

基于 ARM 的嵌入式系统在直流系统接地故障定位中的研究

任先文, 邹刚, 史永广, 吴杰珊, 李卓

(东北电力大学电气工程学院, 吉林 吉林 132012)

摘要: 介绍了基于 ARM9 和 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 的嵌入式系统在直流系统接地故障定位中的应用。针对直流系统接地故障检测定位的低频信号注入法容易受到各支路对地电容和环网影响, 采用了小波分析方法来实现对故障信号特征的提取。基于小波去噪原理, 通过选取适当的小波函数, 对支路电流信号进行分析和处理。通过仿真分析, 表明该方法可以克服对地电容对接地故障检测定位的不利影响, 实现故障支路的准确定位。目前的直流系统接地故障检测定位装置大都是基于单片机设计的, 限制了先进算法的使用。引入 ARM 嵌入式系统, 弥补了定位检测系统无法实现先进算法的缺陷。

关键词: 嵌入式系统; ARM; 直流系统; 小波分析

Research of embedded system based on ARM in DC system grounding fault detection

REN Xian-wen, ZOU Gang, SHI Yong-guang, WU Jie-shan, LI zhuo

(School of Electrical Engineering, Northeast Dianli University, Jilin 132012, China)

Abstract: In this paper, the application of embedded system based on ARM9 and $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ in DC system grounding fault detection is introduced. For the influence of the big grounding capacitance and ring net in DC system grounding fault detection with the method of low frequency injection, wavelet analysis is used to extract the characteristic of signal. The current signal of branch is analyzed and processed by selecting the suitable wavelet function on the basis of the principle of wavelet denoising. The simulation result shows that the method can overcome the influence of the capacitance and find the fault branch accurately. The former DC grounding fault detecting devices were mostly designed based on SCM, which limited the using of advanced algorithm. This paper introduces ARM embedded system into the field of DC system grounding fault detection, which makes it improved that the recent fault detection system can not implement advanced algorithm.

Key words: embedded system; ARM; DC system; wavelet analysis

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2008)02-0010-03

0 引言

发电厂和变电站直流供电系统是控制和信号系统、继电保护及自动装置的工作电源, 对保障电力系统安全运行是十分重要的。直流系统网络分布区域广泛, 工作环境比较恶劣及湿度、温度等诸多因素影响, 绝缘容易降低^[1]。直流系统某点的绝缘降低到一定程度时, 相当于直流系统的某点经一定的电阻接地, 当发生一点接地时, 由于没有构成回路, 并不引起任何危害, 但必须及时处理。否则, 当发生另一点接地时, 就会影响控制、保护等装置的安全运行, 甚至引起继电保护的误动或拒动。当直流系统规模较大时, 直流系统支路中存在较大的对地电容, 注入低频信号的检测方法使定位的准确性受到影响。利用小波变换对检测的信号进行分析

和处理, 则能准确计算出阻性电流分量, 进一步得出接地电阻值^[2], 从而弥补了低频信号注入法的不足。以往的直流系统接地故障检测装置大都是以通用单片机为核心设计的, 其有限的资源限制了基于小波变换先进算法的使用, 如果能利用 ARM 的丰富资源和嵌入式系统的高性能、高可靠性和实时性, 就能实现基于小波变换的检测方法, 从而满足了直流系统接地故障检测定位的要求。

1 小波变换的检测方法

1.1 小波去噪的基本原理

由于环网谐波电流、纹波电压及各种干扰, 故障后支路电流的成分比较复杂, 除了要提取的低频特征信号外, 还包括基波分量、谐波分量和噪声干扰^[3]。对于这样一个信噪比较低的信号, 在进行低

频信号提取前,需要进行预处理,以滤除高次谐波分量和部分噪声干扰。

小波阈值法去噪的主要依据是,小波变换具有很强的去数据相关性,它能够使信号的能量在小波域集中的一些大的小波系数中;而噪声的能量却分布于整个小波域内,因此,经小波分解后,信号的小波系数幅值要大于噪声的系数幅值,可以认为,幅值比较大的小波系数一般以信号为主,而幅值比较小的系数在很大程度上是噪声。于是,采用阈值的办法可以把信号系数保留,而使大部分噪声系数减少至零。

小波阈值法去噪的具体处理过程为:将含噪声信号在各尺度上进行小波分解,保留大尺度低分辨率下的全部小波系数;对于各尺度高分辨率下的小波系数,可以设定一个阈值,幅值低于该阈值的小波系数置为0,高于该阈值的小波系数或者完全保留,或者作相应的处理。最后将处理后获得的小波系数利用逆小波变换进行重构,恢复的信号滤掉了3,4次谐波和噪声,由于选用线性相位的小波函数,所以相位不会产生较大偏差。

1.2 用 Morlet 小波提取低频信号

Morlet 小波是一种单频负正弦调制高斯波,也是常见的复值小波。其时域、频域形式为:
时域:

$$\psi(t) = (\exp(i\omega_0 t) - \exp(-\omega_0^2/2)) \exp(-t^2/2) \quad (1)$$

频域:

$$\psi(\omega) = (2\pi)^{1/2} [\exp(-(\omega - \omega_0)^2/2) - \exp(-\omega_0^2/2) \cdot \exp(-\omega^2/2)] \quad (2)$$

由 Morlet 母小波引出的连续小波基为:

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{A}{a^{1/2}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (3)$$

式中: a 为尺度因子, b 为平移因子。平移因子不改变小波函数频谱窗口形状,所以设为 0。

$\psi_a(t)$ 的傅立叶变换为:

$$\psi_a(\omega) = (2\pi a)^{1/2} \psi(a\omega) = (2\pi a)^{1/2} \exp[-(\omega - \omega_0)^2/2] \quad (4)$$

$$\psi_a(\omega) \text{ 的中心频率为: } f = \omega_0/2\pi a = f_0/a \quad (5)$$

信号 $s(t)$ 的 Morlet 复值小波变换为:

$$WT_s(a,b) = \frac{1}{a^{1/2}} \int_{\mathbb{R}} s(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt = \frac{1}{a^{1/2}} \int_{\mathbb{R}} s(t) \cdot \exp(-t^2/2) dt \quad (6)$$

信号的小波变换就是信号通过小波函数滤波的

结果,当信号通过 Morlet 小波滤波器通频带时,与中心频率相同的频率分量可以无衰减的通过,而偏离中心频率但又不超出支撑区间的频率分量则被抑制。通过调整中心频率和尺度因子,就可以提取特定频率的电流分量,进而求出电流的幅值和相位^[4]。

2 直流系统接地故障检测装置的总体结构

本设计选用韩国三星公司生产的 S3C2410 微处理器。S3C2410 是基于 ARM9 的 SOC 芯片。具有低功耗、高性能、实时性好等特点,非常适合嵌入式产品的开发。检测定位装置的系统框图如图 1 所示。包括主控制器 S3C2410 和各种接口、信号采集单元。其中基于单总线技术的 1-wire 器件使用使得测量系统更加容易控制,它采用单根信号线,既传输时钟又传输数据,而且数据传输是双向的。

该装置的工作过程是:通常情况下,该装置处于在线监视状态,把采集的现场信号用相关算法进行分析处理,判断直流系统是否存在一点接地。当出现一点接地时,向直流系统注入低频信号,通过 1-wire 器件依次选通各支路,对其信号进行采样,然后按照特定的、基于小波变换的控制算法对采样数据进行处理,从而确定故障支路,将结果显示在 LCD 或是远程终端以使用户察看,这样可以及时地对故障支路进行处理,实现故障定位目的。

母线间电压测量电路用于测量直流系统正负母线的相对电压,对于 220 V 直流系统来说,一般要保证母线间电压在 180~240 V 之间,如果越限,则需要监控系统报警以便提示运行人员调整浮充电设备。母线对地电压测量电路用于测量正、负母线对地的电压值。由电桥法可知,一般 30 V 的母线对地电压偏移值可导致绝缘监察继电器动作,而由偏移的方向可以判断出直流系统的哪一极发生接地。因此,装置可以依据此电路测量值和系统设置的参数判断是否发生接地,保证与现场的绝缘监察继电器同步动作。

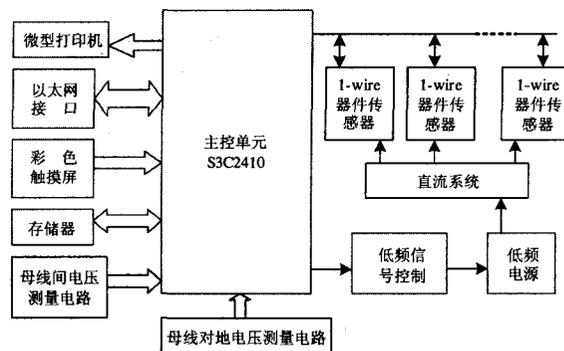


图 1 硬件框图

Fig.1 Block diagram of hardware

3 软件的总体设计方案

本设计采用的 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 是源码公开的实时嵌入式操作系统,其主要优点:公开源代码、可移植、可固化、可剪裁,是占先式实时内核,可管理多任务,执行时间可确定,提供多系统服务,具有中断管理,稳定且可靠。它移植到S3C2410的过程包括两个部分:一个是任务级的切换,一个是中断级的切换。任务级的切换是任务由于延时、等待信号量、邮箱、队列等主动切换到其他任务。中断级的切换指执行的任务被外部中断后发现更有更高优先级的任务处于就绪状态从而切换到这个任务^[5]。对于一个开放的嵌入式系统而言,其程序存储器中一定要有系统的初始化代码。初始化代码包括:设置入口指针、设置中断向量、初始化堆栈指针寄存器、初始化存储器系统、初始化I/O端口以及需要改变处理器的工作模式、初始化应用程序存储空间。之后开始执行应用程序。

根据该装置的功能要求,系统软件中需要实现相应的任务:监视,报警,启动低频信号源,选通各个支路并检测其电流信号,利用小波算法进行处理,计算其幅值和相位,在LCD或远程终端上显示相关信息。各用户任务由 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 内核按照基于优先级调度法,即占先式算法进行调度。

4 仿真

4.1 支路电流预处理

设支路电流信号包括幅值为6 mA,初始相位为 $5\pi/12$ 的30 Hz低频信号;幅值为10 mA,初始相位为 $\pi/6$ 的基波信号;幅值分别为3, 2, 4 mA,初始相位为 $\pi/5, 5\pi/12, 0$ 的2, 3, 4次谐波信号以及零均值的白噪声干扰信号。采样频率为1000 Hz。原信号如图2所示。

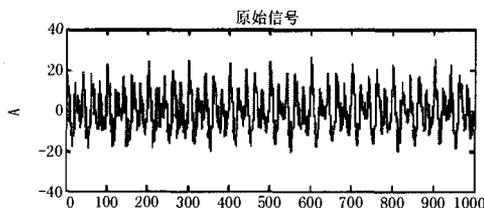


图2 支路原始信号

Fig.2 Original signal of the branch

Daubechies小波系是由法国学者Dau-bechies提出的一系列二进制小波的总称。在Matlab中记为 $\text{db}N$, N 的取值为2, 3, ..., 10。该小波没有明确的表达式,小波函数 ψ 与尺度函数 ϕ 的有效支撑度为

$2N-1$,小波函数的消失矩为 N 。选用db10小波对支路电流混合信号进行分解,仿真计算时选用wedd命令函数,分解层数为3层,用启发式阈值消噪,它是无偏似然估计原理的自适应阈值选择和固定阈值形式的综合。在WEDN命令中用参数heursure表示,仿真结果如图3。

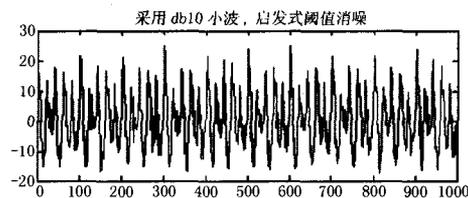


图3 去噪后的信号

Fig.3 Branch signal disposed by wavelet

从仿真图形可以看出,不仅噪声被消除得很好,高次谐波也被消除了大部分;经过预处理的支路电流变得简洁清晰,其主要成分为低频电流信号、基波分量和二次谐波分量。

4.2 用Morlet小波提取低频信号

提取30 Hz信号的仿真波形如图4。

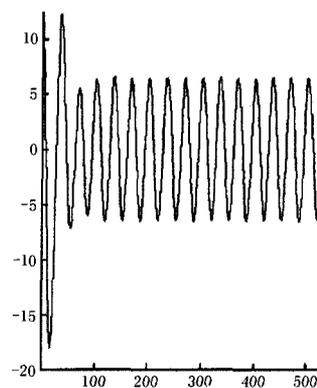


图4 小波变换后提取的电流波形

Fig.4 Current flow extracted by wavelet transform

从图4波形可以得到低频电流的幅值和采样初始时刻相位,利用公式 $R_d = (U/I)\sqrt{1 + \tan^2\varphi}$ 得出接地电阻值,从而判断出故障支路。

5 结论

通过Matlab仿真结果可确定,小波变换完全可以解决噪声和谐波干扰,能准确提出低频分量。基于ARM的硬件开发平台,可以使小波算法得以实现,对提高直流系统运行的安全性、可靠性具有重要意义。

(下转第20页 continued on page 20)

大发电机与主变的电气距离等。

参考文献

- [1] Rico J, Madrigal M. The Study of Inrush Current Phenomenon Using Operational Matrices[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2001, 16(2): 231-237.
- [2] 林湘宁, 刘沛, 刘世明, 等. 变压器有载合闸超饱和现象及对变压器差动保护的影响[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(3): 6-11.
LIN Xiang-ning, LIU Pei, LIU Shi-ming, et al. Ultra-Saturation State During Transformer Switch-in with Load and Its Influence to Transformer Differential Protection[J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22(3): 6-11.
- [3] 王雪, 王增平, 徐岩, 等. 电力变压器励磁涌流和故障电流的仿真研究[J]. 高压电器, 2003, 39(6): 11-16.
WANG Xue, WANG Zeng-ping, XU Yan, et al. Research on Simulation of Magnetic Inrush and Fault Current for Power Transformer[J]. High Voltage Apparatus, 2003, 39(6): 11-16.
- [4] 王维俭. 电气主设备继电保护原理与应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
WANG Wei-jian. Relay Protection Principle and Application of Main Electrical Equipment[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2002.
- [5] Online help for MATLAB[Z]. The mathworks. Inc. 2004.
- [6] Brunke J H, Frohlich K J. Elimination of Transformer Inrush Currents by Controlled Switching, Part I: Theoretical Considerations[J]. IEEE Trans Power

Delivery, 2001, 16 (2) : 276-280.

- [7] Brunke J H, Frohlich K J. Elimination of Transformer Inrush Currents by Controlled Switching, Part II: Application and Performance Considerations [J] IEEE Trans on Power Delivery, 2001, 16 (2) : 281-285.
- [8] CIGRE Working Group Task Force 13.07. Controlled Switching of HVAC Circuit Breakers[Z]. 1st Part Elektra, 1999. 43-73.
- [9] CIGRE Working Group Task Force 13.07. Controlled Switching of HVAC Circuit Breakers[Z]. 2nd Part Elektra, 1999. 37-57.
- [10] 甘运良, 袁鹏. SWITCHSYNC F236 的工作原理及其在肇庆换流站的应用[J]. 南方电网技术研究, 2005, 1(3): 47-50.
GAN Yun-liang, YUAN Peng. The Principle and It's Application in Zhaoqing Conversion Station of SWITCHSYNC F236[J]. South Power System Technology Research, 2005, 1(3): 47-50.

收稿日期: 2007-07-09

作者简介:

张雪松 (1979-), 男, 博士, 工程师, 从事电力系统自动化方面的研究; E-mail: ee_zxs@163.com

黄莉 (1978-), 女, 硕士, 讲师, 从事水电站计算机监控系统与综合自动化方面的研究;

黄晓明 (1969-), 男, 高级工程师, 从事电力系统继电保护及自动化管理及研究工作。

(上接第 12 页 continued from page 12)

参考文献

- [1] 李先跃. 电力系统直流接地危害性分析及预防措施 [J]. 建筑安全, 2004, 5(5): 70-71.
LI Xian-yue. Analysis and Precautionary Measures of Electrical System DC Grounding harmfulness[J]. 2004, 5(5): 70-71.
- [2] 李冬辉, 张伟. 小波分析应用于直流系统接地故障检测 [J]. 控制工程, 2006, 13(4): 399-400.
LI Dong-hui, ZHANG Wei. Grounding Fault Detection of DC System Based on Wavelet Analysis[J]. Control Engineering, 2006, 13(4): 399-400.
- [3] 张次衡. 直流系统接地故障检测装置存在的问题[J]. 中国电力, 1996, 29(7): 64-66.
ZHANG Ci-heng. Problem Existing on DC System Grounding Fault Monitoring Device[J]. Electric Power, 1996, 29(7): 64-66.
- [4] 李冬辉, 任晓栋. 基于幅值小波变换的直流系统接地故

障检测[J]. 中国电力, 2003, 36(11): 12-14.

- LI Dong-hui, REN Xiao-dong. Detection of DC System Grounding Fault Based on Complex Wavelet Transform[J]. Electric Power, 2003, 36(11): 12-14.
- [5] Labrosse J J. μ C/OS-II-原码公开的实时嵌入式操作系统[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2003.
Labrosse J J. MicroC/OS-II The Real-time Kernel[M]. Beijing: Beijing University of Science and Technology, 2003.

收稿日期: 2007-07-20;

修回日期: 2007-09-07

作者简介:

任先文 (1954-), 男, 教授, 硕士, 研究方向为微机在电力系统中的应用;

邹刚 (1982-), 男, 研究生, 研究方向为微机在电力系统中的应用; E-mail: gang1012718@163.com

史永广 (1981-), 男, 研究生, 研究方向为微机在电力系统中的应用。