

## Application Note

## 采用通用直流/直流转换器的迟滞控制 MPPT 方法



Nathan Ding, Severi Zhou

## 摘要

对于电池供电型室外设备（例如可视门铃），为了增加电池工作时间和简化设备的安装，有时会使用光伏 (PV) 电池板作为辅助电源来为电池充电。光伏电池是 PV 电池板中最重要的部分之一，PV 电池的输出功率和输出电压随日照强度的变化而变化，所以要采用 MPPT（最大功率点跟踪）方法来最大限度提高 PV 电池的输出能量。

为了实现 MPPT，电源转换器需要在特定的电源电压范围内自动运行，而这一电压范围通常与转换器的默认启动和关断电压不同，因此很难找到一个可用于不同 PV 电池板类型的普通电源转换器。

本应用手册将介绍一种简单的迟滞控制方法，这种方法提供了一种灵活的设计，无论最大功率点如何，都可以使用通用的直流/直流转换器实现 MPPT。本文档还以 TI 的升压转换器 TPS61023 为例，介绍详细的操作方案和测试结果。

## 内容

1 光伏电池和 MPPT 要求简介.....	2
2 采用 PV 电池板的典型电池供电型室外系统.....	3
3 采用通用直流/直流转换器的 MPPT 方法.....	4
3.1 TPS61023 简介.....	4
3.2 采用 TPS61023 的迟滞控制 MPPT 方法.....	4
3.3 实验结果.....	6
4 总结.....	7
5 参考资料.....	7

## 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 光伏电池和 MPPT 要求简介

作为 PV 系统的一个重要组成部分，光伏电池的工作电压与其产生的功率之间有着复杂的关系。太阳能电池的等效电路如图 1-1 所示， $R_S$  是与其他电池连接的单节电池的串联电阻， $R_P$  是并联漏电阻且较大，通常大于  $100k\ \Omega$ 。

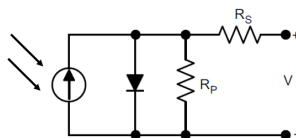


图 1-1. 太阳能电池等效电路

对于任何一组给定的条件，电池都有且仅有一个工作点，在这一点上，电池的电流 ( $I$ ) 和电压 ( $V$ ) 值可实现最大功率输出。图 1-2 所示为通用 PV 电池板在一天中不同时间（中午日照最强，上午日照中等，晚上日照较差）的典型 I-V 曲线和 P-V 曲线。

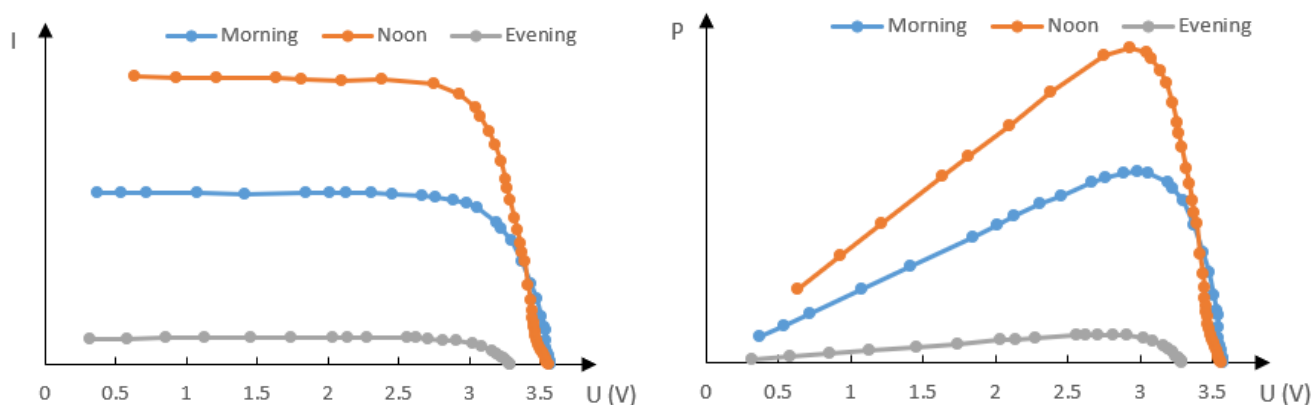


图 1-2. 太阳能电池板 I-V 和 P-V 曲线

在不同日照条件下，空载输出电压  $V_{OC}$  3.3V，约等于 3.5V。随着负载电流增加，太阳能电池的输出电压首先会降低。当输出电压低于 2.9V 时，输出电流几乎不变，所以 2.9V 就是此 PV 电池板的所谓“最大功率点” (MPP)。一般情况下，工程师需要确保 PV 电池板在这个 MPP 上运行，这样 PV 电池板可始终输出最大功率。

因此，MPPT（最大功率点跟踪）方法用于在条件发生变化时最大限度地地进行能量提取，确保 PV 系统始终在最大输出功率点上运行。

## 2 采用 PV 电池板的典型电池供电型室外系统

PV 系统利用具有光伏效应的半导体材料将光能转换为电能。PV 系统由一块或多块太阳能电池板以及利用太阳能发电的电气和机械硬件组成。在一些电池供电型室外设备中，有时会使用 PV 电池板为电池充电并因此可延长电池使用时间，例如可视门铃、无线摄像头等等。

图 2-1 是采用 PV 电池板的电池供电型室外设备的功能方框图。

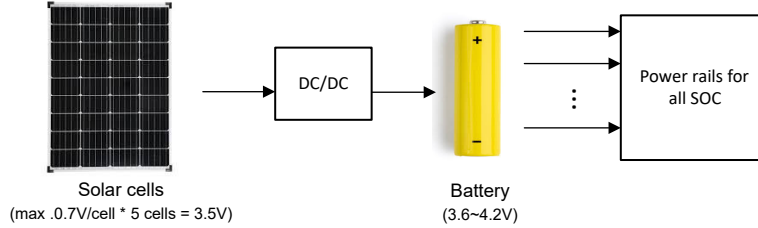


图 2-1. 采用 PV 电池板的电池供电型室外设备的方框图

表 2-1 中列出了系统要求。

表 2-1. 采用 PV 电池板的电池供电型室外设备的系统要求

参数	值
太阳能电池板 MPP 电压	约 2.9V
充电电流	1A
充电电压	4.2V

MPP 电压很重要，决定了 PV 电池板的输出功率以及 PV 电池板是否能够以最高效率运行。

### 3 采用通用直流/直流转换器的 MPPT 方法

某些 MPPT 方法可精确调节 PV 电池板在 MPP 下的工作电压，但通常需要非常复杂的控制电路或算法。考虑到有时 PV 电池板在 MPP 附近的输出功率并不比 MPP 上的功率差太多，所以无需花费太多精力来精确调节 MPP。有一种粗略但很简单的 MPPT 方法称为“迟滞控制”，它会通过启动和关断 PV 系统来确保 PV 电池板在 MPP 附近运行。

将  $V_{PV\_UVLO\_rise}$  和  $V_{PV\_UVLO\_fall}$  分别定义为启动电压和关断电压。PV 系统在 PV 电池板电压上升到  $V_{PV\_UVLO\_rise}$  (日照较强) 时开启，而在电压下降到低于  $V_{PV\_UVLO\_fall}$  (日照较弱) 时关闭。

基于此，工程师需要根据不同类型的 PV 电池板，对直流/直流电源转换器的启动和关断电压进行编程。

图 3-1 显示了迟滞控制 MPPT 方法的示意图。

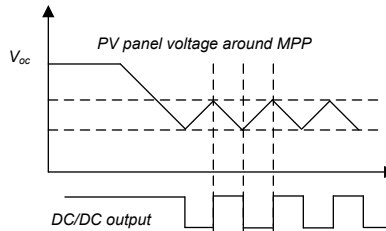


图 3-1. 迟滞控制 MPPT 方法

#### 3.1 TPS61023 简介

TPS61023 是一款具有 3.7A 谷值开关电流限制的同步升压转换器。在室外 PV 电池板设备中，TPS61023 用于将 PV 电池板电压提升至稳定的 4.2V 电压。如果电池电压低于 4.2V，升压转换器开始为电池充电。这一过程使得系统能够在 PV 电池板电压变化时持续为电池充电。

但是，如 TPS61023 数据表所示， $V_{IN}$  的欠压锁定 (UVLO) 阈值通常为 1.7V (上升阈值) 和 0.4V (下降阈值)。这意味着，当  $V_{IN}$  上升到高于 1.7V 时，转换器启动，而当  $V_{IN}$  下降到低于 0.4V 时，转换器关断，这与 PV 电池板的最大功率点不同，因此工程师需要使用其他方法来控制直流/直流转换器。

#### 3.2 采用 TPS61023 的迟滞控制 MPPT 方法

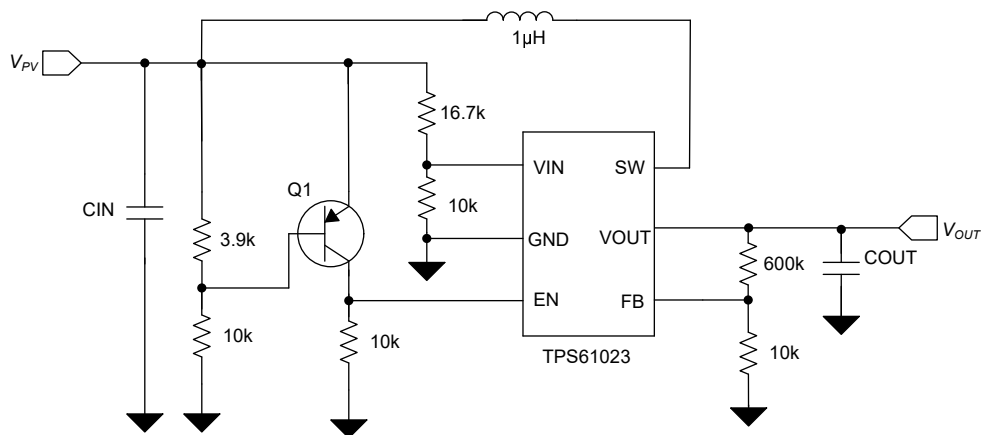


图 3-2. 采用 TPS61023 的通用迟滞控制

使用 6 节太阳能电池时，PV 电池板的 MPP 大约为 2.9V，因此我们定义  $V_{PV\_UVLO\_rise} = 2.9V$  且  $V_{PV\_UVLO\_fall} = 2.2V$ 。

如图 3-2 所示，为了实现通用迟滞控制，可以构建由多个电阻器和 PNP 晶体管  $Q_1$  组成的外部电路。 $V_{PV}$  是 PV 电池板的电源电压， $V_{OUT}$  是直流/直流转换器的输出电压，可通过 FB 引脚上的分压电阻器将输出电压调节至大约 4.2V。

该电路的运行方式如下：

起初，当日照较弱时，PV 电池板的输出电压远低于最大功率点工作电压，集电极-基极电压由 R3 和 R4 决定，如方程式 1 所示。如果此时  $V_{cb}$  低于 PNP 晶体管 Q1 的阈值电压 ( $V_{BE(ON)}$ )，则 Q1 会关断，然后通过  $R_{EN}$  将 EN 引脚接地，并禁用 TPS61023。

当日照变强时，PV 电池板的输出电压升高， $V_{cb}$  高于 PNP 晶体管 Q1 的阈值电压 ( $V_{BE(ON)}$ )，因此 Q1 导通，然后 EN 引脚上拉至  $V_{PV}$ 。VIN 引脚的电压由 R1 和 R2 决定，如方程式 2 所示。当 VIN 电压高于 UVLO 上升阈值电压时，TPS61023 将启用以便为电池充电。

然后，当日照再次变弱时，Q1 再次关断，EN 引脚通过  $R_{EN}$  下拉至 GND。TPS61023 被禁用，充电阶段停止。

$$V_{PV\_UVLO\_rise} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} > V_{DCDC\_UVLO\_rise} \quad (1)$$

$$V_{PV\_UVLO\_fall} \times \frac{R_3}{R_3 + R_4} < |V_{BE(ON)}| \quad (2)$$

其中

- $V_{DCDC\_UVLO\_rise}$  是直流/直流转换器的 UVLO 上升阈值电压，此处为 1.7V。
- $V_{BE(ON)}$  是 PNP 晶体管的集电极-基极阈值电压。

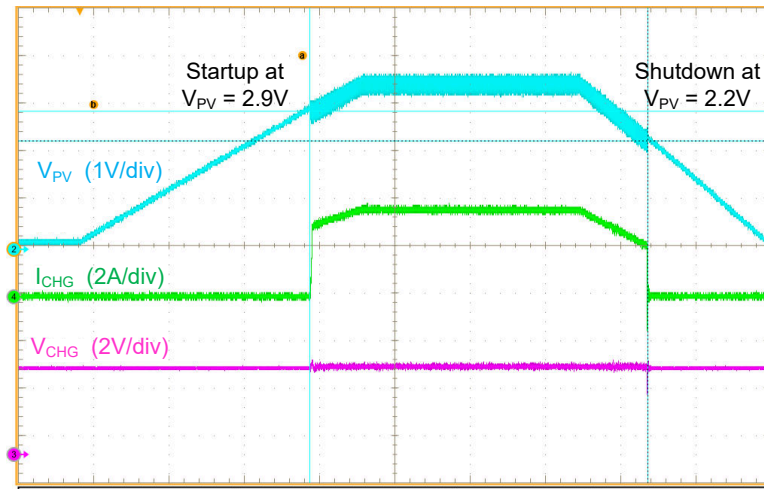


图 3-3. 通用迟滞控制 MPPT 方法测试

图 3-3 中验证了该电路，其中为  $V_{PV}$  提供了可调节电源， $V_{OUT}$  连接到剩余电压为 3.6V 的锂离子电池。当  $V_{PV}$  上升到高于 2.9V 时，TPS61023 将开启并输出电流为电池充电。当  $V_{PV}$  下降到低于 2.2V 时，TPS61023 将关闭并停止输出电流。

### 3.3 实验结果

在不同日照强度下使用实际 PV 电池板时的测试结果，测试设置如表 3-1 所示。

表 3-1. 测试设置

参数	值
太阳能电池板	0.6V、200mA 太阳能电池 × 6
充电电流	1A
充电电压	4.2V

如图 3-4 所示，当 PV 电池板电压高达 2.9V 时，直流/直流转换器开始工作，以 1A 的充电电流为电池充电；当 PV 电池板电压低于 2.2V 时，直流/直流转换器停止工作，充电电流为 0A。这样，PV 电池板电压在运行过程中近似为三角波，PV 电池板电压一直在 MPP 附近，所以 PV 电池板以最高效率运行。MPPT 由该电路实现。

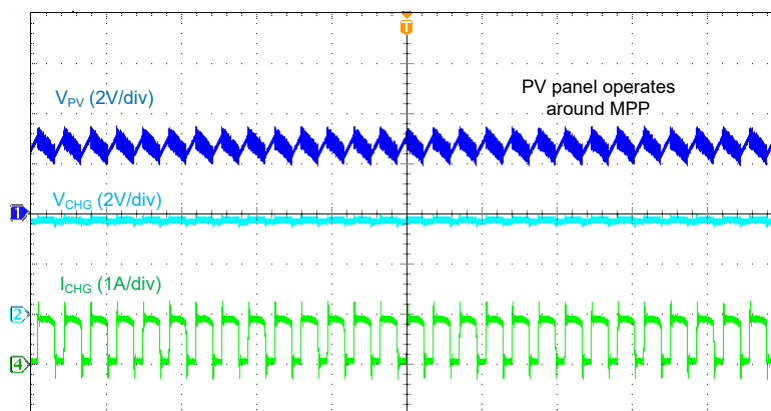


图 3-4. 通用迟滞控制 MPPT 方法测试

请注意，TPS61023 的真正断开功能被该迟滞控制电路禁用时将失去这一功能。当升压转换器关闭时， $V_{PV}$  通过内部高侧 FET 的体二极管连接到  $V_{OUT}$ ，所以此时  $V_{OUT}$  不是 0V。如果需要在真正断开功能被禁用时实现真正断开，可以使用图 3-5 所示的附加电路。

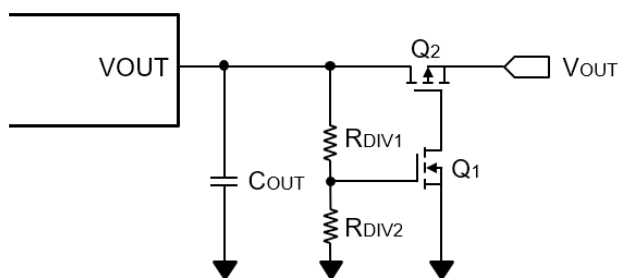


图 3-5. 真负载断开电路

## 4 总结

本应用手册介绍了一种在电池供电型 PV 系统中采用通用直流/直流转换器的简单灵活的 MPPT 方法。通过推荐的电路，电池供电型 PV 系统可以在最大输出功率点附近运行，从而使 PV 电池板可以在最大功率点附近工作并为电池高效充电，从而延长电池供电型设备的工作时间并延长系统的使用寿命。

## 5 参考资料

- 德州仪器 (TI), [电池供电型摄像头和可视门铃的电源轨设计](#) 应用手册
- 德州仪器 (TI), [适用于太阳能供电型应用、基于 TPS61094、带 MPPT 和升压转换器的降压充电器](#) 应用手册
- 德州仪器 (TI), [光伏系统最大功率点跟踪简介](#) 应用手册
- 德州仪器 (TI), [实现简单的最大功率点跟踪 MPPT 算法](#) 应用手册
- 德州仪器 (TI), [TPS61023 具有 0.5V 超低输入电压的 3.7A 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 © 2024，德州仪器 (TI) 公司