

选择耦合电感 应用于 SEPIC



应用设计实例

SEPIC（单端初级电感转换器）拓扑使用于要求兼具降压和升压特点的稳压器应用中，特别是要求能够将输入电压提高和降低的应用上。SEPIC 通常是在 CCM（连续导通模式）下工作，提供非反极向的输出电压。

通常，SEPIC 是用于电池供电系统和车载应用上。在这些应用中，电池输入电压或母线电压可能大于或小于输出电压的期望值，这取决于电池的电荷状态。SEPIC 拓扑能够在比电池放电周期长的条件下工作，因为它能够在更广的输入电压范围内调节输出电压，包括高于和低于输出电压。

图 1 显示了使用耦合电感的 SEPIC 示意图。

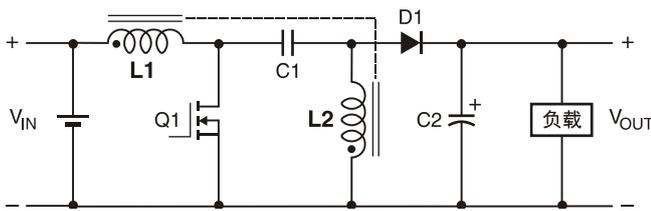


图 1. SEPIC 简化电路图

C1: 飞驰电容器 – 应该是低 ESR，通常是陶瓷质。

C2: 输出电容器 – 根据输出纹波电流精度来选择，通常为钽质。

L1 和 L2: 耦合电感 – 两个电感紧密耦合在一个共用铁芯上。

电感 L1 和 L2 不一定要一起绕在同一个磁芯上，但如果它们绕于同一个磁芯，就会有明显的优势。如果 L1 和 L2 紧密耦合，纹波电流会在它们之间分摊，所需的电感值减半。例如，用每个绕组为 11 μH 的一个耦合电感来代替两个 22 μH 的单独电感，这就允许选择一个较小的电感，或一个相同尺寸但有较低 DCR 和较高电流处理能力的电感。

选择一个耦合电感来代替两个单独元件能够节省电路板的空间和节省成本。

下面举例展示所需的计算方法来确定电感值、rms 电流和峰值电流的定额。

耦合电感的计算

假定图 1 电路的参数如下：

$$V_{IN} = 2.7 \text{ V 至 } 4.5 \text{ V}$$

$$V_{OUT}, I_{OUT} = 3.3 \text{ V}, 0.2 \text{ A}$$

$$F_s \text{ (开关频率)} = 400 \text{ kHz}$$

$$V_{D1} \text{ (典型压降)} = 0.7 \text{ V}$$

$$\text{目标效率} = 90\%$$

步骤 1. 计算最小和最大占空比 (D_{min} 和 D_{max})

$$D_{min} = \frac{V_{OUT} + V_D}{(V_{IN(max)} + V_{OUT} + V_D)}$$

$$D_{min} = \frac{3.3 \text{ V} + 0.7 \text{ V}}{(4.5 \text{ V} + 3.3 \text{ V} + 0.7 \text{ V})}$$

$$D_{min} = 0.47$$

$$D_{max} = \frac{V_{OUT} + V_D}{(V_{IN(min)} + V_{OUT} + V_D)}$$

$$D_{max} = \frac{3.3 \text{ V} + 0.7 \text{ V}}{(2.7 \text{ V} + 3.3 \text{ V} + 0.7 \text{ V})}$$

$$D_{max} = 0.60$$

步骤 2. 计算峰-峰值纹波电流

必须选择允许的纹波电流百分比。最好是一开始将峰-峰值纹波电流限制为满载电感 I_{rms} 电流的 40%。这能确保低输出纹波，使电感的铁芯损耗最小化并且使轻载连续导通模式运行电流低至满载的 20%。

允许 40%纹波，用下面的公式计算在 $V_{IN(min)}$ 下极端条件的峰-峰值纹波电流：

$$I_{ripple} = I_{OUT} \times \frac{V_{OUT}}{V_{IN(min)}} \times (\% \text{峰-峰值纹波电流})$$

$$I_{ripple} = I_{OUT} \times \frac{V_{OUT}}{V_{IN(min)}} \times 0.4$$

$$I_{ripple} = 0.2 \text{ A} \times \frac{3.3 \text{ V}}{2.7 \text{ V}} \times 0.4$$

$$I_{ripple} = 0.098 \text{ A}$$

步骤 3. 计算电感

用基本公式计算电感：

$$V = L \times \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

由于纹波电流在一个耦合电感的两个绕组之间分摊，电感值可减半。

$$L1 = L2 = 0.5 \times \frac{V_{IN(min)}}{I_{ripple} \times F_s} \times D_{max}$$

$$L1 = L2 = 0.5 \times \frac{2.7 \text{ V}}{0.098 \text{ A} \times 400 \text{ kHz}} \times 0.60$$

$$L1 = L2 = 20.7 \mu\text{H}$$

选择标准值 $L = 22 \mu\text{H}$

步骤 4. 计算所要求的 I_{rms}

$$L1 \text{ } I_{rms} = \frac{V_{OUT} \times I_{OUT}}{V_{IN(min)} \times \text{效率}}$$

$$L1 \text{ } I_{rms} = \frac{3.3 \text{ V} \times 0.2 \text{ A}}{2.7 \text{ V} \times 0.9}$$

$$L1 \text{ } I_{rms} = 0.27 \text{ A}$$

$$L2 \text{ } I_{rms} = I_{OUT}$$

$$L2 \text{ } I_{rms} = 0.2 \text{ A}$$

步骤 5. 计算 I_{peak}

$$L1 \text{ } I_{peak} = I_{rms} + (0.5 \times I_{ripple})$$

$$L1 \text{ } I_{peak} = 0.27 \text{ A} + (0.5 \times 0.098 \text{ A})$$

$$L1 \text{ } I_{peak} = 0.32 \text{ A}$$

$$L2 \text{ } I_{peak} = I_{rms} + (0.5 \times I_{ripple})$$

$$L2 \text{ } I_{peak} = 0.2 \text{ A} + (0.5 \times 0.098 \text{ A})$$

$$L2 \text{ } I_{peak} = 0.25 \text{ A}$$

步骤 6. 总结电感规格

$$L1 = L2 = 22 \mu\text{H}$$

$$I_{rms} (L1) = 0.27 \text{ A} \quad I_{peak} (L1) = 0.32 \text{ A}$$

$$I_{rms} (L2) = 0.20 \text{ A} \quad I_{peak} (L2) = 0.25 \text{ A}$$

步骤 7. 选择耦合电感

选择线艺的 LPD4012-223ML。

线艺的 LPD4012-223ML 每个绕组电感 $22 \mu\text{H}$ ，额定饱和电流为 0.79 A 。即是说每个绕组可以通过 0.39 A 电流（或任何组合不超过 0.79 A 的电流）而不达到饱和。

线艺的 LPD4012-223ML 两个绕组的额定 I_{rms} 电流为 0.31 A ，单个绕组为 0.44 A 。即对于 40°C 的温升，每个绕组能够同时通过 0.31 A 电流或一个绕组通过 0.44 A 电流。

以此为例， $L1 (0.27 \text{ A})$ 的 I_{rms} 和 $L2 (0.20 \text{ A})$ 的 I_{rms} 远远低于这些极限。参考 LPD4012 的数据表，并且使用以下公式来计算温升 (Δt):

$$\text{功率损耗} = (I_{L1}^2 + I_{L2}^2) \times DCR$$

$$\text{温升 } (\Delta t) = \text{功率损耗} \times \frac{135^\circ\text{C}}{W}$$

$$\Delta t = \text{功率损耗} \times \frac{135^\circ\text{C}}{W}$$

$$\text{功率损耗} = (0.27^2 + 0.20^2) \times 1.52 = 0.172 \text{ W}$$

$$\Delta t = 0.172 \text{ W} \times \frac{135^\circ\text{C}}{W} = 23^\circ\text{C}$$

步骤 8. 与频率相关的损耗

大多数情况下，根据步骤 7 中计算的 I^2R 损耗就容易估算电感损耗。但是，与频率相关的损耗例如铁芯损耗和交流线圈损耗也应该考虑进去。

要估算总的电感损耗，包括交流线圈电阻和铁芯损耗，请参阅 www.coilcraft.com/coreloss 中的线艺磁芯和线圈损耗计算器。

计算每个绕组的总电感损耗。要确定温升，将每个绕组的总电感损耗相加，再将这个数字乘以 135，如步骤 7 所示。

参考

Designing a SEPIC Converter, Wei Gu, National Semiconductor Application Note AN1484, June 2007

Versatile Low Power SEPIC Converter Accepts Wide Input Voltage Range, Jack Palczynski, Unitrode Design Note DN-48

SEPIC Equations and Component Ratings, Maxim Integrated Circuits Application Note 1051, Apr 23, 2002