

Elisabetta Mahmutovic

摘要

本报告重点介绍 SEPIC 转换器的功率级设计。在为给定的应用规格选择合适的 SEPIC 功率级元件时，设计过程是通用的。以 LM5155EVM-SEPIC 评估模块为例来说明设计过程，电路性能结果也在 [LM5155EVM-SEPIC 用户指南](#) 中提供。对于典型应用，还可以使用 [用于 SEPIC 稳压器设计的 LM5155 和 LM5156 SEPIC 快速入门计算器 \(修订版 A\)](#) 高效地完成本报告中所述的计算。

内容

1 简介.....	2
2 应用参数.....	2
3 计算和元件选型.....	2
4 简化版 SEPIC 原理图.....	6
5 参考文献.....	7

插图清单

图 1-1. 耦合电感器 SEPIC 功率级.....	2
图 4-1. 应用电路.....	6

表格清单

表 2-1. 应用规格.....	2
------------------	---

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

本报告介绍了实现在连续导通模式下运行的非同步 SEPIC 功率级的典型设计过程和计算。本例中的转换器基于 LM5155EVM-SEPIC，可通过 4V 至 32V 的输入提供电流为 1A 的 12V 稳压输出。输入电压在 4V 和 6V 之间时，输出功率降额至 6W。

图 1-1 展示了 SEPIC 功率级的基本配置。

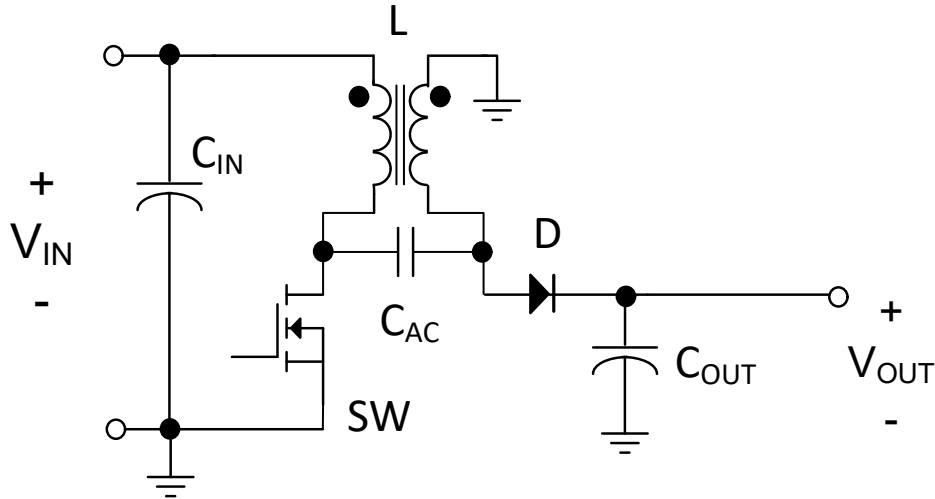


图 1-1. 耦合电感器 SEPIC 功率级

2 应用参数

在计算 SEPIC 功率级时需要使用以下参数：

- 输入电压范围
- 标称输出电压
- 最大输出电流
- 最大输出功率
- 所需开关频率
- 转换器 IC

表 2-1 显示了示例应用的规格。

表 2-1. 应用规格

参数	
V_{IN}	4V 至 32V
V_{LOAD}	12V
I_{LOAD}	1A
$P_{OUT(max)}$	12W
f_{SW}	2.1MHz

3 计算和元件选型

本节介绍了根据表 2-1 中给出的应用规格选择外部元件的公式。

图 4-1 展示了使用 LM5155 实施的 SEPIC 转换器拓扑，可产生表 2-1 中指定的稳压电压轨。

3.1 开关频率

选择开关频率是设计过程的第一步。更高的开关频率（例如，大约 1.8MHz）可实现更小的解决方案总尺寸。不过，小尺寸的代价是增加了开关损耗，降低了转换器的效率。通过选择相对较低的开关频率（例如，大约 440kHz）可以实现更高的效率，但需要更大的元件。在具有严格 EMC 要求的设计中必须考虑开关频率的谐波。选择具有 2.1 MHz 的开关频率的示例应用。

LM5155x/LM5156x 具有与频率相关的最大占空比限制。有关最大占空比限制的详细信息，请参阅 [LM5155x/LM5156x](#) 数据表。

3.2 耦合电感器选择

在 SEPIC 转换器中，选择合适的耦合电感器是一个关键步骤。首先要决定为应用选择正确的开关操作类型，即不连续导通模式 (DCM) 或连续导通模式 (CCM)。为该设计选择 CCM，更大限度减少 RMS 电流，尽可能提高满载效率，同时尽可能降低负载电压纹波。另一方面，如果需要良好的轻负载效率，则可以选择 DCM。

根据经验，应将输入电流的 20% 至 40% 用于 K_{IND} ，这表示电感器纹波电流的峰峰值，通过功率平衡公式计算得出，其中 η 为估计效率。

以下值是对效率的准确估算：

$$\eta = 88 \% \quad (1)$$

输入直流电流的计算公式如下：

$$I_{IN, DC} = \frac{V_{OUT} \times I_{OUT}}{\eta \times V_{IN, min}} \quad (2)$$

可以使用以下公式计算电感器纹波电流：

$$\Delta IL = I_{IN, DC} \times K_{IND} \quad (3)$$

最后，耦合电感值的计算公式如下：

$$L \geq \frac{(V_{IN, MAX} \times D)}{2 \times f_{SW} \times \Delta IL} \quad (4)$$

其中 D 是占空比， f_{SW} 是开关频率。

选择更高 K_{IND} 会导致：

- 建议的电感更低
- 电流纹波更高
- EMI 更高
- 瞬态响应更快
- 需要更大的输出电容，才能获得所需的输出纹波

较低的电流纹波通常会降低 EMI，增加最大输出电流，减少所需的输出电容，并减慢瞬态响应。设计人员必须选择正确的折衷方案。

值得一提的是，在耦合电感器中，互感迫使纹波电流在两个耦合电感器之间平均分配，因此一个耦合电感器所需的电感是两个独立电感器可能需要的电感的一半。此外，与要求耦合系数尽可能高的反激式耦合电感器不同，在 SEPIC 中，漏电流最好为 10%-15%。

在本例中，选择了一个 4.7 μ H 的电感器。

3.2.1 耦合电容器 (交流电容器)

选择飞跨电容器，使其纹波电压不超过最大输入电压的 5%：

$$C_{AC} \geq \frac{I_{OUT} \times D_{MAX}}{0.05 \times V_{IN,MAX} \times f_{SW}} \quad (5)$$

对于该设计，我们将选择 $10\mu\text{F}$ 的值。交流电容器充电至输入电压，因此其额定电压必须考虑到相对于最大输入电压的足够裕度。在本例中，选择的交流电容器额定电压为 50V 。

流经该电容器的 RMS 电流也是一个需要考虑的重要参数，因为它可能会导致过热和损坏：

$$I_{RMS, CAC} = I_{IN,DC} \times \sqrt{\frac{1-D_{MAX}}{D_{MAX}}} \quad (6)$$

$$I_{IN,DC} = \frac{V_{OUT} \times I_{OUT}}{\eta \times V_{IN,min}} \quad (7)$$

3.3 二极管选型

次级侧上的整流器二极管的反向额定电压必须大于最大输入电压加上输出电压。次级二极管的反向电压的计算公式如下：

$$V_{(D, reverse)} = V_{IN,MAX} + V_{OUT} + V_D = 32\text{V} + 12\text{V} + 0.5\text{V} = 44.5\text{V} \quad (8)$$

由于漏感，初级侧开关关闭时会出现负尖峰。需要在二极管两端添加一个 RC 缓冲器，以便尽可能减小这个电压尖峰。即使添加了缓冲器，也必须在 [方程式 8](#) 中计算的值上增加至少 30% 的裕度。对于此应用，选择了反向电压额定值为 60V 的二极管。

次级侧二极管的平均电流通过以下公式估算：

$$I_{D, avg} = I_{LOAD} = 1\text{A} \quad (9)$$

二极管必须能够传导在 [方程式 9](#) 中计算的值，并留有一定的裕量。对于该设计，所选二极管能够传导 10A 的平均正向电流。

此外，必须选择合适的封装，因为可以通过以下公式估算功率损耗：

$$P_{diss:D} = I_{LOAD} \times V_f \quad (10)$$

其中 V_f 是所选二极管的正向压降。

3.4 MOSFET 选型

初级侧的 MOSFET 开关 (SW) 的漏源电压额定值必须大于最大输入电压加上输出电压。漏源电压的计算公式如下：

$$V_{DS} = V_{IN,MAX} + V_{OUT} \quad (11)$$

必须向前一个值增加 30% 的裕度。

通过 MOSFET 的电流的计算公式如下：

$$I_{peak} = I_{LOAD} + I_{IN,DC} + \Delta I_L \quad (12)$$

对于功率损耗，需要 RMS 电流：

$$I_{peak,RMS} = \frac{I_{IN}}{\sqrt{D_{MAX}}} \quad (13)$$

在这种情况下，选择额定电压为 80V 、额定电流为 10A 的 MOSFET。

3.5 输出电容器选型

需要输出电容器来使负载电压纹波平稳，并在负载瞬态期间和 MOSFET 导通期间提供能量源。

确定输出电容大小的一种实用方法是基于所需的负载瞬态规格。负载瞬态规格与控制环路交叉频率有关。对于此估计，预计控制环路交叉频率设置为 RHPZ 频率的 1/5，这是使用 [方程式 14](#) 计算的。

$$f_{RHPZ} = \frac{(1 - D_{MAX})^2 \times V_{OUT}}{2\pi \times D \times L \times I_{out}} \quad (14)$$

对于此设计示例，负载瞬态规格表明负载电压在从 50% 负载电流 (0.5A) 到 100% 负载电流 (1A) 的负载瞬态期间不得过冲或下冲超过 100mV。[方程式 15](#) 用于计算估计的负载电容，以实现指定的负载瞬态负载电压纹波要求。

$$C_{OUT} \geq \frac{\Delta I_{LOAD}}{2\pi \times f_{BW} \times \Delta V_{LOAD}} \quad (15)$$

其中

- ΔI_{LOAD} 是负载电流条件的差异 (1 A - 0.5 A)
- ΔV_{LOAD} 是指定的过冲电压规格和下冲电压规格

在本设计中， C_{LOAD} 选为 150 μ F。

3.6 输入电容器选型

输入电容器可在运行期间使电源纹波电压平稳。由于输入电感器的作用，输入电容器的纹波电流相当低；与升压转换器类似，输入电流波形是连续的三角形。对于本设计，当电源电压处于最小值时，输入电压纹波被设计为小于 250 mV。[方程式 16](#) 用于根据电源纹波电压规格估算所需的输入电容。

$$C_{IN_min} = \frac{\frac{P_{OUT_total}}{V_{SUPPLY_min}} \times (1 - D)}{\Delta V_{SUPPLY} \times f_{SW}} = \frac{\frac{12W}{6V} \times (1 - 0.67)}{250mV \times 2.1MHz} = 1.26 \mu F \quad (16)$$

其中 ΔV_{SUPPLY} 是允许的最大纹波。

选择的输入电容 > 40 μ F。添加陶瓷电容器有助于降低输入电容器组的 ESR。

3.7 输出电压设置

通过电阻分压器网络设置输出电压。在这种情况下，顶部反馈电阻器 (R_{FBT}) 选择为 51.1k。输出电压用下面的公式表示，其中 V_{REF} 是一个参数，可在所选 IC 的数据表找到：

$$V_{LOAD} = V_{REF} \times \left(\frac{R_{FBT}}{R_{FBB}} + 1 \right) \quad (17)$$

因此，底部电阻器 (R_{FBB}) 的计算公式如下：

$$R_{FBB} = \frac{R_{FBT}}{\frac{V_{LOAD}}{V_{REF}} - 1} \quad (18)$$

4 简化版 SEPIC 原理图

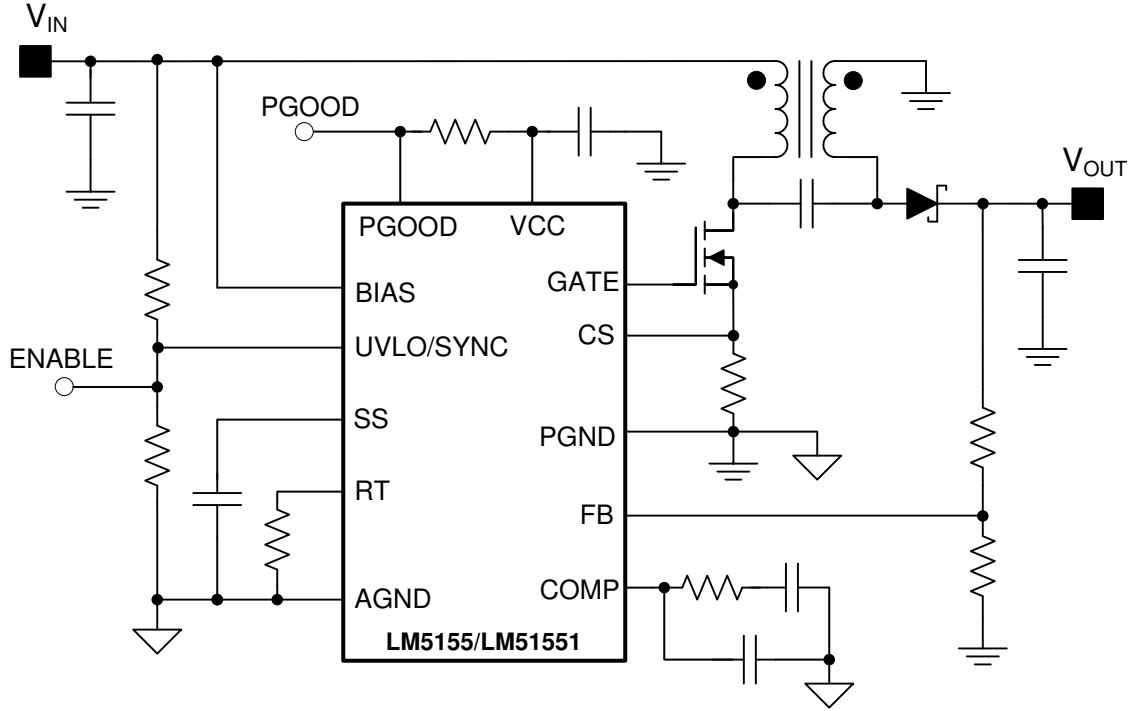


图 4-1. 应用电路

5 参考文献

- 德州仪器 (TI), [LM5155 SEPIC 评估模块](#)。
- 德州仪器 (TI), [用于 SEPIC 稳压器设计的 LM5155 和 LM5156 快速入门计算器 \(修订版 A\)](#)。
- 德州仪器 (TI), [LM5155x 2.2MHz 宽输入非同步升压、SEPIC、反激式控制器 数据表](#)。
- 德州仪器 (TI), [基于 SEPIC 拓扑设计直流/直流转换器 模拟应用期刊](#)。
- 德州仪器 (TI), [TPS61175 SEPIC 设计 应用手册](#)。

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