



# 数字化变电站信号传输整周期延时检测方法研究

王碧芳

(武汉职业技术学院 湖北 武汉 430074)

**摘要** 数字化变电站中,信号通过电子式互感器、合并单元、交换机等数字信号处理设备不可避免产生一定的信号传输延时,其数值甚至可达到数个工频周期以上,继而引发继电保护等装置误动。目前常用的基于稳态正弦波形的延时测试方法,无法反应相差大于工频周波的延时。分析数字化变电站数据采集系统整周期延时产生的机理及现行检测方法的不足,提出一种基于数字编码波形的整周期延时的检测方法,该方法采用按一定数字逻辑编码的非连续正弦波作为信号输入,通过判别接收信号编码逻辑与预设逻辑的移相,可以判别是否存在整周期延时。模拟实验结果证明了所提方法的有效性。

**关键词** 整周期 延时 检测 数字编码电源

中图分类号: TM63

文献标识码: A

文章编号: 1671-931X(2018)04-0098-04

## 一、引言

随着世界范围内倡导低碳经济和可再生能源的广泛应用,电力系统也需要全面优化提升配置,数字化电网应运而生<sup>[1]</sup>。数字化变电站是智能电网的关键组成部分,它将变电站信息采集、传输、处理、输出过程数字化,其基本特征为网络化的通信系统、统一化的模型和通信协议、智能化的设备、自动化的运行管理方式等<sup>[2]</sup>。数字化变电站以非常规互感器代替常规的TA、TV;以光纤和以太网组建的交换式网络通信系统代替常规的电缆回路;以集成化的智能用电设备实现变电站的操作和控制<sup>[3]</sup>,因此数字化变电站信号处理和传输过程中会产生一定的延时,包括采样延时、信号调理延时、储存转发延时等,可能造成数倍工频周期的延时引起保护的误动和拒动<sup>[4]</sup>。延时检测对于数字化变电站至关重要。现有常规变电站校验装置对于识别数字化变电站信号存在较大误差,特别是对故障引起的整周期延时无法有效识别,因此需要一种针对数字化变电站数据采集系统的延时检测方法。

数字化变电站数据采集系统组建SMV(Sampled Measured Value)报文供数字化变电站测控设备、录波设备及保护设备等采用,对其实时性和准确性有较高要求。其延时检测已提出几种方法,一是基于同步脉冲的数字量输出传输延时测试方法,以同步信号保证电子式互感器采样与标准互感器采样的同步<sup>[5]</sup>;二是基于固定延时测试方法<sup>[6]</sup>;上述两种方法均为基于稳态正弦波形的测试方法,测试信号为连续正弦波,周波间无差异,不能对波形定位,无法辨别整周期延时。这些将电子式互感器校验应用于延时检测方法主要存在以下三个问题:一是采用基于稳态正弦波为检测源的校验装置无法对传输系统中大于工频周期延时(整周期延时)有效识别;二是外同步方式其精度依赖于同步定时源的精度,并且要求较高;三是难以精确计算数字化数据采集系统的绝对传输延时。

针对上述问题,本文对数字化变电站数据采集系统绝对延时中整周期延时的产生机理进行了分析,提出能够准确检测电子式互感器绝对传输延时的检测方法,并对本文提出的检测方法进行了验证。

收稿日期 2018-07-30

基金项目 2013年度湖北省教育厅科学技术研究项目“智能电网中网络交换机性能分析及测试方法研究”(项目编号:B2013264)。

作者简介:王碧芳(1979-),女,湖北武汉人,武汉职业技术学院副教授,研究方向:通信技术。

## 二、数字化变电站信号传输整周期延时分析

数字化变电站数据采集系统主要在过程层和间隔层,包括电子式互感器、合并单元、交换机、过程总线、IED 等设备。数字化变电站使用常规互感器,将采集的电压/电流转换数字信号;多路数字信号由合并单元,在外时钟同步下形成 DL/T860.92 标准数字信号;最后由网络交换机形成以太网帧发送到数据总线。在数字化变电站数据采集系统产生的绝对传输延时,定义为被测点一次侧电气量产生时刻与该数字化信号到达接收端时刻的时间差<sup>[7][8]</sup>。延时主要有四个部分组成:电子互感器延时、合并单元延时、网络传输延时及整周期延时。其中电子互感器延时、合并单元延时、网络传输延时均可测试到,而整周期延时由于所测试信号的服从正弦函数周期性变化,因此该部分延时的测量是数字化变电站网络交换机

延时测量方法的重要环节。

从理论上,电子式互感器从一次侧采样,经过合并单元按 IEC61850-9-2 标准将 SMV 报文点对点传送到保护装置,其延时总量在毫秒级,符合 IEC61850-7-2 规定数据在过程总线应具有可测算的确定延时以及在最坏情况下的 3ms 的延时极值<sup>[9]</sup>。但在现实中,数字处理设备存在逻辑误判的情况,可能造成数倍工频周期的延时(整周期延时)。

图 1 为某变电站实际运行时,发生 C 相电流比 A、B 相电流延迟 5 个周期(100ms)的情况,当发生线路接地故障时,在 C 相差动保护的电流回路中,高压侧 C 相流过的是穿越性故障电流,低压侧 C 相流过的是正常的负荷电流,因此,C 相差动保护在穿越性故障发生的 100ms 时段内会有很大的差流,导致差动保护动作,使得还未达到速断保护动作时限(150ms)时,变压器差动保护先动作,造成母线失压,引发停电事故<sup>[4]</sup>。

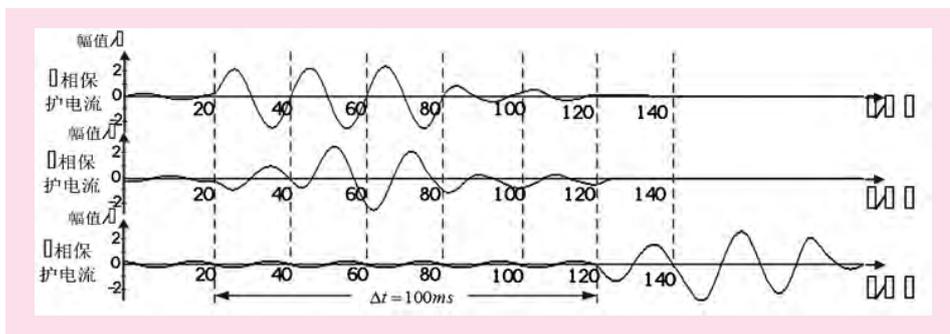


图 1 某数字化变电站 C 相延迟 5 个周期故障录波图

整周期延时的产生原因是检修更换 A/D 采样器后,重复读取缓冲区数据,缓冲区配置 5 周期数据缓存,引发 100ms 的单相电流延时。在数字化变电站中,电气设备为了运行监测和故障分析,通常会配置一定的缓存区来进行录波存储。当设备工作逻辑误判,可能将缓存区数据重复读取,从而产生大于工频周期的整周期延时现象。若将缓存区空间设置为 5 个周期,则重复数据会引起 100ms 的延时。由于工频电流为正弦波,其周期性和对称性使整周期倍延时具备极强的隐蔽性,现有基于稳态正弦测试源的测试装置不能有效的分辨整周期延时。为了保证继电保护设备的正常运作,继电保护设备在处理 IEC61850-9-2 点对点传输数据过程中运用了数据源驱动法和增加预留缓冲区的定时调度法,并通过

插值或拟合方法替代少量缺失数据,因而少数数据帧误码或丢包等原因造成数据遗失影响较小<sup>[10]</sup>。由于逻辑循环或误判等现象引起的故障延时,数据帧结构完整,上述处理方法无法识别和解决,对继电保护设备的正常动作可能产生较大影响。

## 三、基于数字化编码波形的整周期延时检测系统

由于稳态正弦波固有的对称性以及周期性,现在在检测设备和检测方法难以检测到信号传输的整周期延时,考虑采用数字序列编码波形来检测整周期的延时。如图 2 所示,用于测试的不是连续正弦波,而是按照一定规律断续排列的正弦波。其中输出有正弦信号的周期定义逻辑 1,输出为零信号的周期定义为逻辑 0。按照一定的逻辑预设编码,如

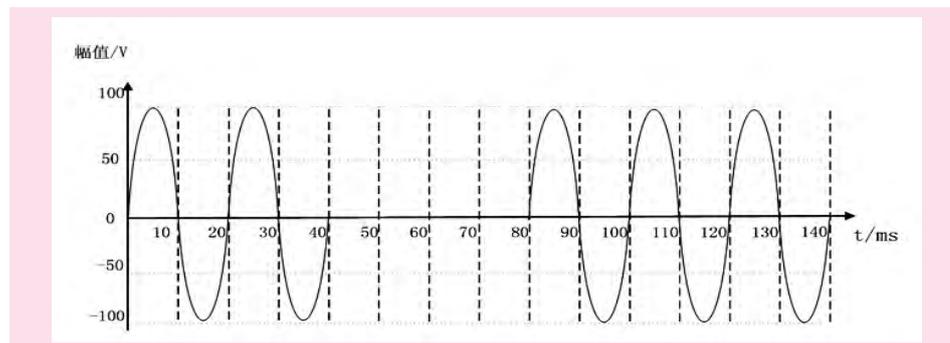


图 2 测试信号波形示意图

1100111, 就可以得到如图 2 所示的测试信号。采用非连续编码波形后, 相当于给每个周期的正弦波打上了一个顺序编码, 有利于识别整周期延时。

依据上述思路, 所设计的数字化变电站信号传输延时检测系统如图 3 所示。检测系统由数字化编码电源、合并模块、交换机、控制工作站、模拟信号采集系统构成。其中数字化编码电源采用电力电子变流技术, 根据控制工作站下发的编码逻辑, 输出非连续正弦电压/电流。其工作原理与流程如下:

(1) 通过控制工作站设定输出电压/电流波形编码序列并下载到数字化编码电源;

(2) 控制工作组下发启动测试指令, 编码电源按照预设逻辑输出电压/电流信号, 同时启动控制工作站内的模拟量采集系统;

(3) 预设逻辑波形输出完成后, 控制工作站接收合并单元发出的采样结果;

(4) 对比控制工作站模拟量采集数据与合并单元接收到数据, 采用预设判别算法识别是否存在整周期延时。

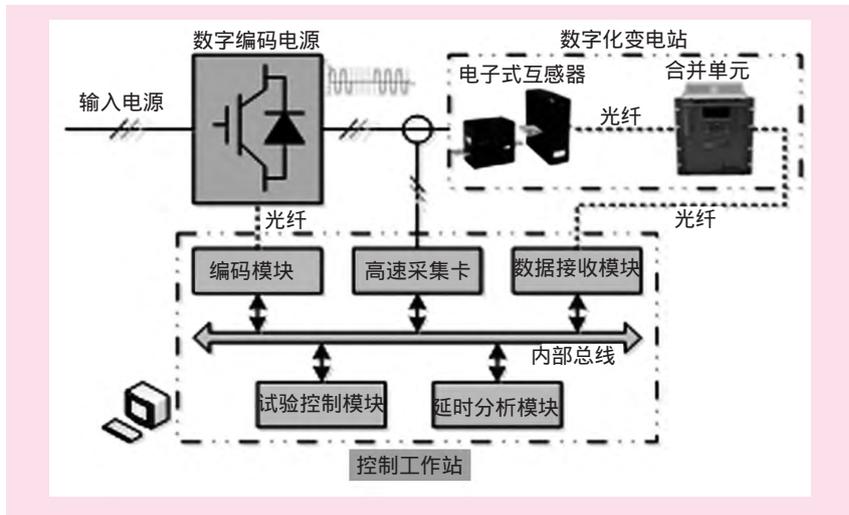


图 3 数字化变电站延时检测系统框图

## 四、整周期延时检测方法

以数字编码波形作为测试源, 通过对编码序列相对于零状态序列偏置的识别, 实现对每个周波进行准确定位, 根据周波的偏置计算整周期延时。

延时分析模块配置偏置序列存储器, 通过查表法实现偏置量的识别。标准采样量的区间编码序列所有可能偏置按顺序存储在该存储器中, 生成偏置量-偏置序列对应表。为避免不同偏置值相同偏置序列的现象, 测试源编码序列采用伪随机序列。根据波峰(谷)值编码, 以特征量作为判定, 将所有可能偏置按顺序存储。为保证接收序列对应偏置值的惟一性, 取 M 序列的前 8 位编码, 假设标准采样序列为“10001001”, 其半周期编码为“1100000011000011”, 生成半周期序列的偏置

量-偏置序列对应表, 存储到序列存储器中。

延时分析模块的编码判断以工作站时钟为基准, 设定采样率 4k/s (80 点/20ms), 以工作站采样点序列 40 个采样点(半个工频周期)为判断单元, 根据标准采样量和待测数字量判断单元的特征量, 判断得到标准采样量和待测数字量的波峰(谷)值编码, 根据两者波峰(谷)值编码偏置计算整周期延时。假定幅值的 50% 为判决门限值  $x$ , 由于采样点为离散化数据, 当采样点数据大于等于  $x$  记为 1, 小于  $x$  记为 0, 获得采样点编码。则可根据 3 个区间内上升沿或下降沿判断区间的编码, 以区间内出现波峰(谷)记为编码 1, 否则记为 0, 获得区间编码, 如图 4 所示。所测得的区间编码即为标准采样序列的半周期编码, 经过若干半周期偏置的序列。

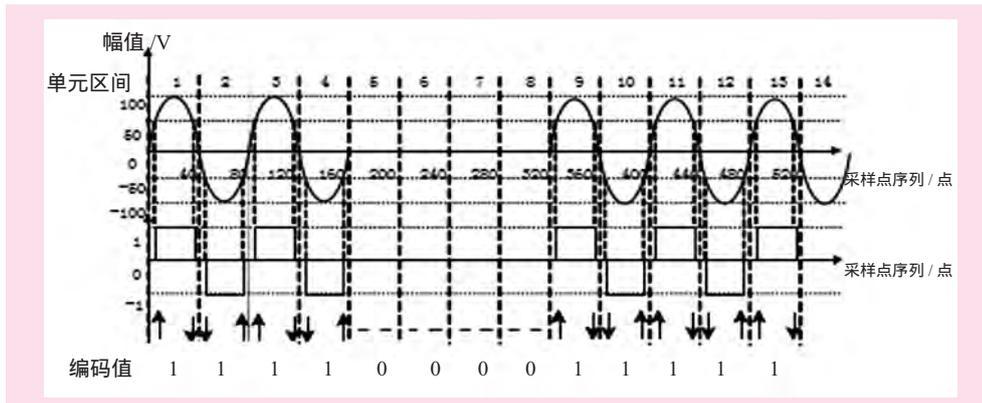


图 4 波形编码判断方法示意图

当接收到待测序列,将其与偏置序列存储器中所存储的所有偏置序列进行模2加运算,并查表获得匹配序列的偏置量 $\tau$ 。该偏置量 $\tau$ 是整周期伪随机序列获得半周期编码后的偏置值。根据三相电源周期 $T$ 可计算整周期延时 $t$ :

$$t = \left[ \frac{T}{2} \right] \times T$$

其中 $[ ]$ 为取整符号, $T$ 为工频周期。

## 五、模拟实验分析

检测仪接入三相380V工频电源,将检测仪的电流输出接入标准电压电流转换器,以600:5的比率将大电流转换成小电流,再将转换后的小电流输出模接

入合并单元;将电压的输出直接接入合并单元。合并单元的输出通过光纤接入到电子式互感器及合并单元绝对传输延时检测仪,检测仪的电流输出连接到电能质量分析仪上,进行绝对传输延时测试。

整周期延迟在实际故障中通常由设备异常引起,试验不易重现,可以在图3检测系统中,在合并单元与检测工作站之间增加一个延时模块(20ms)模拟环节来模拟整周期延时发生。试验系统可以模拟电子式互感器采样到合并单元输出的过程。试验结果如图5所示,测得电压通道延时为20.573ms,电流通道延时为20.537ms,与绝对传输延时检测实验结果契合,从实验角度验证了数字化编码电源检测整周期延时方法的有效性。

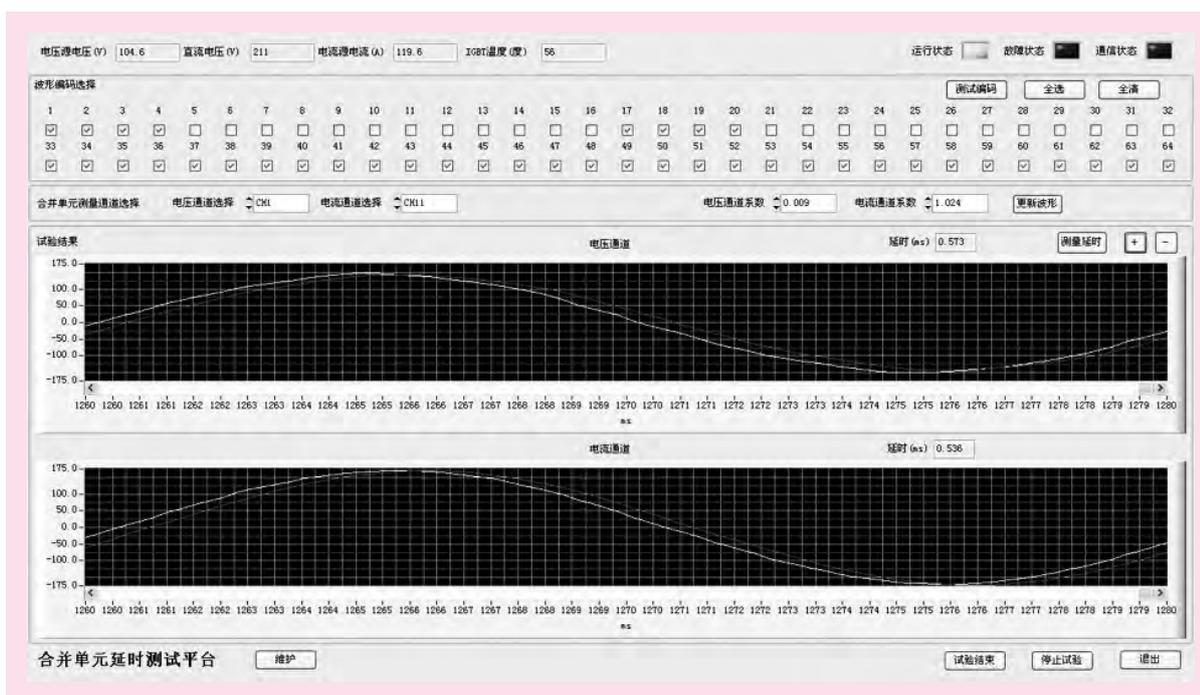


图5 检测仪绝对传输延时检测结果

## 六、结论

针对本文提出的基于数字化编码非连续正弦信号的整周期延时测试方法,采用电力电子变流技术实现非连续正弦电压/电流的测试电源,设计和实现了能够检测数字化变电站信号传输延时的检测系统,通过模拟信号传输整周期延时现象及实验验证,结果证明本文提出的数字化编码电源能有效对于被测数据量进行有效标记且易于检测识别,从而计算出整周期延时。

### 参考文献:

[1] 康重庆,陈启鑫,夏清.低碳电力技术的研究展望[J].电网技术,2009,(02):1-7.  
[2] 梁艺.数字化变电站技术综述[J].广西电业,2010,(10).  
[3] 高翔.数字化变电站应用技术[M].北京:中国电力出版社,

2008:9-23.

[4] 20130703,鲁巷2#变压器跳闸报告[S].  
[5] 徐波,张志.电子式互感器数字输出校验技术[J].电力自动化设备,2011,(09):147-150.  
[6] 胡浩亮,李前,卢树峰,等.电子式互感器误差的两种校验方法对比[J].高压技术,2011,(12).  
[7] IEC 60044-7:1999 Instrument transformers-Part 8: Electronic voltage transformers[s].1999.  
[8] IEC 60044-8:2002 Instrument transformers-Part 8: Electronic current transformers[s].2002.  
[9] IEC61850:Communication networks and systems in substations[S].2004.  
[10] 蒋雷海,陈建玉,俞拙非,等.数字化保护采样数据处理方案[J].电力系统自动化,2010,(17):42-44.

[责任编辑:刘 骋]  
(下转第106页)

## The Status Quo, Problems and Countermeasures of Talent Policy in Wuhan

—Taking the Policy of “Remaining Han” of Million College Students as an Example

DING Xin ,WANG Dan ZHANG Kai

(School of Public Administration, Zhongnan University of Economics and Law, Wuhan 430073, China)

**Abstract :** With the deepening of China’s market reform and industrial upgrading in Wuhan, the phenomenon of brain drain has become a problem that cannot be ignored in Wuhan’s economic construction. Based on the survey data of fourteen universities in Wuhan, this paper makes a statistical analysis of the employment area choice, industry choice and whether or not to stay in Wuhan for college students. It mainly verifies the effect of the policy of “one million college students stay in Han” on promoting the employment and entrepreneurship of college students in Wuhan as a whole, as well as the housing, employment support and entrepreneurial support. This paper compares and analyzes the influence of the four measures of optimizing service on the talents staying in China, and puts forward some policy deficiencies and suggestions.

**Key words :** Wuhan ; talent policy; effect analysis; industrial development

(上接第 101 页)

## Research on Signal Transmission Periodic Delay Detection System in Digital Substation

WANG Bi-fang

(Wuhan Polytechnic, Wuhan 430072, Hubei Province, China)

**Abstract :** The digital signal processing equipment of digital substation, such as electronic transformers, merge units, switches, will produce certain signal transmission delay inevitably. Its value can reach several frequency periods or above, and then cause the disoperation of relay protection or other devices. The traditional time-delay testing method based on steady-state sinusoidal waveform can not detect the time delay greater than the power frequency cycle correctly. The data acquisition system of digital substation is larger than the mechanism of power frequency delay and the shortcomings of traditional detection methods are analyzed in this paper. A detection method based on the digital coded waveform is proposed in this paper. This method uses a discontinuous sinusoidal waveform encoded by a certain digital logic as the signal input. By discriminating the difference between the coded logic of the received signal and the pre-supposed logic, it can distinguish whether there is a time delay time greater than the power frequency period. The effectiveness of the proposed method is verified by simulation experiments.

**Key words :** periodic; delay; detection; digital code power