

DTC 系统中随机定子电流信号的功率谱估计

张君昌 李言俊

(西北工业大学航天学院, 西安, 710072)

周自全 吕杰

(飞行试验研究院, 西安, 710089)

SPECTRA ESTIMATION OF THE RANDOM STATOR CURRENT SIGNAL IN THE DIRECT-TORQUE-CONTROL SYSTEM

Zhang Junchang, Li Yanjun

(Astronautics college, Northwestern Polytechnical University, Xi'an, 710072)

Zhou Ziquan, Lü Jie

(Chinese Flight Test Establishment, Xi'an, 710089)

摘要 针对 DTC 理论中 Dead-Beat 控制法的缺陷, 推出了在新的控制方式——磁链实时控制下逆变器开关状态的选择规律, 并对影响系统性能的关键环节——定子电流信号的功率谱分布作了较详细的讨论, 得出了相应的结论。

关键词 DTC 系统 定子电流信号 谱估计

中图分类号 V242.4

Abstract Focused on the defaults of "Dead-Beat" control method in the Direct-Torque-Control theory, this article presents a new control strategy—the flux real-time control method, and then sets up the selection principles of the inverter switching state. Moreover, to the stator current signal and its spectra, a key sector that influences the system performance, this article gives a detailed discussion and gets a conclusion.

Key words DTC system, stator current signal, spectra estimation

在 DTC 调速系统中, 为了克服 Dead-Beat 控制法动态加速性能差, 低速力矩脉动大的缺陷, 采用了更能逼近圆形轨迹的磁链实时控制法^[1]。在此种控制方式下, 电机定子电枢信号的频率是随机变化的。为此, 首先应依据 DTC 系统的工作原理, 推出磁链实时控制方式下逆变器开关状态的选择规律。这是系统控制的核心和出发点。其次, 针对影响磁场定向结果乃至整个系统性能的关键环节——定子电流信号的谱分布做出估计, 抓住其主要特征, 为进一步地分析和处理做好了准备。

1 逆变器开关状态的选择规律

DTC 交流调速系统是通过空间电压矢量的合理选择, 既控制了电机磁链幅值几乎恒定不变, 又控制了电机电磁力矩的变化^[2]。依此, 可推导出逆变器开关状态的选择规律。

如图 1 所示, 当电机定子边的磁链角满足 $3P/2 < \angle \omega < 11P/6$ 时, 逆变器的开关状态 1(V_1), 5(V_5), 6(V_6) 使磁链幅值增大, 而开关状态 2(V_2), 3(V_3), 4(V_4) 将使磁链幅值减小。

推而广之, 一般情况下, 当磁链角满足 $(2n-1)P/6 < \angle \omega < (2n+1)P/6$ 时, 逆变器的开关状态 $k = n, n+1, n+2$ 将使磁链幅值增大, 而其它 3 种开关状态将使磁链幅值减小。零开

关状态在整个开关周期内,都将使磁链幅值保持不变。

当控制磁链幅值 $\hat{w}\hat{w}$ 基本恒定时,电磁力矩 T 就与产生力矩的电流分量 I_t 成正比。因此通过控制电流 I_t 的变化就可以达到控制力矩 T 的目的。设磁链角满足 $(2n-1)P/6 < \angle W < (2n+1)P/6$ 。当磁链幅值与力矩均小于参考值时,通过选择开关状态 1 使得磁链幅值和力矩均向增大的方向变化;当磁链幅值大于参考值而力矩小于参考值时,通过选择开关状态 2 使得磁链幅值减小而力矩增大;当磁链幅值小于参考值而力矩大于参考值时,通过选择开关状态 6 使得磁链幅值增大而力矩减小;当磁链幅值与力矩均大于参考值时,通过选择开关状态 3 使得磁链幅值和力矩均向减小的方向运动。

推而广之,一般情况下的开关状态选择如表 1 所示。

表 1 开关状态选择表

$(2n-1)P/6 < \angle W < (2n+1)P/6$		
$\text{sgn}(T - T^*)$	$\text{sgn}(\hat{w}\hat{w} - \hat{w}\hat{w}^*)$	k
0	0	n+1
0	1	n+2
1	0	n
1	1	n+3

逆变器开关状态	$k = \begin{cases} k & k \leq 6 \\ k-6 & k > 6 \end{cases}$
---------	---

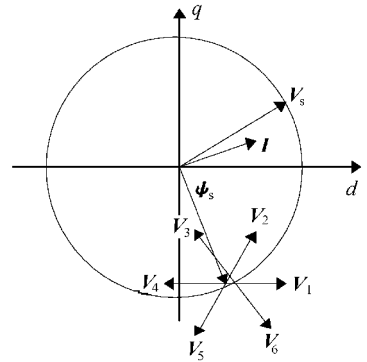


图 1 磁链幅值调节示意图

2 随机定子电流信号的功率谱估计

计算机控制的交流调速系统属于平稳离散随机系统,其随机定子电流信号可以用线性差分方程来表示,即

$$i(n) = x(n) - \sum_{k=1}^N a_k i(n-k) \quad (1)$$

信号的功率谱为

$$P_i(X) = \frac{R_x^2}{\hat{u}A(e^{jX})\hat{u}^2} = \frac{R_x^2}{\left(1 + \sum_{k=1}^N a_k e^{-jXk}\right)^2} \quad (2)$$

信号的 Yule-Walker 方程为

$$\begin{bmatrix} \langle(0) & \langle(1) & \langle(2) & \cdots & \langle(N) \\ \langle(1) & \langle(0) & \langle(1) & \cdots & \langle(N-1) \\ \langle(2) & \langle(1) & \langle(0) & \cdots & \langle(N-2) \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \langle(N) & \langle(N-1) & \cdots & \cdots & \langle(0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ a_1 \\ a_2 \\ \cdots \\ a_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_x \\ 0 \\ 0 \\ \cdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

采用 Levinson-Durbin 递推算法,其递推公式为

$$a_{pp} = - \left[\sum_{k=1}^{p-1} a_{p-1,k} \langle(p-k) + \langle(p) \right] \backslash R_{p-1}^2 \quad (4)$$

$$a_{pk} = a_{p-1,k} + a_{pp} a_{p-1,p-k} \quad (5)$$

$$R_p^2 = (1 - \hat{u} a_{pp} \hat{u}^2) R_{p-1}^2 \quad (6)$$

根据 DTC 控制交流调速系统的工作原理和随机信号谱估计的基本理论, 就可以设计出随机定子电流信号的功率谱观测器, 如图 2 所示。

图 2 中, 8098 单片机是整个系统的控制中心, 由它对检测到的定子电压信号, 定子电流信号进行分析与处理, 计算出相应的磁链和力矩, 并根据一定的控制规律发出开关控制命令, 通过驱动电路来控制逆变器的开关状态, 从而达到调速的目的。

检测到的定子电流信号经过 8098 单片机预处理后, 再经过 RS-232 串行接口总线输送到微型计算机, 由微机中的软件来完成电流信号的功率谱分析。

经反复实验调试, 随机定子电流信号的功率谱的仿真结果如图 3 所示。

由图 3 可以看出: 定子电流信号的功率谱与定子电压信号的通频带有关, 是以定子电压信号的基波及其谐波的中心点为中心, 按准正态分布曲线分布。且随着谐波增大, 其功率呈衰减状态。

3 结束语

磁链实时控制法是 DTC 理论中一种很好的控制方法, 它大大提高了系统的动态性能。本文首先解决了 DTC 控制系统的核心问题——逆变器开关状态的选择规律。然后详细地讨论了随机定子电流信号的功率谱分布, 为进一步的分析和处理奠定了基础。利用定子电流信号的功率谱特性, 一方面可对其进行 FIR 最佳滤波, 将信号中的干扰、误差尽可能地滤掉, 从而提高系统的控制精度; 另一方面还可以建立起相邻采样点间的电流预测模型, 实现电流检测与磁场定向计算的时间共享, 从而减小死区时间对系统动态性能的影响, 这对构成更高性能的 DTC 系统很有必要。

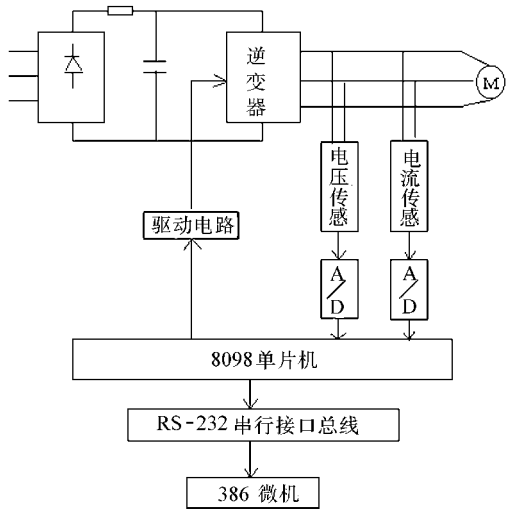


图 2 随机定子电流信号谱观测器原理框图

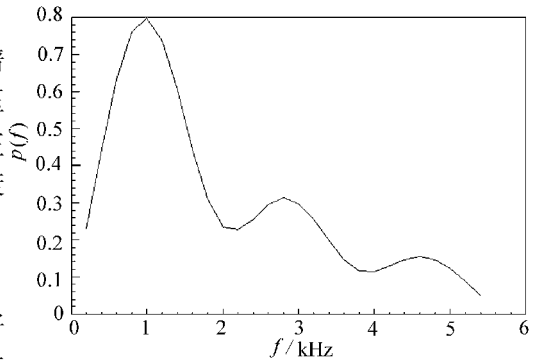


图 3 定子电流信号频谱图

参 考 文 献

- 1 Hao Y Z, etc. A new microcomputer-based direct torque control system for three-phase induction motor. IEEE, 1991, 1A-27(2): 347~358.
- 2 Habetier T G, etc. Direct torque control of induction machine using space vector modulation. IEEE, 1992, 1A-28(5): 631~642.
- 3 Steven M K. Modern spectral estimation; theory and application. Prentice-Hall, 1992. 225~236.