应对电源原型版设计及调试的挑战

有效提高您电源的效率手段

Tektronix

电源发展的背景：

在全球节能环保的大环境下，电源产品如果仅仅实现功能的设计已经不能满足新形势市场的需求。高效率，高节能，智能化，微型化是电源行业未来的发展趋势。如何提高电源行业最为重要的一个参数--电源效率，在电源原型板设计及调试过程中工程师可以通过准确评价功率及效率，精准的定位主要功率损耗点，更换器件或更改拓扑结构等方法来提高电源的效率。在原型版设计和调试的过程中泰克不仅为您提供高可靠性高精度的示波器，还为您提供了多种选择的功率探头，最大程度提高您的测试精度和可靠性，助您轻松应对原型版设计及调试的测试挑战！

电源设计工作流程介绍：

根据产品的要求指标，确定设计思路，设计原理图，搭实验板验证设计的可行性，制作 PCB 印制板。工程师在原型版设计流程如下：

1.1 材料的选择如电池的标定；

1.2 关键功率元件的标定及选用；

1.3 原型版设计调试；

1.4 电源质量及效率评价；

1.5 电源标准的一致性测试；

现在为大家介绍电源设计的第三个阶段原型版的设计调试阶段，如何解决测试难题，提高电源效率。

在原型版设计调试阶段需要解决问题有：

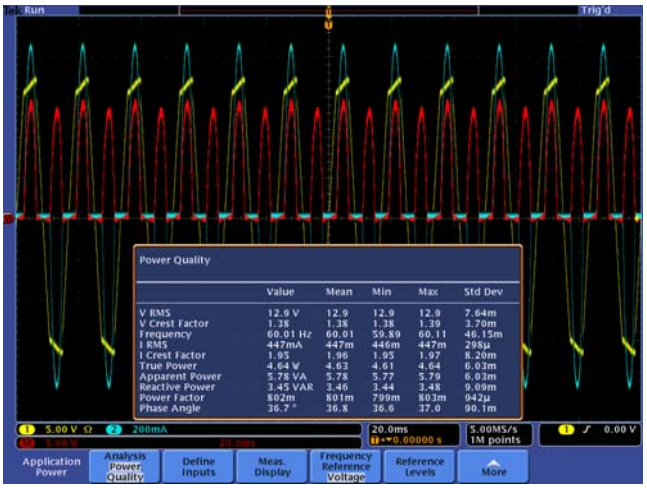
一.输入电源质量的测试：

为什么原型版测试需要对输入电源质量进行测试，事实上，输入电压和电流波形并不是完全一样的：

1. 实际环境中的电源线永远不会提供理想的正弦波
2. SMPS 是相对于电源的非线性负载

所以需要进行输入电源质量的测试具体项目如下：

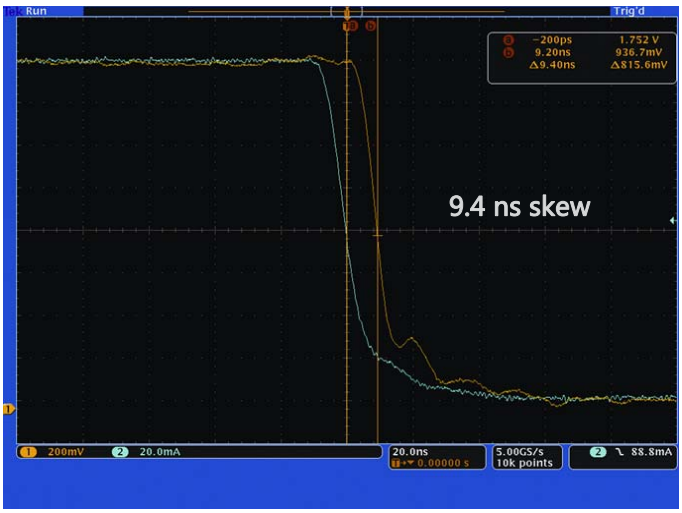
- 真实功率
- 无功功率
- 视在功率
- 功率因数
- 波峰因数
- 电流谐波测量
- THD



在电源设计调试阶段需要使用示波器进行信号的捕获分析，如何能提高使用示波器及电压电流探头提高测试精度及稳定性，可以从以下几个角度着手：

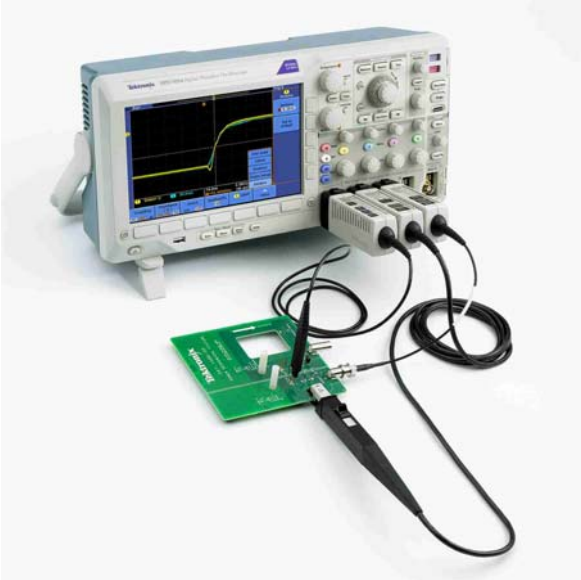
1. **去除探头之间的时间延迟**

   对电力电子器件做功率测量，必须同时测量器件上的电压和电流需要两个独立的探头：电压和电流每个探头有自己的延迟特性延迟的差值就是时间延迟。

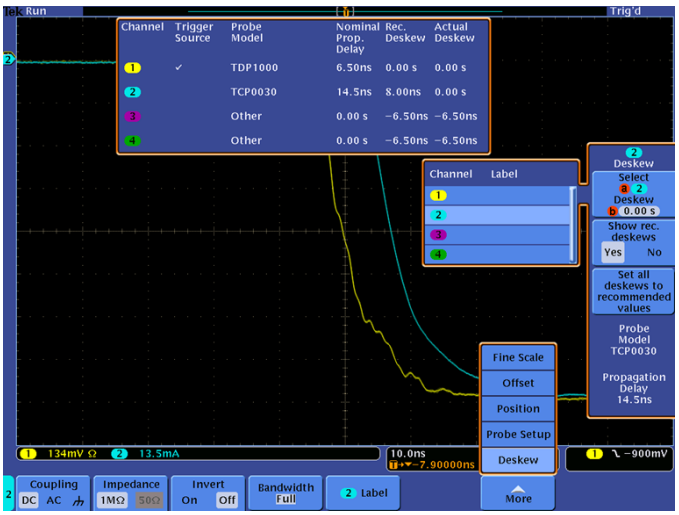


这9.4ns 的延迟会导致测试数据有很大的误差尤其对于快速的功率变化信号，所以建议在进行电源产品的电源质量准确评价前需要进行相差校正工作。

如何能进行示波器的相差校正呢？可以有两种选择，第一种



使用一个校准夹具如上图所示，该夹具能发出一个快沿信号，将电压探头及电流探头都分别接入该夹具，示波器能测试出两个探头对同一个信号的时间延迟，可以直接在示波器通道中将该延迟去除。第二个方法，更经济跟方便的方法，如果您是使用的泰克公司的示波器及泰克公司的探头可以建议使用以下方法，



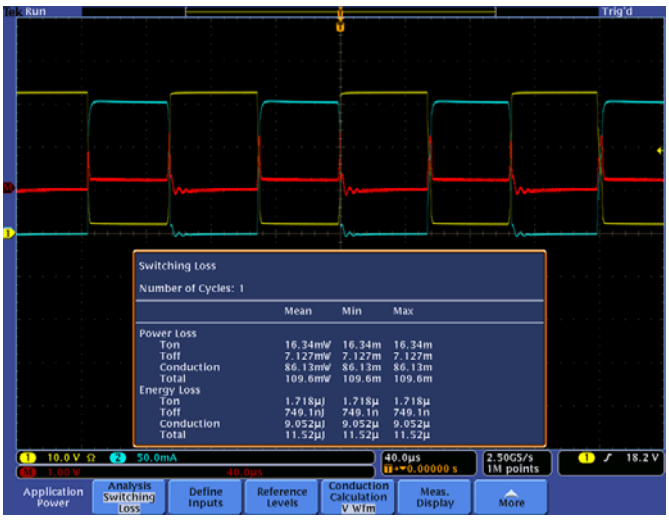
在示波器的通道设定中直接进入Deskew 菜单，里面对泰克各种探头的延迟特性都已经标示出来，示波器识别该探头就是自动告知两个探头的信号延迟数据，这时如果您选择校正信号延迟则可以去除信号的时间延迟如下图，

示波器会自动补偿7.4ns的时间延迟特性，为准确的电话质量评价提供保证。

2.去除示波器直流偏置误差

示波器自身会产生直流偏置误差，什么原因导致呢？

是由于温度变化和/或长期漂移引起的直流误差。到底会产生多大的影响呢？请参见下图：



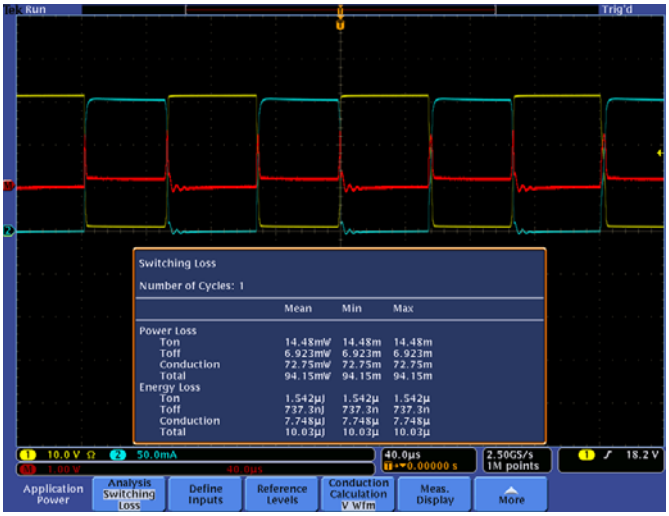
示波器有1 V 直流偏置误差,

传导损耗= 86.13 mW

如果去除了示波器的直流误差测试结果如下：

15.5%

误差



去除直流偏置，传导损耗= 72.75 mW.

如何去除示波器的直流误差方法如下：

a) 将示波器预热至少20分钟。删除从通道输入的所有输入信号（探头的和电缆）。
b) 按下Utility。
c) 按“辅助功能页面”
d) 旋转通用旋钮a 选择“校准”
e) 在下方屏幕菜单中按“信号路径”
f) 在出现的侧面屏幕菜单中按“OK执行补偿信号路径”。OK执行校准大约需要10 分钟完成。

3.去除示波器直流偏置误差

3.1 电压探头的直流偏置

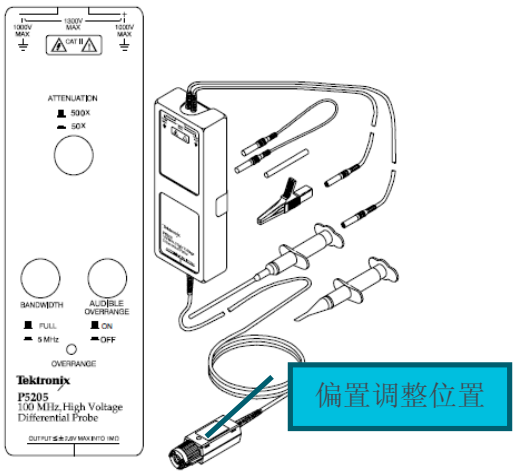
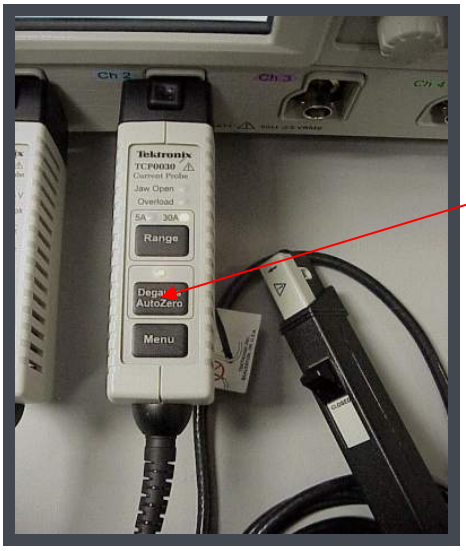


Figure 1: High Voltage Differential Probe

3.2 电流探头的偏置调整：



按探头补偿盒上的自动消磁“Degauss AutoZero”键

a) 钳式电流探头将测试电路去除，必须将滑块推到底，直到探头显示：“CLOSED”。
b) 第一次测量之前有源电流探头需要预热20分钟以上才能保证测量结果的精确
c) 每一次测量之后都需要进行探头消磁（Degauss），避免剩磁对测量结果的影响，为提高调零效果，将调整到探头的测试量程，然后消磁调零。

二.有源元件测量：开关器件

晶体管开关电路在转换过程中消耗的能量通常会达到最大，因为电路寄生信号会阻止设备立即开关。“关闭损耗”是指开关设备从ON转换成OFF时损耗的能量，“启动损耗”则是指开关设备从OFF转换成ON时损耗的能量。

关闭损耗

图1说明了怎样计算关闭损耗。在t1后，开关电流下降，二极管电流上升，时间(t_2-t_1)取决于驱动器对MOSFET的栅极到漏极电容C_{gd}的充电速度。

可以使用下面的公式估算转换过程中损耗的能量：

$$E_{off} = \frac{1}{2} \cdot V_g \cdot i_L \cdot [t_2 - t_0]$$

图1

其中：

- E_{off} 是转换过程中开关损耗的平均能量。
- V_g 是栅极电压。
- i_L 是流经电感器的电流。
- t_2 是转换结束时间。
- t_0 是转换开始时间。

这个公式假设流经C_{ds}和C_{gd}的电压(从漏极到源极的电容)呈线性上升。C_{ds}和C_{gd}是寄生电容。
在实际环境器件中，电容C_{ds}和C_{gd}呈高度非线性化，一般会随着漏极到源极电压变化。这在一定程度上会影响上面介绍的理论计算。在IGBT中，由于尾电流现象，电流的下降时间会比较高。这些差异使得工程师必须捕获电压不一致的实际曲线。带有专用电源测量软件的示波器可以大大简化这些测量。

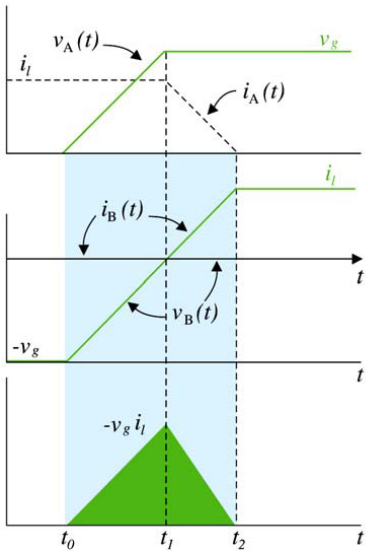


图2

启动损耗

图2 是带有箝位电感负载和二极管恢复电荷的MOSFET的启动损耗。在使用箝位电感负载启动MOSFET时，直到存储的电荷恢复时才能积聚二极管电压。因此，二极管会在负方向上持续传导电流，直到阻塞电压，这会导致开关发生巨大的损耗。反向恢复电流依赖于二极管路径中的外部电路。二极管中的电荷取决于正向电流及二极管关闭转换过程中电流下降的di/dt。

可以使用下面的公式估算转换过程中损耗的能量：

$$E_{on} = \int_{t_0}^{t_1} v_a(t) \cdot i_a(t) \cdot dt$$

其中：

- E_{on}是转换过程中开关损耗的平均能量。
- $v_a(t)$是瞬时栅极电压。
- $i_a(t)$是流经开关的瞬时电流。
- t_1是转换结束时间。
- t_0是转换开始时间。

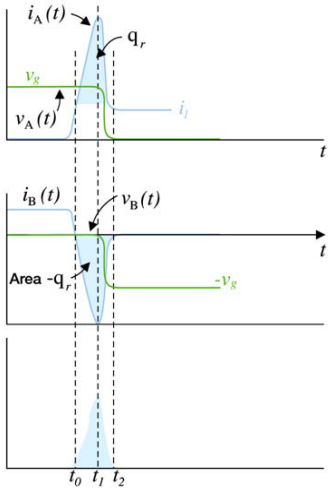
功率损耗

总损耗是开关中的平均功率损耗，包括开关损耗和传导损耗。总损耗的计算公式如下：

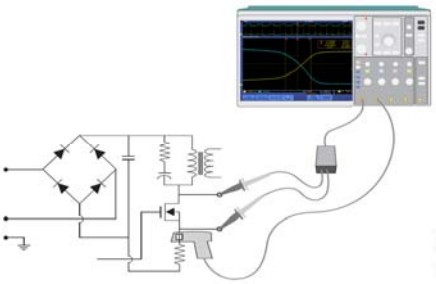
$$P_{Loss} = \frac{1}{T_S} \cdot \int_0^{Ts} V_{switch}(t) \cdot I_{switch}(t) \cdot dt$$

其中：

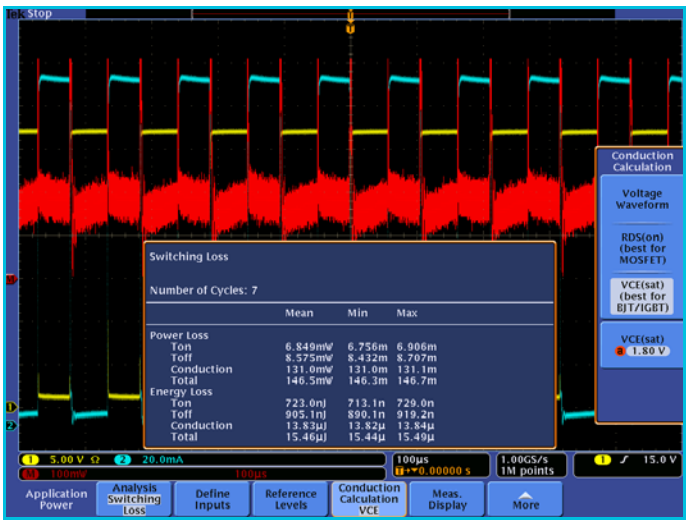
- P_{Loss}是开关中的平均功率损耗。
- V_{switch}是流经开关的瞬时电压。
- I_{switch}是流经开关的瞬时电流。
- T_s是开关周期。



泰克示波器测试系统为您定位高速开关的损耗：



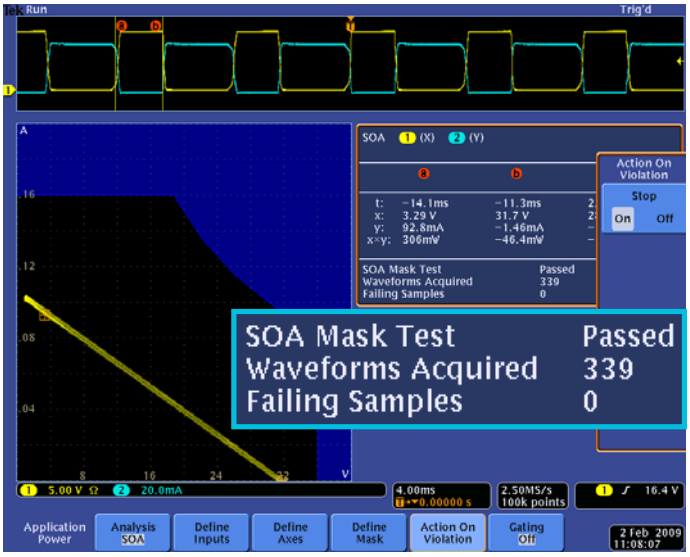
将高速开关电压及电流信号通过示波器的电压电流探头接入示波器。可以直接打开示波器的功率测试软件 DPOPWR 进入开关损耗测试界面。



警告：电压波形和电流波形之间的时间延迟必须去除。具体方法请咨询 400-820-5835 或者泰克功率测试技巧文档。

安全工作区（SOA）

开关设备安全工作区(SOA)指标汇制了电压对电流图，以检定设备的工作区域，其通常用来创建电源预计将遇到的各种工作条件的SOA 曲线。开关设备制造商的产品技术资料会概括对开关设备的某些限制。其目标是保证开关设备将容忍电源在最终用户环境中必须处理的工作边界。SOA 测试变量可能包括各种负荷方案、工作温度变化、高和低线路输入电压等等。下图为SOA测试实例



无源元件是指不放大信号或开关信号的元件。电源采用全系列无源元件，如电阻器和电容器，但从测量角度看，主要重点要放在磁性元件(磁性器件)上，特别是电感器和变压器。电感器和变压器都由外面缠着几圈铜线的铁芯组成。

电感器的阻抗会随着频率提高而提高，对较高频率的阻挡作用要高于较低频率，因此适合滤波电源输入和输出的电流。

有助于确定电源性能的部分指标包括：

- 电感
- 磁损耗(磁性元件)
- 磁性属性

电感基础知识

电源使用电感器作为能量贮存设备、滤波器或变压器。作为变压器时，电感器可以帮助保持开关式电源中的振荡。设计人员需要监测这种设备在工作条件下的行为。电感值取决于电流和电压来源、激发信号、波形和工作频率。电感使用下面的公式确定：

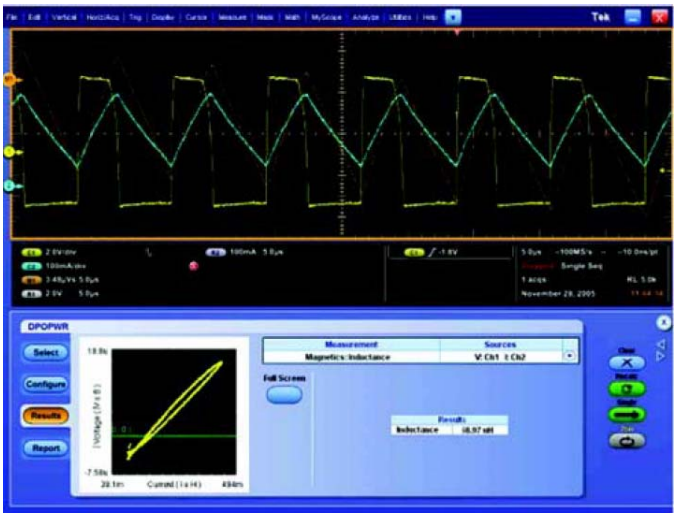
其中：

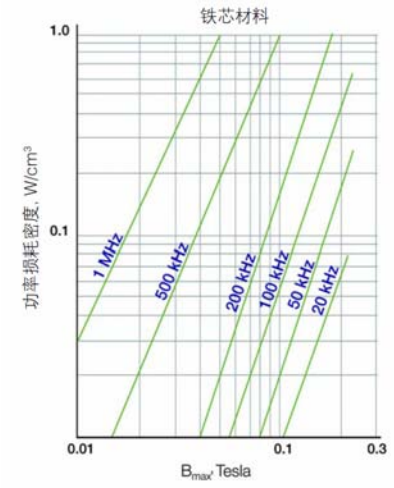
- L 是电感(单位为亨利)。
- V 是流经电感器的电压。
- I 是流经电感器的电流。
- dt 是信号中的变化速率或转换速率。

可以使用几种不同的解决方案测量电感。例如，LCR仪表使用内置信号发生器激励被测电感器，然后使用电桥平衡技术，测量设备阻抗。LCR仪表使用正弦波作为信号源。但在实际环境的电源中，信号是高电压高电流方波，因此，大多数电源设计人员首选在电源动态变化的环境下监测电感器行为，以获得更准确的信息。

使用示波器测量电感

测量实际电源中电感器最常用的工具是示波器。电感测量本身非常简单，只是探测流经磁性元件的电压和电流，在很大程度上与前面介绍的开关设备测量类似。





电感测量结果。这里，软件计算的电感为58.97微亨。

磁性功率损耗基础知识

磁性功率损耗影响着电源的效率、可靠性和热性能。有两种功率损耗与磁性单元有关：磁芯损耗和铜线损耗。

磁芯损耗

磁芯损耗由磁滞损耗和涡流损耗构成。磁滞损耗与DC通量频率有关，每单位容量磁滞损耗用下面的公式表示：

$$P_{Hyst} = \int H \cdot dB$$

其中：

- P_{Hyst} 是每单位容量的磁滞损耗。
- H 是场强
- B 是通量密度。
-

各种开关频率下的磁芯损耗与通量密度曲线。可以使用磁芯制造商的产品技术资料计算磁芯损耗，如图所示。这里，制造商指定了一三象限工作时正弦激励的损耗。制造商还指定了经验关系，来计算不同AC通量密度和频率下的磁芯损耗。

铜线损耗

铜线损耗源于铜绕组线的电阻。计算铜线损耗的公式如下：

其中：

P_{cu} 是铜线损耗。

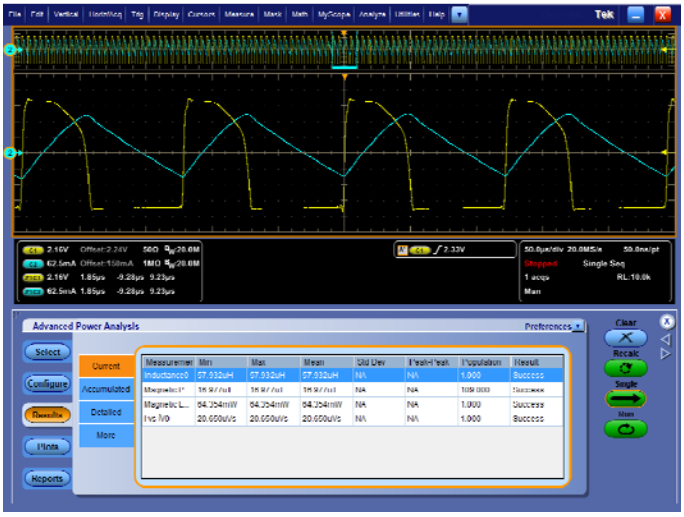
I_{rms} 是流经磁性元件的rms 电流。

R_{wdg} 是线圈电阻，这个电阻取决于DC电阻、趋肤效应和接近效应。

磁性属性基础知识

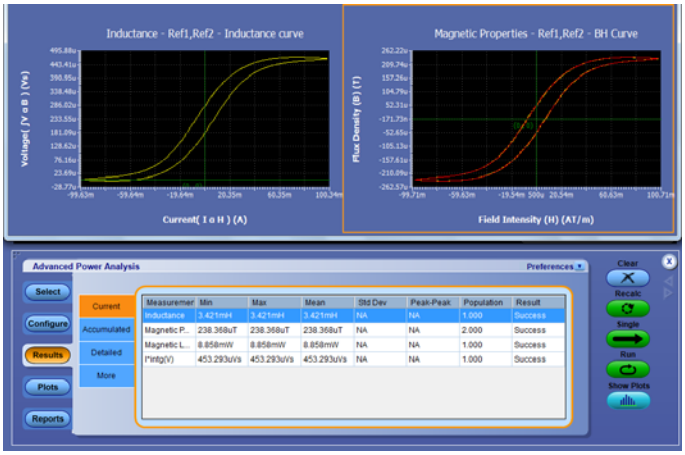
开关式电源必须在各种工作条件下保持可靠性。为实现最优性能，设计人员一般会使用制造商提供的B-H（磁滞）曲线，指定磁性元件、变压器和电感器。这些曲线定义了磁性元件磁芯材料的性能包络，必须在磁滞曲线的线性区域内，维护工作电压、电流、拓扑和转换器类型等因素。很明显，变量这么多，维护起来相当不易。检定磁性元件的工作区域，同时在SMPS 内保持工作，对确定电源的稳定性至关重要。测量程序包括汇制磁滞环路曲线及考察电感器和变压器的磁性属性。

泰克 DPO5000B 磁损耗测试：可以使用磁芯厂商的产品技术资料及运行电源测量软件的示波器测量结果，迅速得出总功率损耗和磁芯损耗。可以使用这两个值，计算铜线损耗。在知道了不同的功率损耗成分后，可以确定磁性元件上的功率损耗成因。磁性元件功率损耗计算方法在一定程度上取决于被测的元件类型。被测设备可以是单线圈电感器，也可以是多线圈电感器，还可以是变压器。



磁损耗测试

使用示波器测量磁性属性
专用电源测量软件可以大大简化示波器测量磁性属性的过程。在许多情况下，只需测量电压和磁化电流就可以了，软件会为您完成磁性属性指标的计算过程



B-H 曲线测试

某些电源测量软件还为磁性元件创建具体的B-H曲线，检定其性能。首先输入磁芯圈数、磁长度和横截面面积，然后软件会计算 B-H 曲线。

总结：
电源是几乎每种电源供电的电子产品不可分割的组成部分，开关式电源(SMPS)已经成为数字计算、联网和通信系统中的主导结构。一个开关式电源的性能或故障可能会影响昂贵的大型系统的命运。

为保证新兴SMPS设计的可靠性、稳定性、性能和一致性，唯一的方式是进行测量。SMPS 测量分成几大类，如有源设备测量、无源设备测量(主要是磁性元件)和电源质量测量。某些测量可以处理浮动电压和高电流，其它测量则要求数学密集型分析，提供有意义的结果。电源测量可能会非常复杂。
现代数字示波器已经成为检定和调试测量的首选工具。在配备相应的探测工具和自动测量软件时，示波器简化了挑战性的 SMPS 测量，提供了快速准确的测量结果。

电源原型版测试系统配置：

示波器：MDO3034/MDO4034C

电压探头：THDP02000

电流探头：TCP0030A

软件：MDOPWR

泰克官方微信

如需所有最新配套资料，请立即与泰克本地代表联系！

或登录泰克公司中文网站：cn.tek.com

泰克中国客户服务中心全国热线：400-820-5835

泰克科技(中国)有限公司
上海市浦东新区川桥路1227号
邮编：201206
电话：(86 21) 5031 2000
传真：(86 21) 5899 3156

泰克北京办事处
北京市海淀区花园路4号
通恒大厦1楼101室
邮编：100088
电话：(86 10) 5795 0700
传真：(86 10) 6235 1236

泰克上海办事处
上海市长宁区福泉北路518号
9座5楼
邮编：200335
电话：(86 21) 3397 0800
传真：(86 21) 6289 7267

泰克深圳办事处
深圳市深南东路5002号
信兴广场地王商业大厦3001-3002室
邮编：518008
电话：(86 755) 8246 0909
传真：(86 755) 8246 1539

泰克成都办事处
成都市锦江区三色路38号
博瑞创意成都B座1604
邮编：610063
电话：(86 28) 6530 4900
传真：(86 28) 8527 0053

泰克西安办事处
西安市二环南路西段88号
老三届世纪星大厦26层C座
邮编：710065
电话：(86 29) 8723 1794
传真：(86 29) 8721 8549

泰克武汉办事处
武汉市洪山区珞喻路726号
华美达大酒店702室
邮编：430074
电话：(86 27) 8781 2760

泰克香港办事处
香港九龙尖沙咀弥敦道132号
美丽华大厦808-809室
电话：(852) 2585 6688
传真：(852) 2598 6260