

## 扩展 TPS61288 输入电压 $V_{in}$ 范围的外围电路配置方法

Owen Yan

North West China OEM Team

### 摘要

Boost 电路作为核心直流升压器件，市场需求随能源效率需求增长稳步攀升，核心应用覆盖电池供电设备、LED 驱动、便携式电子设备及新能源领域，可将低电压升至设备所需电压，既保障设备稳定运行，又提升能源利用效率，如在国家电网的单相表、三相表和集中器的应用中，若遇到电网的大规模停电，内部的超级电容可以通过 Boost 电路来为设备供电，将故障的异常信息及时上传到国家电网的主站，为后续及时检修提供了保障。

本文主要研究在 TPS61288 输入电压范围不够低的情况下，如何通过外围电路的简单设置，降低 TPS61288 的输入电压范围，降低超级电容的放电电压，来充分利用超级电容的能量。

### 目录

1	应用场景简介.....	1
2	市场方案对比.....	2
3	TPS61288 外围设置方法分析 .....	3
4	TPS61288 EVM 验证及波形 .....	6
5	小结 .....	8
	参考文献 .....	8

### 图例

图 1	国网用电设备典型供电框图.....	2
图 2	TPS61288 内部框图 .....	4
图 3	TPS61288 参考电路图 .....	4
图 4	TPS61288 外围修改方法 .....	5
图 5	TPS61288 EVM 修改方法.....	6
图 6	空载开机波形 .....	6
图 7	空载备电波形 .....	7
图 8	0.5A 负载开机波形.....	7
图 9	0.5A 负载备电波形.....	8

### 表例

表 1	TPS61288 同等级芯片参数对比.....	3
表 2	电路修改前后 chip supply 与 circuit supply 对比 .....	5

## 1 应用场景简介

在国家电网的用电侧设备中，如电表、集中器，国网规范中通常会要求设备在国网掉电后仍能工作 60s，将故障信息上报。因此掉电后要求可靠的电源来维持设备工作，若选择干电池，则一段时间后要求全部更换，会造成人力物力的浪费，boost+超级电容的备电组合，被广泛应用。当用电设备正常工作，为超级电容充电；当电网停电，启用 boost+超级电容电路，实现 60s 备电时间，满足国网要求。

为了降低成本，减少体积，客户倾向于选择容量刚好的超级电容，提高性价比，这就要求 Boost converter 有足够低的输入电压能力，保证超级电容在更低的电压下，仍能正常工作，提高超级电容的能量利用率。一种典型的应用框图如图 1，客户一般选择 2 节或者 3 节超级电容作为输入，单节超级电容的额定电压通常为 2.7V，因此 Boost 额定输入电压通常为 5.4V 或者 8.1V，输出电压为 10.5V，该输出通过二极管串联到 12V。当 220Vac 正常供电时，12V 通过 buck 3 给超级电容 CC 恒流充电到额定电压，同时为后续负载供电，Boost 输出 10.5V 空载；当 220Vac 故障无法供电，Boost 电路满载，通过 Buck 1 为后级 MCU 保证 60s 备电，通过 4G 完成数据上传。

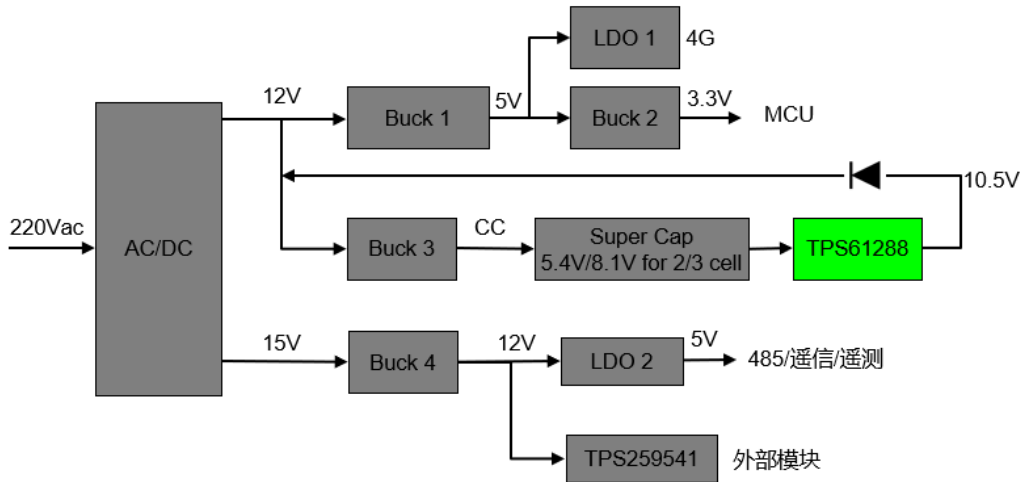


图 1 国网用电设备典型供电框图

## 2 市场方案对比

在同样的超级电容选择下，为了延长备电时间，Boost converter 的效率、开关频率以及最低输入工作电压得尤为重要，下表 1 是作者收集了在该应用下常见型号的公开信息，进行的参数对比。

	TPS61288	M公司Boost	S公司Boost
Vinmin (V)	1.8V	0.8V	2.8V
Vinmax (V)	18V	16V	16V
Vout maximum (V)	20V	18V	18V
Iq (uA)	165uA	500uA	250uA
LS Rdson (mohm)	6.5mohm	14mohm	10mohm
HS Rdson (mohm)	8.5mohm	21mohm	20mohm
Fsw (kHz)	500kHz	600kHz	0.3kHz~2MHz

**表 1 TPS61288 同等级芯片参数对比**

综上，TI TPS61288 对比同等级产品，输入电压最大值更大，可靠性高；输出电压最大值更大，抗冲击能力强；静态功耗更低，系统效率更高；上下管的  $R_{dson}$  更低，导通损耗更低，效率更高。但是，TI 输入电压的最小值为 2V，相对于 M 公司的 0.8V，有显著劣势。为了弥补该劣势，作者通过下一小节介绍的方法，将超级电容可支持的放电电压降低到了接近 0V 的理论值，分享了修改方法以及在评估版的测试波形，目前已经有国家电网客户实现了量产。

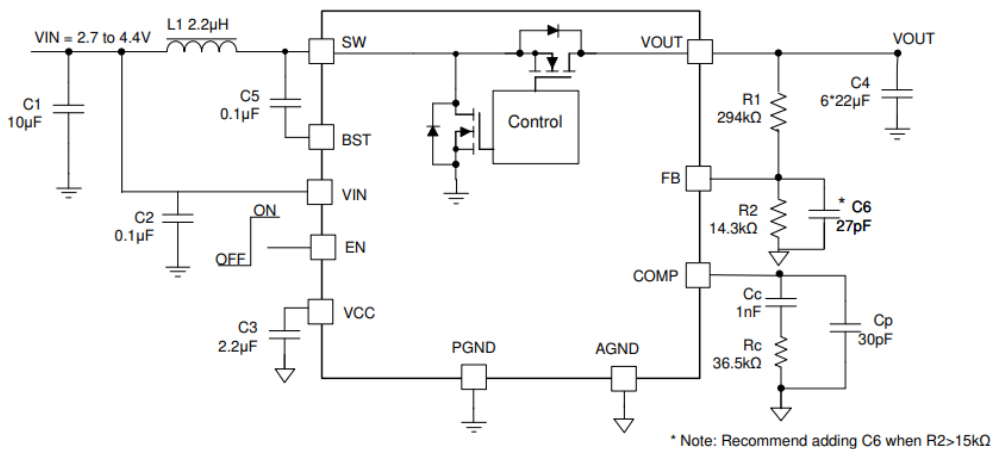
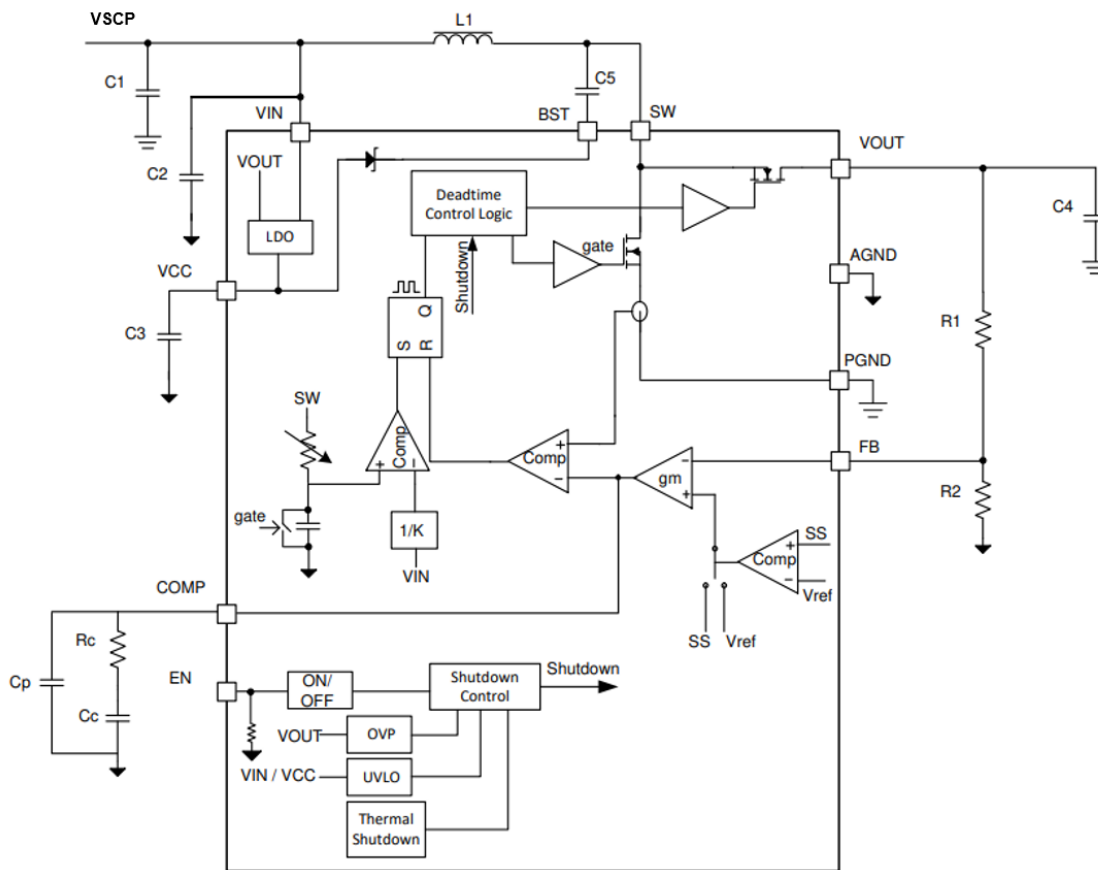
### 3 TPS61288 外围设置方法分析

TPS61288 框图内部框图如图 2，规格书中给出的参考电路图<sup>[1]</sup>如图 3，对于 TPS61288 的传统应用，上电时，当 VIN 大于 VIN UVLO rising threshold 2.3V 时，VIN 给 TPS61288 芯片本身供电，通过内部 LDO 驱动 VCC 以 2.2uF C3，TPS61288 开始进行 3ms 的软起动，此时环路闭环输出电压 VOUT 被调整到目标电压，TPS61288 内部逻辑会控制切换 VOUT 作为 LDO 的输入，继续输出 VCC 为 TPS61288 内部逻辑电路供电。

因此对于传统的 Boost 应用，VIN 有如下两个作用。而在超级电容备电时，影响超级电容最低放电电压范围的是第二个功能，试想如果通过外围电路修改，把下面这两个功能解耦，让超级电容来为 Boost 电路供电，其他稳定电源来给 Boost 芯片本身供电，就可以大大降低超级电容放电电压，因为站在 TPS61288 芯片的视角来看，只要 VIN 引脚电压稳定，是无法得知外部超级电容电压的。

1. VIN 通过电感 L1，为 Boost 电路提供能量
2. VIN 通过内部 LDO，为 Boost 芯片本身提供能量

此时我们注意到，当 TPS61288 闭环工作后，芯片本身的供电由 VOUT 经过内部 LDO 输出 VCC 提供，即使此时 VIN 接近 0V，只要能向外提供能量，理论上 TPS61288 仍能继续工作，因为芯片本身的供电由 VOUT 来保障。



结合 TPS61288 的另一个特点，上管为 N-MOS 管，体二极管由 SW 指向 VOUT，我们恰好可以利用这一点作为超级电容直接给 LDO 供电驱动 TPS61288 的关键通路。将 VIN 与 VSCP 断开，将 VIN 与 VOUT 直接短路，如图 4 中的 path 1 for chip start up，VSCP 是超级电容的电压，VIN 是 TPS61288 的 VIN 引脚电压，此时上电时序分析如下。结合图 1，当设备接入电网，12V 通过 buck 3 恒流给超级电容 C1 充电，此时电流也同时流过 L1-SW-上 MOS 体二极管-VOUT 与 VIN-内部 LDO 输入，当 VSCP 电压减去体二极管压降大于 2.3V 时，TPS61288 开始 3ms 软起，随后 VOUT 被闭环调整到目标电压，同时 VIN 电压等于 VOUT 电压，VIN 引脚耐压能力与 VOUT 相同没有过压风险，TPS61288 成功启动运行。

此时若电网停电，buck 3 停止工作，VSCP 超级电容放电同时电压降低，VSCP 通过 Path 2 给 Boost 电路供电，即使 VSCP 降低到 2V 以下，由于 VIN 与 VOUT 均大于 UVLO falling edge，Boost 电路可以一直工作，直到 VSCP 无法提供能量。

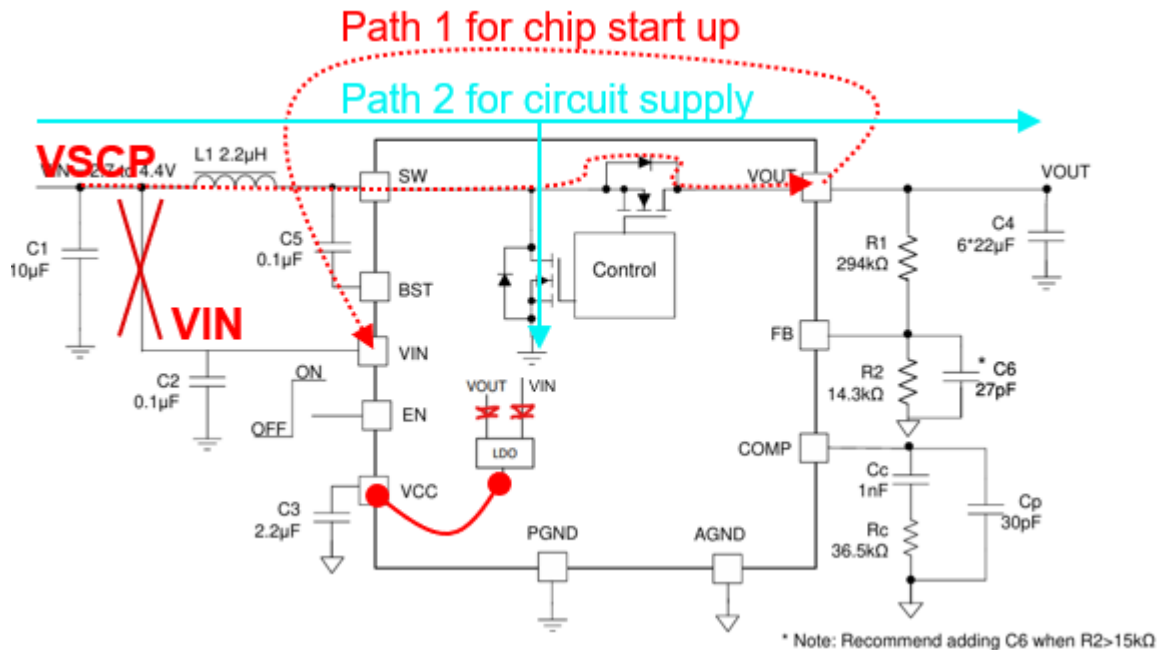


图 4 TPS61288 外围修改方法

综合以上分析，通过断开传统电路下的外围连接，把传统 VIN 的 chip supply 和 circuit supply 的功能解耦，在开机、运行、放电的状态下，这种修改方法理论上都可以正常工作，这三个阶段的 chip supply 和 circuit supply 在修改前与修改后的对比总结如下表 2。

	Start up		Operation		Supercap discharge	
	Chip supply	Circuit supply	Chip supply	Circuit supply	Chip supply	Circuit supply
Normal application	VIN	VIN	VOUT	VIN	VOUT, limited by VIN UVLO	VIN
Innovation application	VSCP->diode->VOUT->VIN	VSCP	VOUT/VIN	VSCP	VOUT/VIN, no limit	VSCP

表 2 电路修改前后 chip supply 与 circuit supply 对比

## 4 TPS61288 EVM 验证及波形

如图 5 为 EVM 原理图<sup>[2]</sup>，EVM 修改方法如红框标注，移除 JP1 跳线帽，将超级电容输入与 VIN 引脚断开；短接 JP2 跳线帽的 Pin1 和 Pin2，将 VCC 与 EN 短接；用外部导线直接把 TPS61288 的 Pin7 VIN 与 Pin5 VOUT 短接，EVM 修改完毕。

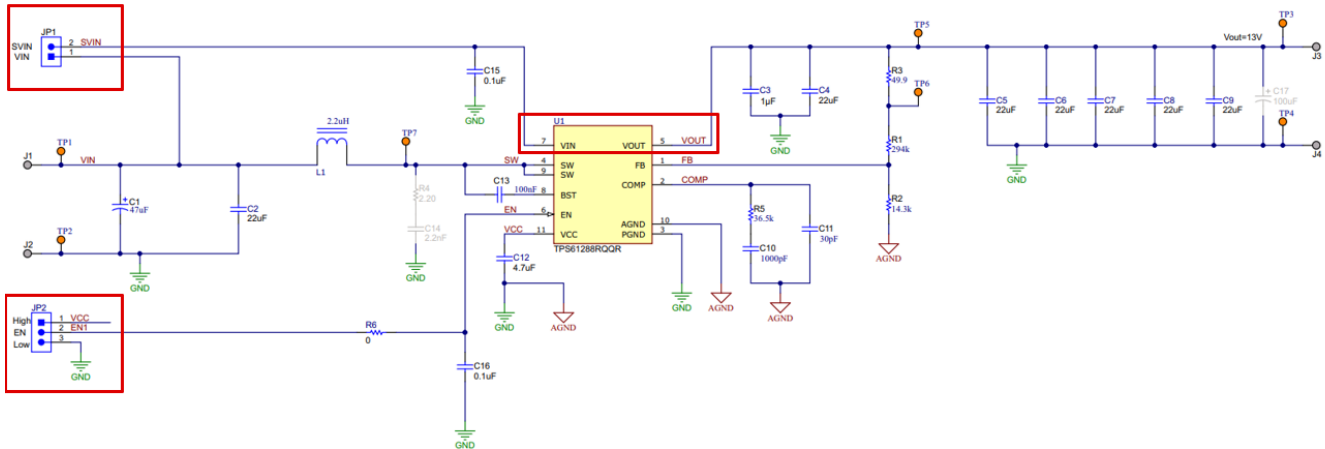


图 5 TPS61288 EVM 修改方法

空载情况下，开机波形如图 6，超级电容掉电波形如图 7，其中 VCAP 电压为超级电容电压，SW 电压为开关节点电压，VOUT 为输出电压，同时也是 Pin7 VIN 的电压。开机时，VIN 达到 2.36V 时，SW 开始软起发波，2.7ms 后输出达到设定值 13V，启动成功。掉电时，重点关注 VCAP 电压，当 VCAP 达到 1.8V 时，SW 仍在发波，输出电压仍维持在 13V，直到 VCAP 接近 0V，SW 停止发波，与第 3 节理论分析一致。

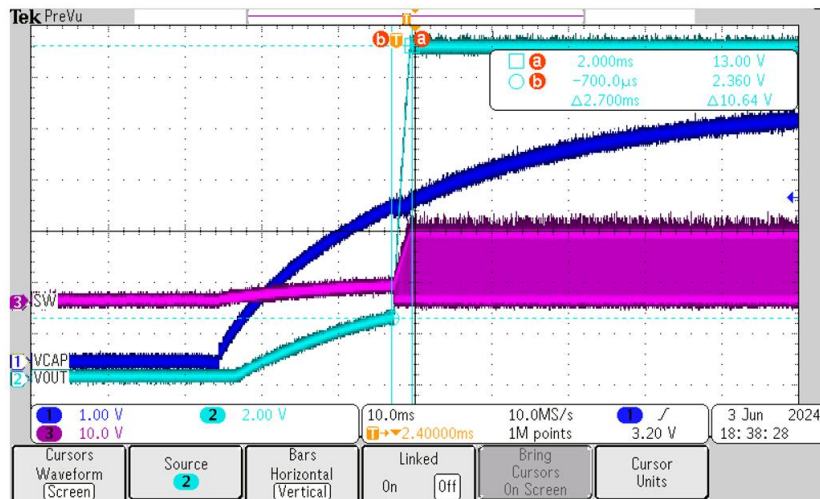


图 6 空载开机波形



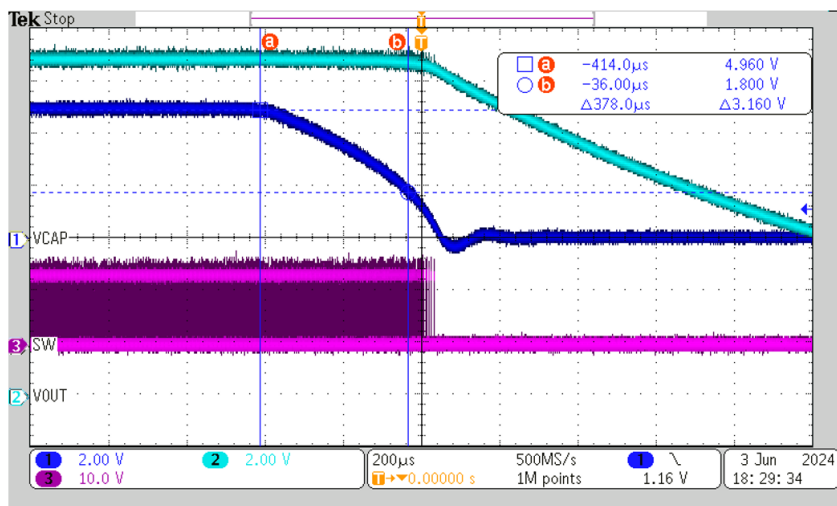


图 7 空载备电波形

0.5A 带载情况下，开机波形如图 8，超级电容掉电波形如图 9，开机时，VIN 达到 2.32V 时，SW 开始软起发波，2ms 后输出达到设定值 13V，启动成功。掉电时，重点关注 VCAP 电压，当 VCAP 达到 1.8V 时，SW 仍在发波，输出电压仍维持在 13V，直到 VCAP 接近 0V，SW 停止发波，与第 3 节理论分析一致。

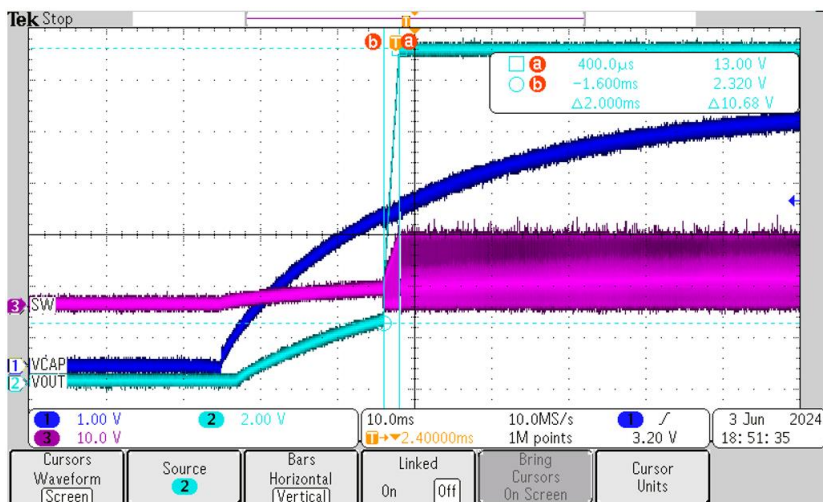


图 8 0.5A 负载开机波形

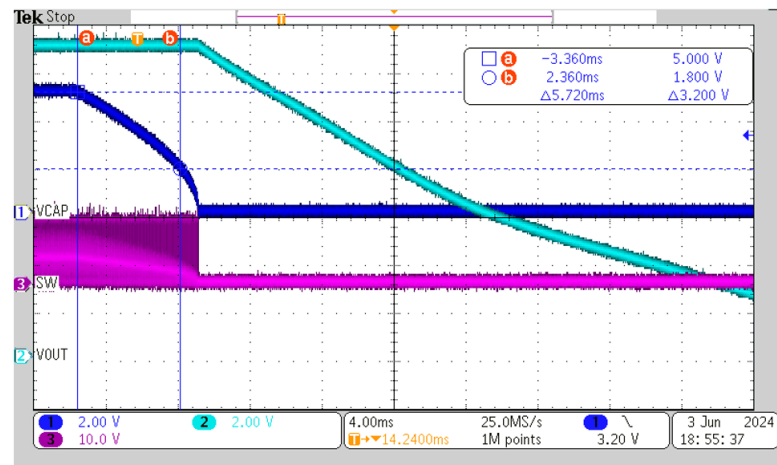


图 9 0.5A 负载备电波形

## 5 小结

本文介绍了国家电网用电设备的典型供电架构，详细阐述了国网用电设备对于备电的广泛需求，对比了 TPS61288 以及市面同等级 Boost 的优劣势，分析了如何通过修改外围电路来弥补 TPS61288 输入电压最小值过高的问题，并给出了 TPS61288 EVM 修改建议以及最终测试波形，理论分析与实际波形一致，目前已有国网客户遵循此方法实现了量产，为后续设计者提供了思路。

## 参考文献

- [1]. TPS61288 Datasheet. [TPS61288 18-V, 15-A, Fully Integrated Synchronous Boost Converter datasheet \(Rev. C\)](#)
- [2]. TPS61288 EVM user guide. [TPS61288EVM-064 Evaluation Module User's Guide \(Rev. A\)](#)

	Start up		Operation		Supercap discharge	
	Chip supply	Circuit supply	Chip supply	Circuit supply	Chip supply	Circuit supply
Normal application	VIN	VIN	VOUT	VIN	VOUT, limited by VIN UVLO	VIN
Innovation application	VSCP->diode->VOUT->VIN	VSCP	VOUT/VIN	VSCP	VOUT/VIN, no limit	VSCP



## 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 © 2025，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月