

Application Note

适用于基于 TPS61094 的太阳能供电型应用的降压充电器 (带 MPPT) 和升压转换器



Jing Ji, Jiaqi Wang

摘要

由于石油等不可再生能源消耗的增加以及改善生态环境的紧迫性，能量收集和太阳能已成为全球热门话题。越来越多的产品选择太阳能作为电力资源。由太阳能电池供电的典型系统包括太阳能电池板、储能元件、类似于超级电容器或镍氢电池的直流/直流器件、用于从太阳能电池板对储能元件充电的直流/直流器件，以及用于调节输出电压的其他直流/直流器件等。结果是专门针对由太阳能供电的系统（小于 5W）设计的。降压 CC/CV 功能可确保与超级电容或镍氢电池类似的储能能够正确充电。该结果几乎可以通过在 TPS61094 中使用双向降压或升压功能来实现 MPPT（最大功率点跟踪）。TPS61094 集成了 60nA 超低 IQ 升压转换器，无论太阳能强度如何，都可以调节输出电压。

内容

1 太阳能电池和 MPPT 简介.....	2
1.1 传统 MPPT 解决方案.....	2
2 采用太阳能电池的典型系统.....	3
2.1 简介.....	3
2.2 特定终端设备.....	3
3 TPS61094 解决方案.....	4
3.1 超级电容器和电池设计.....	4
3.2 太阳能电池板设计.....	4
3.3 TPS61094 描述和工作方式.....	4
3.4 系统解决方案.....	5
4 基于 TPS61094 解决方案的测试报告.....	7
4.1 测试波形.....	7
5 参考.....	8

插图清单

图 1-1. 太阳能电池的 VI/VQ 曲线.....	2
图 2-1. TPS61094 电源的系统框图.....	3
图 3-1. 不同环境下太阳能电池板的 V-P 曲线.....	4
图 3-2. TPS61094 的典型应用.....	5
图 3-3. 主要两种工作状态转换.....	5
图 3-4. 实现 MPPT 的典型波形.....	6
图 4-1. 强光条件下的超级电容器充电.....	7
图 4-2. 强光和 20mA 负载工作波形.....	7

表格清单

表 2-1. 跟踪器系统要求.....	3
表 3-1. EVM 板上的测试设置.....	5

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 太阳能电池和 MPPT 简介

太阳能电池是一种通过光伏效应将光能直接转化为电能的电气设备，光伏效应是一种物理化学现象。普通的单结硅太阳能电池可以产生大约 0.5V-0.6V 的最大开路电压。单个太阳能电池器件通常是光伏模块的电气构建块。常见的太阳能电池配置为由硅制成的大面积 p-n 结。

开路电压和短路电流是太阳能电池板最重要的参数。通常，其工作电压和电流随负载电阻而变化（[适用于锂离子电池的单节电池太阳能电池板能量收集参考设计](#)）。图 1-1 展示了不同负载对应的工作电流和电压，即太阳能电池的 $V/I/P$ 曲线。

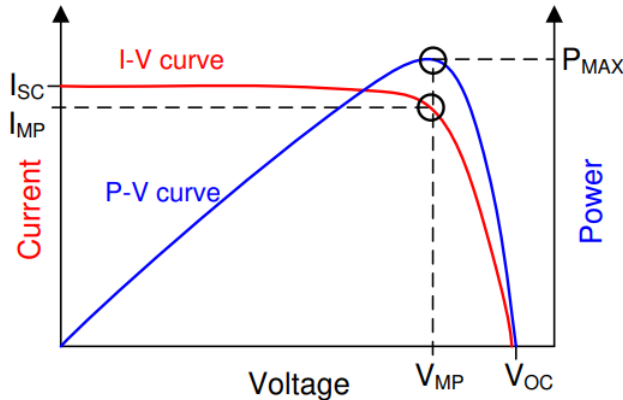


图 1-1. 太阳能电池的 $V/I/P$ 曲线

在不同的光照条件下，同一块太阳能电池板根据不同的负载具有不同的最大输出功率。通过调整使太阳能电池板在最大功率点工作非常重要。最大功率点跟踪是一种与可变电源配合使用的技术，用于在条件变化时更最大限度地提取能量。当条件发生变化时，它可更最大限度地提取能量。MPPT 解决的核心问题是，太阳能电池的功率传输率取决于可用的阳光量、太阳能电池板的温度和负载的电气特性。随着这些条件的变化，提供最大功率传输的负载特性会发生变化。当负载特性发生变化时，系统将进行优化，以保持最高效率的功率传输。此最优负载特性被称为最大功率点 (MPP)。MPPT 是随条件变化调整负载特性的过程。可将电路设计为向光伏电池提供最优负载，然后将电压、电流或频率转换为适合其他器件或系统。

1.1 传统 MPPT 解决方案

实现 MPPT 的方法有多种，如扰动观察法、增量电导法、电流扫描法、温度法、恒压法 ([A survey of maximum PPT techniques of PV systems](#))。不同的方法各有其优缺点，对硬件和算法的要求也不同。

恒压法是早期策略之一。它利用了太阳能电池的最大功率点在恒定温度条件下几乎位于同一垂直线上这一特点。太阳能电池板和负载之间使用一个控制器来使输出电压恒定，以实现简单的 MPPT 功能。它适用于具有稳定外部环境的应用 ([Simulation and Hardware Implementation of New Maximum Power Point Tracking Technique for Partially Shaded PV System Using Hybrid DEPSO Method](#))。本应用手册还使用恒压法在系统中实现 MPPT。

2 采用太阳能电池的典型系统

2.1 简介

该解决方案主要用于一些采用太阳能电池板并使用一个芯片 **TPS61094** 来实现充放电功能的低功耗系统。没有外部模拟 MPPT 电路就很简单，我们想为新一代太阳能产品设计一个带有电池充电功能的非复杂版本的 MPPT。主要适用的应用是跟踪器和故障指示器等。

2.2 特定终端设备

资产跟踪器在狭小的空间内集成了众多子系统。尽管跟踪模块在样式和功能上可能有所不同，但它们具有相似的数字接口挑战，例如从各种传感器读取数据或与 GPS 模块对接（[使用逻辑和转换用例优化资产跟踪器](#)）。该系统由电池供电，功耗更高，需要更高的效率。本应用手册以跟踪器为例，提出了一种使用太阳能电池板作为跟踪器电源的解决方案，并使用单个 **TPS61094** 来实现 MPPT 功能。[图 2-1](#) 展示了典型的系统框图。

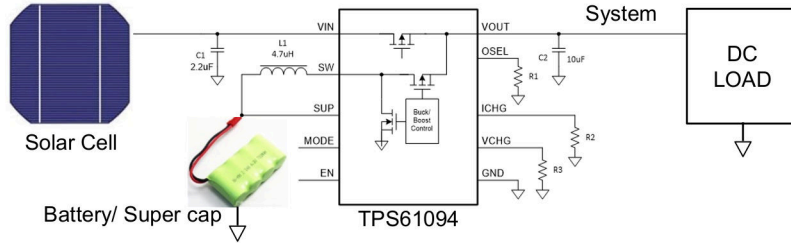


图 2-1. TPS61094 电源的系统框图

2.2.1 系统要求

表 2-1 中列出了系统要求。

表 2-1. 跟踪器系统要求

参数	值
输出电压	3.3V
最大输出电流	100mA
平均输出电流	1mA

输出功率是该系统中最重要参数。该参数决定了太阳能电池板、超级电容器和 MPPT 目标输出电压的选择。

3 TPS61094 解决方案

3.1 超级电容器和电池设计

储能元件是实现该系统的必要条件，这里可以使用超级电容器或电池作为储能元件。对于该系统，储能元件的容量需要满足系统在一天中的黑暗时段的供电要求。超级电容器或电池的选择可以通过以下公式进行计算。

$$C = \frac{2tP_{average}}{\eta(U_{max}^2 - U_{min}^2)} \quad (1)$$

根据环境条件和系统要求，这里选择 $\eta \approx 90\%$ 。超级电容器需要能够以 1mA 的恒定功率放电 12 小时。根据方程 1，系统中的超级电容器需要超过 55F。

3.2 太阳能电池板设计

根据系统的要求，太阳能电池板需要在 12 小时内用恒流为超级电容器充满电。同时，它必须满足后级的最大功率输出。结合输出功率，太阳能电池板的功率必须是输出功率的两倍以上。在该系统中，它需要大于 10mW。

该系统使用 15×15 太阳能电池板。实际上，15×15 太阳能电池板的平均输出功率应远远超过 6.6mW。图 3-1 展示了不同光照条件下太阳能电池板的 V-P 曲线。

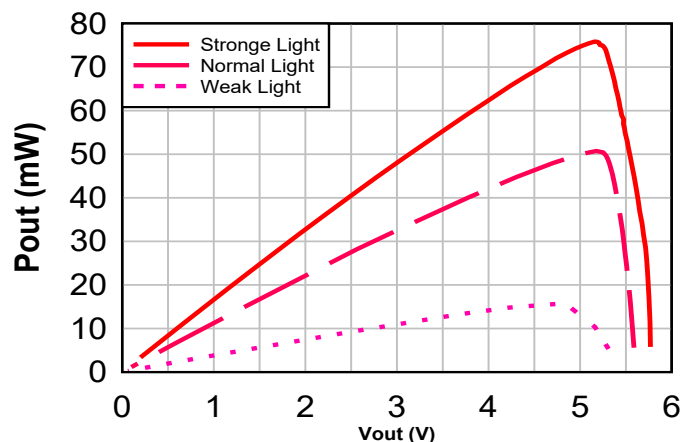


图 3-1. 不同环境下太阳能电池板的 V-P 曲线

太阳能电池板的最大功率点在相同电压下基本稳定。而且一天中大部分时间太阳能电池板的功率都在 10mW 以上。结合系统要求，使用 4.8V 电压作为 MPPT 点。

3.3 TPS61094 描述和工作方式

TPS61094 是一款同步双向降压/升压转换器，在输入和输出之间有一个旁路开关。当 TPS61094 在降压模式下工作以对超级电容器充电时，可通过两个外部电阻器 (R3 和 R2) 对充电电流和充电终止电压进行编程。当 TPS61094 在升压或补充模式下工作时，它可以对超级电容器进行升压并将输出电压调节到由 R1 设置的编程电压。图 3-2 展示了 TPS61094 的典型应用。

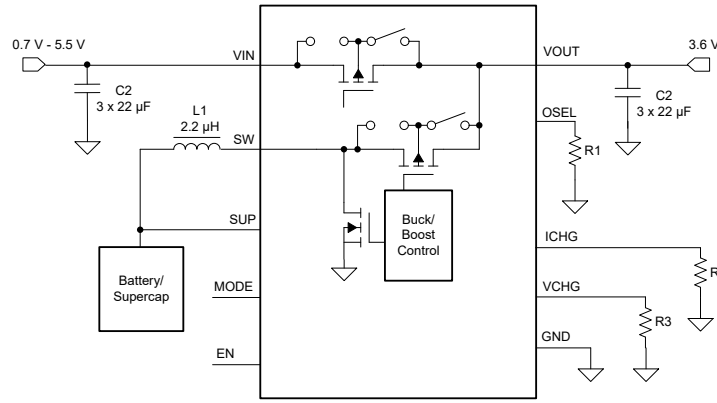


图 3-2. TPS61094 的典型应用

TPS61094 有四种工作模式，分别为自动降压或升压模式、强制降压模式、强制旁路模式和真正关断模式，由 EN 和 MODE 引脚设置。客户可以根据其应用选择合适的模式 ([TPS61094 带旁路模式的 60nA 静态电流双向降压/升压转换器](#))。

3.4 系统解决方案

实现 MPPT 功能，缩短系统测试时间。该系统中使用自动降压或升压模式。在测试板上使用了较小的超级电容器。表 3-1 展示了此测试中的设置。

表 3-1. EVM 板上的测试设置

参数	值
太阳能面板	5.5V 100mW
超级电容器	3F 2.7V
目标电压	4.8V
充电电流	150mA
充电电压	2.7V

该系统的实现主要利用了汲取大电流时太阳能电池板的电压将下降的特性。结合 TPS61094 的自动降压/升压规格，目标电压为 4.8V，充电电流为 150mA，高于 I_{mp} 。由于太阳能电池的特性，TPS61094 将在不同模式之间快速切换。这会使输出电压围绕目标电压上下波动。并且无论光照和负载如何，输出电压都是稳定的。该解决方案实现了 MPPT，不仅可用于电池充电，还可用于后续电源。系统的主要工作模式如图 3-3 中所示。

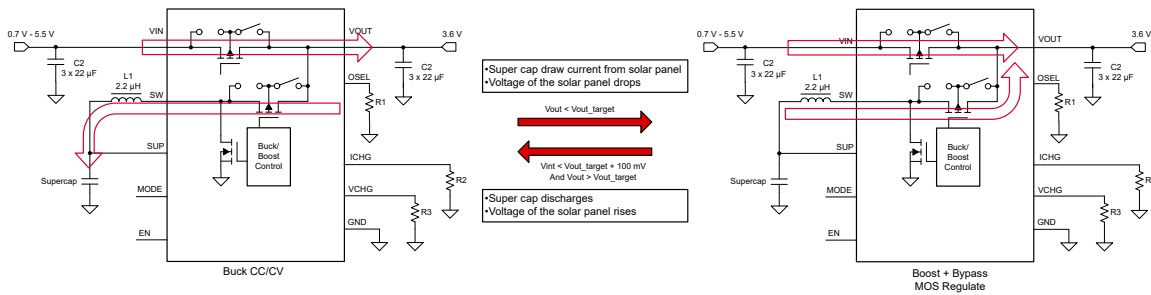


图 3-3. 主要两种工作状态转换

TPS61094 首先在降压模式下工作。SUP 引脚中存在重负载瞬态，太阳能电池无法保持该瞬态，导致输出电压低于输出目标电压 (OSEL 引脚设置)。TPS61094 从降压模式转换为补充模式。太阳能电池和 SUP 电源将共同为负载供电。

在补充状态下，由于 SUP 未充电，因此输入电压将升高。并且输出电压将高于输出目标电压 + 100mV，这意味着太阳能电池可以支持输出负载，TPS61094 从补充模式转换为降压模式。

图 3-4 展示了该系统的波形。黄线表示太阳能电池板的端子电压，该电压保持在 4.8V 左右。紫线表示输出电压。输出端和接地端之间添加了一个 47 μ F 电解电容器，以滤除 25Hz 开关纹波。绿线表示电感器的电流。当电流为正时，TPS61094 处于降压模式；当电流为负时，TPS61094 处于补充模式。结果表明，该解决方案能够成功实现 MPPT。

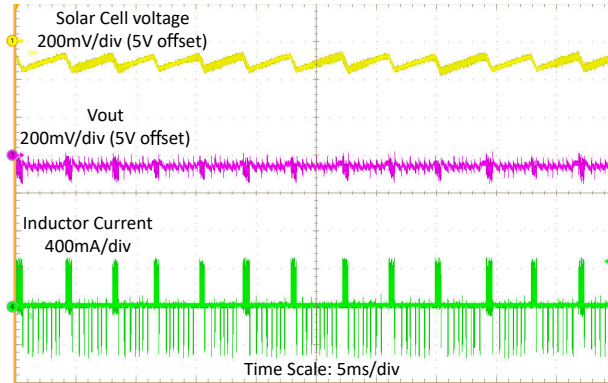


图 3-4. 实现 MPPT 的典型波形

4 基于 TPS61094 解决方案的测试报告

4.1 测试波形

为了符合自然环境，应在不同的光照和负载条件下测试系统工作波形以进行比较。

图 4-1 展示了强光条件下的超级电容器充电过程。启用器件后，超级电容器开始充电。开关电流表示 TPS61094 的模式开关，太阳能电池板电压调节为 4.8V (MPPT 点)。并且输出电压稳定。

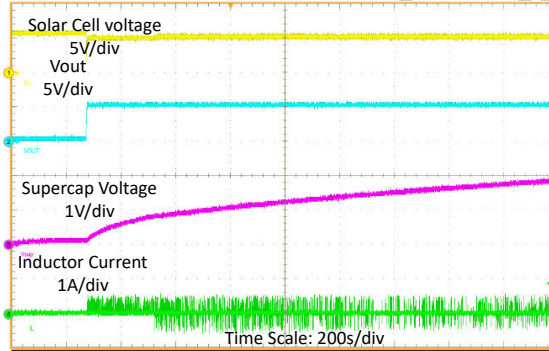


图 4-1. 强光条件下的超级电容器充电

图 4-1 展示了强光和 20mA 负载条件下的工作波形。

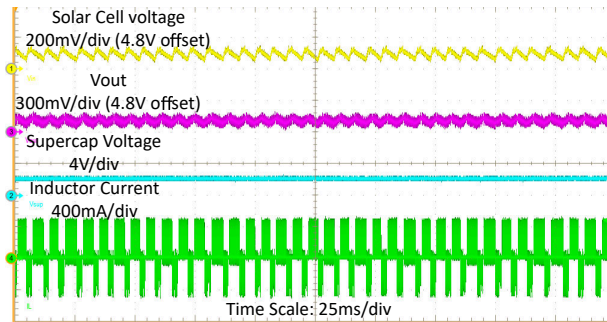


图 4-2. 强光和 20mA 负载工作波形

5 参考

1. 德州仪器 (TI) , [适用于锂离子电池的单节电池太阳能电池板能量收集参考设计](#)。
2. IEEE Xplore , [A survey of maximum PPT techniques of PV systems](#) , 第 1-17 页 , 作者 : Ali, Ali Nasr Allah ; Saied, Mohamed H. ; Mostafa, M. Z. ; Abdel- Moneim, T. M. (2012)。
3. IEEE Xplore , [Simulation and Hardware Implementation of New Maximum Power Point Tracking Technique for Partially Shaded PV System Using Hybrid DEPSO Method](#)。 6 (3): 850 - 862 , 作者 : Seyedmahmoudian, M. ; Rahmani, R. ; Mekhilef, S. ; Maung Than Oo, A. ; Stojcevski, A. ; Soon, Tey Kok ; Ghandhari, A. S. (2015-07-01)。
4. 德州仪器 (TI) , [使用逻辑和转换用例优化资产跟踪器](#)。
5. 德州仪器 (TI) , [TPS61094 带旁路模式的 60nA 静态电流双向降压/升压转换器](#) 数据表。

重要声明和免责声明

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、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功能安全、信息安全、监管或其他要求。

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](#) 或 [ti.com](#) 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。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2023，德州仪器 (TI) 公司