

热插拔功能消除停机时间



在采用故障容限电源架构的应用系统中，都要求带有热插拔功能以满足零停机时间的要求。现代模拟通信和数据通信系统中，通常都必需满足这个要求。带电插拔功能同时也称为热插拔功能，在电源设计中是非常重要的。本文介绍采用具有热插拔功能的电源模块组成48V分布式电源结构，应考虑的设计问题。

热插拔功能对于确保热插拔元件的安全特别重要，此外，在热插拔过程中，热插拔功能需避免对输入和输出电源线电压产生明显波动。任何母线电压产生明显的即使是瞬间波动，都可能引起系统工作不正常。在常用的接插件中，各个接头不是同时接通或同时断开，而是有规律地逐次接通或逐次断开。因此必须分步骤，保证电源按顺序接通或断开。

满足上述要求的设计规则小结如下：

1. 带电插拔时，各种参数决不能超过各元件的极限值或绝对最大额定值。
2. 带电插入电源模块，浪涌电流必须限制在可接受的数值，以免48V输入母线电压中断或跌落。同时减小各接点之间产生的火花。
3. 带电插入转换器时，该转换器的负载电流必须限制在额定值以内，保证输出母线电压平稳并且不产生影响调整率的突变。
4. 负载断开或者未接取样线时，决不允许转换器传输能量，即产生功率突变。

为了满足上述这些要求，在每只可带电插入的模块中应当加入简单的保护和定序电路，这样可保证电源模块拔出时，转换器在负载切断或取样线中断以前关断。同时，电源模块带电插入时，所有输入和输出端都接通以前，转换器暂时保持关断状态。否则带电插拔时，连接器接点无规律的通电和断电，有可能损坏转换器模块，甚至损坏整个系统。

对故障容限首要并且是最重要的要求是冗余度，也就是说，在电源系统中，至少应有一台额外的转换器或者说有一台冗余转换器。该系统通常称为N+M配置，其中，N台转换器可满足负载要求的功率，M台转换器模

块作备用。应用过程中，一台转换器模块关断或发生故障时，尽管每台模块的负载电流突然增加，但是其他模块仍可保证系统输出功率不受任何影响，同样，当一台附加的转换器模块接入电源系统后，尽管每台电源模块的负载电流突然减小，系统的输出功率也不受任何影响，为此，各台转换器应具有均流能力，并且应尽量减小每台模块恢复正常供电所需的动态响应时间。为了负载自动均流，电源模块中应加入某些均流控制电路。电源模块的工作温度对可靠性有很大影响，工作温度每降低10℃，平均无故障时间可延长一倍。实践证明，在电源系统中，一台模块输出电流为另一台模块输出电流的二倍时，该电源模块的温升将增加一倍。

Vicor第二代转换器模块具有一些极好的特性，大大简化了在并关冗余系统中的应用。最重要的特性包括使能和关断、独特的主、从均流控制、自主指挥功能，其中一个模块在整个系统中总处于主控地位。Vicor第二代转换器模块还具有一些普通的特性，比如欠压封锁、软启动、输出限流和远距离取样等。Vicor转换器采用零电流谐振开关。控制开关频率和从隔离转换器初级传送到次级的能量脉冲速率，即可达到要求的电源调整率和负载调整率。在任意给定输入电压下，脉冲宽度是恒定的，因此，每个脉冲的能量也是恒定的。在维持输出电压稳定的情况下，为了满足负载电流的要求，可以控制脉冲重复率（即开关频率），因此各模块的开关频率完全同步的话，相同模块可实现本质均流。

Vicor第二代转换器模块上的PR脚是一个双向端口，它可连接并联均流母线。该端口可以接收或传输同步脉冲信号。可控制模块传输同步工作，所有其他模块均接受同步脉冲，保证所有模块同频率工作。

PC(初级控制)脚也是一个双向端口。该端口用作模块状态输出，在转换器工作过程中，该脚直流电压为6Vdc，在故障状况下，比如过热或输出过压时，PC脚将变为低电平（对负输入脚-Vin的电压接近0V）。在故障继续存在的情况下，PC脚周期地转变为高电平并尽力使转换器模块重新启动。只有故障状态消除后，PC脚才可能保持高电平。

PC脚也可作使能/关断输入脚，如果PC脚外接低电平，转换器则关断。PC脚维持低电平时，输出电流接近2mA。为了完成使能/关断功能，可采用开路集电极或漏极晶体管开关。

取样脚用于提高输出终端电源母线电压的稳定精度，通常电源系统的负载都接在输出终端电源母线上。终端取样闭合调整控制回路，调整转换器输出电压，以便补偿输出母线上产生的电压降。取样脚终端接法是维持输出电压控制所必须的。在故障容限并联冗余系统中，每台模块的输出端到电源母线必须串入一只二极管。在输出母线上二极管的共阴极，总输出电流为各转换器之和。这样任何模块出现包括输出短路的任何故障状态时，都可确保母线和电源系统可靠工作。当模块的输出电压降低时，串联二极管承受反向电压，因此，可简单地实现电源母线与转换器隔离。每台模块的取样线必须接在串联二极管的前面，并且最好接在热插拔插头的后面。转换器取样脚和电源脚之间接入一只电阻，可以确保电源模块插拔过程中，转换器控制回路不会出现任何瞬间开路。该电阻的最佳阻值为 $24 \Omega / V$ ，也就是说，该电阻的阻值决定于输出电压。例如，输出电压为 $5V$ 时，最好选用 120Ω 电阻。

总之，具有热插拔功能的电源模块应具有以下特点：

1. 拔出前电源模块应当关断；
2. 插入时，电源模块应处于暂时关断；
3. 电源模块应能限制浪涌电流。

这些要求可采用多种方法来实现。显然，最简单的方法是在带电插拔过程中，用一只机械开关将转换器模块关断。插入电源模块以前，该开关应处于关断位置，当接

插件的各接点牢固地接通后，该开关才转换到接通位置。与此相反，拔出转换器模块以前，该机械开关应转换到关断位置。通常完成使能、关断功能的PC脚，可由该开关控制。如果热插拔组件内包括保证模块可靠插入的锁定接头，该锁定接头可以机械地连接微型开关，以实现转换器模块开机和关机。

电源模块插拔过程中，还可采用另一种自动关断转换器的方法。采用这种方法，不需要人工动作，而采用机械开关时，必须手动控制。采用自动控制法，可以消除人工误动作的可能性，也就是说，可以防止机械开关处于导通状态时插入或拔出转换器模块。图 1 所示电路可完成自动关断模块的功能，但是要求采用接点交错排列的接插件。应特别指出利用该控制时，电源模块应采用独特的通断控制短引脚，以便保证插入模块最后接通电源模块，拔出时首先断开电源模块。

IAM48 模块含有一只串联 FET 开关，可以实现 $48V$ 母线到转换器输入的通断控制，通断控制脚内部有上拉电路，并且为了将 $48V$ 母线与转换器模块接通，通断控制器必须拉到低电平。该模块内两输出端之间还有一个并联开关。当通断控制脚对母线负极为高电平（断开）时，该并联开关处于导通状态。当 $48V$ 母线关断时，母线上的保持电容可通过并联开关迅速放电。除了通断控制功能外，IAM 模块还具有限制浪涌电流的功能，并且与 EMI 滤波器模块或 FiltMod 模块配合，还可完成瞬变过电压保护。通信设备中为了满足 EMC（电磁兼容）标

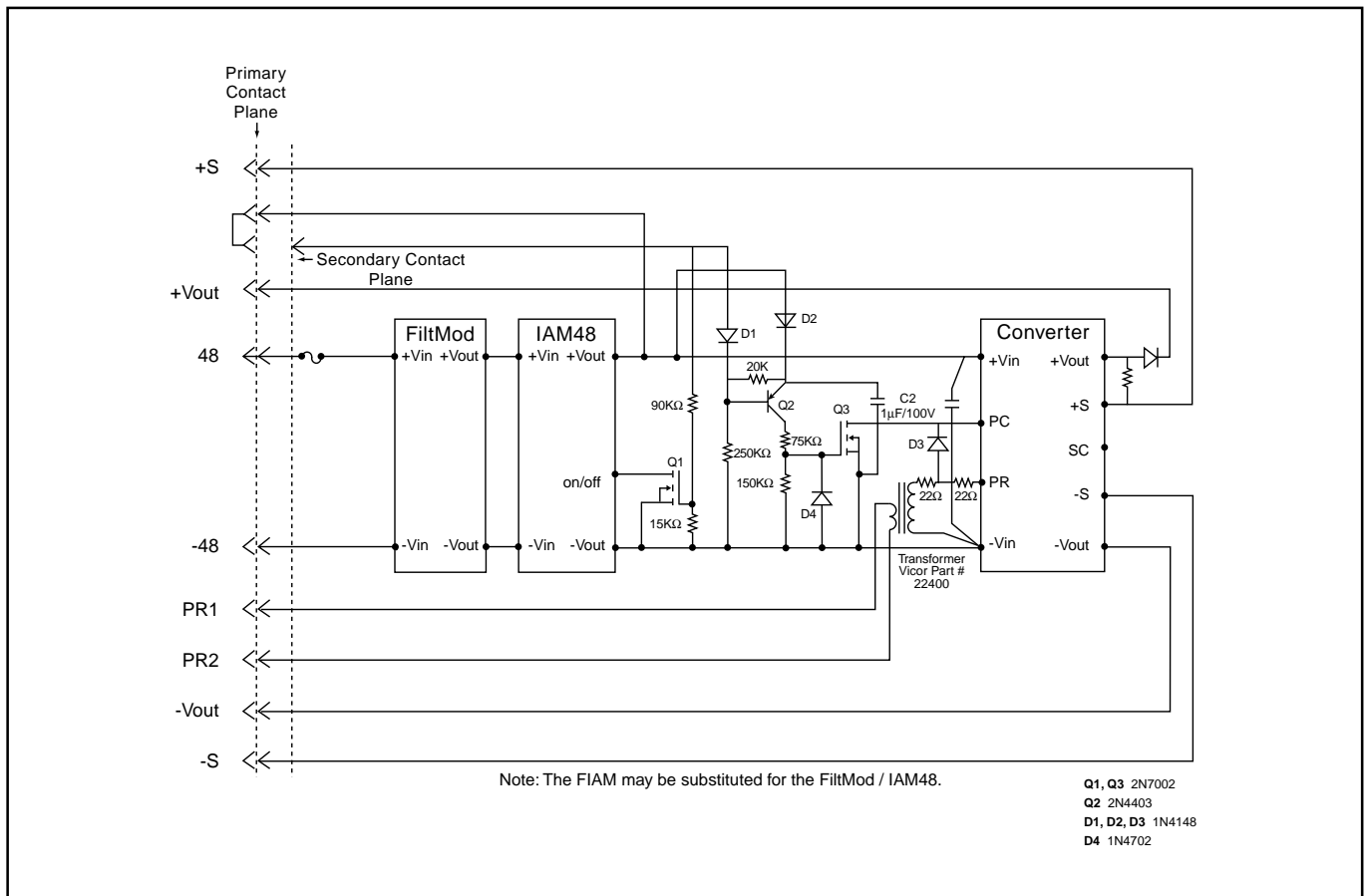


图 1 带电插拔自动保护

准，通常都采用 IAM 和 FitMod 模块。在通信设备中，都要求电源模块具有热插拔功能，因此应选用 IAM 模块或其他可限制浪涌电流的模块。

电源模块插入电源母线时的起动顺序如下：首先，除了短引脚外，接插件的所有引脚都按无规律的顺序接通(参看图2所示波形)，此外，转换器并不能起动。因为通断控制短引脚并未接通，该脚通过晶体管 Q1 使 IAM 模块维持关断状态。同时，晶体管 Q3 还把转换器模块的 PC 脚拉到低电平，因此转换器模块处于关断状态。当所有其他引脚都接好以后，短引脚才接通。IAM 模块的通断脚被拉到低电平，因此 IAM 模块导通，48V 电源母线上的电容器开始以可控的速率充电，母线电压开始沿斜坡上升，这样可把浪涌电流限制在安全值以内。IAM 模块导通后，转换器模块得到使能信号，但是当母线电压达到欠压封锁门限值(约 34V)以前，转换器模块不能起动。母线电压达到欠压封锁值以后，由于转换器模块具有软起动特性，所以至少还需经过 100ms 后，转换器模块才开始吸入电流，并且输出电压开始逐渐上升。最后，当转换器模块输出电压上升到使串联在输出端的二极管正向偏置时，该转换器模块才输出均衡的负载电流。

电源模块母线上拔出时的工作顺序与插入时的顺序大致相反。短引脚在 IAM 模块关断 48V 电源的其他引脚以前断开，同时，转换器模块关断。母线电容通过 IAM 模块输出端的并联开关迅速放电，放电时间小于 50ms。此时，电容 C2 继续提供保持晶体管 Q3 导通所需的电流。从而确保 PC 脚保持低电平，直到 48V 母线电压下降到欠压封锁值。这样，可以保证所有其他接点无规律断开过程中，转换器模块不产生功率变换脉冲。

上述热插拔技术已经成功地应用于许多产品中，并且，在插拔过程中，输入和输出母线电压波动很小，在插拔过程中，应当保证所有模块的引脚电压不超过最高额定电压。插入电源模块时，必须在其他引脚无规律接通以后，短引脚才能接通。拔出电源模块时，必须在其他引脚完全断开以后，短引脚才断开。

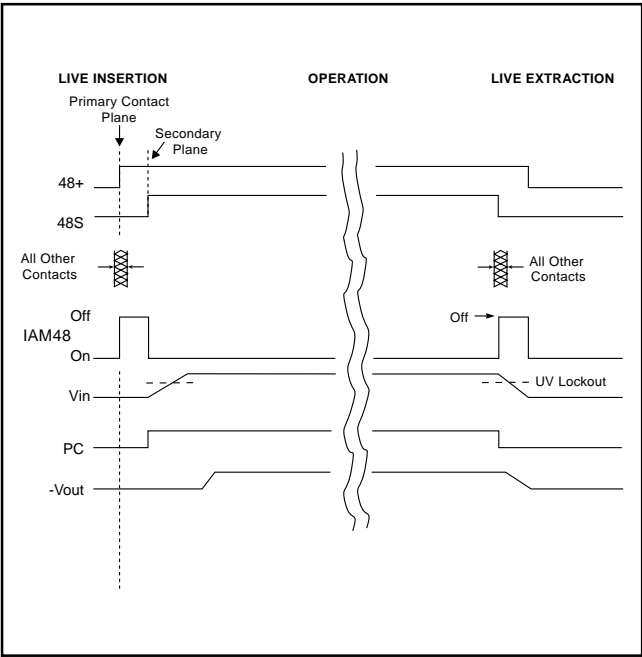


图 2 热插拔过程波形图