白皮書

您的示波器能發現偶發事件嗎？

為什麼波形更新率很重要

簡介

在評估購買哪一款示波器時，波形更新率至關重要。此規格經常被忽略，但它可能直接影響您擷取隨機和偶發事件的能力，而信號中出現該事件的機率僅百萬分之一。三個理由可說明何以最快速的波形更新速率，對當今的示波器很重要：

1. **示波器效能**：如果示波器的波形更新率太慢，使用起來將會非常困難。當您轉動時基控制鈕時，總希望示波器會立即做出反應，而不是要等上好幾秒，待示波器處理完資料以後才能反應。
2. **詳細的顯示畫面**：快速的波形更新速率可提升示波器的信號顯示品質，以便鉅細靡遺地呈現波形細節，例如藉由顯示強度調變功能呈現雜訊與抖動。
3. **突波擷取率**： 快速的波形更新速率提高了示波器擷取信號中也許不可靠的隨機和偶發事件的機率。

Keysight InfiniiVision 4000 X 系列混合信號示波器

波形更新速率是一項重要的規格，但更新速率規格本身可能會產生誤導。即使示波器的產品規格書標明了快速更新速率，它還是可能無法擷取系統中的突波。了解如何量測示波器的實際更新速率，然後比較不同品牌示波器間的突波擷取率和更新速率。

KEYSIGHT TECHNOLOGIES

了解示波器盲區

在對新設計進行除錯時，波形和解碼更新速率非常重要 — 尤其是在嘗試搜尋不常出現或偶發的問題及對其進行除錯時。快速的波形與解碼更新速率，可提高示波器擷取到偶發事件的機率。為了解原因，您必須先認識何謂示波器「盲區（Dead Time 或 Blind Time）」。所有示波器都有盲區，如圖 1 所示。這是示波器擷取信號和處理先前擷取的波形，以在示波器螢幕上顯示兩者間的時間。在這段盲區內，示波器基本上對您正在除錯的設計中可能發生的任何信號活動都是「盲目」的。

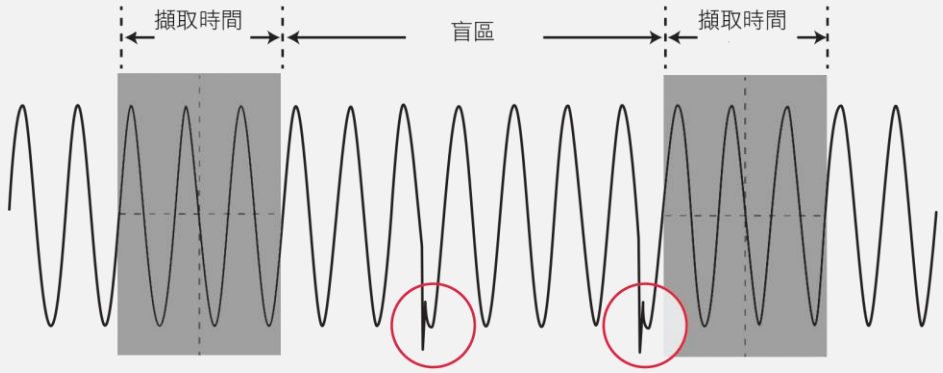


圖 1：示波器盲區和顯示擷取時間的關係。

圖 1 中標示的突波發生在示波器的盲區內。在兩個示波器擷取週期後，示波器的顯示螢幕上不會顯示這些突波。一旦知道儀器的更新速率，確定示波器的盲區百分比就很簡單。示波器的盲區百分比是示波器的擷取週期時間減去螢幕上擷取時間的比率，再除以示波器的擷取週期時間。示波器的擷取週期時間就是示波器波形更新速率的倒數，必須以所使用的特定設定條件進行量測。

$$
\begin{aligned}
\%\,DT &= \text{示波器盲區百分比} \\
&= 100 \times \frac{\left[\left(\frac{1}{U}\right) - W\right]}{\left(\frac{1}{U}\right)} \\
&= 100 \times \left(1 - UW\right)
\end{aligned}
$$

其中

U = 示波器量測到的更新速率

W = 顯示擷取視窗

= 時基設定 x 10

示波器的盲區通常比其螢幕上的擷取時間要長好幾級 — 即使是具備快速更新速率的示波器可能也是如此。這意味要在示波器上擷取不常見的偶發事件，可以說是基於數個不同設定參數的可能性或機率的一種賭博。在示波器上擷取隨機事件的機率和骰子滾動停止時出現特定數字的機率，兩者之間存在相同的類比。

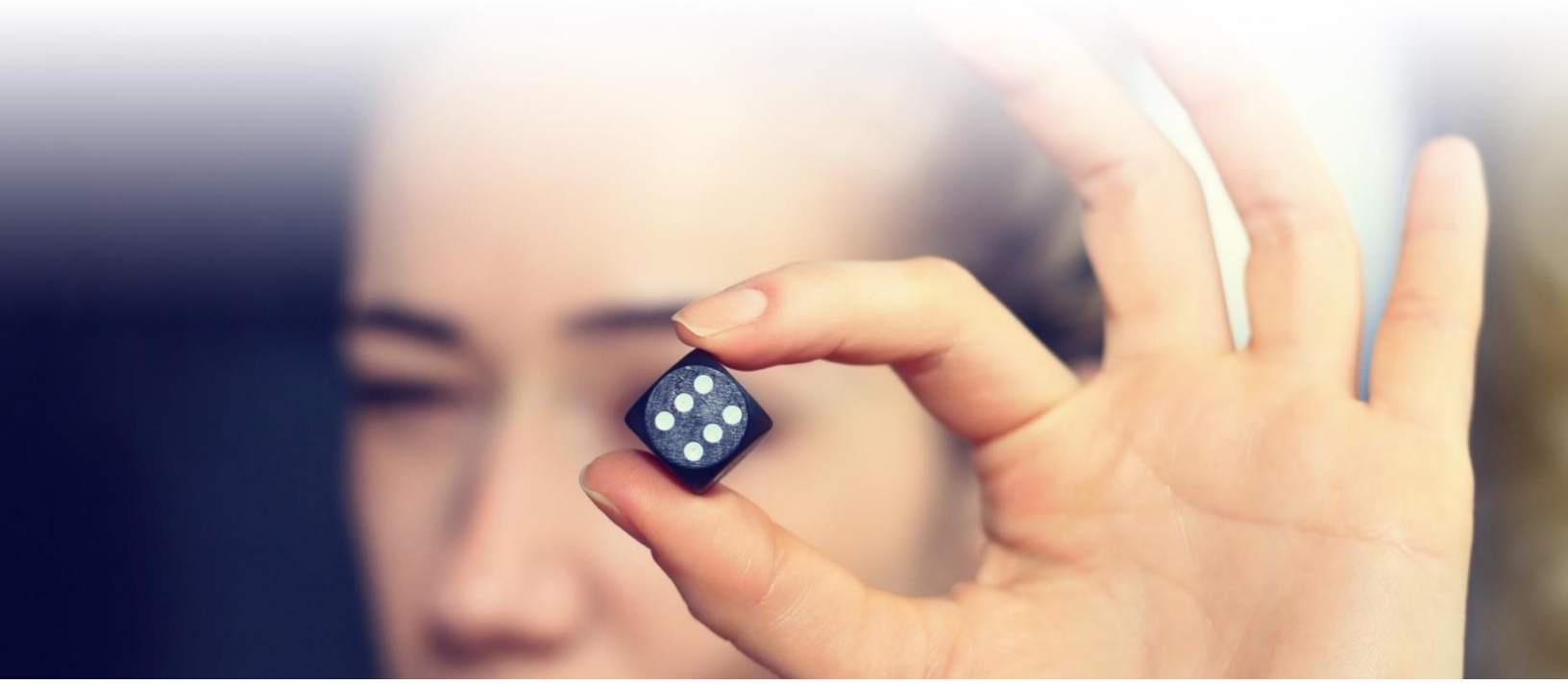
從擲骰的經驗獲得啟發

當您將一個六面的骰子擲出一次時，特定一面朝上的機率是六分之一。那麼，如果您擲骰兩次，至少獲得一次特定面朝上的機率是多少？有些人可能會說是六分之二，即 33.3%。如果這個邏輯成立，那擲骰 10 次就會有超過 100% 的機率至少會有一次特定面朝上。然而，這是不可能的。投擲一個有「S」面的骰子「N」次後，至少出現一次特定面朝上的機率百分比（P_N），可以透過以下方程式確定：

$$P_N = 100\,x\left(1-\left[\frac{(S-1)}{S}\right]^N\right)$$

要了解這個方程式，請考慮計算未出現特定面的機率。擲骰一次後不出現特定面朝上的機率是基於係數（S-1）/S。因此，對一個六面骰子是 5/6。擲骰的次數越多（N），不出現特定面朝上的機率就會呈現指數下降。這意味出現特定一面朝上的可能性增加；但這些可能性永遠不會達到或超過 100% 的機率。

對示波器擷取機率而言，「S」是異常事件的平均發生時間和示波器顯示視窗時間的比率。例如，假設突波每 10 ms 發生一次（每秒 100 次），而示波器時基設定為 20 ns/div，則螢幕上的擷取視窗時間為 200 ns（因為螢幕上顯示 10 格），而 S = 10 ms/200 ns，或 50,000。



為了提高示波器在固定時間內擷取不常見突波的機率，示波器必須盡可能快速地多次擷取信號。示波器的波形更新速率就是因應此需求的對策。「N」，現在就是示波器擷取的次數，等於示波器的波形更新速率乘以合適的觀察時間。觀察時間是您願意在示波器顯示螢幕上查看波形，以確定在將探棒移動到另一個測試點之前是否正常的時間。

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

其中

P_t = 在「t」秒內擷取到異常的概率
t = 觀察時間
U = 示波器量測到的波形更新速率
R = 異常事件發生率
W = 顯示擷取視窗
= 時基設定 x 10

圖 2：一個具有多面的骰子，其中一面有「突波」。

確定示波器的實際波形更新率

影響示波器的波形更新率的因素有很多， 示波器的時基設定通常是影響更新速率的首要設定條件，因為它決定了擷取顯示的時間視窗。藉由將示波器時基設為每一格較長的時間，示波器可對更長的波形進行數位轉換。假設示波器在 2 ms 每格時的擷取時間是 20 ms，如果示波器的盲區為零（理論上是不可能的），則絕對最佳條件下的波形更新率為每秒 50 個波形（1/20 ms）。所以，您的示波器的實際更新速率是多少？

為了了解示波器的實際波形和解碼更新速率，您必須在預期使用的各種設定條件下量測速率。這是一項簡單的任務，因為大多數示波器都提供觸發輸出信號 — 通常用來使其他儀器與示波器的觸發同步。您可以透過外部計數器來量測這個輸出觸發信號的平均頻率，進而量測示波器的更新速率。請記住，當作示波器輸入觸發源的信號之潛在觸發速率，必須超過示波器的預計更新速率。否則，較慢的觸發速率會限制示波器的更新速率。

表 1、2 和 3 分別對具有價格優勢的 100 MHz、500 MHz 和 1 GHz 頻寬示波器進行波形更新率比較。測試首先會採用每個示波器的預設設定條件，只開啟一個通道。藉由選擇最小的擷取記憶體（提供最大取樣速率），記憶體深度可在每個時基範圍內最佳化。利用 Keysight MegaZoom 技術可自動對記憶體深度進行最佳化。

波形更新率量測結果（100 MHz 頻寬示波器）

時基	Keysight 2000 X 系列	Tek DPO20000 系列	Tek TDS2000 系列	LeCroy WaveJet
2 ns/div	236,000	140	60	1,000
5 ns/div	236,000	130	60	1,000
10 ns/div	236,000	130	60	1,000
20 ns/div	246,000	160	60	1,000
50 ns/div	241,000	220	60	1,000
100 ns/div	209,000	6,200	50	1,000
200 ns/div	168,000	5,500	100	1,000
500 ns/div	113,000	4,200	100	1,000
1 µs/div	62,000	2,300	100	625
2 µs/div	31,300	2,000	100	300
5 µs/div	13,500	2,000	100	150
10 µs/div	6,800	1,400	100	70
20 µs/div	3,400	1,200	100	35
50 µs/div	1,800	400	90	35
100 µs/div	900	180	90	35
200 µs/div	460	120	200	35
500 µs/div	180	80	140	25
1 ms/div	90	60	80	20
2 ms/div	45	30	40	15
5 ms/div	~18	~20	~20	~10
10 ms/div	~9	~8	~10	~7
20 ms/div	~5	~4	~4	~4
50 ms/div	~2	~2	~2	~2
100 ms/div	~1	~1	~1	~1

表 1：100 MHz 頻寬示波器具備出色的價格優勢和波形擷取率。

波形更新率量測結果（500 MHz 及 1 GHz 頻寬示波器）

時基	Keysight 3000 X 系列	Tek MDO3000 系列（正常/DPO 擷取）	Tek MDO3000 系列（開啟 FastAcq 模式）	LeCroy WaveSurfer
1 ns/div	960,000	2,300	280,000	490
2 ns/div	960,000	2,300	280,000	470
4 ns/div	N/A	2,300	280,000	N/A
5 ns/div	960,000	N/A	N/A	485
10 ns/div	1,030,000	2,200	280,000	480
20 ns/div	960,000	69,000	280,000	420
40 ns/div	N/A	64,000	280,000	N/A
50 ns/div	570,000	N/A	N/A	410
100 ns/div	340,000	64,000	260,000	400
200 ns/div	170,000	59,000	190,000	250
400 ns/div	N/A	51,000	120,000	N/A
500 ns/div	74,000	N/A	N/A	220
1 µs/div	38,000	35,000	62,000	190
2 µs/div	19,000	24,000	34,000	145
4 µs/div	N/A	15,000	18,000	N/A
5 µs/div	7,800	N/A	N/A	75
10 µs/div	3,900	6,600	7,300	50
20 µs/div	2,000	3,500	3,700	25
40 µs/div	N/A	1,800	1,800	N/A
50 µs/div	780	N/A	N/A	12
100 µs/div	780	730	740	6
200 µs/div	450	370	370	6
400 µs/div	N/A	190	190	N/A
500 µs/div	170	N/A	N/A	6
1 ms/div	60	75	75	~6
2 ms/div	43	37	37	~6
4 ms/div	N/A	19	19	N/A
5 ms/div	18	N/A	N/A	~5
10 ms/div	9	~7	~7	~4
20 ms/div	~5	~4	~4	~3
40 ms/div	N/A	~2	~2	N/A
50 ms/div	~2	N/A	N/A	~1.5
100 ms/div	~1	~1	~1	~0.8

表 2：500 MHz 及 1 GHz 頻寬示波器具備出色的價格優勢和波形擷取率。

波形更新率量測結果（1 GHz 頻寬示波器）

時基	Keysight 4000 X 系列	Tek MDO4000 系列（正常/DPO 擷取）	Tek MDO4000 系列（開啟 FastAcq 模式）	LeCroy WaveRunner
500 ps/div	1,020,000	2,600	340,000	490
1 ns/div	1,010,000	2,900	340,000	490
2 ns/div	1,000,000	2,900	340,000	470
4 ns/div	N/A	2,900	340,000	N/A
5 ns/div	990,000	N/A	N/A	485
10 ns/div	1,030,000	2,800	340,000	480
20 ns/div	880,000	78,000	330,000	420
40 ns/div	N/A	76,000	330,000	N/A
50 ns/div	490,000	N/A	N/A	410
100 ns/div	280,000	72,000	270,000	400
200 ns/div	140,000	65,000	200,000	250
400 ns/div	N/A	55,000	130,000	N/A
500 ns/div	60,000	N/A	N/A	220
1 µs/div	30,000	37,00	62,000	190
2 µs/div	15,000	25,000	34,000	145
4 µs/div	N/A	15,000	17,000	N/A
5 µs/div	6,300	N/A	N/A	75
10 µs/div	3,200	6,700	7,200	50
20 µs/div	1,600	3,500	3,700	25
40 µs/div	N/A	1,700	1,800	N/A
50 µs/div	1,300	N/A	N/A	12
100 µs/div	900	730	740	6
200 µs/div	430	370	370	6
400 µs/div	N/A	190	190	N/A
500 µs/div	170	N/A	N/A	6
1 ms/div	85	75	75	~6
2 ms/div	40	38	38	~6
4 ms/div	N/A	19	19	N/A
5 ms/div	18	N/A	N/A	~5
10 ms/div	9	~7	~7	~4
20 ms/div	~5	~4	~4	~3
40 ms/div	N/A	~2	~2	N/A
50 ms/div	~2	N/A	N/A	~1.5
100 ms/div	~1	~1	~1	~0.8

表 3：1 GHz 頻寬示波器具備出色的價格優勢和波形擷取率。

突波擷取率比較

使用上述機率和盲區方程式，可對兩個效能和價位相近的 1 GHz 頻寬示波器進行量測比較。我們的比較包括了一個產生隨機亞穩態信號（偶發突波）的電路，採用每個示波器的預設設定「Default Setup」選項平均每秒大約產生五次。由於突波寬度在 5 至 15 ns 之間，因此適合本次量測的最佳時基設定為 10 ns/div。為了獲取每個示波器最快的波形更新率，請勿開啟量測、波形運算、串列匯流排分析或數位通道擷取等功能。

此外，每台示波器均開啟 5 秒鐘的變數持續性，這並不會影響示波器的最佳狀況（best-case）波形更新率。使用示波器的預設「上升信號緣」觸發條件，觸發位準設為 ~68 mV，如果在示波器擷取過程中突波發生，我們可以在接近螢幕中央觀察到亞穩態。為了確定示波器擷取到突波的機率，在計算時我們假定 5 秒是合適的觀察時間。

在圖 3 中，Keysight 3000 X 系列示波器能夠在五秒內連貫地擷取並顯示隨機和偶發的亞穩態。

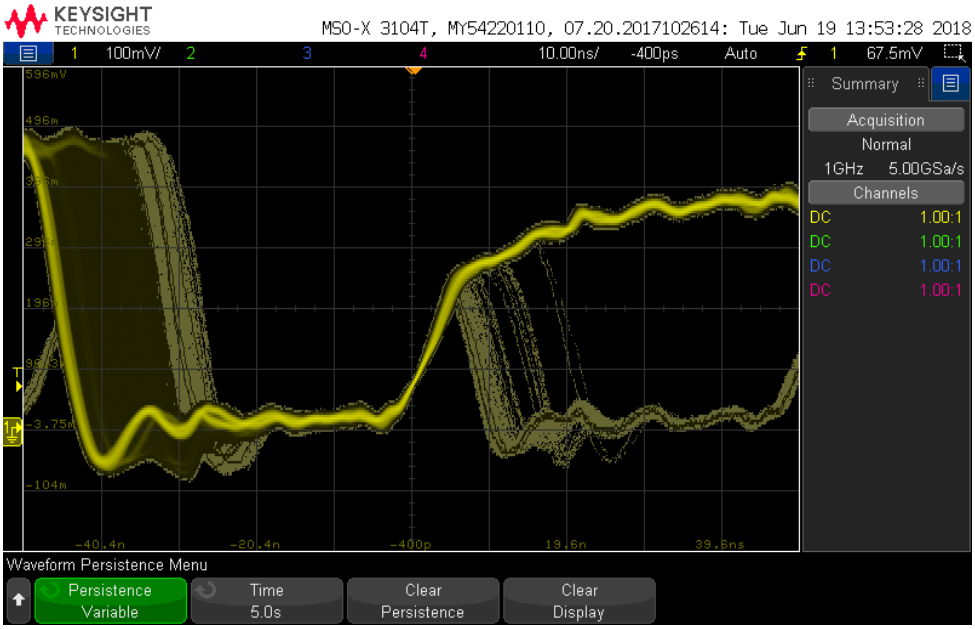


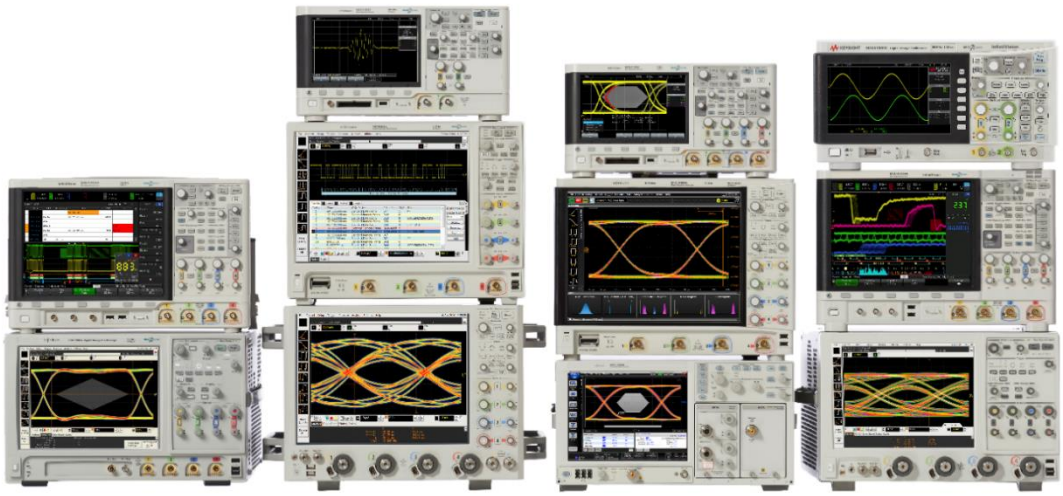
圖 3：當更新率為每秒 1,030,000 個波形，Keysight MSO3000 X 系列示波器能夠可靠地擷取偶發亞穩態。

透過以下公式可算出 Keysight 3000 X 系列示波器的這項量測的盲區百分比：

$$
\begin{aligned}
\%\,DT &= 100 \times (1 - UW) \\
U &= 1{,}030{,}000\ waveforms/s \\
W &= 10\,\frac{ns}{div} \times 10\ divisions \\
&= 100\ ns = 0.0000001s \\
\%\,DT &= 100 \times \left(1 - (1{,}030{,}000 \times 0.0000001)\right) \\
&= 89.70\%
\end{aligned}
$$

當時基設為每格 10 ns 時，示波器的盲區百分比約為 90%，感覺上好像很長，實際上在 5 秒內擷取突波的機率非常高。此示波器的擷取突波機率可由以下計算確定，其中 U 和 W 與上述值相同：

$$
\begin{aligned}
P_t &= 100 \times \left(1 - [1 - RW]^{(U \times t)}\right) \\
R &= 5\ waveforms/s \\
t &= 5\ s \\
P_{5s} &= 100 \times \left(1 - [1 - (5 \times 0.0000001)]^{(1{,}030{,}000 \times 5)}\right) \\
&= 92.38\%
\end{aligned}
$$



使用 Tektronix MDO3000 系列示波器，結果顯著不同，如圖 4 和圖 5 所示。儘管示波器「標榜」的波形更新率在正常/DPO 擷取模式下大於每秒 50,000 個波形，但當時基設為每格 10 ns 時，最大更新速率僅為每秒 2,200 個波形，如上表 2 所示。這比先前提到的 Keysight 3000 X 系列示波器慢了約 468 倍。

開啟 FastAcq 擷取模式可將更新速率提高到每秒 280,000 個波形，但會拖慢示波器，並妨礙其同時執行其他功能的能力。例如，在使用 FastAcq 時，「Snapshot All Measurements」功能會被停用。

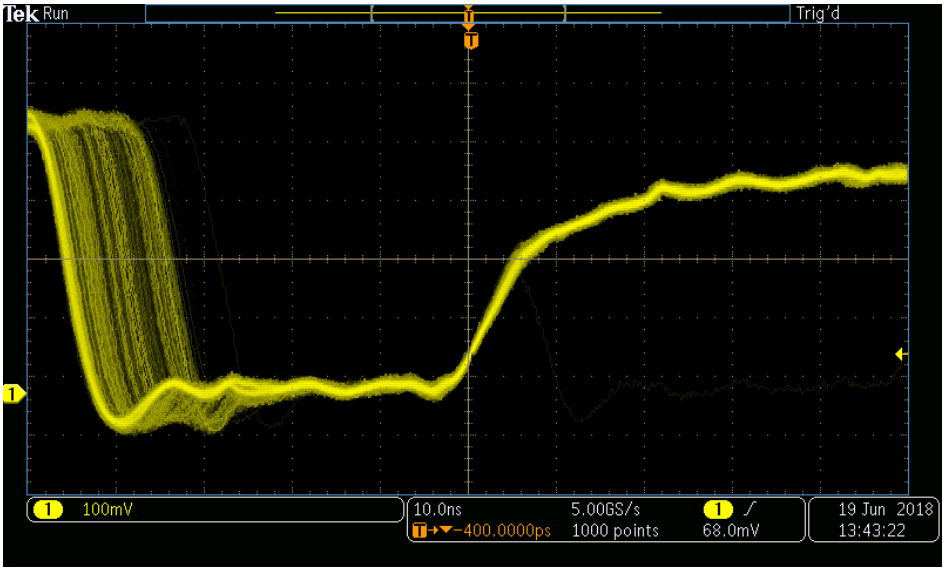


圖 4：Tektronix MDO3000 系列示波器可邊際地擷取到偶發的亞穩態，同時以每秒 2,200 個波形進行更新。

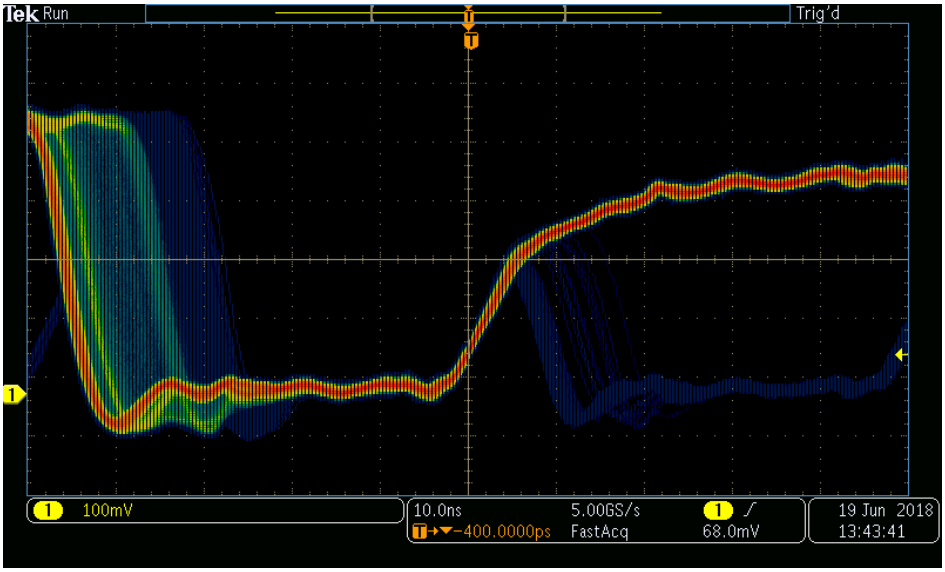


圖 5：Tektronix MDO3000 系列示波器可以在 FastAcq 擷取模式擷取事件，同時以每秒 280,000 個波形進行更新。

Tektronix MDO3000 系列示波器正常/DPO 擷取模式和 FastAcq 擷取模式的盲區百分比如下：

$$
\begin{aligned}
\%\, DT_{normal} &= 100\ \times (1 - UW) \\
U &= 2{,}200\ waveforms/s \\
W &= 10\,\frac{ns}{div} \times 10 \text{ divisions} \\
&= 100\ ns = 0.0000001s \\
\%\, DT_{normal} &= 100\ \times \left(1 - (2{,}200 \times 0.0000001)\right) \\
&= 99.98\%
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
\%\, DT_{FastAcq} &= 100\ \times (1 - UW) \\
U &= 280{,}000\ waveforms/s \\
W &= 10\,\frac{ns}{div} \times 10\ divisions \\
&= 100\ ns = 0.0000001s \\
\%\, DT_{FastAcq} &= 100\ \times \left(1 - (280{,}000 \times 0.0000001)\right) \\
&= 97.20\%
\end{aligned}
$$

以下是使用 Tektronix MDO3000 系列示波器正常/DPO 擷取模式和 FastAcq 擷取模式，在 5 秒鐘的觀察時間後擷取突波的機率計算。W 的值仍同上。

$$
\begin{aligned}
P_{t\ normal} &= 100 \times \left(1 - \left[1 - RW\right]^{(U \times t)}\right) \\
R &= 5\ waveforms/s \\
W &= 10\frac{ns}{div} \times 10\ divisions \\
&= 100\ ns = 0.0000001s \\
t &= 5\ s \\
P_{5s_normal} &= 100 \times \left(1 - \left[1 - \left(5 \times 0.0000001\right)\right]^{(2{,}200 \times 5)}\right) \\
&= 0.5485\%
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
P_{t\ FastAcq} &= 100 \times \left(1 - \left[1 - RW\right]^{(U \times t)}\right) \\
R &= 5\ waveforms/s \\
W &= 10\frac{ns}{div} \times 10\ divisions \\
&= 100\ ns = 0.0000001s \\
t &= 5\ s \\
P_{5s\ FastAcq} &= 100 \times \left(1 - \left[1 - \left(5 \times 0.0000001\right)\right]^{(280{,}000 \times 5)}\right) \\
&= 50.34\%
\end{aligned}
$$

在 5 秒的觀察時間後，我們便無法透過 Tektronix 示波器觀察到偶發亞穩態，因為盲區太長和更新速率太慢，導致擷取突波的機率變得極低。在實際應用設定中，只有當您懷疑信號可能存在問題時，Tektronix 示波器最終才會擷取偶發突波 — 您可以等待它被擷取。

結語

更新速率直接決定了示波器的盲區百分比，以及擷取和顯示隨機電路問題的機率。請注意比較示波器標榜的更新速率規格，因為在某些應用中可能無法達到該速率。

本白皮書主要闡述了當使用類比擷取通道時，示波器的最佳波形更新率比較。在使用數位擷取通道和/或串列匯流排解碼時，大多數示波器的波形更新率都會明顯下降，特別是在啟用深度記憶體後。

Keysight InfiniiVision 系列示波器提供業界最快的波形更新速率，僅使用示波器通道時，其速率可達每秒 1,000,000 個波形。此外，使用邏輯擷取通道和/或串列匯流排解碼功能時，它們的波形更新速率絲毫不受影響，其他 MSO 競爭產品完全望塵莫及。透過更高度的硬體整合（MegaZoom 技術），InfiniiVision DSO 和 MSO 將示波器盲區降至最低，進而獲得最快且不會影響效能的更新率，提高系統擷取到突波的機率。

如需更詳細資訊，請上網查詢：www.keysight.com/find/scopes

詳細資訊，請上網查詢：www.keysight.com

有關是德科技電子量測產品、應用及服務的詳細資訊，可查詢我們的網站或來電洽詢。
以下為是德科技聯絡窗口：www.keysight.com/find/contactus

本文件資訊如有修改，恕不另行通知。© Keysight Technologies, 2019, Published in USA, December 16, 2019, 5989-7885ZHA