

Application Brief

我的设计是否需要米勒钳位？



Vaishnavi Suresh

引言

栅极驱动器集成了有源保护功能，有助于减少外部电路，例如有源米勒钳位。那么，设计人员如何确定设计是否需要米勒钳位？了解开关应用中寄生效应的来源以及选择单极或双极电源可以帮助工程师做出这一决策。本应用简报探讨了影响米勒钳位需求的设计因素，在内部和外部实现钳位的利弊权衡，并提供了一个需要米勒钳位的示例应用。本应用简报还为工程师提供了明确的评估标准，供他们决定米勒钳位是否是设计所必需的。本文面向正在设计高速开关应用的电力电子工程师。

了解寄生效应造成的威胁

每个 MOSFET 和 IGBT 都具有寄生电容。使用 TI 的 [MOSFET 和 IGBT 栅极驱动器电路基本原理](#) 应用手册 (图 1) 中的以下模型，工程师可以了解此寄生电容的来源。

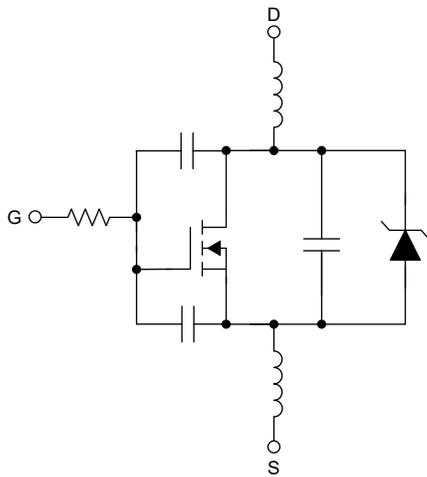


图 1. 功率 MOSFET 模块

C_{GS} 和 C_{GD} 与 MOSFET 和 IGBT 的几何形状相关，而 C_{DS} 是寄生体二极管的基极-集电极二极管的电容。由于栅极与源极区域重叠以及栅极与源极端子之间的固有电容， C_{GS} 为栅极至源极电容。 C_{GD} 是栅漏电容，也称为米勒电容。 C_{ISS} 是栅源电容和栅漏电容之和，如下公式所示。

$$C_{ISS} = C_{GS} + C_{GD} \quad (1)$$

C_{ISS} 是用于确定 MOSFET 或 IGBT 的开关速度以及驱动晶体管所需的功率的关键参数。 C_{GD} 与高 dV/dt 一起将电荷推入栅极，从而导致误导通。

PCB 布线是寄生电感的主要来源。PCB 布线越长，寄生电感就越大，因为电感会随着导体长度的增加而增加。这些寄生效应相结合，在栅极驱动系统中形成以下谐振电路：

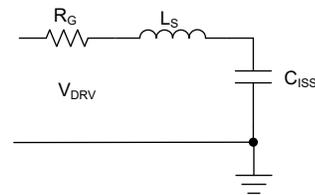


图 2. 栅极驱动谐振电路分量

在通电时，开关关断且 dV/dt 可强制穿过电源开关；由寄生元件的谐振电路驱动。方程式 2 展示了这种关系。

$$I_{CAP} = C_{GD} \times \frac{dV}{dt} \quad (2)$$

$$V_{IND} = L \times \frac{dI}{dt}$$

与 C_{GD} (寄生电容) 耦合的 dV/dt 会产生米勒电流。运行过程中的升温会导致电源开关的阈值电压降低，并且感应米勒电流会与寄生电感相结合，导致电源开关意外充电和导通。在半桥电路中，当一个 MOSFET 关断而另一个 MOSFET 导通时，MOSFET 的关断漏极上的快速 dV/dt 会通过米勒电容产生电流，从而为栅极充电。该米勒电流会将栅极电压升高，接近或高于阈值，从而导致本应关断的开关意外导通。这种意外导通可能会导致发生两个电源开关都导通的击穿事件。击穿事件可能导致电路功率级损坏并导致系统完全失效。

在整个设计过程中，考虑电源开关的寄生电容至关重要。根据制造商的数据表，FET 制造商通常不会列出与我们的 C_{GS} 和 C_{GD} 项一致的寄生电容规格。使用推导出这些项的相关公式很重要，可在 [MOSFET 和 IGBT 栅极驱动器电路的基本原理](#) 应用手册中找到相关公式。此外，遵循元件的布局建议并尽可能减少 PCB 布线有助于降低谐振电路的影响。

单极与双极电源

在决定应用是否需要米勒钳位时，另一个重要的考量因素是设计中使用的是单极电源还是双极电源。如前所述，在开关关断事件期间，米勒电流最有可能引起并导致电源开关意外导通。如果设计中采用单极电源，并且栅极驱动器的负电源轨在 0V 时接地，这意味着感应电流只需在 0V 至电源开关阈值电压范围内产生电压尖峰。使用双极电源可以使栅极驱动器的负电源轨连接到 -8V 的假设电压。现在，dV/dt 条件需要在 -8V 到电源开关阈值电压之间引起电压尖峰。在设计中使用双极电源有助于完全消除对米勒钳位的需求，同时仍提供击穿保护。使用双极电源需要额外的隔离式偏置功能，这会增加系统成本并且需要额外的 PCB 空间。设计工程师在考虑使用单极电源还是双极电源时，必须权衡这一点。比较单极与双极电源的设计后果时，TI 建议为单极电源实施米勒钳位，以抵消电源开关意外开启所需的小电压尖峰。

米勒电荷注入的高频特性

由于米勒电荷注入的高频特性，VGS 关断环路的电感会影响电压上升程度，进而导致晶体管意外导通。随着频率增加，电感对电流的阻抗较高，从而导致电压升高。

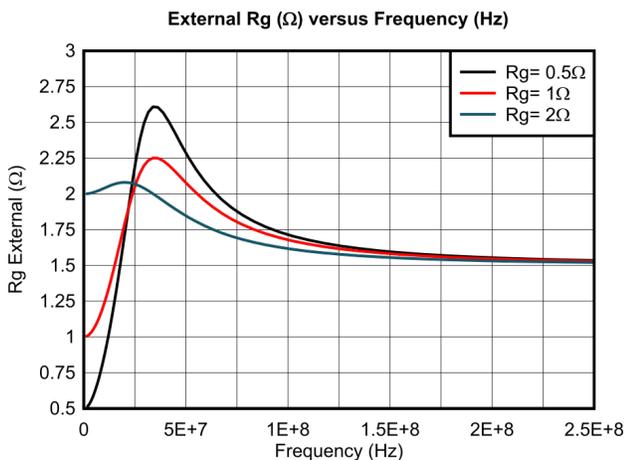


图 3. 高频米勒电荷注入对电压电平的影响

米勒钳位和内部与外部实现的目的

增大栅极电阻是降低或控制 dV/dt 以及限制米勒电流的一种方法，但这会导致功率损耗增加并降低系统效率。在设计中使用米勒钳位为米勒电流提供了一条替代的低阻抗路径，无需增加系统中的功率损耗。UCC217xx-Q1 隔离式栅极驱动器系列提供内部 (CLMPI) 和外部 (CLMPE) 米勒钳位选项 (图 4 和图 5)。

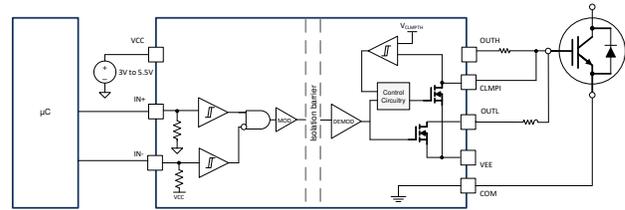


图 4. UCC21710 中的内部有源米勒钳位

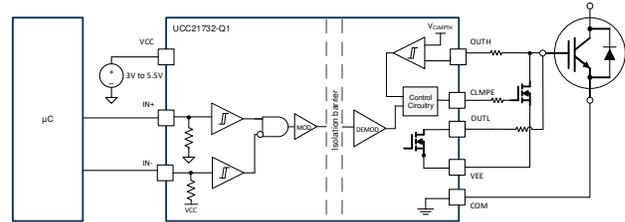


图 5. UCC21732 中的外部米勒钳位

为了有效地将米勒电流引导至负电源电压 (表示为 V_{EE})，必须将米勒钳位连接引脚尽可能靠近电源模块栅极放置，从而降低栅极和米勒钳位 FET 之间的布线电感。内部米勒钳位功能减少了外部电路的数量和 PCB 空间，从而降低整体系统成本。如果无法用短布线将 CLMPE 引脚路由到电源模块门，则必须使用 CLMPE。

驱动并联 FET 时，CLMPE 是比 CLMPI 更好的选择，因为布线更长，因此寄生效应更高。CLMPE 可以靠近单个栅极放置，从而更大限度地减小负偏置的阻抗。米勒钳位的外部实现为客户提供有关米勒钳位参数的更多灵活性。主要参数包括钳位阈值电压和米勒钳位下拉驱动强度。钳位阈值电压由栅极驱动器规格预先确定。

应用示例

根据相关信息和设计注意事项，可以针对设计需要米勒钳位的情况形成评估标准。想象一个使用单极电源和具有 4V 最大栅极阈值的 MOSFET 的示例电路。工程师必须分析电路中预期的最坏情况 dV/dt 条件。对于本应用示例，考虑在 1ns 内发生 50V 的变化。根据 FET 的数据表，可以根据 C_{RSS} 值后的 V_{DS} 与电容关系曲线来近似计算米勒电容。表中的数据规格并非始终适用于应用的运行条件。因此，应始终根据 FET 关断时预期的最坏情况来遵循曲线。本例使用的是 C_{RSS} 20pF。将这些值代入方程式 3，可以得到方程式 4。

$$I_{CAP} = C \times dV/dt \quad (3)$$

$$I_{CAP} = 20\text{pF} \times \frac{50\text{V}}{1\text{ns}} \quad (4)$$

$$I_{CAP} = 1\text{A}$$

根据欧姆定律并使用 5Ω 的栅极电阻值，此示例会在功率 MOSFET 上产生 5V 尖峰。由于 MOSFET 的最

大栅极阈值为 4V，因此该值会导致电源开关意外导通，并可能发生击穿事件，从而导致系统故障。

如前所述，米勒钳位为米勒电流提供了一条低阻抗路径。UCC5350MCDR 提供具有 0.26Ω 钳位电阻的集成式米勒钳位。在同一应用示例中，该值会在 MOSFET 的栅极上产生 0.26V 的尖峰，并避免意外导通。

图 6 比较了 UCC23514MDWVR VGS 中使用米勒钳位和不使用米勒钳位的峰值。使用和不使用米勒钳位时的峰值 VGS 分别为 3.36V 和 4.5V。使用米勒钳位可将峰值 VGS 降低 1.14V。

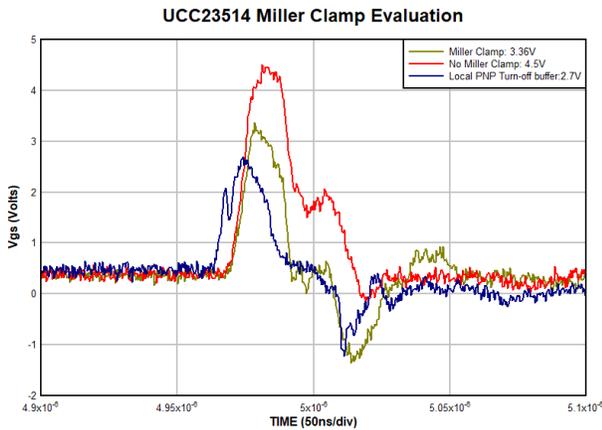


图 6. UCC23514 米勒钳位评估

具有内部和外部米勒钳位选项的器件

德州仪器 (TI) 拥有多个具有内部米勒钳位的隔离式栅极驱动器系列和器件型号，UCC5350MCDR 是高性能栅极驱动器的一个很好的示例。

但是，UCC21732 的型号提供内部和外部米勒钳位选项。

器件 OPN	CLMPI 或 CLMPE
UCC5350MCDR	CLMPI
ISO5451DWR	CLMPI
UCC21732QDWRQ1	CLMPE
UCC21710DWR	CLMPI

结语

是否要在设计中采用米勒钳位取决于系统寄生效应、使用的电源类型以及米勒注入的高频特性。米勒钳位必不可少，可避免 FET 意外导通（这会导致不可预测的行为并损坏器件）。如果设计中涉及快速开关晶体管，需要精确控制电压变化，则需要使用米勒钳位来提高系统的稳健性和可靠性。最后，通过仔细分析高频条件下的电路行为，可以深入了解在设计中添加米勒钳位的必要性和价值。

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司