



TigerSHARC® ADSP-TS201S处理器的散热设计

Maikel Kokaly-Bannourah 供稿

2004年3月1日

简介

本 EE-Note 主要论述 Analog Devices 的 TigerSHARC® ADSP-TS201S处理器散热设计要点。本文通过提供热设计相关数据和推荐散热器,帮助PCB和系统设计人员正确设计出他们的散热系统。

TigerSHARC ADSP-TS201S处理器,是 Analog Devices 有限公司的 TigerSHARC 系列的一员,是具有超高性能、静态超标量的32位处理器。该处理器内核能以500MHZ的时钟频率工作,以倒装球栅格阵列 (BGA_ED) 封装。

概述

EE-Note论述了以下内容:

- 热设计概述
- 热设计计算
- 散热器基础
- 散热器: 圆柱形散热式与方形散热式
- 散热器推荐
- 技术要求推荐
- 散热器附件推荐
- 热量损失的PCB设计
- 热量仿真
- 备选的散热方法
- 专业术语

热设计概述

为确保处理器工作在ADSP-TS201数据手册[1]提供的温度指标要求以内,要进行恰当的热设计。这样在规定的温度范围内工作,就确保了处理器的正常工作和可靠性。

总功率估算也可以用来作为处理器的散热预算。公式1给出了全部的均值功率。注意到,此公式得出了在给定系统下的单个ADSP-TS201功耗的全部估算均值功率。散热设计时,推荐遵循这一数值并留有一定容限,使得系统即使在最坏的工作条件下,也能在规定的热量参数范围内工作。

$$P_{THERMAL} = P_{DD}(\text{均值}) + P_{DDJO}(\text{均值}) + P_{DD_DRAM}(\text{均值})$$

公式1: 总均值功率估算

了解ADSP-TS201在功耗方面的更多信息,请参照工程师对话的 EE-170的“TigerSHARC ADSP-TS201处理器的功率估算”[2]一文,此文可以从Analog Devices网站上找到,网址是:
www.analog.com/tigersharc.

图1是ADSP-TS201处理器封装的俯视图和侧视图。该TigerSHARC处理器可以放在25mm x 25mm的BGA_ED封装箱内。

这种BGA_ED封装由多层叠加而成(最底层附有球栅阵列)并包含一个通过导热胶附着在硅片上的散热板组成。既然散热板直接附在处理器的芯片上,且其表面积比处理器芯片表面积更大,更有利于耗散热量(对于一个给定的表面,其表面积越大,整个有效热阻越小)。

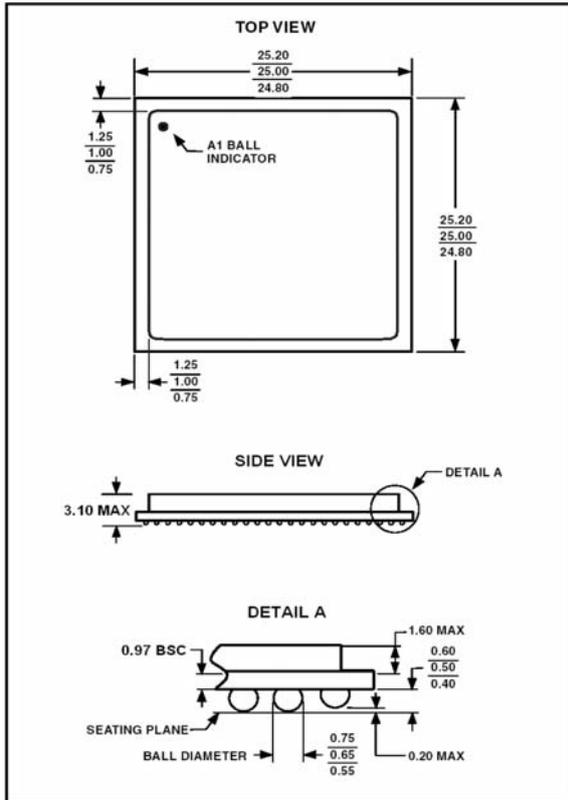


图1 ADSP-TS201外形图

功耗估算完成后，如果系统需要安装散热器，则需要选用最小尺寸为25mm x 25mm的散热器帮助处理器进行散热。

图2是一个热系统的简单模型，展示了处理器封装以及热系统中所有相关的组成部分。请注意：有两个可能的热量耗散途径：主热量耗散通道和次热量耗散通道。主热量耗散通道(即热阻最小的通道)为通过处理器封装上部的通道(图中由 θ_{JC} 表示)；次级热量耗散通道，是通过处理器封装的底部焊球(图中由 θ_{JB} 表示)到达PCB的。

当系统中每一组成部分的热阻最小时，处理器热量耗散的能力达到最大。因此，处理器产生的热量可以耗散到系统周围环境较冷的空气中(或者通过PCB散热过孔和内部或外部散热层)。

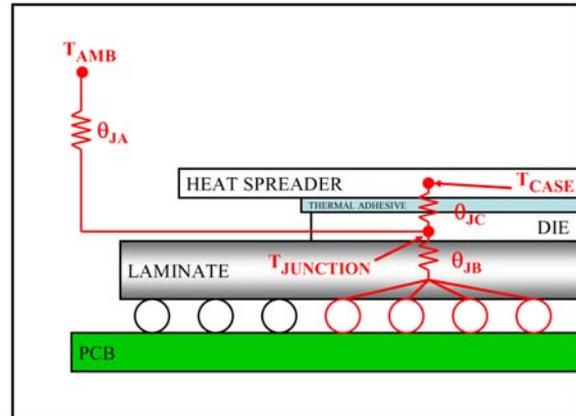


图2 热系统模型例子

请注意： θ_{JA} 是一个综合考虑了热量向系统周围空气耗散的所有可能通道而获得的参数，并环境温度是基于JEDEC X-Y-Z标准的。(在ADSP-TS201S数据手册的热特性部分提供了 θ_{JA} 、 θ_{JB} 、 θ_{JC} 的值。)

热计算

为了计算系统的热特性，在进行热计算时应该知道的第一个参数是：系统周围环境空气的最高温度 $T_{AMBIENT}$ ，第二个参数是：处理器的热功耗值 $P_{THERMAL}$ ，第三个参数是：与周围环境相连接的有效热阻 θ_{JA} 。这三个系统参数是用来计算结温最大值的，如公式2所示：

$$T_{JUNCTION} = (P_{THERMAL} \times \theta_{JA}) + T_{AMBIENT}$$

公式2：处理器结温计算

从公式2的计算结果，我们就可以由 $T_{JUNCTION}$ 的计算数值来用公式3计算处理器的壳温 T_{CASE} 。公式3的结果决定了ADSP-TS201在数据手册规定的热工作条件下工作时是否需要额外的散热器。如果 T_{CASE} 的计算结果超过了器件允许的壳温最大值(从ADSP-TS201S数据手册查得)，那就需要一个散热器。

$$T_{CASE(max)} = T_{JUNCTION} - (P_{THERMAL} \times \theta_{JC})$$

公式3：散热器要求公式

如果需要额外的散热器,那么必须得选择一个有合适热特性的散热器。需要知道此散热器的下面两个参数:散热器至环境的热阻 θ_{SA} 和导热胶合剂(在处理器外壳和散热器底部之间)的热阻 θ_{CS} 。

知道了散热器的这两个有效热阻参数以后,我们就可以根据后面的公式4计算装有散热器的处理器壳温 T_{CASE} 。

$$T_{CASE(max)} \leq T_{AMBIENT} + (P_{THERMAL} \times \theta_{SA}) + (P_{THERMAL} \times \theta_{CS})$$

公式4: 导出散热器要求公式

如果公式4计算结果超过了最大值 $T_{CASE(max)}$ (从ADSP-TS201S数据手册查得),那么就需要一个有更好热特性的散热器。

公式4给出的 T_{CASE} ,是一个保守的估计值,这是因为在系统中有其他通道耗散了热量,例如:通过PCB。当进行处理器热计算时,可以使用更为全面的系统模型,它包括这些附加通道。(θ_{JB} 的数值可以从ADSP-TS201S数据手册查得)

表2是处理器BGA_ED封装的初步热阻参数。

空气速度 (m/s)	无散热器的 θ_{JA} (°C/W)	额定 θ_{JB} (°C/W)	额定 θ_{Jc} (°C/W)
0	19.6	8.3	0.7
1	15.4	8.3	0.7
2	13.7	8.3	0.7

表2: BGA_ED封装的有效热阻参数

表3是AAVID 374224B00032散热器的热阻值,此处作为一个例子。

空气速度 (m/s)	散热器的热阻 θ_{SA} (°C/W)	有散热器时 的 θ_{JA} (°C/W)
0	19.7	10.7
1	6.4	5.5

2	4.8	4.5
---	-----	-----

表3: 散热器的有效热阻值

对于特殊应用,散热器的热阻值可以从特定的散热器提供商那里获得。

使用公式4和表3的数据,散热器上方要求的最小空气流,就可以让ADSP-TS201S在处理器数据手册规定的最高壳温以内工作,如果这些还不够,那我们就需要一个动态的散热方法,看一下后面的“备选散热方案”部分。

散热器基础

散热器的特点是它具有热阻性,当散热器的温度上升时,它会把热量从自身散发到周围空气中。

热阻的测量单位为°C/W。散热器对周围环境的热阻 θ_{SA} 是对从散热器底部到周围环境空气散热能力的一个度量。

热阻依赖于以下四个参数:

- 散热器材料
- 散热器的热传导性
- 散热器的几何形状
- 通过散热器翼片的风速。

处理器和周围空气环境间的热阻越小,散热解决方案的效率就越高。

虽然铜散热器的热阻比铝散热器的小,但是价格却较高。这是因为铜的热阻系数(R)是0.11,而铝的热阻系数是0.23。R的单位是摄氏度英寸每瓦(°C · inch/W)。

测量处理器的管壳温度时,使用热电偶测得散热器中心的管壳温度 T_{CASE} 。

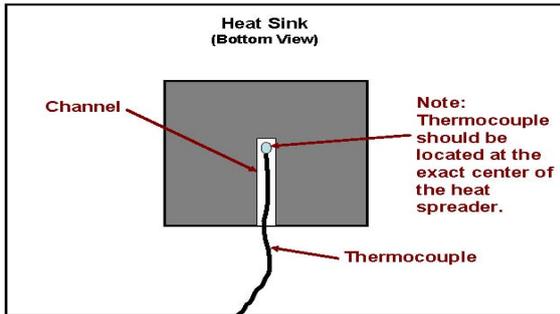


图3: 热电偶的安装位置和散热器通道

如果热量测试时使用散热器，那么就需要在散热器中加工一条通道来安装热电偶（见图3）。此通道要够深、够长，以使热电偶能安装到处理器的散热器的中央。

将热电偶放置在散热板的中心。用一小滴导热环氧树脂加以固定。在安装散热器前，再用无麻布或药签和100%的异丙醇清洗散热器和散热板表面。

圆柱销式散热器和方形散热器

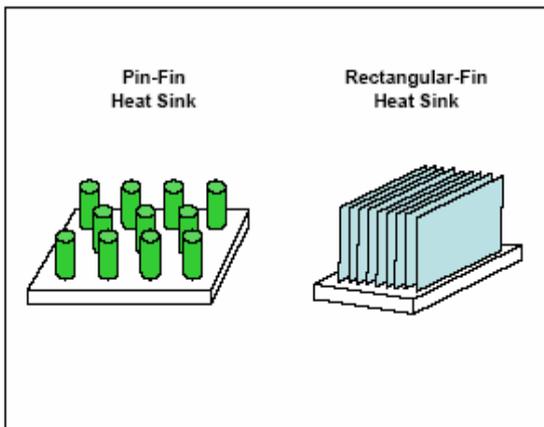


图4: 圆柱销式散热器和方形散热器

虽然方形翼片的散热器的使用时间已经很长，但是圆柱形翼片散热器比方形翼片的散热器工作特性要更好一些，特别是在系统空气流动极少，甚至不流动的环境条件下，其优点更为显著。这是因为圆形翼片散热器的全向结构，空

气可以从每一个角度进入，使得其散热效率更高。圆柱形翼片的形状是圆的，使得在散热器内部产生紊流，这种紊流围绕圆柱突破了停滞的空气分界层，从而提高了散热器的散热性。而且，这种圆柱形结构在不提高风阻的情况下，可以提高的与空气接触的表面积百分比。

从下列的生产商那儿可以得到很多不同尺寸的散热器，下面列出的是推荐的散热器生产商和特殊散热性能的散热器，详情请登陆下列网站。

Cool Shield Inc.: www.coolshiekdinc.com

图5: CSH0*012和CSH0*012聚合物散热器



Cool Innovations: www.coolinnovations.com

- 4-101005u(圆柱形翼片，铜质)
- 4-101003u(圆柱形翼片，铜质)
- 3-101003u(圆柱形翼片，铝质)
- 3-101005m(圆柱形翼片，铝质)



图6: Cool Innovations M系列圆柱形翼片散热器

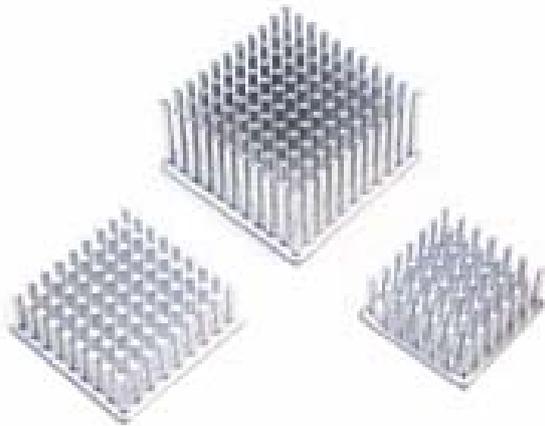


图7: Cool Innovations U系列圆柱形翼片散热器

AAVID Thermalloy: www.aavidthermalloy.com



图8: AAVID Thermalloy 374224B00032 散热器



图9: AAVID Thermalloy 374224B60023 散热器

规格推荐

为ADSP-TS201S安装的散热器，建议不要超过表4所示的重量和尺寸准则，并且建议把散热器和处理器管壳安装在水平的地方。

散热器最大尺寸 (毫米)	最大重量 (克)	最大横向(x-y)剪切压强 (磅/平方英寸)	最大垂向(z)力 (千克)
53 × 53 × 16.5	54	200	5

表4: 散热器重量和尺寸准则

安装或移动散热器时，不要超过其横向力的最大值和垂向力的最大值。

Analog Devices有限公司推荐长宽均为25mm的散热器，以与处理器外壳的散热板相适应。如果要用更大的散热器 (> 25mm x 25mm)，则需要机械加固以避免损坏散热板。

确保把散热器安放在散热板的中央，当使用23mm × 23mm的散热器时，（其大小与散热板一样），要保证散热器安放在散热板中央的误差不超过0.06英寸。

散热器附属装置推荐

散热板，是设计用来提高处理器的热性能，也是散热器附着的物理界面。装配之前，要使用100%的异丙醇和干净的药签清洁散热板和散热器的底部。等异丙基醇完全蒸发后，再向散热器涂上粘合剂。

安装镀镍的铜BGA_ED外壳时，要特别小心，因为手指皮肤上的油脂会污染散热板的上表面。在安装散热器或涂导热胶之前，要用异丙醇清除散热板上的油脂。

对于ADSP-TS201S型处理器，Analog Devices

有限公司推荐了三种散热器附属装置连接方法：导热带连接、焊接、粘合。

导热带连接方法，需要使用导热胶带粘合处理器和散热器的表面。使用这种粘合带来的另一个好处是可以用来补偿散热器或处理器表面小的瑕疵，这些瑕疵会提高风阻从而提高系统的热阻。

焊接附属装置方法，也需要在处理器和散热器之间有导热材料，但它不是用来把散热器固定在处理器上。这种方法的优点是需要较少的导热材料，因此，引入系统的热阻就很少。缺点是使用这种方法需要额外的板面积以提供焊接点。

GE Silicones公司生产的TSE 3281G，可以用来把散热器安装在ADSP-TS201S型外壳散热板上，（这种材料可以从General Electric公司买到,该厂的地址是：960 Hudson River Road, Waterford, NY 12188 USA，电话：(800) 332-5390。）

选择粘合剂来把散热器安装在处理器外壳上时，要注意它的保质期。把粘合剂在镀镍散热板的中央涂成“x”形，不要涂在封装基板的底面上。在散热板和散热器的连接的边界上允许有少量的粘合剂，但不要流出这个边界。

为了安装散热器的工具的活动，建议在BGA_ED封装和最近的元件之间留出0.45英尺（11.25mm）的间隙。

以下信息仅供参考，可根据特殊应用的需要作相应改动。

- 粘合面上粘合剂的平均厚度最好是0.004英寸（0.1mm），不能超过0.01英寸（0.25mm）。
- 散热器粘合的部分不能少于散热器表面80%，也不能多于90%，安装不能偏离散热板中心0.06英寸（1.5mm）。

- 连接面的平整度在0.004英寸（0.10mm）以内。

散热的PCB设计

图10是BGA_ED封装的热模型，由于硅片在封装内是倒置的，所以有更多的热量将通过封装的顶部散发。由于设计限制，某些情况下芯片顶部没有足够的空间安装散热器（或者空间仅够安装较小的而没有足够散热性能的散热器），此时可以通过此连接面进行散热。

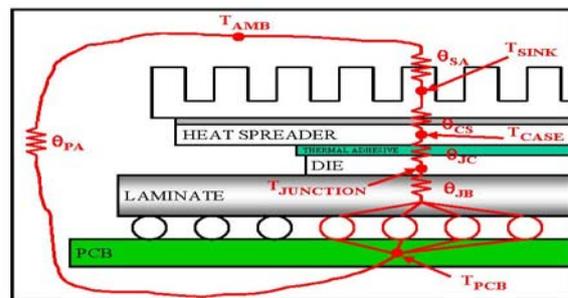


图10: ADSP-TS201S BGA_ED热模型

在这种情况下，热量可以通过BGA_ED封装的焊球向PCB的散热层散发。PCB中的导热过孔与有足够面积的散热层（如：铜焊层或其它种类的热传导材料）的组合使用，可以将热量传递到散热器或其它散热装置上。

热仿真

为使高性能的基于现代DSP的系统能够高效运转，正确的热量管理非常重要。对给定的系统进行热仿真，是确保系统正常工作的一种方法。

如果 T_{CASE} 超过了规定值，那么处理器的正常工作就难以得到保证，所以要确保运行过程中 T_{CASE} 的数值保持在ADSP-TS201S数据手册规定的范围内。

下面列出了提供热仿真软件的供应商，这些公司也提供热量仿真帮助。

- Maya (<http://www.mayahtt.com/home.asp>)
- Flothern (<http://www.flowtherm.com>)
- ThermoAnalytics, Inc.
(<http://www.thermoanalytics.com>)
- Harvard Thermal Inc.
(<http://www.harvardthermal.com>)

备选的散热方法

在一些特定的情况下，要让处理器在规定的正常工作温度范围内工作，被动的散热解决方案是不够的。在特殊场合下可能用到的备用散热解决方案包括：

- 散热器风扇
- 导热管
- 强迫通风（导热管）。

散热器风扇

散热器和风扇组合使用，是一种能够获得比被动散热系统更好散热性能的最简单的方法。这种散热风扇加快了散热器表面的空气流动，减少了散热器的整体热阻。

优点：使用相同散热器的同时可以获得更好的散热性能。

缺点：风扇需要额外的系统功耗。另外不管风扇是安装在散热器的顶部还是旁边，都需要额外的系统空间。

导热管

当在系统中没有足够的空间安装散热器，或由于高度限制而无法使用特定的散热器来提供足够散热特性时，导热管就可以用来作为一种散热解决方案。在这种情况下，导热管可以（通过冷却板和充满压缩冷却剂的具有热传导性能的管道）把热量从处理器传递到远处的散热器和系统风扇，继而将其散发到系统外部较冷的空气中。

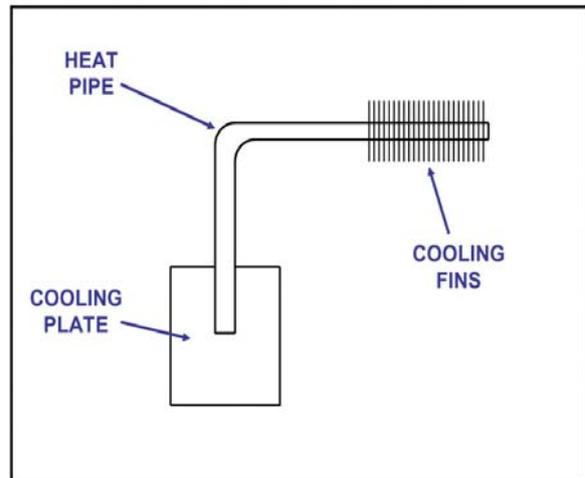


图11：导热管实例

优点：当散热器太大而不能安装时，在系统内安装导热管是非常有优势的

缺点：与散热器或风扇散热相比，导热管是定制的，而且费用很高。

强迫通风和空气管道

强迫通风或空气管道，与被动散热设计相比，是另外一种获得更好冷却性能的方法。强迫通风法在安装在狭小机箱内的系统设计中具有优势，此时由于空间太小，不足以安装气流特性和尺寸都适合的风扇。安装在机箱外部的风扇，能通过空气通道吸入或排出空气，强迫空气流通过处理器散热器。

优点：空气管道（及风扇）将外部的冷空气吸入机箱内部并通过处理器的散热器。空气通道可被设计来加快通过其内部的空气流速度，提高系统的散热特性。在这种情况下，可以使用较小的风扇，来降低系统的噪音。最后，空气通道可以把系统的发热的影响和处理器分离（这种热效应，是由系统的其他部件引起的，如：线性调节器）。

缺点：由于空气管道是定制设计，所以其设计费用与散热器相比就会很高。

专业术语

P_{DD} : TigerSHARC内核在 V_{DD} 电压范围内消耗的总功耗,是一个均值。

P_{DD_IO} : TigerSHARC处理器的链路口和簇总线在 V_{DD_IO} 电压下消耗的总功耗,它取决于系统,是一个均值。

P_{DD_DRAM} : 处理器的内部DRAM消耗的总功耗,是一个均值。

$P_{THERMAL}$: 处理器消耗的总功耗,是一个均值。

热传递系数 θ : 以 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 为单位。

热阻: 对两种媒质之间传递热量的一种度量。

热平衡: 器件消耗的电功率与散发的热量相等时的系统状态。

$T_{AMBIENT}$: 系统中处理器周围的局部空气温度。

T_{CASE} : 处理器的壳温。

$T_{JUNCTION}$: 处理器硅片处的温度。

T_{SINK} : 散热器温度。

θ_{CA} : 处理器外壳和周围环境空气之间的热阻。

θ_{JA} : 处理器硅片和周围环境空气之间的热阻。

θ_{JB} : 硅片和封装焊球之间的热阻。

θ_{JC} : 处理器硅片和外壳之间的热阻。

θ_{SA} : 散热器和周围环境空气之间的热阻,有时也被视为处理器外壳和散热器之间导热材料的热阻 (θ_{TIM})

参考文献

- [1] *ADSP-TS201S TigerSHARC Embedded Processor Preliminary Data Sheet*. Rev PrH, January 2004. Analog Devices, Inc.
- [2] *Estimating Power for ADSP-TS201S TigerSHARC Processors (EE-170)*. In preparation. Analog Devices, Inc.

文件历史

版本	描述
第一版 Greg F供稿 2004.2.3	初稿发布