

# 一种三相三线与三相四线自适应电能表的设计

刘建<sup>1,3</sup>, 黄杰<sup>2</sup>, 田正其<sup>1,3</sup>, 祝宇楠<sup>1,3</sup>, 任智仁<sup>2</sup>

(1. 江苏省电力公司 电力科学研究院, 南京 210019; 2. 威胜集团有限公司, 长沙 410205;

3. 国家电网公司电能计量重点实验室, 南京 210019)

**摘要:** 针对传统三相电能表因应用现场接线方式不同, 衍生出来多种电压规格的表型, 造成电能表厂商的生产和维护成本高、用户使用和管理难度大的问题; 该文介绍了一种三相三线与三相四线自适应电能表; 该自适应电能表以测量到的三相电压幅值和三相电压间的相角为基础数据, 结合电能表的行业标准、技术规范 and 实际运行环境, 形成了一整套的电压规格识别和管理、计量参数调整和显示报警机制, 并通过软件程序实现了电能表对三相三线与三相四线两种接线方式下不同电压规格的自适应功能; 测试结果表明, 所设计的自适应电能表在 57.7 V、100 V 和 220 V 三种电压规格下都能准确地测量和计量, 完全能满足国家电网公司在《Q/GDW1827—2013 三相智能电能表技术规范》中对 0.2 S 级三相智能电能表的技术规范要求, 且性价比高, 具有广阔的市场前景。

**关键词:** 三相电能表; 电压规格; 自适应

## Design of Adaptive Electric Energy Meter Used for 3P3W or 3P4W System

Liu Jian<sup>1,3</sup>, Huang Jie<sup>2</sup>, Tian Zhengqi<sup>1,3</sup>, Zhu Yunan<sup>1,3</sup>, Ren Zhiren<sup>2</sup>

(1. Jiangsu Electric Power Company Research Institute, Nanjing 210019, China;

2. Wasion Group Limited, Changsha 410205, China;

3. State Grid Key Laboratory of Electric Energy Metering, Nanjing 210019, China)

**Abstract:** Because of the wiring method is different in application, the normal three phase electric energy meter have many voltage specification types, it causes the manufacturing and maintenance cost of the electric energy meter manufacturer very highly, and it is also difficult for the user to use and manage. In this paper, it describes a three phase electric energy meter which can be adaptive in 3P3W or 3P4W system. The meter used the three phase voltage amplitude and included angle as basic data which measured by itself, and combined with the industry standard, technical specification and actual operating environment of the electric energy meter, formed a suit of mechanism which used to recognize and manage the voltage specification, adjust the meter parameters, display and alarm, then used software program to achieve the different voltage specification adaptive function. The test result shows that the adaptive electric energy meter can work correctly under the power grid system whose voltage specification is 57.7 V, 100 V or 220 V. The adaptive electric energy meter can perfectly satisfy the technical specifications requirements of State Grid in the Q/GDW1827—2013 Technical specification for triphase smart electricity meters for the class—0.2 S three phase electric energy meter. it has high quality-price ratio, and broad market prospects.

**Keywords:** three phase electric energy meter; voltage specification; adaptive

## 0 引言

三相电能表<sup>[1]</sup>作为计量电能的仪表, 被广泛地应用在电力系统<sup>[2]</sup>的各个方面, 它根据应用现场的接线方式不同, 可以分为三相三线电能表和三相四线电能表两种, 其中三相三线电能表的常用表型是 100 V 电压规格, 三相四线电能表的常用表型是 57.7 V 和 220 V 两种电压规格。不同表型对设计、物料、生产、测试、仓储和售后的要求各不相同, 这既不利于电能表厂商的生产和维护, 也不便于用户的使用和管理。

针对上述问题, 本文设计了一种三相三线与三相四线自适应电能表<sup>[3-12]</sup>, 它可以自动识别电网的接线方式和电压规格, 并同时自动调整计量参数与之匹配, 从而实现在 57.7 V、

100 V 和 220 V 三种电压规格下的准确测量和计量。

## 1 系统组成及工作原理

### 1.1 系统组成

如图 1 所示, 本自适应电能表主要由电源单元、电压采样单元、电流采样单元、计量单元、管理 MCU 单元、显示单元、通信单元及存储单元等部分构成, 还特别包括一根电压短接线, 它与普通三相表的最大的区别如下:

1) 电源单元必须同时满足 57.7 V、100 V 和 220 V 三种电压规格的宽电源工作要求, 不再采用传统的基于变压器的线性电源供电, 而是改为采用转换效率更高、稳压范围更宽和可靠性更高的开关电源供电;

2) 电压短接线是一根外置的电缆线, 用于短接电压采样单元的 B 相和 N 相。它根据电能表的应用现场不同, 人为选择使用或不使用, 电能表应用于三相三线接线方式时, 需要将它的一端接电能表的 B 相电压端子, 另一端接电能表的 N 相

收稿日期: 2015-10-12; 修回日期: 2015-11-12。

作者简介: 刘建(1981-), 男, 河南信阳人, 博士, 高工, 主要从事电力电子计量检测技术方向的研究。

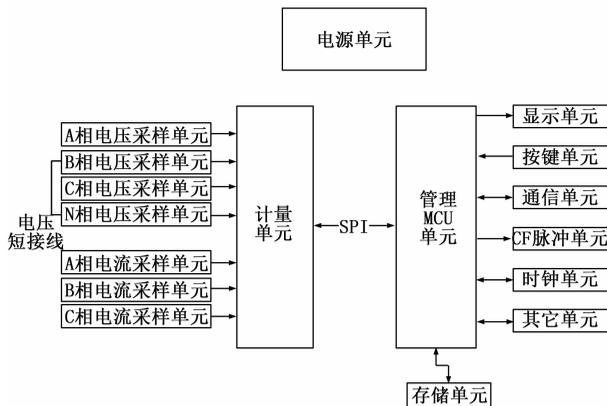


图 1 系统原理框图

电压端子；而在电能表应用于三相四线接线方式时，不需要使用它。

### 1.2 工作原理

本自适应电能表的基本工作原理如下：电网的三相电压信号根据是否使用电压短接线，构成三角形或星形的形式接入到电能表的电压采样单元，经电阻分压采样和抗混叠电路滤波后，形成三相电压模拟小信号，送入到计量芯片的电压 ADC 端口；电网的三相电流经 CT 采样和抗混叠电路滤波后，形成三相电流模拟小信号，送入到计量芯片的电流 ADC 端口；再由计量芯片内部集成的 6 路 24 位高精度  $\Sigma-\Delta$  型 A/D 转换器进行同步采样，将其量化转换为数字信号，并通过专用电能计量算法计算得到电压、电流、功率和电量等电参量数据；然后由管理 MCU 通过 SPI 总线定时读取数据，根据数据完成电压规格识别、液晶显示、按键查询、通信、存储、脉冲输出等管理工作。

## 2 自适应功能实现

自适应电能表的核心功能是对电网接线方式和电压规格自动识别并为之匹配的功能，它必须通过电能表硬件、软件和安装 3 个环节密切配合才能实现，其中硬件只需在成熟的三相四线电能表的基础上改用宽电压工作范围的开关电源和新增一根电压短接线即可。因此本文主要介绍电能表的软件实现方法和安装两个环节，对电能表的硬件不做过多说明。

### 2.1 软件设计

电能表要实现了对电网电压规格的识别，只有将三相电压幅值和三相电压间的相角这几个电参数作为判断依据进行判断。但是由于电能表的应用场合十分复杂，运行过程中存在多种电压异常的情况，如电能表前端的负荷控制开关跳闸会产生瞬间高压；零线没有接地或者接地不牢靠，零点漂移导致电压测不准。如果自适应电能表只靠上电自动识别电压规格，那就存在误判、错判的风险，因此在软件设计上还必须有机制来约束上电自动识别功能，此外还要有显示和报警机制，多管齐下，确保电压规格判断正确。

基于以上考虑，本自适应电能表的判断机制设计为：电能表在走了一定电量之前，上电自动识别电压规格，并将判出的电压规格显示给安装人员确认，判不出来就报警提醒；走了一定电量之后，上电直接使用之前保存的电压规格，不再进行判断。这种机制既有上电自动识别电压规格的灵活性，又有稳定

运行后固定电压规格的可靠性，该机制的软件程序实现具体可分为管理程序和计量程序两部分，下面将这两个部分进行说明。

#### 2.1.1 管理模块

管理模块主要负责电压规格管理和显示报警工作，它的整个处理流程如图 2 所示。电能表上电后，管理程序检测电能表是否已确定电压规格（即电能表在该电压规格下走字 20 kWh），根据该检测结果的不同分两种情况进行处理：

情况 1：如果电能表已确认电压规格，则通知计量模块需要匹配电压规格，并显示在液晶上；

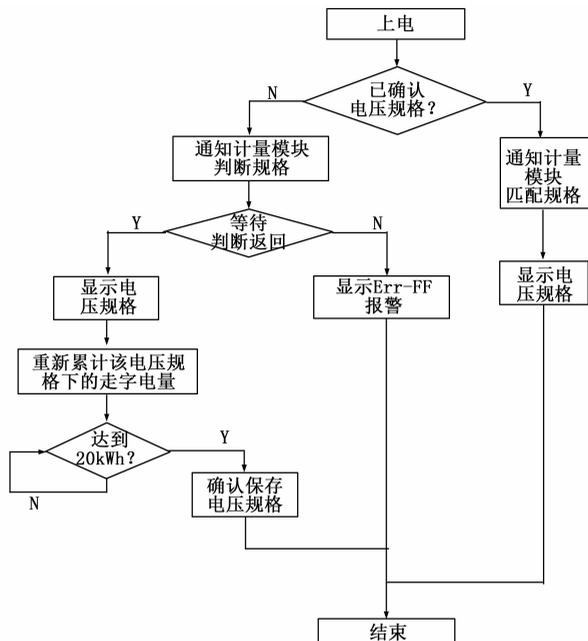


图 2 管理模块程序流程

情况 2：如果电能表尚未确认电压规格，则通知计量模块需要判断电压规格，并等待计量模块的判断结果，如果计量模块判出电压规格，就显示在液晶上，并开始累计该电压规格下的走字电量，达到 20 kWh 后确认保存电压规格；如果没有判出电压规格，就显示 Err-FF 报警提示。

#### 2.1.2 计量模块

计量模块主要负责电压规格识别和计量参数调整工作，本自适应电能表设计了一个状态机来实现这个功能，该状态机分初始化状态、判断状态、运行状态和报警状态 4 个状态，它的整个处理流程如图 3 所示。

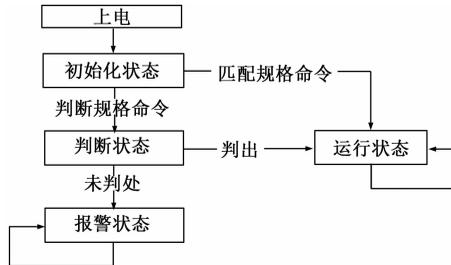


图 3 计量模块程序流程

电能表上电后，计量模块进入初始化状态，完成初始化工作，并根据管理模块下发的命令标志不同，分两种情况进行

处理:

情况 1: 当管理模块下发电压规格匹配命令时, 状态机切换到运行状态, 并将计量参数调整到与管理模块指定的电压规格匹配;

情况 2: 当管理模块下发电压规格判断命令时, 状态机切换到判断状态, 运行判断子模块, 如果判出电压规格, 就将判断结果返回给管理模块, 并切换到运行状态, 将计量参数调整到与电压规格相匹配; 如果没有判出电压规格, 就将计量参数调整匹配到默认的 220 V 电压规格, 并切换到报警状态。

2.1.3 判断子模块

电压规格判断子模块是本自适应电能表的重点内容, 是实现自适应功能的灵魂部分, 该子模块以电能表测量到的三相电压幅值和三相电压间的相角为基础数据, 结合电能表的行业标准、技术规范 and 实际运行环境, 形成了以下判断依据:

依据 1: 三相电能表要么是三相三线电能表, 要么是三相四线电能表;

依据 2: 当电能表测到的 B 相电压不为 0 V 时, 电网必然为三相四线接线方式;

依据 3: 三相四线系统的电压间相角为 120°或 240°, 三相三线系统的电压间相角为 60°或 300°;

依据 4: 在实际运行过程中, 电网电压间的相角波动范围极小, 不会超过 ±10°;

依据 5: 根据电能表的技术规范要求, 电能表的工作范围为 70%Un~130%Un, 判断 220 V 规格用到的电压阈值取 150 V, 比 220 \* 70% = 154 V 稍小; 判断 57.7 V 规格用到的电压阈值取 77 V, 比 57.7 \* 130% = 75 V 稍大。

本自适应电能表根据以上 5 点判断依据进行电压规格识别功能设计, 实现了绝大多数情况下的电压规格判断, 其判断具体步骤如下:

步骤 1: 三相电压都为 0 时, 电压规格判不出来。

步骤 2: 接线模式判断

1) 当 B 相电压为 0, A、C 相电压都不为 0 时:

(1) AC 间的电压夹角大于 110、小于 130, 或大于 230、小于 250, 判定为 3P4W;

(2) AC 间的电压夹角大于 50、小于 70, 或大于 290、小于 310, 判定为 3P3W;

(3) AC 间的电压夹角为其它值, 接线模式判不出来。

2) 当 B 相电压为 0, A 相或 C 相电压为 0 时, 接线模式判不出来。

3) 当 B 相电压不为 0 时, 接线模式判定为 3P4W。

步骤 3: 电压规格判断

1) 当接线模式判为 3P4W 时:

(1) 任意相电压大于 150 V, 规格判定为 220 V;

(2) 所有相电压小于 77 V, 规格判定为 57.7 V;

(3) 其它情况判不出来。

2) 当接线模式判为 3P3W 时:

(1) 两相电压都在 79~132 V 之间, 规格判定为 100 V;

(2) 其它情况判不出来。

3) 当接线模式未判出来时:

(1) 任意相电压大于 150 V, 规格判定为 220 V;

(2) 所有相电压小于 77 V, 规格判定为 57.7 V;

(3) A、C 两相电压都在 79~132 V 之间; 或其中一相在

79~132 V 之间, 另一相为 0, 规格判定为 100 V;

(4) 其它情况判不出来。

2.2 安装说明

本自适应电能表应用于三相四线系统时, 电压线的接法跟普通的三相四线电能表一样, 电网的 A 相线接 A 相端子、B 相线接 B 相端子、C 相线接 C 相端子、N 相线接 N 相端子, 但应用于三相三线系统时, 需要使用电压短接线, 电网的 A 相线接 A 相端子、B 相线接 B 相端子、C 相线接 C 相端子、B 相端子和 N 相端子短接, 安装接线如图 4 和图 5 所示。

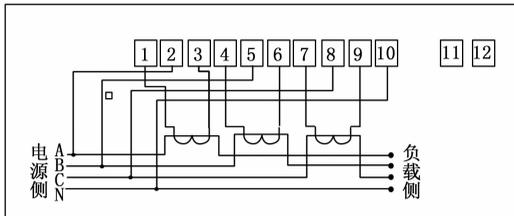


图 4 三相四线系统接线图

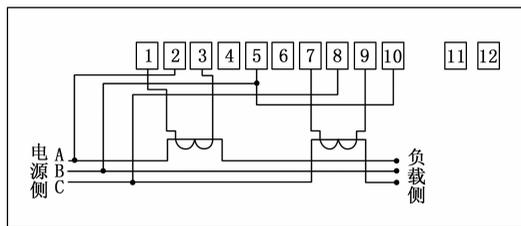


图 5 三相三线系统接线图

3 自适应功能验证

根据以上设计方案, 我们制作了一款 57.7 V、100 V 和 220 V 三种电压规格自适应、电流规格为 0.3 (6) A 的自适应电能表, 并对样机进行了 3 种电压规格下的基本误差试验, 测试结果如表 1 所示, 限于篇幅本表格仅列出正向有功的误差数据。

表 1 正向有功基本误差试验

负载点	功率因数	正向有功基本误差/%		
		220 V 规格	57.7 V 规格	100 V 规格
合相 I MAX	1	-0.012	-0.009	-0.012
合相 I MAX	0.5L	-0.001	-0.002	0.014
合相 I MAX	0.8C	-0.016	-0.009	-0.014
合相 I B	1	-0.013	-0.012	-0.009
合相 I B	0.5L	-0.006	-0.017	-0.011
合相 I B	0.8C	-0.016	-0.001	-0.010
合相 0.1I B	1	-0.007	-0.009	-0.004
合相 0.1I B	0.5L	0.011	-0.006	-0.007
合相 0.1I B	0.8C	-0.019	-0.020	-0.016
合相 0.05I B	1	-0.007	-0.015	-0.006
合相 0.02I B	0.5L	0.019	-0.014	-0.009
合相 0.02I B	0.8C	-0.030	-0.022	-0.025
合相 0.01I B	1	-0.016	-0.005	-0.003
A 相 I MAX	1	-0.021	-0.013	-0.014
A 相 I MAX	0.5L	-0.029	0.001	0.005
A 相 I B	1	-0.011	-0.007	-0.001

(下转第 290 页)