

降压稳压器中展频实现方法的优缺点

作者 Sam Jaffe

应用工程师, 30V 以上降压转换器/控制器/模块

引言

在功率转换器和其他器件中, 展频功能将窄带信号转换为宽带信号, 同时维持器件功能不变。通过将谐波峰值转换为平滑的响应以及谐波能量的相互混合, 可减少器件及相关系统的电磁干扰 (EMI) 结果, 从而改善运行状况。

展频可将峰值和平均 EMI 扫描的峰值包络降低多达 10dB μ V, 这使得设计人员能够选择尺寸更小、成本更低的输入 EMI 滤波器。本文介绍芯片设计人员在降压转换器中实现展频时所采用的流程, 以及如何将这一方法扩展到其他系统。此外还将介绍常见的现代展频实现方法及其优缺点。

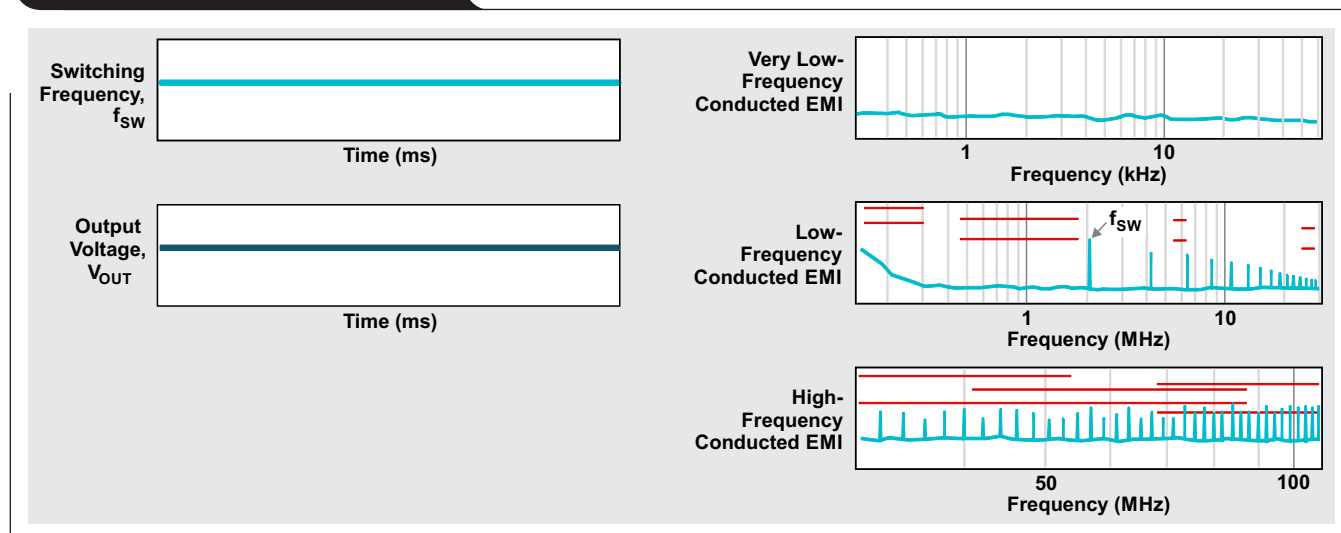
第一个问题是, 降压转换器中的 EMI 来自哪里? 降压转换器的开关节点在连接到输入电压 (V_{IN}) 与连接到接地端 (GND) 之间进行高频切换时, 降压转换器将转换功率。占空比将开关节点上的平均电压设置为等于所选的输出电压。此开关节点通过一个提供直流输出的低通电感器-电容器滤波器进行馈电。大多数降压转换器以固定

频率 (f_{SW}) 进行开关, 因此会在该频率及其谐波 ($n \times f_{SW}$) 上产生 EMI。来自基频及其谐波的特征峰值有可能超出这些频率下允许的最大 EMI 辐射。

在图 1 中, 随时间推移, 开关频率 ($f_{SW} = 2.1\text{MHz}$) 保持恒定。输出纹波是平坦的; 超低频的 EMI 扫描显示的是本底噪声, 低频的 EMI 扫描显示的是尖峰峰值基频和伴随谐波, 而高频的 EMI 扫描显示的则是高次谐波。图 1 中的红线表示典型 EMI 测试的限制线。

在展频降压转换器中, f_{SW} 发生抖动, 因此, 器件在一定频率范围内进行开关。例如, 如果器件在抖动 $\pm 5\%$ 的情况下以 1MHz 的频率进行开关, 基频发射将在 0.95MHz 和 1.05MHz 之间或者在中心频率上下 50kHz 范围内传播能量。二次谐波在 1.90MHz 和 2.10MHz 之间或者中心频率上下 100kHz 范围内传播。对于本例, 在第 10 次或更高次谐波处, 展频开始相互融合, 并且波峰已变成平坦的均能波形, 该波形通常比没有展频的陡峭波峰顶部低 10dB μ V。

图 1. 无展频的固定频率性能



以下描述内容涵盖了两种常见的展频实现方法,然后介绍了另外两种改进的方法。

1. 三角调制法

三角调制法以三角形将 f_{SW} 上调和下调。典型展频是 $\pm 4\%$ 到 $\pm 10\%$ (Δf_{SW}), 调制频率为 4kHz 到 15kHz (f_m)。请参阅图 2。

优点

该方法简单易懂, 便于实现。连续的上升和下降可确保没有相同频率的连续开关周期(这种周期将在该频率及其相关谐波上引起尖峰)。三角调制也十分有利于将能量均匀分散到中心频率之外, 从而产生一个几乎平坦的能量带, 仅在该能量带的末端有一些波峰(波峰未在图 2 中展示)。展频功能能够扩展基频以及高次谐波。

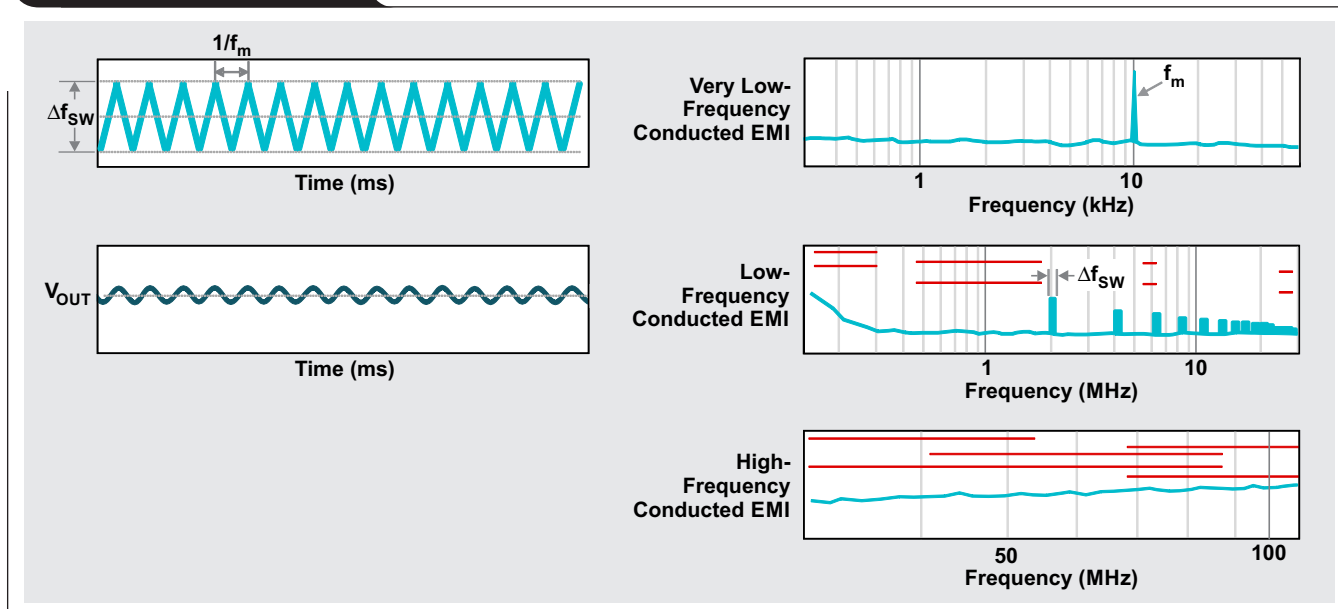
扩展基频将减小其幅度, 从而使设计人员能够选择成本更低的输入 EMI 滤波器。在输入 LC 滤波器中, 较低的基频只需较小的电感和电容, 即可保持在 EMI 测试限制线以下。使用三角调制可确保对基频的这种展频具有合理的平坦度且均匀分布。其他方法会加大中心频率或最终频率的权重, 因而导致基频和早期谐波的衰减减少。

缺点

为了避免拍频的过度重叠, 三角调制频率 (f_m) 必须足够慢, 才能确保每个上升和下降具有多个开关周期。但是, 高频 EMI 扫描花费很少的时间来测量每个数据点的 EMI。缓慢的上升或下降可能会使得 EMI 扫描仪测量该上升/下降的一小部分, 此情况下会显示为展频较少的发射, 从而明显降低 Δf_{SW} 。对于分立式三角调制, 缓慢升降是一个更大问题; 在此情况下, 上升和下降实际上是阶梯形式, 每一步都会开关多次。

另一个缺点是输出电压和输入电压会在三角调制频率下形成纹波。这是由两个因素造成的。第一个因素来自电感器电流纹波的幅度调制。较低开关频率会产生较大电感器电流纹波, 反之亦然, 因此会在三角调制频率 f_m 下在输入端产生电压纹波。第二个因素是该调幅电感器电流与控制方案(通常是峰值或谷值电流模式控制)之间的相互作用。电感器电流幅度的变化将使电感器平均电流上下移动, 从而在输出电压和输入电压上引起电压纹波。此频率也是 f_m 并且通常处于可闻范围内, 如果超低频率噪声与任何发声电路(例如音频放大器, 甚至是安装不良的印刷电路板上的陶瓷电容器)相互作用, 就会产生可听见的声音。

图 2. 三角调制展频性能



2. 假随机调制法

假随机调制法以假随机方式(通过编程生成,但本质为随机)上调和下调 f_{SW} 。一些实现方式会限制最大步长,以防止频率跳得过远并在正常运行中造成过多干扰。典型的展频范围是 $\pm 3\%$ 至 $\pm 6\%$,并且频率通常在每个开关周期都会变化。在图 3 中,请注意,开关频率在每个开关周期都会变化,因此波形的时间标度以微秒为单位(不同于其他方案中以毫秒为单位)。

优点

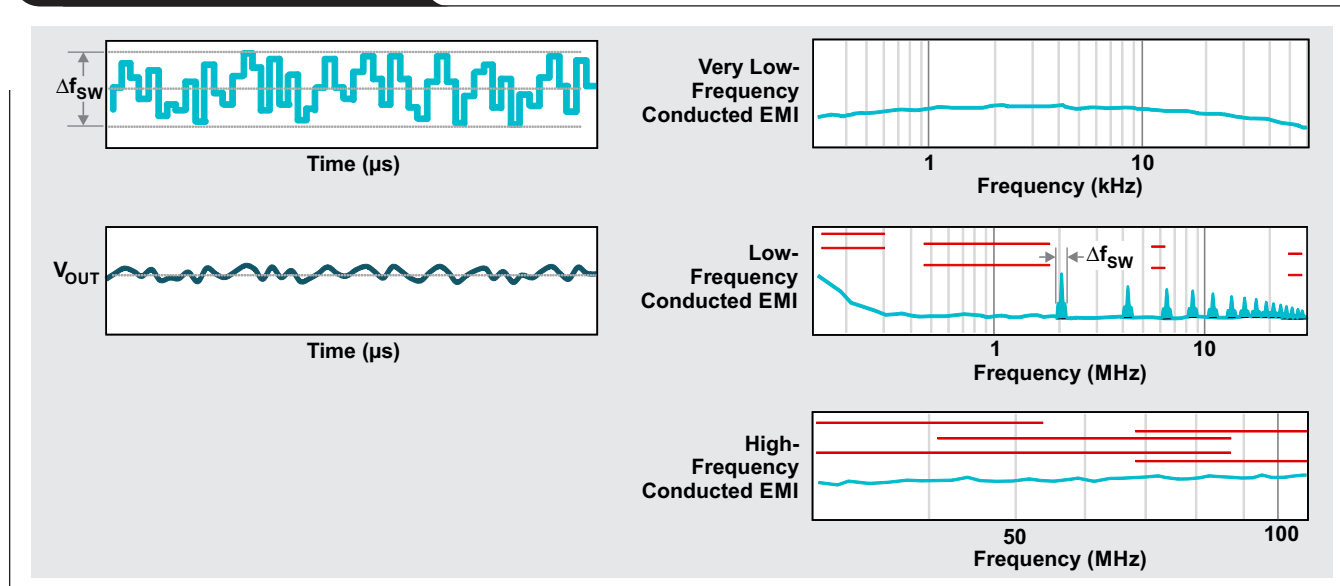
请注意 f_{SW} 可在短时间内发生大范围变化,这有助于避免发生 EMI 扫描仪扫描一小部分展频的问题。这种大范围跳跃会产生出色的高频性能。超低频率的 EMI 是随机分布的,这说明如果输出和输入上的 EMI 耦合到发声电

路中,则不会产生音调。EMI 仍然存在,但已展频,与三角调制法产生的单音相比,此方法产生的白噪声声音更多。

缺点

根据频率分布和实现方式,基频(和早期谐波)能量分布不佳。与使用三角调制法相比,这种分散的能量会导致这些频率下的发射频率更剧烈且更高,并且无法显著减小输入 EMI 滤波器的尺寸并降低成本。另一个缺点是假随机码型的数字性质可能会导致代码重复。如果随机发生器最终在多个周期内以相同频率进行开关,该时间内的展频看起来似乎处于关闭状态。确保实现过程中没有重复代码、使用大量不同的步骤或实现真正随机的模拟步骤,以免形成展频已关闭的感觉。

图 3. 假随机调制展频性能



3.展频与展频相加

三角和假随机方法能够消除固有的开关峰值,但是存在非理想情况;前面讨论过的调制会使某些峰值穿过或导致其他噪声和峰值。展频与展频相加将有助于减少或消除这些有害的峰值和噪声。首先从三角调制法开始,但是将调制增加到三角调制。此种增加做法会导致三角频率(f_m) 随时间变化,从而将可闻噪声尖峰从音调展频到噪声。在该波形顶部添加了一些假随机调制(如图 4 所示)。

优点

低频可闻噪声将从音调扩展至来自调制三角和假随机调制的噪声。基频和早期谐波通过三角调制法均匀展频,可减小输入 EMI 滤波器的尺寸和成本。高频谐波会因附加的假随机调制而实现展频。

缺点

此方法更复杂且更难实现。即使将低频噪声进行展频,它仍然存在并且会在发声电路中引起噪声(例如白噪声)。

图 4.展频与展频相加性能

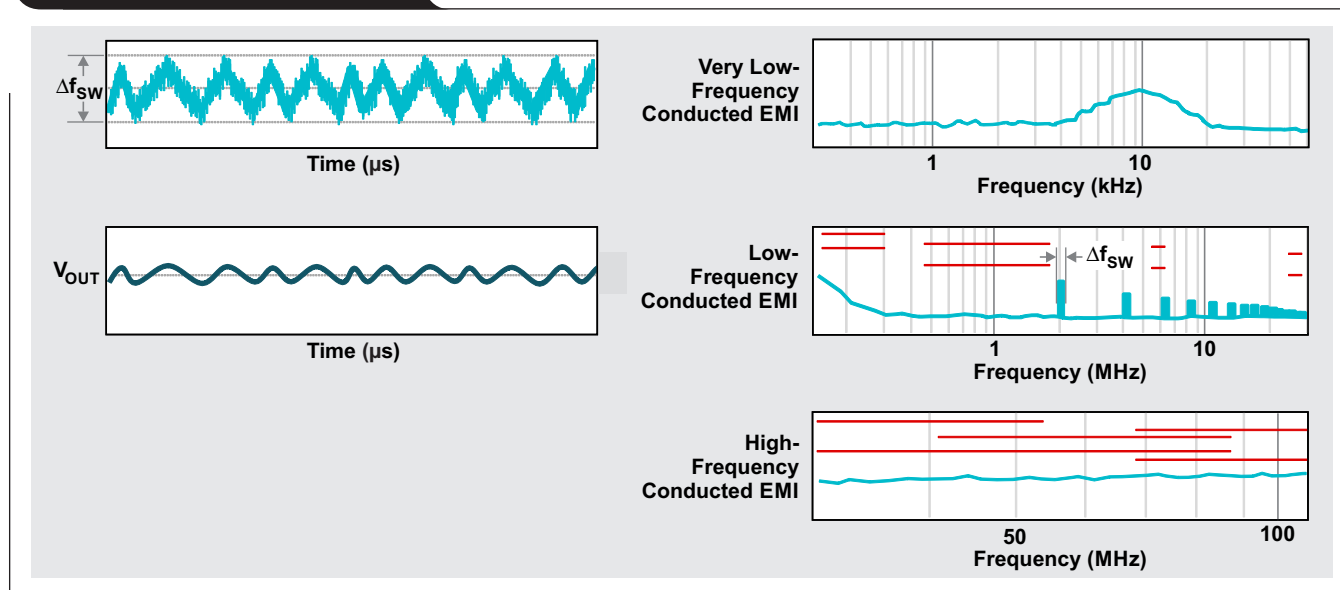
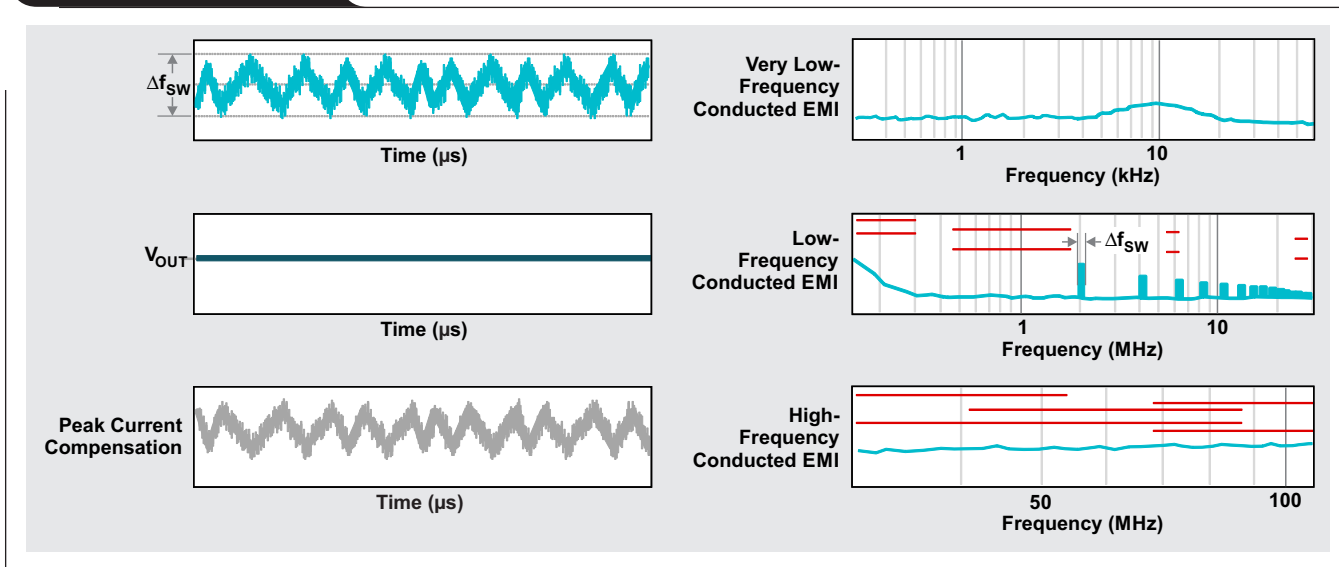


图 5. 双随机展频性能



4. 双随机展频

双随机展频同展频与展频相加完全相同，但有一个附加功能：低频纹波消除功能。此方法在展频调制器与峰值或谷值电流控制电路之间增加某种通信，从而抢先调整峰值或谷值电流命令值，以便消除与展频相关的噪声（如图 5 所示）。

优点

此方法消除了超低频输出电压纹波以及相关的输入电压纹波。此方法从输出端消除可闻噪声，并在输入端使此类噪声大大降低。

缺点

根据器件的不同，会需要一个电阻器以根据运行条件调整消除效果。

结论

展频是一项出色的功能，能够大大改善 EMI 结果，而对其他系统的运行几乎没有影响。本文介绍的四种方法各有利弊，但是随着设计人员对展频优化的深入了解，技术也在不断改进。凭借这些知识，就可按照特定的设计要求找到特定的方法，从而充分利用此展频功能所带来的各种优势。

相关网站

产品信息：

TPS43351-Q1

参考设计：

具备展频频谱的宽输入同步降压转换器参考设计 (PMP21107)

TI 全球技术支持

TI 支持

感谢您的订购。如有疑问或需联系我们的支持中心, 请访问

www.ti.com.cn/support

中国: <http://www.ti.com.cn/guidedsupport/cn/docs/supporthome.tsp>

日本: <http://www.tij.co.jp/guidedsupport/jp/docs/supporthome.tsp>

技术支持论坛

在 TI 的 E2E™ 社区 (工程师对工程师) 中搜索数百万个技术问题和答案, 请访问

e2e.ti.com

中国: <http://www.deyisupport.com/>

日本: <http://e2e.ti.com/group/jp/>

TI 培训

从技术基础到高级实施, 我们提供点播和直播培训以帮助您实现下一代设计。即刻体验, 请访问

training.ti.com

中国: <http://www.ti.com.cn/general/cn/docs/gencontent.tsp?contentId=71968>

日本: <https://training.ti.com/jp>

重要声明: 本文所提及德州仪器 (TI) 及其子公司的产品和服务均依照 TI 标准销售条款和条件进行销售。建议客户在订购之前获取有关 TI 产品和服务的最新和完整信息。TI 对应用帮助、客户应用或产品设计、软件性能或侵犯专利不承担任何责任。有关任何其他公司产品或服务的发布信息均不构成 TI 因此对其的批准、担保或认可。

A011617

E2E 是德州仪器 (TI) 的商标。所有其他商标均属于其各自所有者。

© 德州仪器 (TI) 公司 2021 年版权所有。
版权所有。



ZHCT346

重要声明和免责声明

TI 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、某特定用途方面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 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 TI 的销售条款 (<https://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 或 [ti.com.cn](https://www.ti.com.cn) 上其他适用条款/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。

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 © 2021 德州仪器半导体技术（上海）有限公司