

Ethan Galloway

摘要

热插拔是指将上电电压源连接到电子器件的输入电源或电池连接器。热插拔产生的电压瞬态尖峰会损坏器件内部的集成电路。本应用手册解释了此类电压瞬变的根本原因，并提供了防止这些瞬变损坏电子产品中的集成电路 (IC) 的可能设计。

内容

1 引言.....	2
2 根源.....	2
3 RC 缓冲器.....	4
4 TVS 二极管和齐纳二极管.....	5
5 总结.....	6
6 参考文献.....	7

插图清单

图 2-1. 适配器插入期间的简化等效电路.....	2
图 2-2. 电容对 V_{Ci} 的影响.....	3
图 2-3. 电感对 V_{Ci} 的影响.....	3
图 2-4. 电阻对 V_{Ci} 的影响.....	3
图 3-1. 推荐的输入滤波器设计.....	4
图 4-1. TVS 二极管特性.....	5

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

当将高于 5V 的 USB 适配器或多节电池热插入电子器件时，通常会出现一些电压尖峰或振铃。如果连接到输入电源或电池连接器的 IC 引脚没有足够的额定电压，IC 可能会损坏。本应用手册介绍并确定了电压尖峰和/或振铃的根本原因。此外，本应用还介绍了如何使用尺寸合适的电阻器和串联电容器 (RC) 或二极管来防止器件损坏。

2 根源

较长的电源适配器或电池电缆具有电阻和电感。电阻和电感由 R_i 和 L_i 在图 2-1 中建模。 R_c 和 C_i 表示 IC 的电源或电池引脚之前的输入电容和接地串联电阻。

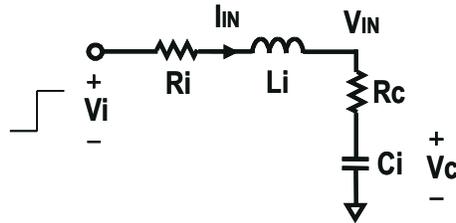


图 2-1. 适配器插入期间的简化等效电路

充电器输入侧电压 V_{IN} 由以下数学模型给出。

$$V_{IN}(t) = I_{IN}(t) \times R_C + V_{Ci}(t) = V_i e^{\frac{R_i}{2L_i} t} \left[\frac{R_i - R_C}{\omega L_i} \sin \omega t + \cos \omega t \right] \quad (1)$$

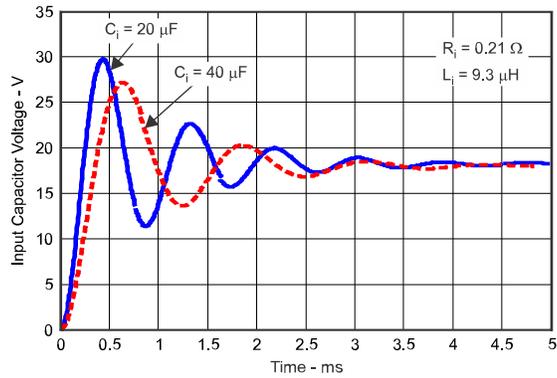
其中，总阻抗 R_t 为

$$R_t = R_i + R_C \quad \omega = \sqrt{\frac{1}{L_i C_i} - \left(\frac{R_t}{2L_i} \right)^2} \quad I_{IN}(t) = \frac{V_i}{\omega L_i} e^{\frac{R_i}{2L_i} t} \sin \omega t \quad (2)$$

该公式给出了电容器 C_i 两端的电压：

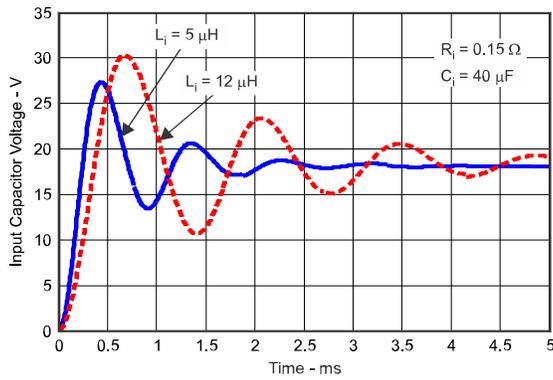
$$V_{Ci}(t) = V_i - V_i e^{\frac{R_t}{2L_i} t} \left(\frac{R_t}{2\omega L_i} \sin \omega t + \cos \omega t \right) \quad (3)$$

以下几个图绘制了不同电容、电感和电阻值下 V_{Ci} 随时间变化的情况。几乎所有电源 IC 高电流引脚都具有一些外部电容 C_i 。图 2-2 表明较高的 C_i 有助于抑制电压尖峰，但不会消除电压尖峰。图 2-3 展示了输入杂散电感 L_i 对输入电压尖峰的影响，并确认电感较高的较长引线会导致更高的电压尖峰和长时间的振铃。如图 2-4 所示，抑制电压振铃的唯一方法是将串联电阻 R_i 添加到 C_i (*bq24753A* 具有低 I_q 和系统功率选择器的主机控制锂离子和锂聚合物电池充电器)。



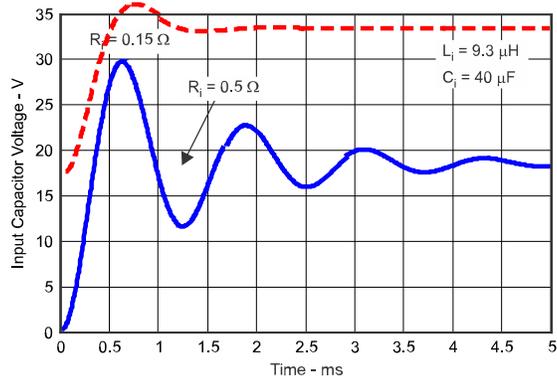
(a) V_c with various C_i values

图 2-2. 电容对 V_{Ci} 的影响



(b) V_c with various L_i values

图 2-3. 电感对 V_{Ci} 的影响



(c) V_c with various R_i values

图 2-4. 电阻对 V_{Ci} 的影响

3 RC 缓冲器

图 2-2 显示，更大限度地减小输入杂散电感、增加输入电容和增加电阻（包括使用更高的 ESR 电容器）有助于抑制输入电压尖峰。然而，用户通常无法控制输入杂散电感，并且增加额外的大电容会增加成本并占用更多电路板空间。

阻尼因子为

$$R_i + R_c > 2 \sqrt{\frac{L_i}{C_i}} \quad (4)$$

电子器件的电缆长度以及串联电感 L_i 有很大差异。电源引脚电容也会因 IC 而异，一般而言，不能具有较大的串联电阻。因此，有效且具有成本效益的方法是不使用 IC 引脚的电容，而是添加一个额外的小型电容器和串联电阻作为缓冲滤波器（通常称为 RC 缓冲器）。

图 3-1 图示了针对 BQ2579x 系列的推荐输入滤波器设计。如果使用长 PCB 布线和 GND 回路，则可以将滤波器放置在 PCB 的器件连接器上，也可以靠近 IC 放置。

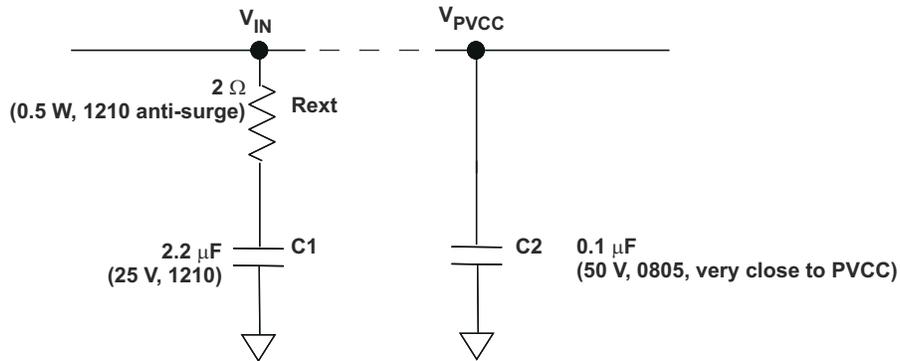


图 3-1. 推荐的输入滤波器设计

这种 RC 组合对于常用的适配器电缆长度非常有效，但 RC 组合可能需要针对某些应用进行调整（[bq24753A 具有低 Iq 和系统功率选择器的主机控制锂离子和锂聚合物电池充电器](#)）。

4 TVS 二极管和齐纳二极管

RC 缓冲器非常适合滤除热插拔适配器引起的瞬变，热插拔适配器可保持稳定的直流电压电平为 IC 供电。但是，如果电源具有较大的电压摆幅，例如电池充电器输出端的电池经常对系统瞬态负载进行补充，则 RC 缓冲器不是理想选择。尽管比 RC 缓冲器成本更高，但 TVS 或齐纳二极管也可用于抑制适配器热插拔产生的电压尖峰。

瞬态电压抑制二极管（即 TVS 二极管）旨在保护电子元件免受电压尖峰的影响。一旦二极管上的电压超过雪崩击穿电势，TVS 二极管就开始工作。一旦该电压消失，TVS 二极管就会复位。TVS 二极管可以是单向的也可以是双向的。TVS 二极管的 I-V 曲线如图 4-1 所示

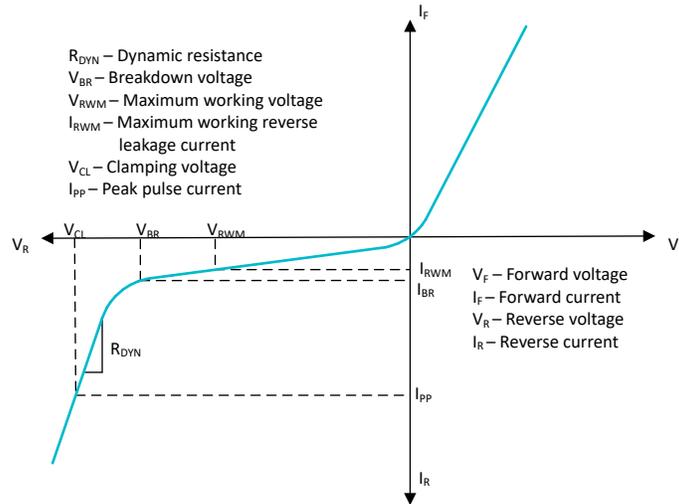


图 4-1. TVS 二极管特性

齐纳二极管的工作方式与 TVS 二极管完全相同，齐纳二极管遵循类似的曲线。唯一的区别是，TVS 二极管旨在实现更快的响应速度和更高的浪涌电流传导能力。

要选择 TVS 二极管，首先要知道需要保护的 IC 引脚的最大安全工作电压和最小有害电压。选择的反向工作电压应高于电路的最大安全工作电压，而钳位电压应低于最小有害电压。

要选择齐纳二极管，需知道最大工作电压和最小有害电压。选择齐纳电压，使其介于最大工作电压和最小有害电压之间。

5 总结

总之，在电路中热插拔时，高电压会导致问题。高电压尖峰可能会立即或随着时间的推移而导致问题。令人欣慰的是，使用正确的工程方法可以预防这些问题。TVS 二极管、齐纳二极管和 RC 缓冲器是解决此问题的潜在权变措施。正确设计电路可以节省您的时间和资源并省去可能的麻烦。

6 参考文献

- 德州仪器 (TI) , [bq24753A 具有低 Iq 和系统功率选择器的主机控制锂离子和锂聚合物电池充电器](#) 数据表。

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 © 2023，德州仪器 (TI) 公司