

两相交流伺服电机动态性能的研究

陈屹^{*1} 黎亚元²

(1. 电子科技大学机械电子工程学院 成都 610054; 2. 四川工业学院机械系 成都 611744)

【摘要】对于两相交流电机的速度伺服系统,分析在幅值控制时系统的机械特性与调节特性,提出了影响两相交流伺服电机动态性能的因素是系统的机械时间常数及增益系数的变化。为了防止因机械时间常数及增益系数的变化而引起的动态特性变差,采用一种简易跟随模型参考自适应控制方法,通过模型与自适应机构的调节作用,改善两相交流伺服电机系统的动态特性和控制精度。计算机仿真结果表明,电机的动态特性良好。

关键词 两相交流电机; 动态特性; 自适应控制方法; 计算机仿真

中图分类号 TM383.4⁺2

An Improvement on Dynamic Characteristic of Two-phase Servo Motor

Chen Yi¹ Li Yayuan²

(1. Institute of Electro-mechanic Eng., UEST of China Chengdu 610054;

2. Dept. of Mechanical Eng., Sichuan Institute of Technology Chengdu 611744)

Abstract For the speed servo system of the two-phase motor, analyzing its mechanical property and adjusting property while it is worked by amplitude control, factors to affect the two-phase motor dynamic characteristic are proposed, which are changes of its mechanical time constant and its gain factor. To prevent the dynamic characteristic of the system from being worse, as changes of its mechanical time constant and its gain factor, a simple following model reference adaptive control method can be used to improve the dynamic characteristic of the system and increase its controlling precision, by adjusting the model and the self-adaptive set. Computer simulation shows its availability finally.

Key words two-phase motor; dynamic characteristic; model reference adaptive control; computer simulation

两相交流伺服电机在现代工业、现代科学技术和现代军事装备中是必不可少的重要元件,必须具有高的精度和快速响应特性。但两相交流伺服电机的机械特性和调节特性存在着非线性问题,使系统的调速范围及调速精度受到很大限制,直接影响到系统的动态特性和控制精度。虽然两相交流电机一般都具有转子电阻大和转动惯量小的特点,目的是增加其调速范围及使机械特性接近于线性,但这并不能达到较高的控制要求,本文研究了两相交流伺服电机的动态性能,并提出解决办法。为解决这类问题,这里从电机的特性分析入手。

2001年6月22日收稿

* 女 37岁 硕士生 讲师

1 机械特性与调节特性分析

两相交流伺服电机有三种不同的控制方式,即幅值控制、相位控制、幅值相位控制。由于采用三种不同控制方式时电机的机械特性和调节特性相差不大^[1],本文仅以幅值控制的情况来分析。

两相交流伺服电机在幅值控制时的机械特性如图1所示,图中标注 n' 为电动机转速的标么值; a' 为有效信号系数或控制电压 V_c 的标么值; T' 为电磁转矩的标么值。从图中看出,当控制电压不同,即有效信号系数 a' 不同时,机械特性为一组曲线,这里将图中虚直线作为“理想电机”的机械特性情况,即有

$$T' = a' - \frac{1+a'^2}{2} n' \quad (1)$$

考虑理想空载及电机堵转时的情况,式(1)可改写成如下形式

$$n' = \frac{2(a'-T')}{1+a'^2} \quad (2)$$

“理想电机”的调节特性曲线呈非线性,如图2所示。只有当 a' 很小时,即 $a'^2 \ll 1$,分母中 $1+a'^2$ 项近似等于1,这时电机的转速 n' 近似与有效信号系数 a' 成线性关系。为能使电机有较好的运行性能,应使 a' 或转速标么值较小。但前者会使调速范围变窄,后者又需要用昂贵的中频电源供电,故这些方法都不理想。

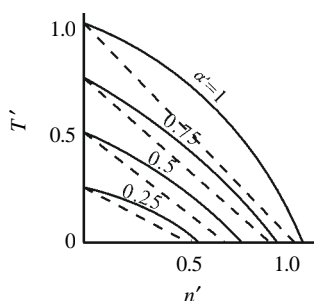


图1 机械特性

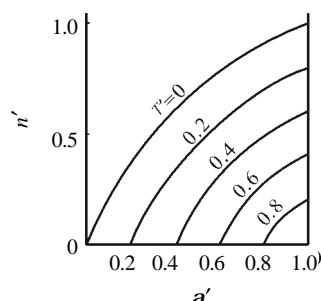


图2 调节特性

2 动态特性分析

若将 $a' = 1$ 时的机械特性理想化,看作一直线,此时与直流伺服电机相似,作为速度控制时,其传递函数为

$$W(p) = \frac{W(p)}{V_c(p)} = \frac{1/K'_e}{p t_m + 1} \quad (3)$$

式中 p 为微分算子; $1/K'_e$ 为增益系数或称速度常数,且 $1/K'_e = (2\pi/60)(n_s/V_c)$ 。这样,两相伺服电机与直流伺服电机相同,其转速随时间而变化的规律仍为指数关系,因此机械时间常数就可按直流伺服电机的情况来表示,即为

$$t_m = 0.1047 \frac{J n_s}{T_{k0}} \quad (4)$$

式中 J 为电动机的转动惯量。考虑堵转转矩与理想空载转速的情况,得出 a' 很小时电机的机械时间常数为

$$t'_m = 0.1047 \frac{J n_0}{T_k} \approx 0.1047 \frac{2J a' n_s}{a' T_{k0}} = 2t_m \quad (5)$$

即控制电压较小(即 a' 值较小)时,机械时间常数约为额定控制电压(即 $a' = 1$)时机械时间常数的2倍。另外,根据控制电压可得

$$\left[\frac{1}{K'_e} \right] = \frac{2\pi n_0}{60 V'_c} \approx \frac{4\pi a'n_s}{60 a'V'_c} = 2 \frac{1}{K'_e} \quad (6)$$

当控制电压较小时, 两相伺服电机的增益系数也约为额定控制电压时增益系数的2倍。

由于当 a' 不同时, 理想线性机械特性斜率会变化, 从而影响传递函数中机械时间常数 t_m 及增益系数 $1/K'_e$ 的大小, 也必将影响到两相交流伺服电机的动态性能。

为提高两相交流电机的动态性能, 考虑到其动态特性的特点, 采用了一种简易的跟随模型参考自适应控制方法(MRAC)^[2], 对于 t_m 和 $1/K'_e$ 的变化而引起的动态特性变差的情况, 通过模型与自适应机构的调节作用, 使两相交流伺服电机的动态特性得以改善, 控制精度得以提高。

3 模型参考自适应控制方法的应用

根据式(3), 两相交流电动机的传递函数为

$$W_p(p) = \frac{Y_p(p)}{U_p(p)} = \frac{B}{p+A} \quad (7)$$

参数模型取一阶系统形式为

$$W_m(p) = \frac{Y_m(p)}{U_m(p)} = \frac{b}{p+a} \quad (8)$$

被控对象和参考模型的关系如图3所示, 图中标注 $K(e,t)$ 为自适应调整参量。模型输出 Y_m 与对象输出 Y_p 之差为

$$e = Y_m - Y_p \quad (9)$$

由式(7)~(9)得到误差方程为

$$(p+a)e = bU_m - BU_p + (A-a)Y_p \quad (10)$$

令

$$U_p = K_u(e,t)U + K_p(e,t)Y_p \quad (11)$$

将式(11)代入式(10)得

$$(p+a)e = (b - BK_u)U + (A - BK_p - a)Y_p \quad (12)$$

式(12)中附加调整项 $K_u(e,t)U$ 和 $K_p(e,t)Y_p$ 通过自适应控制机构的作用分别实现如下关系

$$\lim_{t \rightarrow \infty} [BK_u(e,t) - b] = 0 \quad (13)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} [BK_p(e,t) - A + a] = 0 \quad (14)$$

只要满足式(13)和式(14), 即可使式(12)左边为零, 使 e 等于零, 从而实现模型跟随, 使 Y_p 与 Y_m 一致。在额定情况下, 为满足式(13)和式(14)可采用自适应

$$K_u(e,t) = g_1 \int_0^t y_1(e) dt + g_2 y_2(e) + g_3 \quad (15)$$

$$K_p(e,t) = g_1 \int_0^t f_1(e) dt + g_2 f_2(e) + g_3 \quad (16)$$

上两式中等式右边第一项构成了自适应机构的记忆功能, $y(e), f(e)$ 表示被控对象中 A, B 与 e 的某个非线性关系, 且

$$g_1 = 1/B(0) \quad g_2 = b/B(0) \quad g_3 = [A(0) - a/B(0)]$$

根据波波夫超稳定性理论, 式(12)可改写成

$$(p+a)e = w_1 \quad (17)$$

式中

$$w_1 = [b - BK_u(e,t)]U + [A - BK_p(e,t) - a]Y_p \quad (18)$$

由于采用并联方案, 且将模型参考自适应系统用非线性时变反馈系统等价表示。故上误差

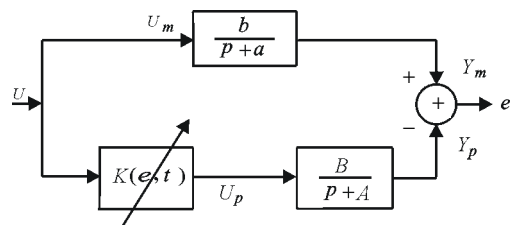


图3 被控对象和参考模型的关系

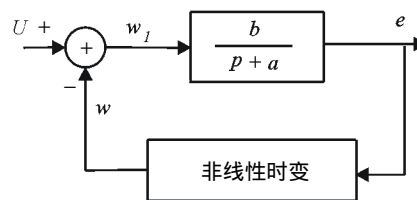


图4 等价反馈系统简化图

模型方程可表示成如图4所示的等价结构。在讨论系统稳定性时，设外部输入 $U=0$ ，此时 $w=-w_1$ ，即

$$w = [BK_u(e,t) - b]U + [BK_p(e,t) - A + a]Y_p \quad (19)$$

在图4中，正向传递函数 $b/(p+a)$ 必须严格正实， $b \neq 0$ ， $1/b > 0$ ， $a/b > 0$ 时，这一条件已满足，同时非线性时变反馈应满足波波夫积分不等式，即满足

$$\int_0^{t_1} ew dt - r_0^2 \quad (20)$$

式中 r_0^2 为有限正常数。将式(19)代入式(20)并取 $r_0 = 0$ 得

$$\int_0^{t_1} [BK_u(e,t) - b]eU dt \geq 0 \quad (21)$$

$$\int_0^{t_1} [BK_p(e,t) - A + a]eY_p dt \geq 0 \quad (22)$$

将式(15)、(16)代入式(21)和式(22)，可解出满足不等式的各个变量： $y_1 = b_1 eU$ ， $b_1 > 0$ ； $y_2 = b_2 eU$ ， $b_2 > 0$ ； $f_1 = b_3 eY_p$ ， $b_3 > 0$ ； $f_2 = b_4 eY_p$ ， $b_4 > 0$ 。整个控制框图如图5所示。

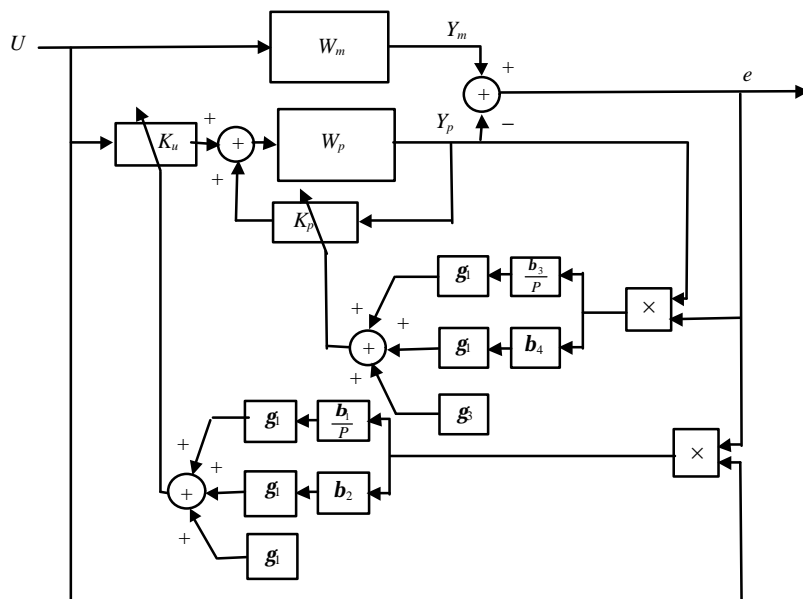


图5 控制框图

4 仿真研究

本文所有的仿真结果均在Matlab之Simulink Toolbox下完成。

模拟两相交流伺服电机工作情况，即在 a' 不同时，其机械时间常数 t_m 及增益系数 $1/K_e'$ 不恒定。当给系统加上单位为1的阶跃输入信号时，采用和未采用模型参考自适应控制的仿真结果对比如图6所示，其中，图6a为系统参考模型的输出情况；图6b为被控对象跟随参考模型后的输出情况；图6c

为跟随的效果,即采用MRAC后系统的实际速度误差;图6d为未采用MRAC时被控对象的响应情况。

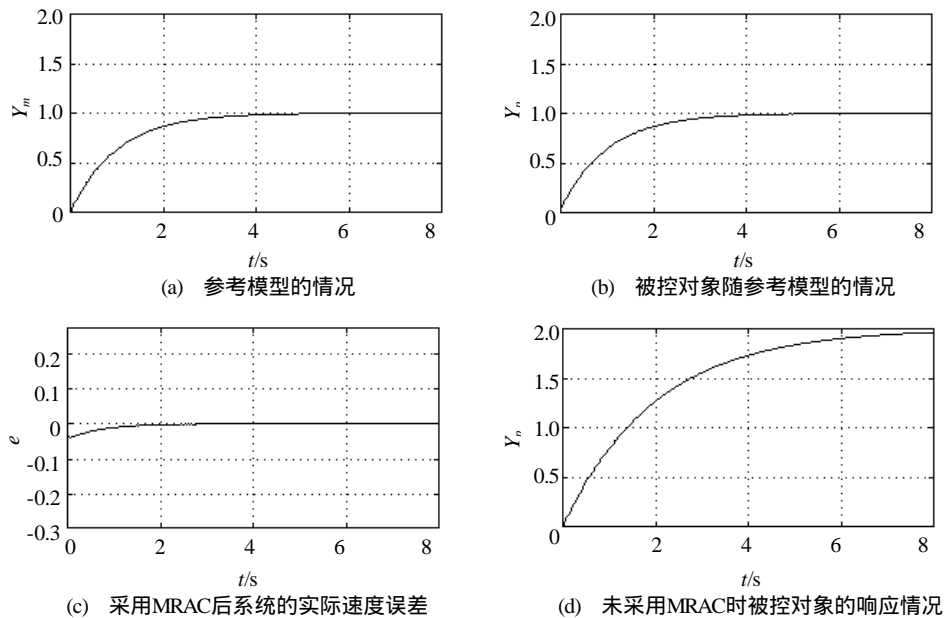


图6 仿真结果

5 结束语

本文的仿真结果说明,当被控对象的参数变化时,即偏离理想两相交流电机的参数,使速度误差增大,同时快速性也变差。但通过模型参考自适应机构的调节,可以使其速度很好地跟随理想两相交流电机的工作情况,即改善了电机的动态特性,故可以提高系统的控制精度。

参 考 文 献

- 1 杨渝钦. 控制电机. 北京: 机械工业出版社, 1989
- 2 黎亚元. 数控机床速度伺服系统自适应控制研究. 北京: 中国机械工程, 1993, 4(4): 33-35
- 3 周凤岐. 现代控制理论及其应用. 成都: 电子科技大学出版社, 1995

· 小 资 料 ·

根据中国科学院和中国工程院各自的章程并按惯例,中国科学院第11次院士大会和中国工程院第6次院士大会5月28日在北京开幕。约1 200位两院院士欢聚一堂,共商科技发展大计。

中国科学院院士大会是中国科学院学部的最高组织形式,每两年召开一次,一般于农历逢双年份6月的第一周举行。其职能是:审议常设领导机构的工作报告;选举常设领导机构成员,并宣布其组成;制定和修订院士章程;决定学部的设置和调整;选举外籍院士;开展学术活动;提出重大建议。

中国工程院院士大会是中国工程院的最高权力机关,每逢农历双年份6月第一周举行。院士大会的职能是:审议院长的工作报告;制定和修订中国工程院章程;决定学部的设置与调整,选举院长、副院长及若干名主席团成员;选举外籍院士;开展学术活动;讨论重大工程科学技术问题;讨论、审议院士大会常设领导机构提出的其他议题和方案。

中国科学院第11次院士大会听取了路甬祥院长的工作报告,进行各学部常委会的换届选举,选举外籍院士。中国工程院第六次院士大会听取了院长的工作报告,进行大会主席团、院长、副院长和各学部常委会的换届选举,以及颁发光华工程科技奖。作为大会的重要内容,两院分别举行了学术报告会,以“科学与中国”和“面向21世纪的工程技术”为主题,共有500多位院士作报告,开展了学术交流和讨论。