

TPS5432x/62x, TPS54x18/x19 低电压输入下电二次启动问题分析及解决方法

Jacky Wang 和 Benjamin Zhao

North China OEM Team

摘 要

TPS5432x/62x 是德州仪器推出的 4.5V~17V 宽电源电压输入范围，输出电流最高可达 6A 的同步降压 SWIFT™ 系列转换器，TPS54x18/x19 是 2.95V~6V 窄电源电压输入范围，输出电流最高可达 7A 的同步降压 SWIFT™ 系列转换器。该系列器件都具有热性能增强的 QFN 小体积封装，专为板级空间要求苛刻的应用优化设计，其内部集成的高边和低边 MOSFET 大大增强了其转换效率并具有逐周期限流的过流保护机制。但该系列器件在实际低电压输入应用中可能会出现下电时输出二次启动的现象，本文以 TPS54622 器件为例，针对该问题的产生原因进行了研究分析并给出了相应的解决方案，彻底消除了输出电压过冲问题，拓宽了 TPS5432x/62x 系列和 TPS54x18/x19 系列的应用范围。

目 录

1	TPS54622 输出二次启动问题简介	2
2	TPS54622 输出过冲尖峰问题根源分析	4
3	消除输出过冲的变通解决方法	5
4	结论及总结	7
	参考文献	8

插 图

图 1-a.	恒流模式下输出过冲波形	2
图 1-b.	恒阻模式下输出过冲波形	2
图 2.	TPS54622 测试框架示意图	3
图 3.	实际测试的 TPS54622 EVM 板原理图	3
图 4.	可调的 V_{IN} 和 PV_{IN} UVLO 阈值设定电路	4
图 5.	消除输出尖峰的改动电路原理图	5
图 6.	增加肖特基二极管前后 EN 引脚电压对比（左图为增加前，右图为增加后）	6
图 7.	使用变通解决方案后下电输出实测波形（左图为恒流模式，右图为恒阻模式）	7
图 8.	使用变通解决方法增加的上电输出延迟时间对比（左图为原始电路，右图为修改后电路）	7

1 TPS54622 输出二次启动问题简介

TPS54622 是德州仪器推出的 4.5V~17V 宽电源电压输入范围，输出电流可达 6A 的同步降压 SWIFT™ 系列转换器。该器件具有热性能增强的 3mmx3mm QFN 小体积封装，专为板级空间要求苛刻的应用优化设计，其内部集成的高边和低边 MOSFET 大大增强了其转换效率并具有“打嗝式”(Hiccup)的过流保护机制。但该器件在实际使用过程中，低电压输入时（例如 5V~6V 输入）输出电压在下电过程中会出现多次过冲，最高尖峰幅值在负载为恒阻模式(CR Mode)下可达约 1V，有可能影响供电后端微控制器及处理器的正常工作。

实际实验中测试抓取的 TPS54622 输出波形如图 1-a，图 1-b 所示，整个测试框架示意图如图 2 所示，测试电路原理图如图 3 所示。实际测试中使用 TPS54622 的评估板 (TPS54622EVM-012) 作为被测对象，测试条件如下：

- ①输入电压 $V_{IN}=5.0V$
- ②输出电压 $V_{OUT}=3.3V$
- ③输出电流 $I_{OUT}=3A$ ，使用电子负载分别设定为恒流和恒阻模式进行测试

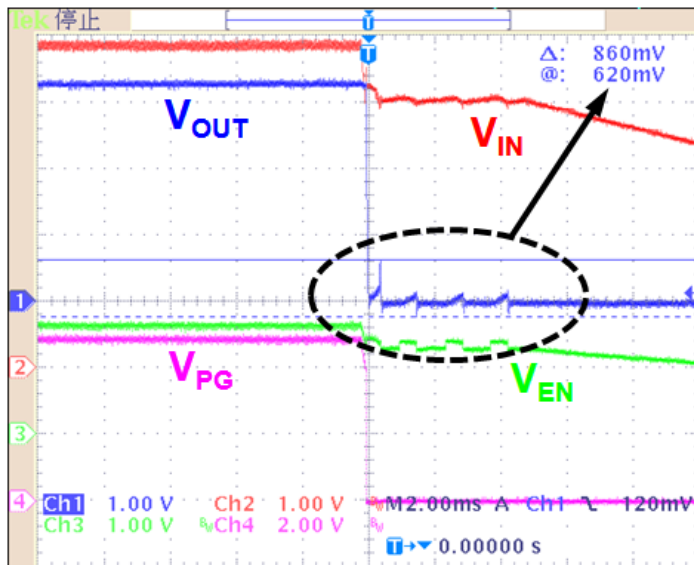


图 1-a 恒流模式下输出波形

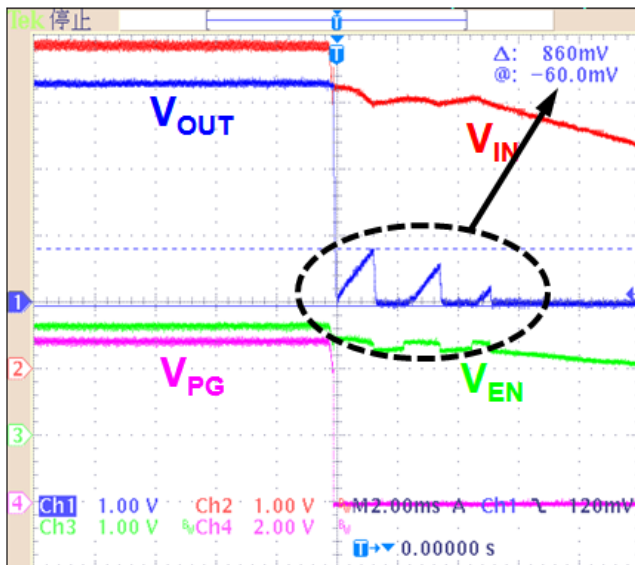


图 1-b 恒阻模式下输出波形

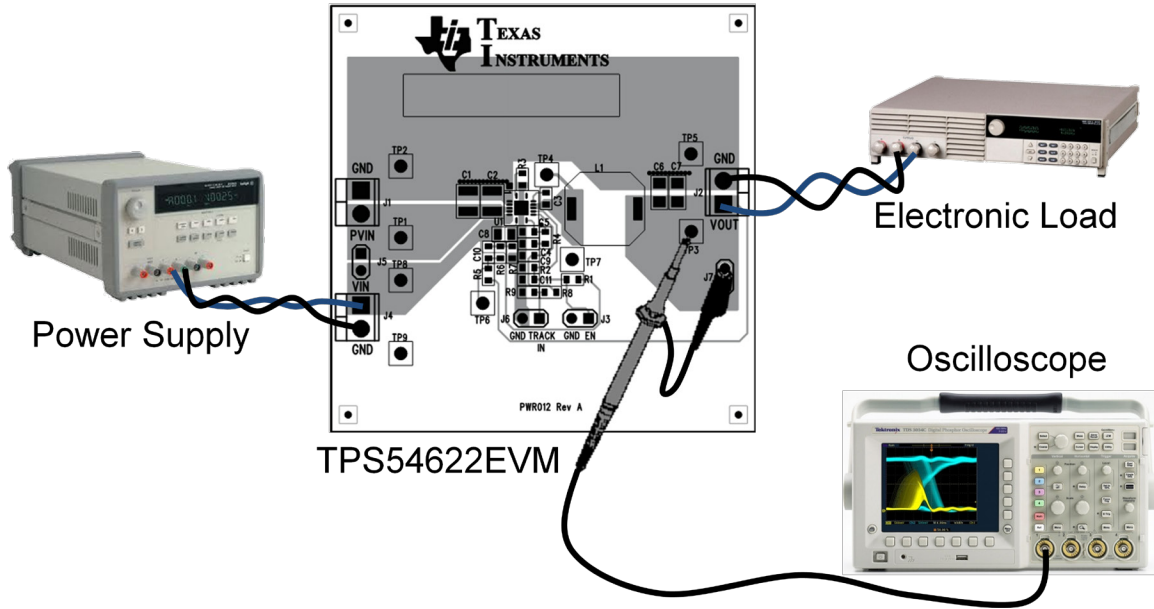


图 2 TPS54622 测试环境示意图

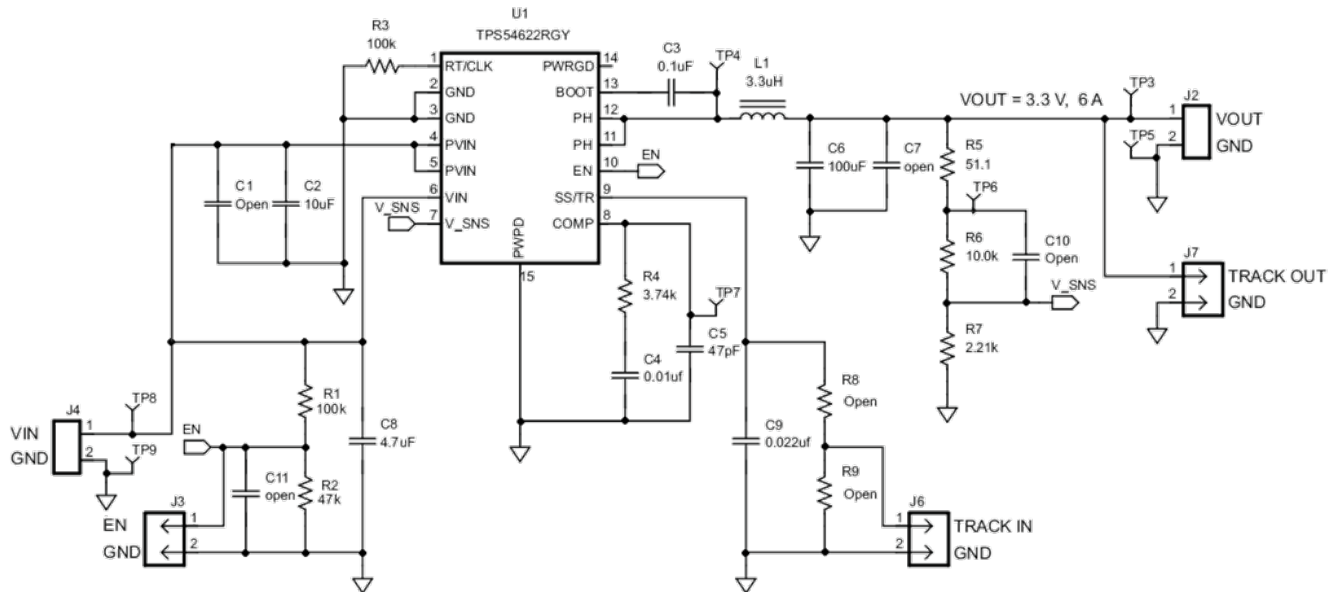


图 3 实际测试的 TPS54622 EVM 板原理图

在图 1-a 和图 1-b 中， V_{IN} 代表输入电压波形， V_{OUT} 代表输出电压波形， V_{EN} 代表使能端波形， V_{PG} 代表芯片电源正常(Power Good)引脚波形。从图 1-a 和图 1-b 中可以看出输入电压下电后，输出电压 V_{OUT} 没有立即变为 0V，而是经过多次波动后才降为 0V。实际测试恒阻模式下过冲尖峰高达 0.86V，这种输出尖峰将大大干扰从此电压获取电源的 MCU 及处理器的正常工作，使本已下电停机的 MCU 或处理器再次启动，影响系统工作的稳定性，这在系统电源轨为 0.9V、1.2V 等环境下表现的更为严峻。因此，为达到 TPS54622 的电压使用范围（芯片数据手册标称工作范围为 4.5V~17V），有必要对此问题进行深入分析并找到变通的解决方法。

2 TPS54622 输出过冲尖峰问题根源分析

从图 1a 和图 1b 中可以看出，当输入下电，芯片关断之后，由于输入电流在输入引线上产生的压降消失，同时由于线路上寄生电感的作用，导致输入电压会升高，从而导致了芯片的二次启动。为了解决这个问题，关键是要提高 TPS54622 的欠压关断的回差电压。

TPS54622 具有 EN 使能引脚并具有迟滞功能，使能电压上升阈值典型值为 1.21V，下降阈值典型值为 1.17V，回差电压为 40mV。同时芯片内部使能引脚 EN 内部上拉电流源 i_h 可以用来灵活调节欠压保护的迟滞电压，通过图 4 的两个外接电阻通过调节电阻的阻值就可以灵活的设定输入欠压保护的迟滞电压。

TPS54622 输入 V_{IN} UVLO 阈值电压设置在数据手册中给出了三种配置，考虑到用户的实际使用情况，往往将 PV_{IN} 和 V_{IN} 短接到一起，本文阈值电压设置如图 4 电路所示，计算公式如式 1、式 2。

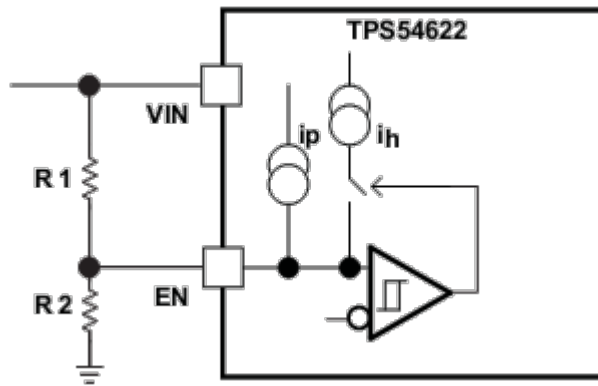


图 4 可调的 V_{IN} 和 PV_{IN} UVLO 阈值设定电路

使能 EN 阈值电压计算公式如下：

$$R_1 = \frac{V_{START} \left(\frac{V_{EN_FALLING}}{V_{EN_RISING}} \right) - V_{STOP}}{I_p \left(1 - \frac{V_{EN_FALLING}}{V_{EN_RISING}} \right) + I_h} \quad \text{式 1}$$

$$R_2 = \frac{R_1 \times V_{EN_FALLING}}{V_{STOP} - V_{EN_FALLING} + R_1 (I_p + I_h)} \quad \text{式 2}$$

其中， $I_h=3.4\mu A$ ， $I_p=1.15\mu A$ ， $V_{EN_RISING}=1.21V$ ， $V_{EN_FALLING}=1.17V$ 。

可以看出，通过改变电阻 R_1 和 R_2 的阻值，可以获得不同的 V_{start} 和 V_{stop} 的电压，因此也就可以获得期望的回差电压 $V_{start} - V_{stop}$ 。在本文的测试电路中，设定 V_{IN} 约为 4V 时，使 V_{EN_RISING} 约为 1.2V，所选取的分压电阻 $R_1=100k\Omega$ ， $R_2=47k\Omega$ 。

但是由于 TPS54622 V_{IN} 输入电压范围为 4.5V~17V, V_{IN} 内部 UVLO 上升电压阈值典型值为 4V, 迟滞回差电压典型值为 150mV。当输入电压较低的时候, 例如 5V 输入, 考虑到实际的 5V 电压可能会有一定的误差, 所以使能引脚 EN 的启动电压必须低于 5V (如 4.5V), 但这样留给使能引脚 EN 做回差的空间就很小, 所以很难通过设定使能引脚 EN 的电阻值来获得足够的回差范围。另外从前面 V_{IN} UVLO 的介绍中也可以看出芯片自身的 UVLO 回差电压也不够大 (典型值 150mV), 这样就不可避免的产生第 1 节描述的问题。

3 消除输出过冲的解决方法

前面已经分析了导致输出二次启动产生尖峰的根本原因在于低压输入条件下有限的回差电压空间以及输入 V_{IN} UVLO 功能的作用使得使能引脚 EN 在芯片下电时没有立即低于门限电压, 而是反复波动几次导致了 TPS54622 的二次启动, 因此, 解决此问题的思路就是想办法在芯片下电时强制将使能引脚 EN 拉低低于关断门限电压, 彻底关闭芯片输出, 从而消除二次启动带来的输出尖峰。

本文使用的变通解决方案电路原理图如图 5 所示。

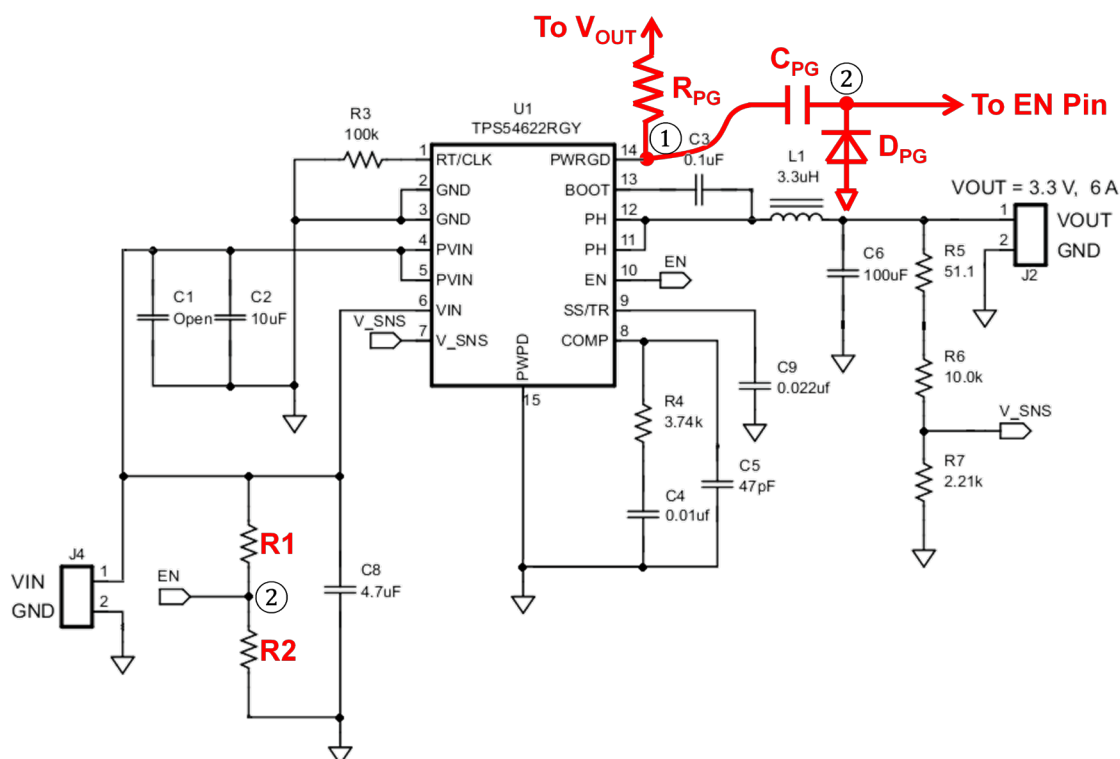


图 5 消除输出尖峰的改动电路原理图

本变通解决方案在原有 EVM 板电路基础上增加了 R_{PG} 、 C_{PG} 和 D_{PG} 三个元件，由于 TPS54622 具有电源正常(Power Good, PG)输出指示功能，且当输出电压低于稳压输出的 92%或高于稳压输出的 106%时，就会驱动 PG 引脚使其拉低。本方案的思路是利用电容两端电压不能突变的原理，在 PG 引脚和使能 EN 引脚之间跨接一无极性电容器，当输出电压跌落低于稳压值的 92%时，PG 引脚变低，同时将使能 EN 引脚拉低，从而在输入电压反弹的时间段内能够保证使能 EN 引脚电压低于开启电压，彻底关闭芯片输出。由于 PG 引脚为漏极开路结构，电阻 R_{PG} 用于上拉 PG 引脚，取值为 $10k\Omega \sim 100k\Omega$ 之间，电容 C_{PG} 取值为 $1\mu F$ 即可，取值过大需要较长放电时间，过小无法将使能 EN 引脚彻底关闭。

在图 5 中， R_1 取值为 $100k\Omega$ ， R_2 取值为 $47k\Omega$ ， R_{PG} 取值为 $10k\Omega$ 。电路上电稳定后，节点②处的电压为（即 EN 引脚电压）

$$V_{node2} = V_{IN} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 5V \cdot \frac{47k\Omega}{100k\Omega + 47k\Omega} \approx 1.6V$$

节点①处电压被 R_{PG} 上拉为 $3.3V$ ， $V_{node1} = 3.3V$ ，因此，此时电容 C_{PG} 上的电压为

$$V_{C_{PG}} = V_{node1} - V_{node2} = 3.3V - 1.6V = 1.7V$$

当电路下电后， $3.3V$ 输出电压跌落低于稳压输出的 92%时，PWRGD 引脚电平变低，即节点①处电压变为 $0V$ ，由于电容两端电压不能突变，此时仍维持（假设此时 V_{IN} 电压在输入电容维持下仍为 $5V$ ）

$$V_{C_{PG}} = V_{node1} - V_{node2} = 3.3V \cdot 92\% - 1.6V = 1.436V$$

因此，节点②处的电压理论上瞬间将会跳变为 $-1.436V$ ，实际测试该节点电压约为 $-0.9V$ （如图 6 所示）。该负电压超出了器件手册规定的最大极限值 $-0.3V$ 的范围，会造成芯片损坏。为了避免该情况的发生，节点②处的 EN 使能引脚需要对地增加一反向肖特基二极管 D_{PG} 进行电压钳位保护。

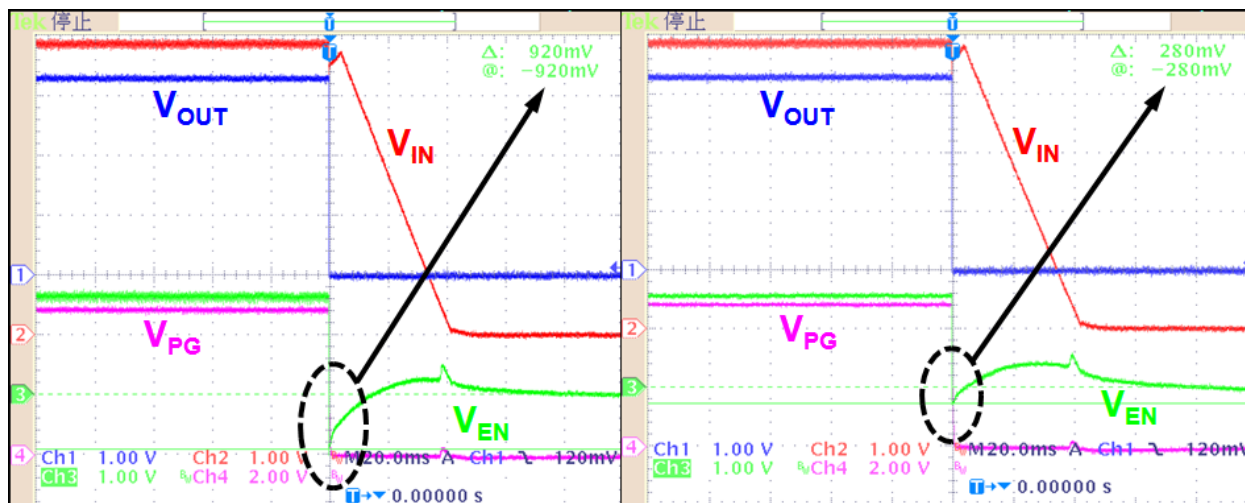


图 6 增加肖特基二极管前后 EN 引脚电压对比（左图为增加前，右图为增加后）

最终本电路在相同测试条件下测试波形如图 7 所示。从图 7 中可以看出 V_{OUT} 在下电之后由于 EN 引脚被彻底拉低使得芯片完全关闭输出，从而彻底消除了输出尖峰问题。

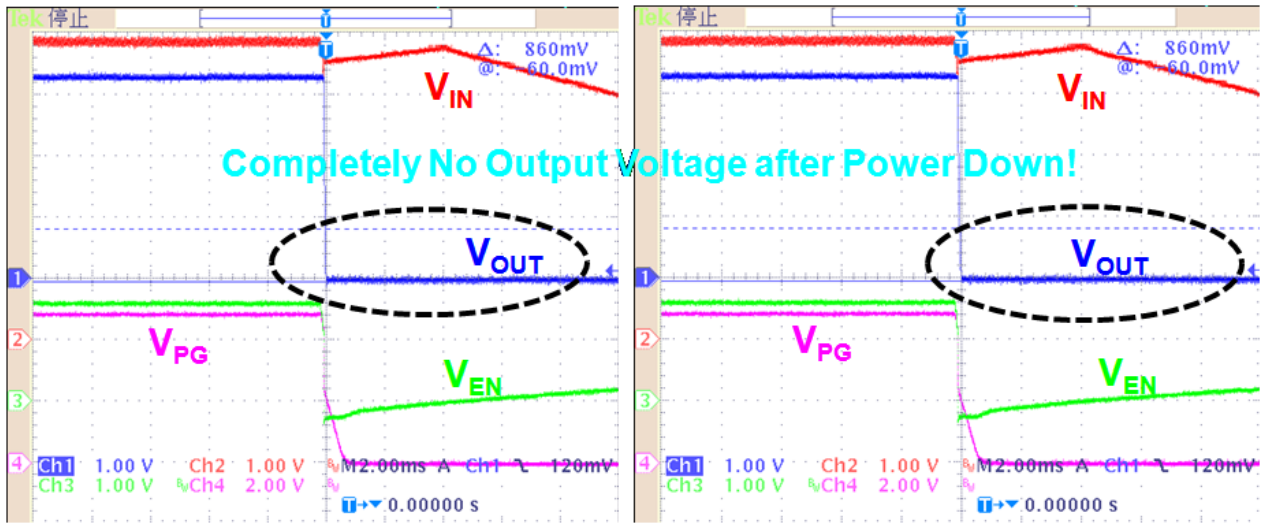


图 7 使用变通解决方案后下电输出实测波形（左图为恒流模式，右图为恒阻模式）

值得注意的是，由于增加一个电容连接在 EN 引脚，上电时有一定的电容充电时间，从而会引起输出电压的延迟，实际测试的延迟时间对比图如图 8 所示，从图中可以看出，采用本解决方法后会增加约 50ms 的输出延迟时间。

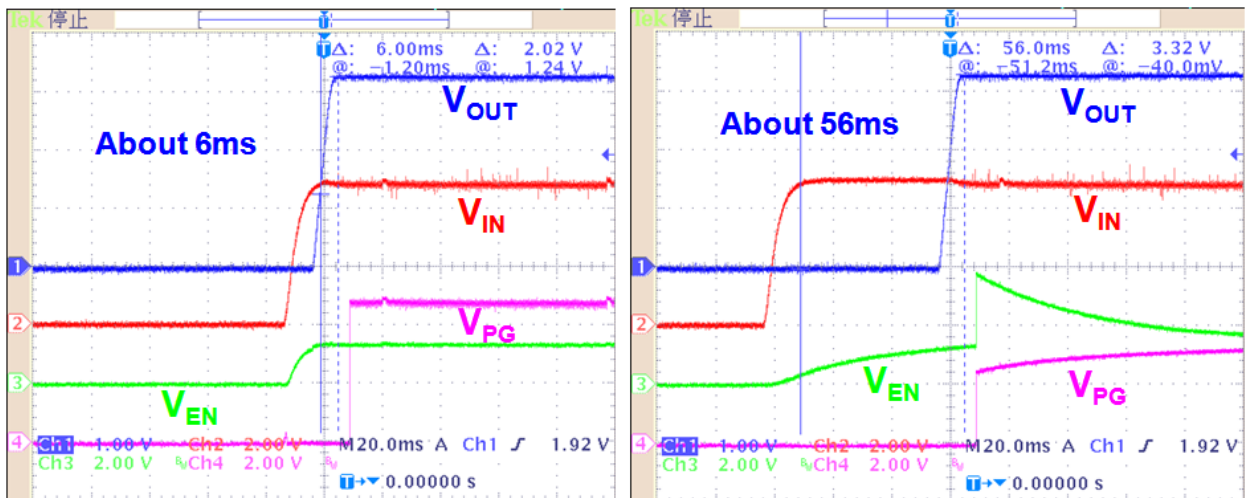


图 8 使用变通解决方法增加的上电输出延迟时间对比（左图为原始电路，右图为修改后电路）

4 结论及总结

本文研究了 TPS54622 在低电压输入情况下输入电源下电后输出电压出现二次启动并产生较大尖峰问题，并且该问题实测发现同样存在于 TPS5432x/62x 系列和 TPS54x18/x19 系列器件中。本文对该问题产生的根源进行了分析并给出了一种消除该尖峰的简便易行解决方法，实际测试该方法彻底消除了下电后输出电压的二次启动过冲尖峰现象。

参考文献

1. *TPS54622 Datasheet (SLVSA70)*
2. *TPS54622EVM-012 6-A, SWIFT™ Regulator Evaluation Module User's Guide (SLVU441A)*
3. *TPS54620 Datasheet(SLVS949C)*
4. *TPS54620EVM-374 6-A, SWIFT™ Regulator Evaluation Module User's Guide(SLVU281)*
5. *TPS54618 Datasheet(SLVSAE9A)*
6. *TPS54618EVM-606 6-A, SWIFT™ Regulator Evaluation Module User's Guide(SLVU414A)*

重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权根据 JESD46 最新标准, 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, 并有权根据 JESD48 最新标准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 保证其所销售的组件的性能符合产品销售时 TI 半导体产品销售条件与条款的适用规范。仅在 TI 保证的范围内, 且 TI 认为 有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非适用法律做出了硬性规定, 否则没有必要对每种组件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 组件或服务的组合设备、机器或流程相关的 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 的产品手册或数据表中 TI 信息的重要部分, 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。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任或义务。复制第三方的信息可能需要服从额外的限制条件。

在转售 TI 组件或服务时, 如果对该组件或服务参数的陈述与 TI 标明的参数相比存在差异或虚假成分, 则会失去相关 TI 组件 或服务的所有明示或暗示授权, 且这是不正当的、欺诈性商业行为。TI 对任何此类虚假陈述均不承担任何责任或义务。

客户认可并同意, 尽管任何应用相关信息或支持仍可能由 TI 提供, 但他们将独力负责满足与其产品及其在应用中使用的 TI 产品 相关的所有法律、法规和安全相关要求。客户声明并同意, 他们具备制定与实施安全措施所需的全部专业技术和知识, 可预见 故障的危险后果、监测故障及其后果、降低有可能造成人身伤害的故障的发生机率并采取适当的补救措施。客户将全额赔偿因 在此类安全关键应用中使用任何 TI 组件而对 TI 及其代理造成的任何损失。

在某些场合中, 为了推进安全相关应用有可能对 TI 组件进行特别的促销。TI 的目标是利用此类组件帮助客户设计和创立其特 有的可满足适用的功能安全性标准 and 要求的终端产品解决方案。尽管如此, 此类组件仍然服从这些条款。

TI 组件未获得用于 FDA Class III (或类似的生命攸关医疗设备) 的授权许可, 除非各方授权官员已经达成了专门管控此类使 用的特别协议。

只有那些 TI 特别注明属于军用等级或“增强型塑料”的 TI 组件才是设计或专门用于军事/航空应用或环境的。购买者认可并同 意, 对并非指定面向军事或航空航天用途的 TI 组件进行军事或航空航天方面的应用, 其风险由客户单独承担, 并且由客户独 力负责满足与此类使用相关的所有法律和法规要求。

TI 已明确指定符合 ISO/TS16949 要求的产品, 这些产品主要用于汽车。在任何情况下, 因使用非指定产品而无法达到 ISO/TS16949 要 求, TI 不承担任何责任。

	产品		应用
数字音频	www.ti.com.cn/audio	通信与电信	www.ti.com.cn/telecom
放大器和线性器件	www.ti.com.cn/amplifiers	计算机及周边	www.ti.com.cn/computer
数据转换器	www.ti.com.cn/dataconverters	消费电子	www.ti.com.cn/consumer-apps
DLP® 产品	www.dlp.com	能源	www.ti.com.cn/energy
DSP - 数字信号处理器	www.ti.com.cn/dsp	工业应用	www.ti.com.cn/industrial
时钟和计时器	www.ti.com.cn/clockandtimers	医疗电子	www.ti.com.cn/medical
接口	www.ti.com.cn/interface	安防应用	www.ti.com.cn/security
逻辑	www.ti.com.cn/logic	汽车电子	www.ti.com.cn/automotive
电源管理	www.ti.com.cn/power	视频和影像	www.ti.com.cn/video
微控制器 (MCU)	www.ti.com.cn/microcontrollers		
RFID 系统	www.ti.com.cn/rfidsys		
OMAP应用处理器	www.ti.com/omap		
无线连通性	www.ti.com.cn/wirelessconnectivity	德州仪器在线技术支持社区	www.deyisupport.com

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 © 2013 德州仪器 半导体技术(上海)有限公司