

# 具有高效率电荷泵 (Charge Pump Charger) 充电系统介绍

Hisen Zhang

South China OEM Team

## Abstract

随着消费电子智能手机，移动设备对于电池容量的需求越来越大，人们对充电体验的要求也越来越高。充电体验不仅包括充电速度还包括充电时的发热控制，因此就需要一种能够支持既能够大电流充电又能够高效的充电方案。本应用文档主要介绍了以 bq25970 主要核心充电 IC 的器件在系统应用中的优势以及支持适配器输出电压过压保护功能 (VAC OVP)。

## Contents

1 bq25970 的系统架构介绍 .....	2
2 bq25970 相比于前一代闪充 IC bq25872 的优势 .....	3
3 bq25970 适配器输出电压过压保护功能 (VAC_OVP) 介绍 .....	7
4 总结 .....	8
5 参考文献 .....	8

## Figures

Figure 1. bq25970 的系统架构的框图 .....	2
Figure 2. bq25970 的充电流程图 .....	3
Figure 3. bq2587x Flash Charger 系统等效框图介绍 .....	4
Figure 4. bq25970 Charge Pump Charger 充电系统等效框图介绍 .....	4
Figure 5. 系统功耗对比 .....	6
Figure 6. 移动设备端功耗对比 .....	6
Figure 7. bq25970 VAC OVP 功能和外置 OVP 保护器件的对比 .....	7
Figure 8. bq25970 适配器输出电压过压保护功能波形图 (VAC_OVP) .....	8

## Tables

Table 1. bq25970 充电系统工作状态的总结 .....	3
Table 2. bq25872 充电系统功耗计算 .....	5
Table 3. bq25970 充电系统功耗计算 .....	5
Table 4. bq25872 移动设备端功耗计算 .....	5
Table 5. bq25970 移动设备端功耗计算 .....	5
Table 6. bq25970 系统对比优劣势 .....	7

## 1 bq25970 的系统架构介绍

### Simplified Application

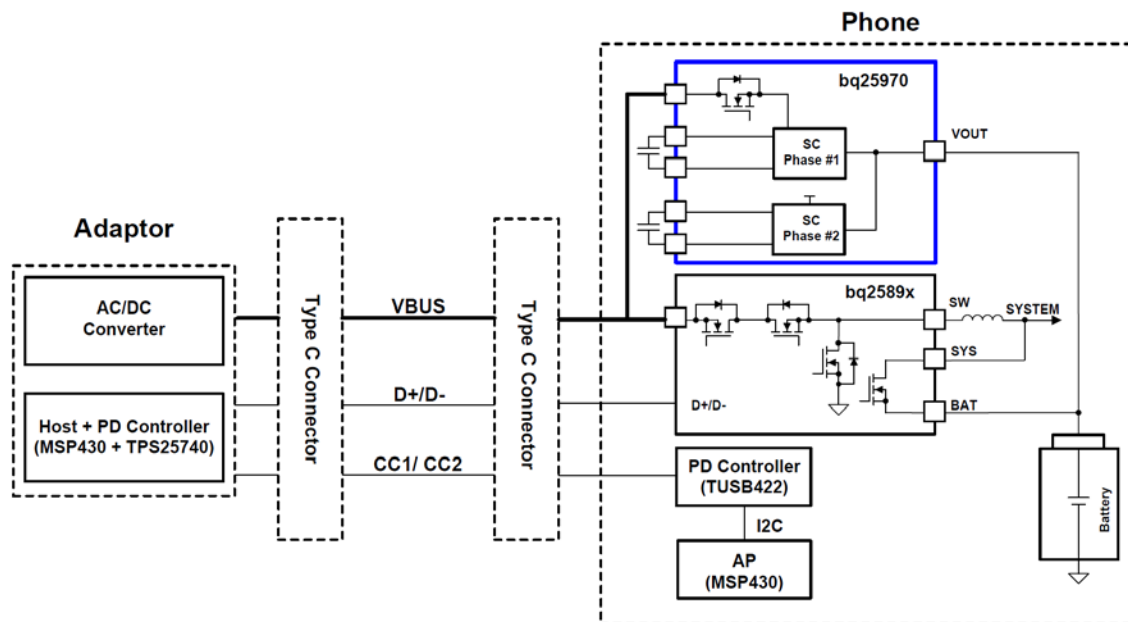


Figure 1. bq25970 的系统架构的框图

移动设备对充电体验要求越来越高，因此对移动设备充电的速度以及发热控制有着更加严格的要求。这就需要在即追求充电速度的同时也要满足移动设备端对发热的严格控制，因此在新一代移动设备的充电系统设计中高效率充电 IC 也提出了新的挑战。bq25970 就是以其 97% 左右的超高效率来解决此挑战的。基于 bq25970 的充电 IC 是需要移动设备和充电设备配合协同进行充电的。如 Figure 1 所示，介绍了 bq25970 在系统端所需要的连接关系，以及对系统的要求。如 Figure 2 所示，移动设备通常的充电逻辑分为三个阶段，预充阶段，恒流快充阶段，恒压阶段。其预充过程和最后的恒压充电过程主要有 Figure 1 框图所示的 bq2589x 来完成，其原因是 bq2589x 这一类 Buck 类充电 IC 能够支持固定输入电压的恒压充电模式和预充电模式。由于 bq25970 的工作原理是一个开环的电荷泵 (Charge Pump) 其本身不具备一般 buck 类充电 IC 稳压功能，因此恒流充电阶段和部分恒压充电阶段则需要 AP 或 MCU (MSP430) 通过 USB PD 的协议来协商适配器端输出的电压值配合 bq25970 进行正常充电。当适配器电压调节到高于电池电压 2 倍的电压时，bq25970 就能够进行正常的恒流恒压充电。在 bq25970 规格书中有对这个充电流程的详细描述，可以查看规格书中关于电池充电流程的章节。

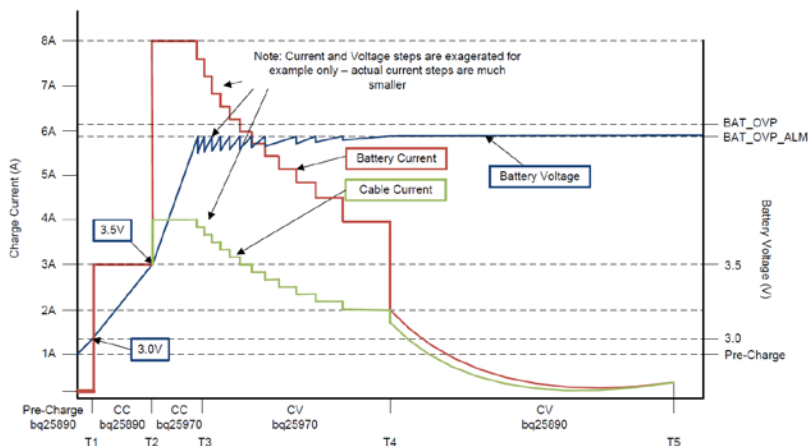


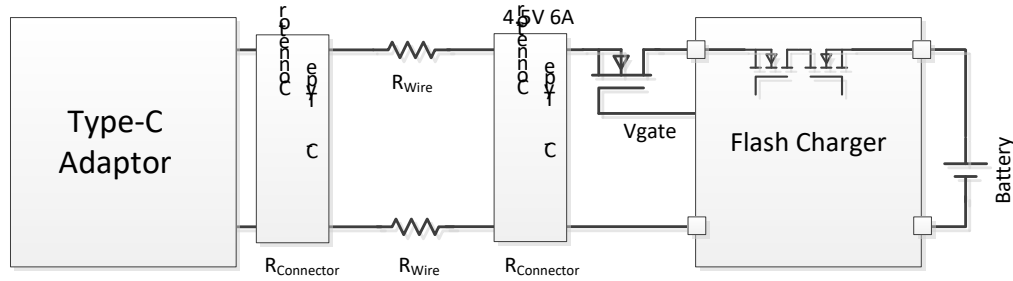
Figure 2. bq25970 的充电流程图

Table 1. bq25970 充电系统工作状态的总结

充电	电池电压	系统充电状态
预充阶段	2V--3V	由主充电 IC bq2589x 来对电池进行小电流充电，此时不需要外部 MCU 或 AP 来实时监控，由适配器输出恒定电压即可。
小电流恒流充电阶段	3V--3.5V	由主充电 IC bq2589x 来对电池进行 3A 电流充电，此时不需要外部 MCU 或 AP 来实时监控，由适配器输出恒定电压即可。
大电流恒流充电阶段	3.5V--4.35V	由 bq25970 进行 8A 大电流充电。此时需要外部 MCU 和 AP 来进行实时监控、通讯、控制充电其电压。
大电流恒压充电阶段	4.35V--4.4V	由 bq25970 进行恒压充电，此时充电电流会从 8A 逐步降低至 2A。此时需要外部 MCU 和 AP 来进行实时监控、通讯、控制充电其电压。
小电流恒压充电阶段	4.4V	由 bq25890 来进行最后的恒压充电阶段，此时充电电流会从 2A 降低至截止电流。此时不需要外部 MCU 或 AP 来实时监控，由适配器输出恒定电压即可。

## 2 bq25970 相比于前一代闪充 IC bq25872 的优势

bq25872 的工作原理如规格书 (SLUA820) 所述，充电时需要系统端有一个可变电压的适配器来进行电压调节，适配器的输出电压会根据电池的当前电压以及充电电流在整个充电线路阻抗产生的压降来调节。如公式(3)和公式(4)所示， $R_{sys\_Flash}$  为 bq2587x Flash Charger 移动设备系统端的所有阻抗的总和， $P_{Loss\_Flashcharger}$  为 bq2587x Flash Charger 移动设备端所有阻抗的



**Figure 3. bq2587x Flash Charger 系统等效框图介绍**

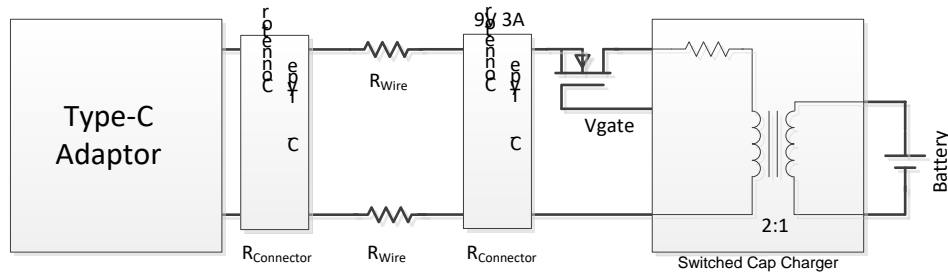
$$V_{adapter} = V_{BAT} + I_{chg} \cdot R_{total} \quad (1)$$

$$R_{wire\_total} = R_{wire} + 2R_{connector} \quad (2)$$

$$R_{sys\_Flash} = R_{wire\_total} + R_{NMOS} + R_{Flashcharger} \quad (3)$$

$$P_{Loss\_Flashcharger} = I_{chg}^2 \cdot R_{sys\_Flash} \quad (4)$$

与 bq2587x 的 Flash-Charger 充电过程相比，bq25970 的充电过程也有一定的相似之处。两者都需要一个可调电压的 Type-C 适配器进行电压调节。而与 bq25870 不同的是，bq25970 输入端需要 2 倍于电池电压的输入端。如公式(7)和公式(8)所示， $R_{sys\_SC}$  为 bq25970 Charge pump Charger 移动设备系统端的所有阻抗的总和， $P_{Loss_{SC}}$  为 bq25970 Charge pump Charger 移动设备端所有阻抗的



**Figure 4. bq25970 Charge Pump Charger 充电系统等效框图介绍**

$$V_{adapter} = 2 \cdot V_{BAT} + I_{bus} \cdot R_{total} \quad (5)$$

$$R_{wire\_total} = R_{wire} + 2R_{connector} \quad (6)$$

$$R_{sys\_SC} = R_{wire\_total} + R_{NMOS} + R_{SC} \quad (7)$$

$$P_{Loss_{SC}} = I_{bus}^2 \cdot R_{sys\_SC} \quad (8)$$

从整个充电系统来考虑系统方案的效率可以总结为以下表格，可以看出在整体的输入功率端功率损耗在充电线路上的损耗会很大，从而会导致线材发热，以及系统效率下降。由于系统端计算的

时候考虑到系统发热不是移动设备端的发热，我们重新考虑了移动设备端的功耗对比，如 Table 2 和 Table 3 所表示。

I <sub>chg</sub>	R <sub>wire_total</sub>	R <sub>NMOS</sub>	R <sub>flashcharger</sub>	Ploss total
	60mOhm	5mOhm	15mOhm	
2A	240mW	20mW	60mW	320mW
3A	540mW	45mW	135mW	720mW
4.5A	1215mW	101.25mW	303.75mW	1620mW
6A	2160mW	180mW	540mW	2880mW

**Table 2. bq25872 充电系统功耗计算**

I <sub>bus</sub>	R <sub>wire_total</sub>	R <sub>Nmos</sub>	R <sub>SC_charger</sub>	Ploss total
	60mOhm	5mOhm	85mOhm	
1.02A	62.42mW	5.20 mW	88.43mW	156.06mW
1.52A	138.62mW	11.55 mW	196.38mW	346.56mW
2.27A	309.17mW	25.76 mW	438.00mW	772.94mW
3.02A	547.22 mW	45.60 mW	775.23mW	1368.06mW

**Table 3. bq25970 充电系统功耗计算**

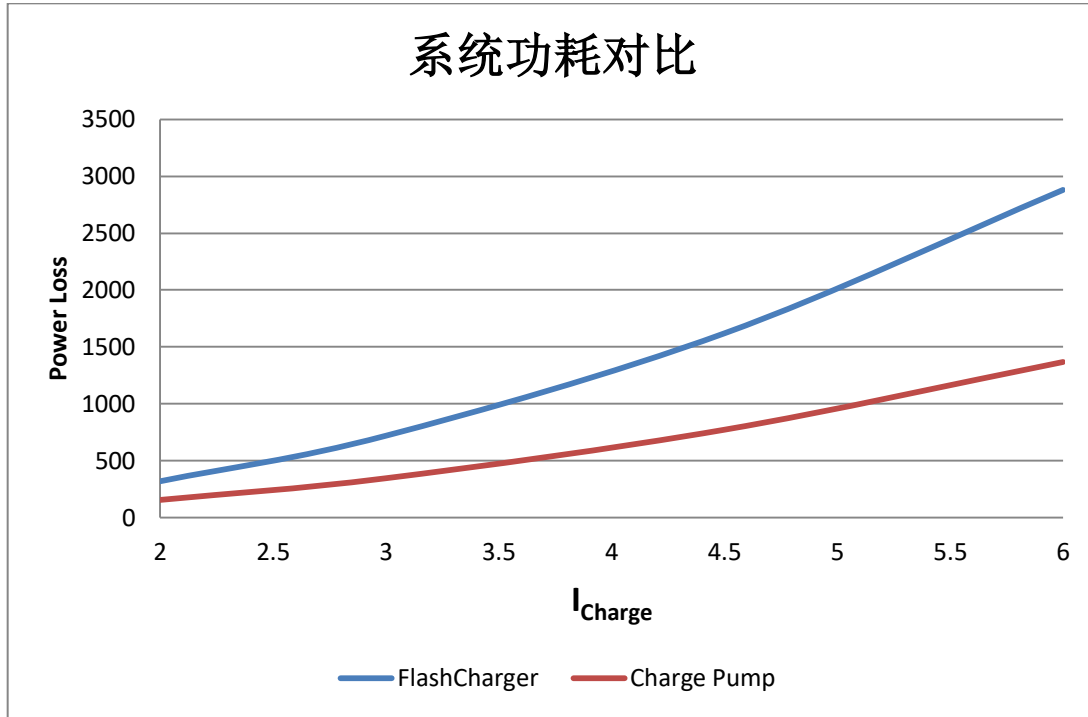
I <sub>charge</sub>	R <sub>connector</sub>	R <sub>NMOS</sub>	R <sub>flashcharger</sub>	Ploss total
	30mOhm	5mOhm	15mOhm	
2A	120mW	20mW	60mW	200mW
3A	270mW	45mW	135mW	450mW
4.5A	607.5mW	101.25mW	303.75mW	1012.5mW
6A	1080mW	180mW	540mW	1800mW

**Table 4. bq25872 移动设备端功耗计算**

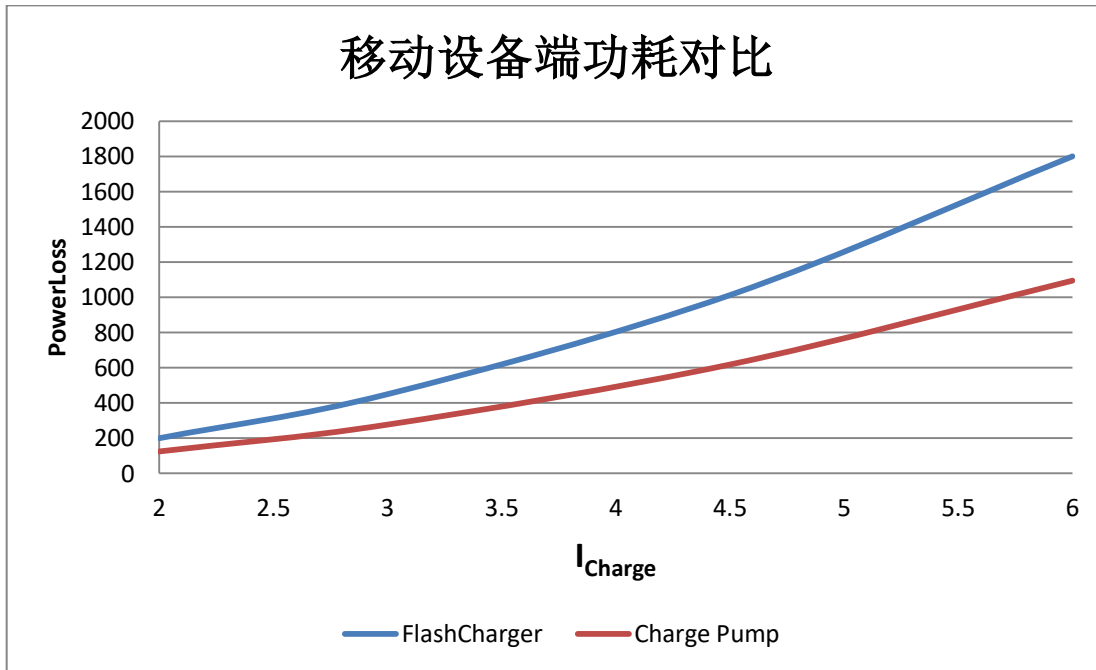
I <sub>bus</sub>	R <sub>Connector</sub>	R <sub>NMOS</sub>	R <sub>SC_charger</sub>	Ploss total
	30.00mOhm	5mOhm	85mOhm	
1.02A	31.21mW	5.20 mW	88.43 mW	124.85 mW
1.52A	69.31 mW	11.55 mW	196.38 mW	277.25 mW
2.27A	154.59 mW	25.76 mW	438 mW	618.35 mW
3.02A	273.61 mW	45.60 mW	775.23 mW	1094.45 mW

**Table 5. bq25970 移动设备端功耗计算**

从 Table 4 和 Table 5 中，我们可以看到，就以移动设备为例，输入电流的减小可以节省更大的系统功耗从而减小系统发热的可能性，增加移动设备系统的可靠性。



**Figure 5. 系统功耗对比**



**Figure 6. 移动设备端功耗对比**

bq2587x 对于手机侧的功耗来说是最优的。但是对适配器侧和适配器线缆以及线缆接口阻抗设计是非常具有挑战的（需要将线缆阻抗以及接触阻抗优化到最低以后，才能保证较小的发热），而 BQ2597X 是兼顾适配器侧功耗设计和手机侧功耗设计的最优折中设计。从 Figure 5 和 Figure 6 中的对比来看，在相同

的线缆接触阻抗和手机 PCB 板走线产生的阻抗下，由于 bq2587x Flash Charger 充电系统的大电流流过系统阻抗 $R_{sys\_Flash}$ 从而给系统的设计带来过多的发热，要想解决此发热必须对与手机系统的输入阻抗 $R_{sys\_Flash}$ 进行严格控制，这需要增加额外的线材成本。而基于 bq25970 Charge Pump Charger 充电系统则能够降低输入电流从而降低移动设备输入端的系统功耗，从而在相同的系统阻抗 $R_{sys\_SC}$ 下达到帮助系统节省功耗的目的，降低充电系统对输入端口的接触阻抗的要求。bq25870/bq25970 优劣势对比如 Table6 所示：

Table 6. bq25970 系统对比优劣势

	系统充电效率	移动设备端系统发热功耗	对线材阻抗变化的兼容性
bq25970 Charge Pump Charger 充电系统	相对较高	功耗低	较强
bq25870 Flash Charger 充电系统	相对较低	功耗低	较弱

### 3 bq25970 适配器输出电压过压保护功能 (VAC\_OVP) 介绍

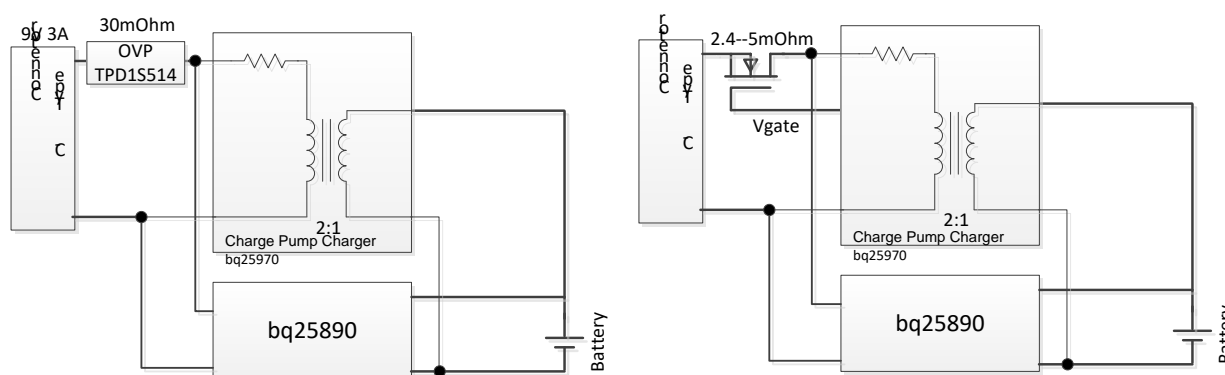


Figure 7. bq25970 VAC OVP 功能和外置 OVP 保护器件的对比

由于外置 OVP 保护器件(TPD1S514)的  $R_{dson}$  相对于外置的 OVP MOSFET (CSD17571) 的  $R_{dson}$  的值大，因此充电系统中，外置的 OVP 保护器件则会引入额外的系统发热功耗，增加充电系统温升，降低充电过程中的体验。因此 bq25970 提供了外部控制的 OVP MOSFET 栅极驱动的过压保护电路，其过压保护功能和 TPD1S514 类似并且能够降低整个系统的  $R_{dson}$ 。通过 bq25970 的外置高压 MOSFET 搭建一个 OVP 开关，直接替换了系统上原有的 OVP 保护 IC，从而节省了外置保护 IC 的成本。并且能够更进一步的让系统设计中的阻抗降低，并且保持了 OVP 芯片的快速过压保护响应带来的可靠性的保证。Figure 8 是 bq25970 在发生外置输入电压过压时的相应波形。

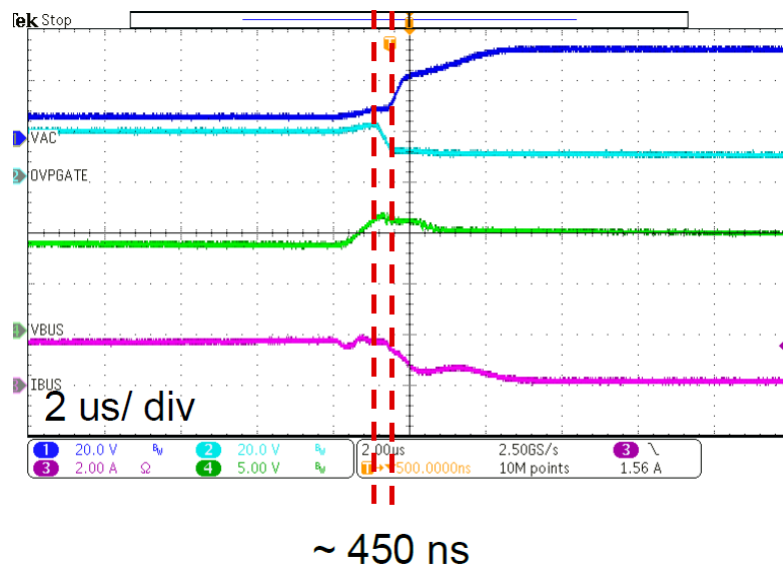


Figure 8. bq25970 适配器输出电压过压保护功能波形图 (VAC\_OVP)

## 4 总结

本文介绍了 bq25970 Charge Pump Charger 充电系统对于上一代 bq25870 Flash Charger 充电系统在移动设备的充电系统的优势：1. 降低了整个充电系统的功率；2. 降低了移动设备端的系统发热；3. 提升了充电系统的 USB 端口可靠性。与此同时，我们进一步介绍了 bq25970 具有的外置 VAC 过压保护功能，此功能能够进一步的使用外置 MOSFET 来降低充电系统的阻抗并且保持了与 OVP 保护器件的同样的 OVP 保护性能。选用 bq25970 作为新一代充电 IC 够使充电系统的对于线材阻抗的要求降低，从而从系统端降低充电系统的成本。并且能够使的系统端整体的充电效率得到更进一步的提升。

## 5 参考文献

1. Flash Battery Charging Pushes the Boundary of Charging Current, Texas Instruments Inc.
2. bq25872 datasheet 2016, Texas Instruments Inc.
3. bq25970 datasheet 2017, Texas Instruments Inc.



## IMPORTANT NOTICE FOR TI DESIGN INFORMATION AND RESOURCES

Texas Instruments Incorporated ("TI") technical, application or other design advice, services or information, including, but not limited to, reference designs and materials relating to evaluation modules, (collectively, "TI Resources") are intended to assist designers who are developing applications that incorporate TI products; by downloading, accessing or using any particular TI Resource in any way, you (individually or, if you are acting on behalf of a company, your company) agree to use it solely for this purpose and subject to the terms of this Notice.

TI's provision of TI Resources does not expand or otherwise alter TI's applicable published warranties or warranty disclaimers for TI products, and no additional obligations or liabilities arise from TI providing such TI Resources. TI reserves the right to make corrections, enhancements, improvements and other changes to its TI Resources.

You understand and agree that you remain responsible for using your independent analysis, evaluation and judgment in designing your applications and that you have full and exclusive responsibility to assure the safety of your applications and compliance of your applications (and of all TI products used in or for your applications) with all applicable regulations, laws and other applicable requirements. You represent that, with respect to your applications, you have all the necessary expertise to create and implement safeguards that (1) anticipate dangerous consequences of failures, (2) monitor failures and their consequences, and (3) lessen the likelihood of failures that might cause harm and take appropriate actions. You agree that prior to using or distributing any applications that include TI products, you will thoroughly test such applications and the functionality of such TI products as used in such applications. TI has not conducted any testing other than that specifically described in the published documentation for a particular TI Resource.

You are authorized to use, copy and modify any individual TI Resource only in connection with the development of applications that include the TI product(s) identified in such TI Resource. NO OTHER LICENSE, EXPRESS OR IMPLIED, BY ESTOPPEL OR OTHERWISE TO ANY OTHER TI INTELLECTUAL PROPERTY RIGHT, AND NO LICENSE TO ANY TECHNOLOGY OR INTELLECTUAL PROPERTY RIGHT OF TI OR ANY THIRD PARTY IS GRANTED HEREIN, including but not limited to any patent right, copyright, mask work right, or other intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI products or services are used. Information regarding or referencing third-party products or services does not constitute a license to use such products or services, or a warranty or endorsement thereof. Use of TI Resources may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

TI RESOURCES ARE PROVIDED "AS IS" AND WITH ALL FAULTS. TI DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES OR REPRESENTATIONS, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING TI RESOURCES OR USE THEREOF, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO ACCURACY OR COMPLETENESS, TITLE, ANY EPIDEMIC FAILURE WARRANTY AND ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, AND NON-INFRINGEMENT OF ANY THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

TI SHALL NOT BE LIABLE FOR AND SHALL NOT DEFEND OR INDEMNIFY YOU AGAINST ANY CLAIM, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO ANY INFRINGEMENT CLAIM THAT RELATES TO OR IS BASED ON ANY COMBINATION OF PRODUCTS EVEN IF DESCRIBED IN TI RESOURCES OR OTHERWISE. IN NO EVENT SHALL TI BE LIABLE FOR ANY ACTUAL, DIRECT, SPECIAL, COLLATERAL, INDIRECT, PUNITIVE, INCIDENTAL, CONSEQUENTIAL OR EXEMPLARY DAMAGES IN CONNECTION WITH OR ARISING OUT OF TI RESOURCES OR USE THEREOF, AND REGARDLESS OF WHETHER TI HAS BEEN ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGES.

You agree to fully indemnify TI and its representatives against any damages, costs, losses, and/or liabilities arising out of your non-compliance with the terms and provisions of this Notice.

This Notice applies to TI Resources. Additional terms apply to the use and purchase of certain types of materials, TI products and services. These include; without limitation, TI's standard terms for semiconductor products (<http://www.ti.com/sc/docs/stdterms.htm>), [evaluation modules](#), and [samples](http://www.ti.com/sc/docs/sampterm.htm) (<http://www.ti.com/sc/docs/sampterm.htm>).

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2018, Texas Instruments Incorporated