

伺服驱动器功率开关管故障检测仪设计

Design of the Power Transistors Fault Locator of Servo Driver

晏杰^① YAN Jie; 闫英敏^① YAN Ying-min; 赵霞^① ZHAO Xia; 赵志宁^{②③} ZHAO Zhi-ning

(①军械工程学院, 石家庄 050003; ②总参炮兵训练基地, 宣化 075100; ③军械工程学院装备指挥与管理系, 石家庄 050003)

(①Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China; ②Artillery Training Base of General Staff, Xuanhua 075100, China;

③Equipment Command and Management Department, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

摘要: 以 TMS320LF2407A DSP 作为核心处理器, 设计了一种基于电机电流信号分析法的伺服驱动器功率开关管故障检测仪。该检测仪使用了小波多分辨率分析的方法从伺服驱动器的输出电流信号中提取开关管开路故障特征向量。实验结果表明了所设计检测仪的可行性和有效性。

Abstract: A power transistors fault locator of servo driver is designed by using TMS320LF2407 DSP as microprocessor based on the motor current signature analysis method. The wavelet multi-resolution analysis method is used by the fault locator to extract the open circuit fault eigenvectors of the power transistors from the output current signals of the servo driver. The experimental results indicate the feasibility and effectiveness of the designed fault locator.

关键词: 伺服驱动器; 功率开关管; 小波多分辨率; 故障特征

Key words: servo driver; power transistor; wavelet multi-resolution; fault feature

中图分类号: TM93

文献标识码: A

文章编号: 1006-4311(2013)01-0017-02

0 引言

根据有关统计数据, 在伺服系统中, 伺服驱动器发生故障的概率达到了故障全部概率的 31%^[1]。在伺服驱动器的常见故障中, 有一类是“功率主电路开关管开路故障”。当发生开路故障的某个开关管不影响伺服电机启动时, 伺服驱动器仍然能够驱动电机运行, 这种故障就显得非常隐蔽。因此对此类故障进行识别就非常重要。根据主电路输出的电流信号对其进行故障诊断已经成为人们常用的一种方法^[2,3,4]。本文采用 TMS320LF2407A DSP 作为核心处理器, 设计出了伺服驱动器功率开关管故障检测仪。

1 主要硬件电路设计

本文所测试的某型伺服驱动器输出三相电流的检测可以用 LEM 公司的 HX-25P 型电流传感器, 该电流传感器的原边额定电流为 ±25A, 原边电流最大测量范围为 ±75A, 供电电压均为 ±15V, 副边输出额定电压均为 ±4V, 副边输出的最大电压均为 ±12V。以伺服驱动器的 U 相电流为例, 其检测电路如图 1 所示。

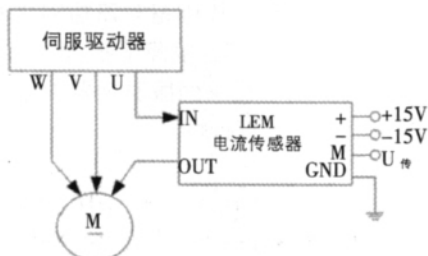


图1 伺服驱动器输出U相电流的检测电路

作者简介: 晏杰(1988-), 男, 陕西汉中, 硕士研究生, 研究方向为装备电气系统故障诊断与检测。

具有验证周期短, 分析速度快等优点, 解决了在生产分析过程中 B 元素需要化学检验的复杂过程, 即使在冶炼过程中发生问题, 也能及时得到解决, 这一分析方法填补了我公司用直读光谱仪分析硼的空白。

参考文献:

由于电流传感器输出信号 $U_{传}$ 的范围为 $-12V \sim +12V$, 而 TMS320LF2407A DSP 的 ADC 模块所能转换的电压范围为单极性的 $0V \sim 3.3V$, 因此必须对要采集的电流传感器的输出信号 $U_{传}$ 进行调理, 其调理电路如图 2 所示。

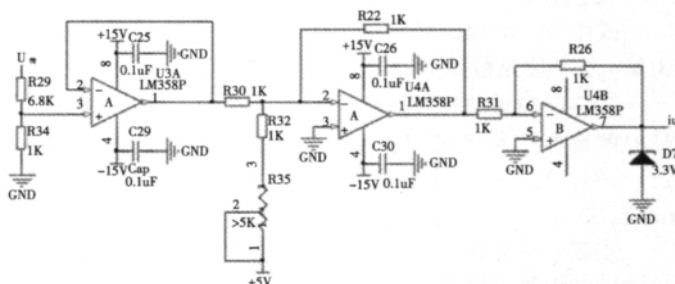


图2 电流传感器输出信号的调理电路

根据图 2 中电路的工作原理, 有

$$\left[U_{传} \cdot \frac{R_{34}}{R_{29}+R_{34}} \cdot \left(-\frac{R_{22}}{R_{30}} \right) + 5V \cdot \left(\frac{-R_{22}}{R_{32}+R_{35}} \right) \right] \cdot \left(-\frac{R_{26}}{R_{31}} \right) = i_u \quad (1)$$

取 $R_{22}=R_{26}=R_{30}=R_{31}=R_{32}=R_{34}=1k\Omega$, $R_{29}=6.8k\Omega$, 代入式(1)中并化简, 得到

$$i_u = 0.1282 U_{传} + \frac{5V \cdot k\Omega}{R_{35}+1k\Omega} \quad (2)$$

在式(2)中, 令 $\frac{5V \cdot k\Omega}{R_{35}+1k\Omega} = 1.6V$, 得 $R_{35} = 2.125k\Omega$,

且有:

$$U_{传} = \frac{i_u - 1.6V}{0.1282} \quad (3)$$

此时当 $U_{传} = -12V \sim +12V$ 时, $i_u = 0.0616V \sim 3.1384V$ 。即

[1] 武汉大学. 分析化学实验室[M]. 北京: 人民教育出版社, 1979: 104-105.

[2] ARL-3460/4460 金属分析参考手册[M]. 1972 45-49.

[3] 田蔚. 材料物理性能[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2004: 109-110.

通过调节可调电位器 R35 使 $R35=2.125k\Omega$, 可使得最终送入 DSP ADC 模块进行 A/D 转换的电压范围为 $i_L=0.0616V\sim 3.1384V$, 满足 $0V\sim 3.3V$ 的要求。

其它两路电流信号的检测与调理电路与伺服驱动器输出 U 相电流的检测与调理电路相同, 不再赘述。最终的检测结果将通过 LCD 液晶显示器显示。

2 基于小波分析的故障特征提取方法

信号的小波多分辨分析的基本算法是著名的“Mallat 塔形算法”。当伺服驱动器功率变换主电路中的不同功率开关管发生开路故障时, 其输出的故障电流信号将包含不同的谐波成分, 因此伺服驱动器输出的故障电流信号经小波分解后在各频带上的投影是不同的。所以可以通过对伺服驱动器的输出电流信号进行正交小波分解, 得到分解后各尺度空间的信号能量, 然后将这些能量按尺度大小排列成的向量作为故障特征向量, 这样的分析方法称为频带能量分析法^[5]。采用频带能量分析法从伺服驱动器输出电流信号中提取故障特征向量的具体步骤为:

①将相电流信号进行 N 层小波分解, 得到各层共 N 个小波系数序列 $\{d_{jk}, j=1, 2, \dots, N\}$ 。

②求各层小波系数序列的能量。设 E_j 为第 j 层小波系数序列 $\{d_{jk}, j=1, 2, \dots, N\}$ 的能量, 有

$$E_j = \sum_{k=1}^n |d_{jk}|^2 \quad (1)$$

式中 d_{jk} 为第 j 层小波系数序列中的第 k 个分量, n 为第 j 层小波系数序列中分量的个数。

③特征向量的构成。按尺度顺序, 以各层小波系数序列的能量为元素得到一组与电流信号对应的序列 $\{E_j, j=1, 2, \dots, N\}$, 则可由此确定与能量序列对应的故障特征向量 $u=(E_1, E_2, \dots, E_N)$ 。

④归一化处理。为了给数据运算和分析带来方便, 对故障特征向量进行归一化处理, 即:

$$\bar{u} = (E_1, E_2, \dots, E_N) / \sum_{n=1}^N E_n \quad (2)$$

利用故障特征向量 $\bar{u}$ 即可对伺服驱动器功率主电路的不同工作状态进行确定, 从而实现其故障模式的识别。

3 主要软件设计

3.1 电流信号采集子程序 检测仪通过对电流信号进行离散小波变换以实现主电路中功率开关管开路故障的诊断, 而要进行离散小波变换的数据个数必须是 2^n ($n \in N+$) 个, 考虑到 DSP 内部存储器的容量大小及小波变换运算量的大小, 决定对每相电流采样 256 个数据点后再对其处理。

3.2 故障特征提取子程序 检测仪采用基于小波分析的方法从采集到的电流信号中提取功率开关管故障特征向量。目前尚没有一个公认的原则来选择小波基函数及最佳小波基, 实际中可采用试验比较的办法来选择。通过多次尝试, 采用 db3 小波对电流信号进行 5 层分解可以提取出反映功率变换主电路工作状态的故障特征向量, 且运算量适当, 易于实现。故障特征向量提取子程序如图 4 所示。

4 实验结果与结论

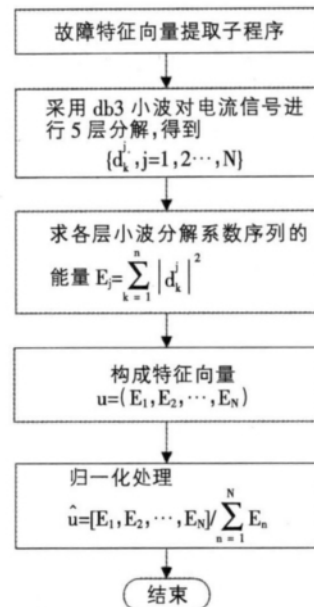


图 4 故障特征向量提取子程序

通过拔掉在实际伺服驱动器驱动板电路中用于传递主电路功率开关管控制信号的光耦, 来模拟功率开关管的开路故障状态。并在不同的状态下, 使伺服驱动器运行, 使用所设计的检测仪对伺服驱动器进行测试。通过 CCS2000 软件的变量观察窗口可观察到在伺服驱动器功率变换主电路正常工作、A 相上桥臂开关管 V1 发生开路故障、A 相下桥臂开关管 V4 发生开路故障这 3 种工作状态下对 A 相电流处理后得到的归一化后的故障特征向量如表 1 所示。

表 1 不同状态下归一化后的故障特征向量

主电路状态	归一化后的故障特征向量
正常状态	(0.0004, 0.002, 0.03, 0.095, 0.869)
V1 开路	(0.0007, 0.0029, 0.027, 0.176, 0.793)
V4 开路	(0.007, 0.005, 0.085, 0.280, 0.623)

由表 1 可知, 在主电路 3 种不同工作状态下, 3 个不同的故障特征向量的部分分量之间存在着显著的差别, 检测仪正是利用这些差别对伺服驱动器功率主电路的不同工作状态进行确定, 从而实现故障诊断。通过实验, 说明了小波多分辨率分析用于检测伺服驱动器功率主电路开关管开路故障的有效性和可行性。

参考文献:

- [1] Li Baoan, Fan Ju, Liu Chou Kee. ATE Applied into Fault Modeling and Fault Diagnosis of AC Servo Motor PWM Driver System[C]. IEEE Autotestcon, September 2005:478-482.
- [2] 宋彦兵, 方瑞明, 卢小芬, 刘杰. 基于改进的 MCSA 法的变频电机转子故障诊断[J]. 电机与控制, 2009, 36(3):38-42.
- [3] 刘曼兰, 呼向东, 崔淑梅. 永磁直流电机故障诊断中电流信号分析与处理[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2005, 37(6):836-838.
- [4] 杨瑞坤, 马瑞卿. 基于 ADuC812 的航空无刷直流电机电子保护装置[J]. 机电一体化, 2009, 2(2):61-64.
- [5] 虞和济. 基于神经网络的故障智能诊断[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2000, 5.