

LM61440-Q1 输出过冲分析

Given Ding

摘要

LM61440/60-Q1 是非常广泛应用的降压应用芯片。本文结合芯片的工作机制，对实际应用中看到的波形进行了分析，其中 **V_{cc}** 在输入上下电过程中的过冲是正常现象。输出电压在输入电压是下降或者快速上升过程中的过冲是由于频率折返机制带来的，是正常现象。可以通过增加一定负载或者输出电容进行改善。

目录

1	LM6144/60-Q1 简介	1
2	V _{cc} 启机和关机波形	2
3	LM61440 频率折返	4
3.1	输入电压掉电时，输出过冲	4
3.2	输入电压快速回调时，输出过冲	5
4	结论	7
5	参考文献	7

图

Figure 1.	LM6144/60-Q1 典型应用框图	1
Figure 2a.	启机 V _{cc} 波形	3
Figure 2b.	关机 V _{cc} 波形	3
Figure 3.	启机时候 boot-SW 的波形	3
Figure 4a.	V _{in} 跌落时，V _{out} 出现过冲	4
Figure 4b.	V _{in} 跌落时，V _{out} 出现过冲	5
Figure 5.	输出发生过冲时候的放大波形	5
Figure 6.	输出电流 0.5A 时候输出电压过冲波形	5
Figure 8.	输入电压快速回调时逐渐展开波形	6

1 LM6144/60-Q1 简介

LM6144/60-Q1 是一款支持到 36V 输入，输出电流 4A/6A 的集成管子的降压电路芯片，在 12V 电池的场景中（考虑冷启动以及负载瞬变，电压范围会从 4.5V 到 36V）有广泛的应用。它采用传统的峰值电流控制，环路设计包括斜坡补偿电路都集成在芯片内部，外围参数设计也比较简单，按照数据手册中推荐电感电容和前馈电容来进行选择即可。在官网上 [LM61440-Q1 data sheet, product information and support | TI.com](https://www.ti.com/lit/dsp/lm61440-q1) 里面可以看到 webench 在线设计和仿真工具，可以帮助用户简化设计，并进行一些仿真。

该器件有不同工作模式的版本，当选用默认为 **auto mode** 的器件时，它在轻载时候会自动降频，从而降低开关损耗，提高轻载效率。但轻载时候的纹波会比较大，所以它也有一个 **FPWM** 的版本，如果对纹波要求比较高的话，可以选用该版本，但相应地，轻载功耗会比较大。

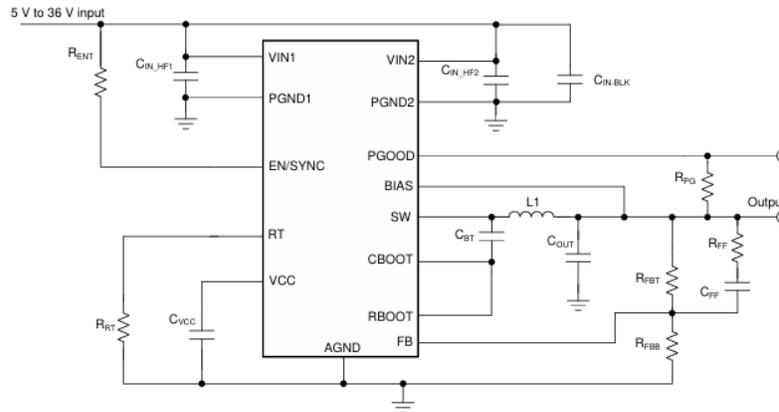


Figure 1. LM6144/60-Q1 典型应用框图

本文针对实际应用中看到的一些波形进行了分析，主要是 **Vcc** 在上下电过程中的过冲，以及当 **Vin** 发生变化时候的输出过冲，给出了原因以及相应的优化措施。

2 Vcc 启机和关机波形

从 **Figure1** 可以看到，芯片有一个 **Vcc** 管脚，是一个内部的 **LDO** 的输出，正常输出 **3V** 到 **3.3V**，给芯片内部的控制电路供电。它的来源有 **Vin1/Vin2** 或者是 **BIAS**。对于 **LDO** 来说，输入输出压差越小，功耗越小，所以手册中建议可以将 **BIAS** 管脚接到芯片的输出，因为是降压电路，输出肯定比输入小，这样的话，可以降低功耗。如果 **BIAS** 电压小于 **3.1V**，那么会切换回输入供电。如果这个功能不用的话，**BIAS** 管脚可以悬空或者直接接到地上。**Vcc** 管脚也会有一个滞环的欠压保护，低于欠压点的时候，电路就会停止工作。

在实际测试中，客户就会去测量 **Vcc** 的电压看是否稳定。在启机和关机时，会看到 **Vcc** 电压并不是完全稳定的。如 **Fig2** 中可以看到，当 **Vin** 启机时候，**Vcc** 也会跟随 **Vin** 变化，然后达到某一个值以后再回到正常的 **3.3V** 电压。当 **Vin** 关机时候，**Vcc** 也会突然往上冲以下，然后跟随 **Vin** 的变化而下降。

。



Figure 2a. 启机 Vcc 波形

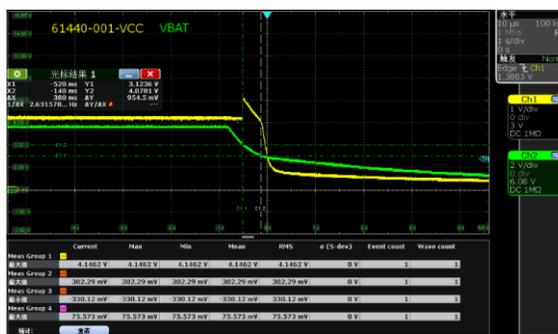


Figure 2b. 关机 Vcc 波形

这个现象其实是正常的。当 Vcc 处于欠压状态时，芯片会把 Vcc 的电压设置在比较高的值，从而让内部的 LDO 处于 dropout 的状态，也就是压差最小的状态，类似于开关导通的状态。这样器件就可以去检测这个时候 Vin 的电压值。Vin 需要达到 3.6V 时候才能退出 UVLO 的状态，如果 Vcc 一直设置在 3.3V 就看不到这个时候 Vin 的值了。为了避免增加额外电路，芯片这个时候就会把 Vcc 电压短暂地调高到 4.5V 左右，在这个过程中内部的 LDO 接近于直通，芯片就可以通过 Vcc 引脚检测到 Vin 的电压，所以这个是芯片的设计机制导致的问题。从 Vcc 管脚的规格上来说，它可以承受 5.5V DC 值，所以这个地方看到的波形是没有任何风险的。

相应的，由于 Vcc 的过冲，Vcc 是给 boot 电容充电的，在启动时候，会导致 boot-SW 的瞬态值略超过手册给的耐压值，如下波形中看到的尖峰，该尖峰是没有问题的。



Figure 3. 启机时候 boot-SW 的波形

3 LM61440 频率折返

该器件采用峰值电流控制，理论上来说是一个定频的控制架构。但根据实际的需求，该器件有不同的工作状态，内部会有一个频率折返（frequency foldback）的机制。

- **PFM 模式。** 如果是 **auto mode**，当器件处于轻载的时候，频率就会降低从而降低功耗。该器件是峰值电流型控制，轻载时会会有一个最小的峰值电流门限，也有最小的导通时间的要求。为了维持输出就需要降低开关频率，延长关断时间，来维持输出。具体参考手册 9.4.3.2 描述。
- **Minimum ON Time 模式。** 当器件输入输出压差很大的时候，当触碰到最小开通时间，为了能够维持输出，会进入谷底电流控制，增加下管开通时间，会降低开关频率。参考手册 9.4.3.4 描述。
- **Dropout 模式。** 当器件输入输出压差很小的时候，触碰到最小关断时间，为了能够维持输出，会增加导通时间（最大值为~9us），直到达到所需的电感电流峰值，此时开关频率降低。具体参考手册 9.4.3.5 描述。

由于开关频率在不同工况下的变化的机制，在一些场景下，会看到输出电压的过冲，具体分析如下。

3.1 输入电压掉电时，输出过冲

在做反复上下电实验的时候，发现当输入电压跌落时，会看到输出电压有过冲。该应用中输入电压标称值为 12V，输出电压设定为 3.3V，负载为空载。此时芯片已经处于 PFM 工作模式，

Fig4a 可以看到红色方框圈起来的部分，输出电压有一个小的过冲，Fig4b 对输出电压采用了 AC 耦合的测量，可以更加明显的看到输出的过冲。进一步观察，会看到过冲发生在输入电压与输出电压比较接近的时候，同时 SW 的开关频率看起来有一些变化。



Figure 4a. Vin 跌落时，Vout 出现过冲
Ch1=Vin, Ch2=SW, Ch3=Vout (DC)



Figure 4b. Vin 跌落时，Vout 出现过冲
Ch1=Vin, Ch2=SW, Ch3=Vout (AC 耦合)

通过进一步放大波形可以看到，在输出过冲发生前后开关频率是有比较明显的变化。如前所述，当输出电压接近输入电压时，为了维持输出电压，占空比会达到最大，而当最大占空比无法维持输出电压时，就会进入频率折返状态，开关频率进一步降低，等效占空比变大，导致输出出现了一些过冲。



Figure 5. 输出发生过冲时候的放大波形

基于如上的分析，如果输出有一定的负载，那么就可以把能量消耗掉，从而降低输出过冲的幅值。如下波形可以看到当输出电流为 0.5A 时候，输出电压的过冲就有显著的下降。所以这个现象是一个正常现象，可以通过增加假负载来减小输出过冲。



Figure 6. 输出电流 0.5A 时候输出电压过冲波形

3.2 输入电压快速回调时，输出过冲

实际测试中会去模拟电压不同程度跌落的测试，来看恢复过程中是否有问题。在这个测试中，发现当输入电压跌落到接近输出电压设定值，此时器件仍然工作，然后输入电压快速回调（斜率大于 10V/ms），此时输出电压会出现过冲，参考 Fig7 中蓝色方框。



Figure 7. 输入电压不同程度跌落测试(ch1=Vin, ch2=SW,ch3=Vout, Iout=0.9A)

进一步分析展开波形可以看到，开关频率发生了变化。当输入电压接近输出电压时，为了维持输出电压，开关频率会降低，此时接近进入低压差模式，此时内部的补偿 comp 引脚饱和。当输入电压以非常快的斜率回调的时候，环路响应需要一定时间，输入电压很快就恢复到一个比较高的值，此时芯片检测到输入输出压差足够大了，就恢复到了正常的开关频率。因为此时负载电流很小，然后就又逐渐恢复到轻载模式，所以会看到又进入了二极管模式，然后进入了 PFM 模式。

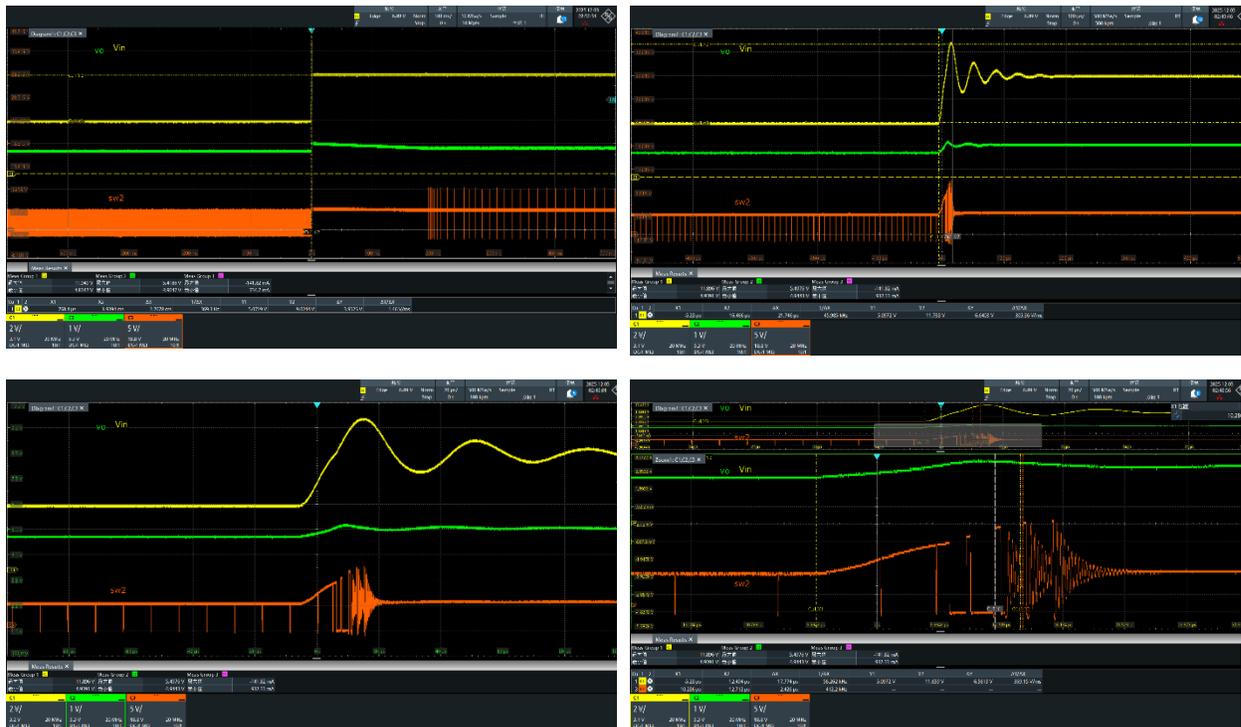


Figure 8. 输入电压快速回调时逐渐展开波形(ch1=Vin, ch2=Vout,ch3=SW)

所以在场景中，由于开关频率在调节同时环路调节也需要时间，会产生一定的过冲。当输出电容增大时，给电容充电时间会变缓，所以会对过冲有一定的改善。

从上面两个案例可以看到，开关频率调节的机制相比于传统的定频控制能够带来很多好处，但同时一些场景中会给输出带来一定的过冲，所以在系统中，需要在负载处留一定的电压余量，以保证系统安全的运行

4 结论

本文结合芯片设计机制，分析了实际测试的波形。其中，Vcc在启动和关断时候看到的过冲是正常的现象，这个在数据手册中并未体现，这边给出了说明。该器件利用了频率折返的机制来实现轻载高效，高输入输出变比，极低输入输出比的特性，但会导致实际工况中在输入下电者快速回调场景中输出产生一定的过冲。本文分析了过冲产生的原因，并给出了一定的优化方法，对实际应用提出了需要考量的点。

5 参考文献

1. Datasheet “[LM61440-Q1 Automotive 3-V to 36-V, 4-A, Low EMI Synchronous Step-Down Converter datasheet \(Rev. C\)](#)”
2. Application Note “[LM61460-Q1 EVM User's Guide \(Rev. D\)](#)”

重要通知和免责声明

TI“按原样”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、与某特定用途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、安保法规或其他要求。

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 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 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。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月