

永磁无刷直流电机转矩波动及削弱方法

长沙交通学院 (410076) 曹荣昌

摘要 认为无刷直流电机换相时电枢磁动势的摆动是造成转矩波动的主要原因, 并提出一种方法——利用电流PWM调制, 减小脉动转矩处于峰值附近时非换流相电流, 来减弱转矩波动。

叙词 永磁无刷直流电机 转矩波动

1 引言

永磁无刷直流电动机以电子开关换向线路取代直流电机的电刷和换向器, 因而消除直流电机因换向而出现火花, 因电刷磨损而难于维护的现状。同时它又继承了直流电机易于控制, 可靠性高, 动态性好的优点, 因此其应用越来越广。然而美中不足的是无刷直流电机转矩脉动较大, 特别是低速时这种脉动尤为明显, 下面我们就转矩脉动产生的原因及削弱方法作一些探讨。

2 无刷直流电机的原理

图1为三相无刷直流电机的模型, 每个极下3个相带, 每相带由4个元件串联而成且依次相隔 60° 。若每次每极下3个相带导通, 则为 180° 通电型。若每次2个相带导通则为 120° 通电型。以方波 120° 通电型无刷直流电机为例, 若其气隙磁

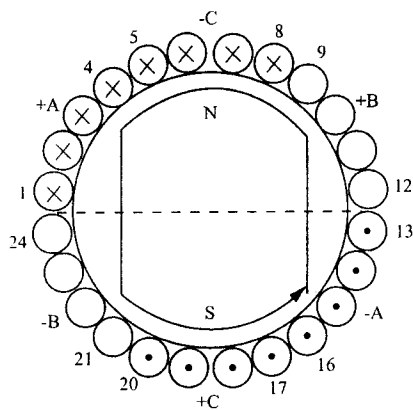


图1 三相无刷直流电机模型

密接近方波, 极弧系数大约 $0.8\sim 0.9$, 绕组电流为方波, 如图2所示。为了使电机绕组导通期间处于最大气隙磁密下, 一般在图1位置关断+B -B相, 开通+A -A相; 转子转过 60° 后关断+C -C相, 开通+B -B相; 再转 60° 后, 关断+A -A相, 开通+C -C相。依次类推, 由此得到电机的平均转矩 T_{av} 如图3所示。

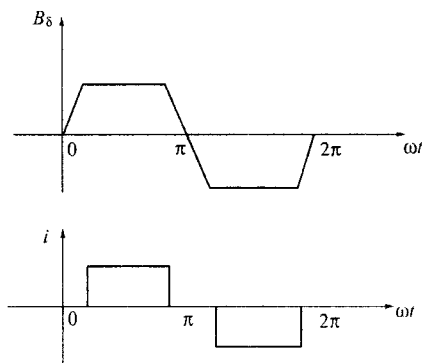


图2 方波电机气隙磁密和绕组电流

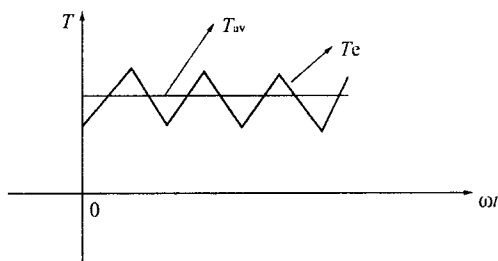


图3 平均转矩和瞬态转矩

3 转矩波动的主要原因及削弱方法

(1) 换相时电枢磁动势的摆动

无刷直流电机和直流电机换向之区别是: 直流电机换向时是一个元件一个元件切换, 而无刷直流电机是一组元件一组元件换相。如果一个元件切换对总个电枢绕组的影响可不考虑。而一组元件的换相对电枢绕组的影响则不能不作考虑。

《电机技术》2002 (2)

理论上是 120° ，实际上由于元件 2、3 和 14、15 处于磁极几何中心线附近。受磁极极弧长度的限制，该处磁密接近零，因此 F_r 和 F_s 的实际夹角较接近 90° 。由于导通元件增多，出力也有所增加。(e) 采用转矩闭环控制或由谐波消去法原理制造控制装置对电流闭环进行控制。

$$W_m = \frac{1}{2} L_1 i_1^2 + M i_1 i_2 + \frac{1}{2} L_2 i_2^2$$

M —绕组互感

若 $M=M_m \cos \theta$ L_1, L_2 为近似常数则

$$T_e = \frac{\partial W_m}{\partial \theta} = k F_r F_s \sin \theta$$

可见无刷直流电机因电枢磁势摆动而引起转矩脉动,如图3所示, θ 摆动越大,脉动越明显。分析图4,电枢磁势有时使永磁体去磁,有时又使永磁体增磁,这些都会使永磁体的工作点发生变化。从而引起气隙磁密分布不均,这种分布不均又加剧了转矩的波动。要削弱这种波动,最简单的办法是(a)增加电机的相数,把电机做成四相、五相或更多相,以减少每相串联元件数。(b)由于力矩大小是由气隙磁密和电枢电流决定,在转矩处于脉动峰值附近,利用电流PWM调制,把电枢电流适当减小,以减弱转矩峰值。(c)由于换相前后转矩处于谷值,我们把开通相提前一个 δ_1 角,把关断相滞后 δ_2 角,这时出现A、B、C三相同步导通,如图5所示,通过增大电枢电流增多导通元件个数来对谷值转矩作一些补偿。(d)把每相导通时间由 120° 变成或接近 180° ,参见图6所示三相无刷直流电机 180° 导通模型。图示绕组A由反向导通切换到正向导通,虽然此时 F_r 和 F_s 的夹角

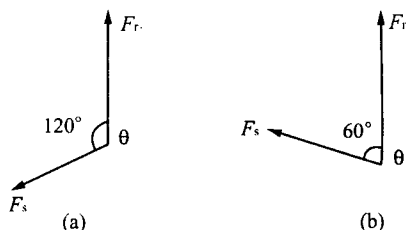


图4 电枢磁势和转子磁势夹角关系

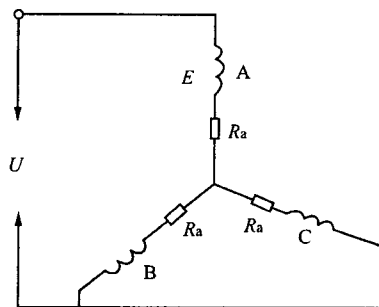
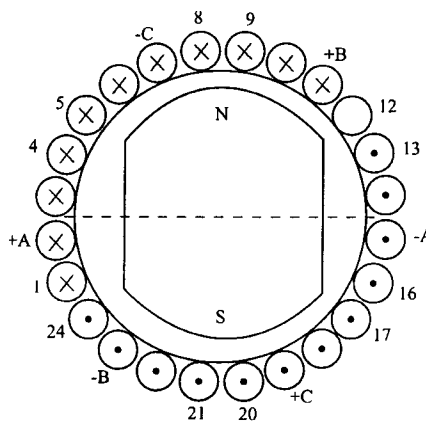


图 5 三相同步导通模型

图 6 180° 导通模型

(2) 齿槽引起的转矩波动

由于齿、槽导磁率不一样,导致气隙磁密不均匀分布而引起转矩波动。减小转矩波动最有效的办法是采用磁性槽楔,在定子槽口涂一层磁性槽泥,固化后形成具有一定导磁性的槽楔。或采用斜槽或分数槽都能从一定程度上改善转矩波动。

以上我们分析了方波驱动永磁无刷电动机的转矩脉动成因及削弱方法。如果我们在电机设计和控制上有针对性地加以抑制,转矩脉动问题是能得到较好的解决的,若设备对脉动转矩要求很高,我们不妨采用脉动转矩较小的正弦波驱动永磁无刷直流电机。

(收稿日期: 2001-11-13)

曹荣昌 男 硕士 讲师