

基于 COM 组件的电机转子绕组匝间短路故障诊断

韩 明, 周国强, 王震洲

(河北科技大学信息科学与工程学院, 河北石家庄 050018)

摘 要: 分析了探测线圈检测电机转子绕组匝间短路故障的机理, 应用小波变换算法对所得信号进行特征提取。采用 MATLAB 与 VC++ 混合编程, 将 MATLAB 的 M 文件直接嵌入 VC 环境, 完全脱离 MATLAB 运行。以 VC++ 图形界面作为前台, 实现信号采集、系统框架的搭建和界面的绘制; 利用 COM Builder 技术实现 MATLAB 与 VC++ 之间的通信; 以 MATLAB 为后台, 进行数据分析和计算, 实现电机转子绕组匝间短路故障判断。结果表明系统有良好的实际应用效果。

关键词: 匝间短路; 小波变换; COM 组件; 故障诊断

中图分类号: TM76 文献标志码: A

Fault detection of inter-turn short-circuit in rotor windings based on COM component

HAN Ming, ZHOU Guoqiang, WANG Zhenzhou

(College of Information Science and Engineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang Hebei 050018, China)

Abstract: We analyzed the mechanism of detecting the inter-turn short circuit in rotor winding fault with detecting coil, and extracts the signal feature with wavelet transform algorithm. Hybrid programming of MATLAB and VC++ is used, embedding M document of MATLAB into the VC and making them run normally without MATLAB. The signal collecting, system frame constructing and interface drawing can be carried out by adopting VC++ graphical interface as the front stage, while using COM builder technology to implement communication between MATLAB and VC++. With MATLAB as the back stage, the inter-turn short circuit in rotor windings fault can be judged through the data analysis and calculation. The results show that the system has a good effect in practical application.

Key words: inter-turn short circuit; wavelet transform; COM component; fault detection

转子绕组匝间短路故障是电机的常见故障之一, 严重的匝间短路故障将对机组的安全稳定运行构成威胁。笔者在微分探测线圈的基础上, 利用小波变换对采集到的信号进行分析, 提取电机转子绕组匝间短路故障的特征信号并对其进行分解。在软件上充分融合 VC++ 和 MATLAB 的优点, 以 VC++ 图形界面作为前台框架, 以 MATLAB 作为后台, 进行数值运算和数据可视化, 并最终利用组件对象模型(COM) 技术实现电机转子绕组匝间短路故障的诊断。

1 电机转子绕组匝间短路故障检测原理

当转子绕组存在匝间短路时, 会引起磁场的不对称, 破坏气隙磁场的正常分布, 同时故障所在槽漏磁动

势谐波也会相应发生变化。利用探测线圈来检测电机转子绕组线圈是否发生匝间短路故障的原理是在定转子气隙中安装微分探测线圈,其电势波形反映了电机气隙磁通密度的变化,即磁通变化引起电机转子各槽之间槽漏磁通在感应线圈中感应的电动势发生变化,分析探测信号的突变点,得到故障位置^[1]。

设气隙旋转磁场穿过探测线圈的有效面积为 S , 则磁通量 $\Phi = B(t)S$ 。当槽漏磁通通过探测线圈后转化为电动势信号,其大小可表示为

$$e = -n \frac{d\Phi}{dt} = -nS \frac{dB}{dt} \quad (1)$$

笔者以转子有 2 个极,每极 16 个槽的电机为研究对象。理想状态下,槽漏磁通在感应线圈中的感应电动势相等。假设不考虑噪声影响,正常运行时的模拟信号为主磁通在感应线圈中感应的电动势与槽漏磁通在感应线圈中感应的电动势之和。根据傅里叶级数可知主磁场和齿谐波基波分量均可表示为正弦,表达式为

$$s(t) = A' \sin(2\pi t) + B' \sin(32 \times 2\pi t) \quad (2)$$

正常运行情况下,认为 32 个槽的齿谐波幅值均相等。当发生匝间短路时,对应槽的安匝数减少使得磁通量减小,感应电动势 e 相应减小,发生匝间短路的槽的齿谐波幅值也相应减小。当某一个槽发生匝间短路时,槽漏磁通在感应线圈中感应的电动势减小的表达式为

$$g(t) = B[u(t)\sin(32 \times 2\pi t) - au(t-t_1)\sin(32 \times 2\pi t) + au(t-t_2)\sin(32 \times 2\pi t)] \quad (3)$$

则发生故障时的气隙磁动势表示为

$$s(t) = A' \sin(2\pi t) + g(t) \quad (4)$$

其中,

$$u(t) = \begin{cases} 1, & t \geq 0, \\ 0, & t < 0. \end{cases} \quad (5)$$

令 $A' = 1, B' = 1, a = 0.1$, 即分解后故障槽所对应的齿谐波幅值减小为原来的 90%^[2]。

2 故障诊断的系统组成

电机转子绕组匝间短路故障诊断利用探测线圈采集气隙电动势信号,并对信号进行调理后送至信号采集和处理模块进行分析。信号处理算法采用小波变换,通过 MATLAB 与 VC++ 混合编程构建算法的分析和计算平台,对信号进行 3 层小波分解,显示正常信号与故障信号的原始波形和处理之后的波形,通过对比正常信号与故障信号,判断故障点的位置。系统结构框图如图 1 所示。

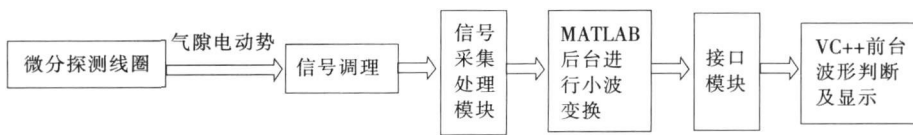


图 1 故障诊断系统结构框图

Fig. 1 Block diagram of fault diagnosis system

3 系统关键技术及实现

3.1 小波变换算法

小波变换是一种窗口大小固定但形状可变同时其时间窗和频率窗均可变的时频局部化分析方法。这一方法克服了傅里叶变换不能对信号进行局部化分析的严重缺点,具有很强的局部特征提取功能。小波分析在时域、频域都具有良好的局部化性质,尤其适用于分析奇异信号。

实验所采集的探测信号中的每个峰值表示电机转子的 1 个槽,对电机的每个槽进行编号,利用小波变换算法对采集的探测信号进行分解。利用小波高频分解系数的模极大值点方法定位故障槽。

设函数 $\theta(x)$ 满足 $\int_{-\infty}^{\infty} \theta(x) dx = 1$, 且 $\theta(x) = O(1/(1+x^2))$, 则 $\theta(x)$ 为光滑函数。若选择的小波函数

$\Psi(x)$ 为光滑函数的一阶导数,即 $\Psi(x) = \frac{d\theta(x)}{dx}$, 同时 $\Psi(x)$ 满足允许性条件,则二进小波变换可表示为

$$Wf(s, x) = f(x) \times \Psi_s(x) = f(x) \times (s \frac{d\theta_s(x)}{dx}) = s \frac{d}{dx}(f(x) \times \theta_s(x)), \quad (6)$$

式(6)中二进小波变换 $Wf(s, x)$ 表示信号 $f(x)$ 在尺度 s 下被 $\theta_s(x)$ 平滑后的一阶导数, 则小波变换 $Wf(s, x)$ 的幅值极大点即为检测信号 $f(x)$ 的突变点^[3]。从电势波形很难发现突变点, 但对该电势信号进行小波变换之后很容易发现突变点, 进而可以据此判断故障点的位置, 算法流程图见图 2。

3.2 MATLAB 与 VC++ 混合编程

MATLAB 提供了大量数学函数, 但是其程序运行效率低, 不能脱离 MATLAB 软件环境, 程序的通用性和可移植性差。VC 具有代码效率高, 执行速度快等优点, 但是其提供的数学函数相对较少, 开发时间长, 不适于复杂的数值运算。因此 MATLAB 和 VC++ 的混合编程可以充分融合二者的优点, 开发出具有良好用户界面、强大数据处理能力的应用软件^[4]。

3.2.1 MATLAB 与 VC++ 混合编程方法

1) 利用 MATLAB 引擎, 以 VC++ 作为前台, 调用 MATLAB 引擎后台与 MATLAB 服务器建立连接, 实现命令和数据信息的传递。

2) 利用 MATLAB 自带的 MCC 编译器, 在 VC 中编写程序界面并加载调用 MATLAB 的 DLL 动态链接库, 实现两者之间的连接。

3) 使用 Matcom 编译器可以将 MATLAB 源代码译成具有同等功能的 VC++ 代码, 既保持了 MATLAB 的优良算法又提高了执行速度, 它还支持一定的图形显示, 生成的代码可读性好。

4) 利用 MATLAB COM Builder。COM Builder 可以直接被其他支持 COM 的 VC++ 语言所引用。

以上 4 种方法中, 第 1 种方法虽然功能全面, 应用程序整体性能好, 但不能脱离 MATLAB 环境; MCC 方法和 Matcom 方法虽然可以脱离 MATLAB 环境, 但都不能调用 MATLAB 工具箱中的函数; COM Builder 可以生成不依赖于 MATLAB 环境的独立程序, 因此可获得最快的运行速度, 不需进行代码转换。鉴于以上分析, 笔者利用 COM Builder 技术实现 MATLAB 与 VC++ 的通信^[5]。

3.2.2 MATLAB 与 VC++ 通信

笔者主要介绍如何利用 COM Builder 技术实现 MATLAB 与 VC++ 之间的通信。首先对气隙电动势信号编写小波分解的 M 函数并将其编译成功; 在 VC++ 环境下编写 Windows 用户界面用以输入可变参数值, 并调用 COM 组件, 实现快速计算和参数输入以及波形显示等的可视化界面的功能, 实现两者之间的无缝连接。MATLAB 与 VC++ 通信框图见图 3。

MATLAB 与 VC++ 之间进行通信经过执行以下 2 步来完成。

1) 在 MATLAB 下做 COM 组件 首先编写系统的 .M 文件, 主要实现匝间短路故障分析。M 文件的函数名称要与主函数名称一致, 以保证 MATLAB 编译器能够对 M 文件顺利进行编译并利用 .M 文件生成 COM 组件^[6]。

2) VC++ 中调用 COM 组件 首先运行 COM 组件的 EXE 执行文件。将 MATLAB 编译环境下的头文件等添加到系统环境变量中, 再将组件中的 .C 和 .h 文件添加到 VC++ 工程中, 即可进行波形的显示及对

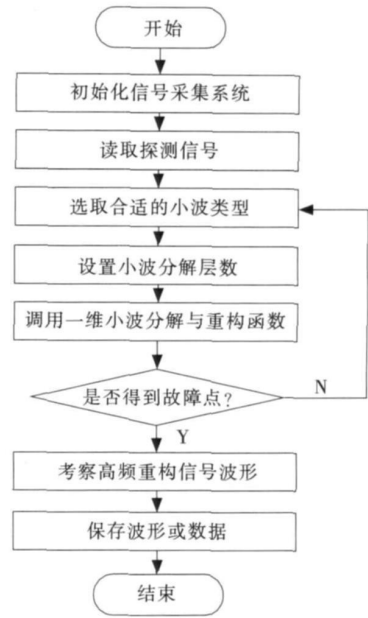


图 2 小波变换法定位电机转子绕组匝间短路故障算法流程图

Fig. 2 Wavelet transform location winding rotor fault algorithm flow chart

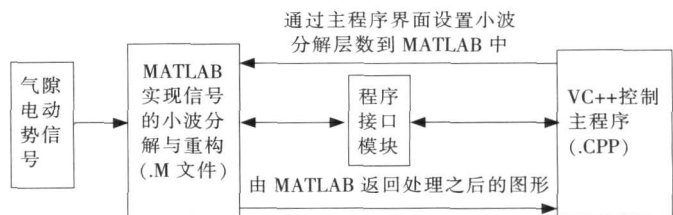


图 3 MATLAB 与 VC++ 通信框架

Fig. 3 Communication framework between MATLAB and VC++

比, 通过对比即可对匝间短路是否发生故障进行判断以及对故障点进行定位。

4 故障波形分析

利用一维连续小波变换进行故障信号特征提取, 再根据特征值进行故障的判别。选取 Daubechies 正交小波来进行故障突变点的分析, 同时综合考虑信号分析精度和速度的要求, 选择 3 层分解^[7], 然后分别对高频、低频部分进行单支重构。图 4 表示的是转子绕组正常和故障时模拟信号的情况。图 5 和图 6 中是小波分解及单支重构处理的结果, 其中 d_1, d_2, d_3 是对高频部分进行单支重构的波形图, a_3 是对低频部分进行单支重构的波形图。利用上述方法进行正常运行时的信号以及发生匝间短路故障时的信号进行对比实验, 取得了较好的结果。实验结果见图 4、图 5、图 6。

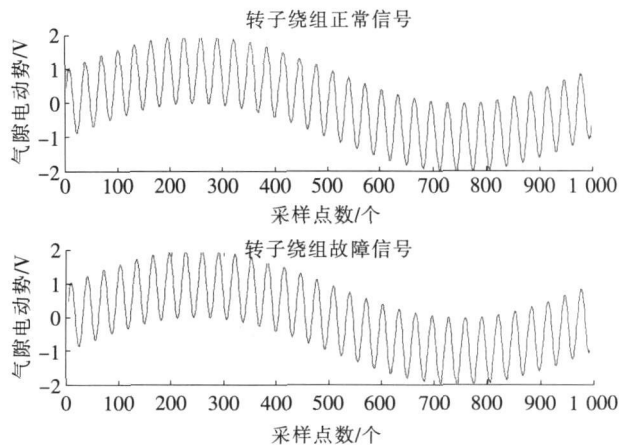


图 4 转子绕组正常和故障时的模拟信号

Fig. 4 Analog signal when rotor windings are normal and fault

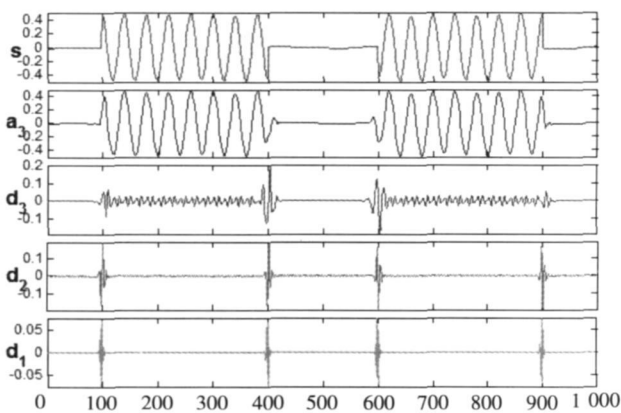


图 5 正常信号的小波变换

Fig. 5 Wavelet transform of normal signal

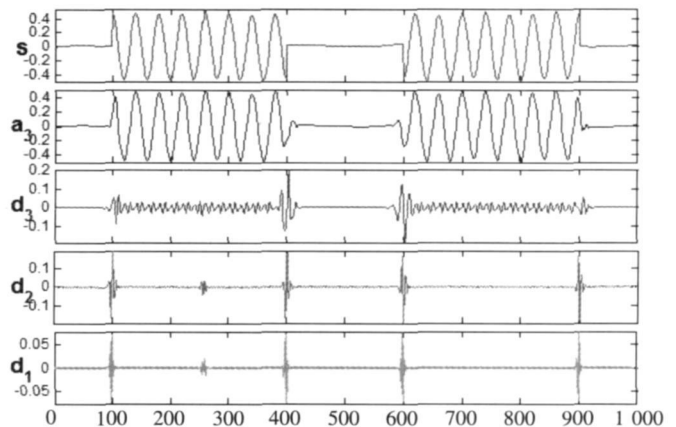


图 6 故障信号的小波变换

Fig. 6 Wavelet transform of fault signal

比较正常信号和故障信号的波形可以看出, 其均为光滑的正弦波, 故障波形为 5 号槽发生了匝间短路, 但是仅从图 4 看不出任何故障信息。因此需要把信号在某一小波基上展开, 然后分解到不同的频带上来实现。

由图 5 可以看出正常信号各细节波形没有出现异常情况。在图 6 中可以看出 d_2, d_1 层出现了明显的极大值, 此位置正对应出现故障的第 5 号槽。由上述分析可见, 通过对信号进行小波分析, 可以很好地实现对故障的检测和定位。

5 结 论

在分析电机转子绕组匝间短路时的气隙磁场特性以及探测线圈工作原理的基础上, 将小波分析算法应用到电机转子绕组匝间短路故障诊断中^[8]。通过 MATLAB 与 VC++ 混合编程, 对算法进行处理和显示。实验结果表明此方法在匝间短路故障中的应用具有可行性和很高的应用价值。

参考文献:

[1] 陈小玄, 罗大庸, 单勇腾. 基于小波分析的转子绕组匝间短路故障诊断方法[J]. 自动化技术与应用(Techniques of Automation and Application), 2007, 26(2): 85-89.

(下转第 42 页)

避免重复建设的较为合理的方案^[7]。

户用仪表物联网上的信息交换可以双向进行,除了上面所述的户用仪表的数据上传实现抄表功能外,还可利用物联网对居民小区的户用仪表等设施传送信息,实现控制户用仪表和居民小区的各种设施的功能。

4 结 语

1) 利用 M-Bus 总线技术构造物联网的户用仪表小区楼宇基础网络系统,具有布线简单、成本低、容量大、带载能力强、传输距离远、抗干扰能力强的特点。

2) 采用 MSP430 嵌入式单片机系统建立小区户用仪表主站,具有数据处理能力强、存储容量大及故障诊断的功能。

3) GPRS 无线数据传输技术可实现小区户用仪表主站与城市收费管理运营公司之间的无线数据交换,是城市区域户用仪表物联网的重要环节,构建户用仪表的物联网实现了城市基础设施的有效利用。

参考文献:

- [1] 周连廷. MSP430FW427 在热表中的应用[J]. 单片机与嵌入式系统应用(Microcontroller & Embedded System), 2004(6): 82-84.
- [2] 刘立群,孙志毅. 基于 M-Bus 的超低功耗数据采集系统[J]. 单片机与嵌入式系统应用(Microcontroller & Embedded System), 2006(1): 24-29.
- [3] 刘慕双,邹克武. 低功耗数据远传热量表的研制[J]. 现代测量与实验室管理(Advanced Measurement and Laboratory Management), 2006(4): 5-7.
- [4] 宋俊德. 浅谈物联网的现状和未来[J]. 移动通信(Mobile Communications), 2010(15): 8-10.
- [5] 赵 静,喻晓红,黄 波,等. 物联网的结构体系与发展[J]. 通信技术(Communications Technology), 2010, 43(9): 106-108.
- [6] 冯凌杰,张 梅,范建丰. 基于 GPRS 远程监控系统的通信实现[J]. 微处理机(Microprocessors), 2010(3): 36-38.
- [7] 杨 倩. 物联网关键技术及应用[J]. 电信科学(Telecommunications Science), 2010(8A): 139-142.
- [8] 王静哲,周永鹏. 基于 GSM 天线网络的远程抄表系统设计[J]. 河北科技大学学报(Journal of Hebei University of Science and Technology), 2003, 24(4): 53-56.
- [9] 刘俊伏,刘金娥. 基于 GPRS 的城市路灯远程监控系统[J]. 河北工业科技(Hebei Journal of Industrial Science and Technology), 2007, 24(5): 286-288.

(上接第 19 页)

- [4] 田元生,刘春根. p -拉普拉斯四点边值问题拟对称正解的多重性[J]. 系统科学与数学(Journal of System Science and Mathematical Science), 2010, 30(3): 349-357.
- [5] ZHANG B, LIU X. Existence of multiple symmetric positive solutions of higher order Lidstone problems[J]. J Math Anal Appl, 2003, 284: 672-689.

(上接第 33 页)

- [2] 李永刚,李和明,万书亭. 发电机转子绕组匝间短路故障特征分析与识别[M]. 北京:中国电力出版社,2009.
- [3] SOTTILE J, TRUTT F C, LEEDY A W. Condition monitoring of brushless three phase synchronous generators with stator winding or rotor circuit deterioration[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2006(9/10): 1 209-1 215.
- [4] 葛哲学,沙 威. 小波分析理论与 MATLAB R2007 实现[M]. 北京:电子工业出版社,2007.
- [5] 张 毅,李夏青,范圣韬. 基于 VC 和 Matlab 混合编程的牵引供电故障诊断系统[J]. 北京石油化工学院学报(Journal of Beijing Institute of Petrochemical Technology), 2008, 16(3): 21-25.
- [6] 李建明,唐心亮,韩 明,等. 基于小波包能量谱的天气雷达伺服电机故障预警系统研究[J]. 河北科技大学学报(Journal of Hebei University of Science and Technology), 2010, 31(3): 233-235.
- [7] WOOD J W, HINDMARCH R T. Rotor winding short detection[J]. IEE Proceedings-Pt B, 1986, 133(3): 181-189.
- [8] 刘教民,赵小英,魏世泽,等. TM S320C40 实现图像高速采集和处理系统[J]. 河北科技大学学报(Journal of Hebei University of Science and Technology), 2001, 22(3): 1-5.