

# 微机保护中数据采集系统的新方案

张克元 许昌继电器研究所(461000)

**【摘要】** 本文创新地提出了一种基于脉冲宽度测量(PWM)的微机保护数据采集系统的新方案,理论分析及试验验证证明该数据采集系统具有高分辨率,高抗干扰能力,接线简单可靠,成本低廉以及广泛的采样速率使用范围等一系列优点,完全满足各种微机保护对数据采集系统的要求。

**【关键词】** 微机保护 数据采集系统 脉冲宽度测量 三角波发生器

## 概述

近年来,微机保护在我国乃至全世界电力系统中得到了广泛的应用,特别是在 110~220kV 的输电线路以及在 110kV 及以下变电站综合自动化系统中的应用更是发展迅猛,至今已有数千套微机保护投入现场运行,并得到现场运行人员的欢迎。

数据采集系统在微机保护中占有重要的位置,提高它的性能,抗干扰能力及降低它的造价,对微机保护将有极大的推进作用,目前,微机保护中的数据采集系统一般采用模数变换(A/D),电压频率变换(VFC)两种类型。前者由一个定时器定时向采样保持器发采样脉冲,保持的电平通过多路转换逐一由模数变换器转换为数字量,再送给CPU,为了节省CPU的时间,经常需要增设专用的硬件,优点是容易实现高速高精度采样,但难以实现与CPU之间的光电隔离,抗干扰能力较差,硬件复杂,并且难以实现多CPU之间的数据共享,应用范围逐渐缩小;后者每一路模拟量经一电压频率变换器变换为与输入信号正比的频率信号,再经过光电隔离之后,由计数器计数CPU定时读取计数值,完成对模拟量的测量,采样原理即具有滤波的作用,因此抗干扰强,易于实现多CPU的数据共享,回路简单等优点,不过仍有成本较高,受VFC器件的限制,难以实现较高采样速率下的高精度数据采集等缺点。

本文提出的基于脉冲宽度测量(PWM)的微机保护数据采集系统,具有高分辨率,高抗干扰能力,接线简单,成本低廉以及广泛的采样速率适用范围,易于实现与CPU之间的光电隔离及多CPU之间的数据共享等一系列优点,完全满足各种微机保护对数据采集系统的要求。

## 1 基本原理

该数据采集系统硬件基本原理如图1所示,从系统PT、CT来的模拟量经电压形成回路形成峰值在10V范围内交流电压信号,经偏置回路加偏后,与标准三角波发生器产生三角波比较幅值,得出一系列宽度不等的脉冲方波,经光电隔离后由单片机系统的定时计数器测量脉冲的宽度,每个采样周期结束时,三角波发生器向CPU申请采样中断,同时锁存计数器计数值,CPU响应中断申请读取计数器锁存值,完成一次采样。

由图2可知对于采样点 $T_1$ 输出脉冲宽度

$$T = T_2 + T_3 \quad (1)$$

$$T_2 = K \times U_m \times \sin [\omega(T_1 - T_2) + \varphi] \quad (2)$$

$$T_3 = K \times U_m \times \sin [\omega(T_1 + T_3) + \varphi] \quad (3)$$

当采样率较高时,  $T_2, T_3$  值较小, 近似取

$$T_2 = T_3 = K \times U_m \times \sin(\omega T_1 - \varphi)$$

$$\text{则 } T = T_2 + T_3 = 2 \times K \times U_m \times \sin(\omega T_1 + \varphi) \quad (4)$$

即输出脉冲宽度正比于  $T_1$  点模拟量的瞬时值, 同样, CPU 读取的计数值正比于  $T_1$  点模拟量的瞬时值, 因此利用对采样值的计算, 即可完成对模拟输入量的测量。

## 2 性能分析

### 2.1 采样精度

我们在讨论基本原理时曾经忽略式 2 和式 3 中的  $T_2$  及  $T_3$ , 这样使用该数据采集系统对模拟量进行测量时, 就会引起误差。另外, 在单片机系统对脉冲宽度进行测量时不可避免地会引起一定的量化误差。该数据采集系统的误差主要包含以上两个部分。

#### 2.1.1 量化误差

根据该数据采集系统的基本原理, 我们知道每次采样的最大计数值

$$D_{\max} = T_{\max} * F \quad (5)$$

其中  $T_{\max}$  为最大脉冲宽度,  $F$  为计数器计数频率。

微机保护中一般选取  $600 \sim 1200\text{Hz}$ ,  $T_{\max}$  为  $1/600 \sim 1/1200$ ; 单片机系统中计数器计数频率一般可达  $10 \sim 12\text{M}$ , 选取  $8\text{M}$  比较可取

则  $D_{\max} = T_{\max} * F = (1/600 \sim 1/1200) * 8 * 10E6 = (6666 \sim 13333)$  之间精度相当于  $12.5 \sim 13.5$  位的 A/D 变换器的精度。

如果考虑 5% 测量误差, 则精确测量范围可以达到 150 到 300 倍以上

#### 2.1.2 基本原理引起的误差

由式 1, 2, 3 可知

$$\begin{aligned} T &= T_2 + T_3 = K \times U_m \times \sin [\omega(T_1 - T_2) + \varphi] + K \times U_m \times \sin [\omega(T_1 + T_3) + \varphi] \\ &= K \times U_m \times \{ \sin [\omega(T_1 - T_2) + \varphi] + \sin [\omega(T_1 + T_3) + \varphi] \} \\ &= 2K \times U_m \times \sin \{ [\omega(T_1 - T_2) + \omega(T_1 + T_3) + 2\varphi] / 2 \} * \cos \{ [\omega(T_1 - T_2) - \omega(T_1 + T_3)] / 2 \} \\ &= 2K \times U_m \times \sin [(\omega T_1) + \omega(T_3 - T_2) / 2] * \cos [\omega(T_3 + T_2) / 2] \quad (6) \end{aligned}$$

由图 2 可知,  $T_2$  与  $T_3$  之间差别极小, 即  $T_3 - T_2 = 0$ , 式 6 可写为

$$T = 2K \times U_m \times \sin(\omega T_1) * \cos[\omega(T_3 + T_2) / 2] \quad (7)$$

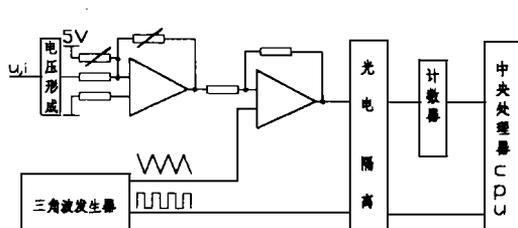


图1 PWM型数据采集系统基本原理图

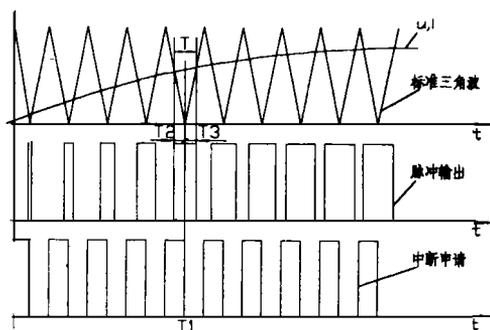


图2 脉冲宽度与模拟量的关系

由式 4 与式 7 即可得出由基本原理引起的误差  $\Delta T$

$$\begin{aligned} \Delta T &= \{ 2 \times K \times U_m \times \sin(\omega T_1) - 2K * U_m \times \sin(\omega T_1) * \cos[\omega(T_3 + T_2)/2] \} / [2 \times \\ &K \times U_m \times \sin(\omega T_1) ] \\ &= 1 - \cos[\omega(T_3 + T_2)/2] \end{aligned} \tag{8}$$

式 8 中  $T_2 + T_3$  即为输出的脉冲宽度, 且与输入模拟量的大小成正比, 当输入模拟量的幅值为满刻度时,  $T_2 + T_3$  有最大值近似与  $T_{max}$  相等, 若采样频率为  $FH$ , 则

$$T_2 + T_3 = T_{max} = 1/FH$$

因此  $\Delta T = 1 - \cos(\omega/2FH)$

若采样频率为 1200Hz,  $T_{max} = 1/1200$ ,

$$\Delta T = 1 - \cos(\omega/2FH) = 1 - \cos(\omega/1200/2) = 1 - 0.99146 = 0.00854 = 0.84\%$$

若采样频率为 600Hz,  $T_{max} = 1/600$ ,

$$\Delta T = 1 - \cos(\omega/2FH) = 1 - \cos(\omega/600/2) = 1 - 0.9659 = 0.034 = 3.4\%$$

值得注意的是量化误差仅在小信号时起作用, 而由基本原理引起的误差仅在接近满刻度值得注意, 并且在采样速率较慢时(例如 600Hz 时), 量化误差很小, 可仅使用一半的量程, 达到 1200Hz 采样一样的量化误差和基本原理引起的误差及精度范围。

综上所述, 由于该数据采集系统摆脱了 VFC 等芯片性能的束缚, 充分发挥单片机系统的优越性能, 完全实现了微机保护常用采样频率范围内的高精度数据采集, 可大大提高微机保护的性能。

### 2.2 抗干扰能力及多 CPU 数据共享的问题

由于该数据采集系统的输出为一串不等宽的脉冲, 因此, 可以很容易地实现与 CPU 之间的光电隔离, 光电隔离器件可选用象 6N137 (频率范围 10MHz) 之类的快速光耦, 以保证足够的频率范围, 与 VFC 型数据采集系统一样, 光耦之后的脉冲即可送到多个 CPU 的计数器, 同样三角波发生器产生的中断申请亦可经光电隔离之后连至各 CPU 的中断输入端, 各 CPU 响应中断申请后, 读取各自的计数器的计数值, 完成对模拟输入量的数据采集, 达到保证各 CPU 与模拟输入之间的光电隔离, 提高整个系统的可靠性, 实现多 CPU 之间数据共享理想结果。

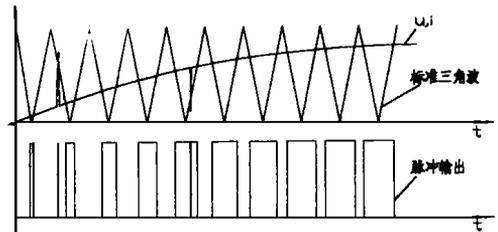


图 3 抗干扰能力分析

而该数据采集系统本身, 由于原理决定, 也具有较高抗干扰能力, 如图 3 所示, 仅当干扰正好发生在信号与三角波的交点附近时, 才会对输出脉冲的宽度造成影响, 而高频干扰往往宽度很窄, 因此, 不会有严重的后果, 仅仅是小范围改变输出脉冲的宽度, 而发生在其它位置的干扰, 仅当幅值非常大时才会引起很窄的脉冲断续或误发很窄的脉冲, 对此, 只要在计数器入口设计一个简单的阻容滤波器, 就可滤除这些干扰信号。

### 3 成本分析

从该数据采集系统的基本原理(如图 1 所示)可知, 该原理不需要象 A/D 变换, VFC 变换那样专用的器件, 除了公共的三角波发生器和基准稳压源之外, 每个通道仅使用两个运算放大器, 回路十分简单可靠, 且易于采购, 因此成本低廉, 约为 VFC 型数据采集系统的一半。



## 4 结论

理论分析证明该数据采集系统具有高分辨率,高抗干扰能力,接线简单,成本低廉以及广泛的采样速率使用范围等一系列优点,笔者在试验室利用 16 位  $24\text{MHz}$  主频的单片机对此新方案进行了试验验证,并取得了令人满意的结果,完全满足微机保护对数据采集系统的要求。可以预见,此种原理的数据采集系统在微机保护等领域将具有广泛的应用前景。

### 参考文献

- 1 杨奇逊 微机继电保护基础 北京:水利电力出版社,1988. 11
- 2 陈德树 计算机继电保护原理与技术 北京:水利电力出版社,1992. 11
- 3 许昌继电器研究所  $WXH-11X$  型微机线路保护说明书

(上接 7 页)

当将阈值 0.0625 改为 0.1 时,纵差保护在某些空载合闸条件下有误动行为。

当将阈值 0.0625 改为 0.05 时,所有空载合闸操作均不造成纵差保护误动。此时若一相存在 10%~15% 的匝间短路,进行空载合闸操作,该保护能在 23~31ms 内动作。

## 6 零序差动保护

三峡电站升压主变为  $Y_N, d-11$  接线,上述纵差保护对高压绕组单相短路的灵敏度不高,为此增设零序差动保护,由高压侧三相  $CT-5$  中性点  $CT$  构成。此保护与前述纵差保护的显著不同是:(1)被保护对象仅包括高压绕组,保护区内只涉及电路,因此零序差动保护原则上与空载合闸励磁涌流无直接关系,完全不需要复杂的防涌流误动措施。(2)动作电流与调压分接头的调整无关,且所有  $CT$  均同型号,所以零序保护既灵敏又简单。

## 7 结论

根据对国内大型水电厂(龙羊峡、岩滩、天生桥一级、宝珠寺、二滩等)水轮发电机内部故障的理论分析,总结龙羊峡、石泉、岩滩和十三陵等电厂机组保护的运行经验,以及各种现场试验和动模试验研究成果,本文提出了三峡电站发电机变压器组的内部故障主保护配置方案。该方案均有成熟的运行经验,技术性能完善,满足大型机组主保护的双重化要求,待三峡电站发电机组供货单位确定后,就应联系有关发电机电磁设计资料,为进行发电机内部故障分析计算,最终确定主保护的技术方案创造必要条件。

# RELAY

Vol 25 No. 1

February 1997

## CONTENTS AND ABSTRACTS (Partial)

### THEORETICAL STUDY AND CALCULATION

#### **The Main Protection Scheme of Internal Short Circuit for Generator Transformer Bank of Three Gorges Hydroelectric Power Station** ..... Wang Weijian, Liu Junhong (5)

Based on the theoretical analysis and test research of the main protections for Long Yang Xia station and Er Tan station, the main protection schemes of Three Gorges station are put forward in this paper. The first main protection for generator is the unit transverse differential relay with high sensitivity, the second main protection is the incomplete differential relay. For transformer, the differential relay with the restraint of scalar product of fault component may be used as the first main protection, and the incomplete differential relay for generator-transformer is the second main protection. The differential relay of transformer is restrained by harmonic of square sum of three phase current.

**Key words:** Three Gorges Station Generator-transformer bank Internal short circuit Main protection

#### **Sectional Algorithm for Open-Conductor Plus Short Circuit Fault in Protective Relay Setting Calculation**

..... Cao Guochen, Tan Xingquan (8)

This paper presents a sectional algorithm for open-conductor plus short circuit fault in protective relay setting calculation. The algorithm has the following characteristics:

- 1) Storage requirements can be reduced
- 2) The nodal impedance matrices of each original sequence subsystems do not need to be modified
- 3) Any type of simple fault can be solved as a special issue of open-conductor plus short circuit fault

**Key Words:** Protective relays Setting calculation Sectional algorithm

#### **Analysis and Prediction of Random Variable about the Reclose Time of Adaptive Recloser**

..... Fang Xingyan, et al (13)

Adaptive recloser can discriminate permanent fault and transient fault of power system to decide reclosing or not, thus avoiding unnecessary impact on the system. The adaptive recloser also should be able to select the best reclose time automatically. This paper made a prediction of random variable about the reclose time of adaptive recloser and presented an algorithm of advancing to send closing impulse.

**Key words:** Adaptive reclose Random analysis

### NEW TECHNOLOGY RESEARCH AND APPLICATION

#### **A Way of Quickly Enabling Distance Protection in Fault During Swing Blocking** ... Zhao Zhihua, et al (18)

This paper introduces a way of enabling distance protection in fault during swing blocking condition, discusses the change of electrical quantity during swing condition, summarizes some swing blocking schemes home and abroad, and presents a realizing way of swing blocking based on the feature of electrical quantity in fault during swing blocking condition in order to ensure enabling the distance protection in fault during swing blocking condition to quickly cut off the fault selectively.

**Key Words:** Distance protection Swing blocking condition

#### **A New Scheme of Data Collection System for Microprocessor-Based Protection** ..... Zhang Keyuan (22)

A new scheme of data collection system of microprocessor-based protection basing on pulse width measurement (PWM) is presented. The theoretical analysis and test result have proved that the data collection system has the advantages of high resolution, high anti-interference ability, simple and reliable connections, low cost, and broad range of sampling rate, and can completely satisfy the requirement of microprocessor-based protection.

**Key words:** Microprocessor-based protection Data collection system PWM Triangle wave generator

#### **A Calculating Method of Power System Frequency Based on Digital Sampling** ..... Li Ruisheng (26)

A method of calculating frequency and its rate of variation by sampling the bus voltage of power system is introduced. The method of minimizing its error is also discussed to reduce one input circuit of measuring level.