

## R&S 示波器

# 示波器的波形算法

**產品：**

R&S®RTE 系列

R&S®RT2000 系列



# 引言

這篇文章我們將討論示波器如何針對多次採集的波形通過適當算法產生新的波形，獲得特別的應用價值。

提到波形算法，容易想到示波器里數學運算功能“math”可以實現幾十種的算法，完全滿足應用需要，其中有個特色算法就是實時的 FFT 算法，可以實時顯示頻譜，實現時域和頻域聯調的功能。該文談的算法主要針對測試波形做相應的算法，提升波形質量，分為三種：OFF · ENVELOPE · AVERAGE。

## 2 幾個概念

為了更直觀的說明波形算法這個概念，首先貼出圖 1，從圖中可以看到在數據採集通道中，內插模式、抽取模式以及波形算法是在同一數據處理通道上，從 ADC 採集的數據經過內插模式或者抽取模式後，你可以根據測試需要選擇合適的波形算法對多次採集的波形進行算法處理，內插模式和抽取模式可以與波形算法自由組合，選擇比較靈活。本篇以 4 種抽取模式與 3 種波形算法的組合來主要說明波形算法的應用。



圖 1 R&S 示波器數據處理通路

到這裡，可能很多人會有疑惑：又是一個 average，之前上一篇抽取模式短文裡 Hi-RESOLUTION 抽取模式裡也採用了 average，這兩種處理方式同樣是針對同一採集數據處理的，一前一後，有什麼差異？筆者在第一次見到這個的時候，確實存在這樣的疑問，後續將跟大家一起分享下這兩個 average 的與不同。

在《示波器的抽取模式》一文中已說明抽取的四種模式分別為：SAMPLE · PEAK-DETECT · HI-RESOLUTION · RMS。本文所要介紹的波形算法分為如下三種：OFF · ENVELOPE · AVERAGE。可以實現的組合如下圖 2 所示。

SAMPLE	+	OFF
		AVERAGE
PEAK DETECT	+	OFF
		ENVELOPE
HI-RESOLUTION	+	OFF
		AVERAGE
RMS	+	OFF
		ENVELOPE
		AVERAGE

圖 2 抽取模式與波形算法可以實現的組合

示波器抽取模式是對 ADC 採集的數據點進行分析計算，即對相鄰的 N 個數據點做相應的算法，把 N 個數據點做算法，計算成一個點，以此類推到 ADC 採集的所有數據點，這樣可以降低波形採樣率。經過抽取後的數據點組合成波形，而示波器的波形算法正是對 N 個連續採樣的波形採用不同的算法優化波形質量，更加真實的測量信號波形。

同理，示波器的內插模式與波形算法的組合，是對 ADC 採集的數據點做不同的內插，然後把內插後的波形採用不同的波形算法，優化測試波形。

下面對三種波形算法定義分別作簡要的介紹。

## ● OFF

這是最簡單的一種方式，顧名思義，就是對波形不做任何處理，即關閉或者旁路波形算法，直接送到示波器後續相應測試測量部分，並在示波器屏幕上顯示出來。

## ● ENVELOPE

在 N 個連續採樣的波形裡，在時刻  $T_i$  對應於 N 個波形裡的最大值和最小值分別為  $V_{imax}$ 、 $V_{imin}$ ，則對這 N 個波形做 ENVELOPE 算法後，就是把對應的每個  $T_i$  時刻的最大值  $V_{imax}$  和最小值  $V_{imin}$  組合成一個新的波形，這樣會有最大值組合成的一條曲線和最小值組合成的一條曲線，這兩條曲線組合成封包，即為波形算法裡的 ENVELOPE 的含義。

## ● AVERAGE

同上原理，在 N 個連續採樣的波形裡，在時刻  $T_i$  對應於 N 個波形裡的幅值分別為  $V_{i1}$ 、 $V_{i2}$ 、

$V_{i3}$ 、..... $V_{iN}$ ，則對這 N 個波形做 AVERAGE 算法後，在  $T_i$  時刻的幅值為  $V=$

$(V_{i1}+V_{i2}+V_{i3}+.....+V_{iN})/N$ 。在其他時刻，採用類似算法，這樣在不同時刻點計算出來的值組合成新的波形即為通過 AVERAGE 波形算法計算的波形。

# 3 不同波形算法對比

結合示波器抽取模式，下面根據實際測試結果分析對應於不同抽取模式下，不同波形算法的優異差異，見圖 2。關於示波器抽取模式的分析，可以參照《示波器的抽取模式》一文。本文所測試信號為 R&S 示波器自帶標準信號 1KHz 方波。

## 3.1 SAMPLE 模式

在示波器抽取模式為 SAMPLE 時，OFF 和 AVERAGE 這兩種不同波形算法計算後的波形分別見圖 3，圖 4。由這三幅測試波形對比可以明顯發現，沒做波形算法時，波形的幅度波動比較大，這時候在測試幅值時就會引入較大的誤差，影響測試準確度。再來看看在 SAMPLE 抽取模式下，對波形做 AVERAGE 算法

的測試波形，波形比較乾淨，其實就是對圖 3 中的各個波形之間做了平均，消除了隨機誤差，採用這種算法只能對於週期波形進行使用。

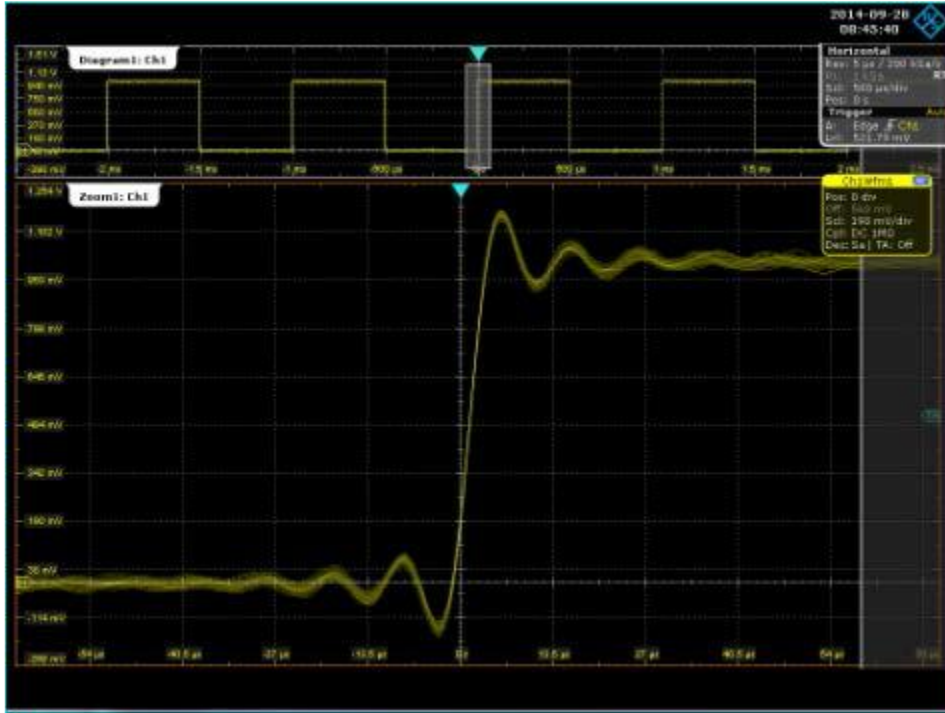


圖 4 SAMPLE 抽取模式下，OFF 波形算法測試波形

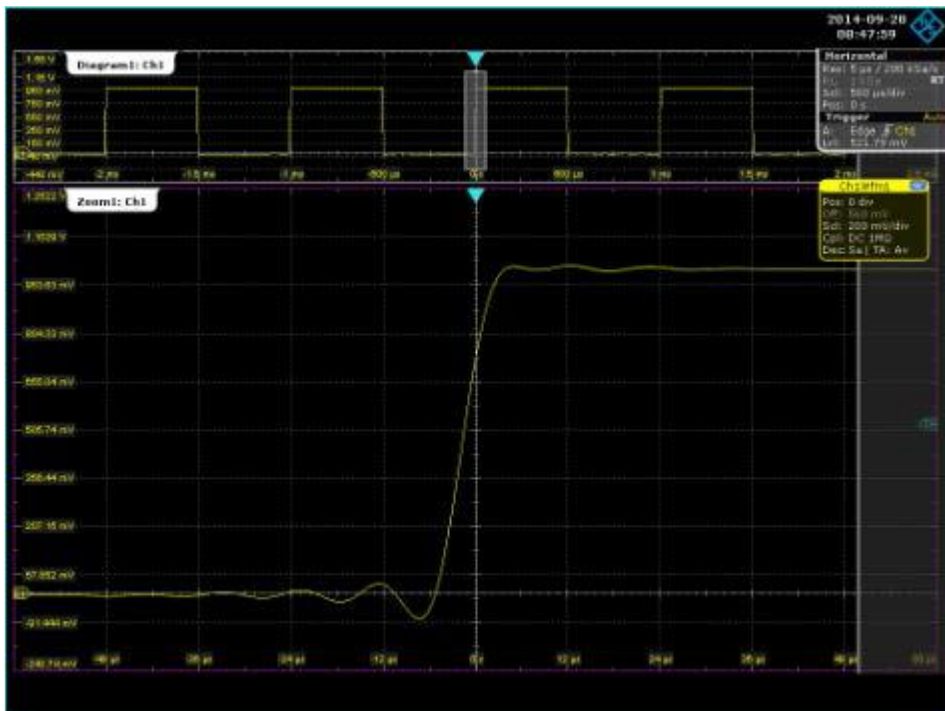


圖 5 SAMPLE 抽取模式下，AVERAGE 波形算法測試波形

### 3.2 PEAK DETECT 模式

在 PEAK DETECT 抽取模式下，不做任何波形算法時，見圖 6，數據抽取後兩條曲線為最大值的封包和最小值的封包，跟《示波器的抽取模式》一文所測波形一致。從圖 7 可以看出，根據波形算法的計算方式，對 N 個波形，在每個  $T_i$  時刻，對應的最小值和最大值分別組成封包，即為採用 ENVELOPE 算法計算的兩條封包線。通過這個算法，可以很容易分析測量信號幅值的波動範圍，為在線測試提供判斷依據。

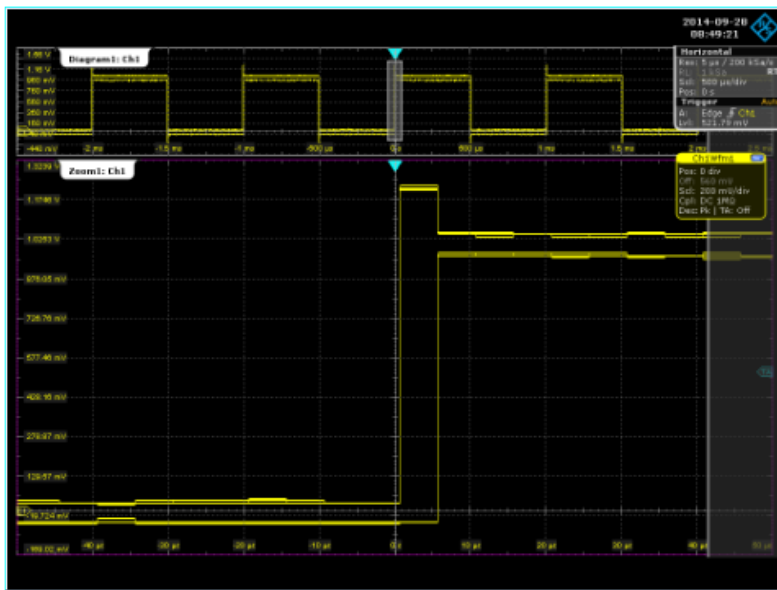


圖 6 PEAK DETECT 抽取模式下，OFF 波形算法測試波形

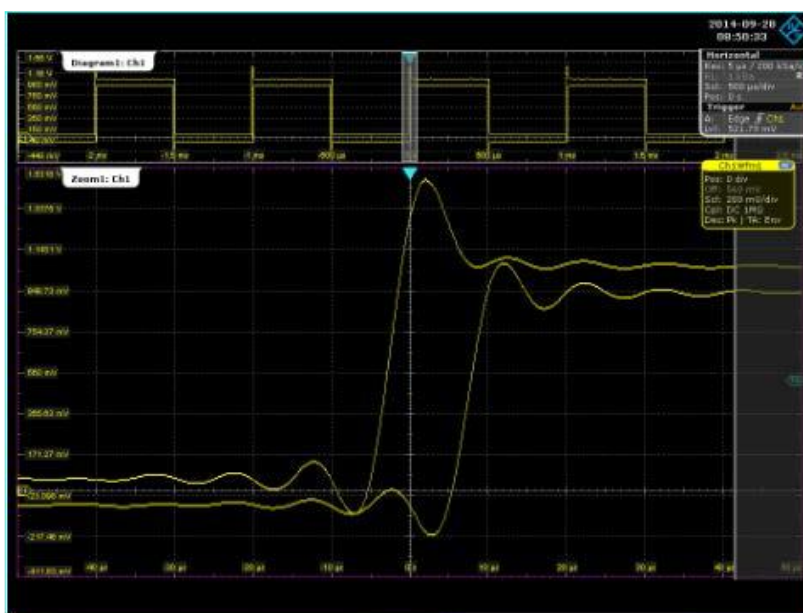


圖 7 PEAK DETECT 抽取模式下，ENVELOPE 波形算法測試波形

### 3.3 HI-RESOLUTION 模式

在 HI-RESOLUTION 模式下，對採集的數據點先做了高精度計算，在這個模式下可以達到 12bit 分析精度，見圖 8，為沒有做任何波形算法的測試波形。對這樣的連續 N 個 HI-RESOLUTION 抽取的波形，再做 AVERAGE 算法，進一步減少了測試幅值的隨機波動，這樣測試出來的幅值會更加接近真實值，減少測試誤差，有圖 9 的測試波形可以看出，在 HI-RESOLUTION 抽取模式下，對比在做 AVERAGE 和沒做時的波形，做 AVERAGE 算法的測試波形比較平滑，消除隨機誤差，但是需要注意的是，這個算法只能適用在周期信號測試。

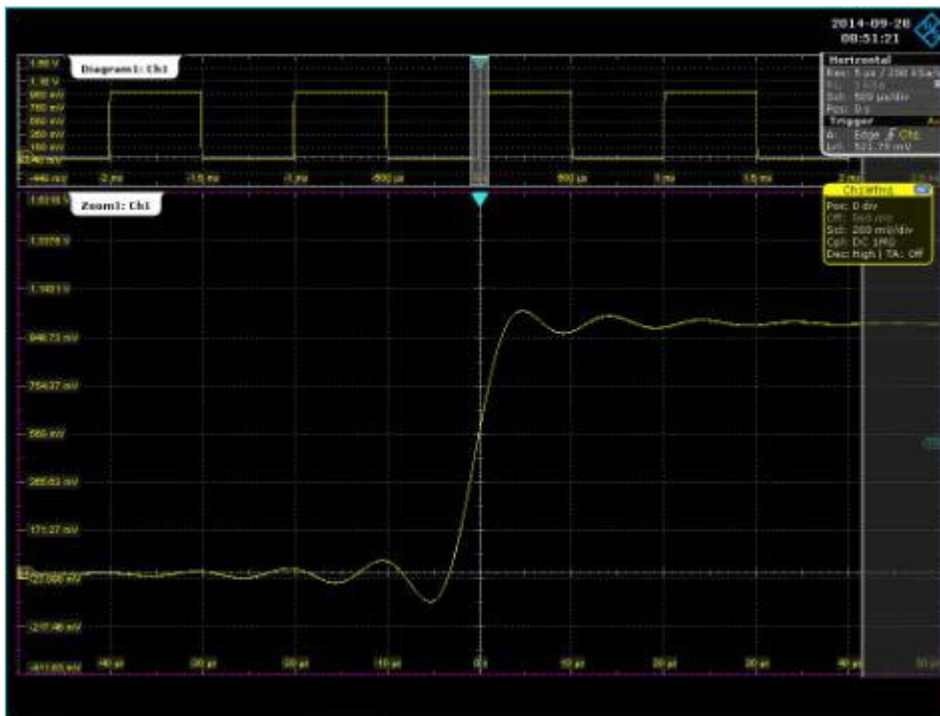


圖 8 HI\_RESOLUTION 抽取模式下，OFF 波形算法測試波形

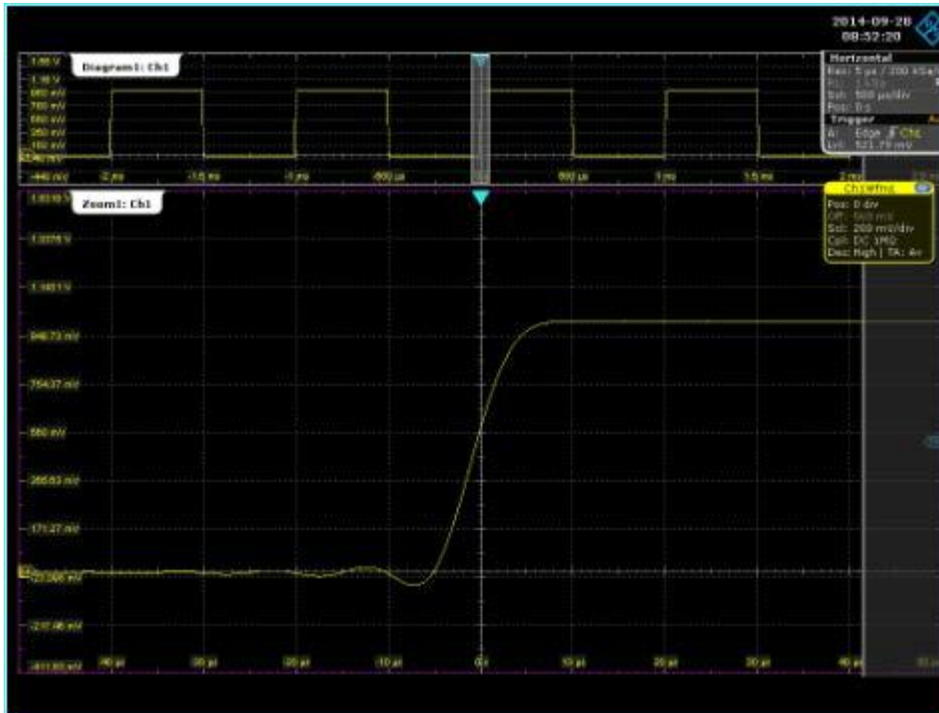


圖 9 HI\_RESOLUTION 抽取模式下，AVERAGE 波形算法測試波形

### 3.4 RMS 模式

在 RMS 抽取模式下，同理，這裡分三種波形算法對 RMS 抽取模式的連續 N 個波形計算，分別得到的測試波形如圖 10，圖 11，圖 12 所示。圖 10 為 RMS 抽取模式下，不做任何波形算法的測試波形個。圖 11 為 RMS 抽取模式下，運用 AVERAGE 波形算法測試的波形。圖 12 為 RMS 抽取模式下，運用 ENVELOPE 波形算法的測試波形。



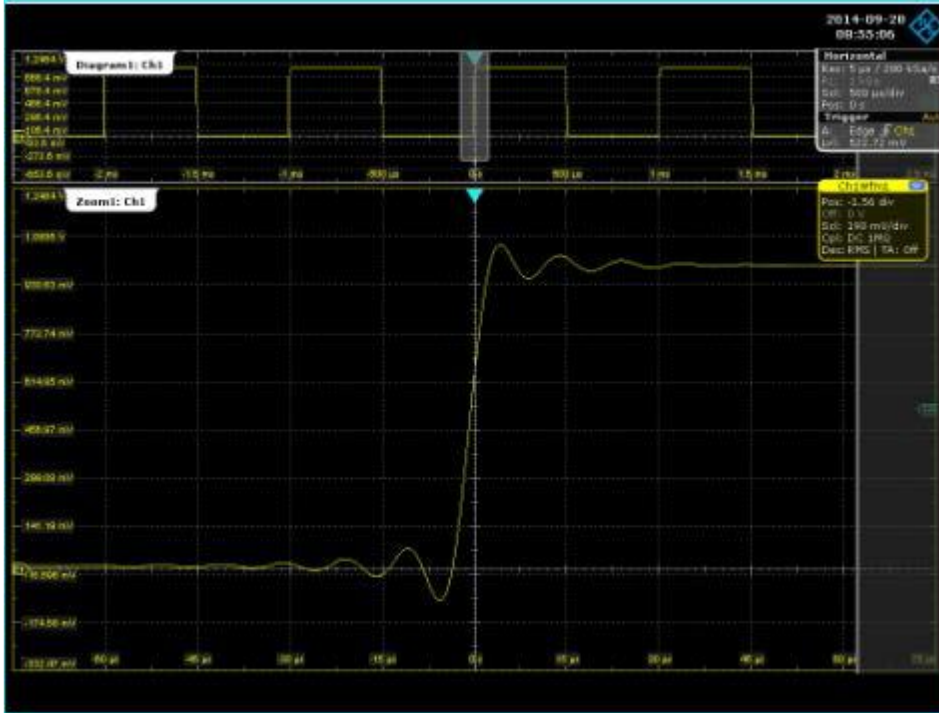


圖 10 RMS 抽取模式下 · OFF 波形算法測試波形

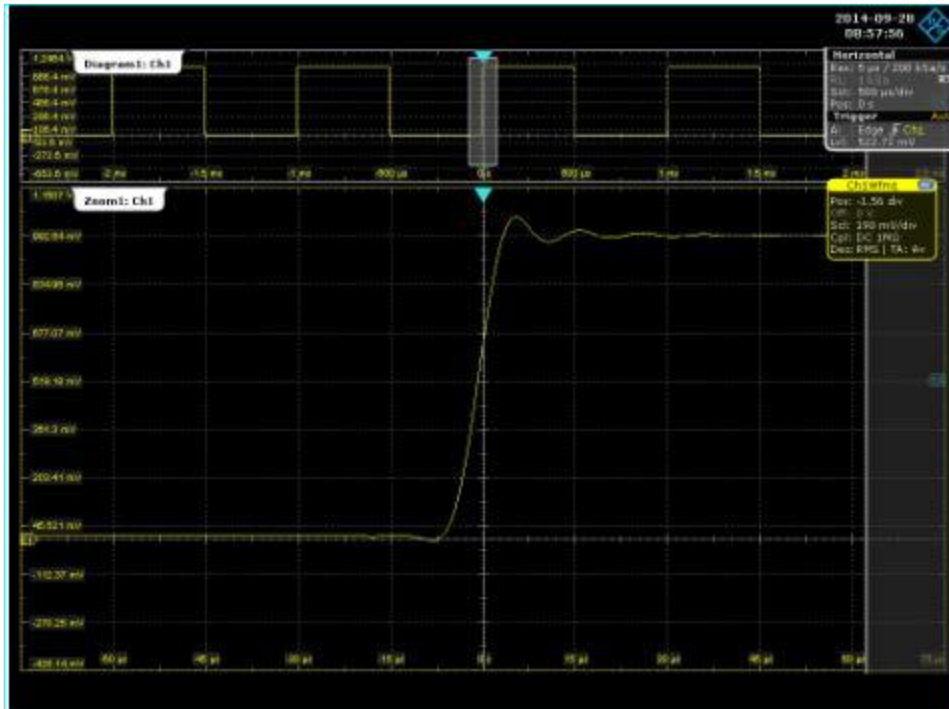


圖 11 RMS 抽取模式下 · AVERAGE 波形算法測試波形

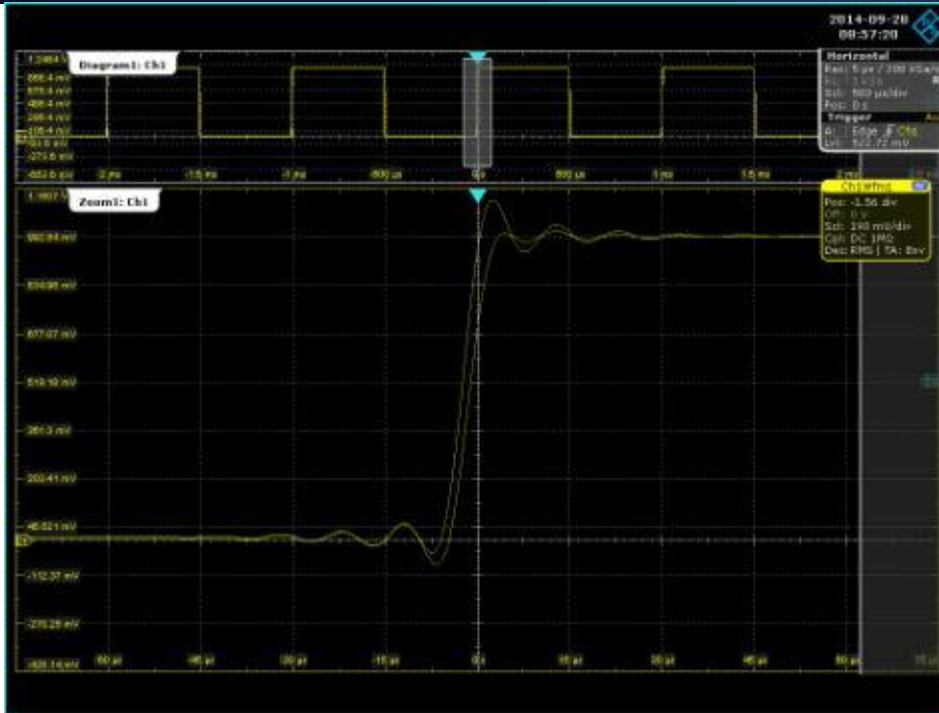


圖 12 RMS 抽取模式下，ENVELOPE 波形算法測試波形

## 4 結論

綜上所述，三種波形算法：OFF，AVERAGE，ENVELOPE。根據測試需要，選擇不同的波形算法。一般情況下，我們示波器默認情況為在 SAMPLE 抽取模式下，不做任何波形算法。那麼這裡也簡單總結下，波形算法的應用的使用情況。

AVERAGE 波形算法，主要適用在隨機噪聲比較多的信號裡，通過平均算法的計算，減少隨機誤差的影響，更加真實的測試信號幅度，只能適用於週期信號的測試。

ENVELOPE 波形算法，在測試信號波形時，通過包絡波形算法，對於具有隨機噪聲這樣的信號來測試，可以看到由最大值和最小值組成的包絡反映了噪聲的輪廓，即上限和下限，可以客觀的反映噪聲的幅值大小，為產品開發設計提供參考。

我們需要根據實際測試情況來選擇波形算法，同樣對於抽取，內插模式也一樣，選擇合適的方式。