

## Technical Article

## 如何使用非耗散钳位提高反激效率



Brian King

在标准形式的反激式转换器中，变压器的漏电感会在初级场效应晶体管 (FET) 的漏极上造成电压尖峰。为了防止该尖峰变得过大并造成损坏，FET 需要用到一个钳位网，并且通常会采用一个耗散钳位，如图 1 所示。但是，耗散钳位中的功率损耗会限制反激式转换器的效率。在本期电源设计小贴士中，我将考察反激式转换器的两个不同变体，看它们如何使用非耗散钳位方法来回收泄漏能量并提高效率。

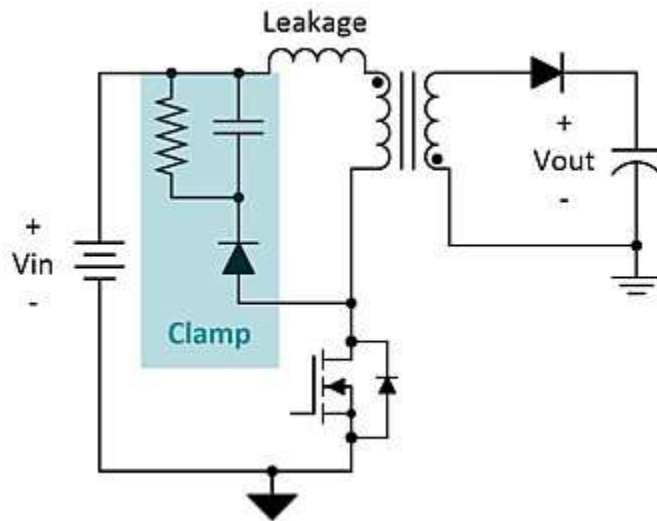


图 1. 大多数反激式转换器会采用一个耗散钳位。

耗散钳位中的功率损耗与存储在每个开关周期的漏电感中的能量有关。当 FET 导通，变压器初级绕组中的电流会增至一个峰值电流值，该值由控制器决定。该峰值电流同时在初级磁化电感和漏电感中流动。当 FET 关断，磁化能量会通过变压器的次级绕组输送到输出。泄漏能量不会通过变压器铁芯耦合，因此会保持在初级侧并流入钳位。

必须要了解，钳位中不仅会耗散泄漏能量，还会耗散部分磁化能量。如[电源设计小贴士 17](#)中所述，通过对远高于反射输出电压的初级绕组电压进行钳制，可以尽可能减少钳位中消耗的磁化能量。

双开关反激是反激式转换器的常见变体，可以回收泄漏能量。图 2 是双开关反激的简化原理图。两个初级 FET 相串联，初级绕组位于二者之间。这两个 FET 同时导通或关断。当它们导通时，初级绕组会连接到输入并通电至峰值电流。当它们关断时，次级绕组会将磁化能量输送至输出，而泄漏能量则通过 D1 和 D2 回收到输入。通过回收泄漏能量，双开关反激拥有比单开关耗散钳位反激更高的效率。

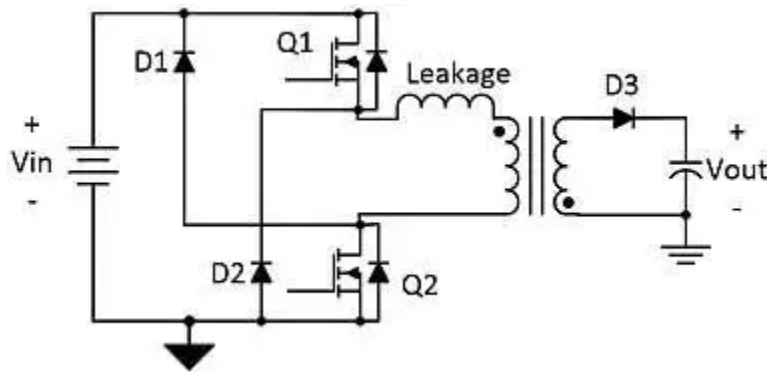


图 2. 双开关反激将泄漏能量回收到输入。

效率的提升会因两个开关同时导通而一定程度上被抵消，此时导通损耗往往会增加，在低输入电压应用中尤其如此。幸运的是，两个 FET 的漏源电压均钳位至输入电压，因此与单开关反激相比，可以使用额定电压较低的 FET。钳位电压应力在高输入电压应用中也很有益。

效率提升与漏电感和磁化电感之比有关，该比值通常约为 2%。除效率提高之外，回收泄漏能量还有其他一些益处。在高功率反激应用（通常大于 75W）中，耗散钳位中的损耗会造成热管理方面的噩梦。双开关反激完全消除了这一热源。

这一效率提升和热性能改进的代价是成本和复杂性增加。不仅需要用到额外一个 FET，而且高侧 FET 还需要隔离式驱动器。此外，还需要设置变压器匝数比，使反射输出电压小于最小输入电压。否则，输出电压将被钳位，变压器也不会正确复位。因此，双开关反激自身限制为最大 50% 占空比。实际上，反射输出电压应该比最小输入电压足够低，以便漏电感能够快速复位。

图 3 中的电路展示了另一种回收泄漏能量的方法，但其中使用了单开关反激。这种非耗散钳位并不新颖，但也并不广为人知。它能够带来许多与双开关反激相同的益处。

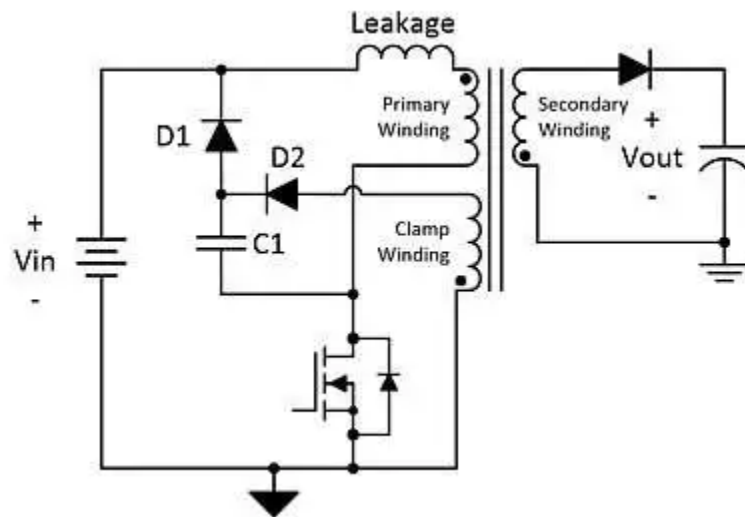


图 3. 在单开关反激中添加一个简单的非耗散钳位。

要实现此钳位，需要在变压器的初级侧添加一个钳位绕组。此绕组的匝数必须与初级绕组相同。应该添加一个钳位电容器，将其连接至 FET 的漏极。钳位电容器的另一端由二极管 D1 钳位至输入电压，并由二极管 D2 钳位至钳位绕组。

钳位绕组和 D2 会将钳位电容器上的电压限制为一个与输入电压相等的最大值，这一点在初级环路周围应用基尔霍夫电压定律时显而易见，如图 4 所示。请注意，无论极性 or 幅值如何，两个初级绕组电压会相互抵消。这种方法仅适用于两个绕组使用相同匝数的情况。

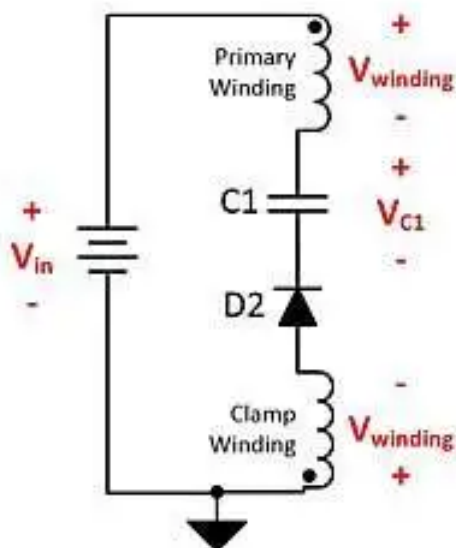


图 4. 钳位电容器电压受输入电压限制。

要了解该钳位如何工作，请考虑当 FET 关断时会发生什么。当初级 FET 关断，漏电感中的电流会流经钳位电容器，并且将二极管 D1 正向偏置。当 D1 导通，漏电感上的电压将等于输入电压和反射输出电压之间的差值。当漏电感中的电流降为零，D1 就会关断。输入钳位电容器的泄漏能量会暂时增加钳位电容器上的电压，使之略高于输入电压。当 D1 关断，D2 钳位会通过变压器绕组中的耦合，将存储的电荷有效地传输到输出。

此钳位电路需要的元件较少，并且比双开关反激便宜。与双开关反激类似，它可以使效率提升几个百分点，并消除与耗散泄漏能量相关的热问题。这种钳位电路也会将占空比限制为最大 50%。代价是电路需要用到更高电压的 FET，其额定电压必须超过输入电压的两倍。与双开关反激相比，FET 漏极上的较高电压对电磁干扰来说更可能造成挑战。

有源钳位反激是反激的另一种形式，它可以回收泄漏能量，同时能够实现零电压开关。有源钳位反激更为复杂，它需要一个专用控制器，如 UCC28780，因此值得单独用一期电源设计小贴士来讲述，因此我将它留到以后讨论。下次设计高功率反激时，请考虑采用非耗散钳位来提高效率并使电源保持低温。

#### 相关文章

- [提高低成本反激式转换器的效率](#)
- [电源设计小贴士 76：反激式转换器设计注意事项](#)
- [电源设计小贴士 77：设计 CCM 反激式转换器](#)
- [电源设计小贴士 17：缓冲反激式转换器](#)

之前在 [EDN.com](#) 上发布。

## 重要声明和免责声明

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 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。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

Copyright © 2024，德州仪器 (TI) 公司