

采用PICOR的PI2003和PI2007的双路、高边和低边ORing(合路)应用

作者: Picor公司Bob Kent

引言

在设计冗余电源系统时, 将有故障的电源与在工作电源隔离开来的能力是维持负载电路不间断运行的关键。为了实现这一能力, 电源可通过快速二极管一起合路(图1), 这将通过简单地反向偏置二极管迅速将短路或禁用源与合路输出电源隔离开来。这个方法的效果非常好, 实现起来也相对便宜。使用二极管的缺点在于, 当用在较高电流时, 其固有的电压降会降低整体电源效率。

为了显著提高效率, 并仍然保持ORing(合路)二极管的隔离保护, 可以将一个MOSFET与控制器配合使用, 以取代ORing(合路)二极管(图2)。当电流从输入源流向输出冗余总线时, 控制器检测电流流动的方向, 并将MOSFET导通, 驱动它达到其最低通态电阻($R_{DS(on)}$)值。MOSFET耗散的功率是电流的平方值乘以MOSFET的 $R_{DS(on)}$ 电阻。由于这个电阻很低, 其功率损耗比二极管导通损耗少得多。当控制器检测到一个从操作输出电源流回到输入电源的反转电流时, 控制器快速响应关断MOSFET, 然后MOSFET的寄生体二极管会将合路输出冗余总线与有故障的输入电源隔离开来。

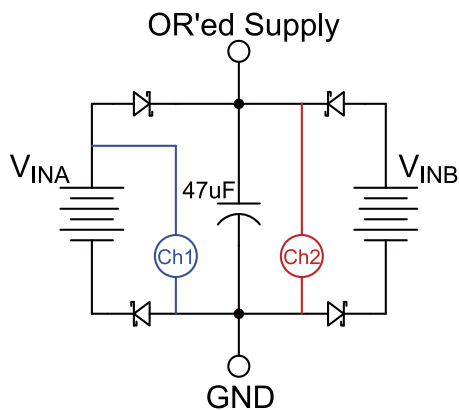


图1: 二极管合路电源。

图2中的有源合路ORing电路使用PI2003来控制低边MOSFET, 并使用PI2007来控制高边MOSFET。由于有源合路元件的设计不是为了加强电源之间的均流, 其中一个电源会占主导地位并提供电流给负载。PI2003具有低电流故障指示特性, 可用来启用或禁用与之相关的PI2007。如果有很少或没有电流通过PI2003, 它会发出一个故障状态信号, 将FT引脚拉为低电平。然后, 用来提供PI2007偏置电源返回路径的MOSFET被禁用, 这反过来禁用了PI2007。如果输入电源仍处于在线(in-circuit), 那么PI2003将保持上电, 并会继续监控电源。如果电源被移除或禁用, 则PI2003MOSFET驱动将放电, 而PI2003将禁用其MOSFET。最终的电路将只是高边和低边MOSFET的两个寄生体二极管。

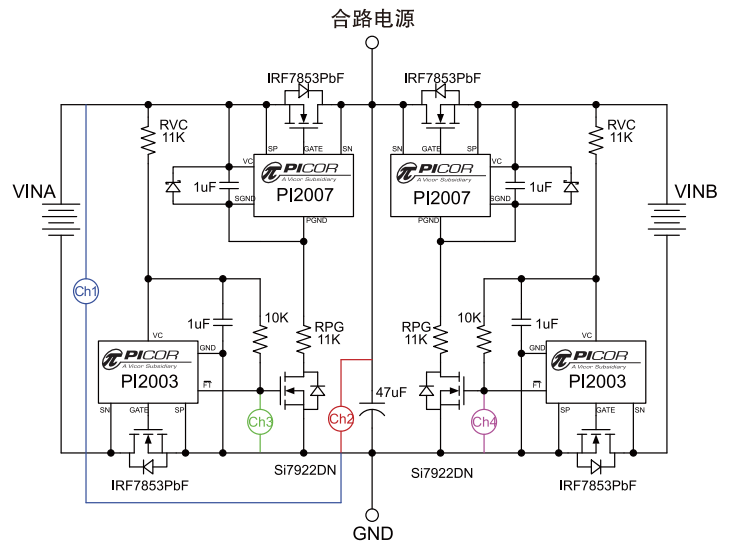


图2: PI2003/PI2007 FET合路电源。

PI2003/PI2007 Oring的性能

图3中的波形表示图1所示的二极管合路电路的性能。通道1（蓝色）是输入电源“ A ”轨上看到的电压；通道2（红色）是合路输出电压。这两个波形均以合路输出GND为基准，而且是有30V偏移的DC测量值。

在短路“ V_{INA} ”电源200 μ s之前，“ V_{INA} ”测得的电压大约是高于合路输出电压的一个二极管电压。“ V_{INB} ”的电压故意设置为700 mV，低于“ V_{INA} ”，因此“ V_{INA} ”是占主导地位的电源。

一旦发生短路时，“ V_{INA} ”上的电压从屏幕上消失，而合路输出电压将开始降低到“ V_{INB} ”减去二极管压降的值。与“ V_{INA} ”的原始值相比，这个差值大约为1.6V。合路输出电压降是两个输入电源设定电压的差值，约为700mV。

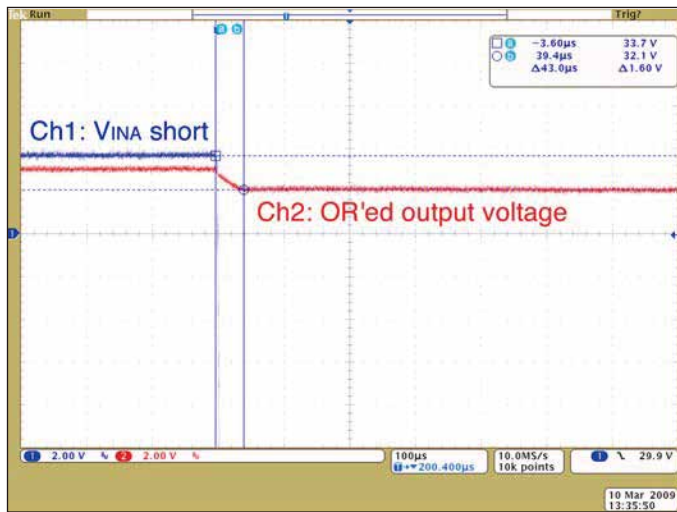


图3：二极管合路。

图4中的波形表示图2所示的有源合路ORing电路。在短路之前，由于MOSFET在其“导通”状态下的阻抗非常低，合路输出电压和“ V_{INA} ”的电压是相同的。一旦“ V_{INA} ”电源（蓝色）被短路，合路输出电压（红色）开始下降到“ V_{INB} ”减去合路FET的体二极管电压降的值。一旦合路输出电压衰减至不是由合路输出电容提供负载电流的水平（也就是说电流已经开始从 V_{INB} 提供给到合路输出），与“ V_{INB} ”电源相关联的PI2003（粉红色）的FT引脚开始导通。一旦FT引脚完全导通，即可启用PI2007高边合路控制器，由于高边MOSFET被“导通”，在2ms内可看到合路输出电压上升。这时合路输出电压等于“ V_{INB} ”电压，它仍设定为低于“ V_{INA} ”，约为700mV。由于PI2007第一个对短路做出反应并已将其关闭，在短路事件之后，与“ V_{INA} ”电源（绿色）相关联的PI2003的FT引脚立即关断，从而隔离了短路与合路输出电源。一旦其电源（VC）引脚达到欠压故障水平以下，由于没有电压源为PI2003供电，PI2003关闭其MOSFET。

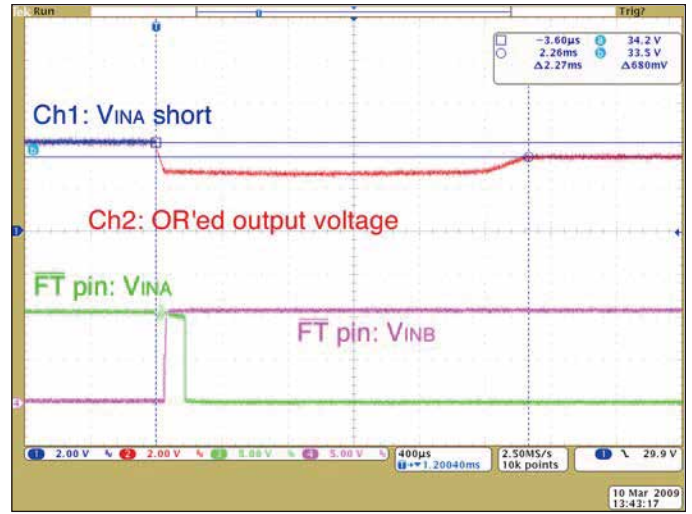


图4：使用MOSFET的有源合路。

设计/安全问题

在功率馈送没有短路，但却禁用或移除的情况下，FET合路电路的响应必须完全隔离输入端子与合路输出电源。如果图2中的电路设计没有启用高边PI2007控制器的MOSFET（图5），即使是在没有连接电源时，在输入端子上就会出现合路输出电压的条件出现。这种情况可能会造成潜在的安全隐患。

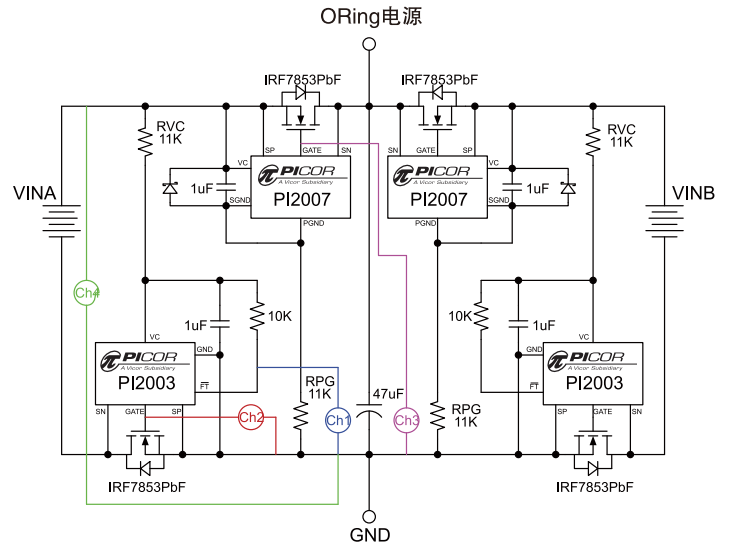


图5：通过合路输出启用PI2003和PI2007的有源合路电路。

利用图5中完全导通任一输入电源的高边和低边MOSFET，断开的电源形成与11kRPG电阻组成的高阻路径，并且在PI2007两端形成电压降。这条路径中的反向电流不足以触发一个控制会关闭各自MOSFET的“反向电流故障条件”。造成的结果是合路输出电压可在没有连接电源的前提下出现在电源输入节点，如图6所示。

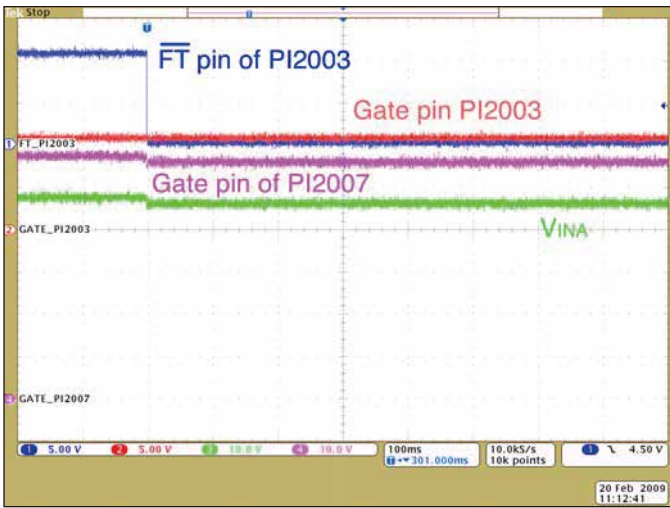


图6: 移除了 V_{INA} 电源, ORing MOSFET保持 $R_{DS(on)}$ 最低状态。

图7的电路说明了如何使用PI2003的FT信号来禁用PI2007; 方法是断开其地回路, 从而迫使高边合路MOSFET关断。随着高边MOSFET关闭, 合路输出电压隔离了正路径与正输入电压节点。不存在正输入电压, 也没有连接合路输出电压电源, 低边控制器的电源 (VC) 电压开始降低, 直到PI2003的欠电压故障水平和关闭MOSFET。随着高、低边MOSFET关闭, 输入与合路输出电源完全隔离了。

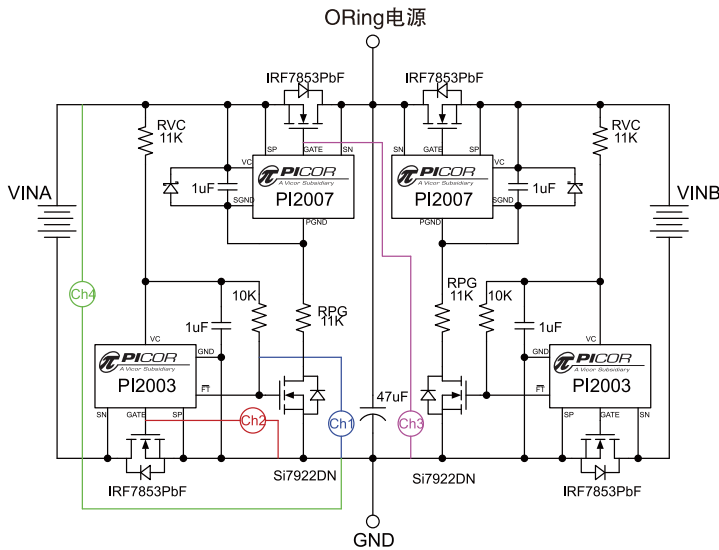


图7: 通过合路输出启用PI2003和PI2007的有源ORing电路。

图8中的波形显示了图7所示电路对一个被禁用但仍然在线的输入电源的响应。当输入电源被禁用时, 此时合路输出负载的电流是由备用输入电源提供的, 使得“已禁用”电源的PI2003在其FT引脚 (蓝色) 上发出一个低电流故障信号。

拉低FT引脚电平关闭MOSFET, 这提供了PI2007的电源地回路。随着其电源返回路径“开路”, 一旦达到欠压故障水平 (粉红色), PI2007的电源 (VC) 轨开始降低, 并将关闭其

MOSFET驱动器。高边MOSFET栅极驱动器被PI2007电荷泵升到大约高于 V_{IN} 为10V。可以看出栅极电压从高于 V_{IN} 的大约10V达到大约10V以下, 可以看到它是在PI2007的电源回路电压。随着PI2007的VC旁路电容两端的电压降低, 高边栅极和 V_{IN} 电压之间的电压差降低, 直到二者相等。随着 V_{IN} 不断降低, 在达到欠压故障水平并关闭其MOSFET (红色) 之前, 提供给PI2003的电源也在降低。

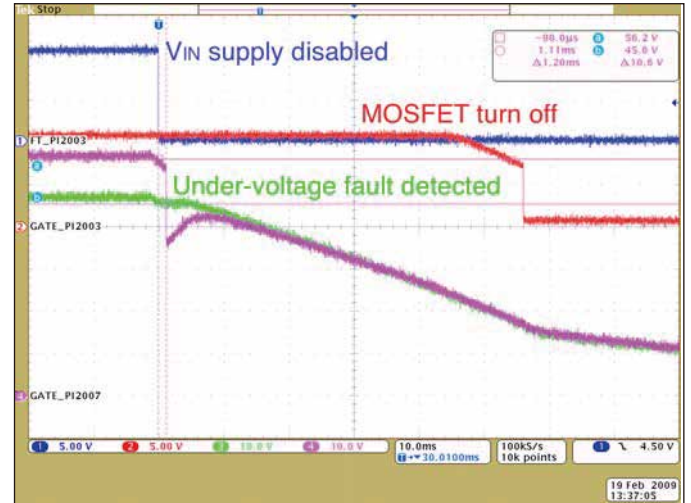


图8: V_{INA} 电源被禁用, 但仍保持在线。

在图9中, 电源完全从电路中移除, 与禁用电源的结果基本上相同。 V_{IN} 放电的时间长于移除电源, 因为相对于“开路”“禁用”电源的阻抗低得多, 输入的放电速度会更快。一些“泄放”电阻的增加可以将这个时间缩短到更接近于“已禁用”电源波形。

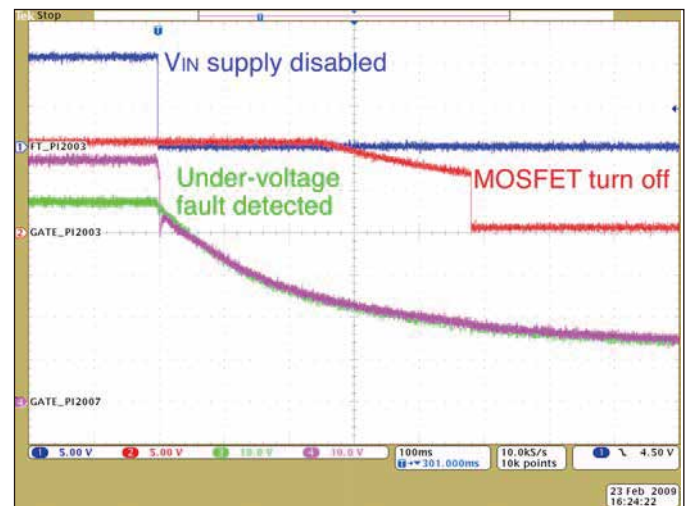


图9: V_{INA} 电源从电路中移除。

有源合路时序图

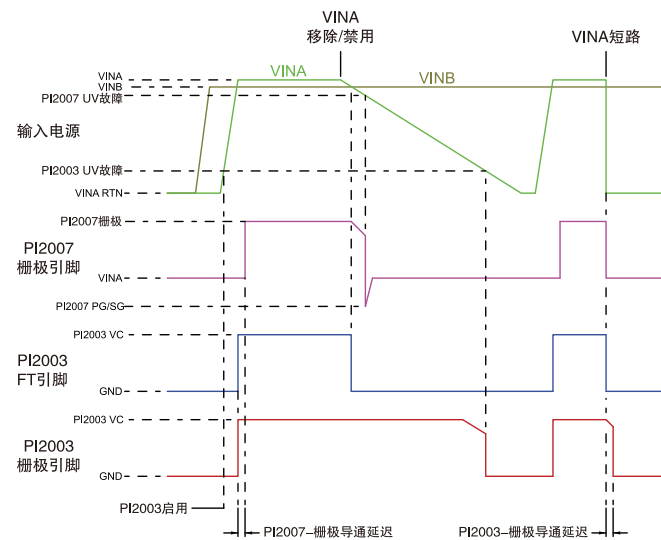


图10: PI2007和PI2003的典型时序波形。

在图10中，所示的 V_{INB} 电源首先达到其峰值，说明在 V_{INA} 电源开始上升之前，与 V_{INA} 电源相关的PI2003和PI2007并没有激活。一旦 V_{INA} 电源超过 V_{INB} 电源的值，将通过 V_{INA} 电源提供系统电流，而PI2003将拉高其FT引脚（蓝色）来启用PI2007的电源，同时将导通合路MOSFET（红色）。很快，PI2007将导通高边MOSFET（粉红色）的栅极，而两个合路MOSFET将处于其 $R_{DS(on)}$ 最小值。PI2007（粉红色）的栅极电压高于 V_{INA} ，约为10V，导通时间通常不到1ms。

当 V_{INA} 电源被禁用或从系统中移除时，PI2003可检测电流（轻负载电流故障）的损耗，并将通过置其FT引脚为有效“低”来禁用PI2007电源。在其旁路电容器（连接在PI2007的VC和PG/SG引脚之间）两端的电压衰减到会导致PI2007内欠压故障的地步之前，PI2007的栅极引脚将保持高边MOSFET导通并维持栅极电压高于 V_{INA} 电压。然后PI2007将关闭其栅极电压驱动器，电压下降到PG/SG值。随着旁路电容上电压的降低的衰减，栅极电压最终跟随 V_{INA} 的值下降。在PI2007关闭后，并随着 V_{INA} 电压的继续降低，由于其旁路电容器两端的电压降低，PI2003的栅极电压将开始下降。一旦电压低于PI2003的欠压故障水平，低边MOSFET的栅极被关闭，此时两个ORing MOSFET 被禁用，留下其寄生体二极管提供合路输出电压和输入引线之间的电气隔离。

V_{INA} 电源的重建，重新使能了PI2003和PI2007合路器件及其相关MOSFET。如果 V_{INA} 电源的输入两端发生短路，PI2007会首先响应，并禁用其MOSFET，隔离 V_{INA} 电源与合路输出电压。随着 V_{INA} 电源的消失，PI2003的电源最终也消失从而关断MOSFET。

防止从一个输入电源到另一个输入电源的漏电流是合路二极管的一个功能，也需要在使用合路 MOSFET 时能实现同样的

功能。PI2003禁用PI2007的高边合路MOSFET的能力使之成为可能。

一旦输入电压大于PI2003的UVLO，它将导通其MOSFET，从而短路输入电压返回到合路输出电压回路（voltage return）。利用两个输入电源（ V_{INA} 和 V_{INB} ），在这个电压等级或更高等级，两个PI2003都将导通其MOSFET。这将有效地将 V_{INA} 、 V_{INB} 的地回路和合路电源短接起来。无论哪个电源首先提供负载电流，都将启用其PI2007和相关高边MOSFET。不输出负载电流的电源将出现低电流故障，这将使其PI2007控制器和高边MOSFET关闭。

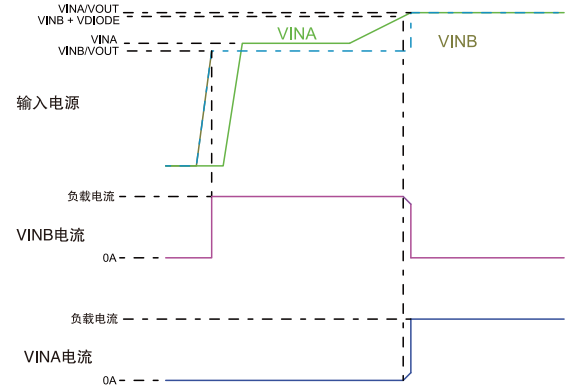


图11: 两个输入电源之间的负载电流转换。

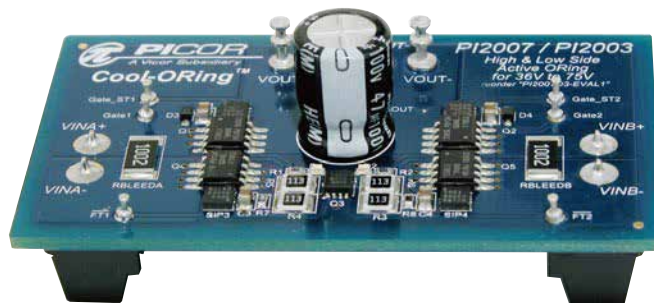
电源的上电顺序并不重要；它们可以一起开始或一前一后。它们的电压也并不重要；它们可以是相同的或有很大差别。如果电压是相同的，那么一个合路边将首先导通，另一个将由于不同电路寄生参数而保持关闭，即便由同一个电源供电时也是如此。如果电压不同，那么较高电压将成为主导，除非是在电压差小于禁用合路MOSFET的体二极管电压降时。例如，如果 V_{INA} 分别为48V并首先被施加到电路， V_{INB} 处于48.4V且施加之后不会主导并关闭 V_{INA} 的合路电路。 V_{INB} 的合路电路会保持禁用状态。为了 V_{INB} 成为主导，其电压必须提高到一定水平，它应大于 V_{INB} 的高边MOSFET的体二极管电压。一旦该电压被超过，则 V_{INB} 电源将开始通过MOSFET的体二极管为合路电源提供一部分负载电流。由于 V_{INB} 的电压增加，所以会有相当数量的电流供给负载。一旦达到它供给的电流足以清除低电流故障的地步， V_{INB} 的高边MOSFET将导通，而 V_{INB} 将提供总负载电流。由于此时 V_{INB} 的电压大于 V_{INA} 的电压，合路输出电压将跟随 V_{INB} ，而 V_{INA} 将进入一个低电流故障状态，高边MOSFET将被禁用。

图11中的波形描述了当起始主导电源 (V_{INB}) 被一个备用电源 (V_{INA}) 和被禁用的电压的超越时负载电流的转换。

V_{INB} 是首先上电的电源并且提供的负载电流，确定了合路输出电压 (V_{OUT}) 的值。很快，第二个电源 (V_{INA}) 上电，但它的电压不足够高，难以承担主导角色并为 V_{OUT} 提供负载电流。随着 V_{INA} 的电压增加，它最终达到了 V_{INA} 的高边FET的体二极管开始导通并提供一小部分负载电流。不断增加的 V_{INA} 电压和电流达到了清除 V_{INA} 的PI2003的低电流故障，并启用 V_{INA} 的PI2007，进而导通高边MOSFET的水平。随着 V_{INA} 的MOSFET导通，此时输出电压 (V_{OUT}) 跟随 V_{INA} ，它将所有电流提供给负载。由于低电流故障状态，处于较低的电压电势而不再是负载电流来源的 V_{INB} 被禁用。非支配合路电源的唯一电流是为PI2003供电的电流。

最后设计结论

通过使用PI2003控制器的内置“低电流故障”指示器可启用或禁用其配对的PI2007控制器，可以在任何故障情况下实现由合路二极管提供的相同系统保护；同时较低功耗的MOSFET方法将实现大幅的功耗节省。



Picor PI2007D3-EVAL1, 双路通道高边/低边评估板

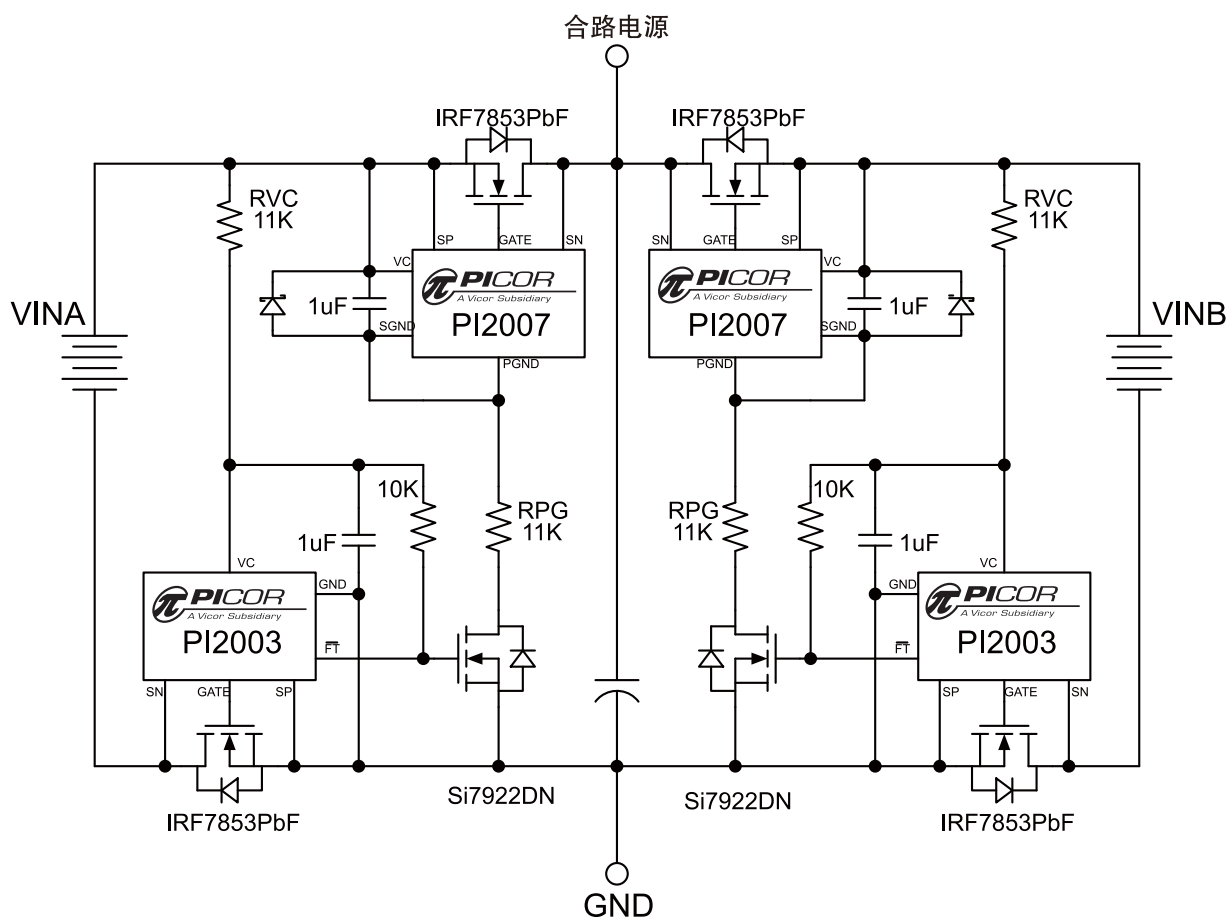


图12: PI2003偏置到 V_{IN} , 用来启用/禁用PI2007。