

Xiaohu Qin, Alen Chen

摘要

在智能手机应用中，终端用户一直在追求速度更快、发热更少的充电体验，因此智能手机设计人员必须应对比以往更多的挑战。德州仪器 (TI) 发布了新一代闪充充电器 BQ25970，可帮助智能手机设计人员轻松应对这些挑战。BQ25970 器件支持 20W 至 50W 的功率，效率可达 97% (典型值)，并且可采用独立或并联配置，从而提供更好的用户体验。

内容

| | |
|---|----|
| 1 引言..... | 2 |
| 1.1 BQ25970 主要规格..... | 2 |
| 1.2 BQ25970 简化功率级..... | 2 |
| 2 BQ25970 的 PPS 协议..... | 4 |
| 2.1 什么是 PPS 协议？..... | 4 |
| 2.2 PPS 协议工作流程示例..... | 5 |
| 3 BQ25970 主要设计提示..... | 6 |
| 3.1 简化版原理图..... | 6 |
| 3.2 如何将电源布线上的 R 从 BQ25970 输入转换为输出 (或从输出转换为输入) | 8 |
| 3.3 BQ25970 的 PCB 布局提示..... | 10 |
| 4 参考文献..... | 10 |
| 5 修订历史记录..... | 11 |

插图清单

| | |
|------------------------------------|----|
| 图 1-1. 理想的电荷泵工作流程..... | 2 |
| 图 1-2. 实际电荷泵工作流程..... | 3 |
| 图 1-3. V_{O_PPS} 等效电路..... | 4 |
| 图 2-1. PPS 工作流程..... | 5 |
| 图 3-1. BQ25970 简化原理图..... | 6 |
| 图 3-2. MLCC 有效电容与直流偏置电压和温度的关系..... | 7 |
| 图 3-3. MOSFET 主要规格表..... | 8 |
| 图 3-4. 转换电源布线上的 R..... | 9 |
| 图 3-5. BQ25970 PCB 布局..... | 10 |

商标

USB Type-C™ is a trademark of USB Implementer's Forum.

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

1.1 BQ25970 主要规格

BQ25970 规格如下：

- 97% 高效率级可实现 8A 快速充电
- 开关电容器架构经过优化，可实现 50% 的占空比：
 - 输入电压为电池电压的 2 倍 (3.5V 至 4.65V)
 - 输出电流为输入电流的 2 倍 (高达 4.5A)
 - 降低电缆的功率损耗
- 可实现安全运行的集成可编程保护功能
 - 输入过压保护 (BUS_OVP)
 - 具有可调警报的输入过流保护 (BUS_OCP)
 - 具有外部 OVP FET (VAC_OVP 高达 17V , 仅限 bq25970) 的输入过压保护
 - 具有可调警报的电池过压保护 (BAT_OVP)
 - 输出过压保护 (VOUT_OVP)
 - 具有可调警报的输入过流保护 (BUS_OCP)
 - 具有可调警报的 IBAT 过流保护 (BAT_OCP)
 - 电池温度监测
 - 连接器温度监控
- 集成式 12 位有效模数转换器 (ADC)
 - $\pm 0.5\%$ 总线电压
 - $\pm 0.5\%$ VOUT 电压
 - - 0.4% 至 0.2% 电池电压 (使用差分检测)
 - $\pm 1.5\%$ 电池电流 (6A , 使用外部 R_{SENSE})
 - $\pm 1\%$ 电池温度
 - $\pm 1\%$ 总线温度
 - $\pm 4^{\circ}\text{C}$ 裸片温度

1.2 BQ25970 简化功率级

BQ25970 器件采用具有两相交错和固定 50% 占空比的电荷泵拓扑。由于两相功率级可以平衡其间的功率耗散，因此该结构可实现更高的效率。

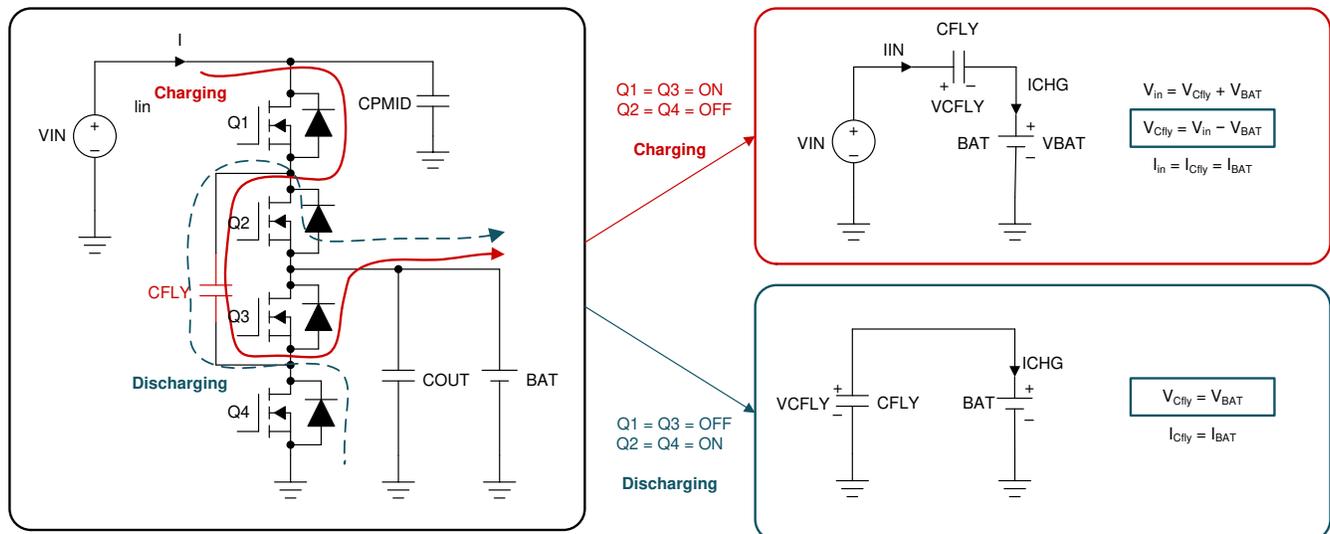


图 1-1. 理想的电荷泵工作流程

根据图 1-1 所示电荷泵的理想 (忽略功率级和电源布线上的所有阻抗) 工作流程， V_{IN} 和 V_{BAT} 之间的公式可以表示为：

$$V_O = V_{BAT} = \frac{1}{2} \times V_{IN} \quad (1)$$

方程式 1 表明 V_O 始终随 V_{IN} 变化，换句话说，BQ25970 器件的行为类似于 2:1 电压跟随器，当 V_{IN} 变化时， V_O 会相应地发生变化。

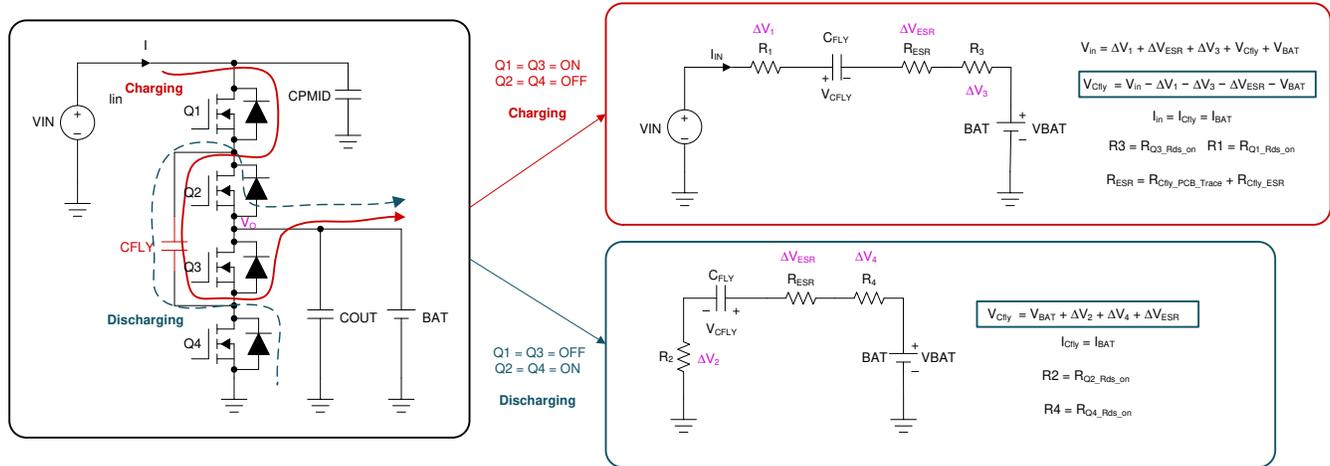


图 1-2. 实际电荷泵工作流程

在实际系统中，不能忽略功率级和电源布线上的阻抗，如图 1-2 所示。BQ25970 器件的内部电阻可以描述为 Q1 - Q4 的 $R_1 - R_4$ ，即 $R_{DS(on)}$ ， R_{ESR} 是指 CFLY 电容器 ESR，所以如方程式 2 所示更改方程式 1：

$$V_{BAT} = \frac{1}{2} \times (V_{IN} - \Delta V_2 - \Delta V_4 - \Delta V_1 - \Delta V_3 - 2 \times \Delta V_{ESR}) \quad (2)$$

一些定义可以在电荷泵充电和放电的整个周期中做出，如方程式 3 和方程式 4 所示。

$$\Delta V_{BQ25970_SYS} = \Delta V_2 + \Delta V_4 + \Delta V_1 + \Delta V_3 + 2 \times \Delta V_{ESR} \quad (3)$$

$$R_{BQ25970_SYS} = R_2 + R_4 + R_1 + R_3 + 2 \times R_{ESR} \quad (4)$$

然后将 $\Delta V_{BQ25970_SYS}$ 代入原始公式：

$$V_{BAT} = \frac{1}{2} \times (V_{IN} - \Delta V_{BQ25970_SYS}) \quad (5)$$

方程式 5 转变为方程式 6：

$$V_{IN} = 2 \times V_{BAT} + \Delta V_{BQ25970_SYS} \quad (6)$$

由于 BQ25970 器件是 2:1 电荷泵，因此 V_O 将表示为方程式 7。

$$V_O = \frac{1}{2} \times V_{IN} = \frac{1}{2} \times (2V_{BAT} + \Delta V_{BQ25970_SYS}) = V_{BAT} + \frac{1}{2} \Delta V_{BQ25970_SYS} \quad (7)$$

要使用可编程电源 (PPS) 协议 (如电力输送 (PD) 协议) 设计充电器, 请使用略高于 (如 ΔV) 计算电压 2 倍的输出电压, 如 [方程式 7](#) 所示, ($V_{BAT} + 0.5 \times \Delta V_{BQ25970_SYS}$)。BQ25970 器件没有 V_O 反馈环路, 因此是一种开环电源。由于其输出电压无法保持在固定值 (对于具有反馈控制环路的电源转换器, 无论负载电流是否发生变化, 控制环路始终将输出保持为固定值, 这意味着电源转换器为理想电源或其内部电阻可视为 0), 因此 BQ25970 器件应视为具有非零内部电阻的电源。如 [图 1-3](#) 所示, 它是 BQ25970 输出的等效 V_{O_PPS} 电路, 可视为具有内部电阻的理想电源: 内部电阻为 $R_{BQ25970_SYS}$, $V_{O_PPS_Ideal}$ 电压等于根据 PPS 协议预设的 PPS 的 V_{O_PPS} , 忽略 BQ25970 和 PCB 布线上的所有阻抗。

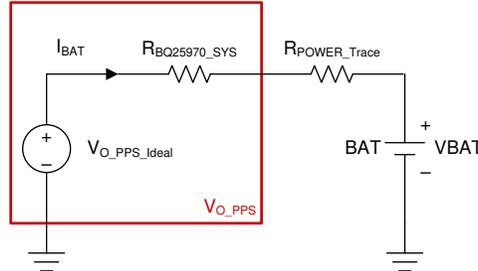


图 1-3. V_{O_PPS} 等效电路

$$V_{IN_PPS} = 2 \times \left(V_{BAT} + \frac{1}{2} \times \Delta V_{BQ25970_SYS} \right) + \Delta V \quad (8)$$

$$V_{O_PPS} = \frac{1}{2} \times V_{IN_PPS} = V_{BAT} + \frac{1}{2} \times \Delta V_{BQ25970_SYS} + \frac{1}{2} \times \Delta V \quad (9)$$

[方程式 8](#) 和 [方程式 9](#) 假设 BQ25970 输出和电池之间电源布线的总电阻为 R_{Power_Trace} , 充电电流使用 [方程式 10](#) 计算:

$$I_{BAT} = \frac{V_{O_PPS} - V_{BAT}}{R_{BQ25970_SYS} + R_{Power_Trace}} = \frac{\frac{1}{2} \times (\Delta V_{BQ25970_SYS} + \Delta V)}{R_{BQ25970_SYS} + R_{Power_Trace}} \quad (10)$$

备注

有关 R_{Power_Trace} 的详细说明, 请参阅 [节 3.2](#)。

在 [方程式 10](#) 中, 无论 ΔV 还是 R 改变, 充电电流都会相应改变。如果设计人员可以将电源布线上的 R 或 ΔV 保持在较低水平, 则在相同充电电流条件下, 它们将获得更高效率。

2 BQ25970 的 PPS 协议

2.1 什么是 PPS 协议?

PPS 协议是电源专用协议, 可根据系统命令或系统请求调整电源的输出电压或电流。换句话说, 它使电源更加智能, 系统可以自由地控制电源, 例如输出电流、输出电压、总输出能力等。所有信息控制都可以添加到 PPS 协议中。任何支持 PPS 协议的器件都可以对其进行解码并彼此顺畅通信, 从而达到预期的电压或电流。

2.2 PPS 协议工作流程示例

通常在实际系统中，PPS 协议始终在 AP (应用处理器) 或 PMU (电源管理单元) 端运行，这意味着 PPS 协议独立于 BQ25970 器件。有关 PPS 协议的所有解码流程 (如 PD3.0) 都在 AP 或 PMU 中进行。对于设计人员来说，这非常灵活，他们可以在 AP 或 PMU 中运行任何 PPS 协议 (标准或定制) 以实现快速充电功能。在图 2-1 中，主器件是智能手机，从器件是交流适配器。智能手机向交流适配器发送命令，交流适配器将响应智能手机命令并调节输出电压或输出电流。

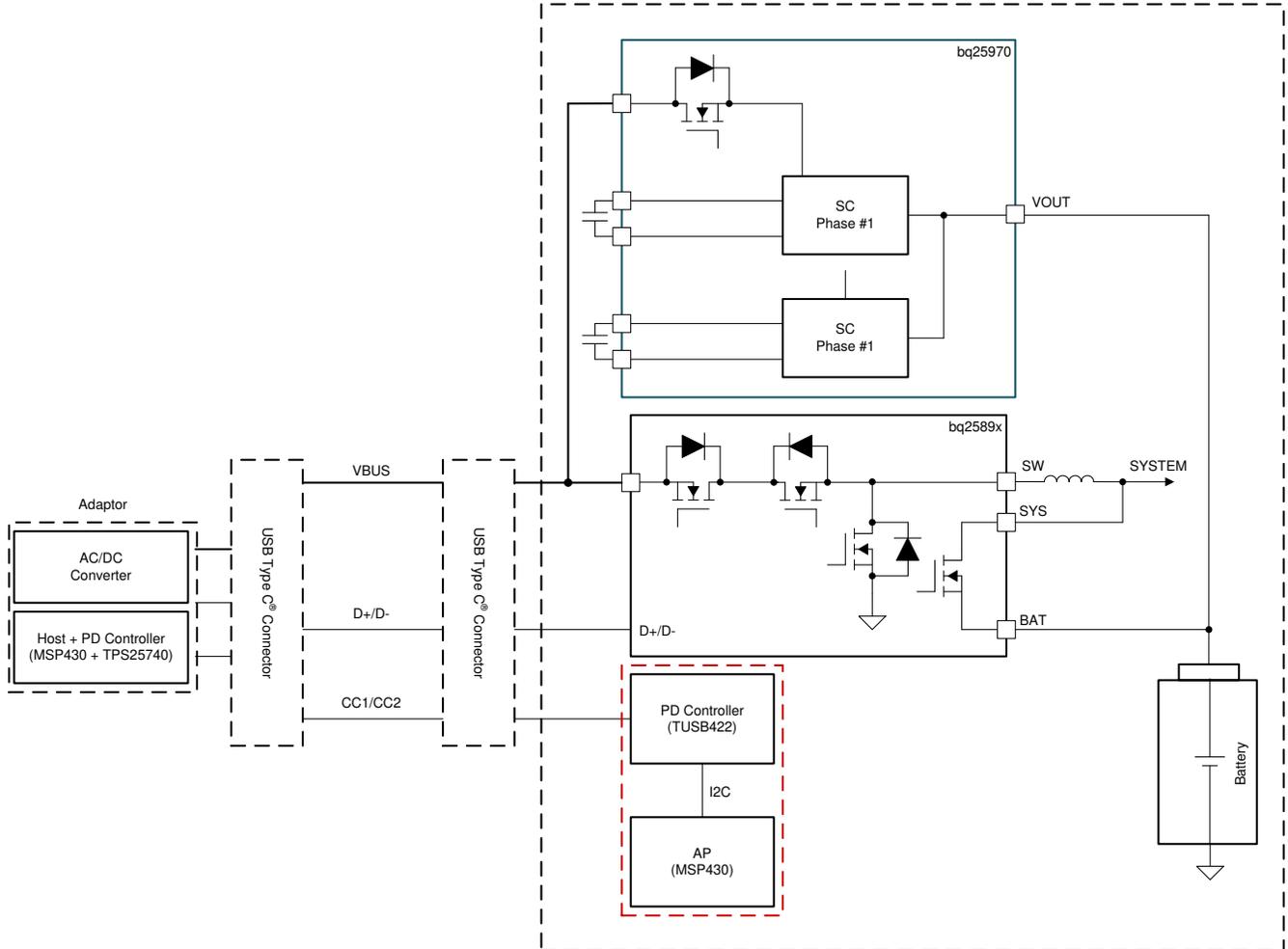


图 2-1. PPS 工作流程

PPS 协议解码单元以红线标记，如图 2-1 所示。当然，在真正的智能手机系统中，此单元将被 AP/PMU 取代。在图 2-1 中，PPS 协议是 PD3.0，它是使用 TI 的 MCU MSP430 完成的。TI 的 TUSB442 器件是 USB Type-C™ PD 控制器，可与采用 PD3.0 协议的交流适配器通信。将 PD 交流适配器插入智能手机后，AP 将通过切换 CC 引脚与交流适配器握手。初始通信后，智能手机识别交流适配器并向交流适配器发送 PD 命令，之后，当智能手机发送请求以启动快充流程时，交流适配器将响应智能手机以及输出目标电压和电流。在充电过程中，BQ25970 器件将始终向 AP 报告电池电压和充电电流状态。根据 BQ25970 持续报告，AP 将不断向交流适配器发送新命令，以调节输出电压或电流，从而在完成快充阶段之前保持恒定电流充电过程。

3 BQ25970 主要设计提示

3.1 简化版原理图

图 3-1 展示了 BQ25970 简化原理图。

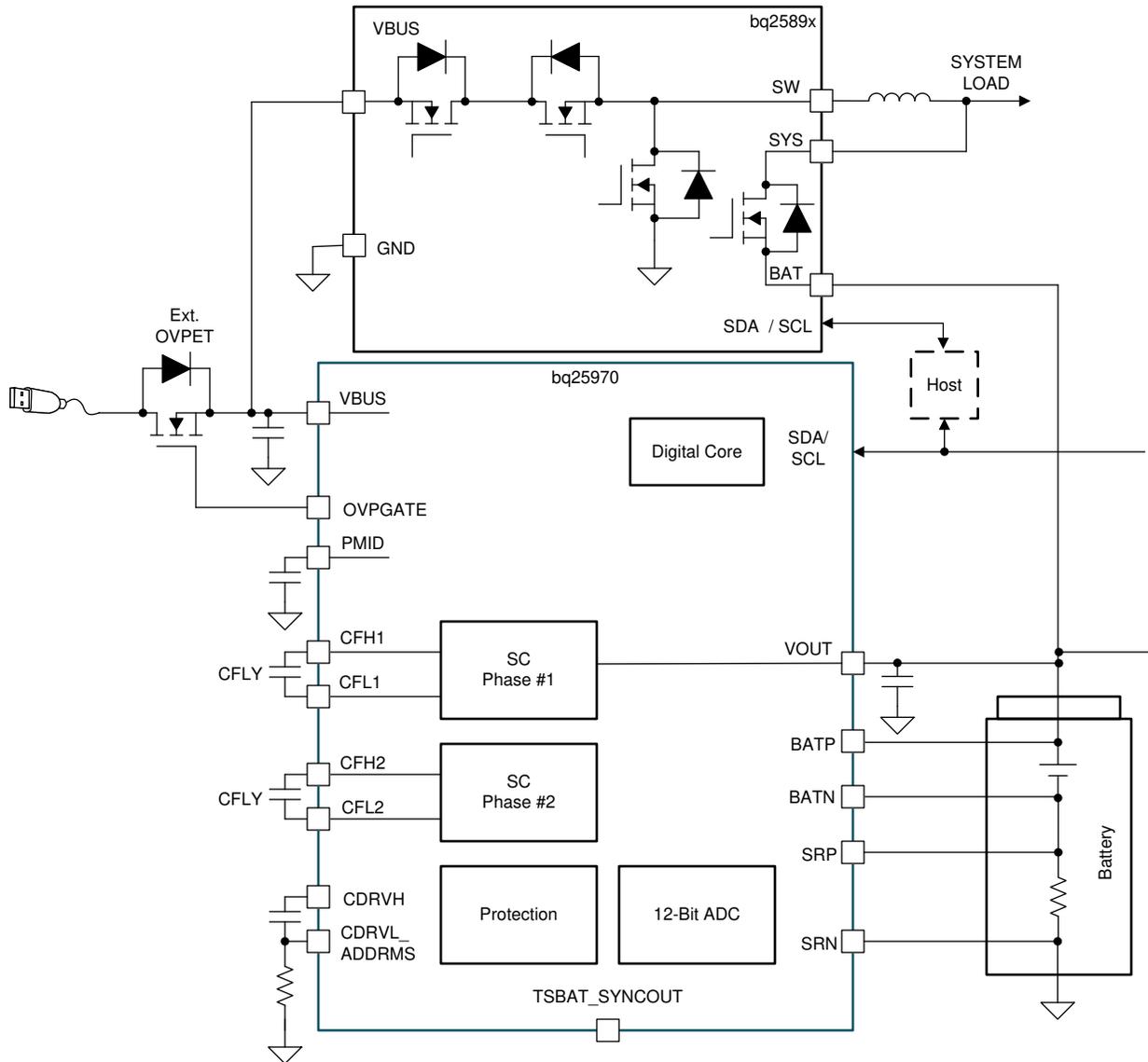


图 3-1. BQ25970 简化原理图

- CFLY 是电荷泵电容器，它是一个储电元件
- 外部 MOSFET 用于 VBUS 的过压保护，可将 VBUS 中的专用 OVP 开关替换为低成本 MOSFET

通常，BQ25970 应用的所有电力电容器都应为 MLCC（多层陶瓷电容器），因为它们的封装更小、ESR 更低且功耗更低。MLCC 电容器的最大不足是其直流偏置电压会导致有效电容降低。当 MLCC 上的直流偏置电压增加时，MLCC 的有效电容将相应降低。在实际设计中，必须保持足够电容，MLCC 数据表中直流偏置电压与电容的关系曲线对于寻找合适的电力电容器非常有用。如图 3-2 所示，当直流偏置电压增加时，有效电容将快速降低。当然，设计人员必须考虑电力电容器支持的最大电压能否满足实际要求。例如，如果电源轨为 10V，则设计人员应选择 16V MLCC 以避免任何故障。同时，设计人员还必须考虑温度对有效电容的影响，因为不同的环境温度会导致有效电容变化。

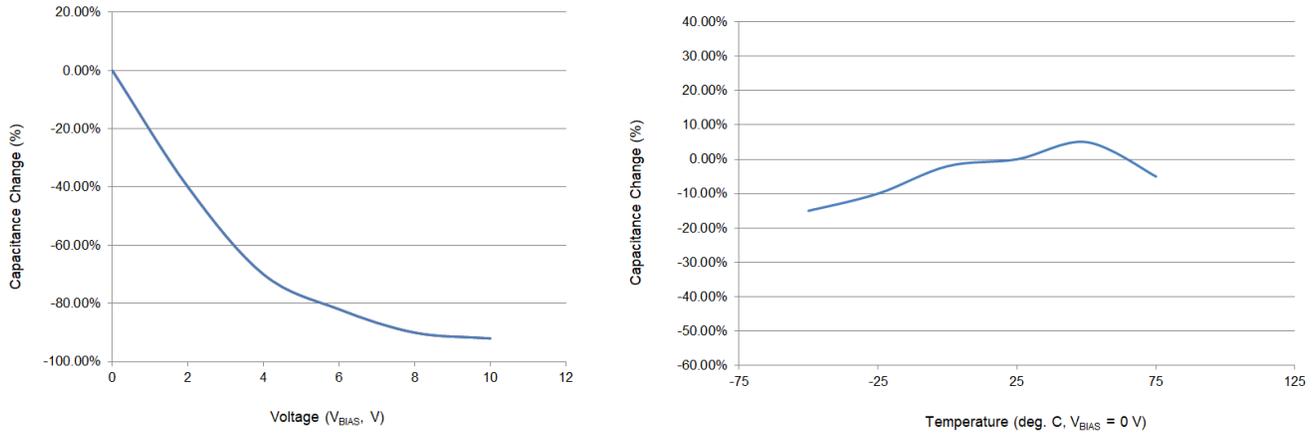


图 3-2. MLCC 有效电容与直流偏置电压和温度的关系

外部 MOSFET 将用作 OVP 功能，因此在选择 MOSFET 时，其最大额定电压 V_{DS} 非常重要。它取决于 VBUS 上的最大电压，当 VBUS 上的电压超过 BQ25970 器件的 OVP 设置时，此 MOSFET 将立即关闭（通常在 100ns 内关闭）。此外，MOSFET 的 $R_{DS(on)}$ 会影响效率，因此较低 $R_{DS(on)}$ 的 MOSFET 是理想选择。最后，MOSFET 的 V_{GS} 应大于 10V。

CSD17577Q3A 30V N 沟道 NexFET™ 功率 MOSFET 数据表中的 MOSFET CSD17577Q3A 规格表（图 3-3）显示了关键参数 V_{DS} 、 $R_{DS(on)}$ 和 V_{GS} 。

| T _A = 25°C | | TYPICAL VALUE | UNIT |
|-----------------------|-------------------------------|-------------------------|--------|
| V _{DS} | Drain-to-Source Voltage | 30 | V |
| Q _g | Gate Charge Total (4.5 V) | 12 | nC |
| Q _{gd} | Gate Charge Gate-to-Drain | 2.5 | nC |
| R _{DS(on)} | Drain-to-Source On-Resistance | V _{GS} = 4.5 V | 5.3 mΩ |
| | | V _{GS} = 10 V | 4.0 mΩ |
| V _{GS(th)} | Threshold Voltage | 1.4 | V |

Ordering Information⁽¹⁾

| DEVICE | QTY | MEDIA | PACKAGE | SHIP |
|--------------|------|--------------|-------------------------------------|------------------|
| CSD17577Q3A | 2500 | 13-Inch Reel | SON 3.3 × 3.3 mm Plastic Package | Tape and Reel |
| CSD17577Q3AT | 250 | 7-Inch Reel | | |

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.

Absolute Maximum Ratings

| T _A = 25°C | | VALUE | UNIT |
|--------------------------------------|--|------------|------|
| V _{DS} | Drain-to-Source Voltage | 30 | V |
| V _{GS} | Gate-to-Source Voltage | ±20 | V |
| I _D | Continuous Drain Current (Package limited) | 35 | A |
| | Continuous Drain Current (Silicon limited), T _C = 25°C | 83 | |
| | Continuous Drain Current ⁽¹⁾ | 19 | |
| I _{DM} | Pulsed Drain Current ⁽²⁾ | 239 | A |
| P _D | Power Dissipation ⁽¹⁾ | 2.5 | W |
| | Power Dissipation, T _C = 25°C | 53 | |
| T _J , T _{stg} | Operating Junction Temperature, Storage Temperature | -55 to 150 | °C |
| E _{AS} | Avalanche Energy, single pulse I _D = 28 A, L = 0.1 mH, R _G = 25 Ω | 39 | mJ |

图 3-3. MOSFET 主要规格表

3.2 如何将电源布线上的 R 从 BQ25970 输入转换为输出 (或从输出转换为输入)

如前所述，BQ25970 器件行为类似于 2:1 转换器，因此可以使用本节所示的等效变压器模型来表示。

$$V_{IN} = 2 \times V_O \quad (11)$$

$$I_{IN} = \frac{1}{2} \times I_O \quad (12)$$

使用相同理论，方程式 13 是方程式 11 和方程式 12 的重新表达。

在方程式 13 中，ΔV_X 表示电源布线上的压降。

$$\Delta V_{IN} = 2 \times \Delta V_O \quad (13)$$

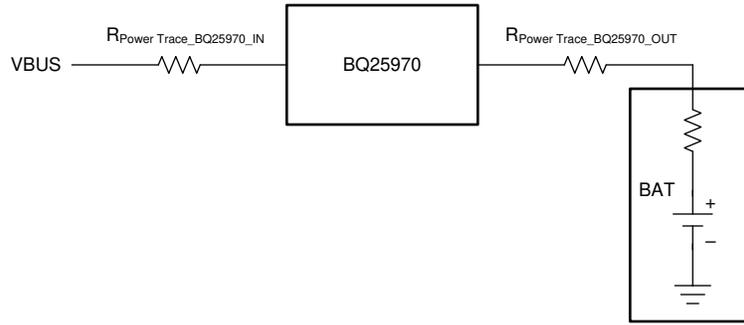


图 3-4. 转换电源布线上的 R

R 从输出转换为输入：

假设 BQ25970 的输出电源布线电阻为 $R_{\text{Power Trace_BQ25970_OUT}}$ ，如图 3-4 所示。它也可以表示为如方程式 14 所示。

$$R_{\text{Power Trace BQ25970_OUT}} = \frac{\Delta V_O}{I_O} \quad (14)$$

方程式 15 是转换为 BQ25970 器件输入电阻的示例。

$$R_{\text{Power Trace BQ25970_IN}} = \frac{\Delta V_{\text{IN}}}{I_{\text{IN}}} = \frac{2 \times \Delta V_O}{\frac{1}{2} \times I_O} = 4 \times R_{\text{Power Trace BQ25970_OUT}}$$

$$R_{\text{Power Trace BQ25970_IN}} = 4 \times R_{\text{Power Trace BQ25970_OUT}} \quad (15)$$

R 从输入转换为输出：

同样，假设 BQ2597 器件的输入电源布线电阻为 $R_{\text{Power Trace_BQ25970_IN}}$ ，如图 3-4 所示。它也可以表示为如方程式 16 所示。

$$R_{\text{Power Trace BQ25970_IN}} = \frac{\Delta V_{\text{IN}}}{I_{\text{IN}}} \quad (16)$$

方程式 17 是转换为 BQ25970 器件输出电阻的示例。

$$R_{\text{Power Trace BQ25970_OUT}} = \frac{\Delta V_O}{I_O} = \frac{\frac{1}{2} \times \Delta V_{\text{IN}}}{2 \times I_{\text{IN}}} = \frac{1}{4} \times R_{\text{Power Trace BQ25970_IN}} \quad (17)$$

$$R_{\text{Power Trace_BQ25970_OUT}} = \frac{1}{4} \times R_{\text{Power Trace_BQ25970_IN}} \quad (18)$$

设计人员可以使用方程式 15 或方程式 18 轻松评估不同电源布线中的功率耗散，从而提高热性能。此外，BQ25970 器件还支持并联配置，可获得更高的充电电流，例如 10A 或更高电流。此方法可帮助设计人员优化电源布线的 PCB 布局，并在两个 BQ25970 器件之间获得几乎相同的充电电流，从而获得出色的热性能。

3.3 BQ25970 的 PCB 布局提示

正确的 PCB 布局可确保良好性能，因此设计人员必须注意 PCB 布局，如图 3-5 中的 PCB 布局示例所示。

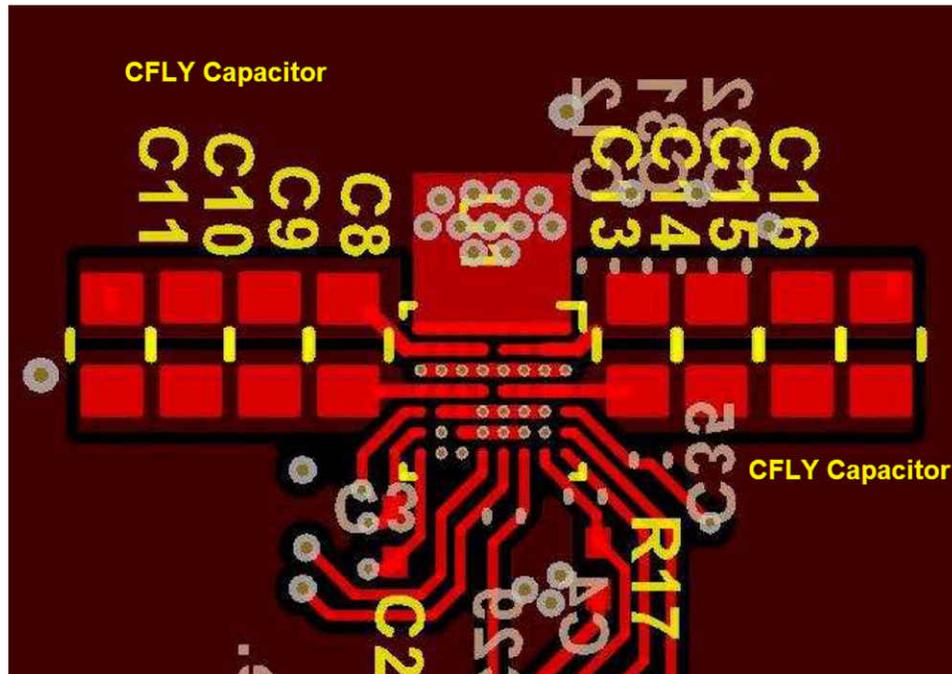


图 3-5. BQ25970 PCB 布局

- 将 CFLY 电容器靠近 BQ25970 器件放置，电源布线应短而宽，以减少 PCB 布线上的功率损耗。
- 将 GND 引脚直接连接到主接地层，以获得更好的散热和更好的 EMI 性能。
- OVPGATE 引脚与外部 MOSFET 栅极之间的外部 MOSFET 栅极驱动布线的宽度应为 10mil 或更大，因为 OVPGATE 处于活动状态时， di/dt 较高。此外，最好在此驱动布线周围使用接地线，以避免任何噪声干扰。
- 电池感应布线 BATP 和 BATN 应布为差分布线，并将其直接连接到电池插座端子。如果可能，在它们周围使用接地线以避免噪声干扰。

4 参考文献

- 德州仪器 (TI)，[BQ25970、BQ25971 具有 ADC 的 I²C 控制型单节电池高效率 8A 开关电容快速充电器数据表](#)
- 德州仪器 (TI)，[BQ25970 PWR893 评估模块用户指南](#)

5 修订历史记录

Changes from Revision * (March 2020) to Revision A (October 2022)

Page

-
- 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式..... 1
-

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 © 2022，德州仪器 (TI) 公司