

Application Note

降压转换器功率级的基本计算：



Brigitte Hauke

Low Power DC/DC Applications

摘要

本应用报告提供的公式用于计算降压转换器的功率级，该转换器基于具有集成式开关并在连续导通模式下运行的集成电路构建。本手册不会详细介绍降压转换器的功能或转换器补偿过程。有关其他信息，请参阅本文档末尾的参考文献。

附录 A 包含没有说明的公式。

内容

1 降压转换器的基本配置.....	2
1.1 功率级必要参数.....	2
2 计算最大开关电流.....	2
3 电感器选型.....	3
4 整流器二极管选型.....	3
5 输出电压设置.....	4
6 输入电容器选型.....	5
7 输出电容器选型.....	5
8 参考资料.....	5
9 修订历史记录.....	6
A 用于计算降压转换器功率级的公式.....	7

插图清单

图 1-1. 降压转换器功率级.....	2
图 5-1. 用于设置输出电压的电阻分压器.....	4

1 降压转换器的基本配置

图 1-1 显示了升压转换器在所选集成电路 (IC) 中集成开关后的基本配置。一些转换器会将二极管替换为集成到转换器 (同步转换器) 中的第二个开关。如果是这种情况,除了二极管的功率耗散公式之外,本文档中的所有公式都适用。

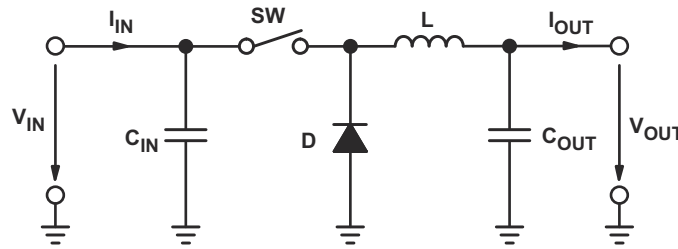


图 1-1. 降压转换器功率级

1.1 功率级必要参数

在计算功率级时需要使用以下四个参数：

1. 输入电压范围： $V_{IN(min)}$ 和 $V_{IN(max)}$
2. 标称输出电压： V_{OUT}
3. 最大输出电流： $I_{OUT(max)}$
4. 用于构建降压转换器的集成电路。这是必要的，因为必须从数据表中获取某些用于计算的参数。

如果这些参数已知，则可以计算功率级。

2 计算最大开关电流

计算开关电流的第一步是确定最大输入电压的占空比 D 。使用了最大输入电压，因为这会产生最大开关电流。

$$\text{Maximum Duty Cycle: } D = \frac{V_{OUT}}{V_{IN(max)} \times \eta} \quad (1)$$

$V_{IN(max)}$ = 最大输入电压

V_{OUT} = 输出电压

η = 转换器效率，例如估计为 90%

由于转换器还必须提供耗散的能量，因此效率需添加到占空比计算中。与没有效率因子的公式相比，此计算提供了更真实的占空比。

可以使用估算系数（例如 90%）（在最坏的情况下，这种降压转换器效率是有可能的），也可以参阅所选转换器数据表的典型特性部分。

计算最大开关电流的下一步是确定电感器纹波电流。在转换器数据表中，通常会指定一个特定的电感器或一系列电感器，与 IC 配合使用。因此，要么使用建议的电感器值来计算纹波电流，要么使用建议范围中间的电感器值进行计算，如果数据表中没有给出，请使用本应用报告 [电感器选型](#) 部分中计算得出的值。

$$\text{Inductor Ripple Current: } \Delta I_L = \frac{(V_{IN(max)} - V_{OUT}) \times D}{f_S \times L} \quad (2)$$

$V_{IN(max)}$ = 最大输入电压

V_{OUT} = 所需输出电压

D = 方程式 1 中计算得出的占空比

f_S = 转换器的最小开关频率

L = 选定的电感器值

现在，必须确定所选 IC 是否能够提供最大输出电流。

$$\text{Maximum output current of the selected IC: } I_{\text{MAXOUT}} = I_{\text{LM(min)}} - \frac{\Delta I_L}{2} \quad (3)$$

$I_{\text{LM(min)}}$ = 集成开关电流限制的最小值（在数据表中给出）

ΔI_L = 使用 [方程式 2](#) 计算的电感器纹波电流

如果所选 IC 计算出的最大输出电流值 I_{MAXOUT} 低于系统要求的最大输出电流，则必须提高开关频率以减小纹波电流，或必须使用另一个具有更高开关电流限制的 IC。

仅当 I_{MAXOUT} 的计算值略小于所需值时，才有可能将所选 IC 与具有更高电感的电感器配合使用（电感值仍在建议范围内）。较高的电感可降低纹波电流，从而增加所选 IC 的最大输出电流。

如果计算得出的值高于应用的最大输出电流，则系统中的最大开关电流计算方式为：

$$\text{Application specific maximum switch current: } I_{\text{SW(max)}} = \frac{\Delta I_L}{2} + I_{\text{OUT(max)}} \quad (4)$$

ΔI_L = 使用 [方程式 2](#) 计算的电感器纹波电流

$I_{\text{OUT(max)}}$ = 应用中需要的最大输出电流

这是峰值电流，是电感器、集成开关和外部二极管必须承受的电流。

3 电感器选型

数据表通常会提供一个建议的电感器值范围。如果是这样，则从该范围中选择一个电感器。电感器值越高，最大输出电流就越高，因为纹波电流较小。

通常，电感器值越低，解决方案尺寸就越小。请注意，电感器的额定电流必须始终高于 [方程式 4](#) 给出的最大电流；这是因为电流会随着电感的降低而增加。

对于未提供电感器范围的器件，以下公式可以很好地估算合适的电感器：

$$L = \frac{V_{\text{OUT}} \times (V_{\text{IN}} - V_{\text{OUT}})}{\Delta I_L \times f_S \times V_{\text{IN}}} \quad (5)$$

V_{IN} = 典型输入电压

V_{OUT} = 所需输出电压

f_S = 转换器的最小开关频率

ΔI_L = 电感器预估纹波电流，见下文：

电感器纹波电流不能通过 [方程式 1](#) 计算，因为电感器是未知的。电感器纹波电流的合理估算值为输出电流的 20% 至 40%。

$$\Delta I_L = (0.2 \text{ to } 0.4) \times I_{\text{OUT(max)}} \quad (6)$$

ΔI_L = 预估的电感器纹波电流

$I_{\text{OUT(max)}}$ = 应用中需要的最大输出电流

4 整流器二极管选型

为了降低损耗，请使用肖特基二极管。所需的正向电流额定值等于最大输出电流：

$$I_F = I_{\text{OUT(max)}} \times (1 - D) \quad (7)$$

I_F = 整流器二极管的平均正向电流

$I_{OUT(max)}$ = 应用中需要的最大输出电流

肖特基二极管的峰值电流额定值比平均额定值高得多。因此系统中的较高峰值电流不是问题。

必须检查的另一个参数是二极管的功率耗散。它必须处理：

$$P_D = I_F \times V_F \quad (8)$$

I_F = 接收器二极管的平均正向电流

V_F = 整流二极管的正向电压

D = 使用[方程式 1](#) 计算的占空比

5 输出电压设置

几乎所有转换器都使用电阻分压器网络设置输出电压（固定输出电压转换器会集成该网络）。

利用给定的反馈电压 V_{FB} 和反馈偏置电流 I_{FB} ，可以计算分压器的值。

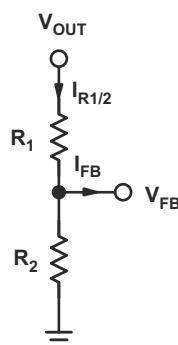


图 5-1. 用于设置输出电压的电阻分压器

流经电阻分压器的电流需至少为反馈偏置电流的 100 倍：

$$I_{R1/2} \geq 100 \times I_{FB} \quad (9)$$

$I_{R1/2}$ = 流经电阻分压器并到达 GND 的电流

I_{FB} = 数据表提供的反馈偏置电流

这会使电压测量增加小于 1% 的误差，对于反馈分压器的计算，流入反馈引脚的电流可以忽略不计。电流也会高得多。电阻值较小的唯一缺点是，电阻分压器中的功率损耗较高，但精度略有提高。

根据上述假设，电阻器的计算方法如下：

$$R_2 = \frac{V_{FB}}{I_{R1/2}} \quad (10)$$

$$R_1 = R_2 \times \left(\frac{V_{OUT}}{V_{FB}} - 1 \right) \quad (11)$$

R_1 、 R_2 = 电阻分压器，请参阅[图 5-1](#)。

V_{FB} = 数据表中的反馈电压

$I_{R1/2}$ = 流经电阻分压器至 GND 的电流，计算公式为[方程式 9](#)

V_{OUT} = 所需输出电压

6 输入电容器选型

数据表中通常会提供输入电容器的最小值。由于开关电源的峰值电流要求，该最小值是稳定输入电压所必需的。妥善做法是使用等效串联电阻 (ESR) 较低的陶瓷电容器。电介质材料必须是 X5R 或性能更好的材料。否则，电容器会因直流偏置或温度而损失大部分电容。

如果输入电压噪声较大，则可以增加该值。

7 输出电容器选型

妥善做法是使用 ESR 较低的电容器来尽可能减小输出电压上的纹波。如果电介质材料为 X5R 或性能更好的材料，则陶瓷电容器是不错的选择。

如果转换器具有外部补偿机制，则可以使用高于数据表中建议的最小值的任何电容值，但必须针对所使用的输出电容调整补偿。

对于内部补偿转换器，必须使用建议的电感值和电容值，或者遵循数据表中的建议，根据数据表中的应用调整输出电容器，比率为 $L \times C$ 。

利用外部补偿，可以通过以下公式来调节输出电容值，以获得所需的输出电压纹波：

$$C_{OUT(min)} = \frac{\Delta I_L}{8 \times f_S \times \Delta V_{OUT}} \quad (12)$$

$C_{OUT(min)}$ = 最小输出电容

ΔI_L = 预估的电感器纹波电流

f_S = 转换器的最小开关频率

ΔV_{OUT} = 所需输出电压纹波

输出电容器的 ESR 会增加一些纹波，可通过以下公式计算得出：

$$\Delta V_{OUT(ESR)} = ESR \times \Delta I_L \quad (13)$$

$\Delta V_{OUT(ESR)}$ = 由于电容器 ESR 而导致的额外输出电压纹波

ESR = 使用的输出电容器的等效串联电阻

ΔI_L = 根据 [方程式 2](#) 或 [方程式 6](#) 计算的电感器纹波电流

通常，输出电容器的选择不是由稳态纹波决定的，而是由输出瞬态响应决定的。输出电压偏差是电感器赶上增加或减少的输出电流需求所需的时间引起的。

可以使用以下公式来计算所需最大过冲需要的输出电容：

$$C_{OUT(min),OS} = \frac{\Delta I_{OUT}^2 \times L}{2 \times V_{OUT} \times V_{OS}} \quad (14)$$

$C_{OUT(min),OS}$ = 所需过冲的最小输出电容

ΔI_{OUT} = 应用中的最大输出电流变化

V_{OUT} = 所需输出电压

V_{OS} = 过冲导致的所需输出电压的变化

8 参考资料

1. 了解开关模式电源中的降压功率级 ([SLVA057](#))
2. 脉宽调制器 TL5001 的应用示例 ([SLVAE05](#))
3. 了解 DC/DC 降压转换器的输出电压限制 ([SLYT293](#))
4. 采用 III 型补偿为电流模式降压转换器设计超快环路响应 ([SLVA352](#))
5. Robert W. Erickson: *Fundamentals of Power Electronics*, Kluwer Academic Publishers, 1997
6. Mohan/Underland/Robbins: *Power Electronics*, John Wiley & Sons Inc., Second Edition, 1995

7. George M. Harayda、Akira Omi 和 Axel Yamoto：使用大容量多层陶瓷片式电容器 (MLCC) 改进您的设计，Panasonic
8. Jeffrey Cain 博士：多层陶瓷电容器与钽电容器的比较，AVX Corporation

9 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from Revision B (August, 2015) to Revision C (October, 2026)	Page
• 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式.....	1

Changes from Revision A (August 2012) to Revision B (August 2015)	Page
• 更改了 <i>计算最大开关电流</i> 部分中的公式 1 和支持文字。.....	2

A 用于计算降压转换器功率级的公式

$$\text{Maximum Duty Cycle: } D = \frac{V_{OUT} \times \eta}{V_{IN(max)}} \quad (15)$$

$V_{IN(max)}$ = 最大输入电压

V_{OUT} = 输出电压

η = 转换器效率，例如估计为 85%

$$\text{Inductor Ripple Current: } \Delta I_L = \frac{(V_{IN(max)} - V_{OUT}) \times D}{f_S \times L} \quad (16)$$

$V_{IN(max)}$ = 最大输入电压

V_{OUT} = 所需输出电压

D = 方程式 15 中计算得出的占空比

f_S = 转换器的最小开关频率

L = 选定的电感器值

$$\text{Maximum output current of the selected IC: } I_{MAXOUT} = I_{LIM(min)} - \frac{\Delta I_L}{2} \quad (17)$$

$I_{LIM(min)}$ = 集成开关电流限制的最小值（在数据表中给出）

ΔI_L = 使用方程式 16 计算的电感器纹波电流

$$\text{Application specific maximum switch current: } I_{SW(max)} = \frac{\Delta I_L}{2} + I_{OUT(max)} \quad (18)$$

ΔI_L = 使用方程式 16 计算的电感器纹波电流

$I_{OUT(max)}$ = 应用中需要的最大输出电流

$$\text{Inductor Calculation: } L = \frac{V_{OUT} \times (V_{IN} - V_{OUT})}{\Delta I_L \times f_S \times V_{IN}} \text{ (if no value is recommended in the data sheet)} \quad (19)$$

V_{IN} = 典型输入电压

V_{OUT} = 所需输出电压

f_S = 转换器的最小开关频率

ΔI_L = 电感器预估纹波电流，见下一段

$$\text{Inductor Ripple Current Estimation: } \Delta I_L = (0.2 \text{ to } 0.4) \times I_{OUT(max)} \quad (20)$$

ΔI_L = 预估的电感器纹波电流

$I_{OUT(max)}$ = 应用中需要的最大输出电流

$$\text{Average Forward Current of Rectifier Diode: } I_F = I_{OUT(max)} \times (1 - D) \quad (21)$$

$I_{OUT(max)}$ = 应用中需要的最大输出电流

D = 使用方程式 1 计算的占空比

$$\text{Power Dissipation in Rectifier Diode: } P_D = I_F \times V_F \quad (22)$$

I_F = 整流器二极管的平均正向电流

V_F = 整流器二极管的正向电压
 D = 使用 [方程式 1](#) 计算的占空比

$$\text{Current through Resistive Divider Network for Output Voltage Setting: } I_{R1/2} \geq 100 \times I_{FB} \quad (23)$$

I_{FB} = 数据表提供的反馈偏置电流

$$\text{Value of Resistor Between FB Pin and GND: } R_2 = \frac{V_{FB}}{I_{R1/2}} \quad (24)$$

$$\text{Value of Resistor Between FB Pin and } V_{OUT}: R_1 = R_2 \times \left(\frac{V_{OUT}}{V_{FB}} - 1 \right) \quad (25)$$

V_{FB} = 数据表中的反馈电压
 $I_{R1/2}$ = 流经电阻分压器至 GND 的电流，计算公式为 [方程式 23](#)
 V_{OUT} = 所需输出电压

$$\text{Minimum Output Capacitance, if not given in Data Sheet: } C_{OUT(min)} = \frac{\Delta I_L}{8 \times f_S \times \Delta V_{OUT}} \quad (26)$$

ΔI_L = 预估的电感器纹波电流
 f_S = 转换器的最小开关频率
 ΔV_{OUT} = 所需输出电压纹波

$$\text{Additional Output Voltage Ripple due to ESR: } \Delta V_{OUT(ESR)} = ESR \times \Delta I_L \quad (27)$$

ESR = 使用的输出电容器的等效串联电阻
 $I_{OUT(max)}$ = 应用的最大输出电流
 ΔI_L = 根据 [方程式 16](#) 或 [方程式 20](#) 计算的电感器纹波电流

$$\text{Output Voltage Overshoot due to Load Transient: } C_{OUT(min),OS} = \frac{\Delta I_{OUT}^2 \times L}{2 \times V_{OUT} \times V_{OS}} \quad (28)$$

ΔI_{OUT} = 应用中的最大输出电流变化
 V_{out} = 所需输出电压
 V_{OS} = 过冲导致的所需输出电压的变化

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 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月