

电压控制型异步电动机无速度传感器的矢量控制方法*

曾岳南 冯焱生 章 云

陈伯时

(广东工业大学自动化研究所·广州, 510090) (上海大学电机与控制工程研究所·上海, 200072)

摘要: 本文以转子磁链 q 轴分量控制器的输出作为电机转速估计值, 实现了一种无速度传感器的矢量控制, 该控制方式具有解耦条件对转子电阻的变化保持不变的特点. 计算机仿真与系统实验结果验证了所述方法的可行性.

关键词: 异步电动机; 速度估计; 矢量控制

A Vector Control Method of Voltage-Control-Type for Induction Motors without Using Speed Sensor

Zeng Yuenan, Feng Duosheng and Zhang Yun

(Research Institute of Automation, Guangdong University of Technology · Guangzhou, 510090, P. R. China)

Chen Boshi

(Research Institute of Electrical Machine and Control Engineering, Shanghai university · Shanghai, 200072, P. R. China)

Abstract: A novel vector control method for induction motors is presented in this paper. In the method, the q -axis component of rotor flux is controlled directly so that the decoupling condition is not concerned with rotor resistance changing, at the same time the speed of induction motor is estimated. Computer simulation and experiment results verified the validity of the proposed method.

Key words: induction motor; speed estimation; vector control

1 前言(Introduction)

异步电动机电压型矢量解耦控制实现了转子磁链与转矩电流的独立调节, 被认为是最好的交流电机调速控制策略之一^[1]. 然而该方法在实际应用中存在两点不足:

1) 当转子电阻的设定值与实际值不一致时, 解耦条件不再成立;

2) 系统中所采用的速度传感器是一般工业驱动系统普遍要求取消的.

矢量控制的解耦条件是转子磁链 q 轴分量 Ψ_{qr} 为零. 因此, 本文设计了一个 Ψ_{qr} 控制器, 并令其输出为电机转速估计值, 实现了一种电压控制型无速度传感器的矢量控制. 由于 Ψ_{qr} 是根据与转子电阻无关的磁链观测器得到, 因此解耦条件与转子电阻无关. 当转子电阻的设定值偏离实际值时, 转差角频率计算产生误差, 该误差将导致速度估计稳态误差, 且两者相等. 由于这一误差较小, 因此速度估计稳态精度受转子电阻变化的影响较小. 本文对所述方法进行了计算机仿真与系统实验研究, 结果表明所述方法是可行的.

2 控制原理(Control principle)

2.1 电压控制型异步电动机矢量控制基本方程 (Vector control equations of voltage controlled induction motor)

由文献[1]得知, 笼型异步电动机在两相同步旋转坐标系 d, q 上的转子电压方程

$$0 = -\frac{L_m}{T_r} i_{qs}^* + \omega_{sl} \Psi_{dr}^* + \left(\frac{1}{T_r} + P \right) \Psi_{qr}^* \quad (1)$$

以及电压型矢量控制基本方程式

$$i_{ds}^* = \frac{\Psi_{dr}^*}{L_m} \quad (2)$$

$$\omega_{sl}^* = \frac{L_m}{T_r} \Psi_{dr}^* i_{qs}^* \quad (3)$$

$$U_{ds} = R_s i_{ds}^* - L_{ls} \omega_s i_{qs}^* \quad (4)$$

$$U_{qs} = R_s i_{qs}^* + L_{ls} \omega_s i_{ds}^* \quad (5)$$

其中

$$L_{ls} = L_s \left(1 - \frac{L_m^2}{L_s L_r} \right); \quad \omega_s = \omega_{sl}^* + \omega_r$$

式中参数与变量说明见附录 A. 上标 * 的变量及参数为给定值. 当转子电阻的设定值与实际值不一致时, 由式(1)及式(3)可知, 解耦条件不成立.

* 广东省重点学科资助项目(局 970001).

本文于 1997 年 4 月 17 日收到. 1998 年 6 月 1 日收到修改稿.

2.2 电机旋转速度估计(Speed estimation)

在无速度传感器情况下,电机旋转角速度 ω_r 不能直接量测得到. 由于 ω_r 未知, 所以 ω_s 不能确定. 现假定电机旋转角速度可以估计得到, 并令其为 $\hat{\omega}_r$, 则有同步角频率计算式

$$\omega_s = \omega_{sl}^* + \hat{\omega}_r. \quad (6)$$

将(6)式代入(1)式, 得到

$$0 = -\frac{L_m}{T_r} i_{qs} + (\hat{\omega}_r + \omega_{sl}^* - \omega_r) \Psi_{dr} + \left(\frac{1}{T_r} + P \right) \Psi_{qr}. \quad (7)$$

由(7)式以及(3)式知, 如果附加一个使 Ψ_{qr} 为零的控制, 则在稳态时, 既实现了 Ψ_{qr} 为零的解耦控制目的, 同时又有

$$\hat{\omega}_r = \omega_r. \quad (8)$$

因此, 采用一个 PI 调节器对转子磁链 q 轴分量 Ψ_{qr} 进行为零的调节控制, 并令该调节器的输出为 $\hat{\omega}_r$. 即有电机转子旋转速度估计式

$$\hat{\omega}_r = K_p \Psi_{qr} + K_c \int \Psi_{qr} dt. \quad (9)$$

转子磁链 q 轴分量 Ψ_{qr} 可以根据磁链观测器(电压模型法)得到. 由上述分析知, 速度估计与解耦控制是同时进行的. 当 Ψ_{qr} 为零的解耦条件达到时, 电机旋转速度的估计值即为实际值. 又由于磁链观测器与转子电阻无关, 因此, 当转子电阻的设定值与实际值不一致时, 解耦条件不受影响.

2.3 转子电阻变化速度估计精度的影响(The effect of rotor resistance variation on speed estimation precision)

令转子电阻的标称值为 R^* , 变化值为 ΔR , 则其实际值可表示为

$$R = R^* + \Delta R. \quad (10)$$

又由式(7)知, 当转子磁链 q 轴分量 Ψ_{qr} 处于零稳态时, 有

$$0 = -\frac{L_m}{T_r} i_{qs}^* + (\hat{\omega}_r + \omega_{sl}^* - \omega_r) \Psi_{dr}^*. \quad (11)$$

将式(3)以及 $T_r = \frac{L_m}{R^* + \Delta R}$, $T_r^* = \frac{L_r}{R^*}$ 代入式(11), 整理得到

$$\hat{\omega}_r - \omega_r = \frac{\Delta R}{R^*} \omega_{sl}^*. \quad (12)$$

由式(12)知, 当转子电阻设定值与实际值不一致时, 将导致速度估计误差. 该误差即为转差频率计算误差.

3 计算机仿真实验(Experiments of computer simulation)

控制系统方框图如图 1 所示. 仿真用电机参数见附录 B. 在以下仿真波形中为便于区分以及简单起见, 称计算机仿真速度响应与速度估计分别为实际速度和估计速度. 称计算机仿真转子磁链 d 轴分量与 q 轴分量分别为 d 轴磁链和 q 轴磁链.

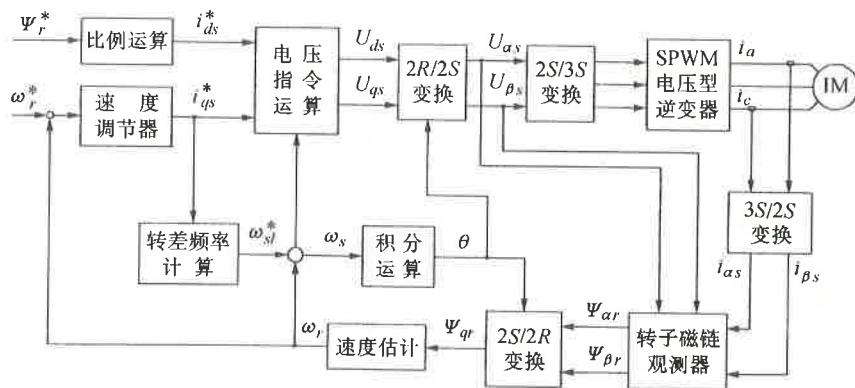


图 1 无速度传感器矢量控制系统方框图

Fig. 1 Block diagram of speed sensorless vector controlled system

图 2 为电机带额定负载起动时计算机仿真速度曲线. 图 3 与图 4 分别为电机带额定负载运行, 转子电阻突减 50% 标称值和突加 50% 标称值的计算机仿真速度曲线. 图 5 为电机带额定负载运行, 转子电阻突减 50% 标称值后又突加 50% 标称值的计算机仿真转子磁链曲线.

4 系统实验(System experiments)

系统实验在自制双 CPU(80C196MC) 控制 IPM 变频器和异步电动机——直流发电机机组上进行, 异步电动机参数见附录 C.

图 6 为斜坡给定空载起、制动速度波形. 图 7 为空载稳定运行于 1200r/min 后突加 81.8% 额定负载时的速度与电流波形. 图 8 为带 81.8% 额定负载稳

定运行于 1200r/min 后突减 81.8% 额定负载时的电 流与速度波形。

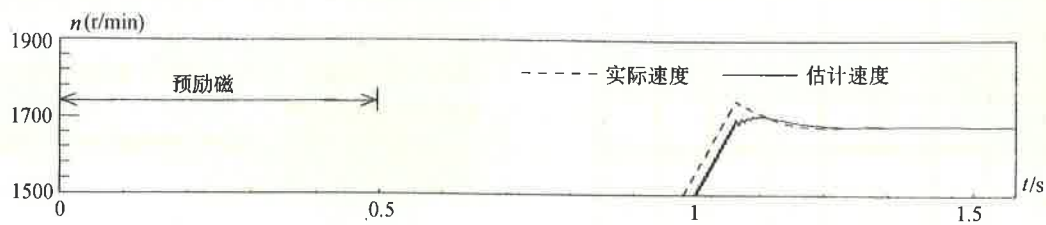


图 2 带额定负载起动时速度曲线
Fig. 2 Velocity curve of starting with load

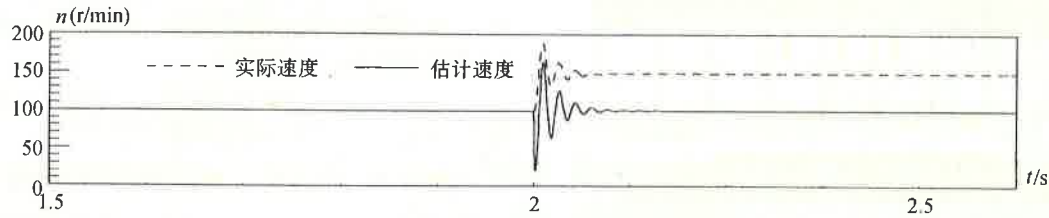


图 3 转子电阻突减50%标称值的速度曲线
Fig. 3 Velocity curve when resistance decreasing

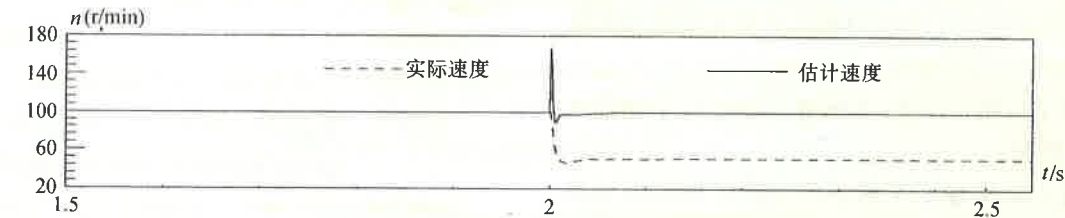


图 4 转子电阻突加50%标称值的速度曲线
Fig. 4 Velocity curve when resistance increasing

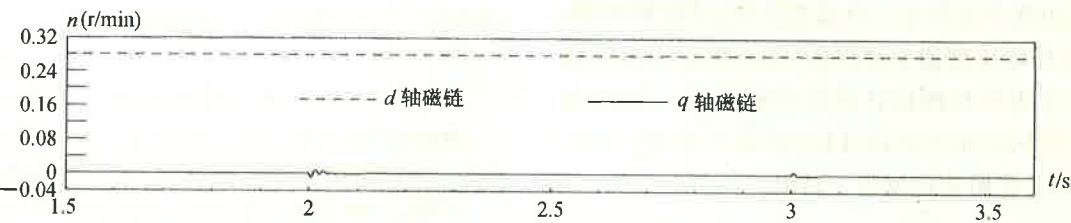


图 5 转子电阻突变时的磁链响应曲线
Fig. 5 Flux linkage curve when resistance changing

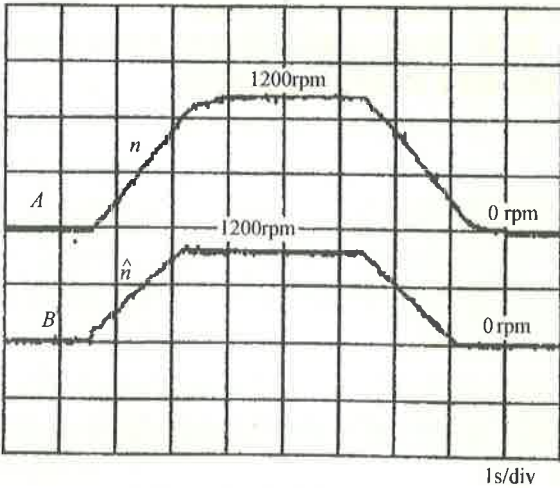


图 6 起、制动速度波形
Fig. 6 Velocity curve of starting and braking

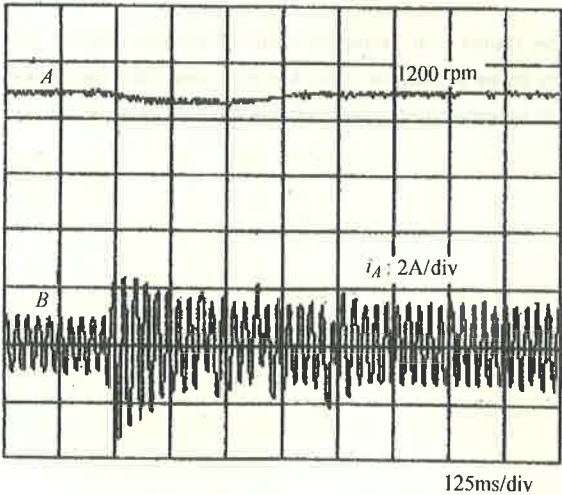


图 7 突加负载时的速度与电流波形
Fig. 7 Velocity and current curve when load increasing

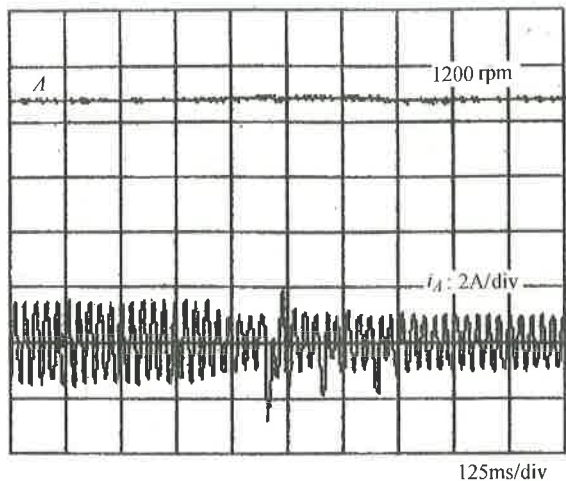


图8 突减负载时的速度与电流波形

Fig. 8 Velocity and current curve when load decreasing

5 结论(Conclusions)

本文对电压控制型异步电动机无速度传感器的矢量控制方法进行了理论分析与计算机仿真和系统实验研究,得出以下结论:

- 1) 转子电阻不变时,本控制方法实现了稳态无静差速度控制;
- 2) 稳态时实现了解耦条件对转子电阻的变化保持不变;
- 3) 转子电阻变化时,速度估计产生稳态误差.该误差是由转差角频率计算误差造成,且两者相等;
- 4) 采用电压型逆变器供电,所以用定子电压指令值与定子电流检测值计算转子磁链 Ψ_{qr} . 若对逆变器输出死区时间不进行补偿,则会产生 Ψ_{qr} 计算误差.该误差将影响速度估计精度.

参考文献(References)

- 1 Kouhei Ohnishi et al. Decoupling control of secondary flux and secondary current in induction motor drive with controlled voltage source and its comparison with voltage/hertz control. IEEE Trans. on Ind. Ap-

pl., 1985, 21(1): 241 - 247

- 2 曾岳南,陈伯时等.无速度传感器异步电动机电压型解耦控制.控制理论与应用,1996,13(1):118 - 120
- 3 冯垛生,曾岳南编著.无速度传感器矢量控制原理与实践.北京:机械工业出版社,1997
- 4 曾岳南,陈伯时,冯垛生.基于电压解耦的异步电动机速度推算方法.1997,27(1):25 - 29

附录 A 符号说明(Symbol explanation)

U :电压; L_m :互感; I :电流; T_r :转子回路时间常数; Ψ :磁链; L_{ls} :定子漏感; R :电阻; L :自感; ω_{sl} :转差角频率; ω :角频率.

下标 $\alpha, \beta, \alpha, \beta$ 坐标系参数量; 下标 r, s :定、转子参数量; 下标 d, q, d, q 坐标系参数量.

附录 B 仿真用三相异步电动机参数(Induction motor parameters used in simulation)

铭牌数据: Vol: 90, AMP: 4.2, Hz: 60, np: 4, Torque: 32kg·Cm, R.P.M.: 1680

实测参数: $R_s: 1.2\Omega$, $R_r: 1.03\Omega$, $L_s: 0.0805H$, $L_r: 0.08377H$, $L_m: 0.0777H$, $J: 0.001kg \cdot m^2$

附录 C 实验用三相异步电动机参数(Induction motor parameters used in experiment)

铭牌数据: 220V/380V, 2.69A/1.55A, 50Hz, 4极, 550W, 1680r/min

实测参数: $R_s: 14.4\Omega$, $R_r: 13\Omega$, $L_s: 0.04318H$, $L_r: 0.0486H$, $L_m: 0.7957H$, $J: 0.002kg \cdot m^2$

本文作者简介

曾岳南 1962年生.广东工业大学电气工程与自动化系讲师,博士.目前主要研究方向为新型电力传动自动控制系统.

冯垛生 1938年生.广东工业大学电气工程与自动化系教授.研究领域为电力电子交流调速传动控制.

章云 1963年生.广东工业大学电气工程与自动化系教授.博士.研究领域为非线性系统建模与智能控制.

陈伯时 1928年生.上海大学自动化学院教授,博士生导师.研究领域为电力电子与电力传动自动控制系统.