

## TPS63020 输出恒压恒流变换器设计

李志江

### 摘要

对于某些应用，例如 Power Bank，对输出特性有过流时恒流保护的要求，恒流点针对不同规格需要做调整。本文介绍了如何采用 TPS63020 设计一款恒流点可以调节的输出恒压恒流变换器。

本文首先介绍了应用背景，其次介绍如何采用 TPS63020 设计一款可调节的恒压恒流升降压变换器。其中采用新颖的单运放方案实现电流采样信号的放大和补偿。本文给出了测试结果，验证了此方案的可行性和性能。在此基础上，讨论了不同运放放大倍数对恒流效果的影响。最后对电路环路稳定性进行了分析。

### 目录

<b>1 应用背景</b> .....	<b>2</b>
1.1 输出恒压恒流变换器的应用背景.....	2
1.2 TPS63020 应用介绍 .....	2
<b>2 TPS63020 恒压恒流变换器设计</b> .....	<b>3</b>
2.1 单运放恒流电路方案 .....	3
2.2 原理图设计 .....	4
<b>3 测试结果</b> .....	<b>4</b>
3.1 输出恒压恒流测试结果.....	4
3.2 不同放大倍数恒流效果对比.....	5
3.3 电路环路稳定性分析 .....	6
<b>4 结论</b> .....	<b>7</b>
<b>5 参考文献</b> .....	<b>7</b>

### 图表

图 1 手机移动充电宝框图及其充电输出恒压恒流特性.....	2
图 2 TPS63020 手册中标注的输出特性曲线 .....	Error! Bookmark not defined.
图 3 单运放电流回路方案的选取.....	3
图 4 TPS63020 恒压恒流变换器线路图 .....	Error! Bookmark not defined.
图 5 TPS63020 恒压恒流变换器输出特性曲线 .....	5
图 6 不同放大倍数输出恒流效果对比 .....	6
图 7 单运放方案传递函数推导示意图 .....	6
图 8 TPS63020 变换器环路特性.....	7

### 表格

## 1 应用背景

### 1.1 输出恒压恒流变换器的应用背景

目前在手持消费类市场，例如智能手机、PAD 等，随着产品的升级换代，耗电越来越大。为了延长使用时间，充电宝（Power Bank）产品越来越受欢迎。图 1 是一个手机移动充电宝的典型框图。对于保护和可靠性要求比较高的场合，对充电宝的输出特性就有恒压恒流的要求，参照图 1，充电宝输出特性曲线要落在虚线包围的区域内。

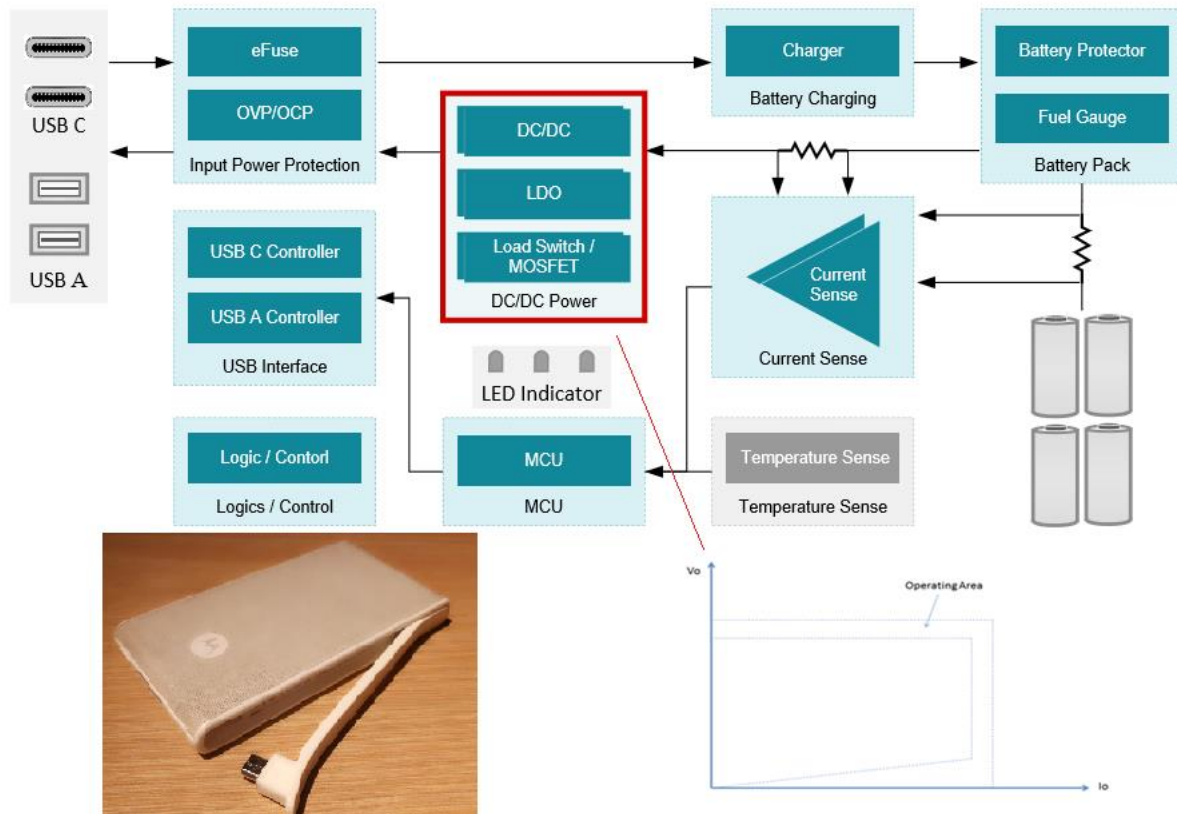


图 1 手机移动充电宝框图及其充电输出恒压恒流特性

### 1.2 TPS63020 应用介绍

对于 Power Bank 单节锂电池输入（3~4.2V），5V 输出的应用，正常工作时为 Boost 结构。而为了实现图 1 的要求，在输出恒流的区域，输出电压会下降至低于输入电压。此时电路会转变成 Buck 结构。一个简单的 Boost 方案难以实现图 1 要求的在降压情况下精准恒流的要求，因此需要选取 Buck-Boost 变换器来实现。本文介绍了如何用 TPS63020 升降压变换器实现图 1 的恒压恒流输出特性要求。

TPS63020 本身具有限流功能，如图 2 所示，芯片开关限流值固定。而在实际应用中，用户可以灵活调整限流（恒流）点，这就需要增加外围电流采样电路，放大电路，补偿电路来构成电路回路，实现这种功能。

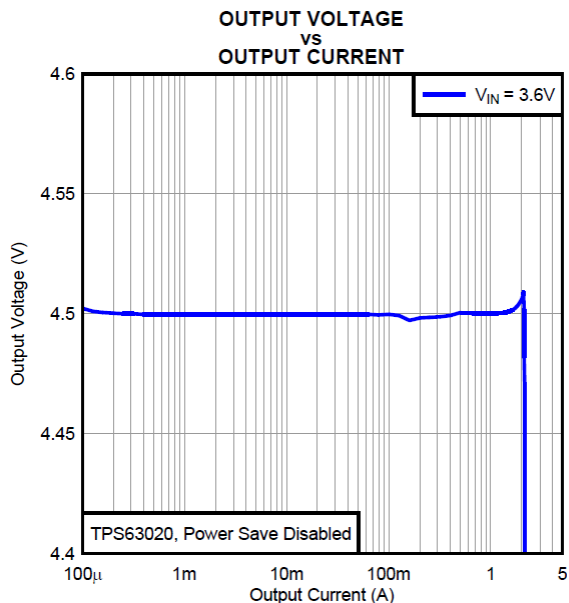


图 2 TPS63020 手册中标注的输出特性曲线

## 2 TPS63020 恒压恒流变换器设计

### 2.1 单运放恒流电路方案

常规的恒流控制电路在输出高端电源线上进行电流采样，采用两级运放实现电流回路的控制，如图 3 (a)，第一级实现电流采样信号的放大，第二级将送进来的放大信号与一个基准电压比较，实现误差放大和补偿。最终输出信号送到变换器的反馈管脚，与电压环路进行加权控制。

本文采用的方案将电路简化，省去电流采样信号放大电路，在输出低端进行电流采样，将采样信号直接与一个基准比较，用一级运放实现误差放大和补偿，如图 3 (b) 所示。

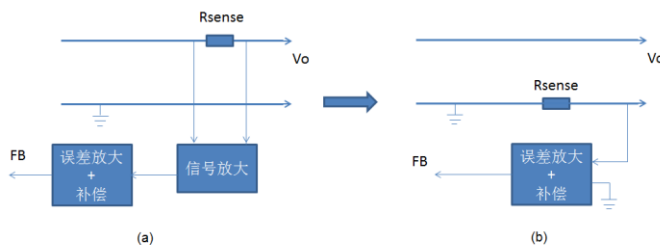


图 3 单运放电流回路方案的选取

## 2.2 原理图设计

本文要设计一个恒压恒流点可调节的升降压变换器，规格为：单节锂电池输入 3.0~4.2V，5V/1.5A 输出。输出电流在 1.5A 以下时恒压输出，在电流到达 1.5A 时恒流。在 TPS63020EVM 的基础上加入电流采样，放大，补偿电路，原理图设计如下：

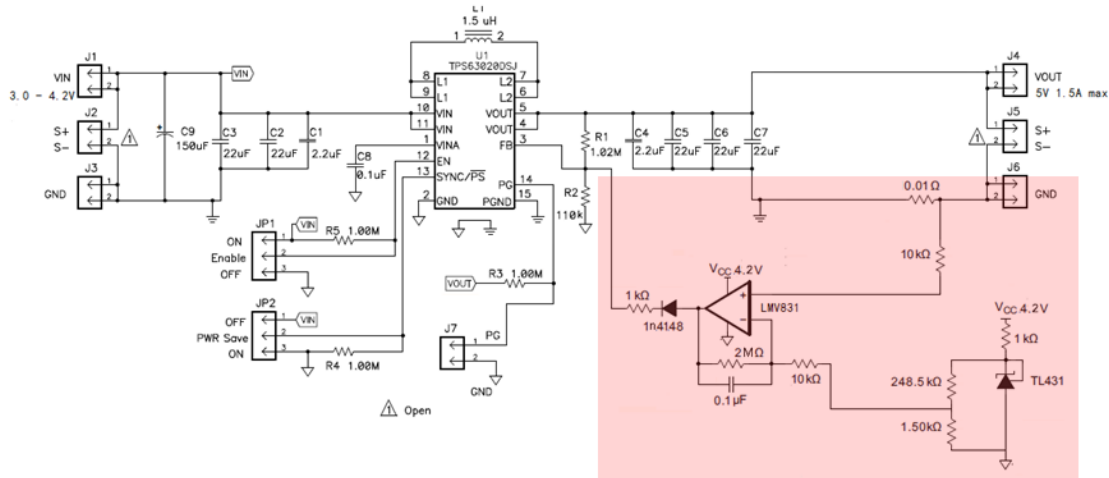


图 4 TPS63020 恒压恒流变换器线路图

图 4 中，电流取样电阻选定 10 毫欧以降低损耗，根据输出恒流点 1.5A，确定恒流时取样电阻上的压降为 15mV。用一个电阻分压网络将 TL431 生成的 2.5V 进行分压，得到 15mV 基准值。运放的放大倍数选择 200。在电阻上跨接一个电容，降低运放环节的带宽，以保证整个电流回路的稳定性。

## 3 测试结果

### 3.1 输出恒压恒流测试结果

基于图 4 的变换器设计，测得输出性能如下：

Vo(V)	5.037	5.035	5.033	5.031	5.029	5.027	5.025	5.023	5.021	5.019	5.016	5.014	5.012	5.011	5.009
Io(A)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4
Vo(V)	4.98	4.815	4.502	4.095	3.65	3.26	2.765	2.27	1.73	1.184	0.67	0.16			
Io(A)	1.43	1.44	1.45	1.46	1.47	1.48	1.49	1.5	1.51	1.52	1.53	1.54			

表 1 TPS63020 恒压恒流变换器输出测试数据

由此绘得输出特性曲线。由结果可以看出，此方案实现了很好的恒压恒流效果。

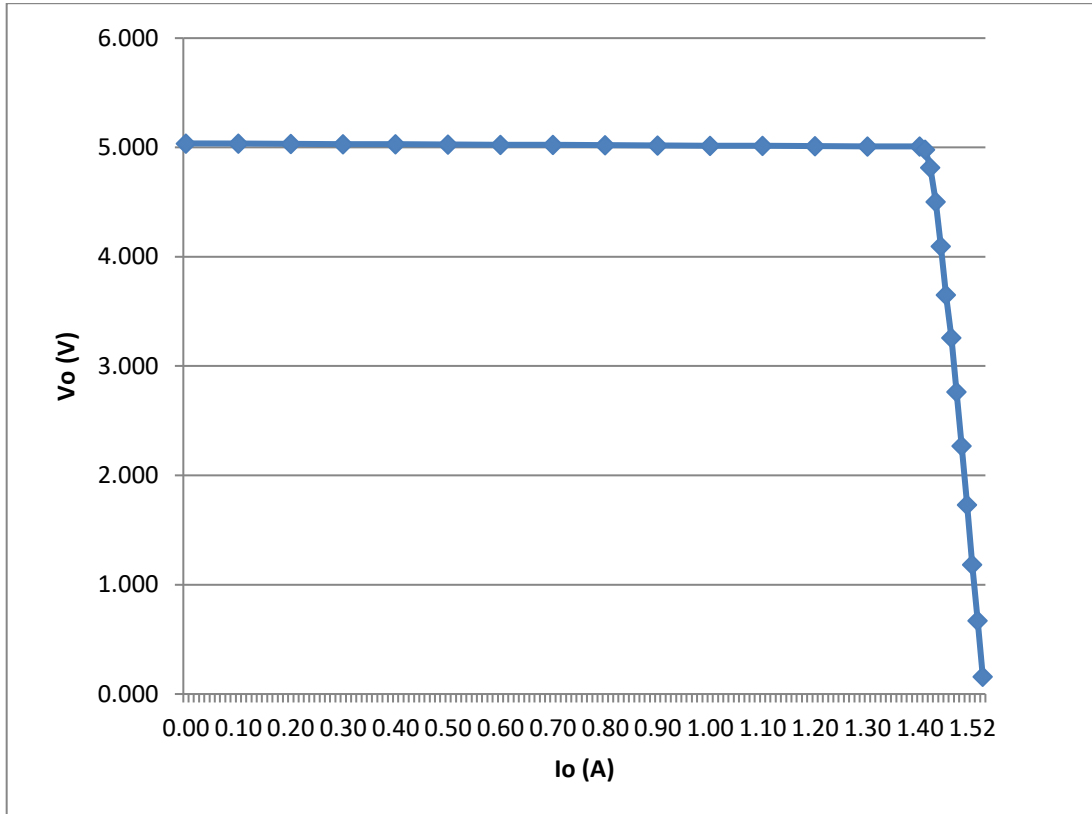


图 5 TPS63020 恒压恒流变换器输出特性曲线

### 3.2 不同放大倍数恒流效果对比

由图 4，反馈点电压

$$V_{FB} = \frac{R2*(V_O - V_{FB})}{R1} + \frac{R2*(V_{CO} - V_{FB})}{1k} \quad (1)$$

其中  $V_O$  - 输出电压,  $V_{CO}$  - 运放输出电压(减掉二极管 1N4148 的压降  $V_F$ ),

推导可得

$$V_{FB} = \frac{V_O * R2}{(R1 + R2 + \frac{R1 * R2}{1k})} + \frac{V_{CO} * R2}{(1k + R2 + \frac{1k * R2}{R1})} \quad (2)$$

$$\text{令 } k_1 = \frac{R2}{(R1 + R2 + \frac{R1 * R2}{1k})}, \quad k_2 = \frac{R2}{(1k + R2 + \frac{1k * R2}{R1})}$$

$$\text{则 } V_{FB} = k_1 * V_O + k_2 * V_{CO} \quad (3)$$

从公式 (3) 可以看出, 反馈点电压由输出电压和运放输出电压加权得到。假定固定加权系数, 则如果运放的放大倍数越大,  $V_{CO}$  增加的趋势越大, 对反馈点的影响也越大。此时电流环路在反馈

系统中占主导作用，恒流的效果就越好。图 6 给出在不同的放大倍数的情况下电路的恒流效果对比。

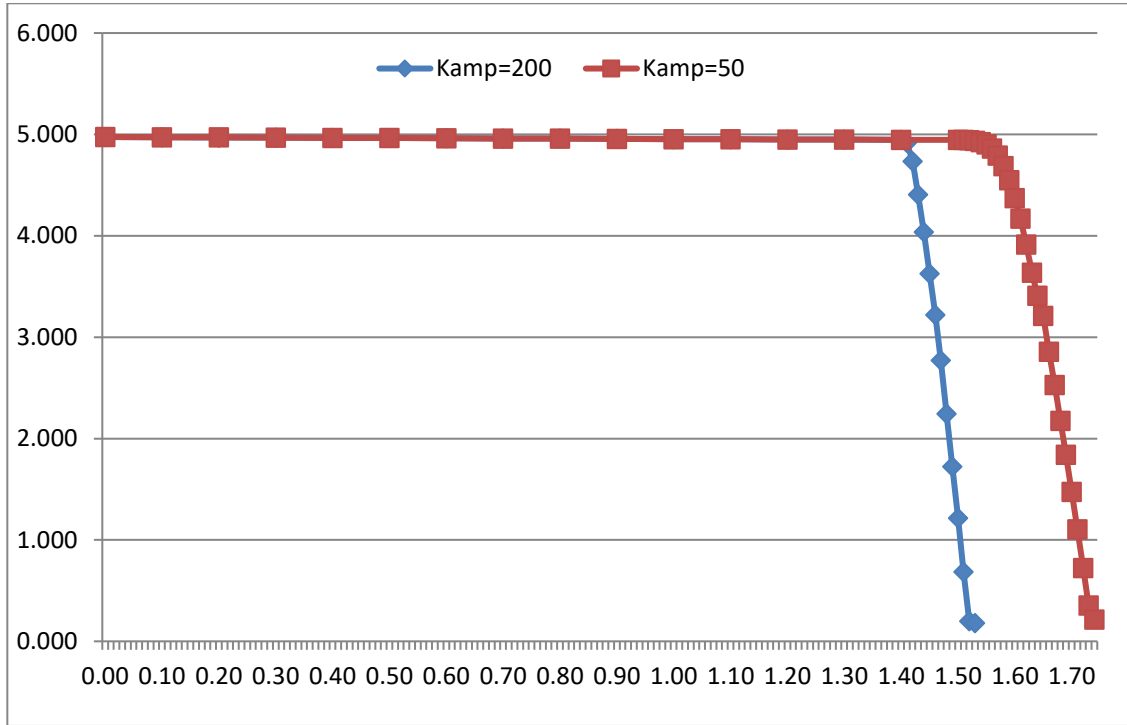


图 6 不同放大倍数输出恒流效果对比

### 3.3 电路环路稳定性分析

需要注意的是，简单的电阻放大（即比例 P 环节）带宽很大，会高于 TPS63020 的原设计带宽，导致原环路很难稳定。因此在实际运放设计时，需要在运放加入电容。

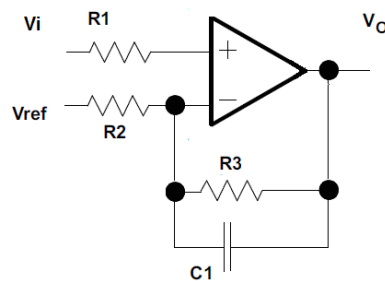


图 7 单运放方案传递函数推导示意图

推导其传递函数可得

$$G(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{R_3 + R_2}{R_2} \frac{1 + (R_2/R_3)C_1s}{1 + R_3C_1s} \tag{4}$$

由式 4 可知，图 7 的运放环节会给环路增加一个零点和一个极点，位置在

$$f_z = \frac{1}{2\pi(R2//R3)C1} , f_p = \frac{1}{2\pi R3C1}$$

将实际电路设计中的参数代入可得,  $f_z = \frac{1}{2\pi(R2//R3)C1} = \frac{1}{2\pi(10k//2M)*0.1u} = 160Hz$ ,

$$f_p = \frac{1}{2\pi R3C1} = \frac{1}{2\pi*2M*0.1u} = 0.8Hz$$

考虑 TPS63020 变换器原有环路特性, 如图 8 所示:

新增加的运放环节带来的零极点远离 TPS63020 变换器的穿越频率点 (Crossover Frequency=11.83kHz), 且零点和极点对增益/相位的作用相互抵消, 因此对原有变换器的环路稳定性没有影响。

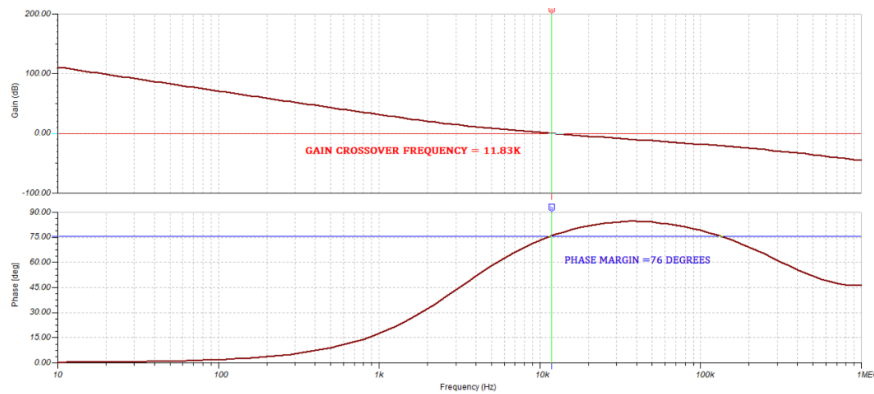


图 8 TPS63020 变换器环路特性

## 4 结论

从上述实验结果可以看出, 采用单运放电流放大补偿方案, 很好的实现 TPS63020 输出可调节恒压恒流特性, 可以满足例如高端 Power Bank 等的应用要求。

## 5 参考文献

- [1] TPS63020 Datasheet (SLVS916C)
- [2] Constant Current Constant Voltage Buck Converter with LM25085 (SNVA486)
- [3] LMV831 Datasheet (SNOSAZ6B)

## 重要声明和免责声明

TI 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、某特定用途方面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 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 TI 的销售条款 (<https://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 或 [ti.com.cn](https://www.ti.com.cn) 上其他适用条款/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。

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 © 2021 德州仪器半导体技术（上海）有限公司