

文章编号: 1005-8451 (2006) 08-0001-04

## 基于 DSP 的铁路 MOA 在线监测研究

李 敏, 刘明光

(北京交通大学 电气工程学院, 北京 100044)

**摘要:** 对铁路电网中 MOA 在线监测进行研究, 在传统基波测量法的基础上, 硬件上加入频率自动跟踪电路, 实时跟踪电网频率, 解决 FFT 的频谱泄漏问题, 软件上小波分析解决现场干扰和去除噪声问题, FFT 可方便地得到各次谐波, 从而计算出测量所需的阻性泄漏电流。

**关键词:** 基波测量法; 频率自动跟踪; 小波分析; 阻性泄漏电流

中图分类号: TP93

文献标识码: A

### Study on MOA online detection technique in power supply of railway based DSP

LI Min, LIU Ming-guang

(School of Electrical Engineering of Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

**Abstract:** It was introduced the MOA Online detection technique in power supply of railway, on the traditional first-harmonic measurement method, adding frequency automatic follow circuit to follow electricity frequency, which could solve spectrum leakage of FFT, wavelet analysis could eliminate white noise and location interference, with FFT we could get every harmonic conveniently, then calculated the resistance leakage current.

**Key words:** first-harmonic measurement method; automatic follow frequency; wavelet analysis; resistance leakage current

我国电气化铁路发展迅速, 目前已超过 20 000 km。铁路电网安全运行的重要保护设备之一是避雷器, 由于金属氧化物避雷器 (MOA), 具有优异的非线性伏安特性, 因此, MOA 广泛应用在铁路电网中。铁道电网中高次谐波含量较大, 频率不稳定, 电压波动大, 对 MOA 工作状态影响很大, 甚至造成一定危害, 因此, 对铁路电网中的 MOA 进行在线监测, 不论是保证铁路电网运行安全, 还是保证 MOA 本身的安全都具有重要意义。

### 1 存在的问题和改进方案

目前, 电力系统中对 MOA 在线监测的常用方法有 全电流法; 三次谐波法; 常规补偿法; 基波法。但是铁路电网中对 MOA 的在线监测研究甚少, 而将电力系统中的监测方法应用于铁路电网却存在着以下问题:

(1) 铁路供电中存在严重的高次谐波, 会导致供电系统电压波形畸变, 造成供电系统电力电容器故障。高次谐波电流在线路上流通, 可能使线路产生串联谐振, 引起线路过电压。在谐振情况下, 谐

波电压分量较高, 加上电流波在输送电中的扩散, 容易使电缆输电线路的绝缘降低, 引起放电或击穿, 在通讯等弱电线路中会产生静电感应和电磁感应, 增加了通讯等弱电线路内的噪音和信号失真, 影响运行效果。

(2) 现场测量时, 除了 MOA 内部在正常的电压下存在或多或少的局部放电现象和信号采集过程中因屏蔽不好所受到干扰外, 现场测试还受到大量的电磁干扰及信号通道热噪声的影响, 系统采集到的泄漏电流信号波形往往含有大量噪音, 使测量不准确。

(3) 相间耦合电容和系统的电压谐波交织在一起, 使问题更加复杂化。

要解决以上问题, 除了要求测试设备有很高的抗干扰能力外, 还要对信号进行去噪和滤波处理。因此本文采用改进的基波测量法。基波分析法原理基于傅立叶变换, 由于三角函数的正交性, 求解的基波分量不受高次谐波的影响, 也不受采样装置中电子电路零漂的影响, 因而可以达到较高的稳定性和测量精度。本文就是在基波测量法的基础上, 在硬件上加入频率自动跟踪电路来跟踪电网频率, 保证信号的采样长度为被分析信号的整数倍, 避免傅立叶变换中产生频谱泄漏的现象; 软件上用小波分析技术对信号进行降噪和滤波处理, 并用 FFT 变换

收稿日期: 2006-03-30

作者简介: 李 敏, 在读硕士研究生; 刘明光, 副教授。

对降噪和滤波后的信号进行谐波分析, 得到基波电压和基波电流, 然后通过计算求出阻性泄漏电流。

## 2 监测工作原理

氧化锌阀片在运行电压下呈绝缘状态, 通过的电流很小, 一般在  $10 \mu\text{A} \sim 15 \mu\text{A}$  间, 正常情况下, 阻性电流只占很小一部分, 约为  $10\% \sim 20\%$ , 但是当电阻老化时、避雷器受潮、内部绝缘部件受损及表面污秽严重时, 容性电流变化不多, 阻性电流却大大增加, 因此采取测量阻性电流来判断 MOA 的工作状况十分有效。

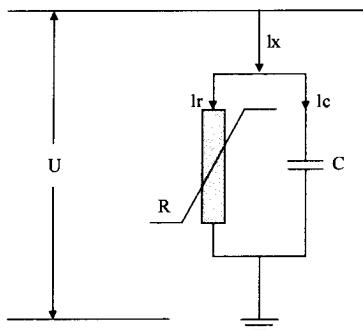


图 1 ZnO 阀片简化等效电路

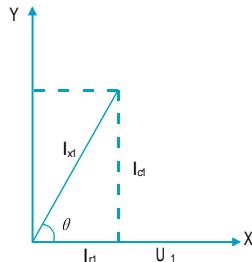


图 2  $U_1$ 、 $I_{x1}$ 、 $I_{r1}$ 、 $I_{c1}$  相位关系

ZnO 阀片简化等效电路见图 1。监测系统要监测的是阻性泄漏电流  $I_r$ , 从图 2 可以看出, 若要求得阻性电流  $I_r$ , 只要求出  $I_x$  值及  $I_x$  与  $I_r$  的夹角  $\theta$  就可以算出阻性电流的值, 由于流过电阻 R 的电流与电压 U 同相位, 故  $I_x$  与  $I_r$  的夹角就是基波电压与基波电流的夹角, 即两者的初相角之差, 要求出  $I_x$  及  $\theta$  的值, 只要对流过 MOA 的电压和电流进行采样, 并对采样数据进行快速傅立叶变换运算, 就可得到基波电压值、基波电流值及它们的初相角, 从图 2 可得阻性泄漏电流的计算公式如下:

$$I_r = I_x \cdot \cos \theta$$

式中:  $I_x$  为基波电流,  $I_r$  为阻性电流,  $\theta$  为它

们的夹角。

## 3 监测装置的硬件设计

### 3.1 系统框图

本监测系统采用数字信号处理器 (DSP) 作为系统的核心控制器件, DSP 是近年发展起来的一种可编程的高性能处理器, 在数字信号处理方面有很大的优越性, 它采用改进的哈佛结构, 可以使数据从程序存储空间传输到数据存储空间, 没有设置专门的系数 ROM, 使系统设计的好处显而易见, 此外 DSP 支持汇编与 ANSI C 语言的混合编程, 并提供了 C 语言开发工具和 C 语言库函数, 而且还有实时多任务的操作系统支持, 其汇编语言与常规汇编语言相比, 有许多鲜明的特点, 一方面指令丰富, 效率高, 使其具有极高的运算速度和精度, 另一方面, 它融合了高级语言的许多优点, 在 DSP 的基础上开发产品, 支持软件丰富, 开发灵活快捷, 对于硬件的调试升级相应的软件升级和维护也十分的方便灵活。因此本设计采用了 DSP (TMS320C31 浮点 DSP 芯片) 作为监测装置的核心部件, 系统的结构框图如图 3。

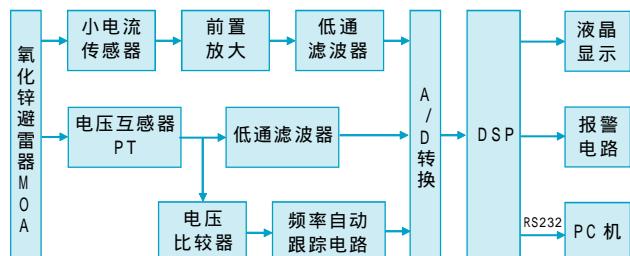


图 3 MOA 在线监测系统结构

### 3.2 频率自动跟踪电路

铁路电网中电压受高次谐波的影响, 其频率不是稳定的  $50 \text{ Hz}$ , 当电网频率波动时, 难以满足整周期采样的要求 (即信号的采样长度为被分析信号的整数倍), 会产生泄露误差, 因此在计算阻性基波泄漏电流时, 采样频率必须保证信号的采样长度为被分析信号的整数倍, 否则 FFT 会产生频谱泄漏, 给测量结果带来误差。为了解决这个问题, 本系统采用了频率自动跟踪电路, 它由锁相环及分频器等构成, 具有实时跟踪信号频率变化, 并将其 128 倍频作为 A/D 的启动信号, 有效地保证在一个信号周期内实时准确的采样 128 点, 其具体电路图如图 4。

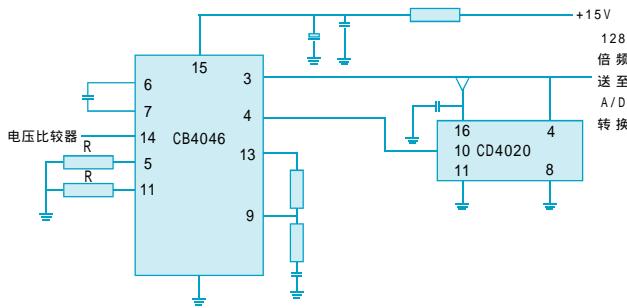


图 4 频率自动跟踪电路

## 4 主要算法

本文用到的算法有快速傅里叶变换和小波分析,由于快速傅立叶变换已是一种成熟的算法,这里不作介绍,将详细介绍用到的小波分析。

由于测试现场受电磁干扰及信号通道热噪声的影响，系统采集到的泄漏电流信号往往带有大量的噪声，单靠硬件滤波很难滤除泄漏电流信号的噪声，并且在正弦信号峰值处也会受到干扰，因此，必须要对泄漏电流进行抑制或者降噪处理，小波分析的重要应用之一就是一维信号降噪处理，它有多分辨分析的特点，在时域和频域都有良好的表征信号局部化特征的能力，因此，常利用小波的多分辨分析理论对信号进行去除噪声处理，滤除高次谐波。

本文利用小波变换的多分辨分析理论对信号进行去噪。由于要测量的总泄漏电流中的基波分量为 50 Hz 左右的低频信号，同时信号中的劣化特征（突起）对应的频率主要为 3 次、5 次和 7 次谐波分量，噪声信号多为高频信号，由于噪声的小波谱将随着尺度的增加而逐渐消失，所以消噪过程可按如下方法进行处理：首先对信号进行小波分解（2 层），则噪声部分通常包含在  $d_1$ 、 $d_2$  中，在每一尺度采用强制消噪法，以门限阈值等形式对小波系数进行处理，然后对信号进行重构，可达到去除信号中的噪声，保留信号中的低频分量，即真实信号的目的，其基本步骤如下：

选择合适的小波和分解层次，对混有噪声的信号进行小波分解。根据多分辨分析理论，信号  $f(t) \in L^2(\mathbb{R})$  可以按以下空间组合展开。

$$L^2(R) = \sum_{j=-\infty}^j W_j \oplus V_j$$

式中:  $J$  为设定的分解

$$f(t) = \sum_k d_{j,k} \varphi_{j,k}(t) + \sum_k c_{j,k} \varphi_{j,k}(t)$$

式中:  $j(t), f(t)$  分别为尺度函数和小波函数;  
 $c_{j,k}$  和  $d_{j,k}$  分别为  $j$  尺度上的尺度系数和小波系数, 且  
 递推计算式为:

$$c_{j+1,k} = \sum_m h_0^{(m-2k)} c_{j,m}$$

$$d_{j+1,k} = \sum_m h_1^{(m-2k)} c_{j,m}$$

式中:  $h_0(n)$ ,  $h_1(n)$ 为展开系数  $r$ , 不随尺度  $J$  的化而变化, 且有:

$$h_0(n) = \langle \mathbf{f}(t), \mathbf{f}_+ (t) \rangle$$

$$h_l^{(n)} = \langle \mathbf{j}(t), \mathbf{j}_{l-1,n}(t) \rangle$$

分解过程见图 5 所示。



图 5 分解示意图

(2) 小波系数的阈值量化，在上述分解过程中，取采集到的信号为  $c^M, d^{M+N}, \dots, d^{M+1}$  和  $c^{M+N}, \dots, c^{M+1}$ ，分别对应信号小波分解的小波系数和尺度系数，信号中的噪声部分通常包含在高频部分，而有用信号则一般处在低频部分。因此，可将  $c^M, d^{M+N}, \dots, d^{M+1}$  和  $c^{M+N}, \dots, c^{M+1}$  全部置 0 或选择合适的阈值进行阈值量化处理，本文选择全部置 0 的处理方式。

(3) 经过步骤 (2) 的小波系数阈值量化处理后, 仅剩下最大尺度上的尺度系数, 再进行信号重构, 即可得去除噪声后的信号。重构算式为:

$$c_{j-1,m} = \sum_k c_{j,k} h_0^{(m-2k)} + \sum_k d_{j,k} h_1^{(m-2k)}$$

重构示意图如图 6 所示。

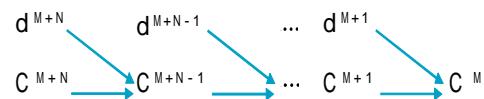


图 6 重构示意图

经过以上运算，对采样信号进行多层次分解，阈值处理及信号重构后，可以滤除高频信号，去除信号中的噪声，得到需要的信号，再经过相关分析和计算可得出要监测的阻性泄漏电流。

## 5 结束语

本系统在常用基波测量法的基础上，以 DSP 作

文章编号: 1005-8451 (2006) 08-0004-03

## AutoCAD 的产品图纸文本信息采集系统设计

费维周, 刘皓

(中铁宝桥股份有限公司, 宝鸡 721006)

**摘要:** 设计并实现自动采集 AutoCAD 图纸中标题栏和明细表的文本信息, 将信息存储到数据库中, 形成产品数据库。通过产品数据库, 实施企业产品数据管理 (PDM), 按照技术文件的要求通过产品数据库自动生成技术文件等外部文件。

**关键词:** 属性块; VBA; 技术文件; 文本

**中图分类号:** TP391.7      **文献标识码:** A

### Design on Text Information Acquisition System of AutoCAD blueprint

FEI Wei-zhou, LIU Hao

(Department of Research and Development, China Railway Turnout and Bridge Inc. Baoji 721006, China)

**Abstract:** It was designed to implement the property getting of title bar and list in AutoCAD blueprint automatically, and sent data to database. By the database, it was implemented enterprise's Product Data Management, could output technic-files according to the style of each enterprise criterion automatically.

**Key words:** property block; VBA; technic files; text

对于 AutoCAD 图纸中文本信息的提取, 目前企业没有一套很好的解决方案, 给企业产品数据管理 (PDM) 的实现带来了很大的困难; 技术人员设计完图纸以后, 需要编制技术文件。在编制技术文件的过程中, 在手工从图纸的标题栏和明细表中提取文

收稿日期: 2006-03-06

作者简介: 费维周, 工程师; 刘皓, 工程师。

为监测装置的核心控制器件, 分别在硬件上和软件上进行了改进。相关实验证明, 硬件上的频率自动跟踪电路, 可以实时跟踪电网频率, 解决了快速傅立叶变换中的易出现的频谱泄露问题。软件上利用小波分析, 通过对采样信号进行多层次分解、阈值处理及信号重构, 实现了去除信号噪声和现场干扰的功能。FFT 可方便地得到基波电压与基波电流, 求出需要监测的阻性电流。与目前普遍采用的 MOA 在线监测系统相比, DSP 器件的应用使本系统具有成本低、功耗低、数据处理能力强的优点, 且 DSP 特有的反间接寻址能力使 FFT 变得更加方便快捷, 测量结果也更加准确。

#### 参考文献:

[1] 刘明光. 高电压绝缘与试验技术 [M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2001, 6.

本消息时, 经常出现漏项、错项现象, 或者当图纸的明细内容发生变化时, 技术文件的内容没有作相应的变更, 给技术人员工作带来很多不便。为此, 我们基于 VBA 集成环境, 开发了 AutoCAD 的产品图纸文本信息采集系统, 通过对 AutoCAD 图纸中标题栏和明细表的文本信息的自动提取, 将信息存储到数据库中, 形成产品数据库, 完成 PDM 中的数据采

- [2] 成永红. 电力设备绝缘监测与诊断 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2001, 8.
- [3] 周霖. DSP 算法设计与系统方案 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2004, 7.
- [4] 陈继东. 小波变换应用于金属氧化物避雷器在线监测信号处理研究 [J]. 陶瓷避雷器, 2003 (6).
- [5] 邵涛. 电压谐波对金属氧化物避雷器泄露电流及阻性分量的影响 [J]. 电网技术, 2004 (8).
- [6] 郭红英. 避雷器在线监测系统应用 [J]. 电力学报, 2004 (1).
- [7] 孙广生. MOA 泄露电流阻性分量分析 [J]. 高压电器, 2003 (6).
- [8] 殷雄开. 金属氧化物避雷器检测方法的现状与发展 [J]. 高压技术, 2002 (6).
- [9] 蔡翊涛. 在运行电压下测量 MOA 阻性电流 [J]. 电磁避雷器, 2004 (5).
- [10] 傅中君. 应用过零法和谐波分析法精确测量 MOA 阻性电流基波 [J]. 电磁避雷器, 2004 (2).