

## 升压转换器开关节点的振铃最小化

Jeff Falin

PMP-便携式电源应用

### 摘要

本应用报告阐述了如何使用合理的板载布局及/或缓冲电路(snubber)来减少升压转换器转换节点上的高频振铃。

### 1 问题的描述

图一 的电路图展示了由寄生电感及电容所构成的升压转换器的关键环路，电感及电容分别以 LPAR 和 CPAR 标签进行参考标注。两个开关与开关转换器的电感交汇的节点被称为开关节点。寄生电感和电容通常会产生互感，并导致开关节点上的电压在 200 MHz+ 的范围内振荡。如果该振铃的振幅大于低侧开关额定电压的最大绝对值，将会损坏开关。此外，振铃所产生的传导辐射和/或的电磁干扰 (EMI) 也会引发邻近的 IC 的问题。

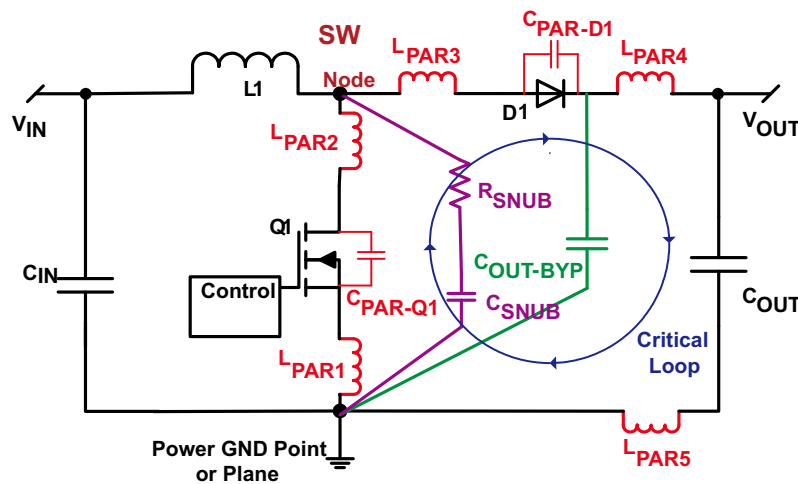


图1. 升压转换器示意图

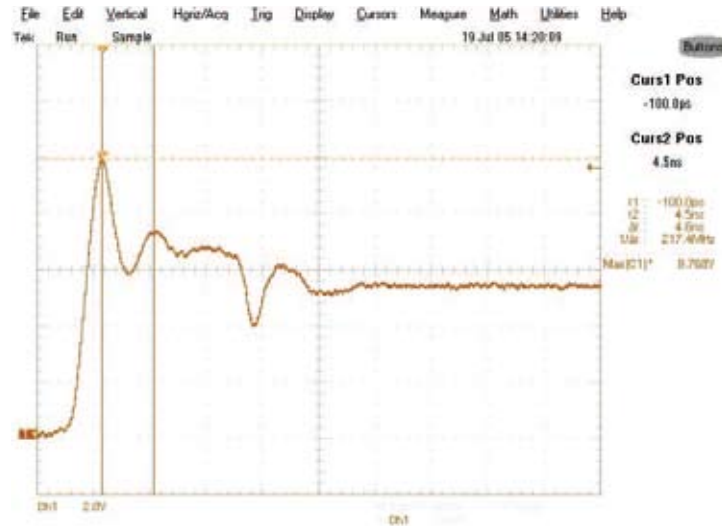


图2. 升压转换器开关节点上的振铃曲线

图 2 展示了升压转换器开关节点上的实测曲线，时间刻度 (time scale) 为 5 ns/div。测量所使用的示波器及示波器探针具有至少 500 MHz 的带宽，近似为所估算的 200 MHz 振铃频率的 2 倍。示波器探针的接地环路做了最小化，以避免感应拾取 (inductive pick-up) 造成测量结果的失真。由于  $V_{IN} = 3.3\text{ V}$  且  $V_{OUT} = 5\text{ V}$ ，因此转换节点的峰值电压不应大于  $V_{OUT} + V_{DIODE} \approx 5.7\text{ V}$ ，但是开关节点上振铃的峰值幅度为 9.8 V，有可能损坏低侧开关。

在设计方面，电源设计人员具有多种方法来实现振铃的最小化。如果采用控制器，设计人员应同时选用具有最小寄生电容的 FET 及二极管，并通过板载布线，最大程度的减小两个开关与电感之间的距离，从而使  $L_{PAR2}$  和  $L_{PAR3}$  最小化。此外，设计人员还可以通过减小 FET 电源引脚与电源接地点或接地层之间的距离来实现  $L_{PAR1}$  的最小化。通过将大输出电容尽可能地靠近二极管的阴极和接地电源放置，还将使得  $L_{PAR4}$  及  $L_{PAR5}$  最小化。介于输出值 (0.01 mF – 2.2 mF) 和接地电源之间的高频旁路电容 ( $C_{OUT-BYP}$ ) 来最小化振铃。在输出与电源地之间连接 0.01 mF – 2.2 mF 的高频旁通电容 [ $C_{OUT-BYP}$ ] 也是推荐的方法。

由于电路板的尺寸限制或是由于集成 FET 电源 IC 所具有的内部  $C_{PAR\#}$ 、 $L_{PAR1}$ 、 $L_{PAR2}$  及  $L_{PAR3}$ ，改进板载布线的方法不一定可行，因此需要一个缓冲电路 (snubber)——由  $R_{SNUB}$  及  $C_{SNUB}$  组成，从开关节点至电源地。该缓冲电路是一个能量吸收电路，用于消除开关闭合时电路寄生电感所引起的电压毛刺。当开关闭合时，缓冲电路为流经电路寄生电感的电流提供一条替代的接地通路，从而抑制了电压瞬变并降低了寄生电容上的后继起振铃。

该应用报告的其余部分逐步讲述了在无明显减少开关关断的上升时间或降低整体效率的情况下，如何确定缓冲电路元件的大小以抑制振铃。

在确定了由寄生电感 [ $L_{\Sigma PAR\#}$ ] 及寄生电容 [ $C_{\Sigma PAR\#}$ ] 所引起的振铃频率 ( $f_{INIT} = 217\text{ MHz}$ ) 之后 (如图 2 的实测波形所示)，在开关节点与接地之间连接适当的电容 [ $C_{ADD}$ ]，可降低振铃频率至  $1/2$ 。如图 3 所示，在添加了 300 pF 电容后，振铃频率为 113 MHz。

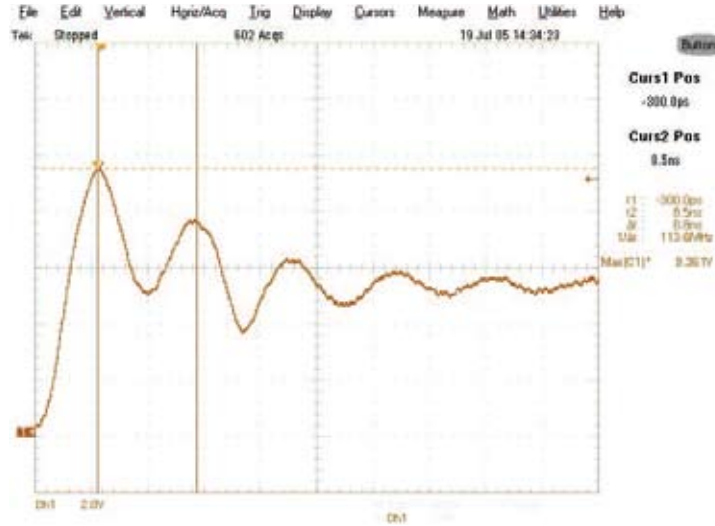


图3. 添加 300 pF 电容并连接至接地后，升压转换器的开关节点的振铃曲线

LC 电路的谐振频率与 LC 乘积的平方根成反比，而现在的电路总电容  $[C_{\Sigma PAR\#} + C_{ADD}]$  是其初始值 [或  $C_{\Sigma PAR\#} = C_{ADD}/3$ ] 的 4 倍。这是用于  $C_{SNUB}$  的最小电容值。引起振铃的总寄生电感可按下式计算：

$$f_{INIT} = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_{\Sigma PAR\#} C_{\Sigma PAR\#}}} \quad (1)$$

整理后，得出

$$L_{\Sigma PAR\#} = \frac{1}{\frac{C_{ADD}}{3} \times (2\pi f_{INIT})^2} \quad (2)$$

在此例中， $L_{\Sigma PAR\#}$  为 5.4nH。最终，缓冲器电阻的最优化值为原始寄生电容  $[C_{\Sigma PAR\#} = C_{ADD}/3 = 100 \text{ pF}]$  与杂散电感  $[L_{\Sigma PAR\#} = 5.4 \text{ nH}]$  的特征阻抗：

$$R_{SNUB} = \sqrt{\frac{L_{\Sigma PAR\#}}{\frac{C_{ADD}}{3}}} \quad (3)$$

由公式 3 可见， $R_{SNUB} = 7.3 \Omega$ ，四舍五入后取  $10 \Omega$ 。将  $C_{SNUB}$  的值设置为  $330 \text{ pF}$ ，系大于  $C_{ADD}$  计算值的下一个标准值，随后将  $R_{SNUB}$  定为  $10 \Omega$ ，由开关节点连接至地，此时在开关节点上取第二个实测波形，如图 4 所示。

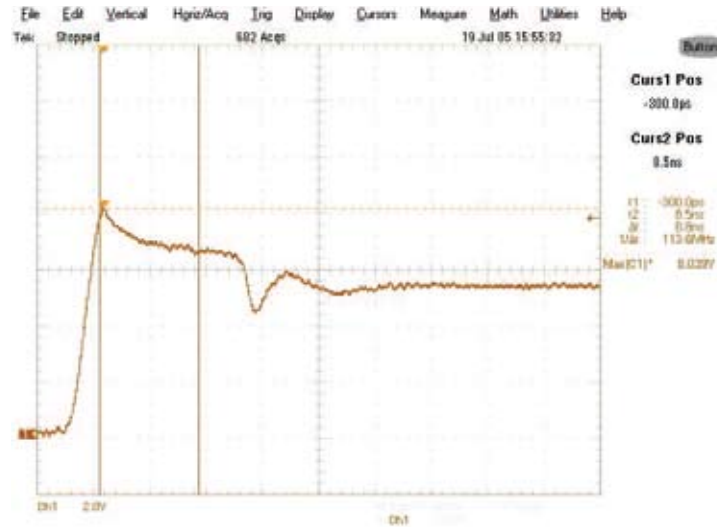


图 4. 添加缓冲器之后升压转换器开关节点上的振铃曲线

可以看到现在振铃基本消除，振铃的最大振幅降低至8V，降幅1.8V，缩减比例为20%，并且开关关断时间仅缩短 2ns。设计人员可逐步地增加  $C_{SNUB}$  值，直到开关节点振铃曲线的拐点幅度逐渐逼近地电平（即在  $Q=1$  时， $L_{\Sigma PAR\#}$ ， $C_{SNUB}$ ，以及  $R_{SNUB}$  电路实现了有效的抑制）。然而随着  $C_{SNUB}$  值的增加，缓冲电路所吸收的能量相应的增加， $R_{SNUB}$  所消耗的功率也相应增大，降低了升压转换器的效率。 $R_{SNUB}$  的功耗可由公式计算得出  $P_{SNUB} = \frac{1}{2} C_{SNUB} \times V_{PK}^2 \times f_{SW}$ ，其中， $V_{PK}$  为减少后的峰值振幅， $f_{SW}$  为升压转换器的转换频率。设计人员必须确保  $R_{SNUB}$  的封装 (package) 足够大以满足散热需求。总的来说，以大于振荡频率减半 ( $1/2 [C_{ADD}]$ ) 所需的下一标准值为标准来选取  $C_{SNUB}$ ，既可使峰值振幅降低 20% 左右，峰值效率的降幅也不会特别明显。

想缩短研发时间、降低产品成本、并让产品快速投放市场？  
TI产品信息中心训练有素的技术支持团队能在线提供您全方位的产品信息  
无论是...

- 为您选择最佳的芯片和系统方案
- 为您找到获得样片的最快速途
- 为您分析并解决在开发调试中遇到的问题
- 为您提供产品设计开发的经验和技巧
- 为您推荐最佳授权代理商
- 为您递送免费的产品书籍/CD
- 为您所想，不遗余力.....

立刻拨免费热线：**800-820-8682** 获取免费的技术支持。  
服务时间：星期一至五·上午 9:00 ~ 下午 6:00

欢迎您注册成为 **my.TI** 会员，以获得更快捷的服务和更全面的资料。  
网站：<http://www.ti.com.cn/contactus>

## my. TI

TI 创建了全新版本的 my.TI，提供全新的外观和新型的用户友好特性并为中国客户提供本地语言功能。

帐户设置优势：

- my.ti 主页上提供每周新闻稿摘要
- 订购免费样片
- 管理新闻简报和电子邮件警报
- 登记参加活动
- 注册电子邮件警报
- 更方便的电子邮件管理与订阅

网站：[http://www.ti.com.cn/hdr\\_my\\_ti](http://www.ti.com.cn/hdr_my_ti)  
新用户请现在就登录，享受多重服务，旧用户请登录更新信息！

## SQS 小批量销售

TI于2007年与半导体代理商世平集团合作推出全新TI小批量器件销售服务，专门针对产品开发及研制初期对小批量IC产品需求而设，为顾客提供更全面的服务。

- 超过6000种器件，任君选购
- 网络订单，快捷方便
- 小批量销售，没有最低订购金额 (MOV) 的要求
- 没有原厂标准包装数(SPQ)和最小订购数(MOQ)要求

- 订购热线：**+86-755-83580555**
- 电子信箱：[spp@wpgchina.com](mailto:spp@wpgchina.com)
- 网站：<http://spp.wpgchina.com/sqs>

### Safe Harbor Statement:

This publication may contain forward-looking statements that involve a number of risks and uncertainties. These "forward-looking statements" are intended to qualify for the safe harbor from liability established by the Private Securities Litigation Reform Act of 1995. These forward-looking statements generally can be identified by phrases such as TI or its management "believes," "expects," "anticipates," "foresees," "forecasts," "estimates" or other words or phrases of similar import. Similarly, such statements herein that describe the company's products, business strategy, outlook, objectives, plans, intentions or goals also are forward-looking statements. All such forward-looking statements are subject to certain risks and uncertainties that could cause actual results to differ materially from those in forward-looking statements. Please refer to TI's most recent Form 10-K for more information on the risks and uncertainties that could materially affect future results of operations. We disclaim any intention or obligation to update any forward-looking statements as a result of developments occurring after the date of this publication.

### Trademarks:

The platform bar is a trademark of Texas Instruments. All other trademarks are the property of their respective owners.

Real World Signal Processing, the balck/red banner, C2000, C24x, C28x, Code Composer Studio, Excalibur, Just Plug It In graphic, MicroStar BGA, MicroStar Junior, OHCI-Lynx, Power+ Logic, PowerPAD, SWIFT, TMS320, TMS320C2000, TMS320C24x, TMS320C28x, TMS320C6000, TPS40K, XDS510 and XDS560 are trademarks of Texas Instruments. All other trademarks are the property of their respective owners.

### Important Notice:

The products and services of Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries described herein are sold subject to TI's standard terms and conditions of sale. Customers are advised to obtain the most current and complete information about TI products and services before placing orders. TI assumes no liability for applications assistance, customer's applications or product designs, software performance, or infringement of patents. The publication of information regarding any other company's products or services does not constitute TI's approval, warranty or endorsement thereof.

### 相关产品链接:

- DSP - 数字信号处理器 <http://www.ti.com.cn/dsp>
- 电源管理 <http://www.ti.com.cn/power>
- 放大器和线性器件 <http://www.ti.com.cn/amplifiers>
- 接口 <http://www.ti.com.cn/interface>
- 模拟开关和多路复用器 <http://www.ti.com.cn/analogswitches>
- 逻辑 <http://www.ti.com.cn/logic>
- RF/IF 和 ZigBee® 解决方案 [www.ti.com.cn/radiofre](http://www.ti.com.cn/radiofre)
- RFID 系统 <http://www.ti.com.cn/rfidsys>
- 数据转换器 <http://www.ti.com.cn/dataconverters>
- 时钟和计时器 <http://www.ti.com.cn/clockandtimers>
- 标准线性器件 <http://www.ti.com.cn/standardlinearde>
- 温度传感器和监控器 <http://www.ti.com.cn/temperaturesensors>
- 微控制器 (MCU) <http://www.ti.com.cn/microcontrollers>

### 相关应用链接:

- 安防应用 <http://www.ti.com.cn/security>
- 工业应用 <http://www.ti.com.cn/industrial>
- 计算机及周边 <http://www.ti.com.cn/computer>
- 宽带网络 <http://www.ti.com.cn/broadband>
- 汽车电子 <http://www.ti.com.cn/automotive>
- 视频和影像 <http://www.ti.com.cn/video>
- 数字音频 <http://www.ti.com.cn/audio>
- 通信与电信 <http://www.ti.com.cn/telecom>
- 无线通信 <http://www.ti.com.cn/wireless>
- 消费电子 <http://www.ti.com.cn/consumer>
- 医疗电子 <http://www.ti.com.cn/medical>

## 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 保修的范围内, 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 的数据手册或数据表, 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。

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

放大器	<a href="http://www.ti.com.cn/amplifiers">http://www.ti.com.cn/amplifiers</a>
数据转换器	<a href="http://www.ti.com.cn/dataconverters">http://www.ti.com.cn/dataconverters</a>
DSP	<a href="http://www.ti.com.cn/dsp">http://www.ti.com.cn/dsp</a>
接口	<a href="http://www.ti.com.cn/interface">http://www.ti.com.cn/interface</a>
逻辑	<a href="http://www.ti.com.cn/logic">http://www.ti.com.cn/logic</a>
电源管理	<a href="http://www.ti.com.cn/power">http://www.ti.com.cn/power</a>
微控制器	<a href="http://www.ti.com.cn/microcontrollers">http://www.ti.com.cn/microcontrollers</a>

### 应用

音频	<a href="http://www.ti.com.cn/audio">http://www.ti.com.cn/audio</a>
汽车	<a href="http://www.ti.com.cn/automotive">http://www.ti.com.cn/automotive</a>
宽带	<a href="http://www.ti.com.cn/broadband">http://www.ti.com.cn/broadband</a>
数字控制	<a href="http://www.ti.com.cn/control">http://www.ti.com.cn/control</a>
光纤网络	<a href="http://www.ti.com.cn/opticalnetwork">http://www.ti.com.cn/opticalnetwork</a>
安全	<a href="http://www.ti.com.cn/security">http://www.ti.com.cn/security</a>
电话	<a href="http://www.ti.com.cn/telecom">http://www.ti.com.cn/telecom</a>
视频与成像	<a href="http://www.ti.com.cn/video">http://www.ti.com.cn/video</a>
无线	<a href="http://www.ti.com.cn/wireless">http://www.ti.com.cn/wireless</a>

邮寄地址: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2006, Texas Instruments Incorporated