

国内外 PMU 装置性能对比

王健¹, 张胜¹, 贺春², 任春梅²

(1.华中电力调度通信(交易)中心, 湖北 武汉 430077; 2.国家继电器质量监督检验中心, 河南 许昌 461000)

摘要: 20世纪90年代初借助GPS技术的发展, 广域相角测量系统研制成功, 并进行了实际的使用, 国内也在近些年开始了这方面的研究, 伴随着新技术的发展, 如何对PMU进行检测和衡量就成为一个重要的问题, 国家继电器质量监督检验中心从2005年开始研究PMU装置的检测方法, 取得了一定的成果, 并于2006年7月成功地为华中网局进行了入网检测, 通过对一些产品的检测结果进行对比, 让广大读者了解目前国内外PMU装置的发展进程。

关键词: 相量测量单元; 频率混淆; 广域测量系统

Comparison of PMU devices from domestic and overseas

WANG Jian¹, ZHANG Sheng¹, HE Chun², REN Chun-mei²

(1. Central China Power Dispatching and Communication Center, Wuhan 430077, China;

2. National Center for Quality Supervision & Testing of Relay & Protection Equipment, Xuchang 461000, China)

Abstract: In the 1990's, with the development of GPS technology, the Wide Area Measurement System(WAMS) was developed, and was used in practice. In China, WAMS has researched since these years, and its test and evaluation are different. Ncqtr(National Center for Quality Supervision & Testing of Relay & Protection Equipment) began to research it since 2005, and have gotten many experience and production. WAMS testing for Central China Grid is made on July 2006. This paper analyzes the testing result in order to give an overview about the PMU(Phasor Measurement Unit) of domestic and overseas.

Key words: PMU; frequency aliasing; wide area measurement system

中图分类号: TM73; TM764

文献标识码: B

文章编号: 1003-4897(2007)06-0074-03

0 引言

20世纪90年代初, 借助于全球定位系统(GPS)提供的精确时间, 同步相量测量装置 PMU(phasor measurement unit)研制成功后, 目前世界范围内已安装使用数百台 PMU。现场试验、运行以及应用研究的结果表明: 同步相量测量技术在电力系统状态估计与动态监视、稳定预测与控制、模型验证、继电保护、故障定位等方面获得了应用或有应用前景。

为了给华中电网电力调度(交易)中心 PMU 选型提供技术依据, 国家继电器质量监督检验中心受其委托, 于2006年7月为国内外5个厂家的 PMU 进行了检测, 取得了良好的效果, 下面将检测中的一些结果进行对比分析。

1 检测概述

整个检测以 IEEE std C37.118 标准为参考^[1,2], 在测试前国家继电器质量监督检验中心与华中电

网合作编写了《华中电网 WAMS 系统测试方案》^[3], 方案中明确规定了测试的项目、试验方法、测试结果的评判等内容, 经过与厂家的协调、讨论, 最终确定测试方案的内容。然后根据方案的内容, 编写测试步骤, 研制、开发相应的测试工具、结果的统计、分析工具。

所有准备工作进行完毕后, 5个厂家集中进行了4天的测试, 完成了测试的预期目标。

整个测试项目主要包括以下内容:

- 1) 静态精度测试
- 2) PMU 装置时钟同步能力测试
- 3) 阶跃响应测试
- 4) 动态频率振荡测试
- 5) 干扰环境下的振荡测试
- 6) EMC 电磁兼容环境测试
- 7) 高低温测试

下面从四个主要技术指标方面进行对比, 通过对比分析了解目前 PMU 装置技术的发展现状。

2 静态测量精度对比

在静态测量精度方面,本来应该通过 TVE 来统一进行衡量,但是由于在 GPS 时钟同步上无法达到统一,因此仍然采用传统的分析方法,就是通过若干个连续记录点的绝对误差和平均相对误差来进行评判。

表 1 为静态测量精度对比表,其中使用平均误差来进行衡量:

表 1 静态测量精度对比表

Tab.1 Comparison of steady state measurement accuracy

厂家	幅值误差	频率误差	相角误差
厂家 1	<±0.05%	0.001	<-0.6
厂家 2	<±0.22%	0.003	<-0.8
厂家 3	<±0.07%	0.001	<-0.7
厂家 4	<±0.09%	0.003	<-0.6
厂家 5	电压<±0.03% 电流<±0.4%	0.0001	<-0.6

由于相角误差在测量时涉及到检测设备 GPS 时钟精度与厂家 GPS 时钟精度差别的影响,还涉及到检测设备本身信号输出与 GPS 1PPS 之间的误差,因此可以通过相对误差的方法来观察以上 5 家的 PMU 装置在时钟同步方面的一致性。

3 GPS 时钟同步能力对比

本次测试在时钟同步方面主要有 2 个内容:

- 1) 时钟同步能力测试
- 2) 时钟守时能力测试

在时钟同步能力测试方面,由于各个厂家对 GPS 时钟的处理方法不同,导致时标处理结果也不同,其中有 4 个厂家的时标处理基本一致,表 2 为与 Omicron GPS 时钟的测试偏差值。

表 2 GPS 时钟误差

Tab.2 Comparison of GPS error

厂家	误差/us
厂家 1	-422
厂家 2	-44
厂家 3	-428
厂家 4	-422
厂家 5	-422

从这个测试结果看,大多数厂家在时钟的使用上一致。

在时钟守时能力测试项目上,考察在 GPS 失星的情况下,1h 后的时钟误差,表 3 是各个厂家 1h 的时钟误差:

表 3 时钟守时能力对比

Tab.3 Comparison of capability of clock keeping

厂家	误差 (μs/h)
厂家 1	7.32
厂家 2	2.53
厂家 3	1.97
厂家 4	--
厂家 5	895

从上表可以看出,除了一个厂家时钟守时能力差,达到了 895 μs 外,其他的基本在 7 μs 以下,换算成角度就是 0.018°。这个指标基本上还是不错的。

4 阶跃响应对比

在阶跃响应方面,由于各家算法不同,结果也有差异,在测试时,我们根据标准要求进行了:

- 1) 10%幅值阶跃测试
- 2) +5 Hz 频率阶跃测试
- 3) 90° 相位角阶跃测试

本文选择+5 Hz 频率阶跃进行对比,其余 2 种情况不再分析。

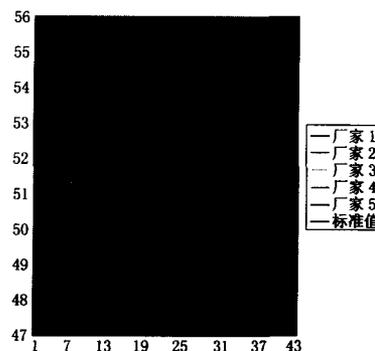


图 1 +5 Hz 频率阶跃响应测试图

Fig.1 Frequency step test(+5 Hz)

从上图对比分析来看,有的产品在频率响应速度上比较慢,经过的时间比较长,达到了 440 ms,一般厂家的产品经过 80ms 能够达到稳定。

5 动态性能对比

在动态性能测试方面,进行了:

- 1) 幅值振荡测试
- 2) 频率振荡测试
- 3) 灵敏度测试
- 4) 频率混淆测试
- 5) 干扰情况下的幅值振荡测试

我们首先通过幅值振荡的测试结果进行对比

分析,其中幅值振荡的频率是 1.0 Hz。

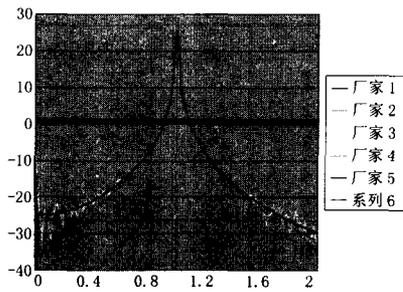


图2 1.0 Hz 幅值振荡频谱分析对比图

Fig.2 Graph of magnitude oscillation of 1.0 Hz

从以上对比可以看出,各个厂家 PMU 装置输出数据的频谱中,含有 1.0 Hz 信号的增益相差不大,说明不同厂家设备在捕捉幅值振荡的能力上差别不大。

下面我们看一下各个厂家在频率混淆上的能力对比,在测试时施加的信号中,含有 30 Hz 的信号,由于 PMU 装置每秒上送 25 帧,因此根据采样定理,如果 PMU 装置没有进行响应的滤波处理的话,在数据中虽然不可能出现大于 12.5 Hz 的信息,但是由于频率混淆问题的存在,大于 12.5 Hz 的频率分量如可能会以某个 12.5 Hz 内分量的形式出现,如图 3 所示。

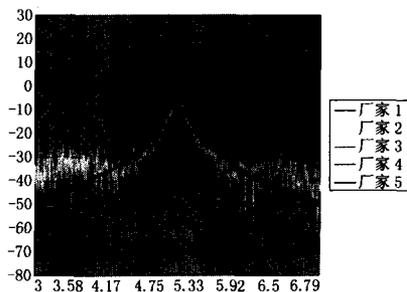


图3 频率混淆对比图

Fig.3 Graph of frequency aliasing

可以看出,在振荡频率 30 Hz 时,5 个厂家的产品输出数据中,都在 5 Hz 频率处产生了一定的振荡,其中由于厂家 5 的增益较大,使其他厂家不容易看清楚,图 4 将厂家 5 去掉后,再次绘制。

这次我们可以清晰地看出,虽然都在 5 Hz 处有振荡信息,但是不同厂家的 PMU 数据中的增益是不同的,其中厂家 4 接近 7 dB,而厂家 3 达到了近 20 dB。

虽然在使用 30 Hz 时会产生 5 Hz 左右的混淆频率,不在低频 2.0 Hz 范围内,但是通过试验我们发

现,当使用 26 Hz 频率时会产生 1 Hz 的混淆频率,这将会影响 WAMS 主站对振荡频率的分析。

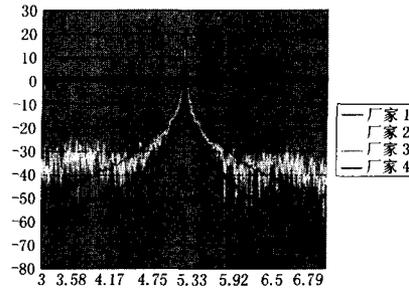


图4 频率混淆对比图(不含厂家5)

Fig.4 Graph of frequency aliasing (exclude 5 manufactures)

另外通过测试我们发现,谐波干扰基本上对低频振荡分析不会产生影响,白噪声情况下对低频振荡分析影响也不大。

6 结语

通过以上对比分析我们可以看出,由于各个厂家在算法上有区别,会导致 PMU 装置在性能上有些差异,有的厂家在静态精度方面做的非常好,而动态性能就略差,而有的厂家在损失静态精度的情况下,可以将 PMU 装置的动态性能做的比较好。要做到各种指标都比较好,就对算法本身提出了更高要求,在鱼和熊掌不可兼得的情况下,要根据使用需求来决定如何配置 PMU 的算法,使之达到实用化的程度。

参考文献

- [1] IEEE Std 1344-1995(2001),Power System Relaying Committee of the IEEE Power Engineering Society,IEEE Standard for Synchrophasors for Power Systems[S].
- [2] IEEE Std C37.118-2005,Power System Relaying Committee of the IEEE Power Engineering Society,IEEE Standard for Synchrophasors for Power Systems[S].
- [3] 华中电网 WAMS 系统测试方案 V1.52[Z].
WAMS Test Scheme V1.52 for Central China Power System[Z].

收稿日期:2006-07-26

作者简介:

王健(1966-),男,本科,主任工程师,主要从事电力系统调度自动化和管理工作;E-mail:wangj@ccpg.com.cn

张胜(1970-),男,硕士研究生,主要从事运动系统运行和标准化工作;

贺春(1973-),硕士,主要研究方向为电力系统自动化、通信规约及规约测试、电力系统稳定控制测试。