

Application Note

使用基于电流的电池 NTC 温度检测功能来设计电池充电器的
TS 引脚网络

Alec Lehman

摘要

本应用手册介绍了如何使用基于电流的电池 NTC 温度检测功能，为电池充电器设计外部 TS 引脚网络。此方法面向实施电池温度监测的系统设计人员，适用于以下场景：电池需要特定的充电曲线，仅依靠器件配置无法实现该充电曲线；或者电池组的 NTC 热敏电阻与充电器的预设 NTC 型号（25°C 下阻值 10k Ω 、 β (25/85°C)=3435K）不匹配。本应用手册介绍的方法可用来计算所需的串联和并联补偿电阻，验证得到的温度阈值，并评估元件和器件容差范围内的最坏情况跳变温度。

内容

1 简介.....	2
2 设计流程.....	3
2.1 分步计算方法.....	3
3 设计示例.....	4
3.1 示例 1：具有标准 NTC β 值的 BQ25190，10°C 至 45°C.....	4
3.2 示例 2：具有不同 NTC β 值的 BQ25188，0°C 至 45°C.....	5
3.3 示例 3：具有标准 NTC β 值的 BQ25170，-10°C 至 60°C.....	6
4 误差分析.....	7
4.1 最坏情况分析方法.....	7
4.2 示例：BQ25190 的最坏情况误差分析，10°C 至 45°C.....	9
5 NTC 热敏电阻建模.....	10
6 总结.....	11
7 参考资料.....	11

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

本应用手册介绍了如何使用基于电流的 TS 实现方案来设计充电器的外部温度检测 (TS) 引脚网络。当电芯需要特定的充电曲线，仅通过器件配置无法实现该充电曲线，或者电池组的 NTC 热敏电阻与充电器设计适配的型号 (25°C 下阻值 10kΩ、 $\beta(25/85^{\circ}\text{C})=3435\text{K}$) 不匹配时，本方法适用。在这些情况下，可以添加与 NTC 串联和并联的电阻器，以在整个温度范围内调整 TS 网络电阻。本应用手册介绍了如何选择这些补偿电阻并验证得到的温度阈值。本指南并未介绍基于电压的 TS 实现方案。

基于电流的 TS 实现方案使用 TS 引脚上的内部恒流源来偏置 NTC，并将生成的电压与对应于离散温度区域 (通常为 COLD、COOL、WARM 和 HOT) 的内部基准电压阈值进行比较。因此，TS 引脚电压由 NTC 的电阻设置；如果添加了外部补偿电阻器，则由整个 TS 网络的等效电阻设置。

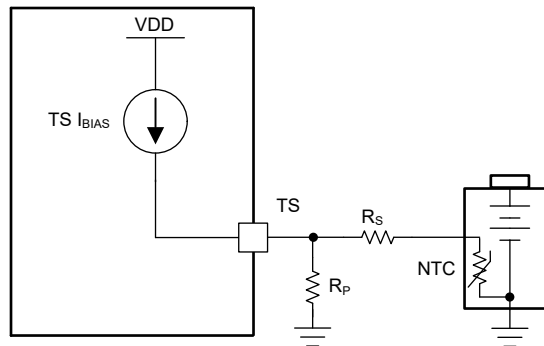


图 1-1. 基于电流的 TS 方框图

这些内部 TS 电压阈值用于在 25°C 下标称阻值为 10kΩ、 $\beta(25/85^{\circ}\text{C})=3435\text{K}$ 的 NTC 热敏电阻。使用此类 NTC 时，NTC 可以直接连接到 TS 引脚，并且温度阈值与充电器数据表中指定的值一致。

2 设计流程

2.1 分步计算方法

按照以下步骤计算所需的串联和并联补偿电阻。

1. 从电池数据表中确定所需的电池温度阈值。
2. 在充电器数据表中找到相应的 TS 电压阈值。对于某些充电器，TS 电压阈值是可配置的。选择与所需温度限值最匹配的 TS 电压阈值。对于 NTC 热敏电阻，较高的阈值对应于较低的 TS 电压阈值，较低的阈值对应于较高的 TS 电压阈值。
3. 确定 T_{HOT} 和 T_{COLD} 时的 NTC 电阻。如果 NTC 数据表提供了 R-T 表，则使用该表中的 R_{NTC} 值。否则，请使用 β 公式的指数形式来估算 NTC 在整个温度范围内的电阻：

$$R_T = R_{25} e^{\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{25}} \right)} \quad (1)$$

其中：

- R_{25} 是 25°C 时的 NTC 电阻
 - T 是温度 (以开尔文为单位)
 - $T_{25} = 298.15K$ (25°C 转换为开尔文)
 - β 是 β 值 (以开尔文为单位)
4. 使用以下公式计算所需的串联和并联电阻值。

$$R_S = \frac{-(R_{HOT} + R_{COLD}) \pm \sqrt{(R_{HOT} + R_{COLD})^2 - 4 \left(R_{HOT} R_{COLD} + \frac{V_{HOT} V_{COLD}}{(V_{HOT} - V_{COLD}) I_{BIAS}} (R_{COLD} - R_{HOT}) \right)}}{2} \quad (2)$$

$$R_P = \frac{V_{HOT} (R_S + R_{HOT})}{I_{BIAS} (R_{HOT} + R_S) - V_{HOT}} \quad (3)$$

其中：

- V_{COLD} 是低温 TS 阈值
- V_{HOT} 是高温 TS 阈值
- R_{COLD} 表示 T_{COLD} 时的 NTC 电阻
- R_{HOT} 表示 T_{HOT} 时的 NTC 电阻
- I_{BIAS} 是来自 TS 引脚上内部恒流源的偏置电流

从数学角度来看，使用串联和并联补偿电阻器时只能精确满足两个温度阈值。补偿后的 TS 网络有两个未知因素： R_S 和 R_P 。指定两个温度 (T_{COLD} 和 T_{HOT}) 下的 TS 电压，可得到两组方程： $V_{TS}(T_{COLD})=V_{COLD}$ 且 $V_{TS}(T_{HOT})=V_{HOT}$ ，可联立这两个方程求解 R_S 和 R_P ，最终推导出公式 2 和公式 3。在大多数情况下，最好完全满足 COLD 和 HOT 阈值，然后检查产生的 WARM 和 COOL 阈值。

5. 将目标跳变温度下的 R_{NTC} 代入公式 4，以此验证通过计算得出的 R_S 与 R_P 所配置的 HOT 和 COLD 进入 TS 阈值。将得到的 V_{TS} 与充电器数据表中的 TS 阈值进行比较。

$$V_{TS} = I_{BIAS} (R_P \parallel (R_S + R_{NTC})) \quad (4)$$

剩余的 COOL、WARM 和退出阈值可通过反向计算每个 TS 电压阈值对应的 NTC 电阻值来校验，随后借助 NTC R-T 表或者公式 14 给出的 β 公式，将该电阻值换算为对应的温度。

3 设计示例

3.1 示例 1：具有标准 NTC β 值的 BQ25190，10°C 至 45°C

为 BQ25190 设计基于电流的 TS 网络，以支持医疗应用的以下充电要求：

当电池 NTC 温度高于 45°C 或低于 10°C 时暂停充电。

1. 确定所需的电池温度阈值。

- $T_{\text{HOT}} = 45^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{COLD}} = 10^{\circ}\text{C}$

2. 从 BQ25190 数据表中找到 TS 电压阈值。

- $V_{\text{HOT}} = 0.276\text{V}$
- $V_{\text{COLD}} = 0.580\text{V}$

3. 确定 T_{HOT} 和 T_{COLD} 时的 NTC 电阻。

假设使用的是在 25°C 下阻值为 10k Ω 、 $\beta(25/85^{\circ}\text{C})=3435\text{K}$ 的 NTC，通过公式 1 中 β 公式的指数形式来计算 R_{HOT} 和 R_{COLD} ：

- $R_{\text{HOT}} = 4,847\ \Omega$
- $R_{\text{COLD}} = 18,410\ \Omega$

4. 计算所需的串联和并联电阻。

从 BQ25190 数据手册：

- $I_{\text{BIAS}} = 80\ \mu\text{A}$
- $V_{\text{HOT}} = 0.276\text{V}$
- $V_{\text{COLD}} = 0.580\text{V}$

使用公式 2 计算串联电阻：

- $R_{\text{S},1} = 1.79\ \Omega$
- $R_{\text{S},2} = -23,259\ \Omega$

使用有效解 $R_{\text{S},1}$ 和公式 3 来计算并联电阻 R_{P} ：

- $R_{\text{P}} = 11,959\ \Omega$

从计算的值中选择标准 E96 系列 (1% 容差) 电阻值：

- $R_{\text{S}} = 0\ \Omega$ (短接)
- $R_{\text{P}} = 12\text{k}\ \Omega$

5. 使用公式 4 验证由这些电阻值产生的 TS 阈值：

- $V_{\text{TS}, \text{HOT}} = 80\ \mu\text{A} (12\text{k}\ \Omega \parallel (0\ \Omega + 4,847\ \Omega)) = 0.276\text{V}$
- $V_{\text{TS}, \text{COLD}} = 80\ \mu\text{A} (12\text{k}\ \Omega \parallel (0\ \Omega + 18,410\ \Omega)) = 0.581\text{V}$

这些进入阈值与步骤 2 中列出的 BQ25190 的 COLD 和 HOT 阈值保持一致。

3.2 示例 2：具有不同 NTC β 值的 BQ25188，0°C 至 45°C

为 BQ25188 设计基于电流的 TS 网络，以支持可穿戴设备应用的以下充电要求：

当电池 NTC 高于 45°C 或低于 0°C 时暂停充电。使用 10k Ω 、 β (25/85°C)=3610K 的 NTC。

1. 确定所需的电池温度阈值。

- $T_{\text{HOT}} = 45^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{COLD}} = 0^{\circ}\text{C}$

2. 从 BQ25188 数据表中找到 TS 电压阈值。

BQ25188 具有可配置的 HOT 和 COLD 电压阈值，因此请选择与所需温度阈值最匹配的阈值。HOT=45°C 和 COLD=0°C 阈值均可使用，但这些阈值对应于 10k Ω 、 β (25/85°C)=3435K 的 NTC。由于使用了不同的 NTC，因此需要串联和并联电阻。

- $V_{\text{HOT}} = 0.1850\text{V}$
- $V_{\text{COLD}} = 1.0075\text{V}$

3. 确定 T_{HOT} 和 T_{COLD} 时的 NTC 电阻。

采用这款在 25°C 下阻值为 10k Ω 、 β (25/85°C)=3610K 的 NTC，通过公式 1 中 β 公式的指数形式来计算 R_{HOT} 和 R_{COLD} ：

- $R_{\text{HOT}} = 4,671\ \Omega$
- $R_{\text{COLD}} = 30,288\ \Omega$

4. 计算所需的串联和并联电阻。

从 BQ25188 数据手册：

- $I_{\text{BIAS}} = 38\ \mu\text{A}$
- $V_{\text{HOT}} = 0.1850\text{V}$
- $V_{\text{COLD}} = 1.0075\text{V}$

使用公式 2 计算串联电阻：

- $R_{\text{S},1} = 320\ \Omega$
- $R_{\text{S},2} = -35,279\ \Omega$

使用有效解 $R_{\text{S},1}$ 和公式 3 来计算并联电阻 R_{P} ：

- $R_{\text{P}} = 198,178\ \Omega$

从计算的值中选择标准 E96 系列 (1% 容差) 电阻值：

- $R_{\text{S}} = 316\ \Omega$
- $R_{\text{P}} = 196\text{k}\ \Omega$

5. 使用公式 4 验证由这些电阻值产生的 TS 阈值：

- $V_{\text{TS},\text{HOT}} = 38\ \mu\text{A} (196\text{k}\ \Omega \parallel (316\ \Omega + 4,671\ \Omega)) = 0.1848\text{V}$
- $V_{\text{TS},\text{COLD}} = 38\ \mu\text{A} (196\text{k}\ \Omega \parallel (316\ \Omega + 30,288\ \Omega)) = 1.0059\text{V}$

这些阈值与步骤 2 中列出的 BQ25188 的 COLD 和 HOT 阈值保持一致。

3.3 示例 3：具有标准 NTC β 值的 BQ25170，-10°C 至 60°C

为 BQ25170 设计基于电流的 TS 网络，以支持个人电子产品应用的以下充电要求：

当电池 NTC 高于 60°C 或低于 -10°C 时暂停充电。使用厂商为 10k Ω 、 β (25/85°C)=3435K 的 NTC 提供的 R-T 曲线数据。

1. 确定所需的电池温度阈值。

- $T_{HOT} = 60^{\circ}\text{C}$
- $T_{COLD} = -10^{\circ}\text{C}$

2. 从 BQ25170 数据表中找到 TS 电压阈值。

- $V_{HOT} = 0.188\text{V}$
- $V_{COLD} = 1.04\text{V}$

3. 确定 T_{HOT} 和 T_{COLD} 时的 NTC 电阻。

从厂商 R-T 表中：

- $R_{HOT} = 3.02\text{k}\Omega$
- $R_{COLD} = 42.47\text{k}\Omega$

4. 计算所需的串联和并联电阻。

从 BQ25170 数据手册：

- $I_{BIAS} = 38\mu\text{A}$
- $V_{HOT} = 0.188\text{V}$
- $V_{COLD} = 1.04\text{V}$

使用公式 2 计算串联电阻：

- $R_{S,1} = 2,301\Omega$
- $R_{S,2} = -47,791\Omega$

使用有效解 $R_{S,1}$ 和公式 3 来计算并联电阻 R_P ：

- $R_P = 70,409\Omega$

从计算的值中选择标准 E96 系列 (1% 容差) 电阻值：

- $R_S = 2.32\text{k}\Omega$
- $R_P = 69.8\text{k}\Omega$

5. 使用公式 4 验证由这些电阻值产生的 TS 阈值：

- $V_{TS, HOT} = 38\mu\text{A} (69.8\text{k}\Omega \parallel (2.32\text{k}\Omega + 3.02\text{k}\Omega)) = 0.188\text{V}$
- $V_{TS, COLD} = 38\mu\text{A} (69.8\text{k}\Omega \parallel (2.32\text{k}\Omega + 42.47\text{k}\Omega)) = 1.04\text{V}$

这些阈值与步骤 2 中列出的 BQ25170 的 COLD 和 HOT 阈值保持一致。

4 误差分析

4.1 最坏情况分析方法

实际 HOT 跳变和 COLD 跳变温度随元件和器件容差的变化而变化。因此，为了验证是否在所有条件下仍然满足所需的充电限制，应使用最坏情况分析来分析 TS 网络。这是在 TI Charger GUI 中基于电流的 TS 计算器中实现的误差分析方法。在本应用手册中，最坏情况分析是指使用 TS 网络参数的最小值和最大值来计算最极端 HOT 和 COLD 跳变温度。

使用以下过程在 TS 网络上执行最坏情况分析。

1. 确定 TS 网络参数的最坏情况值。

- NTC R_{25} 容差
- NTC β 容差
- R_S 和 R_P 电阻器容差
- TS 偏置电流变化 (最小值/典型值/最大值)
- TS 阈值变化 (最小值/典型值/最大值)

2. 使用公式 9，针对最坏情况下的参数值计算跳变点处的 NTC 电阻。要推导公式 9，请将所选的 TS 阈值电压转换为等效的 TS 网络电阻。

$$V_{TH} = I_{BIAS}R_{eq} \quad (5)$$

$$R_{eq} = \frac{V_{TH}}{I_{BIAS}} \quad (6)$$

使用补偿后的 TS 网络公式：

$$R_{eq} = R_P \parallel (R_S + R_{NTC}) \quad (7)$$

求解 R_{NTC} ：

$$R_{NTC} = \frac{R_{eq}(R_P + R_S) - R_P R_S}{R_P - R_{eq}} \quad (8)$$

$$R_{NTC} = \frac{\frac{V_{TH}}{I_{BIAS}}(R_P + R_S) - R_P R_S}{R_P - \frac{V_{TH}}{I_{BIAS}}} \quad (9)$$

最坏情况下的 R_{NTC} 公式为：

$$R_{NTC,max} = \frac{\frac{V_{TH,max}}{I_{BIAS,min}}(R_{P,min} + R_{S,min}) - R_{P,min}R_{S,min}}{R_{P,min} - \frac{V_{TH,max}}{I_{BIAS,min}}} \quad (10)$$

$$R_{NTC,min} = \frac{\frac{V_{TH,min}}{I_{BIAS,max}}(R_{P,max} + R_{S,max}) - R_{P,max}R_{S,max}}{R_{P,max} - \frac{V_{TH,min}}{I_{BIAS,max}}} \quad (11)$$

3. 使用 NTC 数据表中的 R-T 表，将计算得出的 R_{NTC} 跳变点电阻转换为温度。如果计算得出的 R_{NTC} 介于两行之间，则可以使用线性插值来计算相应的温度。如果计算得出的 R_{NTC} 在两行的误差范围内，请选择最坏情况下的温度。
- (T_1, R_1)
 - (T_2, R_2)

$$\frac{T - T_1}{T_2 - T_1} = \frac{R_{NTC} - R_1}{R_2 - R_1} \quad (12)$$

$$T = T_1 + \frac{R_{NTC} - R_1}{R_2 - R_1}(T_2 - T_1) \quad (13)$$

对其余情况重复此操作，以确定最坏情况下的跳变温度范围。

如果 R-T 表不可用，则可以使用公式 14 中给出的 β 公式来计算跳变温度，其中使用了 β 和 R_{25} 的最坏情况值。

$$T = \left(\frac{1}{T_0} + \frac{1}{\beta} \ln \left(\frac{R_{NTC}}{R_{25}} \right) \right)^{-1} \quad (14)$$

其中 T 以开尔文为单位

最坏情况下的最小跳变温度：

$$T = \left(\frac{1}{T_{25}} + \frac{1}{\beta_{min}} \ln \left(\frac{R_{NTC, max}}{R_{25, min}} \right) \right)^{-1} \quad (15)$$

最坏情况下的最大跳变温度：

$$T = \left(\frac{1}{T_{25}} + \frac{1}{\beta_{max}} \ln \left(\frac{R_{NTC, min}}{R_{25, max}} \right) \right)^{-1} \quad (16)$$

4.2 示例：BQ25190 的最坏情况误差分析，10°C 至 45°C

在示例 1 中，为达到 10°C 至 45°C 的温度范围，选择了串联和并联电阻：

- $R_S = 0\ \Omega$ (短接)
- $R_P = 12.0k\ \Omega$

1. 确定 BQ25190 的最坏情况值。

- R_S 和 R_P 电阻容差：1%
- I_{BIAS} ：76.8 μ A (最小值)、80 μ A (典型值)、83.2 μ A (最大值)
- V_{COLD} ：0.576V (最小值)、0.580V (典型值)、0.584V (最大值)
- V_{HOT} ：0.272V (最小值)、0.276V (典型值)、0.280V (最大值)

2. 使用公式 10 和 11 计算最坏情况参数值下的等效 TS 网络电阻。

HOT

- $R_{NTC, max} = 5,260\ \Omega$
- $R_{NTC, min} = 4,477\ \Omega$

COLD

- $R_{NTC, max} = 21,127\ \Omega$
- $R_{NTC, min} = 16,146\ \Omega$

3. 使用 NTC 的 R-T 表，找到与计算出的最坏情况 R_{NTC} 对应的最坏情况温度。或者，使用 β 公式计算最坏情况下的温度。此示例使用了 β 公式。

- 最高 HOT 进入温度 = 48°C
- 最低 HOT 进入温度 = 42°C
- 最高 COLD 进入温度 = 14°C
- 最低 COLD 进入温度 = 6°C

这些结果与 TI Charger GUI 上基于电流的 TS 计算器的输出保持一致。

表 4-1. 基于电流的 TS 计算器输出

	最小值	典型值	最大值
进入 Cold	6	10	14
退出 Cold	8	12	16
进入 Hot	42	45	48
退出 Hot	39	42	45

5 NTC 热敏电阻建模

可使用 β 公式近似计算 NTC 热敏电阻在整个温度范围内的阻值：

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_{25}} + \frac{1}{\beta} \ln \frac{R_T}{R_{25}} \quad (17)$$

在 $\ln(R)$ 对 $1/T$ 的坐标空间中， β 公式呈现我们熟悉的线性形式 $y=mx+b$ 。对于绝大多数电池的温度区间而言， β 公式通常具备足够的精确度。但是，务必要考虑 TS 系统中的误差源，以确保实现所需的温度检测精度 ($\pm 1^\circ\text{C}$)。

NTC 热敏电阻的 β 值是一个材料常数（以开尔文为单位），描述其电阻和温度之间的指数关系。它描述了电阻随温度的变化程度。NTC 热敏电阻数据表通常会指定特定温度范围的 β 值。例如， $\beta(25/85^\circ\text{C})=3435\text{K}$ 。这是因为 β 公式只是 NTC 热敏电阻 R-T 曲线的近似值。在 $\ln(R)$ 对 $1/T$ 的坐标空间中， β 公式可以生成一条完全笔直的直线，但实测得到的 NTC 数据并不具备完美的线性特征；该曲线在低温区域斜率略大，在高温区域则相对平缓。换句话说，对于实际的 NTC，电阻在较低温度下对温度更为敏感，在较高温度下对温度的敏感度较低。

出于该原因， β 参数通常在中间温度区间进行标定，在该温度范围内，实测 NTC 热敏电阻在 $\ln(R_T)$ 对 $1/T$ 的坐标空间中的斜率具备良好的线性特征，能够与 β 公式的斜率实现更高程度的匹配。 $\beta(25/85^\circ\text{C})$ 对应的 β 值通过实验测量 NTC 热敏电阻在 25°C 与 85°C 下的电阻，并在这两个温度点套用 β 公式计算得出：

$$\beta\left(\frac{25^\circ\text{C}}{85^\circ\text{C}}\right) = \frac{\ln\left(\frac{R_{25}}{R_{85}}\right)}{\frac{1}{T_{25}} - \frac{1}{T_{85}}} \quad (18)$$

其中 T 以开尔文为单位

NTC 热敏电阻的数据表通常会给出多个不同温度区间对应的 β 参数，例如适用于室温附近检测场景的 $\beta(25/85^\circ\text{C})$ 、 $\beta(25/100^\circ\text{C})$ 、 $\beta(25/50^\circ\text{C})$ ，甚至还有用于低温环境检测的 $\beta(0/50)$ 。

典型的锂离子或磷酸铁锂电池充电范围包括：

- 0°C 至 60°C
- 10°C 至 45°C
- 0°C 至 45°C

因此，对于 TS 阈值监控，应考虑与电池充电温度范围最接近的 β 值范围。举例来说，如果充电温度范围为 0°C 至 60°C ，则选用 $\beta(25/85^\circ\text{C})$ 数值来对 β 进行最接近的近似计算。这是一个非常常见的 β 值。

对于基于电流的 TS 实现方案，公式 1 中给出的 β 公式指数形式可以基于 TS 引脚电压 V_{TS} 进行改写：

$$V_{TS} = I_{BIAS} \left(R_{25} e^{\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{25}} \right)} \right) \quad (19)$$

其中 T 以开尔文为单位

可以重写公式 19 以包括串联和并联电阻：

$$V_{TS} = I_{BIAS} \left(R_P^{-1} + \left(R_S + R_{25} e^{\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{25}} \right)} \right)^{-1} \right)^{-1} \quad (20)$$

可以绘制公式 19 和 20，直观地呈现整个温度范围内的 TS 电压。

6 总结

本应用手册介绍了如何使用基于电流的电池 NTC 温度检测功能，为电池充电器设计外部 TS 引脚网络。当需要特定的充电曲线，仅通过器件配置无法实现该充电曲线，或者电池组的 NTC 热敏电阻与充电器设计的默认型号不匹配时，可以使用外部串联与并联补偿电阻。本应用手册介绍的方法可用来计算电阻值，验证得到的温度阈值，并评估元件和器件容差范围内的最坏情况跳变温度。如果可用，请使用 NTC R-T 表进行最准确的温度计算。否则，请使用 β 公式求解近似值。

7 参考资料

1. 德州仪器 (TI), [BQ25190 具有集成降压/升压、DVS 降压、LDO、ADC 和电源路径的 I2C 控制型单节 1A 线性电池充电器](#), 数据表。
2. 德州仪器 (TI), [BQ25188 具有电源路径、运输模式、关断模式、电池跟踪 VINDPM 和宽 VIN 支持的 I2C 控制型、单节电池、1A 线性电池充电器](#), 数据表。
3. 德州仪器 (TI), [BQ25170 : 适用于单节锂离子和磷酸铁锂电池的 800mA 线性电池充电器](#), 数据表。
4. 德州仪器 (TI), [TI-Charger-GUI 工具](#), 网页。

重要通知和免责声明

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、与某特定用途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、安保法规或其他要求。

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 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 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。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月