没有标志时,电能表的准确度等级视为 2.0 级。

(5) 生产许可证标志和编号

许可证标志一般位于铭牌的右上角或右下角,符号是 CMC。许可证标志由技术监督部门审批后签发,并配以国家唯一的编号(标注于铭牌上)。

(6) 依据的标准

标注生产电能表所依据的国家标准号。

(7) 接线图和接线盒编号

电能表接线盒盖内侧一般印有电能表接线图,接线图上的编号应与接线盒编号相一致,以供正确安装电能表。

(8) 互感器额定变比(适用于经互感器接入式的电能表)

当电能表与互感器配合计量时可在电能表留有位置记录互感器的变比。

(9) II 类防护绝缘封闭电能表的符号“回”和户外用电能表的符号“C”

电能表的生产制造必须具有适用国家强制标准的这两种符号。

(10) 制造厂或商标及生产日期

电能表的生产厂家及商标也必须标注于电能表铭牌上,生产日期则以阿拉伯数字并辅以中文年月日标注。

思考与讨论

1. 正确测量无功电能的主要目的是什么？实现无功测量原理主要有哪两大类方法？
2. 电能表铭牌上一般应标注哪些信息？请说出电能表型号 DTSD188-Z 和 DSSY331-Q 的含义。

任务 1.2 感应式电能表

1.2.1 基本结构

交流感应式电能表一般由测量机构、辅助部件和误差调整装置几部分组成,测量机构是电能表实现电能测量的核心部分。

(1) 测量机构

单相感应式电能表的测量机构如图 1-6 所示,由驱动元件、转动元件、制动元件、轴承和计度器五大部分构成。

1) 驱动元件

驱动元件包括电压元件和电流元件,电压元件由电压铁芯、电压线圈和回磁极组成,电流元件由电流铁芯和电流线圈组成。驱动元件的作用是接受被测电路的电压和电流并产生与之成比例的电压工作磁通 $\dot{\Phi}_U$ 和电流工作磁通 $\dot{\Phi}_I$ 。交变的工作磁通穿过转盘并在转盘内产生感应电流,工作磁通和感应电流相互作用产生驱动力矩推动转盘转动,故驱动元件又称电磁元件。

2) 转动元件

转动元件包括转盘和转轴。其作用是在驱动元件产生的驱动力矩推动下转动,并将转动的转数适时传递给计度器。

3) 制动元件

制动元件包括永久磁钢及其调整装置。其作用是产生与驱动力矩方向相反的制动力矩,使转盘的转动速度与被测电路的功率成正比。

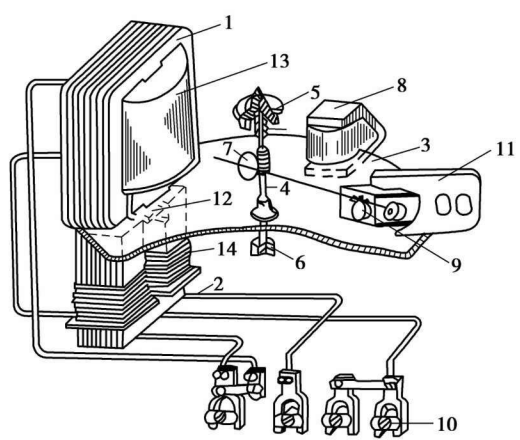


图 1-6 单相交流感应式电能表测量机构

- 1—电压铁芯;2—电流铁芯;3—转盘;4—转轴;
5—上轴承;6—下轴承;7—涡轮;8—制动元件;
9—计度器;10—接线端子;11—铭牌;12—回磁极;
13—电压线圈;14—电流线圈

4) 轴承

轴承由上下轴承组成,上轴承起定位和导向作用,下轴承用以支撑转动元件。轴承是感应式电能表的重要元件,其质量的优劣对电能表的误差特性和使用寿命有着重要影响,主要有钢珠宝石结构轴承和磁力结构轴承两种。

5) 计度器

计度器是电能表的指示部分,其作用是积累电能表转盘的转数并转化为被测电量显示出来。

(2) 误差调整装置

感应式电能表由于设计、制造过程中各种因素的影响会造成电能表的计量误差。误差调整装置的作用是改善电能表的使用特性并将电能表的误差调整到规定的范围内,一般由满载调整装置、轻载调整装置、相位角调整装置、防潜装置组成。有些电能表还有过载补偿装置及温度补偿装置,三相电能表还应装有平衡调整装置。

满载调整装置又称为制动力矩调整装置,主要通过改变电能表永久磁钢的制动力矩来改变转盘的转速,用于调整 20% ~ 100% 基本电流范围内电能表的误差。

轻载调整装置又称为补偿力矩调整装置,主要用来补偿电能表在 5% ~ 20% 基本电流范围内运行时的摩擦误差和电流铁芯工作磁通的非线性误差以及由于装配的不对称而产生的附加力矩。

相位角调整装置又称为力率调整装置,主要用于调整电能表电压工作磁通与电流工作磁通之间的相位角,使它们之间的相角差满足 $\psi = 90^\circ - \varphi$ (为 $\dot{\Phi}_U$ 与 $\dot{\Phi}_I$ 之间的相位角) 的要求,以保证电能表在不同功率因数的负载下都能正确计量。

防潜装置的主要作用是制止电能表无负载时的空转现象。

(3) 辅助部分

电能表的辅助部分包括底座、表盖、基架、端钮盒和铭牌。下面主要介绍端钮盒和铭牌。

1) 端钮盒

端钮盒一般由酚醛塑料压制而成,接线端子由铜材制作。其作用是将测量机构的电流、电压线圈与被测电路相连,所以除了具备足够的机械强度外还应具有良好的电气绝缘性能。端钮盒盖上有电能表接线图。

2) 铭牌

铭牌一般固定在表壳上,有螺钉固定和压卡式两种结构。铭牌上规定要标注的内容有:制造厂家、电能表名称及型号、额定频率、额定电压、基本电流和额定最大电流;电能表常数;准确度等级;生产许可证标志和编号;制造标准;转盘转动方向和识别转动的色标;计量单位、计度器小数位数或示值倍数;制造厂或商标;生产日期等,如图 1-7 所示。

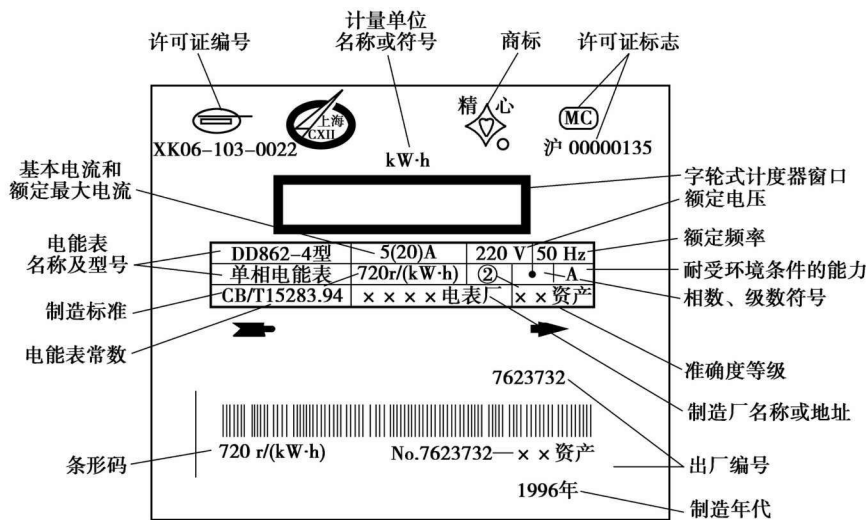


图 1-7 感应式单相电能表铭牌

(4) 三相电能表结构

三相电能表由单相电能表发展形成,同样由驱动元件、转动元件、制动元件、轴承、计度器、辅助部件和误差调整装置组成。三相电能表和单相电能表的主要区别在于:每只三相电能表都有两组或三组电磁驱动元件,它们产生的电磁驱动力矩共同作用在一个转动元件上,并由一个计度器指示三相电路消耗的总电能。

三相电能表按其结构可分为三相三元件和三相两元件两类,其转盘可能是三转盘、双转盘或单转盘,常用的有三元件双转盘式和两元件双转盘式三相电能表,其结构如图 1-8 所示。前者主要用于三相四线电能表,后者多用于三相三线电能表中。

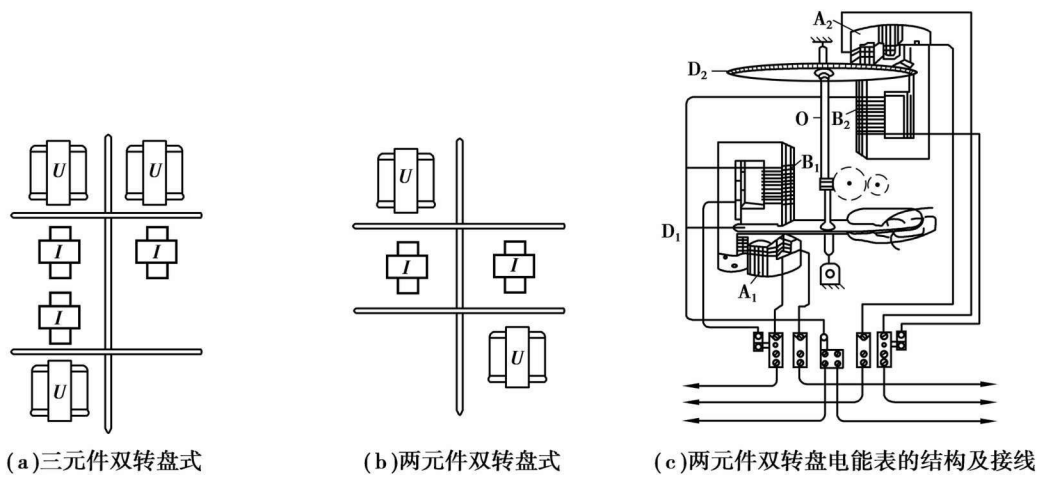


图 1-8 三相电能表的结构

1.2.2 感应式有功电能表工作原理的实现

(1) 单相有功电能表

将单相有功电能表按图 1-9 所示接线方式和被测电路相连后,回路电压 $\dot{U}$ 和负载电流 $\dot{I}$ 分别施加在电能表电压线圈和电流线圈上,于是线圈中通过的交变电流分别在电压铁芯和电流铁芯上产生交变磁通,其中穿过转盘的磁通分别称作电压工作磁通 $\dot{\Phi}_U$ 和电流工作磁通 $\dot{\Phi}_I$ 。

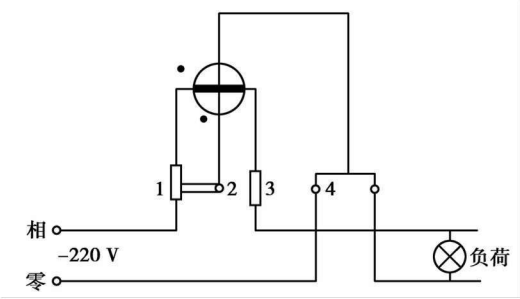


图 1-9 单相有功电能表的接线图

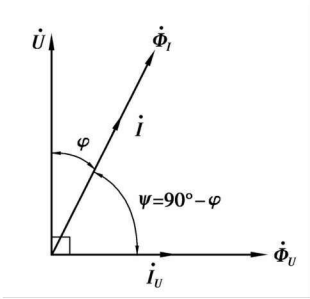


图 1-10 理想相量图

1) 电能表的理想相量图

假定电能表所接负载为感性负载,负载阻抗角为 φ ,同时忽略铁芯损耗,那么外加电压 $\dot{U}$ 、电压线圈中的电流 $\dot{I}_U$ 、负载电流 $\dot{I}$ 、电压工作磁通 $\dot{\Phi}_U$ 和电流工作磁通 $\dot{\Phi}_I$ 之间的相位关系如图 1-10 所示。其中, $\dot{\Phi}_U$ 和 $\dot{\Phi}_I$ 之间的相位差角 ψ 习惯上称为电能表的内相角,它与负载功率因数角 φ 之间的关系为

$$\psi = 90^\circ - \varphi \tag{1-11}$$

2) 驱动力矩的产生及其和负载功率的关系

交变的 $\dot{\Phi}_U$ 和 $\dot{\Phi}_I$ 穿过转盘,分别在转盘上产生了感应电流。由于 $\dot{\Phi}_U$ 和 $\dot{\Phi}_I$ 在空间上处于不同的位置,在时间上存在相位差,所以由电路理论分析可知磁通和感应电流相互作用将在转盘上产生驱动力矩,推动转盘转动。

由于转盘的转动惯量较大,所以转盘的转动由所有驱动力矩在一个周期内的平均值 M_Q 决定。

根据电磁学理论推导可得:驱动力矩 M_Q 的方向总是由相位超前磁通所在的空间位置指向相位滞后磁通所在的空间位置, M_Q 的大小则与穿过转盘的两个工作磁通及其间相位差的正弦值乘积成正比,即

$$M_Q = K\Phi_I\Phi_U \sin \psi \tag{1-12}$$

式中 K ——驱动力矩系数,与铁芯、转盘尺寸及相对位置有关。

若忽略电压、电流铁芯的损耗及其非线性影响,则 $\dot{\Phi}_U$ 与产生它的电压 $\dot{U}$ 成正比, $\dot{\Phi}_I$ 与

产生它的电流 $\dot{i}$ 成正比,即

$$\Phi_U = K_U U, \Phi_I = K_I I \quad (1-13)$$

式中 K_U, K_I ——电压、电流比例系数。

将式(1-11)、式(1-13)代入式(1-12)中,可得:

$$M_Q = K(K_I I)(K_U U) \sin(90^\circ - \varphi) = K_W UI \cos \varphi = K_W P \quad (1-14)$$

式中 K_W ——比例系数;

P ——负载的有功功率。

式(1-14)表明该单相电能表计量的有功功率等于被测电路的电压、电流以及二者间相位差余弦值的乘积,即驱动力矩与负载的有功功率成正比。

3) 制动力矩

如图 1-11 所示,转盘在 M_Q 作用下转动时切割永久磁铁产生的制动磁通 Φ_T ,在转盘中产生感应电流 i_T , Φ_T 和 i_T 相互作用产生电磁力 F_T 。据电磁学理论分析可知, F_T 的方向始终和转盘的转动方向即驱动力矩 M_Q 方向相反,因此把这种电磁力 F_T 称为制动力,它和作用力臂的乘积称为制动力矩,用 M_T 表示。推导可得

$$M_T = K_T \Phi_T^2 n \quad (1-15)$$

式中 K_T ——制动力矩系数;

n ——转盘的转速。

式(1-15)表明制动力矩 M_T 总是和转盘转速 n 成正比。

当负载用电时,产生一驱动力矩作用在转盘上,转盘就加速转动,制动力矩随之增加,当 $M_Q = M_T$ 时,转盘不再加速而稳速转动。若负载功率 P 增加或减小时,驱动力矩 M_Q 随之增减,于是转盘转速加快或减慢, M_T 也随之变化。当两力矩达到新的平衡状态时,转盘转速不再改变,而是在新的转速下稳速转动。

转盘稳速转动时有 $M_Q = M_T$,即

$$K_W P = K_T \Phi_T^2 n \quad (1-16)$$

于是得到转盘转速 n 与负载 P 的关系式为

$$n = \frac{K_W}{K_T \Phi_T^2} P = CP \quad (1-17)$$

设在某段时间 T 内负载 P 不变,令 T 时间内转盘转过的转数为 N ,则 $N = nT$,那么由式(1-17)可得

$$N = nT = CPT = CW \quad (1-18)$$

式中 W ——负载在 T 时间内消耗的电能, (kW·h);

C ——电能表常数, (r/kW·h)。

式(1-18)表明:在一定时间内,接入电表的负载所消耗的电能与电能表累计的转数成正比。

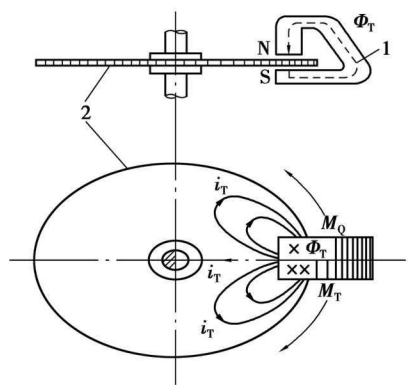


图 1-11 制动力矩的产生

1—永久磁铁;2—转盘