

3 个桥臂共有 8 种导通状态，每种状态和逆变单元输出端输出电压的对应关系如表 1。

表 1 开关导通状态与三相逆变单元的输出电压对应关系

c	b	a	V_a	V_b	V_c
0	0	0	0	0	0
0	0	1	$2V_{dc}/3$	$-V_{dc}/3$	$-V_{dc}/3$
0	1	0	$-V_{dc}/3$	$2V_{dc}/3$	$-V_{dc}/3$
0	1	1	$V_{dc}/3$	$V_{dc}/3$	$-2V_{dc}/3$
1	0	0	$-V_{dc}/3$	$-V_{dc}/3$	$2V_{dc}/3$
1	0	1	$V_{dc}/3$	$-2V_{dc}/3$	$V_{dc}/3$
1	1	0	$-2V_{dc}/3$	$V_{dc}/3$	$V_{dc}/3$
1	1	1	0	0	0

2 硬件系统组成

该伺服运动控制系统采用 DSP+FPGA+IPM 的框架来实现两电机的伺服驱动和运动控制功能。系统框图如图 3。伺服驱动部分采用 DSP+IPM 架构，DSP 芯片采用 TI 公司的 TMS320F2812 芯片，具有集成度高、运算速度快和控制功能强等特点，主要完成速度，电流，位置环的计算和 2 组 PWM 的输出；IPM 不仅把功率开关器件和驱动电路集成在一起，而且还内藏有过电压，过电流和过热等故障检测电路，并可将检测信号送到 DSP 作中断处理。运动控制部分采用 DSP+FPGA 架构，DSP 采用 TI 公司的 TMS320LF2407，FPGA 芯片采用 Actel 公司的 A3P400PQ208。运动控制和伺服驱动之间通过 FPGA 芯片实现数据的并行交换。

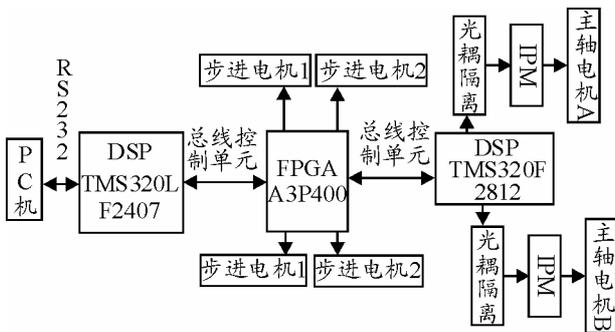


图 3 伺服运动控制系统框图

2.1 运动控制部分的硬件结构设计

FPGA 芯片 (A3P400) 起 TMS320F2812 与 TMS320LF2407 通讯的桥梁作用，通过数据总线和地址总线将两主轴电机的编码器信号，报警信号，脉冲信号，伺服使能信号传给 TMS320LF2407 处理。此外，TMS320LF2407 还要完成对 4 个步进电机的控制：FPGA 根据收到的控制命令，产生对应的 PWM 波形，驱动功率驱动模块来控制电磁铁的吸合。功率驱动电路如图 4，功率管 2SK2789 由 PWM

波驱动，当 PWM 波处于高电平时，功率管导通，电磁铁处于吸合状态，当 PWM 波处于低电平时，功率管关断，电磁铁处于断开状态。通过控制 PWM 波的频率和占空比，有效地控制功率管的通断时间，VD1 是保护二极管、线圈。电磁线圈连接示意图如图 5。

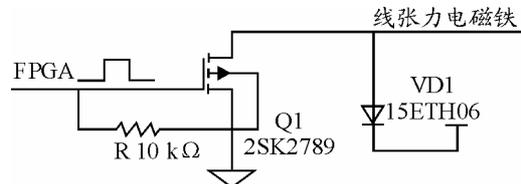


图 4 功率驱动电路

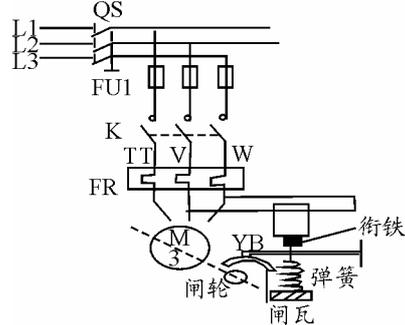


图 5 电磁线圈连接示意图

在采集步进电机编码器时，应在接口旁边连接一个 74LVC14AD 反相器，保护 DSP 芯片。

2.2 双轴伺服驱动部分的硬件结构设计

硬件结构设计包括控制电路、主电路和保护电路 3 部分组成。

2.2.1 控制电路的设计

控制电路主要的核心是 32 位定点 DSP 芯片 TMS320F2812，通过接收外围电路送来的电流、转速和位置信号来实现对永磁同步电机的闭环控制。最后，将计算所得到的 PWM 波形送出给 IPM 的驱动芯片。控制电路框图如图 6。

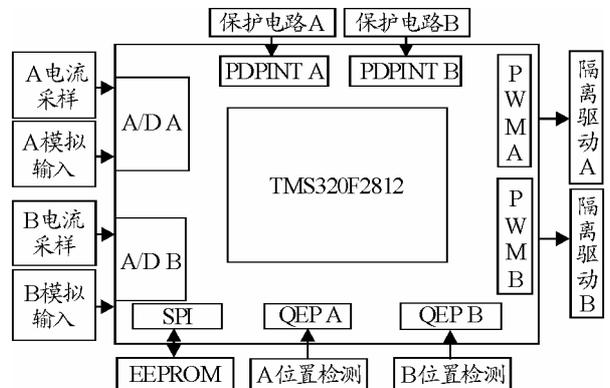


图 6 双轴控制电路框图

2.2.2 主电路的设计

主电路主要由三相交流整流电路、IPM 模块及

其驱动电路、缺相检测电路等部分组成。

1) 三相交流整流

主电路采用 AC / DC / AC 电压型逆变器模式。输入三相交流 220 V 电源经过桥式整流器整流得到 310 V 直流电源 (直流母线)。为保持直流电压的相对稳定, 在母线之间并联若干大容量的电解电容, 起滤波稳压的作用。同时, 为了抑制电机在减速或突然停止过程中产生的反电势, 避免因其过高而导致功率器件的损坏, 并尽量缩短减速过程, 需要设计制动电路来消耗部分能量, 即能耗制动。

2) IPM 模块

双轴伺服控制采用 2 个逆变器分别驱动 1 台主轴电机。逆变器选用 PS21867 的 IPM, 其内部集成了驱动缓冲电路和各种故障检测保护电路。逆变器的各个开关都采用高速光耦驱动, 所有 PWM 引脚都上拉为高电平以防止开关误通损坏 IPM。在 IPM 的输出端各串联采样电阻, 通过光耦实时检测 2 台电机电流的瞬时值。

3) 缺相检测电路

缺相检测的原理是: 基于两相相差 120° 的交流电之电压差仍为随时间变化的同频率正弦电压, 将其施加在图 7 的电路板上, 则每 20 ms (50 Hz) 会产生一个脉冲信号, DSP 对该脉冲信号进行检测, 当脉冲信号消失后, 即可认为缺相事件发生。

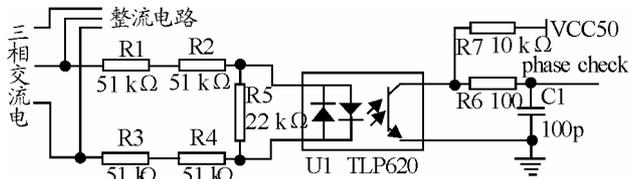


图 7 缺相检测电路原理图

3 软件系统组成

3.1 运动控制部分的软件结构设计

在 FPGA 内部设置 2 个计数器 T1、T2, T3 计数值均由 DSP2407 写入, T1 计数值用于产生一定频率的脉冲, 即 PWM 波的频率, T2 计数值对应 PWM 波的高电平宽度。当 T1 计数满后, 会触发 PWM 波由低变高, 打开功率管 2SK2789, 同时 T1 从 0 开始重新计数, 启动 T2 计数器计数, T2 计满数后, 触发 PWM 波由高变低, 关闭功率管 2SK2789。T3 选择步进电机轴 1、2、3、4。只要改变 T2 计数器的值, 就可获得不同频率不同脉宽的 PWM 波形, 以控制 4 个步进电机。

3.2 双轴交流伺服驱动软件设计

系统软件主要由初始化程序、主程序和中断服

务子程序组成。初始化程序主要完成对 DSP 寄存器初始设置和控制相关变量和常量的初始化。主程序主要完成人机交互、系统自检以及与上位控制系统的信息交互等功能。定时器中断服务子程序是电机控制的核心程序, 负责对电机的实时控制、按键扫描和数码管显示驱动等功能。中断服务子程序中的定时器中断的流程图如图 8。

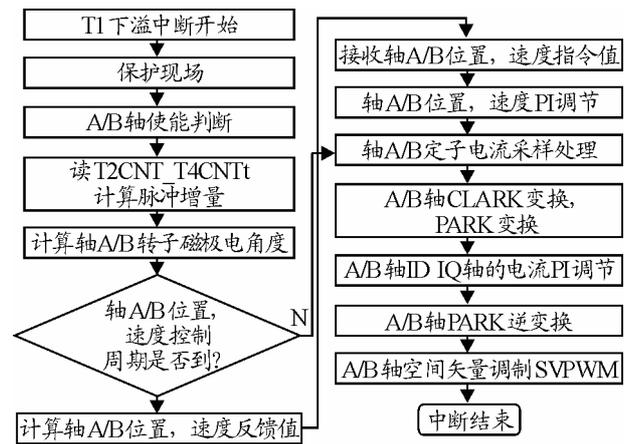


图 8 定时器中断示意图

DSP (tms320f2812) 中的 EVA、EVB 两个事件管理器完成双轴 PWM 波的生成。EVA 的定时器 T1 作为 A 轴伺服电机 PWM 驱动单元的时间基准, EVB 的定时器 T3 作为 B 轴伺服电机 PWM 驱动单元的时间基准, T1 与 T3 都以连续增减模式同步计时。设置 T1 下溢中断为系统主中断, 当 T1 下溢时, 同时刷新两轴的 PWM 信号输出、保护现场, 并进行 A、B 轴的使能判断。A、B 两轴的位置和速度反馈脉冲的计数由 EVA 的定时器 T2 和 EVB 的定时器 T4 来实现。如果他们的使能置于 ON, 则首先锁定两个轴的位置脉冲反馈量, 然后在同一个中断控制周期中先后完成两轴的反馈信息的 A/D 采样及处理、矢量坐标变换、位置、速度、电流的三闭环伺服控制和 SVPWM 计算输出。这种设置伺服使能标志 (ASRV-ON 与 BSRV-ON) 的方法, 可以自由选择两轴的运行模式, 保证两轴伺服控制的相对独立, 两轴既可以按照各自接收的指令独立运行, 也可以双轴同时运行。

4 结束语

该系统实现了 2 个驱动器和 1 个运动控制器的功能, 可对 2 台伺服电机和 4 个步进电机进行运动控制。实验证明, 该方法能有效提高系统的实时性, 可靠性, 控制精度。同时, 简化了外围电路, 降低了伺服控制的成本。

(下转第 96 页)

```

{
value+=FIELD_GET(regRead32(CRT_FB_WIDTH),
CRT_FB_WIDTH, OFFSET) *
(FIELD_GET(regRead32(CRT_VERTICAL_TOTAL),
CRT_VERTICAL_TOTAL, DISPLAY_END) + 1);
}

```

系统在初始化时，就会将 CRT 和 LCD Panel 两种视频输出模式同时初始化了。

1.3 SM502 时钟设置

SM502 视频驱动一般只支持 2 种外部时钟模式 12 M 或者 24 M, 但系统中使用 11.059 M 时钟晶体, 这就需要修改程序中相关时钟的配置代码。具体参见 SM502 的数据手册中提供的时钟树。

根据时钟树, 以 11.059 M 时钟为基准, 推算相关寄存器的设置, 修改 “voyager.c” 文件中的相关代码如下:

1) 在 “long findClock (long requested_ clock,

(上接第 81 页)

参考文献:

[1] 刘和平, 邓力. 数字信号处理器(DSP)TMS320F28X[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007: 134-171.
 [2] 王晓明, 王玲. 电动机的 DSP 控制—TI 公司 DSP 应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2004.
 [3] 卢志刚, 吴杰. 数字伺服控制系统与设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007: 367-383.
 [4] 罗朝霞, 高书莉. CPLD/FPGA 设计及应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2007: 145-151.
 [5] 刘昌华. 数字逻辑 EDA 设计与实践[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2006: 308-317.

(上接第 91 页)

(4) 2 个夹持座的控制: 采用电磁阀控制气缸来控制夹持座 A、B 的夹持与松开, 夹持座 B 的提升与下降。

(5) 待分瓶的开盖与盖盖过程: 开盖由机器人 A 把转台 A 上待分瓶提到夹持座 A 上, A 座夹持后, 机器人 A 再垂直上移, 并移动到转台 A 上方停止, 实现开盖。盖盖是当待分瓶液体分完后, 夹持了瓶盖的机器人 A 移动到夹持座 A 上方再下移, 将瓶盖插入, 然后松开夹持座 A, 机器人 A 再上移, 直到插入转台 A 的待分瓶槽座中, 实现盖盖并回原位。

clock_select_t *clock, display_t display)” 函数中, 将 “for (mclk = 288000000; mclk <= 336000000; mclk += 48000000)” 改为 “for (mclk = 132708000; mclk <=154826000; mclk +=22118000)”;

2) 在 “void programMode(reg_table_t *register_table)” 中, 在 CRT 部分的 SetPower 函数设置之前添加代码 “clock = clock | 0x00010000”。

3 结论

经过以上步骤, 重新编译内核, 下载到 Flash, 上电重启后, 即可在屏幕的左上角看见小企鹅图标了, 并且/dev 下有 fb/0。cat /dev/zero > /dev/fb/0 和 cat /dev/null > /dev/fb/0, 就可以看到屏幕黑白变化了。

参考文献:

[1] SM502 Mobile Multimedia Companion Chip Databook.
 [2] Intel PXA27x Processor Family Developer’s Manual.
 [3] 景富军, 范华献. 西门子 802C baseline 数控系统应用[J]. 兵工自动化, 2009, 28(9): 76-77.

接受瓶的开盖与盖盖过程操作方式与待分瓶一样。

3) 触摸屏监控程序设计

采用 WINCC 组态软件开发工具进行人机监控程序设计, 其主要功能有: 操作员登陆、运行参数输入 (含待分瓶数、单瓶容量, 接受瓶数、单瓶容量, 取样嘴规格等)、分装过程图形化监控、分装数据在线查看、自动运行操作界面、点动操作界面、分装数据储存管理等。

4 结论

经多次实验调试, 该系统能够按时完成对带盖瓶装液体 (采用纯净水) 的自动分装, 达到的主要技术指标是: 位置定位精度 0.2 mm, 单个接受瓶分装时间 3 m, 移液容量精度为 0.003 ml, 称量精度为 2.1 mg, 满足设计要求。

参考文献:

[1] 聂诗良, 等. 放射性同位素溶液自动分装系统的研制[J]. 同位素, 2005, 18(4): 193-196.
 [2] 陶建国, 等. 机械手在同位素自动分装系统中的应用[J]. 机械工程师, 2001(11): 55-56.
 [3] 张景明, 等. 放射性胶囊自动分装控制系统研究[J]. 机床与液压, 2008, 36(3): 152-154.
 [4] 陈勇, 等. 基于模糊控制的放射性试剂分装机器人[J]. 仪器仪表学报, 2009, 30(2): 330-334.