

Application Note

BQ2579X 输入多路复用器 FET 的浪涌电流控制



Jeff Falin, Kristina Gundal

摘要

本应用手册探讨了 FET 导通速度和浪涌电流之间的关系，并给出了可用于预测和减少启动电流尖峰的设计公式和测量结果。

内容

1 简介.....	2
2 详细说明.....	3
2.1 浪涌电流.....	3
2.2 使用电容器来实现 FET 软启动.....	3
2.3 5V USB-C 输入电源的测试结果.....	4
3 总结.....	6
4 参考资料.....	7

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

浪涌电流是指电流稳定到正常工作电流之前，电气器件在上电时消耗的峰值电流。该器件的集成电路 (IC) 在 IC 引脚上具有不同大小的电容。在首次施加快速上升电压时，放电的电容器本质上是一个短路，如以下公式所示：

$$i_c = C \times dv/dt \quad (1)$$

其中 i_c 是流经电容器的电流

C 是电容

dv 是电容器上的电压变化

dt 是电压变化的时间

如果电容器的电压压摆率 (dv/dt) 很高，则电容器会灌入高电流（通常称为浪涌电流），直到电容器充满电。电流尖峰会对施加此电压的电源/电池和/或电流流经的任何其他元件或 PCB 布线施加显著应力。如果元件的额定电压不符合浪涌要求，这种应力可能会导致热损坏或电气关断。例如，如果 USB-C 电源仅协商了 500mA 的输出电流，但浪涌电流为 1.5A，则 USB-C 电源会检测到过流并降至较低功率状态。设计人员通常考虑添加软启动电路来缓慢为高电容节点充电，从而降低电流尖峰。如果电容器前面的元件是 MOSFET，则减少该电流尖峰的常用方法是延长 FET 的导通时间或压摆率，并限制下游电容器充电电流。

2 详细说明

2.1 浪涌电流

为了能够在两种不同的输入源之间切换，BQ2579x 充电器系列具有两个 FET 输出驱动器（ACDRVx 引脚），用于驱动共源 NFET。

图 2-1 显示了使用 BQ25798EVM 且 $C_{VBUS}+C_{PMID}=40\mu F$ 时的非软启动上电波形。

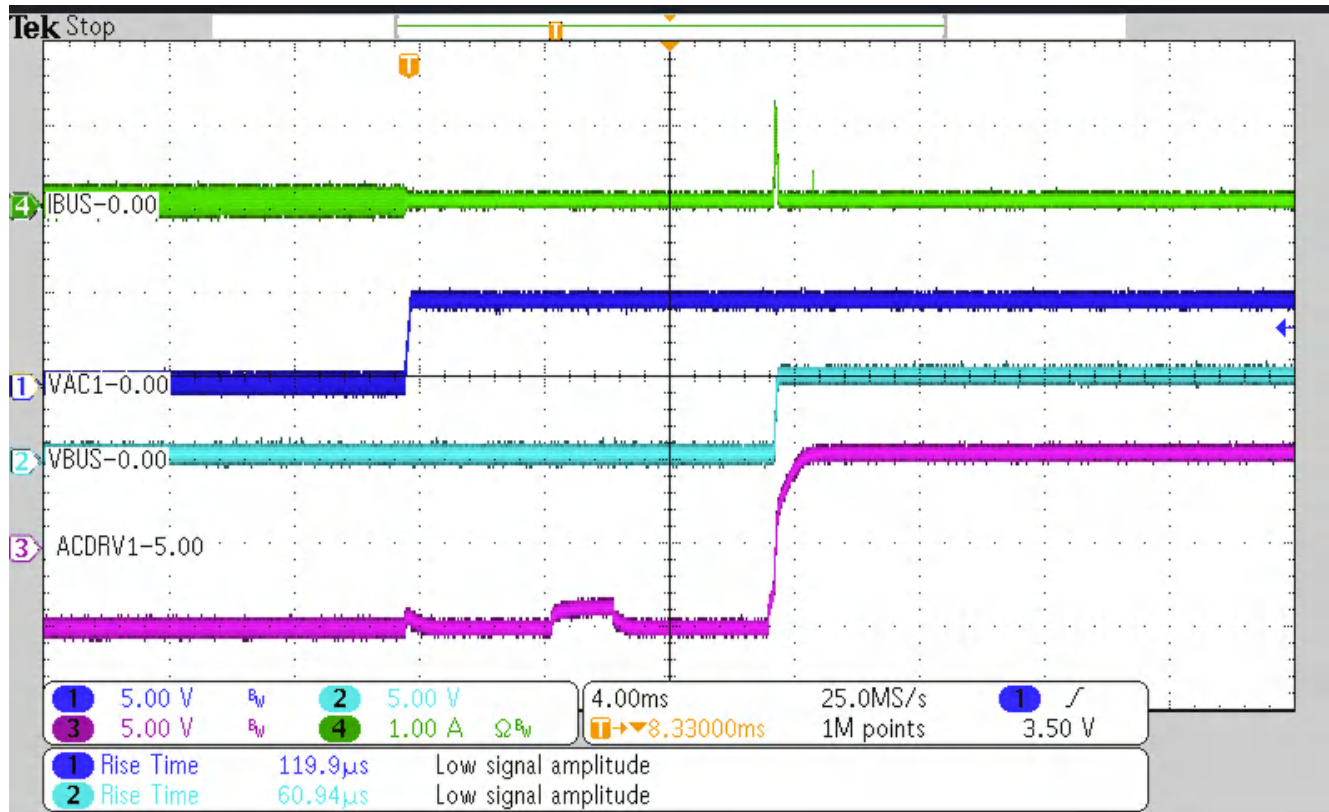


图 2-1. ACFET 导通时的浪涌电流尖峰

当首次施加 VAC1 检测输入（CH1 深蓝色）电压时，内部输入 FET 检测算法运行大约 15ms，以确定是否连接了 FET 对。在这个 15ms 延迟到期后，充电器的 ACDRVx 引脚（具有 5V 偏移的 CH3-粉色）会导通输入 FET，以便为 VBUS 上的电容（CH2-浅蓝色）充电，并通过内部 FET 的体二极管连接到 PMID 引脚。当输入源为 VBUS 和 PMID 电容器充电时，会出现第一个较大的浪涌电流脉冲（CH4-绿色）。第二个是较小的电流脉冲，是由于 VBUS 和 PMID 之间的内部 NFET 导通，以通过下面的二极管压降将 PMID 电压升高到 VBUS。

2.2 使用电容器来实现 FET 软启动

通过增加从 ACDRVx 到 FET 栅极的串联电阻和/或添加栅源电容器来减慢 ACDRVx 驱动电压是减慢 FET 导通速度（即软启动 FET）的一种方法。然而，BQ2579x 系列的 15ms FET 检测算法可能会在不仔细确定该电阻器和电容器大小的情况下发生误跳闸。实现 FET 浪涌控制的另一种方法是在 FET 的栅极和漏极之间添加更多电容，即 C_{DG-ADD} 。图 2-2 显示了其中一个 BQ25798 输入多路复用器 FET 对和附加栅漏电容 C_{DG-ADD} 的原理图。

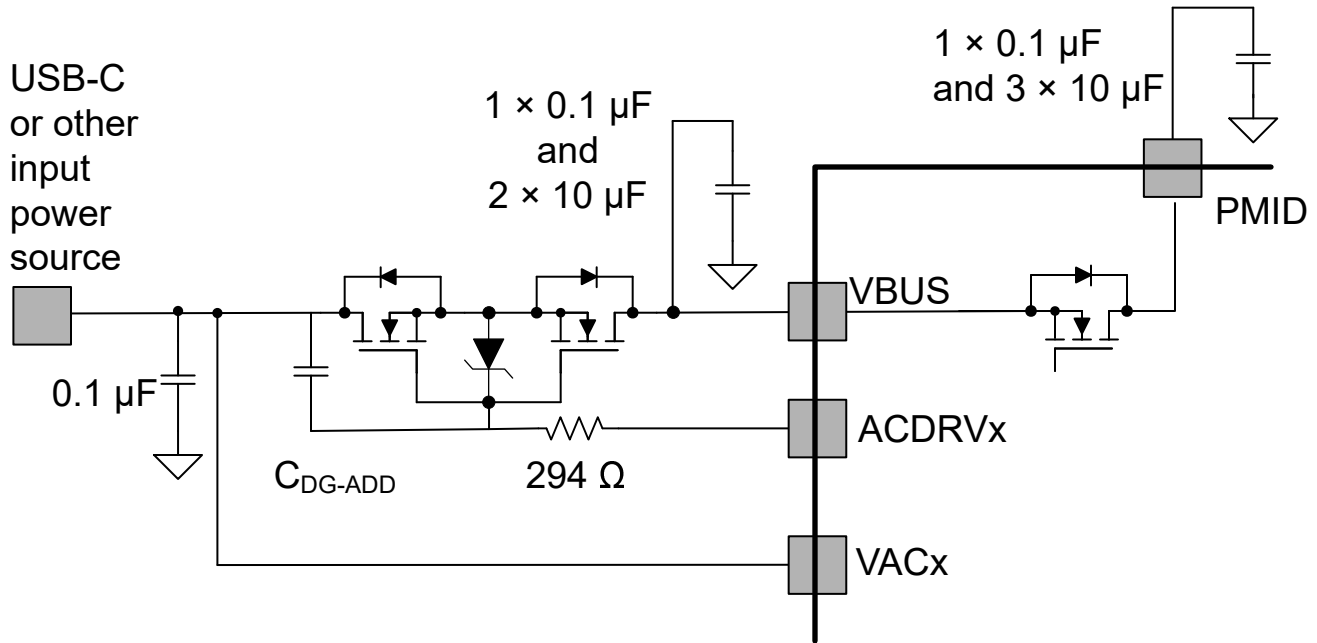


图 2-2. BQ2579X 多路复用器输入原理图

如果 C_{DG-ADD} 至少比 FET 固有的 C_{DG} 高一个数量级，则可以忽略固有的 C_{DG} （通常在 1000pF 范围内），并且 FET 导通时间与 C_{DG-ADD} 充电时间成正比。 $ACDRVx$ 引脚的输出本质上是一个电流源，典型输出电流为 $I_{ACDRV} = 45\mu A$ 。因此，上面的公式 1 可用于预测 C_{DG-ADD} 充电时间和 $VBUS$ 导通时间。

必须调整额外的 C_{DG-ADD} 的大小

1. 大到足以满足所需的浪涌电流规格， $I_{IN-RUSH} = (C_{VBUS} + C_{PMID}) * dV_{BUS}/dt$ 。由于 $ACDRVx$ 电流源为 C_{DG-ADD} 充电，因此 FET 导通时间以及 $VBUS$ 上升时间可以通过以下公式估算： $I_{ACDRV} = C_{DG-ADD(MIN)} * V_{BUS}/dt$ 。
2. 足够小，能够防止初始上电时的电流脉冲，即 $C_{DG-MAX} = I_{CDG-VACi} / (dV_{ACi}/dt)$ ，其中 dV_{ACi}/dt 是 $VACx$ 电压上升时间（图 2 中的 CH1 初始上升），
3. 足够小，使 FET 完全导通（即在 $ACDRVx=VBUS+5V$ 时具有最低的 $R_{DS(ON)}$ ）
 - a. 在充电器转换器启动之前， $VBUS$ 高于 $UVLO$ （典型值为 3.6V）200ms 后
 - b. 以确保 FET 升温不足以超过安全工作区 (SOA)。

请注意，当热插拔完全接通的壁式适配器时， $VACx$ 会看到具有非常高压摆率 (dV_{ACi}/dt) 的电压，该电压会由于 C_{DG-ADD} 而导致初始电流脉冲。在这种情况下， C_{DG-MAX} 太小，无法更大幅度地减小多路复用器 FET 浪涌电流。添加一个小型串联电阻器 (10W) 可降低 $I_{CDG-VACi}$ 。如果额外的串联电阻无法充分降低 $I_{CDG-VACi}$ ，则软启动多路复用器输入 FET 的唯一选择是在 $ACDRVx$ 和 NFET 栅极之间使用额外的 C_{DG} 电容和更高的串联电阻器。

幸运的是，最新的电池供电终端设备使用 USB-C 端口供电。USB-C 端口将输出电压摆率调节至 30mV/us。通常， C_{DG-ADD} 适用于由 USB-C 端口和其他慢速开启电源供电的终端设备。

2.3 5V USB-C 输入电源的测试结果

使用要求 1，我们发现 $C_{DG-ADD(MIN)}$ 。

- 对于 $I_{IN-RUSH}$ 小于 100mA 的情况，最大 dV_{BUS}/dt 必须小于 $100mA / 40\mu F = 2500V/s$ 。
- 对于 5V 电源， $VBUS$ 上升时间必须慢于 $dt = 5V/(2500V/s) = 2ms$ ，因此 $C_{DG-ADD(MIN)} = 45\mu A / (5V/2ms) = 0.018\mu F$ 。

使用要求 2，我们发现 $C_{DG-ADD(MAX)}$ 。

- 压摆率为 30mV/us 的 USB-C 5V 电源的 $dV_{ACi}/dt = 167\mu s$ 。对于所需的 $I_{CDG-VACi} = 1mA$ ， $C_{DG-ADD(MAX)} = 1mA / (5V/167\mu s) = 0.033\mu F$ 。

在本示例中，要求 3 不相关。

图 3 显示了为图 1 中相同的 BQ25798EVM 供电，但 $C_{DG-ADD} = 0.03\mu F$ 。

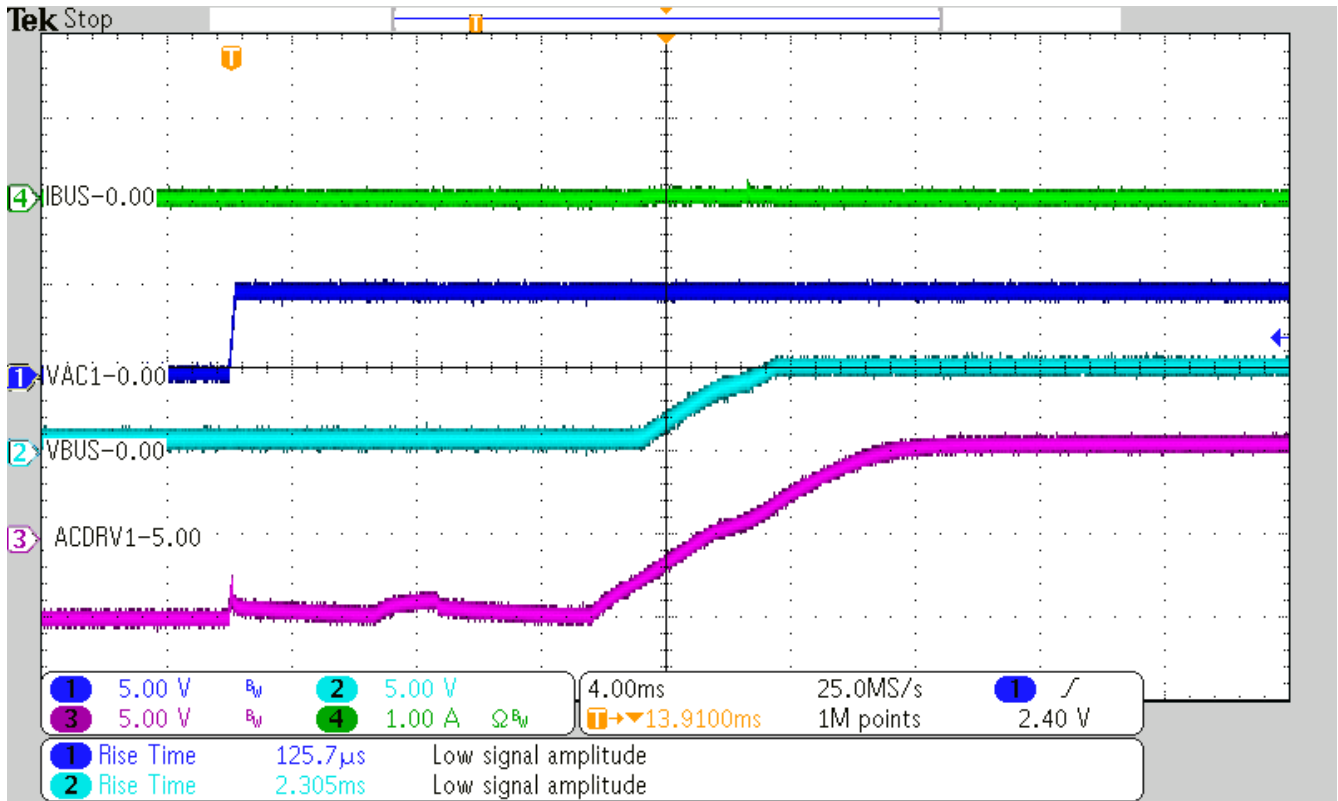


图 2-3. BQ25798EVM 在 $C_{DG-ADD} = 0.03\mu F$ 的情况下上电

VAC1 输入电压上升时间是仿真 USB-C 端口的 $5V/(30mV/us) = 167\mu s$ 。请注意，ACDRV1 和 VBUS 上升缓慢，与图 1 相比，图 3 中没有电流尖峰。

表 2-1 比较了理论计算与不同输入电压和 C_{DG-ADD} 值的实验测量。

表 2-1. 不同 C_{DG-ADD} 值下测得的 VBUS 上升时间与计算得出的 VBUS 上升时间

VBUS (V)	C_{DG-ADD} (nF)	测得的 VBUS 上升时间 (ms)	从 $dt = C_{DG-ADD} \cdot VBUS / I_{ACDRV}(ms)$ 计算得出的上升时间
9	47	8	9.4
9	7.5	1.2	1.5
9	30	4.2	6
5	47	6.2	5.2
5	7.5	1	0.8
5	30	4	3.3

测得的上升时间和计算出的上升时间之间的相关性证实了 C_{DG-ADD} 充电时间和 VBUS 上升时间之间的关系有效。降低 ACDRVx 驱动电压会降低 VBUS 引脚电压压摆率 dv/dt ，从而降低 FET 导通时的峰值浪涌电流。

3 总结

正确选择额外的 C_{DG} 提供了有效方法，该方法通过 BQ2579x 输入多路复用器 FET 控制浪涌电流，同时保持器件可靠运行。

4 参考资料

1. [BQ25798](#) 具有双输入选择器、用于太阳能电池板的 MPPT 和快速备份模式的 I2C 控制、1 节至 4 节、5A 降压/升压电池充电器数据表 (版本 C)
2. [BQ25790](#) 具有双输入选择器、用于太阳能电池板的 MPPT 和快速备份模式的 I2C 控制、1 节至 4 节、5A 降压/升压电池充电器数据表 (版本 C)
3. [BQ25672](#) 具有双输入选择器、用于太阳能电池板的 MPPT 和快速备份模式的 I2C 控制、1 节至 4 节、5A 降压/升压电池充电器数据表 (版本 C)

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