

中央空调器中变流量水电气系统的优化控制

对中央空调器的水电气系统进行优化控制设计,提高中央空调器水电气系统的最大功率跟踪能力,减少因转动惯量耦合出现的输出误差。传统的中央空调器电气系统控制方法采用PID模糊同步控制方法,当中央空调器水电气系统外电场环境呈现一种非线性时变特性时,控制误差较大,功耗较高。提出一种基于变流量功率激励的中央空调器中变流量水电气系统的优化控制算法,设计中央空调器变流量水电气系统模型结构,通过对电动机转子的双闭环控制和速度调节,控制中央空调器的水电气系统的输出电流,设计三层前向神经网络,基于变流量功率激励思想,设置迟滞控制算子,采用自适应算法在线调整权值,实现对变流量水电气系统的无阻尼非线性控制。仿真结果表明,该算法对中央空调器水电气系统的参数自适应控制性能较好,输出功率较高,中央空调器的工作效率提高。

刘桂兰/广州铁路职业技术学院 刘金平/华南理工大学



刘桂兰/讲师

关键词/Keywords

中央空调器·
水电气系统·
控制·

中央空调器广泛应用在大型商场和办公楼宇中,中央空调器系统由冷热源系统和空气调节系统组成,采用液体汽化制冷的原理为空气调节系统提供所需冷量,通过冷凝时的放热效应来实现制冷。中央空调器的系统组成主要包括水系统、风系统、盘管系统以及电气系统,其中水系统和电气系统是核心,包含四大部件:压缩机、冷凝器、节流装置和蒸发器。通过水电气系统的循环工作和制冷控制,经过风机盘管进行热交换,将冷风吹出,实现中央空调器的稳定运行。在这一过程中,需要对中央空调器的水电气系统进行优化控制设计,提高中央空调器水电气系统的最大功率跟踪能力,减少因转动惯量耦合出现的输出误差,因此,研究中央空调器的水电气系统的优化控制算法具有重要意义。

目前,对中央空调器的水电气系统的控制方法研究还处于起步阶段,主要的控制算法有神经网络控制算法、模糊PID控制算法和整流耦合控制算法等,其中模糊PID控制算法较为典型,中央空调器的变流量水电气系统是一种多变量、非线性和强耦合系统^[1]。其在运行过程中,受外电场环境作用下,呈现一种时变非线性特征,传统的模糊PID控制无法有效满足中央空调器的变流量水电气控制性能,对此相关文献进行了算法改进设计^[2-3]。其中,文献[4]提出一种采用自适应模糊控制技术中央空调器水电气系统控制方法,采用确定性分叉控制和功率输出全局优化方法提高控制性能,然而该算法具有自适应控制性能不好和计算复杂的问题;文献[5]提出一种基于柔性PID控制的超宽带外电场中央空调器水电气系统最大功率控制技术,使用基因遗传算法对空调器的电气系统进行优化,然而该模型增加电动势的平均值,导致控制出现阻尼振荡影响;文献[6]提出一种基于广域参数分布的反馈控制系统,对影响系统参量的所有参数建立关联矩阵,计算最小反馈误差,实现反馈控制,但算法复杂度高,在现有条件下,无法实现实时反馈控制;文献[7]采用PID模糊同步控制方法,当中央空调器水电气系统外电场环境呈现一种非线性时变特性时,控制误差较大,系统功耗较高。

针对上述问题,本文提出一种基于变流量功率激励的中央空调器中变流量水电气系统的优化控制算法。首先分析

了中央空调器水电气系统模型和控制原理,采用变流量功率激励方法进行中央空调器水电气系统PID耦合控制设计,设计三阶PID自抗扰控制非线性反馈系统,实现对中央空调器的变流量水电气系统的控制算法改进,最后进行仿真实验,验证了本文设计的优化控制方法的可行性和有效性。

系统模型及控制原理描述

1. 中央空调器变流量水电气系统模型结构

为了构建中央空调器的变流量水电气系统的控制模型,首先构建中央空调器水电气系统模型,中央空调器水电气系统包含四大部件:压缩机、冷凝器、节流装置和蒸发器。系统结构示意图如图1所示。图1中,空调器主机通过水电气系统的循环工作和制冷控制,压缩机出来的冷媒(制冷剂)高温高压的气体,流经冷凝器,降温降压,冷凝器通过冷却水系统将热量带到冷却塔排出,由对应的室内管路和数个功用房间内的排风口相连,构成的循环系统带走室内废气^[9],实现变流量水电气系统循环工作。

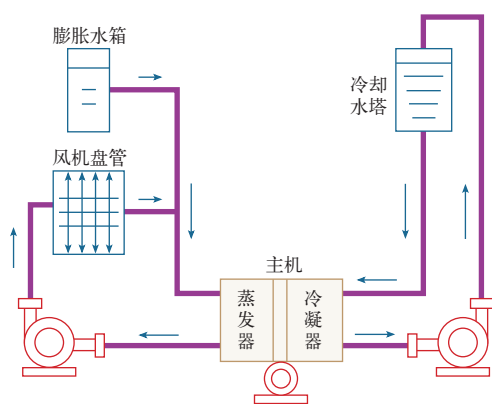


图1 中央空调器水电气系统的结构示意图

中央空调器变流量水电气系统的电力传动控制电路和驱动电路设计图如图2所示。

图2中,设中央空调器水电气系统的功放的供电电压为 $\pm V_s$,负载(阵元)为 $Z\angle\varphi$,运放输出电压幅值为 $V_m = V_s - V_{CE}$,则输出电流幅值 $I_m = \frac{V_m}{Z} = \frac{V_s - V_{CE}}{Z}$,假设中央空调器变流量水电气系统的发电机带整流谐振角为 ω_0 ,电流有效值为 I_r ,变

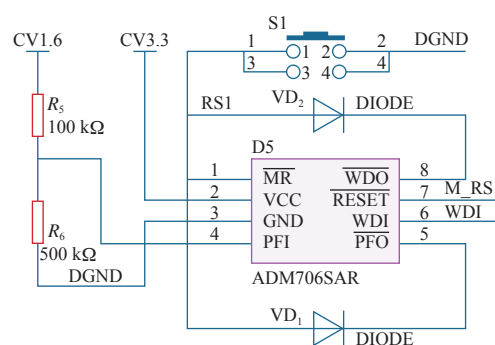


图2 电力传动控制电路和驱动电路设计图

流量水电气系统发电机带整流容性电流有效值为 I_0 ,变流量水电气系统采用双向四象限工作特性^[10-12],采用双向流动补偿的思想,控制系统电路设计中, QS_2 同PNP发射级与基极之间 $U_{BE} = 0.7\text{ V}$,整流电路发射端电流表示为

$$I_c = \frac{U_{BE}}{RQ_1 + RQ_2} \quad (1)$$

通过上述系统结构模型描述和电路设计,完成了中央空调器变流量水电气系统的组成结构分析,并分析了系统工作原理,用以指导中央空调器的水电气控制算法模型的设计。

2. 控制原理及系统稳定性分析

在上述系统模型设计的基础上,进行系统的控制原理设计,基于模糊PID控制算法,在中央空调器水电气系统的系统中,中央空调器的风机与永磁同步发电机直接刚性相连。此时,风机抗干扰模糊PID控制系统的传递函数定义为

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{G_c(s)G_0(s)e^{-\tau s}}{1 + G_c(s)G_0(s)} \quad (2)$$

式中, $Y(s)$ 为输出控制参数; $R(s)$ 为输入控制参数; $e^{-\tau s}$ 为模糊时滞特性参数。

通过对空调器电动机转子的双闭环控制和速度调节,控制中央空调器的水电气系统的输出电流,当中央空调器的风机抗干扰模糊PID控制模型准确时,下式成立

$$G_m(s) = G_0(s), t_m = \tau \quad (3)$$

则模糊控制的反馈信号为

$$H(s) + Y(s) = G_m(s)U(s) \quad (4)$$

相当于直接从 $G_m(s)$ 的输出端引出了模糊的反

馈信号, 绕开模糊控制系统中时滞环节 $e^{-t_m s}$ 的影响, 得到变流量水电气系统中的三相电流平衡状态方程为

$$u = u_{eq} + u_0 = h_n(\varphi_a, \dot{\varphi}_a) + M_n \ddot{\varphi}_{ad} - M_n c e_2 - \text{sgn}(M_n) \bar{\rho}(t) \text{sgn}(s) \quad (5)$$

式中, φ_a 为水电气系统电路的电容电压; M_n 为电流变化率; $\ddot{\varphi}_{ad}$ 为电动势幅值。

进一步建立在谐振点附近电流波形为近似正弦时的包含整流模型的准确模型, 得到系统控制结构的稳态工作点为

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_{lx} C_x}} = 2\pi f_0, Z_0 = \sqrt{\frac{L_{lx}}{C_x}} = \omega_0 L_{lx} = \frac{1}{\omega_0 C_x} \quad (6)$$

通过上述分析, 得到了中央空调器中水电气系统同步控制原理, 并进行了系统的稳定性分析, 分析其控制性能。在中央空调器的水电气系统运行过程中, 受外电场环境作用下, 呈现一种时变非线性特征, 出现迟滞控制、重复控制, 系统控制误差较大, 系统功耗较高, 需要进行控制优化设计。

控制算法改进设计与关键技术实现

1. 基于变流量功率激励的控制算法的提出

针对传统方法的弊端, 本文进行控制算法改进设计, 提出一种基于变流量功率激励的中央空调器中变流量水电气系统的优化控制算法。首先设计三层前向神经网络, 为 $2 \times 3 \times 1$ 结构, 其输入层有两个神经元, 接受外部输入信息。以此为基础, 设计三阶中央空调器水电气系统的PID自抗扰控制非线性反馈系统

$$\begin{cases} e_1(k) = x_1(k) - z_1(k) \\ e_2(k) = x_2(k) - z_2(k) \\ u_0(k) = k_p \text{fal}[e_1(k), \alpha_1, \delta_1] + k_d \text{fal}[e_2(k), \alpha_2, \delta_2] \\ u(k) = u_0(k) - \frac{z_3(k)}{b_0} \end{cases} \quad (7)$$

式中, $\alpha_1, \alpha_2, \delta_1, \delta_2, b_0$ 是可调参数; k_p, k_d 是比例系数和微分系数。

在变流量功率激励下, 给出中央空调器中水电气系统同步控制的反射阻抗 Z_{rl}, Z_{sr}, Z_{ps} , 可以通过下式计算得出

$$\begin{aligned} Z_{rl} &= \frac{M_{rl} R_o}{L_1^2} \\ Z_{sr} &= \frac{\omega_0^2 M_{sr}^2}{\frac{M_{rl} R_o}{L_1^2} + R_r} \\ Z_{ps} &= \frac{\omega_0^2 M_{ps}^2}{Z_{sr}} \end{aligned} \quad (8)$$

假设功率激励函数的输入节点个数 N 和向量元素个数 k 。初始化设置输入节点和输出节点的权值。假设 $x(t), t=0, 1, \dots, n-1$ 为样本的训练序列, 得到中央空调器的电动机组传动状态方程为

$$\begin{cases} C \frac{dV}{dt} = g_{Na} m^3 h (E_{Na} - V) + g_K n^4 (E_K - V) + g_L (E_L - V) + I_{ext} \\ m = m_\infty = \alpha_m(V) / [\alpha_m(V) + \beta_m(V)] \\ \frac{dn}{dt} = \alpha_n(V)(1-n) - \beta_n(V)n \\ h = \max(1 - 1.25n, 0) \end{cases} \quad (9)$$

式中, g_{Na} 为转动粘滞系数; α_m 为功率-最优转速; g_L 为空调器风机转动惯量; h 为产生的超宽带变频外电场; α_m 为抖振振幅。

在模糊PID神经网络控制系统中, 把中央空调器水电气系统的电场电势特征作为输入层数据, 得到输入层至隐含层权值为 $\omega_{ij}(i=1, 2; j=1, 2, 3)$, 得到中央空调器机组的最大功率函数为

$$\begin{aligned} \dot{V} &= s\dot{s} - \eta^{-1} \tilde{\omega}^T \dot{\tilde{\omega}} \\ &= s[ce_2 + M_n^{-1}u - M_n^{-1}h_n(\varphi_a, \dot{\varphi}_a) - \ddot{\varphi}_a + M_n^{-1}\rho(t)] - \eta^{-1} \tilde{\omega}^T \dot{\tilde{\omega}} \end{aligned} \quad (10)$$

基于变流量功率激励思想, 利用离散傅里叶变换计算控制模型中两相换流平均值为

$$E = \sum_{p=1}^n E_p = \frac{1}{l} \sum_{p=1}^n \sum_{k=1}^l [r_p(k) - y_p(k)]^2 \quad (11)$$

式中, E_p 为输出电压平均值; $r_p(k)$ 为水电气控制模型的有功损耗; $y_p(k)$ 为两相换流的频率。

通过上述处理, 实现了基于变流量功率激励的控制算法描述, 提高了中央空调器水电气系统的控制性能。

2. 中央空调器的水电气控制实现及功率优化

通过上述基于变流量功率激励的控制算法描述, 为最终实现对变流量水电气系统优化控制,

提高输出功率和系统的稳定性, 设置迟滞控制算子, 采用自适应算法在线调整权值, 取

$$\hat{\omega} = \eta \left| sM_n^{-1} \right| \sigma(\varphi_a, \hat{\varphi}_a), \quad \eta = \left| sM_n^{-1} \right| (\varepsilon_0 - \varepsilon_1) > 0 \quad (12)$$

当模糊控制的特征方程没有时滞项时, 中央空调器的抗干扰模糊PID控制预估模型实现了对时滞环节的准确模糊控制补偿, 当模型不准确时, 传递函数定义为

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{G_c(s)G_0(s)e^{-\tau s}}{1 + G_c(s)G_0(s) - G_m(s)e^{-t_m s}} \quad (13)$$

式中, $G_m(s)e^{-t_m s}$ 为对于不准确模型的补偿因子。

中央空调器水电气系统在复杂自然环境运行中, 通常受到强烈的外部环境干扰, 为了提高效率, 降低系统功耗, 实现对变流量水电气系统的无阻尼非线性控制, 设计输出功率增益函数为

$$V = \frac{1}{2}s^2 + \frac{1}{2}\eta^{-1}\tilde{\omega}^T\tilde{\omega} \quad (14)$$

结合典型的模糊PID控制神经网络, 在变流量水电气系统发电机相电压一定的前提下, 固定输入层至隐含层的权值 $\omega_{ij}(i=1,2; j=1,2,3)$, 仅调节隐含层至输出层的权值 $\omega_j'(j=1,2,3)$, 构建中央空调器变流量水电气系统运行状态的最佳控制状态输出表达式为

$$\begin{aligned} \frac{dw}{dt} &= [w_\infty(V) - w] / \tau_M(V) \\ w_\infty(V) &= 1 / (1 + e^{-0.1(V+35)}) \\ \tau_M(V) &= 400 / (3.3e^{0.05(V+35)} + e^{-0.05(V+35)}) \end{aligned} \quad (15)$$

式中, ΔV 为差分电压。

令 $l = l_s$, $r = r_r + l_g$, $NI = A_w J_{cu} k_f$, 再计算得到 B , 基于非分线性组合, 采用变流量功率激励方法, 优化了控制方案。

仿真实验与结果分析

为了验证本文算法在实现中央空调器变流量水电气系统控制中的性能, 进行仿真实验。仿真实验中, 实验环境为Pentium(R)4 CPU, 3.00 GHz, 512 M内存的计算机上, 通过Matlab 2011b进行编程。

参数设定中, 中央空调器的压摆率: 80 V/ μ s ($G = +2$), 低噪声典型值为11 nV/Hz ($f = 100$ kHz)

0.6 mA/Hz ($f = 100$ kHz) 宽电源电压输入: 5~24 V 低失调电压: 1 mV (典型值), 输出的空调器冷气强度变化量为, 量化论域范围为 $[-20, 20]$, Δu 的补偿调整域范围为 $[-40, 20]$ 。中央空调器的水电气系统电动机组的参数为: 相电阻3.234 Ω , 相电感11 mH, 转动惯量0.000 4 kg $\cdot$ m², 额定转速2 000 r/min, 控制芯片的内核电压0.8~1.2 V, 片内调压器可调, 兼容3.3 V及2.5 V I/O。当令 $l = l_s$, $r = r_r + l_g$, $NI = A_w J_{cu} k_f$, 再计算得到 $B = 30$ V, 空调器的水电气系统的磁密在1.5~2.5取值, $P_e = 0.907 8 k_e'' B_{\max}^n f^2$, 转矩输出为10 N $\cdot$ m, 体积为 1.1×10^{-6} m³。根据上述仿真环境和参数设定, 在相同条件下, 进行水电气控制实验, 以变流量水电气系统的电压增益、电流增益、控制效率和功率增益为性能测试指标, 在不同的系统轴向偏移和负载电阻下的参数输出结果如图3和图4所示。

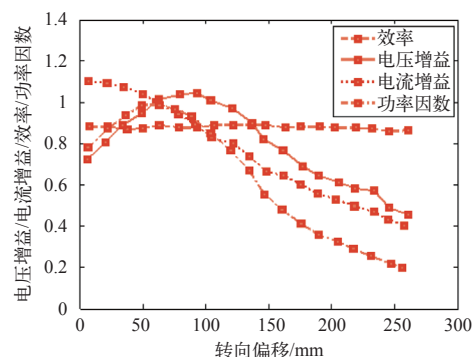


图3 轴向偏移输出结果

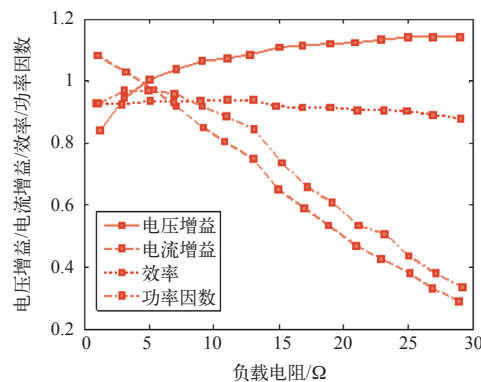


图4 控制性能参数分析

从图3和图4可见, 采用本文方法, 对中央空调器水电气系统的参数自适应控制性能较好, 电压增益稳定在5.8%, 提高中央空调器水电气系

统的最大功率跟踪能力,减少因转动惯量耦合出现的输出误差,输出功率较高,中央空调器的工作效率提高。为了对比算法性能,采用本文算法和传统算法,在不同的空调器出风口进行制冷性能对比分析,得到仿真结果如图5所示。从图5可见,采用本文算法,具有较高的制冷强度,优化了中央空调器的水电气系统的控制性能。

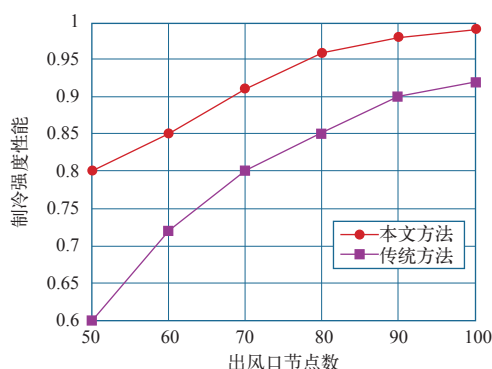


图5 制冷性能对比

结束语

本文研究了中央空调器的水电气系统进行优化控制设计方法,提高空调器工作效率,减少因转动惯量耦合出现的输出误差。本文提出一种基于变流量功率激励的中央空调器中变流量水电气系统的优化控制算法。分析了中央空调器水电气系统模型和控制原理,采用变流量功率激励方法进行中央空调器水电气系统PID耦合控制设计。设计三阶PID自抗扰控制非线性反馈系统,实现对变流量水电气系统的无阻尼非线性控制。研究结果表明,采用本文方法,对中央空调器水电气系统的参数自适应控制性能较好,提高了中央空调器的工作效益。

参考文献

[1] 陈杰,陈冉,陈家伟,等.变速风力发电机组的模糊-单神经元PID控制[J].中国电机工程学报,2011,31(27):88-94.

- [2] 张小冰.变频器优化控制方法研究与仿真[J].计算机仿真,2011,28(11):409-412.
- [3] 齐昕,周晓敏,马祥华,等.感应电机预测控制改进算法[J].电机与控制学报,2013,17(3):62-69.
- [4] 宋钰,何小利,何先波,等.基于云计算神经网络调度算法研究[J].计算机仿真,2009(4):78-79.
- [5] Lee Y U, Kavehrad M. Long-range indoor hybrid localization system design with visible light communications and wireless network[C]. Photonics Society Summer Topical Meeting Series, 2012: 82-83.
- [6] 雷邦军,费树岷,翟军勇.静止无功补偿器的一种新型非线性鲁棒自适应控制设计方法[J].中国电机工程学报,2013,33(30):65-70.
- [7] 方支剑,段善旭,陈天锦,等.储能逆变器预测控制误差形成机理及其抑制策略[J].中国电机工程学报,2013,33(30):1-8.
- [8] 何军红,吴毅哲,史常胜.基于PLC的地铁通风空调器控制系统设计[J].工业仪表与自动化装置,2013(1):24-25.
- [9] 周鹏,陈洋,官文越.建筑设备节能控制策略[J].南京理工大学学报,2014,38(1):55-58.
- [10] 马少华,龙硕,龙春宏.带惯性权重的粒子群PID控制在变风量空调器中的应用[J].沈阳建筑大学学报:自然科学版,2011,27(3):608-612.
- [11] 宋晓宇,郑妍,常春光.基于变准确度粗糙集的应急调度模型[J].信息与控制,2011,40(6):858-864.
- [12] 朱栋华,徐慧影.基于模糊神经网络变风量空调器系统风量预测研究[J].建筑节能,2010,38(1):22-24.

(收稿日期:2014-09-10) **EA**