

任意信号波形真有效值检测的实现

吴正伟, 王建赅, 纪延超

(哈尔滨工业大学 353 信箱, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 介绍了一种基于交流信号有效值定义测量失真正弦波或非正弦波真有效值的方法, 解决了平均值法在测量失真正弦波时引起显著测量误差的问题。采用了一种适用于单片机计算的快速开方算法, 实际应用表明, 该方法特别适用于需要精度高、响应速度快畸变波形有效值测量的场合。

关键词: 开方算法; 波形畸变; 真有效值

中图分类号: TM930.1

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2001)12-0025-02

1 引言

由于电力电子技术的飞速发展, 各种电力电子装置在工业、交通及电力系统中的应用日益广泛, 电压、电流波形的畸变也日趋严重。在测量系统中, 如何准确、实时地测量各种信号波形的有效值, 而不必考虑波形参数以及失真度的大小, 始终是这一领域所关注的焦点问题^[1]。

2 平均值法和真有效值法

测量交流信号有效值最常用的是平均值响应方法。其测量原理是利用平均值 AC/DC 转换器获得平均值电压 $\bar{V}$, 再根据正弦波有效值与平均值的确 定关系, 得到被测信号的有效值 V_{RMS} 。 K_f 定义为正弦波的波形因数, 它代表了信号是一个完好的正弦波时平均值和有效值之间的恒定关系, 即

$$K_f = \frac{V_{\text{RMS}}}{\bar{V}} = 1.111 \quad (1)$$

故得到下述关系式:

$$V_{\text{RMS}} = 1.111 \bar{V} \quad (2)$$

$$\text{其中 } \bar{V} = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt$$

式(2)仅适用于不失真的正弦波, 假如被测信号存在失真, 或者为方波、矩形波、三角波、锯齿波、梯形波、阶梯波、晶闸管(SCR)波等非正弦波形, 式(2)就不再成立。此时, 式中的波形因数 K_f 值必须作相应改动。显然, 用平均值法去测量失真的正弦波(绝对不失真的正弦波是不存在的), 或者测量非正弦波, 势必引起显著的测量误差, 甚至使测量值失去意义。这正是平均值法的固有缺陷。

而真有效值法要复杂得多, 在理论上, 它可以求取任意波形信号的真有效值。真有效值是信号一系

列瞬时值的真均方根值(True Root Mean Square)。其定义为:

$$V_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} \quad (3)$$

经离散化处理并化简为:

$$V_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N u^2(n)} \quad (4)$$

其中 N 为一周波采样次数, $u(n)$ 为采样序列中的第 n 个采样值^[2]。

在测量系统中, 对于不同畸变率的正弦波, 如果 N 取足够大, 一般取 $N = 2^k$, $k = 1, 2, \dots$ 就能保证准确测量。为了能有一个定量的比较, 表 1 列出了真有效值法和平均值法在测量不同电压波形时的有效值测量结果, 表中 V_p 指电压峰值。

表 1 真有效值法与平均值法测量误差比较

被测波形	波形因数	真有效值	平均值	相对误差
不失真正弦波	1.111	$0.707 V_p$	$0.707 V_p$	0
半波整流波	1.571	$0.5 V_p$	$0.353 V_p$	- 29.4
方波 ($D = 50\%$)	1	V_p	$1.111 V_p$	+ 11.1
矩形波 ($D = 25\%$)	2	$0.5 V_p$	$0.277 V_p$	- 44.6
三角波	1.155	$0.577 V_p$	$0.5 V_p$	- 3.8
锯齿波	1.155	$0.577 V_p$	$0.5 V_p$	- 3.8

3 检测电路

真有效值检测电路如图 1 所示。 V_i 是传感器输出信号经调理后的电压信号, V_{ref} 是直流偏置电压。运放输出信号 V_o 与输入信号 V_i 和 V_{ref} 之间的关系如下式:

$$\frac{V_i - V_{\text{ref}}}{R_1} = \frac{V_{\text{ref}} - V_o}{R_2}$$

令 $R_1 = R_2$, 上式化简为

$$V_o = 2V_{\text{ref}} - V_i \quad (5)$$

经调理后的输入信号 V_i 的峰峰值在 $-2 \sim 2V$ 之间,因此输出信号 V_o 的峰峰值也在 $2V_{\text{ref}} - 2 \sim 2V_{\text{ref}} + 2V$ 之间。如果 A/D 转换的基准电压是 4.096V,那么通过分压电阻使直流偏置电压 V_{ref} 等于 2.048V,则就能保证输出信号 V_o 满足 A/D 转换的要求。电路中二极管起限幅作用。

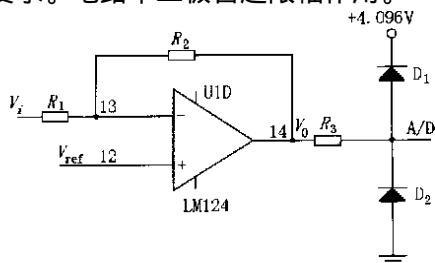


图1 真有效值测量电路

4 真有效值求取

被测信号在一个周波内的 N 次采样值经过 A/D 转换后,直接平方累加存入某个整型变量,然后求其平均值,再进行开方和去直流偏置等运算即可。如果 A/D 转换结果在程序中采用首先存入某一个数组变量,然后进行集中处理的方法,那么对于一个周波需要采集 32 点,甚至 64 点的采样系统,主要有 32(64)次乘法、加法运算和一次开方运算,运算时间可能达几个毫秒;另外程序中还需要定义一个相对于采样次数的大数组。这样对于一个需要测量多个通道且对时间要求苛刻的控制系统,集中处理方法难以满足要求,这也正是集中处理计算的缺陷。然而,直接平方累加方法正好弥补了集中处理方法的不足,它不需要定义存放 A/D 转换结果的大数组,并且对乘法和加法运算进行分散处理,且仅需考虑的主要运算为开方运算,这也决定了本方法的主要运算时间。因此如何寻求一种快速、高准确度的开方算法,是问题的关键所在。

由于考虑到速度的要求,且根据硬件和软件的环境,这里采用定点数运算。

本文采用两次直线逼近方法逼近曲线 $y = \sqrt{x}$ 。假设 $x \in [x_{i-1}, x_i]$, k_i 是本段直线的斜率值,那么 x 所在直线段对应的 Y 轴的值为 y' ,即

$$y' = \sqrt{x_{i-1}} + k_i(x - x_{i-1}) \quad (6)$$

其中 $k_i = \frac{\sqrt{x_i} - \sqrt{x_{i-1}}}{x_i - x_{i-1}}$, $\sqrt{x_{i-1}}$ 通过查表得到。

式(6)称为第一次直线逼近,即粗逼近。而直线 $y =$

y 和曲线 $y = \sqrt{x}$ 的交点在 x 轴上的投影为 x' ,其值为 $x' = y^2$ 。因为实际开方运算总能保证 $x' >> 0$,

所以函数 $f(x) = \sqrt{x}$ 在 x 的某一领域内具有直到 $(n+1)$ 阶的导数,则在该领域内 $f(x)$ 的 n 阶泰勒公式

$$f(x) = f(x) + f'(x)(x - x) + \dots + \frac{f^{(n)}(x)}{n!}(x - x)^n + \dots$$

考虑到开方运算的速度要求,这里仅取级数的前两项,令

$$f(x) = f(x) + f'(x)(x - x) \quad (7)$$

式中, $f(x) = \sqrt{x}$, $y' = \sqrt{x'}$

$$f'(x) = \frac{1}{2\sqrt{x}} = \frac{1}{2y'}$$

因此,式(7)可简化为

$$y = \frac{1}{2}(y' + \frac{x}{y'}) \quad (8)$$

式(8)称为第二次直线逼近,即细逼近。

上面只是就算法本身进行了原理上的探讨。而实际应用中,应如何求解 $y = \sqrt{x}$? 下面具体说明求解步骤。首先,程序判断 x 是否在 4000H ~ FFFFH 之间,如果 x 在此范围以外,通过移位运算将 x 转化到此范围内;然后判断 x 所在直线段的范围 $[x_{i-1}, x_i]$,这里用三段折线来逼近曲线 $y = \sqrt{x}$,并根据式(6)求出 y' ;再利用式(8)求出 y ;最后将 y 进行反向规格化还原成正确数值即可。

从上面步骤可以看出,开方的计算极小,只需 $k_i(x - x_{i-1})$ 一次乘法及 $\frac{1}{2}(y' + \frac{x}{y'})$ 两次除法、加法和几次比较、移位操作即可,因此计算速度极快。

5 结论

经验证,上述算法软件开销很小,求真有效值整个过程,速度很快,实时性很高。测试结果表明计算程序误差极小,完全能满足测量系统的精度要求。

上述方法应用于交流电动机软启动器控制系统中,取得了良好的效果。

参考文献:

- [1] 沙占友. 新型特种集成电源及应用[M]. 北京:人民邮电出版社,1998.
- [2] 潘文诚. 交直流数据采集系统的研制[J]. 电子技术应用,2000,(4):18~21.

收稿日期: 2001-04-11

(下转第 42 页)

- [2] 何定. 电厂通用型智能操作票专家系统. 电力系统自动化, 1997, 21(6): 61 ~ 63.
- [3] 宋宏坤. 电网调度操作票管理专家系统及应用. 电力系统自动化, 1999, 23(19): 58 ~ 59.
- [4] 陈建春. Visual C++ 高级编程技术. 电子工业出版社, 1999.

收稿日期: 2001-05-15; 改回日期: 2001-06-14

作者简介: 林明兰(1976-), 女, 硕士研究生, 从事电力系统及其自动化方面的研究; 李刚(1978-), 男, 硕士研究生, 从事电力系统及其自动化方面的研究; 钱络江(1961-), 男, 副教授, 从事电力系统仿真和高电压技术方面的研究; 陈允平(1946-), 男, 教授, 从事电力系统运行与控制及电力电子等方面的研究。

A general intelligent system for electric power network operation order sheet

LIN Ming-lan, LI Gang, QIAN Luo-jiang, CHEN Yun-ping
(Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: With the development of electric power network, it is the tendency to take the measure of making out an operation order sheet by computer. To improve the generality and flexibility of this kind of application software, the author exploited the system for electric power network operation introduced in this paper. In this paper, it analyzed the function of this system, and emphasized how to realize the generality and flexibility of the program. Then, it summarized some technique of programming. The program is exploited based on Visual C++, adopted the technique of OOP(Object Oriented Programming). It used the class template of MFC to manage its object points, and used VB control to achieve its flexibility.

Keyword: operating order sheet; object-oriented; expert system; VB control

(上接第 26 页)

作者简介: 吴正伟(1977-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力电子技术及其在电力系统中的应用; 王建贻(1972-),

男, 讲师, 博士, 研究方向为电力电子技术及其在电力系统中的应用; 纪延超(1962-), 男, 教授, 博导, 研究方向为电力电子技术及其在电力系统中的应用。

Realization of measuring TRMS of any signal waveform

WU Zheng-wei, WANG Jian-ze, JI Yan-chao
(Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: On the basis of the RMS definition a method for measuring TRMS of distortion sinusoid or non-sinusoid is introduced in the paper. It solves the problem on metrical error brought by the mean in measuring distortion sinusoid. A fast arithmetic of square root suitable for microchip is adopted. Actual application shows that it is especially applied to measure distortion waveform with the demand for high precision and fast response.

Keywords: arithmetic of square root; distortion waveform; TRMS

(上接第 38 页)

- [2] 杨宛辉, 许珉, 谢琦. 变电站计算机仿真培训专家系统开发与应用. 继电器, 1999, 2(3).

收稿日期: 2001-09-14

作者简介: 宋人杰(1963-), 女, 副教授, 硕士, 研究方向为人工智能在电力系统中的应用; 陆达(1954-), 男, 硕士, 教授, 研究方向为人工智能在电力系统中的应用。

A general substation fault preview multimedia simulating and training expert system

SONG Ren-jie, LU Da
(Northeast China Institute of Electric Power Engineering, Jilin 132012, China)

Abstract: This paper introduces a current substation fault preview multimedia simulating and training expert system. It tells the details of design and function and characteristic in technology of the system. This system has the characteristic of generally and expediently defending and perfect function.

Keywords: substation; fault preview; multimedia; simulating and training