

TMS320LF2407A 矢量控制

变频器的开发经验

■ 邵阳学院 林立

随着电力电子技术与信息电子技术的飞速发展，高性能的变频调速传动取代直流传动成为不争的事实。目前，国产变频器在我国的市场占有率只占20%~30%，而70%~80%的变频器国内市场被德国、美国、日本等发达国家占领，这和我国的经济的发展很不相称。但近年来，我国从事变频器开发的工程技术人员越来越多，不久的将来，国产变频器在国内的市场占有率将会越来越大。笔者近年来从事变频器的研究开发，取得了一些经验。希望对从事变频器开发的科技工作者有所帮助。

1 硬件设计与调试

1.1 硬件设计时应注意的问题

在以DSP作为控制器的变频器开发过程中要注意以下几个问题。

(1) 主电路的设计

目前，国内外生产的变频器，主电路相当成熟，大多采用交-直-交结构。考虑到性价比，整流部分一般可以采用单相或三相桥式整流模块。为了解决变频器启动时的限流问题，可以在主电路中设置限流电阻。在启动电压达到设定值时，利用自己设计的控制电路将限流电阻切除(采用最简单的继电器控制就可以达到此要求)以节约能源。为了解决整流后的谐波问题，直流部分采用两个电解电容串连来滤波。考虑到电解电容的分散性，可以在两个电容的两端并联均压电阻。此外，变频器的主要用户是电动机，因此，为了使得电动机反向制动的能量得以释放，在直流部分，设计泵升电压处理电路(该电路的切除，需要利用DSP编程加以实现)。逆变部分采用智能功率模块IPM，这是从事变频器开发的首选。原因是，IPM模块将功率器件、驱动电路、保护电路集于一体，性价比高(日本三菱公司的PM25RSB120、PM15RSB120等就是比较好的IPM模块)；再加之TMS320LF2407A DSP的良好控制性能，使得变频器的开发工作，变得快捷而方便。利用DSP的PDPINT引脚可以实现泵升电压、IPM内部功率器件IGBT的过热、过

压、失压等保护(可以引出这些要保护环节的信号，通过一个多输入端与门后通过光电隔离再送入DSP，DSP收到信号以后进入PDPINT中断处理程序，实施相应的保护动作)。在主电路设计时，特别要注意的是，所选用的电力电子器件要有2~3倍的裕量。设计时，笔者曾碰到为了购买一个电子器件花了一个月的苦烦事，因此设计时要选用主流电子元器件和在市场上容易买到的电子元器件，这样可以节省开发时间。

(2) 控制电路的设计

TMS320LF2407A DSP是变频器控制的核心，它主要完成矢量控制算法、电流检测、速度检测、PI调节、压流变换、频率设定、液晶显示等任务。可以说，控制电路设计的好坏直接关系到变频器的性能与是否能够正常运行。总结变频器开发的经验，我觉得控制电路需要包括三个部分：DSP最小系统、数字信号接口电路和模拟信号接口电路。为了节约开发时间，可以使用TMS320LF2407评估板。该开发评估板具有丰富的扩展电路，评估板为用户提供了总线扩展接口，其中包括了几乎所有来自DSP的信号。这就为设计提供了方便，查阅TMS320LF2407A评估板的资料(如电路原理图、PCB图和开发使用说明，需要的话可以和作者联系)，熟悉该评估板的电路原理和使用方法只要几天的时间，比起自己设计调试要便利得多。在利用该评估板和自己设计的数字接口、模拟接口和主电路组成变频器系统调试通过以后，将评估板中用到的电子元器件再制成一个DSP最小系统控制板，变得快捷而又方便。对刚从事变频器开发的科技人员来说，这一点可以起到事半功倍的效果。笔者就是从此起步完成了开关电源、UPS电源等装置的研制工作。笔者曾经将DSP最小系统、数字接口模拟接口电路作在一个板子上，实践表明，该方法不利于变频器性能的提高。考虑到高频干扰，将DSP最小系统单独做成一个控制板，起到了很好的效果。

总之，变频器硬件电路设计是变频器设计非常关键的一环，这对以后硬件调试、软件设计以及硬软联机调



试非常有用。有了硬件平台作支撑，就可以研究变频器的控制算法，研制高性能的变频调速装置了。

1.2 硬件调试时应注意的问题

① 在硬件调试前，应先对电路板进行仔细的检查，观察有无短路或断路情况（因为 PCB 板的布线一般较密、较细，这种情况发生的概率还是比较高的）。加电后，用手感觉是否有些芯片特别热。如果发现有些芯片烫得特别厉害，需要立即关掉电源重新检查电路。排除故障后，应检查晶体是否振荡，复位是否可靠。然后用示波器检查 DSP 的时钟引脚信号是否正常，若正常则表明 DSP 本身工作基本正常。检查 DSP 最小系统是否正常工作，这在硬件调试时必须首先进行，为以后的调试打下了基础。

② 在调试 DSP 硬件系统前，应确保实验板供电电源有良好的恒压恒流特性。特别要注意的是 DSP 的供电电压应保持在 $(5.0 \pm 0.05)V$ 。电压过低，通过 JTAG 接口向 Flash 写入程序时会出现错误提示；电压过高，会损坏 DSP 芯片。由于电源电压过高，笔者曾有一个下午烧坏 2 块 DSP 的惨痛经历。另外，由于在调试时要频繁对实验板开断电，若电源质量不好，则很可能在突然上电时因电压陡升而烧坏 DSP 芯片。这样会造成经济损失，又将影响开发进度。因此，在调试前应高度重视电源质量。我国市电电压波动很大，在硬件设计时，为了减少市电电压波动的影响，在加入 PM25RSB120 的 P、N 直流电压端子前先用两个电解电容进行滤波，就是这个道理。

③ 利用仿真软件排除硬件故障。当完成对电路板的检查后，就可以通过仿真软件来调试程序。由于仿真时，程序代码下载到目标系统中的片外程序存储器，因而通过仿真软件可以比较容易的检查一些硬件故障。上电后，若仿真软件调试窗口始终无法调入程序，此时有两种可能：其一，DSP 芯片引脚存在断路或短路现象；其二，DSP 芯片损坏。倘若是第一次利用仿真软件调试程序，此时应对实验板断电，仔细检查 DSP 芯片各引脚的焊接情况。若软件调试窗口曾正确调入程序，则可能是 DSP 芯片损害，此时，可通过检测实验板的整板阻抗来进一步判断 DSP 芯片是否受损。若整板阻抗急剧下降，则切断给 DSP 芯片供电的电源线，检测 DSP 芯片的电阻。正常的 DSP 芯片电阻为 $M\Omega$ 级，若被测芯片电阻明显低于该值，则可断定 DSP 芯片已损坏。

2 软件设计与调试

2.1 软件设计应注意的几个问题

在进行矢量控制变频器的 DSP 软件设计时注意以下

几点，可以大大减少开发时间。

(1) 养成模块化编程风格

整个系统程序由头文件、命令文件、汇编语言文件组成。其中，汇编语言文件包括主程序、子程序、中断服务程序和假中断服务程序四大部分。子程序包括：系统初始化子程序、电流磁链转换模块、捕捉事件驱动模块、速度检测模块、相电流检测模块、光电编码器脉冲计数模块、电流环的 PI 控制模块、速度环的 PI 控制模块、斜坡信号产生模块、PARK 变换、PARK 逆变换、旋转角度正弦函数表、空间矢量产生模块和 PWM 波的发生模块。为了调试程序方便，对于每一个模块要分开调试通过，最后联机调试，这样可以大大减少调试时间。

(2) 参数处理

在进行电机参数处理时，采用标么值处理显得十分方便。电机参数采用标么值以后，不同功率的电机其电流、电压、电功率、电阻、漏抗具有相同数量级的值。考虑到控制精度与数据的表达范围，可以采用 Q4.12 格式处理数据。计算时，一般采用定子边电流、电压、功率作为电机的基值。

(3) 数据页 DP

在所有程序中必须初始化 DP。初始化 DP 非常重要，复位不能初始化 DP。上电时，DP 是随机的，没有初始化 DP 的程序就不能正确执行。另外，在编程时应注意：① DSP 对片内存储器的访问比片外存储区要快，因此，要将经常使用的数据分配到片内存储空间，以提高数据处理速度；② 尽可能采用直接寻址方式，这样可在提供较大数据访问能力的同时，提高指令速度。

2.2 软件调试时应注意的几个问题

总结软件调试的经验，以下几点值得注意。

(1) 流水线冲突问题

LF2407 采用四级流水线操作，指令流水线由一系列总线操作组成，它具有 4 个独立的操作阶段：取指、译码、取操作数和执行。它们可以交替进行，在任意的指定周期内，1~4 个不同的指令均可有效，各指令均处于不同的完成阶段。因此，流水线冲突是不可避免的。通常情况下，发生流水线冲突时，可调整程序语句的次序或在相应位置插入一定数量的 NOP 指令来解决。

(2) 有效利用片内闪存

LF2407A 的一个显著优势是具备 32KB 的片内闪速存储器。它具有可擦除、可编程和非易失电源的特点。在复位期间，通过跳线，将 MP/MC 置为低电平可以选择闪存。若未选，则从片外存储器开始执行操作。 67



于空闲状态。该线程每隔 60 个时间片就运行一次，查看在过去的 60 个时间片内系统是否空闲，如果没有则将空闲计数器增 1，如果有则将空闲计数器置零。实现该内核进程的关键就在于如何判断系统是否空闲，笔者在这里使用的方法是判断过去的 60 个时间片内有无键盘中断发生。主要原因在于以信息处理为主要目的的手持设备，其主要任务就是响应用户的操作，如果用户长时间无操作发生，则系统必处于空闲中，自然可以将其切换至 suspend 状态以省电。这里空闲时间是指无键盘中断发生，由于该线程采用了开放的底层设计和实现，所以在运用到特定的手持设备时，可以根据该系统的特点和客户的需求很方便的在源码中加入对特定设备中断的检查，比如触摸屏及网络接口等。

具体判断有无键盘中断发生是通过比较两次键盘中断次数来实现的。通过内核函数 `kstat_irqs(int irq)` 来获得键盘的中断总数，如果本次检查的键盘中断发生数与上次检查的数值一样，则可说明用户在这 60 个时间片内无操作，空闲计数器可增 1；如果不相等，则说明有操作，系统不处于空闲中，空闲计数器将被重置为 0，重新开始计数。当空闲计数器达到一个比较大的值时，比如 200，说明系统空闲时间过长，就可以切换至 suspend 状态以节省电池电量。由于每个时间片都很小，所以实际检查频率相对于人的操作来说要快的多，而且空闲计数器是个连续累积的结果，因此空闲时间的计算相对来说也是比较准确的。在利用 `kstat_irq()` 来获得特定设备中断次数的过程中，还有一个问题要解决，就是如何获得特定设备对应的 irq 号。笔者是通过读取中断向量表，逐个对比设备名称而得到的。必须注意的一点是，要在向量表完全建立之后才能去匹配设备名，否则

系统就会出错。完成上述所有工作后，将其以模块的方式编译进内核，运行新内核。使用 `ps` 命令可以看到 `kpmd` 正常运行，在停止输入操作 2 min 后，系统自动进入 suspend，通过 GPIO 按键可以将系统正常唤醒，与此同时保留了系统 /proc 下原有的用户接口，使用户可以手动将系统切换至 suspend 状态。

4 结 论

本文具体描述了在 ARM 平台上实现简单电源管理功能的过程，为以后在其它平台上该功能的实现积累了经验。虽然实现的电源管理功能还非常简单，但已经能够基本达到降低电力消耗，延长使用时间的目的，为将来实现更为完善的电源管理功能打下了比较好的基础。

参考文献

- 1 邹思轶. 嵌入式 Linux 设计与应用. 北京: 清华大学出版社, 2002
- 2 Intel XScale. <http://www.intel.com/design/pca/applicationsprocessors/>
- 3 ARMBoot. <http://sourceforge.net/projects/armboot/>
- 4 ARM Linux. <http://www.arm.linux.org.uk/>
- 5 马忠梅. ARM 嵌入式处理器结构与应用基础. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002
- 6 陈章龙. 嵌入式系统——Intel StrongARM 结构与开发. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002
- 7 Sharp Zaurus. <http://www.zauruszone.com/>
- 8 唐寅. 实时操作系统应用开发指南. 北京: 中国电力出版社, 2002

(收稿日期: 2004-07-14)

G+ 在利用 JTAG 进行硬件仿真时，有时会出现程序无法全速运行的情况。这时，不要总是在程序上苦思冥想，可以开阔思路从别处着手。若确信程序没有什么问题，不妨试着将程序写入闪存运行。笔者曾遇到类似情况，程序烧入运行后一切正常；经分析可能是试验板上的片外程序、数据存储器的布线不够规范。调整布线重新制板后，程序在硬件仿真时也就能全速运行了。

3 小 结

研制以 DSP 为控制器的矢量控制变频调速器技术越来越成熟，了解和掌握变频器的研究开发，制造高性能的变频器对占有国内国外两个市场有着十分重要的作用，笔者以上的经验希望对正在从事变频器开发的读者有一定的启发。

参考文献

- 1 黄红兵. TMS320C2XX 开发设计中应注意的几个问题. 电子技术应用, 2002 (12)
- 2 尹勇. DSP 集成开发环境 CCS 开发指南. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2003
- 3 韩安太. DSP 控制器原理及其在运动控制系统中的应用. 北京: 清华大学出版社, 2003
- 4 刘和平, 王维俊, 江渝, 等. TMS320LF240X DSP C 语言开发应用. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2003
- 5 江思敏. TMS320LF240X DSP 硬件开发教程. 北京: 机械工业出版社, 2003

林立: 讲师、硕士研究生, 研究方向为电力电子与电力传动。

(收稿日期: 2004-06-02)