



# 采用模糊控制的感应电动机解耦变结构系统的研究<sup>1)</sup>

邱焕耀 毛宗源

(华南理工大学自动控制系 广州 510641)

**摘要** 感应电动机的解耦变结构控制是一种新型的交流控制系统,但解耦变结构控制在实际系统中会引起抖振问题,从而影响了控制系统的性能.将模糊控制引入感应电动机解耦变结构系统可以有效地抑制抖振,从而提出了采用模糊控制的感应电动机解耦变结构控制系统.

**关键词** 模糊控制,解耦变结构,抖振,感应电动机.

## 1 引言

感应电动机作为具有高阶模型和非线性强耦合的控制对象,在无法获得精确的数学模型和参数变化的情况下,采用解耦变结构控制可以获得好的控制性能,并且对参数变化不敏感<sup>[2,3]</sup>,但其引起的抖振问题会影响系统的性能<sup>[1]</sup>.本文将模糊控制思想引入解耦变结构控制系统,能有效地抑制抖振、提高控制系统性能.

## 2 采用模糊控制的解耦变结构控制

根据控制系统要求:1)转子磁通与转子电流完全解耦的充分必要条件为(1)式;2)转速静差为0;3)系统快速性好,选择系统的切换面为  $S_i=0$ , ( $i=1,2,3$ ).

$$i_{1\alpha} = \text{const.}, \quad \omega_{sl} = \frac{r_2}{L_2 \cdot i_{1\alpha}} \cdot i_{1\beta}, \quad (1a)$$

$$\begin{bmatrix} e_{1\alpha} \\ e_{1\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1 & -L_\sigma \omega_s \\ L_1 \omega_s & r_1 + L_\sigma s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{1\alpha} \\ i_{1\beta} \end{bmatrix}. \quad (1b)$$

其中  $S_1 = \lambda_{2\alpha} - \lambda_{2\alpha}^{\text{ref}}$ ,  $S_2 = \omega_r - \omega_r^{\text{ref}}$ ,  $S_3 = i_{1\beta} - i_{1\beta}^{\text{ref}}$ ;  $i_{1\alpha}, i_{1\beta}$  为定子电流的  $\alpha, \beta$  轴分量;  $\omega_{sl}$  为滑差角频率;  $r_2, L_2$  为转子电阻和电感;  $\lambda_{2\alpha}$  是转子磁链,上标 ref 代表参考量;  $L_\sigma$  为定子与转子之间漏抗;  $\omega_s$  为电源角频率;  $e_{1\alpha}, e_{1\beta}$  分别为电机电势在  $\alpha, \beta$  轴的分量<sup>[2,3]</sup>.

解耦变结构控制规律可选择为

$$e_{1\alpha}^{\text{ref}} = -C_1 \epsilon_1 - K_1 \text{Sgn}(S_1), \quad (2a)$$

$$e_{1\beta}^{\text{ref}} = -C_3 \epsilon_3 - K_3 \text{Sgn}(S_3), \quad (2b)$$

1) 国家攀登计划认识科学(神经网络模型)重大攻关项目和广东省自然科学基金资助项目.

$$i_{1\beta}^{ref} = -C_2 \epsilon_2 - K_2 \text{Sgn}(S_2). \tag{2c}$$

其中  $\epsilon_i = S_i; C_i, K_i (i=1, 2, 3)$  是控制参数.

实际的解耦变结构控制系统, 由于时间滞后会引起控制系统的抖振<sup>[1]</sup>, 分析解耦变结构控制规律可见, 控制系统抖振的产生与控制规律中 Bang-bang 控制项  $K_i \text{Sgn}(S_i)$  有关. Bang-bang 控制是一种具有二值开关特性的非线性函数. 在采用一定的模糊化和模糊决策的前提下, 模糊控制器的输入输出特性为多值开关模型, 变结构控制与模糊控制的输入输出特性如图1所示.

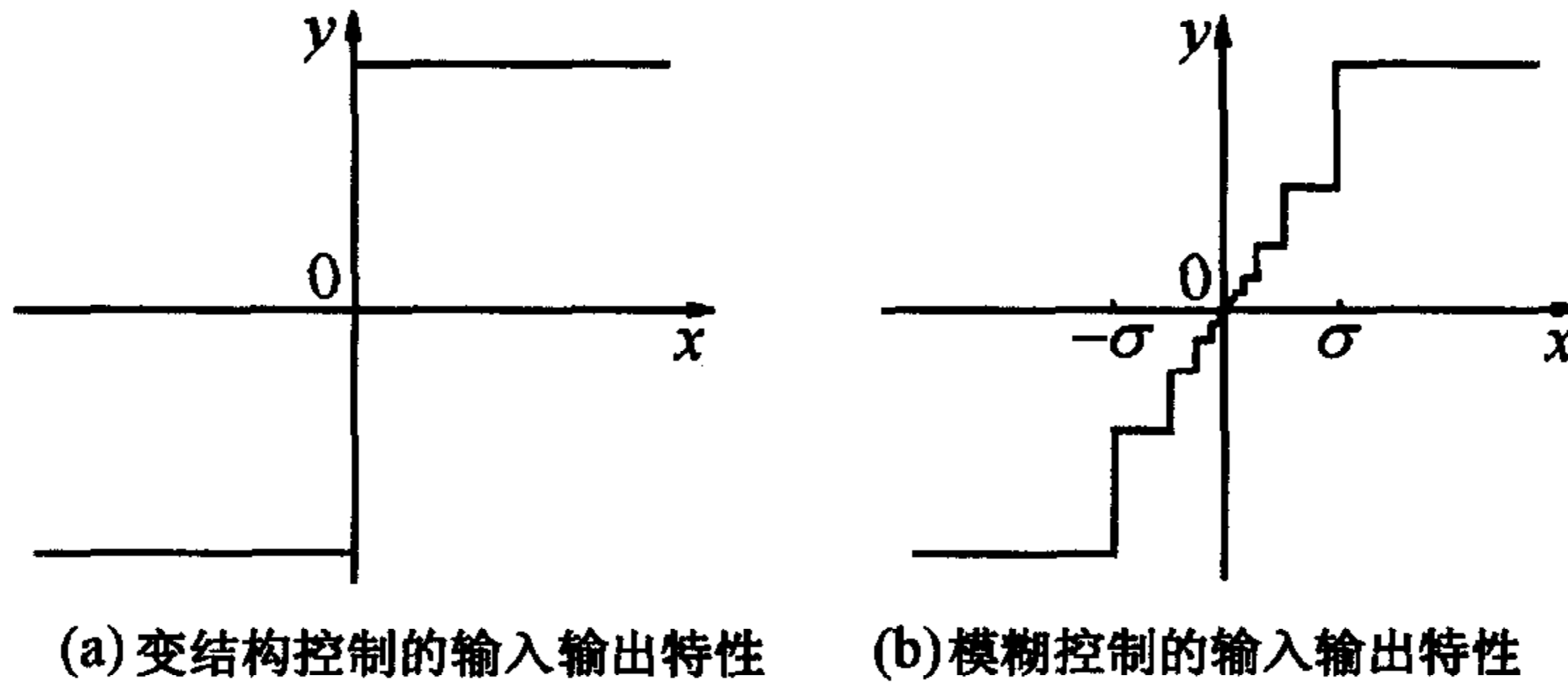


图1

可见, 在  $[-\sigma, \sigma]$  区间外模糊控制与滑模变结构控制相同, 为保持滑模变结构控制的优点,  $\sigma$  应适当选小一些. 采用模糊控制的解耦变结构控制器结构如图2所示<sup>[1]</sup>.

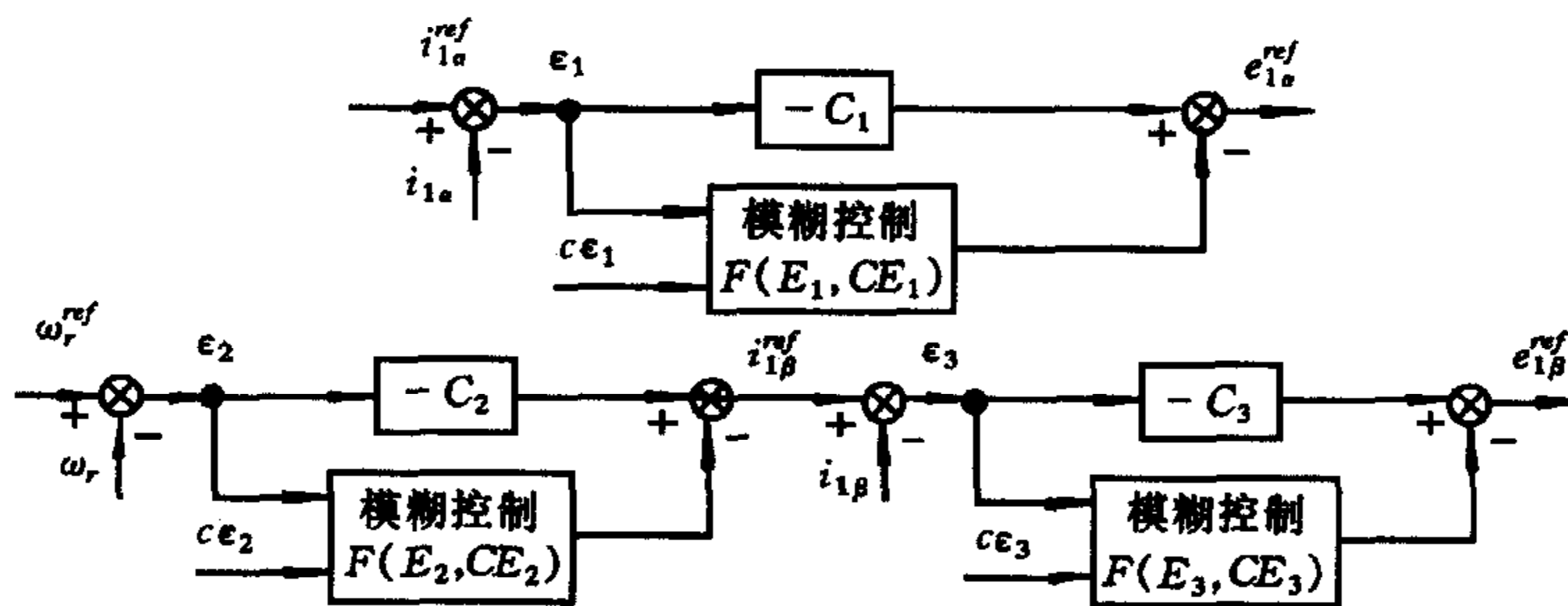


图2 采用模糊控制的解耦变结构控制器

采用模糊控制的解耦变结构控制规律为

$$e_{1\alpha}^{ref} = -C_1 \epsilon_1 - F(E_1, CE_1), \tag{3a}$$

$$e_{1\beta}^{ref} = -C_3 \epsilon_3 - F(E_3, CE_3), \tag{3b}$$

$$i_{1\beta}^{ref} = -C_2 \epsilon_2 - F(E_2, CE_2), \tag{3c}$$

其中  $F(E_i, CE_i)$  是由模糊控制语言规则确定的函数. 根据控制系统在第  $i$  个超平面上产生滑动模的充分条件为  $S_i \cdot \dot{S}_i < 0$ , (3) 式和感应电动机的数学模型可以推出控制器参数应满足以下条件<sup>[2]</sup>:

$$C_1 > -r_1/M, \max[F(E_1, CE_1)] = PB_1 > |h_1 - (r_1 \lambda_{2\alpha}^{ref})/M|, \tag{4a}$$

$$C_2 > -D/K_g, \max[F(E_2, CE_2)] = PB_2 > |T_l + D\omega_r^{ref}|/K_g, \tag{4b}$$

$$C_3 > -r_1, \max[F(E_3, CE_3)] = PB_3 > |h_2 - r_1 i_{1\beta}^{ref}|. \tag{4c}$$

其中  $M$  是定子与转子间互感;  $h_1, h_2$  为转子电阻的变化引起的控制量  $e_{1\alpha}, e_{1\beta}$  的变化<sup>[1]</sup>,  $T_l$  是阻

力矩,  $K_g = (M^2 i_{1\alpha}^{ref}) / L_2$ .

系统的误差  $\epsilon_i$  和误差变化率  $c\epsilon_i$  ( $i=1, 2, 3$ ) 以及控制量  $e_{1\alpha}^{ref}$ ,  $e_{1\beta}^{ref}$ ,  $i_{1\beta}^{ref}$  的模糊子集都选择为  $\{NB, NM, NS, O, PS, PN, PB\}$ , 其论域都选择为  $\{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ . 为了减小控制系统的稳态误差, 模糊量化采用如图1的指数级不均匀分档方式, 表1为系统的控制规则.

表1 采用模糊控制的解耦变结构控制规则

	<i>PB</i>	<i>PM</i>	<i>PS</i>	<i>O</i>	<i>NS</i>	<i>NM</i>	<i>NB</i>
<i>PB</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>NM</i>	<i>NM</i>	<i>NM</i>
<i>PM</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>NM</i>	<i>NM</i>	<i>NM</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>
<i>PS</i>	<i>NM</i>	<i>NM</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>O</i>	<i>O</i>
<i>O</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>O</i>	<i>O</i>	<i>O</i>	<i>O</i>	<i>PS</i>
<i>NS</i>	<i>O</i>	<i>O</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>	<i>PM</i>
<i>NM</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>	<i>PM</i>	<i>PM</i>	<i>PM</i>	<i>PB</i>
<i>NB</i>	<i>PM</i>	<i>PM</i>	<i>PM</i>	<i>PB</i>	<i>PB</i>	<i>PB</i>	<i>PB</i>

### 3 系统仿真结果

本控制系统采用感应电动机参数如下:

$P=1\text{kW}$ ,  $U=100\text{V}$ ,  $I=8.4\text{A}$ ,  $f=60\text{Hz}$ ,  $2p=4$ ,  $n=1710\text{rpm}$ ,  $r_1=0.49\Omega$ ,  $r_2=0.45\Omega$ ,  $L_1=38.8\text{mH}$ ,  $L_2=35.4\text{mH}$ ,  $M=35.4\text{mH}$ ,  $J=0.024\text{Nm}\cdot\text{s}^2/\text{rad}$ ,  $D=0.0011\text{Nm}\cdot\text{s}/\text{rad}$ ,  $i_{1\alpha}=6.83\text{A}$ ,  $i_{1\beta}=11.54\text{A}$ .

从电机参数为额定值的仿真曲线图3可知, 励磁电流  $i_{1\alpha}$  上升时间约0.01s, 超调量10.5%,

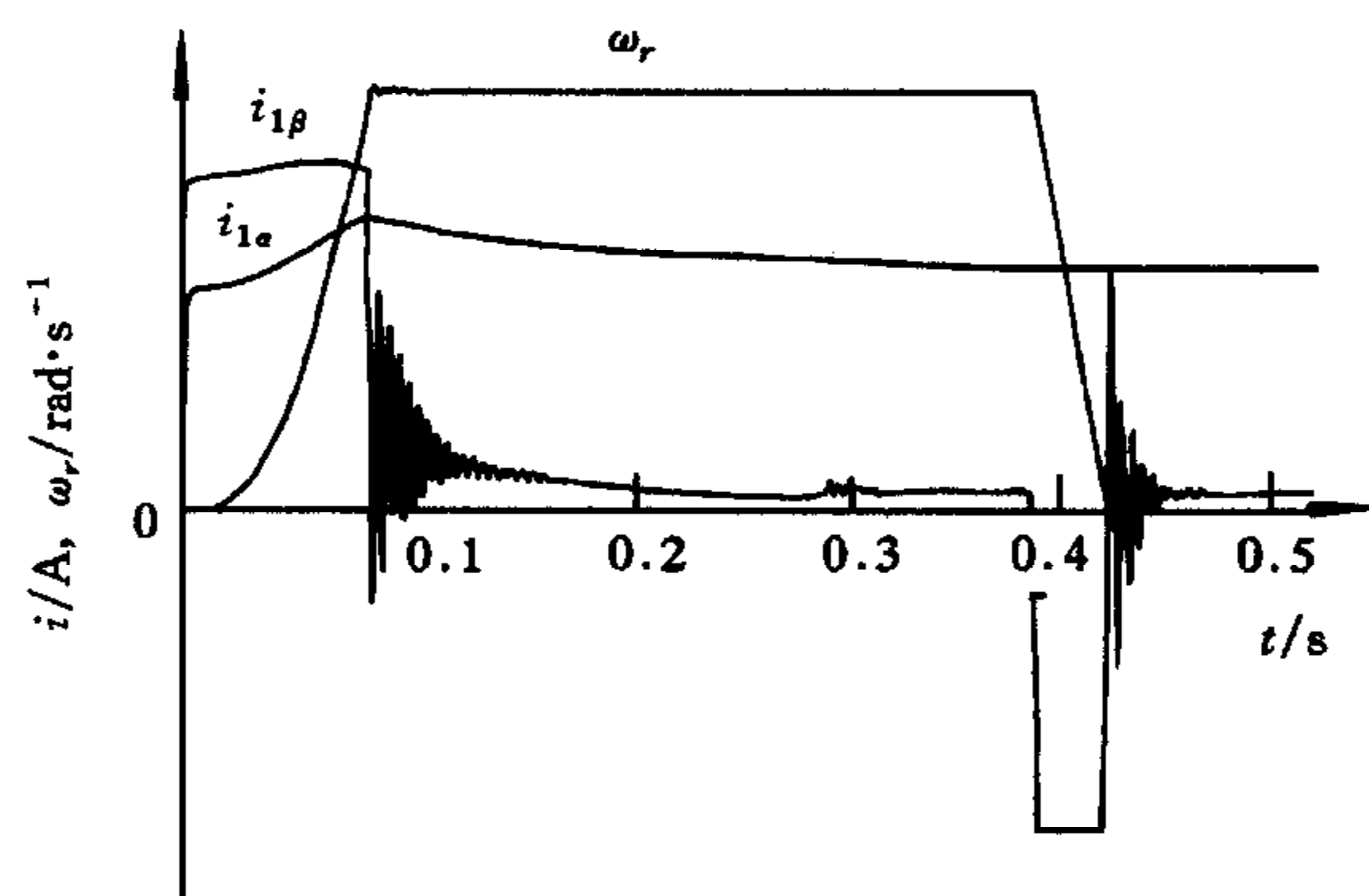


图3 电机参数为额定值的仿真曲线

达到稳定后励磁电流基本上保持动态稳定, 即励磁基本保持不变. 起动和制动时转矩电流  $i_{1\beta}$  上升极快, 在起动和制动过程中  $i_{1\beta}$  分别保持11.0A 和-11.0A 左右快速起动和制动. 起动时转速能在0.11s 达到稳定值, 转速上升时间约0.078s, 制动时转速能在0.038s 达到稳定值, 起制动时转速静差为零, 转速、励磁电流和转矩电流的抖振得到有效地抑制.

从电机转子电阻  $r_2$  上升1.5倍额定值的仿真曲线(与图3基本一致, 从略.)知, 励磁电流  $i_{1\alpha}$

上升时间约0.01s,超调量12.5%,达到稳定后励磁电流基本上保持动态稳定,即励磁基本保持不变. 起动时转矩电流  $i_{1\beta}$  上升极快,在起动和制动过程  $i_{1\beta}$  分别保持10A 和-11.0A 左右快速起动和制动,转速能在0.12s 达到稳定值,转速上升时间约0.080s,制动时转速能在0.039s 达到稳定值,起制动时转速的静差为零,转速、励磁电流和转矩电流的抖振得到有效地抑制.

## 4 结论

本控制系统将感应电动机的解耦变结构控制与模糊控制有效地结合起来,从而有效地抑制了系统的抖振. 该系统设计简单,系统的静、动态性能好,实现了电机的恒励磁和转速的快速跟踪控制,系统的鲁棒性极好.

## 参 考 文 献

- 1 毛宗源,邱焕耀. 感应电动机解耦变结构控制系统抖振抑制和消除的研究. 自动化学报,1994,20(2):169-176
- 2 毛宗源,邱焕耀,姚菁. 解耦变结构交流速度控制系统的研究. 控制理论与应用,1992,9(5): 512-518
- 3 毛宗源,姚菁,邱焕耀. 解耦变结构调速系统的研究. 冶金自动化,1992,16(5):47-48
- 4 Ohnishi K, Miyachi K. Principle of constant magnitude regulation of secondary flux based on slip frequency control in induction motor drive. In: Int. Conf. on Electrical Machines, Budapest, 1982, 9

## THE STUDY OF DECOUPLING-VARIABLE STRUCTURE SYSTEM WITH FUZZY CONTROL

QIU HUANYAO MAO ZONGYUAN

(Dept. of Autom. the South China Univ. of Tech. Guangzhou 510641)

**Abstract** Decoupling-variable structure system is a new type AC control system for induction motor. But there exists quiver in a decoupling-variable structure system, which degrades the system performance. Since application of fuzzy control to the system is able to restraint quiver, a decoupling-variable structure system with fuzzy control is proposed.

**Key words** Fuzzy control, decoupling-variable structure, quiver, induction motor.