

永磁无刷电机力矩分析

胡终须 何鸿肃

(计算机工程系) (工业自动化系)

提 要

本文从永磁方波无刷电机控制原理出发,分析了永磁无刷电机的相电流和电枢反应,以及对电机力矩的影响。

关键词: 无刷电机; 力矩

中图法分类号: TM 34

1 概 述

方波无刷电机既具有直流电机的良好外特征,又具有直流电机所不及的电机结构简单,可靠性高,免维修的优点,同时这种控制方案比之矢量控制,没有其必须的快速运算,没有其系统的复杂性;而随着现代电力电子技术的发展,GTR、IGBT 等大功率快速器件的应用,必然能提高这种控制器的性能。

如图1所示,永磁同步电机为三对极隐极电机,这种转子结构特点是其直轴和交轴电感之比 $P = \frac{L_q}{L_d}$ 为1,给我们分析计算电枢反应后的气隙合成磁场带来方便。因电机磁势是每对极一个周期,故下面只以研究一对极的磁势及电枢反应即可知全貌。

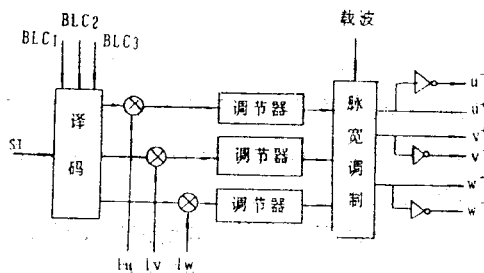
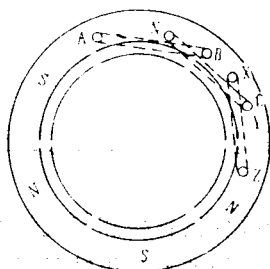


图1

2 电机相电流

把电机一对极展开成如下的平面图;调节三相绕组之接线顺序或者三个位置检测信

收稿日期:1994-05-03

号 BLC_1 BLC_2 BLC_3 的位置,可使电机沿正/反方向旋转.从电机控制器的原理可知,任一时刻三相绕组中二相有电流通过,而另一相无电流(Δ 接法时被短接)或者平均电流为零不产生力矩。

在图 2 所示的时刻,要使电机最大出力、电流为从 B 绕组流入,从 C 绕组流出,把电机分成三相六状态,每转过 60° 电度角、桥式电路进行一次换流,每相电流持续 120° ,可画出三相电流波形。见图 3。

由于采用大功率快速开关器件、对每相电流正行调制,其调制频率为 2KHz 以上,脉宽调制的采用改善了电流波形,减少了谐波分量,从而改善了电机的力矩特性。

3 空载换流超前角 γ

力矩不仅和相电流紧密相连,和各相绕组电流与转子磁势的相位也有很大关系。相位配合得适当,能改变电枢反应的性质、提高力矩,功率因数,降低电机端电压。

空载换流超前角 γ 是指同步电机电流与空载电势 E_0 之夹角,也叫同步电机的内功率因数角,它决定于逆变器的导通相位。由于使用可关断功率器件,逆变器的导通相位完全取决于转子位置检测器的位置,可以超前导通、也可以滞后,甚至可以改变 γ 来改变电机的转向。

转子是旋转着的,移动位置检测器只会改变位置检测与绕组的空间关系,改变电枢反应的性质。从图 4 分析可以看出,位置检测器的调节是很精确,位置稍有偏离就会出现直轴电枢反应,严重的是有一段时间内,相电流的力矩是阻力矩。

在位置 1 的情况下,绕组电流从 B 相流入, C 相流出, i_b, i_c 在这一持续 60° 电度角的状态下,产生的力矩方向一致,都为动力矩,且通电的时刻正好处于转子磁场的顶部,力矩最大。

移动转子位置检测到位置 2(转过 30° 电度角),要进入到状态 1,1,0(BLC_1 BLC_2 BLC_3),是在转子转过 30° 电度角之后,但这时绕组已向左移了 30° ,此时绕组电流同位置 1 的情况。 i_b, i_c 在通电的前 30° 内是方向一致的动力矩,而在后 30° 内, i_c 进入 S 极下,产生阻力矩,从而引起电机力矩的波动。

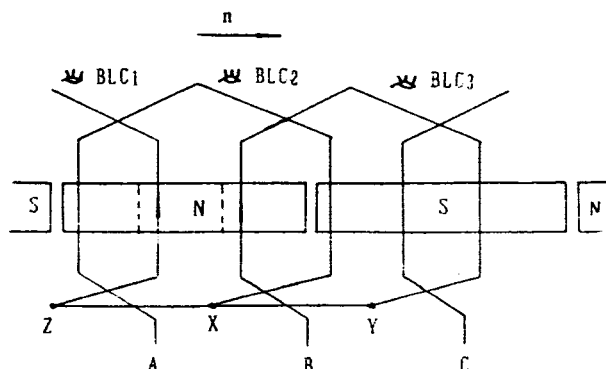


图 2

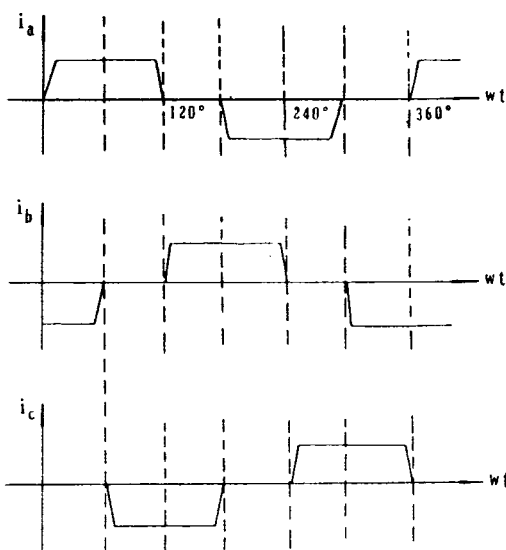


图 3

基于同样的分析,移动位置检测器到 60° ,会使两个力矩互相抵消,电机停转或振动,移动 90° 之后,电机开始反转。

4 电枢反应与力矩

如图 5 所示,为了便于分析,只研究一对极下绕组电枢反应,隐报电机的转子磁势是平顶波,在此我们只考虑其基波,则转子基波磁势是以转速 n 匀速旋转的。但在任一宽度为 60° 电度角的状态内,有电流流过的两相电流是一不变的矩形波,其电枢反应磁势是相位不变,大小不变的,直到转过 60° 之后进入另一状态,经过换流之后,电枢反应磁势才跳跃地前进 60° 。由此可见,转子磁势是一以转子转速 n 旋转的,而电枢反应磁势是每状态跳跃前进的,它们之间的平均速度相等,

但有相对运动,从而引起气隙合成磁场的畸变,引起转矩的脉动。

由于每一状态下之电枢反应磁势在其状态范围内是静止不变的,而永磁转子的磁势是匀速旋转的,从而电枢反应中出现了直轴分量,而且越来越大。若调节空载换流超前角 $r=0^\circ$ 则 $wt=0$ 时,电枢磁势全部作为交轴分量,产生的力矩最大。而 $wt=60^\circ$ 时,直轴去磁分量增大到 $F_f \cdot \sin 60^\circ$,而交轴分量已减小到 $1/2$,此时转矩最小,转矩脉动量达到 50%。而脉动频率为与转速有关,低速时脉动频率很低,这种低频脉动会引起电机转速不均匀,

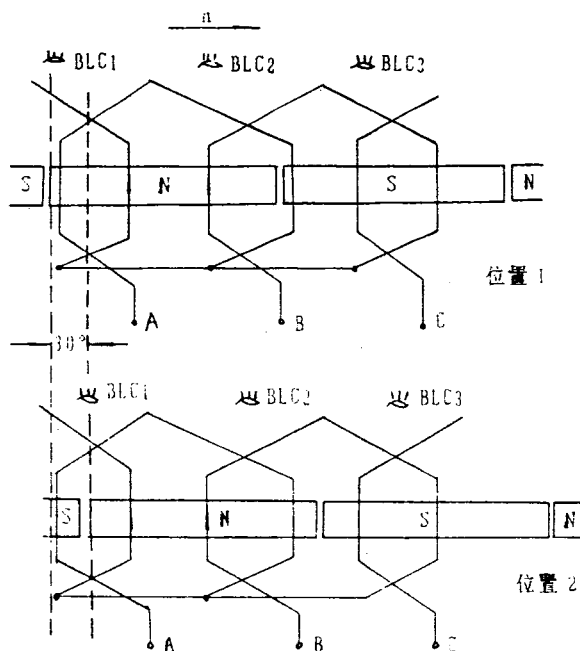


图 4

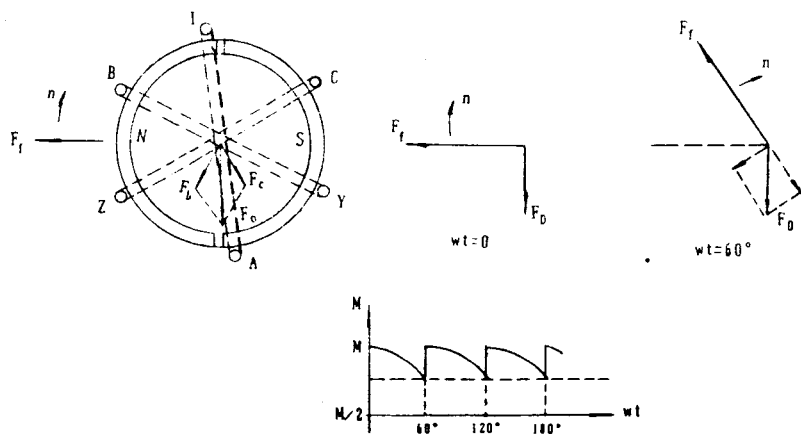


图 5

在轴上引起很大的机械应力,当电机达到高速时,脉动频率高,而机械设备的惯性能有效地滤除它。

转矩脉动量与空载换流超起前角有关。 $r=0$ 时,电机提供的峰值力矩最大,但其脉动量也大;可以牺牲一点电机的峰值力矩,而可以减少脉动量,方法是调节 r 。

参 考 文 献

- 1 刘迪吉. 航空电机学,北京,国防工业出版社,1980
- 2 许大中. 交流电机调速理论. 浙江,浙江大学出版社,1986
- 3 蒋仕龙,何鸿肃. 无刷直流电机最佳换相分析. 广东机械学院学报,1993,(1).

THE TORQUE ANALYSIS ABOUT THE BRUSHLESS D. C. MOTOR

Hu Zhongxu

He Hongsu

(Dept. of Computer Engineering) (Dept. of Industry Automation)

Abstract

On the basis of the principle of permanent magnet brushless D. C. motor controller, the effects of current, position sensor and armature reaction to the torque have been analyzed theoretically.

Key words: torque; brushless D. C. motor