

端电压位置检测电路中无源低通滤波器的优化仿真*

陆广平

(盐城工学院 电气工程系,江苏 盐城 224003)

摘要:无位置传感器直流电机以其众多的优点得到广泛的应用,位置的检测可通过一个电子式的端电压检测电路来获取。借助于 Matlab 仿真软件,通过计算机仿真,从减小电动机转矩脉动的角度对检测电路中的滤波器进行了仿真研究,并对仿真结果进行分析,得出了一些有用的结论。

关键词:低通滤波器;无刷直流电机;计算机仿真

中图分类号: TM131 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-532X(2003)04-0033-03

永磁无刷直流电机由于其无换向火花,运行可靠,维护方便,结构简单,无励磁损耗等众多优点,自 20 世纪 50 年代出现以来,就在很多场合得到广泛应用。传统的永磁无刷直流电机均需一个附加的位置传感器,用以向逆变桥提供必要的换向信号,它的存在给直流无刷电机的应用带来很多的缺陷与不便。

无位置传感器直流电机,正确的理解应该是无机械的位置传感器直流电机,在电机运转的过程中,作为逆变桥功率器件换向导通时序的转子位置信号仍然是需要的,只不过这种信号不再由位置传感器来提供,而由新的位置信号—检测措施代替。无刷直流电机的气隙磁场呈梯形波,任一时刻电机只有两相导通,如电流在电角度为 $0^\circ \sim 120^\circ$ 和 $180^\circ \sim 300^\circ$ 期间流过电机的 A 相,那么在 $120^\circ \sim 180^\circ$ 和 $300^\circ \sim 360^\circ$ 期间 A 相不流过电流。未导通的一相提供了方便的“传感器”的作用,因此可通过检测开路相的电压或电流等来获取位置信息。由于采用无位置传感器技术,位置的检测可通过一个电子式的端电压检测电路,该电路带有一阶无源低通滤波器,一方面滤去端电压中的高频谐波分量,另一方面用于电路相位延迟。由于在调整范围之内该滤波器相位延迟角度大小不同,因此延迟到过零检测所要求的 90° 电角度是不够的,这样势必造成逆变器开关管开关有着不同

程度的超前(超前角用 ψ 表示)。这将引起电机脉动的增大,导致电机平均转矩的降低,电机运行不稳定,因此本文从减小转矩脉动的角度出发来设计检测电路中的滤波器^[1]。

1 建立无刷直流电机的直流电机模型

无刷直流电机由三相永磁方波电机(PMS),磁极位置检测器(BQ),三相桥式逆变器(TBC)等组成,相当于一台只有 3 个线圈和 3 个换向片的直流电机,该电机的等效电机模型如图 1 所示。

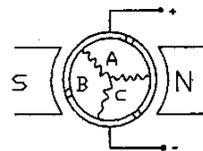


图 1 无刷直流电机的直流电机模型

Fig. 1 DC Machine model of brushless DC motor

直流电机中一般是电枢旋转,磁场静止,无刷直流电机通常是电枢绕组及变流器静止不动,而磁极是旋转的,因此直流电机模型中的电枢旋转方向和实际无刷直流电机中磁极转向相反。

直流电机模型中电流的转移是通过换向片和电刷之间接触的改变来实现,而无刷电机是通过逆变器开关管的换流来完成的^[2]。电流先从电源正端经电刷输入到 A 相绕组后经 B 相绕组回到电源的负端。当电机转过一定角度后,电刷把换

* 收稿日期 2003-08-22

作者简介:陆广平(1974-),女,江苏建湖县人,盐城工学院助教,南京航空航天大学在读硕士研究生。

向片短接 ,B、C 相短路 ,进入换流阶段。换流结束后 ,电流从 A 相进入经 C 相绕组到达电源负端。从模型中可以看到 ,无刷电机每转过 60°电角度开关管进行一次换流 ,相当于直流机进行一次换向。

定子各相电势的瞬时值由转子的瞬时位置确定。当定子一相绕组正好处于转子磁极之下时 ,该相感应的同步电势处于最大值 ,转子转过 90°电角度之后 ,即该相绕组处于 N、S 极的中间位置时该相同步电势为 0 ,定子各相电流的相位则取决于开关管导通时间起点^[3]。

直流电机电刷的位置对电机的转矩有着重大的影响。当电刷处于磁极中性线上时 ,在同样的电流下电机所产生的转矩为最大 ,而当电刷从中性线移开是时 ,电机的转矩就会下降。逆变器开关管触发相位提前($\psi \neq 0^\circ$)相当于直流电机模型中电刷的位置逆着旋转方向移动 ψ 角。

2 无刷直流电机的转矩特性

我们从无刷直流电机的直流电机模型出发定量地分析其转矩特性 ,从而优化低通滤波器的设计 ,使得在调速范围转矩脉动最小。

A 相通电所产生电磁转矩 :

$$T_a = RIWB_m L \sin\theta \quad (1)$$

B 相通电所产生电磁转矩 :

$$T_b = R(-I)WB_m L \sin(\theta - 120^\circ) \quad (2)$$

则合成转矩为 :

$$T = T_a + T_b = \sqrt{3}RIB_m L \sin(\theta + 30^\circ) \quad (3)$$

同理 ,若 A、C 两相通电则 :

$$T_c = R(-I)WB_m L \sin(\theta + 120^\circ) \quad (4)$$

$$T = T_a + T_c = \sqrt{3}RIB_m L \sin(\theta - 30^\circ) \quad (5)$$

以上公式中 B_m 为气隙基波磁场正弦分布幅值 ; θ 为 A 相绕组的轴线和磁极轴线之间夹角 ; L 为线圈有效长度 ; W 为等效匝数 ; I 为通过绕组电流 ; R 为电枢的半径。

当 $\psi = 0^\circ$,则 $30^\circ < \theta = \omega t + \theta < 90^\circ$ 时是 A、B 两相导通 , $90^\circ < \theta = \omega t + \theta < 150^\circ$ 时是 A、C 两相导通。

不难证明 ,电相的转矩是以 60°电角度为周期的 ,其曲线见图 2(a) 。当 $\psi \neq 0^\circ$ 时 ,线圈提前导电 ,A、B 二相通电期间变为 $30^\circ - \psi < \theta < 90^\circ - \psi$,可得转矩在与之之间脉动 ,如图 2(b) 。当 $\psi = 60^\circ$ 时 ,电机瞬时转矩出现过零点 ,如图 2(c) ,对于电机启动来说 ,该点为死点 ,且电机脉动增大。

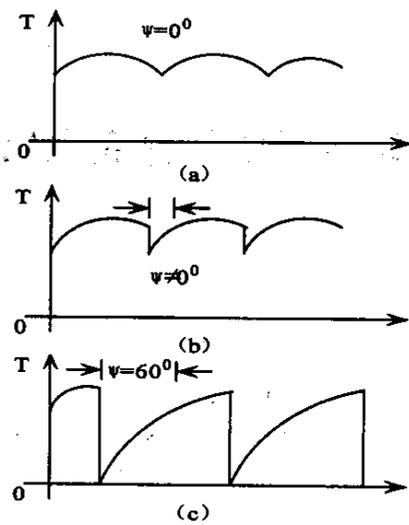


图 2 电机的转矩图

Fig. 2 Torque of DC motor

低通滤波器在不同转速下相位延迟角不同 ,引起逆变器开通超前角 ψ 的改变 ,从而电机的转矩脉动也有所不同。在设计滤波器的过程中 ,兼顾系统的调速范围的同时 ,尽可能使电机在尽可能低的速度下转矩脉动较小 ,以保证电机的稳定性。

3 无源低通滤波器的优化仿真

本文采用 MATLAB 语言对位置检测器中的低通滤波器在不同转速下引起转矩脉动进行了仿真分析 ,以尽可能保证电机稳定运行下的宽调速范围。

在仿真过程中 ,当开通超前角大于 60°时 ,电机转矩出现为 0 点 ,称之为启动死点(即转子在这些位置上 ,电机无启动转矩) ,因此 ,实际中电机通常不工作 ,在开通超前角大于 60°的状态下 ,对其转矩脉动率不作考虑^[4]。

仿真中采用转矩的脉动率的概念定义为 :

$$\epsilon_T = \frac{(T_{\max} - T_{\min})/2}{T_{av}} = \frac{\Delta T/2}{\frac{1}{\theta_c - \theta_b} \int_{\theta_b}^{\theta_c} T(\theta) d\theta} \quad (6)$$

其物理意义为电机平均转矩的基础上的瞬时脉动的大小。

从图中可以看到由于低通滤波器时间常数的取值大小不同 ,在同一转速下 ,引起的相移不同 ,因此 ,电机的脉动率也相应不同 ,电机低速运行的范围也受其限制 ,如图 3 所示。时间常数为 $\tau =$

0.006,低速运行的最大范围为 322 r/min,而 $\tau = 0.08$ 时最低运行点可到 68 r/min。由此可见,要电机在低速下保证转子位置的可靠检测,要求滤波器时间常数尽可能大。

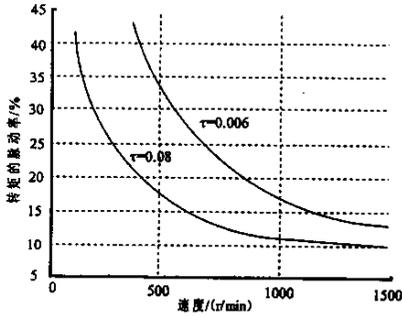


图3 电机的转矩仿真曲线图

Fig.3 Torque simulation performance of DC motor

转矩的脉动率随着开通超前角的增大而显著增大。对于同一时间常数的滤波器在电机低速运行时延迟角较少,对应开通超前角 ψ 较大,所以转矩脉动率很大。为了降低脉动,通常措施是尽可能减小开通超前角 ψ ,即增大滤波器的时间常数。

4 结论

为了满足工业发展的需要,降低电机的复杂性,在电机运转的过程中,作为逆变桥功率器件换向导通时序的转子位置信号的检测可通过一电子式的端电压检测电路来实现。作者在本文中借助于 Matlab 仿真软件,通过计算机仿真,从减小电动机转矩脉动的角度对检测电路中的滤波器进行了仿真研究。

参考文献:

- [1] 张琛. 直流无刷电动机原理及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 1996.
- [2] 吕晓春等. 方波无刷直流电动机无传感器控制与弱磁控制[J]. 微电机, 1997(4): 31-33.
- [3] 曹荣吕. 无刷直流电机最佳触发位置选择[J]. 电机技术, 2002(1): 23-25.
- [4] 范承志. 一种无位置传感器无刷直流电机驱动电路[J]. 微电机, 2001(3): 15-18.

Optimizations Simulation of Low-pass Filters in the Terminal Voltage Position Detecting Circuit

LU Guang-ping

(Department of Electric Engineering of Yancheng Institute of Technology, Jiangsu Yancheng 224003, China)

Abstract: DC motor with indirect rotor-position sensor, in which position is detected through an electronic terminal voltage circuit, has been widely used for its numerous advantages. This paper is a research of filters in detecting circuit intended to reduce the torque ripple of DC motor. The research is based on a computer simulation using simulating software Matlab. The analysis of the simulation leads to several valuable conclusions.

Keywords: low-pass filters; brushless DC motor; computer simulation