

文章编号:1000-3673(2000)01-0019-03

高精度交流采样远动终端的研制

张 涛, 张忠理

(北京哈德威四方保护与控制设备有限公司, 北京 100085)

DEVELOPMENT OF A HIGH ACCURACY AC SAMPLING RTU DEVICE

ZHANG Tao, ZHANG Zhong-li

(Hathaway Sifang Protection and Control Co., Ltd., Beijing 100085, China)

ABSTRACT: The design of software and hardware for a high accuracy AC sampling remote terminal unit (RTU) device is presented in this paper. In the hardware, the Voltage-Frequency-Converter (VFC) and high-performance CPU chip is used, the influence of harmonics and frequency on the accuracy of measurement is considered and can be adaptively corrected by software. The measurement accuracy for U, I, P, Q reaches the accuracy level of 0.5%. Besides, an interface for LONWORKS network is equipped in the RTU, so it can be easily interconnected.

KEY WORDS: remote terminal unit (RTU); voltage-frequency converter; AC sampling

摘要:介绍了一种高精度交流采样远动终端的软、硬件设计,该远动终端硬件上采用压频转换(VFC)技术与高性能单片机实现交流采样,软件上考虑了谐波、频率对测量精度的影响,并可自适应修正,使电压、电流、有功、无功测量精度都达到 0.5 级要求。该远动终端还带有 LONWORKS 网络接口,便于联网。

关键词:交流采样;远动终端;压频转换

中图分类号:TM764 文献标识码:A

1 引言

随着变电站自动化水平的不断提高,变电站已经逐步向无人或少人值班过渡,站内设备如交流采样 RTU 在精度上和可靠性方面均应满足要求。

压频转换(VFC)技术已广泛应用于各类微机保护,其可靠性已经得到广大继电保护用户认可。采用 VFC 技术和单片机的主要硬件是提高 RTU 可靠性的一条捷径。

交流采样 RTU 和微机保护,在频率变化及叠加谐波对精度影响方面的要求是不同的。交流采样 RTU 在频率波动和叠加谐波情况下,要求测量精度误差变化不超过变差范围。而微机保护可基本不考虑频率变化影响,并滤除谐波分量。微机保护测量对精度的要求远低于远动终端交流采样的精度要求。因此,有必要在微机保护硬件基础上,根据远动终端

交流采样的要求,进行软件算法改进。

变电站自动化系统已逐步走向按间隔配置,RTU 也逐步向分散布置过渡。本文将介绍一种交流采样 RTU 的软、硬件设计。该 RTU 在硬件上采用 VFC 和单片机技术,并提供 LONWORKS 网络接口,可方便地联网。软件设计上针对影响精度的各种原因,通过算法进行补偿或修正。

2 硬件构成

RTU 硬件主要由 4 部分组成:交流变换器模块,VFC 模块,CPU 模块,通信模块。

2.1 交流变换器模块

交流变换器有电流变换器和电压变换器两种。设计变换器时应使其具有线性度好(小于 0.1%)、角移小(小于 0.2°)的特性。其作用是将电压、电流互感器二次侧强电信号变换成 VFC 所需要的弱电信号,同时起隔离和抗干扰作用。

2.2 VFC 模块

VFC 模块是将输入模拟量变化成为脉冲频率随输入模拟量幅值大小变化的脉冲量。脉冲量送至 CPU 模块计数器中计数,以实现模数转换。本 RTU 采用第三代 VFC 芯片(VFC110),其电压频率特性的线性范围为 0~4 MHz,比一般保护用的 VFC 的线性范围宽得多,因而模数转换精度也相应地得到提高。

2.3 CPU 模块

CPU 模块采用总线不出芯片的 16bit 单片机。单片机片内集成多个定时器/计数器,其中一个由软件设置为采样定时器,其余设为计数器。采样定时器确定 CPU 的采样周期 T_s (采样频率 $f_s = 1/T_s$),CPU 每隔 T_s 响应一次定时器中断,在中断服务程序中读取各计数器的数值,将两相邻采样间隔计数

值相减即为该输入量瞬时采样值。交流采样须考虑 13 次以下的谐波,为避免高次谐波频率混叠,RTU 采样率定为 1800Hz,即每周采样 36 点数据。

2.4 通信模块

通信模块上的 LONWORKS 单片机集成了很强的计算机网络功能,可以通过片外的网络驱动器直接联至高速数据通信网。每个 RTU 是网络上的一个接点,由挂在网络上的网络主站进行规约解释,并通过标准远动规约(如 CDT、SC1801 等)与远方调度通信。

3 软件功能及算法

3.1 频率算法

频率是电力系统安全运行的重要指标,频率变化是影响交流采样精度的重要因素。准确测量频率,再进行频率修正,是保证测量精度能满足要求的必要条件。采用 VFC 技术实行 A/D 变换,由于采样率不能太高,因此不能用单片机通过波形过零点时刻来计算频率,为此本文介绍一种利用采样值计算频率的新方法。

假设采样电压信号为一正弦电压,在电压采样期间电压保持不变,系统频率也不迅速改变,系统电压信号采样值可写作:

$$U(n) = U_m \sin 2\pi f(T_0 + nT_s)$$

式中 U_m 为电压峰值; f 为系统频率; T_s 为采样周期。

选用两组系数 $h_1(n)$ 、 $h_2(n)$,分别用这两组系数计算出一个 $U(n)$ 的线性组合值

$$S_1 = \sum_{n=1}^N h_1(n)U(n)$$

$$S_2 = \sum_{n=1}^N h_2(n)U(n)$$

式中 N 的大小及 $h_1(n)$ 、 $h_2(n)$ 的值与采样率有关,当采样率为 200Hz 时, $N = 7$

$$h_1(n) = -1, 0, 1, 0, 1, 0, -1$$

$$h_2(n) = 0, -1, 0, 2, 0, -1, 0$$

当采样率大于 200Hz 时, $\{h_1(n)\}$ 与 $\{h_2(n)\}$ 中非零值和其对应的时间间隔不变,只是增加了零的个数,则

$$\frac{S_1}{S_2} = 2 \cos 2\pi fKT_s \quad (1)$$

对 50Hz 系统, $KT_s = 5 \text{ ms}$

$$f = \frac{1}{2\pi KT_s} \arccos \frac{S_1}{2S_2} \quad (2)$$

对式(2)在零点附近展开成幂级数,并截去高次项可得

$$f = \frac{1}{4KT_s} - \frac{1}{4\pi KT_s} \times \frac{S_1}{S_2} \quad (3)$$

经过量化,可得频率的基本公式为

$$f = 50 - 16(S_1/S_2) \quad (4)$$

当频率为 50Hz 时,这两组系数 $h_1(n)$ 、 $h_2(n)$ 对应于 $U(n)$ 的相应采样值间隔正好为 90° 。当频率变化时,对应于 $U(n)$ 的采样值间隔就会偏离 90° ,且可由式(4)计算出频率值。如果在新的频率下调整采样率,使 $h_1(n)$ 、 $h_2(n)$ 对应于 $U(n)$ 的相应采样值间隔为 90° ,那么式(4)仍然成立,这时在新采样频率下,频率计算值仍为 50Hz。换句话说,频率不为 50Hz 时按式(4)计算频率,根据计算频率值,只需进行一次调整采样率即可使新采样率下的计算频率为 50Hz。反之,当计算频率为 50Hz 时,则无需调整采样率。虽然不同频率下计算出的频率都为 50Hz,但是这时的采样率与真正 50Hz 所对应的采样率的初值是不同的。

3.2 电压、电流功率算法

交流采样需要电压、电流的真有效值,因此需用均方根计算电压、电流有效值。均方根算法中已考虑谐波分量在有效值中的成分,计算公式如式(5)~(8),式中 $U(k)$ 、 $I(k)$ 为电压、电流的采样值:

$$U = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N U^2(k)} \quad (5)$$

$$I = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N I^2(k)} \quad (6)$$

$$\begin{cases} P = \sum_{k=1}^N U(k) \cdot I(k) / N \\ S = U \cdot I \end{cases} \quad (7)$$

$$Q = \sqrt{U^2 I^2 - P^2} \quad (8)$$

3.3 小信号输入时电压电流功率算法

VFC 产生量化误差的一个原因是在每次采样读数时可能多读或少读一个脉冲数。当小信号输入时,由于采样间隔中的计数值差值较小,则一个脉冲数误差对整个计算值影响将很大。为减小这种影响,可采用多个采样间隔的计数器差值(差值相应增大)做为采样值,并通过傅氏算法计算 U 、 I 、 P 、 Q 值,这时不考虑谐波的影响。如果在一个周期 T 内采样 N 次,则

$$U_I = \frac{2}{N} \sum_{k=1}^N U(k) \sin \frac{2\pi k}{N}$$

$$U_R = \frac{2}{N} \sum_{k=1}^N U(k) \cos \frac{2\pi k}{N}$$

$$I_I = \frac{2}{N} \sum_{k=1}^N I(k) \sin \frac{2\pi k}{N}$$

$$I_R = \frac{2}{N} \sum_{k=1}^N I(k) \cos \frac{2\pi k}{N}$$

可得

$$U = \sqrt{\frac{1}{2}(U_I^2 + U_R^2)} \quad (9)$$

$$I = \sqrt{\frac{1}{2}(I_I^2 + I_R^2)} \quad (10)$$

$$P = \frac{1}{2}(U_R I_R + U_I I_I) \quad (11)$$

$$Q = \frac{1}{2}(U_I I_R - U_R I_I) \quad (12)$$

3.4 同步采样和频率变化影响

计算功率时要求单片机做到电压、电流同步采样,单片机每隔 T_s 进行一次采样,依次读取各计数器中的计数值。因为单片机处理速度非常快(一条读指令时间约为 $0.5 \mu s$,各路通道全部读完约为 $5 \mu s$,换算为角度小于 0.1° ,所以采样顺序引起的相位差可忽略不计。也就是说,单片机可实现同步采样,满足功率测量要求。

频率变化后,将导致采样率不是频率的整数倍,必将引起量化误差增大。同时,每周实际应采样数也不为 36,按式(5)~(8)计算也将引起误差。因此,需调整采样周期 T_s ,使采样率 f_s 为实际频率的 36 倍。要调整采样周期,软件只需修改单片机内部定时

寄存器即可。采样周期变化后,相同输入量在采样间隔内的数值也应作相应变化,则须对式(5)~(8)进行修正。设额定频率为 f_N ,改变后频率为 f ,则相应公式变化为

$$U = \frac{f'}{f_N} \cdot \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N U^2(k)} \quad (13)$$

$$I = \frac{f'}{f_N} \cdot \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N I^2(k)} \quad (14)$$

$$P = (f'/f_N)^2 \cdot \sum_{k=1}^N U(k) \cdot I(k)/N \quad (15)$$

$$Q = (f'/f_N)^2 \cdot \sqrt{U^2 I^2 - P^2} \quad (16)$$

3.5 电压、电流变换器相移的影响

当电压、电流变换器相移较大时,即使单片机实现同步采样,也会使有功、无功测量精度超差。因此,对电压、电流变换器须进行严格筛选,使相对相移减少。同时,以软件对小角度相移进行角度补偿,使有功、无功测量精度提高。假设 P 、 Q 已算出,分析不同功角下的 P 、 Q 值可判断电压、电流相位需补偿 θ , rad,因 θ 很小,则经补偿后 P' 、 Q' 的计算公式为

$$P' = P - Q\theta$$

$$Q' = Q + P\theta$$

4 测量精度试验

经电力部电力设备及仪表质量检验测试中心试验,交流采样 RTU 达到 U 、 I 、 P 、 Q 0.5 级精度要求,有关频率影响、谐波影响的试验数据如表 1 所示。

表 1 频率影响和谐波影响的试验数据

检测项目	输入标称值/%		电压		电流		有功		无功	
			允许变差/%	实际	允许	实际	允许	实际	允许	实际
频率变化影响	100	45Hz	0.5	0.00	0.5	0.00	0.5	0.11	0.5	0.05
	20	45Hz	0.5	0.10	0.5	0.20	0.5	0.00	0.5	-0.10
	100	55Hz	0.5	-0.20	0.5	-0.20	0.5	-0.15	0.5	-0.04
	20	55Hz	0.5	0.10	0.5	0.00	0.5	0.07	0.5	0.00
谐波影响	谐波含量 基波与谐波角度									
	100	20%	1.0	-0.84	1.0	-0.80	1.0	-0.28	1.0	-0.27
	100	20%	1.0	-0.75	1.0	-0.80	1.0	-0.45	1.0	-0.12

5 结语

采用 VFC 和单片机构成的交流采样 RTU 已研制成功,该 RTU 硬件上采用了微机保护的成熟技术,特别是采用总线不出芯片的单片机,使可靠性和抗干扰性能得到大大提高。软件上考虑了频率、谐波的影响并修正,同时可对功率计算结果进行小角度相位补偿,使得该 RTU 测量精度能达到 0.5 级,满足了原电力部远动终端入网要求。该 RTU 还带有 LONWORKS 接口,便于联网,为分布式 RTU 系

统构成创造了前提条件。

参考文献:

[1] 杨奇逊. 微机型继电保护基础[M]. 北京:水利电力出版社, 1998.
 [2] 夏大洪. WGL-12微机型故障录波及测距装置算法研究[D]. 华北电力学院, 1992. 12.

收稿日期:1999-10-18; 改回日期:1999-11-29.

作者简介:

张涛(1971-),男,工程师,从事变电站自动化系统及电网安全自动装置的研究开发工作;

张忠理(1969-),男,工程师,从事变电站自动化系统及主设备保护的研究开发工作。