

是德科技

示波器波形捕获率决定捕获  
偶发事件的概率

应用指南



# 引言

## 如何提高找出偶发毛刺的几率

工程师在评测各个示波器的性能时往往会忽略波形捕获率，但这个指标极其重要——有时与厂商标榜的传统技术指标同样重要（包括带宽、采样率和存储器深度）。在显示屏上查看重复捕获的波形时，该示波器的波形捕获率可能看上去很快，但这种“快速”也是相对的。例如，每秒钟几千个波形看上去很真实并且很快；但从统计学上讲，这种速率在您捕获随机和偶发事件（信号每出现一百万次才有一次事件）时会显得非常慢。

当前示波器的快速捕获率之所以重要，有三个原因。首先，如果示波器的波形更新非常慢，那么会让使用示波器的人感到很不方便。如果您旋转时基控制，您一定希望示波器可以立即响应，而不是等到示波器完成数据处理几秒钟之后才有所响应。其次，快速波形捕获率可改善示波器显示质量，通过调节显示强度来显示微小的波形细节，例如噪声和抖动。但最重要的是，快速波形捕获率可提高示波器捕获随机和偶发事件的几率，从而使您不必再为此花费更多的调试时间。

是德科技公司的 InfiniiVision 系列示波器不仅能够在您只使用示波器通道时提供最快的波形捕获率（高达每秒 1,000,000 个波形），而且在您使用逻辑采集通道和 / 或串行总线解码时，也是业界唯一能够保持这种快速捕获率的 MSO。尽管其他厂商可能声称其 MSO 波形捕获率较快，但当您使用逻辑通道和 / 或串行总线解码时，他们的示波器的捕获率将明显下降。

本应用指南通过同类示波器的测量案例，比较了不同厂商的 MSO 捕获异常事件的几率。但您首先需要了解影响示波器捕获率的几个因素。随后，该指南将为您介绍如何计算捕获偶发事件的几率。

## 了解示波器静寂时间

在您调试新设计时，波形和解码捕获率极为重要，尤其是当您尝试找出并调试偶发或间歇发生的异常时，这是最难解决的问题。更快的波形和解码捕获率可提高示波器捕获偶发事件的几率。要知道这是为什么，首先您必须了解什么是示波器的“静寂时间”（有时也称为“死区时间”）。所有示波器都有“静寂时间”，如图 1 所示。“静寂时间”是指示波器两次采集之间（即示波器处理上一个捕获波形，然后将其显示在示波器显示屏上）的时间。在此处理过程中或静寂时间内，示波器“无视”您正在调试的设计中出现的任何信号活动。

请注意图 1 中突出显示的毛刺发生在示波器的静寂时间内。在两次示波器采集周期之后，这些毛刺不会在示波器屏幕上显示。当您知道设备的捕获速率时，可轻松计算示波器的静寂时间百分比。示波器的静寂时间百分比等于示波器采集周期减去屏幕上捕获时间得出的值和示波器采集周期的比率。示波器的采集周期是示波器波形捕获率的倒数，必须根据所用的特定设置条件进行测量。

以下方程总结了示波器的静寂时间百分比的计算方法：

$$\begin{aligned} \% DT &= \text{示波器的静寂时间百分比} \\ &= 100 \times [(1/U) - W]/(1/U) \\ &= 100 \times (1 - UW) \end{aligned}$$

where

$$U = \text{示波器测得的捕获率}$$

and

$$W = \text{显示捕获窗口} = \text{时基设置} \times 10$$

然而，示波器的静寂时间要比屏幕上捕获时间长了几个数量级，即便是拥有极高捕获率的示波器也是如此。这是多数示波器厂商竭力回避的一个事实。

也就是说，通过示波器来采集偶发事件和复杂疑难事件，纯粹是以几个不同的设置参数为基础的几率游戏。事实上，示波器捕获偶发事件的几率和掷色子时猜中哪一面向上的几率算法类似。首先我们来看一下掷色子的几率，其次再讨论它与示波器捕获几率之间的关联。

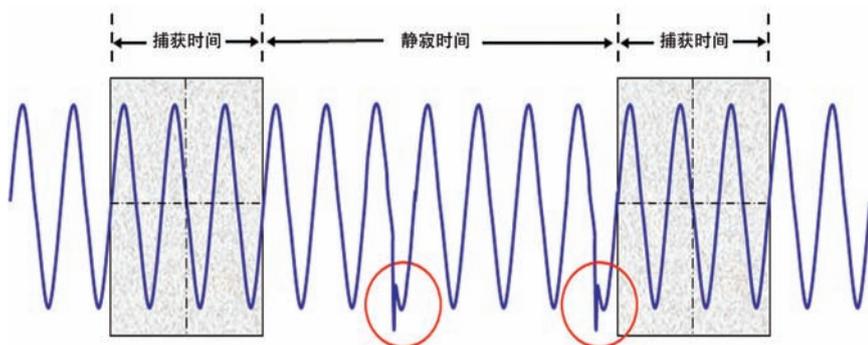


图 1. 示波器静寂时间和捕获时间。

## 掷色子的启示

当您一次掷一个色子（六面）时，某一面向上的几率是 1/6，非常好算！那么掷两次色子时，至少一次某一面向上的几率是多少呢？如果不认真思考，有人可能会直观地认为几率是 2/6 或 33.3%。假设这种推断正确，那么掷 10 次色子时至少一次某一面向上的几率岂不是大于 100%？这显然是不可能的。“S”面的色子掷“N”次时，至少一次某一面向上几率 (PN) 的百分比为：

$$P_N = 100 \times (1 - [(S-1)/S]^N)$$

为了便于理解，实际上先考虑计算某一面不向上的几率作为相反的结果要比直接计算某一面向上的几率更简单。掷色子时某一面不向上的几率是“(S-1)/S”。因此一个六面的色子某一面不向上的几率是 5/6。掷色子的次数 (N) 越多，这一面一直不向上的几率就成指数下降。也就是说，至少出现一次这一面向上的几率逐步增加，但绝不会达到或超过 100%。

对于示波器捕获率来说，“S”是异常事件的平均出现时间与示波器显示窗口时间的比率。例如，如果一个毛刺每 10 ms（每秒 100 次）出现一次，而示波器时基设置为 20 ns/格，则屏幕上捕获时间为 200ns，那么  $S = 10 \text{ ms}/200 \text{ ns}$  既 50000。

在本例中，即是一个 50000 个面的色子，您可以借助图 2 中的色子想象一下，出现异常波形的那一面向上的几率。因此仅一次采集就可捕获毛刺的几率是 1/50000，而无法捕获毛刺的几率是 49999/50000。



图 2. 仅有一面带有“毛刺”的多面色子

为了在固定时间段内提高捕获偶发毛刺的几率，示波器必须多次捕获信号，而且越快越好。这就是方程中要加入的示波器波形捕获率因数。“N”是指示波器的捕获数量，等于示波器波形捕获率乘以适当的观察时间。观察时间是指观察示波器屏幕上的波形的时间，以确定将探头移到另一个测试点之前状态是否正常。对于示波器来说，异常事件捕获几率方程可简化为：

$$P_t = 100 \times (1 - [1 - RW]^{U \times t})$$

式中

$P_t$	=	在“t”秒内捕获异常事件的几率
t	=	观察时间
U	=	示波器的测量波形捕获率
R	=	异常事件发生率
W	=	显示捕获窗口 = 时基设置 × 10

## 毛刺捕获比较

使用上述几率方程和静寂时间方程式，可以对两个具有相似性能特征和价位的 500-MHz 带宽示波器进行测量比较。

在进行比较测量时，使用真实电路来生成一个随机亚稳状态（偶发毛刺），平均每秒生成大约 5 次。分别启用每个示波器的默认设置（Default Setup）。由于我们需要观察的毛刺长度为 5 至 15 ns 的跨度，因此针对这个特定测量，我们将时基设置为最佳的 10 ns/格。为了能让每个示波器实现最高捕获率，我也没有开启其他的特殊功能，比如测量、波形运算、串行总线分析，或数字通道采集等。每个示波器开启 5 秒钟的余辉，但这不会影响它的最佳波形捕获率。使用示波器的默认上升边沿触发条件，触发电平设为 +1.40 V；在采集过程中出现的亚稳状态可以在屏幕中央看到。为了确定示波器捕获毛刺的几率，在计算中假定 5 秒是合适的观察时间。

从图 3 中可以看到 Keysight 3000 X 系列示波器以 1,000,000 个波形/秒的波形捕获率能够在 5 秒钟内可靠地捕获多次随机和偶发亚稳状态。

通过以下计算方程可以算出 Keysight 3000 X 系列示波器的静寂时间百分比：

$$\% DT = 100 \times (1 - (1,000,000/s \times 100 \text{ ns})) = 90\%$$

当时基设置为 10 ns/格时，尽管示波器的静寂时间百分比约为 90%，可能感觉会显得过长，但在 5 秒内捕获毛刺的几率实际上非常高，通过以下几率计算方程得出：

$$P_{(5s)} = 100 \times (1 - [1 - (5/s \times 100 \text{ ns})]^{(1,000,000/s \times 5s)}) = 91.8\%$$

使用 Tektronix DPO/MSO3000 系列信号示波器，测量结果有很大差异，如图 4 所示。尽管该示波器所宣称的波形捕获率高达 55,000 个波形/秒，但是当我们在 10 ns/格进行操作时，其最大捕获率仅为 2,600 个波形/秒。下面是在相同测量条件下，Tektronix MSO3000 系列示波器的静寂时间百分比：

$$\% DT = 100 \times (1 - (2600/s \times 100 \text{ ns})) = 99.97\%$$

在 5 秒钟过后，通过 Tektronix 示波器我们无法观察到偶发亚稳状态。原因是静寂时间太长，从而导致捕获毛刺的几率极低。假设信号中的问题信号发生概率较低，并且您愿意等，那么该示波器最终会捕获到这个亚稳状态。以下是使用 Tektronix DPO/MSO3000 系列示波器时在 5 秒观察时间后捕获毛刺的几率。

$$P_{(5s)} = 100 \times (1 - [1 - (5/s \times 100 \text{ ns})]^{(2600/s \times 5s)}) = 0.65\%$$



图 3. 当捕获率为每秒钟 1,000,000 个波形时，Keysight MSO/DSO3000 X 系列示波器可靠地捕获偶发亚稳状态。

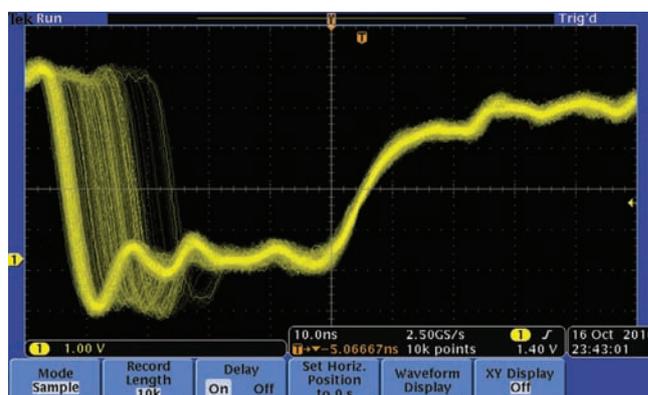


图 4. 当捕获率为每秒钟 2,600 个波形时，Tektronix DPO/MSO3000 系列示波器无法捕获偶发亚稳状态。

## 确定示波器的实际波形捕获率

影响示波器的波形捕获率的因素有很多。示波器厂商往往只突出宣传示波器的“优点”或最佳情况下的波形捕获速率，而这通常只会在极为有限的设置条件下才能达到。

示波器的时基设置通常是影响捕获率的首要设置条件，这是因为时基设置决定了采集显示的时间窗口。把示波器的时基设为较长的时间 / 格设置时，示波器可对更长的波形进行数字转换。例如，在 2 ms/ 格时，示波器的屏幕采集时间是 20 毫秒。如果示波器的静寂时间为零（理论上是不可能的），则绝对最佳条件下的波形捕获率将是每秒 50 个波形（1/20 ms）。

如果您需要了解示波器的波形和解码捕获率，那么必须在各种预计会用到的设置条件下进行测量，不要轻信厂商标榜的波形捕获率参数。

测量示波器的捕获率并不难，大多数示波器都提供了一个触发输出信号——通常用于使其他仪器与示波器的触发同步。您可以通过外部计数器来测量这个输出触发信号的平均频率，进而测量示波器的捕获率。但要切记，用作示波器输入触发源的信号的潜在触发速率必须要超过示波器的预计捕获率。否则，较慢的触发速率会限制示波器的捕获率。

在表 1、2 和 3 中，分别对具有价格优势的 100-MHz、500-MHz 和 1-GHz 带宽示波器进行波形捕获率比较。测试首先会采用每个示波器的默认设置条件。在测试过程中仅开启其中的一个通道。通过选择能够提供最大采样率的最小的采集存储器以优化不同时基下的存储深度。特别要指出的是，借助 Keysight MegaZoom 技术可以自动实现这种优化。

## 波形捕获率的测量结果（100-MHz 带宽示波器）

时基	Keysight 2000 X 系列	Tek DPO2000 系列	Tek TDS2000 系列	LeCroy WaveJet
2 ns/格	54,000	140	60	1,000
5 ns/格	54,000	130	60	1,000
10 ns/格	54,000	130	60	1,000
20 ns/格	54,000	160	60	1,000
50 ns/格	54,000	220	60	1,000
100 ns/格	52,000	6,200	50	1,000
200 ns/格	49,000	5,500	100	1,000
500 ns/格	43,000	4,200	100	1,000
1 $\mu$ s/格	35,000	2,300	100	625
2 $\mu$ s/格	26,000	2,000	100	300
5 $\mu$ s/格	18,000	2,000	100	150
10 $\mu$ s/格	9,000	1,400	100	70
20 $\mu$ s/格	4,500	1,200	100	35
50 $\mu$ s/格	1,800	400	90	35
100 $\mu$ s/格	900	180	90	35
200 $\mu$ s/格	460	120	200	35
500 $\mu$ s/格	170	80	140	25
1 ms/格	60	60	80	20
2 ms/格	43	30	40	15
5 ms/格	~18	~20	~20	~10
10 ms/格	~9	~8	~10	~7
20 ms/格	~5	~4	~4	~4
50 ms/格	~2	~2	~2	~2
100 ms/格	~1	~1	~1	~1

表 1. 同等价位的 100-MHz 带宽示波器最佳波形捕获率

## 波形捕获速率的测量结果 (500-MHz 带宽示波器)

时基	Keysight 3000 X 系列	Tek DPO3000 系列	Tek TDS3000 系列	LeCroy WaveSurfer
1 ns/格	960,000	2,500	670	490
2 ns/格	960,000	2,500	670	470
5 ns/格	960,000	2,500	670	485
10 ns/格	1,030,000	2,600	770	480
20 ns/格	960,000	2,200	770	420
50 ns/格	570,000	46,000	770	410
100 ns/格	340,000	46,000	770	400
200 ns/格	170,000	46,000	770	250
500 ns/格	74,000	43,000	770	220
1 $\mu$ s/格	38,000	7,300	770	190
2 $\mu$ s/格	19,000	4,400	770	145
5 $\mu$ s/格	7,800	2,500	770	75
10 $\mu$ s/格	3,900	200	500	50
20 $\mu$ s/格	2,000	200	500	25
50 $\mu$ s/格	780	150	430	12
100 $\mu$ s/格	780	25	330	6
200 $\mu$ s/格	450	18	250	6
500 $\mu$ s/格	170	18	160	6
1 ms/格	60	16	77	~6
2 ms/格	43	14	42	~6
5 ms/格	18	11	~20	~5
10 ms/格	9	6	~10	~4
20 ms/格	~5	~4	~5	~3
50 ms/格	~2	~2	~2	~1.5
100 ms/格	~1	~1	~1	~0.8

表 2. 同等价位的 500-MHz 带宽示波器最佳波形捕获率

## 波形捕获速率的测量结果 (1-GHz 带宽示波器)

时基	Keysight 4000 X 系列	Tek DPO4000 系列	LeCroy WaveRunner
500 ps/格	1,020,000	2,500	490
1 ns/格	1,010,000	2,500	490
2 ns/格	1,000,000	2,500	470
5 ns/格	990,000	2,500	485
10 ns/格	1,030,000	2,500	480
20 ns/格	880,000	58,000	420
50 ns/格	490,000	58,000	410
100 ns/格	280,000	58,000	400
200 ns/格	140,000	48,000	250
500 ns/格	60,000	10,000	220
1 $\mu$ s/格	30,000	4,700	190
2 $\mu$ s/格	15,000	2,500	145
5 $\mu$ s/格	6,300	360	75
10 $\mu$ s/格	3,200	290	50
20 $\mu$ s/格	1,600	150	25
50 $\mu$ s/格	1,300	25	12
100 $\mu$ s/格	900	17	6
200 $\mu$ s/格	430	11	6
500 $\mu$ s/格	170	11	6
1 ms/格	85	10	~6
2 ms/格	40	9	~6
5 ms/格	18	8	~5
10 ms/格	9	5	~4
20 ms/格	~5	~3	~3
50 ms/格	~2	~2	~1.5
100 ms/格	~1	~1	~0.8

表 3. 同等价位的1-GHz 带宽示波器最佳波形捕获率

## 总结

如果找出并调试随机和偶发异常对您来说非常重要，那么在选择测量所用的示波器时，必须考虑波形捕获率这个因素。捕获率直接决定着示波器捕获和显示随机电路问题的几率。

本应用指南主要阐述了当使用模拟采集通道时，示波器的最佳波形捕获率比较。您应当注意到在使用数字采集通道（MSO 型号）和 / 或串行总线解码时，大多数示波器的波形捕获速率都会明显下降，启用深存储后更为明显。

是德科技第四代 InfiniiVision 系列示波器拥有业内最快的波形和串行解码捕获率（高达每秒钟 1,000,000 个波形）。使用逻辑通道和串行总线解码功能时，InfiniiVision MSO 不会降低捕获率。Keysight InfiniiVision DSO 和 MSO 还通过更高层次的硬件集成（MegaZoom 技术），将示波器静寂时间降至最低，从而获得最快且不会影响性能的捕获率。

## 术语

**静寂时间** 示波器处理并显示数字化波形所用的时间；在静寂时间内，示波器上无法观察任何信号活动。

**MegaZoom IV 技术** 是德科技获得专利的采集和显示技术，可提供极快的波形和串行总线解码捕获率（InfiniiVision 3000 和 4000 X 系列示波器的捕获率大于 1,000,000 个实时波形 / 秒），同时自动优化存储深度和采样率。

**亚稳状态** 数字电路的一种不稳定输出状态，通常显示为毛刺。输入的设置和 / 或保持时间违规可能会导致亚稳状态。

**混合信号示波器（MSO）** 使用额外通道进行逻辑实时分析的示波器，具有直接时间关联以及跨越模拟和数字输入进行组合式逻辑 / 码型触发的功能。

**波形捕获率** 示波器在一秒钟内能够捕获和显示的波形数量。

## 相关文献

出版物标题	出版物编号
InfiniiVision 示波器探头和附件 - 选型指南	5968-8153CHCN
示波器显示质量对发现信号异常细节能力的影响	5989-2003CHCN
测量示波器的垂直噪声特征 - 应用指南	5989-3020CHCN
用混合信号示波器调试嵌入式混合信号设计 - 应用指南	5989-3702CHCN
评测示波器采样率与采样保真度的关系 - 应用指南	5989-5732CHCN
为您的应用评测示波器带宽 - 应用指南	5989-5733CHCN
InfiniiVision 2000 X 系列示波器 - 技术资料	5990-6618CHCN
InfiniiVision 4000 X 系列示波器 - 技术资料	5991-1103CHCN
InfiniiVision 6000 X 系列示波器 - 技术资料	5991-4087CHCN
InfiniiVision 3000T X 系列示波器 - 技术资料	5992-0140CHCN

## 了解更多信息

如欲了解最新、最全面的应用和产品信息, 请访问我们的产品网站: [www.keysight.com/find/infiniivision](http://www.keysight.com/find/infiniivision)



## 是德科技示波器

从 20 MHz 至 > 90 GHz 的多种型号 | 业界领先的技术指标 | 功能强大的应用软件



[www.axistandard.org](http://www.axistandard.org)

AdvancedTCA<sup>®</sup> Extensions for Instrumentation and Test (AXIe) 是基于 AdvancedTCA 标准的一种开放标准，将 AdvancedTCA 标准扩展到通用测试半导体测试领域。是德科技是 AXIe 联盟的创始成员。



[www.lxistandard.org](http://www.lxistandard.org)

局域网扩展仪器 (LXI) 将以以太网和 Web 网络的强大优势引入测试系统中。是德科技是 LXI 联盟的创始成员。



[www.pxisa.org](http://www.pxisa.org)

PCI 扩展仪器 (PXI) 模块化仪器提供坚固耐用、基于 PC 的高性能测量与自动化系统。

## 从惠普到安捷伦再到是德科技

传承 75 年创新史，我们始终帮助您开启测试测量新视野。我们独有的硬件、软件和技术人员资源组合能够帮助您实现下一次突破。1939 年成立的惠普公司起源于电子测量，是德科技将这一业务传承至今，并将继续发扬光大。



1939

未来

myKeysight

myKeysight

[www.keysight.com/find/mykeysight](http://www.keysight.com/find/mykeysight)

个性化视图为您提供最适合自己的信息！

3 年保修



[www.keysight.com/find/ThreeYearWarranty](http://www.keysight.com/find/ThreeYearWarranty)

是德科技卓越的产品可靠性和广泛的 3 年保修服务完美结合，从另一途径帮助您实现业务目标：增强测量信心、降低拥有成本、增强操作方便性。

是德科技保证方案



[www.keysight.com/find/AssurancePlans](http://www.keysight.com/find/AssurancePlans)

5 年的周密保护以及持续的巨大预算投入，可确保您的仪器符合规范要求，精确的测量让您可以继续高枕无忧。

[www.keysight.com/go/quality](http://www.keysight.com/go/quality)

是德科技公司

DEKRA 认证 ISO 9001:2008

质量管理体系



Keysight Infoline

[www.keysight.com/find/service](http://www.keysight.com/find/service)

Keysight Infoline

是德科技的洞察力帮助您实现最卓越的信息管理。免费访问您的是德科技设备公司报告和电子图书馆。

是德科技渠道合作伙伴

[www.keysight.com/find/channelpartners](http://www.keysight.com/find/channelpartners)

黄金搭档：是德科技的专业测量技术和丰富产品与渠道合作伙伴的便捷 供货渠道完美结合。

[www.keysight.com/find/scopes](http://www.keysight.com/find/scopes)

[www.keysight.com/find/infinivision](http://www.keysight.com/find/infinivision)

如欲获得是德科技的产品、应用和服务信息，请与是德科技联系。如欲获得完整的产品列表，请访问：[www.keysight.com/find/contactus](http://www.keysight.com/find/contactus)

**是德科技客户服务热线**

热线电话: 800-810-0189、400-810-0189

热线传真: 800-820-2816、400-820-3863

电子邮件: [tm\\_asia@keysight.com](mailto:tm_asia@keysight.com)

**是德科技(中国)有限公司**

北京市朝阳区望京北路 3 号是德科技大厦

电话: 86 010 64396888

传真: 86 010 64390156

邮编: 100102

**是德科技(成都)有限公司**

成都市高新区南部园区天府四街 116 号

电话: 86 28 83108888

传真: 86 28 85330931

邮编: 610041

**是德科技香港有限公司**

香港北角电器道 169 号康宏汇 25 楼

电话: 852 31977777

传真: 852 25069233

**上海分公司**

上海市虹口区四川北路 1350 号

利通广场 19 楼

电话: 86 21 26102888

传真: 86 21 26102688

邮编: 200080

**深圳分公司**

深圳市福田区福华一路 6 号

免税商务大厦裙楼东 3 层 3B-8 单元

电话: 86 755 83079588

传真: 86 755 82763181

邮编: 518048

**广州分公司**

广州市天河区黄埔大道西 76 号

富力盈隆广场 1307 室

电话: 86 20 38390680

传真: 86 20 38390712

邮编: 510623

**西安办事处**

西安市碑林区南关正街 88 号

长安国际大厦 D 座 501

电话: 86 29 88861357

传真: 86 29 88861355

邮编: 710068

**南京办事处**

南京市鼓楼区汉中路 2 号

金陵饭店亚太商务楼 8 层

电话: 86 25 66102588

传真: 86 25 66102641

邮编: 210005

**苏州办事处**

苏州市工业园区苏华路一号

世纪金融大厦 1611 室

电话: 86 512 62532023

传真: 86 512 62887307

邮编: 215021

**武汉办事处**

武汉市武昌区中南路 99 号

武汉保利广场 18 楼 A 座

电话: 86 27 87119188

传真: 86 27 87119177

邮编: 430071

**上海MSD办事处**

上海市虹口区欧阳路 196 号

26 号楼一楼 J+H 单元

电话: 86 21 26102888

传真: 86 21 26102688

邮编: 200083



本文中的产品指标和说明可不经通知而更改

© Keysight Technologies, 2012 - 2015

Published in USA, October 13, 2015

出版号: 5989-7885CHCN

[www.keysight.com](http://www.keysight.com)