

Markus Zehendner

本拓扑系列的第 2 部分介绍了如何根据电源规格参数选择合适的拓扑。本应用简报深入介绍了降压、升压和降压/升压拓扑的不同方面。

降压转换器

图 1 展示了非同步降压转换器的原理图。降压转换器将输入电压降为较低的输出电压。当开关 Q1 导通时，能量转移到输出端。

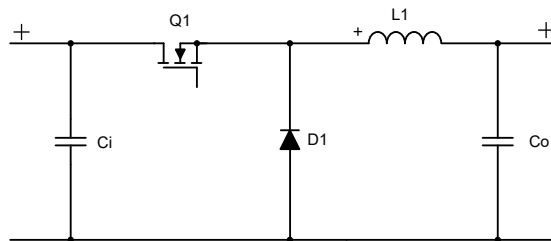


图 1. 非同步降压转换器原理图

方程式 1 计算占空比：

$$D = \frac{V_{OUT} + V_f}{V_{IN} + V_f} \quad (1)$$

方程式 2 计算最大金属氧化物半导体场效应晶体管 (MOSFET) 应力：

$$V_{Q1} = V_{IN} + V_f \quad (2)$$

方程式 3 计算最大二极管应力：

$$V_{D1} = V_{IN} \quad (3)$$

其中

- V_{IN} 是输入电压
- V_{OUT} 是输出电压
- V_f 是二极管正向电压

输入电压和输出电压之差越大，降压转换器与线性稳压器或低压降稳压器 (LDO) 相比的效率就越高。

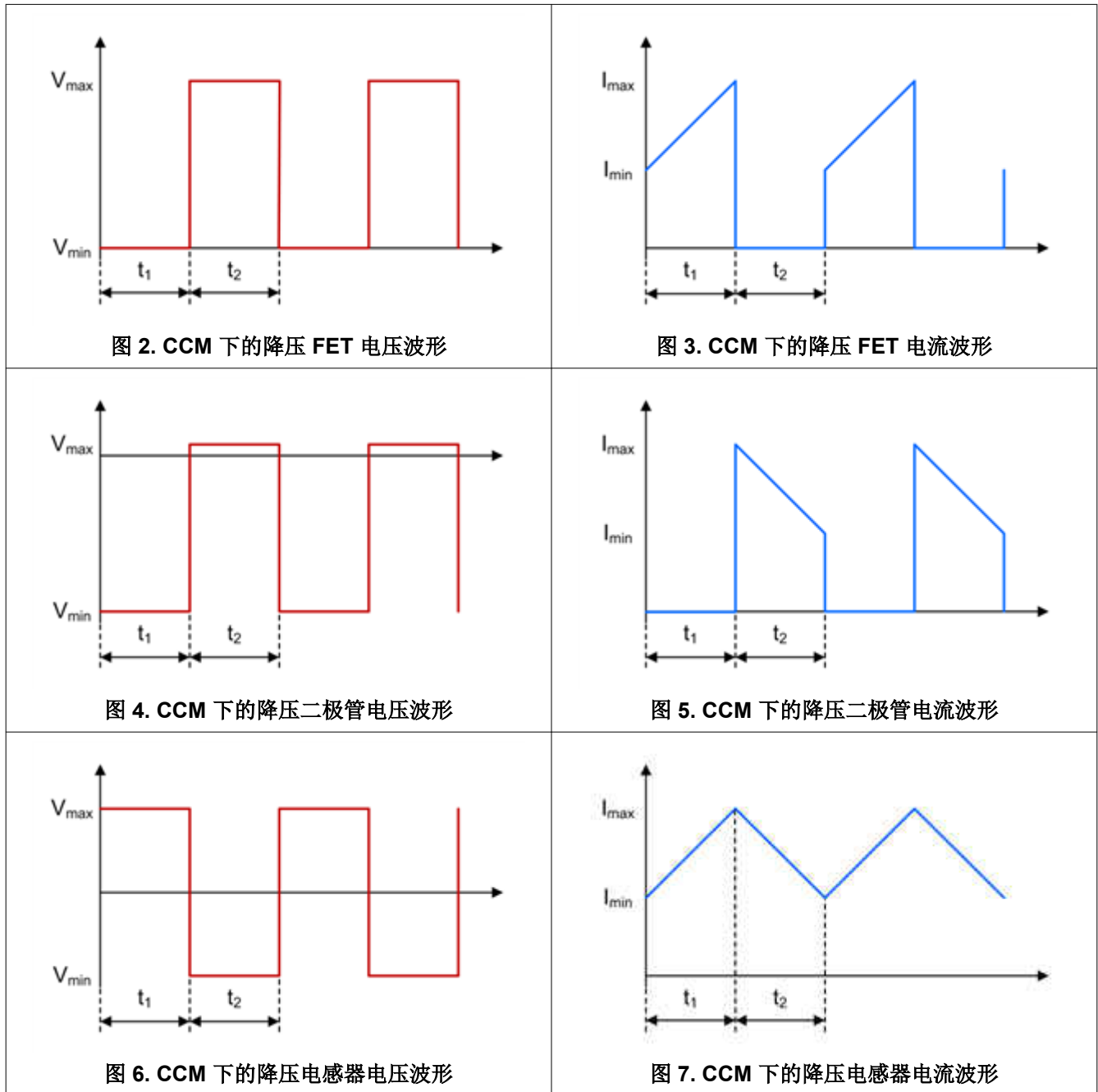
虽然降压转换器在输入端有脉冲电流，但由于电感器-电容器 (LC) 滤波器位于转换器的输出端，因此输出电流是连续的。因此，与输出端的纹波相比，反射到输入端的电压纹波更大。

对于占空比较小且输出电流大于 3A 的降压转换器，请使用同步整流器。如果电源需要大于 30A 的输出电流，请使用多相或交错式功率级，由于这样可以最大限度地减小组件的应力、在多个功率级之间分散产生的热量以及减少转换器输入端的反射纹波。

由于自举电容器在每个开关周期都需要再充电，因此使用 N-FET 时会出现占空比限制。在这种情况下，最大占空比在 95% - 99% 范围内。

由于降压转换器采用正向拓扑结构，因此通常具有良好的动态特性。可达到的带宽取决于误差放大器的质量和所选的开关频率。

图 2 至图 7 展示了非同步降压转换器中 FET、二极管和电感器在连续导通模式 (CCM) 下的电压和电流波形。



升压转换器

升压转换器将输入电压升高到更大的输出电压。当开关 Q1 不导通时，能量转移到输出端。图 8 是非同步升压转换器的原理图。

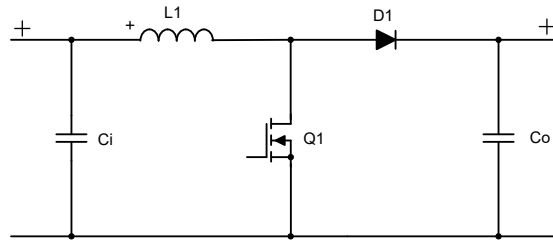


图 8. 非同步升压转换器原理图

方程式 4 计算占空比：

$$D = \frac{V_{OUT} + V_f - V_{IN}}{V_{OUT} + V_f} \quad (4)$$

方程式 5 计算最大 MOSFET 应力：

$$V_{Q1} = V_{OUT} + V_f \quad (5)$$

方程式 6 计算最大二极管应力：

$$V_{D1} = V_{OUT} \quad (6)$$

其中

- V_{IN} 是输入电压
- V_{OUT} 是输出电压
- V_f 是二极管正向电压

对于升压转换器，由于 LC 滤波器位于输入端，可以看到脉冲输出电流。因此，输入电流是连续的，输出电压纹波大于输入电压纹波。

在设计升压转换器时，务必要确认，即使转换器处于非开关状态时，输入和输出之间仍然存在持久连接。输出端可能发生短路事件时要采取相应的预防措施。

如果输出电流大于 4A，请将二极管替换为同步整流器。如果电源需要提供大于 10A 的输出电流，建议使用多相或交错式功率级方法。

在 CCM 下运行时，由于传递函数存在右半平面零点 (RHPZ)，升压转换器的动态特性会受到限制。由于无法补偿 RHPZ，可达到的带宽通常小于 RHPZ 频率的五分之一到十分之一。请参见方程式 7：

$$f_{RHPZ} = \frac{V_{OUT} \times (1 - D)^2}{2 \times \pi \times L_1 \times I_{OUT}} \quad (7)$$

其中

- V_{OUT} 是输出电压
- D 为占空比
- I_{OUT} 是输出电流
- L_1 是升压转换器的电感

图 9 至图 14 展示了非同步升压转换器中 FET、二极管和电感器在 CCM 模式下的电压和电流波形。

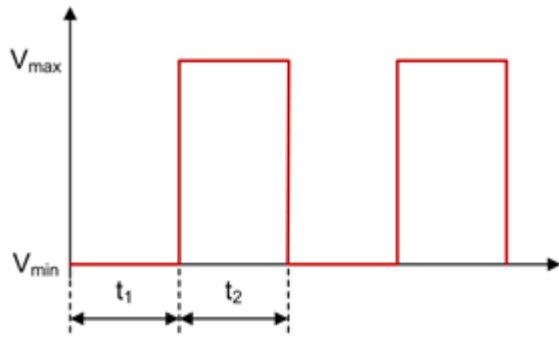


图 9. CCM 下的升压 FET 电压波形

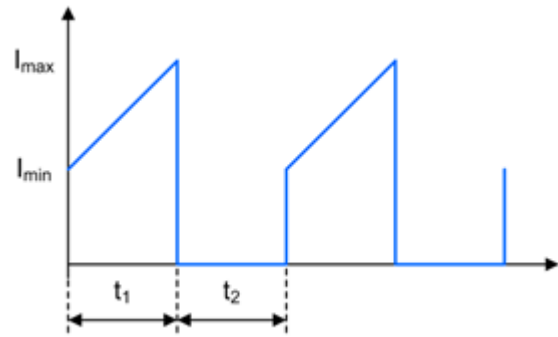


图 10. CCM 下的升压 FET 电流波形

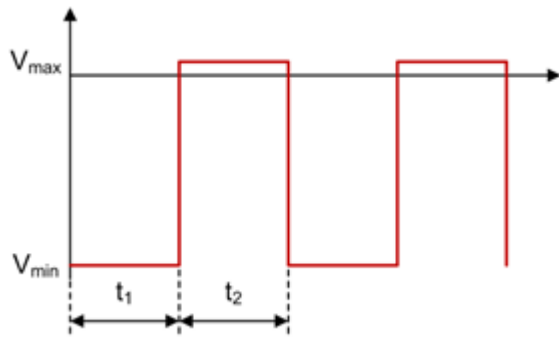


图 11. CCM 下的升压二极管电压波形

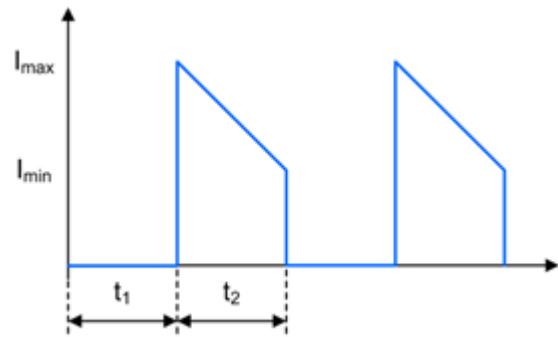


图 12. CCM 下的升压二极管电流波形

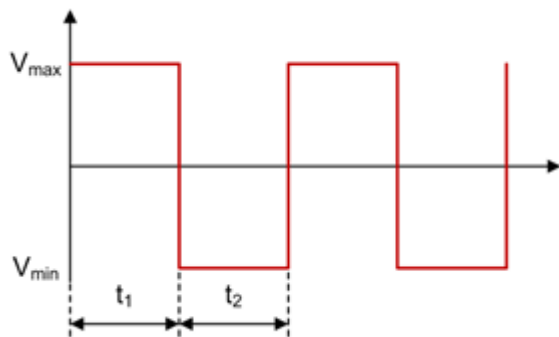


图 13. CCM 下的升压电感器电压波形

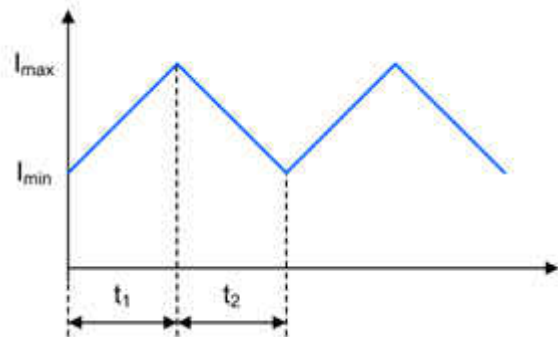


图 14. CCM 下的升压电感器电流波形

降压/升压转换器

降压/升压转换器是降压和升压功率级的组合，它们共享同一个电感器（请参阅图 15）。

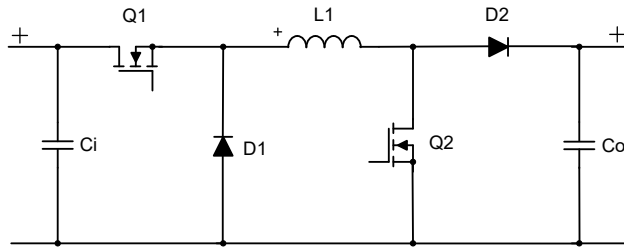


图 15. 双开关降压/升压转换器原理图

由于输入电压可以小于、大于或等于输出电压，而所需的输出功率大于 50W，因此降压/升压拓扑非常有用。

对于小于 50W 的输出功率，由于单端初级电感转换器 (SEPIC) 使用的元件较少，因此它是更具成本效益的选择。

当输入电压大于输出电压时，降压/升压转换器在降压模式下运行，而当输入电压小于输出电压时，降压/升压转换器在升压模式下运行。当转换器在传输区域工作时，即当输入电压在输出电压范围内时，有两种处理这些状况的构想：降压级和升压级同时激活，或降压级和升压级之间的开关周期交替进行，每个周期通常以常规开关频率的一半运行。第二种构想会在输出端引起次谐波噪声，与常规降压或升压操作相比，输出电压精度可能会略低一些，但与第一种构想相比，转换器的效率要高得多。

在降压/升压拓扑中，由于缺乏指向输入和输出的 LC 滤波器，因此输入端和输出端都会出现脉冲电流。

您可以分别对降压/升压转换器使用降压和升压功率级计算。

具有两个开关的降压/升压转换器设计用于 50W 至 100W 之间的功率范围（例如 LM5118），同步整流可高达 400W（与 LM5175 一样）。使用同步整流器时，建议使用与未组合的降压和升压功率级相同的电流限制。

由于 RHPZ 是稳压器带宽的限制因素，请为升压级设计降压/升压转换器的补偿网络。

第 4 部分介绍了 SEPIC 和 Zeta 转换器的特性和缺点。

附加资源

- 观看以下 TI 培训视频：
 - [拓扑教程：什么是降压拓扑？](#)
 - [拓扑教程：什么是升压拓扑？](#)
 - [拓扑教程：什么是降压/升压拓扑？](#)

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 © 2023，德州仪器 (TI) 公司