

Markus Zehendner

本应用简报介绍了单端初级电感转换器 (SEPIC) 和 Zeta 转换器。这两种拓扑都可以作为功率范围高达 25W 的降压/升压转换器具有成本效益的替代品。

SEPIC

SEPIC 拓扑可升高和降低输入电压。当开关 Q1 不导通时，能量从输入端转移到输出端。图 1 展示了非同步 SEPIC 的原理图。

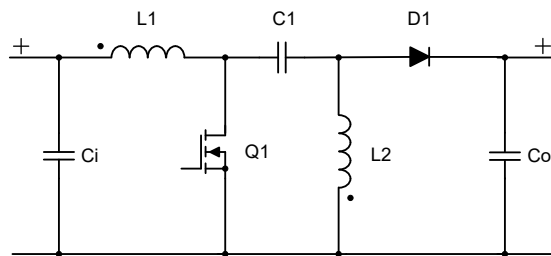


图 1. 非同步 SEPIC 原理图

方程式 1 计算连续导通模式 (CCM) 下的占空比：

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

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：

$$V_{Q1} = V_{IN} + V_{OUT} + V_f + \frac{V_{C1:ripple}}{2} \quad (2)$$

方程式 3 计算最大二极管应力：

$$V_{D1} = V_{IN} + V_{OUT} + \frac{V_{C1:ripple}}{2} \quad (3)$$

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
- $V_{C1,ripple}$ 是耦合电容器两端的电压纹波

电感器-电容器 (LC) 滤波器 L1 和 Ci 指向 SEPIC 的输入。由于电流连续流动，这会导致输入端的纹波更小。在输出端，由于存在脉冲输出电流，因此纹波更大。

由于非同步 SEPIC 只需要一个栅极驱动器（而与之相比，双开关降压/升压转换器需要两个栅极驱动器）和两个半导体组件（而不是四个），因此它的成本低于降压/升压拓扑。SEPIC 相对于降压/升压拓扑的另一项优势是，当由于 SEPIC 存在连续输入电流，两个转换器都以降压模式运行时，它具有更好的电磁干扰 (EMI) 行为。

由于需要在低侧驱动 MOSFET Q1，因此使用升压控制器可轻松构建 SEPIC。

右半平面零点 (RHPZ) 是 SEPIC 可达到的调节带宽的限制因素。最大带宽约为 RHPZ 频率的五分之一。方程式 4 计算 SEPIC 传递函数的单个 RHPZ 频率的估算值：

$$f_{\text{RHPZ}} = \frac{V_{\text{OUT}} \times (1 - D)^2}{2 \times \pi \times D^2 \times L_2 \times I_{\text{OUT}}} \quad (4)$$

因此，求解方程式 5 中的 s 得到一两个 RHPZ：

$$1 - s \times \frac{C_1 \times (L_1 + L_2) \times \frac{V_{\text{OUT}}}{I_{\text{OUT}}}}{L_1} \times \frac{(1 - D)^2}{D^2} + s^2 \times \frac{L_2 \times C_1}{D} = 0 \quad (5)$$

其中

- V_{OUT} 是输出电压
- D 为占空比
- I_{OUT} 是输出电流
- L_1 是电感器 L1 的电感
- L_2 是电感器 L2 的电感
- C_1 是耦合电容器 C1 的电容， s 是复数频率变量

图 2 至图 11 展示了非同步 SEPIC 中 FET Q1、电感器 L1、耦合电容器 C1、二极管 D1 和电感器 L2 在 CCM 下的电压和电流波形。

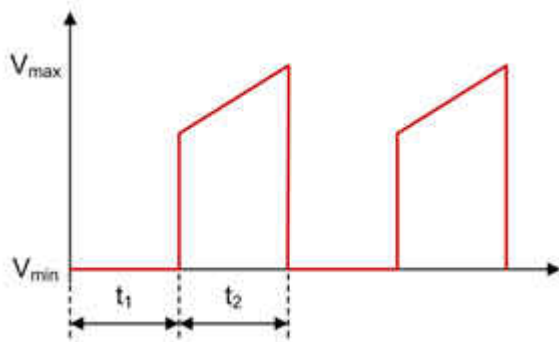


图 2. CCM 下的 SEPIC FET Q1 电压波形

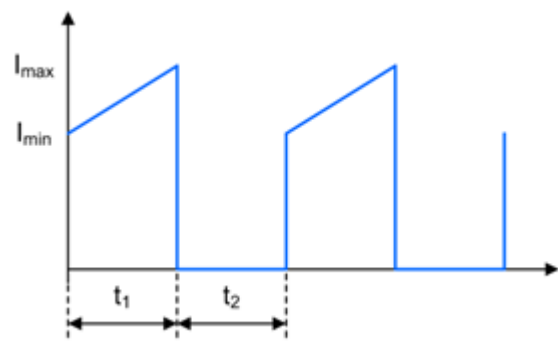


图 3. CCM 下的 SEPIC FET Q1 电流波形

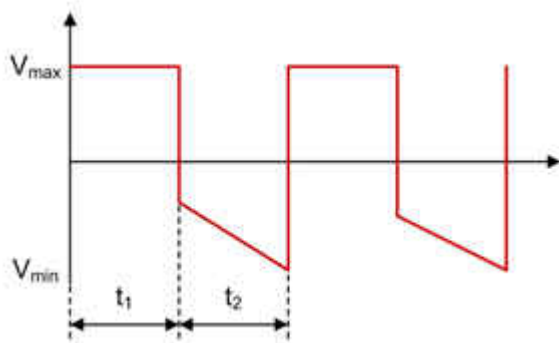


图 4. CCM 下的 SEPIC 电感器 L1 电压波形

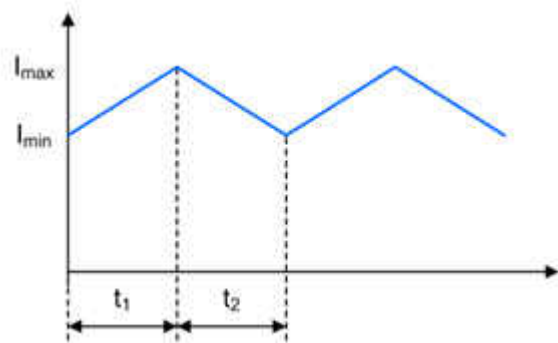


图 5. CCM 下的 SEPIC 电感器 L1 电流波形

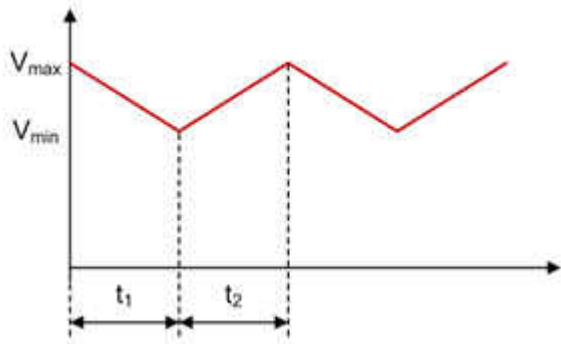


图 6. CCM 下的 SEPIC 耦合电容器 C1 电压波形

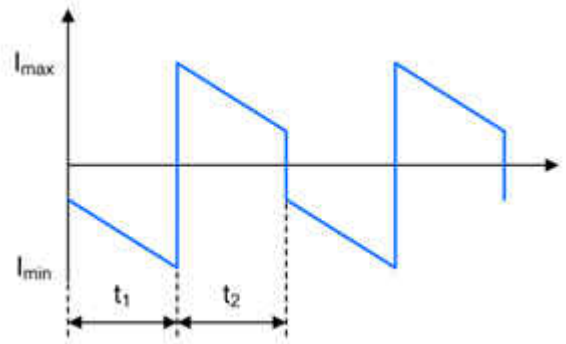


图 7. CCM 下的 SEPIC 耦合电容器 C1 电流波形

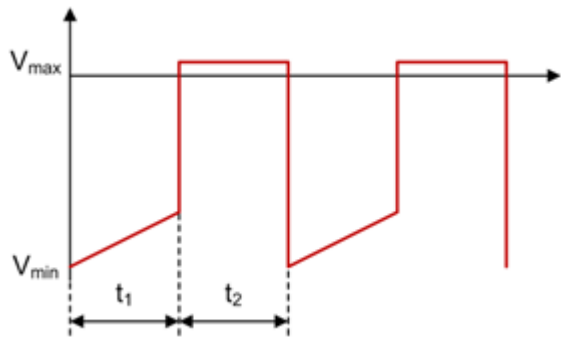


图 8. CCM 下的 SEPIC 二极管 D1 电压波形

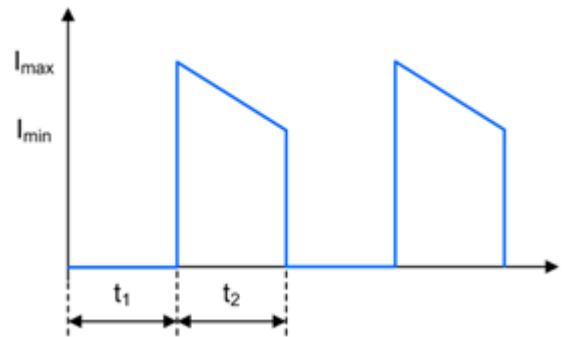


图 9. CCM 下的 SEPIC 二极管 D1 电流波形

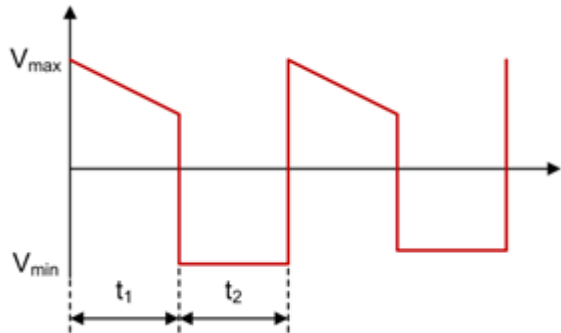


图 10. CCM 下的 SEPIC 电感器 L2 电压波形

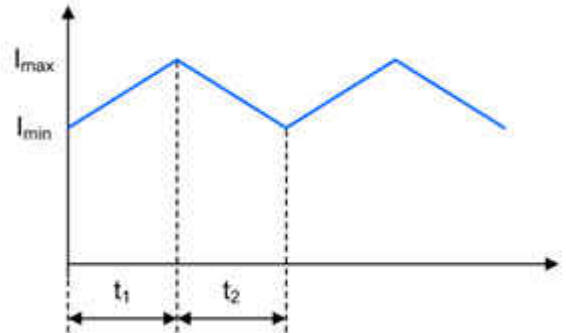


图 11. CCM 下的 SEPIC 电感器 L2 电流波形

Zeta 转换器

Zeta 拓扑可升高和降低输入电压。当开关 Q1 导通时，能量从输入端转移到输出端。图 12 展示了非同步 Zeta 转换器的原理图。

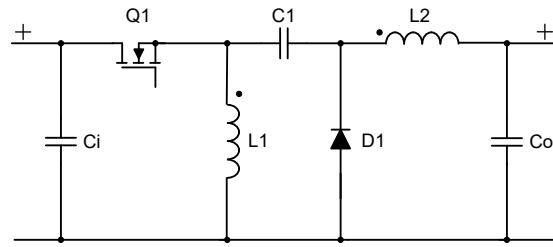


图 12. 非同步 Zeta 转换器原理图

方程式 6 计算 CCM 下的占空比：

$$D = \frac{V_{OUT} + V_f}{V_{OUT} + V_f + V_{IN}} \quad (6)$$

方程式 7 计算最大 MOSFET 应力：

$$V_{Q1} = V_{IN} + V_{OUT} + V_f + \frac{V_{C1:ripple}}{2} \quad (7)$$

方程式 8 计算最大二极管应力：

$$V_{D1} = V_{IN} + V_{OUT} + \frac{V_{C1:ripple}}{2} \quad (8)$$

其中

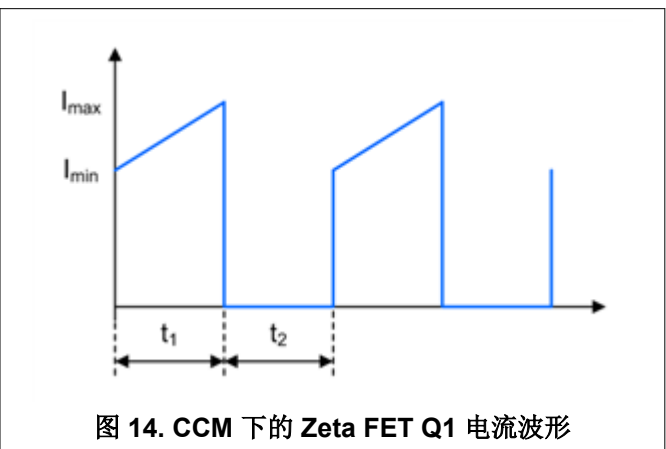
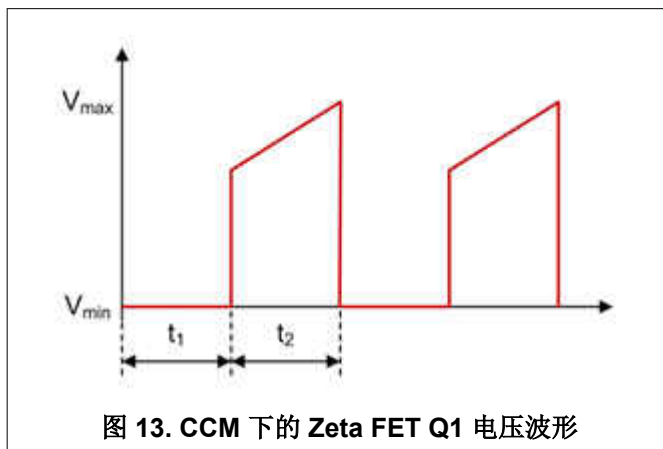
- V_{IN} 是输入电压
- V_{OUT} 是输出电压
- V_f 是二极管正向电压
- $V_{C1,ripple}$ 是耦合电容器两端的电压纹波

Zeta 转换器中的 LC 滤波器 L2 和 Co 指向输出。由于输出电流是连续的，而输入电流是脉冲的，因此，与输入纹波相比，输出纹波更小。由于 SEPIC 或降压/升压转换器的输出纹波较高，因此不适合，建议为非常敏感的负载使用 Zeta 拓扑。与降压/升压转换器相比，Zeta 拓扑在成本和组件数量方面具有与 SEPIC 相同的优势。

可以使用降压控制器或转换器构建 Zeta 转换器；需要 P 沟道 MOSFET 或高侧 MOSFET 驱动器。

由于控制器可以立即对输出端的变化作出反应，因此 Zeta 转换器没有 RHPZ。因此，与 SEPIC 或降压/升压转换器相比，使用 Zeta 转换器可实现更高的带宽，同时使用更小的输出电容。

图 13 至 图 22 展示了非同步 Zeta 转换器中 FET Q1、电感器 L1、耦合电容器 C1、二极管 D1 和电感器 L2 在 CCM 下的电压和电流波形。



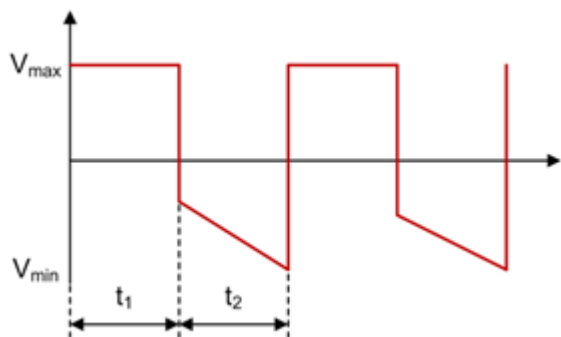


图 15. CCM 下的 Zeta 电感器 L1 电压波形

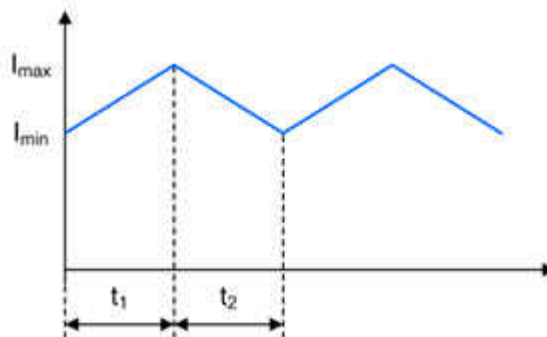


图 16. CCM 下的 Zeta 电感器 L1 电流波形

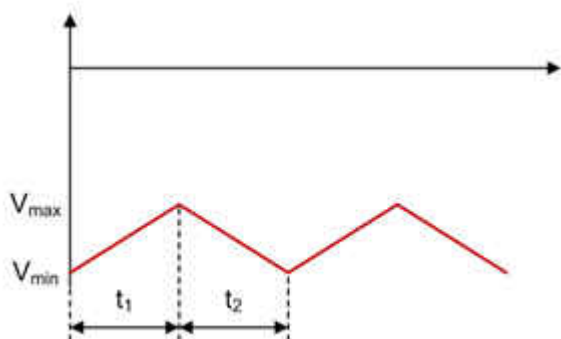


图 17. CCM 下的 Zeta 耦合电容器 C1 电压波形

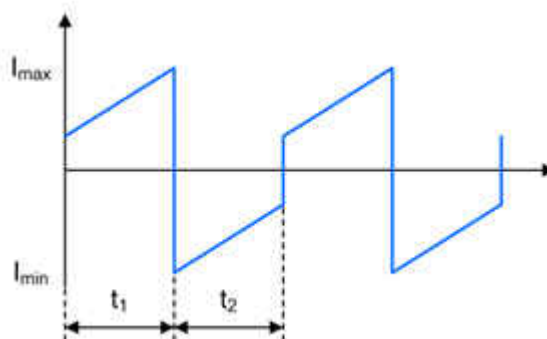


图 18. CCM 下的 Zeta 耦合电容器 C1 电流波形

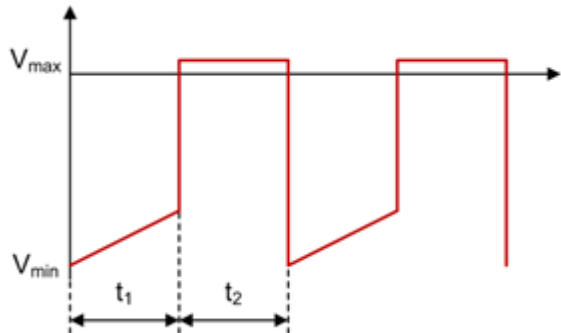


图 19. CCM 下的 Zeta 二极管 D1 电压波形

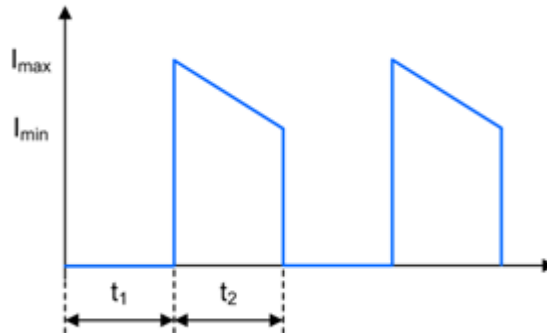


图 20. CCM 下的 Zeta 二极管 D1 电流波形

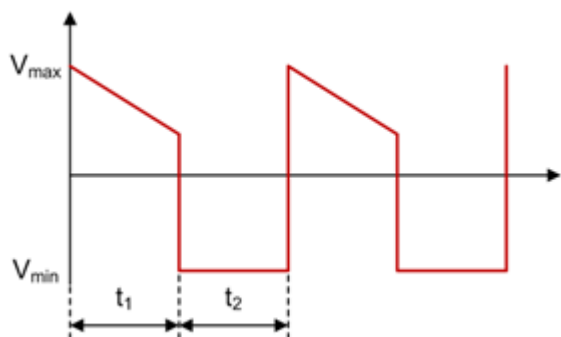


图 21. CCM 下的 Zeta 电感器 L2 电压波形

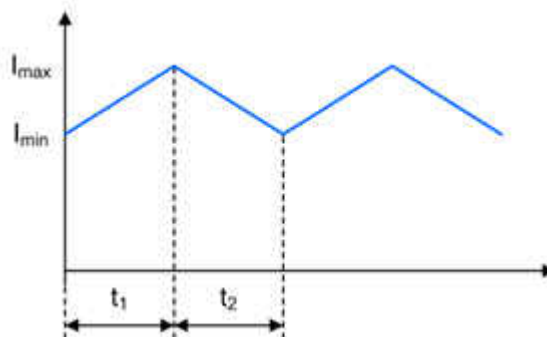


图 22. CCM 下的 Zeta 电感器 L2 电流波形

对于这两种拓扑，使用耦合电感器代替两个单独的电感器有两个优势。第一个优势是，由于通过耦合绕组来消除纹波，因此类似的电流纹波（与双电感器设计相比）只需要一半的电感。第二个优势是，可以消除由两个电感器和耦合电容器引起的传递函数谐振。如果需要，使用与耦合电容器 C1 并联的电阻器-电容器 (RC) 网络来抑制这种谐振。

使用耦合电感器的一个缺点是两个电感器必须使用相同的电感值。另一项限制通常是它们的电流额定值。具有高输出电流的应用有时可能需要单个电感器。

可以将两种拓扑配置为具有同步整流功能的转换器。但是，如果使用此方法，则必须对高侧栅极驱动信号进行交流耦合，因为许多控制器需要将其连接到开关节点。两种拓扑都有两个开关节点，请注意避免在开关引脚上出现负电压额定值违例。同步 SEPIC 和同步 Zeta 转换器的两个示例分别是 [12V@5A 同步 SEPIC 转换器参考设计](#) 和 [具有两个电感器的 40W 同步 Zeta 转换器参考设计](#)。

附加资源

- 观看以下 TI 培训视频：
 - [拓扑教程：什么是 SEPIC 拓扑？](#)
 - [拓扑教程：什么是 Zeta 转换器？](#)
- 阅读这些模拟应用期刊文章：
 - [耦合电感器 SEPIC 转换器的优势](#)
 - [基于 ZETA 拓扑设计直流/直流转换器](#)
- 使用 [Power Stage Designer](#) 设计您的功率级。
- 下载 [电源拓扑手册](#) 和 [电源拓扑快速参考指南](#)。

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