

数字存储示波器基础知识

本文摘要介绍数字存储示波器 (DSO) 的基础知识, 为读者了解 DSO 的功能和测量方法提供快速而全面的指导。

技术应用文章

示波器测量并在时间-电压图形中显示电压信号。在大多数的应用中, 图形显示信号是如何随时间变化的: 纵轴 (Y 轴) 表示电压, 横轴 (X 轴) 表示时间。

这种简单的图形能够说明关于信号的许多问题:

- 检查信号上的毛刺。
- 计算示波信号的频率。
- 说明是否有损坏的器件造成了信号失真。
- 说明信号的噪声程度, 以及噪声是否随时间变化。

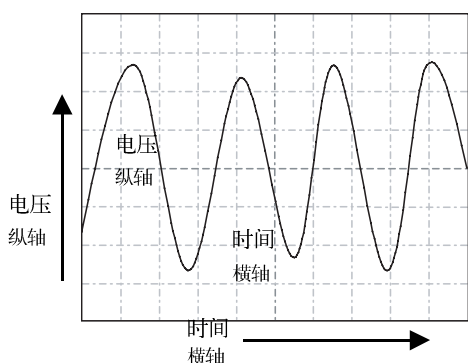


图 1. 时间-电压图形

相对于台式示波器来说, 现在的手持式数字存储示波器具有两项非常重要的优势: 电池供电和隔离的悬浮输入。这样的设计使得在 1000 V CAT III 和 600 V CAT III 类环境下的安全认证测量成为了可能——这正是高能应用中安全地诊断电气设备所非常需要的。

示波器和数字多用表 (DMM)

示波器和数字多用表 (DMM) 之间的区别可概括为“图形和数字”。数字多用表是一种精确测量离散信号的工具, 能够以高达 8 位的分辨率测量电压、电流或信号频率。但是, 它却不能通过直观的描绘波形来揭示信号强度、波形或信号的瞬时值。数字多用表也不能检测到会影响系统运行的瞬态尖峰信号或谐波信号。

示波器则为数字多用表的数值读数增加了丰富的信息。它在显示波形瞬态值的同时, 还能够显示波形, 包括其幅值 (电压) 和频率。有了这种直观的视觉信息, 就能够显示、测量和隔离对系统有着主要影响的瞬态信号。

如果需要定性、定量的测量, 则需要使用示波器; 利用数字多用表则能够高精度地检查电压、电流、电阻和其它电气参数。

采样

采样就是指为了储存、处理和显示等目的而将输入信号的一部分转换为离散的数字值的过程。每一采样点的量值都等于信号被采样时的幅值。

输入波形是以一连串点的形式出现在屏幕上的。如果这些点间隔太大, 难以被解释为波形, 则可以利用所谓内插的方法将其连接起来, 内插法就是利用线段或矢量将数据点连接在一起。

触发

利用触发控制, 用户可以稳定和显示重复性波形。

沿触发是最常见的触发形式。在这种模式下, 触发电平和斜率控制提供了基本的触发点定义。斜率控制决定是在信号的上升沿还是在下降沿触发, 而电平决定在信号沿的什么位置触发。

为了更大程度地控制和洞察信号现象, 您可以利用有些数字存储示波器的功能在输入波形上捕获触发点之前的事件 (“预触发”) 或触发点之后的事件 (“后触发”)。例如, 利用预触发或后触发功能, 可以捕获发生在一个信号的两次事件之间的尖锐脉冲。

脉宽触发是在一串脉冲的特定脉冲上进行触发, 它可以识别出脉冲信号中一次性的或偶发性的故障。在这种模式下, 您可以长期监测信号, 并在第一次发生持续时间 (或者说是脉宽) 在设定的限制条件之外或之内的脉冲时产生触发。目的就是隔离和显示满足预先设定的时间条件的脉冲。

单次触发对于捕获一次性的事件非常有用——例如电弧或继电器闭合。具有单次触发模式的数字存储示波器能够一直等待, 直到它接收到触发信号, 然后在事件发生的时候将自身设置为保持模式并存储信号。



Fluke 190 系列示波表具有 200 MHz 的带宽和 2.5 GS/s 的实时采样率。



具有 20 MHz 双通道输入的 Fluke 123 示波表能够显示多用表读数和波形。

视频触发是高级数字存储示波器的一项强大功能。视频信号是非常复杂的，且不具有重复性的、可以被隔离来使信号稳定的单值信号沿。现在的电子视频设备和系统所使用的信令协议的范围很广，一台有效的数字存储示波器应该能够识别主流的視頻协议并提供相应的触发功能。

设置

利用示波器捕获和分析未知波形的工作可以按部就班地进行，也可以是碰运气。但是，在大多数情况下，采用系统方法设置示波器则能捕获到稳定的波形，或者能够帮助用户确定如何设置示波器的控制装置才能捕获到波形。

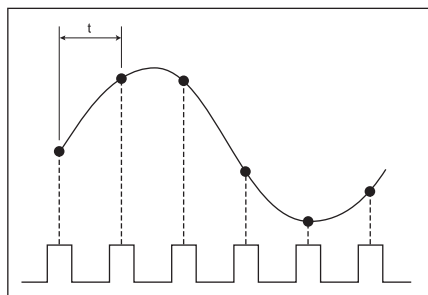


图2. 采样和内插。

1) 首先使用自动模式

先连接好地电势参考测试线，然后将探针连接到电路测试点。大多数示波器都能一次性自动设置或连续分析未知的输入信号。请按下 AUTO (自动) 按钮或确认示波器已经处于自动模式。

按下 AUTO (自动) 按钮通常会将示波器设置为自动调节三个关键的参数：

垂直灵敏度。调节垂直灵敏度，使垂直幅值跨越3到6个栅格。

水平定时。调节每个水平栅格表示的时间，使得在屏幕的宽度范围内可以显示波形的3到4个周期。

触发位置。将触发位置设置为垂直幅值的50%。根据信号的特性，这一动作可能会也可能不会产生稳定的显示。

这时，您应该看到轨迹：1) 位于显示屏的

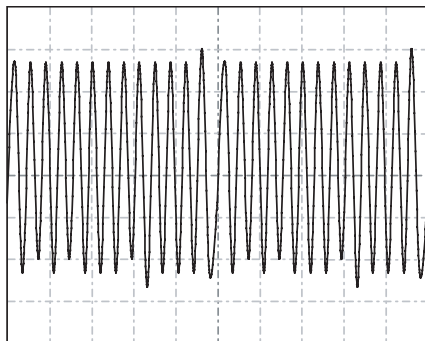


图3. 被调节至占3到6个栅格的未知轨迹。

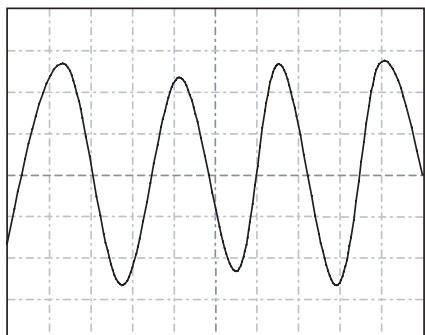


图4. 被调节至水平方向上显示3到4个周期的未知轨迹。

垂直范围范围之内；2) 至少显示波形的3个周期；3) 足够稳定，能够识别出波形的总体特性。接下来，开始微调设置。

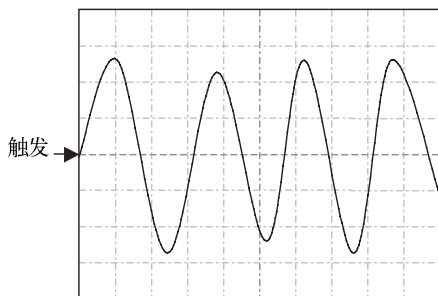


图5a. 在轨迹的50%处的触发点。

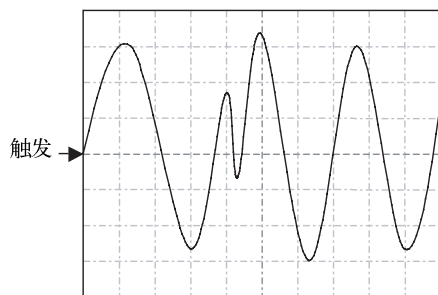


图5b. 触发点被设置为50%，但是由于第二个周期上前沿的畸变，多余的触发会造成显示不稳定。

2) 调节垂直和水平设置

首先调节水平定时，增大每个栅格的时间值，这样就能够看到未知波形比较大的时间跨度。再根据需要反向调节，将视图缩小到您希望看到的范围。

现在，调节垂直灵敏度，在垂直方向上展开波形，但是要确保波形的高点和低点不超出垂直栅格。

3) 调节触发设置

如果需要的话，调节触发设置，使显示的波形达到稳定。或者，您可以调节触发延迟以观察波形上的预触发和后触发详细信息。要始终先调节触发电平设置，使触发电平位于波形的上升沿或下降沿的重复性的单值点。

举例来说，将示波器的触发点设置为在上升沿、50%的电平处触发，下图则能说明显示的波形不稳定的原因。

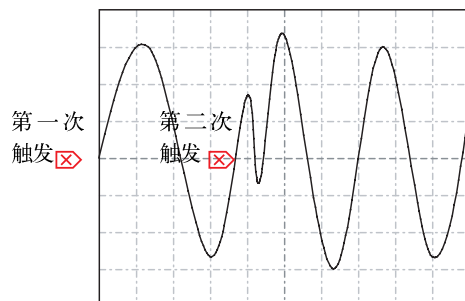


图6a. 第一次刷新时，示波器在第一个信号沿触发；在第二次触发时，示波器可能会在如图所示第二个触发点产生触发。

在根据触发1和2成功刷新之后，产生的轨迹将是不稳定的。

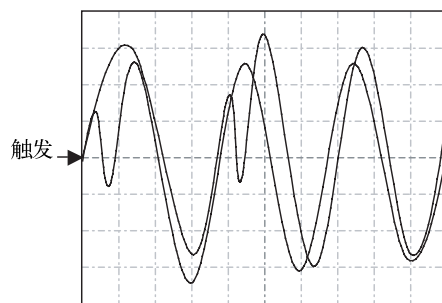


图6. 由于触发电平设置不正确而产生的不稳定波形。

但是, 仅仅是简单地手动将触发点调整至信号沿上重复性的单值点, 即可解决这一问题并产生稳定的波形视图。

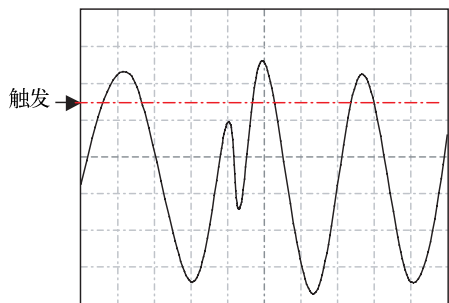


图 6c. 将触发电平调节至重复性的单值点, 正好超出了第二个周期上的畸变范围。

当信号为类似于脉冲串这样的复杂信号时, 则需要脉冲触发功能。利用这种方法, 触发电平和信号的下一个下降沿必须在指定的时间跨度内发生。一旦满足这两个条件, 示波器即会触发。

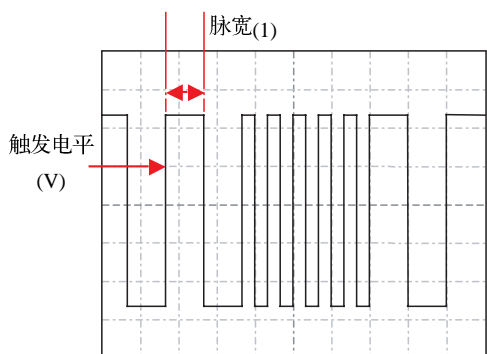


图 7. 利用脉宽触发功能, 用户可以将示波器设置为在由电平和时间定义的特定脉冲上触发。

另外一种方法是单次触发功能, 在这种触发条件下, 只有在输入信号满足设置的触发条件时示波器才会显示信号轨迹。一旦满足触发条件, 示波器就会采集信号并刷新屏幕, 然后冻结显示屏, 保持轨迹。

理解和判读波形

所见到的多数电子信号波形都是周期性重复信号, 并且符合已知的形状。以下是分析波形时需要考虑的因素:

形状。重复性的波形应该是对称的。也就是说, 如果将轨迹打印出来, 并将其剪成大小相似的两块, 两部分应该是相同的。如果有不同点, 则说明有问题。

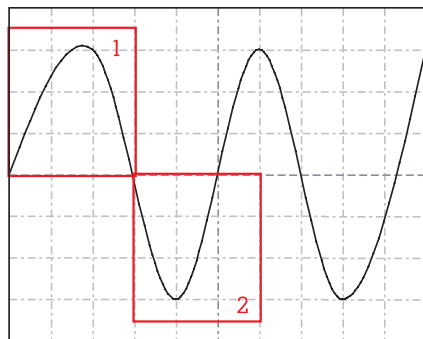


图 8. 如果波形的两部分不对称, 则信号可能就有问题。

上升沿和下降沿。波形的上升沿和下降沿会很大程度上影响到数字电路的时序, 尤其是方波和脉冲波。如果要以更大的分辨率观察信号沿, 则可能必须降低每栅格的时间值。

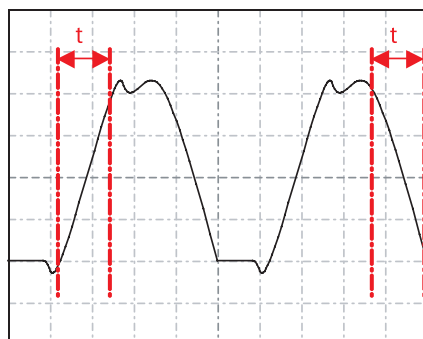


图 9. 利用光标和方格标记评估波形的前沿和后沿的上升和下降时间。

幅值。验证电平值在电路的工作技术指标范围之内。同时还检查一个周期与下一周期的一致性。监测波形, 检查是否有周期延长, 观察幅值的任何变化。

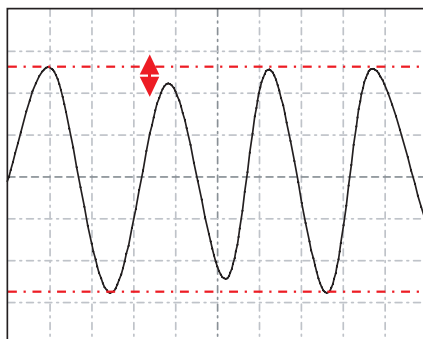


图 10. 利用水平光标判别幅值的波动。

幅值偏移。直流耦合输入, 并确定接地参考标记的位置。评估所有直流偏移, 观察偏移是稳定的还是波动的。

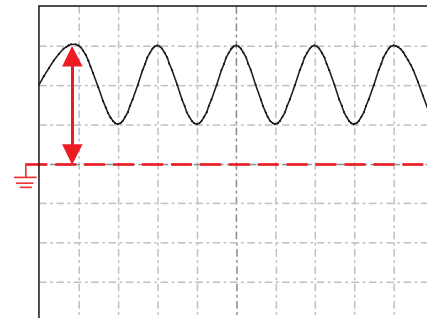


图 11. 评估波形的直流偏移。

周期性波形。

示波器和其它电路会产生恒定重复周期的波形。可以利用光标检查不一致的地方, 以时间为单位评估每一周期。

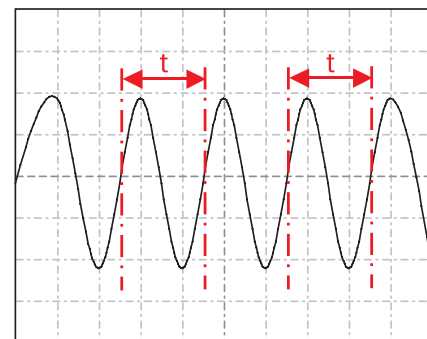


图 12. 评估周期-周期的时间变化。

波形异常

以下介绍波形易发生的典型异常现象, 以及这些异常现象的一般原因。

瞬态或毛刺。当波形来自于有源器件, 例如晶体管或开关时, 就会由于定时误差、传输延迟、接触不良或其它现象而产生瞬态信号或其它异常现象。

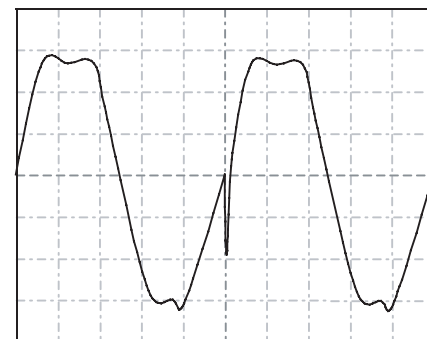


图 13. 在脉冲的上升沿上发生了瞬态信号。

噪声。有缺陷的电源电路、电路过载、串绕或邻近电缆的干扰都会引起噪声。噪声也可能是外部原因引起的,例如DC-DC转换器、照明系统和高能电路。

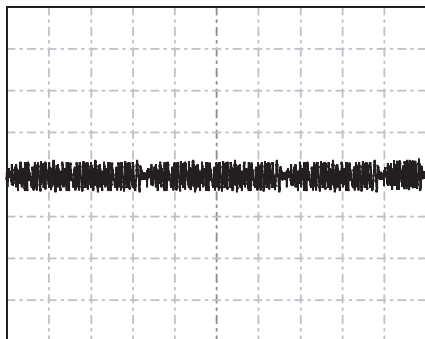


图14. 对地参考点的测量结果表明存在随机噪声。

振铃。振铃大多数发生在数字电路和雷达中,以及脉宽调制的应用中。振铃表现为从上升沿或下降沿向一个平坦直流电平的过渡。在检查严重的振铃现象时,请调节时基设置,使得能够清晰地看到跳变的波形或脉冲。

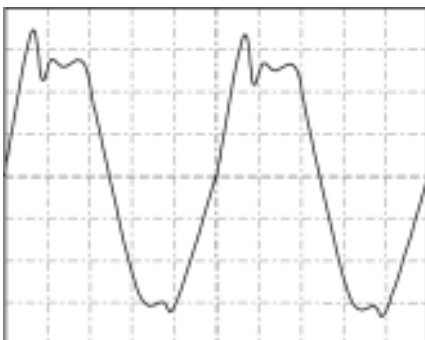


图15. 在方波的顶部发生了严重的振铃现象。

瞬间波动

被测量信号的瞬间变化通常来自于由外部影响,例如电源的骤降和浪涌、被连接到同一电网的高能设备的动作,或者是连接松动造成的。请使用数字存储示波器上最慢的时基设置或者无纸记录功能或“滚动”模式。首先从输入开始,并观察在较长的时间跨度上采集的波形,查找这些问题的根源。

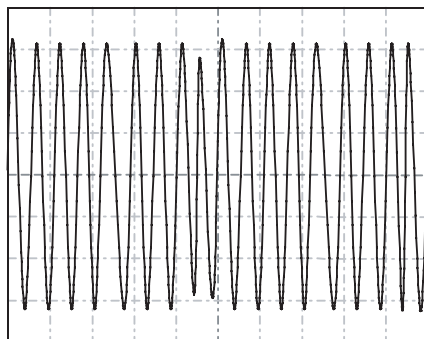


图16a. 正弦波的幅值在大约1.5个周期内发生了瞬间波动。

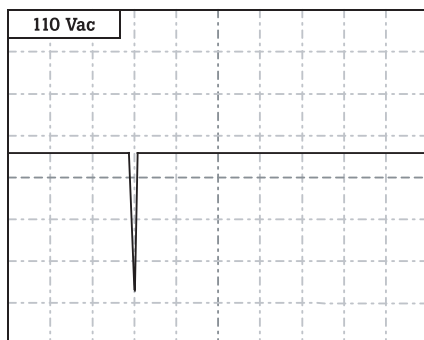


图16b. 利用具有无纸记录模式的示波器,可以绘制出随时间变化的幅值(电压电平)。

漂移。漂移——或者说是信号电压随时间的微小变化——的诊断是非常麻烦的。这种变化往往非常慢,难以检测到。温度变化和老化都会影响到无源电子器件,例如电阻、电容和晶振。需要诊断的故障是参考直流电源或振荡器电路中的漂移。往往唯一的解决方案就是长期监测测量值(直流电压、频率等)。

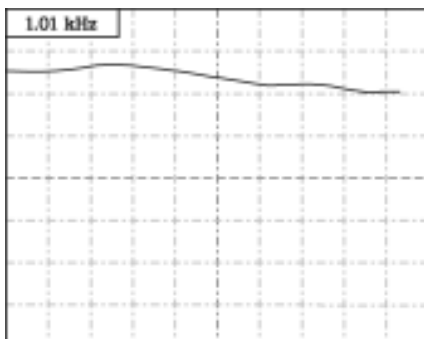


图17. 对已经在长时间周期(几天甚至几周)内进行了趋势绘图的晶振进行频率测量,可以突出由于温度变化和老化引起的漂移的效果。

诊断故障

尽管成功的故障检测是一项科学和一种艺术,但是采用故障检测方法,并依赖于先进的数字存储示波器的功能,则会大大简化排障过程。

良好的故障检测习惯能够节省时间,少走弯路。众所周知的KGU(Known Good Unit)方法是经过时间考验的,它能够达到这两个目的。KGU方法基于一个简单的原理:工作正常的电子系统在其电路的关键节点会呈现可预知的波形,并且这些波形可以被捕获和储存。这类参考库可以被保存在数字存储示波器中做为在线资源,或者可以被打印出来做为参考文档。如果该系统或相同的系统随后发生了故障,则可以从有故障的系统(被称为被测设备——DUT)中捕获波形,并与KGU方法中得到的对应波形进行比较。因此,即可确定是修理还是更换DUT。

在建立参考库时,首先要确定DUT上合适的测试点或节点。现在,在KGU(已知良好的设备)上进行测试,从每一节点捕获波形。根据需要对波形进行注释。

养成归档关键波形和测量结果的习惯。事实证明,如果有参考波形可供比较,则会为将来的故障检测提供宝贵的信息。

排障

无论出现以下哪种排障的情况,请切记观察波形来检查快速变化的瞬态或毛刺是非常重要的,即使抽查波形的结果表明没有异常现象亦是如此。这些事件都很难捕获的,但是利用现在数字存储示波器的高采样率,以及有效的触发功能,使得捕获这些事件成为了可能。

用KGU方法检查DUT。这种方法假设您已经测试过了KGU,并且建立了参考库。

1. 确认DUT和KGU处于相同的工作模式。
2. 首先从系统或方框图的高端开始,利用DSO检查是否有基本的信号。例如,检查线电压电源,以及其后为不同的子

系统供电的直流电源电压。这就要求在系统的主要节点探测主要的输入和输出信号。

3. 当工作模式发生变化时，比较关键节点的信号，检查是否有故障发生。当有来自两个设备的信号可用时，您有两个选择：

- 用数字存储示波器上的通道 1 显示 KGU 的活动波形，在通道 2 上显示 DUT 的活动波形。
- 捕获来自于 KGU 的一个轨迹，然后用其覆盖在来自于 DUT 的轨迹之上。进行波形比较或通过 / 失败测试。

继续以上过程，直到发现 DUT 和 KGU 波形之间的差异。

利用电路图检查 DUT。这种方法假设 DUT 没有 KGU 或波形参考库，但是可以找到 DUT 的线路图。

1. 查看电路图，了解 DUT 的基本工作原理。
 - 类似于晶振、放大器和信号调节器（衰减器、滤波器和分配器）等这样的模拟电路应该呈现出一致的波形模式。

- 类似于逻辑门、开关和处理器这样的数字电路显示的波形都应该具有可预测的幅值、脉冲周期，甚至是脉冲图形。
2. 首先从系统或方框图的高端开始，利用 DSO 检查是否有基本信号。例如，检查线电压电源，以及其后为不同的子系统供电的直流电源电压。这就要求在系统的主要节点探测主要的输入和输出信号。
 3. 改变 DUT 的工作模式，利用 DSO 的储存能力捕获和比较波形。
 - 将一个理论上是“良好”的波形与 DSO 显示的波形进行比较。尽量判别任何明显的异常现象。

利用水平或垂直光标快速地判别轨迹的时间或幅值是否在电路设计方建议的时间或幅值范围之内。

复杂的 DUT，没有电路

图表。这种方法假设 DUT 是相当复杂的系统，没有 KGU 可用，只有有限的 DUT 资料可用。

1. 研究电路板，查找公用的器件和电路，判断出系统中高端的测试点，检查是否有基本的信号。如前所述，从一个点开始，向后探测系统中主要节点的主要输入和输出信号。
2. 改变工作模式，比较关键节点的波形，检查是否有故障发生。保存这些波形。
3. 如果通过检查 DUT 或分析关键电路节点的波形没有发现有明显的故障，利用 DSO 的存储功能则可以请求他人的帮助。
 - 识别 DUT 上“有嫌疑”的波形。
 - 利用 DSO 的导出或输出模式将这些波形文件保存为位图 (.bmp) 格式。
 - 通过电子邮件将文件提交给世界各地的资深人士或工厂专家，请求帮助解决电路故障。
4. 请外部的专家逐一检查每一关键的节点，逐一排除明显的好的节点，逐渐缩小范围，将注意力集中于明显故障或有嫌疑的节点。