

PC 机在智能控制交流调速系统中的应用

广州广东工业大学自动化学院(510080) 李莹 李秀华 谢光汉 符曦

摘要: 给出了一种采用 PC 机控制的智能滑模变结构交流调速系统的实现方案及硬、软件设计思想,成功研制“自适应滑模变结构交流调速系统”实验装置(样机),并通过了广东省科技成果鉴定。

关键词: 智能控制 交流调速 电路 软件 实现

感应电动机是一种多变量、非线性、强耦合的控制对象,应用一般的矢量控制技术可以解决电动机参数的解耦问题,满足交流电动机在特定条件下的高调速性能的需要。然而,当电动机运行了相当长的一段时间后,由于电动机的磁饱和或绕组温度变化,以及趋肤效应的影响或内部参数的改变,导致解耦条件破坏,从而使调速系统的控制精度降低、运行性能变坏。显然,常规的具有固定结构及参数的控制器,难以满足高精度交流调速系统的快速性及鲁棒性的要求。因此,寻求一种新颖的控制方式,解决变结构控制和参数完全自适应性问题是十分必要和及时的,这也是当今自动化应用技术的重点研究问题之一。

鉴于上述情况,本文结合滑模变结构控制、模糊逻辑和神经网络的优点,推导出了感应电动机自调整模糊滑模变结构控制和自适应模糊神经网络滑模变结构控制两种算法,用 PC 机 C 语言编程实现,成功研制“自适应滑模变结构交流调速系统”实验装置(样机),并通过了广东省科技成果鉴定。实验结果表明,这种将滑模变结构控制和智能技术有机结合起来的新颖控制方案,不仅使系统具有滑模变结构控制的响应速度快、对系统参数变化不敏感和鲁棒性强等优点,而且还具有模糊逻辑和神经网络不需系统精确数学模型的方便性和稳定性。

1 智能滑模变结构控制算法

对于转子磁通定向的矢量变换控制感应电动机,电动机的定子电压关系为 $u_t = \sqrt{u_{1T}^2 + u_{1M}^2}$, u_{1T} 和 u_{1M} 分别为定子电压转矩分量和电磁分量。选取系统的状态变量为 $x_1 = \Delta\omega_2 = \omega_2^* - \omega_2$ (ω_2^* 和 ω_2 分别为转速指令值和实际值), $x_2 = x_1$, 可推得感应电动机交流调速系统的状态方程为:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = -Ka_2x_1 - a_1x_2 - Kbu_{1T} + Ka_2\omega_2^* \end{cases} \quad (1)$$

式中, K 、 a_1 、 a_2 和 b 均为与电机参数有关的系数。

1.1 自调整模糊滑模变结构控制算法

为避免滑模变结构控制引起的系统抖动,这里采用一种综合控制方案,即当 $|x_1| \geq \xi$ 时,系统以滑模变结构控制方式工作;而当 $|x_1| < \xi$ 时,系统以自调整模糊控制方式运行, ξ 为切换阈值。

选取滑模切换函数 $\delta(x) = c_1x_1 + c_2x_2$ ($c_1 > 0$), 取控制变量 $u = u_{1T} = \eta_1x_1 + \eta_2x_2 + a_2\omega_2^*/b$, 则根据滑模到达条件

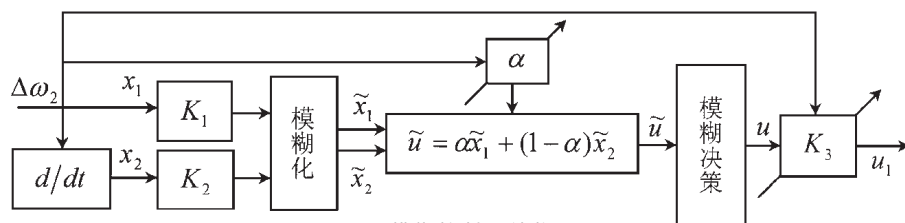


图 1 模糊控制器结构图

$\delta(x)\dot{\delta}(x) \leq 0$, 可得控制参数 η_1 和 η_2 的取值范围分别为:

$$\eta_1 = \begin{cases} \alpha_1 \geq -a_2/b, x_1 \delta(x) \geq 0 \\ \beta_1 < -a_2/b, x_1 \delta(x) < 0 \end{cases}$$

$$\eta_2 = \begin{cases} \alpha_2 \geq (c_1 - a_1)/(bK), x_2 \delta(x) \geq 0 \\ \beta_2 < (c_1 - a_1)/(bK), x_2 \delta(x) < 0 \end{cases}$$

模糊控制器的结构框图如图 1 所示, 采用带可调因子 $\alpha (0 < \alpha < 1)$ 的模糊控制规则。由于本模糊控制器是在小误差信号时起作用, 故可选取较小的初始 α 值, 并在线按下列方法调整:

if $|x_1| > |x_1(j)|$, then $\alpha = \alpha + \vartheta$; if $|x_1| < |x_1(j)|$, then $\alpha = \alpha - \vartheta$

其中 $x_1(j)$ 为上次调整 α 时的误差, $\vartheta (0 < \vartheta < 0.1)$ 为一个给定的增量。

量化系数 K_1 、 K_2 和比例因子 K_3 是相互牵制的, 如果同时调整三个参数会使控制算法过于复杂。从控制器的结构可看到, 调整 K_3 的因果关系比较明确, 而且最终也能起到调整 K_1 和 K_2 的作用。因此, 采用离线调整 K_1 和 K_2 , 在线调整 K_3 。由于 K_3 的理想取值与 x_1 和 x_2 的符号、大小均有关, 故按如下规则:

if $\tilde{x}_1 = \tilde{A}_i$ and $\tilde{x}_2 = \tilde{B}_j$ then $\tilde{K}_3 = \tilde{C}_i$, $K_3 = K_0 \tilde{K}_3$

离线设计一张 K_3 取值的查询表, K_0 为离线整定的一个常数。

1.2 自适应模糊神经网络滑模变结构控制算法

对交流调速系统, 取滑模切换函数 $\delta(x) = c_1 x_1 + x_2$ ($c_1 > 0$), 由 $\dot{\delta}(x) = 0$ 可解出系统在滑模线上的等效控制律为: $u_{eq} = u_{1T} = [-ka_2 x_1 + (c_1 - a_1)x_2 + ka_2 \omega_2^*] / (kb)$

当 x 不在 $\delta(x)$ 上时, 采用一模糊校正控制律 u_f 将系统状态引至滑模线上。

考虑到系统参数的估计误差及随机干扰, 取控制系统的完整控制律为:

$$u = c_2 [\sqrt{(u_{eq} + c_3 u_f)^2 + u_{1M}^2}] + \Delta$$

其中, c_2 为数字式控制器输出与变频器的实际控制电压值之间的转换系数, 采用神经网络在线自调整; $\Delta = f[\text{sgn}(x_1)]$ 为补偿项; 当 $|\delta(x)| > 0$ 时, $c_3 = 1$, 当 $|\delta(x)| = 0$ 时, $c_3 = 0$ 。

令 $\delta(x)$ 和 u_f 分别为模糊控制器的输入和输出, 并定义它们的模糊集分别为:

$$\tilde{\delta} \hat{=} \{\tilde{A}_{-2}, \tilde{A}_{-1}, \tilde{A}_0, \tilde{A}_1, \tilde{A}_2\}, \tilde{u}_f \hat{=} \{\tilde{B}_{-2}, \tilde{B}_{-1}, \tilde{B}_0, \tilde{B}_1, \tilde{B}_2\}$$

其中 $\tilde{\delta} = \alpha \delta(x)$, $\alpha > 0$ 为量化因子, 采用神经网络在线自调整。模糊控制规则定义为:

$$\tilde{R}_i: \text{IF } \tilde{\delta} \text{ is } \tilde{A}_i \text{ THEN } \tilde{u}_f \text{ is } \tilde{B}_j \quad (i = -2, -1, 0, 1, 2)$$

选取 \tilde{A}_i 和 \tilde{B}_j 为三角形隶属函数, 采用 max-min 模糊推理合成规则, 以及重心去模糊化方法, 可推得模糊控制律为:

$$u_f = \begin{cases} 1 & , \tilde{\delta} \leq -1 \\ \frac{3\tilde{\delta}^2 + 5.5\tilde{\delta} + 1.5}{4\tilde{\delta}^2 + 6\tilde{\delta} + 1} & , -1 < \tilde{\delta} \leq -0.5 \\ \frac{\tilde{\delta}^2 + 1.5\tilde{\delta}}{4\tilde{\delta}^2 + 2\tilde{\delta} - 1} & , -0.5 < \tilde{\delta} \leq 0 \\ -\frac{\tilde{\delta}^2 - 1.5\tilde{\delta}}{4\tilde{\delta}^2 - 2\tilde{\delta} - 1} & , 0 < \tilde{\delta} \leq 0.5 \\ -\frac{3\tilde{\delta}^2 - 5.5\tilde{\delta} + 1.5}{4\tilde{\delta}^2 - 6\tilde{\delta} + 1} & , 0.5 < \tilde{\delta} \leq 1 \\ -1 & , \tilde{\delta} > 1 \end{cases}$$

选取 ITAE 性能指标, 即 $J = \int_0^{\infty} t |e(t)| dt$, 在不同的转速设定值下, 采用变量轮换法和黄金分割法, 经多次启动电机, 得到一组近似最优的 $\{\omega_2^*, \alpha, c_2\}$ 数据, 分别以数据组 $\{\omega_2^*, \alpha\}$ 和 $\{\omega_2^*, c_2\}$ 训练出两个前馈型神经网络, 即得到随 ω_2 变化的自调整规律。

2 系统组成

感应电动机交流调速系统的结构框图如图 2 所示, 其中电流环用于监测, 速度环用于控制。图中, 控制器为 486DX/38 型 PC 机, 智能控制算法用 C 语言编程实现, A/D 和 D/A 转换器均由低价格的 HY-1232 型 A/D、D/A 板实现; 变频器采用日本三菱 FR-A044 型变频器; 感应电动机 IM 采用国产 Y804-4 型鼠笼式电动机, 其测速装置 LC 采用 RX1000 型光电编码器; f/V 采用 LM331 组成的高精度频率/电压变换器; 电流检测采用霍尔元件。

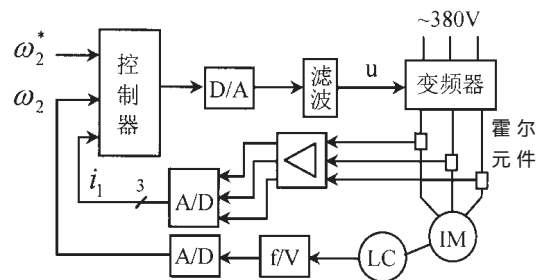


图 2 交流调速系统结构框图

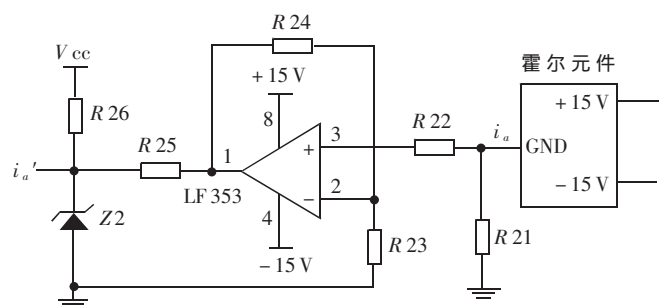


图 3 电流信号检测电路

3 硬件设计

在交流调速系统中,对电流检测的基本要求是将电流转换成与其成比例的直流低电压。电流信号检测电路如图3所示,它选用霍尔元件检测出电动机主电流并通过整流、滤波而取得可调的直流电压信号。

f/V 变换器电路如图4所示,它选用了高精度的变换芯片 LM331,其最大非线性度为 $\pm 0.01\%$,从而保证了 f/V 变换器的输出电压 V_{out} 能够线性地反映出频率 f 的变化。当频率 $f < 4\text{kHz}$ 时,其非线性度为 0,且转换时间低于 $10\mu\text{s}$ 。

两级输出滤波电路如图5所示,其主要作用是将计算机输出的 PWM 信号转变为平稳的直流电压而输出到变频器中去。

4 软件框图

系统软件主要包括初始化程序模块、软件定时中断服务程序模块以及智能滑模变结构控制算法模块等,各程序模块的相互关系和基本内容如图6所示。

参考文献

1 李莹,胡慎敏,符曦等.感应电动机自调整模糊神经网络控制的研究.电气自动化,2000;23(1): 38~41
 2 Li Ying, Fu Xi. The Study of Self-Adaptive Sliding Mode Variable Structure-Fuzzy Control for Induction Motor. Proc. IEEE IPS'97 Conf. Beijing: Sept. 1997, Vo.1: 232~236

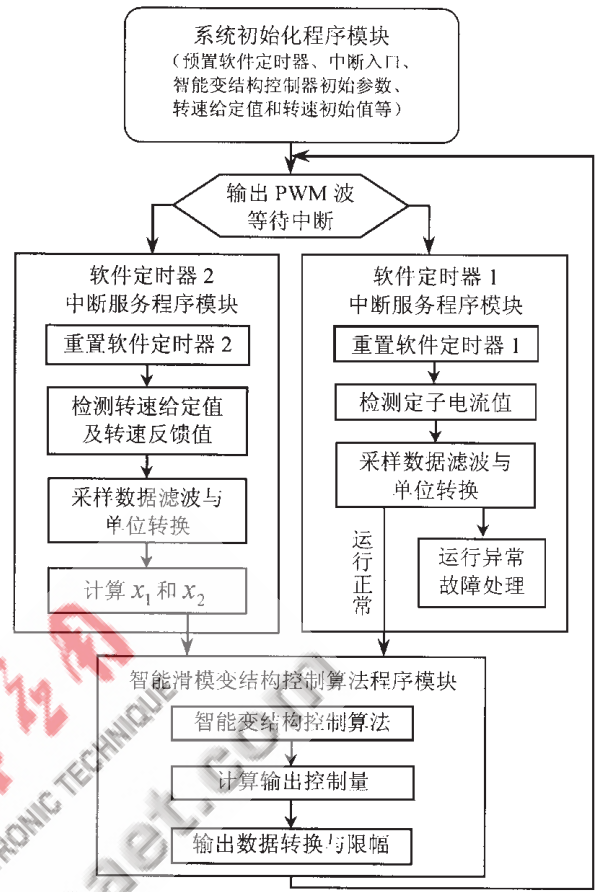


图6 系统软件框图

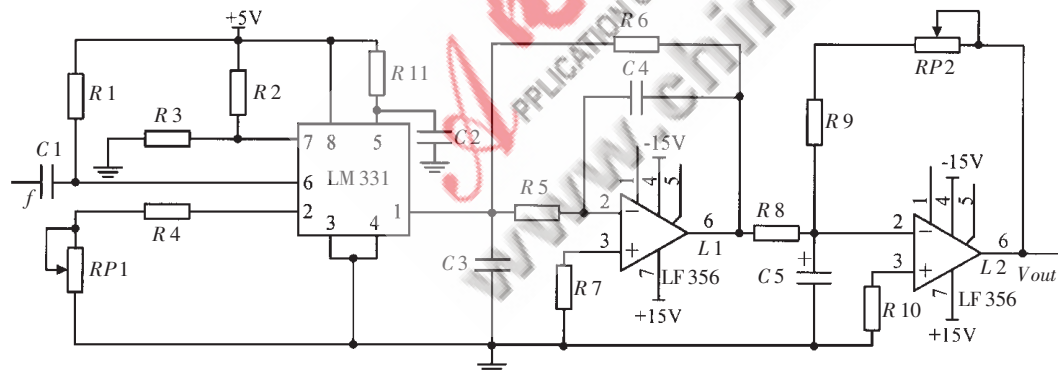


图4 f/V 变换器电路

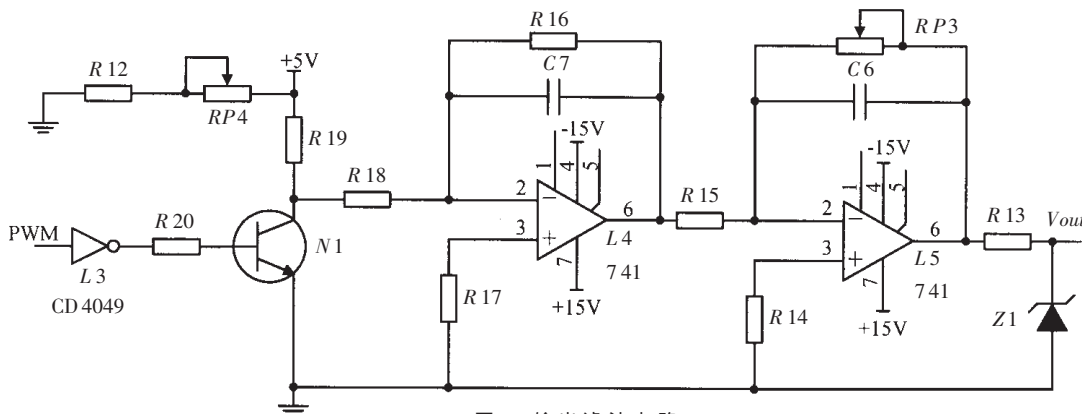


图5 输出滤波电路

3 Fu Xi, Li Ying, Li Xiuhua. The Self-Adaptive SMVS-F Control System for Induction Motor. Proc. 14th World Congress of IFAC Conf. Beijing: July. 1999, Vo.1: 193~197
 4 Li Ying, Zou Jingxiang, Fu Xi. The Self-Adjustable Fuzzy Sliding Mode Control for AC Speed Drive Systems. Proc. 2000 American Control Conference (ACC2000), Chicago, June, 2000: 3506~3510
 5 李莹. 非线性系统智能滑模变结构控制理论与应用研究. 哈尔滨工业大学博士学位论文, 2000, 11

(收稿日期: 2000-12-18)