

基于 LT3652 的太阳能充电器设计方法

摘要： 基于太阳能充电器需求的不断增加，采用 LT3652 电池充电管理芯片设计了一种多功能太阳能充电器。在详细介绍 LT3652 输入电压调节环路及该芯片的其他功能的基础上，针对设计过程中涉及的元器件选型，PCB 布线注意事项作了详细介绍。同时对如何设计更具有生命力和适应性的充电器产品给出了建议。本方案的太阳能充电器可实现对光伏电池的最大峰值功率跟踪，使充电效率最大化，同时也减少光伏电池使用量。该太阳能充电器具有很高的浮充电压精度，可满足对充电电压要求严苛的充电设备的充电需求。

太阳能作为一种免费的绿色清洁能源，在越来越多的场合中得以应用，如太阳能路灯、太阳能航海浮标以及诸如手机、GPS 导航仪、相机等移动设备的户外充电。一般采用光伏电池作为光电转换器件，并将电能存储在充电电池中供这些设备使用。光伏电池的内部构造决定其效率有限，目前商用单晶硅电池效率为 13%~18%；加之其造价较高，因此从光伏电池中抽取最大功率减少其使用量，并实现蓄电设备的高效快速充电成为太阳能充电器的设计目标。采用最大功率跟踪（MPPT）的方法可实现从光伏电池中抽取最大功率。

1 LT3652 介绍

对于单晶硅光伏电池，其最大功率点发生在每条 $V-I$ 曲线的拐点处。尽管不同光照强度下光伏电池的最大峰值功率点不同，但各个最大峰值功率点对应的输出电压基本保持不变，如图 1 所示。此电压称为最大峰值功率电压，以 $V_{P(MAX)}$ 表示。为使光伏电池工作在最大

功率输出点，充电器需将其输出电压保持在 $V_{P(MAX)}$ 附近。本设计采用凌力尔特公司生产的 LT3652 作为充电管理芯片。该芯片采用一种特殊的输入电压调整环路，当使用太阳能电池板作为输入电源时，当光伏电池板输出电压降低到某一设定值，LT3652 就会自动降低充电电流，使光伏电池板保持在最大峰值功率输出点。

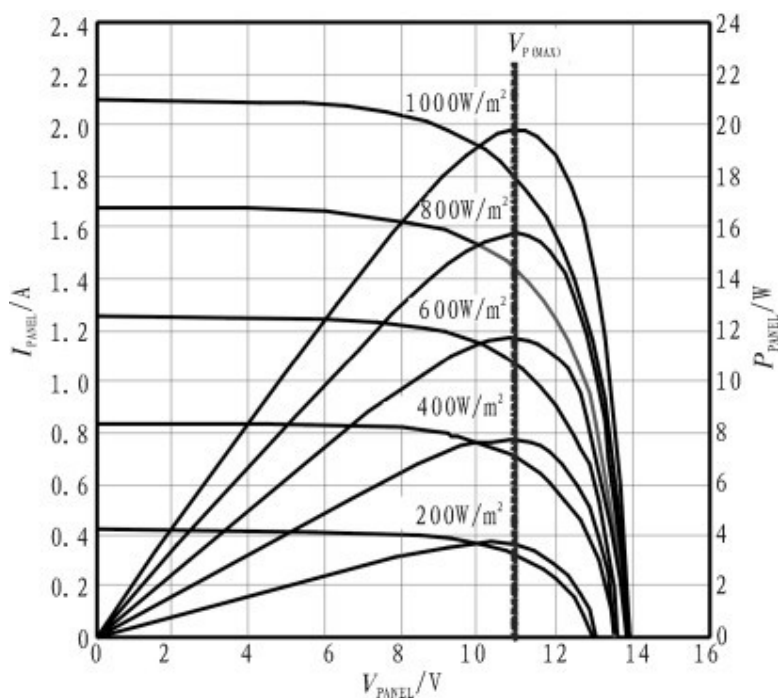


图 1 单晶硅光伏电池输出特性曲线

1.1 LT3652 充电管理芯片功能介绍

LT3652 支持多种化学组分的电池，是一种中等功率的单片降压式充电管理芯片，采用平均电流模式降压式的拓扑结构。特殊的输入电压调节环路可以通过电阻分压器方便设定最低输入电压。

LT3652 可设置最大充电电流高达 2 A, 其内部恒定频率为 1 MHz 的高频开关，可提高充电效率。芯片具有从 4.95~32 V 宽输入电压范

围, 其浮充电压 $V_{\text{BAT (FLOAT)}}$ 可由电阻分压器方便设置, 最高可达 14.4 V, 满足绝大多数充电电池的充电需求。

精密的门限关断引脚 $\overline{\text{SHDN}}$ 支持欠压锁定功能。两个 OC 门引脚 $\overline{\text{CHRG}}$ 和 $\overline{\text{FAULT}}$, 灌电流高达 10 mA, 可驱动 LED 以标识充电器的充电或故障状态。该芯片还具有电池温度监视、坏电池检测以及自动充电功能。

在电池充电期间, 当芯片检测到电池电压低于 0.7 倍的 $V_{\text{BAT (FLOAT)}}$ 时, 充电器自动进入预置充电模式。此模式下, 充电器为电池涓流充电, 充电电流为最大充电电流 $I_{\text{CHRG (MAX)}}$ 的 15%。当电池电压升至 $V_{\text{BAT (FLOAT)}}$ 的 70% 以上时, 充电电流自动增大至 $I_{\text{CHRG (MAX)}}$ 。

LT3652 提供两种充电终止模式供选择: C/10 模式和 TIMER 模式。C/10 表示实际充电电流为最大充电电流的十分之一。在此模式下, 当充电电流低于 $I_{\text{CHRG (MAX)}}$ 的十分之一 (C/10) 时, 充电器则停止充电。使用 TIMER 模式, 充电器则可以以低于 C/10 的电流为电池充电。当一个充电周期 t_{EOC} 结束时, 若电池充满, 则充电器停止充电, 否则将重启新的充电周期, 直至电池充满。电池充满的标识为电池电压达到 $V_{\text{BAT (FLOAT)}}$ 的 97.5% 以上。在 TIMER 模式下, 充电器支持坏电池检测功能。当充电器停留在预置模式的时间超过 t_{EOC} 的 1/8 时, $\overline{\text{FAULT}}$ 引脚电平被拉低。

充电结束后, LT3652 进入低电流待机模式, 在待机模式下, 芯片仍可管理电池电压, 当电池电压下降到 $V_{\text{BAT (FLOAT)}}$ 的 97.5% 以下时, 将自动为电池充电。

1.2 输入电压调节环路

LT3652 的输入电压调节环路通过电阻分压器可方便设定最低输入电压，并能根据输入电压的大小自动调整充电电流，实现对太阳能电池板的最大峰值功率跟踪。输入电压调节环路对输入电压的有特定的调节范围： $V_{REG(MIN)} \sim V_{REG(MAX)}$ 。调节范围由 V_{IN} 和 V_{IN_REG} 之间的电阻分压器设置，如图 2 (a) 所示。

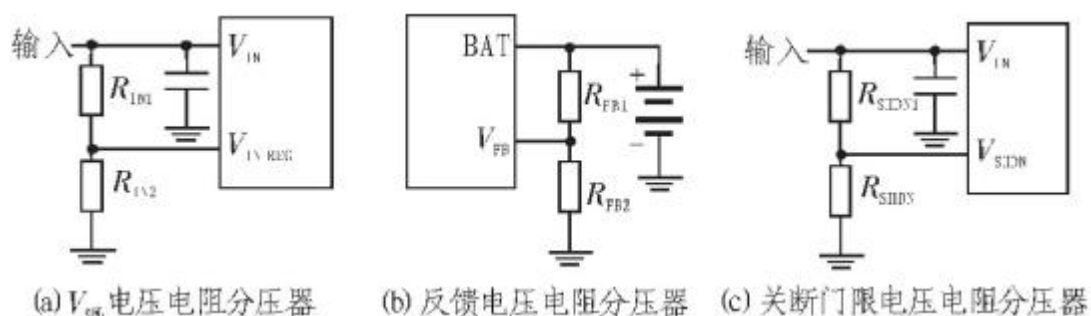


图 2 设置各门限电压的电阻分压器

引脚内置的基准电压范围为 2.67~2.74 V, 因此对应输入电压的调节范围为:

$$\begin{cases} V_{REG(MIN)} = 2.67(R_{IN1} + R_{IN2})/R_{IN2} \\ V_{REG(MAX)} = 2.74(R_{IN1} + R_{IN2})/R_{IN2} \\ V_{REG(MIN)} < V_{REG} < V_{REG(MAX)} \end{cases} \quad (1)$$

如图 3 所示, V_{IN_REG} 对 R_{SENSE} 上的压降 ($V_{SENSE} - V_{BAT}$) 具有控制作用, 将图中 V_{IN_REG} 控制曲线拟合得:

$$\begin{aligned} V_{SENSE} - V_{BAT} &= 1.43 \cdot (V_{IN_REG} - 2.67 \text{ V}) \\ &= 1.43 \cdot \left(\frac{V_{IN} \cdot R_{IN2}}{R_{IN1} + R_{IN2}} - 2.67 \text{ V} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

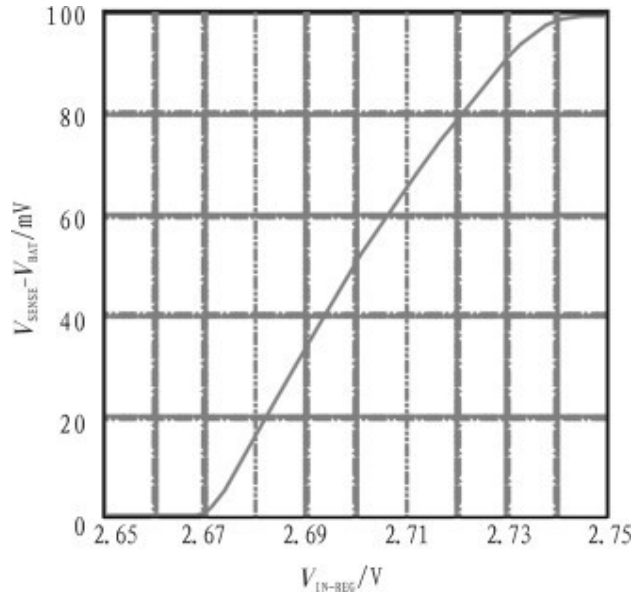


图 3 V_{IN_REG} 对 $(V_{SENSE} - V_{BAT})$ 的控制曲线

当 V_{IN_REG} 引脚电压在 2.67~2.74 V 区间时，光伏电池板输出电压在相应的调节范围内。对于光伏电池板，光照强度的下降或充电电流需求增大，会造成其输出电压的下降，使之偏离最大功率输出点。当光伏电池板输出电压下降至调节范围内某一值 V_{REG} 时， $(V_{SENSE} - V_{BAT})$ 也将下降。而 $(V_{SENSE} - V_{BAT})$ 控制充电电流的大小，因此充电电流将减小。因此光伏电池板输出电压将沿伏安特性曲线上升，直至达到新的峰值功率输出工作点。也即在调节范围内，LT3652 通过控制充电电流使光伏电池板保持峰值功率输出。

当光照很强，光伏电池板输出功率高于充电电路所需时， V_{IN_REG} 引脚电压将大于 2.74 V， $(V_{SENSE} - V_{BAT})$ 上升到最大值 100 mV 并保持不变。光伏电池板的输出电压将超出输入电压调节环路的调节范围。此时充电器进入恒流充电模式，充电电流为最大值 $I_{CHRG(MAX)}$ 。

当光照强度不足以提供充电所需功率， V_{IN_REG} 引脚电压低于 2.67 V 时，充电器将停止充电。

2 充电器电路及外围器件参数计算和选型

2.1 充电器电路

LT3652 具有很高的集成度，仅需很少的外围器件即可设计出功能完善的充电器。本文设计的太阳能充电器用于两节锂离子电池的充电，浮充电压为 8.2 V。充电器电路如图 4 所示。该充电器的设计方法具有通用性，以下予以简要介绍，供设计者参考。

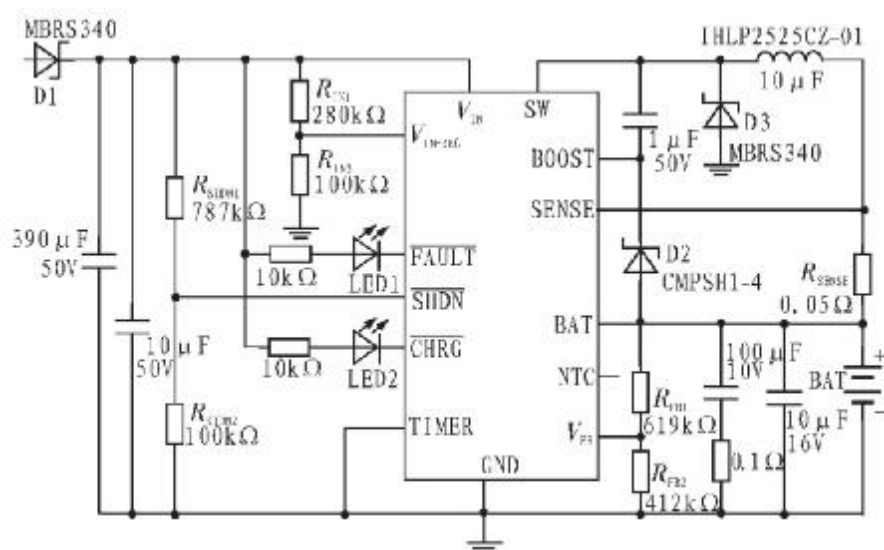


图 4 2 A 充电电流的锂离子电池太阳能充电器

2.2 外围器件的参数计算及选择

2.2.1 光伏电池板的选择

首先确定所需的最小光伏电池板，主要参数包括开路电压 V_{OC} ，峰值功率电压 $V_{P(MAX)}$ 以及峰值功率电流 $I_{P(MAX)}$ 。 V_{OC} 为 3.3 V 加上在 2 节电池浮充电压之上 D1 的正向压降； $V_{P(MAX)}$ 为 0.75 V 加上在浮充电压之上 D1 的正向压降。两者均预留 15% 的余量，保证低光照强度下的正常启动和运行。 $I_{P(MAX)}$ 由 $V_{BAT(FLOAT)}$ ， $V_{P(MAX)}$ ， $I_{CHRG(MAX)}$ 以及充电器效率 η 确定。公式如下所示：

$$\begin{cases} V_{OC} = (V_{BAT(FLOAT)} + V_{F(D1)} + 3.3 \text{ V}) \cdot 1.15 \\ V_{P(MAX)} = (V_{BAT(FLOAT)} + V_{F(D1)} + 0.75 \text{ V}) \cdot 1.15 \\ I_{P(MAX)} = I_{CHRG(MAX)} \cdot V_{BAT(FLOAT)} / (\eta \cdot V_{P(MAX)}) \end{cases} \quad (3)$$

两节锂离子电池的浮充电压为 8.2 V, 肖特基二极管选用 MBRS340, 正向压降 $V_{F(D1)}$ 为 0.5 V, 充电器效率一般取 $\eta = 0.85$. 由以上各式得光伏电池板的最小要求为: $V_{OC} = 13.8 \text{ V}$; $V_{P(MAX)} = 10.9 \text{ V}$; $I_{P(MAX)} = 1.8 \text{ A}$.

2.2.2 电流传感电阻

电流传感电阻 R_{SENSE} 由其上最大压降 100 mV 与最大充电电流之比确定:

$$R_{SENSE} = 0.1 \text{ V} / I_{CHRG(MAX)} = 0.1 \text{ V} / 2 \text{ A} = 0.05 \Omega \quad (4)$$

2.2.3 输入电压调节电阻分压器

输入电压调节电阻分压器 R_{IN1} 和 R_{IN2} 如图 2 (c) 所示, V_{IN_REG} 引脚内置参考电压取 2.74 V. 取 $R_{IN2} = 100 \text{ k}\Omega$, 则:

$$R_{IN1} = R_{IN2} \cdot [(V_{P(MAX)} - V_{F(D1)}) - 2.74 \text{ V}] / 2.74 \text{ V} = 2.96 \text{ k}\Omega \quad (5)$$

取 $R_{IN1} = 280 \text{ k}\Omega$, 光伏电池板最大峰值功率追踪电压的控制范围:

$$\begin{cases} V_{REG(MIN)} = 2.67 \text{ V} \cdot (R_{IN1} + R_{IN2}) / R_{IN2} + V_{F(D1)} = 10.65 \text{ V} \\ V_{REG(MAX)} = 2.74 \text{ V} \cdot (R_{IN1} + R_{IN2}) / R_{IN2} + V_{F(D1)} = 10.9 \text{ V} \end{cases} \quad (6)$$

2.2.4 输出反馈电压电阻分压器

V_{FB} 电压分压电阻器如图 2 (b) 所示。 R_{FB1} 和 R_{FB2} 用来设置电池的浮充电压 $V_{BAT(FLOAT)}$, 两者的戴维宁等效电阻应为 250 k Ω , 以

补偿 V_{FB} 引脚 110 nA 的输入偏置电流。 $V_{BAT(FLOAT)}$ 对应于 VFB 引脚内置的 3.3 V 参考电压。此外, 该引脚另一个内置 2.3 V 参考电压, 对应于电池进入预置模式的门限电压 $V_{BAT(PRE)}$ 。

$$\begin{cases} R_{FB1} = \frac{V_{BAT(FLOAT)} \cdot 250 \text{ k}\Omega}{3.3 \text{ V}} = \frac{8.2 \text{ V} \cdot 250 \text{ k}\Omega}{3.3 \text{ V}} = 621.2 \text{ k}\Omega \\ R_{FB2} = \frac{R_{EB1} \cdot 250 \text{ k}\Omega}{R_{EB1} - 250 \text{ k}\Omega} = \frac{619 \text{ k}\Omega \cdot 250 \text{ k}\Omega}{619 \text{ k}\Omega - 250 \text{ k}\Omega} = 419.2 \text{ k}\Omega \end{cases} \quad (7)$$

分别取 $R_{FB1}=919 \text{ k}\Omega$; $R_{FB2}=412 \text{ k}\Omega$ 。

当 LT3652 检测到电池电压低于 $V_{BAT(PRE)}$ 时, 充电器自动进入预置充电模式。此模式下, 电池充电电流仅为 15% 的 $I_{CHRG(MAX)}$, 也即 $I_{BAT(PRE)}$ 为 0.3 A。电池进入预置充电模式的门限电压 $V_{BAT(PRE)}$ 由下式确定:

$$V_{BAT(PRE)} \leq V_{BAT(FLOAT)} \cdot \frac{2.3 \text{ V}}{3.3 \text{ V}} = 5.7 \text{ V} \quad (8)$$

2.2.5 VSHDN 电阻分压器

VSHDN 电阻分压器如图 2 (c) 所示。 V_{SHDN} 的上升门限电压为 $1.2 \text{ V} \pm 50 \text{ mV}$, 延迟电压为 120 mV。当 V_{IN} 引脚的电压为 $V_{REG(MIN)}$ 时, V_{SHDN} 达到其可能的最大值, 电阻分压器应据此设置。取 $R_{SHDN2}=100 \text{ k}\Omega$, 则:

$$\begin{aligned} R_{SHDN1} &= R_{SHDN2} \cdot [(V_{REG(MIN)} - V_{F(D1)}) - (V_{REG(MAX)} - V_{REG(HYST)})] \\ &/ (V_{REG(MAX)} - V_{REG(HYST)}) = 100 \text{ k}\Omega \cdot [(10.65 \text{ V} - 0.5 \text{ V}) - \\ & (1.25 \text{ V} - 0.12 \text{ V})] / (1.25 \text{ V} - 0.12 \text{ V}) = 798.2 \text{ k}\Omega \end{aligned} \quad (9)$$

取 $R_{SHDN1}=787 \text{ k}\Omega$ 。此时 V_{SHDN} 的各门限电压分别确定如下:

1) V_{SHDN} 上升沿门限电压: $V_{SHDN(MIN)}=10.7 \text{ V}$; $V_{SHDN(MAX)}=11.6 \text{ V}$ 。

2) V_{SHDN} 下降沿门限电压: $V_{SHDN (MIN)} = 9.6V$; $V_{SHDN (MAX)} = 10.5 V$.

2.2.6 元件的选择

1) 电阻

RFB1 和 RFB2 用来设置电池浮充电压, 其精度会影响浮充电压的精度, 选用 0.1%精度的电阻, 引入的误差小于 0.154%, 选用 1%精度的电阻则引入 1.56%的误差。设计中根据充电电池对浮充电压的精度要求来选择合适的电阻。

2) 去耦电容

V_{IN} 引脚的去耦电容 C_{IN} , 选用低 ESR 值的高品质电容, 一般 $10 \mu F$ 可满足要求。BAT 引脚旁路电容选用 $10 \mu F$ 的陶瓷电容。若直接使用充电器输出端驱动负载, 还需一个 $100 \mu F$ 低 ESR 值的非陶瓷电容 (可选钽电容或有机半导体电容) 与 $10 \mu F$ 陶瓷电容并联接地, 以吸收充电器输出的连续纹波。SW 和 BOOST 引脚间去耦电容选用 $1 \mu F$ 的陶瓷电容。光伏电池板输出端应加一个 $390 \mu F$ 或更大的电容, 减少开关谐波。

3) 电感

根据电感产生的电流纹波的水平来确定电感值的大小, 可依据下式进行选择。其中 ΔI_{MAX} 为纹波电流水平, 一般为 $I_{CHRG(MAX)}$ 的 25%~35%, $V_{IN (MAX)}$ 为充电器最大工作电压。

$$L = (10 R_{SENSE} / \Delta I_{MAX}) \cdot V_{BAT (FLOAT)} \cdot [1 - V_{BAT (FLOAT)} / V_{IN (MAX)}] \mu H$$

(10) 另外, 电感的饱和电流应大于流过它的峰值电流 ($I_{CHRG (MAX)} + \Delta I_{MAX}/2$)。电感的伏秒数也应大于最小要求值。

4) 肖特基二极管

所选肖特基二极管的正向电流应大于回路中最大电流，此设计选用 MBRS340。此外， V_{IN} 处防反接肖特基二极管 D1 还可用 P 沟道 FET 管代替。

5) NTC 热敏电阻

由于光伏电池的输出电压易受工作温度影响，可采取在 R_{IN1} 与 V_{IN} 之间添加一个适当的 NTC 热敏电阻进行修正。另外对于发热较严重的电池部件，应采用 NTC 热敏电阻进行温度监控和补偿。对于本设计因光伏电池面积较小，电池发热量有限，无需修正。

3 PCB 布线注意事项

LT3652 采用 1 MHz 恒定开关频率，同时充电电路又存在着大电流和较精密的电压参考，为了避免大电流和高频开关噪声对参考电压精度的影响，应周详考虑其布线问题：

1) SW 和 V_{IN} 节点的走线应短而宽，以减少高频噪声，削弱感性环路的影响；2) 输入引脚电容 C_{IN} 及 BOOST 引脚去耦电容均应尽可能靠近芯片；3) SENSE 和 BAT 引脚的走线长度尽量短，并布在一起。

PCB 布地线时推荐使用地平面。将开关电流接入地平面，并通过元件合理布局将敏感节点与大电流通道及高频回路隔离开来。有效的铺地示意图如图 5 所示，图中环①和环②分别为开关使能与关断时电流流向，实线和粗虚线分别表示不同布线层的走线。

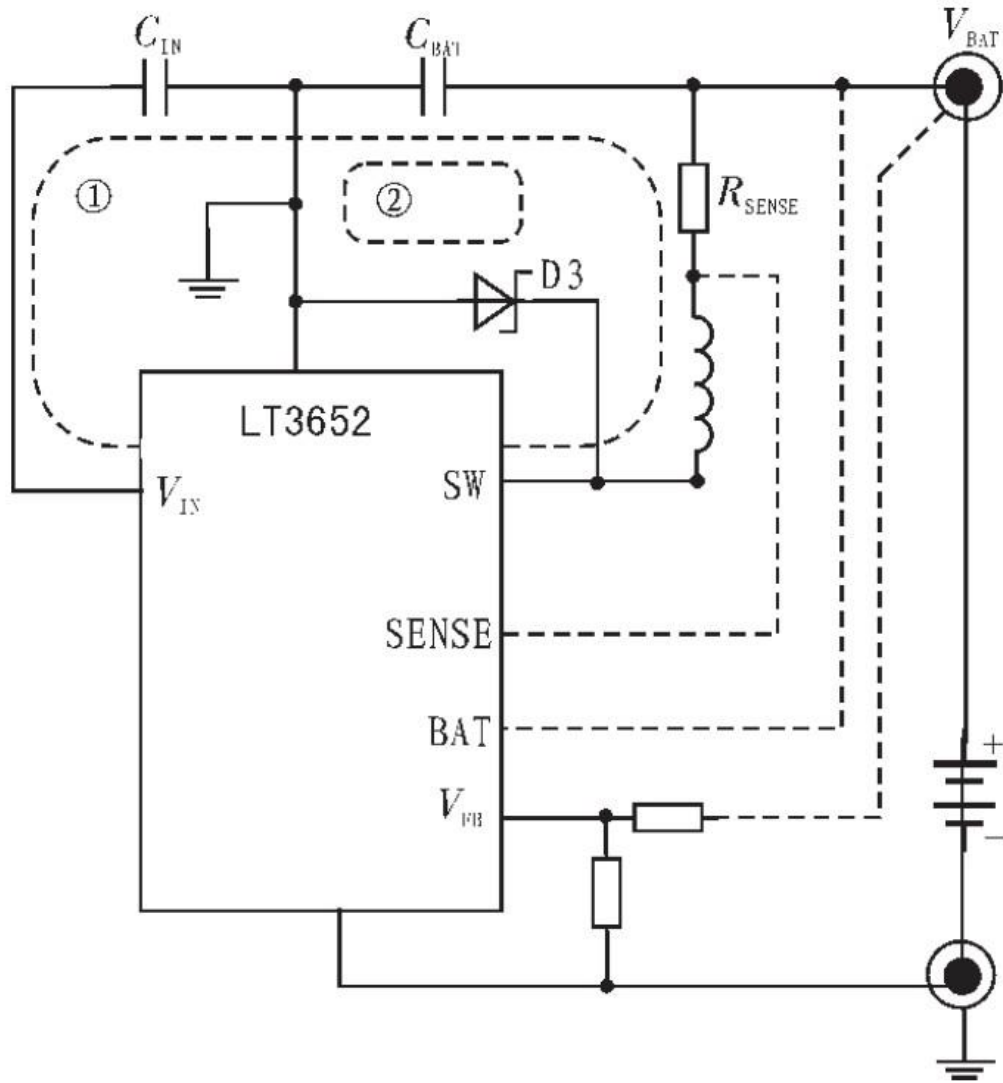


图 5 有效的铺地示意图

4 结束语

LT3652 输入电压调整环路可自动跟踪光伏电池板的最大功率输出工作点，从而最大程度提高光伏电池板的利用效率。芯片仅需使用电阻分压器即可实现对输入电压的调节范围、浮充电压及关断门限电压的设置。实际产品设计中，可采用不同的电阻分压器来设置不同的浮充电压，通过开关切换来选择不同的浮充电压，满足各种电池不同充电电压的需求。芯片输入前端 V_{IN} 还可加设开关电源电路作为其

输入电压源。通过开关的切换选择使用光伏电池板充电或者 220 V 交流电充电，使产品更具适应性。基于 LT3652 的充电器可满足精密数码以及移动通信基站等产品的高端蓄电设备的充电需求。LT3652 提供 DFN 和 MSOP 两种纤小封装，充电电路仅需少量小封装外围器件，可节省 PCB 空间，利于充电器小型化。另外，还有高电压版本 LT3652HV 供选择。