

电流型逆变器变频调速系统的 模型参考自适应控制

陈光东 汪秉文 陶绪楠
(华中理工大学)

摘 要

本文提出电流型逆变器变频调速系统的模型参考自适应控制方案。文中分析了系统和参考模型的结构,确定了适应机构的参数。实验表明,系统采用模型参考自适应后,提高了系统的动态与静态性能,增大了稳定运行的变频范围和电机的负载能力。

关键词——电流型逆变器,交流传动,自适应控制。

一、引 言

当前,常规的交流变频调速系统主要采用电压、电流、转速、转差等反馈控制方式。由于电机内磁饱和等非线性因素及励磁电流与转矩电流的耦合,系统一般不易得到宽的稳定运行范围和良好的动态与静态指标。尤其是电流型逆变器,因以电机的反电势实现逆变器的换流,对系统的稳定性更为不利。

由于模型参考自适应控制(MRAC)的适应速度快,对非线性和时变对象的适应能力强,在直流通中已取得了应用效果^[1],对交流电气传动无疑是一种值得探讨的控制方式。

二、系统模型与参考模型

以带有电压与电流反馈的电流型逆变器变频调速系统为例,为了得到系统的动态结构以确定参考模型,需先推算逆变器与电机间的静态增益。

三相异步电动机对 n 次谐波的每相输入阻抗^[2]:

$$Z_n = R_1 + jn(X_1 + X_2) + \frac{n^2 B^2 R_2 S_n + jn X_m}{1 + n^2 B^2 S_n^2} \quad (1)$$

其中 $B = X_m/X_2$; R_1, X_1 为定子电阻与电抗; R_2, X_2 为转子电阻与电抗; X_m 为激磁阻抗; S_n 为 n 次谐波转差率。

电机每相定子电流可展开成

$$i_s = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} I_d \left(\sin \omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \frac{1}{7} \sin 7\omega t + \dots \right). \quad (2)$$

其中 I_1 为基波电流有效值; I_d 为逆变器输入直流。

由于基波电流的 $S_1 \ll 1$, 而 5 次以上谐波电流引起的电机转差率 $S_n \approx 1$. 由 (1) 式知, $Z_n \ll Z_1$. 又由式 (2) 有 $I_n = \frac{1}{n} I_1$, 故可忽略谐波电压的影响, 从而电压端电压

$$V \approx E = \frac{\sqrt{(B^2 R_2 S_1)^2 + X_m^2}}{1 + B^2 S_1^2} I_1. \quad (3)$$

对实验电机

$R_1 = 1.2\Omega$, $R_2 = 0.6\Omega$, $X_1 = 0.97\Omega$, $X_2 = 1.97\Omega$, $R_m = 3.9\Omega$, $X_m = 35.96\Omega$, $n_e = 1430\text{rpm}$, $I_e = 14.5\text{A}$, $V_e = 220\text{v}$, $P_e = 4\text{kw}$, $GD^2 = 0.5\text{kgm}^2$.

参数代入 (3) 式, 得到 $K = U_1/I_1 = 11.2$. 此 K 即为逆变器与电机间的静态增益。

当滤波电抗 L_D 的电抗和电阻取 $L_d = 131\text{mH}$, $R_d = 1.75\Omega$, 电压、电流调节器都采用比例积分 (PI) 方式, 且取电流调节器的比例系数与积分时间常数 $K_i = 5.1$, $\tau_i = 0.074$, 使电流环校正成开环传递函数如 $\frac{K}{S(TS + 1)}$ 的形式. 电压调节器则取用一组使电机在尽可能宽的转速范围内, 系统都能稳定运行的参数. 例如: $K_v = 6$, $\tau_v = 0.2$, 则系统的开环结构可表达成 $\frac{12(0.2S + 1)}{S^2(0.082S + 1)}$.

参考模型选择了传递函数形如 $\frac{K_n(T_1S + 1)}{S^2(T_2S + 1)}$ 的结构形式, 因该结构除有最佳的综合动态指标外, 与本系统开环传递函数有相同的形式. 为了使二者的极点相同, 取参考模型的中频宽 $h = 5$, 从而得到 $T_2 = 0.082$, $T_1 = hT_2 = 0.41$, $K_n = \frac{h + 1}{2h^2T_2^2} = 17.8$. 所以参考模型的开环传递函数为 $\frac{17.8(0.41S + 1)}{S^2(0.082S + 1)}$.

用四集成运算放大器 LM324 构成的参考模型电路如图 1 所示. 第四级运算放大器构成模型与系统输出的相加点, 并输出广义误差 e .

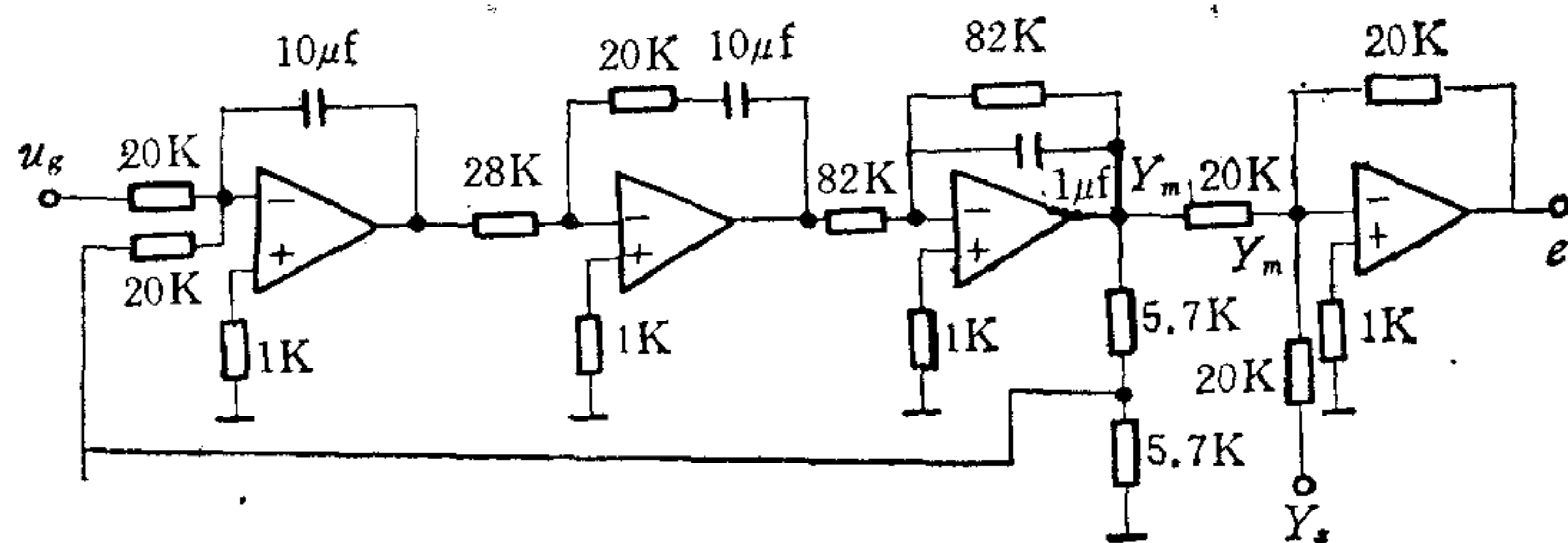


图 1 LM324 构成的参考模型

三、自适应律的参数与实时控制

自适应控制机构的参数应是能满足一定性能指标的最优参数,对于实现对象输出跟踪参考模型输出的特性,性能指标可对广义误差 e 提出,即使目标函数 $J = \int_0^{\infty} t|e|dt$ 最小来寻找自适应机构的 K_p 与 T_I ,本文用单纯形加速法寻得 $K_p = 0.005$, $T_I = 0.043$.

有带 MRAC 的电流型逆变器变频调速系统如图 2 所示.为了简化硬件并便于调试,用单板微机 TP801 实现两次乘法和一次比例积分运算,PI 算法用增量递推式.

$$U_k = U_{k-1} + \Delta U_k,$$

$$\Delta U_k = \left(K_p + \frac{T}{T_I} \right) E_k - R_{k-1}.$$

其中 E_k 为本步输入; U_k 为本步输出; R_k 为中间变量,采样周期 T 取 5ms.

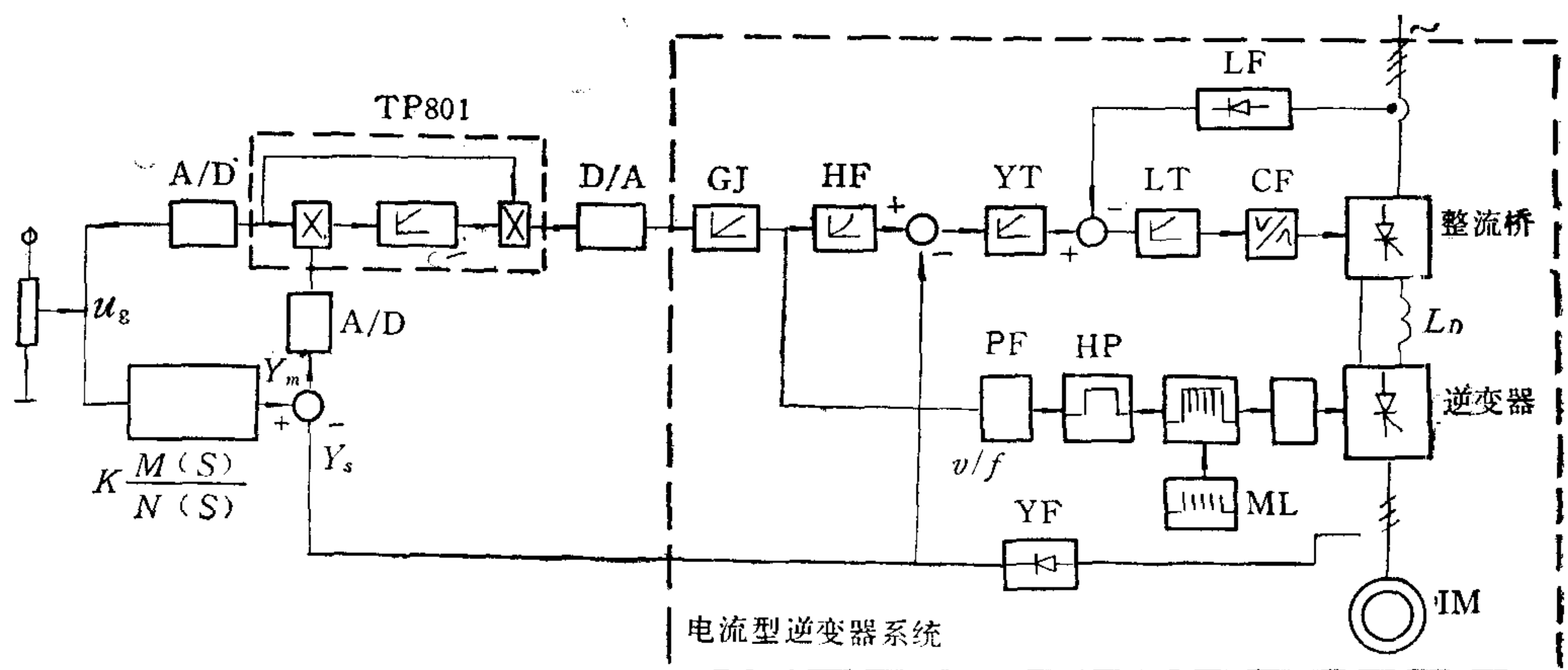


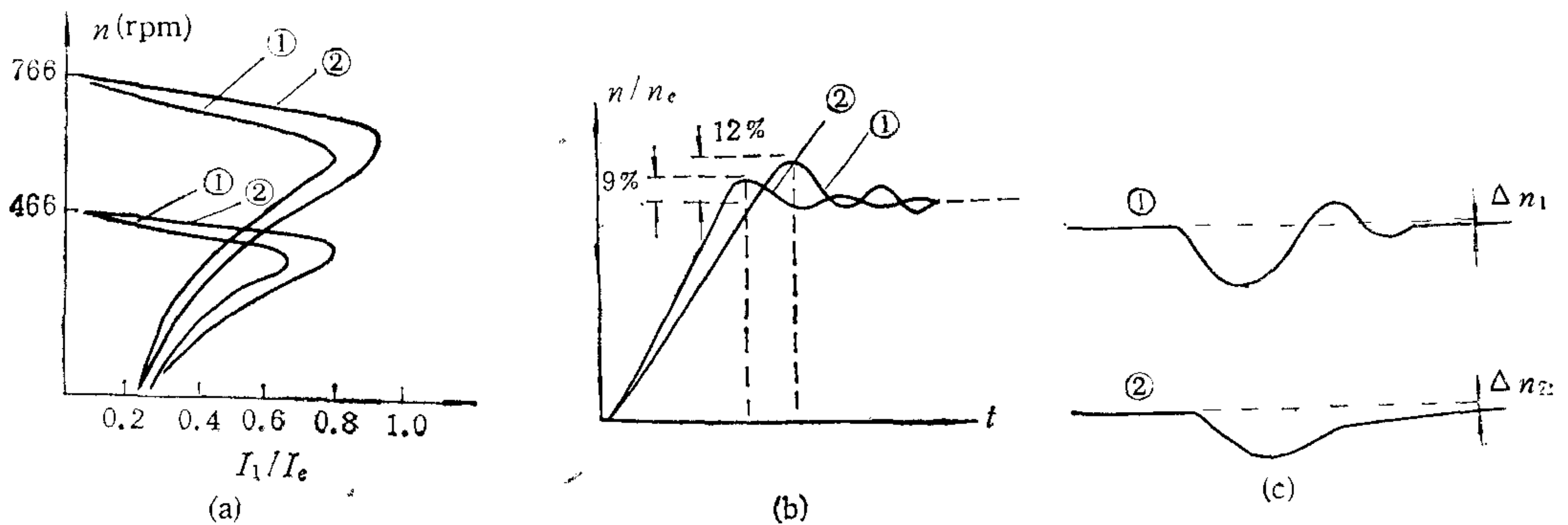
图2 带有MRAC的电流型逆变器变频调速系统

采用MRAC后,实验表明系统的运行性能在以下方面得到了改善:

(1) 系统稳定运行的范围增大.原系统在电机定子频率 15—30Hz,并带有 40—80% 额定负载 (P_e) 的工况条件下,或在 10—15Hz, 40~50Hz 带有 (30—60%) P_e 时系统能稳定运行,此范围外系统会有所振荡.采用MRAC后,稳定运行范围增大到 12—40 Hz 时的 (30—90%) P_e .

(2) 电机的机械特性变硬,系统动态性能提高.图 3(a) 是空载转速 466rpm 与 766 rpm 时的实测机械特性.当给定频率 20Hz 时,系统启动过程的电机转速波形如图 3(b).当电机稳定运行并有相同负载扰动时(增大),转速动态降落如图 3(c) 所示.

(3) 电流、电压调节器参数的选取范围变宽.系统未用MRAC时,参数只能在小范围内取值,系统才能稳定运行.用MRAC后,参数取值范围变宽: $\tau_v = 0.1 \sim 0.5$, $K_v = 4 \sim 8$; $\tau_i = 0.02 \sim 0.09$, $K_i = 3 \sim 7.5$.



(a) 电机机械特性 (b) 跟随性能 (c) 抗扰性能

图3 系统带与不带 MRAC 时的性能比较

① 为无 MRAC ② 为有 MRAC

四、结 束 语

由于电流型逆变器变频调速系统的 MRAC 实现方便,对运行性能有一定程度的改善,是一种有应用前景的控制方式。对其它形式的交流电气传动系统,相信这种方法也会有一定效果。

作者曾用 $\int_0^{\infty} |e| dt$ 和 $\int_0^{\infty} te^2 dt$ 最小的性能指标寻适应机构的 K_p 与 T_I , 所得参数稍作调整亦能满足系统的要求。另外,本文采用了型如 $\frac{K_n(T_1S+1)}{S^2(T_2S+1)}$ 的结构作为参考模型,是否有更好的模型形式是值得进一步探讨的。

参 考 文 献

- [1] Landau, I.D., Adaptive Control The Model Reference, Marcel Dekker Inc. 1979.
- [2] Farrer, W. and Miskin, J.D. Quasi-Sine Wave Full Regenerative, Inverter, Proc. IEE 120(1973), 969~975.
- [3] 陈伯时,自动控制系统,机械工业出版社,1981年。

MODEL REFERENCE ADAPTIVE CONTROL OF CURRENT SOURCE INVERTER FED INDUCTION MOTOR

CHEN GUANGDONG WANG BINGWEN TAO XUNAN

(Huazhong University of Science and Technology)

ABSTRACT

In this paper, the model reference adaptive control to current source inverter fed induction motor is investigated. The transfer function of the system is analyzed, and the reference model with optimal parameters has been obtained. The experimental results show that both the dynamic and static characteristics of the system have been improved, the frequency range of stable operation and the capacity of induction motor to carry load have also been increased.

Key words — Current source inverter; AC drive; adaptive control.