

基于 DSP 的微机型继电保护抗干扰研究

侯 慧,游大海,尹项根

(华中科技大学 电气与电子工程学院,湖北 武汉 430074)

摘要: 以基于 DSP 芯片 TMS320VC33 的微机型继电保护装置为例,从硬件、软件、工程实际等几个方面,分别介绍了该装置在研制过程中所采取的几种较为有效的抗干扰防护措施。硬件方面包括大规模可编程逻辑器件 CPLD(Complex Programming Logic Device)的应用、电路板合理布局、隔离、屏蔽、接地、对电源的处理等;软件方面包括对输入采样数据校核、关键输出口闭锁、看门狗的设置等。还特别介绍了该装置在生产实际中所注意的问题,如在电路板与显示板之间加装 1 块屏蔽板,使用 2 组电源,在装置各关键部位加装磁环、磁珠、光电隔离、绝缘纸贴等专用抗干扰部件等。试验证明,该装置由于采用了适当的防护措施,各项性能指标均符合要求,具有良好的抗干扰性能。

关键词: 继电保护; 抗干扰; DSP

中图分类号: TM 774

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2006)04-0004-03

近年来,随着微电子技术、计算机技术的发展,基于数字信号处理器(DSP)芯片的微机型继电保护装置以其高性能、低价格的优势越来越受到欢迎,并在国内外各电网中迅速推广^[1]。然而,与以往整流型、晶体管型保护相比,由于电磁干扰电平越来越高,而微机保护的工作电流和电压越来越低,承受干扰的能力越来越差,微机型保护的干扰问题显得尤为突出。对此,本文以基于美国 TI 公司的 DSP 芯片 TMS320VC33 所研制的微机型继电保护装置为例,对提高微机型继电保护装置的抗干扰性能的防护措施进行了有益的探讨。

1 系统硬件方案简介

基于 DSP 芯片 TMS320VC33 的微机型继电保护装置的硬件系统由管理/保护 CPU 模板、信号输入/输出模板和电源模板组成,各功能模板间通过小型连接器连接。硬件系统功能结构图如图 1 所示。

该装置集测量、保护等功能于一体,并提供通信接口,可以与其他保护装置及自动化系统一起,通过通信接口组成自动化系统。

2 干扰及其引起的后果

大量研究表明:微机继电保护装置的干扰主要

是通过保护装置端子从外界引入的浪涌和装置内部继电器切换等原因而造成的,例如模拟量输入回路传入的共模干扰信号等。另外,装置的电源回路所携带的干扰信号也是主要干扰源之一,这一方面是因为电源与干扰源之间的联系相对紧密,另一方面也是因为电源直接连至各个部分,包括最重要的 DSP 芯片部分。

干扰对微机继电保护装置引起的后果主要是由于数据或地址的传送出错而导致“读”或“写”出错。具体可表现为 3 点。

a. 计算或逻辑错误。

b. 程序运行出轨。即 CPU 从一个错误的地址取得一个错误的操作码,使 CPU 的运行背离原程序轨道。出轨后 CPU 将执行一系列非预期的指令,其最终结果,不是碰到一条 CPU 不认识的指令操作码而停止工作,就是进入某一种非预期的死循环。

c. 元件损坏^[2-3]。由于一般情况下微机保护可实现在线自动检测,绝大多数元件损坏都能立即被检测出来,不会引起保护的误动。

3 提高抗干扰性能措施

3.1 硬件措施

微机继电保护抗干扰最重要的措施就是防止

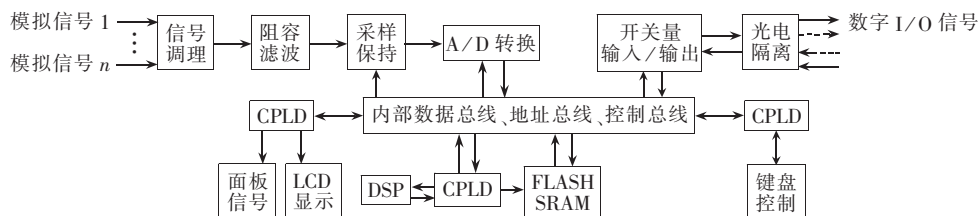


图 1 系统硬件结构图

Fig.1 Hardware structure of system

干扰进入微机弱电系统,即各种隔离、屏蔽、合理布局 and 配线及减弱电源线传递干扰等方法。

3.1.1 应用 CPLD

在电路板设计中,应尽量少用分离门电路,多用集成度高的元器件代替分离门电路,这样将有利于减少因外部连线较多而产生的相互干扰和振荡。

本装置采用大规模可编程逻辑器件(CPLD)提高系统集成度,将复杂的信号采集功能和一些辅助功能都集成到1片CPLD中,在硬件系统中,包括模拟数据采集、开关数据输入与输出、键盘检测、信息显示和通信芯片DSP接口都通过CPLD完成,这使得系统不仅实现了诸多功能,而且简化了结构,同时抗干扰能力和可靠性都得到较大提高。

现阶段CPLD在电力系统微机继电保护装置中的应用已经十分普遍,取代了传统分离逻辑器件,大大增强了硬件系统紧凑性,提高了系统性能。

3.1.2 合理布局电路板

微机保护装置对电路板的结构布局必须十分谨慎,合理的元器件布局,可减少各单元电路间的相互干扰。应将弱电系统的插件远离同外接端子有直接联系的各插件(电压形成回路,开关量输入和输出回路等),并且装置后底板的配线也应使强电和弱电严格分开。将核心部分(最怕干扰的部分),如DSP芯片、EPROM、模/数变换器等,集中在1个或多个插件上,放置在内层屏蔽箱内,并使之尽量远离干扰源及与干扰源有联系的部分,如电源、出口继电器、输入隔离变换器、打印机等^[2-4,6]。

装置在电路板(PCB)可靠性方面作了如下处理。

a. 采用4层PCB提高保护CPU板的可靠性。CPU板上有DSP、CPLD等各种集成的外围芯片。TMS320VC33输入/输出采用3.3V工作电压,而内核电压是1.8V,虽然降低了功率消耗,但是更低的电压也容易被干扰导致信号电平发生不可知的翻转,从而产生逻辑错误。CPU板的设计采用4层PCB,中间2层为电源和电源地,每个器件通过直通孔连接到电源层和地层。电源层和地层采用大面积覆铜处理,隔开了顶层和底层信号,2块间距很小的铜板起到了良好的屏蔽隔离作用,大大降低了2个信号层之间的干扰和外来信号的干扰。

b. 整体结构只有3块板件,电量处理板和CPU板之间通过双列直插针接口连接,最上层是液晶显示和键盘板。3块板件完全封装在钢制机箱中,结构紧凑。机壳通过专用接线头与大地相接。模拟电压和电流从二次互感器出来后,接入到装置内部的小型TV、TA中进行隔离和再次变换,同时,在原、副线圈间加装了屏蔽层接到机壳。所有的开关输入量采用了高速光耦隔离,以防止24V的开入量电压串入到弱电系统引起信号电平翻转。开关量输出除了加光耦隔离外,继电器的24V驱动电源与微机电源之间没有电的联系,防止了线圈电感回路切换

产生干扰。所有芯片的电源端都加了退耦电容,同时在CPU板的电源进口处都特加了高频退耦电容和低频退耦电容。这样设计的插件分配布置合理,易受干扰的CPU、RAM、FLASH等与容易产生干扰的电源、出口继电器和输入隔离变压器在不同板件间分开,降低了干扰。

3.1.3 其他常规硬件措施

除了上述措施外,本装置还采取了以下一些常用的传统硬件抗干扰措施^[5-8]。

a. 隔离:包括光电隔离和隔离变压器隔离。

b. 屏蔽:本装置机壳用铁质材料制成,以实现对电场和磁场的屏蔽。若客户特别要求,在电场特别强的场合,还可以在铁壳内加装铜网衬里。

c. 电源与接地:干扰进入弱电系统的途径主要是通过微机的电源,因此,电源与接地的正确设计,对于抑制干扰至关重要。本装置电源零线采取浮空的方式,即不与机壳相连,并尽量减少电源线与机壳之间的分布电容,同时减少微机弱电回路中非电源线的其他部分与机壳之间的分布电容,为此将印制板周围都用电源零线或+5V线环闭起来,这样可以完全隔断电路板上其他部分同机壳之间的耦合,此时在干扰作用下微机电源线与机壳之间的电位将浮动,弱电系统中其他部分的电位将随同电源线一起浮动,而它们之间的电位保持不变。实践证明,这种方法效果很好^[2]。

3.2 软件措施

干扰一旦突破了由硬件组成的防线,可由软件纠正,以免造成微机工作出错,导致保护误动或拒动。

在DSP系统中,所编制的软件必须满足易理解性、易维护性、实时性、可测试性、准确性和可靠性。因此,本微机保护系统采用模块化的C语言程序结构,使其清晰明了,同时还要尽量减少循环嵌套、调用嵌套以及中断嵌套的次数。

a. 对输入采样数据的抗干扰措施:这是一种主要防止采样出错和TA极性接反的措施。它在设置3个相电流通道的 I_a, I_b, I_c 的基础上,增加了一个冗余输入通道 $3I_0$ 。对每个采样点 k ,检查是否满足 $i_a(k) + i_b(k) + i_c(k) \approx 3i_0(k)$ 的关系,只有在满足上式的前提下才允许这一组采样值保存并作进一步处理。如果由于干扰导致采样数据有错而不满足此关系,就取消这一组数据,直到干扰消失,数据恢复正常后再保存采样数据^[2-4]。

b. 关键输出口的闭锁:为防止程序出轨时碰到一条非预期的指令正好是跳闸指令而误动作,本装置对输出口的操作进行校核闭锁,使该回路必须在连续执行几条指令后才能出口,不允许一条指令就出口。

c. 看门狗(WatchDog)的设计:为防止失控的程序进入“死循环”,本装置采用专用的WatchDog电路检测CPU运行情况,一旦CPU运行不正常,则不能定期对WatchDog复位。当WatchDog复位时,就会

发出复位脉冲复位 CPU, 装置就会重新启动, 保护系统也会重新开始运行。

需要指出的是: 微机保护软件的可靠性最终须经环境复杂的现场长期运行考验, 因此, 逐步积累运行经验是十分重要的^[9-10]。

3.3 生产实际中注意的问题

本装置除采用常用的软、硬件抗干扰措施, 如在各输入/输出采用光电隔离, 各模拟量输入回路都经过防止频率混叠的模拟低通滤波器, 合理布局使弱电系统的插件远离同外接端子有直接联系的各插件, 减小微机中其他部分同外壳之间的分布电容等, 此外, 在生产时还特别注意了以下几点。

a. 在电路板和显示板之间加装了 1 块屏蔽板, 从而使输入侧与弱电侧完全分开并远离, 加强了强电与弱电系统之间的隔离, 同时, 这样的设计也使装置能更有效地防止静电脉冲群的干扰。

b. 外侧通信电源使用的是与驱动继电器 24 V 电源完全不同的一组电源, 以保证装置的抗干扰性。同时, 所有的电源出线都加装磁珠、磁环等专用抗干扰部件。

c. 虽然每个输入/输出都使用了有效的光电隔离器件, 但考虑到每块光隔之间仍有电容, 存在着共模干扰, 所以每块光隔都尽量拉开距离, 从而加强了光电隔离应有的抗干扰效果。

d. 每块电路板使用绝缘纸贴, 以加强绝缘效果。

e. 对显示板的拨码作了绝缘处理。

f. 显示板地线与拨码外壳连接在一起, 另外, 机箱也全部通过一点接地。

g. 在信号回路加装 2 个滤波盒, 抑制差模干扰信号。

h. 剪掉电源回路保护电容(生产用 COSEL 电源)。

i. 液晶四周加橡胶垫, 焊接时注意垫绝缘物。

采用以上改进措施后, 本装置所有程序代码通过在线烧制软件烧制到 Flash 存储器中, 上电后系统先执行引导程序, 将 Flash 存储器中的程序代码拷贝到 SRAM 中, 然后从 SRAM 中开始运行。机箱采用铝材密封式机箱, 既可作为单独运行也可以组屏。管理/保护模块采用了 4 层 PCB 技术, 主要器件采用 SMD(表面贴装)工艺技术。采用上述一系列措施后, 本装置已顺利通过了 IEC 60255-22-4 的 IV 级测试, 各项性能指标均符合要求。

4 结语

微机保护装置以其优越的性能正在取代其他形式的保护装置, 与此同时, 其抗干扰问题也越来越受到重视。要提高微型机保护装置的可靠性, 最根本的还是两方面: 一是各微机保护制造厂家应努力提高设备制造质量, 二是对微机保护装置本身采用一系列有效的抗干扰措施。本文以基于 TMS 320 VC 33 的 DSP 芯片研制的微机保护装置为例, 详述了微机继电保护装置提高抗干扰性能的一系列具体措施,

对于进一步提高电网自动化水平、提高电网供电可靠性和增加电网经济效益都具有重要意义。

参考文献:

- [1] 张延青, 焦彦军, 王增平, 等. 一种新型数字式继电保护装置的设计方案[J]. 继电器, 2003, 31(7): 58-61.
ZHANG Yan-qing, JIAO Yan-jun, WANG Zeng-ping, et al. The design of a novel digital relay protection device[J]. **Relay**, 2003, 31(7): 58-61.
- [2] 杨奇逊. 微型机继电保护基础[M]. 北京: 水利电力出版社, 1988.
- [3] 陈德树. 计算机继电保护原理与技术[M]. 北京: 水利电力出版社, 1992.
- [4] 罗士萍. 微机保护实现原理及装置[M]. 北京: 中国电力出版社, 2001.
- [5] 骆飞, 王富荣, 王海霞. 微机继电保护的电磁兼容[J]. 电子质量, 2004(4): 33-35.
LUO Fei, WANG Fu-rong, WANG Hai-xia. The EMC of microcomputer - based protective relay[J]. **Electronics Quality**, 2004(4): 33-35.
- [6] 欧尤娜, 郭占钧, 秦岩, 等. 提高微机保护可靠性的措施[J]. 内蒙古电力技术, 2004, 22(1): 51-52.
OU You-na, GUO Zhan-jun, QIN Yan, et al. Measure of improving protection reliability of microprocessor[J]. **Inner Mongolia Electric Power**, 2004, 22(1): 51-52.
- [7] 杨云辉. 继电保护的抗干扰问题及措施[J]. 云南电力技术, 2003, 31(3): 38-39.
YANG Yun-hui. Anti-interference problems and measures on relay protection[J]. **Yunnan Electric Power**, 2003, 31(3): 38-39.
- [8] 张智锐. 继电保护装置干扰防护若干措施[J]. 广东电力, 2002, 15(3): 66-68.
ZHANG Zhi-rui. Some measures of interference suppression for relaying protection equipment[J]. **Guangdong Electric Power**, 2002, 15(3): 66-68.
- [9] 所旭, 张萍. 微机继电保护软件可靠性探讨[J]. 继电器, 2004, 32(2): 43-46.
SUO Xu, ZHANG Ping. Research on the reliability of digital protective relay software[J]. **Relay**, 2004, 32(2): 43-46.
- [10] 李华. 微型机继电保护装置软硬件技术探讨[J]. 电力建设, 2001, 22(5): 4-7.
LI Hua. Inquiry into software and hardware technique of relay protection for computers[J]. **Electric Power Construction**, 2001, 22(5): 4-7.

(责任编辑: 李 玲)

作者简介:

侯 慧(1981-), 女, 湖北武汉人, 博士研究生, 研究方向为电力系统微机继电保护及安全自动装置(E-mail: hushou@sina.com);

游大海(1958-), 男, 湖北武汉人, 教授, 博士研究生导师, 主要研究方向为电力系统自动化、电力系统继电保护;

尹项根(1954-), 男, 湖北武汉人, 教授, 博士研究生导师, 主要研究方向为电力系统继电保护及安全自动控制、故障仿真与状态监测等。

Research on anti-interference of DSP-based relay protection

HOU Hui, YOU Da-hai, YIN Xiang-gen

(College of Electrical & Electronic Engineering, Huazhong University
of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: With the relay protection based on DSP ship TMS 320 VC 33 as an example, its anti-interference measures are introduced from the hardware, software and practices. For hardware, CPLD application, reasonable layout, isolation, shielding, grounding and power supply handling of PCB are included. For software, sampling signal check, key outlet locking and watchdog are included. Some suggestions are proposed, such as adding a shielding panel between the circuit board and the display board, using two sets of power supply, applying magnetic cores and beads, optical isolation, isolation sticker, etc on the key positions. Tests prove that the equipment meets the required specifications due to adopting proper anti-interference measures.

Key words: relay protection; anti-interference; DSP

