

如何为汽车DC-DC应用的功率电感器做出正确决策？

Smail Haddadi

TT Electronics 公司

摘要：需要仔细选择汽车DC-DC转换器应用中的电感器，以实现成本、质量和电气性能的正确组合。在本文中，提供了有关如何计算所需规格以及可能进行权衡的指导。

1 降压或降 - 升压开关稳压器

汽车电子产品中大约有 80 种不同的电子应用，每种电子应用都需要自己的稳定电源轨，这些电源轨来自电池电压。这可以通过大型有损“线性”稳压器来实现，但有效的方法是使用“降压”或“降 - 升压”开关稳压器，因为它可以实现 90% 以上的效率，而且更为紧凑。这种类型的开关调节器需要一个电感器，而选择正确的部件有时看起来有点神秘，因为所需的计算方式是源于 19 世纪的磁学理论。设计人员希望看到一个方程式，他们可以“插入”他们的性能参数并获得“正确”的电感和电流额定值，以便他们可以从零件目录中进行选择。

然而，事情并非如此简单，必须做出一些假设，考虑权衡并经常进行多次设计迭代。即使这样，完美的部件可能无法作为标准配置，因为需要重新设计才能看到现成的电感器是否适合。

2 降压稳压器

让我们考虑降压稳压器（图 1），其中 V_{in} 是电池电压， V_{out} 是较低电压的处理器电源轨，SW1 和 SW2 交替打开和关闭。简单的传输函数方程是 $V_{out} = V_{in \cdot T_{on}} / (T_{on} + T_{off})$ ，其中 T_{on} 是 SW1 关闭、 T_{off} 是打开时。电感器在这个等式中没有被计算进来，那么它有什么影响？简单来说，电感需要在 SW1 打开时存储足够的能量，以便在输出关闭时保持输出。存储的能量可以计算并等同于所需的能量，但实际上还有其他事项需要首先考虑。

SW1 和 SW2 的交替切换导致电流在电感器中上升和下降，在平均 DC 值上形成三角形“纹波电流”。然后，纹

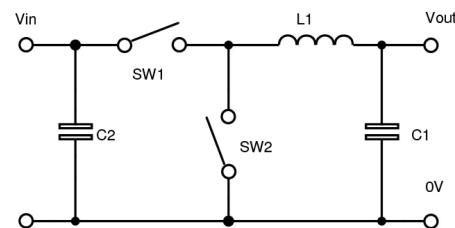


图 1 基本降压转换器

波电流陷入 C1，当 SW1 关闭时，它会释放出来。通过电容器 ESR 的电流产生输出电压纹波。如果这是一个关键参数，并且电容器及其 ESR 由尺寸或成本确定，则可能会设置纹波电流和电感值。

3 现代降压转换器

通常选择电容器可提供灵活性。这意味着如果 ESR 较低，则纹波电流可能很高。然而，这会引起其自身的问题。例如，如果纹波的“波谷”在某些轻负载下接触零并且 SW2 是二极管，则通常是这样，它会在部分周期内停止导通，并且转换器进入“不连续导通”模式。在这种模式下，传输函数改变并且变得更难以最佳地稳定。现代降压转换器通常使用同步整流，其中 SW2 是 MOSFET，并且当其导通时可以在两个方向上传导漏极电流。这意味着电感可以摆动负极并保持连续导通（图 2）。

在这种情况下，可以允许很高的峰 - 峰纹波电流 ΔI ，而它由电感值根据 $\Delta I = ET/L$ 设定。E 是施加时间 T 的电感器电压，当 E 是输出电压时，最容易考虑 SW1， T_{off} 的关断时间内发生的情况。 ΔI 在此时是最大的，因为 T_{off} 是最大的，具有来自传输函数的最高输入电压。例如：最大

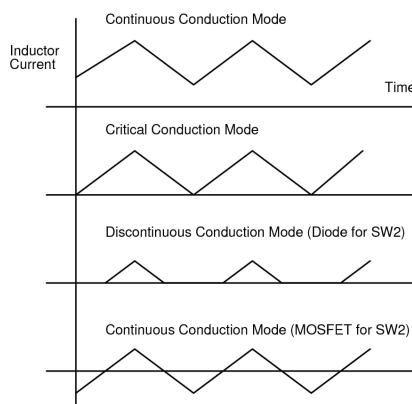


图 2 降压转换器的导通模式

电池电压为 18V，输出为 3.3V，峰 - 峰纹波为 1A，开关频率为 500kHz， $L=5.4\mu H$ 。这假设 SW1 和 SW2 之间没有电压降。在此计算中未计算负载电流。

对目录的简要搜索可能会显示多个部件，其当前评级与所需负载相匹配。但是，重要的是要记住纹波电流叠加在直流值上，这意味着在上面的例子中，电感电流实际上将高于负载电流 0.5A。有多种方法可以将电感器评估为电流：作为热饱和或磁饱和限制。热限制电感器通常针对给定的温升（通常为 40°C）进行额定，如果可以进行冷却，则可以在更高的电流下运行。必须在峰值电流下避免饱和，并且极限随温度降低。有必要仔细检查电感数据表曲线，

以检查它是热还是饱和度受限。

电感器损耗也是一个重要的考虑因素。损耗主要是欧姆，可以在纹波电流较低时计算。在高纹波电平下，磁芯损耗开始占主导地位，这些很难预测，因为它们取决于波形形状以及频率和温度。因此需要对原型进行真正的测试，因为这可能表明较低的纹波电流是实现最佳整体效率所必需的。这将需要更多的电感和更高的直流电阻——这是一个迭代过程。

4 高性能 HA66 系列

一个很好的起点是 TT electronics 的高性能 HA66 系列（图 3）。它的范围包括 $5.3\mu H$ 部分，额定饱和度为 2.5A，允许负载为 2A，纹波为 $+/-0.5A$ 。这些部件非常适合汽车应用，因为公司具有 TS-16949 认证质量体系。



图 3 TT Electronics 的 HA66 系列电感器

上接147页

如果在完成后，您发现裸铜线面积超过可用骨架窗口面积的约 40%，那么您的部件可能太小而且磁芯尺寸需要增加。因此，上升一个尺寸，重做以上所有内容，然后再次检查。这是一个迭代过程，将导致变压器满足您的需求，同时尽可能小。

早期，据说使用 MAX 占空比。通过这种方式，可以通过减少实际占空比来确保它们保持在 DCM 中。然后，

较少的能量从 PRI 转移到 SEC，因此，SEC 可以随后耗尽在下一个 PRI 开启时间开始之前获得的能量。

还要记住，所有这些都说明没有磁心损耗，没有因 DCR 导致的调节，没有效率要求，没有漏磁通，根本没有寄生效应等。这是理想的情况并不是现实，而是这些方程和这种方法肯定会让你非常接近你所需要的。

上接150页

- [6] Rixin L, Yoann M, Fred W, et al. An Integrated EMI Choke for Differential-Mode and Common-Mode Noise Suppression [J]. IEEE T POWER ELECTR, 2010, 25(3): 539-544.
- [7] Fang L, Dushan B, Paolo M, et al. An integrated common

mode and differential mode choke for EMI suppression using magnetic epoxy mixture [J]. in Proc. IEEE Appl. Power Electron. Conf. Expo., 2011, pp. 1715 - 1720.