

# 电源开关设计秘笈：如何选择正确的工作频率

## 为您的电源选择正确的工作频率

随着现在对更高效、更低成本电源解决方案需求的强调，我们创建了该专栏，就各种电源管理课题提出一些对您有帮助的小技巧。该专栏面向各级设计工程师。无论您是从事电源业务多年还是刚刚步入电源领域，您都可以在这里找到一些极其有用的信息，以帮助您迎接下一个设计挑战。

为您的电源选择最佳的工作频率是一个复杂的权衡过程，其中包括尺寸、效率以及成本。通常来说，低频率设计往往是最为高效的，但是其尺寸最大且成本也最高。虽然调高频率可以缩小尺寸并降低成本，但会增加电路损耗。接下来，我们使用一款简单的降压电源来描述这些权衡过程。

我们以滤波器组件作为开始。这些组件占据了电源体积的大部分，同时滤波器的尺寸同工作频率成反比关系。另一方面，每一次开关转换都会伴有能量损耗；工作频率越高，开关损耗就越高，同时效率也就越低。其次，较高的频率运行通常意味着可以使用较小的组件值。因此，更高频率运行能够带来极大的成本节约。

图 1 显示的是降压电源频率与体积的关系。频率为 100 kHz 时，电感占据了电源体积的大部分（深蓝色区域）。如果我们假设电感体积与其能量相关，那么其体积缩小将与频率成正比例关系。由于某种频率下电感的磁芯损耗会极大增高并限制尺寸的进一步缩小，因此在此情况下上述假设就不容乐观了。如果该设计使用陶瓷电容，那么输出电容体积（褐色区域）便会随频率缩小，即所需电容降低。另一方面，之所以通常会选用输入电容，是因为其具有纹波电流额定值。该额定值不会随频率而明显变化，因此其体积（黄色区域）往往可以保持恒定。另外，电源的半导体部分不会随频率而变化。这样，由于低频开关，无源器件会占据电源体积的大部分。当我们转到高工作频率时，半导体（即半导体体积，淡蓝色区域）开始占据较大的空间比例。

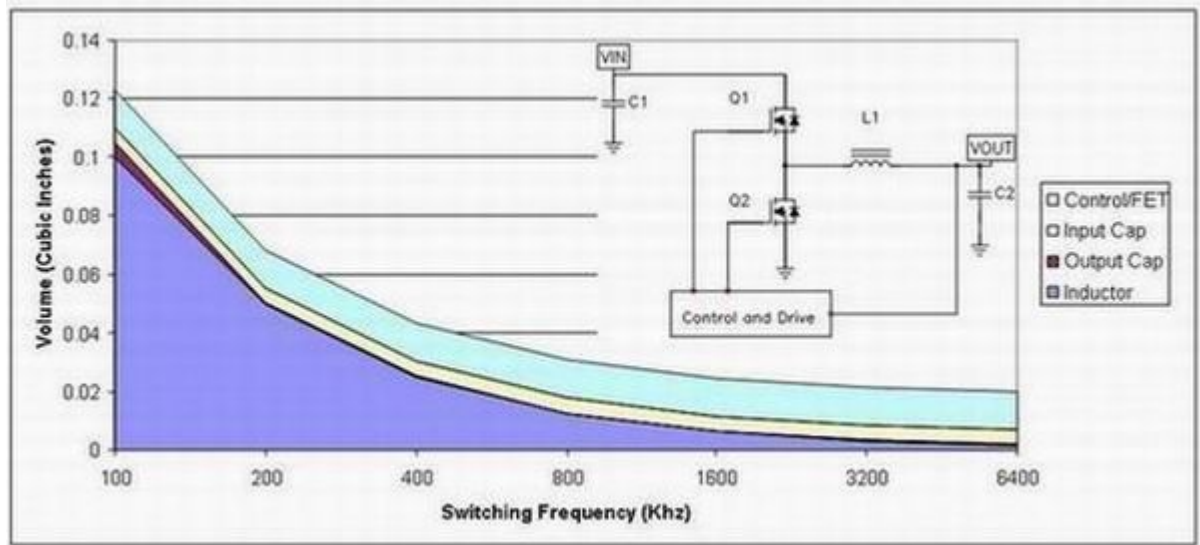


图 1：电源组件体积主要由半导体占据。

该曲线图显示半导体体积本质上并未随频率而变化，而这一关系可能过于简单化。与半导体相关的损耗主要有两类：传导损耗和开关损耗。同步降压转换器中的传导损耗与 MOSFET 的裸片面积成反比关系。MOSFET 面积越大，其电阻和传导损耗就越低。

开关损耗与 MOSFET 开关的速度以及 MOSFET 具有多少输入和输出电容有关。这些都与器件尺寸的大小相关。大体积器件具有较慢的开关速度以及更多的电容。图 2 显示了两种不同工作频率 (F) 的关系。传导损耗 ( $P_{con}$ ) 与工作频率无关，而开关损耗 ( $P_{sw F1}$  和  $P_{sw F2}$ ) 与工作频率成正比例关系。因此更高的工作频率 ( $P_{sw F2}$ ) 会产生更高的开关损耗。当开关损耗和传导损耗相等时，每种工作频率的总损耗最低。另外，随着工作频率提高，总损耗将更高。

但是，在更高的工作频率下，最佳裸片面积较小，从而带来成本节约。实际上，在低频率下，通过调整裸片面积来最小化损耗会带来极高成本的设计。但是，转到更高工作频率后，我们就可以优化裸片面积来降低损耗，从而缩小电源的半导体体积。这样做的缺点是，如果我们不改进半导体技术，那么电源效率将会降低。

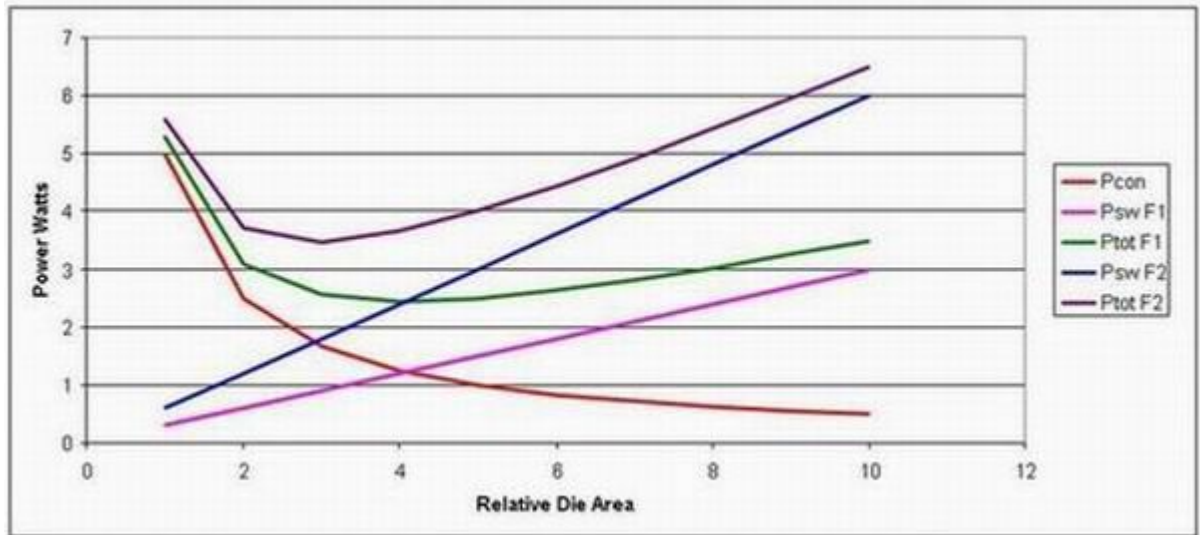


图 2：提高工作频率会导致更高的总体损耗。

如前所述，更高的工作频率可缩小电感体积；所需的内层芯板会减少。更高频率还可降低对于输出电容的要求。有了陶瓷电容，我们就可以使用更低的电容值或更少的电容。这有助于缩小半导体裸片面积，进而降低成本。

### 驾驭噪声电源

无噪声电源并非偶然设计出来的。一种好的电源布局是在设计时最大程度的缩短实验时间。花费数分钟甚至是数小时的时间来仔细查看电源布局，便可以省去数天的故障排查时间。

图 3 显示的是电源内部一些主要噪声敏感型电路的结构图。将输出电压与一个参考电压进行比较以生成一个误差信号，然后再将该信号与一个斜坡相比较，以生成一个用于驱动功率级的 PWM(脉宽调制) 信号。

电源噪声主要来自三个地方：误差放大器输入与输出、参考电压以及斜坡。对这些节点进行精心的电气设计和物理设计有助于最大程度地缩短故障诊断时间。一般而言，噪声会与这些低电平电路电容耦合。一种卓越的设计可以确保这些低电平电路的紧密布局，并远离所有开关波形。接地层也具有屏蔽作用。

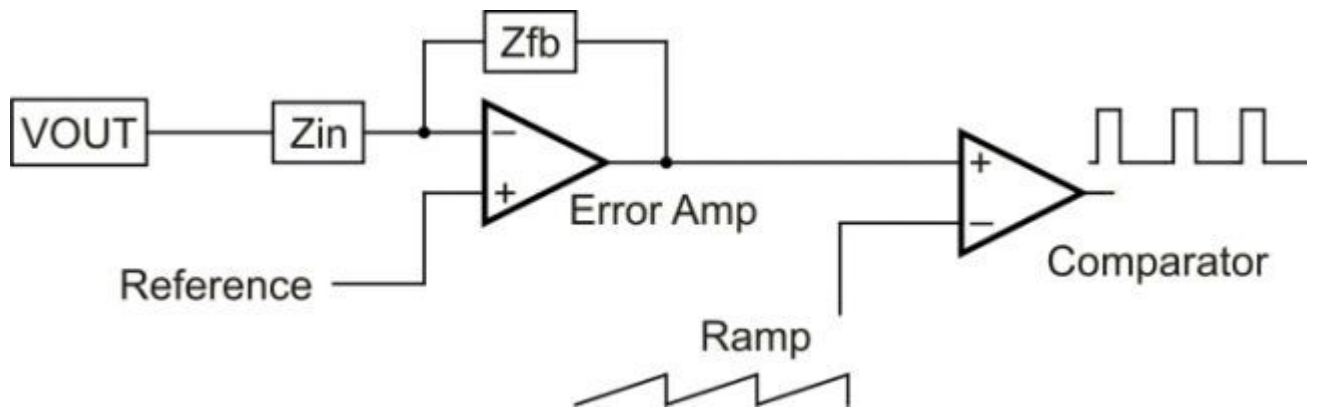


图 3 低电平控制电路的诸多噪声形成机会

误差放大器输入端可能是电源中最为敏感的节点，因为其通常具有最多的连接组件。如果将其与该级的极高增益和高阻抗相结合，后患无穷。在布局过程中，您必须最小化节点长度，并尽可能近地将反馈和输入组件靠近误差放大器放置。如果反馈网络中存在高频积分电容，那么您必须将其靠近放大器放置，其他反馈组件紧跟其后。并且，串联电阻-电容也可能形成补偿网络。最理想的结果是，将电阻靠近误差放大器输入端放置，这样，如果高频信号注入该电阻-电容节点时，那么该高频信号就不得不承受较高的电阻阻抗—而电容对高频信号的阻抗则很小。

斜坡是另一个潜在的会带来噪声问题的地方。斜坡通常由电容器充电(电压模式)生成，或由来自于电源开关电流的采样(电流模式)生成。通常，电压模式斜坡并不是一个问题，因为电容对高频注入信号的阻抗很小。而电流斜坡却较为棘手，因为存在了上升边沿峰值、相对较小的斜坡振幅以及功率级寄生效应。

图 4 显示了电流斜坡存在的一些问题。第一幅图显示了上升边沿峰值和随后产生的电流斜坡。比较器(根据其不同速度)具有两个电压结点 (potential trip points)，结果是无序控制运行，听起来更像是煎熏肉的声音。

利用控制 IC 中的上升边沿消隐可以很好地解决这一问题，其忽略了电流波形的最初部分。波形的高频滤波也有助于解决该问题。同样也要将电容器尽可能近地靠近控制 IC 放置。正如这两种波形表现出来的那样，另一种常见的问题是次谐波振荡。这种宽-窄驱动波形表现为非充分斜率补偿。向当前斜坡增加更多的电压斜坡便可以解决该问题。

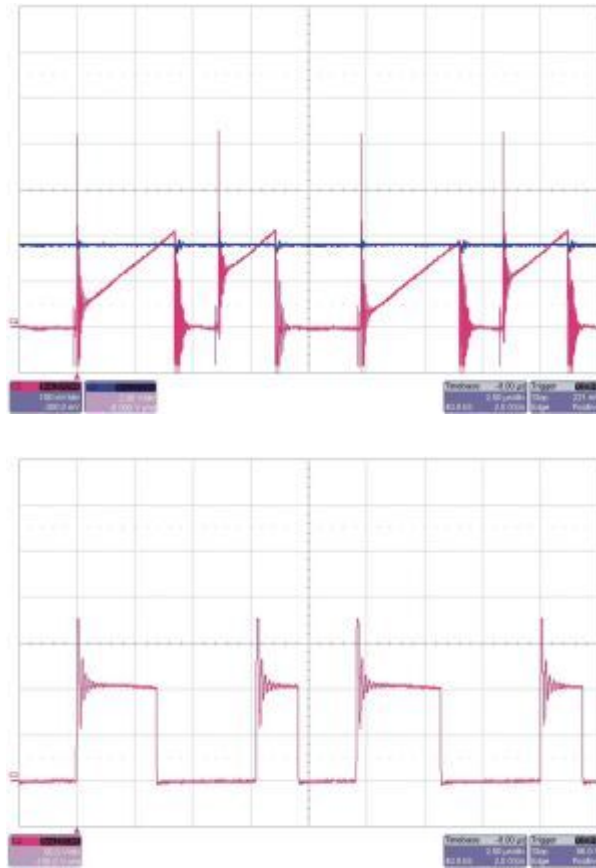


图 4 两种常见的电流模式噪声问题

尽管您已经相当仔细地设计了电源布局，但是您的原型电源还是存在噪声。这该怎么办呢？首先，您要确定消除不稳定因素的环路响应不存在问题。有趣的是，噪声问题可能会看起来像是电源交叉频率上的不稳定。但真正的情况是该环路正以其最快响应速度纠出注入误差。同样，最佳方法是识别出噪声正被注入下列三个地方之一：误差放大器、参考电压或斜坡。您只需分步解决便可！

第一步是检查节点，看斜坡中是否存在明显的非线性，或者误差放大器输出中是否存在高频率变化。如果检查后没有发现任何问题，那么就将误差放大器从电路中取出，并用一个清洁的电压源加以代替。这样您应该就能够改变该电压源的输出，以平稳地改变电源输出。如果这样做奏效的话，那么您就已经将问题范围缩小至参考电压和误差放大器了。

有时，控制 IC 中的参考电压易受开关波形的影响。利用添加更多(或适当)的旁路可能会使这种状况得到改善。另外，使用栅极驱动电阻来减缓开关波形也可能会有助于解决这一问题。如果问题出在误差放大器上，那么降低补偿组件阻抗会有所帮助，因为这样降低了注入信号的振幅。如果所有这些方法都不奏效，那么就从印刷电路板将误差放大器节点去除。对补偿组件进行架空布线(air wiring)可以帮助我们识别出哪里有问题。