

# 利用 PSS/E 实现电力系统低频减载控制仿真

谢大鹏, 王晓茹, 张薇

(西南交通大学电气工程学院, 四川 成都 610031)

**摘要:** 随着电力科学的不断进步、电力技术的不断提高以及新的设备和装置的投入使用, 虽然 PSS/E 软件提供了许多标准及非标准模型, 但是仍然无法满足系统仿真的需要, 因此有必要对 PSS/E 进行自定义模型的研究。阐述了 PSS/E 软件中自定义模型的应用, 深入分析了自适应低频减载的基本原理。在 PSS/E 软件上应用 FLECS 语言建立了具有自适应低频减载功能的自定义模型。并通过 IEEE3 机测试系统, 仿真实现了一种自适应低频减载方案, 并与传统减载方案进行了分析比较。结果表明新的减载模型定义准确, 自适应方案与传统方案相比具有减载准确、迅速、频率恢复较快等优点。

**关键词:** 自定义模型; 低频减载; 频率动态仿真; PSS/E

## Realization of power system under-frequency load shedding control simulation with PSS/E

XIE Da-peng, WANG Xiao-ru, ZHANG Wei

(School of Electrical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

**Abstract:** Along with the progress of power science, the improvement of power technology and the use of new equipments and facilities, although the PSS/E software has supplied many standard and nonstandard models, it still can not satisfy the needs of system simulation. So, it is necessary to research user-defined model in PSS/E. In this paper, the application of user-defined model in PSS/E is introduced, and the basic principle of adaptive under-frequency load shedding (AUFLS) is deeply analyzed. The user-defined model with AUFLS ability is built with FLECS language in PSS/E. Through IEEE 3-generator test system, the AUFLS scheme is simulated and accomplished, and is compared with traditional UFLS scheme. The results show that the new load shedding model is accurately defined. And in comparison to the traditional UFLS scheme, the AUFLS scheme has advantages of more accurate and rapid load shedding, and quick frequency recovery.

**Key words:** User-defined model; Under-frequency load shedding; Frequency dynamic simulation; PSS/E

中图分类号: TM743; TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)01-0071-05

## 0 引言

PSS/E (Power System Simulator for Engineering) 软件主要的分析计算功能包括潮流计算、优化潮流计算、动态仿真、故障分析、小扰动稳定性分析、负荷建模等。可处理各种对称故障、不对称故障、非全相运行、相继动作以及上述多重组合故障的分析计算; 可处理全线及非全线零序互感、可以对孤立系统进行处理, 可进行交、直流混合仿真计算。

虽然 PSS/E 的模型库非常丰富, 但是对于科研和实际工作来讲, PSS/E 仍然无法为用户提供所需要的所有模型<sup>[1-3]</sup>。为了解决上述问题, PSS/E 允许用户自定义自己所需要的各种模型, 以满足用户研

究和工作中所能遇到各种的模型的需求。

电力系统已步入大电网、高电压和大机组的时代<sup>[4]</sup>, 随着电力系统日趋庞大和复杂, 电力系统的发展面临着机遇和挑战, 对大型电力系统的安全稳定运行的要求也越来越高<sup>[5]</sup>。电力系统稳定是电网安全运行的关键, 一旦遭到破坏, 必将造成巨大的经济损失和灾难性的后果。低频减载是最早被采用的频率稳定控制方法, 目前仍是安全稳定运行的最后一道防线<sup>[6,7]</sup>。作为最后的补救措施, 低频减载装置能够有效地阻止系统频率下降, 防止系统频率崩溃。

在电力系统低频减载技术研究中, 需要仿真研究低频减载方案的有效性。PSS/E 虽然提供了一定数目的低频减载模块, 但它们主要是基于传统的低频减载方案。为了实现自适应低频减载功能, 就需要通过自定义建模的方法将自适应低频减载模型加

基金项目: 国家自然科学基金重大研究计划面上项目 (90610026); 四川省应用基础研究项目 (2006J13-111)

入 PSS/E 动态仿真模型中。

文献[8~10]对 PSS/E 软件的二次开发、自定义模型等高级功能做了一定应用,但并未进行深入研究。本文详细阐述了 PSS/E 软件中自定义模型的原理、方法及应用,建立了具有自适应低频减载功能的自定义模型。在 IEEE3 机测试系统上,仿真实现了自适应低频减载方案。

## 1 PSS/E 仿真软件概述

### 1.1 PSS/E 仿真软件主体结构

PSS/E 程序的动态仿真就是通常所指的机电暂态仿真包含了多种直流输电系统模型,最大仿真规模达到 150 000 条母线、33 050 台发电机、50 条两端直流输电线路和 20 条多端直流输电线路。

PSS/E 动态仿真有两种主要的方式,一是常规的动态仿真,二是扩展动态仿真。常规的动态仿真关心大扰动发生几秒后的系统行为,通常关心第一、第二摇摆周期内发电机组的功角稳定问题。在这个过程中,视机械功率为恒定值。扩展动态仿真为解决中长期的动态仿真问题而引入。用于分析系统在受到干扰后几十秒到数十分钟的系统行为。采用梯形积分法实现了短期和长期动态仿真的统一,其仿真模式(普通模式,中间步长模式,大步长模式)由积分步长来确定。

PSS/E 动态仿真主程序包括数据输入输出、数值积分和网络求解。元件的微分方程包含在模型库子程序中,每个子程序用来计算该元件的时间导数。PSS/E 直接调用其自带的动态模型(如发电机、励磁机、调速机等模型)。对于 PSS/E 的其他模型(如直流模型)由连接子程序 CONEC 和 CONET 调入主程序中。PSS/E 主程序、动态仿真及模型库间的关系如图 1 所示。

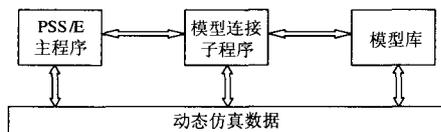


图 1 PSS/E 各模块间关系

Fig. 1 Relationship between PSS/E models

### 1.2 PSS/E 动态仿真数据结构

PSS/E 仿真的数据结构包括一系列与母线及发电机相关的数组,诸如 VOLT(母线电压标么值)、BSFREQ(母线频率偏移的标么值)、PELEC(发电机的电磁功率标么值)等。用户在自定义模型的过程中,可以通过内部的母线或机组标识码来调用这些数组,从而实现自定义模型的输入输出功能;因此

在自定义模型之前熟悉这些数组是非常必要的。

此外, PSS/E 软件还提供了可供模型使用的 4 个大型通用存储数组: CON(常量数组)、ICON(整数变量数组)、VAR(代数变量数组)、STATE(状态变量数组)和 1 个状态变量微分数组(DSTATE)。

## 2 低频减载算法

### 2.1 自适应低频减载的原理<sup>[11]</sup>

为了更好地反映功率缺额的大小,低频减载从最早的按频率偏移切负荷发展到按频率变化率和电压变化率加速切负荷,以及自适应整定的切负荷。

一种自适应低频减载方案是根据电力系统频率响应模型建立。通过这种简单的低阶的系统频率响应模型,可以估计出一个系统在遭受大扰动时的频率变化情况<sup>[11]</sup>。一个孤岛电力系统的频率响应可以近似地用一个频率响应模型来表示,如图 2 所示。

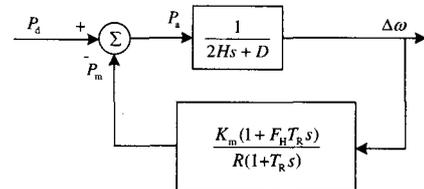


图 2 有扰动时的系统频率响应模型

Fig. 2 System frequency response model

根据这个频率响应模型,可以推出标么值的频率响应为:

$$\Delta\omega = \left( \frac{R\omega_n^2}{DR + K_m} \right) \left( \frac{(1 + T_R s)p_d}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \right) \quad (1)$$

式中: 
$$\omega_n^2 = \frac{DR + K_m}{2HRT_R} \quad (2)$$

$$\zeta = \left( \frac{2HR + (DR + K_m)F_H T_R}{2(DR + K_m)} \right) \omega_n \quad (3)$$

设  $P_d$  的阶跃函数为  $P_{step}$ 。

由式(1)可得:

$$\Delta\omega(t) = \frac{RP_{step}}{DR + K_m} [1 + \alpha e^{-\zeta\omega_n t} \sin(\omega_t t + \Phi)] \quad (4)$$

式中: 
$$\alpha = \sqrt{\frac{1 - 2T_R \zeta \omega_n + T_R^2 \omega_n^2}{1 - \zeta^2}} \quad (5)$$

$$\omega_t = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} \quad (6)$$

$$\Phi = \Phi_1 - \Phi_2 = \tan^{-1}\left(\frac{\omega T_R}{1 - \omega^2 T_R^2}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{1 - \zeta^2}}{-\zeta}\right) \quad (7)$$

$$k_m = F_p(1 - f_{SR}) \quad (8)$$

$P_{step}$  为系统扰动引起的功率缺额;  $H$  为发电机的惯性常数;  $D$  为负荷阻尼常数;  $R$  为静调差系数;  $T_R$  为中间再热蒸汽容积效应时间常数;  $F_H$  为高压缸稳态输出功率占总输出功率的百分比;  $F_p$  为功率因数;  $f_{SR}$  为旋转备用容量与总容量的比值。

由式(4)可得:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{\alpha\omega_n R P_{step}}{DR + K_m} e^{-\zeta\omega_n t} \sin(\omega_n t + \Phi_1) \quad (9)$$

由式(9)可得:

1) 系统的初始频率变化率与扰动之间的关系(即发电机的摇摆方程), 据此估计出扰动的大小。

当  $t=0$  时,

$$\left.\frac{d\omega}{dt}\right|_{t=0} = \frac{P_{step}}{2H} \quad (10)$$

2) 在何时, 系统频率变化率为 0。此时, 系统频率下降到最低点。

当  $\frac{d\omega}{dt} = 0$  时,

$$0 = \frac{\alpha\omega_n R P_{step}}{DR + K_m} e^{-\zeta\omega_n t} \sin(\omega_n t + \Phi_1) \quad (11)$$

设式(11)的解为  $t_x$ , 则可得:

$$t_x = \frac{n\pi - \Phi_1}{\omega_n} = \frac{1}{\omega_n} \tan^{-1}\left(\frac{\omega_n T_R}{\zeta\omega_n T_R - 1}\right) \quad (12)$$

进而, 将  $t_x$  代入式(4), 就可以推出系统频率降低到危险频率之前所允许的最大扰动  $P_{max允许}$ 。即:

$$P_{max允许} = \frac{(DR + K_m)\Delta\omega}{R[1 + \alpha e^{-\zeta\omega_n t_x} \sin(\omega_n t_x + \Phi)]} \quad (13)$$

以确定应该减多少负荷能有效防止频率降到危险频率以下。因为低频减载方案要在维持系统运行的条件下, 尽可能少地减载负荷, 所以减载量为:

$$P_{shed} = P_{step} - P_{max允许} \quad (14)$$

虽然不同位置测量频率变化率会有少许不同, 但因为整个系统中分布有许多低频减载装置, 它们测量的平均值能够比较正确地反映系统频率变化率。

自适应法可以相对准确地根据系统频率变化情况决定切负荷量, 对系统的低频减载性能有了较大的改善, 有利于维持系统的频率稳定。

## 2.2 自适应低频减载算法<sup>[12]</sup>

在这里采用首轮切负荷的频率为 59.5 Hz。设系统遇扰动后最低的危险频率不应低于 58 Hz。根据频率及频率变化率决定切负荷量的整定值。

考虑到低频减载继电器实际的时延因素, 这里取由式(14)计算值的 105% 作为估计出的扰动大小。

最后, 由自适应低频减载方案确定的总减载量  $P'_{shed}$  为:

$$P'_{shed} = P_{shed} \times 105\% = (P_{step} - P_{max允许}) \times 105\% \quad (15)$$

## 3 PSS/E 中自定义低频减载模型的建立

### 3.1 建立自定义模型的主要步骤

在 PSS/E 中建立自定义模型的主要步骤如下:

1) 确定模型的传递框图或模型所使用的微分及代数方程。

2) 识别与模型相关的状态变量, 写出所需微分方程。

3) 识别模型输入所需的量。

4) 根据模型需要, 在 CON、ICON、VAR、STATE 及 DSTATE 数组中分配位置及数量。

5) 用 FORTRAN 或者 FLECS(扩展的 FORTRAN) 语言编写模型程序。

对于传统方案, PSS/E 自带了可实现传统低频减载方案的低频减载模型。对于自适应方案, 则需要自定义低频减载模型。

### 3.2 自定义模型的建立

根据确定的减载方案, 可以知道减载是依据频率  $f$  和频率的变化率  $df/dt$  来判断何时进行切负荷动作。然后需要确定自定义模型所使用的常量数组(CON)、整数变量数组(ICON)、代数变量数组(VAR)、状态变量数组(STATE)的个数。

根据所使用各个数组元素的个数, 用 FORTRAN 或 FLECS 语言将减载方案写成程序代码。

根据写好的程序入口及程序在各个数组中所使用元素的个数, 在动态文件中添加调用自定义模型的代码。然后由动态文件生成 CONEC、CONET 及用来编译的批处理文件 COMPILE.BAT。用 COMPILE 文件编译 CONEC、CONET 和写好的自定义程序源码, 生成 OBJ 文件。再使用 cload4 或 cload5 批处理程序连接生成 OBJ 文件, 生成所需的 DSUSR.DLL 文件。动态链接库 DSUSR.DLL 就包含了我们自定义的低频减载模型。最后在仿真中加载生成的 DSUSR.DLL 文件, 通过调用自定义模型就可以进行动态仿真了。其流程图如图 3 所示。

值得注意的是,在编写自定义低频减载模型的程序时,我们除了需要考虑减载方案以外,还需要考虑以下几个因素:

1) 低频减载方案中延时功能的实现。在实施低频减载操作的过程中,考虑频率测量、断路器实际响应时间和减载装置本身的时延等因素,需要在自定义低频减载的程序中加入提供延时功能的子函数。

2) 自定义程序中变量的初始化。程序在仿真迭代过程中需要保持的变量,按需要分配在4个大型通用数组中。它们的初始化工作一定要在标志MODE=1的状态下完成,否则PSS/E在动态仿真时,每次迭代计算都会将其进行初始化。

3) 减负荷操作。当程序进行减负荷操作时,除了按需要对TPLOAD和TQLOAD进行减载操作外,还需要考虑负荷的改变对PSS/E迭代计算的影响。因此自定义程序需要将负荷改变带来的差别注入到CURNT序列中。这可以通过注入负荷改变所引起的增量;或者首先抵消CURNT中的标准注入,再将新的负荷模型注入到CURNT序列中。

4) 频率变化率的测量。由于PSS/E程序的动态仿真是在时间步长STEP的基础上进行迭代求解,因此不仅需要在时间步长的基础上测量频率变化率,还需要考虑到频率变化率变化的连续性与平滑性。

5) 如果需要模型在扩展动态仿真中运行,那么还需要在代码中写出自定义模型的Z变换形式。在扩展动态仿真中,PSS/E提供了放置Z状态变量的STORE数组供模型使用。用户需要给出Z状态变量的初始化表达式、输出表达式。由于扩展动态仿真允许变步长仿真,因此还需要给出当步长改变时,相应的STORE的表达式。

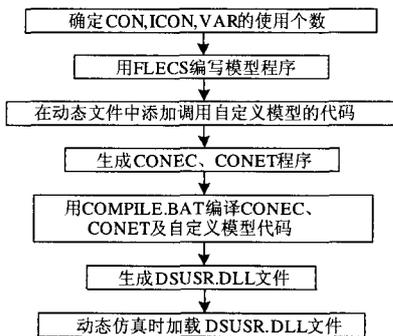


图3 自定义低频减载模型流程图

Fig. 3 Flow chart of user-defined under-frequency load shedding model

把上面的因素考虑进去以后,就可以成功地写

出既符合我们低频减载要求又符合PSS/E动态仿真程序要求的自定义模型。

### 4 自适应低频减载方案及仿真结果

#### 4.1 自适应低频减载方案

采用的不同轮次自适应低频减载方案如表1所示:

表1 自适应法切负荷方案

轮数	频率/Hz	切应切负荷量 $P_{shed}$ 的百分数			延时/s
		方案一	方案二	方案三	
1	59.5	50%	50%	30%	0.1
2	59.2	16.6%	30%	25%	0.1
3	58.9	16.6%	25%	25%	0.1
4	58.6	16.6%	-	25%	0.1
5	58.3	5%	-	-	0.1
总减载量		105%			

为了进行仿真对比,采用的传统低频减载方案如表2所示<sup>[13]</sup>:

表2 传统法切负荷方案

Tab. 2 Traditional under-frequency load shedding scheme

轮数	频率/Hz	切负荷量/(%)	延时/s
1	59.5	3.33	0.1
2	59.4	3.33	0.1
3	58.3	3.33	0.1
4	59.1	5	0.1
5	59.0	5	0.1
6	58.9	5	0.1
总减载量		25	

#### 4.2 仿真结果

仿真试验利用了IEEE的3机9母线测试系统。

自适应低频减载方案和传统低频减载方案时的系统频率变化如图4所示。

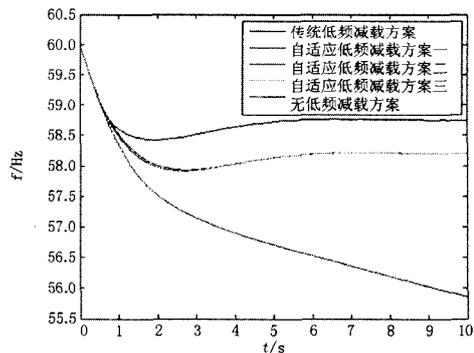


图4 传统低频减载方案与自适应减载方案的比较

Fig. 4 Comparison among traditional under-frequency load shedding scheme and adaptive under-frequency load shedding schemes

不同低频减载方案的切负荷量如表 3 所示。

表 3 不同切负荷方案的减载量比较

Tab. 3 Comparison among different load shedding schemes

轮次	传统方案	自适应方案 —	自适应方 案二	自适应方 案三
1	19.36 MW	36.43 MW	36.43 MW	21.86 MW
2	19.36 MW	12.14 MW	21.86	18.22 MW
3	19.36 MW	12.14 MW	18.22 MW	18.22 MW
4	29.04 MW	12.14 MW	-	18.22 MW
5	29.04 MW	3.64 MW	-	-
6	29.04 MW	-	-	-
总减载量	145.2 MW	76.5 <sub>3</sub> MW	76.5 MW	76.5 MW

从图 4 中可以看出, 自适应减载方案实施后的系统频率最低点被有效地控制在 58 Hz, 达到了预期目的。它与传统方案相比, 在抑制系统频率下降的同时能够有效地控制切负荷量。通过仿真可以看出, 只要减载总量一致, 不同轮次的减载方案最终减载效果相差不多; 并且在开始尽可能多地切除负荷能够有效地抑制系统频率下降。其中, 自适应方案二的减载效果稍好。

这说明自适应法在系统遭受不同扰动的情况下, 能够有效地控制切负荷量, 使系统频率恢复得更好。自适应低频减载方案在故障后系统频率恢复方面有明显优势。

## 5 结论

(1) 通过应用 FLECS 语言在 PSS/E 软件上实现了新的自定义低频减载模型, 为研究新的低频减载算法、在 PSS/E 平台上验证新的低频减载方案提供了一种有效的检验手段。

(2) 通过对 IEEE3 机测试系统的仿真实验, 结果表明新的自定义低频减载模型编写正确, 以及自适应减载方案具有减载准确、频率恢复快速等特点。

(3) 由于 PSS/E 软件功能强大、使用复杂、国内应用范围较小、相关资料较少等原因, 所以对 PSS/E 许多高级功能(如 IPLAN 语言、程序的 API 接口、自定义模型等)的开发和利用难度较大。通过本文工作, 有利于今后 PSS/E 软件高级功能的进一步开发和利用。

(4) 自适应低频减载方案与传统低频减载方案相比, 在各种故障情况下均能有效控制切负荷量, 有利于系统频率恢复。

## 参考文献

[1] PSS/E Online Documentation - Program Operation manual[Z]. America: PTI Inc., Aug., 2004.  
[2] PSS/E Online Documentation - Program Application Guide[Z]. America: PTI Inc., 2004.

[3] PSS/E Online Documentation-PSS/E for Windows[Z]. America: PTI Inc., 2004.  
[4] 王梅义, 吴竟昌, 蒙定中. 大电网系统技术[M]. 北京:中国电力出版社, 1995.  
[5] 袁季修. 电力系统安全稳定控制[M]. 北京:中国电力出版社, 1996.  
[6] 袁季修. 试论防止电力系统大面积停电的紧急控制——电力系统安全稳定运行的第三道防线[J]. 电网技术, 1999, 23(4): 1-4.  
YUAN Ji-xiu. Emergency Control for Preventing Widespread Blackout of Power System - the Third Line of Defence[J]. Power System Technology, 1999, 23(4): 1-4.  
[7] 杨博, 解大, 陈陈, 等. 电力系统低频减载的现状和应用[J]. 华东电力, 2002, (9): 14-18.  
YANG Bo, XIE Da, CHEN Chen, et al. Power System UFLS the Sstatus and Application[J]. East China Power, 2002, (9): 14-18.  
[8] 任雷, 徐蔚, 徐政. 基于 PSS/E 潮流数据的电力系统潮流图生成系统[J]. 华东电力, 2007, 35(6): 15-17.  
REN Lei, XU Wei, XU Zheng. Power Flow Diagram Generating Systems Based on PSS/E Power Flow Data[J]. East China Power, 2007, 35(6): 15-17.  
[9] 常勇, 徐政. 电力系统仿真软件 PSS/E 中柔性直流输电系统模型及其仿真研究[J]. 电网技术, 2007, 31(8): 37-41.  
CHANG Yong, XU Zheng. VSC-HVDC Models of PSS/E and Their Applicability in Simulations[J]. Power System Technology, 2007, 31(8): 37-41.  
[10] 陈琰, 黄志龙. PSS/E 中自定义 AGC 模型在频率动态仿真中的实现[J]. 华东电力, 2006, 34(8): 107-110.  
CHEN Yan, HUANG Zhi-long. Application of Self-defined AGC Models to Frequency Dynamic Simulation in PSS/E Software[J]. East China Electric Power, 2006, 34(8): 107-110.  
[11] Anderson P M, Mirheydar M. A low-order System Frequency Response Model [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1990, 5(3): 720-729.  
[12] Anderson P M, Mirheydar M. An Adaptive Method for Setting Underfrequency Load Shedding Relays[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1992, 7(2): 647-655.  
[13] Delfino B, Massucco S, Morini A et al. Implementation and Comparison of Different under Frequency Load-shedding Schemes[A]. In: Power Engineering Society Summer Meeting, IEEE[C]. 2001. 307-312.  
[14] Terzija V V. Adaptive Underfrequency Load Shedding Based on the Magnitude of the Disturbance Estimation[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2006, 21(3): 1260-1266.  
[15] Larsson M. An Adaptive Predictive Approach to Emergency Frequency Control in Electric Power Systems[A]. In: IEEE Conference on Decision and Control, IEEE[C]. 2005. 4434-4439.

(下转第 82 页 continued on page 82)

```
myNetworkStream = tcpClient.GetStream()
```

### 2.2.2 客户机软件设计

客户机中要定义 TcpClient 变量和 NetworkStream 变量, TcpClient 变量和 TcpListener 变量配合使用。同时, 用户要设定 TcpClient 变量中的端口号和服务机名, 端口号与服务机的端口号一致, 服务机名使用服务机 IP。此两值都在程序运行时由用户输入。将此两值赋给 TcpClient 变量。TcpClient 变量发出联机请求, 当联机成功, 为客户机的 NetworkStream 变量赋值, 以备下一步实际接收信息时使用。此过程的源代码如下:

```
Dim strHostName As String = TextBoxhostname.Text
Dim inPort As Integer = Integer.Parse(TextBoxport.Text)
myTcpclient.Connect(strHostName, inPort)
.....
myNetworkStream = myTcpclient.GetStream()
```

### 2.3 数据传送

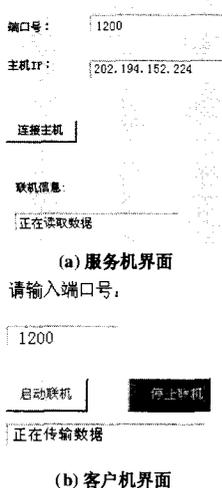


图5 网络传输部分服务机及客户机界面

Fig.5 Interface of network transferring

建立联机后, 服务机以网络数据流为载体, 将打包好的数据定时自动传送出去; 相应地, 客户机通过网络数据流不断接收数据, 并将数据分割、处理、显示, 分割、处理、显示的方法与 1.3.2 所述相同。需要注意, 数据传送是以字节为单位, 服务

机传输前需要对数据进行相应转化; 同样, 客户机接收到数据后也要进行相应转化。

网络传输部分服务机、客户机界面分别如图 5(a)、5(b)。客户机的监控界面与图 3 相同。

### 3 结论

本系统通过 VB.NET 编程, 将串口通讯及局域网通讯结合在了一起。应用西门子 S7-200 型 PLC 作为下位机, 采集变电所数据并通过串行通讯传递至上位微机。上位机与远端建立局域网连接, 作为服务机将变电所数据传送至远端, 实现了变电所运行远程监控。所选 PLC 体积小, 抗干扰能力强, 可采集多路信号, 在现场有广泛的应用。网络传输速度快, 传送距离远, 硬件简单, 成本低, 可扩展性强。系统在较简单的硬件连接方式下实现了数据的远程精确监控。

### 参考文献

[1] 胡学林. 可编程控制器教程(基础篇)[M]. 第一版. 北京: 电子工业出版社, 2003: 86-147.  
[2] 郭春春, 贺贵明, 陈明榜, 等. 基于 VB6.0 的西门子 PLC 与 PC 的通信实现微机监控[J]. PLC 控制与工厂自动化, 2004, 19(8): 71-74.  
GUO Chun-chun, HE Gui-ming, CHEN Ming-bang, et al. Supervision Function of Computerized of Communication Between SIEMENS PLC and PC Based on VB6.0[J]. PLC&FA. 2004, 19(8): 71-74.  
[3] 鲁俊生, 张昕. Visual Basic.NET 程序设计实用教程[M]. 第一版. 北京: 科学出版社, 2003: 42-162.  
[4] 吕文达. 精通 Visual Basic.NET 网络与输入/输出技术[M]. 第一版. 北京: 清华大学出版社, 2005: 199-219.  
[5] 徐高潮, 胡亮, 付晓东. 计算机网络(第一版)[M]. 长春: 吉林大学出版社, 2002: 292-297.

收稿日期: 2008-03-09; 修回日期: 2008-04-10  
作者简介:

刘承绪(1985-), 男, 硕士, 研究方向为数据监控与通讯; E-mail: 13811623987@139.com

孙巍(1983-), 男, 学士, 研究方向为变电所监控技术。

(上接第 75 页 continued from page 75)

收稿日期: 2008-02-29; 修回日期: 2008-04-11

作者简介:

谢大鹏(1980-), 男, 硕士研究生, 从事电力系统频率稳定控制方面的研究; E-mail: dpxie@mars.swjtu.edu.cn

王晓茹(1962-), 女, 教授, 博士生导师, 主要从事电力系统保护与安全稳定控制, 变电站自动化技术方面的研究;

张薇(1981-), 女, 硕士研究生, 从事电力系统频率稳定控制方面的研究。