

一种基于 TPS61022 的智能电表无线模块的备份电源方案

Jing Ji

Boost Converter & Controller Solutions

摘要

智能电表具有测量用电量和电网检测的重要作用。智能电表会与中央控制器进行数据传输，一般会通过 PLC 电力载波传输，或者是 GPRS, 3G, LTE 无线的传输方式。在美国，欧洲和印度等国家，智能电表会有断电上报功能，即当电网断电时，可以存储数据并且将最后的数据和断电情况发送给电网。这对电网的安全性有很重要的作用。因为无线发射模块所需要的功率较大，这给智能电表的设计带来了挑战。

本篇应用手册给出了一种基于 TPS61022 升压芯片的智能电表无线模块备用电源方案。可以帮助智能电表的设计者节约整体的成本约 48%，提高整机的效率约 5~15% 并且延长电表备用超级电容的寿命约 50~20%。

目录

1	智能电表无线模块电源简介	2
2	智能电表的无线模块的备用电源解决方案	3
2.1	两节超级电容串联直接供电方案	3
2.2	一节超级电容加 TPS61022 升压芯片供电方案	4
2.3	两种方案对比	5
3	电路关键参数设计	6
3.1	输出电压设计	6
3.2	超级电容放电截止电压	6
4	测试波形	7
4.1	效率曲线	7
4.2	温升情况	7
4.3	波特图 8	
4.4	动态特性	9
4.5	主电源和备用电源间的切换	9

图

图 1.	智能电表无线模块的电源轨典型框图	2
图 2.	智能电表无线模块的电源轨典型框图	3
图 3.	常见串联超级电容均压电路	4
图 4.	单节超级电容加升压芯片 TPS61022 的备份电源方案电路图	5
图 5.	备份电源效率曲线	7
图 6.	温升成像图	8

图 7.	波特图 ($V_{in}=2.7V$ $I_{out}=2A$)	8
图 8.	波特图 ($V_{in}=1.5V$ $I_{out}=2A$)	9
图 9.	动态特性 ($V_{in}=2V$)	9
图 10.	主电源和备用电源间的切换.....	10

表

表 1.	不同均压策略的超级电容寿命降额和效率.....	4
表 2.	两种不同的无线模块备用电源方案进行对比.....	5

1 智能电表无线模块电源简介

如图 1 所示，为智能电表无线模块的电源轨典型框图。无线模块（GPRS/LTE）有两个供电的电源轨。当电网有电时，通过电网直接取电，先经过 AC/DC 电路得到一个 12V 左右的直流电，再通过一个降压电路（TPS62160）降到 4V 给 GPRS 模块。当电网掉电时，备用电源轨会通过超级电容给无线模块供电。一般海外电表的掉电备份需求是，电网断电开始，电表可以支持 1 分钟的无线通信，将数据传输出去。

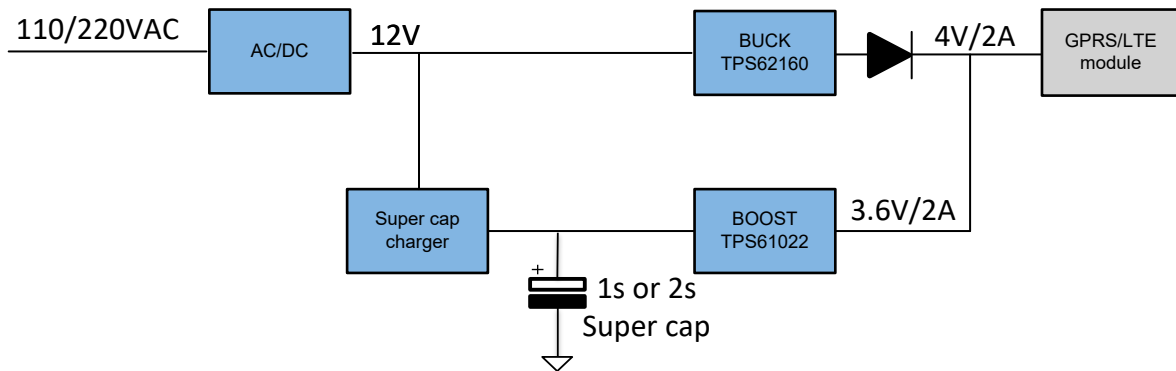


图 1 智能电表无线模块的电源轨典型框图

常用的无线传输需要的供电电压为 4V（3.3V~4.2V），需要的电流为脉冲电流如图 2 所示。当无线模块传输数据时，脉冲电流的峰值会高达 2A，持续时间大约为 577us，周期大约为 4.615ms，电流平均值大约为 300mA，平均输出功率为 1.2W。

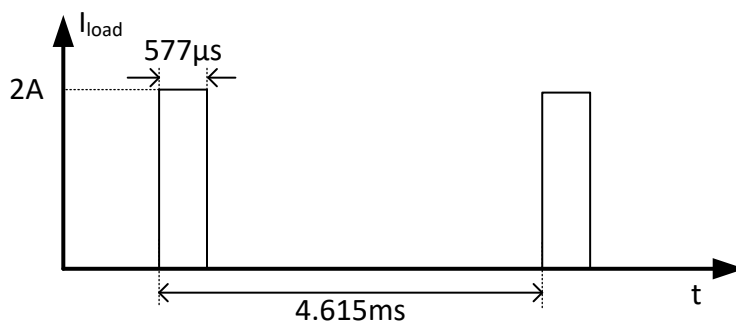


图 2 智能电表无线模块的电源轨典型框图

2 智能电表的无线模块的备用电源解决方案

2.1 两节超级电容串联直接供电方案

目前，智能电表的无线模块的备用电源常采用超级电容。单节超级电容的电压最高位 2.7V，所以有些电源方案会采用两节超级电容串联来给无线模块供电。但是，超级电容串联会降低容值，增加 ESR，同时需要均压电路。

为了满足可以支持无线模块 1 分钟工作的要求，计算所需的超级电容容值。

假设两节串联的超级电容从 5V 放电到 3.6V 结束。平均输出功率为 1.2W。

根据能量守恒，电容的输出能量等于无线模块所需的能量，得公式

$$\frac{1}{2} * C * (U_1^2 - U_2^2) = P * t$$

其中，

C: 备份的超级电容容值。

U₁: 超级电容开始放电的起始电压，5V。

U₂: 超级电容放电的终止电压，3.6V。

P: 无线模块工作的平均功率，1.2W。

t: 备份时间，60s。

可得

$$C = \frac{2 * P * t}{U_1^2 - U_2^2} = \frac{2 * 1.2 * 60}{25 - 12.96} = 12F$$

同时考虑有 +/-20%容值的变化。所以，需要采用两颗 35F 的超级电容串联，有效容值 17.5F。

另外，采用超级电容串联，需要增加均压电路。因为即使对于同一批次的超级电容，电容容量，ESR 和漏电流都是有一定的容差的。这会造成在串联的过程中，两个超级电容的电压不均。一个电容的电压低，一个电容的电压高。超级电容的端电压超过限值，会严重影响寿命，严重的甚至会爆炸。

常见的超级电容均压电路如图 3 所示。图 3 (a) 为串联电阻的均压方式，这种方法电路简单并且成本较低，但是会带来持续的电流消耗，对于整体的效率影响较大。同时，建议使用阻值较小的电阻，这样可以获得较快的均压响应速度。均压电阻的阻值越小，均压的反应速度越快，但是电路的损耗越大。设计中需要平衡均压速度和电阻损耗。图 3 (a) 为有源的均压方式，加入一个运放，电路稍微复杂，效率较串联电阻的方式好。

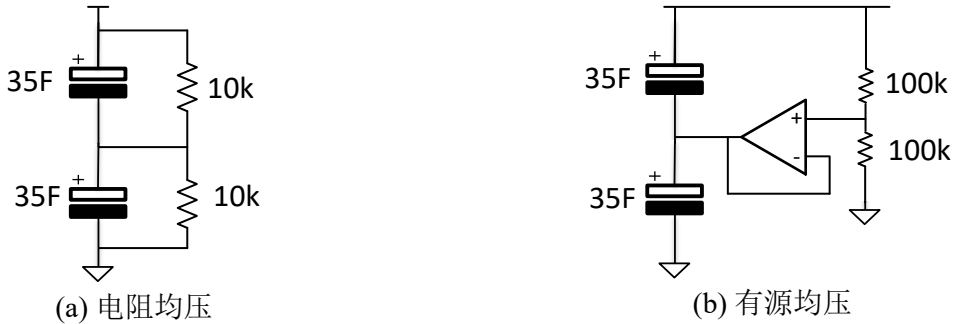


图 3 常见串联超级电容均压电路

可以通过典型的超级电容寿命估算公式 (Eyring's law) 估计超级电容的寿命降额。Eyring's law 的大致内容是：

在特定的电压范围内，超级电容的端电压每降低 0.2V，寿命延长 2 倍。

超级电容的端电压每超过限值 0.1V，寿命减少一半。

可得不同均压策略的寿命降额和效率表格，如表 1 所示。

表 1. 不同均压策略的超级电容寿命降额和效率

	没有均压	电阻均压	有源均压	单个超级电容
寿命降额	20~50%	50~80%	90~95%	~100%
效率	100%	70~80%	90~95%	~100%

两节超级电容串联直接供电方案的优点是电路简单，不需要加额外的 DC/DC 电路；缺点是超级电容的能量利用的补充分，只利用了大概 42%，同时还需要均压电路，这会带来额外的损耗，同时串联应用不利于超级电容的寿命。

2.2 一节超级电容加 TPS61022 升压芯片供电方案

针对智能电表备份电源的设计，我们推荐使用单节超级电容加 TPS61022 升压芯片的备用电源方案，应用框图如图 1 所示，具体的电路图如图 4 所示。超级电容的可用能量与放电截止电压相关，TPS61022 的输入电压可以低到 0.5V，使得我们可以尽量多的利用超级电容的能量。

工作原理为当主电路的有电时，会有一个 4.7V 的电源经过二极管给无线模块供电，此时加在 TPS61022 的输出为 4V（4.7V 减去二极管压降 0.7V）。因为 4V 高于 TPS61022 的 PFM 模式的工作限值 3.636V（1.01*3.6V），TPS61022 关闭上管和下管。当主电源掉电，即没有 4.7V 电源轨，当 TPS61022 的输出电压降低到 PFM 模式的工作限值 3.636V 以下，TPS61022 开始工作，保证输出电压稳定在设定值 3.6V。为了保证备用电源方案可以支持无线模块工作 1 分钟，计算所需的超级电容值。

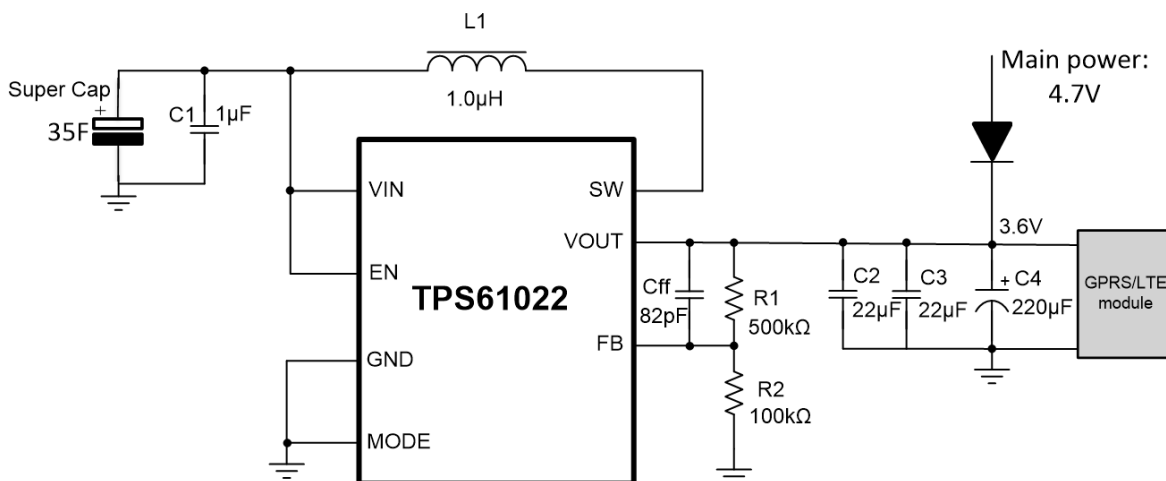


图 4 单节超级电容加升压芯片 TPS61022 的备份电源方案电路图

假设一节超级电容从 2.7V 放电到 1.2V 结束。平均输出功率为 1.2W。

$$C = \frac{2 * P * t}{U_1^2 - U_2^2} = \frac{2 * 1.2 * 60}{7.29 - 1.44} = 24F$$

同时考虑有 +/-20% 容值的变化，可以采用一颗 35F 的超级电容。

2.3 两种方案对比

通过将两种不同的无线模块备用电源方案进行对比，可以看出采用升压芯片 TPS61022 加单节超级电容的方案比两节超级电容串联的方案好处是成本更低，大约降低 48%。同时，电容的寿命提高 20~50%，整机的效率也提升了 5~15% 左右。

表 2. 两种不同的无线模块备用电源方案进行对比

	TPS61022+单节超级电容	两节超级电容串联
超级电容	35F	35F+35F
可用能量	102J	105J
升压电路	TPS61022 + 1uH 电感	无
均压电路	无	电阻均压或有源均压
成本估计 ⁽¹⁾	\$5.49 (-48%)	\$8.1
超级电容寿命	~100%	50~80% ⁽²⁾
整体效率估计	75%~95%	70~80% ⁽³⁾

备注:

(1) 成本估计主要考虑了超级电容 (HB1635-2R5356-R \$4.05), 升压芯片(TPS61022 \$0.65)和电感(XEL4030-102MEC \$0.79)的价钱。按照 1k 的单价进行估算。

(2) (3) 超级电容寿命和整体效率估算按照电阻均压的方式进行估算。

3 电路关键参数设计

3.1 输出电压设计

电路有两个输出电压, 一个是主电源在时, 给无线模块供电的电压 (V_1); 另外一个主电源掉电时, TPS61022 的输出电压 (V_2)。为了保证在主电源在时, TPS61022 进入 PFM, 上管和下管均关断。需满足公式

$$V_1 > 1.01 * V_2$$

同时, 还需考虑 V_1 , V_2 满足无线模块的供电电压范围和动态响应时的过冲和跌落。所以, 在本设计中, 选取 $V_1=4V$, $V_2=3.6V$ 。

TPS61022 的输出电压是通过 FB 引脚的分压网络设置的。当电路稳定工作时, FB 引脚的电压等于基准电压(V_{REF})。所以, 可以得到分压电阻需要满足的公式为:

$$R_1 = \left(\frac{V_2}{V_{REF}} - 1 \right) * R_2$$

为了保证比较好的电路精度, 建议 R_2 的值比 300k Ω 小, 这样可以保证流过 R_2 的电流是大于 FB 引脚电流的 100 倍。在本设计中选择, $R_2=100k\Omega$, $R_1=500k\Omega$ 。

3.2 超级电容放电截止电压

根据 TPS61022 的数据手册, TPS61022 的电感电流谷值典型值为 8A, 最小值为 6.5A, 最大值为 10A。

电感电流谷值的计算公式:

$$I_{SW_VALLEY} = I_{in} - \frac{1}{2} \Delta I_{L(P-P)}$$

其中:

I_{in} 为输入电流, 可以通过 $I_{in} = \frac{I_{out}}{1-D}$ 计算

$\Delta I_{L(P-P)}$ 为电感电流峰峰值, 可以通过 $\Delta I_{L(P-P)} = \frac{V_{in} * D}{L * f_s}$ 计算

占空比 D , 可以通过 $D = 1 - \frac{V_{in} * \eta}{V_2}$ 计算

为了保证输出电压为 3.6V，输出电流 2A。计算得输入电压约为 1.2V 时，电感电流的谷值约为 6.5A。输入电压约为 1V 时，电感电流的估值约为 8A。为了保证在所有情况下均不触发电感电流限值，设置超级电容放电最低电压为 1.2V。

4 测试波形

4.1 效率曲线

从图 5 效率曲线中可以看出，备份电源可以支持输入从 1.2V 到 2.7V 输入，输出电压 3.6V 输出电流 2A。整机效率最高达 97%。

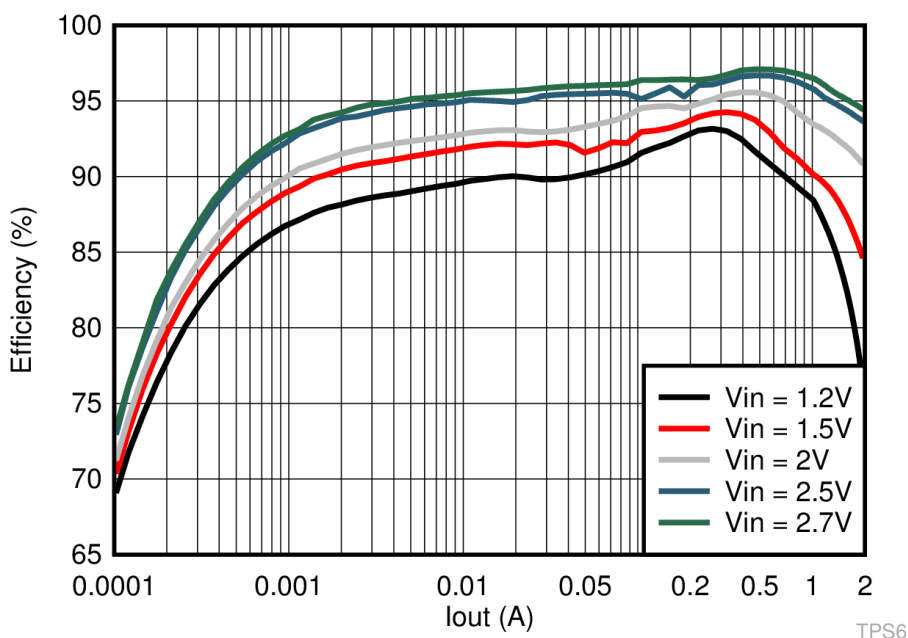
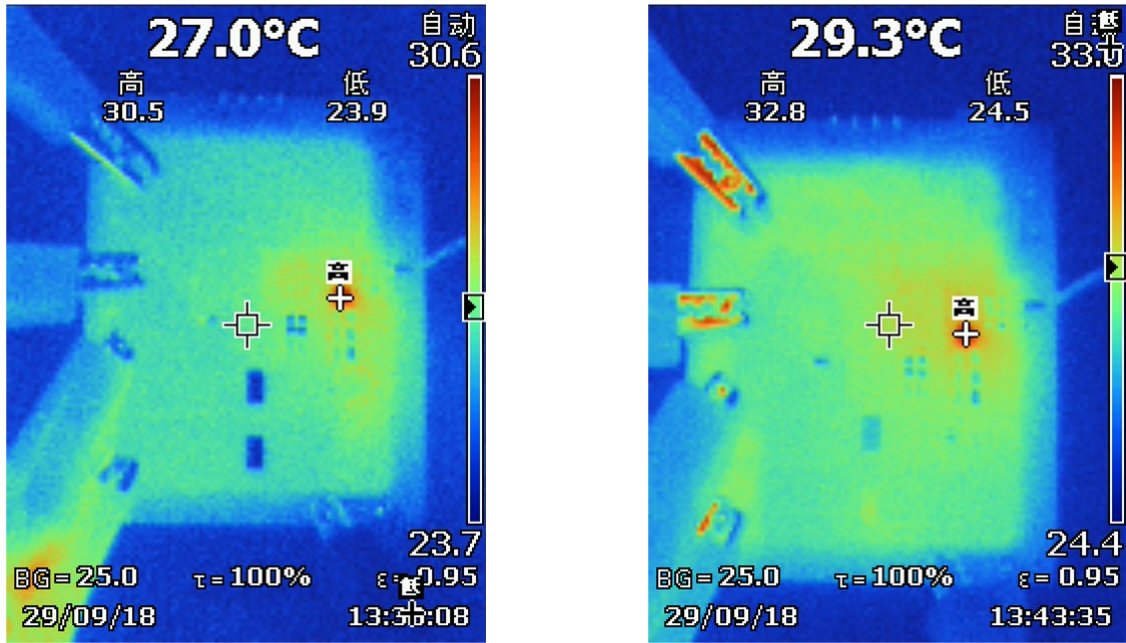


图 5 备份电源效率曲线

4.2 温升情况

从图 6 中可以看出，芯片在输入 2.7V 下的温升为 6.6°C (30.9°C-23.9°C)，在输入电压为 1.5V 下温升 8.6°C (32.8°C-24.5°C)。



(a) Vin=2.7V Vout=4V Iout=2A(pulse)

(b) Vin=1.5V Vout=4V Iout=2A(pulse)

图 6 温升成像图

4.3 波特图

从图 7 可以看出在 Vin=2.7V Iout=2A 的条件下，相位裕度 87°，幅值裕度 18dB。从图 8 中可以看出在 Vin=1.5V Iout=2A 的条件下，相位裕度 65°，幅值裕度 16dB。芯片工作稳定。

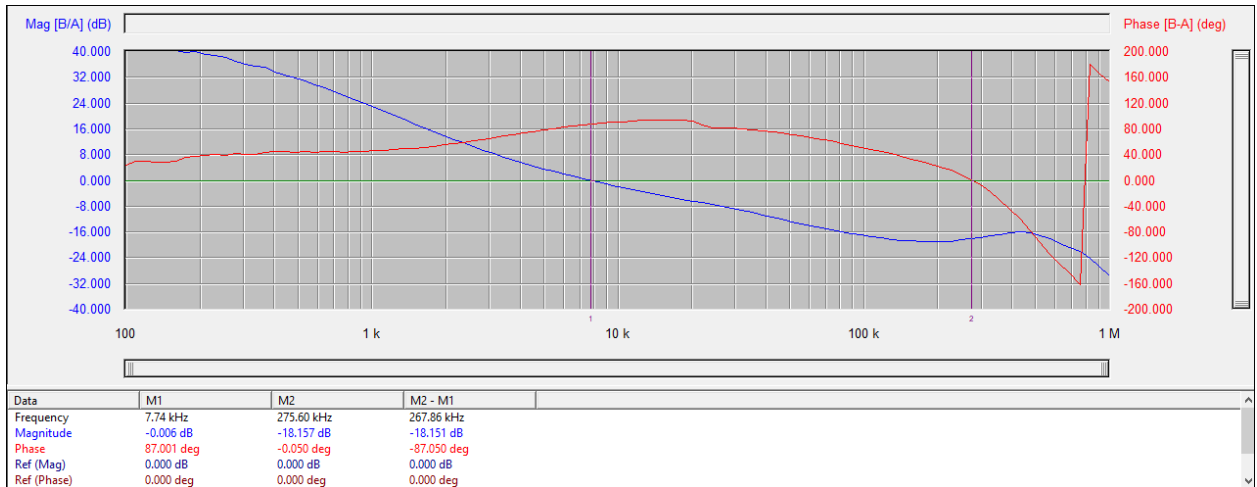


图 7 波特图 (Vin=2.7V Iout=2A)

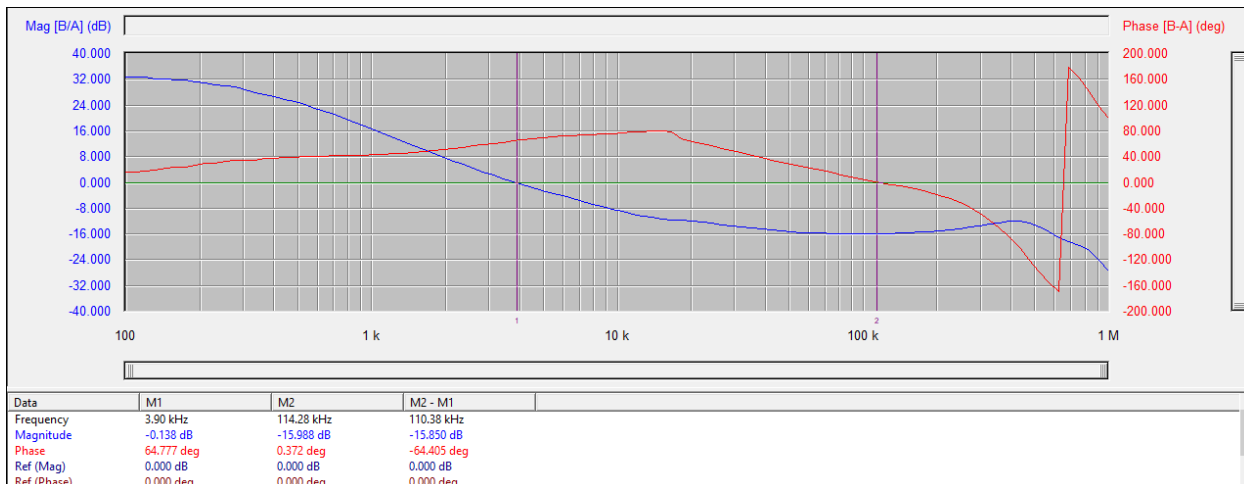


图 8 波特图 (Vin=1.5V Iout=2A)

4.4 动态特性

从图 8 的负载跳变动态波形图中可以看出，当负载电流从 0A 跳变到 2A 时，TPS61022 的输出电压的跌落和过充约为 200mV。

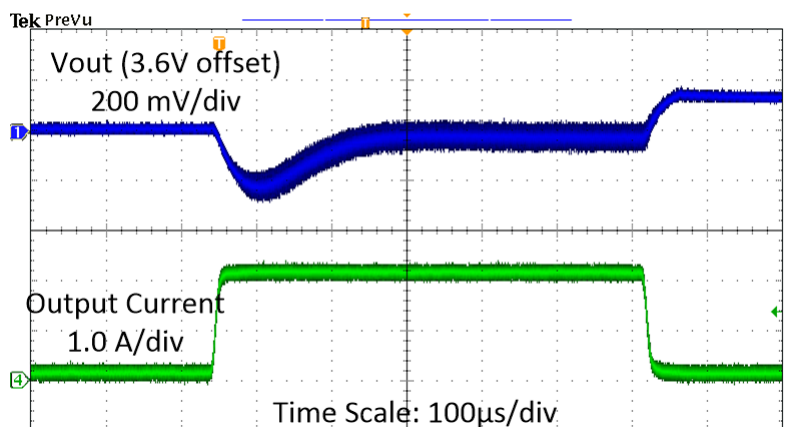
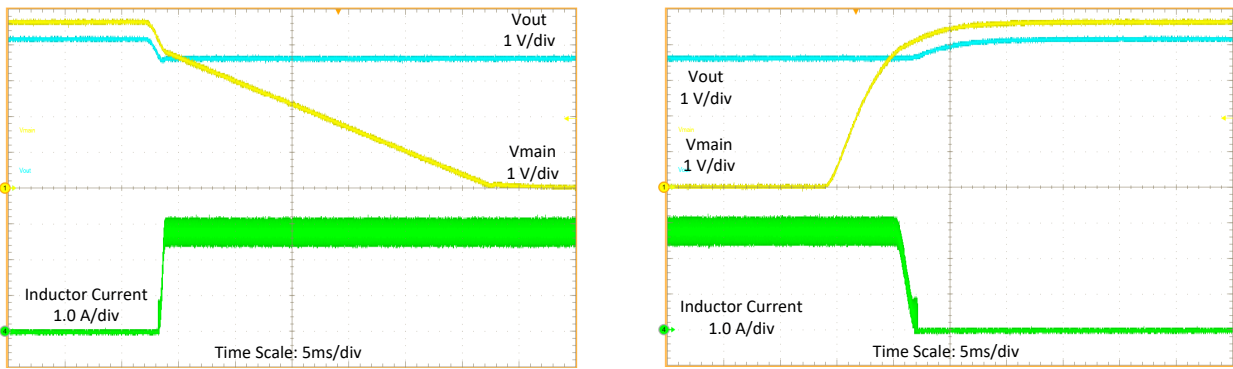


图 9 动态特性 (Vin=2V)

4.5 主电源和备用电源间的切换

图 9 所示为主电源和备用电源间的切换波形，可以看出在主电源掉电或者是上电的过程中，给无线模块的供电均没有中断，TPS61022 的备份电路可以很好的衔接上。



(a) 主电源掉电瞬间波形

(b) 主电源上电瞬间波形

图 10 主电源和备用电源间的切换

引用

1. <https://passive-components.eu/when-one-supercapacitor-is-not-enough-modules-and-balancing/>

重要声明和免责声明

TI 均以“原样”提供技术性及其可靠性数据（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