四个注意事项

成功打造高速数字设计

KEYSIGHT TECHNOLOGIES

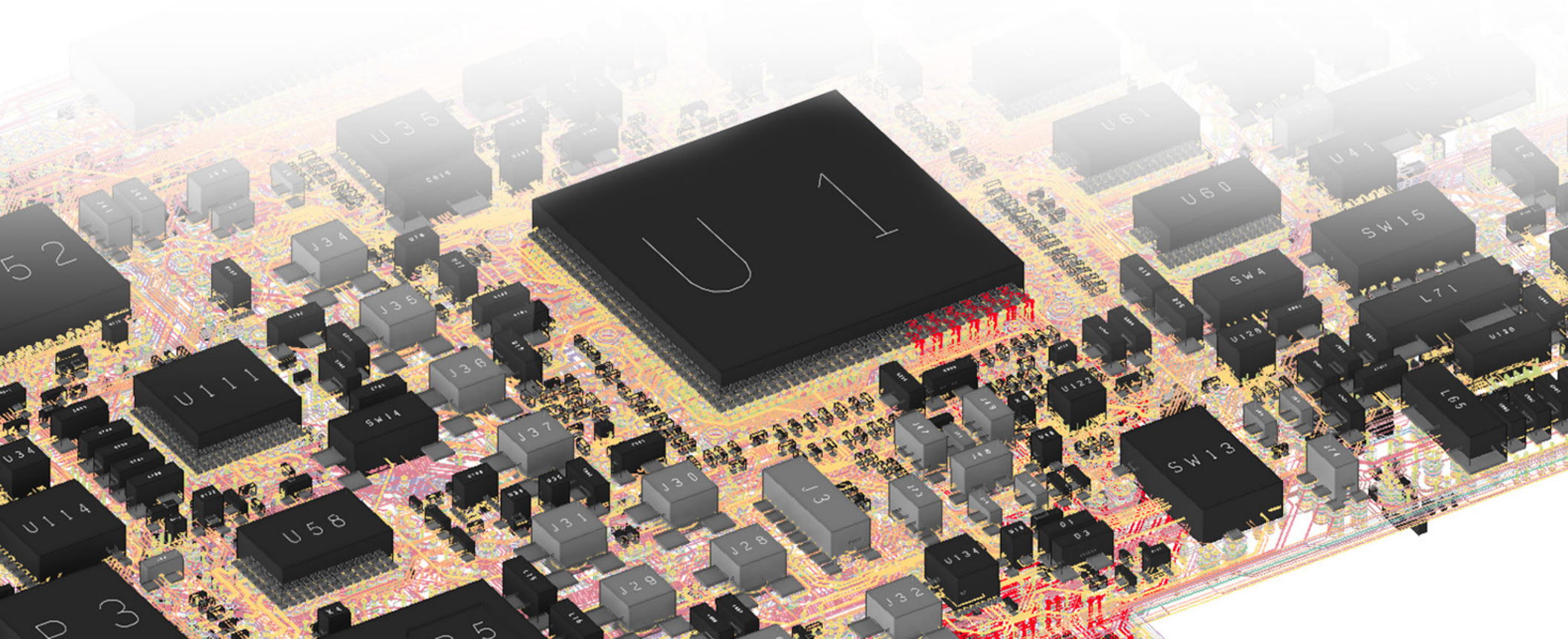
引言

高速数字设计的复杂程度与日俱增，整体设计势在必行

5G、物联网、人工智能、虚拟现实和自动驾驶汽车等新兴技术的蓬勃发展对数据提出了更迫切的需求，这一趋势推动高速数字标准快速演进。高速计算标准每一次更新换代，都带来了新的信令功能和更高的数据传输速率，但同时也给设计带来了更大压力。速度的提升让设计面临新的挑战，设计人员需要精度更高的仿真、新的软件工具和更高效的工作流程。

作为一名硬件工程师，您的工作是设计、验证、构建和测试电子产品。如果不采用新的设计方法，印刷电路板 (PCB) 中的高速信号衰减会给产品留下隐患。您还会面临项目延期、预算暴增或商誉受损等风险。

要避免这种情况发生，您不仅需要新的设计工具，还需要采用整体设计理念，将多个学科的工作流程融为一体。有了这样一种设计方法，您就可以针对多种接口标准进行设计，而不会延长设计和验证时间。本电子书介绍了成功打造整体高速数字设计需要了解的四个注意事项。



目录

注意事项 1

信号完整性

学习如何通过三个步骤，
了解数字通道的信号完整性。

转到第 1 章 >

注意事项 2

电源完整性

探索两大关键分析，
揭秘电源完整性。

转到第 2 章 >

注意事项 3

热效应

电路板的温度越来越高。
详细了解热量从何而来。

转到第 3 章 >

注意事项 4

系统分析

看一看必须进行通道仿真的
两个应用。

转到第 4 章 >

注意事项 1

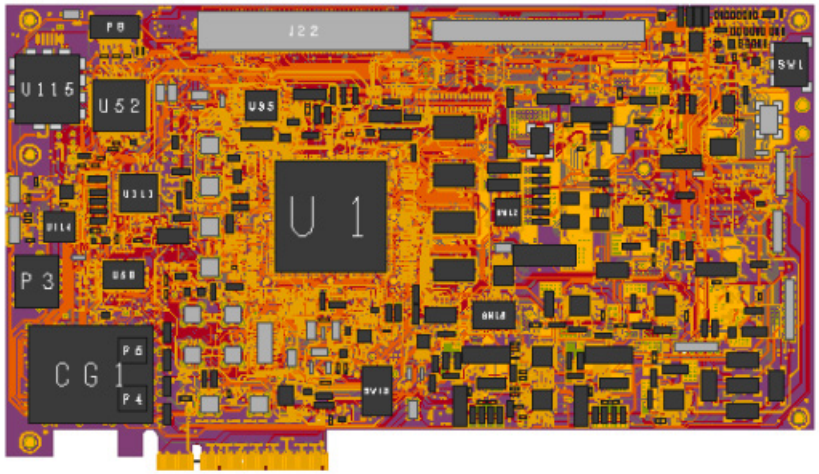
信号完整性

信号完整性　电源完整性　热效应　系统分析

注意事项 1

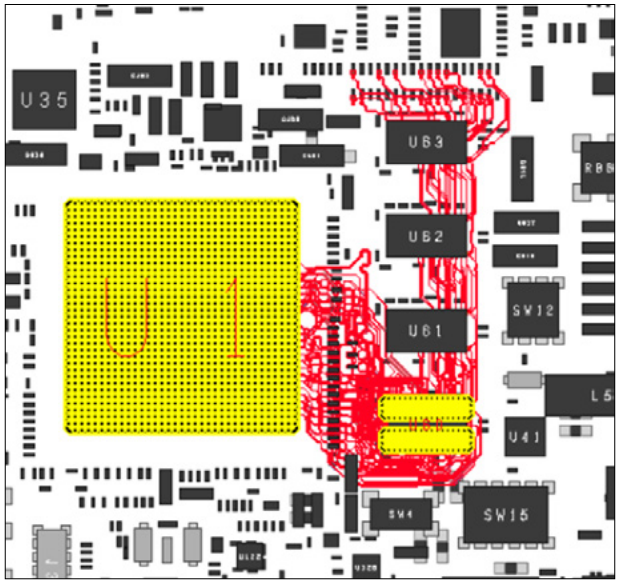
信号完整性问题会给性能造成很大影响

信号完整性指的是电信号的质量，这是设计中经常要考虑的情况。在数字通信通道中，信号完整性分析指的是对电信号经过的 PCB 走线、过孔、连接器和其他元器件展开研究。信号完整性问题可能会对数字设计造成严重破坏，譬如性能问题、良率下降，以及现场可能发生的故障。设计人员通常直到设计和测试周期的后期才能发现此类问题，因此纠正起来需要付出高昂代价。



PCB 信号完整性仿真的最佳时机是在版图设计之后和制造之前。随着传输速度提高，花时间进行仿真也就变得越发重要。现在，越来越多的因素都有可能导致信号完整性问题。常见问题包括互连上的反射（阻抗失配）、走线之间的电磁耦合以及接地问题。这些问题如果得不到解决，可能导致信号失真和衰减。

从长远来看，信号完整性分析和仿真可以节省大量时间和金钱，因为它降低了后期设计失败的风险，并且能帮助您最大程度提高设计裕量。

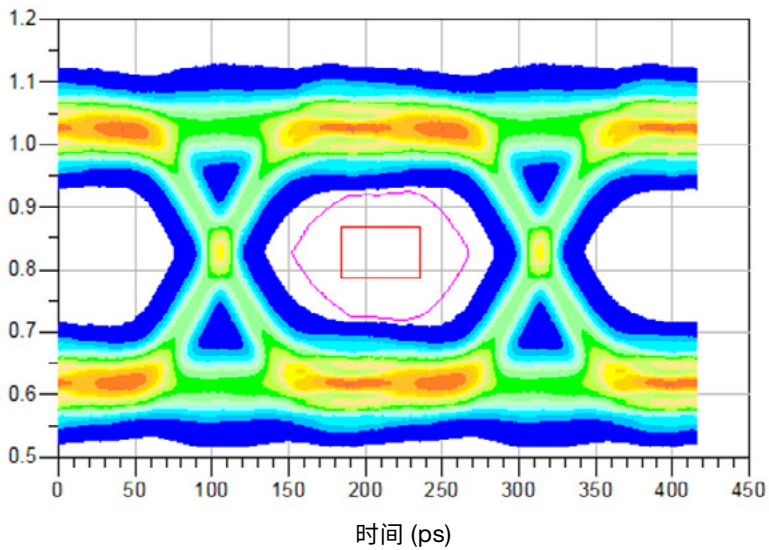


了解数字通道信号完整性的三大步骤

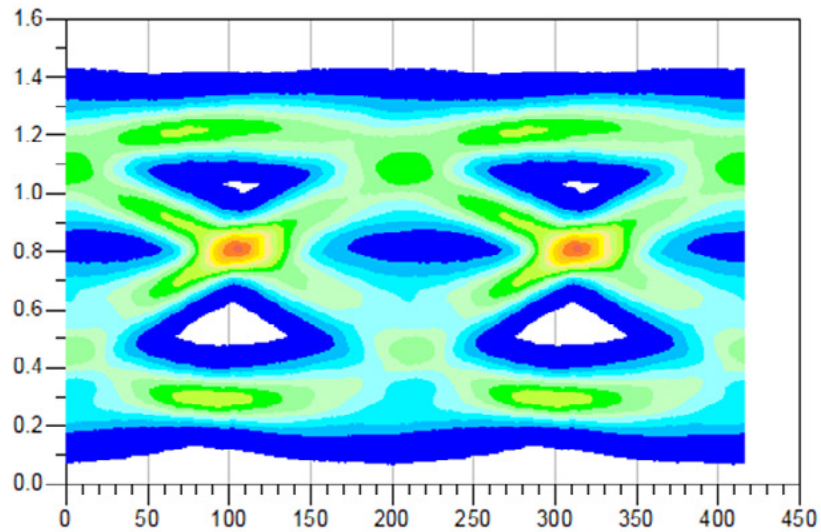
在理想的情况下，从开始绘制原理图一直到电路板通过最终测试，您都应当重视信号完整性。通过仿真来验证假设是测试通道信号完整性的最佳方法。请按以下三个步骤进行操作：

第 1 步：用眼图仿真通道

信号从发射机经过 PCB 传输到接收机。在信号传输过程中，走线、连接器和电缆会造成干扰，导致信号的幅度下降、时序偏移。眼图可以帮助您判断到达接收机的信号质量是否仍然足够好。



眼图打开表示信号质量良好



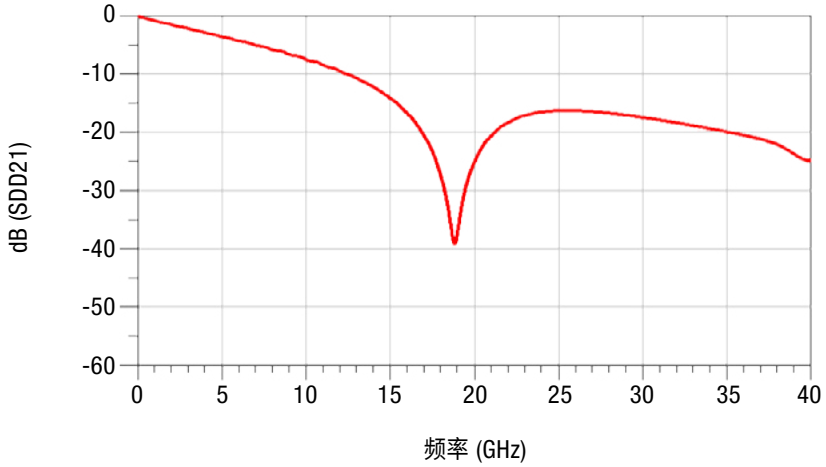
眼图闭合则表示存在信号完整性问题

第 2 步：找到性能下降的根本原因

一旦发现信号完整性问题，您可以通过两种主要分析手段在设计中查找根本原因。

混合模式 S 参数

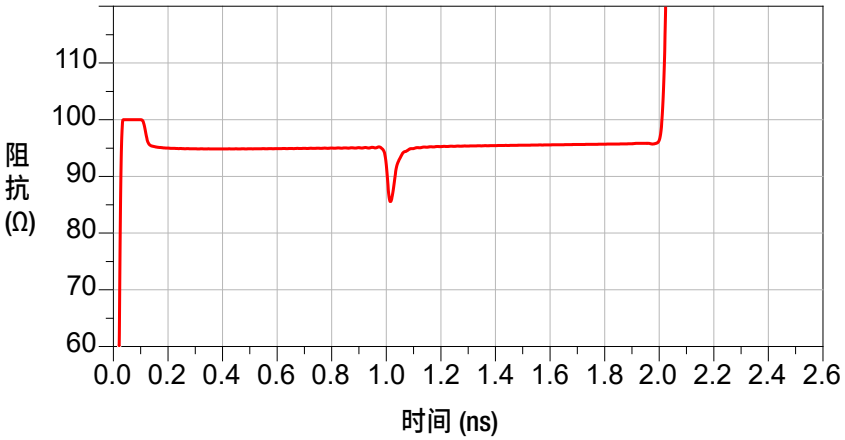
混合模式 S 参数能让您了解与通道频率响应相关的信息。



请看这张差分插入损耗图，您会看到线性响应。由于在 18 GHz 附近存在一个下降，因此您知道某个元器件在该频率处存在信号完整性问题。

时域反射计

时域反射计使用反射波形来提供关于通道的信息。它可以显示空间和时间信息。



您注意到 1.0 纳秒处有一个下降吗？这个下降表明通道在那个点上存在信号完整性问题。

第 3 步：探索设计解决方案

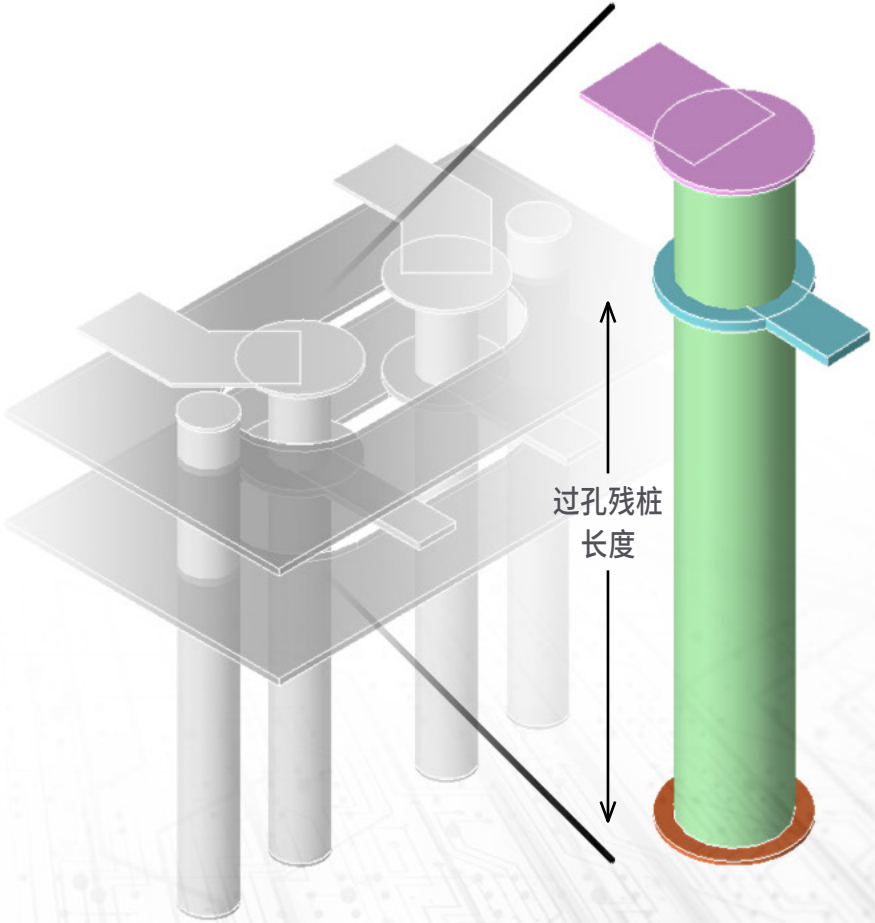
一旦确定了信号完整性问题的根本原因，您就需要考虑要对设计进行哪些修改。

一个常见的原因是过孔残桩过长。过孔是 PCB 中各层之间的电气连接。过孔残桩是连接器上没有使用的部分，可能会严重影响信号质量。背钻（使用钻头钻掉多余的残桩部分）可以显著改善信号完整性。

修改完设计之后，应务必再次执行通道仿真，确保得到打开的眼图。

想了解更多信息?

是德科技云课堂课程:《信号完整性设计》



注意事项 2

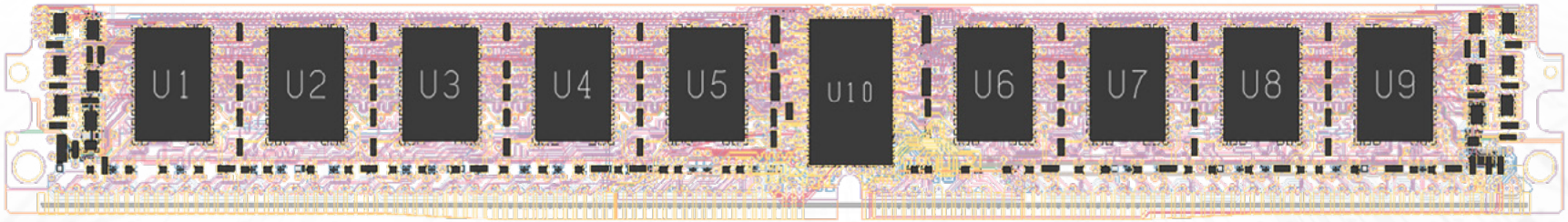
电源完整性

注意事项 2

提前预测电源完整性非常有必要

如果产品在设计末期未能通过一致性测试，会造成极其昂贵的代价。通过新增滤波器和电容器进行改造会增加制造成本。重新设计则会延误产品开发进度，造成收入损失。最好的办法是在设计阶段尽早开始了解和解决潜在的电源问题。

电源完整性分析的目的是确保电路板上的驱动器和接收机能够获得所需的电压和电流来支持它们正常工作。为确保电源完整性，您要避免直流压降（这个指标衡量的是流经电源和接地面电阻的电流所造成的电压损耗）。



早期设计探索非常关键

有三个因素会给电源完整性造成挑战并增加直流压降的影响。

1. **器件集成度提高**——电路板上的走线越密集，电源网络中的电流密度就越高，直流压降也就越大。
2. **电源电压降低**——1 V上10%的容差比1.2 V上10%的容差更为严格，因此会扩大压降的影响。
3. **外形尺寸缩小**——PCB 上的空间更小，导致电源面的空间压缩，造成直流压降。

您不能等到完成版图设计之后才执行电源完整性分析。早期设计探索对于成功打造高速数字电路板非常关键。

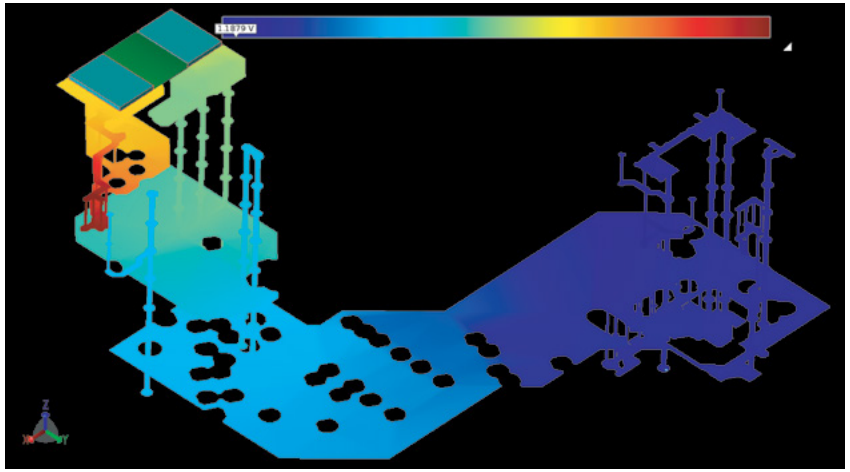
理解电源完整性的两个关键分析

早期仿真和分析有助于确保电路板的电源完整性。请务必将这两种分析纳入您的整体高速数字设计流程。

分析 1: 直流 IR 压降

在 PCB 上分配电源时，如果压降过大，负载上的电压可能无法达不到所要求的器件技术指标。直流 IR 压降分析可以确保 PCB 走线和平面满足电源要求。

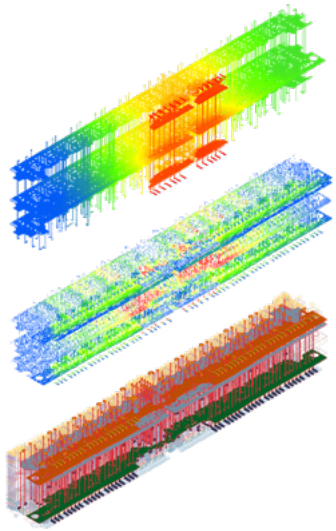
通过这一分析，您可以直观地了解所选电源和接地网络的电压分布情况。您还可以查看电流密度，从而了解如何更好地改进设计。请务必查看电源稳压器模块及其过孔的布置。您还要考虑过孔周围的空隙，电流在此被迫通过狭窄的路径。



分析 2: 交流阻抗

从直流角度考虑电源完整性固然重要，但从交流角度考虑电源完整性也同样具有非常重要的意义。在 PDN 中，有多个集成电路充当了接收机的角色，每个集成电路以不同的频率开关从而形成交流。去耦电容器可存储局部电荷，同时尽量降低电流变化的影响。

通过交流阻抗分析，您可以确定去耦电容器的最佳数量，从而最大程度地降低交流效应。由于电路板上的空间有限，优化去耦电容器的数量能节省制造成本。您打造的最优设计应不仅具有数量最少的去耦电容器，还能确保稳定性。



电压分配

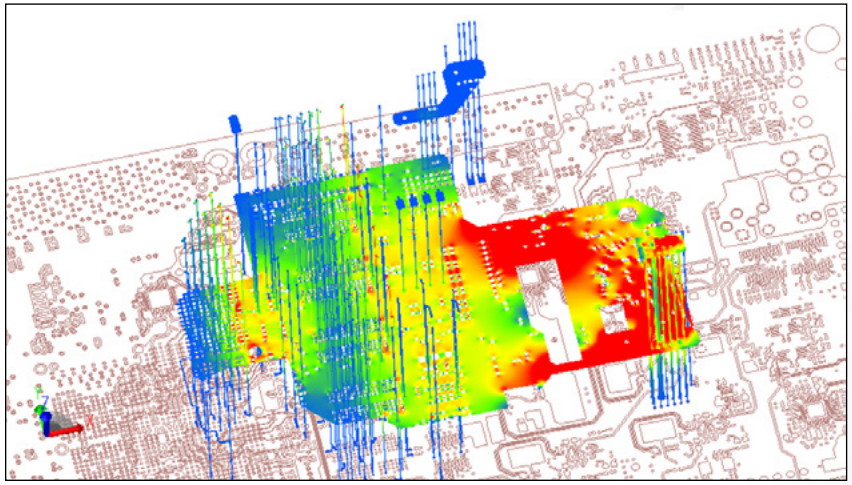
电流分配

返回平面可视性

实现平坦阻抗设计的目标

过去，电源完整性工程师使用目标阻抗来确保在所需的频率范围内提供足够的功率。目标阻抗代表了 PDN 能承受的最高阻抗。设计人员认为，如果将目标阻抗保持在这个限值以下，电源完整性不会构成问题。

在当今的高速数字电路板上，目标阻抗还不够高。您必须考虑影响电路板的其他噪声源。从直流到最高频率分量的 PDN 阻抗必须平坦，而不能只是单纯地低于目标阻抗。为了确保得到平坦的阻抗，您可以用电源的反馈环路滤除低频，用去耦电容器滤除中频和高频。您需要一个“最优阻尼”设计来避免纹波，并为电流需求中的大阶跃提供快速稳定时间。平坦阻抗方法可以同时满足这两个需求。

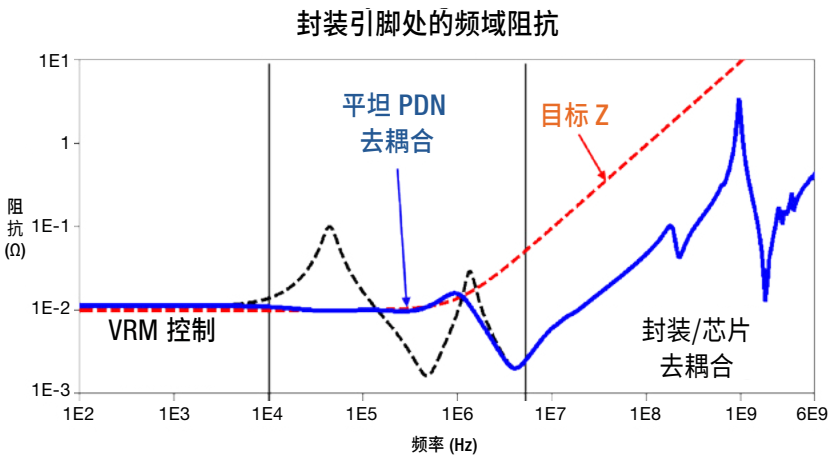


一个巨大的波形波动足以毁掉您的配电网络。在进行版图设计之前优化平坦阻抗可以降低这种风险。

优化平坦阻抗

优化平坦阻抗意味着使用非常少的电容器来获得平坦阻抗，同时避免可能导致狂野电压波的高谐振。减少电容器的数量还可以减少焊点，让可靠性也得到提高。优化平坦阻抗可以改善性能、降低成本、提高可靠性。

将直流 IR 压降和交流阻抗分析相结合，并针对平坦阻抗进行设计，可以提供全面的电源完整性工作流程。只要解决了这些分析中发现的问题，您就可以信心十足地设计从发电到交付给负载的整个电源完整性生态系统。



想了解更多信息?

请观看是德科技的电源完整性系列视频：

视频:《优化去耦电容》

视频:《查找供电噪声问题》

视频:《VRM 的选择》

视频:《测量、建模和仿真电容器与电感器》

视频:《直流 - 直流转换器的建模与仿真》

注意事项 3

热效应

注意事项 3

热效应

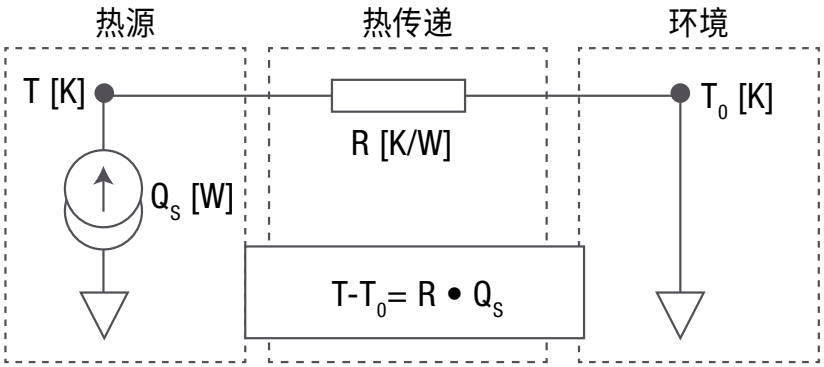
电路板散发的热量越来越高

设计人员将更多元器件布置到更小的 PCB 上，希望榨干 PCB 的所有潜能。功率密度不断上升，紧跟其后的是温度上升。高温会给导体和电介质造成严重的破坏。无论是因为电压还是环境因素导致温度上升，热特性和电气特性都会受到影响，导致损耗增加，系统性能失去稳定甚至器件发生故障。

此外，长时间的高温会带来可靠性问题。温度忽高忽低会导致过孔环变脆甚至破裂。发热始终是 PCB 设计要考虑的因素之一，但当今高速数字设计电路板的需求压倒了传统的 PCB 热管理流程。无论是对高温 PCB 的性能和可靠性，还是对重量、应用尺寸、成本和功率要求，降低高温的影响都具有深远的意义。

在进行热效应设计时，您不妨问自己两个问题：

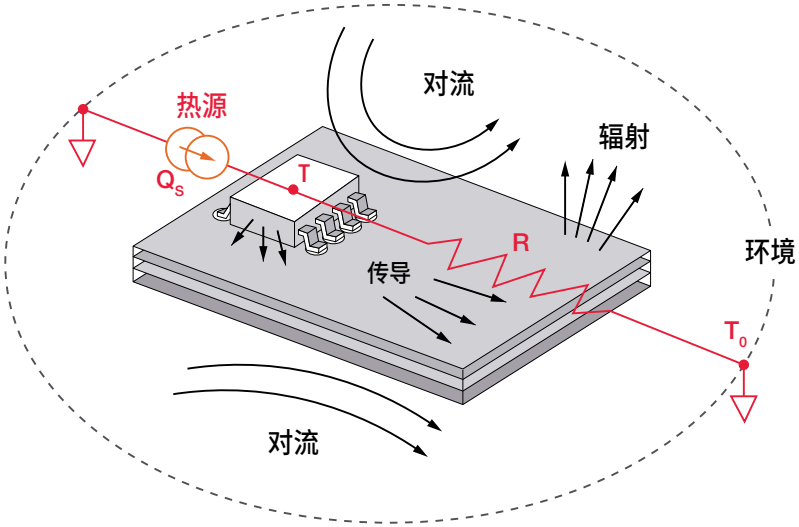
1. 热量从何而来？
2. 热量如何传递给周围的元器件？



热量从何而来?

热量通过辐射、对流和传导中的一种或多种机制消散。在决定如何管理系统和元器件温度时，请牢记这三种机制。

1. 辐射——热能通过电磁波传输
2. 对流——热能在流体中转换
3. 传导——热能在直接接触的两个物体之间传递



哪个过孔的温度比较高?

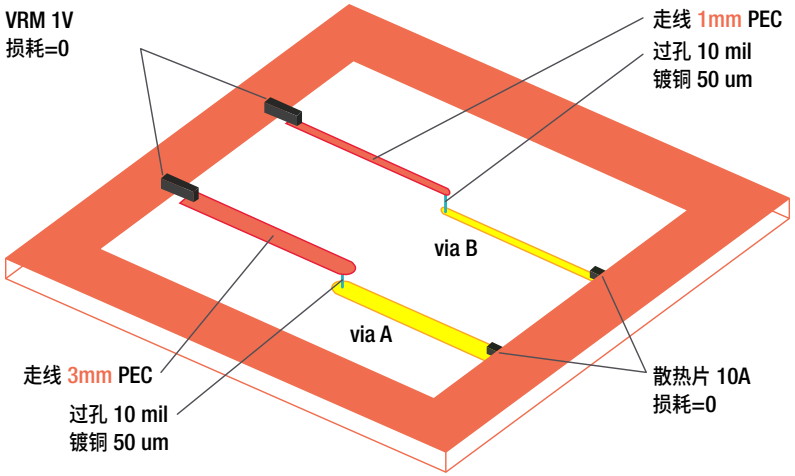
我们很难判断过孔的大小是否与通过的电流匹配。温度上升很大程度上取决于与其相连的走线的宽度。走线的电阻也会随温度增加。这使得我们很难通过人工计算来估算过孔的最终温度。取而代之的是，我们通过仿真分析将所有热效应纳入考虑，从而确定过孔的最终温度。

测试一下您的假设——您会怎么想?

同样的过孔，同样的环境条件，哪一个的温度更高?

- 走线为 3 mm 的过孔 A
- 走线为 1 mm 的过孔 B

走线对过孔的温度有什么影响?



通过电热分析更准确地预测温度

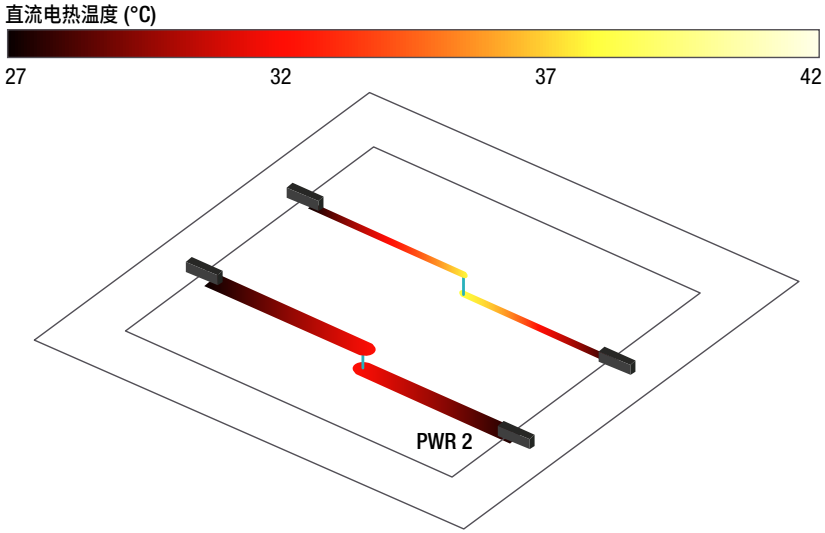
答案是：过孔 B

走线较窄的过孔的温度比较高。根据电热分析结果，过孔 B 的温度为 42°C，过孔 A 的温度为 36°C。

原因何在？

连接过孔 A 的金属走线比较宽，因此散热效率更好。但这个答案却比较复杂。走线温度每变化 10°C，电阻会发生 4% 的变化，同样会增加过孔的温度。这个计算需要借助电热仿真器来完成。

这只是一个简化的示例。高速数字电路板上的热耗散和热传递都相当复杂。电路板的散热性能取决于许多因素，包括可用的金属、材料特性、元器件密度和位置、散热元件以及环境条件。所有这些因素都相互关联。电热分析是预测热效应并防止温度过高的唯一准确方法。



想了解更多信息？

视频：《在 ADS 中如何设置电热仿真》

注意事项 4

系统分析

信号完整性　电源完整性　热效应　系统分析

注意事项 4

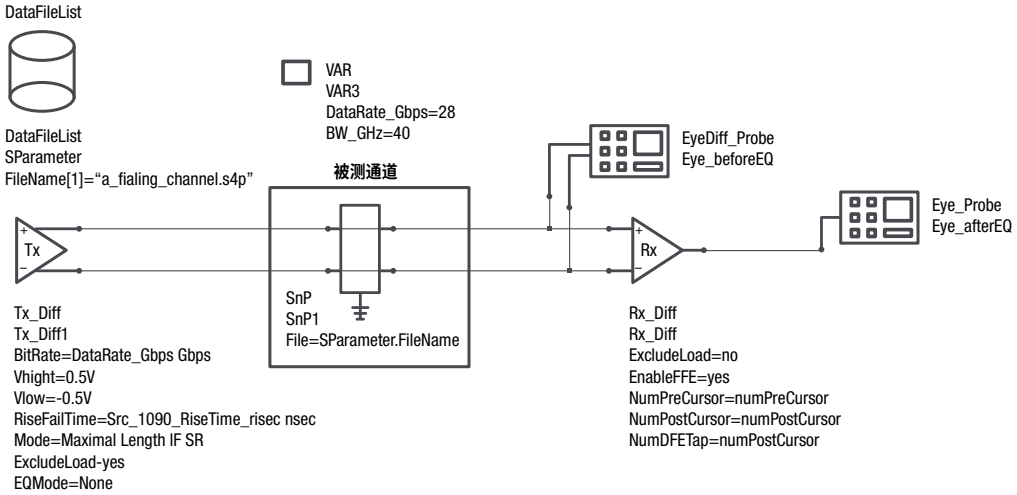
系统分析

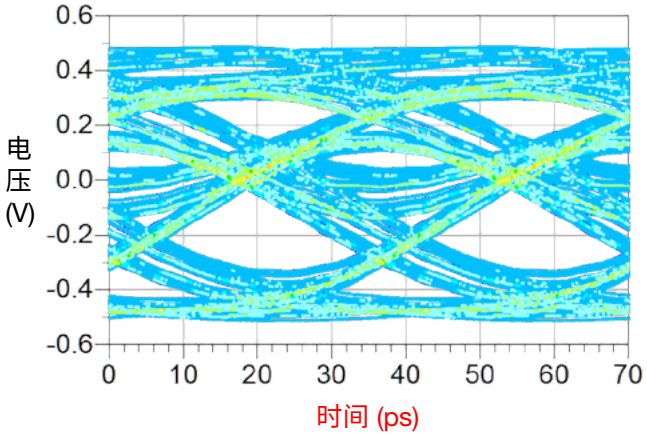
通过通道仿真增强设计信心

艰巨的技术挑战催生了突破性的新技术。如果瞬态仿真 (SPICE) 无法满足设计现代高速数字电路板的需求，这种情况常常就需要用到通道仿真。

通道仿真可以快速分析高速串行和并行通信链路中的通道。一般情况下，通道仿真器能够在几分钟内处理上百万比特码型，从而精确分析眼图属性，包括密度、宽度、高度、浴缸曲线和 BER 轮廓。通道仿真器考虑了码间干扰、随机抖动、串扰、编码、均衡以及高速数字设计人员感兴趣的其他效应。

通道仿真能够增强您的信心，确保整个高速数字板设计满足所有技术指标的要求。您可以通过通道仿真来优化 PCB 互连和均衡协同工作的复杂系统。





需要进行通道仿真的两个应用

第一个应用：400G 以太网

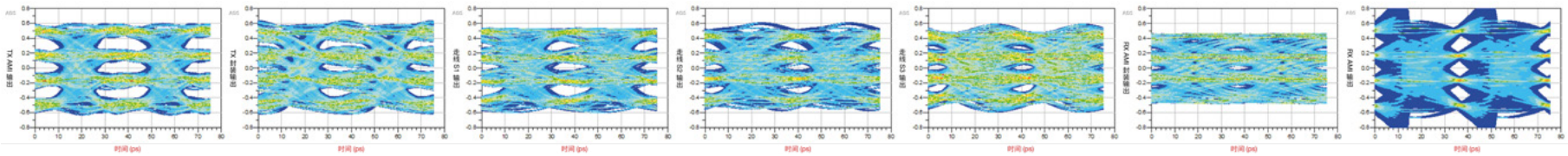
在当今的互联世界，人们对于集中化数据的需求不断增长，推动以太网持续创新。400G 以太网代表了 PCB 上电气接口的一个重要且具有颠覆性的技术进步。400G 可以通过两种调制技术来实现：非归零和四电平脉冲幅度调制 (PAM4)。虽然 PAM4 支持更高数据吞吐量，但基于 PAM4 的设计却更容易受到噪声影响，因为它们用两个比特的幅度变动表示四个信号电平。

为了处理更高数据吞吐量，我们可以采用输入/输出缓冲区信息规范——算法建模接口 (IBIS-AMI) 模型。借助 IBIS-AMI 模型，您可以精确表征发射机和接收机的性能。该模型还具有可移植性，能提供 IP 保护、互操作性和更快的仿真能力。在选择厂商提供的 IBIS-AMI 模型时，必须进行通道仿真；否则的话，您无法通过抖动、均衡以及时钟和数据恢复来精确仿真复杂的信号链路。要最大限度地减少因为阻抗变化（尤其是通过过孔）产生的码间干扰，全通道仿真就显得尤为重要。

想了解更多信息？

云课堂：《打造 400G 设计——避开 56 Gbaud PAM4 的误区》

视频：《更快建立 DDR5/LPDDr5 的 AMI 模型》

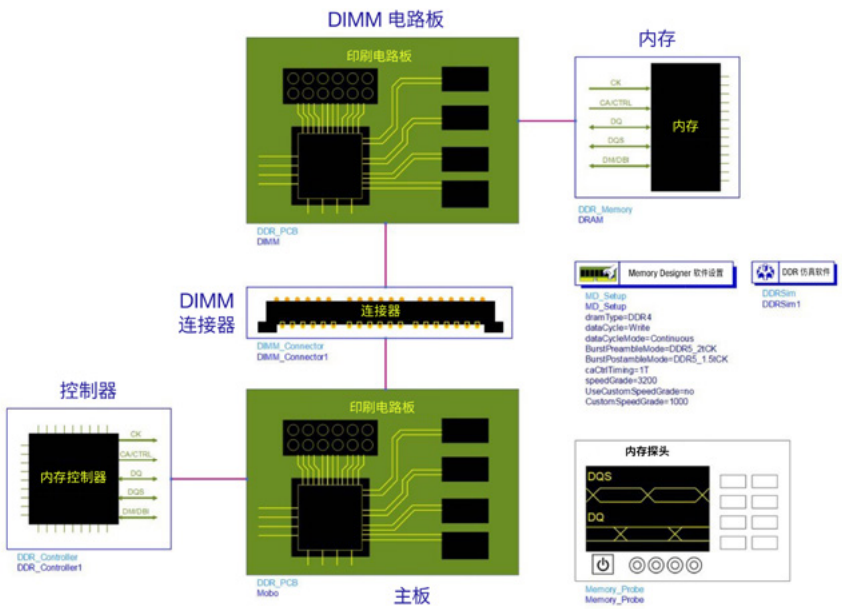


第二个应用：双倍数据速率存储器

随着双倍数据速率 (DDR) 存储器更新换代，其设计也变得越来越复杂。仿真和测试配置的复杂性也与之俱增，导致需要更长的仿真和测试设置时间。更高的复杂性意味着：关联仿真数据和测试数据存在更大挑战，并且影响设计的置信度，导致更长的故障诊断周期，最终使设计难以如期交付。

设计人员在设计存储器系统时，除了必须要应对开发时间缩短、电压裕量变小的挑战，还要执行众多复杂的一致性测量，以确保其产品设计能可靠工作。对于最新的 DDR5 和 LPDDR5 标准，随机抖动尤为重要。设计人员需要确信他们的存储器设计可以通过超低 BER 的接收机模板测试。

通过通道仿真，您可以信心十足地对 DDR5 及更复杂的存储器进行建模。设计裕量不断被压缩，存储器设计中出现错误的空间越来越小。通道仿真可以快速计算极端情况。



想了解更多信息?

云课堂:《DDR5 总线仿真技术讲解》

视频:《使用 PathWave ADS 内存设计软件和 SIPro 进行 DDR 仿真》

视频:《避免在 DDR5 速度下测试失败的 3 种方法》

总结

了解关于高速数字设计的更多信息

高速数字设计面临的一大挑战是跨越多个学科的工作流程。我们在此介绍的四个注意事项也是整体高速数字设计工作的一部分。但是，如果没有一个工作流程将一位工程师的成果与另一位工程师的成果联系起来，我们就无法高效地优化设计。是德科技的综合设计和仿真软件提供了一个高速数字工作流程，帮助您快速、准确地打造最优设计。

无论如何，只要您选择采用高速数字设计，有一点很明确。使用正确的设计工具和整体设计方法，将本电子书中介绍的注意事项牢记在心，可以帮助您快速打造成功的设计。

了解更多信息

如需了解 Keysight PathWave 先进设计系统 (ADS) 如何帮助您执行整体高速数字设计或是索取免费试用版本，请访问我们的网站。

信号完整性　电源完整性　热效应　系统分析

此信息如有更改，恕不另行通知。 | 7120-1027.ZHCN © 是德科技，2021 年 | 2021 年 6 月 2 日，印于北京 | keysight.com