

# 电能 计量

# 与装表接电

吴琦 主编

合肥工业大学出版社  
HEFEI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

# 电能计量与装表接电

主 编 吴 琦

副主编 赵 磊

参 编 吴化龙

赵 枫

主 审 张惠忠



合肥工业大学出版社

## 内 容 提 要

本书依据电力行业职业教育教学指导委员会最新的课程标准和培养方案编写,采用项目引领、任务驱动的教学模式,着重体现课程内容与行业、企业、岗位技术标准相对接,使理论知识与实际应用更好地结合在一起,适应高等职业学校学生的就业岗位需求。

本书主要内容包括:电能表、互感器、电能计量装置的接线及差错电量计算、电能计量装置的误差、电能计量装置的安装与验收、电能计量装置的检查及故障处理、低压接户线、进户线及配套设备安装、互感器的现场检查与测量、智能电能表与用电信息采集系统等。

本书可以作为电气类、电力类高等职业教育的专业教材,也可以作为岗位培训参考教材和自学用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

电能计量与装表接电/吴琦 主编. —合肥:合肥工业大学出版社,2014.5

ISBN 978-7-5650-1763-6

I. ①电… II. ①吴… III. ①电能计量—高等职业教育②电能表—安装—高等职业教育—教材 IV. ①TM933.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 041558 号

## 电能计量与装表接电

主编 吴 琦

责任编辑 陆向军

出 版 合肥工业大学出版社  
地 址 合肥市屯溪路 193 号  
邮 编 230009  
电 话 综合编辑部:0551-62903028  
市场营销部:0551-62903198  
网 址 www.hfutpress.com.cn  
E-mail hfutpress@163.com

版 次 2014 年 5 月第 1 版  
印 次 2014 年 5 月第 1 次印刷  
开 本 710 毫米×1010 毫米 1/16  
印 张 12.25  
字 数 230 千字  
印 刷 合肥现代印务有限公司  
发 行 全国新华书店

ISBN 978-7-5650-1763-6

定价:25.00 元

如果有影响阅读的印装质量问题,请与出版社市场营销部联系调换。

# 前 言

《电能计量与装表接电》依据电力行业职业教育教学指导委员会最新的课程标准和培养方案编写,参考了国家电网公司生产技能人员职业能力培训规范及培训教材,采用项目引领、任务驱动的教学模式,遵循“实用、够用、突出技能”的原则,力求做到将“专业与企业、岗位对接;专业课程内容与技术标准对接;教学过程与生产过程对接;学历证书与职业资格对接”。改变专业课理论抽象难懂的教学状况,激发学生的学习兴趣和学习动力,最大限度满足学生就业能力的提升要求。

本书主要内容包括:电能表、互感器、电能计量装置的接线及差错电量计算、电能计量装置的误差、电能计量装置的安装与验收、电能计量装置的检查及故障处理、低压接户线、进户线及配套设备安装、互感器的现场检查与测量、智能电能表与用电信息采集系统等。

本书由吴琦副教授主编,赵磊、朱林副主编,张惠忠、黄健主审,任务1~13由吴化龙老师编写,任务14~25由王锌桐老师编写,任务31~36、42~45由合肥供电公司赵枫同志编写,任务26~30、37~41由吴琦、朱林编写。另外,四川电力职业技术学院张冰副教授为本书编写提供了参考资料并提出宝贵意见,在此表示感谢。

由于水平有限,难免有疏漏之处,恳请读者提出宝贵意见,使其不断完善。



# 目 录

项目 1 电能表 .....	(1)
任务 1 单相感应式电能表的结构及工作原理 .....	(1)
任务 2 三相感应式电能表的结构及工作原理 .....	(5)
任务 3 电子式电能表的基本结构及工作原理 .....	(7)
任务 4 无功电能表 .....	(9)
项目 2 互感器 .....	(14)
任务 5 电压互感器的结构及工作原理 .....	(14)
任务 6 电压互感器的正确使用 .....	(16)
任务 7 电流互感器的结构及工作原理 .....	(17)
任务 8 电流互感器的正确使用 .....	(20)
任务 9 电容式电压互感器 .....	(21)
项目 3 电能计量装置的接线及差错电量计算 .....	(25)
任务 10 电能计量装置的正确接线 .....	(25)
任务 11 电能计量装置的二次回路 .....	(29)
任务 12 电能计量装置分类及配置 .....	(31)
任务 13 电能计量装置的错误接线 .....	(35)
任务 14 电能计量装置的接线检查 .....	(42)
任务 15 电量更正计算 .....	(45)
项目 4 电能计量装置的误差 .....	(52)
任务 16 电能计量装置误差组成 .....	(52)
任务 17 互感器合成误差和压降误差 .....	(55)
任务 18 综合误差的计算及其减小措施 .....	(61)
项目 5 电能计量装置的安装与验收 .....	(65)
任务 19 电能计量装置的施工 .....	(65)
任务 20 电能计量装置安装工艺 .....	(71)



任务 21	低压电能计量装置安装 .....	(75)
任务 22	高压电能计量装置安装 .....	(79)
任务 23	电能计量装置送电后检查验收 .....	(83)
任务 24	电能计量装置带电更换 .....	(86)
任务 25	电能计量装置竣工验收 .....	(90)
<b>项目 6</b>	<b>电能计量装置的检查及故障处理 .....</b>	<b>(92)</b>
任务 26	单相电能计量装置检查、分析和故障处理 .....	(92)
任务 27	三相四线电能计量装置检查、分析和故障处理 .....	(94)
任务 28	三相三线电能计量装置检查、分析和故障处理 .....	(99)
任务 29	电子式多功能电能表识读 .....	(103)
任务 30	多功能电能计量装置故障分析及处理 .....	(113)
<b>项目 7</b>	<b>低压接户线、进户线及配套设备安装 .....</b>	<b>(118)</b>
任务 31	进户线与接户线金具、材料的选配 .....	(118)
任务 32	进户线、接户线安装方案 .....	(122)
任务 33	单相、三相接户线与进户线安装 .....	(128)
任务 34	电缆架空接户线、进户线施工 .....	(134)
任务 35	电缆敷设 .....	(136)
任务 36	低压电力电缆头的制作 .....	(141)
<b>项目 8</b>	<b>互感器的现场检查与测量 .....</b>	<b>(146)</b>
任务 37	互感器极性判断 .....	(146)
任务 38	互感器变比测量 .....	(150)
任务 39	互感器接线检查 .....	(153)
任务 40	电流互感器二次负载的测量与计算 .....	(159)
任务 41	电压互感器二次回路压降测量与计算 .....	(164)
<b>项目 9</b>	<b>智能电能表与用电信息采集系统 .....</b>	<b>(171)</b>
任务 42	智能电能表 .....	(171)
任务 43	用电信息采集系统的组成和功能 .....	(173)
任务 44	用电信息采集系统的安装 .....	(179)
任务 45	用电信息采集终端的调试验收 .....	(184)
<b>参考文献</b> .....		<b>(189)</b>



# 项目1 电能表

## 项目简介

本项目包括四个工作任务:单相感应式电能表的结构及工作原理、三相感应式电能表的结构及工作原理、电子式电能表的基本结构及工作原理、无功电能表。通过对各类电能表的工作原理的介绍,掌握电能表的结构、参数及原理分析。

## 任务1 单相感应式电能表的结构及工作原理

### 任务描述

本任务介绍了单相感应式电能表的结构组成和工作原理。通过知识讲解,掌握单相感应式电能表的结构组成和工作原理。

#### 一、单相感应式电能表的结构

##### (一)测量机构

测量机构是电能表的核心,主要包括:

##### 1. 驱动元件

包括电压元件和电流元件。由铁芯和线圈组成,作用是产生交变磁通,穿过铝盘,在铝盘上产生驱动力矩,使铝盘转动。

##### (1)电压元件

由电压铁芯、电压线圈组成,产生电压工作磁通穿过铝盘。

##### (2)电流元件

由电流铁芯、电流线圈组成,产生电流工作磁通穿过铝盘。

##### 2. 转动元件

包括铝盘和转轴,作用是将铝盘的转数传递给计度器。铝盘轻、导电性能好、耐腐蚀,所以转盘材料用铝,有的电能表铝盘上打两个对称小孔,是防止电能表潜动。有的电能表采用钢片、钢丝型结构,也是防止电能表潜动。

##### 3. 制动元件

包括永久磁铁和调整装置,作用是使电能表做匀速转动。永久磁铁的材料,需要具有较大的矫顽力和剩磁感应强度。

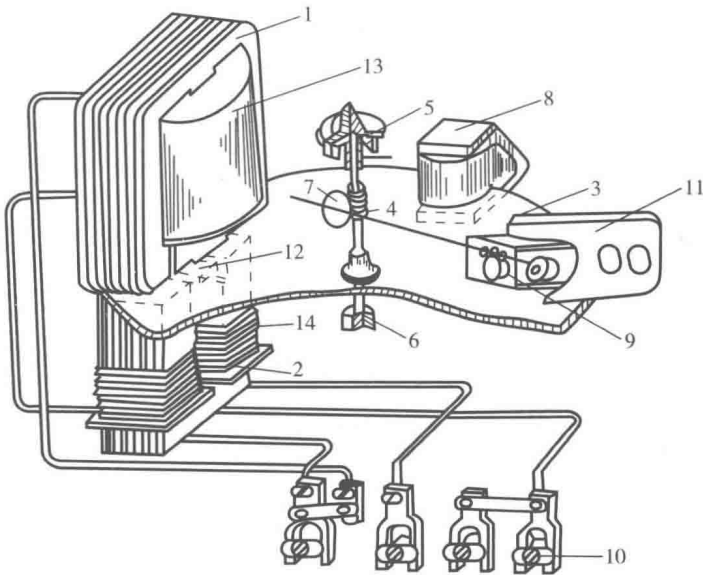


图 1-1 单相交流感应式电能表测量机构简图

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—蜗轮；  
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

包括上轴承和下轴承，上轴承起导向作用，下轴承支撑铝盘和转轴的重量，下轴承有钢珠宝石型和磁力轴承两种结构。

#### 5. 计度器

累积铝盘的转数，显示客户消耗的电能。有字轮式和指针式两种，常用的是字轮式结构，读数方便。

#### (二) 辅助机构

##### 1. 基架

支撑和固定测量机构和调整装置。

##### 2. 外壳

包括底座和表盖。

##### 3. 端钮盒

将电能表的电流回路、电压回路与外部电路连接。要求它具有良好的机械强度和绝缘性能。

##### 4. 铭牌

铭牌装在计度器的框架上，主要内容有：型号、额定电压、基本电流和额定最大





电流、电能表常数、额定频率、准确度等级、制造厂等。

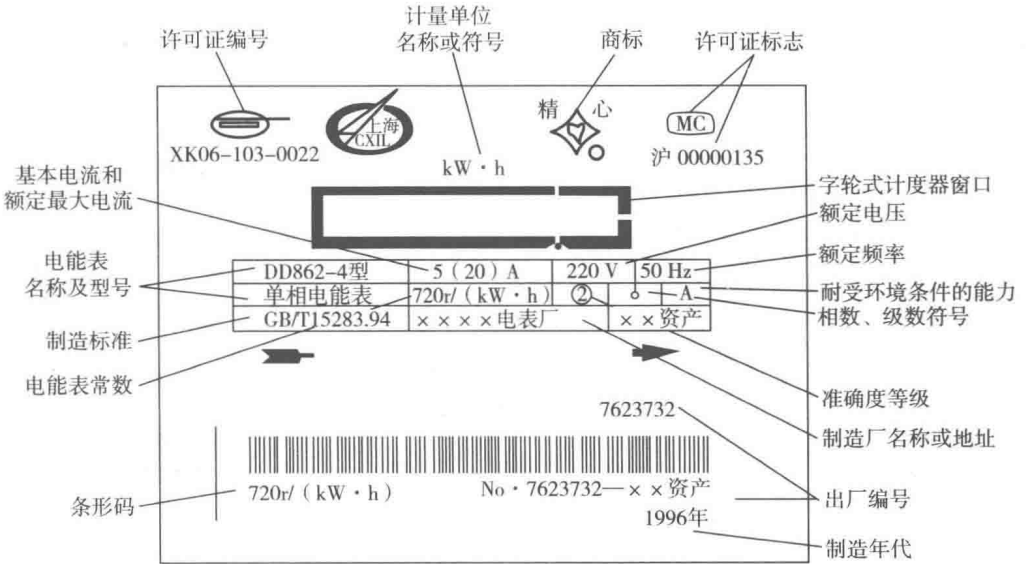


图 1-2 单相电能表铭牌

### (三) 误差调整装置

包括满载调整、轻载调整、相位角调整和防潜调整。

## 二、单相感应式电能表的工作原理

### (一) 转动原理

电流工作磁通 $\Phi_I$ 从不同位置两次穿过铝盘,电压工作磁通 $\Phi_U$ 一次穿过铝盘,所以构成“三磁通”型感应式电能表。电流工作磁通 $\Phi_I$ 和电压工作磁通 $\Phi_U$ 分别在铝盘上产生感应电流 $i_{PI}$ 、 $i_{PU}$ ,电流磁通 $\Phi_I$ 和电压磁通感应电流 $i_{PU}$ 之间、电压磁通 $\Phi_U$ 和电流磁通感应电流 $i_{PI}$ 之间彼此产生交链作用,产生一个电磁力,使得铝盘转动。分析得知一个周期内平均电磁力的方向是逆时针方向,所以铝盘作逆时针转动。

### (二) 驱动力矩的基本公式

通过分析,得到电能表驱动力矩的基本公式  $M_Q = K\Phi_I\Phi_U\sin\Psi$

式中, $\Psi$ —电流磁通超前电压磁通的相位角;

$K$ —系数。

基本公式表明:电能表的驱动力矩和穿过铝盘的两个工作磁通以及它们之间的相位角的正弦值乘积成正比。

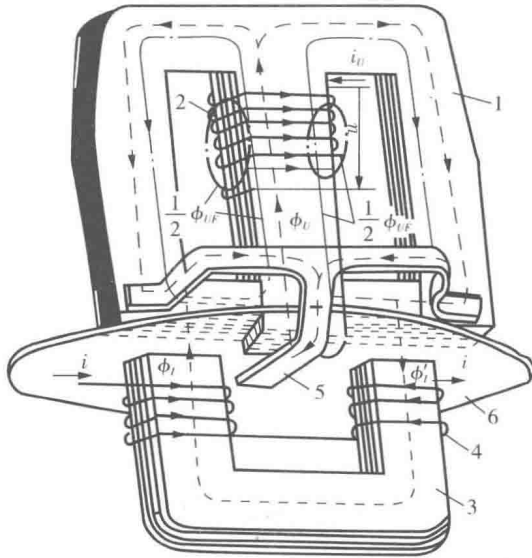


图 1-3 电能表内磁通的分布情况

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

$$M_Q = K\Phi_U\Phi_I \sin\Psi = KUI \sin\Psi = KUI \sin(90^\circ - \varphi) = KUI \cos\varphi = KP$$

即电能表的驱动力矩  $M_Q$  与负载的有功功率  $P$  成正比,表明:客户用电负荷大,电能表转得快,负荷小转得慢,不用电电能表不转。

所以电能表正确计量满足的条件:

1. 电流工作磁通正比于负荷电流;
2. 电压工作磁通正比于工作电压;
3.  $\Psi = 90^\circ - \varphi$ ;
4. 铝盘需要制动力矩,使铝盘保持匀速转动。

### (三)制动力矩 $M_T$

客户用电,线路有负荷电流,铝盘产生驱动力矩,电能表转动,根据物理学知识,电能表会越转越快,这样显然是不行的。因此,必须在铝盘上产生一个制动力矩,大小与驱动力矩相等,方向相反,因为惯性存在,所以铝盘保持匀速转动。电能表内设置永久磁铁就起这样的作用,制动力矩  $M_T$  的方向是顺时针。

### (四)电能表的相量图

单相电能表的理想相量图以及实际相量图。

相量图绘制:电压  $\dot{U}$ 、电流  $\dot{I}$ 、电压磁通  $\dot{\Phi}_U$ 、电流磁通  $\dot{\Phi}_I$  之间的关系。

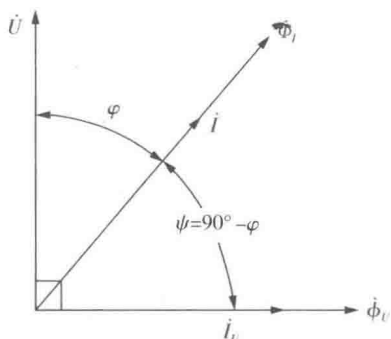


图 1-4 理想相量图

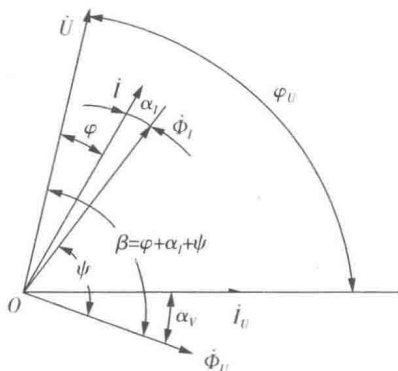


图 1-5 单相感应式电能表相量图

### 思考与练习

1. 简述单相感应式电能表的组成及各自的作用。
2. 写出单相感应式电能表驱动力矩的基本公式,说明其含义。
3. 电能表正确计量应满足哪些条件?
4. 绘制单相电能表理想相量图和实际相量图。

## 任务2 三相感应式电能表的结构及工作原理

### 任务描述

本任务介绍了三相感应式电能表的结构。通过知识讲解,掌握三相感应式电能表的结构和工作原理。

#### 一、三相感应式电能表的结构

三相感应式电能表同样由驱动元件、转动元件、制动元件、轴承、计度器、辅助机构和误差调整装置组成。三相感应式电能表有两组或三组驱动元件,产生的驱动力矩共同作用在铝盘上,由一个计度器显示。

##### (一) 三相三线电能表

三相三线电能表有两组驱动元件,它的转动元件分为双转盘和单转盘两种。

1. 两元件双转盘(a)
2. 两元件单转盘(b)

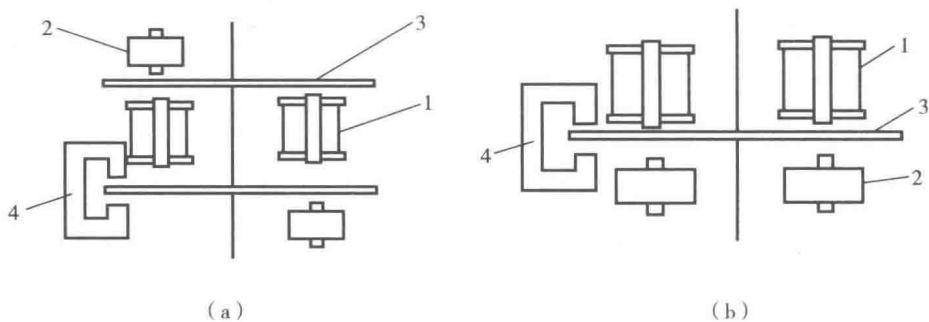


图 2-1 三相三线电能表的结构示意图

(a)双转盘式结构;(b)单转盘式结构

1—电压元件;2—电流元件;3—转盘;4—永久磁铁

### (二)三相四线电能表

三相四线电能表有三组驱动元件,它的转动元件分为双转盘和三转盘两种。

1. 三元件双转盘(a)
2. 三元件三转盘(b)

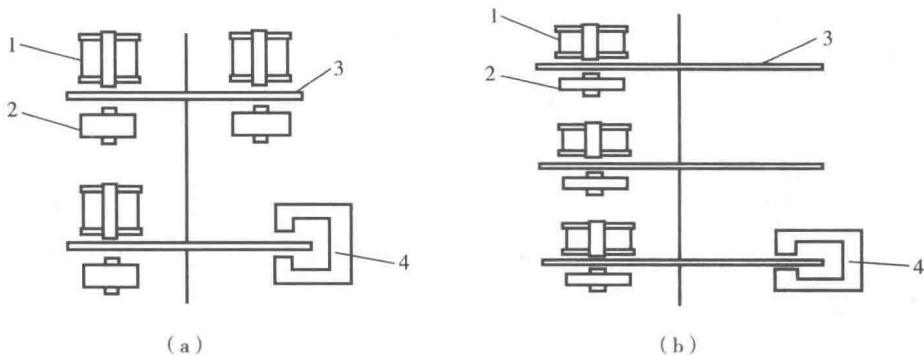


图 2-2 三相四线电能表的结构示意图

(a)双转盘式结构;(b)三转盘式结构

1—电压元件;2—电流元件;3—转盘;4—永久磁铁

## 二、三相感应式电能表的工作原理

三相电路的有功计量,通常采用三相三线制有功电能表或三相四线制有功电能表,也可采用两块单相表或三块单相表。后面我们将介绍,根据单相电能表的正确接线方式,推导电能表有功计量的表达式,可以得出结论,计量值等于客户实际消耗值。三相电能表的计量结果与单相表一样,能正确计量三相电路负载消耗的电能。



### (一) 三相三线电能表的计量

三相三线电能表适用于三相三线制电路的有功计量。

### (二) 三相四线电能表的计量

三相四线电能表适用于三相四线制电路的有功计量。

## 思考与练习

1. 三相三线电能表和三相四线电能表各有几组驱动元件?
2. 三相三线电能表和三相四线电能表各适用于什么场合?

## 任务3 电子式电能表的基本结构及工作原理

### 任务描述

本任务介绍了电子式电能表的结构。通过知识讲解,掌握电子式电能表的结构和测量原理。

电子式电能表也称静止式电能表,具有优良的性能,目前已经推广使用。它有以下特点:功能强大、准确度等级高、过载强、外磁场影响小、重量轻便于安装、防窃电能力强。

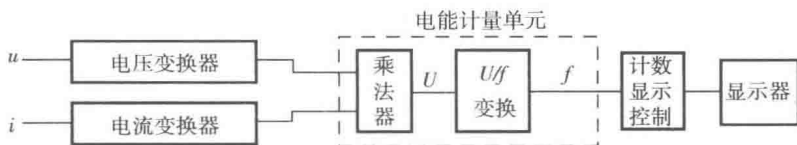


图 3-1 电子式电能表工作原理框图

### 一、电流采样器

要测量几安培或几十安培的交流电流,必须将其转变为等效的小信号交流电流,否则无法测量。直接接入式电子式电能表采用锰铜分流片;经互感器接入式电子式电能表采用二次侧互感器级联,达到前级互感器二次侧不带强电的目的。

### 二、电压采样器

100 V、220 V 的被测电压,必须经分压器或电压互感器转变为等效的小信号电压,送入乘法器。电子式电能表内使用的分压器有电阻网络或电压互感器。



### (一)电阻网络

采用电阻网络的最大优点是线性好、成本低；缺点是不能实现电气隔离。

### (二)电压互感器

采用电压互感器的最大优点是可实现一次侧和二次侧的电气隔离，并可提高电能表的抗干扰能力；缺点是成本高。

## 三、乘法器

完成两个互不相关的模拟信号(如输入电能表内连续变化的电压和电流)进行相乘作用的电子电路，一般有两个输入端和一个输出端，是一个三端网络。

实现两个输入模拟量相乘的方法有多种。乘法器是电子式电能表的核心部分，简单介绍数字乘法器。

采用数字乘法器，由计算机软件完成乘法运算，保证电能表的测量准确度。微处理器主要用于数据处理，控制双通道 A/D 转换，同时对电压、电流进行采样，由微处理器完成相乘功能，并累积电能。

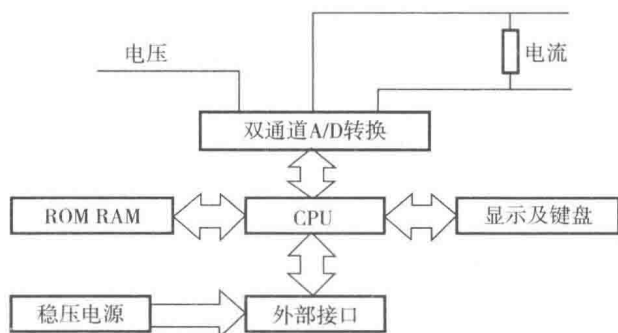


图 3-2 数字乘法器的电能表结构框图

## 四、U/f 转换器

电子式电能表常用双向积分式 U/f 转换器，输出频率  $f$  与输入电压  $U$  成正比。

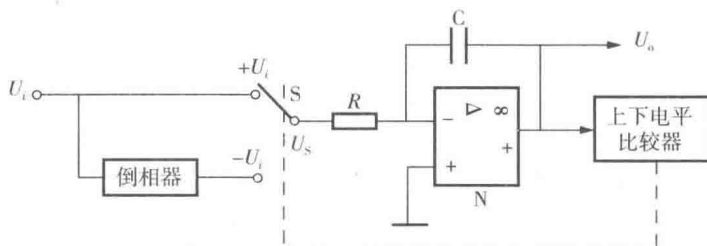


图 3-3 双向积分式电压/频率转换器的原理电路图



## 五、分频计数器

分频,就是将输出信号的频率分为输入信号频率的整数分之一;计数,就是对输入的频率信号累计脉冲数目。

电子式电能表,分频器和计数器一般采用 CMOS 集成电路器件。集成电路器件工作可靠性高、抗干扰能力强、功耗低。

## 六、显示器

目前常用的显示器有三种:液晶(LCD)、发光二极管(LED)、荧光管(FIP)。

### 思考与练习

1. 试画出电子式电能表的工作原理图。
2. 试画出数字乘法器电能表的结构框图。

## 任务4 无功电能表

### 任务描述

本任务介绍了无功电能表的结构和工作原理。通过知识讲解,掌握无功电能表的作用和工作原理。

### 一、无功电能表的用途

供电公司根据客户消耗的有功电能收取电费,为什么还要进行无功计量?

变压器的容量  $S=UI$  (单位: kVA) 是一定的,输出有功功率  $P=UI\cos\varphi$  (单位: kW),无功功率  $Q=UI\sin\varphi$  (单位: kVar)。 $\cos\varphi$  值偏小会对电网产生较大的损耗,  $\cos\varphi$  值的计算,需要测量无功电量  $W_Q$ ,所以需装设无功电能表。

### 二、无功电能表的种类

有功电能表的驱动力矩  $M_Q$  是正比于有功功率  $P$ ,所以有功电能表可以进行有功计量。如果电能表的驱动力矩  $M_Q$  是正比于无功功率  $Q$ ,就可以进行无功计量。根据这一思路,制造无功电能表,使得  $M_Q=K UI\sin\varphi$ 。

#### (一) 正弦型无功电能表

##### 1. 单相正弦型无功电能表

单相电能表驱动力矩基本公式  $M_Q=K\Phi_1\Phi_U\sin\Psi=K\Phi_1\Phi_U\sin(\beta-\alpha_1-\varphi)$



若  $\beta - \alpha_1 = 0^\circ$ , 这样  $M_Q = K\Phi_I\Phi_U \sin(-\varphi) = -KUI \sin\varphi = -KQ$

公式中的“ $-$ ”说明驱动力矩方向反了, 解决的办法将测量机构的电流线圈的进线端子与出线端子对调一下。

普通电能表  $\beta - \alpha_1 = 90^\circ$ , 现在要求  $\beta - \alpha_1 = 0^\circ$ , 解决的办法是将电压线圈串个电阻  $R_U$ , 减小  $\beta$ , 电流线圈并个电阻  $R_I$ , 增大  $\alpha_1$ , 这样就制成了单相正弦型无功电能表。

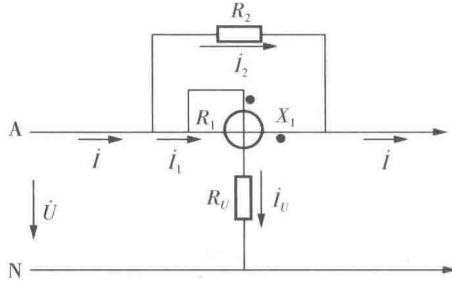


图 4-1 单相正弦型无功电能表的原理接线图

接线方式:  $U-I \quad \beta - \alpha_1 = 0^\circ$

单相正弦型无功电能表相量图, 如图 4-2 所示。

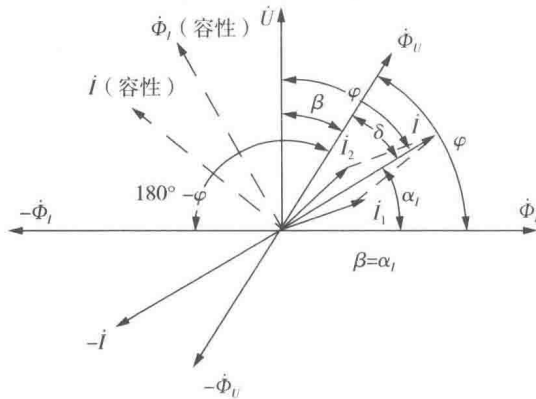


图 4-2 单相正弦型无功电能表的相量图

$$M_Q = K\Phi_I\Phi_U \sin(180^\circ - \varphi) = KUI \sin(180^\circ - \varphi) = KUI \sin\varphi$$

## 2. 三相两元件正弦型无功电能表

根据单相正弦型无功电能表的工作原理, 可以制成三相两元件正弦型无功电能表。

接线方式:  $U_{AB} - I_A, U_{CB} - I_C \quad \beta - \alpha_1 = 0^\circ$





三相两元件正弦型无功电能表相量图,如图 4-3(b)所示。

$$M_Q = KU_{AB}I_A \sin(150^\circ - \varphi) + KU_{CB}I_C \sin(210^\circ - \varphi)$$

$$= K\sqrt{3}UI \sin\varphi = KQ$$

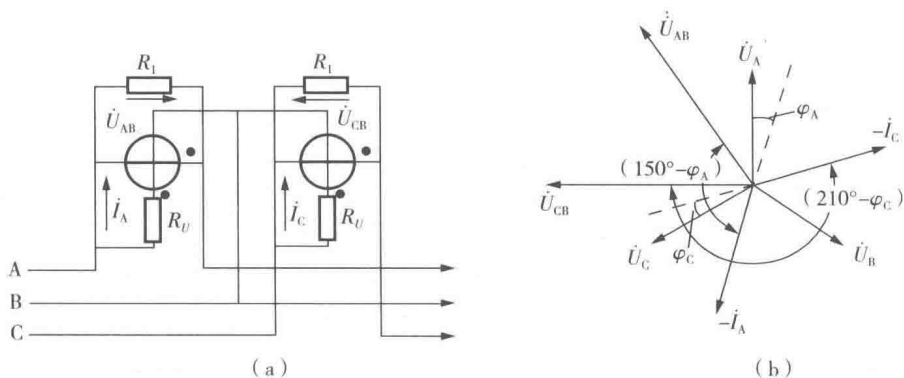


图 4-3 两元件三相正弦型无功电能表原理接线图和相量图

(a)原理接线图;(b)相量图

正弦型无功电能表的优点,不论电压是否对称,电流是否平衡,都能正确计量,不会产生线路附加误差;缺点是功耗大,成本高,目前很少采用。

## (二)跨相 $90^\circ$ 型无功电能表

通过改变电能表的接线方式,用于无功计量。在三相四线制电路中,将每组图件的电压线圈,分别跨接在滞后相应电流线圈所接相的相电压  $90^\circ$ 的线电压上,故称为跨相  $90^\circ$ 接线。

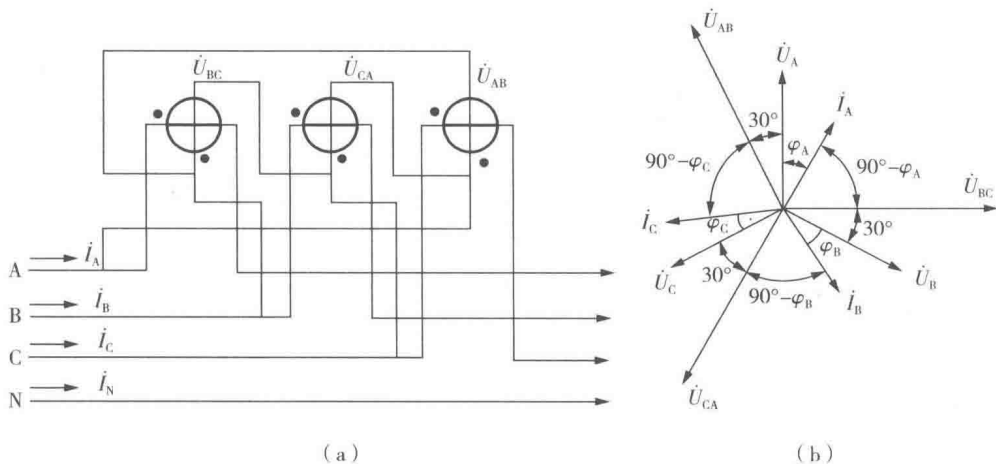


图 4-4 跨相  $90^\circ$ 型三相无功电能表原理接线图和相量图

(a)原理接线图;(b)相量图