

Application Brief

在异步升压转换器设计中避免轻负载条件下的脉冲跳跃操作



Niklas Schwarz

Boost Converters and Controllers

简介

虽然同步升压转换器可以在固定脉宽调制 (FPWM) 运行模式下允许负电流流经高侧开关, 但异步转换器使用二极管阻止反向电流流动。此外, 每个转换器都具有最短的驱动器导通时间, 这意味着在每个开关周期中传输到输出端的功率非常小。在轻负载条件下, 所需的输出功率可能小于每个周期传输的功率, 因此功耗过大会导致输出电压增加。为了避免输出电压升高, 转换器在这种情况下会停止开关, 并进入脉冲跳跃模式。

在脉冲跳跃模式下虽然能提高效率, 但负面影响是器件不再以固定频率进行开关。输出电压纹波增多且 EMI 性能变差可能与设计目标相矛盾, 因此, 并非在每个应用中都需要脉冲跳跃模式。

只要所需的占空比 (以及驱动器导通时间) 不降至所支持器件的最短导通时间以下, 异步转换器就会在固定频率下一直运行。在数据表的电气特性中指定了最短导通时间。如果需要更小的占空比来保持恒定的输出电压, 则器件会减小占空比, 直至达到最短导通时间, 然后在输出电压增加到目标值以上时立即进入跳跃模式。跳跃模式的确切条件可能因器件而异。

例如, 在输出电压上升到过压保护 (OVP) 阈值时, LM3478 以最短导通时间保持运行, 然后进入待机状态, 在该状态下, 器件停止开关, 直到 V_{OUT} 降至迟滞阈值以下。LM5158 等新型器件不仅可以监测 OVP 的反馈电压, 还可以监测 COMP 引脚和电流检测引脚电压电平, 从而在 COMP 电平降至低于特定阈值时进入跳跃模式运行, 让 V_{OUT} 纹波变小。

实施

方程式 1 可计算所需的占空比并方程式 2 计算驱动器导通时间。

$$D_{DCM} = \frac{1}{V_{IN}} \times \sqrt{\frac{2L \times (V_{OUT} - V_{IN})}{T_S}} \times I_{OUT} \quad (1)$$

$$t_{on} = D \times T_S = D \times \frac{1}{F_{SW}} \quad (2)$$

其中

- D_{DCM} 为停用导通模式下的占空比
- t_{on} 是栅极驱动器的导通时间

按应用要求, 指定输入电压 (V_{IN}) 和输出电压 (V_{OUT}), 在器件规格中指定最短导通时间。通过增加虚拟负载可以增加输出负载 (I_{OUT}), 但这会降低整体效率。电感 (L) 和开关频率 (F_{SW}) 是可以自由调整的参数。

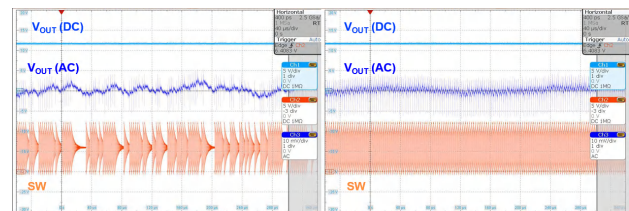
较慢的开关频率会增加驱动器的导通时间和关断时间, 同时不影响占空比。由于控制器的最短导通时间是绝对值 (纳秒), 因此使用这种方法可避免脉冲跳跃。

但请注意, LM515x 系列具有最短导通时间参数, 该参数会随开关频率的变化而变化。这降低了 F_{SW} 变化产生的影响。

电感升高会直接增加占空比, 从而增加驱动器的导通时间。电感升高后也会带来一系列的问题, 诸如组件尺寸变大、环路响应的带宽限制更大以及在高负载时电流纹波变小。后者在高负载运行时会导致不稳定的风险, 因为峰值电流模式控制需要一定程度的电流纹波才能读取适当的电流检测斜率。

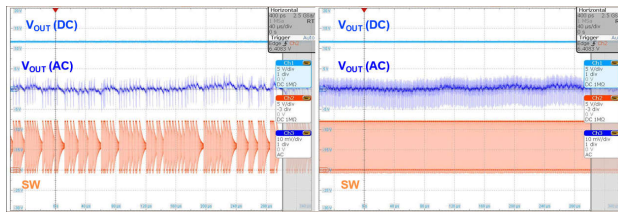
测试结果

LM5158 升压转换器器件规定在 2.2MHz 开关频率下最短导通时间为 80ns (典型值)。该器件的最短导通时间随着开关频率的降低而增加。确切地说, 一旦开关频率升高, 所需的最短导通时间会减少, 这与转换器的最短导通时间直接相关, 因此, 在 F_{SW} 变化时, 脉冲跳跃行为无差异。



参数: $F_{SW} = 400\text{kHz}$, $L_{nd} = 1.5\mu\text{H}$, 负载 = 10mA (左) | 40mA (右)

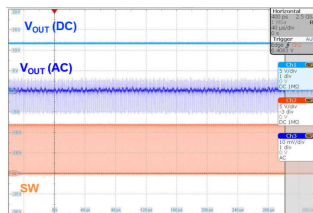
图 1. 在经设置的低开关频率 (400kHz) 下, 在跳跃模式 (左) 和持续运行 (右) 时, 运行 LM5158 升压 EVM



参数： $F_{SW} = 2.1\text{MHz}$ 、 $Ind = 1.5\mu\text{H}$ 、负载= 10mA (左) | 40mA (右)

图 2. 在经设置的高开关频率 (2.1MHz) 下，在跳跃模式 (左) 和持续运行 (右) 时，运行 LM5158 升压 EVM

然而，在 LM5158 设计中增加电感后，一旦将跳跃模式阈值移至较低负载，则会发生预期变化。若如此，即使在零负载条件下，也会设计成继续运行 PWM。

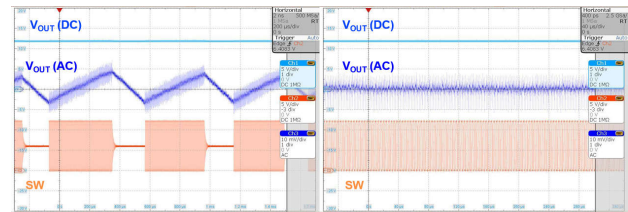


参数： $F_{SW} = 2.1\text{MHz}$ 、 $Ind = 10\mu\text{H}$ 、负载 = 0mA

图 3. 在持续运行时，以较大电感运行 LM5158 升压 EVM

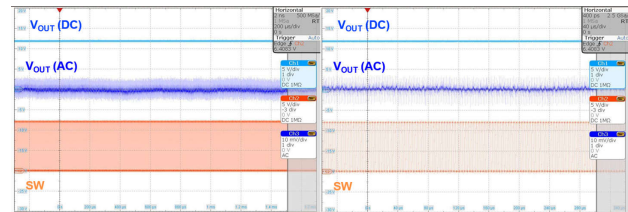
LM3481 的最短导通时间在开关频率范围内不可变。因此，在增加开关频率后，可以观察到不同的跳跃模式阈值。

在增加电感后，跳跃模式阈值偏移结果仍相同。



参数： $F_{SW} = 475\text{kHz}$ 、 $Ind = 10\mu\text{H}$ 、负载= 10mA (左) | 40mA (右)

图 4. 在经设置的低开关频率 (475kHz) 下，在跳跃模式 (左) 和持续运行 (右) 时，运行 LM3481 升压 EVM



参数：左：负载 = 10mA、 $F_{SW} = 1\text{MHz}$ 、 $Ind = 10\mu\text{H}$ | 右：负载 = 10mA、 $F_{SW} = 475\text{kHz}$ 、 $Ind = 47\mu\text{H}$

图 5. 在经设置的高开关频率 (左) 下或在电感较大 (右) 时，在持续运行时，运行 LM3481 升压 EVM

结语

为避免轻负载条件下 V_{OUT} 升高，在异步升压设计中需要脉冲跳跃操作。即使在同步升压设计中，在跳跃模式下运行对于提高轻负载效率也很有用。这种现象在 SEPIC 或反激式转换器等其他拓扑中也常见。

了解计算预期导通时间的方程和可能的参数，以将该值增加到器件的最短导通时间限制之上，这表明可能需要调整设计，避免在所有操作条件下的脉冲跳跃操作。

参考资料

德州仪器 (TI)，在 [在 DC/DC 升压转换器的机罩下](#)，
Brian T. Lynch

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、与某特定用途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安全、安保法规或其他要求。

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。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 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。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月