

文章编号:1671-251X(2024)S1-0122-05

带式输送机传动机构故障定位系统的设计

辛磊, 胡敬

(国能神东煤炭集团有限责任公司 大柳塔煤矿, 陕西 榆林 719315)

摘要:针对带式输送机运行过程中的故障难以定位,效率低和实时性、兼容性问题,在 CANopen 协议的基础上对带式输送机的传动机构故障定位进行系统设计。首先对系统的系统电路、电源电路、通信电路等进行设计;然后对系统软件进行设计,设计程序流程图,在此基础上编写软件设计程序;通过基于集合经验模态分解(EEMD)和快速 FastICA 算法对胶带机故障诊断的噪声进行降噪处理。对带式输送机轴承的振动信号进行故障诊断,在 60 组测试样本中,有 3 组样本发生了识别错误的情况,预测精度达到了 95%。说明故障诊断方法可有效的从信号中提取故障特征信息,能够利用故障特征信息对故障进行精确的分类。对设计的故障定位系统进行功能测试,测试结果显示系统具有稳定的可靠性和即时性,可在胶带机运行过程中对出现的故障进行快速定位。

关键词:CANopen 协议;降噪处理;故障定位系统;软件设计

中图分类号:TD634.1

文献标志码:A

Design of fault location system for belt conveyor transmission mechanism

XIN Lei, HU Jing

(Daliuta Coal Mine, CHN Energy Shendong Coal Group Co., Ltd., Yulin 719315, China)

0 引言

随着工业生产的蓬勃发展,工业生产自动化程度也逐渐增大,许多自动化生产中的机器负荷都变得更大,带式输送机也不例外^[1]。面对运输物品重量和运输路程长度的增加,带式输送机运输路程中的保护设备也应进行增加,而增加的保护设备带来的就是胶带机出现故障时的定位变得更复杂,需及时解决^[2]。CANopen 协议是 CAN 总线应用层中应用最广泛的协议^[3]。CAN^[4]总线是一种主结构,任意 2 个节点之间都可通过纵向实现信息传输,总线上任意节点的通信是不受距离限制的。相较于其他总线的实时性、可靠性和分布性都更高更稳定,但兼容性不足,于是选择 CANopen 协议作为标准的应用层协议规定其报文使用^[5]。张喆等^[6]针对带式输送机运用传统浅层神经网络进行故障诊断时样本不足、准确率低的问题,提出以过采样技术(Synthetic Minority Oversampling Technique, SMOTE)和深度置信网络(Deep Belief Networks, DBN)为基础的胶带机故障诊断方法,该方法将样本数据输入 DBN 后,提取其中包含的故障特征,有

监督微调对故障诊断能力进行优化,进行仿真实验,结果表明,研究提出的方法有效地提高了带式输送机中故障诊断的准确率。曾武等^[7]为了解决交流伺服电动机系统参数过于复杂,操作性差,不够稳定可靠,线路复杂等问题,提出了以 CANopen 协议的 CAN 总线伺服电动机驱动控制设计方法,进行实验表明,该方法的 CAN 总线和 PC 商务机通信控制更简便,效果更好,传输的速度得到了提升。综上所述,带式输送机的故障检测在自动化生产过程中是值得探讨和研究的问题,因此研究设计选择在 CANopen 协议的基础上对带式输送机的传动机构故障定位进行系统设计,来提高工业自动化生产的效率。将 CANopen 协议与故障定位系统进行结合,进行软件及硬件的设计。

1 带式输送机传动机构故障定位系统设计及故障诊断

1.1 带式输送机传动机构故障定位系统的硬件设计

基于 CAN 总线技术,从系统的主站、从站及手持地址编码终端之间的交互开始。系统主站的电路

收稿日期:2024-01-25;编辑:郑海霞。

作者简介:辛磊(1985—),男,内蒙古包头人,工程师,从事胶带机运行管理、故障排查与维护检修的相关研究工作,E-mail:

345939212@qq.com。

中包含 CAN 总线通信电路、电源电路、 5×7 点阵显示电路、RS485 通信和 SPI 通信电路等,为了保障信息传递的实时性,系统主站使用两片单片机,并依靠 SPI 进行通信连结。电源电路设计采用了降压型开关稳压器 LM2376-5.0,其优势为输入电压范围宽广、保护功能强大。电源电路如图 1 所示。

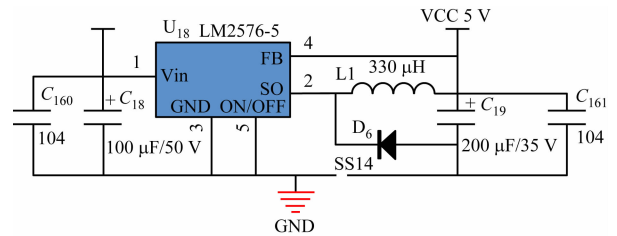


图 1 电源电路

输入电容元件的作用是防止在输入中电解电容过大,二极管具有开关灵敏、正向压和反向压的反应时间快,电感是电路中实现储存电能的元件,输出的电容是电解电。 5×7 点阵显示电路分为共阴和共阳 2 级^[8]。系统设计选择的是共阳极点阵,考虑到实际应用问题,选择了 6 个 5×7 点阵进行扫描,扫描分为行、列 2 种扫描方式,行扫描在任何点阵上仅需扫描 7 行来达到完整展示,而列扫描需扫描 30 列来达到完整展示。采用行扫描可大大提高扫描速度,降低单片机的占用时间,因此行扫描适用于系统的设计。RS485 通信电路中包含主站下属的 16 位数据,数据表示的是已发送故障信息的从站地址码和与其对应的故障信息。RS485 芯片其中使用了高速隔离器 6 N137 来提升抗干扰能力^[9]。普遍情况下,CAN 总线节点的地址编码的主要作用部件是拨码开关^[10]。故障定位前的故障诊断问题中,故障产生的原因可能会来自机械运行过程中产生的噪声,噪声将胶带机轴承运行的特征信息淹没,导致故障诊断效果不佳^[11-14]。

选择基于集合经验模态分解 (Ensemble Empirical Mode Decomposition, EEMD) 和快速 FastICA 的降噪方法^[15],该方法先利用 EEMD 算法分解特征信息的振动信号,分解后的分量在相关系数的基础上重新构建,重构完成后输入 FastICA 算法。将震动信号与噪声剥离开,以完成信号降噪。EEDM 算法在获得的信号上加入高斯白噪声对其进行分析,利用高斯白噪声频率均匀分布的统计特性,使信号在不同尺度上具有连续性,从而减小模态混叠的程度^[16]。FastICA 算法在源信号和混合通道参数未知时,可将不同尺度的信号,自动分配到 1 个参考尺度上,确保信号是连续不断的。对盲源的分离速度快效果好。FastICA 算法在原型号和混合铜套参数未知时,以源信号的统计特性为标准,恢复

出独立分量,达到分离噪声的目的。

1.2 系统软件设计

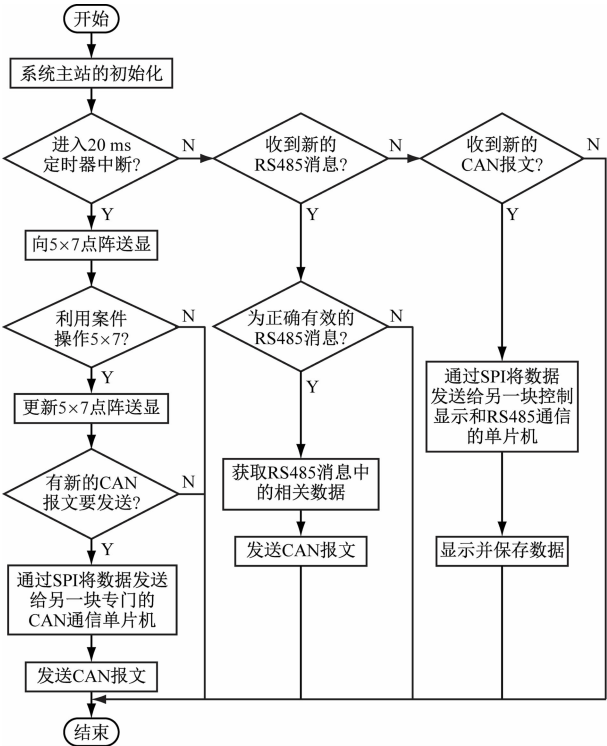
系统主站、系统从站和手持地址编码终端的 CANopen 协议栈的实现内容各有不同,实现 CANopen 协议栈的基础是 CAN 总线通信的软件设计^[17]。为了保障软件程序的规范和可读能力,定义了用来统一描述 CAN 保温的相关特性的结构体。因本系统所选择的 PIC18F25K80 中已经存在了 ECAN 模块,所以根据单片机的数据说明书,对单片机中和 ECAN 模块相关的寄存器 (CAN 控制、CAN 状态、CAN 中断及 CAN 波特率的寄存器) 进行简单配置。

$$B_{\text{BIT}} = 1/T_{\text{BIT}} \tag{1}$$

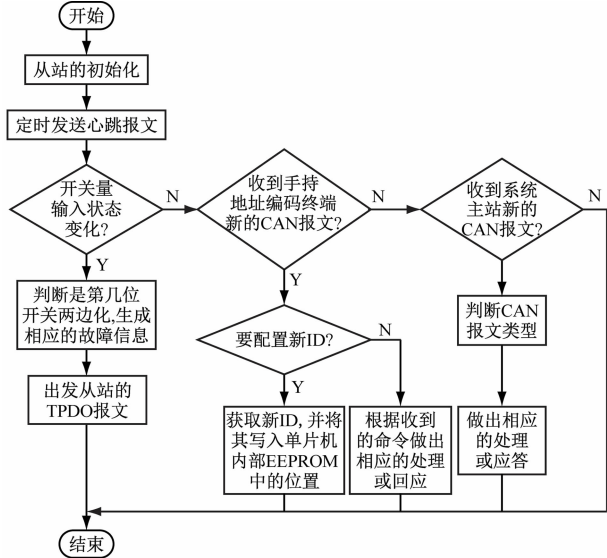
$$T_{\text{BIT}} = TQ(\text{Sync_Seg} + \text{Prop_Seg} + \text{Phase_Seg1} + \text{Phase_Seg2}) \tag{2}$$

式中: B_{BIT} 为标称比特率; T_{BIT} 为标称时间; TQ 为时间份额;Sync_Seg 为同步段;Prop_Seg 为传播时间段;Phasw_Seg1 为相位缓冲段 1;Phase_Seg2 为相位缓冲段 2。

系统主站的软件设计使用中断控制,来确保系统具有较为灵敏的响应速度^[18]。系统主站中含有 4 种中断方法。系统主站、从站的软件设计流程如图 2 所示。由图 2(a)可看出,在通电后对系统主站进行初始化操作,检查 20 ms 定时器有无中断行为,若有则向 5×7 点阵发送,检查是否完成点阵操作,操作时要按照相应的实例操作来更新显示内容,并判断新的 CAN 报文是否在新的接口上。有时用 SPI 通过对主从站的 RS485 通信和主从站的 CAN 通信采用中断的方式进行接收。 5×7 点阵显示的软件程序设计是以分页显示为基础的,RS485 通信是以单片机的 USART 通信为基础来完成的。系统从站的功能包括实现必要的 CANopen 协议功能和实时循环检测开关量^[18-21]。开关量的输出状态变化会导致 TPDO 开启传输,相对地,将故障信息传回主站。由图 2(b)可看出,对从站进行初始化,使从站在初始化结束后,按照一定的时间间隔,对从站新型周期性进行检测,并对从站进行切换,触动从站的 TPDO 报文,将故障信息发送回到主站。如果 CAN 报文是从系统主站 (通常是 ECU) 发出的,主站在收到报文后,会立即对其进行相应的处理;如果 CAN 报文是从手持地址编码终端 (通常是 ECU) 发出的,主站在收到报文后,会立即对其进行相应的处理。手持地址编码终端的程序软件设计包括遵循 CANopen 协议的 LSS 子协议,实现对从站的 ID 和 CAN 总线同核心速率配置。



(a) 主站



(b) 从站

图 2 系统主站、从站软件设计

2 系统故障信号降噪结果测试和系统检测

为了验证故障诊断中信号的降噪效果,对带式输送机轴承的振动信号进行故障诊断。首先通过EEMD 随原始振动信号进行分解,得到了多个固有模态函数(Intrinsic Mode Function, IMF)分量。然后将各 IMF 分量的能量作为 FastICA 算法的输入,对重构后的振动信号进行去噪处理。最后对降噪后的信号进行特征提取,得到故障特征向量 300 组,选择其中的 220 组特征向量作为训练集,80 组特征向量作为测试集。带式输送机中的滚动轴承中采集得到的振动信号时域波形和波络谱如图 3 所示。

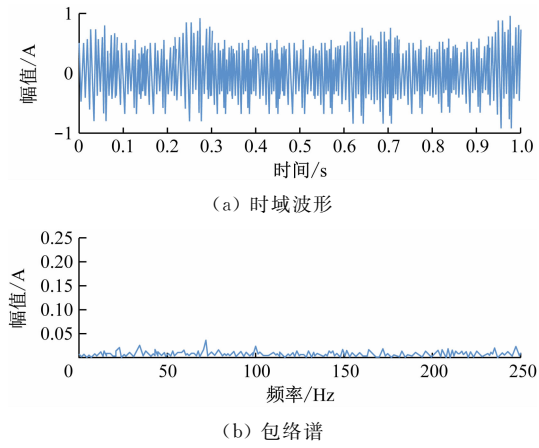


图 3 滚动轴承振动信号的时域波形和包络谱

由图 3 可看出,振动信号表现杂乱,可用于故障判断的特征信号在波动中被淹没,频率不明显。

利用 EEMD 算法对采集的振动信号进行分解处理,在分解过程中添加高斯白噪声,加入的高斯白噪声幅值为采集的振动信号幅值的 0.2 倍,分解次数 $N=100$,得到 10 个不同尺度的包含故障特征频率的 IMF 分量,如图 4 所示。

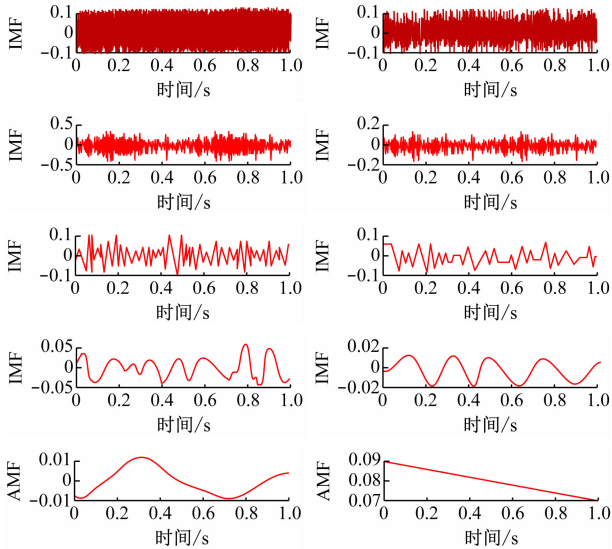


图 4 滚动轴承振动信号各 IMF 分量

计算各 IMF 分量与采集的振动信号的相关系数,分别为 0.893 1,0.375 2,0.184 5,0.012 2,0.001 2,0.019 1,0.009 2,0.011 35,0.014 7,0.012 3。将相关系数大于 0.1 的 IMF 分量进行重构得到特征信号,将剩余 IMF 分量进行重构得到虚拟噪声信号,并将重构信号组成输入矩阵。最后,利用 FastICA 算法得到去噪后的信号和噪声信号,实现信号与噪声分离,如图 5 所示。

将特征向量输入到 SVM 中进行分类识别。实验中,选择 80 组正常运行的样本,80 组内圈故障的样本,60 组滚珠故障样本,20 组外圈故障样本,选取 180 组样本作为训练样本,60 组样本作为测试样本,进行识别,识别结果如图 6 所示。

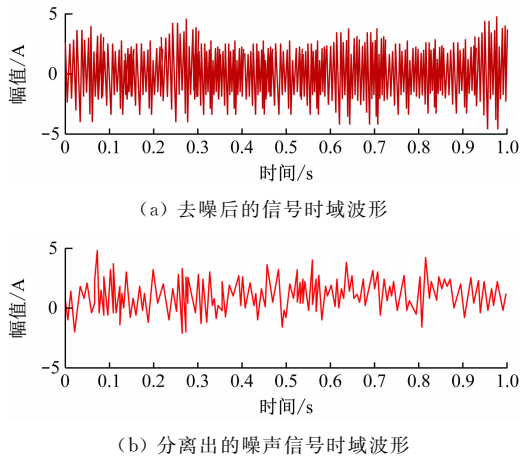


图 5 去噪后的信号和分离出的噪声信号时域波形

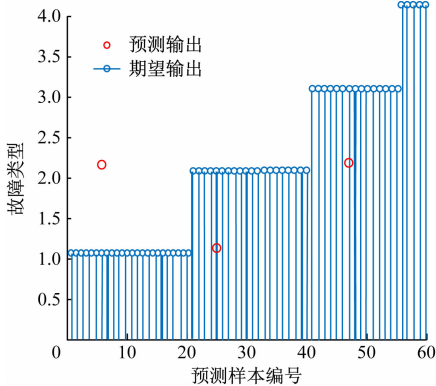


图 6 去噪后滚动轴心的振动信号包络谱

由图 6 可看出,在 60 组测试样本中,有 3 组样本发生了识别错误的情况,预测精度达到了 95%。说明故障诊断方法可有效的从信号中提取故障特征信息,能够利用故障特征信息对故障进行精确的分类。

为验证带式输送机传动机构故障定位系统的可靠性,对 CANopen 协议功能的通信功能 NMT、TPDO 功能和 SDO 功能进行测试。由从站定时发出的心跳消息可知,当主站将 NMT 消息发送给从站后,从站就会按照消息中的指令执行相应的状态转换;当从站电源的初始化工作结束时,系统将自动进入预运行状态。系统主站利用 NMT 报文,将从站设定为可操作状态。在这种情况下,从站如果一旦检测到带式输送机的故障,将通过 TPDO 把故障信息发送出去。当发生异常情况时,从站会检查网络连接是否正常、正确。如果网络连接出现问题,从站会立刻发送 TPDO 中止消息,并说明异常情况。如果是设备或通信层出现故障,则从站会发送 SDO 报文给通信层进行故障排查。当检测到带式输送机的故障时,从站通过 TPDO 传输故障信息给通信层,通信层收到故障信息后会立即进行处理;如果检测到网络连接不正确,从站会发送 SDO 中止消息,并说明异常情况。

3 结语

为了解决带式输送机运行过程中的故障难以定位,效率低和实时性、兼容性问题,在 CANopen 协议的基础上对带式输送机的传动机构故障定位进行系统设计。故障定位由带式输送机沿途的保护设备完成,将从站系统添加到胶带运输机沿途的保护设备中,完成精准高速定位。采用 EEMD 结合 FastICA 算法进行降噪操作。经过实验得到的降噪结果显示,在 60 组测试样本中仅有 3 组样本识别不正确,预测精度为 95%,在 CANopen 功能测试平台上分别对 CANopen 协议中的 NMT 功能、SDO 功能和 TPDO 功能进行测试,测试结果表明,设计的系统具有合理性和正确性。

参考文献:

[1] 李炜,黄倩. 面向机械设备维护的故障自动化诊断系统设计[J]. 制造业自动化,2021,43(4):145-148.

[2] 张华伟,邱庆华. 胶带机软启动及功率平衡系统的设计与仿真[J]. 中州煤炭,2011(3):3-5,12.

[3] 孙超,李萌,董国创. X 型液体火箭发动机试车综合测控系统[J]. 火箭推进,2021,47(3):98-106.

[4] 叶日良. CAN 总线协议及其自动化测试系统的设计与研究[D]. 广州:华南理工大学,2021.

[5] 高晋,田慕琴,许春雨,等. 基于双 CAN 总线的薄煤层液压支架电液控制系统研究[J]. 煤炭工程,2020,52(1):143-147.

[6] 张喆,陶云春,梁睿,等. 一种带式输送机故障诊断方法[J]. 工矿自动化,2020,46(4):81-84,108.

[7] 曾武,阳卫伟,袁雄兵. 基于 CAN 总线的伺服电机控制系统设计[J]. 计算技术与自动化,2020,39(2):21-24.

[8] 王浩楠,张晓青,郭阳宽,等. 基于机器视觉的轮胎胶料表面字符识别[J]. 电子测量与仪器学报,2021,35(1):191-199.

[9] 顾雯雯,王丹. 基于嵌入式系统的起重机倾角检测装置[J]. 起重运输机械,2021(13):68-71.

[10] 邓轲,陈伟,赵强,等. 一种基于 CAN 总线的编码器采集电路设计[J]. 航空计算技术,2020,50(5):120-123.

[11] 张承森. 带式输送机噪声来源分析及降噪方法研究[J]. 煤炭科学技术,2017,45(增刊 2):101-103.

[12] 贾志鹏. 带式输送机低噪音托辊性能特性研究[D]. 太原:太原科技大学,2021.

[13] 李席岳. 主斜井煤矿带式输送机动态特性研究[J]. 机械研究与应用,2023,36(3):140-142.

[14] 刘尧青. 带式输送机降噪优化设计研究[J]. 机械管理开发,2021,36(9):325-326.

分,直接影响整个原煤分选流程,因此提出以表面灰度和纹理识别为基本手段的异常状态检测方法。今后将针对刮板机不同元件不同类型的异常状态、光照对检测效果的影响等方面展开更深层次的研究与探索,加强检测方法的适用性与抗干扰性。

参考文献:

[1] 赵树彦,任利勤,张玉磊.先进选煤技术促进煤炭清洁高效利用研究与探讨[J].中国煤炭,2022,48(7):17-21.

[2] 陈佳鑫,赵国贞,程伟,等.基于动态称量和图像识别技术的井下煤研石智能分选装置研发[J].矿业研究与开发,2023,43(2):178-183.

[3] 武国平,梁兴国,胡金良,等.基于X射线与神经网络的煤炭自动化干选模型[J].自动化技术与应用,2023,42(8):46-49.

[4] 温晓荣,任利丰.基于小波分析的刮板输送机断链故障检测系统[J].机械制造与自动化,2023,52(2):216-219.

[5] 张雷,梁义维,王旭平,等.矿用刮板机自供电链张力检测系统的研究[J].仪表技术与传感器,2021(10):85-89.

[6] 张帆,李闯,李昊.智能综采工作面刮板输送机直线度监测方法研究[J].煤炭科学技术,2022,50(4):246-255.

[7] 丁华,吕彦宝,崔红伟,等.基于分布式深度神经网络的刮板输送机启停工况故障诊断方法[J].振动与冲击,2023,42(18):112-122,249.

[8] 彭小红,梁子祥,张军,等.深度学习驱动的水下图像预处理研究进展综述[J].计算机工程与应用,2021,57(13):43-54.

[9] 王彤,杨秋菊.结合多类特征融合与ICM目标函数优化的图像语义分割方法[J].计算机应用与软件,2021,38(8):240-247.

[10] 彭道刚,尹磊,威尔江,等.基于OTSU和区域生长的电厂管道缺陷检测与分割[J].红外技术,2021,43(5):502-509.

[11] 邹雨彤,谭毅,罗一涵.检焦系统中基于改进Sobel算子的图像清晰度评价函数研究[J].电子设计工程,2022,30(7):150-155.

[12] 康爽,陈长征,罗园庆,等.基于微分形态学梯度风力发电机叶片缺陷边缘增强的红外检测研究[J].太阳能学报,2021,42(6):432-437.

[13] 王晓琦,赵宣植,刘增力.基于颜色恒常性和多尺度小波的水下光学图像增强[J].激光与光电子学进展,2022,59(16):42-52.

[14] 余杰,蔡志明,王平波.主动声呐B显图像中的疑似目标自动拾取算法[J].哈尔滨工程大学学报,2022,43(10):1532-1538.

[15] 董英娟,郭华金,杜子学,等.基于Canny算子边缘检测技术的光学图像MTF测试[J].自动化与仪器仪表,2022(8):258-262,266.

[16] 杨德振,黄静颖,喻松林,等.基于引导滤波和分块自适应阈值的单帧红外弱小目标检测[J].光子学报,2023,52(4):270-280.

[17] 谭芳喜,肖世德,周亮君,等.基于改进YOLOv3算法在道路目标检测中的应用[J].计算机技术与发展,2021,31(8):118-123.

[18] 郝俊飞,陶健.智能干选机在骆驼山洗煤厂应用研究[J].自动化仪表,2022,43(11):105-110.

[19] 俞杰,陈思泽,张连鑫,等.中子照相中CCD相机瞬态噪声对成像分辨率的影响及其屏蔽需求分析[J].原子能科学技术,2021,55(增刊1):151-157.

(上接第 125 页)

[15] 李麓,陈长征.基于ICEEMDAN的滚动轴承声信号故障诊断方法[J].沈阳工业大学学报,2023,45(6):672-679.

[16] 闫景涛,缪立军,毛建峰,等.高斯白噪声相位调制的激光光谱展宽[J].光谱学与光谱分析,2022,42(3):665-671.

[17] 曾武,阳卫伟,袁雄兵.基于CAN总线的伺服电动机控制系统设计[J].计算技术与自动化,2020,39(2):21-24.

[18] 李国号.配电自动化主站系统负荷转供协调控制方法

研究[J].科技通报,2020,36(11):84-88.

[19] 董海涛,张帅涛,冯建强.基于模拟伺服的多轴EtherCAT协议设计[J].仪表技术与传感器,2023(2):69-72,77.

[20] 张啸天,倪屹,郭瑜,等.基于ARM的化学发光免疫分析仪控制系统[J].传感器与微系统,2021,40(2):76-78,82.

[21] WANYong, FENG Xiunan, CHEN Yixuan, et al. A dual detection method for siemens inverter motor modbus RTU attack [J]. Computer And Communications,2021,9(7):91-108.