

# 单相电能表误差自诊断功能设计

Design of Error Self-diagnosis Function of Single-phase

Electric Energy Smatermeters

燕俞波<sup>1</sup> 童建东<sup>2</sup> 朱明<sup>3</sup> 张力行<sup>4</sup>

1. 33022719741202149X 2. 620423197911082312 3. 330204197706141011 4. 330211199402060012

**【摘要】**随着城市高速发展,电能是重要的能源之一,而电能表是电能计量的工具,电能表作为国家法定计量器具,其计量误差精度关系到民生和社会公平。现国家电网采用定期现场抽样检查计量误差精度,此方法工作量大覆盖性小。因此,提升计量管理,提高电能的准确性是有重要意义的,本文主要研究电能表误差自诊断技术的实现原理及可行性,在国家电网现有的单相费控智能电能表基础上,增加误差自诊断功能,电能表误差值支持主站抄收采集和现场液晶显示,可根据配置误差超限阈值进行主动上报,实时报警提示。

**【关键词】**电能表;精度;误差自诊断

**【Abstract】**With the rapid development of cities, electric energy is one of the important energy sources, and the electric energy smatermeters is a tool for electric energy measurement. As a national legal measuring instrument, the accuracy of the measurement error of the electric energy smatermeters is related to people's livelihood and social justice. The State Grid now uses regular on-site sampling to check the accuracy of measurement errors. This method has a large workload and a small coverage. Therefore, it is of great significance to improve metering management and improve the accuracy of electric energy. This article mainly studies the realization principle and feasibility of electric energy smatermeters error self-diagnosis technology, and adds Error self-diagnosis function, the error value of the electric energy smatermeters supports the master station to collect and collect and the on-site liquid crystal display, and can actively report according to the configured error threshold value, and real-time alarm prompts.

**【Keywords】**smatermeters; precision; Error self-diagnosis

## 引言

目前现场运行的电能表在使用期间,会受到各种因素的影响造成计量误差 inaccurate,比如:窃电、故障造成计量失准、电表老化等等。目前,这些因素影响巨大,不仅扰乱了电力行业的秩序,也带来一定安全隐患,给电力公司以及电能表制造商带来巨大损失。

为了解决此问题,因此有必要开展误差自诊断功能,先将国网现有的单相费控智能表基础上开发此功能,现场运行的精度具有自诊断功能,可以支持主站抄收采集和现场液晶显示,并根据配置误差超限阈值实现主动上报,实时报警提示。本文针对电力公司现场运行电能表误差精度管理存在的技术瓶颈设计一款具有误差自诊断功能电能表。

## 1 研究背景

### 1.1 电能表目前现状

对于现场电表运行情况一直是电力公司和电能表制造商最关注的方面,尤其是计量精度方面,一直没有做到有效解决。

目前的现状:现场运行时无法实时监测,一旦挂表,

其运行精度完全依赖电能表的设计水平、制造工艺水平、元器件品质等因素。在现场误差超差无法预警,容易造成客诉。电能表未能达到最大限度利用,一半设计寿命为10年,但实际中轮换小于6年。电表使用寿命内的工作情况,通过抽样来了解,带来大量人力物力成本,因为筛查范围广,所以判断难度很大,造成时效性很低。

### 1.2 电能表自诊断及发展趋势

随着研发技术和制造工艺的不断增强,对自检测方面取得重大进步。现将电能表计量芯片中集成误差自诊断功能,可在电能表内部监控设置运行参数,就可实现误差自诊断功能。

另外,根据智能电表误差自诊断技术,结合不同批次、不同安装时间、不同厂家电能表现场运行误差数据,建立智能电表运行状态预测模型,开发智能电表全生命周期状态监测功能。今后供电公司不必通过跑现场排查用电情况,通过终端就能了解电表运行情况,而且可初步定位故障信息。可以有效减少客户投诉,提升服务水平,还能减少资源上的浪费和重复投资,由于自诊断可移植性强,便于推广。

## 2 具有自诊断误差电能表的设计介绍

设计拥有误差自诊断的电能表，功能和性能满足国家电网技术要求，从元器件选型、电路设计、软件程序方面实现误差自诊断功能。

### 2.1 计量芯片介绍

针对计量模块对计量芯片更改，选择锐能微计量芯片 RN2025，具有基础计量功能并增加新功能如下：

- (1) 工作电压可在 2.8~5.5V 保证计量精度。
- (2) 低功耗全速运行约 4mA。
- (3) 高精度：计量精度 8000:1 范围内误差线性度小于 0.1%。
- (4) 通讯接口灵活：UART 口、波特率支持灵活的块读写操作。

### 2.2 计量模块电路设计

计量模块电路设计如图 1 所示，本次设计增加电压、电流通道采样及自诊断功能功能。

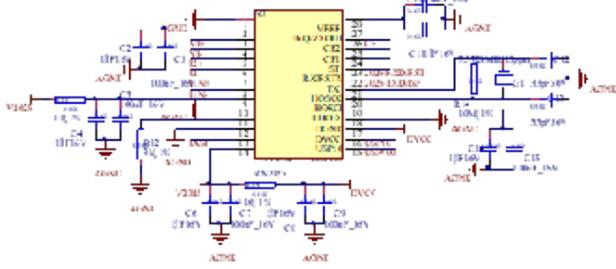


图 1 计量芯片主电路图

计量芯片 RN2025 集成基准信号源 U、I，分别注入到电压采样电路，如图 2 所示，火线、零线电流采样电路，如图 3 所示，电流通道自检信号输出电路，如图 4 所示，电流通道自检信号检验电路，如图 5 所示，U、I 经过采样电路转换为采样信号转化为数字信号。

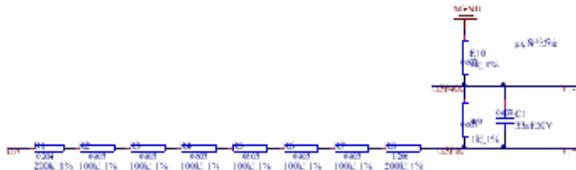


图 2 电压采样电路及自诊断功能电路图

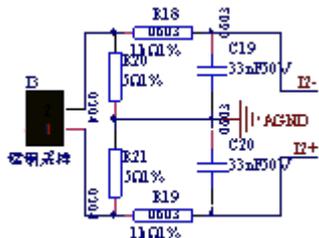


图 3 电流采样电路

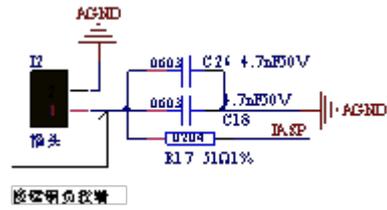


图 4 电流自检信号输出电路

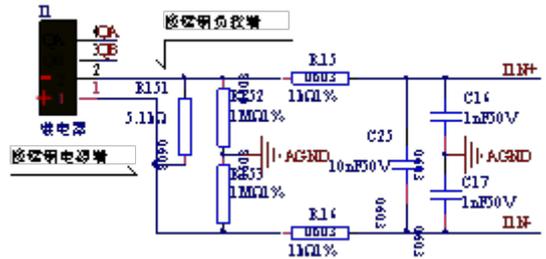
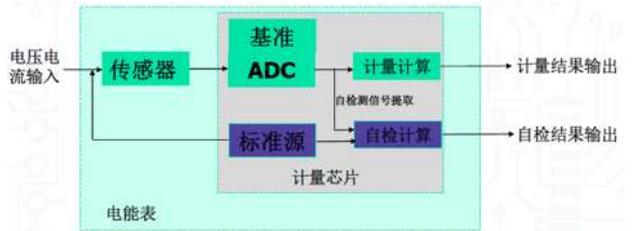


图 5 电流自检信号检验电路

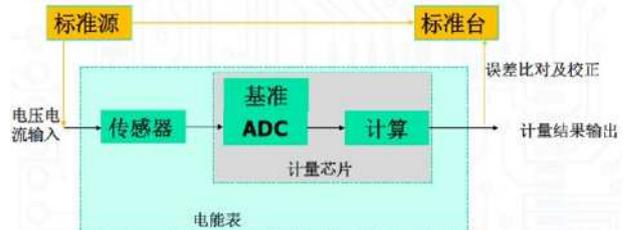
RN2025 计量芯片的基准信号源精度高，能够产生最大激励信号 19mA，在 10000:1 的动态范围内，AI PGA = 16，测试的条件下，误差精度 <0.1%。

### 2.3 误差自诊断原理

具备误差自诊断功能的电能表，采用新一代智能计量芯片。该计量芯片内置标准源，将用于检测的激励信号发射至电表传感器（单相表通常为锰铜）入口，激励信号与负载信号一起经过传感器、外围电路、ADC，负载信号用于计算正常的计量，激励信号经过专用算法提取出来并转换成相应的数字信号。形成了“发射—接收—自检”的闭环系统，当检测发现激励信号发生变化时，就意味着误差也发生了变化，与原电能表误差检测技术形成差别。电能表误差检测技术如图 6 所示。



(a) 具备自诊断功能电能表



(b) 原电能表误差检测技术

图 6 电能表误差检测技术图

激励信号用于计算整个回路的增益误差和相位误差，负载信号用于计算电能表所需要的电压、电流、功率、电能等参数。

一旦在厂内经过标定，不管负载信号如何变化，提取出来的激励信号都是不变的。一旦电表发生故障或者窃电造成误差变化，那么提取出来的激励信号就会发生等比例的变化，进而可以报出电能表的实时误差。

### 2.4 计量芯片内部激励信号工作原理

#### 2.4.1 计量芯片激励电路

RN2025 计量芯片精度自检测功能，可检测电压、电流采样通道外围器件变化引起的幅度和相位变化，也可检测计量芯片自身故障引起的精度变化（比如基准电压变化、电路失效等），在现有计量芯片基础上增加自检测功能，如图7所示。

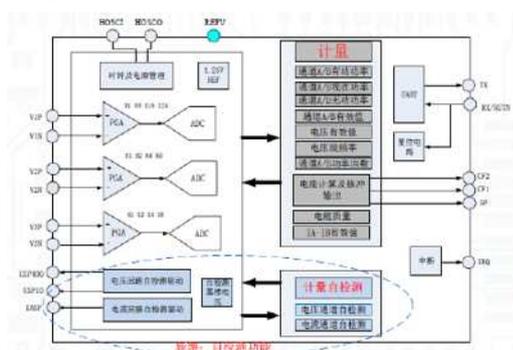


图7 计量芯片示意图

#### 2.4.2 电流电压通道精度变化检测

该检测电路可检测整个电流通道电路的电流信号链路变化，实现窃电检测、故障检测、计量误差精度超差检测。电流通道精度检测如图8所示。

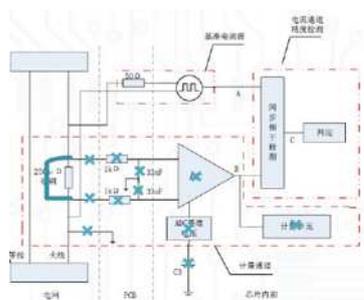


图8 电流通道精度检测功能示意图

该检测电可覆盖电压通道的R1/C1、ADC、ADC基准电压及外围电容、R0-1M电阻列，器件的变化、损坏均可通过自检测发现。电压通道精度检测如图9所示。

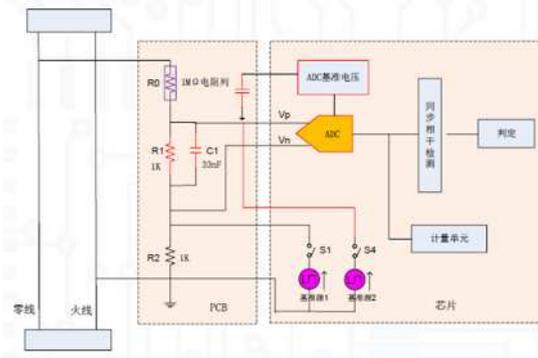


图9 电压通道精度检测功能示意图

关于检测误差值，在表计厂内模式下，确定硬件电路合格的前提下，标定激励信号接收标准值，现场运行定时开启检测，将标定值与检测值进行比对并输出自检误差值，电能表管理单元再结合设定的告警阈值，自动判断是否告警、上报等操作。

### 3 试验结果

本文在使用电能表误差自诊断验证精准度，做了一下实现，通过对参考电压（VREF）变化，电压通道电阻、电容变化，以及电流通道电阻、电容变化，进行多组实验。通过每个变量的改变，能够判断出电能表在采样回路的参数变化程度，将变化量转成数字化，可判断具体误差。

#### 3.1 参考电压变化

在具有自诊断功能的电能表，分别在  $U_n$ 、100% $I_b$ 、1.0 以及在  $U_n$ 、100% $I_b$ 、0.5L 条件下，通过改变负载电阻，改变参考电压（VREF），来比较带有误差自诊断电能表的误差数据与台体检测的误差进行比较，如表1所示，可以看出，具有误差自诊断的电能表误差值变化与台体相近。

表1 VREF 变化误差变化图

条件	VREF (V)	$U_n$ 100% $I_b$ 1.0 误差值		$U_n$ 100% $I_b$ 0.5L 误差值	
	电压值	台体 (%)	自检测 (%)	台体 (%)	自检测 (%)
正常状态	1.24	0.00	-0.01	-0.02	-0.01
基准带 10K 电阻负载	1.2364	0.35	0.15	0.36	0.15
基准带 1K 电阻负载	1.13	21.33	21.85	21.66	21.94

#### 3.2 电压通道电阻、电容变化

在电压通道中改变抗混叠电阻、电容值，在1.0、0.5L

条件下进行实验,在条件的改变下,误差数据出现改变,等,如表2、表3所示。但是也在误差允许的范围,台体与电能表总体趋于相

表2 电压通道电阻改变

电阻状态	U 通道抗混叠电阻		Un 100%Ib 1.0 误差值		Un 100%Ib 0.5L 误差值	
	UP	UN	台体 (%)	自检测 (%)	台体 (%)	自检测 (%)
减小(5%)	↓ 50 Ω	1000	-4.82	-4.84	-4.87	-4.84
增大(5%)	↑ 50 Ω	1000	4.98	4.91	5.04	4.91
增大(10%)	↑ 100 Ω	正常	9.97	9.87	10.08	9.86

表3 电压通道电流改变

电容状态	U 通道抗混叠电容		Un 100%Ib 1.0 误差值		Un 100%Ib 0.5L 误差值	
	UP	UN	台体 (%)	自检测 (%)	台体 (%)	自检测 (%)
正常状态	22nF		0.03	0.00	-0.02	0.00
增大(10%)	↑ 2.2nF		0.02	-0.06	0.13	-0.06
增大(30%)	↑ 6.6nF		0.01	-0.17	0.37	0.17
减小(31%)	↓ 6.8nF		0.02	0.13	-0.45	-0.13

### 3.3 电流通道电阻电容变化

在电流通道改变抗混叠电阻、电容值,台体与电能表在 1.0、0.5L 条件下进行对比试验,试验数据表明,

具有自诊断功能电能表误差范围在电阻电容改变时,可以认为电能表在电流通道误差变化范围在 ±0.25% 以内,如表4、表5所示。

表4 电流通道电阻改变

抗混叠电阻状态	IA 通道抗混叠电阻		Un 100%Ib 1.0 误差值		Un 100%Ib 0.5L 误差值	
	IAP	IAN	台体 (%)	自检测 (%)	台体 (%)	自检测 (%)
正常状态	1000 Ω	1000 Ω	0.02	0.02	-0.01	0.02
增大 5%	↑ 50 Ω	正常	-0.05	-0.40	-0.13	-0.40
	正常	↑ 50 Ω	-0.04	0.23	-0.12	0.23
	↑ 50 Ω	↑ 50 Ω	-0.09	-0.13	-0.17	-0.13
减小 5%	↓ 50 Ω	正常	0.09	0.31	0.08	0.32
	正常	↓ 50 Ω	0.09	-0.31	0.06	-0.31
	↓ 50 Ω	↓ 50 Ω	0.13	0.10	0.15	0.10

表5 电流通道电容改变

抗混叠电容状态	IA 通道抗混叠电容			Un 100%Ib 1.0 误差值		Un100%Ib 0.5L 误差值	
	IAP	IAN	跨接电容	台体 (%)	自检测 (%)	台体 (%)	自检测 (%)
正常状态	1nF	1nF	10nF	0.02	-0.10	-0.01	-0.10
增大 10%	↑ 0.1nF	↑ 0.1nF	不变	0.02	0.15	-0.04	0.15
	不变	不变	↑ 1nF	0.01	0.06	-0.14	0.06
增大 30%	↑ 0.3nF	↑ 0.3nF	不变	0.02	-0.02	-0.06	-0.02
	不变	不变	↑ 3nF	0.01	-0.14	-0.34	-0.14
减小 31%	↓ 0.31nF	↓ 0.31nF	不变	0.03	-0.07	0.01	-0.07
减小 34%	不变	不变	↓ 3.4nF	0.01	0.15	0.27	0.16

#### 4 误差自诊断技术价值

(1) 通过自诊断误差超限主动上报功能,及时发现由于电能表故障、窃电、接线错误等因素造成的电能表计量失准事件,快速调派专业服务人员现场核查和解决,减少客户投诉或国有电力流失,提升用电服务水平。

(2) 通过周期采集现场运行电能表的自诊断误差值,结合不同批次、不同安装时间、不同电能表厂家,建立智能电能表误差精度运行状态预测模型,开发智能电能表全生命周期状态监测功能,科学合理计划智能电能表轮换周期,减少现场抽检工作,减少社会资源浪费和重复投资。

(3) 通过实时采集现场运行电能表的自诊断误差值,分析电力线损构成因素,降低线损。

#### 5 结论

电能表误差自诊断技术的实现是得益于当代微机技术、数字通讯技术与计量技术的发展,集单片机处理、数据采集、数据处理于一体,实现技术突破。

电能表具备误差自诊断功能后,对于电力公司的实际运维水平提升具有十分重要的意义,一方面可以减少由于窃电、故障造成的计量失准,减少客户投诉,提升服务水平;另外一方面可以在电表寿命接近声称期限时实时了解每块表的实际运行状况,而不必早早的全部将还未到实际使用寿命的电表拆掉,极大的减少了资源

的浪费和重复投资。

另外,根据电能表误差自诊断技术,结合不同批次、不同安装时间、不同厂家电能表现场运行误差数据,建立智能电表运行状态预测模型,开发智能电表全生命周期状态监测功能。

#### 【参考文献】

- [1] 陆祖良.关于电能表现场检定的讨论[J].电测与仪表,2011,48(1):1-6.
- [2] 闫梦.电能计量装置在线监测和远程校验系统的开发[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2015.
- [3] 郝威.电能计量装置远程校验监测系统研究[D].北京:华北电力大学,2015.
- [4] 钱斌,肖勇,林伟斌等.关口电能表远程在线校验方法及其技术实现[J].电测与仪表,2017,54(18):101-105.
- [5] 高晓昱,庞欢.电力互感器计量工作中存在的问题分析[J].工程技术研究,2017(10):246.
- [6] 李王宝,孙后中,王猛.浅析电能计量装置误差原因及准确度提高[J].农村电工,2018(12):43-44.
- [7] 林景超.电力计量误差产生原因分析及改进措施研究[J].建材与装饰,2019(19):230-231.
- [8] 郭佳鹏.电力计量误差产生原因分析及改进措施[J].电子技术与软件工程,2019(11):2016.