

嵌入式技术及其在电力系统中的应用

张利敏, 丁坚勇

(武汉大学电气工程学院, 湖北 武汉 430072)

摘要: 首先阐述了嵌入式系统的特点与含义, 并分别介绍了嵌入式硬件与软件技术的发展现状, 其中强调指出了嵌入式实时数据库在电力系统应用中的重要意义, 随后就嵌入式系统在电力系统数据采集与监控(SCADA)、微机保护、自动装置(以暂稳控制为例)、电费计量等方面的广泛应用做了简要介绍, 最后指出嵌入式技术要想更好地满足电力系统的要求必须在实时性、可靠性、可扩展性、网络通信能力、人机接口等方面有长足的进步。

关键词: 嵌入式技术; 电力系统; 应用; 发展方向

中图分类号: TM769 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-4897(2002)03-0043-04

1 引言

嵌入式技术的快速发展不仅使之成为当前微电子与计算机技术中的一个重要分支, 同时也使计算机的分类从以前的巨型机、大型机、小型机、微机之分变为通用计算机与嵌入式系统之分。嵌入式的应用更是遍及金融、航天、电信、网络、信息家电、医疗、工业控制、军事等各个领域, 以致一些学者断言嵌入式技术将成为后 PC 时代的主宰^[1]。嵌入式系统的发展与应用潜力可见一斑。嵌入式技术在电力系统中的应用有着悠久的历史, 广泛地用于数据采集、自动装置、仪表检测、集散控制(DCS)等各个领域, 其中较为典型的是数据采集与监控(SCADA)、微机保护、暂稳控制(自动装置)、能量计费等方面。随着城网农网改造的深入与电力市场新环境的逐步建立, 可以预计嵌入式技术在电力系统中应用的前景将更加广阔。

2 嵌入式技术的特点与发展现状

2.1 嵌入式系统的含义与特点

广义地说, 一个嵌入式系统是一个有特定功能或用途的计算机硬软件的集合体, 可大致分为硬件与软件两部分。嵌入式系统发展的最高形式——片上系统(SOC)则将是这些硬软件技术的集大成者。狭义的嵌入式系统则仅指装入另一设备并控制该设备的专用计算机系统, 包括目标机与宿主机两部分; 其中的目标机是一种功能单一、处于从属地位的计算机系统。

嵌入式系统的最大特点是其目的性或针对性, 即每一套嵌入式系统的开发设计都有其特殊的应用

场合与特定功能, 这也是嵌入式系统与通用的计算机系统最主要的区别。另外, 嵌入式技术与实时性有着天然的联系。由于嵌入式系统是为特定的目的而设计, 且常常受到空间、成本、存储、带宽等的限制, 因此它必须最大限度地硬件上和软件上“量身定做”以提高效率, 这样的结果最终导致了实时性的增强。以上这两方面的特点一般会带来缩短开发周期、降低成本等好处。

2.2 嵌入式硬件技术

单片机(微控制器)曾是构成嵌入式硬件平台的主要器件之一, 但嵌入式硬件技术的发展已使其不仅限于以往的单片机、单板机或 PLC(可编程逻辑控制)的范畴, 并且广泛地使用了各种新型器件。

在嵌入式处理器领域应用最广泛的虽然仍是 8/16/32 位微控制器, 但 Intel X86、RISC 芯片、DSP 芯片等高性能微处理器的应用也逐渐普及。在存储器与外围设备领域, 新兴的混合型的存储器(如 FLASH、NVRAM 等)较之传统的存储器似乎更符合嵌入式系统的要求。其中采用代码驻留或就地运行技术(XIP)用大块的 FLASH 来代替磁盘驱动器构成所谓的“电子盘”或“固态盘”, 这在工业过程实时控制有着很好的应用前景。嵌入式系统的外围设备是根据具体的设计要求而定, 一般有微型打印机、串口、微型键盘、微型显示器等等。在构成、调试、运行等方面嵌入式系统对灵活性要求较高, 例如其嵌入式软件往往要求可以从本地/远程等多途径加载运行, 因此在不过多地增加设计负担的同时适当地留有硬件冗余或灵活性是较明智的选择。另外, 嵌入式系统的开发与调试总是与硬件密切联系的, 这一点与商业用的软件开发不大相同。在实际应用中, 人们常

常用在线仿真器(In - Circuit Emulator) / JTAG、示波器、逻辑分析仪、ROM 仿真器、设备编程器、模拟器等来开发或调试硬件^[2]。

2.3 嵌入式软件技术

嵌入式的 RTOS 是整个嵌入式系统的核心。尽管嵌入式 RTOS 分类繁多、形式多样^[3],但通常都具有以下特点:如可裁剪的微内核结构,高效的多任务优先级管理,微秒级的中断处理(Windows 下的中断最快是 55μs/次),更加有利于工业控制效率的提高;支持多处理器并行处理及任务间通信(这一点对于电力系统并行计算有可借鉴之处);具有共享内存,有利于实时数据库的实现;灵活的引导方式(支持从 ROM/flash/本地盘/网络引导),引导操作系统事件更短,甚至可以一上电在秒级的时间内就跳转至用户程序处等等^[2]。从这些特点可看出,在工业控制等领域以嵌入式 RTOS 作为软件平台将比 Windows、UNIX、OS/2 等商用 OS 有其特殊的优势。例如东北电网的 SCADA 与 EMS 中就采用了 VXM 实时操作系统。

实时数据库(RTDB)相对于 RTOS 就显得倍受冷淡,但笔者认为对其的研究至少对于工业控制领域意义重大。RTDB 的主要目标是通过运行时间的估计及优化的任务调度策略,尽可能减少事务处理超过时限情况的发生。基于此目的的分布式实时数据库通常采用 Client/Server 方式,具有多个多线程的服务器,支持多个客户端的请求。而这里所说的嵌入式实时数据库与前者并不完全相同,它具有以下特点,并在嵌入式的电力系统控制装置中有重要的用途:

嵌入式:要求代码更小,速度更快,可靠性更高且可以与各种嵌入式 OS 无缝连接。

实时性:要求数据更新速度快,存取数据快速安全可靠。数据库的数据最好位于共享内存中,并可以实时刷新;为更好地满足实时性往往还要求一定的智能性,即能根据用户要求灵活设置检索优先级,并采用双缓冲的方式进一步提高效率。

分布式:具有分层分布式的网架结构,数据可以快速地双向映射交换,具有较强的网络、通信能力。

较为成熟的嵌入式 OS 一般都支持广泛的开发和运行平台,同时对每种微处理器都提供相应的编译器、连接器、调试器和加载

工具以及性能测试工具等一系列工具链(Tool-Chain),从而形成从开发、调试到运行的一体化支持。就开发语言而言,目前大多数嵌入式 OS 都要求支持通用的 C 语言编译器、连接器等开发调试工具(如 Borland C/C++ + Debugger、Turbo C Builder 等)以方便用户的开发调试,同时也有人开发专用的规范化的嵌入式控制语言如 EC++、Control C 等,而对自由软件以及 JAVA 语言的支持也是一大热点。

3 嵌入式技术在电力系统中的应用

3.1 用于 SCADA

SCADA 是保证电力系统正常运行、实现调度控制的基础,是现代能量管理系统(EMS)的基本组成之一。在调度控制中心,运行人员看到的实时信息都是由远方的 RTU 采集并传送过来的。这些 RTU 就是典型的嵌入式系统,它们通常只需完成数据的采样、再经过一定的滤波算法得到所需的形式并通过特定的 RTU 通信规约传走即可。(可参见图 3)

3.2 用于微机保护

从国内的第一套微机保护装置诞生至今,微机保护已大致经历了几代的发展:从插件式(总线出插件)、多单板机式(总线不出插件)发展到多单片机式(总线不出芯片),不仅在可靠性、功能上有了长足的进步,而且采用了工业计算机领域、微电子领域、网络通信领域的许多新技术,满足了新形势、新环境下对装置的新要求。另外,不仅微机保护的硬件、软件,甚至连微机保护本身都可以作为一个标准模块融入到(发电)厂(变电)站综合自动化中。图 1 给出了一种用于超高压输电线路微机保护的典型结构。

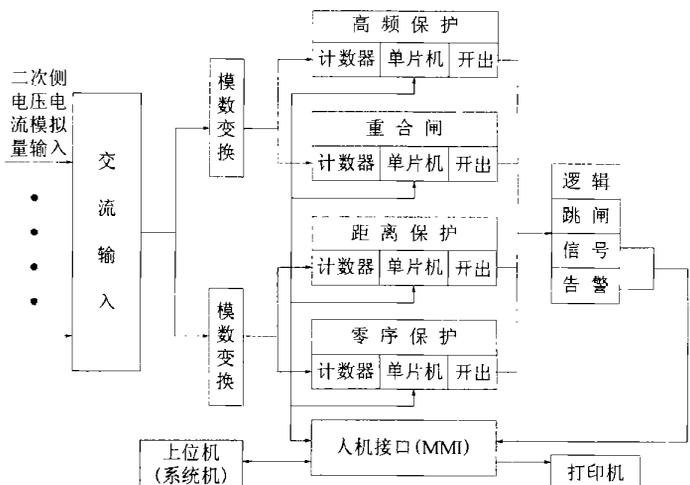


图 1 微机保护典型的嵌入式结构

值得一提的是最新一代的微机保护有的已采用了当前嵌入式系统设计开发的典型方案,具体表现在突破了以往只偏重于硬件上的嵌入式设计,而在软件上也采用了嵌入式操作系统与高级语言开发工具等。

3.3 用于自动装置

嵌入式系统在电力系统自动装置中的应用很多,例如:微机准同期装置、微机励磁调节装置、微机

(切机、切负荷等)稳定控制装置等。这些自动装置冠以“微机”的名称,实际上则大都是以单片机为核心研制开发的嵌入式系统。图2所示的是一个电力系统稳定观测与控制系统的嵌入式构成的例子。其中在上位机中可能用到嵌入式的实时数据库来存储大量的稳定策略信息,以备电网发生故障时查询执行,而查询时间往往只有几毫秒到十几毫秒,这对于目前的RTDB技术来说难度较大。

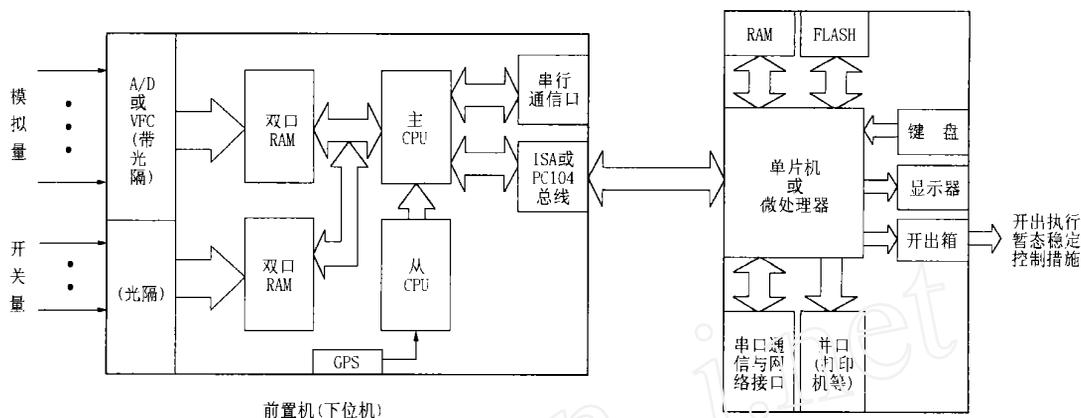


图2 嵌入式的暂态稳定控制(TSC)装置构成

3.4 用于电费计量

准确的电费计量(指电子型,而非传统的表盘型)是实现电网改造与电力市场的关键之一,事关用户与电力公司双方的利益。一个完整的电费计量系统由电能的自动采集与处理系统、电能数据计费结算系统两部分组成。由于用电用户的分散性使得嵌入式系统成为最佳的实现方式,要完成的任务可分为以下几个步骤:电能数据采集(脉冲计数) 电能积分 电能统计 电费结算 电能报表。借助嵌入式系统在测量仪表中成熟的研发经验,要实现电费计量不是很困难,关键在于如何选择合理的算法才能使电力公司与用户都能较为满意。

4 电力应用对嵌入式系统的特殊要求

电力系统是一个复杂的非线性、高维、互联大系统,不同的应用场所需求各异。基于嵌入式系统特有的优点,其在电力系统中的应用主要多用于底层来实现数据采集、监视控制与仪表计量等功能,而上层应用由于对数据处理与存储能力、人机交互(MMI)、网络通讯等方面要求甚高,一般都是由PC系统或局域网(LAN)的形式实现。总起来说,嵌入式系统在电力系统中的应用有以下几个方面的要求更为迫切:

1) 实时性更强:以电力系统的稳定观测与控制为例,实时性就是其首先要解决的问题。这是因为电网的安全性通常在事故后几十到几百毫秒内就有可能受到严重威胁,并且过迟的稳定控制措施不仅起不到预想的作用,造成经济上的损失,甚至可能引起其它的安全问题。这里的实时性不仅指获得数据的实时性,而且还包括数据处理、分析、决策的实时性。因此这对嵌入式系统的硬件与软件都是一个较为苛刻的要求。

2) 可靠性更高:现代化大生产与居民生活中电能的使用是最普遍的,因此在利用嵌入式系统实现对电力系统的控制时硬件与软件的可靠性也就成为人们极为关注的问题。通常,人们不仅希望嵌入式系统能按照预先设计好的流程正常工作,而且也对嵌入式系统的抗干扰能力与智能性提出了一定的要求,例如加入 Watchdog 自恢复与自诊断功能,采用容错设计与数据辨识校验等。但目前大多数的嵌入式系统硬软件都是个人或小型公司开发,其应用于工业场合时的可靠性未经严格测试,因此,这些嵌入式的软件平台在应用于关键场合时能否经受得住强电磁干扰等考验还是个未知数。

3) 可扩展性更好:目前大多数的嵌入式系统的开发语言都采用C/C++(也包括少量的汇编语言),

因此灵活性好,可移植性强,拥有较多的使用者;另外尽量采用模块化设计与工业组态软件,这不仅可以方便生产调试厂家,而且可以解放用户。当一个模块出现问题时,只需要换一块新的就成;当需要增/减某项功能时,也只需要增/减相应的模块即可。

4) 网络通讯能力更强:一般来说,嵌入式系统所具备的网络通信能力相对于 PC 系统是较弱的,这是制约嵌入式系统在电力系统上层应用的主要因素之一。电力系统地理上的分散性(横向)是其主要的外部特征,一条长距离的输电线可能跨越几个地区,因此地区与地区之间的通信与联络就显得十分重要。加之电力系统各级调度之间(纵向)的协调,因此电力系统的通信能力在很大程度上制约着联网的规模与控制方式。图 3 所示的就是电力系统的典型通信结构。

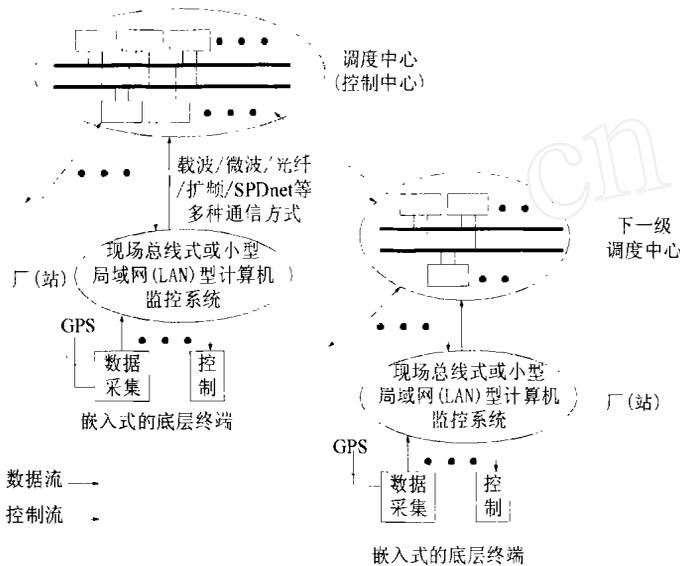


图 3 电力系统典型的通信流结构

从图 3 可以看出,处于控制终端的嵌入式系统应该具有与上一级工作站进行实时通讯的能力。随着新技术的涌现,这种通信方式也发生了巨大的变化,硬件上先后出现了 RS232/422/485 工业局域网以及各种现场总线技术;软件上由电力系统专用的 RTU 通信规约逐渐向 TCP/IP 规约靠近。因此,嵌入式技术应提供对各种网络通信标准的支持,提高与各种网络技术的融合性(如在电力系统中应能直接或间接地与电力数据网 SPDnet、各级调度部门的通信系统进行联接),特别注意对一些高速可靠的通信软硬件接口的支持。

5) 人机界面(MMI)更丰富:这一点是嵌入式系

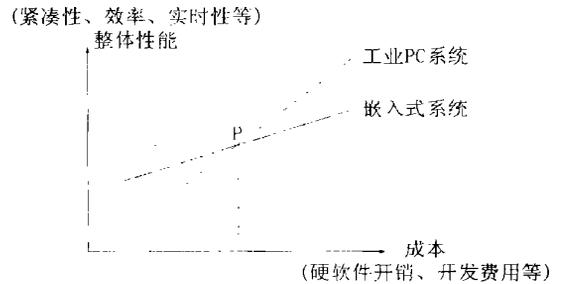


图 4 嵌入式系统与工业 PC 系统的成本-性能曲线统发展的一个矛盾之一。因为 MMI 功能的增强必然要求使用类似 PC 机中的图形加速器、较大的内存、较快的 CPU 等等,而这些设备的使用会对整个嵌入式系统结构的紧凑性、效率、实时性等各方面造成不利的影 响。这时,就应该综合比较一下采用嵌入式系统与采用工业 PC 系统的技术、经济性能,如图 4(示意图)所示。当超过图中的 P 点后,采用嵌入式系统就不再是一个合理的选择。

5 结语

嵌入式系统在电力系统中多用于底层的数据采集与控制,这一部分是实现电力系统正常安全稳定运行的基础,意义重大。同时作者也指出了嵌入式系统下一步应努力的方向。此外,基于 PC 硬件平台开发嵌入式系统以提高通用性、降低成本、缩短开发周期也是一些业界所追求的目标。尽管当前嵌入式系统与 PC 技术的分别还比较明显,但嵌入式技术与 PC 技术的相互借鉴与融合的趋势不容忽视,其结果也将导致两者差别的缩小与淡化。

参考文献:

- [1] Michael Barr. Programming Embedded Systems in C/C++ [M]. O'Reilly & Associates, Inc, 1999.
- [2] Rick Grehan. Real-Time Programming [M]. Addison Wesley Longman, Inc, 1999.
- [3] 蔡得聪. 工业控制计算机实时操作系统 [M]. 清华大学出版社, 1999.

收稿日期: 2001-06-11; 改回日期: 2001-09-03

作者简介: 张利敏(1978-),女,研究生,主要从事微机保护方面的研究; 丁坚勇(1957-),男,副教授,主要从事继电保护和自动装置、可靠性等方面的研究。

配电用断路器端子的温升实验研究

王晶¹, 余洁², 束洪春³

(1. 哈尔滨工业大学, 黑龙江 哈尔滨 150001; 2. 昆明第七中学, 云南 昆明 650031;

3. 昆明理工大学电力学院, 云南 昆明 650051)

摘要: 温度变化是影响断路器可靠性和寿命的一个主要因素, 了解断路器温升的原因对断路器的设计和实际使用均有重要意义。文中在不同力矩和通电电流的情况下, 对配电用断路器负荷侧和导线接触的接触点的温度进行实验研究, 得出影响温升的因素并给出相应的曲线, 其结论对断路器可靠性的研究具有一定的参考意义。

关键词: 断路器; 接触点; 温升试验

中图分类号: TM561

文献标识码: B

文章编号: 1003-4897(2002)03-0047-03

1 引言

随着电力工业和国民经济的发展, 配电行业对配电保护电器的要求也日益提高。配电用断路器在电气线路中, 作为线路的过载和短路保护, 广泛地被应用在工、商业及民用建筑等配电系统中对照明线路和电机线路起保护作用。本文对小型配电用断路器(MCCB)进行实验, 研究当在MCCB上加不同力矩和电流时, MCCB负荷侧端子和外部导线相连接的接触点的温升变化。实验方法及研究结果可供从事于开断设备研究与开发。

2 实验方法

实验按图1接线。选取的MCCB为日本市场上普遍使用的额定电流为100A、额定电压为220V的配电用断路器。加在用来固定MCCB端子与导线的接线螺钉上的标准力矩为4.9~6.86 N·m。用DATA LOGGER DIGITAL GS-800M型温度测定仪对MCCB负荷侧接触点的温度进行测定。此温度测定

仪的测温间隔可以在1s到99min59s间进行选择、测定精度为 $\pm(1.0\% + 2.5)$, 并且可以同时对8个温度进行测定并记录。

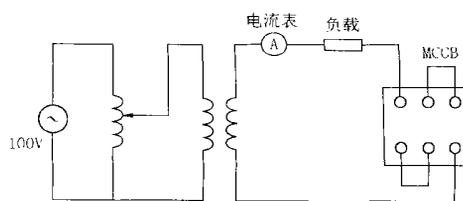


图1 实验接线图

实验中, 使MCCB端子上承受的力矩在2.94~6.86 N·m间变化, 通过的电流在30~300A间变化。实验进行时保持力矩和电流大小, 测试MCCB负荷侧三相各接触点温度和周围温度的变化。对于MCCB一个接触点的温度, 选择GS-800M的两个通道同时进行测量, 以便减小误差。周围温度的测试需要在离MCCB 1m以远、地面1m以上的地方进行。进行温度测定的电路如图2。

Embedded technology and its applications on power system

ZHANG Li-min, DING Jian-yong

(Electrical Engineering Institution of WuHan University, WuHan 430072, China)

Abstract: The author presents the characters and signification of embedded system at first, then introduces current embedded hardware and software technology briefly separately. Especially the importance of embedded real-time database's application in power system is pointed out at the same time. Subsequently the applications of embedded system on Supervisory Control And Data Acquisitor(SCADA), microcomputer-based protection, transient stability control(of automation devices), computation of charge and so on in power system are summarized. At the end some ideas of the developments of embedded system are brought forward such as enhancement of the abilities of real-time, reliability, extensibility, network and communication, man-machine interface and so on.

Key words: embedded technology; power system; applications; developing directions