



目录

1.概述.....	2
2.特性.....	2
3.应用.....	2
4.引脚说明.....	3
5.电气特性 25°C.....	4
6.推荐工作条件.....	5
7.工作原理.....	6
7.1 电源转换器.....	6
7.2 工作模式.....	6
7.3 MPPT 最大功率点跟踪.....	7
7.4 双电池超级电容.....	7
8.系统配置.....	8
8.1 储能器件和 LDO 相关配置.....	8
8.2 MPPT 配置.....	9
8.3 备用电池配置.....	9
8.3 无储能器件配置.....	9
9.典型应用电路.....	9
10.推荐封装.....	10
修订历史.....	10

1.概述

DFM8001 是一款多功能的环境能量采集和管理模组，集成了能量管理、充放电管理、储能器件管理等功能。它支持在低至 400mV 电压和 15 μ W 功率的能量输入下实现冷启动，可从光能电池板、微型涡轮发电机、等能量转换装置中获取直流电，并将能量存储在可充电的储能器件中，通过两个 LDO 稳压器为不同的负载提供稳定的工作电压。

最大支持 100mA 的输入电流，内部集成一个超低功耗升压转换器，用于为储能器件充电，如锂离子电池、薄膜电池、超级电容或常规电容器。升压转换器通过独特的冷启动电路，能够在输入电压仅 400mV 输入功率 15 μ W 时启动，并在输入 150mV 至 5V 的情况下持续运行。

支持双路 LDO 稳压器输出，低压 LDO 通常用于驱动 1.2V 或 1.8V 的 MCU，高压 LDO 通常用于驱动 1.8 至 4.0V 的无线收发器。这两个高效的 LDO 提供了低噪声及高稳定性的输出电压。

支持通过配置引脚对储能器件和 LDO 进行各项配置，例如过充过放保护电压、LDO 输出电压以及是否启动 LDO 输出等。内置 7 种配置模式，涵盖了大多数使用场景，也可通过一些电阻来配置额外的特殊模式。

使用时无需连接任何外部电子元件，只需将模组自身的配置引脚与 GND/Vbuck 连接，接入环境能源收集装置、储能器件和用电设备后，即可构建一个环境能源供电系统。极简的 BOM 清单以及研发难度，可有效缩短产品的上市时间和成本。

2.特性

超低启动功率

- 400mV 15 μ W 冷启动
- 启动后输入电压范围 150mV 至 5V

超高能源转换效率

- MPPT 比率 70%、75%、85、90%多档调节
- 每 5 秒对 MPPT 进行一次开路电压检测

集成双路 LDO 稳压器

- 低压 1.2/1.8V 20mA
- 高压 1.8-4.1V 80mA
- 可动态控制是否启动 LDO 输出

灵活的储能管理

- 可调节过充过放保护
- 适用于任何类型的可充电电池或电容器
- 电池电量不足预警
- LDO 输出可用提示

支持备用电池

- 当可充电电池电量耗尽时，600ms 后自动切换为备用电池

3.应用

- 室内光能采集
- 智能家居
- 无线传感器节点
- 智能电子价签
- 工业监测
- 资产管理

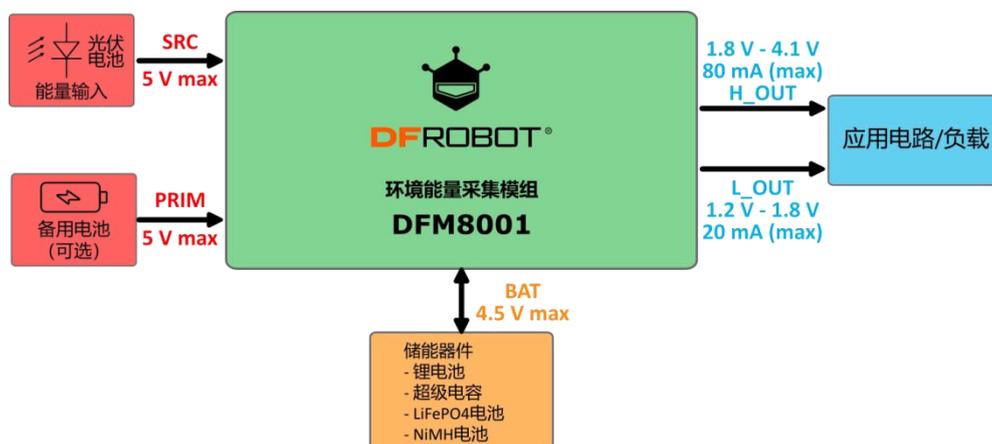


图 1. 应用框图

4.引脚说明

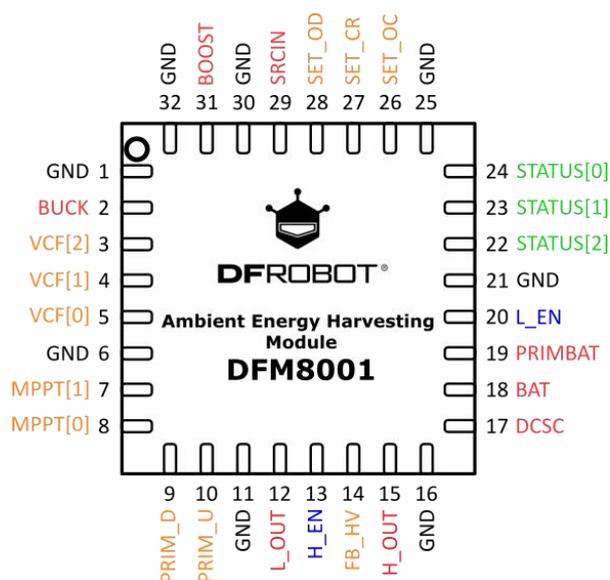


图 2. 引脚图

名称	编号	功能	
电源引脚			
BUCK	2	降压转换器的输出	
BOOST	31	升压转换器的输出	
L_OUT	12	低压 LDO 调节器的输出	
H_OUT	15	高压 LDO 调节器的输出	
DCSC	17	连接到双电池超级电容器的中点(可选), 如不使用必须接到 GND	
BAT	18	连接到储能器件, 可充电电池、电容等, 不可悬空	
PRIMBAT	19	连接到备用电池(可选), 如不使用必须接到 GND	
SRCIN	29	连接到输入能量源	
GND		系统地	
配置引脚			
VCF[2]	3	用于配置储能元件的阈值电压和 LDO 的输出电压	
VCF[1]	4		
VCF[0]	5		
MPPT[1]	7	用于配置 MPPT 比率	
MPPT[0]	8		
PRIM_D	9	用于配置备用电池的最低电压(可选), 如不使用必须接到 GND	
PRIM_U	10		
FB_HV	14	用于在自定义模式下配置高压 LDO(可选), 如不使用必须浮空	
SET_OC	26	用于在自定义模式时配置储能元件的阈值电压(可选)	
SET_CR	27		使用预定义模式时, 必须浮空
SET_OD	28		使用自定义模式时, 禁止浮空

控制引脚		
H_EN	13	高压 LDO 的使能引脚
L_EN	20	低压 LDO 的使能引脚
状态引脚		
STATUS[2]	22	逻辑输出, 在模组执行 MPPT 计算时置位
STATUS[1]	23	逻辑输出, 当电池电压低于 V_{od} 或模组正在从原电池中获取能量时置位
STATUS[0]	24	逻辑输出, LDO 可以启用时置位

表 1. 引脚说明

5.电气特性 25°C

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
输入电压和输入功率						
P_{SRC_CS}	冷启动需要的输入功率	冷启动期间	15			μW
V_{SRC}	输入电压	冷启动期间	0.4		5	V
		冷启动后	0.15		5	V
I_{SRC}	输入电流				100	mA
V_{MPP}	最大功率点的电压	冷启动后	0.15		4.5	V
DC-DC 转换器						
V_{BOOST}	升压转换器的输出电压	正常工作期间	2.2		4.5	V
V_{BUCK}	降压转换器的输出电压	正常工作期间	2	2.2	2.5	V
储能器件						
V_{BAT}	储能器件电压	可充电电池	2.2		4.5	V
		电容	0		4.5	V
T_{DLY}	STATUS[1]生效之后至关闭的时间		400	600	800	ms
V_{PRIM}	备用电池电压		0.6		5	V
I_{PRIM}	备用电池输出电流			20		mA
V_{PRIM_U}	备用电池最小电压		0.15		1.1	V
V_{oc}	禁用升压转换器之前, 储能元件上可接受的最大电压	见表 6	2.3		4.5	V
V_{cr}	冷启动后启用 LDO 之前, 储能元件上所要求的最低电压	见表 6	2.25		4.45	V
V_{od}	在切换到备用电池或进入关闭模式之前, 储能元件可接受的最小电压	见表 6	2.2		4.4	V
LDO 稳压器						
V_L	低压 LDO 输出电压	见表 6	1.2		1.8	V
I_L	低压 LDO 输出电流		0		20	mA

V_H	高压 LDO 输出电压	见表 6	1.8		$V_{od}-0.3$	V
I_H	高压 LDO 输出电流		0		80	mA
逻辑输出引脚						
STATUS[2:0]	逻辑输出状态管脚	逻辑高	1.98	V_{BAT}		V
		逻辑低	-0.1	0	0.1	V

表 2. 电气特征

6.推荐工作条件

符号	参数	最小值	典型值	最大值	单位	
可选的外部器件						
RT	用于在自定义模式下设置电池阈值电压的电阻, $RT=R1+R2+R3+R4$ (可选)	1	10	100	MΩ	
RV	用于在自定义模式下设置高压 LDO 电压的电阻, $RV=R5+R6$ (可选)	1	10	40	MΩ	
RP	一次电池配置电阻, $RP=R7+R8$ (可选)	100		500	KΩ	
逻辑输入引脚						
H_EN	高压 LDO 使能引脚	逻辑高	1.75	V_{BUCK}	V_{BUCK}	V
		逻辑低	-0.01	0	0.01	V
L_EN	低压 LDO 使能引脚	逻辑高	1.75		V_{BOOST}	V
		逻辑低	-0.01	0	0.01	V
MPPT[1:0]	MPPT 配置引脚	逻辑高	连接 BUCK			
		逻辑低	连接 GND			
VCF[2:0]	储能元件配置引脚	逻辑高	连接 BUCK			
		逻辑低	连接 GND			

表 3. 推荐工作条件

参数	范围
V_{SRC}	5.5V
工作温度	-20 °C to +95°C
存储温度	-35 °C to +110°C

表 4. 最大工作条件

7. 工作原理

7.1 电源转换器

7.1.1 升压/降压

升压转换器将输入源上可用的电压升高到适合储能元件充电的电平，在 2.2 V 至 4.5 V 的范围内，该电压 V_{BOOST} 在 **BOOST** 引脚上可用。储能元件以电压 V_{BAT} 连接到 **BAT** 引脚，在正常模式下，电池短路至 **BOOST** ($V_{BAT} = V_{BOOST}$)。能量收集时，升压转换器将提供一个在电池和负载之间共享的电流。

降压转换器可将电压从 V_{BOOST} 降低到 2.2 V 的恒定 V_{BUCK} 值，该电压可通过 **BUCK** 引脚获得。

7.1.2 LDO 输出

模组有两个 LDO 可提供不同的工作电压：

高压 LDO 通过 **H_OUT** 为负载供电。该稳压器在 **H_OUT** 上提供电压 V_H ， I_H 最大电流为 80mA。在内置配置模式下，可以选择 1.8 V、2.5 V 或 3.3 V 的输出电压。在自定义配置模式下，它可以在 2.2 V 至 $V_{BAT} - 0.3V$ 之间调节。**H_OUT** 输出可通过逻辑控制引脚 **H_EN** 动态启用或禁用。

低压 LDO 通过 **L_OUT** 为负载供电。该稳压器在 **L_OUT** 上提供 1.8 V 或 1.2 V 的电压 V_L ， I_L 最大电流为 20mA。**L_OUT** 输出可通过逻辑控制引脚 **L_EN** 动态启用或禁用。

L_EN	H_EN	L_OUT	H_OUT
1	1	Enabled	Enabled
1	0	Enabled	Disabled
0	1	Disabled	Enabled
0	0	Disabled	Disabled

表 5. LDO 配置

7.2 工作模式

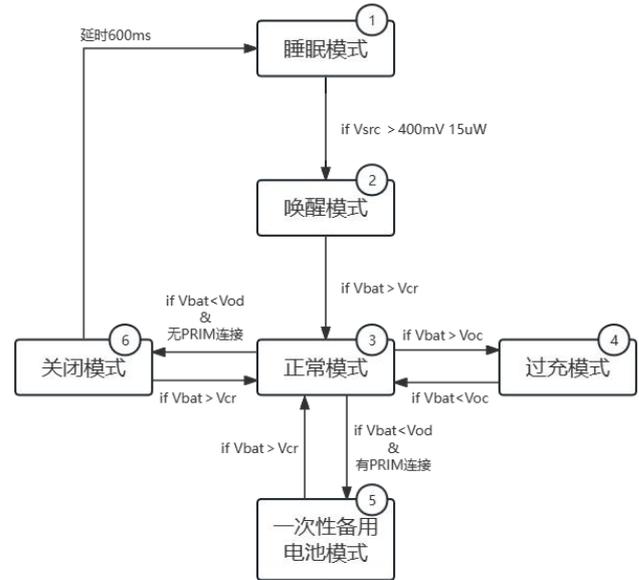


图 3. 工作模式示意图

7.2.1 深度睡眠和唤醒模式

在深度睡眠模式下，所有节点都被深度放电，没有可用的能源被模组收集。当 **SRCIN** 管脚满足 400mV 冷启动电压和 15 μ W 的功率输入时，模组便会被激活进入唤醒模式， V_{BAT} 和 V_{BUCK} 的电压上升到 2.2 V，然后 V_{BAT} 的电压单独上升到 V_{oc} 。在冷启动过程中，两个 LDO 都在内部被停用没有输出。

在超级电容器作为储能元件的情况下，储能元件可能需要从 0 V 开始充电。升压转换器会通过输入源为 **BAT** 充电。在 **BAT** 节点充电期间，两个 LDO 均被禁用，当 V_{BAT} 达到 V_{cr} 时，电路进入正常模式，用户可以使用 **H_EN** 和 **L_EN** 引脚控制激活或关闭 LDO 的输出。

在电池作为储能元件的情况下，如果其电压低于 V_{cr} ，则首先需要对储能元件充电直到电压达到 V_{cr} ，当 V_{BAT} 超过 V_{cr} ，电路重新进入正常模式。

7.2.2 正常模式

进入正常模式后，可能出现以下三种情况：

- 输入源提供的功率与负载功率相当， V_{BAT} 保持在 $V_{od} \sim V_{oc}$ 之间，电路保持正常模式；
- 输入源提供的功率超过负载消耗的功率， V_{BAT} 逐渐超过 V_{oc} ，电路进入过压模式；

- 输入源提供的功率低于负载消耗的功率, V_{BAT} 逐渐降至 V_{od} 以下, 电路将进入关机模式, 如果有一次电池连接在 **PRIM** 上, 则电路将进入一次电池充电模式。

7.2.3 过压模式

当 V_{BAT} 达到 V_{oc} 时, 充电完成, 内部逻辑部件将 V_{BAT} 电压值保持在 V_{oc} 附近, 并具有几毫伏的滞后以防止损坏储能元件和内部电路。在这种配置中, 升压转换器会定期激活以维持 V_{BAT} , 并且 LDO 的输出仍然可用。

7.2.4 备用电池模式

当 V_{BAT} 降至 V_{od} 以下时, 电路会将 **PRIM** 上的电压与 **PRIM_U** 上的电压进行比较, 以确定是否在 **PRIM** 上连接了电量足够的电池。 **PRIM_U** 上的电压通过两个可选电阻来设置, 如果 **PRIM** 上的电压除以 4 高于 **PRIM_U** 上的电压, 则电路认为备用电池可用, 并且电路进入备用电池模式, 模组保持在此模式, 直到 V_{BAT} 达到 V_{cr} 。当 V_{BAT} 达到 V_{cr} 时, 电路进入正常模式。如果应用中不使用原电池, 则必须将 **PRIM**、**PRIM_U** 和 **PRIM_D** 连接到 GND。

7.2.5 关闭模式

当 V_{BAT} 降至 V_{od} 以下且备用电池无法供电时, 电路将进入关闭模式以防止深度放电导致的储能元件损坏和 LDO 不稳定, 但此时 LDO 不会立马关闭。如果不使用一次电池, 则无论负载是由 **L_OUT** 供电还是由 **H_OUT** 供电, 都可以通过 **STATUS[1]** 的从低到高转换来中断负载。如果输入源的能量可用, 并且 V_{BAT} 在 T_{DLY} (约 600 ms) 内恢复到 V_{cr} , 则模组返回正常模式。但是, 如果在 T_{DLY} 之后 V_{BAT} 没有达到 V_{cr} , 则电路进入深度睡眠模式, LDO 被禁用, **BAT** 与 **BOOST** 断开连接, 以避免由于过放电而损坏电池。在此之后, 模组将必须执行深度睡眠和唤醒模式部分所述的唤醒过程。

7.3 MPPT 最大功率点跟踪

在正常模式、关闭模式和唤醒模式的切换期间, 升压转换器借助内部 MPPT (最大功率点跟踪) 模块来调节。MPPT 模块接收并维护 V_{MPP} 的信息, 采样大约每 5 秒进行一次。模组支持 0.15 V 至 5 V 范围内的任何 V_{MPP} 电平。它通过配置引脚 **MPPT[1:0]** 为 V_{MPP}/V_{OV} (输入源开路电压) 提供四个值的选择。

7.4 双电池超级电容

当使用双电池超级电容时, 必须保持两个电池电压相同, 避免由于一个电池上的电压过高而损坏超级电容器, 由模组内部的平衡电路来实现。

如果使用普通单电池超级电容器, 只需要将电容器的正极连接在 **BAT** 上, 此时必须将 **DCSC** 连接到 GND, 将平衡电路禁用。

如果使用双电池超级电容器, 需要将双电池电容器的中点连接到 **DCSC** 上, 平衡电路会补偿两个单元之间任何可能导致其中一个单元过充的不匹配。平衡电路确保 **DCSC** 的电压保持接近 $V_{BAT}/2$ 。

8. 系统配置

8.1 储能器件和 LDO 相关配置

8.1.1 预定义模式

预定义模式下，通过三个配置引脚（**VCF[2:0]**），可以快速设置一个特定的操作模式，而不需要任何外部器件，预定义模式可以满足大部分应用场景的需求。

配置管脚			储能器件电压			LDO 输出电压		推荐应用	
VCF[2]	VCF[1]	VCF[0]	Voc	Vcr	Vod	V _H	V _L		
1	1	1	4.12	3.67	3.60	3.3	1.8	Li-ion 电池	
1	1	0	4.12	4.04	3.60	3.3	1.8	固态电池	
1	0	1	4.12	3.67	3.01	2.5	1.8	Li-ion/NiMH 电池	
1	0	0	2.70	2.30	2.20	1.8	1.2	单核超级电容	
0	1	1	4.50	3.67	2.80	2.5	1.8	双核超级电容	
0	1	0	4.50	3.92	3.60	3.3	1.8	双核超级电容	
0	0	1	3.63	3.10	2.80	2.5	1.8	LiFePO4 电池	
0	0	0	自定义模式(R1-R8)				1.8		

表 6. VCF[2:0]配置

三个电压阈值级别为：

Voc: Overcharge Voltage 过充电压。通常为储能元件上可接受的最大电压。

Vcr: Charge Ready Voltage 冷启动充电就绪电压。在冷启动后，启用 LDO 之前，储能元件上所需的最低电压。

Vod: Over discharge Voltage 过放电压。在切换到一次电池或进入关闭模式之前，储能器件可接受的最小电压。

当使用预定义模式时，**SET_OC**、**SET_CR**、**SET_OD** 和 **FB_HV** 引脚必须保持浮空状态。

当使用自定义模式时，**SET_OC**、**SET_CR**、**SET_OD** 引脚禁止处于浮空状态，否则会造成模组损坏。

为防止误操作，在调节 **VCF[2]-VCF[0]** 时请断开储能器件，在接入储能器件时要严格遵守：储能器件当前电压 < Voc，否则会损坏系统

为防止误操作，配置为自定义模式之前必须先焊接好 R1-R8 电阻，然后再调节跳线帽配置，最后接入储能器件

8.1.2 用户自定义模式

选择自定义模式前必须先焊接好 R1-R4 电阻，当 **VCF[2:0]** 连接到 GND 时，将选择自定义模式。通过 R1-R6 进行配置，连接示意图如图 4 所示。

Voc、Vcr 和 Vod 是由 R1、R2、R3 和 R4 配置的。电阻器的计算方法如下：

- $RT = R1 + R2 + R3 + R4$
- $1\text{ M}\Omega \leq RT \leq 100\text{ M}\Omega$
- $R1 = RT(1 / Voc)$

$$- R2 = RT(1 / Vcr - 1 / Voc)$$

$$- R3 = RT(1 / Vod - 1 / Vcr)$$

$$- R4 = RT(1 - 1 / Vod)$$

V_H 是由 R5、R6 配置的。电阻器的计算方法如下：

$$- RV = R5 + R6$$

$$- 1\text{ M}\Omega \leq RV \leq 40\text{ M}\Omega$$

$$- R5 = RV(1 / Vh)$$

$$- R6 = RV(1 - 1 / Vh)$$

注意：如果 **H_EN** = 0 (**H_OUT** 被禁用)，则不需要 R5 和 R6，此时 **FB_HV** 应该保持浮空。

电阻值尽量选择大电阻值，以使得多余功耗忽略不计。
 另外，配置应当遵从以下的约束保证芯片的功能正常。

- $V_{cr} + 0.05 V \leq V_{oc} \leq 4.5 V$
- $V_{od} + 0.05 V \leq V_{cr} \leq V_{oc} - 0.05 V$
- $2.2 V \leq V_{od}$
- $V_h \leq V_{od} - 0.3V$

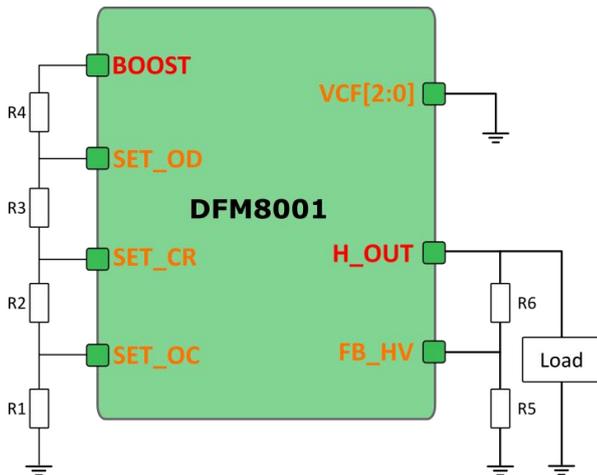


图 4. 自定义配置连接示意图

8.2 MPPT 配置

两个专用的配置引脚 **MPPT[1:0]**，允许根据输入能源的特性来选择 MPP 跟踪比。

MPPT[1]	MPPT[0]	V_{MPP}/V_{OV}
0	0	70%
0	1	75%
1	0	85%
1	1	90%

表 6. MPPT 配置

8.3 备用电池配置

使用一次电池时，必须确定 V_{PRIM_U} ，即用来判断一次电池已耗尽的电压，此时需要将 **PRIM_D** 连接分压电阻。

- $R_P = R_7 + R_8$
- $100k\Omega \leq R_P \leq 500k\Omega$
- $R_7 = (V_{PRIM_BAT_MIN} / 4) R_P (1 / 2.2)$
- $R_8 = R_P - R_7$

注意：如果没有使用主电池，则 **PRIM_U**、**PRIM_D** 和

PRIMBAT 必须连接到到 GND。

8.3 无储能器件配置

如果从环境收集到的能量永久可用并满足应用需求，或者在没有可收集的能源时无需存储能量，则可用最小为 $150 \mu F$ 的外部电容代替连接在 **BAT** 的储能元件。

9.典型应用电路

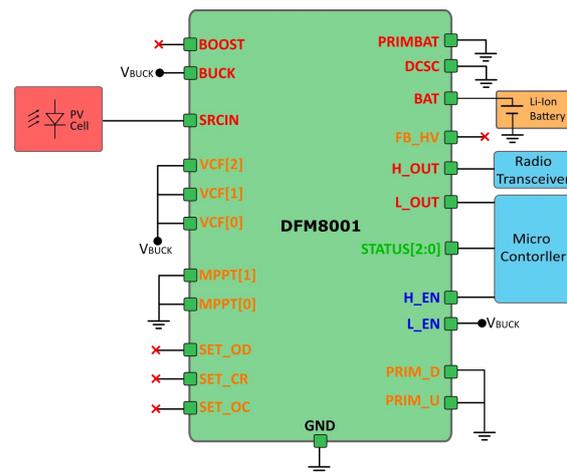


图 5. 典型应用电路图

在典型电路中，能源是光伏电池，存储元件是标准的锂离子电池。微控制器电源由设置为 1.8V 的 **L_OUT** 提供。无线电通信由设置为 3.3V 的 **H_OUT** 提供，并由微控制器控制是否开启输出。

该电路使用预定义的工作模式，VCF[2:0]配置为 1 1 1。

阈值电压为：

$$V_{oc}=4.12V, V_{cr}=3.67V, V_{od}=3.6V$$

LDO 输出为：

$$H_OUT=3.3V, L_OUT=1.8V$$

连接了备用电池，电池的最低电压设置为 3.5V

- $R_P=0.5M\Omega$
- $R_7=(3.5/4)*0.5*(1/2.2)=200k\Omega$
- $R_8=0.5M\Omega-0.2M\Omega=300M\Omega$

MPPT 配置引脚 **MPPT[1:0]**连接 GND，配置为 70%

10.推荐封装

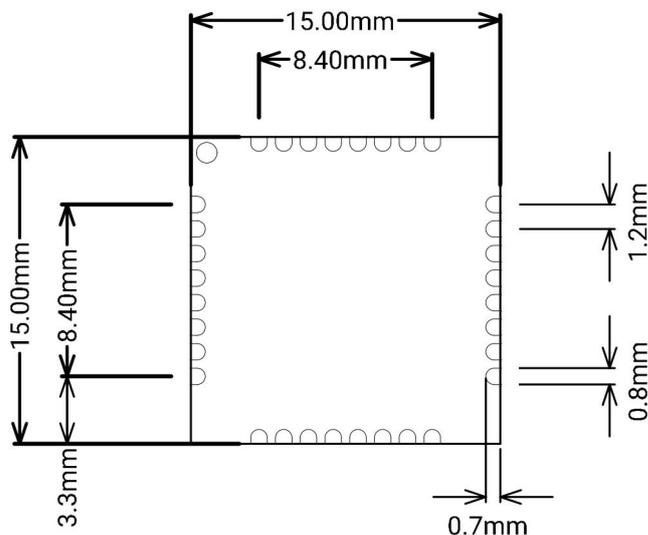


图 6. 模组封装

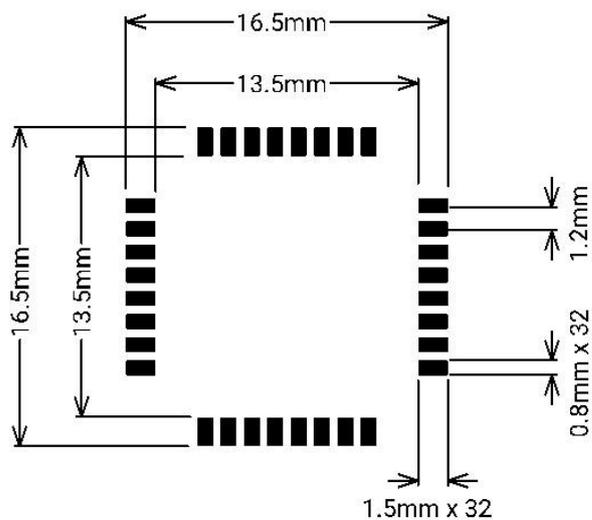


图 7. 推荐封装

修订历史

版本	日期	说明
Rev_1.0	2024/05/22	创建文档
Rev_1.1	2024/05/28	优化了封装图纸
Rev_1.2	2024/07/30	修复了表 6 和图 5 的描述错误