

深入剖析电感电流

简介

在开关电源的设计中电感的设计为工程师带来的许多的挑战。工程师不仅要选择电感值，还要考虑电感可承受的电流，绕线电阻，机械尺寸等等。本文专注于解释：电感上的DC电流效应。这也会为选择合适的电感提供必要的信息。

理解电感的功能

电感常常被理解为开关电源输出端中的LC滤波电路中的L（C是其中的输出电容）。虽然这样理解是正确的，但是为了理解电感的设计就必须更深入的了解电感的行为。

在降压转换中（Fairchild典型的开关控制器），电感的一端是连接到DC输出电压。另一端通过开关频率切换连接到输入电压或GND。

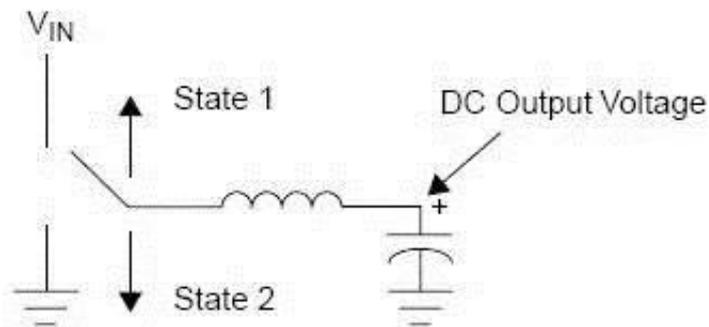


Figure 1. Basic Switching Action of a Converter

在状态1过程中，电感会通过（高边“high-side”）MOSFET连接到输入电压。在状态2过程中，电感连接到GND。由于使用了这类的控制器，可以采用两种方式实现电感接地：通过二极管接地或通过（低边“low-side”）MOSFET接地。如果是后一种方式，转换器就称为“同步（synchronous）”方式。

现在再考虑一下在这两个状态下流过电感的电流是如何变化的。在状态1过程中，电感的一端连接到输入电压，另一端连接到输出电压。对于一个降压转换器，输入电压必须比输出电压高，因此会在电感上形成正向压降。相反，在状态2过程中，原来连接到输入电压的电感一端被连接到地。对于一个降压转换器，输出电压必然为正端，因此会在电感上形成负向的压降。

我们利用电感上电压计算公式：

$$V=L(di/dt)$$

因此，当电感上的电压为正时（状态1），电感上的电流就会增加；当电感上的电压为负时（状态2），电感上的电流就会减小。通过电感的电流如图2所示：

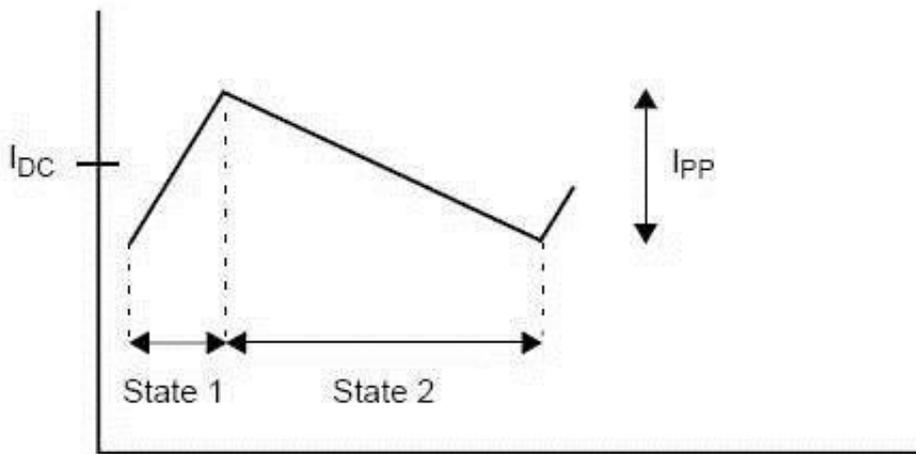


Figure 2. Inductor Current

通过上图我们可以看到，流过电感的最大电流为DC电流加开关峰峰电流的一半。上图也称为纹波电流。根据上述的公式，我们可以计算出峰值电流：

$$I_{PK} = I_{DC} + \frac{I_{PP}}{2} = I_{DC} + \frac{1}{2} \frac{(V_{in} - V_{out}) \times t_{on}}{L} =$$

$$I_{DC} + \frac{1}{2} \frac{(V_{in} - V_{out}) \times T \times DC}{L}$$

其中， t_{on} 是状态1的时间， T 是开关周期（开关频率的倒数）， DC 为状态1的占空比。

警告：上面的计算是假设各元器件（MOSFET上的导通压降，电感的导通压降或异步电路中肖特基二极管的正向压降）上的压降对比输入和输出电压是可以忽略的。

如果，器件的下降不可忽略，就要用下列公式作精确计算：

$$I_{PK} = I_{DC} + \frac{1}{2} \frac{(V_{in} - V_{out} - I \times R)(V_{out} + I \times R)}{L \times V_{in}} T$$

同步转换电路：

$$I_{PK} = I_{DC} + \frac{1}{2} \frac{(V_{in} - V_{out} - I \times R)(V_{out} + I \times R_S + V_f)}{L \times (V_{in} - I \times R_M + V_f)} T$$

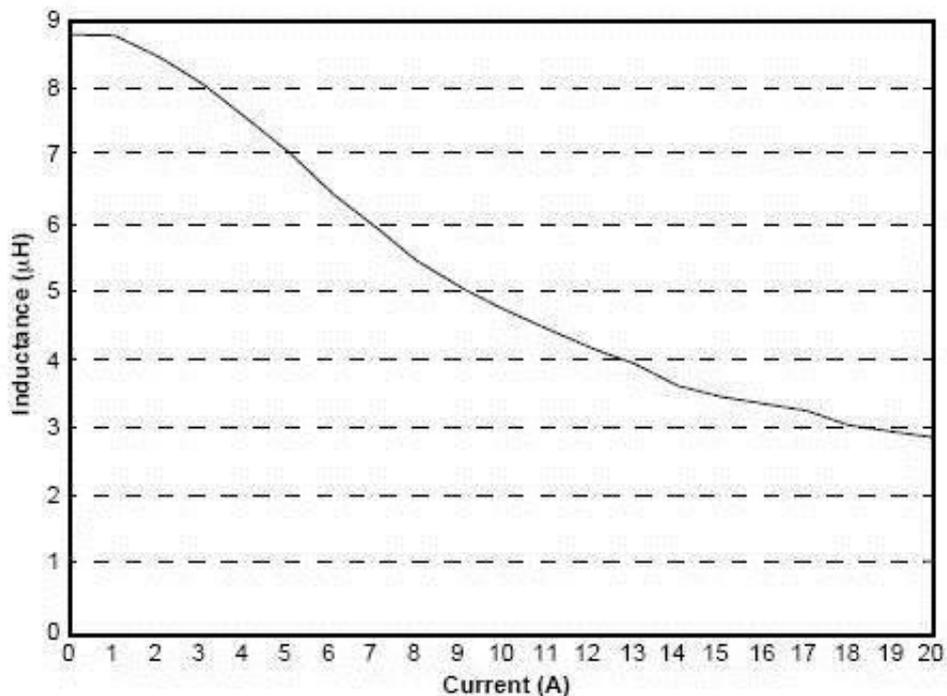
异步转换电路：

其中， R_s 为感应电阻阻抗加电感绕线电阻的阻。 V_f 是肖特基二极管的正向压降。 R 是 R_s 加MOSFET导通电阻， $R=R_s+R_m$ 。

电感磁芯的饱和度

通过已经计算的电感峰值电流，我们可以发现电感上产生了什么。很容易会知道，随着通过电感的电流增加，它的电感量会减小。这是由于磁芯材料的物理特性决定的。电感量会减少多少就很重要了：如果电感量减小很多，转换器就不会正常工作了。当通过电感的电流大到电感实效的程度，此时的电流称为“饱和电流”。这也是电感的基本参数。

实际上，转换电路中的开关功率电感总会有一个“软”饱和度。要了解这个概念可以观察实际测量的电感Vs DC电流的曲线：



当电流增加到一定程度后，电感量就不会急剧下降了，这就称为“软”饱和特性。如果电流再增加，电感就会损坏了。

注意：电感量下降在很多类的电感中都会存在。例如：toroids，gapped E-cores等。但是，rod core电感就不会有这种变化。

有了这个软饱和的特性，我们就可以知道在所有的转换器中为什么都会规定在DC输出电流下的最小电感量；而且由于纹波电流的变化也不会严重影响电感量。在所有的应用中都希望纹波电流尽量的小，因为它会影响输出电压的纹波。这也就是为什么大家总是很关心DC输出电流下的电感量，而会在Spec中忽略纹波电流下的电感量。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/144600.html>