

低电容探头最大限度地降低 对电路操作的影响

应用指南

传统无源探头 优势	传统无源探头 劣势
<ul style="list-style-type: none"> ✓ 动态范围宽 ✓ 价格低 ✓ 机械结构坚固 ✓ 高输入电阻 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ 带宽低 ✗ 输入电容高 ✗ 要求手动低频补偿 ✗ 高频补偿要求制造商提供服务

表 1. 传统无源探头的优势和劣势。

	泰克 TPP1000、TPP0500B 和 TPP0250 探头 优势	传统无源探头 劣势
降低拥有成本	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 动态范围宽 ✓ 价格低 ✓ 机械结构坚固 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ 带宽低 ✗ 输入电容高 ✗ 要求手动低频补偿 ✗ 高频补偿要求制造商服务
改善测量精度	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 高达 1 GHz 带宽 ✓ 输入电容低 ✓ 输入电阻高 	
缩短设置时间	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 自动低频补偿 ✓ 自动高频补偿 	

表 2. 泰克 TPP1000、TPP0500B 和 TPP0250 的优势。

引言

本应用指南介绍了泰克高带宽、低电容无源电压探头怎样降低示波器用户的总拥有成本、改善性能和测量精度、节省用户设置时间。大多数示波器标配的无源电压探头都提供了低成本通用探测解决方案。一般来说，这些探头没有有源电压探头的性能，但坚固耐用、动态范围宽，适合查看信号。表 1 描述了传统无源探头解决方案的优势和劣势。

TPP1000、TPP0500B 和 TPP0250 重新界定了无源探头产品类别的性能，提供了这类产品以前没有实现的技术指标。这些探头设计用于泰克 MDO3000、MDO4000B、MSO/DPO4000B 和 MSO/DPO5000 系列示波器。这种性能水平是通过结合使用示波器和探头内部的电路来实现的。通过改善带宽、输入电容和自动补偿探头，传统无源探头的劣势被转化成优势，如表 2 所示。

本应用指南将更详细地介绍：

- 降低拥有成本
- 改善测量精度
- 缩短设置时间

降低拥有成本

标配无源探头的局限性（特别是在 1 GHz 系统上）迫使用户购买有源探头，这明显提高了用户的整体投资成本。泰克 TPP1000、TPP0500B 和 TPP0250 探头弥补了传统无源探头与性能更高、价格也更高的有源探头之间的空白。泰克是唯一在 1 GHz 上把探头带宽与示波器探头带宽匹配起来的厂商。由于业内领先的无源探头技术指标及自动低频补偿和高频补偿技术，TPP1000、TPP0500B、TPP0250 降低了用户的拥有总成本，进一步提高了示波器的投资回报。

改善测量精度

许多因素影响着头为示波器提供信号的能力，用户应考虑以下因素：

- 性能指标：探头的带宽和上升时间是多少？
- 探头尖端的低输入电容：探头附件对性能有哪些影响？
- 探头负载：探头给测试点上的信号带来了多大的负载？



图 1. 泰克、力科和安捷伦标配无源电压探头的上升时间

性能指标

通用无源探头的优势在于坚固耐用，而不是性能。这种矛盾长期以来一直未能得到解决，因为这些探头主要用来观察低速信号。这种矛盾的存在，还源于研制坚固耐用、高性能、能够测量几百伏特的探头面临着重大的设计挑战。有源探头的带宽一般为 1 GHz 以上，测量的电压低于 10 V（部分泰克探头可以高达 40 V），缺少无源探头的强健性。无源探头的带宽一般在 500 MHz 或以下，测量几百伏的电压，坚固耐用。TPP1000、TPP0500B 和 TPP0250 是唯一同时提供优异性能、宽动态范围及日常使用所需的坚固性的探头。带宽是示波器和探头的主要性能指标。带宽是衡量频响的指标，示波器主要是时域仪器。示波器显示的数据是幅度随时间变化图，频域中看上去很小的差异可能会在时域中产生很大的影响。大多数示波器用户需

要拥有优秀阶跃响应的示波器和探头，因为它可以更好地表明探头输出在示波器显示屏上的显示结果。为正确显示系统阶跃响应，应在测量系统中注入快速干净的阶跃信号。在评估探头上升时间时，要求信号的边沿速率快于探头所能支持的边沿速率。看一下图 1 中的截图，其比较了泰克 TPP1000 探头与力科和安捷伦标配无源探头的上升时间。

每只探头都使用探头的短接地弹簧连接到相同的测试夹具上，以实现最优性能。如上面的截图所示，上升时间为 240 ps 的快速干净的阶跃信号被确立为参考基准，与探头的阶跃响应进行对比。泰克 TPP1000 的上升时间最快 (443.6 ps)，波形幅度和形状与参考基准相同，而过冲很小。TPP1000 无源探头捕获拥有快速边沿速率的信号的能力最强。

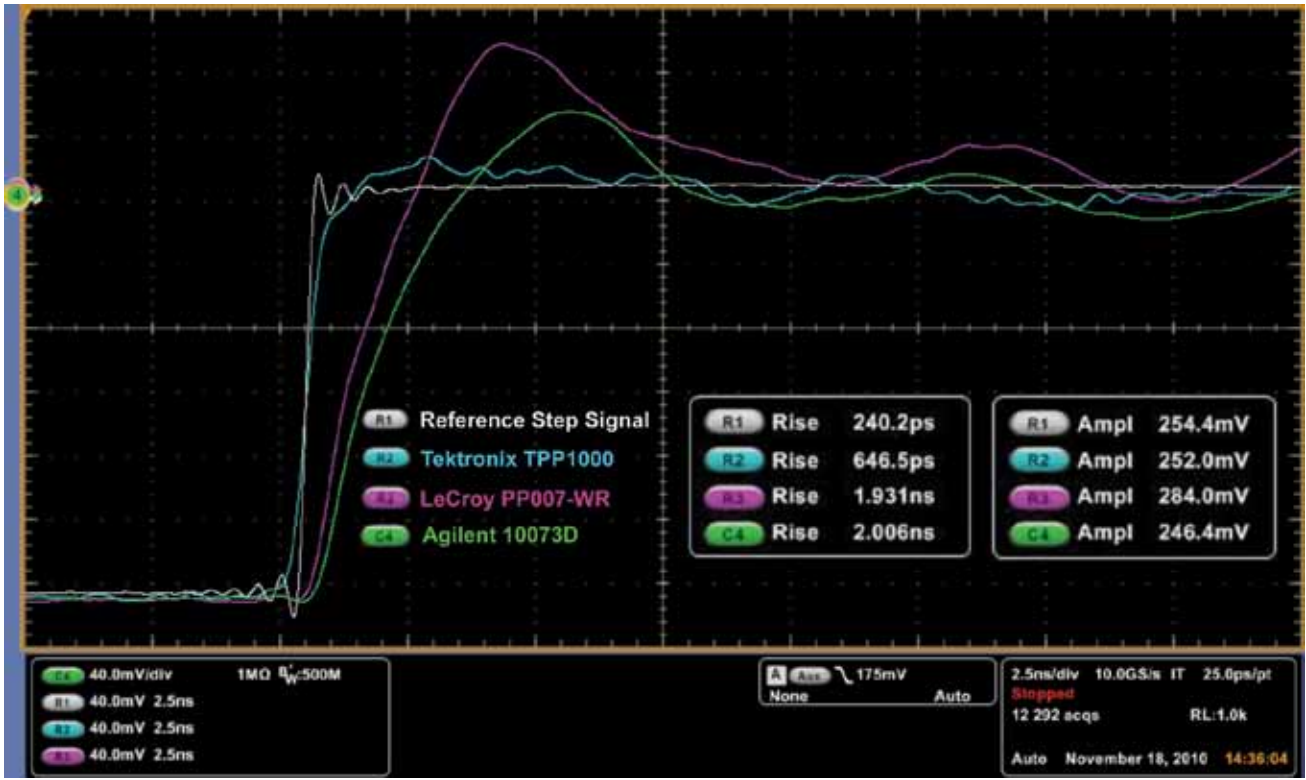


图 2. 连接长地线的标配无源电压探头的上升时间。

探头尖端的低输入电容

由于标配无源探头主要用来观察信号，大多数用户会把一条长探头地线连接到接地上。通过使用长地线，可以更简便地在电路板周围，把探头移动到各个测试点，而不必连接和重连接地。短接地弹簧提供了最佳性能，但接地可能不会一直位于弹簧的到达范围内。长地线长 6 英寸 (含) 以上，可以更简便地获得接地连接，但长地线增加了电感，降低了性能。随着地线长度提高，测量中增加的电感也会提高。电感和电容与频率有关，在探头电感和电容提高时，探头性能会下降。例如，连接 6 英寸地线的探头实现的性能和精度都要高于连接 12 英寸地线的相同探头。

可以采用多种方案，解决地线导致的性能问题，如使用更短的地线，或找到输入电容较低的探头。TPP1000、TPP0500B 和 TPP0250 在探头尖端提供了 <4 pF 的输入电容，而其它标配无源探头产品提供的输入电容 ≥ 9.5 pF。在这些泰克无源探头中，用户可以连接更长的地线，而不会因探头输入电容较高而导致信号劣化。图 2 说明了泰克、力科和安捷伦标配无源探头在连接长探头地线时的阶跃响应。

增加长探头地线对性能的影响非常大。探头的上升时间下降，输入信号出现振铃、过冲提高、幅度精度下降。TPP1000、TPP0500B 和 TPP0250 使得用户在观察信号时可以方便地使用更长的探头接地，而不会出现明显损耗，如性能和精度下降。

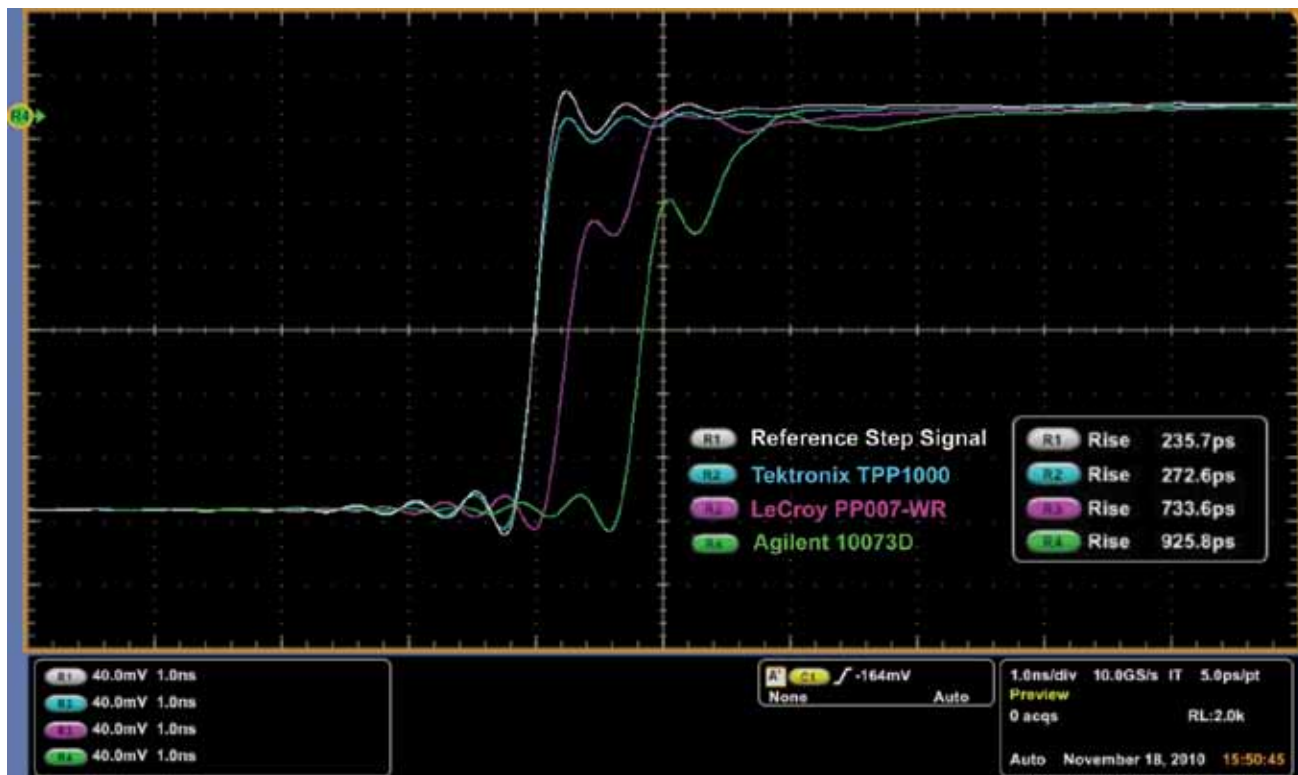


图 3. 探头负载对标配无源电压探头的影响。

探头负载

无源探头在探头尖端的输入电容和输入电阻指标非常重要，因为它影响着被测电路。在外部设备（如探头）连接到测试点上时，它会表现为信号源从电路吸收的电流上产生额外的负载。这种负载或吸收的信号电流会改变测试点后面的电路操作，改变测试点上看到的信号。理想的探头应该有无穷大的阻抗，但这是不可能的，因为探头必须吸收一定少量的信号电流，以在示波器输入上积累信号电压。探头将一直感应部分信号源负载，挑战在于使其保持在尽可能低的水平。

问题最大的负载是由探头尖端的电容引起的。对低频，这种电容拥有非常高的电抗，对被测电路影响很小或没有影响。在频率提高时，电容电抗会下降，频率越高，电容负载越高。通过降低带宽，提高上升时间，电容负载会影响测量系统的带宽和上升时间特点。TPP1000、TPP0500B 和 TPP0250 提供的输入电容明显要低于现有的高阻抗通用无源探头。这些探头在探

头尖端的输入电容 $< 4 \text{ pF}$ ，明显低于非泰克探头中提供的 $\geq 9.5 \text{ pF}$ 的输入电容。图 3 是泰克 TPP1000 与力科和安捷伦标配无源探头的探头负载对比结果。

白色轨迹是输入信号波形，其它轨迹显示了在探头连接到测试点上时参考波形的变化情况。要记住，这个图中显示的波形并不是探头的输出，而是显示了探头对测试点上的信号的影响。蓝色轨迹显示了 TPP1000 对源信号的负载影响最小，因为它与参考波形接近程度最高，对上升时间影响最小。非泰克探头新增的输入电容对性能和精度都有影响。如上所述，电容电抗在较高频率上下降，电容负载的影响随着频率提高而加大。探头电容越高，在更高频率上的负载越大，这也就是为什么力科和安捷伦负载信号前面有一个圆角，前沿是方波高频成分所在的位置。在探测更快速的信号时，非泰克探头会更明显地使源信号失真，降低测量精度。



图 4. 低频探头补偿

缩短设置时间

由于探头和示波器输入特点变化，通用无源探头要求低频补偿。用户可能并不知道要求低频补偿，可能会忘了这一规程，或者可能会放弃低频补偿，以节约时间。如图 4 所示，必须使用调节工具补偿探头输出，直到响应平坦化，如下面的“正确补偿”实例所示。

除了在所有无源探头上必需进行低频补偿及进行常见用户调节外，一般还要求由制造商的服务部门执行高频补偿。用户一般不能接触高频补偿调节点，可能要求用户损坏补偿盒外面的标签才能接触到这些点。这种补偿还可能要求专用设备，如校准发生器和专用探头适配器，才能进行必要的调节。高频补偿校正了直到前沿的畸变以及长期平坦度，如图 5 所示。

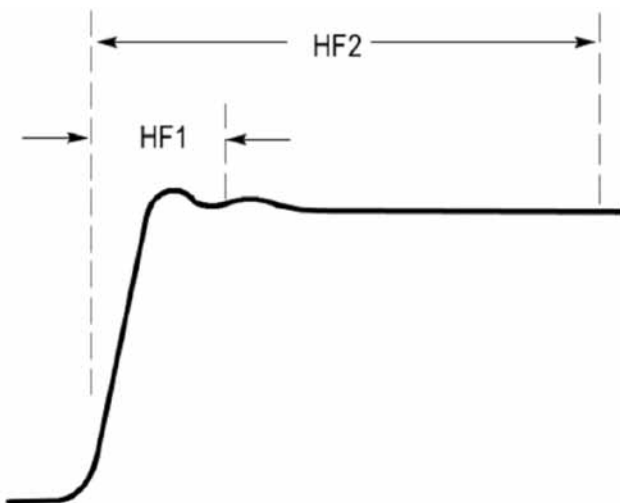


图 5. 高频探头补偿。

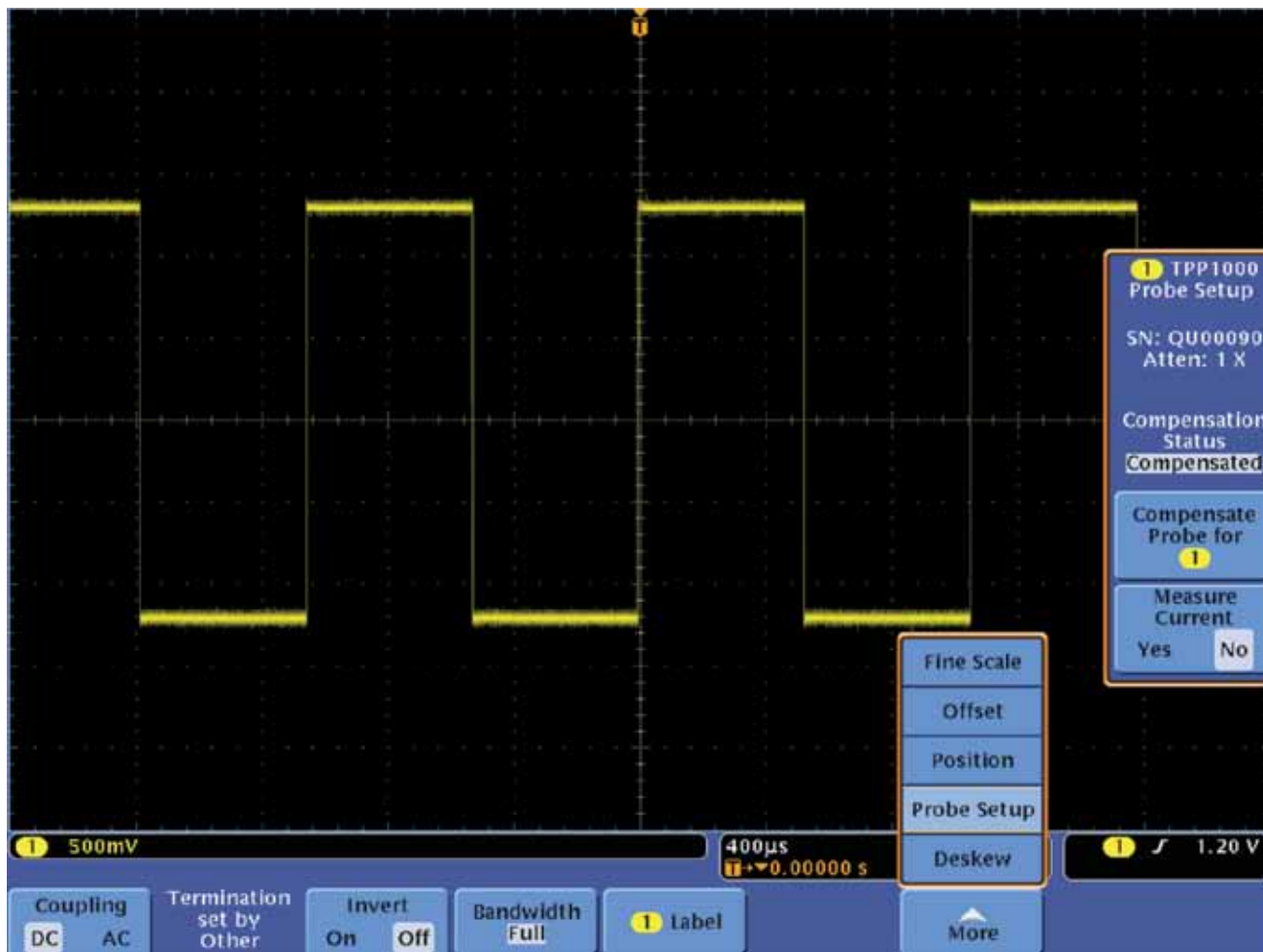


图 6. 自动低频和高频探头补偿。

在连接到兼容的泰克示波器时，TPP1000、TPP0500B 和 TPP0250 能够自动进行低频和高频补偿。不管是低频补偿还是高频补偿，TPP1000、TPP0500B 和 TPP0250 所需的时间都要低于手动调节标配无源探头进行低频补偿所需的时间。在 TPP1000、TPP0500B 和 TPP0250 中，当探头第一次连接到一条通道上

时，通过把探头尖端和接地保持在示波器的 PROBE COMP 引脚上，然后选择“Compensate Probe for <channel number>”，可以简便地补偿探头。图 6 是选择实例。这一规程所需的时间不到 5 秒，在拆下和重连探头时，补偿结果存储在示波器中。示波器能够为每条通道存储多只探头的补偿结果。

伸缩引脚

TPP1000、TPP0500B 和 TPP0250 标配可更换硬尖端和伸缩引脚组件。伸缩引脚尖端装有弹簧，引脚上的压缩程度较少，可以建立良好的电气接触，因此用户不必使劲按下探头尖端。进行良好接触要求的力是一个重要指标，这基于多种原因。第一，用户在操作示波器时不必着重让手保持正确位置。通过安装伸缩引脚，探头保持恒定的压力，为用户提供了一定的压力回力，以保持良好接触，在使用探头观察信号时要更加舒适。此外，在接触不好或示波器上没有出现预期信号时，用户一般会在探头上用更大的力气往下按，这种加大的力气可能会导致探头无意中滑离测试点，无意中接触相邻信号，可能会损坏测试设备或被测器件。

总结

TPP1000、TPP0500B 和 TPP0250 彻底改变了无源探头产品类别的性能水平，许多指标是这类产品中以前没有实现的，把传统无源探头的劣势转化成了优势。这些探头弥补了通用无源探头与成本较高的有源探头之间的空白，同时实现了无源探头和有源探头的最大优势：高性能，低成本，能够测量数百伏的动态范围，低输入电容，坚固耐用，适合日常使用。

由于业内领先的无源探头指标和自动补偿功能，TPP1000、TPP0500B 和 TPP0250 降低了用户的拥有总成本，为示波器投资增加了巨大的价值。

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
上海市徐汇区宜山路900号
科技大楼C楼7楼
邮编: 200233
电话: (86 21) 3397 0800
传真: (86 21) 6289 7267

泰克深圳办事处
深圳市福田区南园路68号
上步大厦21层G/H/I/J室
邮编: 518031
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
武汉市解放大道686号
世贸广场1806室
邮编: 430022
电话: (86 27) 8781 2760/2831

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

有关信息

泰克公司备有内容丰富的各种应用文章、技术简介和其他资料, 并不断予以充实, 可为从事前沿技术研究的工程师提供帮助。请访问泰克公司网站 cn.tektronix.com



版权 ©2014 年, 泰克有限公司。版权所有。Tektronix 产品, 不论已获得专利和正在申请专利者, 均受美国 and 外国专利法的保护。本文提供的信息取代所有以前出版的资料。本公司保留变更技术规格和售价的权利。TEKTRONIX 和 TEK 是 Tektronix, Inc. 的注册商标。本文提及的所有其它商号分别为其各自所有公司的服务标志、商标或注册商标。

01/14 EAWWWW

51C-26294-3

Tektronix®