

无位置传感器无刷直流电机启动方法研究

汤长波, 顾敏明, 潘海鹏

(浙江理工大学机械与自动控制学院, 杭州 310018)

摘 要: 针对无位置传感器无刷直流电机存在的启动问题,在分析了几种常用启动方法不足的基础上,提出一种采用短脉冲启动的方法,提高启动的可靠性。介绍其原理及实现方法;在构建的基于 C8051F310 为控制器的无刷直流电机的控制平台上进行了实验研究。结果表明,系统启动平滑,具备较好的动态与静态性能。

关键词: 无刷直流电机; 无位置传感器; 反电动势; 短脉冲启动

中图分类号: TP383

文献标识码: A

0 引 言

近年来,随着电力电子与控制技术的发展,无刷直流电机(BLDCM)的无位置传感器控制已成为无刷电机控制的主要趋势。目前常见的无位置传感器控制算法大多是反电动势的控制方法。在无传感控制中,主要的难点在于低速的时刻,由于无刷直流电机的绕组反电动势与电机转速成正比,所以在低速的时刻反电动势非常小,而在启动之前,不存在反电动势。这两种情况下,无法直接利用反电动势法判断转子的位置。因此,无刷电机的启动就变得非常重要,如果启动方法不当,就很难获取较好的反电动势信号,可能导致电机失步,甚至反转、堵转,造成启动失败。近年来,针对无刷直流电机启动问题,很多研究人员提出了很多方法,也存在一定的问题。而本文提出的一种短脉冲的启动的方法,能够较好地保证电机的平滑,可靠启动,并在采用 C8051F310 为控制器搭建无刷直流电机的控制平台进行了验证。

1 反电动势法检测转子位置启动方法

无位置传感器的无刷电机启动方法主要有以下几种方式。

a) 三段式启动法:文献[1-4]描述的三段式启动法,利用的是按他控式同步电机的控制方式,从静止时刻开始加速,一直加速至转速足够大至能产生明确的反电动势为止,将无刷直流电机用强制换向切换至自同步的运行状态。整个过程包含转子自定位、强制加速和自同步运行状态切换三个阶段,因此被称为三段式启动的方式。在负载较轻的条件下,三段式启动过程一般能成功启动。但由于三段式启动切换过程明显,往往在切换时刻存在运行不平稳的情况。在负载较重的条件下,“反电动势信号”与外同步信号相位差过大,切换阶段往往会发生“失步”导致启动失败。如果参数选取合理,可能避免失步。但是也存在切换时电机转矩较小,易受干扰的不足。从理论上讲,为保证电机顺利启动,需要通过优化电机的调节特性曲线,明确启动时的所有的转矩,且该转矩必须作为一个可以计算的恒定的量。而现实中,一个控制器可能对应不同电机、不同负载,所对应的电机的调节特性曲线不一样,涉及到的数据多,控制过程比较繁琐,实现起来不方便,通用性不强。

b) 升频升压法: 文献[5]介绍了一种升频升压的启动方法, 该方法的电路框图如图 1 所示。启动电路通电后, 开始对电容 C 进行充电, 电容 C 上的电压 U_C 缓慢上升, 该电压加在压控振荡器输入端, 压控振荡器的输出经分频后作为时钟信号加到环形分配器上, 其输出信号转换成换相信号通过功率电路来控制电机绕组的导通、关掉。同时, U_C 加在 PWM 发生电路的输入端, 作为调制信号, 与 PWM 发生器的内部三角波进行比较, 进而控制 PWM 的输出信号的占空比, 从而控制绕组的电压。从初始时刻开始, 电容 C 开始充电, U_C 上升, 对应的加在绕组上的电压与频率也逐渐上升, 电机加速运行。此外, U_C 还与比较器相连, 当 U_C 达到比较器设置的阈值时, 电机的转速也达到一定数值, 这个时候, 比较器的输出产生切换信号, 利用相应的电路或者程序将电机切换到无刷直流电机自同步运行状态, 完成无刷直流电机的启动。这种方法, 启动成功的概率较大, 然后附加的启动电路加大了控制电路的尺寸, 对于微型应用场合的应用受到一定的限制。同时过多的元件, 也使得电机可靠性降低。

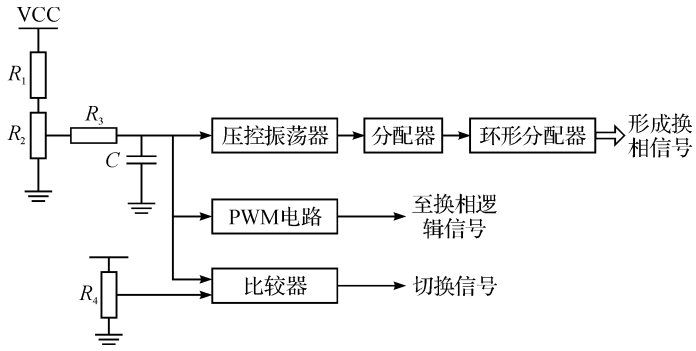


图 1 启动电路框

从初始时刻开始, 电容 C 开始充电, U_C 上升, 对应的加在绕组上的电压与频率也逐渐上升, 电机加速运行。此外, U_C 还与比较器相连, 当 U_C 达到比较器设置的阈值时, 电机的转速也达到一定数值, 这个时候, 比较器的输出产生切换信号, 利用相应的电路或者程序将电机切换到无刷直流电机自同步运行状态, 完成无刷直流电机的启动。这种方法, 启动成功的概率较大, 然后附加的启动电路加大了控制电路的尺寸, 对于微型应用场合的应用受到一定的限制。同时过多的元件, 也使得电机可靠性降低。

c) 预定位启动法: 文献[6—10] 提出了利用软件的方法实现“预定位启动法”。所谓“预定位”是指电机的转子达到定位平衡点之后作等幅摆动。利用粘滞摩擦和磁滞涡流的阻尼作用, 经过几次摆动后静止在预定位点, 实现预定位。由于电机的位置由电机绕组所合成的磁场定位, 在磁场的作用下, 转子磁极会向合成磁场的轴线方向旋转, 直到重合。磁场的控制是通过控制绕组的通断电实现的, 为了使转子有足够的时间定位, 绕组需要通电保持一定的时间, 并改变 PWM 占空比来获取适当的电流, 以产生足够的电磁转矩保证转子转动到预定的位置。

在电机的系统中有:

$$J_m \frac{d^2\theta}{dt^2} = T_e - T_l \quad (1)$$

式中: J_m 为系统的转动惯量; θ 为转子的转动角度; T_e 为电磁转矩; T_l 为负载转矩。

式(1)中, 电机启动时候所有的转矩都需知道, 而且转矩的和必须作为一个可以计算的恒定的量。 J_m 是电机惯量, 这个量可以通过对电机的外接负载特性测试得到。

电机启动的换相时间, 可以由下式计算:

$$t = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{4J_m\pi}{\sum T_i}} \quad (2)$$

式(2)中: t 是启动换相时间, J_m 是转动惯量, T_i 是代表所有的外界转矩。

通过分析可知, 此种启动过程中, 对换相导通的切换时间 t 有较为严格的要求, 而且 t 跟转动惯量有直接的联系, 因此当电机负责不同启动时, 切换时间 t 就要调整, 否则就会造成堵转、反转等情况发生, 电机启动失败。

2 短脉冲启动方法

由反电动势检测法的原理可知, 要让电机稳定运行, 需要在检测到过零信号以后, 再过 30° 电角度开始控制电子换相线路进行换相, 并在消磁之后再次监视过零事件, 不断重复以上步骤, 使电机运转。电机在运行时的转速是由 PWM 占空比和电机负载量决定的, 由于并不知道在达到稳态时电机的转速应该是多少, 因此要采用一个自调整的内环 PID 算法。假设在转速达到稳态时, 设上一次检测到过零事件(A)到这一次换相之间的时间为 last_degree30, 在下一次过零事件(B)时就可以得到时间 t_degree30。假设现在就在 B 事件的时间点上, 可以得到近两次 degree_30 的误差 ERR, 由一定的时间间隔对误差积分可以得到 ERRi, 由这次误差和上次误差可以得到误差微分 ERRd, 分别增益之后就可以得出下一次换相延时时间 next_t_degree30。即

$$ERR=t_degree30-last_degree30$$

(3)

$$next_t_degree30=t_degree30+ERR * P_GAIN+ERRi * I_GAIN+ERRd * D_GAIN$$

(4)

式(3)、式(4)中:ERR为两次换相时间的误差;ERRi为误差 ERR 的时间微分;ERRd 为误差 ERR 的时间积分。P_GAIN,I_GAIN,D_GAIN 分别为 ERR,ERRi,ERRd 的增益系数。

在调试中,发现 I 项作用不大,D 项对于电机启动非常有帮助,在这种算法下,即使不需要独立的启动策略也可以快速地锁入闭环。

直接启动的方式需要比较大的 PWM 占空比,比如大于 40%,虽然启动迅速,但是启动瞬间电流和力矩太大,对带载电机不太好,但是低 PWM 又很容易启动失败。对于低 PWM 占空比(小于 10%)启动策略,先假设转子处于运动中,于是有了微弱的反电动势,在某一个转子位置的时候三相反电势与中性点的关系是唯一的,假设大于中性点就是 1,小于中性点就是 0,那么 U、V、W 的对应关系就如图 2 所示。

开始时转子是静止的,不存在反电动势,也不存在图 2 中的对应关系表,但是可以先给六步中的任意一步以极低占空比的 PWM,且在每一个 PWM 周期中都检测三相反电动势,并对应图中的状态表切换。开始时假设通 UV 相,根据图 3 所示,有以下几种可能性:

第一种,当前转子正在 UV 的力矩向量上,转子不会移动,也不会有任何反电动势产生,因此在每一个 PWM 周期检测到的三相反电动势都没有意义,处于一个稳态,转子锁死。

第二种,当前转子正在 UV 的力矩之前,转子会向 UV 力矩移动,且在某一个 PWM 周期可以检测到已经进入 UW 力矩的前方,处于加速态。

第三种,当前转子正在 UV 的力矩之后,会向 UV-WV 力矩方向移动,且在某一个 PWM 周期可以检测到已经进入 WV 力矩的后方,处于反转态。

因此只需在每个 PWM 周期检测并且判断处于哪种状态。如果是锁死,则切换到下一步通电状态,如果反转,则强制保持当前通电状态直到转子锁死为止,然后再切换到下一步通电状态。总之就是一定要将反转控制在 60°电角度以内。

3 实验分析

该控制系统以 C8051F310 为控制器进行硬件电路平台的搭建,系统硬件包括控制板电路,驱动板电路、位置信号检测电路。驱动电路以 IR2103 芯片为核心,采用直接反电动势法检测位置过零信号。采用全桥 PWM 调节方式,通过改变 PWM 控制脉冲的占空比来调节输入无刷直流电机的平均直流电压,以达到调速的目的。根据转子位置信号以及模式判定模块对开关相进行导通操作。图 4 给出了短脉冲启动方法的软件流程。

将设计开发的电机控制系统在一台 75 W 的 ZSK75-8B 风机管用直流无刷电机上进行试验。电机额定电压为 310 V,额定电流 0.56 A。图 5、图 6 为电机启动过程的电压、电流波形。

由上述实验波形可以看出,电机的转速逐渐增加,并以很快的速度进入到闭环运行,较快地达到了稳定状态。观察电流波形可知,在此过程中并未产生振荡、超调等现象,启动情况良好。在实际调试中,仅仅用占空比 5% 的 PWM 就可以在 0.6 s 进入闭环。

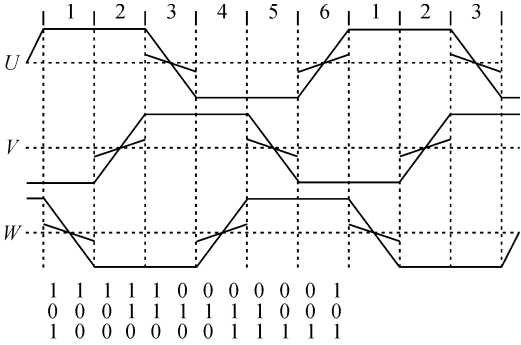


图2 无刷直流电机启动换相原理

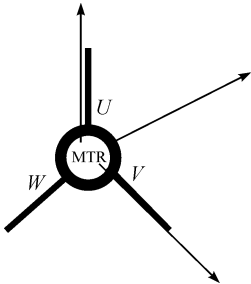


图3 无刷直流电机转子力矩关系

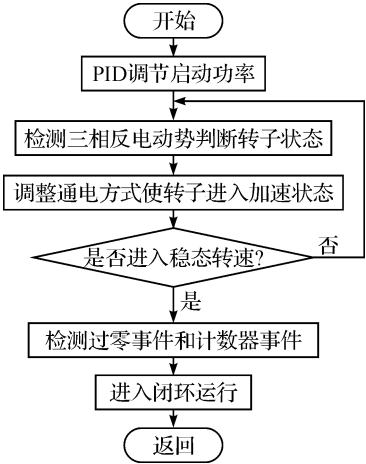


图4 启动的流程

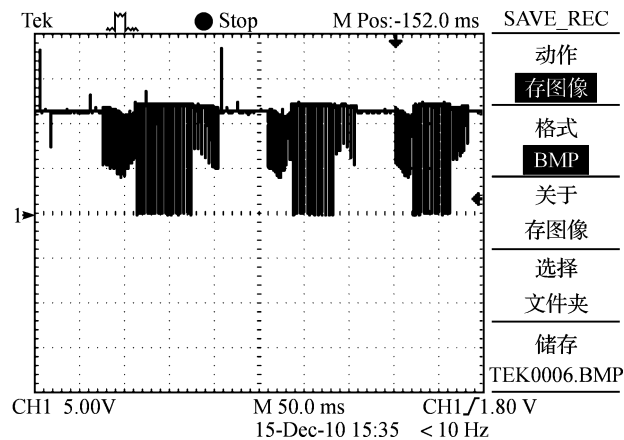


图 5 无刷直流电机启动的电压波形

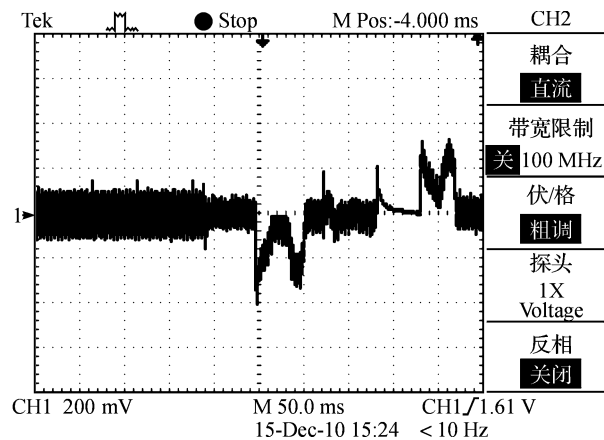


图 6 无刷直流电机启动的电流波形

4 结 论

在分析了无刷直流电机无传感器控制传统启动方法不足的基础上,提出了一种采用短脉冲启动的方法,并介绍了该方法的原理及实现方法。通过搭建的基于 C8051F310 为控制器的无刷直流电机的控制平台进行实验研究,结果表明该方法启动平滑,可靠性高,实用性强。

参考文献:

[1] 沈建新,吕晓春,杜军红,等. 无传感器无刷直流电机三段式启动技术的深入分析[J]. 微特电机, 1998, 26(5): 9-11.
[2] 吴雪梅,景占荣,史永奇. 基于 DSP 的直流无刷电机控制技术研究[J]. 机械与电子, 2005(3): 50-52.
[3] 解恩,刘景林,侯宏胜. 无位置传感器无刷直流电动机启动的设计与实现[J]. 微特电机, 2006, 34(2): 20-22.
[4] 陈清泉,孙逢春,祝嘉光. 现代电动汽车技术[M]. 北京:北京理工大学出版社, 2002.
[5] 薛林锋,罗隆福,杨晨. 基于 DSP 的无位置传感器无刷直流电机控制技术[J]. 长沙电力学院学报:自然科学版, 2005, 20(4): 1-4.
[6] 茅正冲. 无传感器无刷直流电动机启动过程分析[J]. 微电机, 2008, 41(1): 82-84.
[7] 刘玉庆,王冉冉. 基于 DSP 的永磁无刷直流电动机启动策略[J]. 山东大学学报, 2004, 34(1): 47-50.
[8] 罗隆福,杨艳. BLDCM 无位置传感器换相检测和开环启动的软件实现[J]. 微特电机, 2002, 30(3): 39-41.
[9] 李建军. 基于 TMS320F240 的永磁无刷直流电动机的启动方法[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2005(1): 61-62.
[10] 史婷娜,吴曙光,陈炜,等. 无位置传感器永磁无刷直流电机的启动控制研究[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(6): 111-116.

Reasearch on Sensorless Brushless DC Motor Starting Methods

TANG Chang-bo, GU Min-ming, PAN Hai-peng

(School of Machinery & Automation, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Aiming at the starting problem of sensorless permanent magnet brushless DC motor (BLDCM), the paper proposes a modified strategy of short pulse start and introduces its principle and management according to the advantage and disadvantage of common sensorless BLDCM start technology, which improves the reliability of the start. The mode control system based on C8051F301 chip is designed, and the results of experiments are analyzed in this system. The experiments show the realization of the BLDCM control system designed by the paper has achieved good results in the twain mode control of dynamic quality, static quality.

Key words: brushless DC motor; sensorless; back EMF; short pulse start

(责任编辑: 杨元兆)