

简介

本课程讲义用于 [PI大学](#) 视频课程 — “修复无法提供满功率的反激式电源”。本课程将指导您如何诊断和修复您的电源设计，使其可在空载或轻载下达到稳压，而在施加较高负载时却会进入自动重新启动模式。自动重新启动是 Power Integrations 的 IC 中内置的特色功能，用于在过载或故障条件下对电路提供保护。

在开始本课程之前，您应该已经通过加电测试确定，电源输出在施加负载时无法提供满功率。电源不应在启动后进入自动重新启动模式，应能够在空载和极轻负载下对输出电压进行调节。

所需设备

在本课程中，您将用到以下设备：

1. 一个可编程交流电源供应器或一个自耦变压器
2. 七个数字万用表（每个输出使用两个，用来测量输出电压和电流）
3. 一个电子负载
4. 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 + High Voltage Probe
- Current Probe

所需设备

常见问题

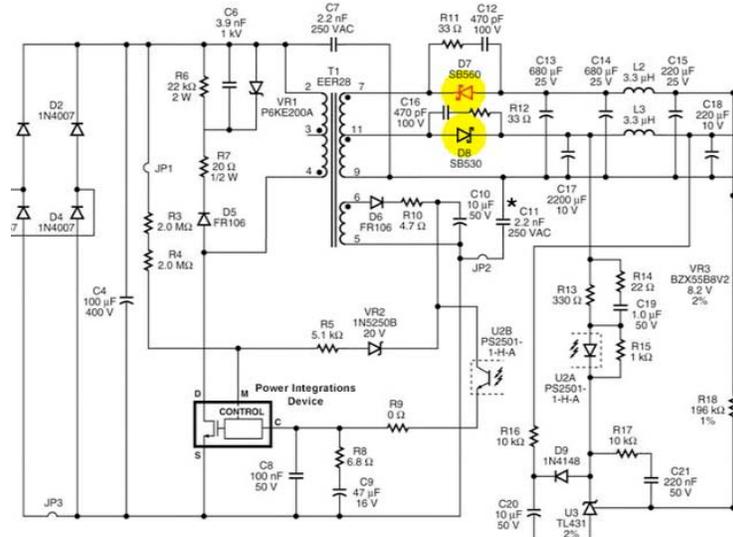
电源不能提供满功率并因此进入自动重新启动模式的常见原因有：

1. 在多路输出设计中，一个或多个输出二极管被插反
2. 变压器初级电感不符合规格
3. 电路板上安装的 Power Integrations 器件较小
4. Power Integrations 器件流限设定不正确
5. Power Integrations 器件开关频率设置不正确
6. 大容量输入电容的值过低
7. 箝位、偏置或输出二极管受损
8. 输出二极管或偏置绕组二极管的反向恢复时间过长
9. 漏极节点电容过高

我们会依次检验以上每个可能的原因。

1. 在多路输出设计中，一个或多个输出二极管被插反

如果您的设计提供多路输出，首先应检查所有输出二极管是否均按正确方向插入。如果方向有误，应在重新测试设计前，用新元件将它们从电路板上换下。



检查输出二极管的方向是否正确。

2. 变压器初级电感不符合规格

检验变压器初级电感值是否与 *PI Expert*TM 设计结果中指定的值一致。反激式电源中传输的功率与电感、峰值电流的平方以及频率成正比。

$$\text{功率传输} = \frac{1}{2} \times L \times I^2 \times f$$

L = 初级电感

I = 等效峰值初级电流

f = 开关频率

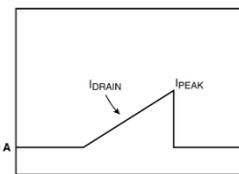
对于非连续导通模式设计，I 等于峰值初级电流。对于连续导通模式设计，等效峰值初级电流等于 MOSFET 导通期间初始电流的平方与峰值电流平方之间的差值。

在这两种情况下，如果初级电感远低于最小指定值，都将会限制传输至输出的功率大小。

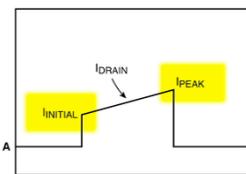
如果初级电感过高，变压器可能饱和，或者，导通电流基值在前沿消隐时间结束后可能会超过初始流限。

$$\text{Power} = \frac{1}{2} \times L \times I^2 \times f$$

Discontinuous Conduction Mode Continuous Conduction Mode

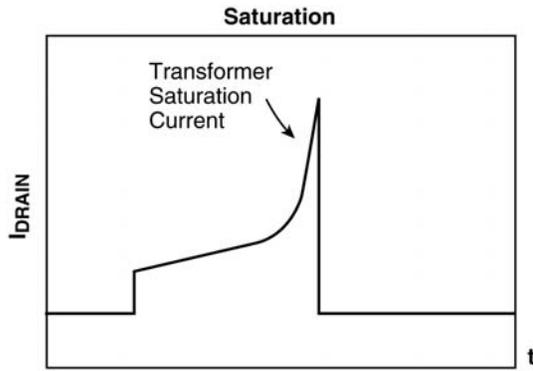


$$P = \frac{1}{2} \times L \times I_{\text{PEAK}}^2 \times f$$

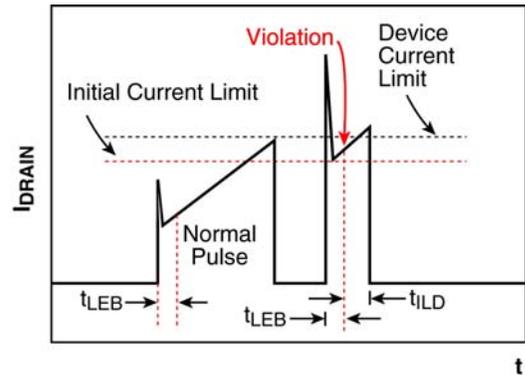


$$P = \frac{1}{2} \times L \times [I_{\text{PEAK}}^2 - I_{\text{INITIAL}}^2] \times f$$

非连续导通模式与连续导通模式的峰值电流的界定



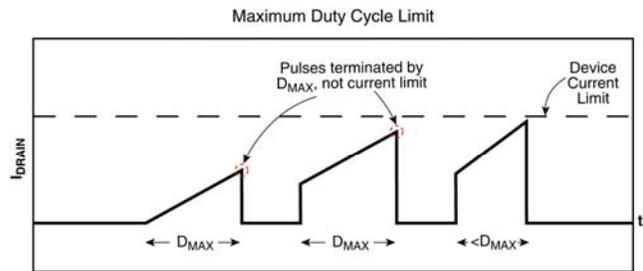
因变压器饱和造成的电流尖峰



超出的初始流限

最后，视您所用的器件系列而定，最大占空比限值可能在初级电流尚未达到所需的水平之前就结束周期。

在任何情况下，不正确的变压器初级电感都会阻止向输出提供满功率，从而导致输出电压失调。最终会导致 PI 器件进入自动重新启动模式。



Peak drain current fails to reach current limit every cycle
在电流达到所需水平之前周期被提前终止

此外，还应检查变压器绕组的极性。如果其中一端被插反，绕组将表现为正向绕组。绕组反向将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。

3. 电路板上安装的 Power Integrations 器件较小

确保在您的电路板上使用了正确的 Power Integrations 器件。

Power Integrations 器件系列中，采用相同封装的所有器件，在引脚布局和功能操作上均相同。器件的不同之处仅在于所使用的 MOSFET 的大小、其各自的流限以及功率能力。因此，如果无意使用了同系列中较小的器件，电源将仍能工作，只是无法提供满输出功率。如果发现电路板中有器件装配错误的情况，请更换正确的器件，然后重新测试设计。

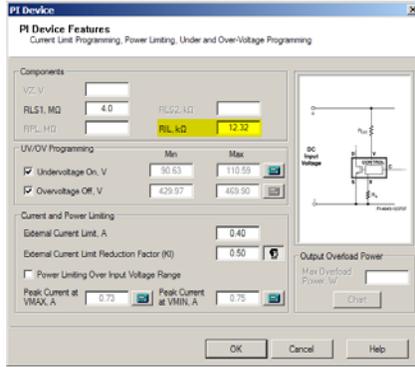
PRODUCT ⁵	Output Power (Watts)					
	230 VAC ±15%			85-265 VAC		
	Adpt. ¹	OF ²	Peak ³	Adpt.	OF	Peak
TOP252PN						
TOP252GN	9	15	21	6	10	13
TOP252MN						
TOP253PN			38			25
TOP253GN	15	25	38	9	15	29
TOP253MN			43			
TOP254PN			47			30
TOP254GN	16	28	47	11	20	40
TOP254MN			62			
TOP255PN			54			35
TOP255GN	19	30	54	13	22	52
TOP255MN			81			

TOPSwitch^(R) 产品系列的版本号

4. Power Integrations 器件流限设定不正确

许多 Power Integrations 器件系列都允许用户自行设定流限值。例如，用户可在 [TOPSwitch-HX](#) 设计中采用不同的 x 引脚电阻，将器件的流限调低。

其它 PI 系列器件可能使用电容来设定流限。只要检验设定的电容或电阻值与 [PI Expert](#) 的指定值是否一致，便可确定设计中的流限设定是否正确。



PI Expert 指定的电阻值

Var	Value	Units	Description
Device	TNY277PN + 1		PI Device Name
PO	12.00	W	Total Output Power
VDRAIN Estimated	612.24	V	Actual Estimated Drain Voltage
VDS	9.28	V	On state Drain to Source Voltage
I2F_MIN	35.94	A/Hz	Minimum I2F
I2F_MAX	46.32	A/Hz	Maximum I2F
FS_AT_ILIMMIN	137088	Hz	Switching Frequency at Current Limit Minimum
KP	0.72		Continuous/Discontinuous Operating Ratio
KP_TRANSIENT	0.50		Transient Ripple to Peak Current Ratio
CBP	10.00	µF	BYPASS pin capacitor
ILIMITMIN	0.51	A	Current Limit Minimum
ILIMITMAX	0.61	A	Current Limit Maximum
IRMS	0.27	A	Primary RMS Current (at VMIN)
P_NO_LOAD	150	mW	Estimated No Load Input Power
DIMAX	0.59		Maximum Duty Cycle
RLS	3.9	MΩ	Line sense resistor

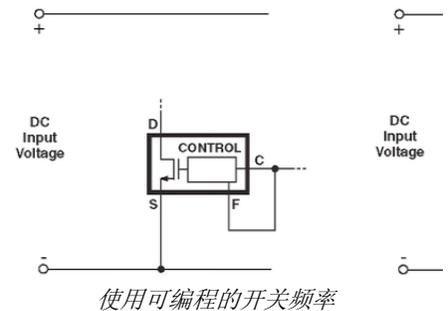
PI Expert 定义的电容值

5. Power Integrations 器件开关频率设置不正确

对于允许对开关频率进行外部设定的 Power Integrations 器件来说，要确保设计中设定正确的频率。所设定的频率应与 [PI Expert](#) 变压器设计结果中使用的频率一致。

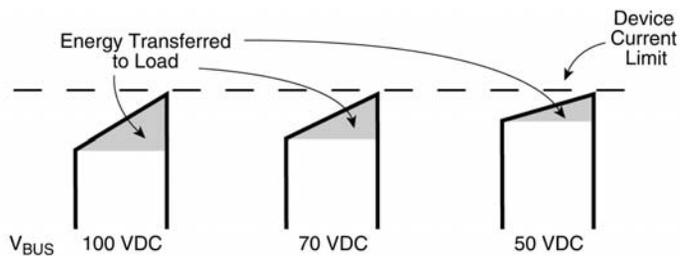
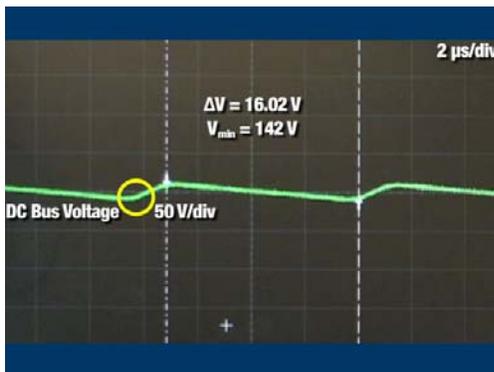
如果开关频率低于 [PI Expert](#) 的指定值，它将会限制传输至输出的功率大小。如果高于指定值，初级电流波形的变化可以触发初始流限。

Half Frequency Operation (66 kHz) Full Frequency



6. 大容量输入电容的值过低

在直流总线与大容量电容负极端之间连接一个高压探针，可检测大容量电容上的电压纹波。确认在纹波波谷测得的最小电压等于或大于 [PI Expert](#) 指定的最小直流电压。如果该电压过低，它将限制电源的功率传输能力，因为随着直流总线电压降低，所需的峰值初级电流将会增大。当所需的电流超过器件流限时，电源的输出电压将失调，随后进入自动重启模式。



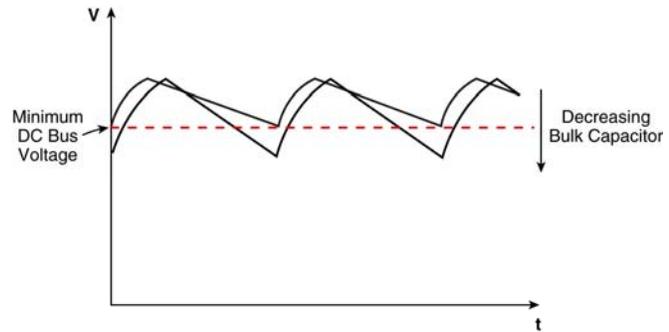
低值大容量电容可降低最小直流电压，从而限制传输到负载的电能

如果发现直流总线上的最小电压过低，应首先检查交流整流桥上的所有二极管，确保它们都已正确焊接到电路板上。如果有一个二极管未焊入，或者出现开路故障，都会将桥式整流转化为半波整流。换下任何受损或错误安装的二极管，然后重新测试设计。

接下来，确认电路板中使用的输入电容值是否与 *PI Expert* 设计中的指定值一致。如果该值太小，电容储蓄的能量将会不足，直流总线上的纹波将会增加。

7. 箝位、偏置或输出二极管受损

如果输出、偏置或箝位二极管中的任意一个开始失效，都可能在施加负载后导致电源间歇地进入自动重启模式。逐个更换这些元件，然后重新测试设计。如果更换其中一个二极管即可解决问题，请在电源满载时，测量该二极管在最低交流输入电压下的温度。如果二极管温度过高，请先解决此问题，然后再继续后面的测试。



大容量电容尺寸过小会导致纹波增大和直流总线最低电压减小

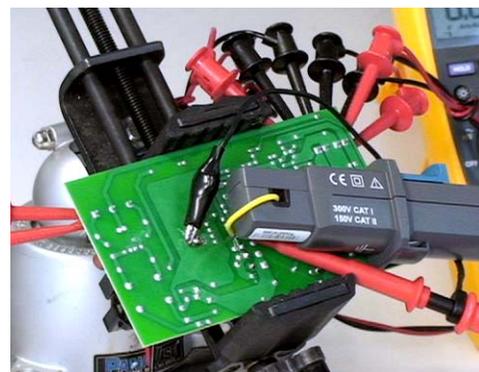
8. 输出二极管或偏置绕组二极管的反向恢复时间过长

在接下来的测试中，您需要监测漏极开关电压和电流。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。有关此程序的详细信息，请参见 PI 大学课程 — “漏极电压及电流的测量技巧”。

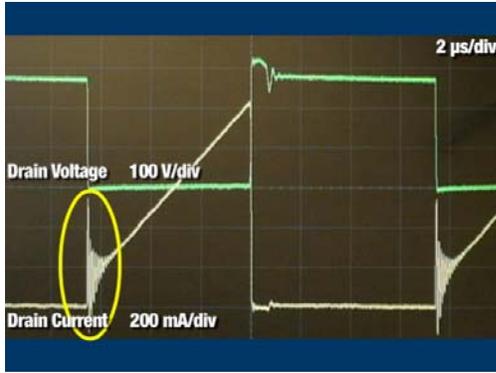
要测量 MOSFET 上的开关电压，需在漏极节点与源极引脚之间连接一个高压示波器探头。要测量漏极电流，需在刚才所形成的电流环上连接一个电流探头。

将交流电压设置到发生功率输出问题时的输入电压，如果不知道该输入电压值，可设置到您的设计所指定的最低交流输入电压。将输出负载设置为零，然后接通您的电源。

将示波器配置为可查看 MOSFET 电压与电流，然后将示波器设置为在 MOSFET 电压上升沿触发，确保读数稳定。现在，缓慢加大输出负载，直至达到电源不会进入自动重启模式时的最高负载点。



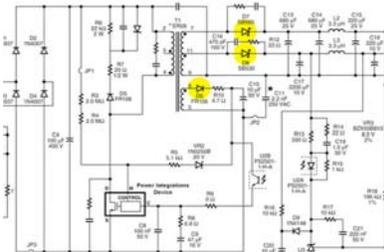
电流探针和电压探针的连接位置



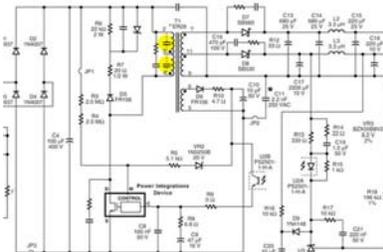
初始电流导通尖峰

如果负载超过此负载点而电源进入自动重启模式，需减少负载，直到恢复正常工作，然后重试。在这些情况下，测量 MOSFET 导通时出现的初始电流导通尖峰。

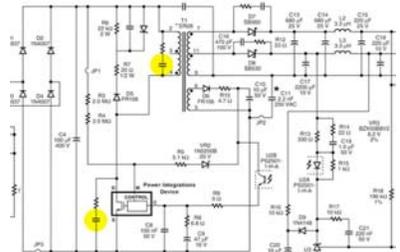
该尖峰通常在开关电源中出现。输出二极管或偏置绕组二极管反向恢复时间、漏极节点电容，以及 MOSFET 或变压器绕组上的缓冲器都可能会导致尖峰。



输出及偏置绕组二极管



漏极节点电容



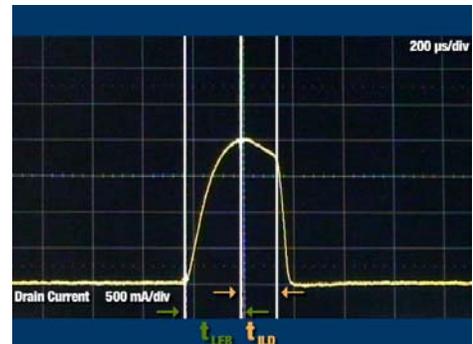
MOSFET 和变压器绕组之间的缓冲器

Power Integrations 器件集成了前沿消隐功能，可在 MOSFET 导通后立即将流限禁止一段时间。前沿消隐功能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。

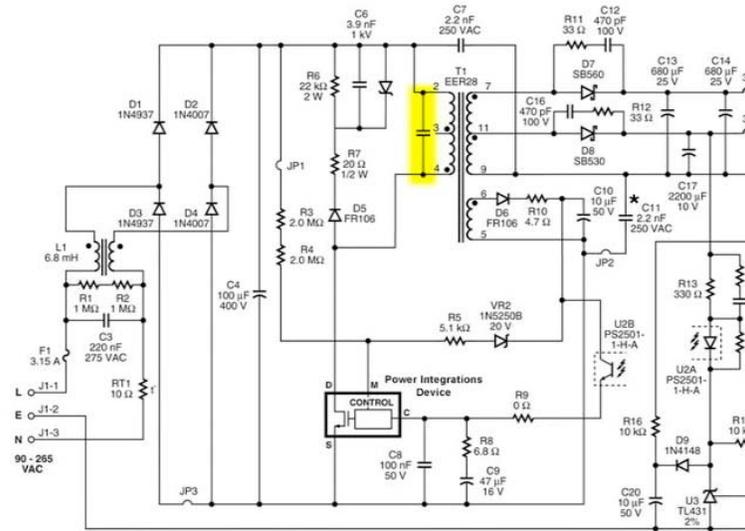
有关您设计的前沿消隐时间，以及前沿消隐时间结束时的初始流限，请参阅相关器件的数据手册。

测量初始电流导通峰值后，测量前沿消隐时间结束时 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。如果测量值大于初始流限值，则表明这可能是功率输出问题的根源。如果在该输入电压下未发现问题，应将输入电压升高到设计的最大输入电压，然后重新测试。导通电流尖峰在高输入电压下最大，这是因为寄生电容会在更高的电压下充放电。

例如，在 [RD-142](#) 参考设计中，变压器初始绕组被添加了额外的电容。正因为此，在 265 VAC 和满载下测试时，电源会进入自动重启模式。

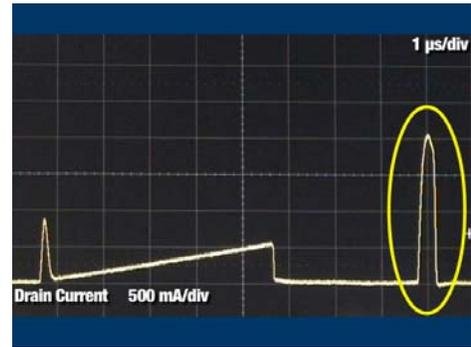


前沿消隐时间结束时的 MOSFET 电流超过初始流限



变压器初始绕组上的电容

从右侧的示波器曲线图中可以看出，导通尖峰会偶尔触发初始流限，使导通后的电流因开关周期结束而出现一段极其短暂的脉冲。如果发现您的设计中出现这种情况，应首先确保输出整流器仅使用超快速恢复或肖特基二极管。使用慢速恢复二极管可增大反向恢复电流。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。



导通尖峰触发流限

如果偏置绕组二极管的反向恢复时间较长，尝试换用

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。

接下来，从设计中移除所有缓冲器，重新测试。如果问题得到解决，请减小缓冲器使用的电容值，或增大串联电阻值，直到初始电流尖峰低于数据手册中的限值。

9. 漏极节点电容过高

如果缓冲器对初始电流尖峰没有影响，需测量变压器初级电容。如果变压器电容较大，检验变压器采用清漆浸渍，而不是真空浸渍。以真空浸渍方式对变压器浸漆，将显著增大变压器的初级绕组电容。

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。



用清漆浸渍变压器