

HPI 接口在 TI SOC 的应用详解

唐超伦

TI 通用数字信号处理系统技术支持

摘要

本文从总体上介绍 HPI（Host Peripheral Interface）接口的工作模式，与上位主机的连接方式，主机访问的操作流程；归纳了应用当中常见问题，并提供了分析解决办法。

内容

简介 1

1. HPI 工作模式.....	2
2. HPI 硬件信号连接.....	2
3. HPI 寄存器地址映射	3
4. HPI 寄存器功能说明	4
5. HPI 操作流程.....	5
6. HPI 常见故障案例分析.....	6
1.1 写数据不成功	6
1.2 读数据不正确	7
1.3 HRDY 常高.....	7
7. 总结.....	8

图

图 1 HPI 接口复用模式硬件连接	2
图 2 HSTROBE 信号产生逻辑.....	3
图 3 HPI 读写数据流.....	5

简介

HPI 接口是 TI 为处理器之间直接互连通讯定义的一种异步接口，大多数 TI DSP 芯片上都有 HPI 接口。HPI 接口是从（Slave）端口，接在主机的扩展内存总线上，DSP 不能通过 HPI 向主机（Host）的访问，只能被主机读写。两个 DSP 的 HPI 接口之间不能通讯。两个 DSP 之间互连，可以将一个 DSP（从）的 HPI 接到另一个 DSP（主）的扩展内存接口（EMIF）上[1]。

1. HPI 工作模式

不同系列 DSP 上的 HPI 接口版本有所不同，区别体现在 DSP 对 HPI 的控制上，如 C6727 上的 UHPI 可通过寄存器使能与关闭 HPI 接口，对主机访问 DSP 内存空间的控制，以及对 HPI 接口信号的功能复用上。但从主机访问的角度，HPI 的工作模式分为：复用模式(Multiplexed-Mode)和非复用模式(Non-multiplexed-Mode)。

复用模式下没有地址线，主机访问 DSP 的地址信息是以数据方式送到 HPIA(HPI 地址寄存)。从硬件信号的角度，地址，数据信号是由同一组数据线传递，所以称为复用模式。

非复用模式的数据线与地址线是分开的，与内存接口连接相似。非复用模式不需要操作 HPIA 寄存器，主机访问的地址信息通过地址总线直接送给 HPI。

所有的 HPI 接口都支持复用模式，但不是所有芯片的 HPI 接口都支持非复用模式(参考相应的芯片手册确定是否支持)。除了有无 HPIA 的操作区别外，两种模式的操作没有区别。因为非复用模式的操作是复用模式操作的子集，为方便起见，本文以复用模式展开讨论。

2. HPI 硬件信号连接

HPI 接口复用模式连线如图 1 所示，根据在应用当中的必要性分为：必要的，和可选的两组信号。可选的信号以虚线表示。

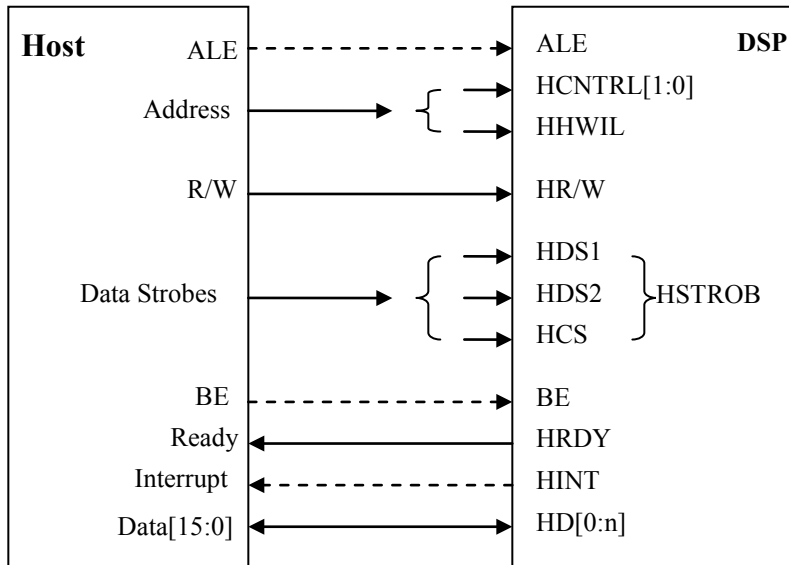


图 1 HPI 接口复用模式硬件连接

- 数据线 HD[0:n]：在复用模式下，数据线的宽度一般为 CPU 位宽的一半，一个 HPI 访问分为高低半字的两次访问，如 C5000 是 16-bit CPU，HPI 数据线为 8 位，C6000 是 32-bit CPU，其 HPI 数据线为 16 位。C64x 系列的 HPI 支持 32 位，在 32 位模式下一个 HPI 访问不需要分为高低半字两次访问组成一个完整的访问。
- HCNTRL0/1, HWIL：HCNTRL0/1 选择要访问的 HPI 寄存器，HWIL 控制访问寄存器的高低半字，必须先高后低。一个寄存器的高低半字的两次访问一定要连续完成，中间不能插入其它的 HPI 操作。只有 HPIC 可以只访问半个字。
- HR/W：指示对 HPI 寄存器进行读，还是写操作。如果主机的读，写信号是分开的，可以利用其中一个信号，但要注意做上拉或下拉处理以控制其在三态时的电平。
- HCS, HDS1/2：这三个信号根据图 2 的逻辑产生内部 HSTROBE 信号，其逻辑关系是要求 HDS1 和 HDS2 信号相反，HCS 低有效。HSTROB 下降沿的时间点反应的是三个信号中最后跳变的信号。HPI 在 HSTROB 的下降沿采样控制信号 HR/W, HCNTRL0/1, HWIL 以判断主机要对哪个寄存器进行读，或者写操作命令。

注意控制信号在 HSTROBE 的下降沿之前需要最少 5ns 的 setup 稳定时间，而 HDS1/2 和 HCS 到 HSTROBE 信号内部电路的延时是皮秒级的，所以控制信号的 setup 时间需要外部时序保证。

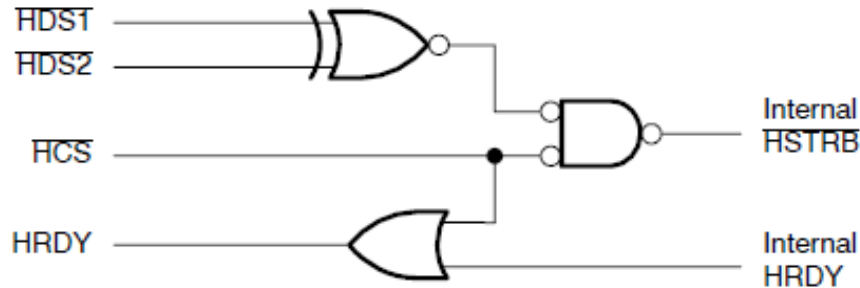


图 2 HSTROBE 信号产生逻辑

- HRDY: HPI 的输出信号，指示当前操作状态，用做硬件流量控制握手信号。
- HINT: 通过 HPI，主机与 DSP 之间可以互发中断。HINT 是 HPI 送给主机的中断信号，DSP 对 HPIC[HINT] 位写 1，HINT 信号线上送出高电平信号，主机可利用此信号做为中断信号输入。DSP 不能清除 HPIC[HINT] 状态，主机在响应中断后，需要对 HPIC[HINT] 位写 1 清除状态，DSP 才能再次对 HPIC[HINT] 置位发中断。主机通过写 HPIC[DSPINT] 置 1 给 DSP 产生中断，DSP 在响应中断后，需要对 HPIC[DSPINT] 写 1 清除状态，主机才能继续操作 HPIC[DSPINT] 给 DSP 发中断。通过 HPI 传输数据，结合互发中断做为软件层的握手信号，可有效提高通讯的效率与灵活性。
- ALE: 存在于地址，数据线复用的主机上用来指示地址信号周期，这种总线复用的主机很少见，所以通常将 ALE 固定上拉处理，只用 HSTROBE 采样控制信号。
- BE: Byte Enable 信号，这个信号只出现在 32 位的 C6000 DSP 上。因为应用当中通常都是对整个 32-bit 字进行访问，所以直接做上拉使能处理。

3. HPI 寄存器地址映射

HPI 口提供给主机端访问的寄存器只有 4 个，通过 HCNTL [1: 0] 选择。

表 1 HPI 寄存器访问选择

HCNTL1	HCNTL0	寄存器选择
0	0	HPIC
0	1	HPID（地址自增模式）
1	0	HPIA
1	1	HPID（地址非自增模式）

由于在复用模式下数据线通常只有寄存器宽度的一半，所以一个完整的数据访问由高低半字两次访问组成，由 HWIL 信号控制，HWIL 信号必须是先低后高。通常将 HWIL 和 HCNTL[1:0] 接在主机的地址线上，将 4 个寄存器映射为主机端的 8 个内存单元，下表中的地址线连接方法将 8 半字寄存器映射到主机的 8 个连续的内存单元。这里的地址线是用来选择 HPI 的寄存器，与非复用模式下的地址线直接访问 DSP 的内存空间是完全不同的作用。

表 2 HPI 寄存器地址映射

Addr Offset	HCNTL[1:0]	HWIL	Register	
-------------	------------	------	----------	--

	A[2:1]	A[0]		
0	00	0	HPIC first half word	
1	00	1	HPIC second half word	
2	01	0	HPID first half word	地址自增模式
3	01	1	HPID second half word	
4	10	0	HPIA first half word	
5	10	1	HPIA second half word	
6	11	0	HPID first half word	地址非自增模式
7	11	1	HPID second half word	

4. HPI 寄存器功能说明

HPIC (HPI Control Register)

HPI 控制寄存器 HPIC 的位图如表 3 所示，C6000 系列 DSP 的 HPI 寄存器是 32 位的，也只有低 16 位有效，与 C5000 系列 DSP 的 HPIC 寄存器定义的功能保持一致。不同版本的 HPI 接口的 HPIC 位定义的主要不同之处在于软件握手 HRDY 位的有无，其它位名称可能存在细小差异，但功能定义都是一样的。

表 3 HPI Control Register

15		12		11		10		9		8			
Reserved				HPIASEL		Reserved		DUALHPIA		HBOBSTAT			
R-0				R/W-0		R/W-0		R/W-0		R-0			
7		6 5		4		3		2		1 0			
HPIRST		Reserved		FETCH		HRDY		HINT		DSPINT		HWOB	
R-1h		R-2h		R/W-0		R-1		R/W-1(Host) R/W1C-0(CPU)		R/W-0		R/W-0	

主机在对 HPI 进行访问前可以通过 HPIC 配置字节序 (HWOB) 和地址寄存器模式 (DUALHPIA)。默认的配置为 HWOB=0，即先访问高半；DUALHPIA=0，即单地址寄存器模式，读和写操作使用同一个 HPIA；通常都采用默认的 HPIC 寄存器配置。

HWOB 与硬件信号 HWIL 是没有联系的，HWIL 信号必须保证先低后高分别访问两个半字单元。至于先访问一个字当中的高或低半字，是由 HWOB 控制的。

HPIA (HPI Address Register)

物理上存在 HPIAR，HPIAW 两个地址寄存器。HPIAR 是读操作地址寄存器；HPIAW 是写操作地址寄存器。由 HPIC 的 DUALHPIA 位来决定是采用双地址寄存器模式还是单地址寄存器模式。如果采用双地址寄存器模式，在对 HPIA 操作之前，通过设置 HPIC 的 HPISEL 位选择下一个要访问的 HPIA。通常为了简化在读写操作转换时对 HPIC 的操作，选用单地址寄存器模式。

HPIA 的地址信息在不同系列 DSP 上有所不同：

在 C5000 上，数据空间，I/O 空间只能按 16 位字寻址，程序空间按字节寻址。HPI 的 DMA 访问属于 I/O 空间，HPIA 的值代表 16 位字地址。如主机端要访问 DSP 内存字节地址 0x100，则要往 HPIA 写的地址值是 0x80。在用 HPI 启动时，要注意 DSP 代码是按字节地址链接的，即代码段的地址是字节地址，主机端要将代码段的地址信息除以 2 再送到 HPIA。

在 C64 上，HPIA 的值代表字节地址，但是 HPI 访问的数据是 32 位的，所以 HPI 会忽略 HPIA 地址值的低两位。

在 C64+ 的 DSP 上，HPIA 代表 32 位字地址，HPI 会将字地址左移两位转换成字节地址，主机若要访问 DSP 字节地址 0x100，则要赋值 HPIA 为 0x40。

HPID (HPI Data Register)

主机通过 HPI 对 DSP 的内存访问是间接访问，主机只能访问 HPID，HPID 与 DSP 内存之间是通过 HPI 专属的 DMA 进行数据搬运的。如图 3 所示。

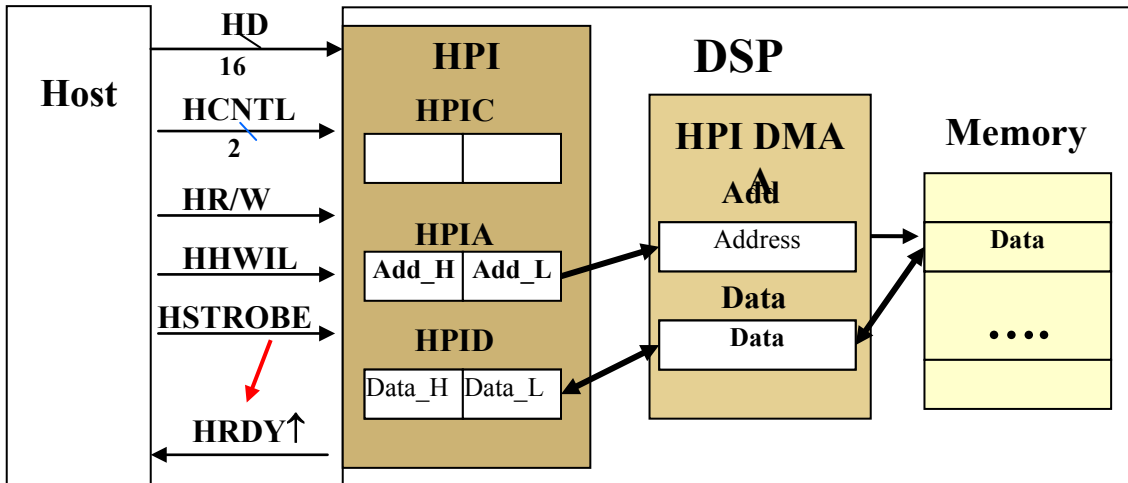


图 3 HPI 读写数据流

HPID 的访问分为自增模式和非自增模式。在自增模式下，访问 HPID 后，HPIA 会自动增加指向下一个字地址，在连续访问时，自增模式因为减少了主机对 HPIA 的操作，可以增加 HPI 数据访问的吞吐率。非自增模式下访问 HPID 后，HPIA 的值保持不变，主机需要更新 HPIA 来访问下一个地址。

在写操作时，主机把数据写到 HPID，HPI 将第二个半字的数据通过 HSTROBE 的上升沿锁存到 HPID 后，将 HRDY 置为忙状态，并启动 HPI DMA 将 HPID 的内容搬到 HPIA 所指向的内存单元，然后清除 HRDY 指示可以进行下一次操作。

在读操作时，在第一个 HSTROBE 的下降沿，HPI 采样到 HR/W 为读命令，则将 HRDY 置为忙状态，启动 HPI DMA 将 HPIA 指向的内存单元的数据搬到 HPID，清除 HRDY 忙状态，主机端方可结束总线访问周期，锁存数据线上的有效数据。

5. HPI 操作流程

主机对 HPI 的一次总线访问周期为分三个阶段：主机发起访问，HPI 响应，主机结束访问周期。

- 主机发起访问：即对 HPI 寄存器的读，或者写命令。主机送出的硬件信号为 HSTROBE（由 HCS, HDS1/2 产生），HR/W, HCNTL0/1, HWIL，以及 HD[0:n]。HPI 在 HSTROBE 的下降沿采样控制信号 HR/W, HCNTL0/1, HWIL 判断主机的操作命令。
- HPI 响应：HPI 在 HSTROBE 的下降沿采样控制信号，根据控制信号做出相应的响应。如果是写（HR/W 为低）命令，则在 HSTROBE 的上升沿将数据线上的信号锁存到 HCNTL0/1 和 HWIL 指向的寄存器。如果是读命令（HR/W 为高），如果是读 HPIC，或者 HPIA 寄存器，HPI 将寄存器的值直接送到数据总线上；如果读 HPID，HPI 先将 HRDY 置为忙状态，HPI DMA 将数据从 HPIA 指向的内存单元读到 HPID，再送到数据线上，并清除 HRDY 忙状态，在读 HPID 后半字时，数据从寄存器直接送到数据总线上，不会出现 HRDY 信号忙状态。
- 主机结束访问周期：对于写操作，主机将数据送出后，只要满足芯片手册中 HPI 对 HCS 的最小宽度要求，即可结束访问周期。对于读 HPID 操作，要等 HRDY 信号由忙变为不忙，主机才能结束访问周期。两次连续的 HPI 操作的间隔，在芯片手册的 HPI 时序参数表里有要求，最小间隔为两个 HPI 功能模块时钟周期。

6. HPI 常见故障案例分析

在 HPI 应用调试过程中，常遇到的问题分为：写数据不成功，读数据不正确，HRDY 常高。这些问题通常都是由于时序不正确造成的，下面结合实际应用当中的案例进行分析。

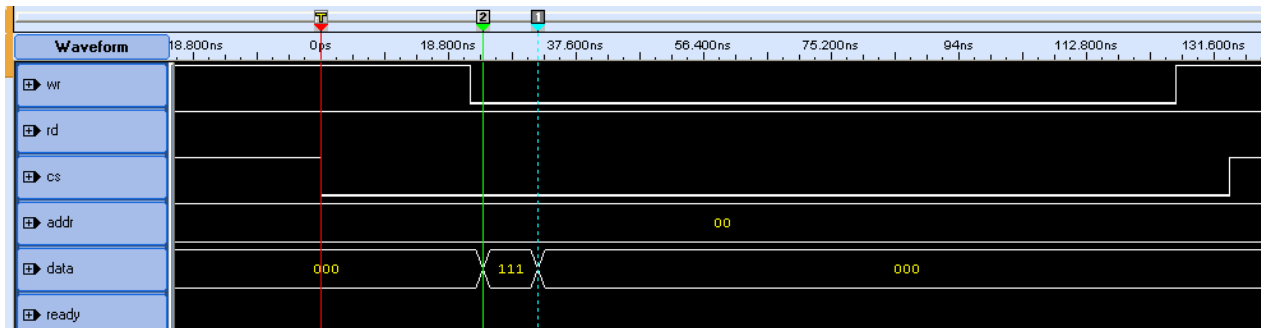
1.1 写数据不成功

案例的硬件连接如下：

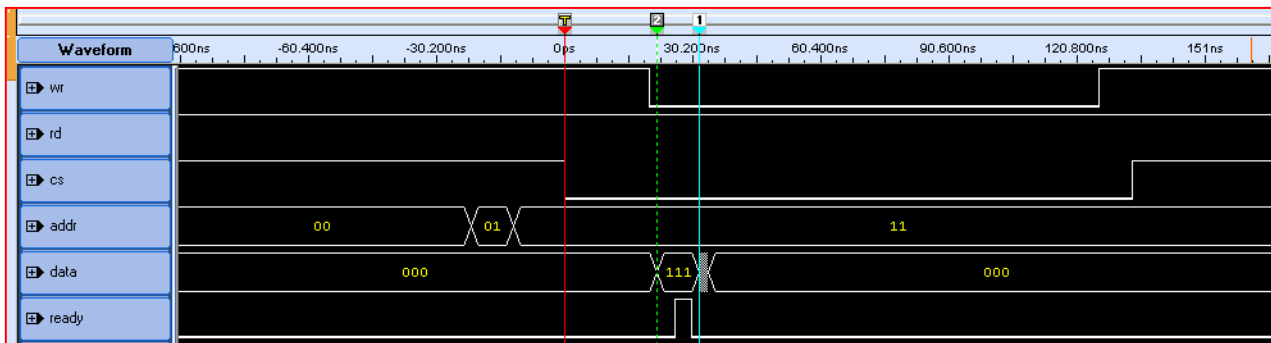
U19B	
DSP HHWIL R3	HHWIL/PTRDY
DSP ARM IRQB4	HINT/PFRAME
ARM WR P1	HR/W/PCBE2
DSP HRDY P4	HRDY/PIRDY
DSP HAS T3	HAS/PPAR
DSP CS R2	HCS/PPER
ARM WR T1	HDS1/PSERR
ARM RD T2	HDS2/PCBE1
ARM A2 T4	HCNTL0/PSTOP
ARM A3 R1	HCNTL1/PDEVSEL

首先关注核心信号 HSTROBE 由 DSP_CS, ARM_WR (HDS1), ARM_RD (HDS2) 产生，从下面时序图可以看出 ARM_WR 的下降沿是最后产生的，所以写操作时 HSTROBE 的下降沿反应的是 ARM_WR 的下降沿。

写 HPIC 的时序截图如下：



写 HPID 的时序截图如下：



两个时序图显示主机送出的数据 111b 在 HSTROBE (ARM_WR) 的下降沿后，很快被改变成其它值 000b。在写 HPID 的时序截图中，第一个 HSTROBE 的下降后，HPI 送出 HRDY 信号，然后数据线被改变，首先判断 HPI 对主机的命令做出了响应，通过 HRDY 信号的出现时机，说明 HPI 判断这是一个读操作，可以判断为 HSTROBE 的下降沿采样 HR/W 信号不正确。

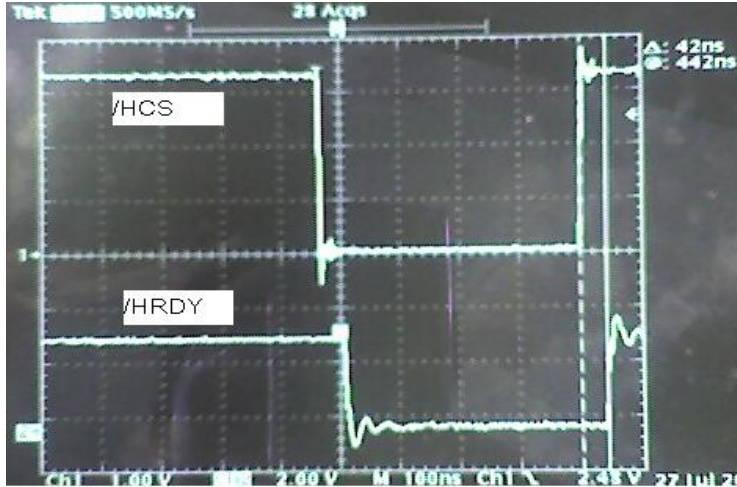
从硬件连接来看，HSTROBE (HR/W) 要采样 HR/W, HCNTL0/1 来判断主机命令，HR/W 的与 HSTROBE 为同一信号源，且同为下降沿，HR/W 与 HSTROBE 的下降沿之间的 setup 时间不够，采样 HR/W 的电平状态出现误判，认为是高电平读命令，HPI 对读命令的响应则是在第一个 HSTROBE 的下降沿之后送出 HRDY 信号，并在 HRDY 之后，HPI 送出数据到总线上。

对于该问题，需要对参与 HSTROBE 逻辑译码的 HR/W 信号的下降沿做延时处理，可在逻辑电路如 CPLD 或 FPGA 里实现，以确保 HSTROBE 的下降沿采样到稳定的 HR/W 电平。

1.2 读数据不正确

通常表现为读读 HPIC，HPIA 正常，但读 HPID 不正常，前半字为 0，后半字正确，对同一个地址读两次，第二次的读数据完全正确。

在案例中，用示波器观察 HCS 与 HRDY 之间的时序关系，发现 HCS 的上升沿在 HRDY 的上升沿之前，即主机在 HPI 数据有效之前结束了访问周期。HRDY 的上升沿其实是因为 HCS 的结束而拉高的，并非数据真正有效。



用户由于没有在硬件上将 HRDY 与主机 PowerPC 的 TA 信号互连，没有硬件握手机制，于是从软件配置上加大大主机的总线访问周期，即增加 HCS 的宽度，故障现象没有变化。

原因分析：读 HPID 与 HPIC，HPIA 时序不同，读 HPID 操作需要 HPI DMA 从 HPIA 所指向的地址读数据到 HPID，会有时间上的延时。而读 HPIC 和 HPIA 直接从寄存器读数据，没有延时，所以读 HPIC，HPIA 是正确的。在读 HPID 时，HPI 会在第一个 HSTROBE 的下降沿后将 HRDY 置位，指示数据未准备好的忙状态，主机应当在总线上插入等待周期，数据准备好后 HPI 清除 HRDY，主机才可以结束总线周期，通过 HCS 的上升沿将有效数据锁存。

HSTROBE 的下降沿到数据有效之间的延时与芯片及 HPI 接口的工作频率相关，以 C5502，C5501 为例，在芯片手册中，这个延时参数 H1 在 SYSCLK1 与 CPU 时钟的分频为 4 时，最大延时为 $12*2H+20(ns)$ ， $H=SYSCLK1/2$ ，在 HPI 启动期间，PLL 没有倍频，处于旁通状态，系统输入时钟就是 CPU 的工作时钟，SYSCLK1 默认分频为 CPU 时钟的 4 分频，以输入时钟为 25MHz 为例，最大延时为：

$$H1_{Max} = 12 * 2H + 20 = 12 * 2 * \frac{4 * 10^9}{25 * 10^6} * \frac{1}{2} + 20 = 1940(ns)$$

这个时间长度通常超出了主机端总线周期的软件配置范围，所以通过软件配置增加 HCS 的宽度不一定能满足 HRDY 的最大延时要求。在有的 DSP 芯片手册上只提供了 HRDY 的最小延时，最大延时与芯片的优先级设置，及系统配置相关而不确定，比如与系统中其它主模块如 EDMA 同时访问 DDR，那么延时与 HPI 的优先级，EDMA 的优先级，EDMA 的 burst 长度，以及 DDR 的命令排序等配置相关，这样通过延长主机的总线访问周期，更加不可靠。

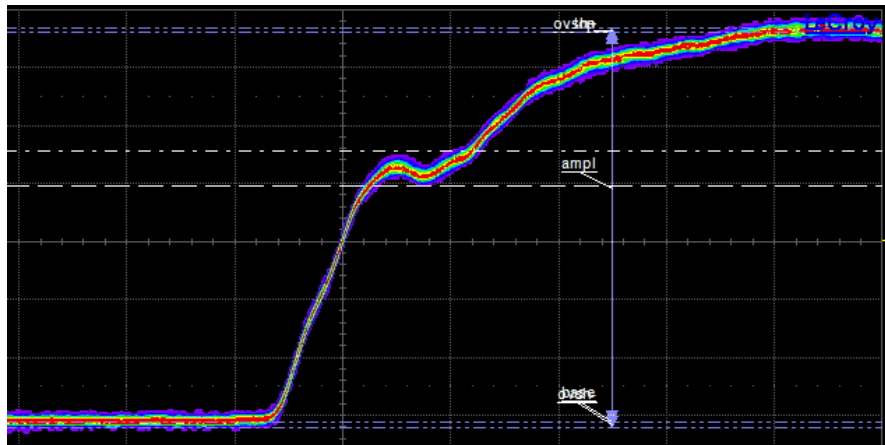
解决办法：在硬件设计之初，一定要利用 HRDY 硬件握手信号[2][3]。虽然有的芯片 HPIC 寄存器提供了 HRDY 软件握手方式，只能做为弥补硬件设计之初遗漏 HRDY 硬件握手信号的权宜之计，软件轮循 HRDY 的办法会带来额外的开销，降低 HPI 总线的吞吐率，增加主机软件实现的复杂度。而且有的芯片 HPI 不支持 HRDY 软件查询方法，只能通过硬件 HRDY 保证数据的有效性。

1.3 HRDY 常高

有的系统在长时间运行中偶尔出现 HRDY 常高，导致主机端总线访问异常，需要重新上电才能恢复 HPI 的正常操作。这种故障是由于 HPI 状态机出现异常。

从实际故障定位中总结出以下几点原因：

- A. HPI 的高低半字访问的顺序访问被其它 HPI 访问打断：在复用模式下，一个完整的 HPI 访问是由高低半字两次访问组成，需要严格保证，否则会破坏 HPI 的状态机，从而导致不可预期的后果。
- B. 主机通过 HPI 访问了 DSP 内部的保留空间，或者破坏了 DSP 的程序，数据空间，导致 DSP 运行异常，进而导致 HPI 状态机异常。
- C. 主机的 HSTROBE 信号有毛刺，或者信号完整性不好，如下图中 HCS（些案例 HSTROBE 是由 HCS 控制）的上升沿的回勾，都会导致 HPI 误判断为主机的新的访问的开始，从而打乱了高低半字的访问顺序要求，导致 HPI 状态机的错乱。



7. 总结

HPI 是一种简单的异步接口，只要设计中满足了时序要求，即可稳定工作。在开发当中遇到数据读写不正确，从 HSTROBE 信号入手检查与之相关的信号的时序关系，便可以找出问题原因。另外，信号完整性是任何系统稳定工作的前提。

关于特定芯片上 HPI 接口的特有功能本文没有针对讨论，如 C6727 的字地址模式和字节地址模式可通过 HPIC 配置；C6727 在 HPI 启动后 ROM bootloader 将 HPI 关闭，需要软件重新使能才能使用等；以及不同芯片的 HPI 启动模式下的跳转方式不同，请参考相应芯片的 HPI 手册及 bootloader 应用手册。

参考文献：

- [1] spr536: TMS320C6000 EMIF to TMS320C6000 Host Port Interface
- [2] spr545: TMS320C6000 Host Port to MC68360 Interface
- [3] spr546: TMS320C6000 Host Port to MPC860 Interface

重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权在不事先通知的情况下, 随时对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改, 并有权随时中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的硬件产品的性能符合TI 标准保修的适用规范。仅在TI 保证的范围内, 且TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非政府做出了硬性规定, 否则没有必要对每种产品的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了TI 产品或服务的组合设备、机器、流程相关的TI 知识产权中授予的直接或隐含权限作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成从TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于TI 的产品手册或数据表, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。在复制信息的过程中对内容的篡改属于非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任。

在转售TI 产品或服务时, 如果存在对产品或服务参数的虚假陈述, 则会失去相关TI 产品或服务的明示或暗示授权, 且这是非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类虚假陈述不承担任何责任。

TI 产品未获得用于关键的安全应用中的授权, 例如生命支持应用(在该类应用中一旦TI 产品故障将预计造成重大的人员伤亡), 除非各方官员已经达成了专门管控此类使用的协议。购买者的购买行为即表示, 他们具备有关其应用安全以及规章衍生所需的所有专业技术和知识, 并且认可和同意, 尽管任何应用相关信息或支持仍可能由TI 提供, 但他们将独力负责满足在关键安全应用中使用其产品 & TI 产品所需的所有法律、法规和安全相关要求。此外, 购买者必须全额赔偿因在此类关键安全应用中使用TI 产品而对TI 及其代表造成的损失。

TI 产品并非设计或专门用于军事/航空应用, 以及环境方面的产品, 除非TI 特别注明该产品属于“军用”或“增强型塑料”产品。只有TI 指定的军用产品才满足军用规格。购买者认可并同意, 对TI 未指定军用的产品进行军事方面的应用, 风险由购买者单独承担, 并且独力负责在此类相关使用中满足所有法律和法规要求。

TI 产品并非设计或专门用于汽车应用以及环境方面的产品, 除非TI 特别注明该产品符合ISO/TS 16949 要求。购买者认可并同意, 如果他们在汽车应用中使用任何未被指定的产品, TI 对未能满足应用所需要求不承担任何责任。

可访问以下URL 地址以获取有关其它TI 产品和应用解决方案的信息:

产品	应用
数字音频	www.ti.com.cn/telecom
放大器和线性器件	www.ti.com.cn/computer
数据转换器	www.ti.com/consumer-apps
DLP® 产品	www.ti.com/energy
DSP - 数字信号处理器	www.ti.com.cn/industrial
时钟和计时器	www.ti.com.cn/medical
接口	www.ti.com.cn/security
逻辑	www.ti.com.cn/automotive
电源管理	www.ti.com.cn/video
微控制器 (MCU)	
RFID 系统	
OMAP 机动性处理器	
无线连通性	
德州仪器在线技术支持社区	www.deyisupport.com

邮寄地址: 上海市浦东新区世纪大道 1568 号, 中建大厦 32 楼 邮政编码: 200122
Copyright © 2012 德州仪器 半导体技术(上海)有限公司