

基于 DSP 的电压闪变仪的开发

袁世英, 曹晖

(华东交通大学, 江西 南昌 330006)

摘要: 电压闪变是反映电能质量状况的重要指标, 由于电压闪变的测量比较复杂, 国际电工委员会 (IEC) 专门提供了测量模型。论文对 IEC 的闪变测量模型进行分析, 提出了数字化测量电压闪变的方法。通过采用 TI 公司的 TMS320 系列 DSP 芯片和多通道数据转换器, 设计出可同时测量 8 路电压信号的电压闪变测量仪。它充分利用 DSP 芯片运算速度快和专用指令的优点来计算电压闪变值。最后通过仿真和实际测量, 证明数字化测量电压闪变是完全可行的。

关键词: 电压闪变; 数字化; 数字信号处理器; 数字滤波器

中图分类号: TM930.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2005)04-0057-03

0 引言

电压闪变是根据供电电压突然变化引起电灯输出的光线可感受的变化来确定的。供电电压的突然变化是由于供电线路上加上了一个大的负载或者操作一些负载变化大的设备引起的。供电电压的波动可能两种影响: 使电灯的光线产生闪烁和引起敏感性负载的破坏。

闪变现象可以分为两种类型: 周期性和非周期性。周期闪变正如它的名字所表示的是重复的, 周期性闪变是由周期性的电压波动引起的。如点焊机、压榨机和电弧焊机等负载的运行; 非周期性的闪变是由偶然的电压波动引起的。大部分情况下, 非周期性闪变是由大型马达的起动引起的。有时, 一些变化的负载, 如电弧炉、电焊机和切割机能产生周期性的闪变和非周期性的闪变。

由于闪变对用电产生影响, 需要对闪变进行测量。同时, 因为闪变现象比较复杂, 国际电工委员会 (IEC) 对它的测量给出了明确的测量模型, 如图 1 所示。并给出了模型的传递函数。

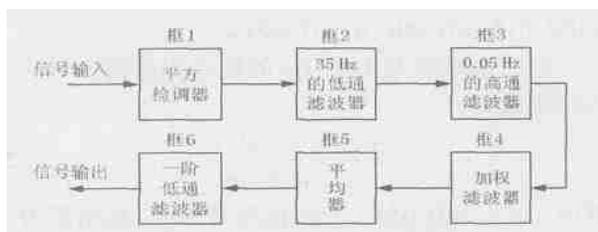


图 1 闪变测量原理框图

Fig. 1 Block diagram of the voltage flicker measurement

本系统就是根据测量模型的传递函数, 通过 DSP 的算法进行实现, 得到电压闪变值。

1 测量算法

通过 DSP 的算法来实现模型中的传递函数, 首先要确定系统对信号的采样频率。采样频率太高, 则一定时间内的采样数据太多; 采样频率太低, 则不利于准确地计算闪变值。IEC 对闪变的测量规定在 10 min 左右, 需要计算出一次闪变值。通过仿真对比采样频率对测量的影响, 综合考虑后, 本系统采用 400 Hz 做为采样频率。接下来就是根据采样频率, 对各框中所对应的传递函数 $k(s)$ 从频域转化为 Z 域。

Abstract: With the development of electric industry, power supply reliability and power quality have been put more and more attention, and more effective monitoring equipment are needed to detect the power parameters. Using single chip microprocessor and DSP parallel processing technology, this paper designs power monitor equipment. The newly designed monitor uses the technology of AC sampling directly, exerts the hardware resource of 87C196CB and the capability of powerful data processing of DSP, and employs software instead of hardware as possible. So it has the merits of high reliability and data update speed without losing key messages. It has both serial and CAN bus communication interface, which make it easy to communicate PC and other monitor equipment, so the power monitor can replace many kinds of power measure meters, power factor meter and burden controllers to perform the function of remote monitoring.

Key words: single chip microprocessor; DSP; power monitor

框 1 中所对应为平方检调器,直接把采样信号取平方,得到一系列新的数据,做为下一级处理单元的输入数据。

框 2 中对应为 35 Hz 的低通滤波器。根据 IEC 的规定,低通滤波要求使 100 Hz 的信号衰减 55 dB。这里选用 6 阶的巴特沃斯低通滤波器。转化为 Z 函数,则结果如下:

$$H(z) = \frac{\sum_{k=0}^6 b_k z^{-k}}{1 + \sum_{k=1}^6 a_k z^{-k}} \quad (1)$$

其中: $a_1 = -3.8807$; $a_2 = 6.5355$; $a_3 = -6.0495$; $a_4 = 3.2276$; $a_5 = -0.9374$; $a_6 = 0.1155$; $b_0 = 0.0002$; $b_1 = 0.001$; $b_2 = 0.0026$; $b_3 = 0.0034$; $b_4 = 0.0026$; $b_5 = 0.001$; $b_6 = 0.0002$ 。

框 3 中对应为 0.05 Hz 的高通滤波器。对应的传递函数为:

$$k(s) = \frac{s/w_c}{1 + s/w_c} \quad (2)$$

其中: $w_c = 2 \times 0.05 \text{ s}^{-1}$ 。转化为 Z 函数,则结果为:

$$H(z) = \frac{0.9996(1 - z^{-1})}{1 - 0.9992z^{-1}} \quad (3)$$

框 4 中所对应为视感度加权滤波器。对应的传递函数为:

$$k(s) = \frac{Kv_1 s}{s^2 + 2s + w_1^2} \times \frac{1 + s/w_2}{(1 + s/w_3)(1 + s/w_4)} \quad (4)$$

其中: $K = 1.74082$; $v_1 = 2 \times 4.05981$; $w_1 = 2 \times 9.15494$; $w_2 = 2 \times 2.27979$; $w_3 = 2 \times 1.22535$; $w_4 = 2 \times 21.9$ 。选用双线性变换法, $s = \frac{2}{T} \cdot$

$\left(\frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \right)$, 转换为 Z 函数, 结果为:

$$H(z) = \frac{\sum_{k=0}^4 b_k z^{-k}}{1 + \sum_{k=1}^4 a_k z^{-k}} \quad (5)$$

其中: $a_1 = -3.548754$; $a_2 = 4.714548$; $a_3 = -2.77601$; $a_4 = 0.610325$; $b_0 = -0.009351$; $b_1 = 0.000329$; $b_2 = -0.018373$; $b_3 = -0.000329$; $b_4 = 0.009022$ 。

框 5 中所对应也为平方器,直接把采样信号取平方,得到一系列新的数据。做为下一级处理单元的输入数据。

框 6 中所对应为时间常数为 300 ms 的低通滤波器。对应的传递函数为:

$$k(s) = \frac{K}{0.3s + 1} \quad (6)$$

其中: $K = 63.7864$ 转化为 Z 函数,则结果为:

$$H(z) = \frac{0.26471(1 + z^{-1})}{1 - 0.9917z^{-1}} \quad (7)$$

根据上述计算环节,可以得到电压闪变的瞬时闪变视感度,由瞬时闪变视感度很容易求出电压短时闪变值 (P_{st})。

2 硬件描述

这个电压闪变测量仪是一个便携的多通道装置,可同时测量 8 路电压信号。选用的平台是 TI 公司的 TMS320 系列的 DSP 芯片。输入信号的 A/D 转换器是 MAXIM 公司的一种高速、多通道、带有同步采样保持器的 14 位数据采集系统 MAX125。为了便于计算和保存测量数据,系统期扩展了两板 CY199,用于暂存采样的波形数据,另扩展了一片 2 M 的 FLASH,用于保存计算出的的闪变值,供分析用。总体框图如图 2。

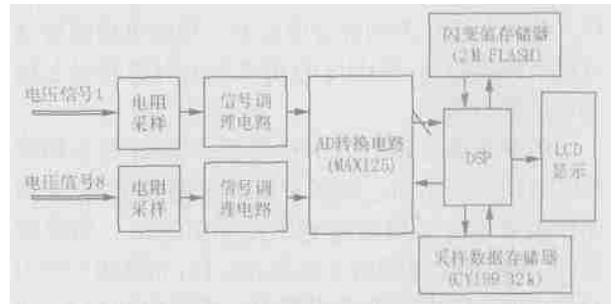


图 2 系统硬件总体框图

Fig. 2 Block diagram of overall system hardware

3 软件描述

根据电压闪变的测量算法,用数字滤波器来实现电压闪变的测量。数字滤波器的形式有两种:无限冲击相应数字滤波器(IIR);有限冲击相应数字滤波器(FIR)。在本系统中采样的数字滤波器的形式都选用的是 IIR(无限冲击相应数字滤波器)。原因是:相对于 FIR 滤波器,设计一个满足幅度响应条件的 IIR 滤波器需要的滤波器阶数较少; IIR 滤波器具有结构简单、运算量小的特点。因此在这里主要介绍 IIR 数字滤波器在 DSP 中的实现。

IIR 滤波器差分方程一般形式为:

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} b_k x(n-k) + \sum_{k=0}^{N-1} a_k y(n-k) \quad (8)$$

其中: $y(n)$ 为输出; $x(n)$ 为输入。

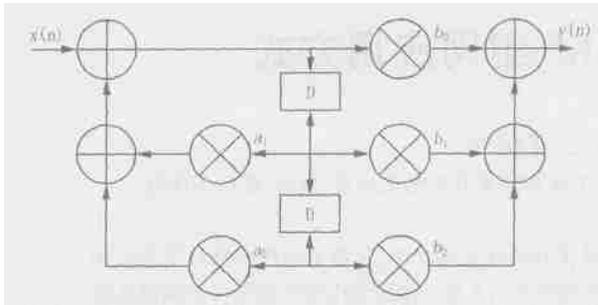


图3 IIR网络二阶直接型结构

Fig.3 Structure of second stage direct IIR network

IIR 滤波器的基本结构有 3 种,即直接型、级联型、并联型。根据它们的特点,本系统选用了二阶直接型结构。其它高阶系统可以通过二阶网络级联实现。

按照上面的结构图,设计出在 F206 上实现 IIR 的主要程序:

```
LD #x0,DP
SSBX FRCT
IIR: PORTR PA1,@x0;输入数据 v
LD @x0,16,A;计算反向通道
LD @x1,T;x(0)到 T
MAC @A1,A
LD @x2,T
MAC @A2,A
STH A,@x0;暂存 A
MPY @B2,A;计算前向通道
LTD @x1
MAC @B1,A
LTD @x0
```

```
MAC @B0,A
STH A,@x0;暂存 y(n)
BD IIR;循环
PORTW @x0,PA0;输出结果 y(n)
END
```

需要注意的, $x(0)$ 单元有 3 个用处,即存放输入数据 $x(n)$ 、暂存相加器输出 $x(0)$ 和输出数据 $y(n)$ 。在该二阶 IIR 滤波器程序中,先计算反向通道,然后再计算前向通道,并输出结果 $y(n)$ 重复循环。

因此在计算电压闪变时,可根据具体的传递函数,确定 IIR 滤波器的级数,套用上述程序,便可完成数字滤波功能。

4 验证

为了便于验证闪变值的正确性。IEC 在给出闪变仪设计原理的同时给出了校验标准和相应的校验值。根据 IEC 关于闪变测量的说明,严格按照 IEC 闪变设计规范设计出来的闪变仪,当调幅波为矩形波且变化频度和波动值为表 1 中值所示时,其短时间闪变值 P_{st} 要求只能在 1 ± 0.05 范围内变化,否则说明测量系统不正确。为方便对照,分别给出了电压闪变仪测量的实际结果和算法程序在计算机上进行数字仿真条件下的结果。同时为考察采样频率对电压闪变仪和数字仿真系统测量结果的影响,分别取采样频率为 200 Hz 和 400 Hz 进行对照,分别得到了相应的 P_{st} 测量结果。列于表 1 中。

表 1 数字仿真和电压闪变仪测量结果

Tab.1 Results of digital simulation and voltage flickermeter measurement

电压变动幅度 f/min		1	2	7	39	110	1 620	
波动幅值/(%)		2.72	2.21	1.46	0.905	0.725	0.42	
IEC 的校验值		1	1	1	1	1	1	
P_{st}	采样频率	数字仿真测量结果	1.010 8	1.020 5	0.999 7	1.028 3	1.018 7	0.992 4
	400 Hz	电压闪变仪测量结果	1.008 5	1.021 8	0.995	1.027 5	1.018 7	0.991 7
	采样频率	数字仿真测量结果	1.014 2	1.019 1	1.005 3	1.029 5	1.024 0	0.998 2
	200 Hz	电压闪变仪测量结果	1.008 5	1.018 6	0.999 2	1.027 5	1.018 7	0.995 9

从表 1 可知,无论是数字仿真结果,还是电压闪变仪实际测量结果, P_{st} 的最终结果都在 1 ± 0.05 范围内,与 IEC 提供的校验值完全一致。证明了所建立的算法程序是完全正确的,同时实际的电压闪变仪的测量结果也是正确的。另外,从表 1 也可看出,提高采样可以更加逼近累积概率函数曲线,从而得到更精确的 P_{st} 值,因此本系统的采样频率取为 400 Hz。

5 结论

基于 DSP 的电压闪变测量仪具有体积小、功能强、精度高、测量通道多的特点。特别适用于现场电压闪变的测量分析,具有广泛的应用前景。

参考文献:

- [1] 刘亚洲,李威,纪延超,等. IEC 闪变检测方法的数字化实现[J].继电器,2000,28(3):18-21.

(下转第 70 页 continued on page 70)

间的正确配合显得尤为重要。

2) 通过第 2 节对母差保护开关动作异常的分析验证了贵广直流肇庆换流站 500 kV 交流开关场所涉及的保护动作都必须服从于最后开关/线路保护逻辑。

3) 最后开关/线路保护逻辑通过天广直流工程的不断完善后,在贵广直流工程进一步发挥作用,将会更加可靠地保障高压直流输电系统安全可靠运行。

参考文献:

- [1] Matern. AC Station Control System Information Manual [R]. SIEMENS Technical Report ID. 03 AT 53, 2003, EB2. 371. AZ0:1- 46.
- [2] 戴熙杰,等. 直流输电[M]. 北京:电力工业出版社,

1982.

DAI Xi-jie, et al. DC Power Transmission[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1982.

收稿日期: 2004-06-07; 修回日期: 2004-11-02

作者简介:

李兴(1975-),男,工程师,硕士研究生,研究方向为高压直流输电,从事高压直流输电系统生产管理工作; E-mail:lx-hust@126.com

陈世元(1954-),男,教授,主要从事特种电机及电机的交流绕组理论、电磁场、热交换、CAD、电力系统等方面的研究与教学工作;

张鹏(1954-),男,高级工程师,主要从事电站自动控制,直流输电系统管理的研究与教学工作,并担任 IPMP 评估师及项目管理工作。

Analysis of the last CB/line protection at AC switch yard in converter substation of HVDC project

LI Xing^{1,2}, CHEN Shi-yuan¹, ZHANG Peng², JIANG Yi², XIA Yong², LUO Jing-hua²

(1. South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;

2. Guangzhou Branch, South China Power Grid of EHV Power Transmission Co., Ltd, Guangzhou 510405, China)

Abstract: According to the 3/2 connection mode in 500 kV AC yard of Gui Guang HVDC power transmission project, the paper introduces the special last CB/line protection logic about 500 kV AC switch yard of HVDC project. At the same time, the last logic of CB, which based on the abnormal action of 500 kV busbar protection in experiment acceptance, is analysed.

Key words: HVDC power transmission system; the last CB/line logic; busbar protection; 3/2 connection mode

(上接第 59 页 continued from page 59)

- LIU Ya-zhou, LI Wei, JI Yan-chao, et al. The Digital Realization of IEC's Fickermeter[J]. Relay, 2000, 28(3): 18-21.
- [2] 胡广书. 数字信号处理——理论、算法与实现(第一版)[M]. 北京:清华大学出版社, 1997.
- HU Guang-shu. The Digital Signal Process——Theory, Algorithm and Realization, First Edition[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1997.
- [3] 林海雪,孙树勤. 电压的波动与闪变(第二版)[M]. 北京:中国电力出版社, 1998.
- LIN Hai-xue, SUN Shu-qin. The Voltage Fluctuation and Flicker, Second Edition[M]. Beijing: China Electric Power

Press, 1998.

- [4] 苏涛,蔺丽华,等. DSP 实用技术[M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 2002.
- SU Tao, LIN Li-hua, et al. DSP Application Technology [M]. Xi'an: Xidian University Press, 2002.

收稿日期: 2004-05-28; 修回日期: 2004-06-30

作者简介:

袁世英(1973-),女,硕士,主要从事 DSP 教学和技术开发研究工作;

曹晖(1972-),男,硕士,主要从事 DSP 应用开发工作。E-mail: caohui2000@hotmail.com

Development of a voltage flickermeter based on DSP

YUAN Shi-ying, CAO Hui

(East China Jiaotong University, Nanchang 330006, China)

Abstract: Voltage flicker is an important parameter to evaluate the power quality. As the measurement of voltage flicker is very complicated, IEC has put forward a model to solve this problem. With the analysis of this flicker model, a digital method to measure the voltage flicker is proposed. Using DSP chip of TMS320 series and multi-channel data-acquisition system, a flickermeter which can simultaneously measure eight channels voltage is designed. This flickermeter fully uses the advantages of this DSP chip such as fast calculation and special instructions, to calculate voltage flicker. The results of simulation and test show that this digital voltage flicker measurement is feasible.

Key words: voltage flicker; digitalization; DSP; digital filter