

基于PIDNN变结构理论的电动机整流稳压补偿控制

对电动机系统进行稳定控制，在制造业领域具有重要的应用价值。利用传统的方法进行电动机稳定控制的过程中，无法完全消除电动机系统干扰信号造成的干扰，导致电动机系统稳定性降低。为此，提出一种基于PIDNN变结构理论的电动机整流稳压补偿控制方法。构建基于PIDNN变结构理论的电动机系统控制器，该模型为三层前向型的形如 $2 \times 3 \times 1$ 的结构；提取电动机系统运行电压的特征，作为神经网络模型三层前向神经元的PID变结构的加权系数，建立PIDNN神经网络模型得到电动机系统双向逆变的整流稳压补偿模型，实现了对电动机的稳定控制。仿真实验结果表明，利用改进算法进行电动机系统控制，能够提高电动机的稳定性，取得了令人满意的效果。

曲天润 薛田良/三峡大学电气与新能源学院



曲天润/硕士研究生

关键词/Keywords

PIDNN变结构·
电动机系统·
整流稳压补偿·

随着制造业水平的不断提高，电动机系统的设备规模越来越庞大，对电动机系统的控制准确度也越来越高^[1]。电动机系统在运行的过程中，存在着大量的电磁干扰信号，这些干扰信号具有强烈的时变性和非线性^[2]，造成电动机系统的电压输出不稳定，导致电动机的稳定性降低，因此，需要多电动机系统进行整流稳压补偿^[3]，保证电动机系统的稳定可靠工作。电动机系统的稳定控制方法，已经成为工业领域需要研究的热门问题，受到很多专家学者的重视^[4]。

在对电动机系统进行建模时，需要对电动机的电流矢量进行线性化处理，因为电动机系统的控制过程本身就是一个非线性系统^[5]，如果不进行线性化处理，得到的模型将会异常复杂，造成电动机系统出现非稳态失真^[6]。传统的电动机稳定控制方法主要包括基于自适应模

糊控制的电动机系统稳定控制方法^[7]、基于模糊PID控制的电动机系统稳定控制方法和基于静止无功功率补偿器的电动机系统稳定控制方法^[8]，其中最常用的是基于模糊PID控制的电动机系统稳定控制方法^[9]。由于电动机系统稳定控制方法在电动机控制领域具有无可替代的作用，因此发展前景十分广阔，成为很多专家研究的重点问题^[10]。

利用传统方法进行电动机系统稳定控制的过程中，无法完全避免这些非线性和时变性强烈的干扰信号造成的影响，造成电动机系统的稳定性降低。

针对传统算法的缺陷，提出一种基于PIDNN变结构理论的电动机整流稳压补偿控制方法。构建基于PIDNN变结构理论的电动机系统控制器，为电动机的稳定控制提供了准确的依据。提取电动机电压的特征，作为神经网络模型的三层前向神经元的PID变结构的加权系数，建立PIDNN神经网络模型得到电动机系统的双向逆变的整流稳压补偿模型，实现了对电动机的稳定控制。仿真实验结果表明了改进算法的优越性。

电动机稳定控制的原理分析

在进行电动机稳定控制的过程中，需要建立电动机的数学模型。通常是利用线性化法对电动机系统中各个变量的解析式建立模型。具体方法如下所述。

电动机系统的电路方程为

$$U_k = R_k i_k + \frac{d\psi_k}{dt} \quad (1)$$

电动机系统的链路方程为

$$\Psi_k = L_k(\theta_k, i_k) i_k \quad (2)$$

电动机系统的机械方程为

$$T_e = J \frac{d^2 \theta}{dt^2} + D \frac{d\theta}{dt} + T_L \quad (3)$$

电动机系统的转子角速度方程为

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \quad (4)$$

电动机系统的机电联系方程为

$$T_e = \frac{\partial W'_m(\theta, i_1, i_2, \dots)}{\partial \theta} \quad (5)$$

式中, U_k 、 i_k 、 R_k 和 Ψ_k 分别为电动机第 k 相绕组的电压、电流、电阻和磁链; ω 为电动机转子的角速度; D 为电动机转子的摩擦系数; J 为转子的转动惯性; T_L 为电动机的负载转矩。

根据上面阐述的方法, 建立电动机系统的数学模型, 为电动机的稳定控制提供准确的依据。

电动机稳定控制的方法是, 在电动机运行的过程中, 将电动机控制信号的传递误差通过比例、微分和积分的线性组合形式构成电动机系统的控制参数, 实现对电动机系统的稳定控制。

电动机控制信号的传递误差与稳定控制参数之间的关系为

$$v(u) = L_q f(u) + L_j \int_0^u f(v) dv + L_E \frac{df(u)}{du} \quad (6)$$

以固定的采样时间间隔对电动机的运行状态信号进行采集, 若信号的采样时间间隔较短, 则利用式(7)能够对电动机的状态信号进行离散化处理, 即

$$v(l) = L_q f(l) + L_j \sum f(l) + L_E [f(l) - f(l-1)] \quad (7)$$

式中, l 为电动机控制过程中的信号采样数列; $f(l)$ 为第 l 采样时的控制误差; $v(l)$ 为第 l 采样的控制信号经过离散化处理的结果。

由于上述的电动机稳定控制方法属于全量输出, 控制结果极易受到电动机在运行初期状态信号的影响, 因此, 需要对电动机控制过程中的相关参数进行累加处理, 由于运算量巨大, 因此在运算的过程中极易出现误差, 式(8)能够对误差进行补偿, 即

$$\Delta v(l) = L_q \Delta f(l) + L_j f(l) + L_E [\Delta f(l) - \Delta f(l-1)] \quad (8)$$

式中, $\Delta f(l) = f(l) - f(l-1)$ 。

根据上述方法, 建立电动机系统的数学模型, 为电动机的稳定控制提供准确的依据。将电动机控制信号的传递误差通过比例、微分和积分的线性组合形式构成电动机系统的控制参数, 建立电动机运行的稳定控制模型, 实现了电动机的稳定控制。

基于PIDNN变结构的整流稳压补偿方法

电动机系统在运行的过程中, 存在着各种噪声信号和电压信号, 这些信号呈现出强烈的非线性和时变性, 导致电动机运行的状态不稳定。传统的算法在输入电压骤升骤降时稳定控制性能明显降低, 为此, 提出一种基于PIDNN变结构的电动机整流稳压补偿控制方法。

1. 构建PIDNN变结构理论的电动机控制器

在进行电动机稳定控制的过程中, 需要建立基于PIDNN变结构理论的电动机稳定运行的控制器, 设置一个比例-积分-微分神经网络为学习网络, 这种神经网络模型三层前向型的形如 $2 \times 3 \times 1$ 的结构, 输入层包括两个神经元, 输入电动机控制信号; 隐含层包括三个神经元, 分别为比例神经元、微分神经元和积分神经元, 用来进行比例、微分和积分运算; 输出层只有1个神经元, 输出的电动机运行的控制信号。图1为能够描述电动机稳定控制的结构模型。

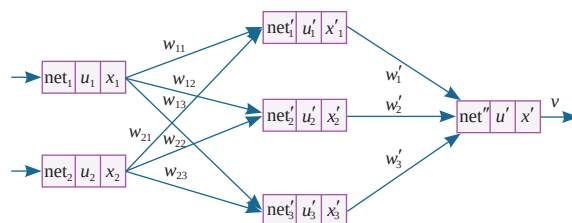


图1 电动机比例-微分-积分神经网络模型

设置在任意时刻 t , 在模型的第 j 个神经元上, 其总输入 net_j 的值为与其相连的所有支路的输出值 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 与权重 $w_{1j}, w_{2j}, \dots, w_{nj}$ 之积的总和, 即

$$net_j = \sum_{i=1}^n w_{ij} x_i(t) \quad i \neq j \quad (9)$$

u_j 为神经元的状态,是由其状态转换函数 $g(\cdot)$ 决定的。根据神经元的当前输入和当前状态函数能够得到神经元的下一个状态,即

$$u_j(k+1)=g[\text{net}_j-\theta_j, u_j(k)] \quad (10)$$

式中, θ_j 为神经元的阈值,通常取值为0。

模型的输出函数为

$$f(x)=\frac{1}{1+e^{-x}} \quad (11)$$

在模型的输入层中有两个神经元,在采样的任意时刻,其输入 $\text{net}_i(k)=r_i(k)$, $i=1, 2$, 输入层神经元的状态为 $u_i(k)=\text{net}_i(k)$, $i=1, 2$, 则输入层神经元的输出为

$$x_i(k)=\frac{1}{1+e^{-u_i(k)}} \quad (12)$$

模型的隐含层中包括比例神经元、积分神经元和微分神经元三个神经元,各自的输入总值为

$$\text{net}'_j(k)=\sum_{i=1}^2 \omega_{ij}x_i(k) \quad j=1,2,3 \quad (13)$$

式中, ω_{ij} 为输入层到隐含层的传递权重。

利用式(14)能够描述模型的输出神经元的输出,即

$$\text{net}''_j(k)=\sum_{j=1}^3 \omega'_jx'_j(k) \quad j=1,2,3 \quad (14)$$

式中, x'_j 为隐含层中所有神经元的输出值; ω'_j 为隐含层到输出层的传递权重。

利用式(15)能够描述输出层神经元的输出,即

$$x''(k)=\frac{1}{1+e^{-u''(k)}} \quad (15)$$

根据上面阐述的方法,构建PIDNN变结构理论的电动机控制器,为电动机的稳定控制提供了准确的依据。

2. 电动机整流稳压补偿控制的实现

利用基于PIDNN变结构理论进行电动机整流稳压补偿控制的过程中,需要提取电动机电压的特征,作为神经网络模型的三层前向神经元的PID变结构的加权系数。电动机整流稳压补偿控制系统由 M 和 $(\varphi_a, \dot{\varphi}_a)$ 构成,分别用来描述电动机的动态和静态模型结构,即

$$M=M_n+\Delta M \quad (16)$$

系统的传递函数为

$$h(\varphi_a, \dot{\varphi}_a)=h_a(\varphi_a, \dot{\varphi}_a)+\Delta h(\varphi_a, \dot{\varphi}_a) \quad (17)$$

式中, $h(\varphi_a, \dot{\varphi}_a)$ 和 M_n 为已知量; $\Delta h(\varphi_a, \dot{\varphi}_a)$ 与 ΔM_n 为未知量。分别用来描述在电压的作用下,对电压的矢量特征进行提取,并将电压特征信息映射到时域空间内,电动机电压的矢量空间相量为

$$\frac{dS}{dt}=\frac{1+\tanh(V_{\text{prc}}/10)}{2}\frac{1-S}{\tau_R}-\frac{S}{\tau_D} \quad (18)$$

式中, S 为模型中神经元 j 最大电压的效率。电动机系统的传动系数为

$$u_0=-\text{sgn}(M_n)\bar{\rho}(t)\text{sgn}(S) \quad (19)$$

对电动机的最大功率进行跟踪,并提取跟踪到的电流信号,得到电动机的驱动电压特征为

$$u=u_{cq}+u_0=h_n(\varphi_a, \dot{\varphi}_a)+M_n\ddot{\varphi}_{ad}-M_nce_2-\text{sgn}(M_n)\bar{\rho}(t)\text{sgn}(S) \quad (20)$$

假设电动机模型的未知量上界为 $\bar{\rho}(t)$,即

$$|\rho(t)|<\bar{\rho}(t) \quad (21)$$

此时得到的PIDNN变结构的神经网络的最优权值满足下述条件

$$\omega_1^*\sigma_1+\omega_2^*\sigma_2+\omega_3^*\sigma_3-\bar{\rho}(t)=\varepsilon(\varphi_a, \dot{\varphi}_a)<\varepsilon_1 \quad (22)$$

得到电动机系统运行状态的逆模型为

$$\frac{d\omega}{dt}=[\omega_\infty(V)-\omega]/\tau_M(V) \quad (23)$$

进而得到基于PIDNN变结构的电动机系统运行的双向逆变整流稳压的补偿为

$$\omega_\infty(V)=\frac{1}{1+e^{-0.1(V+35)}} \quad (24)$$

$$\tau_M(V)=\frac{400}{3.3e^{0.05(V+35)}}+e^{-0.05(V+35)} \quad (25)$$

根据上面阐述的方法,构建PIDNN变结构理论的电动机控制器,提取电动机电压的特征,作为神经网络模型的三层前向神经元的PID变结构的加权系数,建立PIDNN神经网络模型得到电动机系统的双向逆变的整流稳压补偿模型,实现了对电动机的稳定控制。

实验结果分析

1. 实验参数设置

为了验证改进算法的有效性,需要进行一次仿

真实验。利用仿真软件Matlab 7.1构建电动机系统的稳定性实验的环境,利用传统的PID算法与改进算法进行对比实验。在实验的构成中,相关参数设置如下所述:令 $e_1 = \varphi - \varphi_d$, $e_2 = \dot{\varphi} - \dot{\varphi}_d$,能够得到电动机系统运行过程中的误差模型为

$$\begin{aligned} \dot{e}_1 &= e_2 \\ \dot{e}_2 &= -(b_1 + \Delta b_1)x_2 - (b_2 + \Delta b_2)x_1 - (b_3 + \Delta b_3)\delta_\varphi + fd \end{aligned} \quad (26)$$

取 $b_1 = 0.2$, $b_2 = -15$, $\Delta b_1 = 0.05\sin(2\pi t)$, $\Delta b_2 = 4\sin(2\pi t)$, $\Delta b_3 = 2\cos(2\pi t)$, $fd = 0.5\sin(\pi t)$ 。为了抑制干扰信号,用 $s/(|s| + \delta)$ 取代 $\text{sgn}(s)$ 。

2. 实验结果对比分析

仿真结果如图2和图3所示。

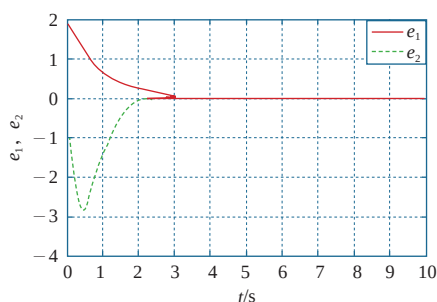


图2 状态量 e_1 , e_2 的变化情况

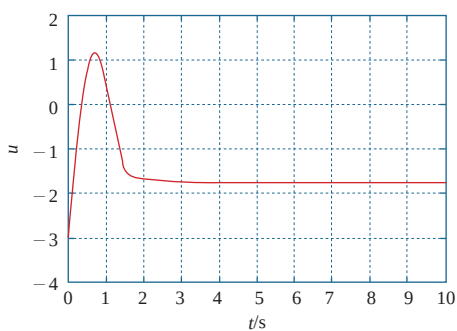


图3 电动机控制输入量 u 的变化情况

根据上图实验结果能够得知,利用改进算法设计的电动机稳定运行的控制器能够在很短的时间内将控制误差控制到0,对于参数的变化及外界的干扰具有良好的适应性,而传统算法则对于控制参数和干扰信号有着严格的要求,只有在其影响范围内才能保证电动机的稳定性运行,并且响应时间更慢。由于控制参数波动范围较大,导致电动机系统的稳定性变差。因此改进算法能够得到控制输入的曲线相对传统算法更光滑且有界,满足了电动机系统的稳定性控制要求。

为了进一步验证改进算法的优越性,需要测试不同算法在受到外界强烈干扰情况下的电动机稳定性,图4为不同算法的电动机的控制效果比较。

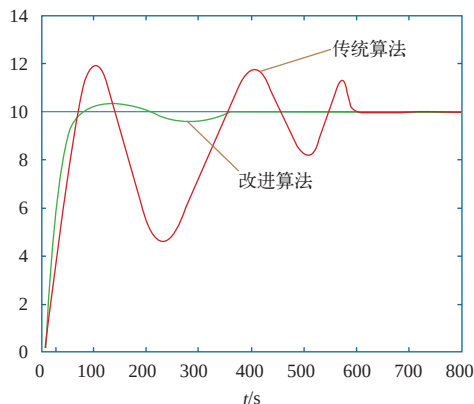


图4 不同算法对电动机的控制效果比较

由图4能够得知,由于改进算法的电动机控制器本身具有参数的自适应整定功能,使得电动机稳定性具有较强的自适应能力,面对外界强烈干扰的情况下能够及时恢复,产生的振荡较小,而传统算法的自适应控制性能较差,电动机的稳定性出现严重的振动,充分说明了改进算法在进行电动机稳定控制方面的优越性。

结束语

针对传统算法在电动机系统稳定控制方面的缺陷,提出一种基于PIDNN变结构理论的电动机整流稳压补偿控制方法。构建基于PIDNN变结构理论的电动机系统控制器,提取电动机电压的特征,作为神经网络模型的三层前向神经元的PID变结构的加权系数,建立PIDNN神经网络模型得到电动机系统的双向逆变的整流稳压补偿模型,实现了对电动机的稳定控制。仿真实验结果表明,利用改进算法进行电动机系统控制,能够提高电动机的稳定性,效果令人满意。

参考文献

- [1] 谭国俊,曹晓冬,王从刚,等.基于满意优化的三电平PWM整流器瞬时开关频率抑制方法[J].中国电机工程学报,2014,34(24):4057-4067.

(下转第91页)

融合滤波预处理的无线传感器网络节点定位算法。进行电力网络节点定位测度信息模型构建,设计无线多传感器数据融合滤波结构模型,计算传感器网络覆盖子载波区间正交性偏转相量,得到无线传感器网络节点数据融合与滤波调制结果,然后进行定位自动控制算法设计。实验结果表明,本文算法进行节点定位时,每个节点的估算位置与实际位置的距离差值较小,定位时间较快。通过节点定位,提高电力网络寿命,优化网络部署。

参考文献

- [1] Rong Yue. Joint source and relay optimization for two-way linear non-regenerative MIMO relay communications [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2012, 60 (12): 6533-6546.
- [2] Jeong Cheol, Kim Hyung-Myung, Song Hyoung-Kyu, et al. Relay precoding for non-regenerative MIMO relay systems with partial CSI in the presence of interferers [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2012, 11 (4): 1521-1531.
- [3] Su Hongtao, Liu Hongwei, Shui Penglang. A daptive beamforming for nonstationary HF

interference cancellation in skywave over-the-horizon radar [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2013, 49 (1): 312-324.

- [4] 靳晓艳,周希元,张琬琳.多径衰落信道中基于自适应MCMC的调制识别[J].北京邮电大学学报,2014,37(1):31-34.
- [5] 饶雨泰,杨凡.网络入侵搅动下的网络失稳控制方法研究[J].科技通报,2014,30(1):185-188.
- [6] 朱彦松,窦桂琴.一种基于多维度信任的WSN安全数据融合方法[J].武汉大学学报:理学版,2013,59(2):193-197.
- [7] 罗亮,吴文峻,张飞.面向云计算数据中心的能耗建模方法[J].软件学报,2014,25(7):1371-1387.
- [8] 张人上.基于专家系统和神经网络的网络入侵检测系统[J].计算机仿真,2012,29(9):162-165.
- [9] 李鹏,孙未蒙,李文强,等.一种改进积分滑模面在飞控中的应用[J].控制工程,2010,17(3):269-289.

(收稿日期:2014-08-11) EA

(上接第86页)

- [2] 任丽娜,李江艳,刘福才.风力发电机侧整流器非线性自适应Backstepping控制[J].太阳能学报,2014,35(8):1336-1343.
- [3] 黄辉先,周杰文,胡超,等.三相VSR的新型电流前馈解耦和滑模控制[J].电源技术,2014,38(9):1713-1716.
- [4] 侯兆然.基于虚拟磁链定向的PWM整流器控制方法研究[J].电力系统保护与控制,2014,42(21):105-109.
- [5] 冯继伟,马江峰,阮晓燕.直流稳压电源检定装置测量不确定度评定[J].计量与测试技术,2014,41(9):73-74.

- [6] 栾军.一种基于UC3842的新型开关稳压电源设计[J].电子世界,2014(16):193-193.
- [7] 文桦,张晓伏.基于UC3906的本安型直流不间断稳压电源的设计[J].河南大学学报:自然科学版,2014,44(4):393-397.
- [8] 付扬.基于multisim的多路输出直流稳压电源设计[J].电子世界,2014,10(21):158-158.
- [9] 邓英浩,闫磊.基于DSP技术的煤矿电动机控制应用[J].企业导报,2014(14):129-129.
- [10] 才智.异形件加工中步进电动机的控制研究[J].价值工程,2014,33(33):46-47.

(收稿日期:2015-01-13) EA