

基于骨架理论的机电特种设备启动故障检测系统设计

杨斌山

(新疆工程学院 控制工程学院, 乌鲁木齐 830000)

摘要: 针对当前机电特种设备启动故障检测方法缺少故障检测指标提取过程, 导致系统准确率低、召回率高的问题, 设计基于骨架理论的机电特种设备启动故障检测系统; 设计二极管组成整流电流采集电路模块消除开关电弧, 通过吸收太阳光直接加热或间接产生能量提供热量, 构成太阳能光伏电池板或组件, 以 L298N 为主驱动芯片, 避免损坏稳压片, 使用 5 V 外部电源供电, 采用大容量滤波电容, 设计自由保护二极管的 L298N 电机驱动模块, 利用有载调容变压器监测变压器低压侧的电压、电流, 判断当前负载电流, 完成系统硬件设计, 重新定义离散化获得离散域骨架, 基于骨架理论, 提取节点散度、骨架节点、骨架曲率特征故障检测指标, 由此设计故障检测流程, 完成系统软件设计; 实验结果表明, 该系统的召回率较低, 能够有效提高故障检测准确率。

关键词: 骨架理论; 机电特种设备; 启动故障; 检测

Design of Start-up Fault Detection System for Electromechanical Special Equipment Based on Skeleton Theory

Yang Binshan

(School of Control Engineering, Xinjiang Institute of Engineering, Urumqi 830000, China)

Abstract: In view of the lack of fault detection index extraction process in current mechanical and electrical special equipment start-up fault detection methods, resulting in low system accuracy and high recall rate, a start-up fault detection system based on skeleton theory is designed. The rectifier current acquisition circuit module composed of diodes is designed to eliminate the switching arc. The solar photovoltaic panel or module is composed of L298N as the main driver chip to avoid damaging the voltage regulator. The L298N motor driver module is designed with 5 V external power supply and large capacity filter capacitor on load tap changer is used to monitor the voltage and current at the low-voltage side of the transformer, judge the current load current, complete the hardware design of the system, redefine the discretization to obtain the discrete domain skeleton. Based on the skeleton theory, the fault detection indexes of node divergence, skeleton node and skeleton curvature are extracted, and the fault detection process is designed, and the system software design is completed. The experimental results show that the recall rate of the system is low, which can effectively improve the accuracy of fault detection.

Keywords: skeleton theory; electromechanical special equipment; start-up failure; detection

0 引言

机电特种设备涉及人们生命安全设备, 如安装、维修、使用和检查不当都容易引起事故。机电特种设备利用启动装置控制设备运行, 以确保机电特种设备安全运行。假如在机电特种设备启动装置故障的情况下, 则无法安全运行, 容易出现各种危险问题^[1]。检测机电特种设备启动装置故障, 可以使机电特种设备稳定性较高, 保证安全运行。目前国内较少研究检测特种设备启动装置故障, 构建诊断特种机电设备启动装置故障系统, 为其故障诊断提供辅助手段, 是当前迫切需要解决问题。

目前该领域大量学者对其进行研究, 并取得了一定的研究成果, 其中, 采用直流感地的方法检测机电特种设

备启动故障, 利用光控电子开关, 分别将直流母线正负两级通过限流电阻接地, 计算绝缘电阻值, 通过霍尔传感器输出可检测接地故障, 进一步查找接地故障点具体位置^[2]。虽然使用该系统检测精度较高, 但 CPU 使用率较大; 使用混合特征相似度计算方法, 从静态方面度量程序行为相似性, 利用代码转换框架过滤与行为相似性度量无关子图, 再结合图同构算法完成相似性度量, 由此获取故障信息。虽然使用该系统 CPU 使用率低, 但计算过程十分复杂, 检测精度度较低。针对上述问题, 设计基于骨架理论的机电特种设备启动故障检测系统。充分分析骨架理论, 提取故障检测指标, 设计故障检测流程, 完成机电特种设备启动故障检测。

收稿日期: 2020-11-23; 修回日期: 2020-12-16。

作者简介: 杨斌山(1981-), 男, 甘肃白银人, 硕士生, 讲师, 主要从事轨道交通信号与控制方向的研究。

引用格式: 杨斌山. 基于骨架理论的机电特种设备启动故障检测系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(6): 60-63, 108.

1 系统总体结构设计

机电特种设备启动故障检测系统，对机电特种设备故障定位、特征提取、自动摄像、编码传输到图像处理服务器，实现自动报警提示。该系统总体结构主要用于对机电特种设备启动故障模拟和检测，图 1 中显示了系统的总体结构。

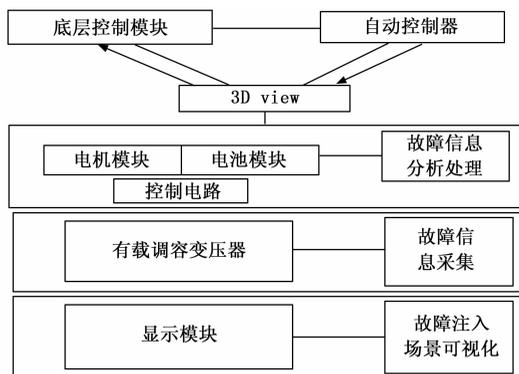


图 1 系统总体结构

机电特种设备启动故障检测系统的总体结构分为 4 个部分：故障注入场景可视化、故障信息采集、故障分析与处理、人机交互^[3]。故障注入场景可视化包括系统结构设计和运行环境的构建，通过对系统运行状态观测，了解系统故障发生程度，建立相应场景树；控制电路负责收集机电特种设备启动故障信息，包括注入速度、加速度、传感器信息等，并全部打包发送；故障分析处理和人机交互主要是利用系统状态信息显示和故障检测结果显示功能，对接收到故障信息实时处理，并通过显示模块显示所有处理结果^[4]。

2 系统硬件设计

对机电特种设备启动故障检测系统研究，根据故障检测系统功能要求，按照故障检测系统的功能需求，优化机电特种设备故障检测系统的硬件部分。

2.1 电流采集电路模块

交流电采集模块通过电缆上方的感应线圈采集交流电，在采集过程中，该电流一旦被其它检测模块使用，则需要整流该电流，并对整流后电流进行滤波处理^[5]。因此，设计了由简单二极管组成的整流电流采集电路，用于故障检测。电流采集电路如图 2 所示。

在感应线圈上并联两个二极管和电阻，设置截止线圈的通电状态，利用二极管吸收电磁场释放高压，去除开关电弧。在此过程中，电感应线圈采集交流电，通过整流全桥电路，获取两个的直流输出结果相同，并以此为输入结果，输入至电流突变以及停电检测模块中^[6]。

用来在突发电流发生时检测故障的电流突变检测模块，在电路中出现故障时，三相短路或两相短路会产生大量突变电流^[7]。若要检测突变电流，就必须采取整流方案，并

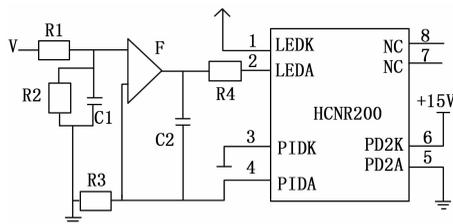


图 2 电流采集电路

在整流后对多层差分电路优化处理，以获取明显脉冲信号；如果电流未发生突变，则利用二极管进行低电平电压定位，就可完成检查点检测。

2.2 太阳能电池模块

太阳能电池通过吸收太阳光直接加热或间接产生能量来提供热量，将一块完整的太阳能电池放在一个平面上，它可以构成太阳能光伏电池板或组件^[8]。PV 组件通常有一个朝向太阳的玻璃，允许光线通过，同时保护着半导体晶片。太阳能电池通常是串联或并联的，以此产生额外电压。

虽然并联电池产生更高电流，但该电池阴影效应产生问题，对阴影电池施加反向偏置，会使部分串联电池中较弱的部分失去作用，这样会造成巨大电力损失和潜在的破坏。串联电池组通常是独立的，而非并行的。每一个模块通常有一个可并联的独立电源盒。尽管这些模块可以互相连接以创建具有所需峰值直流电压和负载电流的阵列，但是独立的最大功率点跟踪器是最佳选择。

2.3 电机驱动模块

以 L298N 为主驱动芯片，具有高驱动，低发热量，高抗干扰等特点。电机驱动模组可通过内置 78M05 驱动电源工作，但是，为避免损坏稳压片，当使用的驱动电压大于 12 V 时，使用 5 V 外部电源供电^[9]。图 3 中显示了采用大容量滤波电容，自由保护二极管的 L298N 电机驱动模块。

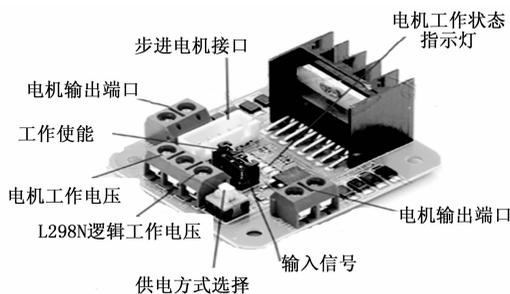


图 3 L298N 电机驱动模块

采用 L298N 芯片，可直接驱动 2 台 3~30 V 直流电机，并提供 5 V 输出接口，供 5 V MCU 电路系统供电，可方便对直流电机速度、方向控制，也可对二相步进电机控制，2 A 的电流，25 W 额定功率。高电压全桥驱动器主要由两个 H 桥组成，由标准的逻辑电平信号控制驱动直流电机、步进电机和继电器线圈等电感负载，驱动模块主要由两个控制端组成，可独立于输入信号，该驱动模块可在低电平

下稳定运行。还可在电机驱动模块外部连接检测电阻，反馈到控制电路上，并使用 L298N 芯片驱动电机。

2.4 有载调容变压器

为使有载调容变压器省电、操作更方便、适用范围更广，尤其是适应于变频周期较短的机电特种设备，设计了有载调容变压器结构，如图 4 所示。

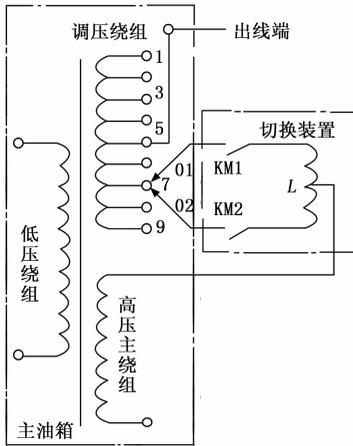


图 4 有载调容变压器

有载调容变压器通过监测变压器低压侧的电压、电流，判断当前负载电流。当电容调节条件满足前一个设定时，变压器将向有载调容变压器调节开关发出容量调节指令，有载调容变压器开关根据容量调节指令进行变压器容量切换，实现高、低压线圈在变压器内的星角转换和串并联转换^[10]。变压器在励磁状态下，实现容量自动转换，完成了无激励状态下变压器电压的调节。

有载调容变压器的负荷调整由大容量调整为小容量、高压线圈由三角连接方式调整为星形连接方式，由于相电压、电流和电阻保持不变，所以容量变为原始的 1/3。为了保证输出电压不变，低压侧串阻增加了匝数，匝数增加等于电压降低倍数。当电压不变时，通过增大电阻来改变电流，就形成了电容变化。通过负荷调整大容量变压器的小容量，可以减少由于低压侧增加磁通密度，减小核心、硅钢片单位损耗和空载损耗，从而达到减少损失、节省能源目的。

3 系统软件设计

3.1 基于骨架理论提取故障检测指标

骨架又称为主轴，在物体内其接圆中心轨迹最大。 r 跳的所有节点距离大于 a 节点被称为节点的跳邻。在故障检测系统中，由于骨架是基于连续域的，节点是离散化的。因此，需要重新定义离散化来获得离散域的骨架。基于连续域散度，提取故障检测指标。

3.1.1 节点 a 散度特征

$$diva = \left[\sum_{p \in N_r(a)} m(a) - n(a) \right] / \lambda(N_r(a)) \quad (1)$$

式 (1) 中， $m(a)$ 表示节点 a 转发故障数据包数量； $n(a)$ 表

示节点 a 接收故障数据包数量； $N_r(a)$ 表示节点 a 的 r 跳邻居节点； $\lambda(N_r(a))$ 表示邻居节点的数量；节点 a 的散布特性是转发的故障包总数与接收到的故障包数之和的平均差。

3.1.2 骨架节点特征

因为散度节点的随机性，所以容易造成节点分布不均匀，为了提高散度鲁棒性，当 $diva$ 为负值时，可根据实际情况修正。

3.1.3 骨架曲率特征

骨架曲率是指骨架节点 a 的 k 邻居节点中的两个节点 a_1 到 a_2 之间的距离与 k 邻居节点中的跳数距离以及沿着骨架节点 a_1 到 a_2 的跳数距离的比值，计算公式为：

$$C = \frac{x_1}{x_2} \quad (2)$$

式 (2) 中， x_1 表示 a_1 到 a_2 在 k 邻居跳数距离； x_2 表示 a_1 到 a_2 沿着骨架传输跳数距离。通过以上步骤，基于骨架理论，准确提取机电特种设备启动故障检测指标。

3.2 故障检测流程设计

针对不同寿命周期机电特种设备启动故障特征来检测，结合库存安全量，得到的启动故障检测结果符合实际需要。

假定设备在一定时间内启动的故障信号用 f_1 表示；实际出现的故障信号用 f_2 表示；本周期预期故障信号用 f_3 表示。机电特种设备市场价格用 T 表示；机电特种设备大部分组件出现故障用 M_1 表示；机电特种设备组件出现故障检测耗能用 N_1 表示；机电特种设备组件出现故障检测效率用 K_1 表示；启动装置占用耗能用 W 表示，基于此，设计故障检测流程，如图 5 所示。

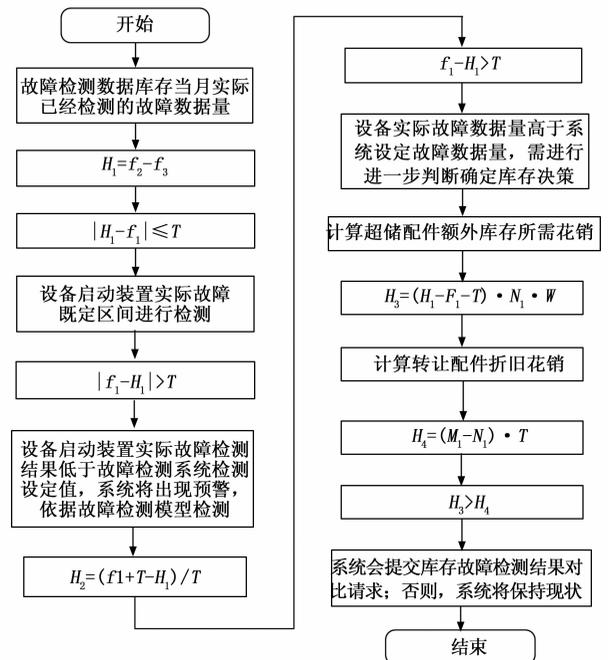


图 5 故障检测流程

按照上述步骤，首先对硬件部分进行了改进，通过框架理论，抽取失效检测指标进行故障检测，对软件部分进行优化，实现机电特种设备启动故障检测系统设计。

4 实验分析

机电特种设备以限速轮为例，对基于骨架理论的机电特种设备启动故障检测系统设计合理性进行实验验证分析。

4.1 限速轮

安装限速轮时，首先需要输入旋转运动限速轮部件。旋转限制的轮子将会完全限制它的六个自由度，并把它作为参考部件。由于组件的参考坐标系与参考限速轮的参考坐标系之间的对应关系是随机的，所以装配基准坐标系原点位置相对于限速轮旋转中心存在偏心距。轴线具有一定偏心，不能达到期望运动模拟效果，需要大量约束运算。限速轮参考坐标系重约束，如图 6 所示。

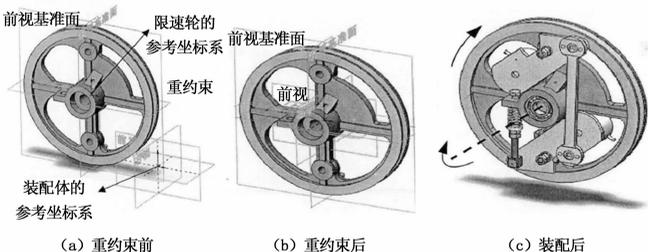


图 6 限速轮参考坐标系重约束

选取速度限制轮（10~20 m/s），将其设置为“浮动”，以表示完整的限制状态，然后利用其巧合适应特性，将两个参考坐标系重合的各参考坐标面和参考坐标系组合而成参考坐标系。在完成上述约束后，可将限速轮作为装配依据，保证装配的限速轮装配模型能绕中心轴旋转，达到预期运动效果。

4.2 实验评价指标

以系统检测准确率和召回率为实验评价指标，计算公式为：

$$precision(a_i, b_i) = \frac{|a_i \cap b_i|}{|b_i|} \quad (3)$$

$$recall(a_i, b_i) = \frac{|a_i \cap b_i|}{|a_i|} \quad (4)$$

上述公式中， a_i 表示实际标记样本； b_i 表示程序标记样本， $precision(a_i, b_i)$ 值越大，说明系统检测准确率就越高； $recall(a_i, b_i)$ 值越大，说明系统被召回可能性就越高。

4.3 实验结果与分析

4.3.1 系统检测准确率

分别使用直直接接地的方法检测、混合特征相似度计算方法检测、基于骨架理论方法检测方法对系统检测准确率对比分析，结果如图 7 所示。

由图 7 可知，使用三种方法系统检测准确率相差较大，重约束前使用直直接接地的方法检测、混合特征相似度计算方法检测准确率均低于 85%，而使用基于骨架理论方法的检测方法检测准确率高于 85%；重约束后使用直直接接地的方法检

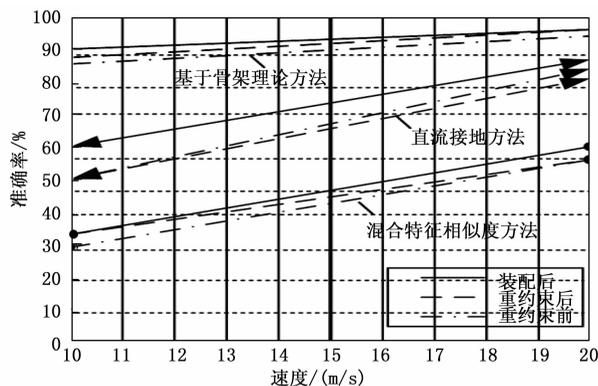


图 7 三种方法系统检测准确率对比分析

测、混合特征相似度计算方法检测准确率均低于 80%，而使用基于骨架理论方法的检测方法检测准确率高于 85%；装配后，使用直直接接地的方法检测准确率高达 86%，使用混合特征相似度计算方法检测准确率最高为 60%，而使用基于骨架理论方法检测方法检测准确率最高为 96%。

通过上述对比内容可知，基于骨架理论方法检测方法检测准确率较高。

4.3.2 系统召回率

分别使用直直接接地的方法检测 W1、混合特征相似度计算方法检测 W2、基于骨架理论方法检测方法 W3 对系统召回率对比分析，结果如表 1 所示。

表 1 三种方法系统召回率对比分析

速度/(m/s)	W1			W2			W3		
	重约束前	重约束后	装配后	重约束前	重约束后	装配后	重约束前	重约束后	装配后
10	0.71	0.65	0.62	0.72	0.67	0.55	0.25	0.10	0.05
12	0.64	0.65	0.61	0.70	0.66	0.54	0.22	0.15	0.03
14	0.67	0.66	0.60	0.71	0.67	0.56	0.24	0.14	0.05
16	0.70	0.65	0.61	0.75	0.68	0.56	0.25	0.15	0.03
18	0.69	0.66	0.60	0.75	0.68	0.58	0.29	0.12	0.03
20	0.69	0.65	0.60	0.74	0.68	0.56	0.27	0.15	0.04

由表 1 可知，使用基于骨架理论方法检测方法召回率始终低于 0.3，而其余两种方法召回率均高于 0.5，由此可知，使用基于骨架理论方法检测方法召回率较低，系统检测性能良好。

5 结束语

面对传统故障检测系统存在的问题，设计基于骨架理论的机电特种设备启动故障检测系统。通过设计机电特种设备启动故障检测系统硬件和软件，实现机电特种设备启动故障检测系统设计。实验结果证明，该系统检测精度高。虽然机电特种设备的初期故障检测从一开始就已经实现，但是由于机电特种设备很多，所以每个类别包含不同类型。要提高系统稳定性和不同设备稳定性还需要深入研究。

(下转第 108 页)