

基于 DSP 的无速度传感器矢量控制系统中感应电机参数自检测方法研究

聂秀玲 郑红

(北京航空航天大学, 北京 100083)

DSP based Identification of Induction Motor Parameters in Sensorless Vector Controlled system

NIE Xiuling Zhenghong

(Beijing University of Aeronautic and Astronautics, Beijing, 100083, China)

摘要: 无速度传感器矢量控制的系统中, 参数的检测精度很大程度上决定系统的控制精度。文章从异步电机的数学模型出发, 从电路分析的角度提出了一种简单易行的参数辨识算法, 实践结果表明它能为无速度传感器矢量控制系统提供较高精度的电机参数。

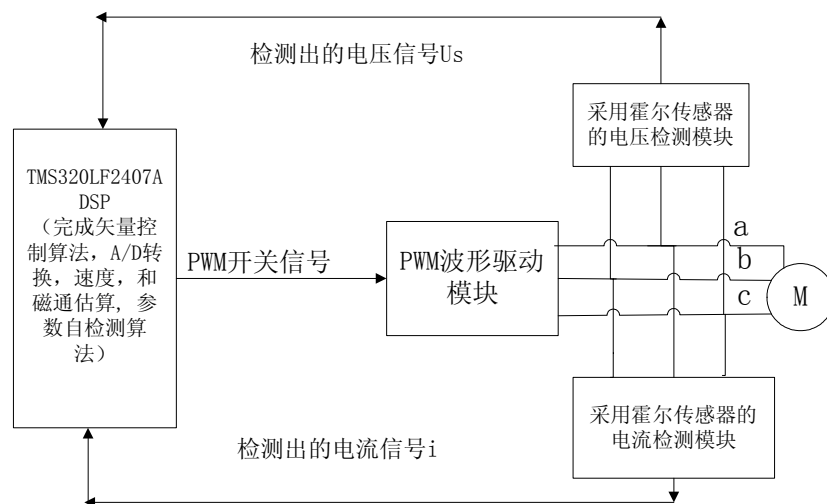
关键词: 无速度传感器矢量控制; 参数辨识; 电路分析

Abstract: In a senseless vector control system, The precision of motor parameter determine the precision of the whole control system. According to the mathematical model of the induction motor and in an electrocircuit analysis point of view, a new practical method has been achieved. The realization result indicates that this method can offer quite accurate electrical parameter for senseless vector control system.

Key words : senseless vector contro ;parameter identification; electrocircuit analysis

矢量控制又称为磁场定向控制,顾名思义,它是基于转子磁通保持不变的条件下用磁场定向的方式实现转矩电流,励磁电流的解耦,因此矢量控制技术的关键在于磁场定向,而影响磁场定向的一个重要因素就是电机参数,当矢量控制系统用于未知电机时,需要在控制系统运行前获得这些参数。传统的观点认为电机的堵转和空载试验实现起来困难,且与实际结果有偏差,但实际结果表明,在 DSP 控制器上实现矢量控制算法时,只需采用测量电流和电压,在加以滤除谐波便可以实现,并且这种方法可以达到较高的检测精度。本文将讨论这种基于 DSP (TMS320LF2407A)的无速度传感器矢量控制系统参数辨识方法。

整个辨识方法的原理图如下:

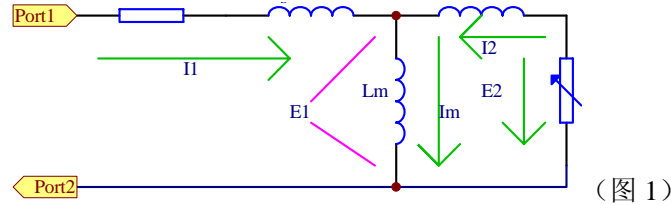


1. 感应电机的等效电路及数学模型

异步电机是一个高阶、非线性、强耦合的多变量系统，在研究异步电机数学模型时通常认为：

- (a) 设三相绕组对称，空间互差 120° 电角度，所产生的磁动势沿气隙圆周正弦分布。
- (b) 忽略磁路饱和，绕组的自感和互感都是线性的；
- (c) 忽略铁耗的影响。

因此可以得到其单相的等效电路为图 1 所示



其数学模型可由以下微分方程来描绘：

(1) 电压方程式 三相定子绕组的电压方程式为：

$$u_A = i_A R_1 + d\psi_A / dt \quad (1-1)$$

$$u_B = i_B R_1 + d\psi_B / dt \quad (1-2)$$

$$u_C = i_C R_1 + d\psi_C / dt \quad (1-3)$$

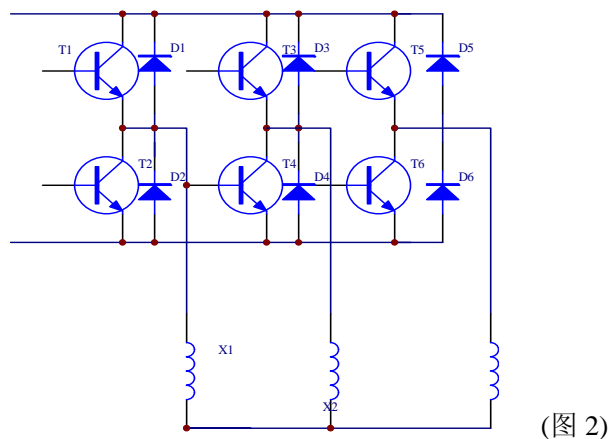
(2) 磁链方程式中各个绕组的磁链是它本身的自感磁链和其它绕组对它的互感磁链之和 即：

$$\begin{cases} \psi_A \\ \psi_B \\ \psi_C \end{cases} = \begin{bmatrix} L_{AA} & L_{AB} & L_{AC} \\ L_{BA} & L_{BB} & L_{BC} \\ L_{CA} & L_{CB} & L_{CC} \end{bmatrix} \begin{cases} i_A \\ i_B \\ i_C \end{cases} \quad (1-4)$$

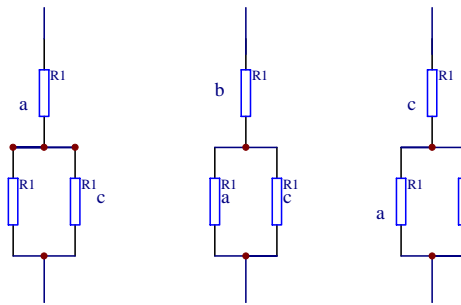
2. 1 从电路分析的角度来看，当电路中通入直流电并达到稳态时，电感两端的电压为零，由此可知当给对电机三相通入直流电源经过一段时间达到稳态后即可认为：

$$u_A = i_A R_1, \quad u_B = i_B R_1, \quad u_C = i_C R_1$$

在 DSP 控制器 TMS320LF2407A 上，通过控制逆变器六个 IGBT T1-T6 的开关次序，如图 2 所示



这种算法很容易实现。按照上述方法，一个采用星形接法的异步电机就可以等效为



(图 3)

三种形式，通过霍尔电压传感器和霍尔电流传感器测量给定电压和电流，

$\frac{3}{2}R_1 = \frac{u_s}{i_s}$ ，其中 u_s 和 i_s 分别为同一时刻电压和电流的均值，然后取几组的电阻值，运用克

莱姆法则， R_1 就可以得到，但实际测量过程中要考虑到 IGBT 的压降对测得定子电压的影响。

2. 2 电机以一定的频率空载运行时，滑差 s 近似为零，由电机的等效电路图知此时电机可以等效为次级开路的变压器结构，即有

$$i_2 = 0$$

$$u_A = i_1 R_1 + j\omega L_1 i_1 + j\omega M i_2 \quad (2-4)$$

即
$$u_A = i_1 R_1 + j\omega L_1 i_1 \quad (2-5)$$

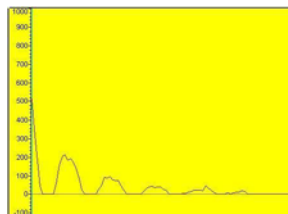
$$\frac{u_A}{i_A} = R_1 + j\omega L_1 \quad (2-6)$$

通过测得的相电压和相电流以及前面得到的 R_1 值，就可以得到互感 L_1 的值，在三相

对称的电机中认为电机定子和转子电路的 $L_1 = L_2$ 。

在此基础上，利用空载状态下的等效电路图 1，还可以测量电压传感器和电流传感器的阻抗角分别求出阻抗角的实部和虚部，即得到了定子的电阻值和电感值。

2. 3 在电机以一定的频率运转过程中突然切断三相电源，由于电机本身的惯性会持续转动一段时间然后才停止，这时在定子侧会得到一个幅度骤减的电压波形如图 4。

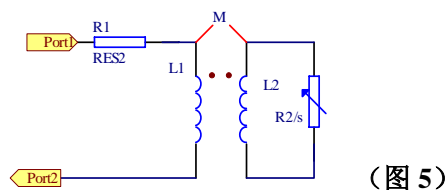


(图 4)

这是电机的自由旋转在定子侧感应出了三相电压所致，分析这个波形，我们发现，其波形的峰值正好形成了一个包络线，其时间常数即电机转子侧的时间常数 T_2 ，利用 $T_2 = \frac{L_2}{R_2}$ ，

以及在前一步中求出的 L_2 ，转子电阻值 R_2 也不难求出。

2. 4 在电机启动的瞬间，由于磁场已经建立，但转子还未旋转，相当于电机的堵转状态，此时有滑差 $s=1$ 成立，此时电机相当于一个次级短路的变压器如图 5 所示。



$$u_s = (R_1 + j\omega L_1)i_1 - Mi_2 \quad (4-1)$$

$$0 = -Mi_1 + (R_2 + j\omega L_2)i_2 \quad (4-2)$$

将后式带入前式中得到，

$$u_s = i_1 R_1 + j\omega L_1 i_1 + \frac{R_2 M^2}{R_2^2 + \omega^2 L_2^2} i_1 - j\omega L_1 \frac{\omega^2 M^2}{R_2^2 + \omega^2 L_2^2} i_1 \quad (4-3)$$

$$\frac{u_s}{i_s} = \left(R_1 + \frac{R_2 M^2}{R_2^2 + \omega^2 L_2^2} \right) i_1 + j\omega L_1 \left(1 - \frac{\omega^2 M^2}{R_2^2 + \omega^2 L_2^2} \right) \quad (4-4)$$

$$M = \sqrt{\frac{\frac{u_s}{i_s} \cos \theta - R_1}{\frac{R_2 \omega^2}{R_2^2 + \omega^2 L_2^2}}}$$

u_s 和 i_s 分别为从定子侧可以得到电压和电流值， θ 为它们的相位差，互感 M 值即可以由以上式子求出。

由于电机运行时霍尔电流传感器测得的电压电流中谐波较大，实际运行中 2.2.2.4 对电压和电流值进行滤波处理，采用了滤波效果较好，线性相移最小的椭圆滤波器，由于电压和电流采用相同参数的滤波器，其幅值和相位衰减相互抵消。对于 2.3 中采用 $a4=a1+4a2+a3/6$ ，逐点后推的滤波器进行滤波。

3. 测试结果

我们利用 TMS320LF2407A 的 DSP 控制器,对一台 Y 形接法，额定电压 36V，额定功率为 40W，额定电流为 2A，额定转速为 1440r/min，频率为 50Hz 的异步电机电机分别进行上述试验，得到几组参数值，将其平均后与电机真实参数经行比较，得到如下的表。从中我们可知这种电机参数方法可行，而且可以达到一定的精度。可以为无速度传感器矢量控制系统提供一组参数的初始值，但随着电机的温升，负载变化，电机的转子电阻将会发生变化，这还需要对电机参数进行在线自检测来解决。

电机参数	真实值		测得值		误差	
R1	2.68	Ω	2.74	Ω	2.2	%
L1	0.0177	H	0.0190	H	7.3	%
M	0.068	H	0.074	H	8.8	%
R2	0.86	Ω	0.80	H	6.9	%

参考文献

- 【1】 冯焱生, 曾岳南。无速度传感器矢量控制原理与实践 机械工业出版社。
- 【2】 J.Ke and B.Wu ;R.sotudeh .DSP Based Induction Motor Torque and Parameter Identification .IEEE1997
- 【3】 程超, 程善美。基于矢量控制的电机参数辨识及自调整策略
- 【4】 吴峻, 潘孟春等 。感应电机的参数辨识 维特电机 2001 年第 6 期
- 【5】 余功军等。无速度传感器矢量控制系统中的电机参数辨识。电气传动 1999 年第 1 期。
- 【6】 Joachim Holtz and Thomas Thimm. Identifiction Of the Machine Parameters In a Vector Controlled Induction Motor Drive.1998 IEEE.

[作者简介]: 聂秀玲,女,1979 年 1 月 24 日生,汉族,北京航空航天大学自动化科学与电气工程学院在读硕士生,专业为检测技术和自动化装置,从事电机控制应用研究. 电话: 010-82317884; E-mail: brightxiu@163.com

Author's brief introduction : Niexiuling,Female,born on 24th Jan 1979, a post graduate student of Buaa,the major is the research of Motor control application. Tel: 010-82317884;E-mail: brightxiu@163.com (100083 北京航空航天大学)聂秀玲 郑红 (100083, Beijing University of Aeronautic and Astronautics,Beijing)