[智能电表]

自适应三相智能电能表设计

文/魏　鹏
烟台东方威思顿电气有限公司

设计一种三相智能电能表，通过开关电源设计，满足宽范围电压接入，通过软件算法实现三相四线3×57.7 V/100 V、三相四线3×220 V/380 V和三相三线3×100 V接线方式的判断，并进行计量模式、计量参数、事件和报警参数的自适应切换。该电能表可在不同接线方式和不同电压规格下正确计量和运行。

智能电能表作为智能电网建设的关键终端产品之一，在国内渗透率达到90%以上。智能电能表的推广应用关系到智能电网的稳定运行和工业民用用户的用电体验。根据负载类型的不同，三相智能电表一般分为两种计量方式：经电压互感器接入的高压计量和直接接入的低压计量。高压计量电压规格有3×57.7 V/100 V和3×100 V，其中，3×57.7 V/100 V为三相四线接线方式，3×100 V为三相三线接线方式。低压计量电压规格为3×220 V/380 V，为三相四线接线方式。介绍一种自适应的三相智能电能表，能够自动适配不同接线方式和不同电压规格，降低用户分类存储和管理电能表的难度，减少用户管理成本。

电能表系统架构

三相电能表原理框图如图1所示，包括电源管理模块、电压采样模块、电流采样模块、计量模块、通信模块、显示模块、存储模块、时钟模块及按键模块等。电源管理模块采用开关电源设计，使电能表在压宽电压范围内正常工作。电压采样模块采用电阻分压网络取得电压信号，采用电阻串联分压的原理进行采样。电流采样模块采用专用电流互感器，将大电流变换为经专用计量芯片识别的小电流，送入专用计量芯片。专用计量芯片能完成各种电参数的测量和计量，并通过SPI串行接口与CPU通信。CPU负责通信、显示、存储、时钟及按键等模块的管理。

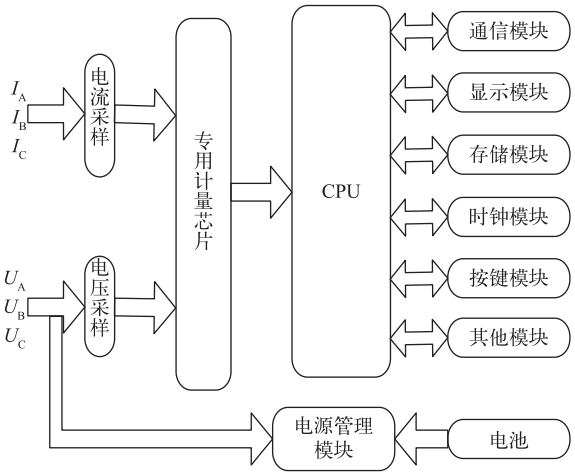

图1　三相电能表原理框图

自适应工作原理及实现方法

1. 三相电能表接线方式

三相四线接线方式时，电网A相线接入电能表A相端子，电网B相线接入电能表B相端子，电网C相线接入电能表C相端子，电网N相线接入电能表N相端子。三相三线接线方式时，电网A相线接入电能表A相端子，电网B相线接入电能表N相端子，电网C相线接入电能表C相端子。典型接线如图2～图4所示。

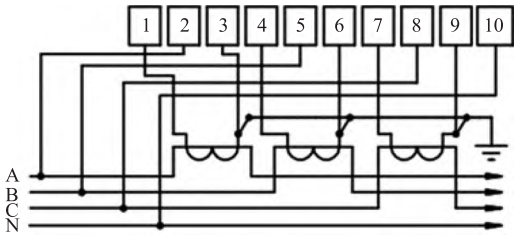

图2　3×220 V/380 V三相四线接线方式

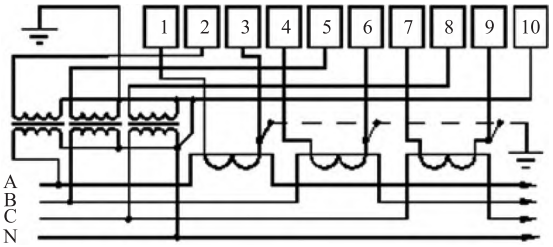

图3　3×57.7 V/100 V三相四线接线方式

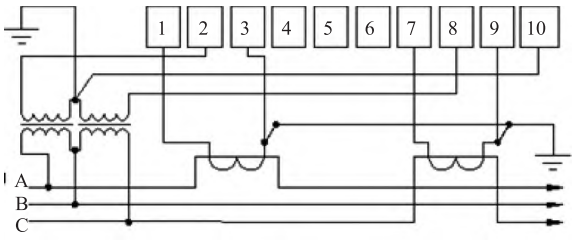

图4　3×100 V三相三线接线方式

2. 自适应工作原理

通常接入电能表的电压为电能表额定电压的0.8～1.2倍。通过电能表电压的大小即可识别出电能表的接线方式和电压规格。如果三相电压中有的超过120 V，则认为电能表需要运行三相四线3×220 V/380 V电压规格；当B相电压为0 V，A相、C相电压至少有一相不低于70 V时，电能表需要运行三相三线3×100 V电压规格。其余情况运行三相四相3×57.7 V/100 V电压规格。

3. 自适应实现方法

电能表软件自适应判断流程。

1）电能表上电初始化，计量模块默认计量模式为三相四线，加载3×57.7 V/100 V电压规格的计量、事件及报警参数。

2）待采样稳定后，获取三相电压值及其他瞬时量参数。

3）判断电压规格是否为3×220 V/380 V，若是，计量模式保持不变，计量参数切换到3×220 V/380 V。

4）判断电压规格。如果是3×57.7 V/100 V，计量模式和计量参数保持不变；如果为3×100 V，计量模式切换到三相三线，计量参数切换到3×100 V。

5）根据电压规格保持或者切换事件和报警参数。

自适应判断流程图如图5所示。

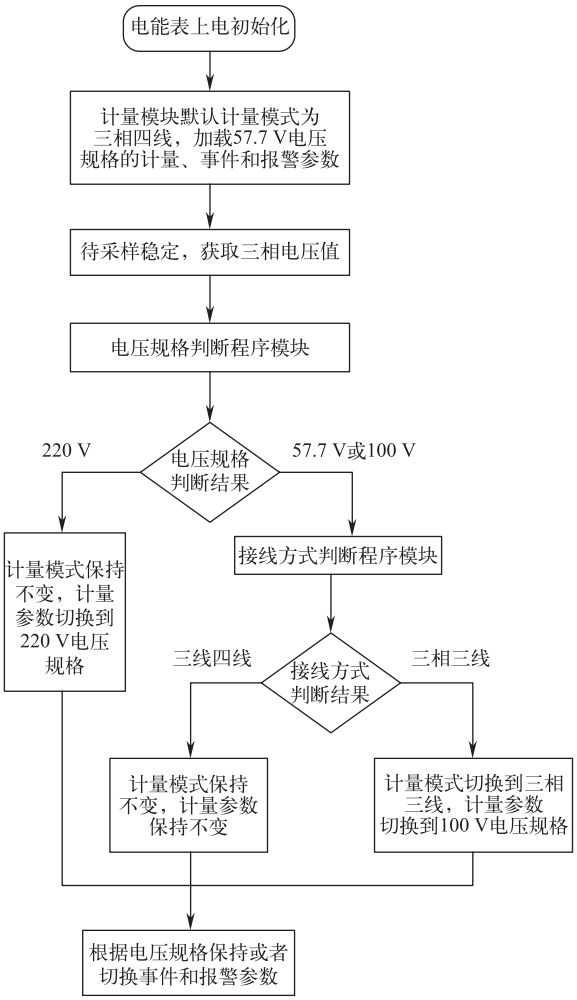

图5　自适应判断流程图

试验验证

根据设计方案，制作了一款可满足3×57.7 V/100 V、3×100 V及3×220 V/380 V三种电压规格及1（10）A电流规格的三相智能电能表，并对该电能表进行了三种电压规格下的基本误差试验，试验结果见表1。

由测试数据可以看出，该自适应电能表在多种电压规格下能够自动识别接线方式和电压规格，并能实现正确计量，计量误差在0.2%以内。

表1　基本误差数据

负载	功率因数	57.7 V误差	100 V误差	220 V误差	结论
合相I_{max}	1.0L	0.012	−0.025	0.015	合格
合相I_{max}	0.5L	−0.075	−0.13	−0.078	合格
合相I_{max}	0.8C	0.025	0.015	0.018	合格
合相I_b	1.0L	0.006	−0.025	0.01	合格
合相I_b	0.5L	−0.031	−0.037	−0.022	合格
合相I_b	0.8C	0.008	−0.025	−0.032	合格
合相0.1I_b	1.0L	−0.029	−0.03	−0.047	合格
合相0.1I_b	0.5L	−0.024	−0.045	−0.075	合格
合相0.1I_b	0.8C	−0.018	−0.032	−0.055	合格
合相0.05I_b	1.0L	−0.055	−0.078	−0.069	合格
合相0.02I_b	1.0L	−0.065	−0.126	−0.055	合格
A相I_{max}	1.0L	−0.023	−0.03	−0.03	合格
A相I_{max}	0.5L	−0.022	−0.105	−0.037	合格
A相I_b	1.0L	−0.022	−0.03	−0.022	合格
A相I_b	0.5L	−0.02	−0.045	−0.06	合格
A相0.1I_b	0.5L	0.016	−0.024	−0.045	合格
A相0.05I_b	1.0L	−0.01	−0.037	−0.039	合格
B相I_{max}	1.0L	0.01	−0.02	0.01	合格
B相I_{max}	0.5L	−0.023	−0.039	−0.055	合格
B相I_b	1.0L	−0.006	−0.01	−0.016	合格
B相I_b	0.5L	−0.04	−0.05	−0.08	合格
B相0.1I_b	0.5L	−0.026	−0.06	−0.035	合格
B相0.05I_b	1.0L	−0.063	−0.043	−0.078	合格
C相I_{max}	1.0L	0.02	−0.021	−0.015	合格
C相I_{max}	0.5L	0.016	−0.06	−0.087	合格
C相I_b	1.0L	−0.008	−0.016	−0.018	合格
C相I_b	0.5L	−0.05	−0.045	−0.053	合格
C相0.1I_b	0.5L	−0.086	−0.096	−0.077	合格
C相0.05I_b	1.0L	−0.12	−0.110	−0.08	合格

结束语

设计的自适应电能表可以自动识别接线方式和电压规格，并进行计量模式、计量参数、事件和报警参数的自适应切换，计量精度低于0.2%，满足用户使用需求，大大降低用户的使用和管理难度，节约维护成本，有着非常广泛的应用前景。EA

（收稿日期：2022-09-13）

参考文献

[1] 王健．三相三线和三相四线有功电能表接线的计量影响及改善对策[J]．电子世界，2014(4)：26-27．

[2] 张永建，娄延旭，康慈云．二元件电能表计量三相三线有功电能的原理[J]．农村电工，2021(3)：52．

[3] 何建新，李立雄．宽量程标准电能表的设计[J]．设计与研发，2021(12)：13-15．

[4] 牟向阳，吴国强，付希林．电压电流自适应智能电能表的设计与实现[J]．现代科学仪器，2017(1)：22-26．

[5] 刘建，黄杰，田正等．一种三相三线与三相四线自适应电能表的设计[J]．计算机测量与控制，2016，24(4)：281-283．

[6] 杨娴，黄珏，徐佳隆，等．关口电能表多回路自动控制与检测装置的研究[J]．电气应用，2021，40(3)：35-39．

（上接第80页）

即气箱内部的工作压力比外边大气压力略高一点，合理地减少漏气率。经氦检漏测试年漏气率小于0.01%。即便气箱产生漏气，零表压时仍保持充足的绝缘以确保设备正常运作。避免空气中的湿冷气体进入气箱内部，保证气箱内部元器件的绝缘特性。

5）加装凹凸镜观察窗，用较小的视窗完成大范围观察，使内部隔离开关状态清晰可见。

6）采用精度高、操作力小、寿命长及稳定性高的盘簧隔离开关机构。设有两层防误操作联锁：一是内设的强制性防护的机械硬联锁片；二是操作孔挡板构成的外部防护，操作者无法把手柄插进闭锁的操作轴孔。

结束语

环保气体全绝缘金属封闭开关设备采用标准化、模块化及一体化设计，结构简单，满足“五防”要求；采用三工位隔离接地开关、模块化断路器、盘簧机构及凹凸观察窗，使隔离断口清晰可视；创新内部电场优化，降低了局部放电数值，提高了雷电冲击数值；气箱内部采用干燥空气或氮气作为绝缘介质，环保、无污染，微正压技术降低了漏气率；设备常压运行，出现漏气情况也不影响设备运行；机械双重防误操作装置，简单可靠。该产品是节能环保的模块化、标准化高性能产品。EA

（收稿日期：2022-11-29）