

SiC和GaN系统设计 工程师不再迷茫

Andrea Vinci和Tom Neville, 泰克科技公司

SiC和GaN MOSFET技术的出现,正推动着功率电子行业发生颠覆式变革。这些新材料把整个电源转换系统的效率提高了多个百分点,而这在几年前是不可想象的。

现实世界中是没有理想的开关特性的,但基于新材料、拥有超低开关损耗的多种宽禁带器件正在出现。既能实现低开关损耗,又能处理超高速率 dv/dt 转换,并支持超快速开关频率,使得这些新技术既成就了DC/DC转换器设计工程师的美梦,但同时也变成了他们的恶梦。

比如一名设计工程师正在开发功率转换应用,如逆变器或马达驱动控制器,或者正在设计功率因数补偿(PFC)电路校正挑战,需要把电源效率提高到99%甚至接近极限。他们会面临什么样的挑战呢?

使用低损耗晶体管只是他们必须翻越的整座大山的第一步。全面隔离的栅极驱动器电路必须能够正确驱动和控制功率阶段,这会产生多个必须解决的问题,从隔离到电路保护技术,来避免所谓“馈通”问题的引起的潜在灾难。

在设计高频转换器时,大部分设计时间用在仿真和检验上,以确认已经考虑并解决所有可能的问题。

资源PCB设计人员可以在布线上做到完美,但寄生信号仍然存在,且潜伏在每个角落,这就够设计团队忙的了,当然在这个过程中他们可以对新器件封装、新系统布线和新拓扑方面积累经验。毋庸置疑,如果切换到新的SiC和GaN器件是非常复杂。

这个场景在功率系统设计项目中相当常见。这是通常的思路将PFC/电源市场与光伏逆变器市场关联起来,把xEV汽车市场与消费无线充电应用关联起来,以期最大限度地利用SiC和GaN技术。

当然,各种应用系统之间的要求差异很大。设计人员对半导体器件的电场强度、导通电阻或关断电压要求,可能会迫使其转入非常具体、非常窄的泳道。而不管是在250kHz下使用SiC的20kW电动汽车充电桩设计人员,还是开发6.78MHz基于GaN的无线功率设计的共振拓扑设计人员,他们都面临着许多共同的问题。

不管是哪种情况,设计人员都需要清楚而准确地表征静态损耗和开关损耗。他们都需要清楚地处理和管理散热问题,量化冷却介质。他们的桌子上可能都摆着一大本新一代变压器、电感器和电容器产品目录,而他们以前从来没用过这类产品。当面临EMC验证时,他们会非常担心焊接式探头接入线可能会变成迷你天线。

他们还开始认识到,他们过去使用的仪器及附件可能不足以满足当前测试需求。

他们必需测试几千伏的击穿电压,同时处理最低飞安级的泄漏电流。电源、万用表、示波器,哪个才能胜任这项任务呢?

由于必须同时测量所有这些MOSFET V_{gs} 和 V_{ds} 及电流,在精确表征时延的前提下,他们还能使用四通道示波器,同时利用某些外部触发信号技巧,来实现同步吗?他们要投入多少时间对波形进行处理,然后在离线时把它们放在一起,形成对电路特点的判断呢?他们是否有足够的灵敏度,在旧示波器上进行栅极阈值电压测量,他们仍在示波器屏幕上一直追踪振荡,它们是真实的还是来自探头引线?

SiC和GaN也不例外,设计人员几乎全都遇到过多个痛点和测量挑战,包括:

- 高 dv/dt 、高 di/dt 和高开关频率产生了与EMI相关的问题
- 在存在高共模电流的情况下测量低电压
- 高压过冲
- PCB布线设计中的串扰和其他问题
- 确定百分之几的误差来自测量系统

V_{gs}测量问题

在另一个领域设计如相臂或半桥拓扑结构中,设计人员竭力测量拓扑中的 V_{gs} ,如图1所示。

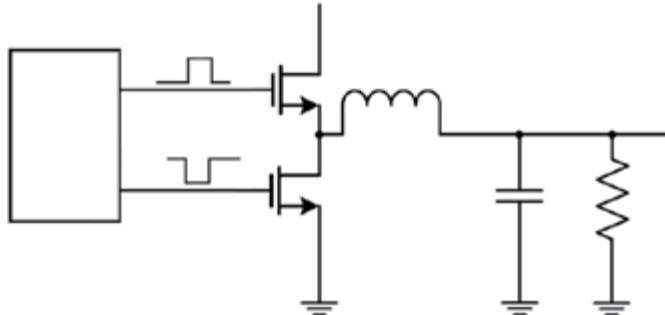


图1：典型的相臂或半桥拓扑结构。

在这种结构中，当一个SiC MOSFET打开时，超高dv/dt包括互补MOSFET的门极到源极电压(V_{GS})，如图2所示。

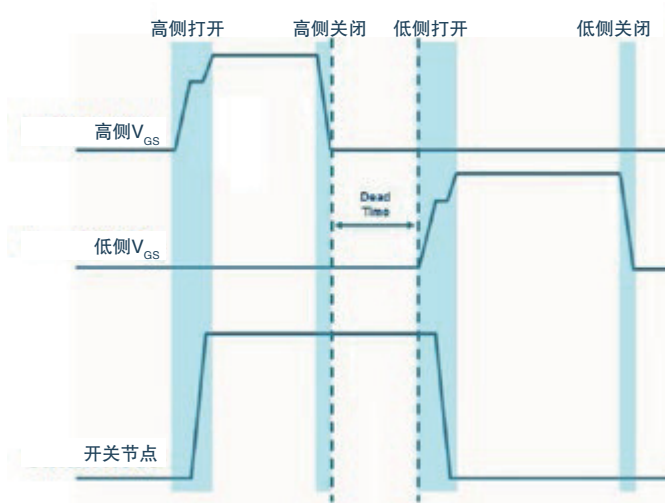


图2: 涉及 V_{GS} 测量的相关挑战示意图。

当然，您不想降低 dv/dt ，因为高的转换速率才能让这些器件实现最低的开关损耗。因此，必须用不同的方式解决这个问题，比如处理门极驱动器侧，主动控制开关切换过程中两个阶段的门极电阻。

此外，资深的PCB设计人员必须确保总线和连接通路实现最小的电感效应，这样不至于因电感环路而给电压和过冲振铃带来太多影响。在真实的电路，必须同时测量高压侧和低压侧 V_{GS} ，来验证所有这些单元，表征脉宽调制(PWM)延迟时间，最大限度地降低死区时间，提高性能。然后您必需测量电流及两个 V_{DS} ，以全面表征开关损耗。

四通道示波器不足以胜任这一工作，典型的8位ADC没有提供足够的垂直分辨率。此外，现在已经证实，大多数实验室中常



TRANSFORMERS
Innovation • Design • Performance
www.PaytonGroup.com



PAYTON AMERICA / CHINA / JAPAN / EUROPE

- Planar, Conventional or Hybrid solutions for high Efficiency & low Cost
- 10 Watts to 90,000 Watts in a single unit for all SMPS
- Fast Designs and Samples
- TS16949, AS9100, ISO9001, SQ-1000 & ITAR register

PAYTON PLANAR MAGNETICS
1805 S. POWERLINE ROAD, SUITE 109
DEERFIELD BEACH, FL 33442 USA
Tel: (954) 428-3326 x203 | Fax: (954) 428-3308
jim@paytongroup.com

用的探头也是不够的，其中也包括性能较好的差分探头，而传统上一直认为这些探头足以在高压侧进行浮动测量。

传统差分探头基于差分放大器，差分放大器连接到接地上。这个接地连接限制了共模电压范围，导致共模电压频率额定值下降，产生接地环路，限制了共模抑制。

幸运的是，就像宽禁带器件产生颠覆式变革一样，电源效率测量解决方案也在发生颠覆式变革。

新型测量解决方案

这个领域中的典型测量系统基于示波器和差分探头，差分探头在被测器件(DUT)与示波器之间提供连接。示波器选型至

关重要，包括相应的带宽、底噪、垂直分辨率、通道数量和应用软件。探头选型也至关重要，因为探头性能可能会成为测量系统的限制因素。

在需要差分测量系统时，由于共模抑制比、幅度特性下降、频响及探头输入引线导致的寄生信号等限制，上述传统差分探头通常不能很好地表征实际信号。在测试SiC和GaN功率器件时，这些限制影响会进一步放大，因为SiC和GaN功率器件的开关速度快，标称共模电压高。



图3: IsoVu测量系统。

由于捕获这些信号的问题源自接地需求，因此可行的解决方案应该是不依赖接地的探头技术，由于不依赖接地，所以其或多或少不受高共模电压的影响。泰克科技公司开发的IsoVu测量系统，其完全通过光纤进行操作，实现以上的测试需求。

IsoVu测量系统是Vgs测量的飞跃，也是唯一同时拥有必须高带宽、高共模电压和高共模抑制比的解决方案，可以在涉及宽禁带MOSFET的新应用中实现满足要求的差分测量。IsoVu与DUT完全实现电信号隔离，采用光电传感器，把输入信号转换成光调制，在电气上把DUT与示波器隔开。

传感器头连接到测试点上，全面实现电隔离，通过其中一条光纤供电。探头尖直到连接点全程屏蔽，最大限度地降低寄生信号。探头不仅为功率转换测试提供了明显的优势，还特别适合严格的EMI和ESD测试要求。

与电气探头要尽可能短不同，电缆长度对基于光纤的测量系统并不是问题。在DUT与示波器必须(或应该)相距一定距离时，远程测量能力会非常有效。



图4: 泰克示波器。

IsoVu系统适用于大多数泰克示波器，但最佳搭档是与5系列MSO示波器的12位垂直分辨率结合使用，5系列示波器在一台仪器中提供了最多8条模拟通道，同时还提供了高级功率分析软件。凭借这种组合，设计人员终于可以利用宽禁带材料为DC到DC功率转换器提供的所有优势，同时对三相功率电子、电源设计、汽车电子等也是明显的进步。

关于作者

Andrea Vinci是泰克-吉时利EMEA业务拓展经理。他毕业于意大利Università di Padova大学电子工程专业，获理学硕士学位。

Tom Neville是泰克科技公司时域产品事业部产品规划师和产品市场经理。他毕业于波特兰州立大学电子工程专业，获得理学硕士学位。他本科毕业于美国陆军军官学校，获得理学学士学位。Andrea和Tom一直专注于功率应用测量解决方案。

www.tektronix.com.cn