

# 电子系统热插拔接口防浪涌电流方法研究

## Research on Anti-surge Current Method of Hot Plug Interface in Electronic System

董兆龙

Zhaolong Dong

合肥市经开区习友路联想科技港 中国·安徽 合肥 230031

Lenovo Science and Technology Port, Xiyou Road, Economic Development Zone, Hefei, Anhui, 230031, China

**摘要:** 许多电子设备都有热插拔接口, 支持热插拔的设备在插拔时由于浪涌电流的存在会引起各种各样的系统问题, 传统的解决方案不能从根本上解决浪涌电流的问题, 本研究的目的是找到从根本上消除浪涌电流的方法, 增强系统和设备的可靠性与稳定性。

**Abstract:** Many electronic devices have hot-plug interfaces. When hot-plug devices are plugged in, they will cause various system problems. Traditional solutions can't solve the problem of surge current fundamentally. The purpose of this study is to find a way to eliminate surge current fundamentally and enhance the reliability and stability of systems and devices.

**关键词:** 电子系统; 热插拔; 浪涌电流; 创新方案

**Keywords:** electronic system; hot swap; surge current; innovative scheme

**DOI:** 10.12346/etr.v3i6.3710

## 1 引言

从人类进入信息化时代, 各类电子设备就进入了各个领域和各个场景, 一般具有强大运算能力的主机设备都配置了丰富的外插接口, 如各类视频音频接口, 各类存储及外扩设备接口等。其中, 有部分接口是支持热插拔的, 即在主机运行状态中可以插入或移除接口, 而不用先把主机关闭, 极大地增加了便利性, 如目前应用的最广泛的 USB 接口就是典型的热插拔接口<sup>[1]</sup>。

## 2 研究背景

热插拔设备插入主机接口的瞬间, 由于热插拔设备需要利用接口提供电源, 所以接口电源会直接与设备电源输入端连接, 而设备输入端一般地都有放置滤波电容以稳定输入电压, 此输入电容大小不同设备都不相同, 从几微法到几百微法都有可能, 如此大的电容被突然连接到接口电源上, 会引起如下问题:

①浪涌电流过大, 引起接口电源损坏或保护, 甚至引发主机系统电源保护而引起主机异常关机。

热插拔设备连接主机时浪涌电流见图 1。

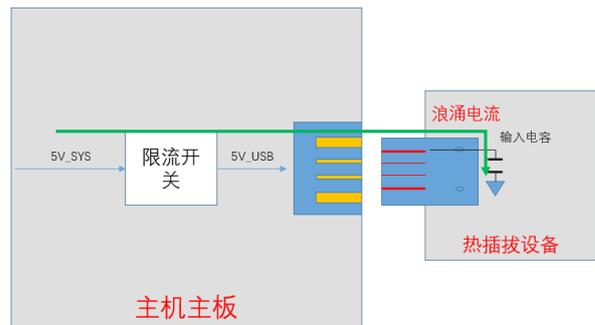


图 1 热插拔设备连接主机时浪涌电流示意图

热插拔设备在接入主机之前, 输入电容上的电压为零, 连接到主机时, 主机接口上电源迅速对输入电容充电, 电压快速爬升到 VDD, 此浪涌电流  $I = C \times dv/dt$ 。

输入电容越大, 浪涌电流也越大, 实测可达到数十安培, 而一般的 USB 接口电源设计规格都不超过 3A, 浪涌电流会引发接口电源电压剧烈下降 (drop) 致使接口失去功能, 更

【作者简介】董兆龙 (1983-), 男, 中国安徽霍山人, 本科, 助理工程师, 从事电源数字化与智能化及新型模块化电源研究。

严重情况下，浪涌电流部分通过了限流开关或保险丝（反应较慢的原因），引起系统电源剧烈下降（drop）或者直接保护，这会导致系统异常关机故障。

②过大的浪涌电流作用在电流路径上，对元器件的可靠性有较大的影响，长期反复插拔易造成元器件损坏。

现行的解决方案主要分两部分：第一，在接口电源和系统电源之间增加限流开关，或者单独设计接口电源，都是为了避免浪涌电流影响到系统电压稳定性。第二，在接口电源上增加大电容，当设备接入时可以保证接口电压下降的幅度在规格范围之内，不会让接口失去功能。这种方案成本高，并且没有从源头解决浪涌电流的问题，仍然有一定风险导致系统异常以及接口功能失效，并且浪涌电流对元件的可靠性影响没用得到改善。

### 3 创新解决方案研究与应用

如果要彻底解决热插拔浪涌电流带来的影响，最好的办法是减小或者消除浪涌电流，从上面分析我们知道，浪涌电流的产生是因为热插拔设备电源输入端的电容充电造成，由公式  $I = C \times dv/dt$  可知，电容值  $C$  是热插拔设备的内部设计，主机厂商无法控制，所以只能减小电压的上升速率  $dv/dt$ 。传统的设计热插拔接口电源是一直存在的，所以在设备插入瞬间接口电源电压直接施加在输入电容上，因此对设备端输入电容来说电压上升速率非常快，若要控制电压上升速率，必须保证设备在接入主机前，主机接口电源没有输出电压，检测到设备接入后，再启动接口电源，控制接口电源的上升速率即可<sup>[2]</sup>。

以上方法的困难点在于如何检测设备的接入和移除，由于接口都是标准化的，接口的每个信号引脚都有相应的功

能，无法用作检测信号，本项目研究的目的在于提供一种通用的能够在任何标准化热插拔接口应用的防浪涌电流方法，在接口电源前端增加一个自动检测开关（取代原设计的限流开关），可以自动检测外插设备的接入和移除，并相应的开启/关闭开关，使得浪涌电流被大幅度减小甚至完全消除，自动检测开关的示意图如图 2 所示。

图 2 自动检测开关仍然以 USB 接口举例， $V_{in}$  连接系统电源， $V_{out}$  就是输出接口电源， $V_{CC}$  是检测开关的工作电源，在 USB 接口的应用中， $V_{in}=5V$ ， $V_{CC}$  需要提供一个高于  $V_{in}$  的电压，例如  $6V$ ， $V_{in}$  和  $V_{out}$  之间串联两个场效应管  $Q1$  和  $Q2$ ，用来导通/切断电流通路， $Q1$  和  $Q2$  的栅极分别控制， $Q1$  的栅极是受一个比较器  $U1$  输出端通过 RC 滤波电路控制开闭， $Q2$  的栅极是受一个电流检测开关控制开闭，电流检测开关检测流过  $Q1/Q2$  上的电流大小，与内部基准值比较，决定  $Q2$  的开闭；另外有一个额外的电流源，其输入电压是  $V_{CC}$  通过一个线性稳压器（LDO）降压得到，一般设置比  $V_{in}$  高  $0.1V$ ，其输出端连接接口电源输出端<sup>[3]</sup>。

自动检测开关的工作原理如下：

①当外部设备没有连接到接口上时， $V_{out}$  输出是没有任何连接的悬空状态，输出阻抗非常大，此时开关  $Q1$  和  $Q2$  上也是没有电流通过的，连接  $Q2$  栅极的电流检测开关检测到电流小于内部基准（如  $0.1A$ ），关闭开关  $Q2$ ，因此电流源会对输出充电直至输出达到饱和电压（ $V_{in}+0.1V$ ），此时，比较器  $U1$  输出为高，关闭  $Q1$ ，所以此时自动检测开关的输入和输出之间是断开的。

②当外部设备连接到接口上时，由于设备有一定阻抗和电流，所以电流源充电电压会被拉低， $U1$  输出为低，开关  $Q1$  被导通，开关  $Q2$  此时没有导通，但是本体二极管顺

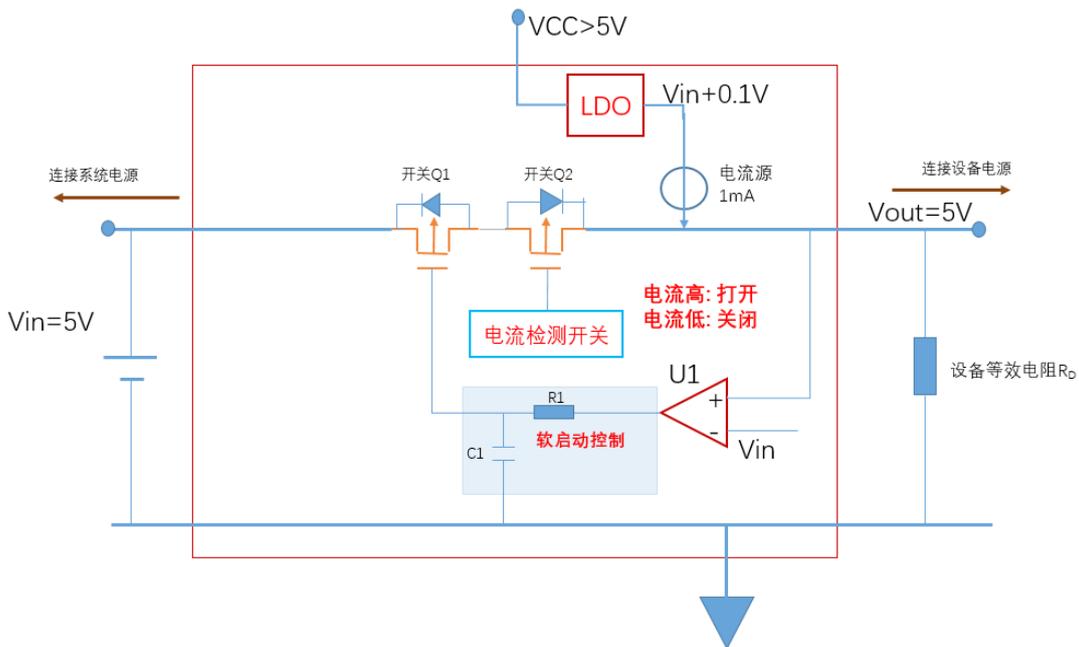


图 2 自动检测开关示意图

向导通给设备提供电压,一旦设备开始工作就会产生工作电流,当电流检测开关检测到电流大于内部基准就会开启 Q2,此时自动检测开关完成电压输出动作。

③开关 Q1 被导通时,输出电压就开始从零爬升到等于  $V_{in}$  电压,由于在 Q1 的栅极增加一个软启动电路,只要使 Q1 的栅极电压是缓慢线性爬升的,就可以使 Q1 的沟道是逐渐打开的,因此输出电压也是缓慢线性爬升到目标电压,整个开启过程没有电压突变,因此不会产生浪涌电流,通常情况下,在 Q1 的栅极增加一个 RC 延迟线路就可以达到设计目的。

④当外部设备被移除时,接口电源输出电流减小到零,电流检测开关检测流过 Q1/Q2 电流小于基准,因此开关 Q2 会首先被关闭,电流源会对接口电源输出端充电直至饱和 ( $V_{in}+0.1V$ ),比较器 U1 翻转,关闭开关 Q1,自动检测开关被完全断开,回到初始未接入设备状态。

## 4 创新解决方案的优势

本方案的优势如下:

①本方案从源头上杜绝了浪涌电流的产生,从根本上

消除了热插拔浪涌电流对系统和元器件造成的影响,可靠性高。

②本方案成本低,只是在现行限流开关上集成了自动检测模块,不增加额外的元器件,几乎不会增加成本。

③本方案适用性高,没有利用额外的物理引脚检测,也没有使用额外的信号引脚检测,可以在任何需要热插拔的设计中应用。

## 5 结语

本研究方法通过导入自动检测开关方案,可以实现完全消除热插拔浪涌电流的影响,适合推广到所有需要热插拔的设计中,增强电子设备的可靠性,并降低生产成本。

## 参考文献

- [1] 张文杰,王坤.浅谈嵌入式系统中的硬件热插拔设计[J].电子世界,2012(10):41-42.
- [2] 王红蕾.新型输入浪涌电流抑制电路[J].集成电路应用,2021(6):3.
- [3] 黄俊.并联系统的热插拔研究[J].电子技术与软件工程,2015(7):147-148.

(上接第 61 页)

精加工切削参数:主轴转速 18000r/min,切深 2mm,进给速度 5m/min;精加工切削参数:主轴转速 20000r/min,切深 0.2mm,进给速度 8m/min,加工周期 6h,模具质量能满足客户的要求。

### 4.2 汽车零部件制造

由于汽车零部件制造辅助时间占整个加工时间的大部分,高达 70%。快速移动速度、加速度要求很高,而切削加工的速度相对要求不很高<sup>[5]</sup>。一般采用高移速加工中心—HVM 型,主轴转速多为 8000~15000r/min,快速移动速度多约 60m/min 以上,甚至 80~120m/min,加速度要求高,0.6~1.0g,甚至 1.5g。

### 4.3 航空航天领域

航空航天领域有许多薄壁、细肋结构,刚性差的零部件,加工这种零件可利用超高速切削加工时的小横向力的特点。主轴转速 40000r/min 以上,快速移动速度多约 40m/min 左右,加速度要求高,一般 1.0g 左右。

## 5 结语

目前中国在研制超高速切削加工设备方面,还有许多技

术问题有待解决,诸如高速主轴系统中的电主轴、磁悬浮轴承的制造技术;高速机床进给系统中的高速直线电动机进给单元、高速滚珠丝杠副制造技术。

还有如何选择合理的加工参数,达到最佳切削效果?高速切削刀具的材料、切削角度应作哪些调整等。但是随着越来越多的科研攻关人员的不懈努力,相关科研攻关项目的完成,我们相信超“高速切削加工”的春天一定会来临。

## 参考文献

- [1] 朱祖明.高速切削加工技术在数控机床中的运用[J].时代汽车,2020(13):2.
- [2] 山红伟.数控机床中高速切削加工技术的应用分析[J].时代农机,2016,43(11):10-11.
- [3] 齐靖.数控机床中高速切削加工技术的应用分析[J].现代工业经济和信化,2016,6(8):37-38.
- [4] 任群生.探析高速切削加工技术在数控机床中的应用[J].数字化用户,2013(10):50-51.
- [5] 丁杰,赵杰,张振金.高速切削加工技术在数控机床中的应用[J].机械设计与制造,2007(12):155-156.