

TPS40170 高预偏置电压启动失败问题分析与解决

Jack Chen/Johnny Guo

Sales & Applications/ East China

ABSTRACT

TPS40170在某些应用中输出端会并联较大电解电容，在输入电压掉落时，大电容可以延缓输出电压跌落时间，为数据掉电备份提供时间。但是当快速二次上电时，由于此时仍有较高的预偏置电压，电路的输出电压最终并未能上升到设定输出值，启动失败，影响电路工作。本应用报告分析了出现这种问题的原因，并给出了相应的解决方案。

Contents

1.	应用背景.....	2
2.	TPS40170 高预偏置电压启动失败现象.....	2
3.	问题分析.....	3
4.	解决方案.....	5
5.	结论.....	8
	参考文献	8

Figures

Figure 1.	300kHz 高预偏置电压启动 Restart.....	2
Figure 2.	300kHz 高预偏置电压启动脉冲.....	3
Figure 3.	TPS40170 Buck 电路示意图	3
Figure 4.	3.4V 预偏置电压启动	4
Figure 5.	8.9V 预偏置电压启动	4
Figure 6.	8.9V 预偏置电压启动 SS 电容电压.....	5
Figure 7.	585kHz 高预偏置电压启动 Restart.....	5
Figure 8.	585kHz 8.5V 高预偏置电压启动脉冲.....	6
Figure 9.	585kHz 9.2V 高预偏置电压启动脉冲.....	6
Figure 10.	TPS40170 频率切换电路	7
Figure 11.	含频率切换电路高预偏置电压启动	7

1. 应用背景

TPS40170是一款常用的宽范围输入同步降压型PWM控制器，具备预偏置电压启动功能，广泛应用于工业和通信设备中，具有较高的功率密度和可靠性。

在某些应用中，要求输入掉电时输出电压缓慢下降，为系统备份提供缓冲时间。此时TPS40170输出电压往往较高($\geq 12\text{V}$)，同时会并联较大电解电容。当系统掉电然后快速二次上电时，电路在高预偏置电压启动过程中会出现启动失败的现象，输出电压稳定在低于设定值的水平。此现象一般会出现在二次上电时预偏置电压大于 5V 的情况下。

本文以实际应用为例，分析了TPS40170高预偏置电压启动失败问题，给出了解决方法并进行了实验验证，为相同应用场景提供了参考。

2. TPS40170 高预偏置电压启动失败现象

Figure 1为TPS40170在 $V_{in}=30\text{V}$ ， $V_{out}=12\text{V}$ ， $I_{out}=0\text{A}$ ，输出端并联两个 $330\mu\text{F}/25\text{V}$ 电解电容，限流点 $I_{LIM}=6\text{A}$ ， $F_{sw}=300\text{kHz}$ 时，快速二次上电高预偏置电压启动波形，电路其余参数与TI EVM板设计(SLVU436)相同。

在输入电压快速二次上电情况下，可以看出输出电压最终稳定在 8.9V ，低于设定输出 12V ，说明高预偏置电压启动失败。电感电流 I_L ，上管驱动HDRV和下管驱动LDRV每隔一个Restart周期 118ms (由SS Pin电容设置) 会出现一个脉冲，其具体波形如Figure 2所示。在每一个脉冲中，开关管都会动作一段时间，使得电感电流先下降，然后震荡上升，达到限流值后触发过流保护，开关管停止动作，经过一个Restart周期再重复此过程。每一次开关动作都会对输出电容进行充放电，由于安秒平衡，使得输出电压最终稳定在 8.9V 。

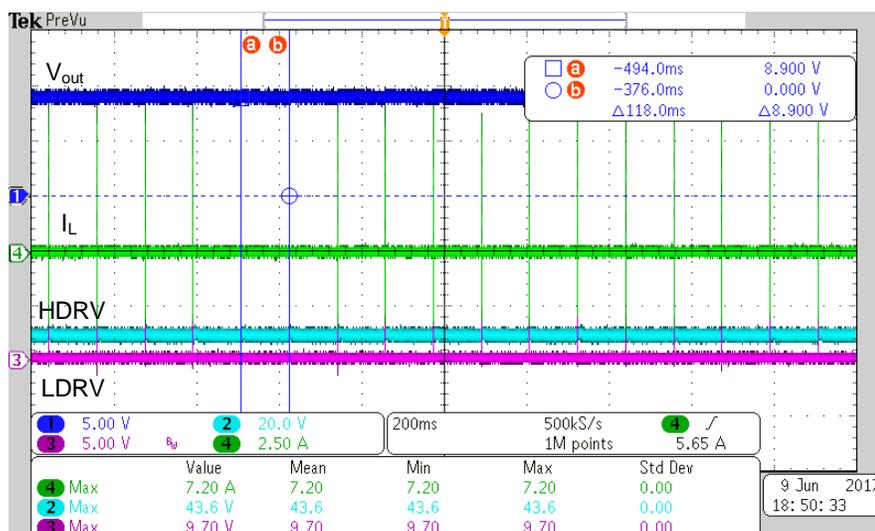


Figure 1. 300kHz 高预偏置电压启动 Restart

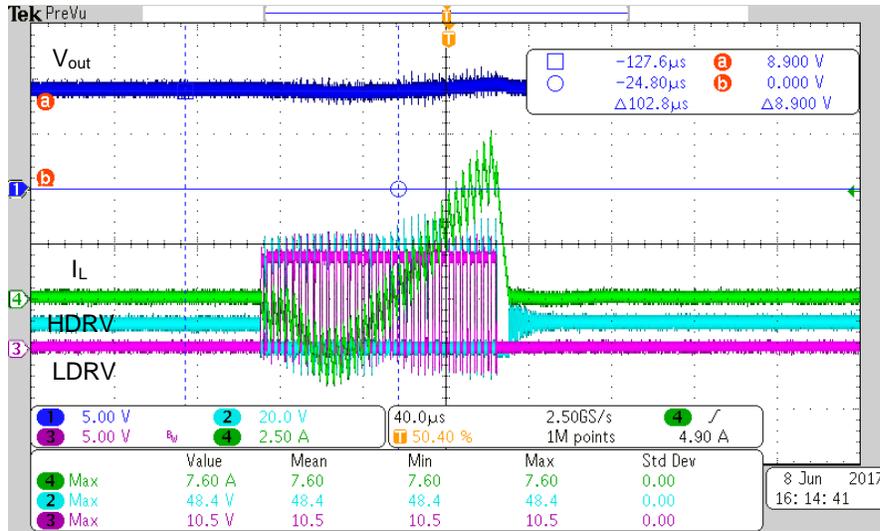


Figure 2. 300kHz 高预偏置电压启动脉冲

3. 问题分析

和大多数BUCK控制器一样，TPS40170的上管驱动由内部LDO产生8V的 V_{BP} 电压给BOOT电容充电实现。当下管导通时， V_{BP} 给BOOT电容充电至8V，如Figure 3路径①所示。当下管关断时，BOOT电容为上管驱动提供能量。

TPS40170本身具备预偏置电压启动功能，当预偏置电压较低时，BOOT电容电压足够开启上管，因此前几个周波内只开上管，不开下管，防止输出向内灌电流被拉低，如Figure 3路径②所示。随后逐渐增加下管的脉冲宽度，同时由于没有负向电流，电路正向震荡电流也较小，不会触发过流保护，使得电路最终正常启动，如Figure 4所示。

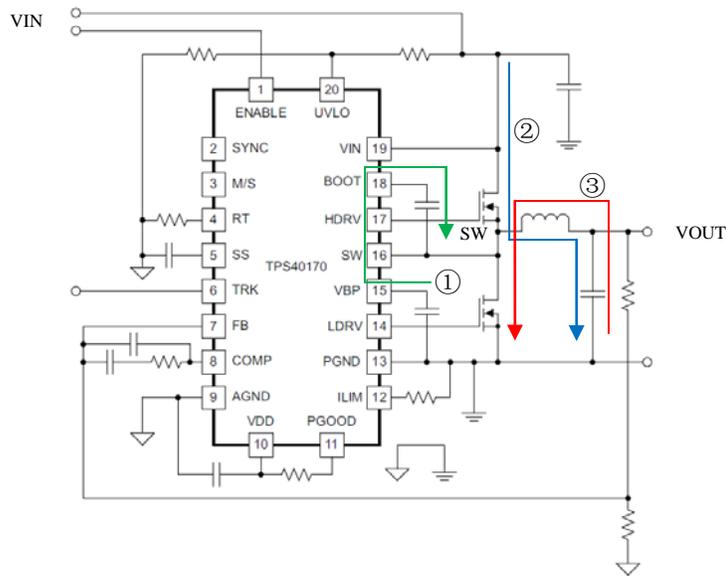


Figure 3. TPS40170 Buck 电路示意图

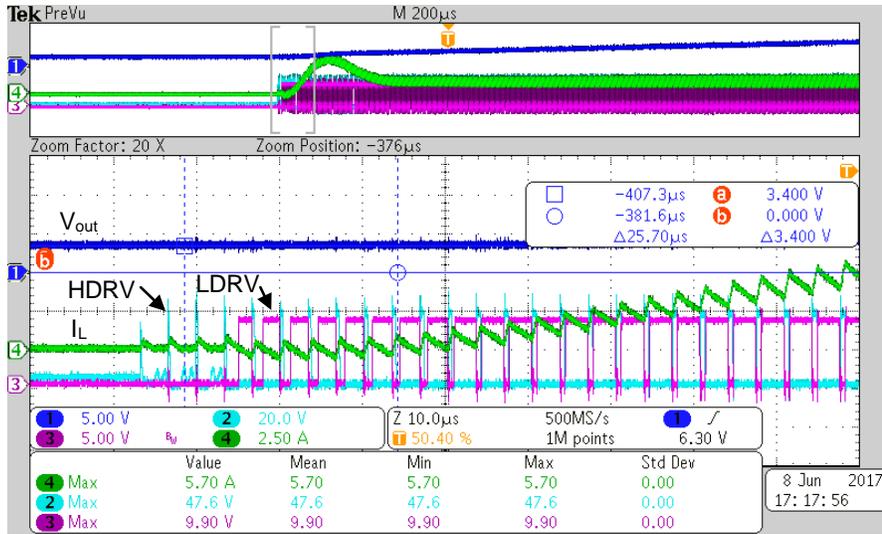


Figure 4. 3.4V 预偏置电压启动

但是在较高预偏置电压启动的应用中，输出电压较高，SW端电压较高，BOOT电容电压不足以开启上管，此时芯片会先开启下管将SW端电压拉低，使得 V_{BP} 给BOOT电容充电，此时电感电流路径如Figure 3中③所示，具体驱动波形如Figure 5所示。

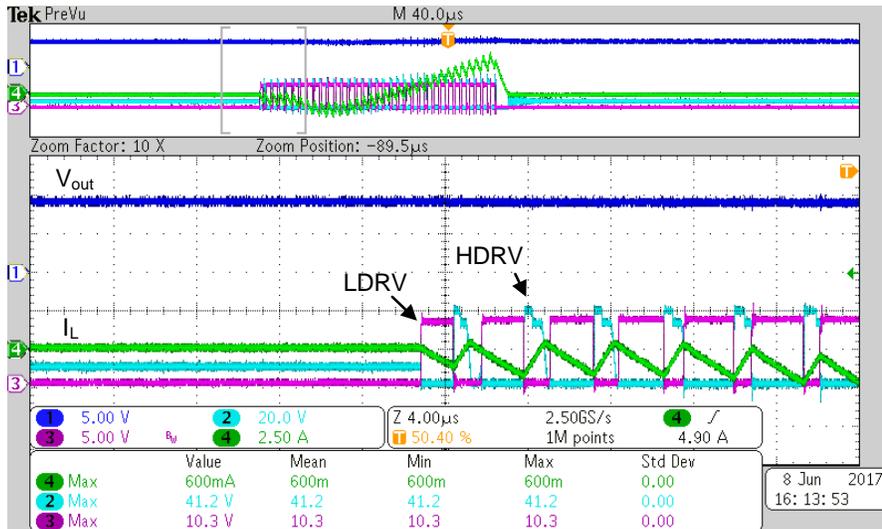


Figure 5. 8.9V 预偏置电压启动

开通下管后，输出电容会通过下管放电，产生较大的负向电感电流，同时下管开通占空比也比较大，经过几个周波后产生了较大的负向电感电流，此阶段相当于输出到输入的Boost电路。随着上管开通占空比增加，电路开始进入正常Buck模式，电感电流正向上升。由于LC震荡，电感电流会正向震荡到更高值，达到限流点触发过流保护。整个过程中由于负向电流和正向电流与时间的积分几乎相同，也即安秒平衡，因此输出电压几乎保持不变，稳定在8.9V，如Figure 2所示。在这个过程中，SS电容电压波形如Figure 6所示，SS电容电压上升过程中发生过流保护，此时电容电压会继续上升至2.5V，接着以较慢速度放电降至300mV，然后再如此重复，整个重启Restart周期相同，这也证明了过流故障一直存在。

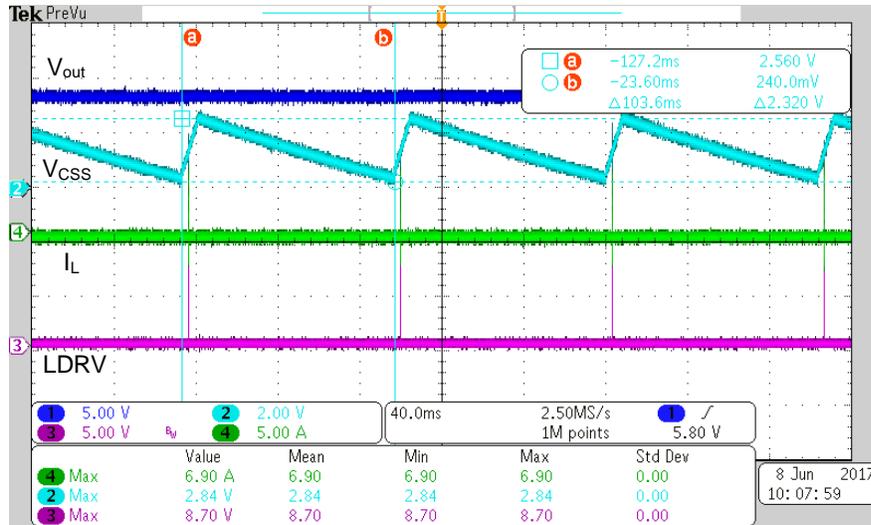


Figure 6. 8.9V 预偏置电压启动 SS 电容电压

与低预偏置电压启动相比，高预偏置电压启动过程中会先开通下管给BOOT电容充电，这使得输出电容向下管灌电流产生LC震荡（震荡频率与电感值和输出电容大小相关），震荡的正向电流幅值较大，触发过流保护使得电路启动失败。

4. 解决方案

要解决TPS40170高预偏置电压启动失败问题，有两种方法：

- (1) 更换电路限流电阻提高限流点，使得震荡电流不会触发过流保护，电路正常启动。但是需要MOSFET和电感留有一定额定电流裕量，仅作为规避问题的一种手段，本文不再讨论。
- (2) 增加开关频率，加快电路调整速度，减小每个周期内下管开通时间，使得电路启动过程中输出电容放电时间缩短，负向震荡电流幅值减小，打破安秒平衡，使得输出电压不断上升，最终达到设定值，本文将讨论这种方案的应用。

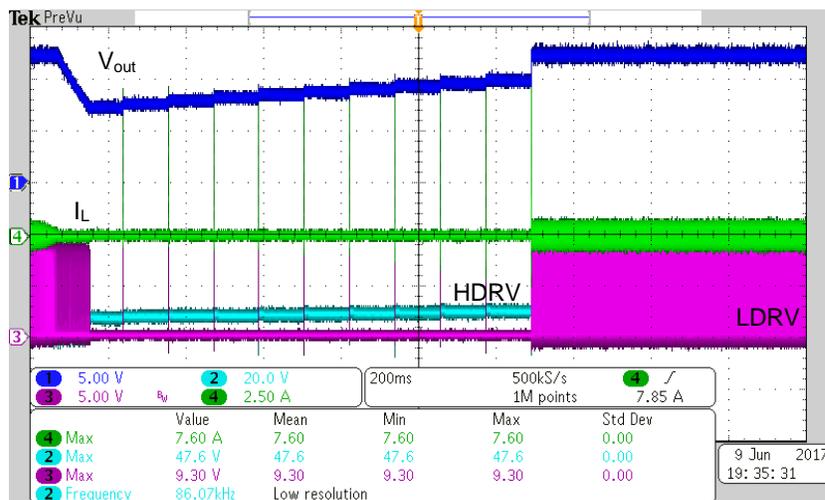


Figure 7. 585kHz 高预偏置电压启动 Restart

更改RT Pin电阻值将开关频率设置为585kHz，接近TPS40170所能工作的最大频率，输入掉电再快速上电的启动波形如Figure 7所示。可以看出电路经过几个Restart周期后输出电压达到12V，开关管正常动作，说明此时高预偏置电压启动成功。其中两个Restart周期的脉冲波形如Figure 8和9所示，可以看出当预偏置电压分别为8.5V和9.2V时，与Figure 5相比由于频率增加，下管开通时间变短，负向震荡电流较小，正向震荡电流依然会触发过流保护，但是正向电流与时间积分大于负向电流与时间积分，安秒平衡打破，输出电容被充电，电压增加。每经过一个Restart周期，输出电压抬升一次，最终达到设定值。整个过程用时1s左右，与软起动电容值相关。在多级电源轨中后期电路的使能加载一般由前级电路Power Good实现，因此对二次上电后到输出正常的时间没有要求。

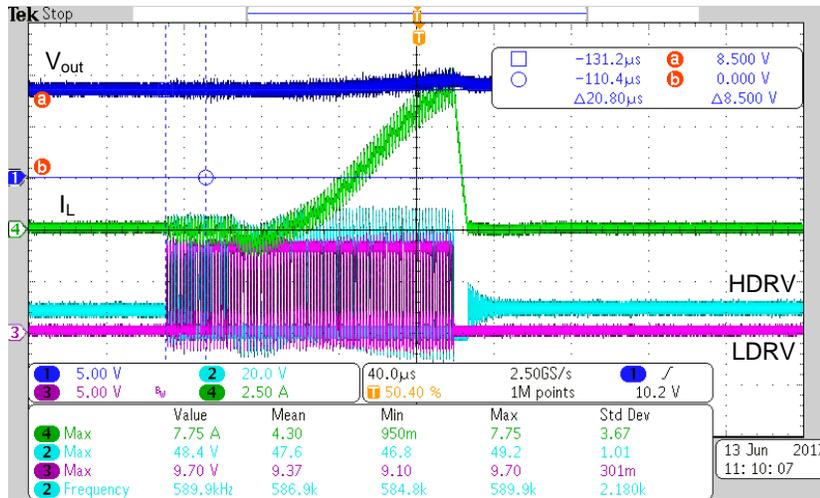


Figure 8. 585kHz 8.5V 高预偏置电压启动脉冲

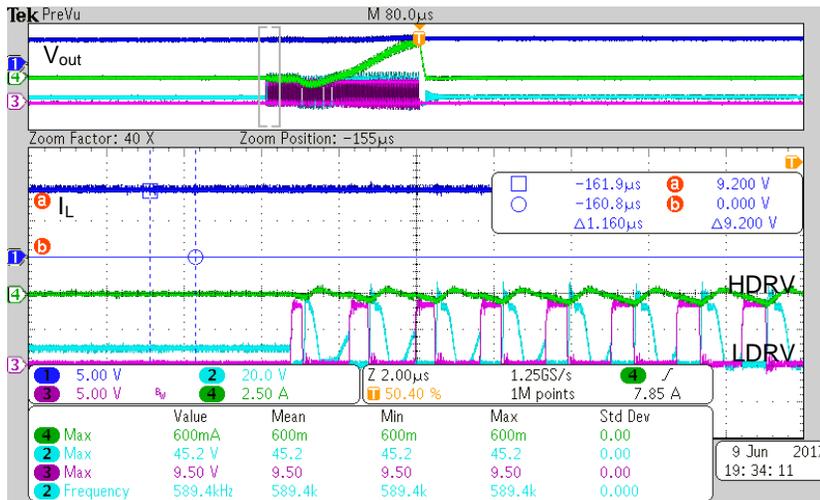


Figure 9. 585kHz 9.2V 高预偏置电压启动脉冲

增加开关频率可以解决TPS40170高预偏置电压启动问题，由于限流电阻的存在，电路也不会因为过流而损坏。但是过高的开关频率增加了电路损耗，降低了效率。因此希望电路启动时工作频率较高，而输出电压达到设定值后工作频率较低。为此设计了如Figure 10所示的工作频率切换电路，利用PG Pin控制信号MOSFET，改变RT Pin电阻值从而改变频率。启

动过程中PG为低，Q1截至而Q2导通，RT电阻为26.2kΩ与31.6kΩ并联，开关频率为585kHz。当输出电压达到设定值12V时，PG由低变高，Q1导通而Q2截至，RT电阻为31.6kΩ，开关频率设置为300kHz，因此既实现了高预偏置电压启动，又使得正常工作时的效率较高。

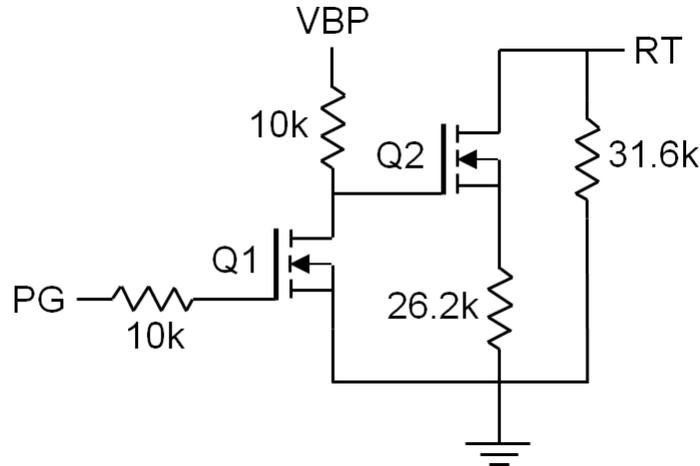


Figure 10. TPS40170 频率切换电路

利用频率切换电路测得高预偏置电压启动波形与Figure 7相同，不同的是随着输出电压达到设定值后，PG Pin电平变高，在此过程中工作频率由585kHz平滑地变化为300kHz，如Figure 11所示。说明此频率切换电路可以很好地实现TPS40170高预偏置电压启动同时保证正常工作时的较低开关损耗。此方法适用于所有高电压大电容输出场合。

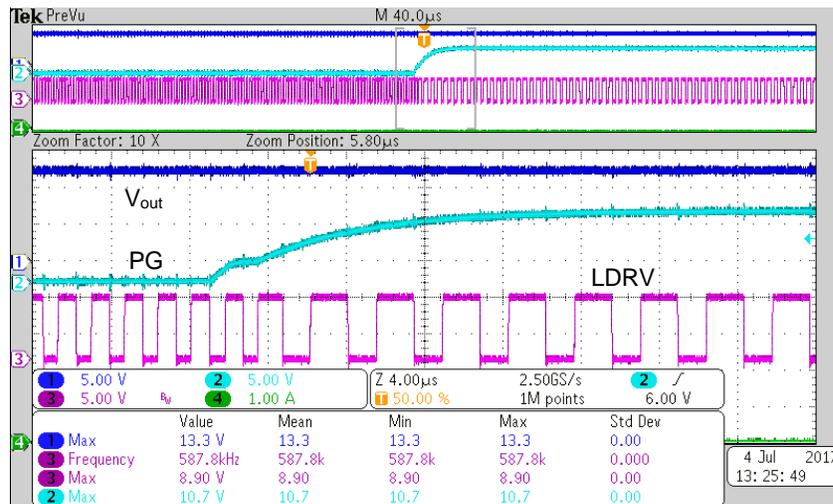


Figure 11. 含频率切换电路高预偏置电压启动

5. 结论

本文分析了TPS40170高预偏置电压启动失败的原因，提出了相应的解决方法，为此类应用场景提供了参考方案。

参考文献

- [1] TPS40170 Datasheet, [SLUS970B](#), Texas Instruments.
- [2] TPS40170EVM-578 Evaluation Module User's Guide, [SLVU436](#), Texas Instruments.

有关 TI 设计信息和资源的重要通知

德州仪器 (TI) 公司提供的技术、应用或其他设计建议、服务或信息，包括但不限于与评估模块有关的参考设计和材料（总称“TI 资源”），旨在帮助设计人员开发整合了 TI 产品的应用；如果您（个人，或如果是代表贵公司，则为贵公司）以任何方式下载、访问或使用了任何特定的 TI 资源，即表示贵方同意仅为该等目标，按照本通知的条款进行使用。

TI 所提供的 TI 资源，并未扩大或以其他方式修改 TI 对 TI 产品的公开适用的质保及质保免责声明；也未导致 TI 承担任何额外的义务或责任。TI 有权对其 TI 资源进行纠正、增强、改进和其他修改。

您理解并同意，在设计应用时应自行实施独立的分析、评价和判断，且应全权负责并确保应用的安全性，以及您的应用（包括应用中使用的 TI 产品）应符合所有适用的法律法规及其他相关要求。您就您的应用声明，您具备制订和实施下列保障措施所需的一切必要专业知识，能够 (1) 预见故障的危险后果，(2) 监视故障及其后果，以及 (3) 降低可能导致危险的故障几率并采取适当措施。您同意，在使用或分发包含 TI 产品的任何应用前，您将彻底测试该等应用和该等应用所用 TI 产品的功能。除特定 TI 资源的公开文档中明确列出的测试外，TI 未进行任何其他测试。

您只有在为开发包含该等 TI 资源所列 TI 产品的应用时，才被授权使用、复制和修改任何相关单项 TI 资源。但并未依据禁止反言原则或其他法律授予您任何 TI 知识产权的任何其他明示或默示的许可，也未授予您 TI 或第三方的任何技术或知识产权的许可，该等产权包括但不限于任何专利权、版权、屏蔽作品权或与使用 TI 产品或服务的任何整合、机器制作、流程相关的其他知识产权。涉及或参考了第三方产品或服务的信息不构成使用此类产品或服务的许可或与其相关的保证或认可。使用 TI 资源可能需要您向第三方获得对该等第三方专利或其他知识产权的许可。

TI 资源系“按原样”提供。TI 兹免除对 TI 资源及其使用作出所有其他明确或默示的保证或陈述，包括但不限于对准确性或完整性、产权保证、无复发故障保证，以及适销性、适合特定用途和不侵犯任何第三方知识产权的任何默认保证。

TI 不负责任何申索，包括但不限于因组合产品所致或与之有关的申索，也不为您辩护或赔偿，即使该等产品组合已列于 TI 资源或其他地方。对因 TI 资源或其使用引起或与之有关的任何实际的、直接的、特殊的、附带的、间接的、惩罚性的、偶发的、从属或惩戒性损害赔偿，不管 TI 是否获悉可能会产生上述损害赔偿，TI 概不负责。

您同意向 TI 及其代表全额赔偿因您不遵守本通知条款和条件而引起的任何损害、费用、损失和/或责任。

本通知适用于 TI 资源。另有其他条款适用于某些类型的材料、TI 产品和服务的使用和采购。这些条款包括但不限于适用于 TI 的半导体产品 (<http://www.ti.com/sc/docs/stdterms.htm>)、[评估模块](http://www.ti.com/sc/docs/sampters.htm)和样品 (<http://www.ti.com/sc/docs/sampters.htm>) 的标准条款。

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 © 2017 德州仪器半导体技术（上海）有限公司