

同步降压转换器的开关节点振铃控制

作者: Robert Taylor,

TI 应用工程师和 Ryan Manack TI 现场应用工程师

引言

由于电源效率变得越来越重要, 我们必须使用更高的开关速度来降低损耗。然而, 开关速度提高以后, 我们必须考虑进行一些折中选择, 例如: 电磁干扰 (EMI) 的随之增加。

同步降压转换器中, 高速开关场效应晶体管 (FET) 在开关节点会有巨大的电压过冲和振铃。振铃的大小与高侧 MOSFET 的开关速度以及布局 and FET 封装的杂散电感有关。我们必须注意选择正确的电路和布局设计方法, 以将这种振铃维持在同步 FET 最大绝对额定值以下。

本文将侧重于为您介绍三种电路设计, 其利用一个自举电阻器、一个高侧栅极电阻器或者一个缓冲器来控制开关节点振铃。文中列出了每种方法的数据, 并讨论每种方法的优点。如

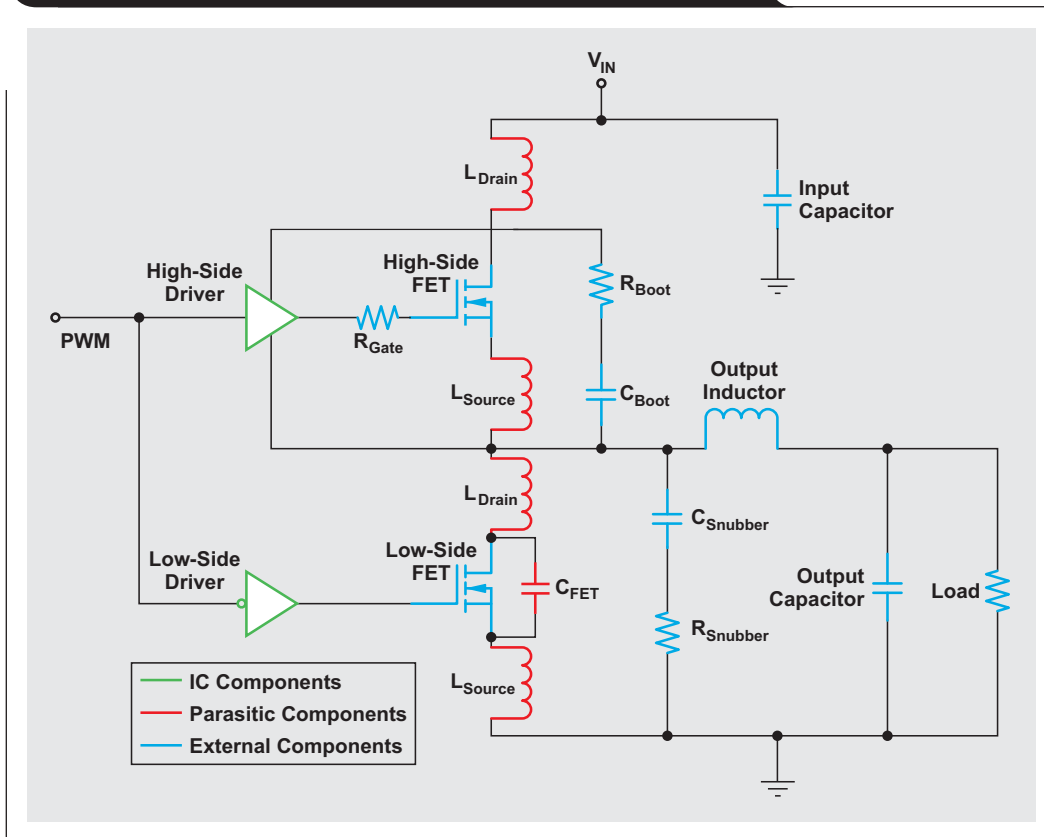
果使用的是糟糕的电源布局, 则这些方法都无效。因此, 我们同时也要考虑到电源布局这一因素。如欲了解电源布局的更多详情, 请参见《参考文献 1》。

同步降压转换器寄生带来的振铃

图 1 电路显示的是一个同步降压转换器的功率级组件。该模块中包括一些寄生电感和电容, 它们是产生开关节点振铃的原因。

我们假设该转换器状态稳定。在低侧 FET 开启时的部分开关周期, 负载功率仅通过输出电感和电容提供。这样, 能量存储于寄生电感, $E = \frac{1}{2}L \times I^2$ 。在开关周期末尾, 转换器将会把低侧 FET 关闭, 并将高侧 FET 重新开启, 目的是为输出 L 重新提供功率。

图 1 降压转换器寄生示意图



一些强大的栅极驱动器和一个高速开关 FET 可以使低侧 FET 快速关闭。假设负载状态足以让电感电流持续流至输出，则电流被分流至低侧 FET 的体二极管，并且能量保留在低侧 FET 的寄生漏极和源极电感中。在固定无反应时间以后，高侧 FET 开启，而来自低侧和高侧 FET 寄生电感的能量以开关节点 LC 振铃波形的形式出现。

这种振铃的电压大小可超出低侧 MOSFET 的最大绝对漏到源电压。如 (TI) CSD87350Q5D 等高速开关 MOSFET 都使用了一个堆栈式 MOSFET 对，其通过一些创新的封装技术控制这些寄生电感。

降低振铃

我们使用了一个 1.1-V/20-A 降压转换器测试电路，用于表明开关节点振铃的影响。该电路使用了 TI 的 TPS40304 600-kHz 降压控制器和 CSD87350Q5D 高速开关 NexFET™ 电源模块。输入电压范围为 8 到 16V。作为一个基线参考，我们绘制出了开关节点波形（请参见

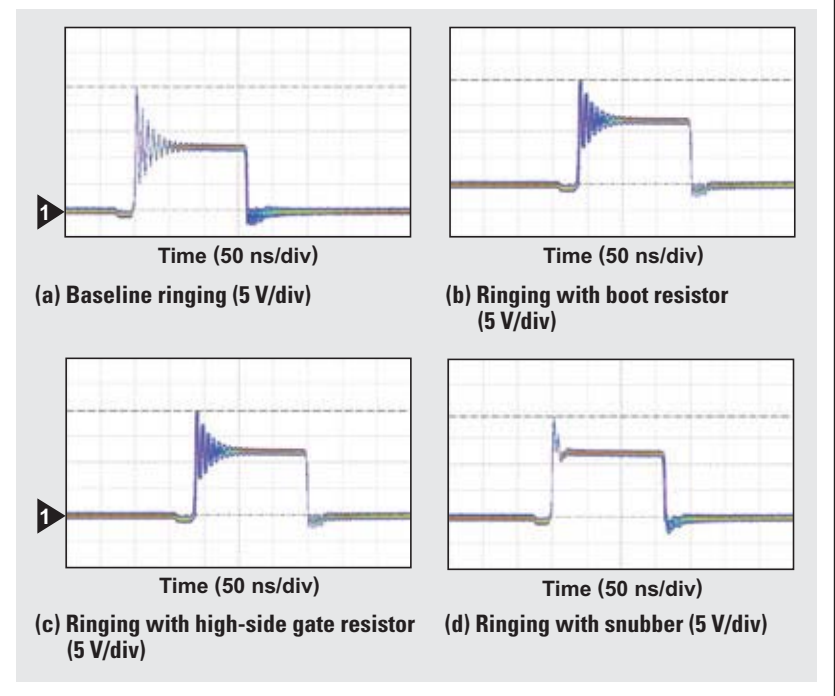
图 2）和效率曲线图（请参见图 3），但其没有连接自举电阻器、高侧栅极电阻器或者缓冲器。使用一个 12V 输入时峰值振铃为 23.4V。最大负载的效率为 87.2%。

我们对自举电阻器、高侧栅极电阻器和缓冲器进行了优化，以将这种电压过冲降低至 20V 以下。这种电压过冲控制方法为 FET 保护提供了一定的裕量，而 FET 的最大额定电压为 30V。图 2 显示了基线电路的过冲以及降低后的自举电阻器、栅极电阻器和缓冲器振铃过冲。栅极电阻器的波形与自举电阻器非常类似。需要注意的是，仅振铃的量级受到了自举电阻器和栅极电阻器方法的影响。缓冲器方法还改变了振铃频率，并渐次减弱振铃波形。图 3 显示了每种状态的测得效率。

使用一个自举电阻器

图 1 所示充电泵电路利用 CBoot 来将高侧栅极电源升压至功率级电源电压以上。降低振铃的一种方法是用一个自举电阻器与自举电容串联，降低高侧 FET 的开启速度。这样做让寄生网络有更多的时间来放电，最终达到控制振铃的目的。确定该自举电阻器值的方法是：从 0Ω 开始，然后逐渐增加电阻，直

图 2 12V 输入开关节点振铃波形



到出现理想的振铃程度为止。要想将这种设计的振铃降低至 20V 以下，则必须使用一个 6.8Ω 自举电阻器。有趣的是，该自举电阻器仅影响高侧 FET 的开启，从而让这种方法成为降低振铃的一种有效方法。但是，如果自举电阻器过大，则自举电容可能不会在每个周期都获得完全充电。这种情况下，栅极驱动器可能没有足够的电压来让高侧 FET 保持开启，并可能会在周期的中间关闭高侧 FET。这样便限制了可以利用自举电阻器方法降低的振铃量。

图 3 效率与负载电流的关系

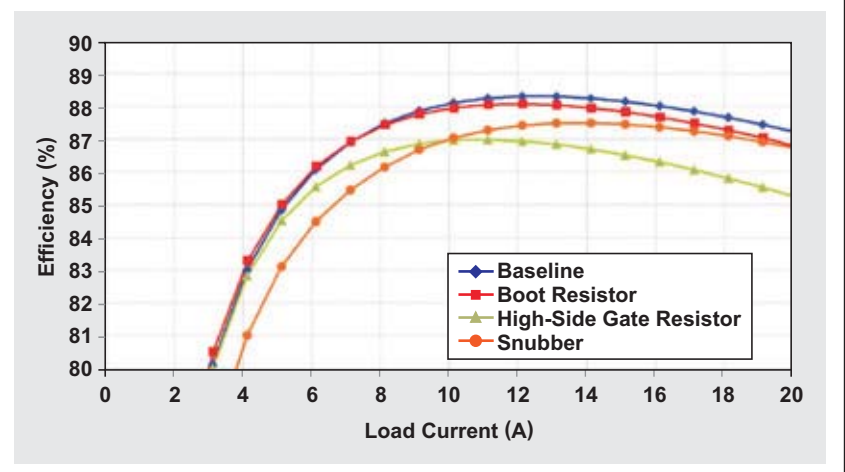


表 1 三种振铃降低方法测试产品说明书

| METHOD | 振铃 (V) | | | 满负载效率 (%) | | |
|---------|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| | V _{IN} =8V | V _{IN} =12V | V _{IN} =16V | V _{IN} =8V | V _{IN} =12V | V _{IN} =16V |
| 基线方法 | 18.0 | 23.4 | 28.3 | 88.3 | 87.2 | 85.4 |
| 自举电阻器方法 | 15.9 | 19.8 | 22.6 | 88.1 | 86.8 | 85.1 |
| 栅极电阻器方法 | 15.4 | 19.8 | 23.2 | 87.1 | 85.2 | 83.1 |
| 缓冲器方法 | 14.2 | 19.1 | 23.7 | 88.1 | 86.7 | 84.7 |

使用一个高侧栅极电阻器

使用一个与高侧 FET 栅极极串联的电阻器，是降低振铃的另一种有效方法。同自举电阻器方法类似，该电阻器减慢高侧 FET 的开启。但是，由于该电阻器与栅极极串联，它也在放电通路中，因此它同时也减慢了关闭的速度。为了把这种设计的振铃降低至 20V 以下，我们使用了一个 6.8Ω 栅极电阻器。这种方法是三种方法中效率最低的一种。

使用缓冲器

可用于降低振铃的第三种方法是使用一个缓冲器。缓冲器电路由一个电阻器和电容组成，它们与开关节点和接地以串联方式连接。缓冲器电路用于减少开关过渡期间的寄生电感和电容。这种电路降低了振铃电压和频率，同时也减少了振铃周期数。这样做可以帮助降低系统产生的 EMI。

选择电容和电阻器组件时，首先应测量原始电路的振铃频率。一旦确定了频率，便可将一个电容放回低侧 FET 并联放置，将振铃频率改变为原始值的一半。当频率为原始值的一半时，该并联电容值便等于原始电路寄生电容的三倍。知道电容和频率以后，我们可以通过公式 $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 计算出寄生电容，其中， f 为 $R = \sqrt{LC}$ 原始振铃频率，而 C 为寄生电容。电路阻尼电阻器的值可以通过方程式 计算得到。该电阻器可能会也可能不会提供必要的振铃控制。增加电阻值会产生一个弱阻尼系统，其有更多振铃存在，但却可以降低功耗。增加电容可以降低振铃，但会增加功耗。就本例而言，使用一个 2200-Pf 电容和一个 1Ω 电阻器以后，振铃降低至 19.1 V。

结论

随着 MOSFET 开关速度的不断提高，如何控制同步降压转换器的开关节点振铃变得至关重要。要想实现这种控制，要求有良好的布局和正确的模拟电路设计，并使用一个自举电阻器、高侧栅极电阻器或者缓冲器。表 1 显示了利用测试电路达到的振铃降低情况以及每种方法的相应效率。

自举电阻器可在不影响关闭的情况下减慢高侧 FET 的开启。在设计举例中，使用自举电阻器是最为有效的一种方法。但是，如果使用这种方法，则必须注意防止让栅极极缺电。一个电阻器与栅极极串联，可同时增加高侧 MOSFET 的开启和关闭时间，从而对开关节点升降振铃进行控制。这种方法消耗掉了高

侧 FET 的大多数功率，因此效率较低。RC 缓冲器可以降低振铃的频率和过冲，但是它要求使用两个额外组件，并且在轻负载条件下效率较低。

每一种电源设计都有其优缺点，因此我们应该认真研究每一种方法，了解其给电源带来的成本/好处。通常情况下，最好的方法可能是组合使用所有三种电路。最终目标是在尽可能保持功率级高效率的同时，在 MOSFET 最大绝对额定电压以下维持足够的安全裕量。

参考文献

如欲了解本文的更多详情，敬请访问 www.ti.com/lit/litnumber（用 TI 文献编号替换地址中的“litnumber”）下载 Acrobat® Reader® 文件，获取下列相关资料。

文献名称

1、《构建您的电源—布局考虑因素》，作者：Robert Kollmann，刊发于《2004-05 TI Unitrode 设计研讨系列—SEM1600，课题4》

TI 文献编号

SLUP230

相关网站

power.ti.com
www.ti.com/nexfet
www.ti.com/product/CSD87350Q5D
www.ti.com/product/TPS40304

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及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/audio | 通信与电信 | www.ti.com.cn/telecom |
| 放大器和线性器件 | www.ti.com.cn/amplifiers | 计算机及周边 | www.ti.com.cn/computer |
| 数据转换器 | www.ti.com.cn/dataconverters | 消费电子 | www.ti.com/consumer-apps |
| DLP® 产品 | www.dlp.com | 能源 | www.ti.com/energy |
| DSP - 数字信号处理器 | www.ti.com.cn/dsp | 工业应用 | www.ti.com.cn/industrial |
| 时钟和计时器 | www.ti.com.cn/clockandtimers | 医疗电子 | www.ti.com.cn/medical |
| 接口 | www.ti.com.cn/interface | 安防应用 | www.ti.com.cn/security |
| 逻辑 | www.ti.com.cn/logic | 汽车电子 | www.ti.com.cn/automotive |
| 电源管理 | www.ti.com.cn/power | 视频和影像 | www.ti.com.cn/video |
| 微控制器 (MCU) | www.ti.com.cn/microcontrollers | | |
| RFID 系统 | www.ti.com.cn/rfidsys | | |
| OMAP 机动性处理器 | www.ti.com/omap | | |
| 无线连通性 | www.ti.com.cn/wirelessconnectivity | | |
| | 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