

## 简介

本课程讲义用于PI大学视频课程 — “[初次设计反激式电源](#)”。本课程将向您讲解安全设计和测试电源原型应遵循的具体步骤，确保您的电源能够正常工作。

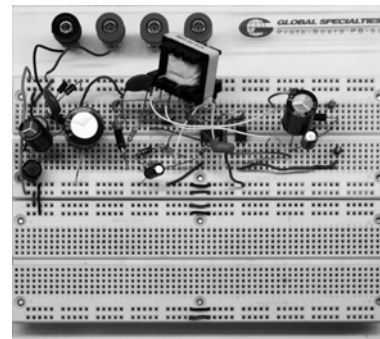
## 课前准备

在开始本课程前，您应知道本课中用到的很多重要技能和技巧在其他PI大学课程中有授，详情请参见课程先修要求。本课程中的测试部分将会持续一到两个小时，因此请做好准备并留出足够的时间。

在初次设计电源之前，应确保电源所采用的印刷电路板符合 Power Integrations 器件数据手册中指定的布局指南。如果在实验用面包板或原始样板上搭建设计的电路，会引入很多寄生元件，这样会影响电源的正常工作。而且，许多实验用面包板都无法承载开关电源所产生的电流水平，并可能因而受损。此外，在这些电路板上非常难以控制爬电距离和电气间隙。



根据布局指南设计的印刷电路板



实验用面包板无法与开关电源配合使用

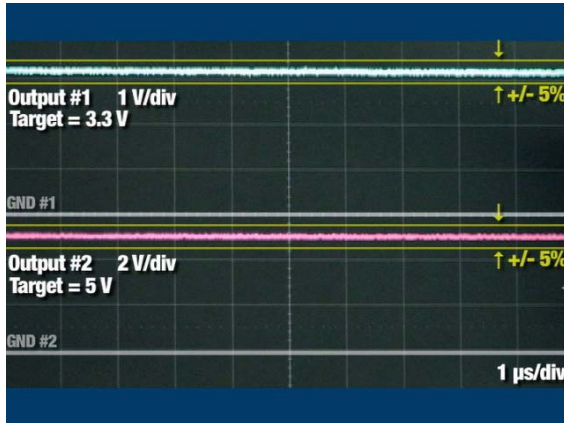
## 所需设备

在本课程中，您将用到以下设备：

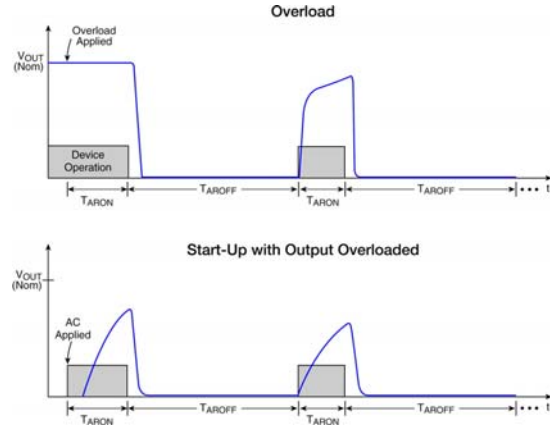
1. 一个隔离式交流电源供应器或一个自耦变压器
2. 一个瓦特表
3. 至少四个数字万用表，其中两个具有高精度电流量程
4. 一个带有高压探针的示波器
5. 一个电流探针
6. 一个电子负载
7. 还有您的实际负载

## 第 1 章：术语

本课中将频繁使用的两个术语是“稳压”和“自动重启”。当电源处于**稳压**状态时，控制器持续接收反馈，所有输出电压均保持稳定不变，并处于指定的容差限值内。**自动重启**是 Power Integrations 器件中内置的一种保护模式。



处于稳压状态的输出



自动重启

在工作期间，如果所消耗的功率大于电源所能提供的功率限值，或者在启动后，电源的输出电压在指定的时间内不能达到稳压，Power Integrations 器件将进入自动重启保护模式。这种设计通过限制电源在故障情况下提供的平均功率，可防止元件受损。有关特定的自动重启导通时间，请参见相关的 Power Integrations 器件数据手册。

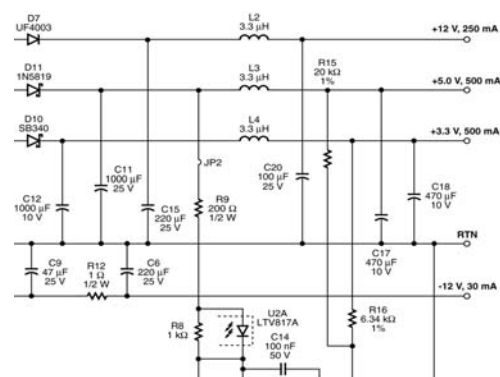
在测试期间，如果发现电源性能与本课程中所描述的情况不符，或者表现出任何异常特征，请停止测试程序，并参照其他PI大学故障诊断课程中的内容排查问题，或者联系当地PI代表解决问题。

## 第 2 章：设计信息

现在就可以开始测试了。下面，我们将以使用 [TinySwitch -PK](#) 器件的 RD-115<sup>1</sup> 参考设计电路板为例进行讲解。该电源用于 DVD 播放器，可提供 7.5 W 的连续输出功率，峰值功率为 13 W。连续输出功率分为四路输出，它们包括：

- 3.3 V, 500 mA
- 5 V, 500 mA
- 正 12 V, 250 mA
- 负 12 V, 30 mA

有关该电路板的详细设计信息及测试结果，请参阅 [Power Integrations 网站](#)。为达到本课程的授课目的，



RD-115 中的输出

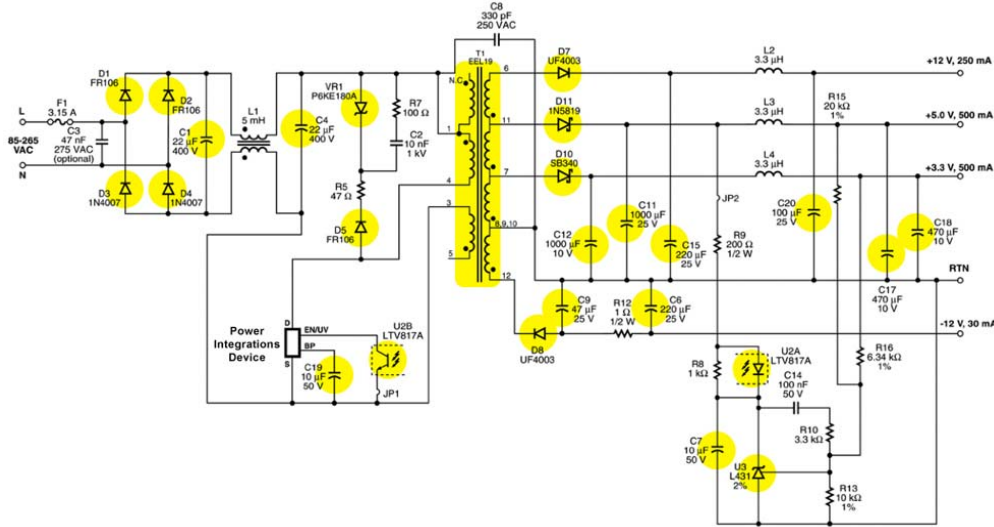
<sup>1</sup> [RDR-115](#): 使用 TNY376PN 设计的 7.5 W 连续输出、峰值为 13 W 的 DVD/机顶盒电源的参考设计报告

我们将侧重介绍相关程序和步骤，而不是设计过程中获取的实际读数。

### 第 3 章：目测

设计之前，应先目测检查电路板，确保所有极性组件都已正确插装。虽然这种情况并不常见，但一个元件插装错误却能导致破坏性故障。

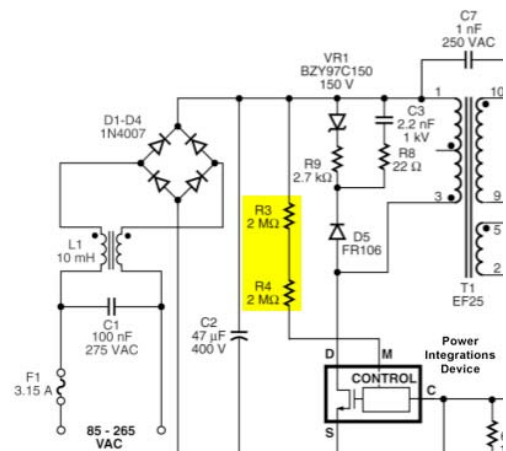
即使在完成了元件插装检查后，我们仍强烈建议您在第一次设计电源时佩戴护目装置。



确保所有极性组件都已正确插装

### 第 4 章：禁用欠压锁存

第一步是检查电源能否在低输入电压下正常工作，因此您需要禁用Power Integrations器件的欠压锁存功能（如果已启用的话）。在大部分设计中，这意味着将UV电阻从电路板上卸除。在本设计范例中，UV电阻连接在DC总线和TOPSwitch -HX器件的M引脚之间。您需要卸除这些电阻，使M引脚与源极短路。如果是其他产品，请参阅相应的器件数据手册，确定应使用的正确元件和禁用UV功能的方法。



欠压电阻

## 第 5 章：极低电压工作

接下来，将两个短导线焊接到输入电容的负极和正极端子上，用作测试点。为了正确验证低电压工作情况，您需要在施加低 AC 输入电压的过程中，监测输入电容的输出电压和 DC 总线电压。将一个万用表连接到电路板的输出端子，并将另一个万用表连接到输入电容，利用两个测试点进行监测。这两个万用表都应设置为读取 DC 电压。

如果您的设计有多路输出，可将负载电阻连接到主稳压输出以外的任何输出。负载电阻的大小应能够吸收为每个输出指定的最小负载。这样可防止这些输出电压因峰值充电而超出规格范围。

如果没有为输出指定最小负载，那么选择电阻吸收 5 mA 的输出电流。将 AC 输入导线连接到电路板。确保 AC 输入正确连接到电源的输入端子，而不是连接到 DC 输出。AC 输入连接错误可严重损坏电源。

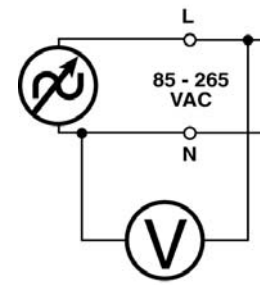
在本测试中，您还需要测量 AC 输入功率。如果您有瓦特表，请参照其操作手册中有关如何安装到 AC 输入通道的说明，配置为测量 AC 电压、电流及输入功率。如果没有瓦特表可用，可将第三个万用表与 AC 输入串联，设置为测量 AC 电流。再将第四个万用表连接到电源输入端子，测量 AC 电压。

有关瓦特表和万用表使用方法的详细说明，请参见PI大学课程[“电源效率测量方法”](#)。

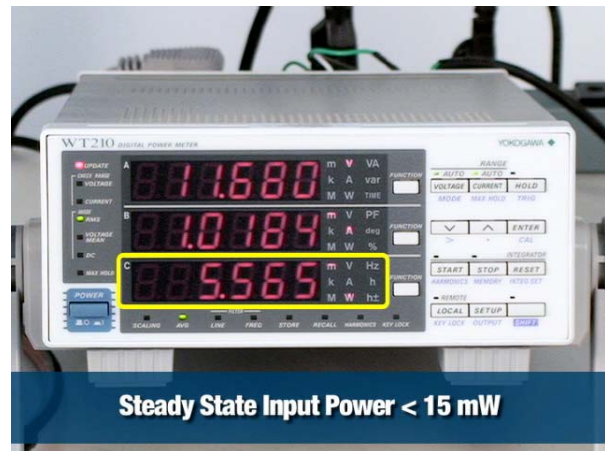
现在，确保自耦变压器或交流电源供应器设置为零，然后将其开启。将输入电压慢慢提高到约 10 VAC。您应该可以在瓦特表或输入万用表上看到 AC 输入电压在逐步增大。如果没看到的话，应确认您的交流电源供应器是否配置正确。您还应该看到 DC 总线电压在您施加 AC 电压的过程中不断增大。

如果您使用的是瓦特表，稳态 AC 输入功率应小于 15 mW。如果您使用的是两个万用表，稳态 AC 电流读数应小于 10 mA。如果您看到输入功率或 AC 电流高于此值，那么说明您的电路板存在故障。关闭交流电源供应器，断开 AC 输入连接。

在上述情况下，持续提高AC电压会对电路板造成破坏性故障。有关确定和修复电路板故障的信息，请参见PI大学课程[“修复无输出电压的反激式电源”](#)。



监测 AC 输入电压、输出电压及 DC 总线电压



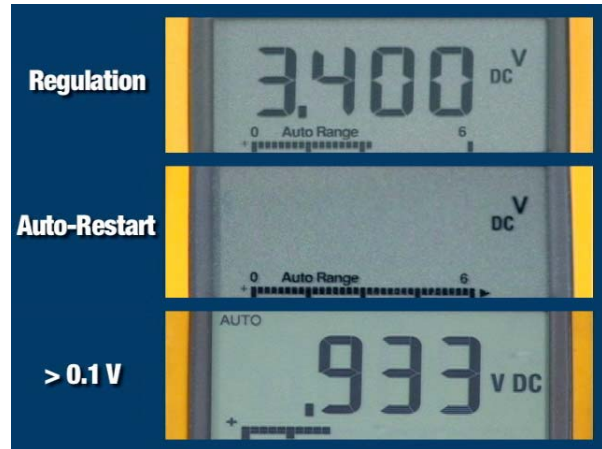
使用瓦特表测量输入功率

## 第 6 章：启动和稳压

如果输入功率小于 15 mW，则可继续将电压增大到 50 VAC。观测 DC 输出电压，如果输出处于稳压状态、自动重启状态，或者输出电压表上的电压读数大于 0.1 V，则说明的电路板未受损且功能正常。

继续将 AC 输入电压增大至指定的最小输入电压。如果电源无法启动或达到稳压，请停止测试，并参照 PI 大学课程 [“修复输出无法达到稳压的反激式电源”](#) 排查问题。

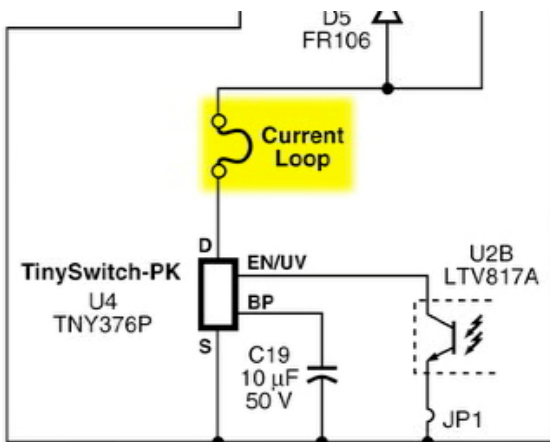
现在，关闭 AC 输入，将输入导线从电路板断开，将输入电容放电至安全的电压水平。此外，将万用表从 DC 大容量电容断开。



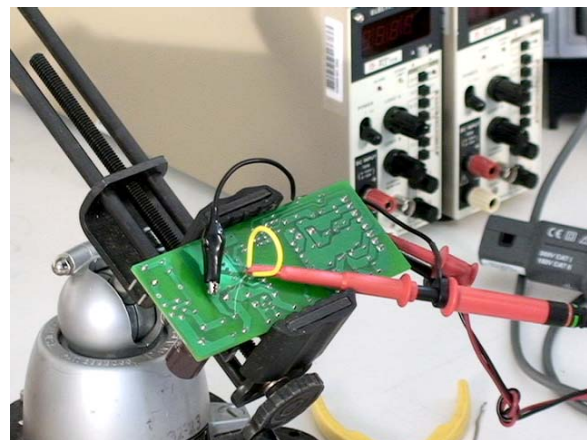
50 VAC 下正确工作的三种模式

## 第 7 章：MOSFET 漏极开关波形

接下来，您需要监测漏极开关波形。断开电路板上的漏极走线，插入一个电流环。确保此断开点介于 Power Integrations 器件漏极引脚与箝位电路中的任何元件之间。这样可以确保探针只检测到 MOSFET 电流。



电流环的正确放置

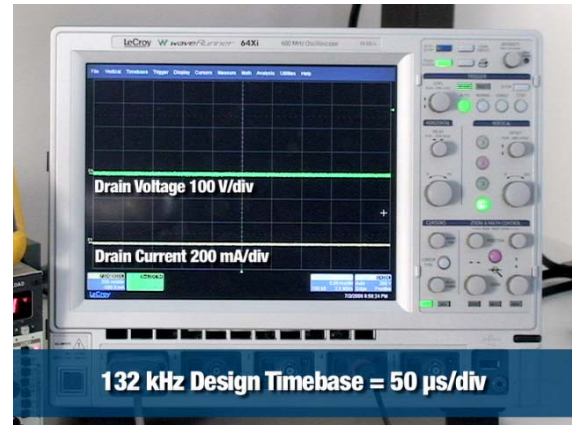


将电压探针连接到 MOSFET 漏极

将一个 1000 V 或更大倍数的 x100 探针连接到 MOSFET 两端来测量开关电压。将示波器配置为以适当的比例同时显示电压和电流波形，并设置一个宽时基，以便在一帧图像上显示许多开关周期。例如，对于这个 132 kHz 设计，可将时基设置为每格 50  $\mu$ s。

### 第 8 章：负载主输出

现在，将一个电子负载连接到电源的主输出，确保负载设置为零。将两个万用表连接到该输出，一个连接到输出端子来测量输出电压，另一个与电子负载串联来测量输出电流。用精度最高的万用表来测量输出电流。



配置示波器

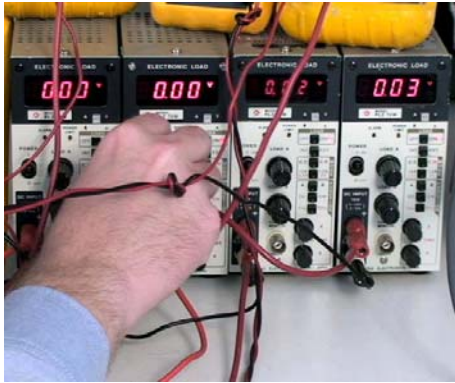
重新将 AC 输入导线连接到电路板，确保自耦变压器或交流电源供应器设置为零。现在，接通 AC 输入，慢慢将电压增大至电源的最小指定输入电压。慢慢将电源的负载增大至满功率的 25%。输出电压应维持在指定稳压容差范围内。继续将负载提升到满载。输出电压应保持稳定，并处于稳压限值范围内。

### 第 9 章：满载工作

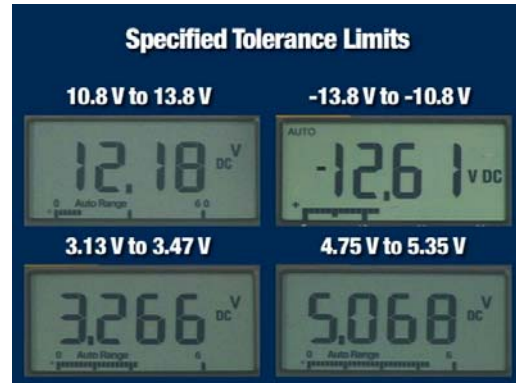
如果您的设计采用多路输出，请关断 AC 输入，拆下早前安装的最小负载电阻。将所有这些电阻都分别替换为电子负载，直到您电源的所有输出都加有负载。如果此时没有电子负载可用，请参照电力电子装置导论课程了解更多负载选项，以及如何替代它们的信息。

按照前面所讲的方法，连接两个万用表来监测每个输出的输出电压和电流。本设计总共有 4 路输出，因此总共需要 8 个万用表，其中至少 4 个应具有高精度电流量程。这种配置便于进行快速测量。如果没有足够的这种万用表可用，可以用一个万用表来测量所有电压，方法是将它轮流连接到所有输出，分别测量电压，一次测量一个输出。

将所有负载设置为从每个输出吸收少量的电流，避免峰值充电的发生。再次将 AC 输入归零，然后接通，慢慢将输入增大至电源的最小工作电压。从主输出开始逐个慢慢增大每个输出的负载，以达到该输出的额定满载点，直到电源的所有负载都提供指定的满输出功率为止。



将所有电子负载设置为吸收少量电流



所有输出都必须保持在指定的稳压限值范围内

此时，您的电源提供最大连续输出功率。所有输出都应保持稳压，并且处于指定的容差限值范围内。否则，请停止测试，参照[PI大学故障诊断课程](#)中的内容来排查问题。如果电源已进入自动重启模式，请参见PI大学课程[“修复无法提供满功率的反激式电源”](#)。

### 第 10 章：检验效率

当电源在最大连续负载和低压状态下运行时，对电源执行快速效率测量，并将测量结果与[PI Expert](#)指定的目标值进行比较。如果发现测量的效率低于预期的 5% 以上，请参照[PI大学故障诊断课程](#)中的内容排查问题。

### 第 11 章：峰值漏极电压（高压）

接下来，减小示波器的时基，并在漏极电压的上升沿触发。将示波器设置为正常触发模式，然后缓慢增加触发电平，直至示波器在 MOSFET 电压出现最高峰值时偶尔触发。

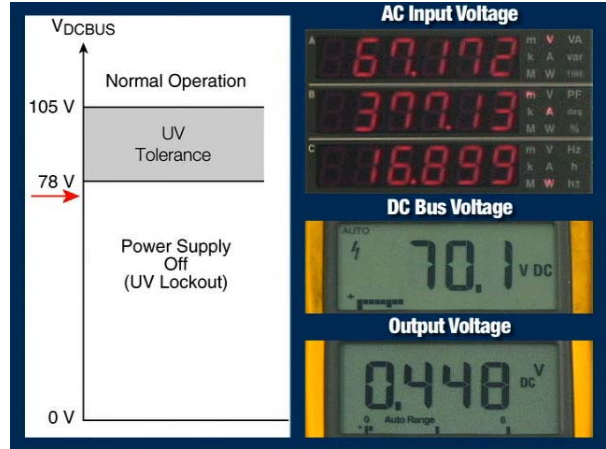
利用示波器的光标测量 MOSFET 在此峰值时的最大电压。现在，缓慢将 AC 输入电压增加到最大输入电压，增加 50 V 后暂停，以增加触发电平，然后测量最高峰值。

一旦所测得的峰值漏极电压超过 650 VDC，则应停止增加输入电压，以防止该电压超过 MOSFET 的最大额定电压。如果在被迫停止前尚未达到最大输入电压，则说明您的箝位电路可能设计有误，或者变压器漏感超过了预期值。请先解决这一问题，然后再继续下一操作。

## 第 12 章：欠压锁存

接下来，将各输出负载降至最低，然后切断 AC 输入。如果您的设计中包含 UV 检测电路，则请重新连接该电路。此外，应将一个万用表连接到输入大容量电容两端，设置为测量 DC 电压。将 AC 输入归零并接通，然后缓慢增加电压，直至 DC 总线电压达到 UV 阈值的下限。

电源的启动电压应介于根据 Power Integrations 器件及您的 UV 电阻的容差所定义的两个限值之间。而且，电源在电压达到您设计的最小 AC 输入电压之前应能启动。



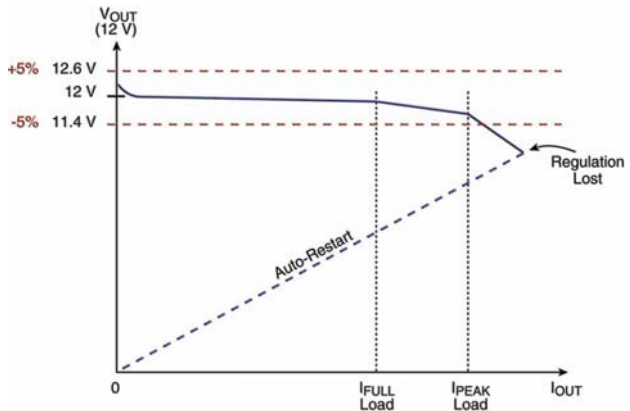
检测电源启动时的电压

在我们的设计范例中，电源应在 DC 总线上的 78 V 到 105 VDC 电压范围内启动，这由电阻和器件 UV 电流阈值的容差所定义。

## 第 13 章：峰值漏极电压（过载）

电源启动后，将 AC 电压增加到最小输入电压，然后使电源上的负载达到满载。在主输出上，开始缓慢增加负载，同时监测示波器上的峰值漏极电压。在开始使电源输出过载时，确认该峰值电压始终不会超过 650 V 峰值。如果超过峰值，请停止测试，排查箝位电路上的问题。

一旦达到最大过载功率，输出将会失调。这将触发 Power Integrations 器件并进入自动重新启动，或者进行锁存关断。



过载造成电压失调

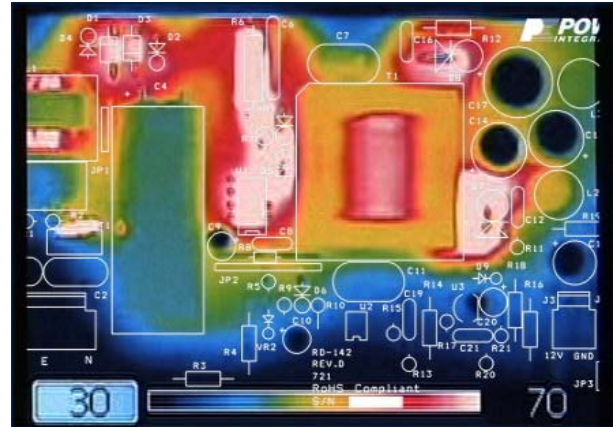
自动重新启动是对电压失调最常见的一种响应方式，但具体响应情况因器件系列和电路配置而异。详细信息请参见产品数据手册。



记录电源在刚进入保护模式之前示波器上所显示的峰值漏极电压值。如果该电压大于 650 VDC，您需要调整箝位电路。

电源过载会给所有元件带来压力，且会增加电源的损耗。这将导致元件温度迅速升高，因此如果出现过热的情况，应立即停止测试，让电源慢慢冷却下来。

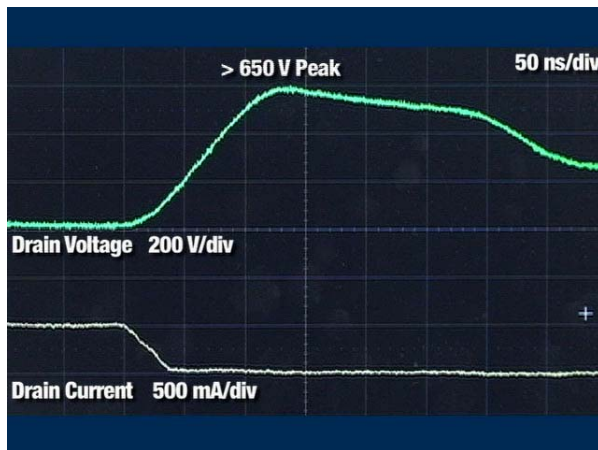
现在，在最大 AC 输入电压下重复此测试。



电源过载时的热影像

#### 第 14 章：峰值漏极电压（启动）

进行下一个测试时，需要将电源负载减小至满载。如果电源已进入锁存关断模式，可能需要在电源返回正常操作模式之前切断并重新接通 AC 输入。切断交流电源供应器，然后等待 DC 总线上的电压已降至约 10 V。如果设计中采用了大容量电容，可能需要花费几分钟的时间。使用电容放电板可以缩短这一时间。



启动时的峰值漏极电压

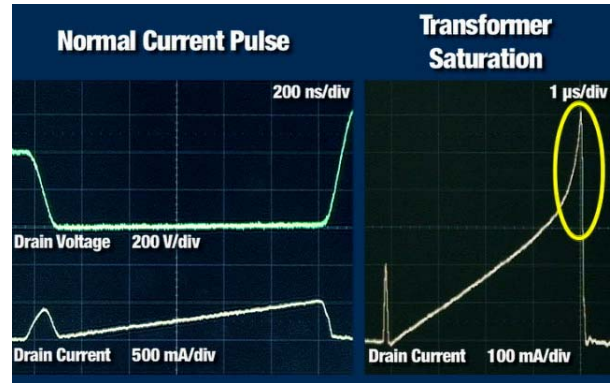
接下来，您将检验启动时的漏极电压和电流波形。将输入电压增至最大值，确保电源处于满载状态。将示波器设置为在漏极电压波形的上升沿正常触发。缓慢增加触发电平，直至找到可在正常工作模式下进行触发的最高电平。然后切断交流输入，重新装上电源。

在增加触发电平的过程中继续这一操作，直至装上电源的过程中抓取到最高峰值电压。如果测得的最高电压超过 650 V 峰值，则需要重新设计箝位。

#### 第 15 章：漏极电流波形（启动）

触发示波器上的漏极电流波形时重复上述操作程序，测量在装上电源时看到的最高电流。检验电流波形的形状，看是否存在变压器饱和的迹象。

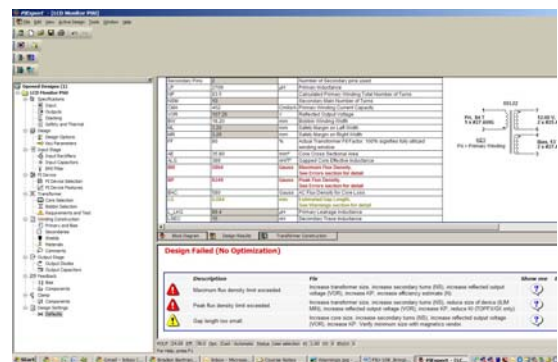
启动过程中，可能会看到两个电流波形中的一个。左侧波形是正常电流脉冲，它在导通到关断的过程中呈线性斜升。右侧电流脉冲表示存在变压器饱和的迹象。请注意该脉冲是如何以类似指数的形式上升到更高幅度的。这是变压器磁芯达到饱和且不能再贮存能量的临界点。此时，初级电流将快速增大，可能会损坏 Power Integrations 器件或其他初级侧元件。



查看是否有变压器饱和信号

变压器饱和的主要原因是有过多的磁通在磁芯中累积。如果在您的设计中发现饱和现象，首先需要与变压器供应商核实，看变压器是否严格按照 *PI Expert* 设计所指定的参数值进行制造。此外，还应确保变压器的初级电感值处于设计所容许的容差限值范围内。（请参见第 16 章，了解不使用 LCR 测量仪进行此测量的具体方法。）如果器件限流点设定过高，也会造成变压器饱和。请查阅所用器件的数据手册，了解检验限流点设定方式的信息。

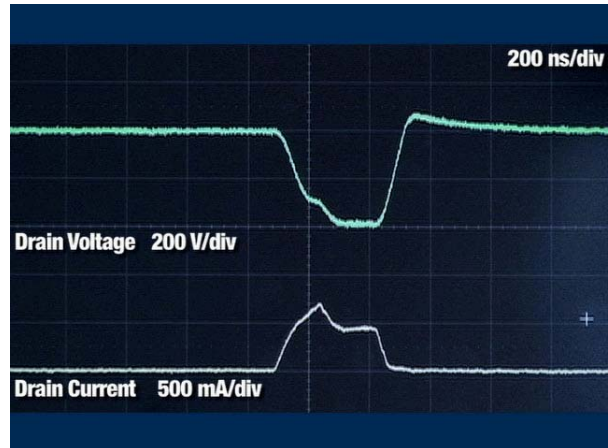
如果变压器结构和限流点设定方式正确，您需要重新设计变压器，以减小磁芯的磁通密度。您可以通过为变压器添加额外线圈或减小初级电感 LP 所容许的生产容差来实现这一点。在 *PI Expert* 设计中增加线圈数时，可增加次级绕组圈数 NS，软件将会按比例相应增加初级绕组圈数 NP。您也可以通过调节 KP 值来减小磁通密度。如果初级限流点可设定且远高于您的功率级要求，那么降低限流点也会造成磁通量增大。在特殊情况下，您也能需要通过增大磁芯尺寸来减小磁通密度。您需要不断调整设计，直至最大磁通密度 (BM) 和峰值磁通密度 (BP) 都远低于 *PI Expert* 所指定的限值。请注意，优化后的 *PI Expert* 设计应始终能把磁通密度限制到可接受的水平。在手动调整设计时，如果所作的某个修改可使磁通密度骤然增大，*PI Expert* 将会向您发出警告消息，提醒这一危险状况。



PI Exper 发出磁通密度过高的警告

变压器磁芯过热时，也会造成变压器饱和。发现饱和问题后，应检验变压器是否在适当的温度限值内进行工作。必要时，请重新设计变压器，以降低磁芯和绕组损耗，并降低其工作温度。

在启动测试期间，可能会抓取到短脉冲，如上图所示。这些脉冲都是正常的，是由低输出电压下变压器复位不足造成的。

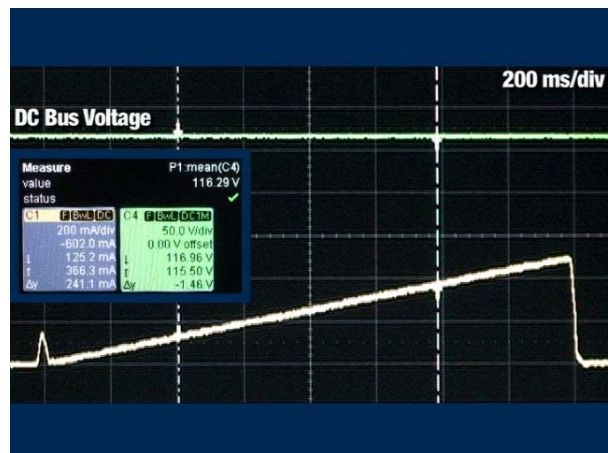


短电流脉冲

### 第 16 章： 变压器初级电感量

现在切断 AC 输入，将高压示波器探针连接到输入大容量电容的端子。然后，向电源施加最小的 AC 输入电压，将输出负载增至满载。设定示波器，将高压探头连接在输入大容量电解电容两端，从而测量到 DC 总线电压，同时测量漏极开关电流波形。

利用示波器测量大部分线性斜升过程中的漏极电流的  $di/dt$  比值。这部分通常处于流限的 25% 到 75% 之间。此外，还应在用来测量电流变化的时间间隔内，同时测量平均 DC 总线电压。利用这两个测量结果，您可以根据电感的基本关系式计算出变压器初级电感量的近似值： $V = L \Delta i / \Delta t$



测量变压器初级电感量

MOSFET 导通后，变压器初级侧的电压将近似等于平均 DC 总线电压。电感中的电流等于漏感电流。调整该公式后，我们可以计算出 L 值： $L = V \Delta t / \Delta i$

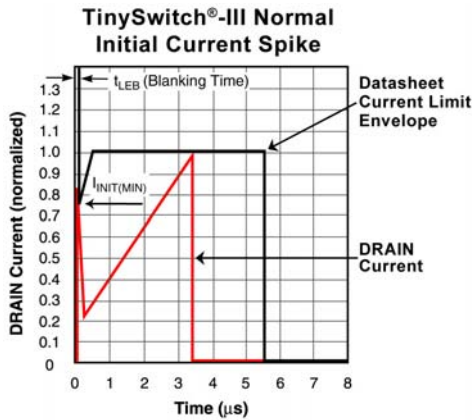
将计算得出的值与 [PI Expert](#) 中的指定值进行比较。如果计算值超出给定的容差范围，则需联系变压器制造商以解决这一问题。

### 第 17 章：初始电流尖峰

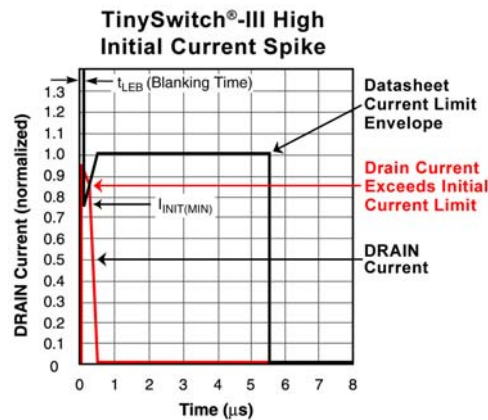
接下来，检查在 MOSFET 导通后随即出现的高初始电流。切断交流电源供应器，将高压示波器探针重新连接到 MOSFET 两端，测量漏极开关电压。然后，施加指定的最大 AC 输入电压，并将电源负载增至满载。设定示波器，以便同时显示 MOSFET 电压和电流，并在漏极电压的上升沿触发。调宽时基范围，以便监测一个完整的开关周期。

查看漏极电流波形的导通沿。您可以看到一个电流尖峰。该尖峰常见于开关电源，由寄生电容通过 MOSFET 快速放电时产生。

Power Integrations 器件可执行前沿消隐功能，在 MOSFET 导通后立即将流限传感器禁止一段时间。这样可防止初始电流尖峰触发流限，使其提前结束电流脉冲。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。



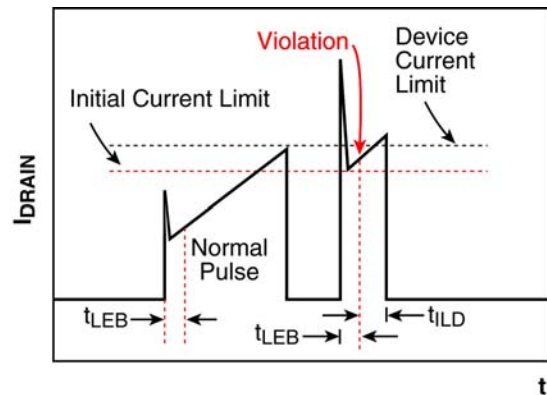
PI 前沿消隐功能



导通尖峰导致超出初始限流点

请参阅 Power Integrations 器件的相关数据手册，为您的设计确定最小的前沿消隐时间。然后，测量前沿消隐时间结束后 MOSFET 上的电流大小。将测量值与器件数据手册中的初始流限值进行比较。如果测量值大于初始流限值，则可能会导致功率输出问题。

在指定的最低输入电压下重复此测量。如果电源设计为在低压下以连续导通模式工作，则初始电流基值将会增大初始电流尖峰。

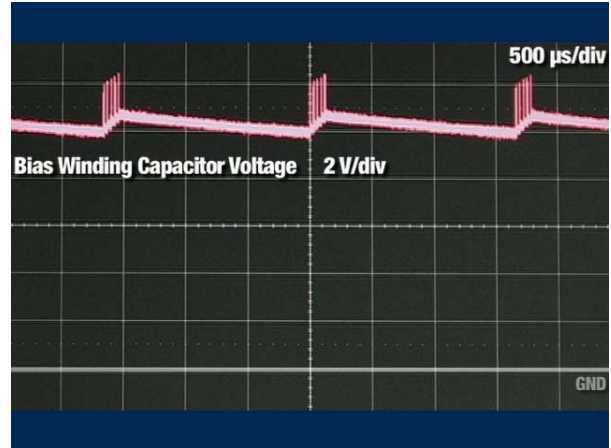


在前沿消隐后超出初始限流点

## 第 18 章：偏置绕组电压

如果您在设计中采用了偏置绕组，则需关断 AC 输入并连接一个示波器电压探针，然后进行设置，测量偏置绕组输出滤波电容上的 DC 电压。必要时，可将两个短接导线焊接到电路板背面，用作测试点。然后，施加最小的 AC 输入电压，并移除电源输出上的所有负载。

通过示波器测量并记录偏置绕组电容在整个周期内的最低电压。如果测量的最低偏置绕组电压低于 8 V，则可导致您的电源出现稳压问题。要解决此问题，您需要增加偏置绕组的圈数以增大电压。我们建议您在重新检测原型设计的电压之前，每次只添加一个线圈。添加过多线圈将导致偏置绕组电压大幅升高，从而加大设计的空载功耗。建议空载时的最低偏置绕组电压应大于 8 V，但小于约 9 V。在有些设计中，增大偏置绕组滤波电容的值可提供足够的维持时间，使最低偏置绕组电压升至 8 V 以上。

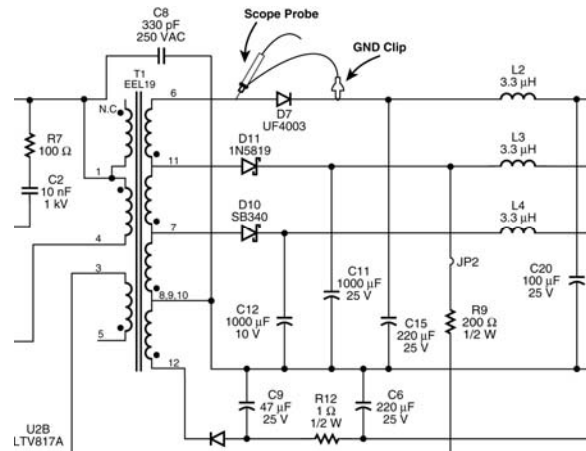


测量空载时的最低偏置绕组电压

### 第 19 章：输出二极管反向峰值电压(PIV)

接下来，检测输出二极管的 PIV。首先，关断 AC 输入，并断开电路板上的所有示波器探针。然后，在待测量的输出二极管上连接一个低压探针，如下图所示，将接地线夹和探针尖分别连接到阴极和阳极。另外，我们还插入了一个电流探针，与输出二极管串联，用于查看二极管电流。不过，您在测量时并不一定要这样做。

施加最大的 AC 输入电压，并将电源负载增至满载。观察示波器上显示的 DC 电压时，您将发现：在二极管导通时二极管上的电压接近零值，二极管关断时电压迅速回复为负值。该负电压即为逆向电压。在任何测量点测量二极管出现的最高负电压，然后将该测量值与二极管的 PIV 额定值进行比较。如果测量值等于或大于二极管额定值，那么该二极管将在尚未达到预期的元件寿命之前就会失效。



测量输出二极管的 PIV

为提高元件的现场可靠性，Power Integrations 建议在 PIV 测量值与二极管额定值之间维持 20% 的裕量。如果您的二极管不符合这些要求，请换用 PIV 额定值更大的二极管，或者对二极管缓冲电路进行优化。

如果您采用多路输出设计，请重复该测试，检验电源中的所有其他输出二极管。

## 第 20 章：满载效率

接下来，测量并记录电源在最低和最高AC输入电压下的满载效率。如果满载效率比 [PI Expert](#) 预测值低出 5% 或更多，则需要解决此问题。

## 第 21 章：元件温度

测量设计中关键元件的温度，其中包括二极管、电解电容、共模扼流圈、变压器磁芯、绕组以及 Power Integrations 器件。执行这些测量应满足以下条件：电源满载，且电源已在室温下工作大约 20 分钟。分别测量最小和最大 AC 输入电压下的温度。不过，温度通常在低压时最高。

不断增大所测室温的温度到指定的最高环境温度，以接近最差条件的环境温度。将这些估计温度与元件数据手册中的最大工作温度进行比较。在进行比较时，确保将您设计中的任何降额要求纳入考量。

您可以降低元件额定温度，以满足特定安全要求或延长元件使用寿命。例如，电解电容的允许工作温度与元件的预期使用寿命成函数关系。一个额定温度 105°C、额定使用寿命 2,000 小时的电容，在 70°C 下连续工作时，其预期使用寿命可达到约 20,000 小时。为便于参考，这里提供了部分主要元件的温度降额值。

如果发现某个元件或 PCB 变色，或是某个元件冒烟，请立即关断 AC 输入并解决这一问题。

## 第 22 章：输出电压纹波

现在，测量输出电压纹波，确定它处在设计指定的限值范围内。如果超出指定范围，或发现输出有明显的振荡，请参照 [PI University](#) 的故障诊断课程解决这一问题。

Extrapolating Room Temperature Thermal Measurements

Item	85 VAC Input		
	22 °C Ambient	Adjustment (22 °C -> 50 °C)	50 °C Ambient (Approximation)
Output Cap	57	+28	85
Transformer	61	+28	79
Clamp Zener	59	+28	87
PI Device	74	+28	102
Output Diode	69	+28	97

外推室温下的热测量

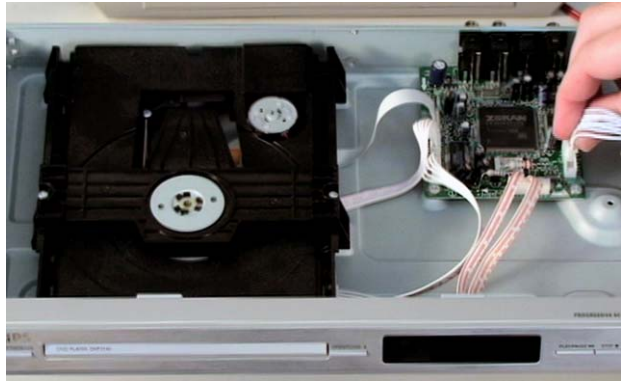
Component	Temp. Limit
Class B transformer	120°C
DC bulk capacitor	20°C derating
Input inductor or common mode choke	100°C
Clamp diode	115°C
Clamp Zener	115°C
PI device	110°C
Output diodes	115°C
Output capacitors	20°C derating
Bridge rectifier	115°C
Inrush limiter (thermistor)	150°C
MOV (metal oxide varistor)	40°C

最高环境温度下的最高温度限值

### 第 23 章：以最终负载启动

最后，关断 AC 输入，将电子负载从电源输出移除，然后连接实际负载。将一个万用表连接到电源的输出端，监测输出电压。将交流电源供应器设定为电源的最大 AC 电压，并装上电源。检验电源能否在为实际负载供电的情况下启动并达到稳压。

将AC电压设定为最小限值，重复此测试。如果电源在连接实际负载的情况下无法启动，您需要观看PI大学故障诊断课程 [“修复输出无法达到稳压的反激式电源”](#) 排查问题。



以实际负载进行工作

### 第 24 章：为最终负载供电

如果您的负载具有不同的工作模式，请务必循环测试所有模式，确保电源永远不会进入自动重启模式。如果进入的话，说明您的负载所吸收的功率大于电源的额定输出功率。此时，您需要认真分析负载特性，然后重新设计电源。

#### 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)。