

## TPS540/561 上电与动态波形分析及优化

Given Ding/Binbin Wang

Sales &amp; Applications/ Huawei

### ABSTRACT

TPS540/561是一款高压输入的降压芯片，常用于48V输入通讯领域，PoE输入系统中。本文针对实际应用在上电过程中出现的非单调波形进行了分析，给出了原因以及可优化的方法。同时，针对负载动态跳变中出现的波形进行了分析，给出了原因。

### Contents

1.	典型应用.....	2
2.	上电波形分析.....	2
3.	动态负载分析.....	4
4.	结论.....	6
	参考文献 .....	6

### Figures

Figure 1.	典型应用原理图 .....	2
Figure 2.	电子负载横流模式起机波形 Ch1=Vout, Ch2=SW, Ch3=Comp, Ch4=inductor current ...	3
Figure 3.	阻性负载起机波形 Ch1=Vout, Ch2=SW, Ch3=Comp, Ch4=inductor current.....	3
Figure 4.	Wenbench 工具环路仿真模型 .....	4
Figure 5.	Vout=4V, Iout=0~100mA 慢斜率动态 .....	5
Figure 6.	Vout=4V, Iout=0~100mA 快斜率动态 .....	5

## 1. 典型应用

高压输入的降压芯片在电信场景中，如RRU等，有着广泛的应用。在该场景中，一般-48V输入电压经过电源砖转化为+48V电压输出，然后该电压通过开关电源变换成28V，12V等给后级诸如功放或是电桥等负载供电。TI的TPS540/561系列是这种支持到60V输入电压的高压Buck电源芯片，在很多客户中有应用。和普通的单相Buck电源设计类似，在设计时需要考虑输入电压范围，输出电压，负载电流，纹波，动态指标等等。具体的设计步骤可以参考相应的数据手册(SLVSB7D)。本文主要针对实际应用中遇到的起机非单调以及在动态负载跳变中出现的异常波形进行分析讨论。

## 2. 上电波形分析

Figure 1 是一个典型应用原理图，其中R3=51K, R4=82K, R6=5.6K, R7=1.4K, C4=100nF, C5=820pF, C6=47pF, L=47uH (1.9ohm (DCR))。Vin=9~30V, Vout=4V, Iout=100mA。

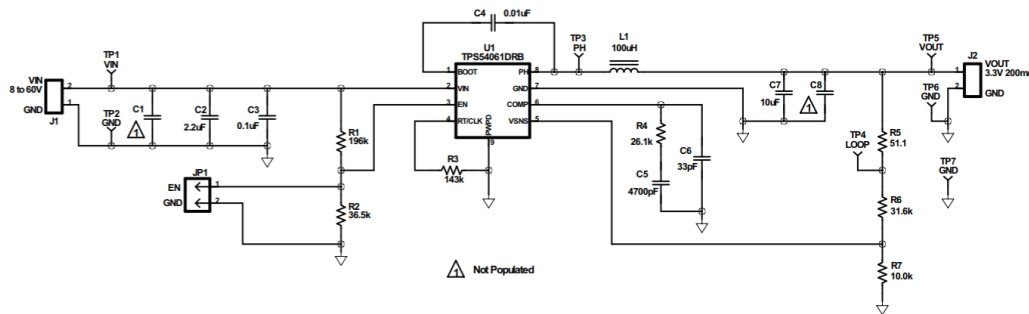


Figure 1. 典型应用原理图

在测试起机波形时，一般会在输出端接电子负载来模拟实际的带载情况，实验中使用的电子负载型号是Chrome63106。如**Error! Reference source not found.**所示Vout在上电过程中存在非单调的情况，在1.5V左右过冲而后又跌落。如果后级电源的开启电压在1.5V附近，这个非单调会导致后级出现二次重启。结合SW波形中可知，当SW开始有开关动作时，输出电压仍然较低。由于反馈电压比内部缓起基准电压低，环路响应调大占空比。当输出电压开始上升以后，由于之前积累的能量较多，导致输出有过冲，环路此时会调小占空比，从而导致上电过程中存在跌落。

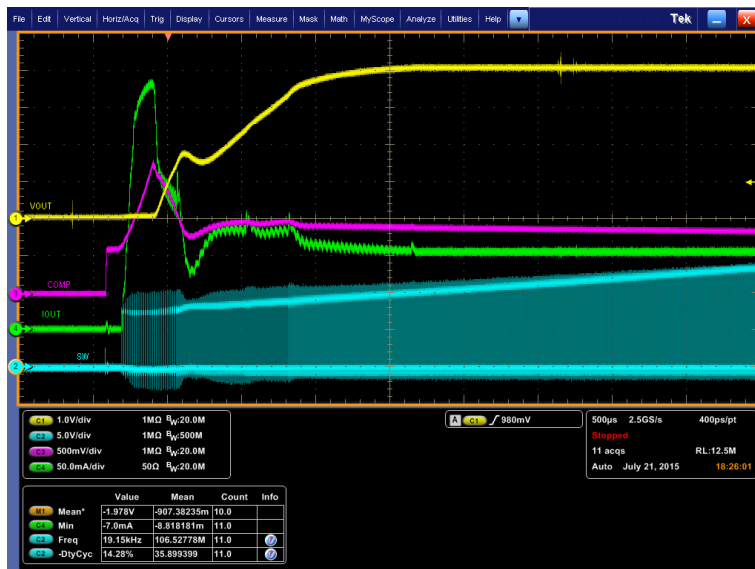


Figure 2. 电子负载横流模式起机波形 Ch1=Vout, Ch2=SW, Ch3=Comp, Ch4=inductor current

由Figure 2可知，在起始阶段，负载接近200mA，会超过满载设定电流。这是电子负载的固有特性，即使使用CR模式，由于电子负载内部并不是按照真正的电阻来模拟，所以还是可能会看到类似的起机电流波形。这会导致Comp出现过冲，占空比变大。



Figure 3. 阻性负载起机波形 Ch1=Vout, Ch2=SW, Ch3=Comp, Ch4=inductor current

如Figure 3所示，如果用纯电阻负载，就不存在这个起机电压过冲，只是实际的负载情况难以预测，纯电阻负载情况是比较少的。另外，从Figure3中可以看到，在上电过程中有三个不是非常平滑的点，通过comp波形就可以看到comp存在变化，而这个其实是属于正常现象，在手册中提到，该芯片在起机或者负载发生过流时采用frequency foldback的方式来控制电感电流，以保护芯片不受损坏。芯片是通过检测输出电压来进行开关频率的调节，内部预设1,1/2,1/4,1/8几个调节档位。比如，在发生短路时，输出电压会直接被拉到接近零，同时

由于高输入电压以及最小开通时间的限制，电感电流下降时间很短，同时下降的斜率也慢，电流不断增加最终会超过饱和电流。此时降低开关频率，延长开关管的关断时间，可以让电感的下降时间变长，从而减低电感饱和的可能性。但此切换是通过检测输出电压的大小来实现的，所以在输出电压上升过程中，通过SW展开波形可以看到当开关频率变化的时候，由于等效的占空比会发生突变，输出电压会有轻微的变化。但在Figure 2中如果负载跳变发生在频率切换的时候，输出电压的波动会变的更恶劣。

根据之前的分析可以看到，输出波动会跟环路响应速度有关。如果环路响应速度足够快，那么在Vout允许输出的时候就可以较快的进行调整，降低波动。所以有如下两种方法来改善输出电压起机波动问题

1. 增加输出电容。因为电容量的增加，可以减小对于负载跳变带来的影响。实验发现，输出电容增加到22uf，输出电压基本看不到波动。
2. 调整补偿参数，增加带宽来提高响应速度，从而减小波动。TPS54061是电流型控制，一般采用一个2型补偿器来补偿环路，通过左移零点的位置可以增大带宽。如Figure 4A所示，其中set#1为原始参数。Set#2中R4=100k, C5=330pF, C6=2.2pF, R6=5.6k, R7=1.4k。如需进一步增大带宽，可以通过在R6旁边并联一个前馈电容，多增加一个零点。如Figure 4B所示，增加Cc电容到1200pF，可以将带宽再增加10k. 实测使用这套参数基本就看不到输出电压波动。

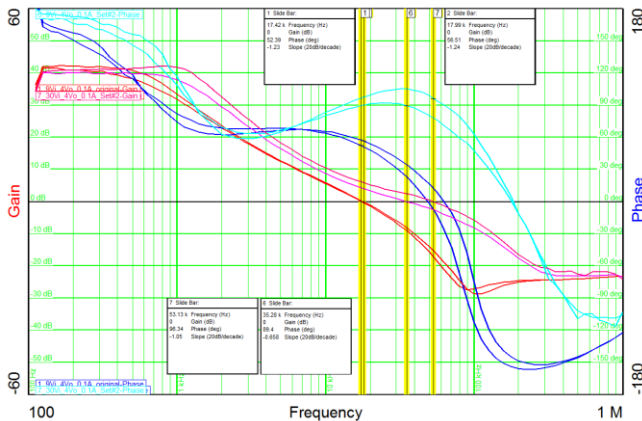


Figure 4A 原始参数和优化后参数对比

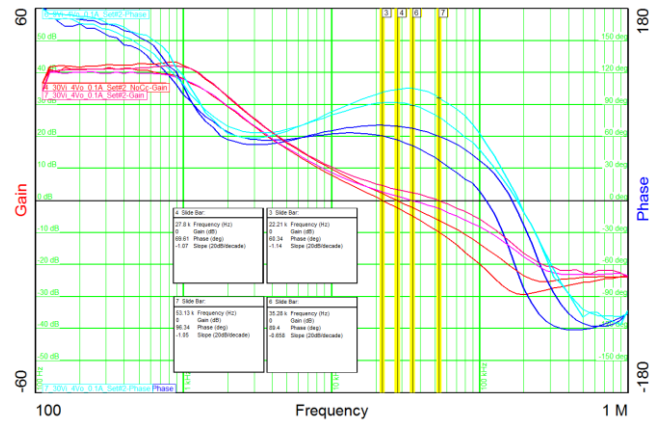


Figure 4B 优化后参数与增加 Cc 电容后参数对比

Figure 4. Wenbench 仿真伯德图

### 3. 动态负载分析

在实际应用中，也会存在负载跳变的应用场景，下面按负载变化速率分快慢两种斜率进行分析。

#### a. 负载变化斜率较慢

从 Figure 5 可知，在负载从重载切换到轻载时，其输出电压的过冲会存在两个波头，而一个稳定的系统，其过冲应该是单调的。

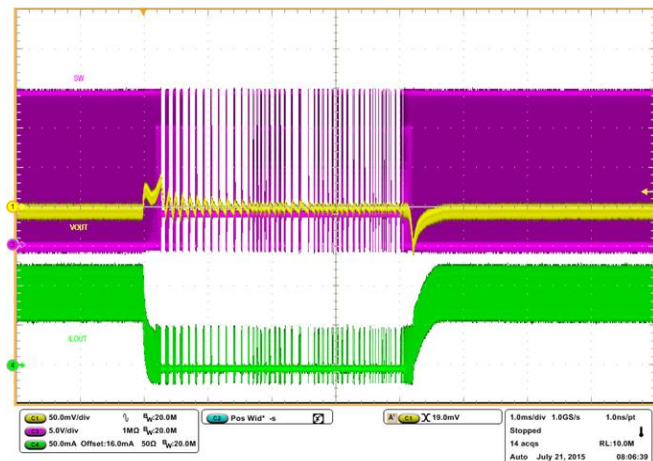


Figure 5A 整体图

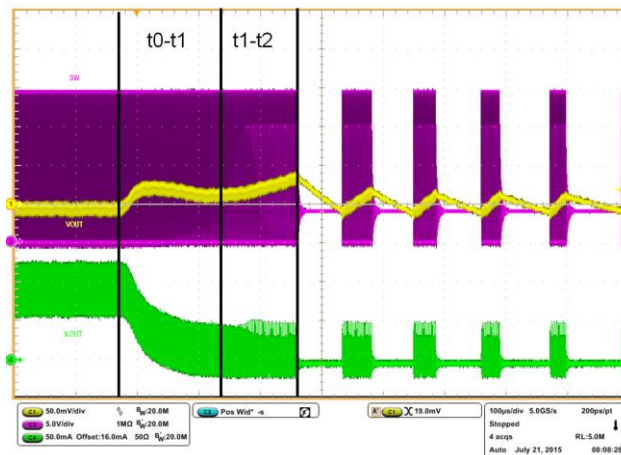


Figure 5B 展开图

Figure 5.  $V_{out}=4V$ ,  $I_{out}=0\sim 100mA$  慢斜率动态

在  $t_0-t_1$  阶段，因为环路存在滞后，需要几个开关周期才能产生响应，在此之前还是会按照原来的占空比发波，所以输出电压会先上升。由于负载电流变化较慢，环路对电流的变化产生响应，调节占空比，输出电压下降。

在  $t_1-t_2$  阶段，负载变小芯片进入 DCM 模式，此时占空比的调节无法让输出电压维持在需要的值，所以输出电压会继续上升，最终芯片进入到跳频模式。

b. 负载变化斜率较快

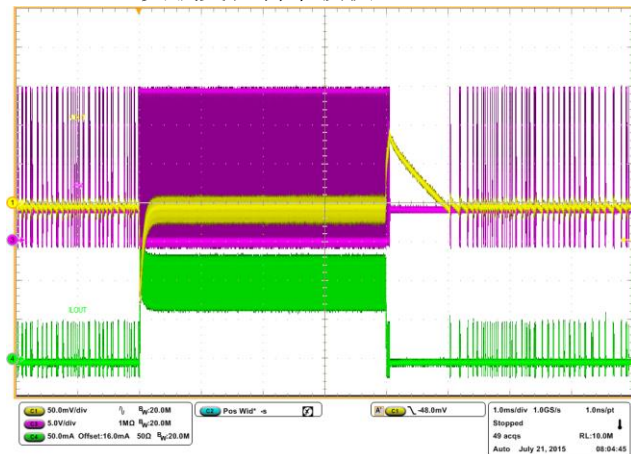


Figure 6A 整体图

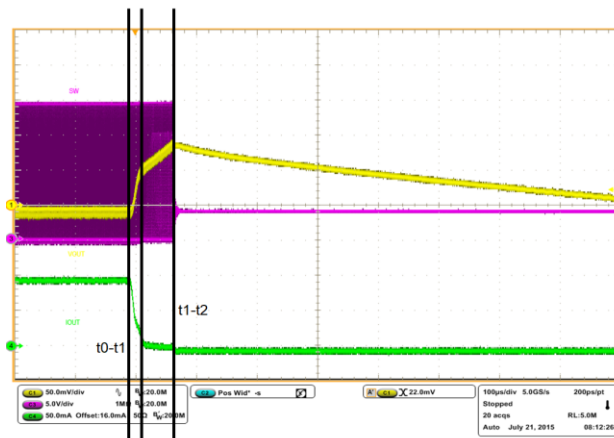


Figure 6B 展开图

Figure 6.  $V_{out}=4V$ ,  $I_{out}=0\sim 100mA$  快斜率动态

$t_0-t_1$ : 同第一张波形中一样，由于环路滞后于电流的变化，所以输出电压上升。

$t_1-t_2$ : 负载跳变基本完成，电感电流的平均值约等于零，芯片进入DCM模式。环路响应会让占空比调节到最小的开通时间和最小的峰值电流，但仍然没办法使输出电压回到设定值，输出电压上升到一个很高的值，进入跳频模式。

从上面的分析可以看到，虽然在做动态负载切换时，该芯片的输出电压的变化波形跟理论上的一个稳定系统的正常响应的波形会有差别，但并不表征其稳定性存在问题，而是与芯片的工作状态有关，只需要保证上下过冲的幅值可以满足实际需求就可以了。

## 4. 结论

本文结合实际应用，针对TPS540/561芯片在实际测试中出现的上电和动态的波形进行了分析和解释，其中上电过程中出现的不单调跟负载特性以及芯片自身变频工作模式有关，通过优化环路参数，增大输出电容以及改变负载特性解决了输出上电不单调的问题。而看似异常的动态波形，也跟环路以及芯片自身轻载跳频工作的模式有关。

## 参考文献

- [1] TPS54061 Datasheet, [SLVSB7D](#), Texas Instruments.
- [2] TPS54561 Datasheet, [SLVSB01F](#), Texas Instruments.
- [3] Evaluation Module for TPS54061 Synchronous Step-Down SWIFT, [SLVU721](#), Texas Instruments.



## 重要声明和免责声明

TI 均以“原样”提供技术性数据（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，不保证其中不含任何瑕疵，且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、适合某特定用途或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

所述资源可供专业开发人员应用TI 产品进行设计使用。您将对以下行为独自承担全部责任：(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。所述资源如有变更，恕不另行通知。TI 对您使用所述资源的授权仅限于开发资源所涉及TI 产品的相关应用。除此之外不得复制或展示所述资源，也不提供其它TI 或任何第三方的知识产权授权许可。如因使用所述资源而产生任何索赔、赔偿、成本、损失及债务等，TI 对此概不负责，并且您须赔偿由此对TI 及其代表造成的损害。

TI 所提供产品均受TI 的销售条款 (<http://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 以及ti.com.cn上或随附TI产品提供的其他可适用条款的约束。TI提供所述资源并不扩展或以其他方式更改TI 针对TI 产品所发布的可适用的担保范围或担保免责声明。

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 © 2019 德州仪器半导体技术（上海）有限公司