

[文章编号] 1002-3410(2002)02-0027-05

一种新型电力监控系统的研究

闫治安, 何志明, 徐家燕

(西安交通大学 电气工程学院 陕西 西安 710049)

[摘要] 从工业自动化领域几种典型的现场总线出发,研究了LON总线的技术概况。并设计了一套采用LON总线的全分布式监控系统,用于监控电网的状态,系统采用了最小二乘方滤波。经过实验表明该设计方案是可行的。

[关键词] LON总线; Lonworks技术; 电力监控系统; 最小二乘方滤波

[中图分类号] TP336 [文献标识码] A

现场总线是新型自动化系统,又是低带宽的底层控制网络。从本世纪80年代以来,相继出现了一些有影响的现场总线标准。如PROFIBUS总线、CAN总线、HART总线、LON等总线。每一种总线均有自己的技术规范、通信协议和较理想的应用领域。其中LON总线被誉为通用控制网络,广泛地应用在工业、楼宇、家庭、能源等自动化领域。相比之下,LON总线面向对象的网络编程使得它比其它现场总线更具优越性。

1 Lonworks技术和LON总线

Lonworks技术的核心是Neuron(神经元)芯片^[1]。它既是LON总线的通信处理器,同时也可作为采集和控制的通用处理器,内含3个8位CPU,第1个CPU为介质访问控制处理器,实现LonTalk协议的第1层和第2层,第2个CPU为网络处理器,实现LonTalk协议的第3层到第6层,第3个CPU为应用处理器,实现LonTalk协议的第7层,执行用户编写的代码及用户代码所调用的操作系统服务。

Lonworks技术采用LonTalk通信协议^[1],该协议遵循ISO/OSI全部7层模型,是直接面向对象的网络协议。这是以往的现场总线所不支持的。具体实现就是采用网络变量这一形式,网络编程就是给变量赋值,通过各个节点上网络变量的互相连接即可实现数据的传递。Neuron芯片的编程语言是Neuron C^[1],它是从ANSI C派生出来的,扩展了一些新的功能,是一种面向对象的编程语言,支持ANSI C的定义类型、枚举类型、数组类型、指针类型、结构类型和联合类型,扩展的功能包括:定时器、网络变量、显式报文、多任务调度、EEPROM变量和其它多种功能。

2 采用LON总线的电力监控系统

2.1 系统硬件组态

本系统的硬件采用模块化设计的方案,每一个模块就是一个完整的功能单元,所有的模块组成一个完整的系统,而且可以根据不同的需要选取不同的模块,就可以实现不同的测控功能。而模块本身的变化是在采用不同通信方式时重新绑定网络变量。同时预留了许多功能接口,以适应不同的功能要求。系统由控制中心、中继节点、FTU(现场终端单元)节点组成,系统内共有125个FTU节点,系统的总体框图如图1所示。

在系统中,中继节点的可靠运行相当重要,如果它发生故障,将影响整个系统的正常工作,因此采用了双机备份工作的设计方案。如果备份中继节点检测到正在运行的中继节点发生故障,备份中继节点马上转到工作状态并向主控中心发送原中继节点坏的信息,故障中继节点的替换者为新的备份中继节

点。

由于分布在现场的 FTU 数量很大 ,而且离控制中心的距离大都比较大 ,已经很难用双绞线满足通信的要求 ,同时采用双绞线通信 ,要架设专用的线路 ,成本和 维护费用都比较高 ;况且在现场 ,如架设专用的线路 ,将对现有设备和环境重新构建 ,施工也相当不经济。这时如采用一个中继节点 ,中继节点与 FTU 节点之间利用电力线载波通信技术^[2] ,就可以实现远距离通信。当高频信号通过配电变压器时将会有很大的衰减 ,在配电变压器侧设置中继节点 ,中继节点与主控中心的计算机通过双绞线实现通信。中继节点的组成参照图 2 ,不包括采集和输出信号部分。

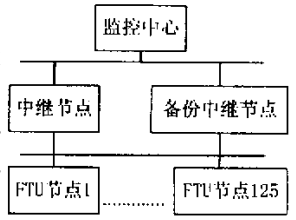


图 1 系统总体框图

本系统中 ,FTU 的主处理器是神经元芯片 MC143150 ,不采用 A/D 变换而采用 V/F 变换。FTU 中有 4 路模拟量输入模块(AI)、2 路数字量输入模块(DI)、2 路数字量输出模块(DO) ,这些模块均为分离的 可在线更换的功能单元。4 路 AI 用于测量两相电压、电流 ;一路 DI 用于低电压检测 ,另一路用于检测电力线路上的开关状态 ;2 路 DO 分别用于控制开关的分闸、合闸。FTU 节点的组成如图 2 所示 ,其中电力线收发器为 PLT-21 电力线收发器 ,网络通信速率为 5Kbps。为了减小 FTU 对控制中心的依赖性 ,采取功能尽量下放的设计思路 ,这样可以减小监控中心微机的负担 ,使它可以监控更多的节点。

控制中心采用工控机 ,操作系统为 Windows NT ,配以相应的信息管理软件 ,再加上一些硬件接口就可以构成一个完整的监控中心。设置的功能项有 :监控所有 FTU、显示系统的物理地图、存储历史数据、打印和报警等。

注 :虚线框内是为方便现场收集数据和维护设备预留的接口。

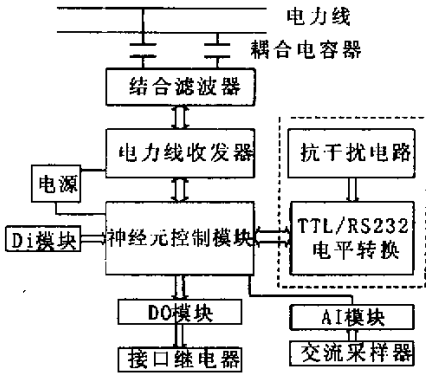


图 2 FTU 节点框图

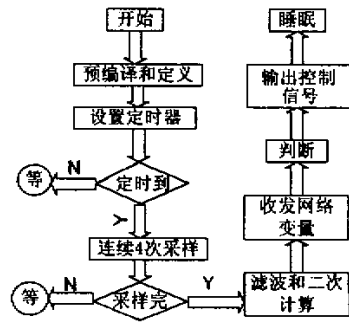


图 3 FTU 节点程序流程

2.2 系统软件组态

在本系统中采用软件数字滤波技术 ,并采用最小二乘滤波算法 ,经过离线仿真 ,设计了一种定常系数数字滤波器。选用 Neuron 芯片的 IO4—IO7 四个通道 ,利用这四个通道的捕获特性测量‘Period’型输入信号 ,可通过如下的语句实现一次采样 :

```

IO_4 input period mux clock( 0 ) io4_vf_t ;四路复用时钟。
io_select( IO_4 ) ;选时钟为 IO4 用。
io_update_occure( io4_vf_t ) ;完成一次采样。

```

另外 ,为了消除开关量信号的干扰 ,在程序中采用了多次连续测量来排除错误信号。控制对象是开关 ,为了防止误动作 ,分、合闸信号分别输出。程序流程如图 3 所示。中继节点的程序结构较简单 ,流程图从略。FTU 和中继节点均采用结构型网络变量 ,并在这些网络变量中定义了相应的节点号(为一个 8 位二进制整型数) ,节点通过它来判断是否是发给自己的数据和命令。网络变量定义与普通的 C 变量定义方法一样 ,只是要加上关键字 network。通过 LON 网络管理器把一节点的输出型网络变量与另外节点的输入型网络变量捆绑(只能是输出型和输入型相绑) ,可以是一对一 ,也可以是一对多。捆在一起

的变量的类型必须一致(如都为浮点型网络变量)。

2.3 最小二乘方滤波算法

最小二乘方算法是将输入的暂态电气量与一个预设的含有非周期分量及某些谐波分量的函数按最小二乘方原理进行拟合。从而可求出输入信号中的基频及各种暂态分量的幅值和相角,其原理如下^[3]。首先假定在故障时,输入暂态电流中包含有非周期分量及小于 5 次谐波的各整次倍的谐波。这样,可以将一预设的电流时间函数取为式(1)。

$$i(t) = p_0 e^{-\lambda t} + \sum_{k=1}^k p_k \sin(k\omega_1 t + \theta_k) \tag{1}$$

(1) 式中: p_0 — $t=0$ 时直流分量值; p_k —第 k 次谐波分量的幅值, $k=1, 2, \dots, 5$; λ —等于 $1/\tau$, τ 为直流分量的衰减时间常数; θ_k —第 k 次谐波的相角; ω_1 —基波角频率。

此外,式中的 $e^{-\lambda t}$ 可用泰勒级数展开,取前两项表示 $e^{-\lambda t}$,将式(1)中的正弦项展开,则得出:

$$i(t) = p_0 - p_0 \lambda t + \sum_{k=1}^5 p_k \sin(k\omega_1 t) \cos\theta_k + \sum_{k=1}^5 p_k \cos(k\omega_1 t) \sin\theta_k \tag{2}$$

对 $i(t)$ 的每一个采样值都应满足上式,如果取得 $i(t)$ 的 N 点采样值, $i(t_1), i(t_2), \dots, i(t_n)$, 就得到 N 个方程,用矩阵表示为:

$$\begin{bmatrix} 1 & t_1 & \sin\omega_1 t_1 & \cos\omega_1 t_1 & \dots & \sin 5\omega_1 t_1 & \cos 5\omega_1 t_1 \\ 1 & t_2 & \sin\omega_1 t_2 & \cos\omega_1 t_2 & \dots & \sin 5\omega_1 t_2 & \cos 5\omega_1 t_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & t_n & \sin\omega_1 t_n & \cos\omega_1 t_n & \dots & \sin 5\omega_1 t_n & \cos 5\omega_1 t_n \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} p_0 \\ -p_0 \lambda \\ p_1 \cos\theta_1 \\ p_1 \sin\theta_1 \\ \dots \\ p_5 \cos\theta_5 \\ p_5 \sin\theta_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i(t_1) \\ i(t_2) \\ \dots \\ \dots \\ i(t_n) \end{bmatrix} \tag{3}$$

如果用 $[X]$ 表示(3)式左侧的第二个矩阵,用 $[B]$ 表示 N 个采样值组成的参变数矩阵,用 $[A]$ 表示(3)式左侧的第一个矩阵。 $[A]$ 中的各元素只要参考时间和采样率确定了即可事先离线地算出存入程序中。这样由 12 个未知数组成的 N 个方程式可以用式(4)表示:

$$[A]_{N \times 12} [X]_{12 \times 1} = [B]_{N \times 1} \tag{4}$$

式(4)中有 12 个未知数,则至少需要 12 个采样值,即 $N \geq 12$,如取 $N=12$,则 $[A]$ 为常数方阵,将上式两边均左乘 $[A]^{-1}$,则可解出 $[X]$,即:

$$[X]_{12 \times 1} = [A]_{12 \times 12}^{-1} [B]_{12 \times 1} \tag{5}$$

但一般在应用中常数 $N > 12$,通过扩大数据窗,增大 $[B]$ 的规模来改善精度。这时 $[A]$ 已不再是方阵,则式(4)可以利用伪逆矩阵得出未知数的解如下:

$$[X]_{12 \times 1} = [A]_{N \times 12}^+ [B]_{N \times 1} \tag{6}$$

式中 $[A]^+$ 是 $[A]$ 的伪逆矩阵:

$$[A]^+ = \{ [A] [A]^{-1} [A] \} \tag{7}$$

根据式(6)即可求出 $[X]$ 向量中的所有元素。但通常在实际应用中往往并不需要计算所有的未知数。如对采用二次谐波制动原理的变压器差动保护就只要求计算出基波和二次谐波,因此只需计算 $[A]^+$ 的第 3, 4, 5, 6 行乘,即可得出 $p_1 \cos\theta_1, p_1 \sin\theta_1, p_2 \cos\theta_2, p_2 \sin\theta_2$ 。其中基波和二次谐波的幅值可用下式算出:

$$p_i = (p_i^2 \cos^2 \theta_i + p_i^2 \sin^2 \theta_i)^{1/2} \quad i = 1, 2$$

当应用于阻抗计算时,可以将 X 以电压和电流代入分别计算 $[A]^+$ 的 3, 4 行再乘 $[B]$,即可求出电压,电流的幅值为:

$$\begin{aligned} U_m &= (X_{3u}^2 + X_{4u}^2)^{1/2} & (X_{3u} &= U_m \cos\theta_{3u}, X_{4u} = U_m \sin\theta_{4u}) \\ I_m &= (X_{3i}^2 + X_{4i}^2)^{1/2} & (X_{3i} &= I_m \cos\theta_{3i}, X_{4i} = I_m \sin\theta_{4i}) \end{aligned}$$

从而求出保护安装处至短路点的电阻 R 和电抗 X 分别为：

$$R = \Re_e \frac{U}{I} = \frac{X_{3u}X_{3i} + X_{4u}X_{4i}}{X_{3i}^2 + X_{4i}^2} \quad X = \Im_m \frac{U}{I} = \frac{X_{4u}X_{3i} + X_{3u}X_{4i}}{X_{3i}^2 + X_{4i}^2}$$

假定最小二乘方滤波器的工作点为 50Hz ,即系数矩阵中的基波角频率为 50Hz ,根据采样定理 ,拟合函数(1)式中包含最高可识别谐波分量。因此 ,系数矩阵[A]即是一个正定方阵。系数矩阵[A]必存在逆矩阵。

为了检验基波计算误差与信号频率的关系 ,假设输入一个幅值为单位 1 ,初始角为零的变频信号 ,经定常滤波器滤波 ,计算其滤波后的幅值及初始角 ,计算结果从略。

从计算结果可看到 ,信号幅值为单位 1 ,初始相角为 0 ,频率波动的输入信号经过定常滤波器识别后 ,幅值与相角与实际值均有一定的偏离。

对计算结果进行最小二乘拟合 ,可以得到基波信号的幅值误差与频率的关系符合如下关系：

$$e_p(f) = 0.029136 * f - 1.45665 \tag{8}$$

其中 $e_p(f)$ 为幅值误差 ,单位为百分比 , f 为信号基波频率 ,单位为 Hz。

基波信号的相位误差与频率的关系符合如下规律：

$$e_\theta(f) = 3.595352 * f - 179.77235 \tag{9}$$

其中 e_θ 为相角误差 ,单位为度 , f 为信号基波频率 ,单位为 Hz。

因此 ,只要测得基波信号的频率 ,便可以对计算结果加以修正 ,消除定常滤波器的误差。

通过以上分析可以看出 ,在电网交流信号处理中 ,用 50Hz 的定常最小二乘滤波器代替时变滤波器是完全可行的 ,计算误差也是可以消除的。其精度完全能满足工程的要求。

3 系统实验运行结果分析

该监控系统在 380V 电网上进行实验试运行 ,由于篇幅有限 ,这里只列出了实验数据的一部分 ,如表 1 所示。经过实测 ,对测量数据进行误差分析 ,从以上表中可看出 ,该系统的精度基本上达到了预定的要求(0.3% 左右)。通过实验发现 ,FTU 节点和中继节点的数据始终保持一致 ,所以系统通信是可靠确定的 ,这一点是系统设计的重要技术指标。

表 1 电压测量值及误差分析

信号源电压/V	FTU 所测电压/V	中继节点数据/V	误差/%
379.3	379.50	379.50	0.053
375.1	375.41	375.41	0.083
386.2	385.84	385.84	0.093
388.7	388.06	388.06	0.165
374.1	374.13	374.13	0.008
371.1	371.41	371.41	0.084
376.7	375.88	375.88	0.218
385.1	385.14	385.14	0.010

4 结论

(1)在电力监控领域 ,运用 LonWorks 技术组网使系统组态灵活 ,非常容易扩展系统 ,其中它的电力线收发器使电力线载波通信容易实现 ,成功实现了一个变电站以下馈线的电力载波通信。

(2)成功应用最小二乘方滤波算法 ,所设计的定常最小二乘方滤波器满足系统的技术要求。

[参 考 文 献]

[1] Marcelo L D. Fieldbus Control System[J]. Advances in Instrumentation and Control. 1996 (51):18 - 21.
[2] 陈维千. 电力线载波通道[M]. 北京 水利电力出版社. 1983. 24.
[3] 杨奇逊. 微型机继电保护基础[M]. 北京 水利电力出版社. 1988. 36.

Study of a minitype monitor and control system

YAN Zhi-an, HE Zhi-ming, XU Jia-yan
(Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: From several kinds of typical fieldbus in the industrial automation field, the technical general situation of LON is researched. An all-distributed monitor and control system with LON bus is designed to monitor the state of power-line. Min-Square-Filter is adopted in the system. The design is feasible through experimentation.

Key words: LON bus; LonWorks technology; electrical power monitor and control system; Min-Square-Filter

(上接第 23 页)

Optimal design of the fuzzy reliability for the main shaft of machine tool

LI Ming-xi

(Dept. of Science Research of Huangshi Polytechnic College, Huangshi 435003, China)

Abstract: In view of the lack of consideration for the random and the fuzzy of design parameters in traditional optimal design for the machine tool spindle, the fuzzy reliability is introduced into the process, and then a mathematical model is established in the light of the optimal design theory.

Key words: machine tool spindle; fuzzy reliability; optimal design; mathematical model; stiffness criterion

(上接第 26 页)

Study on map data error and rectification in map digitalization

LI Jun-yi

(Tourism and Environment Science College of Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract: Accuracy of map data is an important sign of map-database quality. This paper discusses the possible data error in the digital production process, and analyzes the source of the data error. The author compares the map data of several scales, and finally discusses the methods of error rectification.

Key words: map; digitalization; error; rectification