

ЧАСТОТА ДИСКРЕТИЗАЦИИ ОСЦИЛЛОГРАФА И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ПОЛОСУ ПРОПУСКАНИЯ

OSCILLOSCOPE SAMPLE RATE AND ITS IMPACT ON BANDWIDTH

Фил Стернс (Phil Stearns), компания Agilent Technologies

Выбирая осциллограф, первое, на что мы обращаем внимание, это полоса пропускания, необходимая для точного представления наших сигналов. Полоса пропускания осциллографа говорит о том, какие составляющие спектра передаются без искажений и какую максимальную скорость переходных процессов можно измерять.

Осциллографы четко характеризуются номинальной полосой пропускания, а в некоторых случаях указывается даже полоса пропускания для каждой конкретной модели. Однако эти заявленные характеристики описывают, как правило, максимальную полосу пропускания входных фильтров осциллографа. Эффективная же полоса пропускания осциллографа определяется его частотой дискретизации, которая, в свою очередь, может ограничиваться глубиной памяти захвата.

В этой статье кратко исследуется взаимосвязь между полосой, частотой дискретизации и глубиной памяти. В результате вы узнаете о тех компромиссах, которые существуют между этими величинами, и как можно их смягчить, чтобы выполнить максимально достоверные измерения.

КРАТКИЙ ВИЗИТ К ДОКТОРУ НАЙКВИСТУ

Все мы знакомы с теоремой дискретизации Найквиста-Шеннона (в русской литературе известна, как теорема Котельникова), которая утверждает, что точное восстановление сигнала возможно в том случае, если, во первых, сигнал имеет ограниченную полосу частот и, во вторых, частота дискретизации, как минимум, вдвое превышает полосу сигнала¹. Если предположить, что все выборки расположены равномерно, то, во избежание ограничения полосы полезного сигнала, любой осциллограф должен иметь частоту дискретизации, вдвое превышающую номинальную полосу сигнала.

Однако эта теорема предполагает наличие теоретического фильтра, который пропускает все частоты ниже полосы полезного сигнала и подавляет все частоты выше этой полосы (рис. 1). Такая амплитудно-частотная характеристика известна, как «идеальный» фильтр. Высококачественный осциллограф с аппаратной и программной реализацией идеального фильтра может использовать частоту дискретизации, в 2 S раза превышающую

¹ Р. Б. Блэкман и Дж. У. Тукый, Измерение спектра мощности: с точки зрения техники связи, Нью-Йорк: Dover, 1958.



Agilent Technologies

щую полосу сигнала, однако применение таких фильтров в обычных осциллографах непрактично (и нежелательно).

В типичном осциллографе крутизна среза фильтра не так велика. Реализация таких фильтров обходится дешевле и их чувствительность к выбросам во временной области не так сильна. Такой компромисс вызывает необходимость применения повышенной частоты дискретизации, как правило в 4 раза превышающей полосу сигнала (рис. 2).

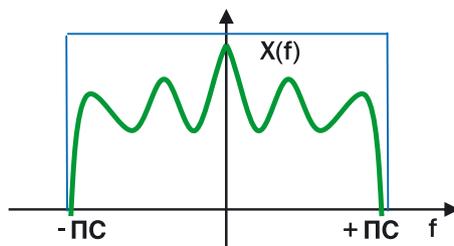


Рис. 1. Идеальная АЧХ для дискретизации с частотой Найквиста

Пока соблюдается такая 4-кратная передискретизация, номинальная полоса осциллографа остается неизменной. Однако любая причина, вызывающая снижение частоты дискретизации, приведет к наложению спектров ниже номинальной полосы пропускания.

РОЛЬ ПАМЯТИ

Память и частота дискретизации тесно связаны между собой. Поскольку осциллограф имеет фиксированную ширину экрана для любой скорости развертки (время/деление), существует несколько вариантов настройки, при которых и время, и память достигают максимальной величины. Однако значительно важнее сохранить скорость захвата сигнала — и, следовательно, полосу пропускания осциллографа — чем использовать всю память.

Выполнив простой расчет, можно узнать, сколько точек дискретизации требуется, чтобы заполнить весь экран:

$$\begin{aligned} \text{Число точек на сигнал} &= \\ &= \text{Частота дискретизации} \times \text{время/дел} \times \\ &\quad \times \text{число делений} \end{aligned}$$

Пример. Выбрана скорость развертки осциллографа 100 нс/дел и частота дискретизации 5 Гвыб./с.

$$\begin{aligned} \text{точки на сигнал} &= 5 \times 10^9 \text{ тчк/с} \times \\ &\quad \times 100 \times 10^{-9} \text{ с/дел} \times 10 \text{ дел} = 5000 \text{ тчк} \end{aligned}$$

Пока осциллографу хватает памяти для заполнения экрана, частоту дискретизации можно не менять. При превышении максимального объема памяти, частоту дискретизации приходится снижать, чтобы полностью заполнить ответное время. На рис. 3 показано, как снижается частота дискретизации при снижении скорости развертки в двух гипотетических осциллографах с полосой 500 МГц.

Осциллограф с большой глубиной памяти сохраняет высокую частоту дискретизации при более медленных развертках. Как это влияет на измерения? Давайте вернемся к теореме Найквиста.

Осциллограф 1 на рис. 3а имеет 8-кратную передискретизацию для всех скоростей развертки выше 500 нс/деление. В этой точке частота дискретизации начинает снижаться.

Однако наложение спектров не проявляется до тех пор, пока частота дискретизации не упадет ниже 2 Гвыб./с (4-кратная передискретизация). Это происходит при скорости развертки 1 мкс/деление. В этой точке любое снижение частоты дискретизации вызовет эффективное сужение полосы пропускания осциллографа (рис. 3б, 3в)

Влияние полученных результатов на выбор осциллографа и методы отладки

Из приведенного выше анализа следует, что:

- Полоса в явном виде ограничивается эффективной частотой дискретизации осциллографа.

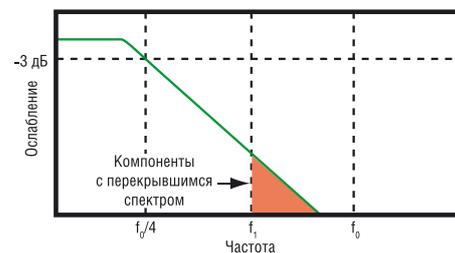


Рис. 2. Более типичная АЧХ

- Частота дискретизации может снижаться при низких скоростях развертки.
- Увеличение объема памяти может задержать момент снижения частоты дискретизации.

Как это влияет на выбор осциллографа и методов отладки? На самом деле это зависит от исследуемых сигналов.

- Если большую часть времени вы заняты исследованием простых сигналов, например, фронтов и переходных процессов, то нет особых проблем в том,

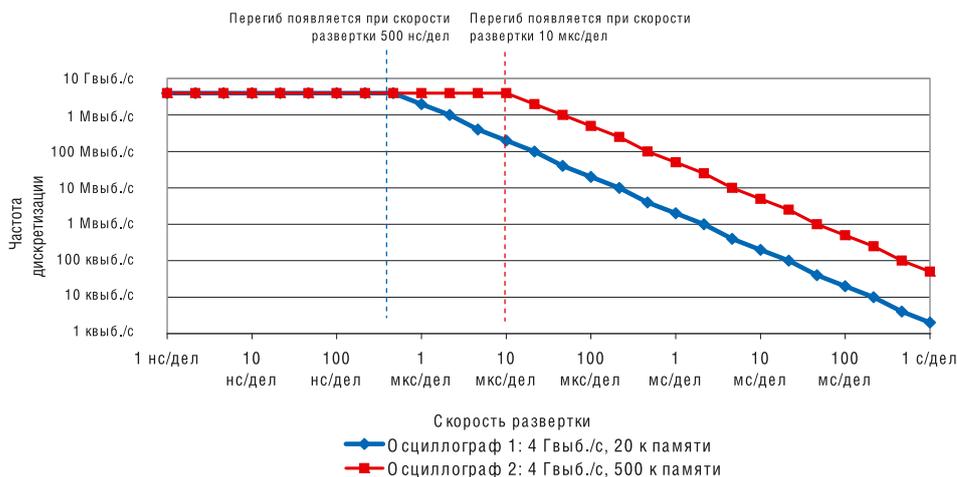


Рис. 3а. Влияние объема памяти на частоту дискретизации

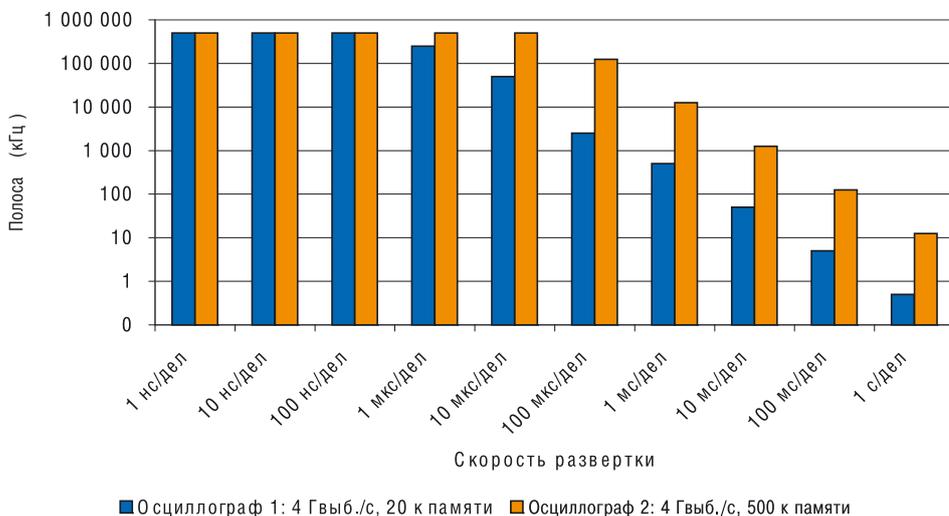
чтобы подобрать скорость развертки осциллографа в соответствии со спектром вашего сигнала — крутые фронты требуют высоких скоростей развертки.

- Если вы исследуете более сложные сигналы, состоящие из медленных и быстрых фрагментов (например, модулирующие сигналы), вам следует рассмотреть возможность замены осциллографа с малой глубиной памяти (менее 100 квыборок) моделью с большой глубиной памяти (не менее 1 Мвыборок).

- Если вы не можете заменить текущее оборудование, то, возможно, надо разбить анализ на несколько отдель-

ных этапов. Применяйте медленную развертку для анализа медленных фрагментов; а затем переключитесь на быструю развертку для измерения широкополосных событий. Если вы выберете этот путь, то вам могут пригодиться приведенные выше расчеты зависимости полосы от скорости развертки.

При захвате сигнала за один проход компромисс между полосой и эффективной частотой дискретизации получается одинаковым, однако воображаемая модель и последствия немного отличаются. При захвате сигнала за один проход вы стараетесь захватить



■ Осциллограф 1: 4 Гвыб./с, 20 к памяти ■ Осциллограф 2: 4 Гвыб./с, 500 к памяти

Скорость развертки	4 Гвыб./с, 20 к памяти			4 Гвыб./с, 500 к памяти		
	Отображаемые точки	Частота дискретизации	Эффективная полоса	Отображаемые точки	Частота дискретизации	Эффективная полоса
1 нс/дел	40	4 Гвыб./с	500 МГц	40	4 Гвыб./с	500 МГц
10 нс/дел	400	4 Гвыб./с	500 МГц	400	4 Гвыб./с	500 МГц
100 нс/дел	4000	4 Гвыб./с	500 МГц	4000	4 Гвыб./с	500 МГц
1 мкс/дел	20000	2 Гвыб./с	500 МГц	40000	4 Гвыб./с	500 МГц
10 мкс/дел	20000	200 Мвыб./с	50 МГц	400000	4 Гвыб./с	500 МГц
100 мкс/дел	20000	20 Мвыб./с	5 МГц	500000	500 Мвыб./с	125 МГц
1 мс/дел	20000	2 Мвыб./с	500 кГц	500000	50 Мвыб./с	12,5 МГц
10 мс/дел	20000	200 квыб./с	50 кГц	500000	5 Мвыб./с	1,25 МГц
100 мс/дел	20000	20 квыб./с	5 кГц	500000	500 квыб./с	125 кГц
1 с/дел	20000	2 квыб./с	500 Гц	500000	50 квыб./с	12,5 кГц

Рис. 3б и 3в. Эффективная полоса (ЧД/4) для разных скоростей развертки

КОМПРОМИССЫ:
ДОСТОВЕРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Эта статья посвящена частоте дискретизации, однако существует взаимовлияние частоты дискретизации, скорости развертки и глубины памяти, которое определяет эффективность осциллографа и достоверность выполненных измерений. Выбирая осциллограф, не забывайте об этих трех параметрах и их влиянии на результаты измерений.



как можно больший фрагмент сигнала (столько, сколько нужно для вашего измерения) с максимально возможной скоростью. Чтобы сохранить высокое качество сигнала при растяжении и детально рассмотреть отдельные переходы, необходимо сохранить высокую частоту дискретизации. Это позволяет выполнять точные измерения макро и микро событий за один проход. Если сохранить высокую частоту дискретизации (а, следовательно, и полосу) не удастся, такие события надо измерять, захватывая их отдельно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье приведен краткий анализ взаимосвязи между полосой, частотой дискретизации и глубиной памяти. Однако вопрос полосы пропускания значительно глубже и охватывает больше аспектов, таких как равномерность АЧХ в полосе пропускания и частота среза, рассмотреть которые в краткой статье не представляется возможным. ☑

When selecting an oscilloscope for a specific measurement, the first thing that most of us consider is the bandwidth required to accurately represent our signals. The oscilloscope's bandwidth tells us what spectral frequencies will be preserved and the maximum transition speeds that can be measured. In this article we briefly explore the relationship between bandwidth, sample rate, and memory depth. As a result we will understand the tradeoffs involved and how we can mitigate them to make measurements with more confidence.