

基于 RBF 的起重机械电动机变频调速自动化控制方法研究

沟宇辉

(金川集团有限公司龙首矿 甘肃 金昌 737100)

摘要: 起重机械在运行过程中需要快速、平稳地响应操作指令,同时保持稳定的运行状态。为实现对电动机的高精度变频调速,本文提出了基于 RBF 的起重机械电动机变频调速自动化控制方法。首先,建立起重机械电动机运行终端与计算机之间的通信连接,确保对端保持良好通信状态后,通过通信网络将采集到的信号传送到控制主站,由此确定电动机运行中的智能控制区段,采集和处理起重机械电动机运行中的速度信号。然后,利用 RBF 神经网络的映射能力,对滑模控制器的控制切换增益进行最优控制,实现对起重机械电动机变频调速中的抖振处理,并设定变频调速目标,实现起重机械电动机变频调速自动化控制。试验结果表明,该方法可以实现对电动机变频调速过程的控制,使电动机转速快速达到设计值。

关键词: RBF; 自动化控制; 变频调速; 起重机械

0 引言

近年来,随着工业生产对精密度要求的提升,机械电动机同步控制^[1,2]逐渐成为机械生产与控制研究的热点。起重机械是工程项目施工作业现场的主要机械设备之一,根据大量的工程实践可知,起重机械目前已经在施工现场得到了广泛的使用,特别是在高层住宅楼的施工现场,起重机械在减轻人工劳动强度、控制项目施工人力支出、缩短项目建设所需工期等方面具有重要作用。电动机是驱动起重机械作业的核心,起重机械电动机的常规速度调节方法主要包括:通过改变电动机的极对数调节速度、采用串阻式转速调节转子电路、涡流式转速调节、串级式转速调节、直流调节等。上述所提出的电动机调速方法中,前两种方法都属于有级调速,但由于调节幅度较小,不能实现高转速的调节,大多是在额定转速下才能实现^[3]。在额定转速下的机械制动调节,会对起重机械电动机造成很大的冲击,严重情况下,还会造成很大的线路损耗。尽管科研单位在开展大量研究后,提出了多种可用于调整起重机械电动机运行速度的方法,但大部分方法在应用中的可靠性比较差,需要辅助直流电动机进行控制,且控制过程复杂、运行维护困难、故障率高^[4]。由此可见,传统的起重机械电动机调速方法在应用中具有传动性能差、高耗能、高风险等缺点。针对此方面缺陷,

本文将引进 RBF (径向基函数) 神经网络,以某起重机械电动机为例,设计一种全新的变频调速自动化控制方法,旨在通过此次设计,使起重机械在更多工程领域内发挥价值与效能。

1 起重机械电动机运行中速度信号的采集与处理

为满足起重机械电动机变频调速自动化控制需求,设计方法前,应先进行电动机运行中速度信号的采集。通过采集电动机运行中的速度信号,可以实时监测电动机的状态变化,有助于及时发现电动机故障或异常情况,比如转速过高或过低、负载波动等,从而进行相应的调整和维修,确保电动机的正常运行。在此过程中,建立起重机械电动机运行终端与计算机之间的通信连接,确保对端保持良好通信状态后,通过通信网络将采集到的信号传送到控制主站,由控制主站确定电动机运行中的智能控制区段^[5]。在此过程中,考虑到起重机械电动机的输出信号种类较多,为实现对信号的分类,保证采集信号的准确性,可按照下述公式,进行起重机械电动机运行中速度信号的采集。

$$R = \sum_{i=1}^n P_i^2 \quad (1)$$

式中: P_i — 信号初级声源;
 i — 信号采集点位;

n - 信号采集次数 (次)。

完成对信号的采集后, 进行采集信号与数据之间的同步转换。此过程计算公式如下:

$$C = R\sqrt{K \cdot M} \quad (2)$$

式中: C - 采集信号与数据之间的同步转换;

K - 信号的存储方式;

M - 数据通信协议^[6]。

按照上述方式, 实现起重机械电动机运行中速度信号的采集与处理。

2 基于 RBF 的起重机械电动机调速中的抖振处理

在上述设计的基础上, 引进 RBF 神经网络^[7-9]进行起重机械电动机变频调速中的抖振处理。RBF 神经网络是一种基于径向基函数的神经网络模型, 主要由输入层、隐藏层和输出层组成。其中, 隐藏层使用径向基函数作为激活函数, 具有非线性映射能力和较高的训练速度。在 RBF 神经网络中, 输入层接收外部输入数据, 并将其传递到隐藏层; 隐藏层中每个隐藏神经元都与一个径向基函数相关联。径向基函数的作用是计算输入数据与神经元中心之间的距离, 常用的径向基函数包括高斯函数、多项式函数等。隐藏层与输出层之间的连接权重通过最小均方差或最大似然法等方法进行训练和调整。输出层可以是单个神经元, 也可以是多个神经元, 取决于具体问题的需求。在此过程中, RBF 可以近似任意函数, 因此, 利用 RBF 神经网络强大的映射能力, 对滑模控制器的控制切换增益进行最优控制, 使得输出的结果更接近于规范值, 从而降低起重机械电动机变频调速中的“抖振”, 达到最优控制效果^[10]。

RBF 神经网络的训练过程可以分为两个阶段, 即网络初始化和权值训练。通过网络初始化确定隐藏神经元的数量和位置, 以及径向基函数的参数设置。权值训练中, 利用训练数据集对连接权重进行训练, 使得网络输出尽可能地接近期望输出。常用的训练算法包括最小二乘法、误差反向传播等。参照上述内容, 设计 RBF 神经网络的输入函数, 表达式如下:

$$k = |w^T \cdot C \cdot h(x)| \quad (3)$$

式中: w - RBF 神经网络的径向基向量;

T - 网络节点数量 (个);

$h(x)$ - 高斯函数。

在此基础上, 利用 RBF 神经网络的中间层进行权值调整, 并采用梯度下降法进行输入信号与数据的权值优化。为确保 RBF 神经网络对输入数据训练与学习的规范性, 应在 RBF 神经网络输入数据后, 设定网络学习的速率、节点的惯性矩阵系数等参数。完成参数调节后, 中间层将利用梯度下降法, 进行输入数据的优化, 并根据优化结果掌握在当前条件下的起重机械电动机转速误差, 通过对输出增益值的补偿, 实现对起重机械电动机调速中的抖振处理。

3 起重机械电动机变频调速目标函数设计与自动化控制

完成上述设计内容后, 设计网络统一通信协议, 控制起重机械电动机变频调速中信号的传输与通信。在此过程中, 为避免起重机械电动机在变频调速自动化控制过程中出现超负荷情况, 设定变频调速目标值为 s , 设计如下目标函数:

$$s = \max E(V) \cdot k(1 - \theta/r) \quad (4)$$

式中: $E(V)$ - 起重机械电动机变频速度函数;

θ - 控制指数权重;

r - 控制过程中的增量值。

在明确目标函数的基础上, 可通过计算起重机械电动机功率的方式, 进行变频调速的自动化控制^[11,12]。在此过程中应明确, 电动机功率是一个额定值, 在此数值稳定不变的前提下, 按照下述公式, 计算电动机自动化控制频率:

$$W = s \cdot \chi \cdot f(x) \quad (5)$$

式中: x - 控制过程中的比例系数;

$f(x)$ - 电动机原始恒定运行功率 (kW)。

按照上述方式, 实现起重机械电动机变频调速目标函数的设计与自动化控制, 完成基于 RBF 的电动机变频调速自动化控制方法设计。

4 试验分析

为了验证基于 RBF 的起重机械电动机变频调速自动化控制方法的有效性, 将以某塔式起重机为例, 采用对比试验的方式, 开展电动机变频调速自动化控制测试。

试验前，对塔式起重机械电动机在运行中的基本参数进行分析，相关内容如表 1 所示。

表 1 塔式起重机械电动机在运行中的基本参数

项目	参数
型号	4B-ZDY21
电动机在运行中的额定功率	0.75kW
额定电流	2.2A
额定电压	380V
电动机运行同步转速	1.5×10^3 r/min
电动机运行额定转速	1.4×10^3 r/min
电动机在运行中的电流波形系数	1 ~ 1.05
电动机效率	0.85
电动机壳体防护等级	IP55
外形尺寸	600mm × 800mm × 2000mm
螺孔间距	115.6mm
电动机外壳材质	冷轧钢板

在此基础上，根据电动机的已知参数，对电动机在运行中的功率因数进行计算，计算公式如下：

$$\cos\varphi = \frac{P_M}{U_M I_M} \quad (6)$$

式中： P_M - 额定功率 (kW)；

U_M - 额定电压 (V)；

I_M - 额定电流 (A)。

所有取值参照上述表 1，以此为依据，计算得到 $\cos\varphi$ 为 0.897。

按照上述方式，完成对比试验的准备工作，在此基础上，使用本文提出的方法，进行起重机械电动机变频调速自动化控制。控制过程中，先进行起重机械电动机运行中速度信号的采集与处理，通过此种方式，了解起重机械电动机运行基本工况。在此基础上，引进 RBF 神经网络，进行起重机械电动机变频调速中的抖振处理。最后，设计起重机械电动机变频调速目标函数，实现对电动机变频调速的自动化控制。

完成本文方法在测试环境中的应用后，引进基于线圈辅助励磁模型的自动化控制方法、基于 DBN 网络 PID 控制的自动化控制方法，并将这两种方法作为传统方法 1、传统方法 2。按照规范使用本文方法与传统方法，进行电动机变频调速自动化控制。

根据采集的起重机械电动机运行速度信号可知，当前电动机运行转速为 1.2×10^3 r/min，尽管电动机

当前运行状态相对稳定，但并不满足电动机运行额定转速需求。因此，在控制终端，进行起重机械电动机的变频调速控制，根据表 1 中塔式起重机械电动机在运行中的基本参数，设定变频调速后电动机运行转速为额定转速，即稳定在 1.4×10^3 r/min。对比三种方法的自动化控制效果，如图 1 ~ 图 3 所示。

从图 1 所示的试验结果中可以看出，使用本文

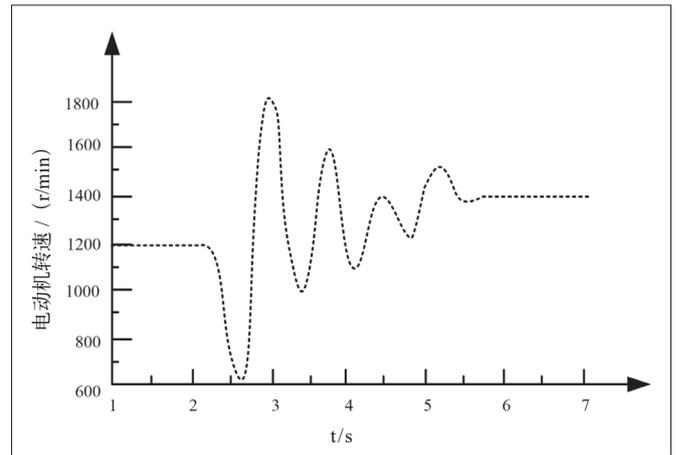


图 1 本文方法电动机变频调速自动化控制效果

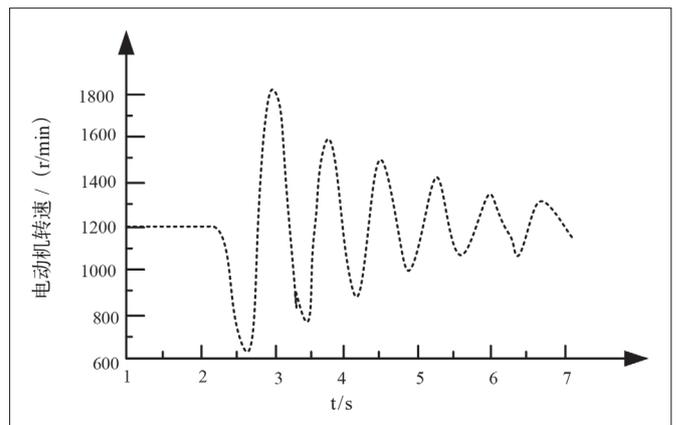


图 2 传统方法 1 电动机变频调速自动化控制效果

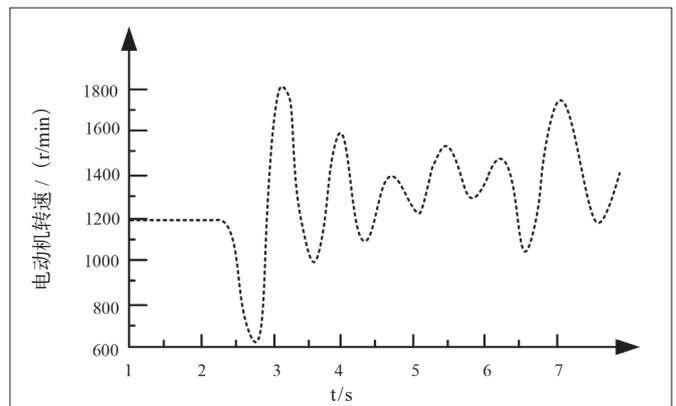


图 3 传统方法 2 电动机变频调速自动化控制效果

设计的方法进行电动机变频调速自动化控制前(2s前),电动机运行转速一直稳定在 $1.2 \times 10^3 \text{r/min}$,在2s时开始进行电动机变频调速控制,电动机转速一直处于不稳定状态,但在5.5s后,电动机转速稳定在 $1.4 \times 10^3 \text{r/min}$ 。说明使用本文设计的方法,可以实现对电动机变频调速的自动化控制,控制后可以达到预期目标。

对图2与图3所示的传统方法1、传统方法2自动化控制效果进行分析,发现使用传统方法进行电动机变频调速自动化控制,控制电动机持续运行至试验结束,其转速未能稳定在 $1.4 \times 10^3 \text{r/min}$ 。说明使用传统方法,无法实现对电动机变频调速的自动化控制。

综合上述试验结果可以得到结论:相比传统方法,本文设计的基于RBF的自动化控制方法应用效果好,使用该方法进行起重机械电动机变频调速自动化控制,可以使电动机运行转速快速达到设计值。

5 结语

起重机械是工程项目现场施工中的核心机械,目前,技术单位已经设计了多种起重机械的调速控制方法,但现有方法在实际应用中,大多存在调速控制范围不满足需求、调节后机械运行稳定性差、无法满足负荷运转需求、增加机械运行能耗等缺陷。近年来,科研单位已成功应用变频调速系统,为石化、铁道、电力、港航等大型企业的起重机械提供了优质、可靠的变频调速业务,并通过实际应用,取得了良好的效果。RBF神经网络在模式分类、函数逼近、时间序列预测等问题上具有良好的性能,由于其简单、快速的训练过程和可解释性较强的输出结果,RBF神经网络得到了广泛的应用。本文引进RBF神经网络,以某起重机械电动机为例,通过起重机械电动机运行速度信号的采集与处理、起重机械电动机变频调速中的抖振处理、起重机械电动机变频调速目标函数设计与自动化控制,设计一种全新的变频调速自动化控制方法。在经过对比试

验后,证明了该方法可以实现对电动机的自动化控制,控制后可以使电动机运行转速达到预期设计值。

参考文献:

- [1] 孙凯,张友海,刘道国,等. 齿轮加工机床用永磁同步电机直接转矩控制方法[J]. 机械与电子,2023,41(07):52-56.
- [2] 董乐,宋芳. 永磁同步电机的干扰观测器补偿与模糊切换控制[J]. 轻工机械,2020,38(06):54-59.
- [3] 王伟. 综采工作面刮板输送机智能变频调速控制系统研究与应用[J]. 机械管理开发,2022,37(08):250-251+254.
- [4] 陈弘. 基于线圈辅助励磁模型的无刷直流电动机调速控制系统设计[J]. 电气自动化,2021,43(06):4-6+70.
- [5] 蒋文坚. 基于DBN网络与BP神经网络PID控制的永磁同步电机调速策略比较研究[J]. 微电机,2021,54(09):85-89.
- [6] 李广兴,钟义广,沙国新. 新鲜辣木叶脱叶机械化装置电机调速控制设计中TRIZ方法的应用[J]. 现代制造技术与装备,2021,57(06):47-49.
- [7] 杨旭红,陈阳,贾巍,等. 基于RBF神经网络的电压外环滑模控制的Vienna整流器[J]. 电力系统保护与控制,2022,50(18):103-115.
- [8] 董昱,魏万鹏. 基于RBF神经网络PID控制的列车ATO系统优化[J]. 电子测量与仪器学报,2021,35(01):103-109.
- [9] 宋礼威,张翊勋,陈泽宇,等. 基于RBF神经网络的离心泵地脚螺栓松动故障诊断[J]. 排灌机械工程学报,2022,40(10):993-998.
- [10] 刘元. SGZ800-800型刮板输送机与采煤机的协同调速控制技术研究[J]. 机械管理开发,2021,36(01):239-240+259.
- [11] 周威. 门式起重机变频调速系统控制策略的研究[J]. 起重运输机械,2022(07):50-54.
- [12] 霍枝华. 起重机调速系统变频调速技术分析[J]. 电子测试,2022,36(08):116-117+123.

作者简介: 沟宇辉(1985.08-),男,汉族,陕西渭南人,本科,工程师,研究方向:机械、液压传动,机械自动化、智能化。