

# 数字化变电站智能测控设备的一种测量方案研究

王若醒<sup>1</sup>, 贺要锋<sup>2</sup>, 唐云龙<sup>1</sup>, 杨恢宏<sup>1</sup>, 徐艳艳<sup>1</sup>

(1. 许继电气技术中心, 河南 许昌 461000; 2. 河南省电力公司许昌供电公司, 河南 许昌 461000)

**摘要:** 随着符合 IEC 61850 的全数字化变电站技术的应用和过程层设备的出现, 原来间隔层智能测控设备的数据采集功能下放到过程层, 测量的算法仍在间隔层设备实现, 符合 IEC60044-8 和 IEC 61850-9 的合并单元直接输出固定采样间隔的采样序列给间隔层测控设备。面对全新的数据接口和其带来的相应问题, 仍要满足测量精度指标的要求, 对测控设备的测量功能提出了一种实用的新方案, 从理论分析和仿真实验的角度验证了其正确性, 并应用于实际系统中。

**关键词:** IEC 61850; 合并单元; 智能设备; 测量; 补偿的均方根算法

## Research on a measurement scheme of IED of digital substation

WANG Ruo-xing<sup>1</sup>, HE Yao-feng<sup>2</sup>, TANG Yun-long<sup>1</sup>, YANG Hui-hong<sup>1</sup>, XU Yan-yan<sup>1</sup>

(1. XJ Electric Technology Center, Xuchang 461000, China; 2. Henan Xuchang Power Supply Company, Xuchang 461000, China)

**Abstract:** When digital substation technology is applied and process devices are produced, the function of data acquisition belonging to bay device is moved down to process device, the arithmetic of measurement is implemented in bay device, MU according to IEC 60044-8 and IEC 61850-9 export directly numeric sequence of immobility sampling interval to IED of Bay layer. For the new data interface and new problems, still needs to meet the demand of measurement precision, the paper proposes an applied scheme about measure function, and validates its correctness from theoretical analysis and simulational experiment. This scheme has been applied in IED.

**Key words:** IEC 61850; MU; IED; measurement; RMS algorithm of compensation

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)10-0066-04

## 0 引言

目前广泛应用的变电站自动化系统只做到了站控层和间隔层的数字化, 间隔层的测控装置仍然通过二次电缆采用来自传统电流和电压互感器的 100 V/57.7 V 或 5 A/1 A 模拟测量量, 经过测控装置内的二次小 CT、PT, 并通过模拟低通滤波、采样保持和 A/D 转换环节取得数字量。而符合 IEC 61850 系列标准的全数字化变电站自动化系统则分为三层: 站控层、间隔层和过程层, 原来的间隔层设备的包括低通滤波、采样和 A/D 转换在内的模拟量数据采集回路都下放到了过程层, 间隔层设备通过光纤接口从过程层合并单元收到的数据已经是离散的采样值, 对于 IEC 61850-9-1 规定的采样率有多个可能比如 80 点、200 点而与现有的间隔层智能设备的算法所适用的采样率不同。全数字化变电站是未来发展的方向, 这种情况下对全数字化变电站智能测控设备的测量方案开展研究是非常必要的<sup>[1]</sup>。本文提出了一种新方案并进行了仿真验证, 已经在实际系统中采用。这种方案不需要变采样间隔同步抽

样, 不需要插值, 通过整数倍次的稀采样, 然后用带修正的均方根算法就可以满足间隔层智能设备高测量精度的要求。

## 1 测量方案简介

### 1.1 过程层接口的定义

过程层接口在 IEC 61850-9 和 GB/T 20840.8-2007<sup>[2]</sup>中有明确的定义, 合并单元将一个间隔的多路保护电流、测量电流、电压的采样值按照 IEC 标准进行组帧, 通过光纤接口上传给间隔层智能设备, 一般有 40 点、80 点、200 点等多种采样率, 对于某种采样率, 采样间隔是固定不变的, 即不跟踪系统频率进行同步采样。

合并单元的输入最多有 12 路采集器, 每路的数据是固定间隔的 40、80、200 点可选。如图 1。

### 1.2 测量要求

对于测控的测量, 是需要测量出交流模拟量的电流、电压的有效值, 以及有功功率和无功功率等。GB/T 13729-2002 对测量精度指标的要求是:  $I$ 、 $U$  的精度指标是 0.2%, 当叠加 20% 的 2~13 次谐波时允许改变

量 200%, 45~55 Hz 之间变频时允许改变量 100%<sup>[3]</sup>。

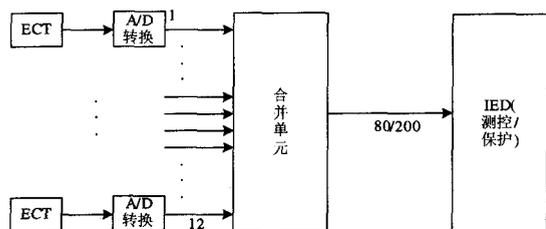


图 1 合并单元与 IED 接口示意图  
Fig.1 Interface diagram of MU and IED

### 1.3 测量方案

间隔层的测控设备收到来自合并器的固定间隔的采样值然后进行计算, 传统的测控一般按照每周波 32 点、48 点或其他点数同步跟踪采样, 然后进行 FFT 计算, 因为现在来自合并器的点数和原来的算法所需点数不同, 所以假如要适应原来算法, 就必须进行抽样使得点数与原算法点数一致, 不仅如此还需要根据频率变化进行同步抽样; 但是抽样算法会带来误差, 尤其是有谐波叠加时必然带来更大的误差, 如果用线性插值需要 200 点采样率才能满足要求<sup>[4]</sup>。

针对数字化变电站新的问题, 本文提出了另外一种方案, 不需要同步抽样, 不需要很高的输入点数, 80 点即可满足精度要求, 具体方案如图 2。

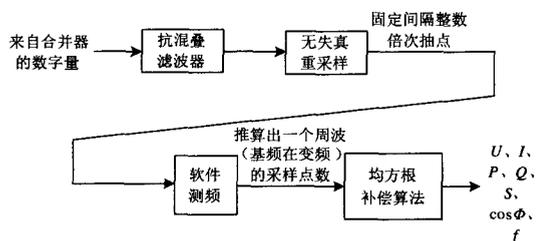


图 2 测量方案示意框图  
Fig.2 Measurement scheme diagram

抗混叠滤波器是为了防止从高采样率数据抽样为低采样率数据时其中的高频信号发生混叠而设置。

无失真重采样是指从合并器送来的高采样率信号以低整数倍次的采样率抽样, 这样不必采用插值算法, 避免了谐波信息对插值算法的误差影响。

软件测频是根据来自合并器的固定间隔的采样值信息<sup>[5,6]</sup>, 进行软件测频, 根据计算结果对均方根算法所需要参与计算的点数进行调整。

均方根算法是基于周期性函数的有效值定义<sup>[7]</sup>:

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} \quad (1)$$

(1) 式中  $I$  为有效值, 离散后可化为式 (2):

$$I = \sqrt{\left( \sum_{k=1}^N i_k^2 T_s \right) / T} \quad (2)$$

(2) 式中  $i_k$  为向量采样值,  $T_s$  为采样间隔,  $T$  为周期,  $N$  为装置每周波采样点数。

装置  $T_s = T/N$  为固定值, 抽样率不等于系统频率时, 每周波波形对应采样点数不再为  $N$ , 需要实时计算每周波对应点数。

根据实测频率值  $f_1$ , 可以得出当前采样周期  $T_1 = 1/f_1$ 。

每周波对应采样点数  $N_1 = [N \cdot (f_0 / f_1)]$  的整数部分 ( $f_0$  为工频)。

将  $T = T_1$ ,  $N = N_1$  带入式 (1), 可得式 (3):

$$I = \sqrt{\left( \sum_{k=1}^{N_1} i_k^2 T_s \right) / T} \quad (3)$$

因为变频时每个周波的点数可能不是整数点, 需要进行修正, 带修正的均方根算法公式见 (4):

$$I = \sqrt{\left( \sum_{k=1}^{\lfloor N \rfloor} i_k^2 + \{N\} i_{\lfloor N \rfloor + 1}^2 \right) / N} \quad (4)$$

其中:  $\lfloor N \rfloor$  表示下取整,  $\{N\}$  表示取小数。

同理可得出电压修正后的公式 (5):

$$U = \sqrt{\left( \sum_{k=1}^{\lfloor N \rfloor} u_k^2 + \{N\} u_{\lfloor N \rfloor + 1}^2 \right) / N} \quad (5)$$

## 2 基本误差以及部分影响量下的误差分析

### 2.1 额定频率下的基本误差

额定频率的 80 点信号经过抽样后 40 点, 直到重采样环节, 理论上都没有误差, 误差只是由于测频的误差对参与均方根算法运算点数影响带来的误差, 相对于精度指标可以小到忽略不计。

### 2.2 变频时的影响

变频时的影响在于频率计算误差所引起的用于参与计算的采样点的点数误差, 按经过图 2 的无失真重采样抽取后 40 点为例, 如果测频的结果偏离 0.1 Hz, 考虑最坏情况下的点数计算的误差应该是当 45 Hz 时的偏差, 最多偏移 0.1 个点, 经过公式 (4) 计算此时对  $I$ 、 $U$  的误差精度的最不利影响小于 0.001, 即只要频率误差在 0.1 Hz 以内就可以满足精度指标要求; 经过仿真, 变频时的软件测频算法误差远小于 0.1 Hz, 故完全满足本文 1.2 节提出

的精度指标要求。

### 2.3 谐波叠加时的影响

因为是按输入点数的整数倍次进行整数点抽样，所以不存在插值误差，谐波在重抽样环节无失真；谐波对软件测频环节虽然有一定影响，但是通过对谐波抑制作用的算法和增加数字滤波器使谐波对测频精度的影响可小到忽略不计。采用的上述措施经过仿真，当在叠加谐波时的测频误差小于 0.02 Hz，(仿真结果见本文第 3 节)，远小于允许的 0.1 Hz 频率误差，故可以满足精度指标的要求。

### 2.4 结论

综上所述，对于输入量无论叠加谐波或者是改变频率，对本测量方案的影响归根结底还是对测频

算法的影响，只要保证测频误差小于 0.1 Hz 即可保证最终测量的精度。

## 3 仿真结果

实际中采用 80 点抽取出 40 点，按图 2 的测量方案用 Matlab 6.0 工具进行计算机仿真。

$U$  在叠加谐波时的测频误差仿真结果见表 1，由表 1 可知，测频精度很高，误差远小于 0.1 Hz。

叠加谐波时的模拟量误差仿真结果见表 2。由表 2 的比较可知，80 点不修正不能满足本文 1.2 节提出的精度指标要求，而 40 点修正已经可以满足要求，80 点带修正的精度更好。

表 1 测频误差仿真结果

Tab.1 The simulation result of frequency measure errors

| 谐波   | 45 Hz | 46 Hz | 47 Hz | 48 Hz | 49 Hz | 50 Hz | 51 Hz | 52 Hz | 53 Hz | 54 Hz | 55 Hz |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2 次  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | -0.3  |
| 3 次  | -0.5  | -0.1  | -0.1  | -1.0  | 0     | -0.1  | -0.5  | -0.5  | -0.5  | -0.5  | -0.3  |
| 4 次  | 0     | 0.1   | 0.1   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0.3   | 0.2   |
| 5 次  | 2.2   | -1.2  | -0.2  | 0     | 0.2   | -0.1  | 2.2   | 2.2   | 2.2   | 2.5   | 2.2   |
| 6 次  | 0     | 1.6   | -0.2  | 0     | -0.2  | 0     | 0.3   | 0     | -0.2  | 0.2   | -0.3  |
| 7 次  | -1.8  | -0.2  | 0.2   | 0     | 0     | 0     | -0.2  | 0.1   | -0.5  | 0.2   | -0.3  |
| 8 次  | -1.6  | -5.2  | -0.1  | 1.0   | -0.2  | 0     | -0.3  | -0.3  | -0.4  | 0.6   | -0.4  |
| 9 次  | -1.2  | 1.4   | 0.5   | 0     | -0.6  | 0     | -0.4  | 1.2   | 0.2   | 0.6   | -0.4  |
| 10 次 | 0.3   | -1.0  | -2.5  | 1.0   | 0.8   | 0     | -0.4  | 1.8   | 0     | -0.3  | -0.4  |
| 11 次 | 1.5   | 0.9   | 4.5   | 3.8   | 0.8   | 0.1   | 3     | 2.8   | 2     | 1.8   | 1.9   |
| 12 次 | 0.9   | 0.8   | 2.9   | -12   | 0.2   | 0     | 2     | -1    | -1    | 0.6   | 0.5   |
| 13 次 | 4.5   | 0.7   | 1.0   | 15    | -5.5  | 0.08  | 4.5   | 4     | 5     | 4     | 4.2   |

注：表中数值以  $10^{-4}$ Hz 为单位。

表 2  $U$  在变频时的有效值误差仿真结果

Tab.2 Simulation of errors of RMS with varied frequency

| 频率/Hz | 40 点带修正              | 80 点不修正            | 80 点带修正              |
|-------|----------------------|--------------------|----------------------|
| 45    | -0.000 188~0.000 193 | -0.000 63~0.000 64 | -0.000 042~0.000 035 |
| 46    | -0.000 202~0.000 207 | 0.000 18~0.000 26  | -0.000 014~0.000 025 |
| 47    | -0.000 209~0.000 221 | -0.000 59~0.000 6  | -0.000 031~0.000 049 |
| 48    | -0.000 195~0.000 193 | -0.001 9~0.002 1   | -0.000 087~0.000 011 |
| 49    | -0.000 139~0.000 136 | -0.002 26~0.002 26 | -0.000 099~0.000 116 |
| 50    | 0                    | 0                  | 0                    |
| 51    | -0.000 174~0.000 171 | -0.002 68~0.002 75 | -0.000 113~0.000 134 |
| 52    | -0.000 266~0.000 263 | -0.000 49~0.000 5  | -0.000 028~0.000 046 |
| 53    | -0.000 216~0.000 207 | -0.003 11~0.003 25 | -0.000 127~0.000 156 |
| 54    | -0.000 252~0.000 242 | -0.000 49~0.000 49 | -0.000 030~0.000 049 |
| 55    | -0.000 273~0.000 278 | -0.001 89~0.001 86 | -0.000 107~0.000 127 |

## 4 总结

从仿真结果可以得出 40 点修正算法即可完全可以满足要求的结论，并且输入的采样点数不小于

80 点就可以满足要求。综上所述，本方案对采样序列的点数要求低，不需要插值重采样，不需要同步采样，具有实现简单的优点。在某 110 kV 全数字化变电站工程中，间隔层的智能设备 FCK-800B 与合并

器之间通过 IEC 61850-9-1 通信,从来自合并器的 80 点采样值中以整点抽取 40 点,然后用本文所述算法进行测量计算,测量精度完全符合国标要求,效果良好。

### 参考文献

- [1] 高翔,张沛超.数字化变电站的主要特征和关键技术[J].电网技术,2006,30(23):67-71.  
GAO Xiang,ZHANG Pei-chao. Main Features and Key Technologies of Digital Substation[J].Power System Technology,2006,30(23):67-71.
- [2] GB/T 20840.8-2007 互感器 第 8 部分:电子式电流互感器[S].
- [3] GB/T 13729-2002 远动终端设备[S].
- [4] 周斌,鲁国刚,黄国方.基于线性 Lagrange 插值法的变电站 IED 采样值接口方法[J].电力系统自动化,2007,31(3):86-90.  
ZHOU Bin,LU Guo-gang,HUANG Guo-fang.A Sampled Values Interface Method for Substation IED Based on the Linear Lagrange Interpolation Algorithm[J].Automation of Electric Power Systems,2007,31(3):86-90.
- [5] 曾院辉,李延新.一种软件频率跟踪方法.电力系统自动化[J].2005,29(21):92-94.  
ZENG Yuan-hui,LI Yan-xin. Method of Software
- Frequency Tracking[J].Automation of Electric Power Systems,2005,29(21):92-94.
- [6] 磨少清,李啸骢.一种高精度的改进傅立叶测频算法[J].电力系统自动化,2004,28(13):93-96.  
MO Shao-qing,LI Xiao-cong.An Improved High-accuracy Algorithm for Frequency Measurement Based on Fourier Transform[J].Automation of Electric Power Systems,2003,27(12):48-49,54.
- [7] 卜广金,戴静,李明.基于频率跟踪的定频采样测量算法[J].电力自动化设备,2007,27(4):68-70.  
BU Guang-jin,DAI Jing,LI Ming. Fixed Frequency Sampling Measurement Based on Frequency Tracing[J].Electric Power Automation Equipment,2007,27(4):68-70.

收稿日期:2008-07-04; 修回日期:2008-10-08

作者简介:

王若醒(1972-),男,硕士,高工,主要从事变电站自动化研究开发工作;E-mail: ruoxingW@xjgc.com

贺要锋(1972-),男,工程师,主要从事继电保护运行管理工作;

唐云龙(1976-),男,硕士,主要从事继电保护及变电站自动化研究开发工作。

(上接第 62 页 continued from page 62)

### 参考文献

- [1] 张结.应用 IEC61850 实现产品互操作性的思考[J].电力系统自动化,2005,29(3):90-94.  
ZHANG Jie.Study on the Interoperability Implementation of the Products by Using IEC 61850[J].Automation of Electric Power Systems,2005,29(3):90-94.
- [2] IEC 61850 Communication Networks and Systems in Substations[S].2004.
- [3] 殷志良,刘万顺,杨奇逊,等.基于 IEC 61850 的通用变电站事件模型[J].电力系统自动化,2005,29(19):45-50.  
YIN Zhi-liang,LIU Wan-shun,YANG Qi-xun, et al. Generic Substation Event Model Based on IEC 61850[J].Automation of Electric Power Systems,2005,29(19):45-50.
- [4] 范建忠,马千里.GOOSE 通信与应用[J].电力系统自动化,2007,31(19):85-90.  
FAN Jian-zhong,MA Qian-li.GOOSE and Its Application[J].Automation of Electric Power Systems,2007,31(19):85-90.
- [5] 范建忠,马千里.基于 WINPCAP 的 GOOSE 报文捕获分析工具开发[J].电力系统自动化,2007,31(23):52-56.  
FAN Jian-zhong,MA Qian-li.Development of a GOOSE Packet Capture and Analysis Tool Based on WINPCAP[J].Automation of Electric Power Systems,2007,31(23):52-56.
- [6] 段吉泉,段斌.变电站 GOOSE 报文在 IED 中的实时处理[J].电力系统自动化,2007,31(11):65-69.  
DUAN Ji-quan,DUAN Bin.Real-time Processing of GOOSE Message in Substation[J].Automation of Electric Power Systems,2007,31(11):65-69.
- [7] 徐成斌,孙一民.数字化变电过程层 GOOSE 通信方案[J].电力系统自动化,2007,31(19):91-94.  
XU Cheng-bin,SUN Yi-min.A Communication. Solution of Process Layer GOOSE in Digitized Substation[J].Automation of Electric Power Systems,2007,31(19):91-94.

收稿日期:2008-02-25; 修回日期:2009-03-18

作者简介:

李小滨(1967-),男,博士,高级工程师,主要研究方向为变电站自动化系统、高压保护等;

韩明峰(1973-),男,硕士,高级工程师,主要研究方向为实时嵌入式操作系统、变电站自动化系统。E-mail: hanmingfeng@dongfang-china.com