

Осциллограф. Основы.

Горелкин Михаил

Специалист по осциллографам

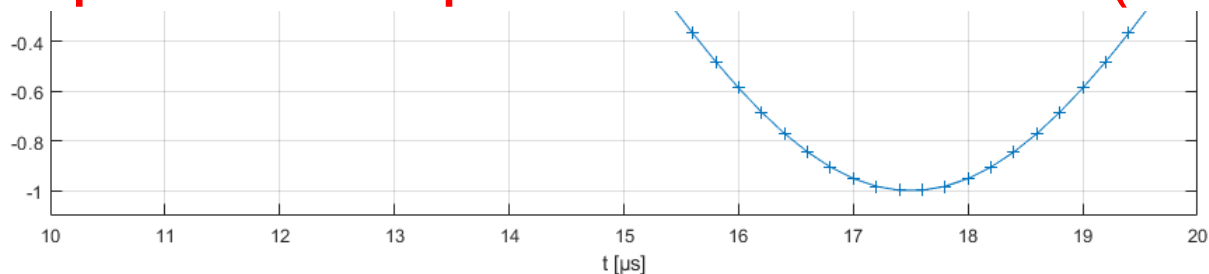
E-mail: Mikhail.Gorelkin@rohde-schwarz.com

Что такое осциллограф?

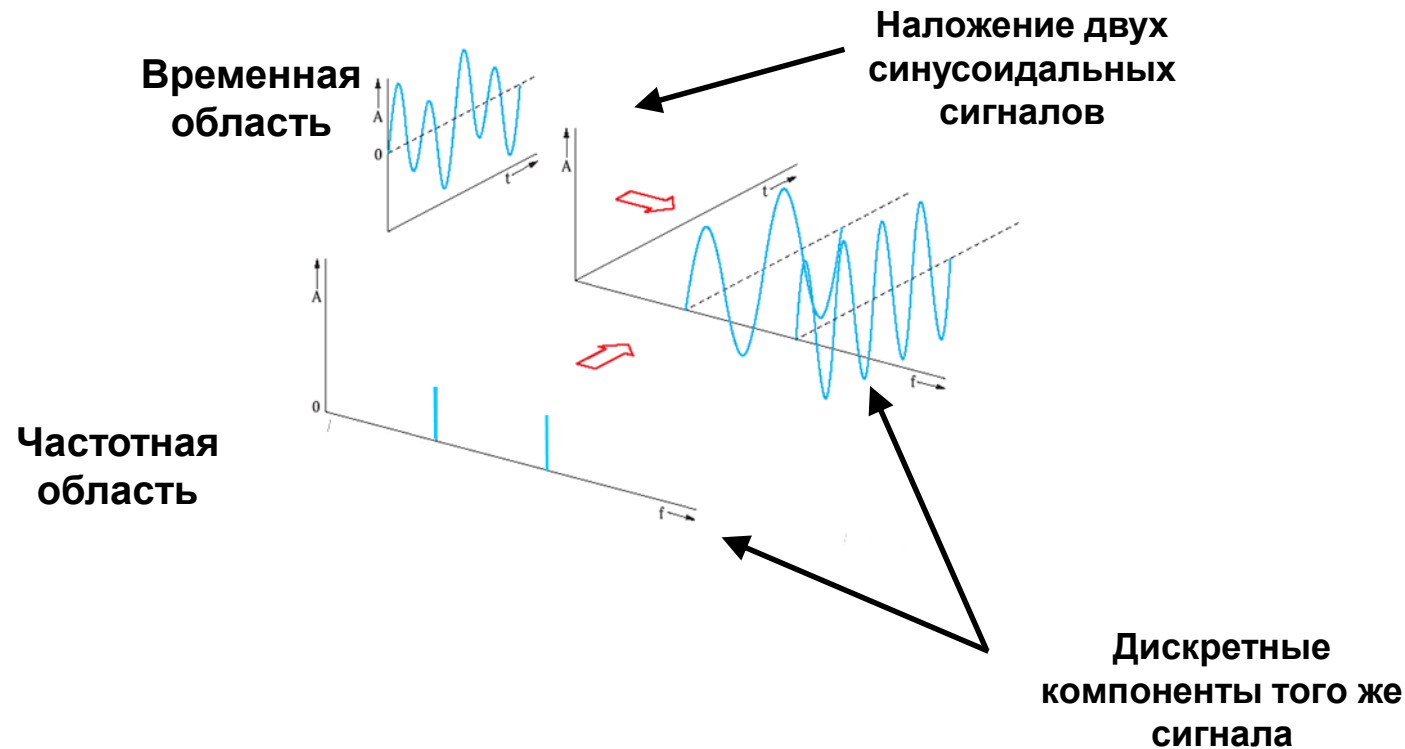
- Обобщённо, осциллограф это прибор измеряющий и показывающий зависимость напряжения от времени.



Обычно это также называют: **выполнение измерений во временной области (ВО)**



Что такое осциллограф?

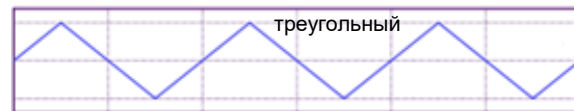
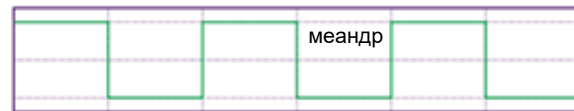
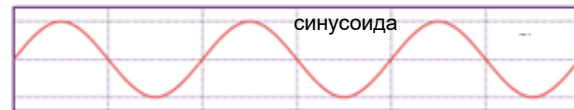


Что такое осциллограф?

Формы сигнала

■ Многие сигналы можно классифицировать по форме:

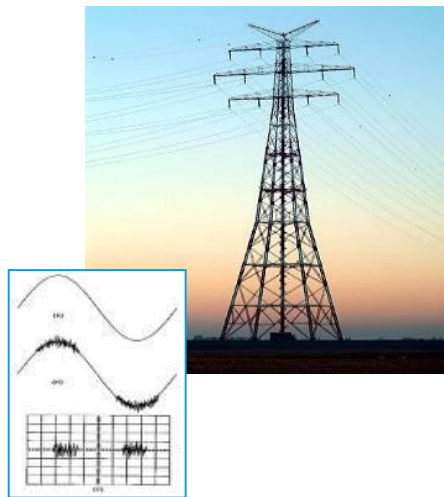
- Синусоидальный сигнал
- Прямоугольной или меандрической формы
- Треугольной или пилообразной формы
- Ступенчатой или импульсной формы
- Периодический и непериодический сигнал
- Синхронные и асинхронные сигналы
- Комплексный сигнал



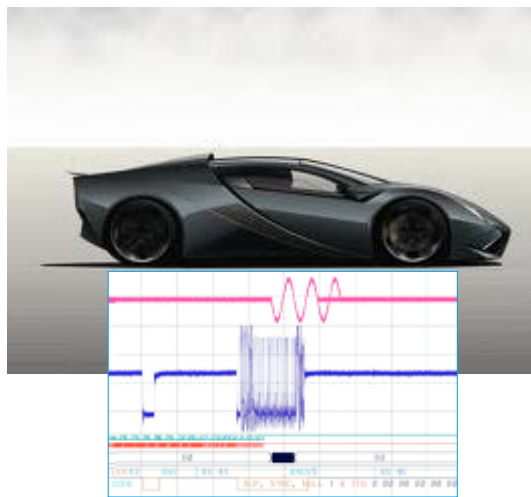
Что такое осциллограф?

Применение

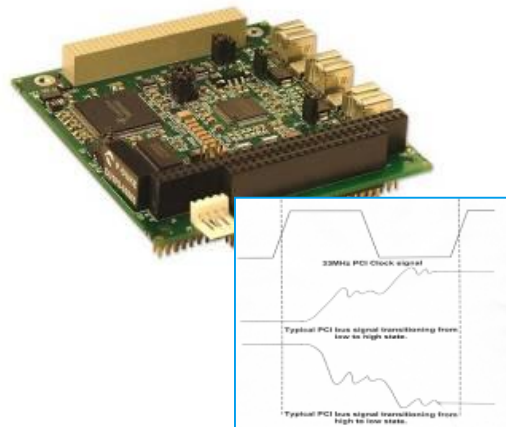
- Измерения во временной области



Линии электропередач
(аналоговый / синусоидальный)

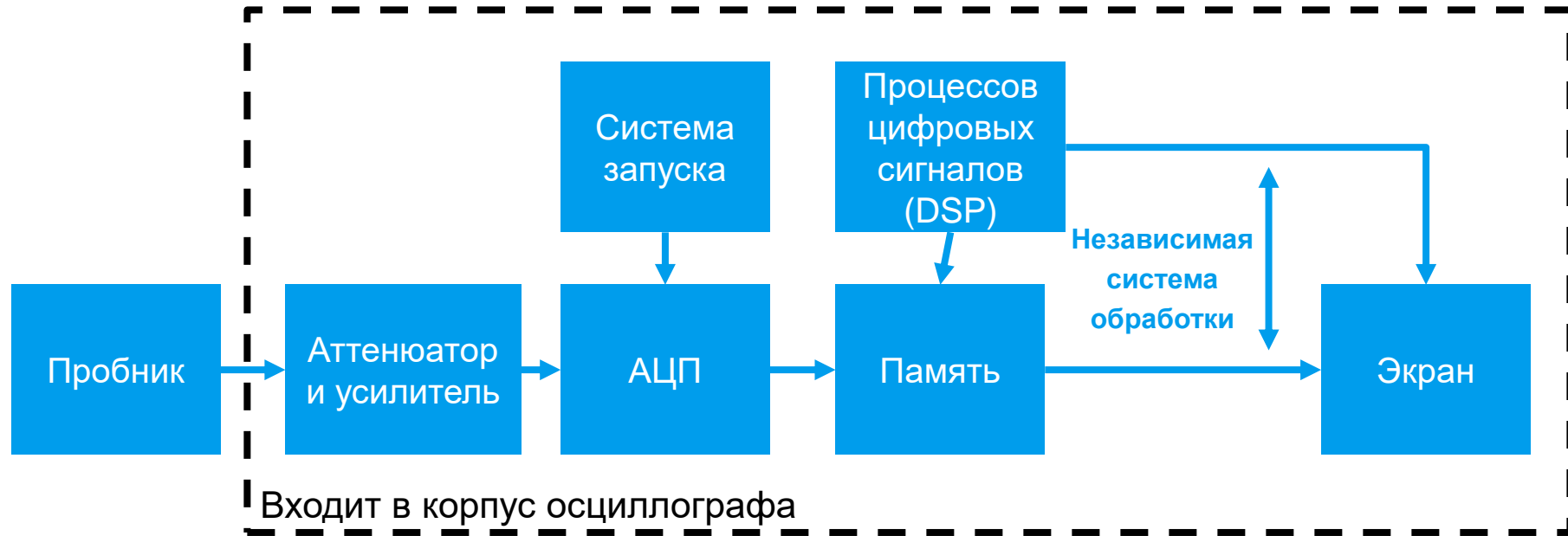


Электроника и ЭМС
(аналоговый комплексный)

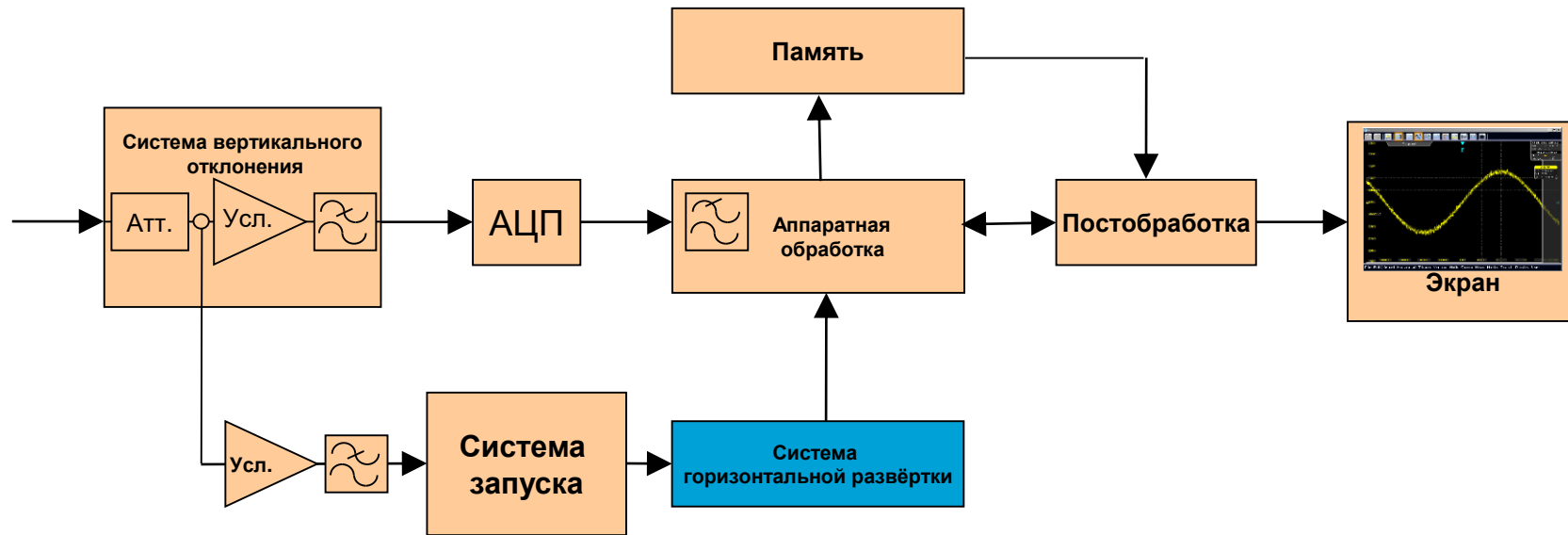


Шины данных
(цифровые сигналы)

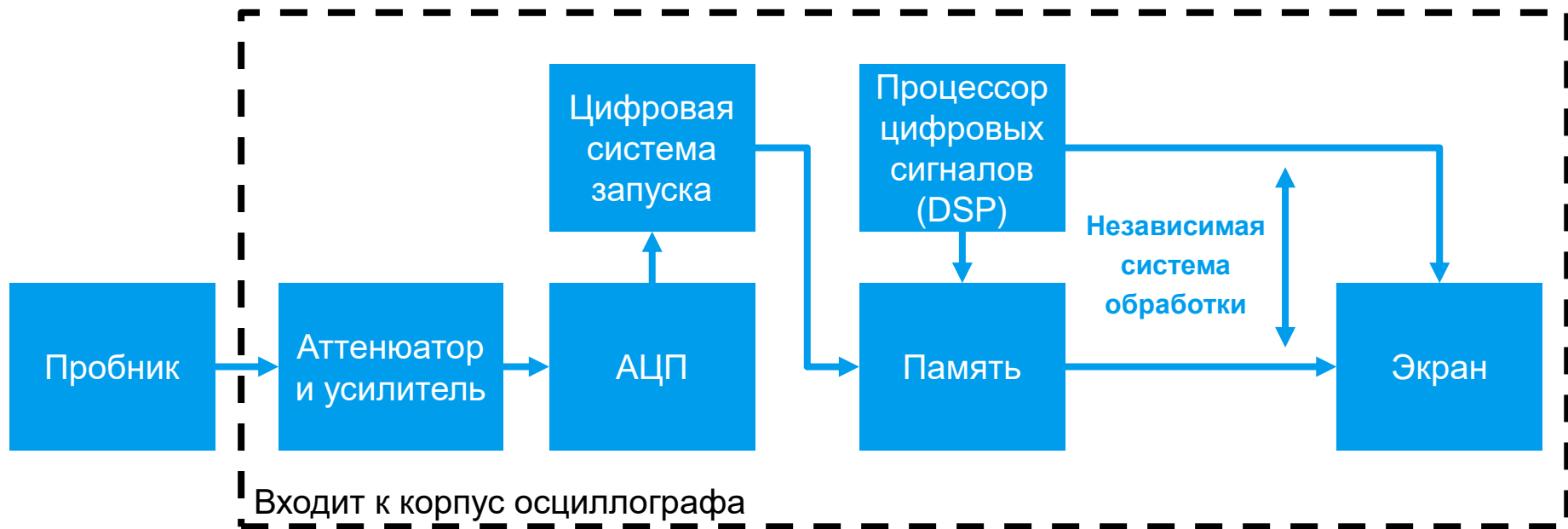
Блок-схема цифрового осциллографа



Осциллограф с традиционной аналоговой системой запуска



Блок-схема осциллографа с цифровой системой запуска



Важнейшие параметры осциллографа

- Глубина памяти
- Время и скорость измерения
- Частота дискретизации
- Аналоговая полоса пропускания
- Эффективное количество бит (ENOB) / Динамический диапазон



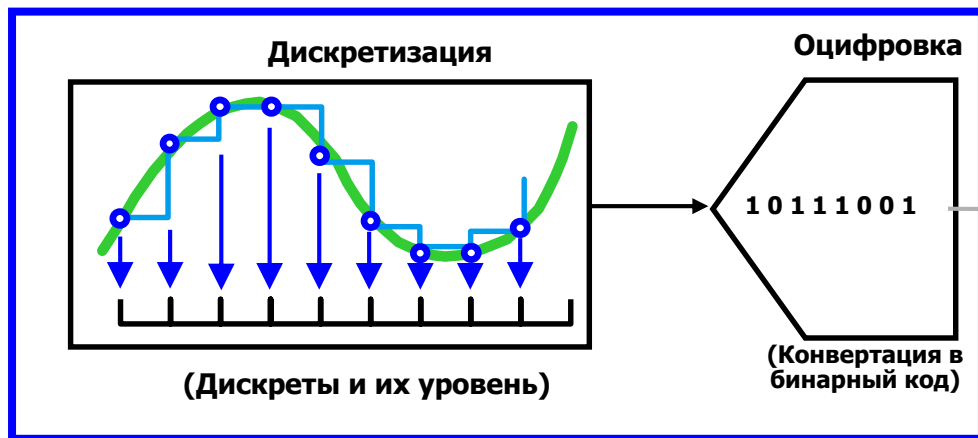
Время захвата vs. Глубина памяти

- Длительность непрерывно наблюдаемого на экране и записываемого интервала времени измерения напрямую зависит от частоты дискретизации и доступной глубины памяти.

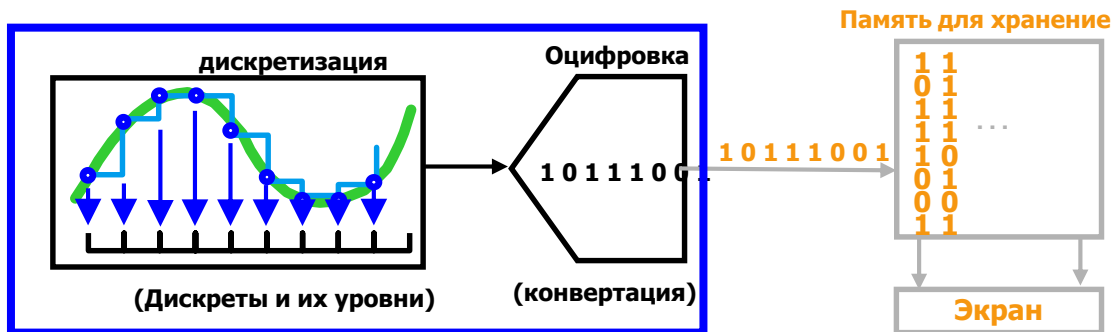
$$t_{\text{захвата}} = n_{\text{память}} / f_{\text{дискр}}$$



Основы. Длина записи



Основы. Длина записи



Частота дискретизации \times Время захват = Длина записи

$$f_{\text{дискр.}} \times t_{\text{захвата}} = n_{\text{точек}} \quad \text{где} \quad t_{\text{захвата}} = [\text{Цена деления}] \times [\text{Количество делений}]$$

Пример:

Частота дискр.= 10 Гточек/с

$$10 \frac{\text{Гточек}}{\text{с}} \times 100 \frac{\text{Нс}}{\text{дел}} \times 10 \text{ дел} = 10 \text{ кТочек}$$

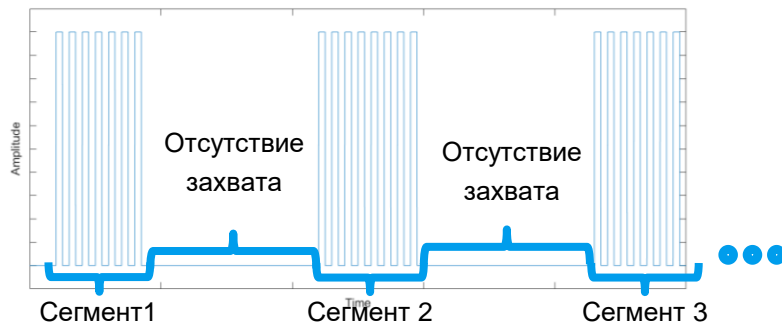
$$10 \frac{\text{Гточек}}{\text{с}} \times 100 \frac{\text{мкс}}{\text{дел}} \times 10 \text{ дел} = 10 \text{ МТочек}$$



Время захвата vs Глубина памяти

Сегментированная память

- Вся доступная для захвата память делиться на заданное количество сегментов ($n_{\text{сегментов}}$).
- Каждый из сегментов это одиночный захват данных такой же длины, как и предыдущий..
- Общее время наблюдения увеличивается кратно количеству сегментов. Реальное время наблюдения зависит от длительности пауз между событиями запуска в двух последовательных сегментах.



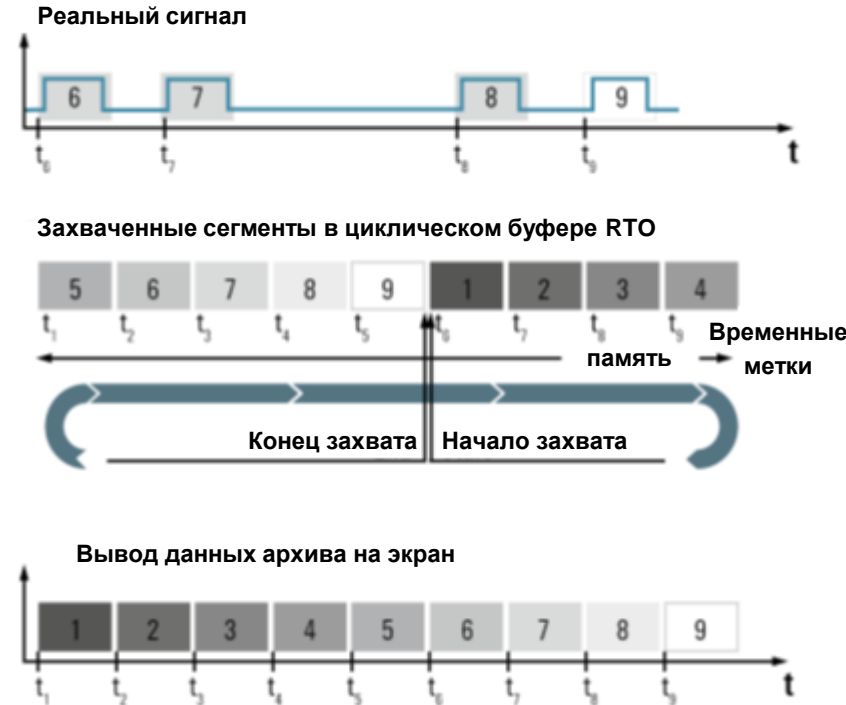
■ Напоминание: Не забудьте правильно установить время задержки запуска.



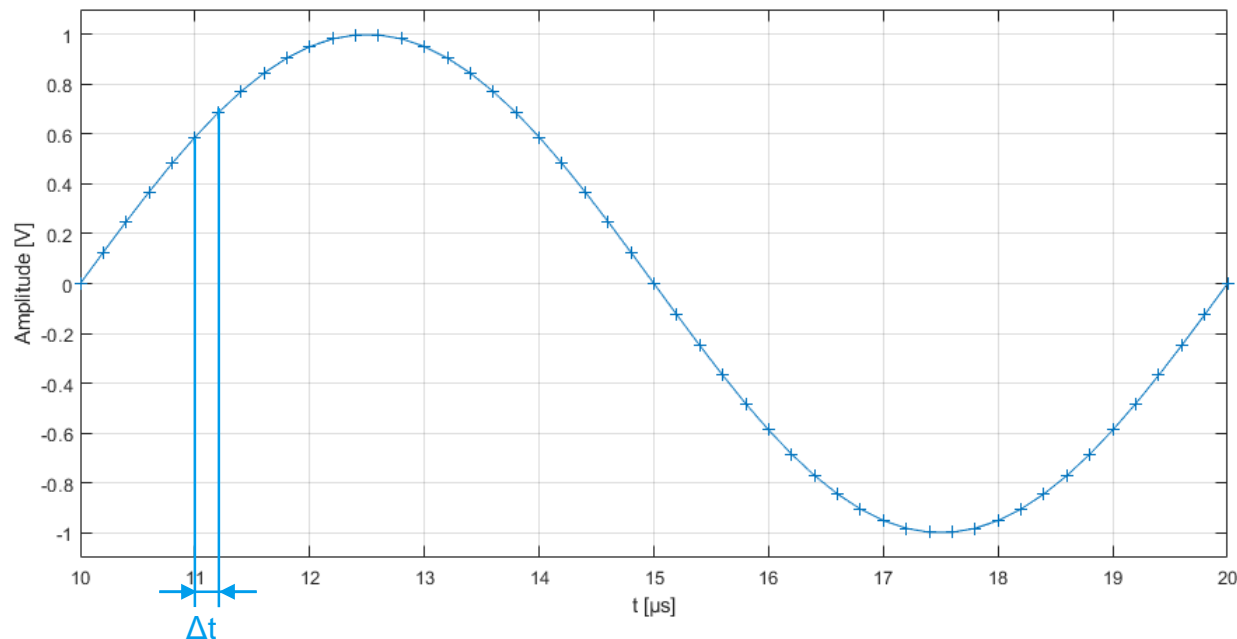
Время захвата vs Глубина памяти

Режим Архива

- Каждый захват данных:
 - Автоматически сохраняется в архиве памяти.
 - Может быть проигран в любое время, когда будет необходимо.
- Примечание: Время простоя осциллографа значительно сокращается при использовании режима архива.



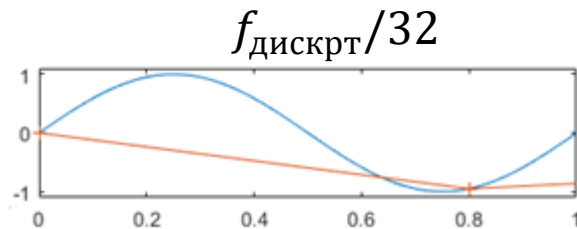
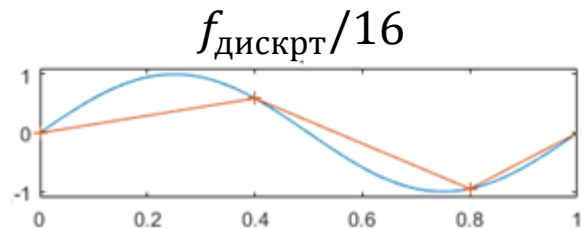
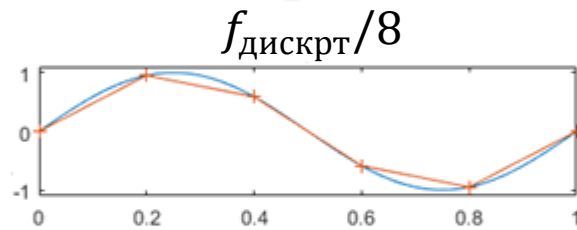
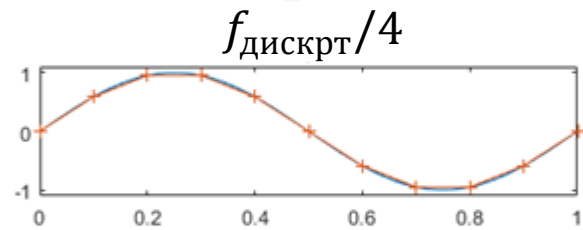
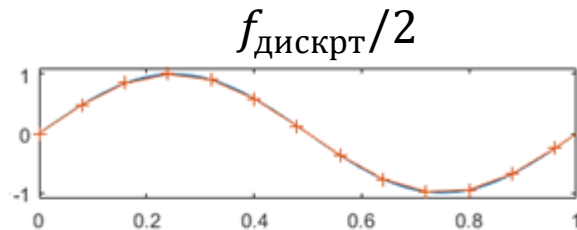
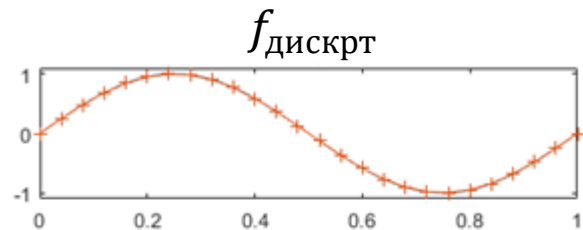
Частота дискретизации $f_{\text{дискрт.}}$



$$f_{\text{дискрт}} = 1/\Delta t$$

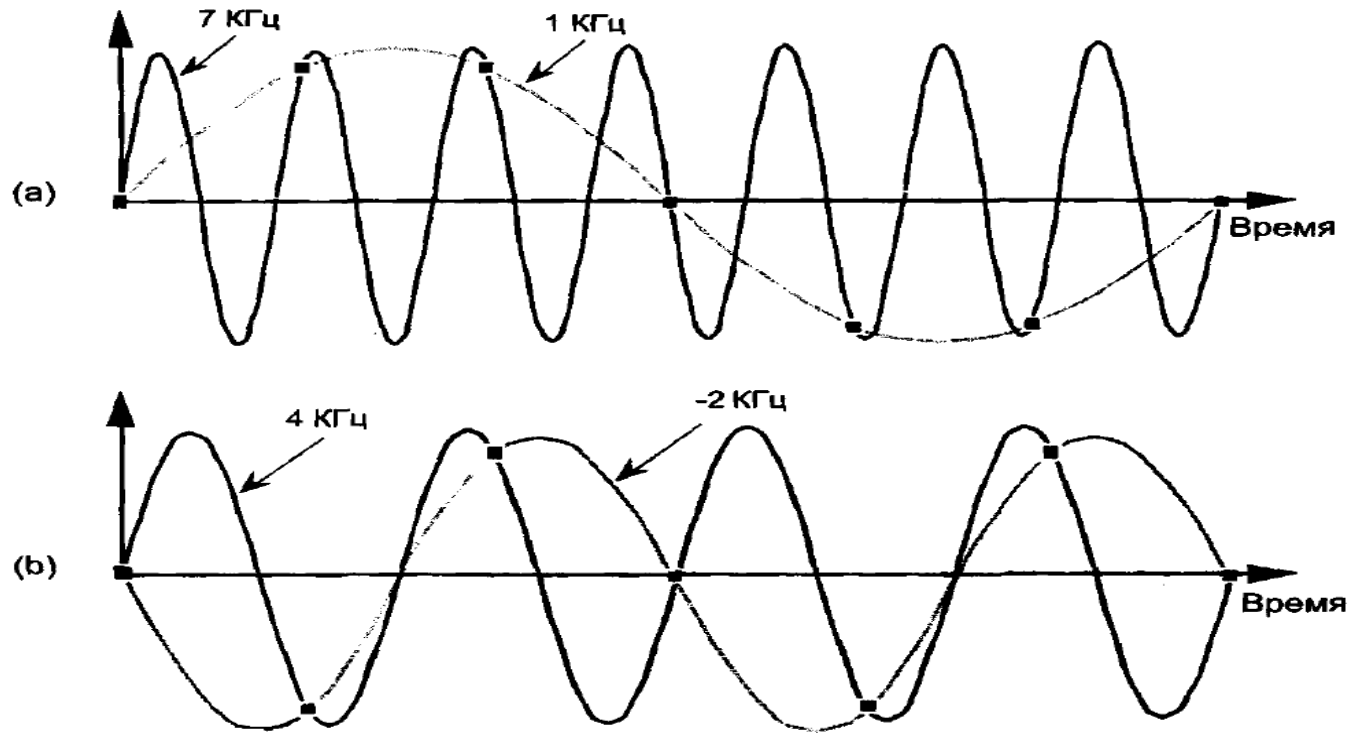
Δt является фиксированным значением и, таким образом, все точки равномерно распределены по оси времени

Влияние частоты дискретизации на результаты анализа



- Идеальная кривая
- + Восстановленная кривая без интерполяции

Влияние частоты дискретизации на результаты анализа



Частота дискретизации $f_{\text{дискрт.}}$

- Частота дискретизации:

- Размерность: Точек в секунду [Точек/с]

- Как определить максимальную частоту, которую можно различить при заданной $f_{\text{дискрт}}$?

- Теорема Найквиста-Шеннона (Теорема Котельникова)

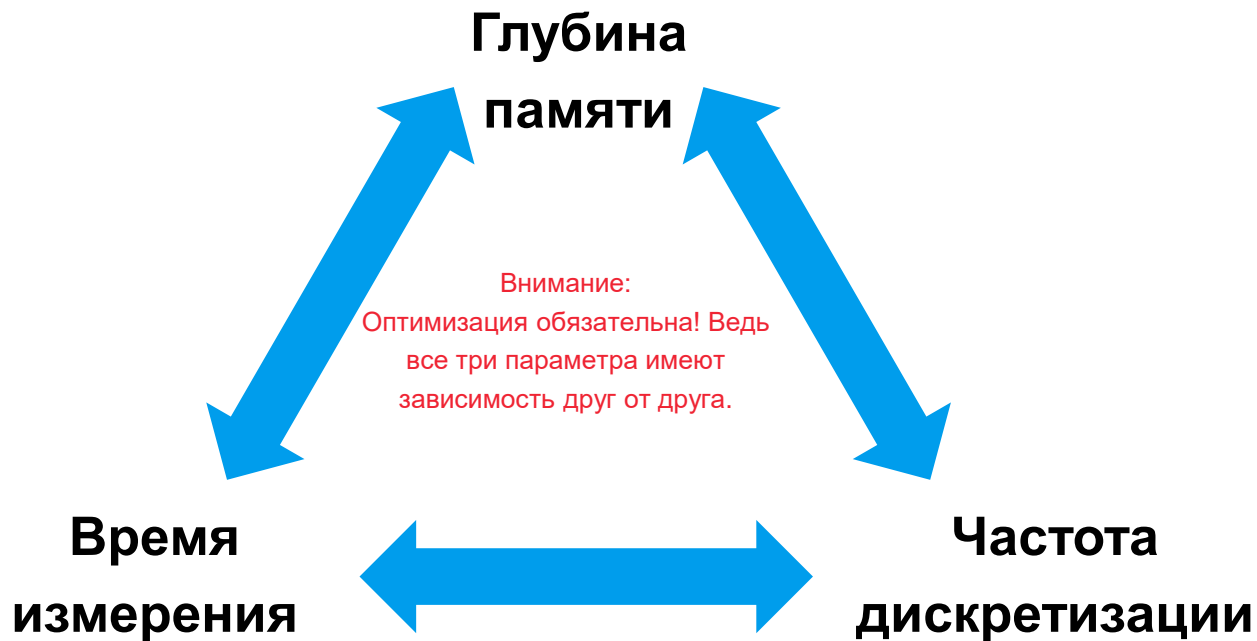
$$f_{\text{max}} \leq \frac{f_{\text{дискрт}}}{2}$$

- Действительно только для периодических синусоидальных сигналов

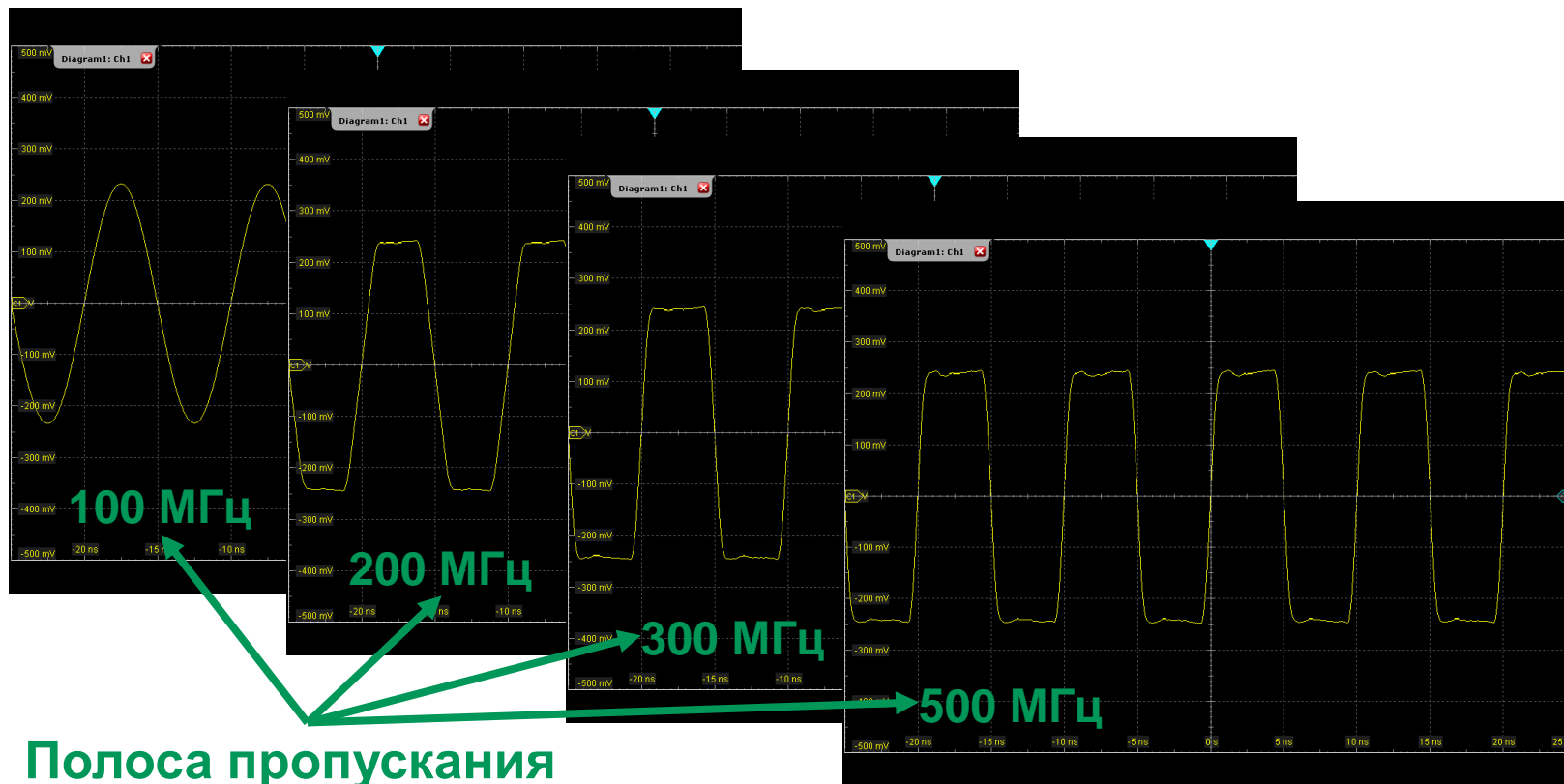
→ Как определить f_{max} для несинусоидальных сигналов?



Важнейшие характеристики осциллографа

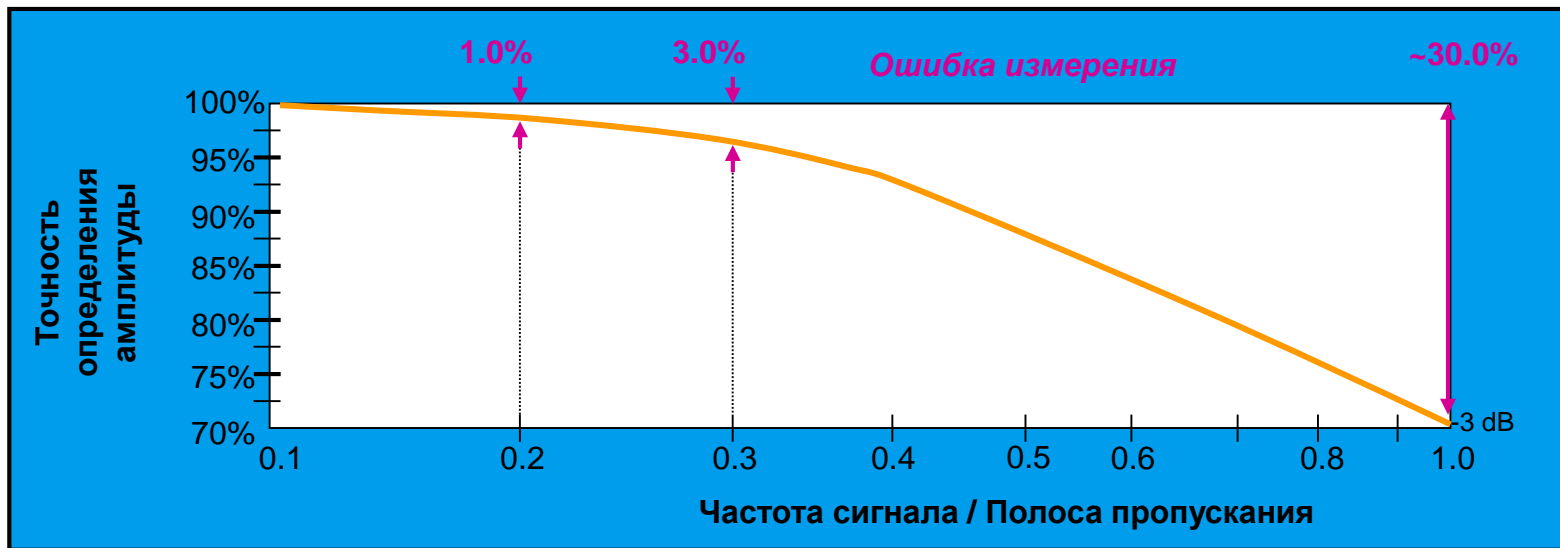


Какой полосы пропускания будет достаточно?



Полоса пропускания как измерительный параметр

- Всегда специфицируется по значению -3 dB.
 - Значит это частота сигнала, при которой прибор ослабит этот сигнал на 3 dB.
 - Или другими словами, определит амплитуду лишь на 70.7% от реального значения



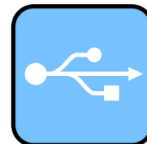
Осциллограф. Основы.

Требования при тестировании качества сигнала

■ Скорость передачи различных интерфейсов



Интерфейс	Скорость передачи	Тактовая частота	Требования к полосе пропускания		Класс осциллографа
			3-я гармоника	5-я гармоника	
I2C	3.4 Мбит/с	3.4 МГц	10.2 МГц	17 МГц	бюджетный
LAN 1G	125 Мбит/с	Помните правило «3-5 раз»			Ниже среднего
USB 2.0	480 Мбит/с				средний
DDR II	800 Мбит/с	400 МГц	1.2 ГГц	2.0 ГГц	Выше среднего
SATA I	1.5 Гбит/с	750 МГц	2.25 ГГц	3.75 ГГц	
PCIe 1.0	2.5 Гбит/с	1.25 ГГц	3.75 ГГц	6.25 ГГц	Высший начальный
PCIe 2.0	5.0 Гбит/с	2.5 ГГц	7.5 ГГц	12.5 ГГц	Высший



Какой полосы пропускания будет достаточно?

Какие параметры сигнала мне нужно знать?

- Частота повторения любого тестируемого сигнала - не самый важный параметр для выбора осциллографа для вашей измерительной задачи!
- Тогда что же действительно важно?

→ Время нарастания!

- Другими словами: Самый быстро нарастающий / крутой фронт сигнала содержит самые высокие составляющие частоты.

→ Как оценить необходимую пропускную способность используемого измерительного оборудования?



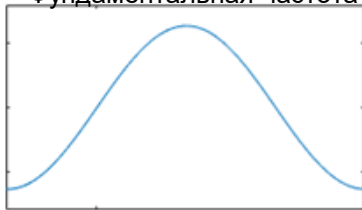
Какой полосы пропускания будет достаточно?

Какие параметры сигнала мне нужно знать?

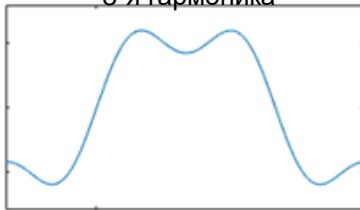
- Почему время нарастания так важно?

- В большинстве случаев мы заинтересованы в анализе несинусоидальных сигналов

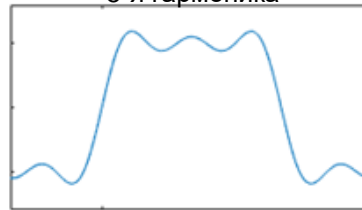
Фундаментальная частота



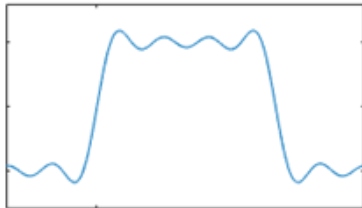
3-я гармоника



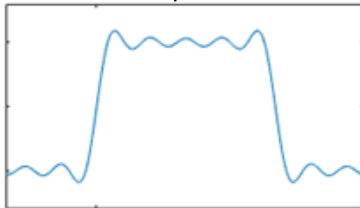
5-я гармоника



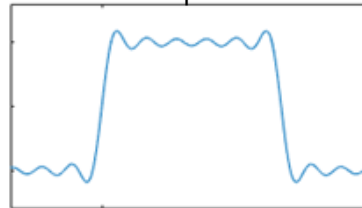
7-я гармоника



9-я гармоника

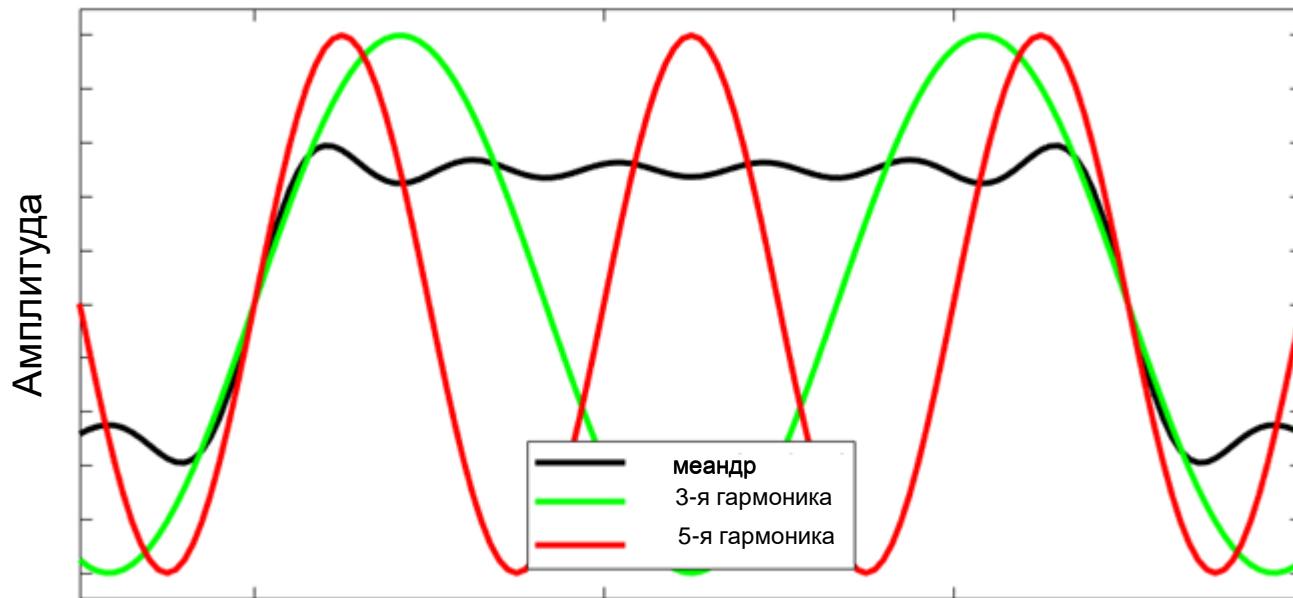


11-я гармоника



Какой полосы пропускания будет достаточно?
Какие параметры сигнала мне нужно знать?

Сравнение меандра и 3-ей и 5-ой гармоники его фундаментальной частоты



Какой полосы пропускания будет достаточно?

Какие параметры сигнала мне нужно знать?

■ Как определить полосу пропускания, если известно время нарастания?

- Размерности величин:

- Время нарастания t_r измеряется в [с]
 - Полоса пропускания измеряется в [Гц]
- } $f_{max} = 1/t_r$

- Но правильна ли эта оценка или слишком консервативна?

- Время нарастания должно представлять нарастающий фронт соответствующих частот синусоидальной формы.

- Таким образом, приведенная выше оценка будет избыточной
- В зависимости от исследуемой литературы вы обычно найдете следующие определения:

$$1) f_{max} = 0.4/t_r \quad 2) f_{max} = 0.5/t_r \quad 3) f_{max} = 1/(2 * \pi * t_r)$$



Какой полосы пропускания будет достаточно?

Какие параметры сигнала мне нужно знать?

■ Как определить полосу пропускания, если известно время нарастания?

- Размерности величин:

- Время нарастания t_r измеряется в [с]

- Полоса пропускания измеряется в [Гц]

$$f_{max} = 1/t_r$$

- Но прави

- Время на

синусоидальной формы.

Как правило, для определения f_{max} используют равенство 2)

$$f_{max} = 0.5/t_r$$

от

- Таким образом, приведенная выше оценка будет избыточной

- В зависимости от исследуемой литературы вы обычно найдете следующие определения:

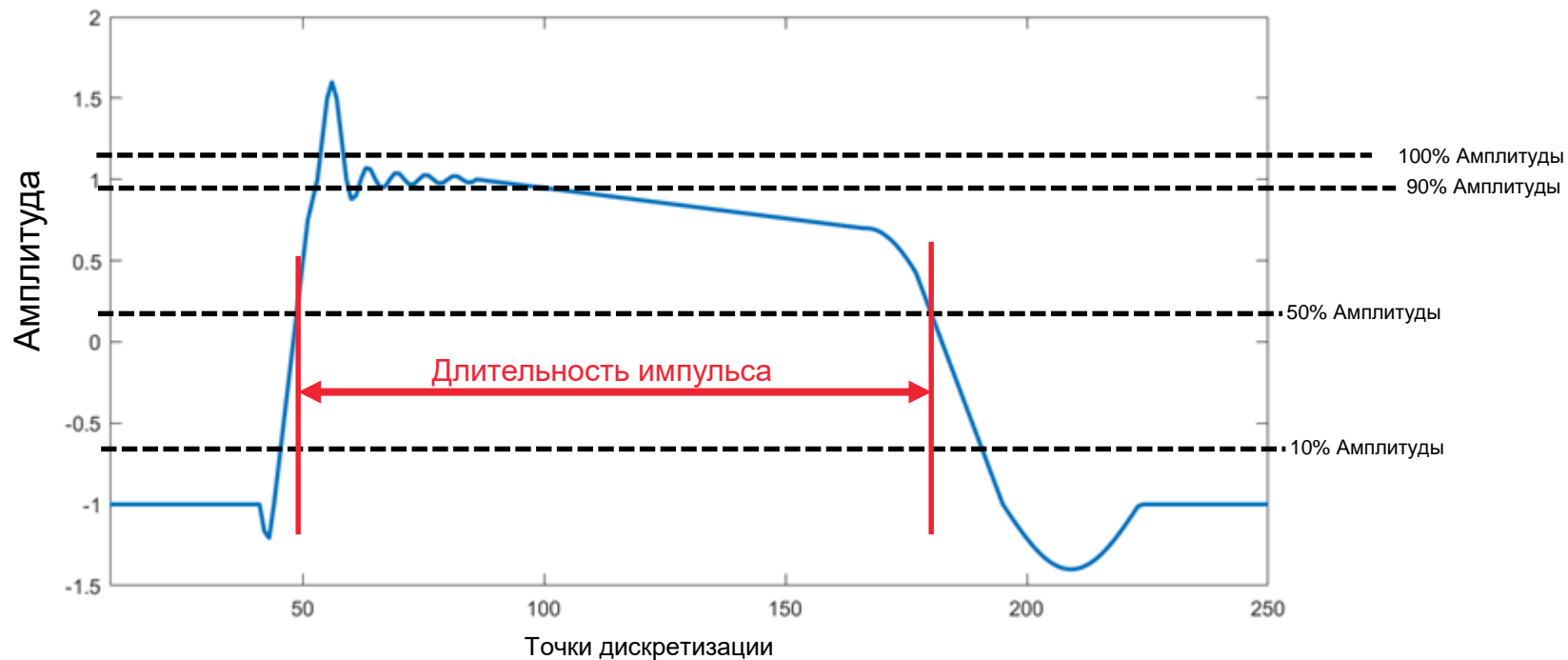
1) $f_{max} = 0.4/t_r$

2) $f_{max} = 0.5/t_r$

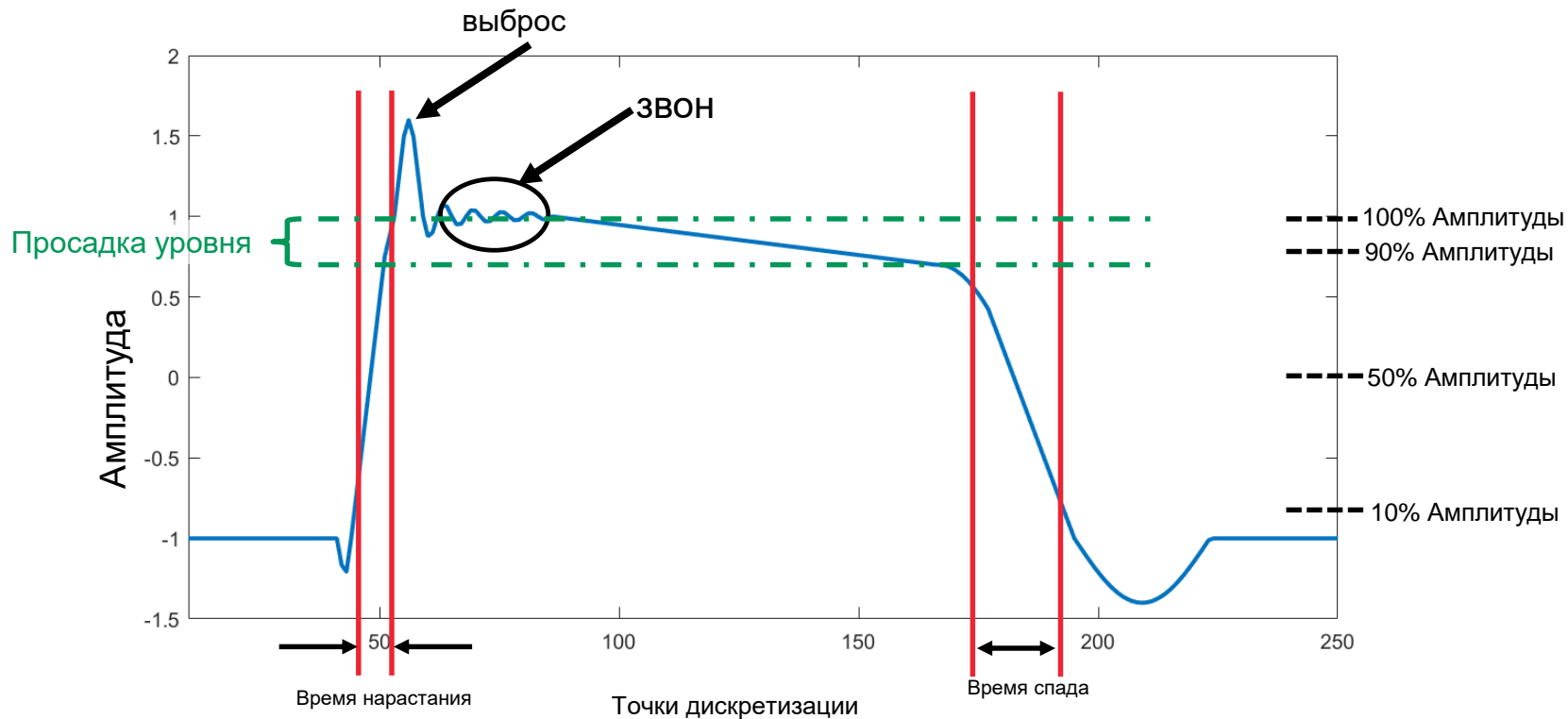
3) $f_{max} = 1/(2 * \pi * t_r)$



Стандартные измерения на осциллографе



Стандартные измерения на осциллографе



АЦП

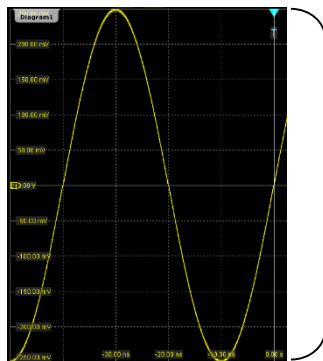
Входной диапазон

- Вертикальная развёртка и положение сигнала на экране напрямую влияют на разрешение
- Вся вертикальная развёртка экрана (все 10 делений) соответствуют полному входному диапазону АЦП

Лучшие результаты!

Цена деления 50 мВ/дел

Амплитуда: 0.5 В

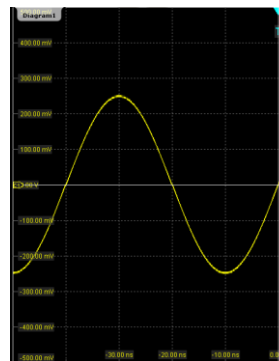


8 бит /
256 уровней

Лучшее разрешение АЦП
 $8 \text{ бит} \Rightarrow 2 \text{ мВ} / \text{бит}$

Эквивалентно разрешение в 7 бит

Цена деления 100 мВ/дел



7 бит /
128 уровней

Урезанное разрешение АЦП
 $8 \text{ бит} \Rightarrow 4 \text{ мВ} / \text{бит}$

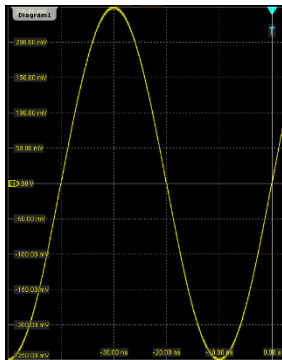


Точность

Вертикальное разрешение АЦП

- Вертикальная развёртка и положение сигнала на экране напрямую влияют на разрешение
- Масштабирование сигнала по не полной шкале увеличивает размер шага квантования и снижает точность

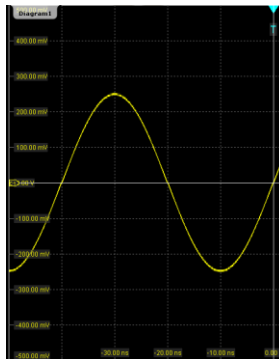
Цена деления 50 мВ/дел



Лучшее разрешение АЦП
8 бит \Rightarrow 2 мВ / бит

(Лучшие результаты!)

Цена деления 100 мВ/дел



Урезанное разрешение АЦП
8 бит \Rightarrow 4 мВ / бит

(Эквивалентно разрешению 7 бит)

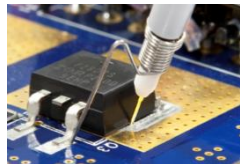
Система отображения
Multi-Grid



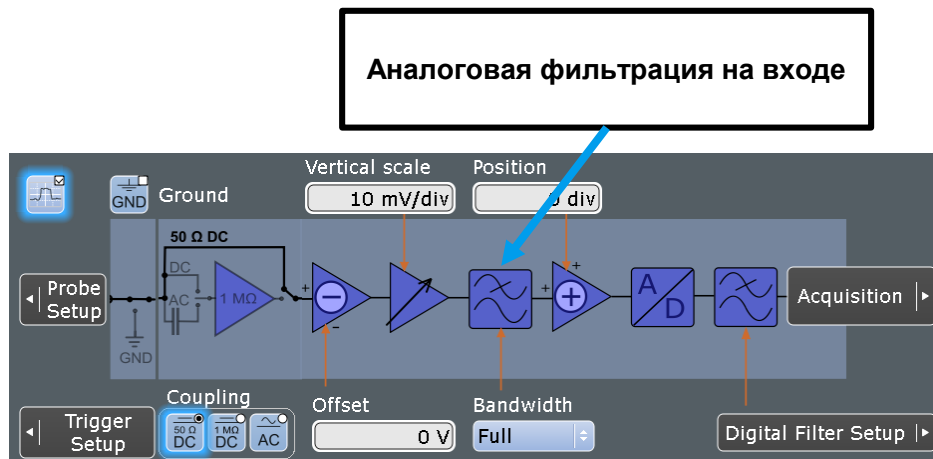
Осциллограф RTO

Все примеры приведены для сигнала 500мВ

Методы улучшения сигнала



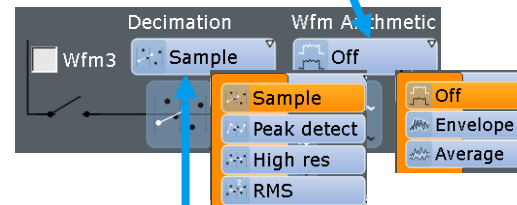
Использование
активных
пробников не
вносящих
искажение в
сигнал...



Аналоговая фильтрация на входе

Режим высокой чёткости (HD)
(Цифровой фильтр повышающий разрешение)

Усреднение
(при многократном захвате)



Режим высокого разрешения (HiRes)
(фильтр скользящего среднего)

Осциллограф. Основы.

Прореживание. Отчёты

■ Принцип прореживания

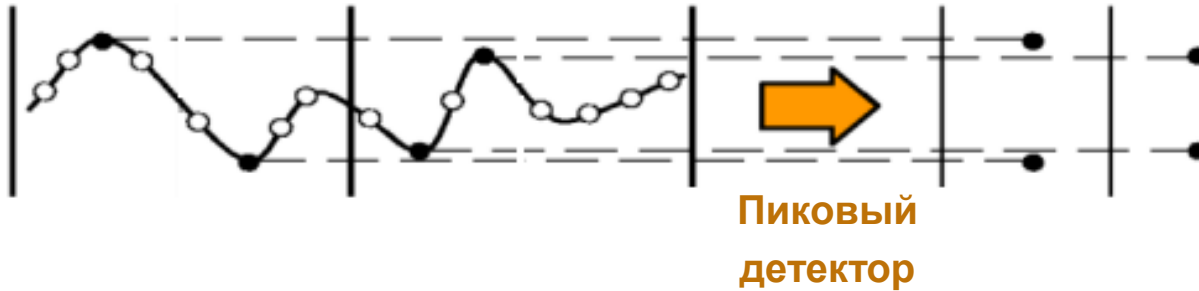
- АЦП всегда работает на максимальной частоте дискретизации
- В зависимости от горизонтальной развёртки не все отчёты могут быть необходимы



Осциллограф. Основы.

Прореживание. Пиковый детектор

- Операция выборки (Min / Max)
 - Выбирает только максимальное и минимальное значение из всех отчётов на интервале прореживания



- Применения:
 - Работа только в режиме сбора в реальном времени, без интерполяции
 - Использование при поиске высокочастотных глитчей

Осциллограф основы

Прореживание. Режим высокого разрешения (HiRes)

■ Операция Выборки

- Расчёт среднего всех отчётов на интервале выборки
- Увеличивает разрешение, уменьшает полосу пропускания



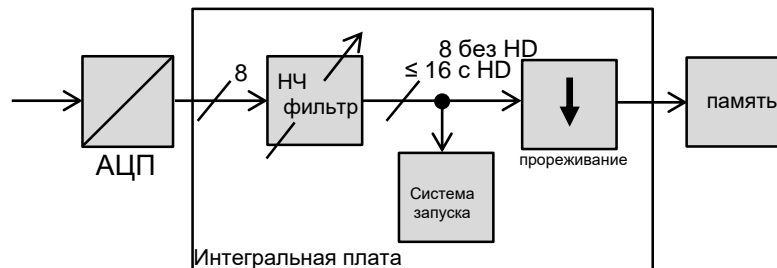
■ Применения:

- Улучшает вертикальное разрешение и уменьшает шум
- Подавляет шум (если измерения шума не требуются)
- Высокоточные измерения
- Урезание полосы пропускания ограничивает применение

Осциллограф. Основы

Прореживание. Режим высокой чёткости (HD)

I Запуск по мельчайшим деталям в сигнале



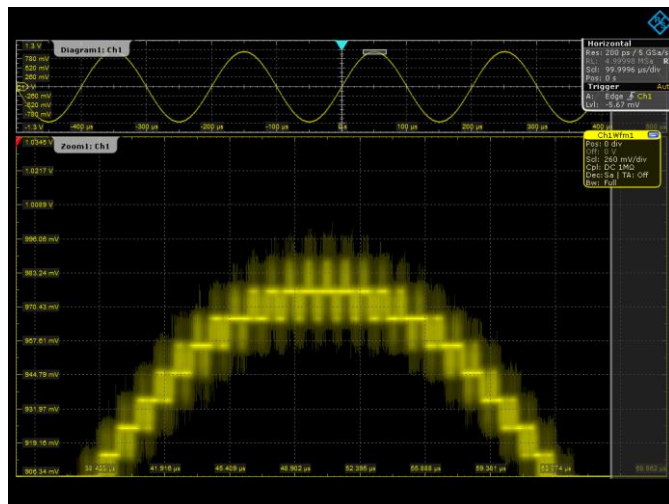
- Режим HD активирован
- Выброс 9 мВ на сигнале в 1В
- Вертикальная развёртка 140 мВ/дел
- Выброс меньше чем десятая доля цены деления
- Запуск по прежнему срабатывает по этому выбросу

Осциллограф. Основы

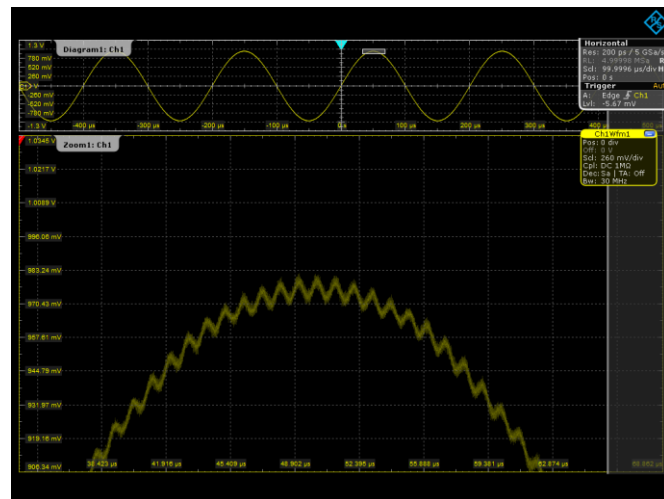
Децимация. Режим высокого разрешения (HD)

! Больше деталей, большая точность результатов

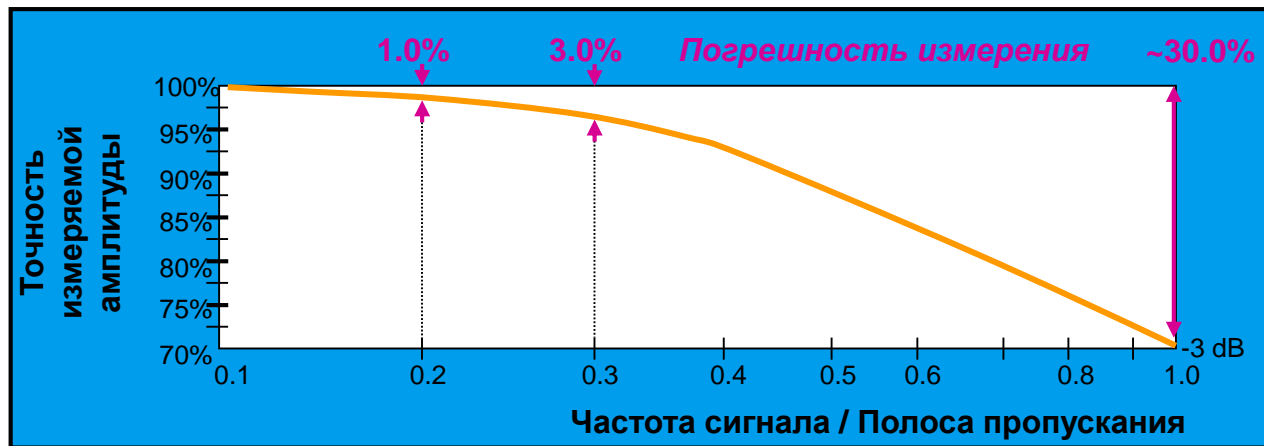
Режим высокого разрешения не активен



Режим высокого разрешения активен



Что на счёт полосы пропускания всей системы?



- График отображает поведение системы с номинальной полосой 1 ГГц
- Результирующая полоса системы из пробника и осциллографа определяется как:

$$1/\text{полоса}_{\text{системы}} = \sqrt{1/\text{полоса}_{\text{проб}}^2 + 1/\text{полоса}_{\text{осцилл}}^2}$$

- Рекомендация: Выбирайте пробник с полосой как минимум в 1, 5 раза выше полосы осциллографа