

# 基于 CAN 总线和 LabVIEW 的能馈电子负载监控系统

陈雪冰, 郭倩, 马皓\*

(浙江大学 电气工程学院, 浙江 杭州 310027)

**摘要:** 为了实现对电源老化测试的自动控制和实时数据采集, 基于 CAN 总线和 NI 的 LabVIEW 设计了一个能馈电子负载的监控系统。能馈电子负载系统由 8 个柜子共 72 个 3 kW 的电子负载单元组成, 每个负载单元都由 DSP 控制。监控系统由电子负载单元内部的 RS-485 总线、柜子级的 CAN 总线以及系统级的 CAN 总线构成, 并开发了基于 LabVIEW 的上位机人机监控界面。上位机通过三级总线可以和 DSP 通信, 从而控制能馈电子负载系统的启动、停止, 并能按照设定的电流值对电源进行测试, 在测试过程中实时监测电源的状态。实际应用结果表明, 该监控系统实时性好、可靠性高, 取得了很好的控制效果。

**关键词:** 控制器局域网总线; LabVIEW; 能馈电子负载; 监控系统

中图分类号: TP277

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2011)08-0954-06

## Monitor system of energy-feedback electronic load based on CAN bus and LabVIEW

CHEN Xue-bing, GUO Qian, MA Hao

(College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

**Abstract:** In order to realize the automatic control and real-time data acquisition during the burn-in test of the power supplies, a monitor system was designed for the energy-feedback electronic load system with CAN bus and LabVIEW. The energy-feedback electronic load system contains 72 electronic load units with 3 kW which distribute in 8 cabinets. Each unit was controlled by DSP. The monitor system consists of RS-485 buses inside the units, CAN buses of cabinet level and one CAN bus of system level. By means of LabVIEW, a human machine interface (HMI) for monitoring and controlling was developed on PC. With the 3-level buses, the PC can communicate with each DSP and start or stop the whole electronic load system. Furthermore, the output currents of power supplies under testing were set by PC. The monitor system acquires the real-time output voltages and currents of the power supplies during the test. The practical results demonstrate that the monitor system is real-time and reliable. It achieves good performance.

**Key words:** controller area network (CAN) bus; LabVIEW; energy-feedback electronic load; monitor system

## 0 引 言

CAN 网络是一种有效支持分布式控制和实时控制的串行通信网络, 其通信接口中集成了 CAN 协议的物理层和数据链路层功能, 可完成对通信数据的成帧处理, 包括位填充、数据块编码、循环冗余检验、优先级判别等。CAN 总线具有传输距离远、通信速率高、报文短、出错率低等优点, 在生产现场易于实施, 其可靠性和实时性远高于一般的总线通信技术<sup>[1-4]</sup>。

电源老化能源回收系统(也称“能馈式电子负载”)是一种节能老化装置<sup>[5-6]</sup>, 它取代了传统老化设备中的能耗电阻, 在保证测试电源带载老化的同时将测试电源的输出经过电力电子变换后返回到测试电源的输入端, 将测试电源输出的大部分电能回收再利用, 减少整个老化测试过程的能量消耗, 具有很好的节能效果。相对于传统的电阻负载, 能馈式电子负载具有节能、通用、配电简单等优点, 具有很强的应用价值。

针对一套采用 DSP 全数字控制技术的能馈电子负载系统, 本研究设计了一个监控系统。该能馈电子

收稿日期: 2010-12-27

作者简介: 陈雪冰(1985-), 男, 云南昆明人, 主要从事电力电子技术方面的研究. E-mail: 123java@zju.edu.cn

通信联系人: 马皓, 男, 教授, 硕士生导师. E-mail: mahao@cee.zju.edu.cn

负载系统由72个3 kW的电子负载单元构成,能针对不同电压规格电源进行老化测试。监控系统由两级CAN总线和一级的RS-485总线构成,本研究基于NI的LabVIEW开发上位机人机监控界面,实现上位机与DSP之间的通信,实现对电子负载系统的可靠控制。同时,通过上位机的人机界面,可以实时监测测试电源的状态。

## 1 能馈式电子负载系统的构成

### 1.1 能馈电子负载系统的总体结构

为了减少PC电源和服务器电源在老化测试中的电能消耗,本研究设计了一个能馈式电子负载系统用于电源的老化测试。整个能馈电子负载系统由72个3 kW电子负载单元构成,其输入端连接不同的测试电源,输出为50 Hz的220 V交流电,统一并接到测试电源的交流输入端,实现并网回馈能量。为了方便接线和管理,本研究将72个3 kW的电子负载单元放置到8个测试柜中,每个柜子中放置9个3 kW的电子负载单元,分为9层。一个柜子满负荷运行时,其功率为27 kW。整个能馈电子负载系统的结构如图1所示,具有分布式结构的特点。

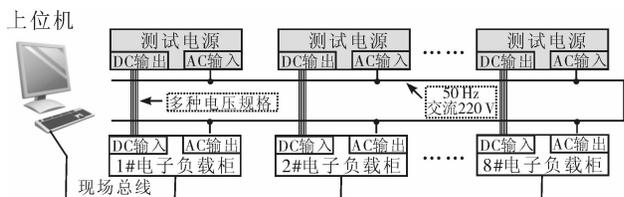


图1 能馈电子负载系统的结构

### 1.2 电子负载单元的结构

一个3 kW单元是同时具备电子负载和能量回馈并网功能的最小单元,它由3级开关变换器级联组成,其架构如图2所示。

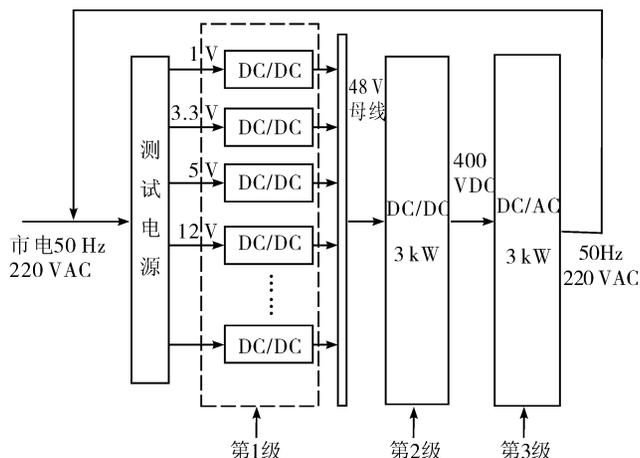


图2 3 kW能馈电子负载单元的构架

3 kW单元的第1级为DC/DC变换器,由并接到48 V母线上的多个变换器模块构成,实现较低的输入电压(有4种输入规格:1 V、3.3 V、5 V、12 V)到48 V的升压,不同的输入电压规格对应不同的变换器模块。在满足3 kW功率容量的情况下,第一级DC/DC模块可以根据测试电源的输出规格进行组合,针对不同的测试电源进行老化测试,具有很强的通用性。每一个DC/DC模块都由DSP控制。

第2级也是DC/DC变换器,它实现48 V到400 V的直流升压变换,由DSP控制,为后级逆变器提供能量基础。第3级为单相并网逆变器,也由DSP控制,它将400 V直流输入转换为50 Hz的220 V交流输出,最终将整个负载单元并接到测试电源的交流输入端(50 Hz的220 V交流市电),实现了能量的循环利用,减少了测试电源老化测试过程中的电能损耗。

一个3 kW单元中各级的变换器模块都分别由TI的DSP—TMS320F2808单独控制,该DSP具备PWM控制和UART串口通信功能。DSP通过PWM控制,实现变换器模块的DC/DC升压或者并网逆变功能,并基于UART串口通信接口通过总线与上位机进行通信。

## 2 能馈电子负载的监控系统硬件设计

能馈电子负载的监控系统由上位机(PC机)、柜子监控器、3 kW负载单元监控器、独立的变换器模块DSP控制器以及CAN总线、RS-485总线构成。监控系统采用三级总线的通讯网络,其中,PC机和柜子监控器构成第1级CAN总线,柜子监控器和单元监控器构成第2级CAN总线,单元监控器和模块的DSP控制器构成单元级的RS-485总线。

柜子监控器同时作为第1级CAN总线的子节点和第2级CAN总线的主节点,负载单元监控器同时作为第2级CAN总线的子节点和单元级RS-485总线的主节点,它们是连接不同总线的桥梁,通过它们实现两层总线上的通信数据交换。下面从电子负载单元级的RS-485总线依次介绍整个监控系统的三级总线。

### 2.1 电子负载单元级监控设计

在一个3 kW负载单元内部构造一个RS-485总线,总线上的节点由一个负载单元监控器和18个变换器模块(其中16个为第1级的DC/DC变换器,另外两个分别为第2级的DC/DC变换器和第3级的并网逆变器)的DSP控制器组成,其中,负载单元监控器为主节点,变换器模块的DSP控制器为从节点。

每个 DSP 控制器都有 UART 接口,经过 RS-485 总线的接口芯片 MAX1483 都能够连接到 RS-485 总线上,波特率设置为 100 kbps。同时,第一级 DC/DC 变换器与测试电源的输出直接相连,通过 DSP 控制器的 A/D 模块采样测试电源的输出电压和输出电流。TMS320F2808 的 A/D 转换精度为 12 位,转换时间约为 100 ns。DSP 控制器在 DC/DC 变换器的每个开关周期(10 μs)都对测试电源的输出电压和输出电流进行采样,当其收到单元监控器发送的“取实时数据”指令时,将当前最新采样的测试电源电压和电流数据传送给单元监控器,实时性较强。

单元监控器采用 Microchip 公司的 PIC24HJ64GP502,其拥有 UART 接口和一个 CAN 控

制器,具备 RS-485 通信和 CAN 通信功能,满足监控系统设计的要求。单元级的 RS-485 总线构成如图 3 所示。

整个 3 kW 电子负载单元由一个单元监控器集中控制,通过它向一个 3 kW 单元中的各个 DSP 控制器发送启动和停止命令,控制电子负载的运行。单元监控器向第 1 级 DC/DC 变换器模块的 DSP 控制器发送老化测试的参数,包括用于判断报警的电压上限、下限以及用于老化测试的拉载电流值。在老化测试过程中,第 1 级 DC/DC 变换器模块的 DSP 控制器还要实时采样测试电源的输出电压和电流,通过 RS-485 总线把数据传送给单元监控器。

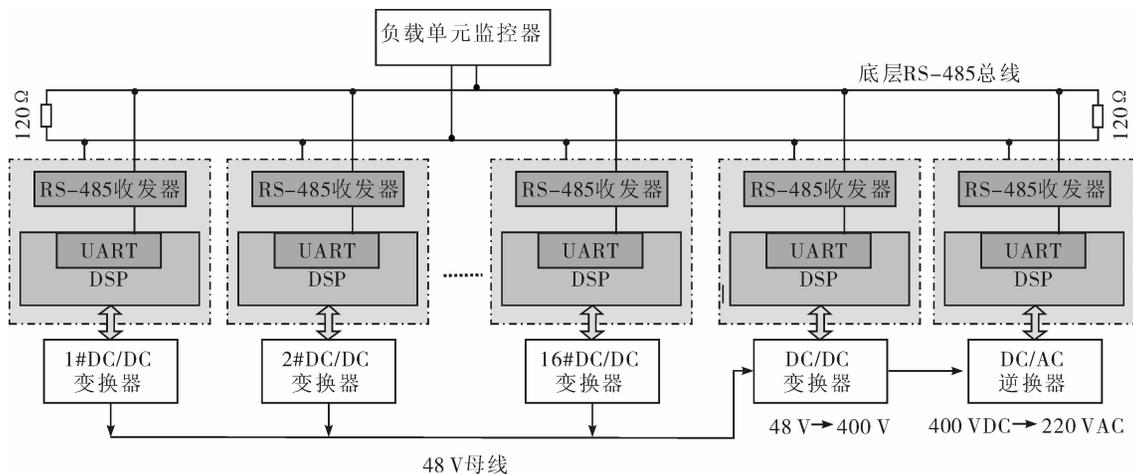


图 3 3 kW 能馈电子负载单元级监控

### 2.2 老化测试柜级监控设计

第 2 级总线位于老化测试柜内,由一个柜子监控器和 9 个负载单元控制器 PIC24HJ64GP502 组成,其中,柜子监控器作为主节点,其余的 9 个负载单元控制器为从节点。由于单元监控器彼此之间有一定的距离,同时,单元监控器与柜子监控器之间传输的实时数据量相对较大,为了增强通信总线数据传输的可靠性和实时性,第 2 级总线采用 CAN 总线结构,其构成如图 4 所示。

柜子监控器采用 Microchip 公司的 dsPIC30F6012A,其内部集成有 2 个 CAN 控制器,经过光耦 6N137 和 CAN 收发器 MCP2551,可以分别连接到 2 个相互独立的 CAN 总线上,实现 CAN 通信功能。通过柜子内部的 CAN 总线,柜子监控器向 9 个负载单元监控器发送老化测试的参数设置以及启动、停止命令。同时,在老化测试的过程中,每个单元监控器把收集到的测试电源实时数据传送给柜子监控器。为了保证总线上数据传输的速率,CAN 总线通信的波特率设

置为 1 Mbps。

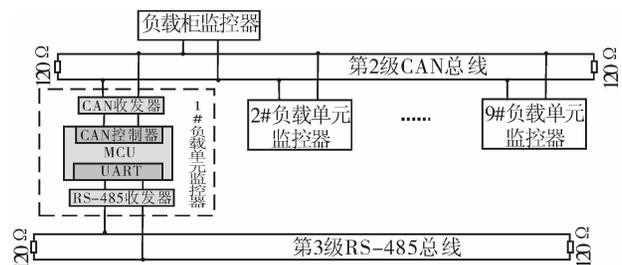


图 4 老化测试柜级监控

### 2.3 能馈电子负载系统级监控设计

整个能馈电子负载系统由 8 个测试柜构成,每个柜子有一个柜子监控器,柜子监控器采用 Microchip 公司的 dsPIC30F6012A。8 个柜子监控器与 PC 机组成 CAN 总线,如图 5 所示,其中 PC 机为主节点,其余的 8 个柜子监控器为从节点。

PC 机不具备 CAN 通信接口,只有通过 PC-CAN 卡拓展上位机的 CAN 通信功能,这里采用了广州致远电子有限公司的 PCI-9820I CAN 接口卡,其 CAN 控制

器采用 NXP 的 SJA1000T, CAN 收发器采用 NXP 的 PCA82C251T, 支持 1 Mbps 的波特率<sup>[7]</sup>。为了保证总线上数据传输的速率, 增强监控的实时性, CAN 总线的波特率设置为 1 Mbps。

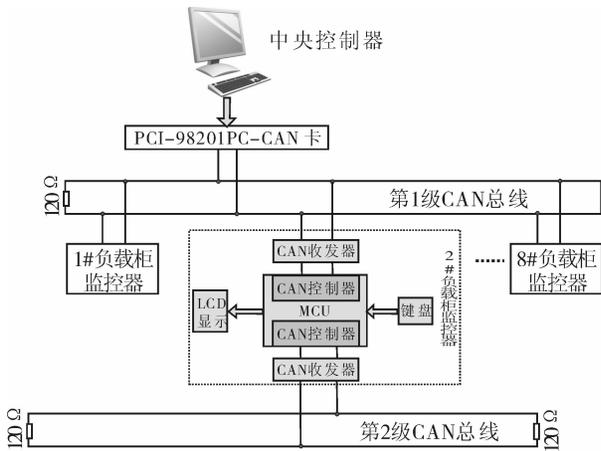


图 5 能馈电子负载级监控

### 3 能馈电子负载的软件设计

#### 3.1 CAN 通信协议

PC 机向柜子监控器发送 5 种指令, 分别为:

- (1) 参数设置(包括电子负载拉载电流、输入电压上限以及输入电流下限);
- (2) 上电自检;
- (3) 启动;
- (4) 取实时数据(测试电源的输出电压和电流);
- (5) 停止。

PC 机向柜子监控器发送数据时, 采用 CAN 通信的标准帧格式, 其标识符为 11 位, 用于表示 8 个柜子的编号。柜子监控器的 CAN 控制器作相应设置, 通过验证标识符接收 PC 发送的数据。CAN 通信的数据帧每帧可以传送 8 个字节的数据, 这 8 字节的第 1 个字节设置为命令符, 用于区分前面提到的 5 种指令。

柜子监控器向 PC 机回复应答时, 也采用 CAN 通信的标准帧格式, 标识符为 11 位, 其中包含柜子编号以及这个柜子中 3 kW 单元编号的信息。CAN 通信数据帧中 8 字节的第 1 个字节设置为 3 kW 单元中的模块编号, 其余 7 字节针对不同指令的应答有不同的设置。这样的 CAN 通信帧设计, 便于 PC 机定位每个变换器模块的回复。

在 PC 机发出的 5 种指令中, 柜子监控器在收到“取实时数据”指令后便能及时向 PC 机发送整个柜子对应的测试电源实时电压和电流数据。其他的 4 个指令从 PC 机发出, 柜子监控器不会立即回复, 而是将指令通过柜子内的第 2 级 CAN 总线和单元级 RS-485 总线往下传送, 变换器模块的 DSP 控制器在收到指令后, 回复单元监控器, 单元监控器再将整个单元的回复传送给柜子监控器。PC 机从发出指令后延时 1 s 向柜子监控器发送“取回复”指令(针对不同的指令, “取回复”指令也不同, 共有 4 种), 柜子监控器收到 PC 机发送的“取回复”指令后, 立即向 PC 机发送 DSP 控制器的应答。

基于上述 CAN 通信协议, PC 机能够实现对能馈电子负载系统的秒级控制, 控制其启动、停止并实时监测测试电源的状态。

#### 3.2 基于 LabVIEW 开发的上位机人机监控界面

LabVIEW 由于能够为用户提供简明、直观、易用的图形编程方式, 由程序框图中节点之间的数据流向决定程序的执行顺序, 能够将繁琐复杂的文本编程简化成图形编程, 用线条将各种功能模块连接起来, 简便高效, 深受用户青睐。与传统的文本编程语言相比, LabVIEW 的图形编程方式能够节省大量的程序开发时间, 其程序运行速度却几乎不受影响, 体现出极高的效率<sup>[8-9]</sup>。

本研究在 PC 机上基于 NI 的 LabVIEW 开发了人机界面(Human Machine Interface), 如图 6 所示, 它由 3 个功能界面和 2 个菜单界面构成。3 个功能界面分别为: 测试电源监测界面、实时数据查询界面和历史报表查询界面; 2 个菜单界面分别为: 系统参数设置界面和机种参数设置界面, 它们实现的功能如图 7 所示。

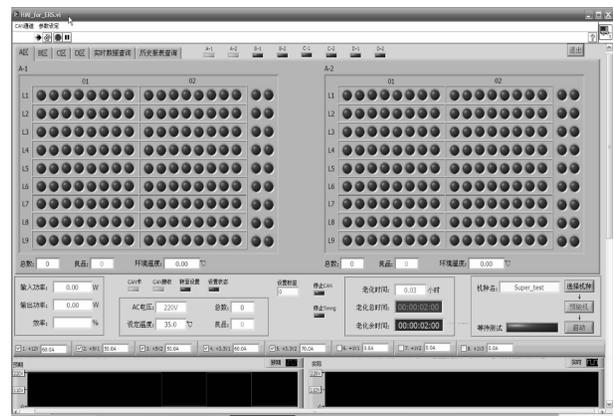


图 6 基于 NI 的 LabVIEW 开发的 HMI

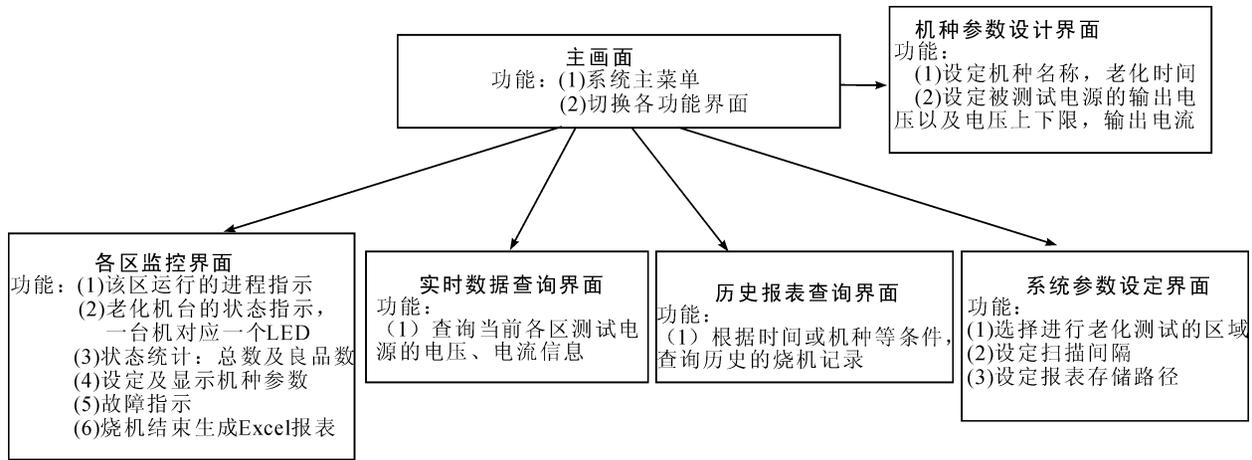


图 7 上位机人机界面功能

### 3.2.1 上位机对能馈电子负载系统的控制

上位机在“机种参数设置界面”设置电源老化测试的参数(包括拉载电流,电压上限和下限)以及能馈电子负载系统在老化测试过程中的 ON/OFF 时序。ON/OFF 时序如图 8 所示。

在启动能馈电子负载系统进行老化测试之前,上位机通过 CAN 总线把测试的参数发送到第 1 级 DC/DC 变换器的 DSP 控制器。

通过点击界面上的“启动”按钮启动整个能馈电子负载系统,它将按照设定的拉载电流值对测试电源进行测试;点击“停止”按钮则可以停止整个电子负载系统,中止老化。系统启动后,其将按照设定的 ON/OFF 时序自动控制系统的启动和停止,直至测试完成。

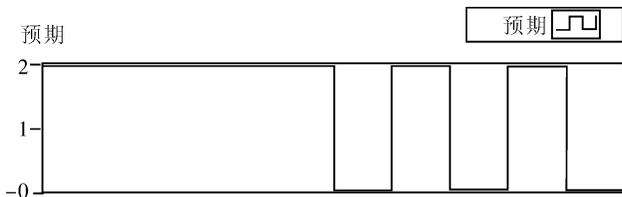


图 8 ON/OFF 时序

### 3.2.2 上位机对测试电源的监测

上位机在“系统参数设置界面”上设置对测试电源进行监测的参数,如:选择进行老化测试的负载柜,PC 机收集测试电源实时数据的时间间隔,以及测试结束后生成的 Excel 报表存储位置。

在老化测试过程中,上位机根据设置的时间间隔,通过 CAN 总线收集第 1 级 DC/DC 变换器的 DSP 控制器采样的测试电源电压和电流数据,从而判断测试电源的运行状态,对有异常的电源能够及时报警显示,方便操作人员定位处理。

测试电源监测界面分成 4 个区 A、B、C、D,每个区对应两个柜子。在监测界面上,一个 LED 指示灯对应

测试电源的一个输出通道。前 16 个 LED 灯指示测试电源的运行状态,“绿色”表示运行正常(包括电压正常),“红色”表示异常(电压异常),“黑色”表示通信中断(没有收集到测试电源的电压和电流数据),“墨绿色”表示没有接测试电源。

### 3.2.3 上位机人机监控界面操作流程

上位机人机监控界面的操作流程如图 9 所示,在完成设置启动能馈电子负载,整老化测试过程将自动进行。在老化测试结束后,上位机能够将老化测试过程存储的实时数据生成 Excel 测试报表,以备后续的产品质量分析和改进。

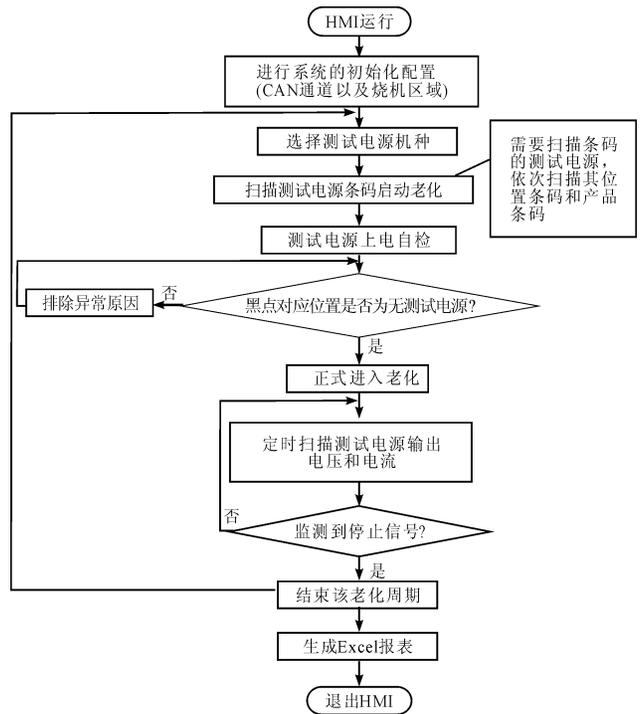


图 9 人机界面操作流程

## 4 结束语

本研究基于CAN总线和LabVIEW开发了能馈电子负载监控系统,实现电源老化测试的自动化。通过上位机的人机界面可以控制能馈电子负载的运行并实时监测测试电源的状态,实时性好、可靠性高。在老化测试结束后,能生成Excel测试报表,以便对测试电源作后续分析和跟踪。该监控系统通过设置不同的机种参数,可以对不同规格的电源进行老化测试,具有很强的通用性和实用价值。

### 参考文献 (References):

- [1] 岳秀梅,马学军,康勇. 基于CAN总线的大功率逆变器电源监控系统设计[J]. 电测与仪表, 2008, 45(10): 37-40.
- [2] 郭宽明. CAN总线原理和应用系统设计[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2002.

- [3] GENA G, VALENZANO A. An improved CAN fieldbus for industrial applications[J]. **IEEE Trans on Industrial Applications**, 1997, 44(4): 553-564.
- [4] PINHO L M, VASQUES F. Reliable real-time communication in CAN networks[J]. **IEEE Trans on Computers**, 2003, 52(12): 1594-1607.
- [5] 周伟,梅顺良. 新型基于能量循环的电源老化节能实现[J]. 微计算机信息, 2007, 23(7): 219-221.
- [6] 王敬贤. 电子负载监控系统的研制[D]. 北京:北京交通大学电气工程学院, 2006.
- [7] 广州致远电子有限公司. PCI-9820I 产品数据手册[M]. 广致远电子有限公司, 2007.
- [8] TRRAVIS J, KRING J. LabVIEW 大学实用教程[M]. 乔瑞萍,等译. 北京:电子工业出版社, 2008.
- [9] FU H L, CHANG W C. Wind Turbine Monitor System Simulation and Validation [C]. //International Symposium on Computer Communication Control and Automation (3CA). Tainan: [s. n.], 2010. [编辑:李辉]

(上接第950页)

## 4 实验结果

实验电炉的升温、降温曲线如图5所示。由曲线可知炉温得到了良好的控制,其静态、动态指标均达到了控制要求,系统无超调,调节时间小。系统用单片机来设计,使控制和显示智能化、仪表化。

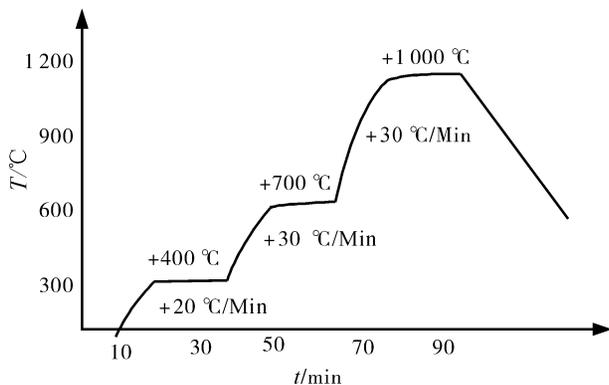


图5 电炉的升温、降温曲线

## 5 结束语

实践表明,对于电炉这样具有升温单向性、大惯性、大滞后性和参数时变的控制对象来说,智能PID控制器响应快速,克服了传统PID控制器超调量大,过

渡时间长的缺点,可以获得令人满意的控制效果。其按区段进行不同算法的调节<sup>[6]</sup>,它既有bang-bang控制的快速性,又有迟滞控制稳定性的抗干扰能力。该控制器在热处理、化工、机械加工、金属冶炼等行业中具有广泛的用途和推广价值。

### 参考文献 (References):

- [1] 李林琛. 电加热炉温度控制系统数学模型的建立及验证[J]. 北京工业职业技术学院学报, 2010, 9(4): 23-25.
- [2] SU W E. New process identification method for automatic design of PID controllers [J]. **automatic**, 1998, 34(4): 513-520.
- [3] 胡汉才. 单片机原理及其接口设计[M]. 2版. 北京:清华大学出版社, 2004.
- [4] 王福瑞. 单片机测控系统设计大全[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2004.
- [5] 李正军. 计算机测控系统的设计与应用[M]. 北京:机械工业出版社, 2004.
- [6] PAN H Z. Experimental validation of a nonlinear backstepping liquid controller for a state coupled two tank system [J]. **Control Engineering Practice**, 2005(13): 27-40.
- [7] 赵一鹏,姜伟. 基于模糊PID电液伺服控制系统的设计和仿真[J]. 轻工机械, 2010, 28(3): 69-72.

[编辑:张翔]