

## 矢量控制同步机在负载扰动时气隙磁场的变化

丛荣葵, 孙清泉, 刘振亮, 金洪坤

(济南钢铁集团总公司, 山东 济南 250101)

摘要: 针对大功率交交变频同步电动机传动系统采用矢量控制技术后的气隙磁链在突加负载时的变化情况进行了研究, 并结合实际进行仿真, 证明大功率交交变频凸极同步电动机采用矢量控制技术后, 其气隙磁链在突加负载时略有增加。

关键词: 矢量控制技术; 同步电动机; 气隙磁场; 交交变频; 负载扰动

中图分类号: TM341 文献标识码: A 文章编号: 1004-4620(2002)05-0049-02

## Changes of the Gap Flux for Synchronous Motor with Vector Control during the Load Disturbance

CONG Rong-kui, SUN Qing-quan, LIU Zhen-liang, JIN Hong-kun

(Jinan Iron and Steel Group, Jinan 250101, China)

Abstract: Discusses the changes of the gap flux linkage during suddenly applied load after adopting the vector control for the transmitting system of cycloconverter synchronous motor with high power and simulates digitally in computer according to the system of Jigang. Results of the digital simulation have proved that the changes of gap flux linkage have a little increment.

Key words: vector control; synchronous motor; gap flux; cycloconverter; load disturbance

电动机调速的关键是对电动机电磁转矩的控制, 而电动机电磁转矩又取决于定转子磁动势以及它们在空间的位置。直流电动机的定转子磁动势在空间正交且解耦, 可以分别调节励磁电流和电枢电流进行控制, 因此, 直流电动机具有很好的调速性能。而交流电动机的定转子磁动势在空间既不正交也不解耦, 常规方法很难在动态下准确控制其电磁转矩。采用矢量控制技术, 经过磁场定向和坐标变换后, 就可以通过控制同步电动机的转子励磁电流, 保持气隙磁场的基本恒定; 通过控制定子电流转矩分量, 就可以方便灵活地控制电磁转矩, 从而达到精确调速的目的。

## 1 矢量控制原理

按气隙磁场定向控制的同步电动机矢量图如图1所示。由图1可见, 气隙合成磁场在M轴, 其气隙磁链的大小值与磁化电流成正比, 而磁化电流又由同步电动机的定子电流与转子电流在M轴上的分量所决定。因此通过控制同步电动机转子电流的磁化分量和定子电流的磁化分量就可以保证气隙合成磁链的恒定。

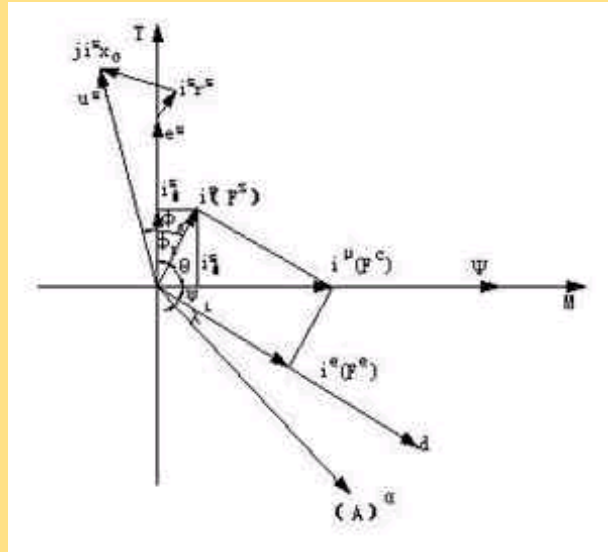


图1 同步机稳态矢量图

$F^s(i^s)$ ,  $F^e(i^e)$ ,  $F^c(i^\mu)$  分别为定子、转子和气隙合成磁动势(电流)矢量  $\psi$  气隙合成磁链矢量  $u^s$ ,  $e^s$  分别为定子端电压和定子电动势矢量  $\varphi_i$  内功率因数角  $\varphi_e$  外功率因数角  $\varphi_L$  负载角, 指转子轴与M轴之间的夹角根据拖动控制系统的基本运动方程式:

$$T_d - T_L = \frac{GD_2}{375} \cdot \frac{dn}{dt} \quad (1)$$

式中  $GD^2$ ——电机和负载的飞轮力矩,  $GD^2=4gJ$  ( $J$ 为转动惯量);

$n$ ——电机转速;

$T_d, T_L$ ——电动机的电磁转矩和负载转矩。

可以看到, 当负载及电动机确定后, 电动机的电磁转矩是影响电动机转速的唯一控制量。快速准确地控制转矩, 使得传动系统在负载扰动时获得较小的动态速降和较短的恢复时间, 调速系统就具有较高的动态性能。因此, 调速性能的好坏关键是对电磁转矩的控制。对同步电动机而言, 实施按磁场定向原理的矢量控制后, 其电磁转矩方程式为

$$T_d = P_m \psi i_T^s \quad (2)$$

式中  $P_m$ ——电机极对数;

$\psi$ ——气隙磁链;

$i_T^s$ ——定子电流转矩分量。

由式(2)可知, 当采用气隙磁场定向后, 只要保持气隙磁链  $\psi$  恒定, 电磁转矩只与定子电流的转矩分量  $i_T^s$  有关, 实现解耦。因此采用气隙磁场定向控制, 就应保证气隙磁链为恒值, 气隙磁链  $\psi$  的变化就显得尤为重要。

## 2 问题的提出

采用气隙磁场定向矢量控制技术后, 对于系统突加负载或有负载扰动时气隙磁链的变化有不同的观点。一种观点认为当电动机突加负载时, 负载角  $\varphi_L$  迅速拉开, 电动机产生动态速降。由于调速控制作用, 同步电动机迅速出现定子电流转矩分量, 并产生电磁转矩, 阻止速度降落, 使电动机加速到原速度。由于定子电流转矩分量的突变, 电枢反应将造成电动机气隙磁链降落, 磁链的下降使电磁转矩减小, 又进一步加剧了电动机的速降。通过励磁调节器的控制, 增加转子励磁电流来抵消电枢反应的影响, 使励磁回升到额定值。同时, 由于转子回路比定子回路大得多的电磁惯性, 当突加负载时, 转子电流不可能与定子电流同步变化, 因

此影响 $\varphi_L$ 角的迅速稳定<sup>[1, 2]</sup>。

另一种观点则认为，因为有励磁电流：

$$i_e = \frac{1}{r_e} \left( u_e - \frac{d\psi_d}{dt} \right) \quad (3)$$

式中 $\psi_d$ ——磁链 $d$ 轴分量， $\psi_d = \psi \cos \varphi_L$ ；

$r_e$ ——励磁回路电阻。

当负载增加时， $\varphi_L$ 角增大， $\psi_d$ 减小， $d\psi_d/dt$ 小于0，励磁绕组将感应出一个电动势帮助励磁电流增大，这时励磁绕组时间常数不起作用，不存在励磁电流跟不上负载变化的问题。在实际装置中，这种作用非常强，甚至使突加负载时磁链 $\psi$ 不但不减少反而略有增加<sup>[3]</sup>。

### 3 系统仿真研究

用于轧机主传动的交交变频同步电动机要承受轧钢的频繁负载（咬钢和抛钢）的冲击，系统常处于动态过程。针对负载冲击对气隙磁场的影响的两种观点，以济南钢铁集团总公司中厚板厂（简称济钢中厚板厂）粗轧机主电机为对象，采用交交变频磁场定向矢量控制技术，实施计算机数字仿真。同步电动机的相关参数如表1~2所示。

表1 同步电动机技术数据

项 目	参 数
电机功率/kW	3500
额定频率/Hz	5/12
额定电压/V	1570
额定电流/A	1358.1
额定转速/r. min <sup>-1</sup>	50/120
空载励磁电流/A	235.2
满载励磁电流/A	441.1
满载效率/%	95.95
转动惯量/kN. m	19.2
角频率/s <sup>-1</sup>	5.236
空载励磁电压/V	65.4
满载励磁电压/V	168.6
额定转矩/kN. m	668.5
机电时间常数	0.1516
电气角频率	31.416

表2同步电动机电磁参数（标么值）

项 目	参 数
定子电阻	0.038514
直轴阻尼绕组电阻	0.205008
定子绕组漏抗	0.1581

定子绕组直轴电枢反应电抗	1.7536
定子绕组直轴等效电抗	1.9117
直轴阻尼绕组电抗	0.09004
转子电阻	0.0107564
交轴阻尼绕组电阻	0.153756
转子绕组漏抗	0.3069
定子绕组交轴电枢反应电抗	1.0442
定子绕组交轴等效电抗	1.2023
交轴阻尼绕组电抗	0.06753

按当系统稳定运行时某一时刻突加负载时得到的同步电动机转速变化波形和气隙磁链变化波形分别如图2和图3所示。

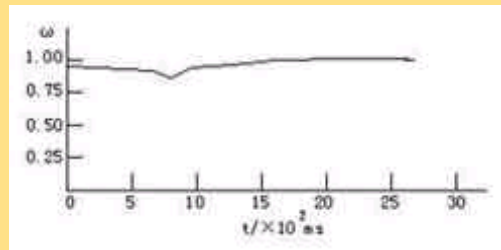


图2系统在突加负载时速度波形

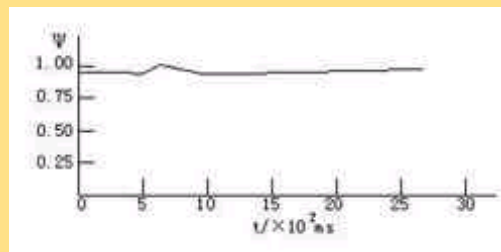


图3系统在突加负载时气隙磁链波形

由仿真曲线可以看到，系统稳定运行后如有负载扰动，则会马上产生动态速降，然后经一段时间后重又恢复到稳态，气隙磁链也有变化，但不是减少，而是增大。

#### 4 结论

针对大功率交交变频凸极同步电动机而言，采用矢量控制技术后，其气隙磁链在突加负载时不但不降低，反而略有增加。找出了气隙磁链的变化规律，就可以利用它来控制电动机的电磁转矩，从而达到精确控制交流同步机转速的目的。