

## 简介

本课程讲义用于 [PI大学](#) 视频课程 — “修复输出无法达到稳压的反激式电源”。在本课中，您将学习如何对总是进入自动重新启动模式而无法达到稳压的 Power Integrations 设计进行诊断。

在开始本课程之前，您应该制作一个反激式电源，并通过加电测试确定，输出无法达到稳压和/或处于自动回复模式（即自动重新启动保护模式）。在启动或施加输出负载时，可能会立即出现这种情况。

自动重启动是 Power Integrations IC 特有的一项功能，用于对故障电路提供保护或在超出电路最大负载时提供保护。

## 所需设备

要完成本课程中的测试，您需要准备好以下设备：

- 一个可编程交流电源供应器或一个自耦变压器
- 几个数字万用表
- 一个电子负载
- 一个带有高压探针的示波器和一个电流探针

### Equipment Needed to Complete this Course:

- Programmable AC Source
- DMM
- Electronic Load
- Oscilloscope
- Current Probe

所需设备

## 常见问题

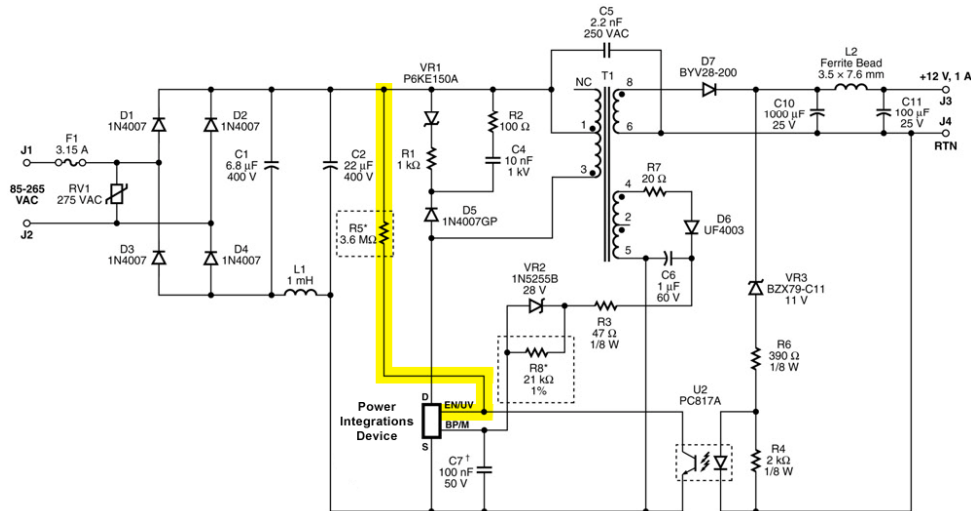
电源无法启动或进入自动重新启动模式的常见原因有：

1. 欠压引脚四周的布局不佳
2. 交流电源供应器规格不足
3. 负载特性
4. 输出二极管反向
5. 箝位电路故障或设计不当
6. 反馈电路开环
7. 使用的反馈元件值不正确
8. 输出和/或偏置绕组二极管的反向恢复时间较长
9. 漏极节点上的电容过大
10. 变压器偏置绕组断开连接（针对基于 [TOPSwitch](#) 系列器件的设计）
11. 变压器绕组极性被接反

我们会依次检验以上每个可能的原因。

### 1. 欠压引脚四周的布局不佳

一些 Power Integrations 器件具有欠压锁存(UVLO)功能，可防止启动时输出不良波动的发生。该功能是通过检测直流总线电压，并在输入达到用户自定义的电压值之前抑制启动来实现的。如果欠压引脚上有噪声，或欠压电阻值过大，Power Integrations 器件就可能无法正确启动。

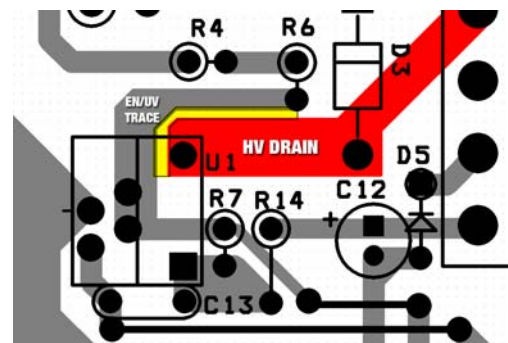


欠压锁存电阻

首先，确保安装在电路板上的欠压电阻的值与 [PI Expert](#) 中的指定值一致。如果不一致，或者如果您的设计中未采用欠压电阻，那么请在电路板背面的旁路引脚与欠压引脚之间连接一个 100 kΩ 电阻，检验流入欠压引脚的漏极电流是否是问题的原因所在。然后重新测试。如果问题得到解决，然后需确认电路板没有助焊剂残留物，并且欠压走线附近无高压走线。

例如，在右图所示的布局中，EN/UV 走线与高压漏极走线距离非常近。这样在漏极走线和 EN/UV 引脚之间就会产生噪声耦合和漏极电流。要解决这个问题，您需要重新布设电路板，或者在设计中使用一个 100 kΩ 电阻。

有关布板设计指南的信息，请参见适用的 Power Integrations 器件数据手册。



EN/UV 走线与高压漏极走线距离非常近

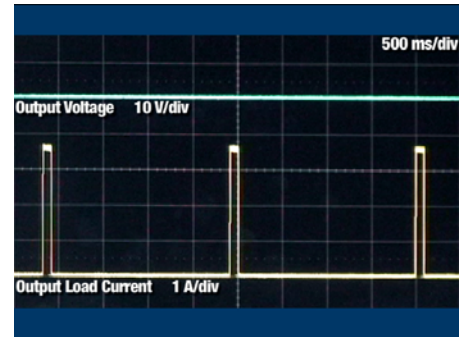
## 2. 交流电源供应器规格不足

确认交流电源供应器的额定值能够应付您电源的预期输入功率。如果额定值不足，交流电源供应器将会限制提供给转换器的功率，这样难以进行正确的启动和稳压。一般来说，交流电源供应器的电压-安培额定值应是电源最大输出功率的两倍以上。交流电源供应器规格不足通常是高功率设计的一个问题。

### 3. 负载特性

接下来，需检验电源的负载。设计出的任何电源都应至少提供负载所需的最大输出功率。如果在启动后，电源的输出电压在指定的自动重新启动导通时间内不能达到稳压，

**Power Integrations** 器件将进入自动重新启动保护模式。自动重新启动功能的设计目的是，通过限制电源在故障情况下提供的平均功率，以防止元件受损。有关特定的自动重新启动导通时间，请参见相关的 **Power Integrations** 器件数据手册。



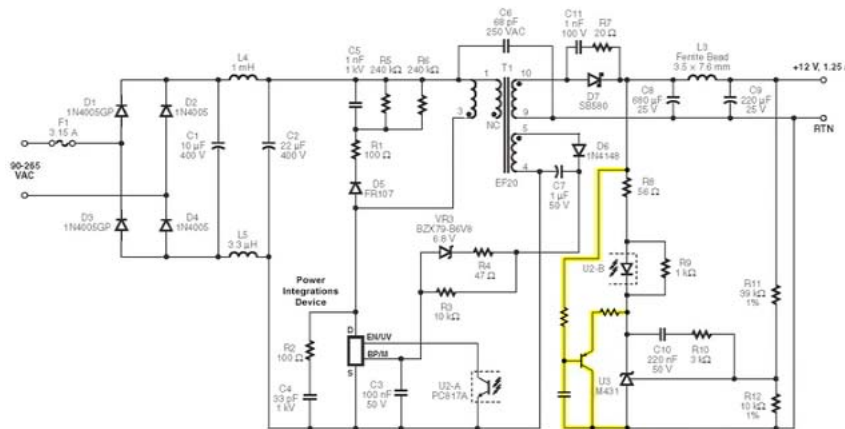
自动重新启动表现出的输出电压和电流

非线性负载在启动后可能会出现自动重新启动情况。比如，马达在达到全速之前将会吸取大量的电流；白炽灯在启动时的等效电阻为零，在灯丝发热过程中等效电阻将逐渐增大。在这两种情况下，输出电压可能无法在自动重新启动导通时间内达到稳压。

例如，当 10 W 卤素灯连接到一个 12 V、1 A 电源（如参考设计 [RD-91](#)）时，该电源将不会启动，而卤素灯将在电源处于自动重新启动模式期间不停闪烁。

要检验 10 W 卤素灯负载是否是问题的原因所在，先用一个电子负载替代它，将电子负载吸取的电流设置为电源设计所指定的最大电流值。在此电子负载情况下，电源若能正常启动，那么问题就在于，实际负载吸收的功率高于设计的电源输出功率。再次检验负载特征，确认您的电源规格是否正确。

如果负载在启动后呈非线性变化，添加一个软结束电路（如下图所示）可为输出达到稳压提供充足的时间。



软结束电路有助于电源在非线性负载下启动

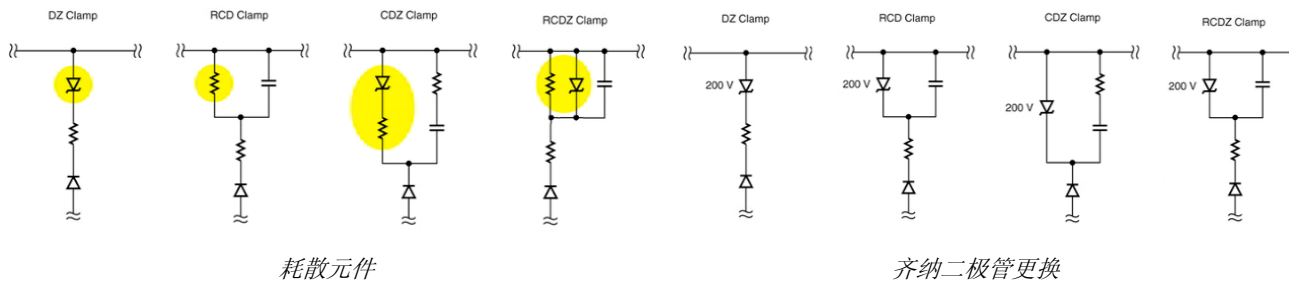
#### 4. 输出二极管反向

如果电源在电子负载下仍无法启动，接下来应检查输出二极管是否被插反。如果确实插反，请更换一个新的二极管，然后重新测试电路板。

#### 5. 箝位电路故障或设计不当

如果输出二极管不是问题的原因所在，接下来检查箝位电路中的二极管的方向是否正确。如果二极管插接错误，请更换新的元件并正确安装。

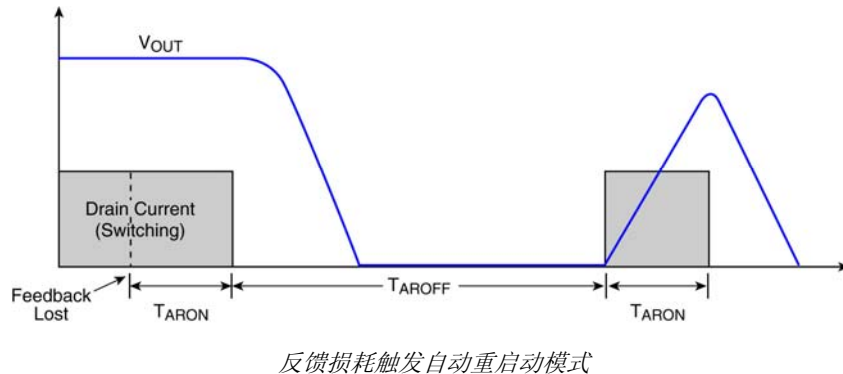
要检验自动回复状况是否由箝位电路的不当设计所造成，可以用 200 V 齐纳二极管替换箝位中的耗能部分，如下图突出显示。



现在重新测试电路板。如果输出自动回复问题得到解决，那么问题就出在箝位上。

#### 6. 反馈电路开环

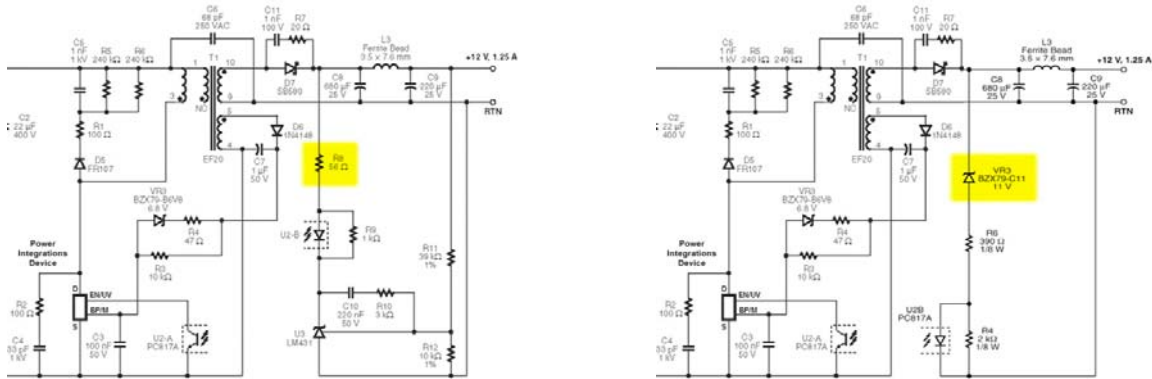
接下来要检查的是电路板的反馈电路部分。不管什么原因，只要 Power Integrations 器件在自动重新启动导通时间内未收到反馈，器件将会进入自动重新启动保护模式。在反馈环路开环的情况下经常会出现这种问题。



首先，检查电路板背面，看是否有碎屑，碎屑可能会使反馈元件如光耦器 LED 发生短路。此外，用一点额外的焊锡对各连接进行补焊，确保反馈电路上无冷焊锡点。冷焊锡点通常表现为正常连接，但充其量也只能提供间歇性连接。

### 7. 使用的反馈元件值不正确

如果您在设计中采用了次级侧反馈电路，则需要确认所安装的反馈元件符合 [PI Expert](#) 的规定。如果反馈到 Power Integrations 器件的电流过少，将导致器件进入自动重启模式。当光耦串联电阻值过高，或齐纳稳压管反馈电路中稳压管电压过高时，均会出现此问题。



反馈电阻值过高

反馈齐纳稳压管电压过高

最后，如果一个使用 LM-431 参考 IC，已断开的上侧检测电阻也可导致器件进入自动重启模式。

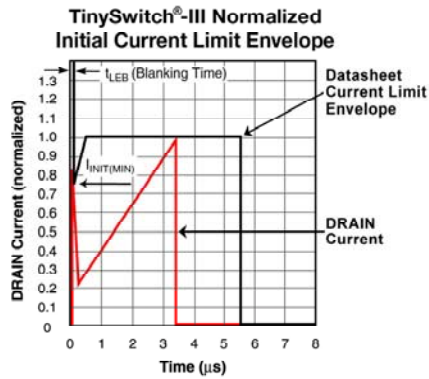
如果您在设计中采用的是初级侧反馈电路而不是次级侧反馈电路，则需要确认分压器中的电阻值与 [PI Expert](#) 中指定的值相符。

### 8. 输出和/或偏置绕组二极管的反向恢复时间较长

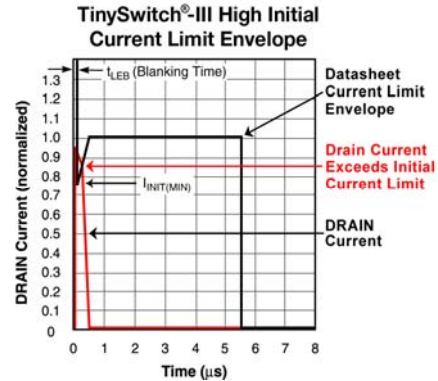
接下来，确认所有的输出二极管的类型都是超快速型或肖特基型。

Power Integrations 器件可执行前沿消隐功能，在 MOSFET 导通后立即将流限禁止一段时间。这样可防止初始电流尖峰触发流限，使其提前结束开关周期。不过，如果导通尖峰大于正常值，还是会触发器件的初始流限，并使传输到输出的功率受到限制。

在输出绕组上使用慢速恢复二极管，可以增加反向恢复电流。该反向进入次级绕组的电流，将通过匝数比传回到初级侧，这会增加 MOSFET 上的初级导通尖峰。导通尖峰足以触发初始流限，从而降低输出功率，阻止电源达到稳压。



前沿消隐



大导通尖峰触发初始流限

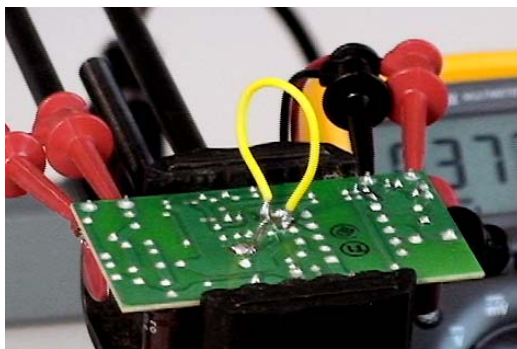
目测所有的输出二极管，确保并没有采用快速或标准恢复二极管。如果使用了错误的二极管类型，请将其更换为超快速恢复或肖特基二极管，然后重新测试。

具有较长反向恢复时间的偏置绕组二极管，也会造成类似问题，不过，如果在电路中使用串联电阻，出现这个问题的几率并不大。如果在设计中使用的是慢速恢复二极管，可以尝试换用一个 1N4937 整流器。如果这样可以解决问题，请根据 [PI Expert](#) 检验您所使用的偏置绕组二极管是否符合给定的规格值。如果不符合，请用 [PI Expert](#) 推荐的二极管替换所用的偏置绕组二极管。

### 9. 漏极节点上的电容过大

漏极节点上存在过多电容也可导致大的导通电流尖峰。该电容可能来自变压器绕组电容，也可能来自器件 MOSFET 或变压器初级绕组上的大容量 RC 缓冲器。要确认问题是否出在电容上，您需要监测漏极开关电压和电流。

首先，完全关断交流输入，让输入电容放电。断开电路板上的 MOSFET 漏极走线，插入一个线电流环路来监测漏极电流。确保此断开点介于 Power Integrations 器件漏极引脚与您设计中的任何箝位元件之间。从走线上的其他各点进行测量，不能正确诊断出与设计有关的所有问题。



添加到电路板的电流环路



电压探针和电流探针的连接方式

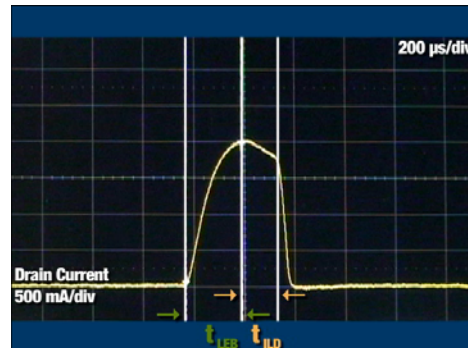
在漏极节点与源极引脚之间连接一个高压示波器探针，测量 MOSFET 上的开关电压。同时，还要在刚才所形成的电流环上连接一个电流探针。现在重新连接交流输入，并将输入电压设置为设

计的最大电压。将示波器配置为可同时查看 MOSFET 电压和电流，然后将示波器设置为普通触发模式。在 MOSFET 电压上升沿触发，可确保读数稳定。

请参阅相关 Power Integrations 器件的数据手册，以确定您设计中的前沿消隐时间，以及前沿消隐时间结束时的初始流限。然后，测量前沿消隐时间结束后 MOSFET 上的电流大小。将测量值与数据手册中的初始流限值进行对比。如果测量值大于数据手册中的初始流限值，那么您将会看到一段极其短暂的电流脉冲，该脉冲在前沿消隐时间结束时终止。这样会导致功率输出问题。



漏极电压及电流



电流脉冲在前沿消隐时间结束时终止

将所有的初级侧缓冲器从电路中断开，重新测量前沿消隐结束后的初始电流。如果断开初级侧缓冲器能解决问题，并且初始电流尖峰可降到可接受的水平，您需要减小初级缓冲器电路的电容。如果问题仍然存在，则需要确认变压器绕组电容是否过大。

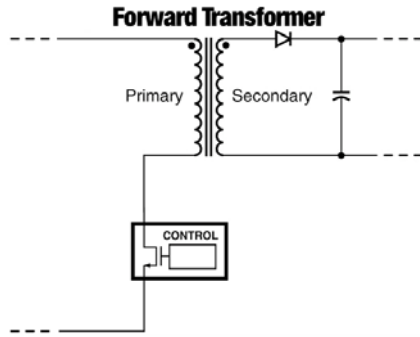
#### 10. 变压器偏置绕组断开连接（针对基于 [TOPSwitch](#) 系列器件的设计）

如果使用的是 TOPSwitch 器件，需要确认变压器偏置绕组的返回节点，即零电位是否与初级侧返回节点相连。这是输入电容的负极端。如果变压器偏置绕组处于浮动状态，光耦器将无供电电压，也就无法向 Power Integrations 器件提供反馈信号，从而导致器件进入自动重新启动模式。

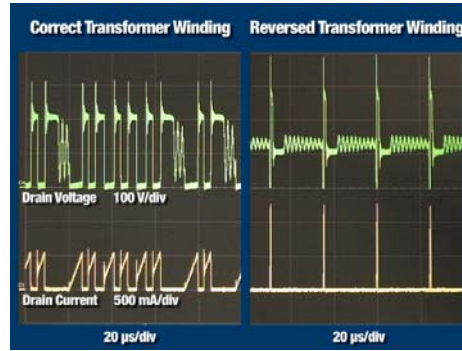
#### 11. 变压器绕组极性被接反

如果您的电路板仍未达到稳压，最后需要检查变压器绕组的极性。如果有一个绕组被接反，该绕组将表现为正向绕组。变压器绕组一旦被接反，将会阻止电源作为反激式转换器进行工作，从而限制传输到输出端的功率。

下图所示为 [RD-91](#) 电路板漏极引脚的电压波形和电流波形。左侧是反激式电源正确工作时的波形，右侧是相同电源在次级绕组被接反情况下的波形。将两个波形的时基都设置为每格 20 μs 后可以看到，反向绕组的电流脉冲比正常变压器的短很多。



变压器初级绕组被接反

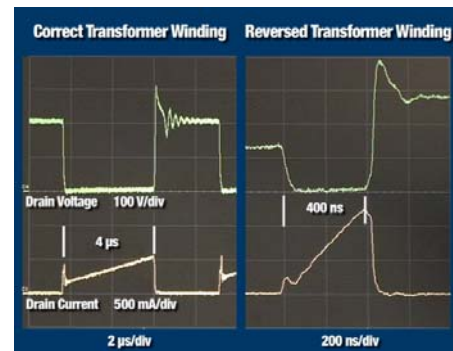


RD-91 漏极电流波形和电压波形—  
使用反向绕组和不使用反向绕组的情况

在右图中，时基已被扩展，用来测量持续时间。正常脉冲的 MOSFET 导通时间大约为 4 微秒，而反向绕组的变压器脉冲仅为 400 纳秒。如果您在设计中发现类似导通时间缩短的问题，那么有可能是因为变压器绕组一端被插反了。

### 有关详情

如果您对本课所提供的信息有任何疑问或看法，请发送电子邮件至：[PIUniversity@powerint.com](mailto:PIUniversity@powerint.com)。



缩短的漏极电流脉冲 -  
反向变压器绕组