

基于 L297 的两相步进电机驱动器

潘海燕,姚朝霞

(台州职业技术学院 电子电气工程系,浙江 台州 318000)

摘要: L297 是一种适用于两相步进电机控制的专用芯片。利用 L297 芯片设计了一种两相步进电机驱动器,给出了该驱动器的驱动电路,并分析了其驱动特性。该驱动器可实现全步、半步控制驱动,具有大功率、斩波驱动、恒力矩、高可靠性等优点,可用于较大功率的机电设备中。

关键词: 步进电机;驱动电路;L297

中图分类号: TM383.6

文献标识码: A

文章编号: 1001-4551(2007)04-0086-03

Two phase stepping motor driver based on L297

PAN Hai-yan, YAO Zhao-xia

(Department of Electronic & Electrical Engineering, Taizhou Vocational & Technical College, Taizhou 318000, China)

Abstract: L297 is a type of dedicated chip applied in control of two phase stepping motor. A new design of two phase stepping motor driver based on L297 was introduced. The drive characteristic was analyzed and the driver circuit was given which can implement the full-step and the half-step control. The scheme has a novel thinking in the advantage of switch control, constant torque, high power and high reliability.

Key words: stepping motor; driver circuit; L297

0 前 言

目前,有较多文献提出了用单片机或其他具有程序控制能力的芯片来实现对驱动电路的控制,从可靠性出发,步进电机驱动电路可以选择专用的硬件控制芯片。L297 芯片采用模拟/数字电路兼容的 1 μ m 工艺,20 脚 DIP 封装,通常以 5 V 供电,全部信号 TTL/CMOS 兼容,是非常适用于两相步进电机控制的专用芯片^[1]。

利用 L297 芯片,笔者设计了一种两相步进电机驱动器。

1 L297 功能分析

L297 的内部逻辑框图,如图 1 所示,其核心电路是脉冲分配器。来自上位计算机的步进脉冲信号经 CLOCK 脚送给脉冲分配器,脉冲分配器能产生上述 3 种时序控制信号,从 a、b、c、d 引脚输出并控制步进电机的绕组开关管。当 HALF/FULL 为高电平时,L297 输出半步单、两相激励方式控制信号;当将 HALF/FULL 接为低电平时,若此时 L297 内部的脉冲分配器处于奇数状态,L297 将输出基本步两相激

励方式控制信号;而若此时的脉冲分配器处于偶数状态,则 L297 输出基本步单相激励方式控制信号。

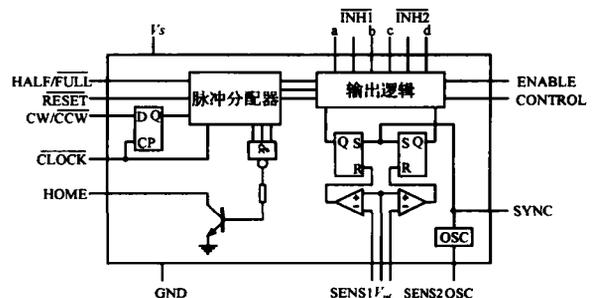


图 1 L297 内部逻辑框图

L297 设有 2 个 PWM 斩波器,每个斩波器由 1 个比较器、1 个 RS 触发器和外接采样电阻组成。其内部设有 1 个公用振荡器,向 2 个斩波器提供触发脉冲信号。振荡器输出的振荡脉冲频率 f 由 16 脚 OSC 的外接 RC 决定, $f = \frac{1}{0.69RC}$ 。振荡器输出的脉冲使 RS 触发器置“1”,L297 产生控制信号驱动电路工作,电机相绕组电流上升,外电路采样电阻上的电压通过 SENS1 或 SENS2 输入 L297 内,当由电机

收稿日期:2006-10-19

作者简介:潘海燕(1972-),男,浙江温岭人,主要从事计算机控制技术方面的研究。

绕组相电流上升所引起的采样电压上升至基准电压 V_{ref} 时,比较器翻转,使 RS 触发器复位,L297 内的输出逻辑电路使 a、b、c、d 输出低电平,驱动相绕组的功率开关管被关断,相绕组电流下降,直至下一个振荡脉冲到来时再恢复。这样,RS 触发器输出的是恒频的 PWM 信号,用来调制 L297 的输出控制信号 a 和 c、d。

2 步进电机的驱动特性

两相步进电机的线圈绕组分为 AB 相和 CD 相,忽略电磁转矩与电流之间的非线性因素,要使电机平稳匀速、等力矩转动,关键是控制电机绕组中的电流^[2-4]。如图 2 所示,在基本步单相激励驱动方式下,相绕组电流将按 I_{AB} 、 I_{CD} 、 I_{BA} 、 I_{BC} 4 拍进行循环;在基本步两相激励驱动方式下,相绕组电流将按 I_{AB} 、 I_{CD} 、 I_{BA} 、 I_{BC} 、 I_{AB} 、 I_{BC} 4 拍进行循环;在半步单、两相激励驱动方式下,相绕组电流将按 I_{AB} 、 I_{CD} 、 I_{CD} 、 I_{BA} 、 I_{CD} 、 I_{BA} 、 I_{BA} 、 I_{BC} 、 I_{BC} 、 I_{AB} 、 I_{BC} 8 拍进行循环。两相激励方式下产生的步进电流将是各相的合成电流矢量,分别为 I_1 、 I_2 、 I_3 、 I_4 ,其幅值是单相电流值的 $\sqrt{2}$ 倍。因此,在半步单、两相激励驱动方式下,为了保持力矩恒定,在电流换向时,如 I_{AB} 、 I_{CD} 、 I_{CD} ,则 CD 相绕组的电流必须提高到原来的 $\sqrt{2} I_{CD}$ 。同样,当基本步两相激励驱动方式改变为基本步单相激励驱动方式时,其输出力矩将下降 $\sqrt{2}$ 倍,也必须提高相电流到 $\sqrt{2}$ 倍才能维持输出力矩的恒定。由于半步单、两相激励方式步进精度高、性能好,而基本步两相激励方式的相线圈利用率高,能产生较大的力矩,同时会产生电磁阻尼,削弱或消除振荡现象,这 2 种控制方式较常被采用。

如图 3 所示,由于绕组电感的影响,绕组中的电流将按 $I = \frac{V}{R} (1 - e^{-\frac{t}{L}})$ 规律上升和 $I = \frac{V}{R} e^{-(t-t_1)/L}$ 规律下降(式中 V —电源电压; L —绕组电感; R —通电回路的总电阻; t_1 —达到 I_{max} 所经历的时间)。一般情况下,电机的磁路将设计成不饱和,因此,当给绕组供电时,驱动电流波形将按图中的波形所示上升到 I_{ref} 后,由驱动器维持绕组电流直至下降时刻。为了获得好的高频性能,使绕组中的电流上升波形变陡,可以用高电压驱动的方法来缩短电流上升到 I_{ref} 的时间,如图中的波形所示。不可避免的是,由于电流有较大的上冲,该驱动方式下电机的低频噪声将较大,以高电压供电则导致电源电路的复杂性,在线圈及其限流电阻上会产生损耗和发热。实践证明,在相线圈刚开始供电阶段,通过延长电流上升时间,能获得较好的牵出力矩并改善电机的启动性能,这可以在维持供电电压为 V 不变的情况下,通过提高参考电流到 I_{ref} 来实现。

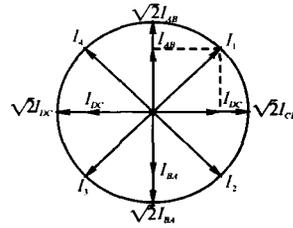


图 2 合成电流矢量

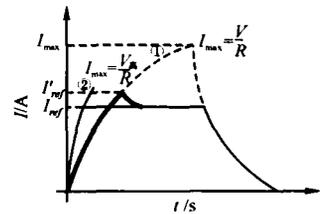


图 3 相线圈驱动电流波形

3 电路解决方案

完整的步进电机驱动电路包括电源、接口隔离、控制信号产生、前置放大和功率开关电路,以及电流控制、过流检测与保护电路等^[5,6],AB 相绕组包括有电流控制功能的驱动控制电路,如图 4 所示。

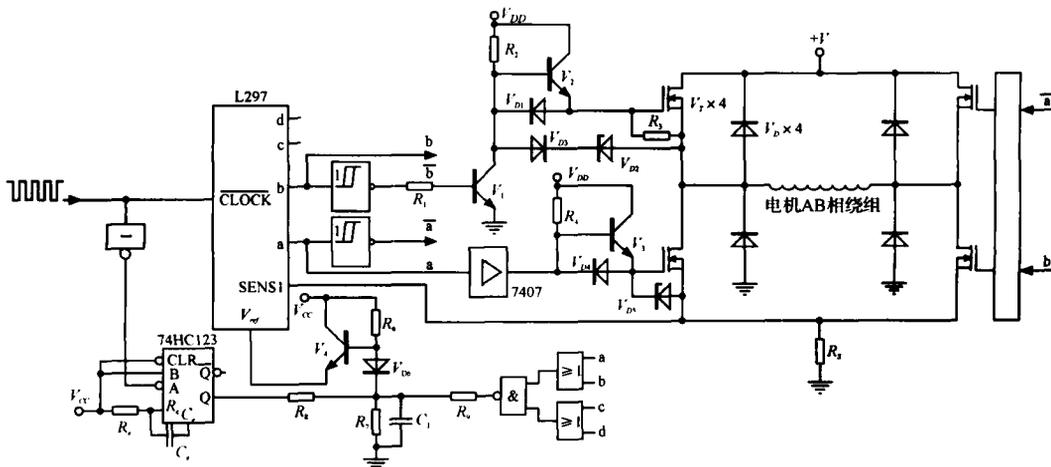


图 4 步进电机 AB 相绕组驱动电路

L297的CLOCK接收来自上位计算机的步进脉冲信号,每个CLOCK的上升沿使内部的脉冲分配器改变状态,产生控制时序并从 \bar{a} 、 \bar{b} 、 \bar{c} 、 \bar{d} 引脚输出,其中的 \bar{a} 、 \bar{b} 信号经取反后产生 a 、 b 信号。笔者选用4只 $I_b = 20\text{ A}$, $V_{DSS} = 500\text{ V}$, $R_{DS(ON)} = 0.27$ 的MOSFET管RFP460作为电机相绕组AB的电流控制开关 V_T ,为了能快速开通 V_T 管,减少开通时的电压上升时间,其中的 \bar{a} 信号经集电极开路的7407缓冲后,驱动由 V_3 管组成的充电电流提高电路,加快 V_T 开通速度,消除其结电容对开关速度的影响。 V_{D5} 为 V_T 关断提供电流释放通路,其关断时间取决于7407输出低电平时的电流吸收能力,时间亦较短。由于对上桥臂的 V_T 管栅极需以很高的 V_{DD} 来控制, \bar{b} 信号是经 V_1 管($V_{CEO} = 300\text{ V}$)反相后去控制 V_2 管的。

L297的 V_{ref} 是基准电压输入端,用于确定电机绕组电流的稳定值。电机绕组AB相的电流经 R_s 采样后送入到L297的SENS1引脚,其内部的PWM斩波器会比较SENS1与 V_{ref} 值的大小,从 \bar{a} 、 \bar{b} 引脚输出斩波控制信号。为了保证步进电机恒力矩电流换相,将 \bar{a} 、 \bar{b} 、 \bar{c} 、 \bar{d} 的控制信号经 $\bar{a} + \bar{b}$ 、 $\bar{c} + \bar{d}$ 相或后又经与非门去控制 R_9 接地或接高电平,从而改变 V_4 管的基极电位,控制其输入到L297的 V_{ref} 电压大小。当L297输出半步单、两相激励信号使相绕组AB或CD单相工作时,将提升 V_{ref} 电压达 $\sqrt{2}$ 倍。考虑到转矩电流特性的非线性,选取的元件参数使 V_{ref} 相应增大约1.4倍即可。

另一方面,为了延长步进脉冲到来初始时刻的相绕组电流上升时间,需提高 V_{ref} 电平。笔者将CLOCK经反相后输入到74HC123单稳态触发器,在L297的脉冲分配器改变状态的同时,74HC123在其Q端输出时间常数为 $\tau = 0.45R_c C_c$ 的高电平,从而通过 R_8 去控制 V_4 管,使L297在该时间内的 V_{ref} 升高。

对绕组CD的控制,在 \bar{c} 、 \bar{d} 、 \bar{c} 、 \bar{d} 的控制下采用与上述完全相同的驱动电路,但其绕组电流经 R_s 采样后,要送入到L297的SENS2引脚。

4 实验研究

笔者将驱动器电路用于改造立式摇臂万能铣床XJ6325A,两轴中均接入110BYG4601混合式步进电机,驱动电压为110V。驱动器工作于基本步两相激励方式或半步单、两相激励方式,L297的 \bar{a} 、 \bar{b} 、 \bar{c} 、 \bar{d} 产生的控制信号,如表1、表2所示。

表 1 基本步两相激励方式下的相电流方向和控制信号

相电流方向	abcd	相电流方向	abcd
A B, C D	1010	B A, D C	0101
B A, C D	0110	A B, D C	1001

表 2 半步单两相激励方式下的相电流方向和控制信号

相电流方向	abcd	相电流方向	abcd
A B	1000	B A	0100
A B, C D	1010	B A, D C	0101
C D	0010	D C	0001
B A, C D	0110	A B, D C	1001

分别测试某相绕组的电流波形,如图5所示。



图 5 相绕组的电流波形

5 结束语

该步进电机驱动电路可广泛用于较大功率的机电设备及对普通机床的数控改造中,适合于驱动电压超过100V的混合式两相、四相步进电机。使用时可根据实际情况采用两相或四相输出,仅作少量的电路修改即可进行基本步单相、基本步两相或半步单、两相驱动。

与小功率步进电机的控制电路(L297与L298芯片合用)相比较,本方案设计出的步进电机驱动器由斩波大电流驱动,转矩输出稳定,工作可靠,性能比一般的驱动器有较大的改进。

参考文献:

- [1] 谭建成. 电机控制专用集成电路[M]. 北京:机械工业出版社,2003.
- [2] YE SM, LD L. Design of PWM constant current division drive circuit of stepper motor[J]. Mechanical & Electrical Engineering Magazine, 2004, 21(12): 20 - 22.
- [3] ZHAO T. Application of 3955 in stepper motor microstepping control[J]. Mechanical & Electrical Engineering Magazine, 2003, 20(2): 46 - 49.
- [4] WANG YL. High and low voltage exchange for stepper motor drive[J]. Mechanical & Electrical Engineering Magazine, 2005, 22(10): 35 - 37.
- [5] YU S Z, LIL X, CHEN W H. Calculation of step motor's speed-up/down curve for a kind of variable load[J]. Mechanical & Electrical Engineering Magazine, 2004, 21(4): 20 - 22.
- [6] SUN R. The step motor driver based on PIC16F73/PIC16F873 MCU[J]. Mechanical & Electrical Engineering Magazine, 2003, 20(6): 8 - 10.

[编辑:李 辉]