

LM2593

Application Note 1246 Stresses in Wide Input DC-DC Converters



Literature Number: ZHCA138

宽输入直流/直流转换器设计要点

介绍

先前只采用一种拓扑结构，经验丰富的电源设计工程师们正在把注意力转向另外的拓扑结构，因为他们知道必须加快地调整思维方式。“游戏规则”在改变。因此，如果在一开始就不正视这一事实，就会出现严重的设计问题。

“所有拓扑结构都有现成的方程式，需要时应用”---这句话对吗？不对。事实上，尽管本文中也提供了这样一组设计方程式，但仅仅这些是不够的。

方程式从本质上来讲是“单点”计算。因此，如果我们输入给定的工作条件：比如说 $V_{IN} = 15V$ ， $V_{OUT} = 5V$ ， $I_O = 1A$ ，我们就可以使用适当的降压转换器的方程式来计算出适用于该特定条件的输入电容的平均有效电流。但是，在一个更实际的情况下，假设 V_{IN} 在 8V 和 22V 之间变化，15V 是否就代表一个模糊意义上的“额定”值呢？那么，什么是最合适的输入电压可以用来计算最坏情况下的输入电容器电流呢？我们会发现无论多么完整的方程组，都没有办法可以引导我们直接找到答案。因此，如果设计师甲“选择”8V 的最低输入电压，设计师乙选择 22V 的最高输入电压，设计师丙则选择 15V 的标称值的话，他们实际上都是错误的。正确答案为 $V_{IN} = 10V$ 。再举一个例子：应在最高输入电压时设计电感器还是应在最低输入电压时设计电感器？对于降压型而言，在什么输入电压下设计电感器似乎并没有什么太大的问题。但如果在升压型或者降压-升压型应用中持同样态度的话，那么设计的电源就有可能无法通过进一步的测试。

更重要的一点是，即使负载保持在恒定的最大值的同时，电源的内部电流也会随着输入电压的变化而改变其波形，峰值、有效值和平均值。本文的目的是要弄清楚相对于每个拓扑结构这些值的变化情况，并从而确定它们各自的“最坏情况”的设计或测试条件。基于现有拓扑结构的逻辑设计程序终于出现了。

如前所述，综合设计资料表(表2)可用于所有的三个主要拓扑结构：降压型、降压-升压型和升压型。区别于大多数其他的参考文献，此表是依据‘r’制定的。事实上，这个表成了设计师之友。因为它体现了目前唯一的，真正意义上的设计自由度，那就是电感器电流纹波比“r”。对于任何拓扑结构，任何应用条件，和任何开关频率来讲，“r”的选择标准恰好是相同的(事实上它也是实际值)。一旦‘r’确定后(通常为0.3-0.5)，其他的事项也就或多或少地预先确定了。

美国国家半导体

应用注释 1246

Sanjaya Maniktala

2002 年 9 月



同时要注意的是设计表中包括所有拓扑结构二极管和开关的压降，以及一些在相关文献中不普遍列举的内容。我们必须认识到，由于输出电压不断缩小，这些“微不足道”的正向“压降”实际上在今天已变的越来越重要了。

以设计表为基础的设计程序考虑了一个在负载恒定(最大)，输出电压固定，输入电压变化情况下运行的电源。我们可以预测其对占空比变化产生的反应，从而确定出最坏情况下的输入测试或设计条件。结论见表1。方程式基本上依照输出电压(V_O)、最大负载(I_O)和占空比(D)以及电感器电流纹波比“r”等方面制定。因为“D”旨在反映输入电压变化，所以输入电压“ V_{IN} ”不直接包含在该方程式中。关于本文，需要牢记的最重要的事实是，对于所有拓扑结构而言，当涉及到 D 与 V_{IN} 时，特别要注意低的 D 对应于高的 V_{IN} ，高的 D 对应于低的 V_{IN} 。

电感器电流波形

一个电感器的电流波形由一个交流/斜升分量“ ΔI ”，和一个直流/平均分量“ I_{DC} ”构成。后者为斜升的几何中间值。在文献中，交流电取值一般为斜升的一半。这里为方便起见，我们让其相等。拓扑结构之间的本质差别在于对于降压型而言，平均电感器电流与负载电流总是相等；而对于升压型和降压-升压型而言，平均二极管电流与负载电流相等。从表2可得

$$I_{DC} = I_O = \text{连续降压}$$

$$I_{DC} = \frac{I_O}{1-D} \propto \frac{1}{1-D} \quad \text{升压 / 降-升压}$$

很明显，如果 D 值接近 1，相对于升压型和降压-升压型来讲，平均电感器电流会变得非常高。谨记，这相当于降低输入电压“ V_{IN_MIN} ”。因此，对于这些拓扑结构，电感器的设计必须以最低输入电压为基准。由于平均电流仅取决于负载的大小(在我们的分析中，认为该负载是恒定不变的)，对于降压拓扑结构而言，电感器电流对于输入电压几乎没有任何依赖。因此，对于降压稳压器，作为第一阶段的选择，我们往往只选择其额定电流等于负载的电感器，而并不考虑其输入电压。这些变化包括在图1所示的曲线图中。与表1中提供的清单对照来读取该图。

电感器电流波形 (续)

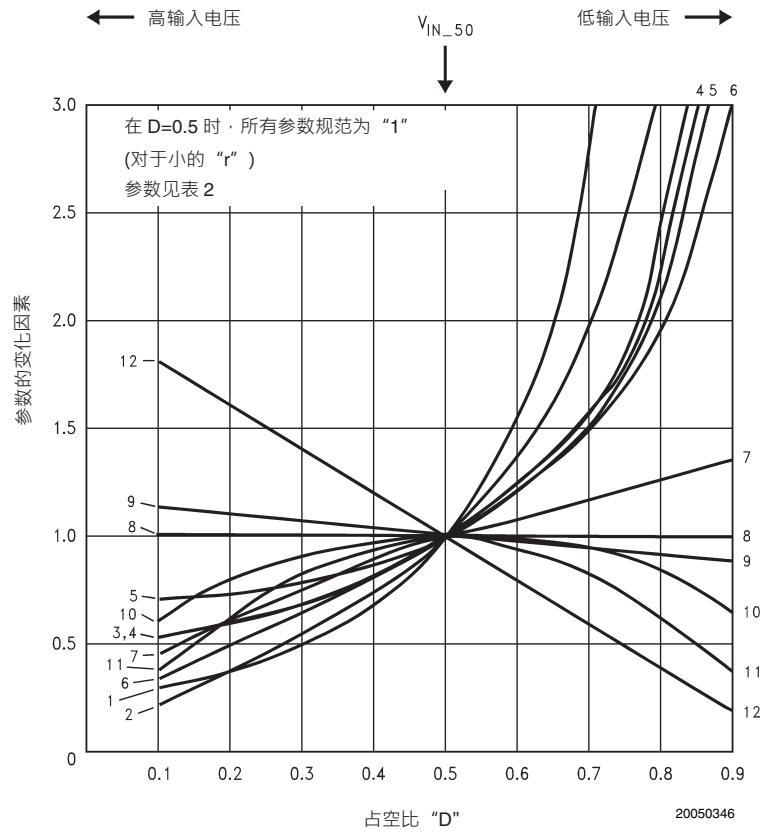


图 1

表1. 给定参数设计/测试的最差输入电压条件

参数	降压型	升压型	降压-升压型
ΔI (I_{AC} in Inductor)	V_{IN_MAX} 12	V_{IN_50} 11	V_{IN_MAX} 12
磁芯损耗	V_{IN_MAX}	V_{IN_50}	V_{IN_MAX}
电感器能量/磁芯饱和	V_{IN_MAX}/V_{IN} 8	V_{IN_MIN} 1	V_{IN_MIN} 1
电感器平均电流	V_{IN} 8	V_{IN_MIN} 3	V_{IN_MIN} 3
电感器平均有效电流 (RMS)	V_{IN_MAX}/V_{IN} 8	V_{IN_MIN} 3	V_{IN_MIN} 3
铜损/电感器温度	V_{IN_MAX}/V_{IN}	V_{IN_MIN}	V_{IN_MIN}
输入电容器平均有效电流 (RMS)	V_{IN_50} 10	V_{IN_50} 11	V_{IN_MIN} 6
输入电压纹波	V_{IN_MAX}/V_{IN} 8	V_{IN_MAX} 12	V_{IN_MIN} 3
输出电容器平均有效电流 (RMS)	V_{IN_MAX} 12	V_{IN_MIN} 6	V_{IN_MIN} 6
输出电压纹波	V_{IN_MAX} 12	V_{IN_MIN} 3	V_{IN_MIN} 3
开关平均有效电流 (RMS)	V_{IN_MIN} 7	V_{IN_MIN} 2	V_{IN_MIN} 2
开关平均电流	V_{IN_MIN}	V_{IN_MIN}	V_{IN_MIN}

电感器电流波形 (续)

表1. 给定参数设计/测试的最差输入电压条件 (续)

参数	降压型	升压型	降压-升压型
开关/二极管/电感器峰值电流	V_{IN_MAX} 9	V_{IN_MIN} 4	V_{IN_MIN} 5
二极管平均电流	V_{IN_MAX} 12	V_{IN} 8	V_{IN} 8
二极管温度	V_{IN_MAX} 12	V_{IN} 8	V_{IN} 8
最差情况下的效率	V_{IN_MAX}	V_{IN_MIN}	V_{IN_MIN}

栏中的数字指图1中相应曲线编号。

V_{IN} 意为任何输入电压都合适。

V_{IN_50} 为输入电压，其中 $D = 0.5$

电感器电流交流分量，“ I_{AC} ”或“ ΔI ”即使是降压拓扑结构也不能完全忽视。这是一个重要的参数，首先是因为它与 I_{DC} 一起决定电感器电流的峰值。需要对这峰值有个彻底的了解，以便对电感器的能量控制需求进行准确的评估(定义为 $\frac{1}{2} * L * I_{PEAK}^2$)。如果我们不对电感器的尺寸进行相应的调整，磁芯可能饱和。但更重要的是，对于所有拓扑结构，该磁芯损耗完全是由交流分量造成的。只要电感器不饱和，磁芯损耗就与 I_{DC} 无关。

现在，对于所有的拓扑结构，当开关接通时，就会向电感器施加一个电压“ V_{ON} ”。根据基本方程 $V_{ON} = L * \Delta I / (D/f)$ 或者 $\Delta I = V_{ON} * D / (L * f)$ 方程中， f 为频率，其结果是在电感器中会有一个交流斜升分量“ ΔI ”通过。当输入电压下降时， V_{ON} 下降，帮助降低斜升分量。但与此同时 D 值也在增大，这又有利于斜升分量得提升。这样，就出现了一个有趣的问题：当输入电压下降时 ΔI 最终会发生什么样的变化？

ΔI 方程式见表2。我们看到

$$\Delta I \propto (1 - D) \quad \text{降压 / 降-升压}$$

$$\Delta I \propto D * (1 - D)$$

因此，由方程绘出曲线如图1所示，可见

$\Delta I \rightarrow$ 对于降压型/降压-升压型，最高输入电压时的最大值

$\Delta I \rightarrow$ 对于升压型， V_{IN_50} 的最大值(或最接近电压)

其中 V_{IN_50} 在此被定义为输入电压，在此电压下 $D=50\%$ (对于所考虑的拓扑结构而言)。这个值也列于表中2。如果输入电压范围不包括 V_{IN_50} ，我们必须选择 V_{IN_MIN} ，或 V_{IN_MAX} 更接近 V_{IN_50} 的一个。

我们还定义了一个有用的参数，称为电流纹波比率“ r ”。这是一个在转换器提供最大负载时交流电与电感器直流电流值的比率。因此，

$$r = \frac{\Delta I}{I_{DC}} = \frac{\Delta I}{I_0} \quad \text{降压}$$

$$r = \frac{\Delta I}{I_{DC}} = \frac{\Delta I}{I_0} * (1 - D) \quad \text{升压 / 降-升压}$$

“ r ”是个重要的参数。因为除其他事项外，它还决定电感“ L ”，以及绝大多数电源元件的物理尺寸。可以看到，电感器的尺寸由于“ r ”值的增加而减小了。无论怎样，一个0.3-0.4

的“ r ”代表所有拓扑结构最优化的选择。为了对电流纹波比率如何对优化产生影响有更深入的理解，读者可以参阅AN-1197应用注释。虽然特定的应用注释是基于该降压转换器，但同样的原则适用于所有的拓扑结构。在任何情况下，允许一个比0.3-0.5最佳值(通过降低电感)更大的电流纹波不会使电感器的尺寸有明显的减小，但确实增加了对输入电容器或输出电容器，或两者的要求和尺寸。现在，通过在适当的输入电压端给定一个“ r ”值设计电感器后，如前所述，当我们改变输入电压使其超过预期范围时，“ r ”值也会相应改变。表2中的方程基本上是依照 D 值和“ r ”值制定的，因为这是两个随输入电压变化而变化的主要参数。同时也给出了随 D 值变化的“ r ”值的变化，从而使 D 值在我们的分析中变成唯一的实际变量。所需的电感值(基于所选择的“ r ”值)列于表2中。此电感器的物理尺寸也根据所列能量处理能力要求算出。有关电感器设计的更多说明以后会提及。

输入电容器电流

一个关键的参数是通过输入电解电容器的平均有效电流，“ I_{IN} ”。因为电容器必须至少能够额定承受可能通过它的最差情况的平均有效电流，故而它决定了基本/最低的选择标准。在平均有效电流高于其额定值的条件下运行的电容器，大多数生产厂家对其具体的使用寿命不予保证。在这种情况下，根据所提供的温度曲线/方程式确定的预期使用寿命无效。根据表2，“ r ”值小的情况下，我们可以得到

$$I_{IN} \propto \sqrt{D * (1 - D)} \quad \text{降压}$$

$$I_{IN} \propto \frac{r}{1 - D} \propto \frac{D * (1 - D)^2}{1 - D} = D * (1 - D) \quad \text{升压}$$

$$I_{IN} \propto \frac{1}{(1 - D)} * \sqrt{D * (1 - D)} = \sqrt{\frac{D}{1 - D}} \quad \text{降-升压}$$

由方程绘出曲线如图1所示。我们看到

对于降压型/升压型， $I_{IN} \rightarrow$ 在 V_{IN_50} (或最接近电压)的最大值

对于降压-升压型， $I_{IN} \rightarrow$ 在最低输入电压时的最大值

因此，输出电容器的温度也必须以上述输入电压为基础进行评估。如果输入电压范围不包括 V_{IN_50} ，我们必须选择 V_{IN_MIN} ，或 V_{IN_MAX} 更接近 V_{IN_50} 的一个。

输入电容器电流 (续)

我们还需关注通过输入电容器的峰间电流 I_{PP_IN} 。该峰间电流决定输入电压纹波 $\Delta V_{IN} = I_{PP_IN} * ESR_{IN}$ ，方程中， ESR_{IN} 为该输入电容器的等效串联电阻。这个输入纹波是电源输入端的等效串联电阻波谱的主要部分。

根据表2，“r”值小的情况下，我们可以得到

$$I_{PP_IN} \propto \text{连续降压}$$

$$I_{PP_IN} \propto \frac{r}{1-D} \propto \frac{(1-D)^2}{1-D} = (1-D) \quad \text{升压}$$

$$I_{PP_IN} \propto \frac{1}{1-D} \quad \text{降-升压}$$

由方程绘出曲线如图1所示。我们看到

$I_{PP_IN} \rightarrow$ 对于降压型，最高输入电压时的恒定值/最大值

$I_{PP_IN} \rightarrow$ 对于升压型，最高输入电压时的最大值

$I_{PP_IN} \rightarrow$ 对于降-升压型，最低输入电压时的最大值

在降压阶段，假若“r”值很小，输入电压纹波相对于输入电压的变化几乎是不变的。然而，由于“r”值在高输入电压情况下确实会有一些增加，所以最好在最高输入电压下对这一参数进行评估。

输出电容器电流

输出电容器也要至少够大，足以控制通过其本身的最差情况平均有效电流，“ I_{OUT} ”。

根据表2，“r”值小的情况下，我们可以得到

$$I_{OUT} \propto r \propto (1-D) \quad \text{降压}$$

$$I_{OUT} \propto \sqrt{\frac{D}{1-D}} \quad \text{升-降-升压}$$

由方程绘出曲线如图1所示。我们看到

$I_{OUT} \rightarrow$ 对于降压型，最高输入电压时的最大值

$I_{OUT} \rightarrow$ 对于升压型/降-升压型，最低输入电压时的最大值

因此，输出电容器的温度也必须以上述输入电压为基础进行评估。

我们还需关注通过输出电容器的峰间电流 I_{PP_OUT} 。该峰间电流决定输出电压纹波 $\Delta V_{OUT} = I_{PP_OUT} * ESR_{OUT}$ ，方程中， ESR_{OUT} 为该输出电容器的等效串联电阻。这个输出纹波是电源输出端的等效串联电阻噪声波谱的主要部分。

根据表2，“r”值小的情况下，我们可以得到

$$I_{PP_OUT} \propto r \propto (1-D) \quad \text{降压}$$

$$I_{PP_OUT} \propto \frac{1}{1-D} \quad \text{升-降-升压}$$

由方程绘出曲线如图1所示。我们看到

$I_{PP_OUT} \rightarrow$ 对于降压型，最高输入电压时的最大值

$I_{PP_OUT} \rightarrow$ 对于升压型/降-升压型，最低输入电压时的最大值

开关的平均有效电流/平均电流

对于金属氧化物半导体场效应晶体管开关，我们需要计算由 $I_{RMS}^2 * r_{ds}$ 给定的导通损耗。在最小输入电压情况下交叉损耗最低。但是由于其通常是导通损耗的一小部分，所以在这里可以忽略不计。开关的 I_{RMS} 变化方式如下。

根据表2，“r”值小的情况下，我们可以得到

$$I_{RMS} \propto \sqrt{D} \quad \text{降压}$$

$$I_{RMS} \propto \frac{\sqrt{D}}{1-D} \quad \text{升 / 降-升压}$$

由方程绘出曲线如图1所示。我们看到

$I_{RMS} \rightarrow$ 对于降压型/升压型/降-升压型，最低输入电压时的最大值

但是应该指出的是，对于降压型而言，在低的输入电压情况下，开关中的耗散量轻微上升。但对于其他拓扑结构，在低电压输入情况下耗散量会陡增，导致效率大幅下降。对于双极开关耗散的计算，在表2中也提供了平均开关电流值。可以看出，关于平均有效值的上述结论同样适用于开关电流的平均值（要求计算双极开关的导通损耗）。

谈及效率会联系到产生电源损耗的其他主要部分，即二极管损耗。现在我们来查看这种变化是怎样的，输入改变对电源效率的影响又意味着什么。

平均二极管电流/效率

对于二极管，我们需要计算来由 $I_{AVG} * V_D$ 给定的正向损耗，其中，“ V_D ”为传导时通过二极管的压降。对于升压型和降-升压型，平均二极管电流是负载电流，因此它不会随占空比的改变而改变。但如果是降压型它确实会有改变。

根据表2，我们可以得到

$$I_{AVG} \propto (1-D) \quad \text{降压}$$

$$I_{AVG} \propto \text{连续升 / 降-升压}$$

由方程绘出曲线如图1所示。我们看到

$I_{AVG} \rightarrow$ 对于降压型，最高输入电压时的最大值

$I_{AVG} \rightarrow$ 对于升压型/降-升压型，常量

前面我们讲到随着输入电压的增加，降压型的开关耗散几乎保持恒定。现在我们看到的是在输入电压增加时，二极管的耗散也在增加。由于二极管耗散增加，我们预计降压稳压器的效率在高输入电压情况下呈现下降。对于升压型和降-升压型，二极管的耗散不会随着输入电压下降而改变，但开关的耗散会急剧增加。由于开关耗散增加，我们预计升压型或者降-升压型稳压器的效率会在低输入电压情况下下降（除非交叉损失非常大。在这种情况下，偶尔会发现相反的条件下是正确的）。

平均二极管电流/效率 (续)

对于二极管的温度，我们需要在最高输入电压的情况下测试降压稳压器。对于其他拓扑结构，就无所谓了。这在表1中显示为“ V_{IN} ”，意指任何输入电压。

同时，这也告诉我们在什么样的输入电压情况下需要对电源的效率加以检查。这一点在，不同的拓扑结构之间有着明显的不同。请参阅表1。

电感器能量

“能量处理能力”为 $e = 1/2 * L * I_{PEAK}^2$ 。此参数在给定的应用状态下从字面上估计了电感器的“大小”。请注意，不能仅靠电感来决定电感器的尺寸。因为几乎所有的电感，从理论上讲，都可在任意磁芯上获得，简单在上面绕上几圈绕组即可。关于“e”的完整方程组列于表2中。这里为了分析，我们首先确定一个近似值以替代非常复杂的有关“r”的方程式。假设“r”为小值，那么该方程式变为

$$r \cdot \left[\frac{2}{r} + 1 \right]^2 \approx r \cdot \left[\frac{2}{r} \right]^2 \propto \frac{1}{r}$$

根据表2，“r”值小的情况下，我们可以得到能量处理能力如下：

$$e \propto \frac{Et}{r} \propto \frac{(1-D)}{(1-D)} = 1 \quad \text{降压}$$

$$e \propto \frac{Et}{(1-D) \cdot r} \propto \frac{D \cdot (1-D)}{D \cdot (1-D)^3} \propto \frac{1}{(1-D)^2} \quad \text{升压}$$

$$e \propto \frac{Et}{(1-D) \cdot r} \propto \frac{(1-D)}{(1-D)^3} \propto \frac{1}{(1-D)^2} \quad \text{降-升压}$$

由方程绘出曲线如图1所示。我们看到

e → 对于降压型，最高输入电压时的恒定/最大值

e → 对于升压型/降压-升压型，最低输入电压时的最大值

请注意，无论是升压型还是降压-升压型，在占空比接近0.6时所需的能量处理能力急剧增加。这就是设计师们众所周知的前端功率因数校正（PFC）阶段。这样的阶段为升压拓扑结构典型阶段，可以使用全球范围内任一交流电输入以提供一个内部400V直流电压轨。可以看出，随着最小输入电压的降低，所需的电感器的尺寸显著增加。因此电感器的设计应以最小输入电压为基准。至于降压型，有些设计人员以最大输入电压为基准，有些以最低输入电压为基准，有些以额定输入电压为基准。实际上，倘若同我们假定的一样，选取并保持“r”为一个小值，电压的选取并不重要。在实际应用中，“r”值的确会随输入电压的增加而增加（从而造成了峰值略有升高），所以最好是针对最高输入电压设计降压稳压器的电感器。

电感器平均电流/平均有效电流

如果“r”值小，那么电感器电流的平均值和平均有效值（RMS）是相同的，“ I_L ”。电感器中的铜损为 $I_L^2 \cdot R$ ，其中的“R”是绕组电阻。与磁芯损耗相比，铜损通常要大的多（这取决于前面提到的 ΔT 值），并在很大程度上决定了电感器的温度上升。

根据表2，“r”值小的情况下，我们可以发现平均有效电流/平均电流为

$$I_L \propto \text{连续 降压}$$

$$I_L \propto \frac{1}{(1-D)} \quad | \quad \text{升 / 降-升压}$$

同时我们可以看到，对于升压型和降压-升压型，如果D值大， I_L 值也会增加。因此，为此而进行电感器的铜损或温升评估时，我们需要使用最小输入电压。对于降压型而言，即便“r”的值不会随输入电压的增加而增加，电感器电流的平均有效值也是比较高的。因此，我们应该使用最大输入电压值。

I_L → 对于降压型，最高输入电压时的恒定/最大值

I_L → 对于升压型/降压-升压型，最低输入电压时的最大值

峰值开关电流

这个参数之所以非常重要，是因为每个控制器都有一个开关电流限制。如果计算得到的峰值超过了开关电流可能的最低极限值，那么在输入电压范围内任何工作点，电源都无法传送所需输出功率。对于降压型，峰值电流比负载电流稍高一点。所以，以美国国家半导体LM2593HV降压稳压器集成电路为例，它的设计负载是“2A”，而最小开关电流极限设定值为2.3A。如从图2以及数据表看到的，这个降压型集成电路是作为一个“正-负”稳压器来运行的，实际上是一个标准的降压-升压拓扑结构。在这种模式下，峰值电流要高得多，这可以从表2看出。事实上这不仅仅取决于负载，而且也取决于占空比/输入电压。我们现在要做的是看看对于所有的拓扑结构峰值电流是如何随着输入电压的变化而变化的。

根据表2，“r”值小的情况下，我们可以得到峰值电流为

$$I_{PEAK} \propto \left[1 + \frac{r}{2} \right] \propto \left[2 + (1-D) \right] = (3-D) \quad \text{降压}$$

$$I_{PEAK} \propto \frac{\left[1 + \frac{r}{2} \right]}{1-D} \propto \frac{\left[2 + (D \cdot (1-D)^2) \right]}{1-D} \quad \text{升压}$$

$$I_{PEAK} \propto \frac{\left[1 + \frac{r}{2} \right]}{1-D} \propto \frac{\left[2 + (1-D)^2 \right]}{1-D} \quad \text{降-升压}$$

由方程绘出曲线如图1所示。我们看到，对于降压-升压型来讲，开关电流峰值在占空比达到最大值时出现（最小输入电压），而对于降压型来讲，这种情况发生在占空比达到最低时（最高输入电压）。因此，对于升压型和降压-升压型而言，必须在最小输入电压下测试电流极限值，但对于降压而言，我们必须在最高输入电压下测试电流极限值。我们的结论是

I_{PEAK} → 对于降压型，最高输入电压时的最大值，

I_{PEAK} → 对于升压型/降压-升压型，最低输入电压时的最大值
因此，设计人员可以使用表2计算的峰值电流，但对于升压型和降压-升压型，必须以最低输入电压为基准，以确保它小于电流极限值。对于降压型，必须在最高输入电压时计算峰值电流并与电流极限值进行比较。

范例

使用LM2593HV（5V固定输出版本）在4.5V至20V的输入电压范围内产生一个-5V输出电压。这是一个150kHz的降压稳压器集成电路，其开关电流极限值为2.3A（最小值）。在这个正-负的配置中，它可以提供的最大负荷是多少。（假设 $V_D = 0.5V$ ， $V_{SW} = 1.5V$ ）。

电感器设计必须以最小输入为基准。即，按照表1所给指南，对于降压-升压拓扑结构为4.5V。我们将“r”值固定为0.3，因为这始终代表电感器的最佳尺寸。降压-升压型开关中最坏情况下的峰值电流在表1中的对应曲线为#5曲线。观察图1中这个曲线，发现在高占空比（低输入电压）情况下它达到了最大值。因此，我们可以在最小输入电压条件下进行峰值开关电流的计算。在此电压下我们亦可进行电感器的设计。

占空比根据表2计算

$$D = \frac{V_0 + V_D}{V_{IN} + V_0 - V_{SW} + V_D} = \frac{5 + 0.5}{4.5 + 5 - 1.5 + 0.5}$$

$$D = 0.65$$

在该开关中的峰值电流为

$$I_{PEAK} = \frac{I_0}{1 - D} \cdot \left[1 + \frac{r}{2} \right]$$

因此，设定 $I_{PEAK} = 2.3A$ ，我们可以解得 I_0

$$I_0 = \frac{I_{PEAK} \cdot (1 - D)}{\left(1 + \frac{r}{2} \right)} = \frac{2.3 \cdot (1 - 0.65)}{\left(1 + \frac{0.3}{2} \right)}$$

$$I_0 = 0.7A$$

所以，我们可以确保在该结构中最大负载电流为0.7A。所需的L可以依据表2估算

$$L = \frac{V_0 + V_D}{I_0 \cdot r \cdot f} \cdot (1 - D)^2 \cdot 10^6 \mu H$$

$$L = \frac{5 + 0.5}{0.7 \cdot 0.3 \cdot 150000} \cdot (1 - 0.65)^2 \cdot 10^6 \mu H$$

$$L = 21.4\mu H$$

这是该应用中所需的最小电感值。如果高于此电感，计算出的峰值电流可能超过器件的电流极限值，导致电流反送。通过查阅表2，采用表1中的指南，计算其他参数和额定值。

如果要估测电感器中的磁芯损耗，需要注意的是它在最高输入电压情况下（而非最小输入电压）会达到一个最大值。这取决于交流摆 ΔI 值。所以，我们首先需要在最低输入电压下设定 $r=0.3$ ，然后计算所需的电感值，最后使用 ΔI 方程式在最高输入电压情况下计算出 ΔI 的值。“L”形成了一个从一个电压端到另一个电压端所需的“电桥”。一旦我们将其值固定，它就会保持不变，而其他任何数值都是可以改变的。

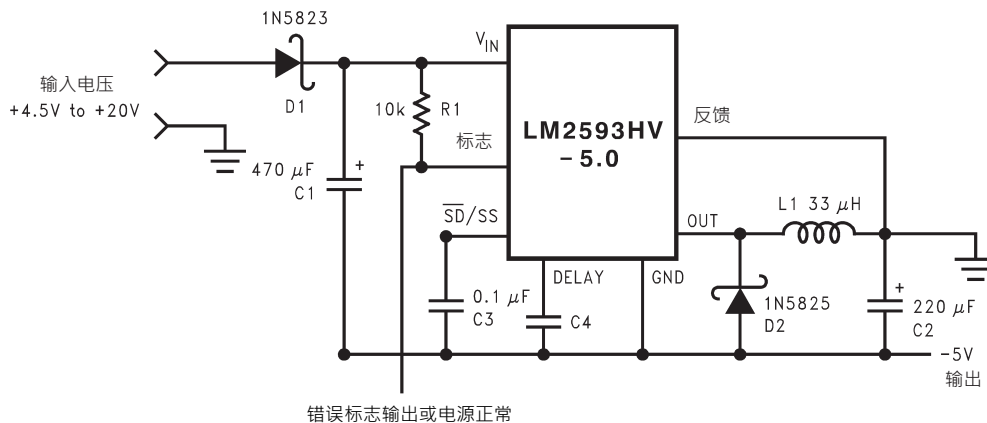


图2.在降压-升压型应用中的降压稳压器集成电路

范例 (续)

表2.设计表: $r = \Delta I / I_{DC}$, Et 以 $V\mu\text{secs}$ 为单位, L 以 μH 为单位, f 以 Hz 为单位。所有电流和电压均为幅值

参数	降压型	升压型	降压-升压型
占空比	$\frac{V_O + V_D}{V_{IN} - V_{SW} + V_D}$	$\frac{V_O - V_{IN} + V_D}{V_O - V_{SW} + V_D}$	$\frac{V_O + V_D}{V_{IN} + V_O - V_{SW} + V_D}$
V_{IN_50} (V)	$(2 \cdot V_O) + V_{SW} + V_D \approx 2 \cdot V_O$	$\frac{1}{2} \cdot [V_O + V_{SW} + V_D] \approx \frac{V_O}{2}$	$V_O + V_{SW} + V_D \approx V_O$
输出电压,	$\frac{V_{IN} \cdot D - V_{SW} \cdot D - V_D \cdot (1 - D)}{1 - D}$	$\frac{V_{IN} - V_{SW} \cdot D - V_D \cdot (1 - D)}{1 - D}$	$\frac{V_{IN} \cdot D - V_{SW} \cdot D - V_D \cdot (1 - D)}{1 - D}$
Et ($V\mu\text{sec}$)	$\frac{V_O + V_D}{f} \cdot (1 - D) \cdot 10^6$	$\frac{V_O - V_{SW} + V_D}{f} \cdot D \cdot (1 - D) \cdot 10^6$	$\frac{V_O + V_D}{f} \cdot (1 - D) \cdot 10^6$
L (μH)	$\frac{V_O + V_D}{I_O \cdot r \cdot f} \cdot (1 - D) \cdot 10^6$	$\frac{V_O - V_{SW} + V_D}{I_O \cdot r \cdot f} \cdot D \cdot (1 - D)^2 \cdot 10^6$	$\frac{V_O + V_D}{I_O \cdot r \cdot f} \cdot (1 - D)^2 \cdot 10^6$
"r"	$\frac{V_O + V_D}{I_O \cdot L \cdot f} \cdot (1 - D) \cdot 10^6$	$\frac{V_O - V_{SW} + V_D}{I_O \cdot L \cdot f} \cdot D \cdot (1 - D)^2 \cdot 10^6$	$\frac{V_O + V_D}{I_O \cdot L \cdot f} \cdot (1 - D)^2 \cdot 10^6$
ΔI (A)	$\frac{V_O + V_D}{L \cdot f} \cdot (1 - D) \cdot 10^6$	$\frac{V_O - V_{SW} + V_D}{L \cdot f} \cdot D \cdot (1 - D) \cdot 10^6$	$\frac{V_O + V_D}{L \cdot f} \cdot (1 - D) \cdot 10^6$
输入电容的平均有效电流(A)	$I_O \cdot \sqrt{D \cdot \left[1 - D + \frac{r^2}{12}\right]}$	$\frac{I_O}{1 - D} \cdot \frac{r}{\sqrt{12}}$	$\frac{I_O}{1 - D} \cdot \sqrt{D \cdot \left[1 - D + \frac{r^2}{12}\right]}$
输入电容的 I_{PP} (A)	$I_O \cdot \left[1 + \frac{r}{2}\right]$	$\frac{I_O \cdot r}{1 - D}$	$\frac{I_O}{1 - D} \cdot \left[1 + \frac{r}{2}\right]$
输出电容的平均有效 S 电流(A)	$I_O \cdot \frac{r}{\sqrt{12}}$	$I_O \cdot \sqrt{\frac{D + \frac{r^2}{12}}{1 - D}}$	$I_O \cdot \sqrt{\frac{D + \frac{r^2}{12}}{1 - D}}$
输出电容的 I_{PP} (A)	$I_O \cdot r$	$\frac{I_O}{1 - D} \cdot \left[1 + \frac{r}{2}\right]$	$\frac{I_O}{1 - D} \cdot \left[1 + \frac{r}{2}\right]$
能量处理能力 (μJoules)	$\frac{I_O \cdot Et}{8} \cdot \left[r \cdot \left(\frac{2}{r} + 1\right)^2\right]$	$\frac{I_O \cdot Et}{8 \cdot (1 - D)} \cdot \left[r \cdot \left(\frac{2}{r} + 1\right)^2\right]$	$\frac{I_O \cdot Et}{8 \cdot (1 - D)} \cdot \left[r \cdot \left(\frac{2}{r} + 1\right)^2\right]$
电感器(A)平均有效(RMS)电流	$I_O \cdot \sqrt{1 + \frac{r^2}{12}}$	$\frac{I_O}{1 - D} \cdot \sqrt{1 + \frac{r^2}{12}}$	$\frac{I_O}{1 - D} \cdot \sqrt{1 + \frac{r^2}{12}}$
电感器(A)平均电流	I_O	$\frac{I_O}{1 - D}$	$\frac{I_O}{1 - D}$
开关(A)平均有效(RMS)电流	$I_O \cdot \sqrt{D \cdot \left[1 + \frac{r^2}{12}\right]}$	$\frac{I_O}{1 - D} \cdot \sqrt{D \cdot \left[1 + \frac{r^2}{12}\right]}$	$\frac{I_O}{1 - D} \cdot \sqrt{D \cdot \left[1 + \frac{r^2}{12}\right]}$
峰值电流开关/二极管 / 电感器(A)	$I_O \cdot \left[1 + \frac{r}{2}\right]$	$\frac{I_O}{1 - D} \cdot \left[1 + \frac{r}{2}\right]$	$\frac{I_O}{1 - D} \cdot \left[1 + \frac{r}{2}\right]$
开关(A)平均电流	$I_O \cdot D$	$I_O \cdot \frac{D}{1 - D}$	$I_O \cdot \frac{D}{1 - D}$
二极管(A)平均电流	$I_O \cdot (1 - D)$	I_O	I_O

注释

欲了解有关美国国家半导体的产品和验证设计工具的更多信息，请访问以下站点：

www.national.com

产品		设计支持工具	
放大器	www.national.com/amplifiers	WEBENCH® 设计工具	www.national.com/webench
音频	www.national.com/audio	应用注解	www.national.com/appnotes
时钟及定时	www.national.com/timing	参考设计	www.national.com/refdesigns
数据转换器	www.national.com/adc	索取样片	www.national.com/samples
接口	www.national.com/interface	评估板	www.national.com/evalboards
LVDS	www.national.com/lvds	封装	www.national.com/packaging
电源管理	www.national.com/power	绿色公约	www.national.com/quality/green
开关稳压器	www.national.com/switchers	分销商	www.national.com/contacts
LDOs	www.national.com/lido	质量可靠性	www.national.com/quality
LED 照明	www.national.com/led	反馈及支持	www.national.com/feedback
电压参考	www.national.com/vref	简易设计步骤	www.national.com/easy
PowerWise® 解决方案	www.national.com/powerwise	解决方案	www.national.com/solutions
串行数字接口 (SDI)	www.national.com/sdi	军事 / 宇航	www.national.com/milaero
温度传感器	www.national.com/tempsensors	SolarMagic™	www.national.com/solarmagic
无线通信解决方案(PLL/VCO)	www.national.com/wireless	PowerWise® 设计大学	www.national.com/training

本文内容涉及美国国家半导体公司(NATIONAL)产品。美国国家半导体公司对本文内容的准确性与完整性不作任何表示且不承担任何法律责任。美国国家半导体公司保留随时更改上述电路和规格的权利，恕不另行公司通知。本文没有明示或暗示地以禁止反言或其他任何方式，授予过任何知识产权许可。

美国国家半导体公司按照其认为必要的程度执行产品测试及其它质量控制以支持产品质量保证。没有必要对每个产品执行政府规定范围外的所有参数测试。美国国家半导体公司没有责任提供应用帮助或者购买者产品设计。购买者对其使用美国国家半导体公司的部件的产品和应用承担责任。在使用和分销包含美国国家半导体公司的部件的任何产品之前，购买者应提供充分的设计、测试及操作安全保障。

除非有有关该产品的销售条款规定，否则美国国家半导体公司不承担任何由此引出的任何责任，也不承认任何有关该产品销售权与/或者产品使用权利的明示或暗示的授权，其中包括以特殊目的、以营利为目的的授权，或者对专利权、版权、或其他知识产权的侵害。

生命支持策略

未经美国国家半导体公司的总裁和首席律师的明确书面审批，不得将美国国家半导体公司的产品作为生命支持设备或系统中的关键部件使用。特此说明：

生命支持设备或系统指：(a)打算通过外科手术移植到体内的生命支持设备或系统；(b)支持或维持生命的设备或系统，其在依照使用说明正确使用，有理由认为其失效会造成用户严重伤害。关键部件是在生命支持设备或系统中，有理由认为其失效会造成生命支持设备或系统失效，或影响生命支持设备或系统的安全性或效力的任何部件。

National Semiconductor和National Semiconductor标志均为美国国家半导体公司的注册商标。其他品牌或产品名称均为有关公司所拥有的商标或注册商标。

美国国家半导体公司2011版权所有。

欲了解最新产品信息，请访问公司网站：www.national.com



美国国家半导体美洲区技术支持中心

电子邮件: support@nsc.com
电话: 1-800-272-9959

美国国家半导体欧洲技术支持中心

电子邮件: europa.support@nsc.com

美国国家半导体亚太区技术支持中心

电子邮件: ap.support@nsc.com

美国国家半导体日本技术支持中心

电子邮件: jpn.feedback@nsc.com

重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权在不事先通知的情况下, 随时对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改, 并有权随时中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的硬件产品的性能符合TI 标准保修的适用规范。仅在TI 保证的范围内, 且TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非政府做出了硬性规定, 否则没有必要对每种产品的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了TI 产品或服务的组合设备、机器、流程相关的TI 知识产权中授予的直接或隐含权限作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成从TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于TI 的产品手册或数据表, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。在复制信息的过程中对内容的篡改属于非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任。

在转售TI 产品或服务时, 如果存在对产品或服务参数的虚假陈述, 则会失去相关TI 产品或服务的明示或暗示授权, 且这是非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类虚假陈述不承担任何责任。

TI 产品未获得用于关键的安全应用中的授权, 例如生命支持应用(在该类应用中一旦TI 产品故障将预计造成重大的人员伤亡), 除非各方官员已经达成了专门管控此类使用的协议。购买者的购买行为即表示, 他们具备有关其应用安全以及规章衍生所需的所有专业技术和知识, 并且认可和同意, 尽管任何应用相关信息或支持仍可能由TI 提供, 但他们将独力负责满足在关键安全应用中使用其产品及TI 产品所需的所有法律、法规和安全相关要求。此外, 购买者必须全额赔偿因在此类关键安全应用中使用TI 产品而对TI 及其代表造成的损失。

TI 产品并非设计或专门用于军事/航空应用, 以及环境方面的产品, 除非TI 特别注明该产品属于“军用”或“增强型塑料”产品。只有TI 指定的军用产品才满足军用规格。购买者认可并同意, 对TI 未指定军用的产品进行军事方面的应用, 风险由购买者单独承担, 并且独力负责在此类相关使用中满足所有法律和法规要求。

TI 产品并非设计或专门用于汽车应用以及环境方面的产品, 除非TI 特别注明该产品符合ISO/TS 16949 要求。购买者认可并同意, 如果他们在汽车应用中使用任何未被指定的产品, TI 对未能满足应用所需要求不承担任何责任。

可访问以下URL 地址以获取有关其它TI 产品和应用解决方案的信息:

	产品		应用
数字音频	www.ti.com.cn/audio	通信与电信	www.ti.com.cn/telecom
放大器和线性器件	www.ti.com.cn/amplifiers	计算机及周边	www.ti.com.cn/computer
数据转换器	www.ti.com.cn/dataconverters	消费电子	www.ti.com/consumer-apps
DLP® 产品	www.dlp.com	能源	www.ti.com/energy
DSP - 数字信号处理器	www.ti.com.cn/dsp	工业应用	www.ti.com.cn/industrial
时钟和计时器	www.ti.com.cn/clockandtimers	医疗电子	www.ti.com.cn/medical
接口	www.ti.com.cn/interface	安防应用	www.ti.com.cn/security
逻辑	www.ti.com.cn/logic	汽车电子	www.ti.com.cn/automotive
电源管理	www.ti.com.cn/power	视频和影像	www.ti.com.cn/video
微控制器 (MCU)	www.ti.com.cn/microcontrollers		
RFID 系统	www.ti.com.cn/rfidsys		
OMAP 机动性处理器	www.ti.com/omap		
无线连通性	www.ti.com.cn/wirelessconnectivity		
	德州仪器在线技术支持社区		www.deyisupport.com

邮寄地址: 上海市浦东新区世纪大道 1568 号, 中建大厦 32 楼 邮政编码: 200122
Copyright © 2011 德州仪器 半导体技术 (上海) 有限公司