

# 电势逻辑换相法的 无传感器无刷直流电机驱动系统

济宁师范专科学校物理系 李洪波

无刷直流电机由于其调速性能好、可靠性高、无机械换向器等优点,在诸多领域中得到了广泛的应用。鉴于有位置传感的无刷直流电动机的种种缺陷,无位置传感无刷直流电机的驱动方法成为技术领域研究的热点。

无位置传感器的无刷直流电机的控制关键在于检测转子的位置。以往所采用的反电势法检测转子的位置,这种方法虽然简单实用,但存在着对系统的精度要求较高,在电动机静止或低速运行时,不易检测到转子位置等问题。本文基于反电势法,采用反电势逻辑换相法,通过分析电动机三相绕组反电势的大小,控制逆变器功率器件的导通。三相反电势信号经过滤波、电压比较和逻辑运算后,就可以得到逆变器功率器件的触发信号。这一方法有效的克服了“过零点难以检测”和“启动困难”等问题。

## 反电势逻辑换相法控制方案

无位置传感器无刷直流电机的控制关键在于准确地检测转子的位置。我们设计了专门的电子电路,该系统由控制电路和功率电路组成。控制电路主要有反电势检测、电流检测、调速电路、过压保护电路、欠压保护电路等组成。功率电路主要有整流滤波电路、逆变电路、功率驱动等电路组成(如图1)。该系统以DSP芯片TMS320F240为核心,其中PWM信号利用DSP自带的6路独立的PWM波,由PWM1~PWM6的6个引脚得到输出控制PWM波形。为控制电机的转速、启动停止和正反转,系统引入了三路AD转换,用以检测三路控制信号。控制信号来自于AD转换器对定子三相反电势 $V_a$ 、 $V_b$ 、 $V_c$ 的计算,再经驱动芯片

IR2130功率放大后,加载到相应的功率管的栅极上(如图2)。

反电势逻辑换相法控制原理。设电机三相绕组的反电势分别为 $V_a$ 、 $V_b$ 、 $V_c$ ,各相绕组的反电势是相对于电源地的值,即相对于电路中逆变器下桥臂开关元件的源极的值,而不是相对于三相绕组中性点的值。因此各个反电势都是大于零的。设 $V_{max}$ 、 $V_{min}$ 分别为反电势最大幅值和最小幅值。但 $V_a$ 、 $V_b$ 、 $V_c$ 并非是理想的梯形波,总带有谐波干扰成分,需要进行滤波,否则会干扰电机的正常运行。

电机连续旋转时各相绕组的反电势呈周期性变化。若将转子旋转360电角度的空间分为六个连续的等分区,一个周期的每个区间内,三相绕组的反电势总是呈现三个不同的状态。即:一相绕组的反电势处于 $V_{max}$ 时,另一相绕组的反电势处于 $V_{min}$ ,第三相反电势则处于从 $V_{min}$ 向 $V_{max}$ 变化、或从 $V_{max}$ 向 $V_{min}$ 的变化中。显然,在每种状态中,电流总是从反电势处于 $V_{max}$ 的一相流向反电势处于 $V_{min}$ 的一相。反电势处在变化过程中的一相则无电流,也无电压。从理论上来说,无刷直流电机的每一次换相,都恰好发生在反电势处于过渡过程中反电势为 $V_{max}$ 或为 $V_{min}$ 的一瞬间。但捕捉这一瞬间的信号进行换相很困难,很容易引起失步。为解决这一问题,引入 $\Delta V$ (反电势增量)使换相时刻稍提前。 $V_{one}$ 比 $V_{max}$ 小 $\Delta V$ , $V_{zero}$ 比 $V_{min}$ 大 $\Delta V$ 。只要能准确地判断出这些拐点,就能实现换相。

因而,只要在控制电路中对反电势进行分压,选取合适的分压电阻,就可以得到一个比 $V_{max}$ 小 $\Delta V$ 的 $V_{one}$ 值,比 $V_{min}$ 大 $\Delta V$ 的 $V_{zero}$ 值。然后将 $V_a$ 、 $V_b$ 、 $V_c$ 与 $V_{one}$ 和 $V_{zero}$ 进行比较,便可得到六路时序逻辑信号:A、B、C、D、E、F。

反电势逻辑换相法控制状态。上述六状态中三相绕组的通电状态可用一组000、001、...、111逻辑向量来分别描述,实际情况下000和111的状态不存在。每相绕组的通电状态处于逻辑1时表示:其反电势处于最大电压值 $V_{max}$ ;反电势处于由 $V_{max}$ 向 $V_{min}$ 变化的过程中,且其值大于前面设定的 $V_{zero}$ 。每相绕组的通电状态处于逻辑0时表示:其反电势处于最小电压值 $V_{min}$ ;反电势处于由 $V_{min}$ 向

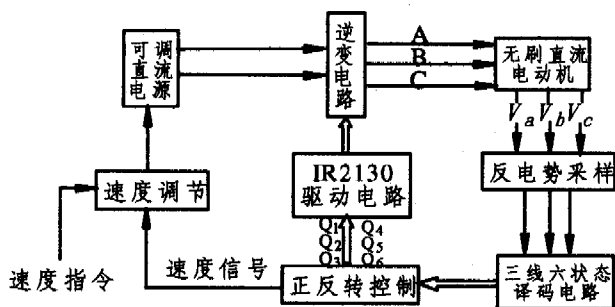


图1 无位置传感器无刷直流电机的控制原理框图

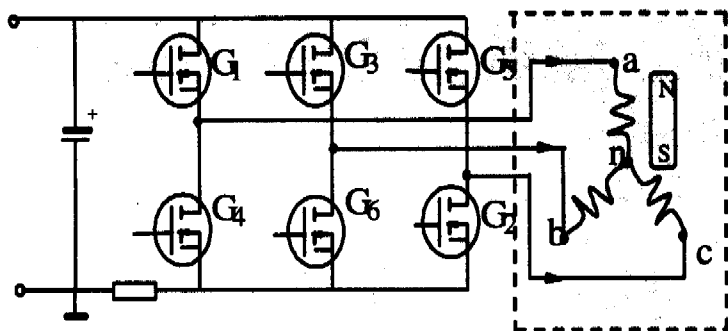


图2 无刷直流电机三相方波主电路

$V_{max}$  变化的过程中,且其值大于前面设定的  $V_{one}$ 。在电动机旋转一周过程中,各相绕组的逻辑量只变化两次。在  $V_c$  波形上的  $S_1$ 、 $S_2$  范围内,C 相绕组处于逻辑 0, 在  $S_2$ 、 $S_3$  的范围内,C 相绕组处于逻辑 1。

**电机启动与正反转控制**

电机转子的初始位置对于实现电机正反转至关重要。在此采用预定位法启动。因为无刷直流电机的绕组是两两导通的,据此可强制触发逆变器中的任意两功率管导通。对电机 A、B 两相通电,电流从 A 相流入 B 相,使其导通一段时间。将转子磁极拖到与定子合成磁势轴线重合的位置,实现预定位。实现转子的预定位后,关断前面的两( $G_6$ 、 $G_1$ )导通管,同时再强制触发下一步该导通的另外两个功率管,最终使电机进入预设的转向运动状态。如选择  $G_4$ 、 $G_3$  管,电流从 B 相流入 A 相,电机趋于正转状态(如图 2)。若在  $G_6$ 、 $G_1$  导通的基础上,选择  $G_1$ 、 $G_2$  管,电流从 A 相流入 C 相,电机趋于反转。这就是说,电机的转向控制取决于电机预定位后所选择的强制导通的那两个管子。转向控制结束后,再由控制电路产生一开关信号,打开译码电路,使逆变电桥各管的通断完全由译码器

控制。若按  $G_6G_1 \rightarrow G_1G_2 \rightarrow G_2G_3 \rightarrow G_3G_4 \rightarrow G_4G_5 \rightarrow G_5G_6 \rightarrow G_6G_1$  的规律使各管两两导通,即按 ABCDEF 绕组状态导通,可实现电机正转;若按  $G_4G_3 \rightarrow G_3G_2 \rightarrow G_2G_1 \rightarrow G_1G_6 \rightarrow G_6G_5 \rightarrow G_5G_4 \rightarrow G_4G_3$  规律,使各管两两导通,即按 AFBCDE 绕组状态导

通,可实现电机反转。

**软件构成**

本软件包括初始化模块和运行模块,用以实现无位置传感器无刷直流电机的反电势检测、电流和转速的调节、PWM 信号的产生等。初始化模块只是在程序开始时运行一次。运行模块是无位置传感器控制的专用程序,主要有 PWM 中断单元和 ADC 中断单元构成。图 3 为主程序结构框图。

无刷直流电机运行时,要不断地输出 PWM 波,并以中断的方式

对 PWM 波进行控制,从而完成电压电流的检测、AD 转换等。其中电机的启动是以标志位 BEGIN 为依据的,当  $BEGIN=1$  时,电机启动; $BEGIN=0$  时,电机停转。在主程序中,会不断检测 BEGIN 的值,以确定电机的运行状态。在 ADC 中断服务子程序中已经根据变量 ADD-SUB 的值确定电机的正反转方向,同时完成换相标志量 CAPT 的赋值,保证主程序中能够实现按设定转向进行正确的 PWM 波输出设置。

随着电机转速的不断提高和反电势波形随着电机 PWM 波的占空比的不断增大,电机速度的不断上升,电机电枢的反电势变化明显。由于该系统采用了 PWM 的设定和调节、AD 转换、电流环的 PID 调节、速度环的 PID 调节、速度检测环等诸多的控制环节,这些环节均可在 DSP 中完成,使参数的调整非常简单。经实验得知,基于 TMS320F240 反电势逻辑换相,对无位置传感器无刷直流电机进行驱动控制,是一种有效和具有推广价值的方法。

□

责任编辑 苑西军

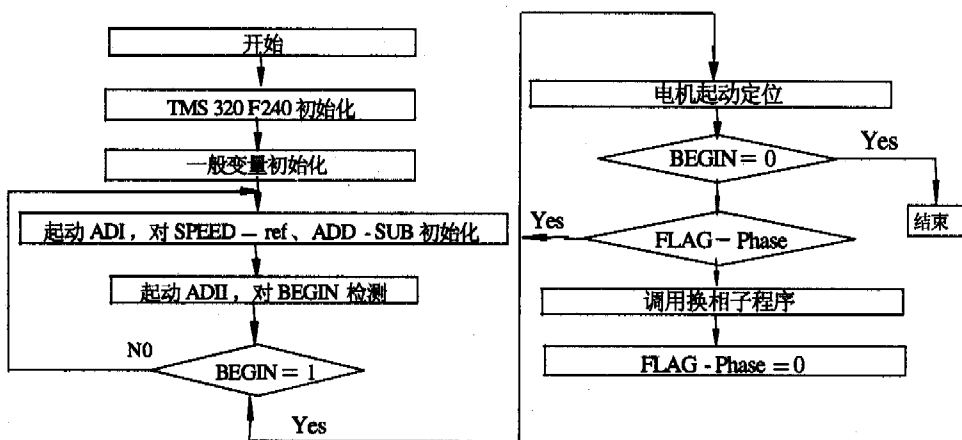


图3 主程序结构框图