

# 基于混合编程技术开发的电压闪变检测系统

郭晓丽<sup>1</sup>, 陈劲操<sup>2</sup>, 堵俊<sup>1</sup>, 吴晓<sup>1</sup>

(1.南通工学院自动化系,江苏南通 226007; 2.南京理工大学动力工程学院,江苏南京 210094)

摘要: 闪变作为评定电能质量的重要指标,能更直接、更迅速地反映出电网的供电质量。根据 IEC 设计规范,设计了电压波动和闪变检测的各环节。借助 Matlab 接口技术,通过在 VC++ 环境下生成动态链接库,实现 VB 和 Matlab 的混合编程。最终混合编程检测软件、数据采集卡、电压互感器电路共同完成对电网三相电压波动和闪变的检测。

关键词: 混合编程; Matlab 接口技术; 动态链接库; 闪变

中图分类号: TM93; TM764 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2004)23-0040-04

## 0 引言

随着国民经济的快速发展以及电能作为一种商品在市场运作的趋势,电能质量已成为生产管理部门及用户日益关注的问题。闪变作为评定电能质量的重要指标,能更直接、更迅速地反映出电网的供电质量。文中利用 VB6.0 和 Matlab 6.5 两种语言混合编程,介绍了一种可行的检测电网电压波动和闪变的方法。Matlab 具有各研究领域专用的工具箱(即数学函数包),这些数学函数包,不仅大大方便了特定领域的用户,而且使得 Matlab 易学易用。VB 能通过 Matlab 接口直接调用这些数学函数包,从而避免了 VB 程序设计中的重复性劳动,减轻了系统开发人员的负担。VB 和 Matlab 混合编程,发挥了各自优势,具有一定的实用价值。VB 和 Matlab 混合编程是利用 Matlab 接口技术,将 Matlab 的程序文件(.M)在 VC++ 下构建动态链接库(.DLL),VB 在代码中调用生成的 DLL 中的函数,实现混合编程。该方法利用了 Matlab6.0 以上的版本提供的 Add-in 插件,用户可以脱离 Matlab 环境使用。

## 1 闪变检测各环节的设计

利用平方检测法完成数字方式下的电压波动和闪变的检测,实现原理图如图 1 所示<sup>[1,2]</sup>。电网电压  $u(t)$  经电压互感器,适配成适合采集卡电压输入范围的值,采集卡进行 A/D 转换。后期处理均用 Matlab 语言编程实现,根据 IEC 闪变检测的设计规范与要求,各环节中滤波器均采用数字滤波器。经过平方、一阶低通滤波环节后可以得到瞬时闪变视

感度  $S(n)$  序列,进行 10 min 的统计评定得到短时间闪变严重度  $P_{st}$ ,以评价电能质量。采样频率设为 400 Hz。

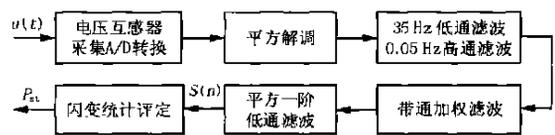


图 1 闪变仪工作原理框图

Fig. 1 Working procedure of flicker meter

### 1) 35 Hz 的 FIR 型数字低通滤波器

窗函数选为契比雪夫窗,  $N = 31$ 。幅度频率特性(归一化频率)如图 2 所示。

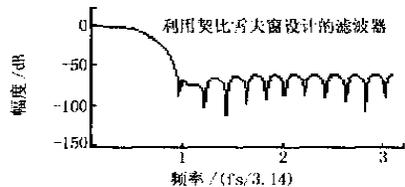


图 2 35 Hz 低通滤波器的幅度频率特性

Fig. 2 Amplitude-frequency property of 35 Hz lowpass filter

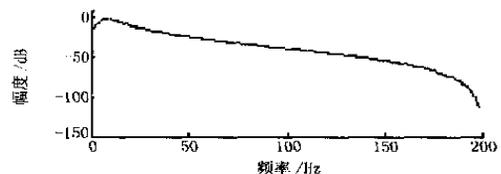


图 3 模拟人眼的幅度频率特性

Fig. 3 Simulating amplitude-frequency property of people's eyes

### 2) 0.05 Hz 的 FIR 型数字高通滤波器

窗函数选为海明窗,  $N = 30$ 。

### 3) 模拟人眼的频率特性环节

由于人眼对各种频率的照度波动的响应不同,

基金项目:江苏省高校自然科学基金计划项目(03KJB470104)

所以为了能够反映人眼对不同频率的电压波动的敏感程度,设计了带通加权滤波器。带通加权滤波器的传递函数  $K(s)$  以乘积形式表述,乘积前一项对应二阶带通滤波器,再乘以含有一个零点和两个极点的后一项的补偿环节,模拟人眼的频率选择特性。

$$K(s) = \frac{K_1 s}{s^2 + 2s + \frac{1}{2}} \times \frac{1 + s/\omega_2}{(1 + s/\omega_3)(1 + s/\omega_4)}$$

式中:  $k = 1.748\ 02$ ;  $\omega_1 = 2\ 4.059\ 8$ ;  $\omega_2 = 2\ 9.154\ 94$ ;  $\omega_3 = 2\ 2.279\ 79$ ;  $\omega_4 = 2\ 1.225\ 35$ ;  
 $\omega_5 = 2\ 21.9$ 。

将模拟滤波器转换为数字滤波器,利用双线性变换法  $s = \frac{2}{T} \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}}$ ,  $T$  为采样周期。

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

其中:  $a_1 = -3.548\ 754$ ;  $a_2 = 4.714\ 548$ ;  $a_3 = -2.776\ 010$ ;  $a_4 = 0.610\ 325$ ;  $b_0 = 0.009\ 351$ ;  $b_1 = 0.000\ 329$ ;  $b_2 = -0.18\ 373$ ;  $b_3 = -0.000\ 329$ ;  
 $b_4 = 0.009\ 002$ 。

由图 2 可见 35 Hz 低通滤波器在 100 Hz 处衰减为 65 dB;在模拟人眼环节,其频率响应特性如图 3 所示,100 Hz 处衰减为 40 dB。满足 IEC 对于闪变检测在 100 Hz 处衰减为 90 dB 的要求。

4) 模拟人脑神经对视觉反映和记忆效应环节设计:

$$H(z) = \frac{0.004\ 15\ K(1 + z^{-1})}{1 - 0.991\ 70z^{-1}}$$

其中:  $K$  为增益系数,  $K = 62.2$ 。

## 2 VB 和 Matlab 的混合编程技术

电压波动和闪变的检测利用 Matlab 语言编程实现,采集卡数据采集、数据显示、图形显示、统计分析等用 VB 编程实现。借助 VC++ 和 Matlab 接口技术建立动态链接库实现 VB 和 Matlab 混合编程。其基本思路如图 4 所示<sup>[3~5]</sup>。

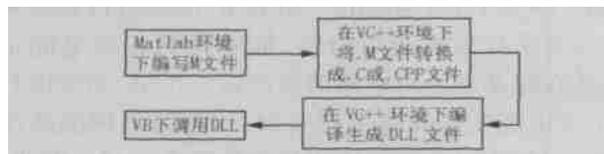


图 4 VB 和 Matlab 混合编程基本思路

Fig. 4 Basic idea of VB and Matlab combining program

在 VC++ 环境下将 .M 文件转换成 .C 文件必须

使用 Mideva 中的 Microsoft Matcom, Matcom 安装和 .M 文件的转换过程如下:

- 1) 启动 Matlab,运行“mex-setup”。
- 2) 在 Matlab 环境中运行“mbuild-setup”。
- 3) 在 Matlab 环境下运行“cd(prefdir)”和“mcc-savepath”命令。
- 4) 在 Visual C++ 中配置 Add-in 插件。
- 5) 在 Visual C++ 中使用 Visual Matcom 将 M 文件转换为 CPP 文件。

电压波动和闪变检测过程中有两个关键的检测环节,即调幅波检测和瞬时闪变视感度检测,下面简述混合编程是如何实现调幅波检测的。

正弦的工频电压作为载波信号,被一频率在九分之一赫兹到二十几赫兹低频信号进行调幅。调幅波检测动态链接库的生成首先对 Matlab 6.5 和 VC++ 6.0 环境进行设置(步骤上面已介绍),在 VC++ 中,将检测 A 相调幅波的 .M 文件转换为 .C 文件,并同时构建 .dll。具体实现步骤如下:

- 1) 打开 VC++ 6.0,新建文件,在 Matlab project wizard 下创建工程。平台:win 32。
- 2) 在 Visual Matlab Application Type 中选取 shared M-dll (共享 M 动态链接库);选中 generate main file (产生主函数文件),应用语言 C。
- 3) 新建工程信息显示工程包括: \*.c、\*.dsw、\*.dsp、\*.txt。
- 4) 选择 .M 文件添加到目录。选定 .M(t.m) 文件后,显示

This is the output from running Matlab Add-in.

.....

Parsing file "d:\matlab6p5\work\t.m"

(Referenced from: "Compiler Command Line").

Generating file 't.h'.

Generating file 't.c'.

.....

Matlab Mfiles 是 t.m

Matlab C/C++ files 包括 guo.c,t.c

- 5) 在编译中选择构建 .dll。

调幅波检测动态链接库生成以后,必须通过 VB 调用,才实现了 VB 和 Matlab 的混合编程。在 Matlab 下调幅波检测的文本文件如下:

function t %电网 A 相的电压值

fid=fopen('c:\data1.txt',r);

[x,count]=fscanf(fid,'%f');

.....

在 VC++ 环境下选择要转换的 .M 文件(d:\

matlab6p5 \ work \ t. m),在工程文件夹中会产生一系列.C文件。其中与.M文件同名的.C文件即为转换的C代码。转换后的.C文件如下:

```
#include "t.h"
#include "fir1.h"
#include "libmatlbm.h"
.....
void mlfT(void)
.....
```

所要的接口函数的函数名为 mlfT。

在 VB 下调用生成的动态库,程序中实现混合编程的关键代码如下:

```
Private Declare Sub mlfT Lib "c:\guopro\guo\guo.dll"
() %声明路径
.....
mlfT %接口函数的函数名
.....
```

VB 运行后的结果如图 5 所示。

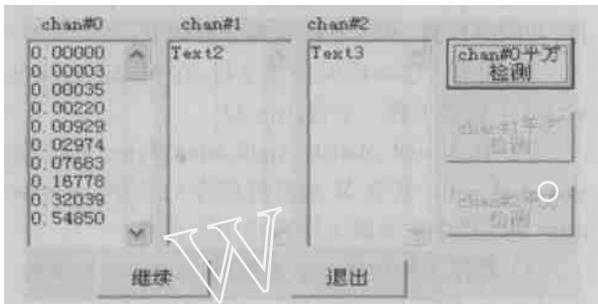


图 5 平方检测调幅波的 VB 界面  
Fig. 5 VB interface of square measuring modulated voltage

### 3 实时检测及结果

文中首先利用 Matlab 编程实现闪变检测数字化仿真,仿真过程中构造调幅波,当频率  $f = 8.8 \text{ Hz}$ ,电压波动  $V = 0.25\%$  时有  $S = 1$ ,当电压波动波形、电压波动值和频率固定时,短时间闪变严重度  $P_{st} = 0.714 \sqrt{S}$ ,即  $P_{st} = 0.714$ 。闪变检测利用统计排序法得到的  $P_{st} = 0.7135$  与其相对误差为  $0.07\%$ ,满足误差要求<sup>[1,6]</sup>。以实际电网信号代替 Matlab 仿真程序中的模拟信号,即可实现电网信号闪变检测。

电网电压的数据采集使用的是研华公司 PCF-1710 数据采集卡。电网电压经电压互感器电路适配成适合采集卡输入范围的电压值,输出电压为  $5 \text{ V}$ 。

电弧炉、轧钢机等大功率装置的运行会引起电网电压的波动,为了得到比较明显的波动信号,为此进行了模拟实验。电网电压经调压器变换后,再通

过电压互感器电路进行 A/D 转换,利用 VB 和 Matlab 混合编程的电压波动和闪变检测软件,实现检测。数据采集卡采样频率设置为  $400 \text{ Hz}$ 。A 相电网电压、调幅波、瞬时视感度波形如图 6(a)、(b)、(c) 所示(横坐标为采集点数)。

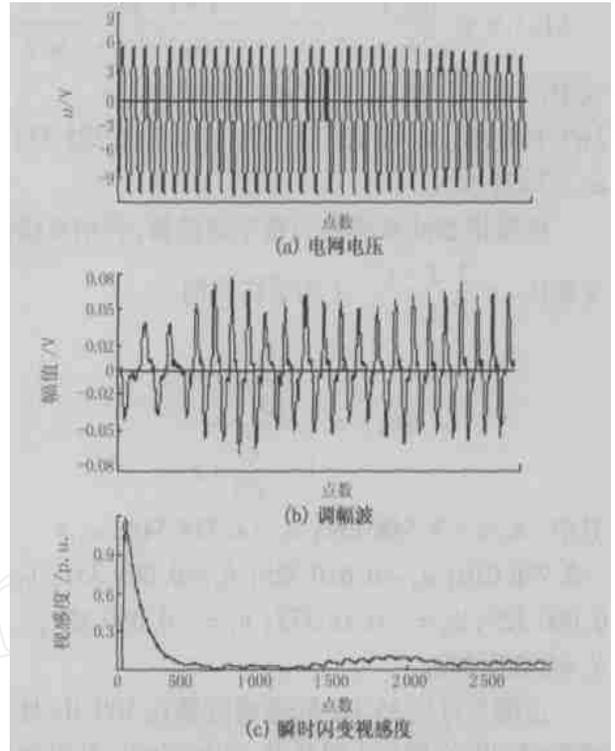


图 6 A 相检测结果

Fig. 6 Result of A-phase measurement

2002 年国标《电能质量 - 电压波动和闪变》(GB12326-2000)对低压电网 ( $U_N = 1 \text{ kV}$ ) 电压波动和闪变的最小限值规定为  $1.25\%$ ,实验中经调压器改变电网电压值,检测得到的调幅波电压波动瞬时值超过了  $0.07 \text{ V}$ 。在足够长时间(至少取  $10 \text{ min}$ )观察电压波动的统计特征值即短时间闪变严重度  $P_{st}$  的值,测得 A 相  $P_{st} = 0.7186 > 0.7$ ,易觉察出闪变。

### 4 结论

文中对电网三相电压进行数据采样,利用 VB 和 Matlab 混合编程技术实现了电压波动和闪变的检测。事实上,对电网的三相电压、电流进行数据采集,并对采样数据进行分析,能够得到各项电能指标,并在此基础上对电网的高次谐波污染、功率因数低下等电能质量问题进行管理,实现对电网的高次谐波、三相不平衡等电能质量参数综合分析。因此,运用 VB 和 Matlab 语言混合编程技术可以开发电能质量检测系统,具有一定的实用价值。

## 参考文献:

- [1] 孙树勤(SUN Shu-qin). 电压波动与闪变(The Fluctuation and Flicker of Voltage) [M]. 北京:中国电力出版社(Beijing: China Electric Power Press), 1998.
- [2] 王世一(WANG Shi-yi). 数字信号处理(Digital Signal Processing) [M]. 北京:北京理工大学出版社(Beijing: Beijing University of Science and Technology Press), 1997.
- [3] 邹鲲,袁俊泉,龚享铤(ZOU Kun, YUAN Jun-quan, GONG Xiang-yi). MATLAB 6. x 信号处理(MATLAB 6. x Signal Processing) [M]. 北京:清华大学出版社(Beijing: Tsinghua University Press), 2002.
- [4] 刘志俭,潘献飞,连军想(LIU Zhi-jian, PAN Xian-fei, LIAN Jun-xiang). MATLAB 外部程序接口 6. x (MATLAB Outer Program Interface 6. x) [M]. 北京:科学出版社(Beijing: Science Press), 2002.
- [5] 朱治松,郭晓丽(ZHU Zhi-song, GUO Xiao-li). VB 与 MATLAB 混合编程探讨(Combining Program of VB and MATLAB Study) [J]. 电子技术应用(Application of Electronic Technique), 2003, (9): 18-19.
- [6] 赵刚,施围,林海雪(ZHAO Gang, SHI Wei, LIN Haixue). 闪变值计算方法的研究(A Study on Calculation of Short Term Flicker Severity) [J]. 电网技术(Power System Technology), 2001, 25(11): 15-18.

收稿日期: 2004-04-01; 修回日期: 2004-06-24

## 作者简介:

郭晓丽(1971 - ),女,硕士研究生,讲师,研究方向为电能质量及运动技术; E-mail: nt - gxl @tom.com

陈劲操(1956 - ),男,教授,从事电力系统及其自动化的科研与教学,研究方向为电力系统远程监控,测试仪表设计。

## Combining VB with Matlab programming technology to develop flicker measurement system

GUO Xiao-li<sup>1</sup>, CHEN Jincuo<sup>2</sup>, DU Jun<sup>1</sup>, WU Xiao<sup>1</sup>

(1. Nantong Institute of Technology, Nantong 226007, China; 2. Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

**Abstract:** As an important index to assess the energy quality, voltage flicker reflects the power supply quality more directly and quickly. In this paper, the stages of the voltage fluctuation and flicker are designed based on IEC specification. With Matlab interface technology and the DLL produced in VC++ environment, the combining programming of VB and Matlab is realized. Finally, combining programming measurement software together with data-requiring card and potential transformer circuit complete the measurement of three-phase voltage fluctuation and flicker.

**Key words:** combining programming; Matlab interface technology; DLL; flicker

(上接第 17 页 continued from page 17)

收稿日期: 2004-03-31; 修回日期: 2004-05-09

## 作者简介:

李战鹰(1973 - ),女,博士研究生,研究方向为高压直流输电系统谐波分析及滤波方案的研究; E-mail: lzhanying @

163.net

任震(1938 - ),男,教授,博士生导师,国务院学位委员会电工学科评议组成员,IEEE高级会员,研究方向为电力系统可靠性、电力市场、高压直流输电、小波分析、无功优化等。

## DC side harmonic analysis and filter scheme design using the three-pulse model in HVDC system

LI Zhan-ying, REN Zhen

(South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** Measurements of the harmonics on the DC side in many HVDC projects have disclosed that considerable discrepancies exist between the results obtained with the traditional six-pulse model and the one on the spot. Thus a new model, three-pulse model, for analysing DC side harmonics is proposed. The real harmonic characteristics of the DC side fully accord with the results of the three-pulse model analysing. This paper presents the characteristic analysis of the three-pulse model as well as the filter scheme design of the DC side.

This project is supported by National Natural Science Foundation of China(No. 50337010).

**Key words:** HVDC; three-pulse model; lumped stray capacitor; DC side harmonics