

Оглавление

Тип осциллографа по принципу действия	5
Цифровые запоминающие осциллографы (DSO — Digital Storage Oscilloscope).....	5
Осциллографы цифрового фосфора (DPO — Digital Phosphor Oscilloscope)	6
Цифровые стробоскопические осциллографы (Sampling Oscilloscopes).....	6
Осциллографы смешанных сигналов (MSO — Mixed Signal Oscilloscope).....	7
Портативные осциллографы (Скопметры / Handheld Oscilloscopes)	7
Аналоговые осциллографы:	7
Сколько каналов осциллографа нужно для работы?.....	8
Гальванически развязанные каналы.....	9
Выбор полосы пропускания	10
«Правило пятикратного запаса»	10
Выбор по времени нарастания фронта импульса	11
Частота дискретизации в режиме реального времени.....	13
Теоретические минимальные требования	13
Практическое соотношение полосы пропускания и частоты дискретизации.....	13
Частота дискретизации в многоканальных осциллографах.....	14
Длина памяти.....	15
Временной интервал записи (Длительность наблюдения)	16
Необходимость сохранения максимальной частоты дискретизации	16
Работа с цифровыми шинами и декодированием (Протоколы данных).....	16
Поиск редких и случайных аномалий	17
Рекомендации по выбору длины памяти:	17
Покадровая запись и сегментированная память	18
Сегментированная память (Segmented Memory)	19
Покадровая запись и режим истории (History Mode / Record)	19
Главные отличия: Сегментированная память vs Покадровая запись.....	20
Режимы отбора выборок.....	21
Стандартный режим (Sample / Normal Mode).....	21

Режим пикового детектора (Peak Detect Mode).....	22
Режим усреднения (Average Mode).....	22
Режим высокого разрешения (High Resolution / Hi-Res Mode)	22
Какой режим выборки выбрать в практической работе?.....	23
Скорость захвата осциллограмм.....	24
Главная проблема цифровых приборов: Время «слепоты» (Dead Time)	24
На что влияет высокая скорость захвата?	25
Поиск редких и случайных аномалий (Глитчей).....	25
Живой отклик и визуализация динамики сигнала.....	25
Как производители борются за скорость?	26
Какая разрядность АЦП используется в современных приборах?.....	27
Плюсы АЦП с разрядностью больше 8 бит:.....	28
Низкий шум квантования:.....	28
Рассмотрение мелких деталей на фоне больших напряжений:.....	28
Минусы высокоразрядных АЦП:	29
Жертвуем скоростью (Полоса пропускания и частота дискретизации):.....	29
Нагрузка на процессор и память:.....	29
Цена:.....	29
Что на самом деле стоит за битностью АЦП ?	30
Что такое ENOB и откуда берутся потери?	30
Реальные значения ENOB в современных приборах	31
Как выжать из осциллографа максимальный ENOB? (практические рекомендации)	31
Система синхронизации (триггер) цифрового осциллографа.....	32
Главное отличие цифрового триггера от аналогового	33
Базовые параметры настройки синхронизации	33
Режимы работы триггера (Trigger Modes).....	34
Время удержания (Trigger Holdoff).....	34
Поочередный запуск.....	35
Основные типы фильтров в цепи триггера.....	35
Типы интеллектуального триггера (Smart Triggers)	36
Измерения в осциллографах.....	38

Экранная сетка (Визуальная оценка)	39
Курсорные измерения (Ручной контроль)	39
Базовые автоматические измерения (Математика АЦП).....	39
Основные группы автоматических измерений.....	41
Автоматические измерения в окне	42
Статистика, тренды и гистограммы (Глубокий анализ)	42
«Большая пятерка» статистических параметров	42
Некоторые сценарии применения статистики	43
Продвинутые инструменты: Гистограммы и Тренды.....	44
Специализированные программные модули (Прикладной High-End)	45
Осциллографические пробники – зачем нужны, какие требования к осциллографу.....	46
Согласование пробника со входом осциллографом.....	48
Низкочастотное согласование	48
Советы по выбору пары-осциллограф-пробник:.....	49
Математическая обработка сигнала	50
Базовые арифметические операции	50
Частотный анализ: Быстрое преобразование Фурье (FFT)	50
Высшая математика (Интегрирование и Дифференцирование)	51
Цифровая фильтрация в реальном времени	51
Продвинутый анализ.....	52
Комбинированные осциллографы	52
Скопметры (Портативные осциллографы-мультиметры).....	53
Осциллографы со встроенным генератором сигналов (AWG)	53
Осциллографы смешанных сигналов (MSO) + Логический анализатор	54
Приборы «5 в 1» и «7 в 1» (Универсальные настольные комбайны)	54
Подключение осциллографа к ПК.....	59
Основные интерфейсы подключения.....	59
Программное обеспечение для работы	60
Фирменное ПО от производителя.....	60
Универсальные измерительные среды (VISA)	60
Язык SCPI: Основа удаленного управления и автоматизации.....	61

Матрица рекомендаций по выбору интерфейса	61
Сохранение данных с осциллографа на внешний носитель	62
Практические выводы при выборе осциллографа:.....	64

Как выбрать современный цифровой осциллограф?

Обычно пользователь знает, какой осциллограф ему нужен (ну или, думает, что знает). Цель настоящей статьи – дать информацию об основных принципах работы современных осциллографов, его главных параметрах и на что они влияют, и как могут использоваться в работе. Мы надеемся, что эта информация поможет бы выбрать осциллограф, подходящий для целей предстоящего использования.

Чтобы правильно выбрать осциллограф, необходимо начать с основ:

Осциллограф – это прибор, который формирует на экране график изменения напряжения входного сигнала от времени, т.е. разворачивает входной сигнал во времени (временная развертка).

Тип осциллографа по принципу действия

Современные осциллографы — это высокотехнологичные приборы, которые делятся на несколько основных типов в зависимости от архитектуры, способа обработки и отображения сигнала.

Цифровые запоминающие осциллографы (DSO — Digital Storage Oscilloscope)

Это самый распространенный и классический тип современного осциллографа.

- **Принцип действия:** Входной аналоговый сигнал проходит через предусилитель, а затем поступает на **аналогово-цифровой преобразователь (АЦП)**. АЦП превращает непрерывный сигнал в поток цифровых данных (выборок) через определенные интервалы времени. Эти данные записываются в микропроцессорную память, обрабатываются и выводятся на ЖК-дисплей в виде графика.
- **Особенности:** Позволяют фиксировать однократные (редкие) сигналы, сохранять их в память, детально масштабировать и проводить автоматические измерения.

Осциллографы цифрового фосфора (DPO — Digital Phosphor Oscilloscope)

Этот тип приборов разработан, чтобы объединить преимущества цифрового сохранения и наглядность старых аналоговых лучевых осциллографов.

- **Принцип действия:** В отличие от DSO, здесь используется параллельная архитектура обработки данных со специальной микросхемой (DPX). Сигнал оцифровывается с огромной скоростью, и прибор строит трехмерную базу данных о сигнале (амплитуда, время и **частота повторения**). На экране это отображается разной интенсивностью цвета (яркостью): те участки сигнала, которые появляются чаще, горят ярче, а редкие аномалии и шумы — бледнее.
- **Особенности:** Идеальны для поиска случайных глитчей, импульсных помех и анализа сложных модулированных сигналов в реальном времени.

Аббревиатуры DPO и DPX неразрывно связаны с историей американской компании Tektronix, которая в свое время совершила технологический прорыв, объединив преимущества аналогового отображения сигнала (эффект фосфорного послесвечения) с цифровой точностью. В настоящее время аббревиатура DPO может объединять похожие технологии и от других производителей, которые обеспечивают схожие возможности,

Цифровые стробоскопические осциллографы (Sampling Oscilloscopes)

Приборы, созданные для работы с экстремально высокочастотными сигналами, где обычные АЦП физически не успевают делать выборки.

- **Принцип действия:** Они используют метод **стробирования (последовательного сэмплирования)**. Прибор берет всего по одной точке (выборке) из каждого последующего периода повторяющегося сигнала, каждый раз немного смещая момент взятия пробы. Постепенно из этих «кусочков» собирается полная осциллограмма.
- **Особенности:** Обладают колоссальной полосой пропускания (до 100 ГГц и выше). Главное ограничение — исследуемый сигнал **обязательно должен быть строго периодическим** (повторяющимся). Однократный всплеск такой прибор зафиксировать не сможет.

Осциллографы смешанных сигналов (MSO — Mixed Signal Oscilloscope)

Гибридные приборы, незаменимые при отладке цифровой схемотехники и микроконтроллеров.

- **Принцип действия:** Сочетают в себе функции стандартного цифрового осциллографа (DSO/DPO) и многоканального **логического анализатора параллельных шин**, а также (и/или) **анализатора протоколов последовательных шин**. Аналоговые каналы работают через стандартный АЦП, а цифровые каналы анализируют только логические уровни («0» или «1») относительно заданного порога напряжения. Все сигналы жестко синхронизированы по времени на одном экране.
- **Особенности:** Позволяют одновременно видеть, например, аналоговую форму тактового сигнала и цифровые данные, передаваемые по параллельной шине, шинам I2C, SPI или CAN, USB, Ethernet, DDR и пр.

Примечание: исторически MSO это сочетание осциллографа с логическим анализатором, для осциллографа с анализатором последовательных шин (SBA) специального сокращения нет.

Портативные осциллографы (Скопметры / Handheld Oscilloscopes)

- **Принцип действия:** По сути, это те же цифровые запоминающие осциллографы (DSO), но оптимизированные для полевых условий. Они имеют ударопрочный корпус или хольстер, зачастую они совмещают в себе функции осциллографа, мультиметра и регистратора данных.
- **Особенности:** Иногда имеют гальванически изолированные друг от друга каналы (что критично при работе с силовой электроникой) и всегда - автономное питание от аккумулятора или батареи.

Аналоговые осциллографы:

Работают на принципе прямого отклонения электронного луча в электронно-лучевой трубке (ЭЛТ) под воздействием входного напряжения. В современной практике уже почти не используются из-за невозможности «заморозить» однократный сигнал на экране и отсутствия цифровых измерений, однако иногда ценятся радиолюбителями за мгновенный отклик без цифровых задержек. В настоящее время классические аналоговые приборы с ЭЛТ практически полностью уступили место цифровым технологиям.

ТАБЛИЦА 1 ТИПЫ ОСЦИЛЛОГРАФОВ VERDO

Серия осциллографов VERDO	Тип осциллографа по принципу действия
SH1400	DSO, портативный
ST1200	DPO, портативный
SB1400	DSO
SB1500	DPO, MSO, SBA
SB1600	DPO, SBA
SB1700	DPO, SBA
SB1800	DPO, SBA

Сколько каналов осциллографа нужно для работы?

На рынке цифровых осциллографов стандартными являются конфигурации на 2, 4 или 8 каналов.

- **2 канала:** Классический вариант для простых задач, ремонта бытовой техники и базовой аналоговой схемотехники. Позволяет сравнить сигнал на входе каскада с сигналом на выходе, измерить сдвиг фаз или проверить простейший протокол связи (например, TX/RX в UART).
- **4 канала:** Современный стандарт для работы с микроконтроллерами и цифровой техникой. Четыре канала необходимы для отладки распространенных интерфейсов передачи данных:
 - **SPI:** требует минимум 3–4 канала (CLK, MOSI, MISO, CS).
 - **I2C:** требует 2 канала (SDA, SCL), но оставшиеся два часто нужны для мониторинга линий питания или сигналов прерывания.
 - **Шаговые двигатели и инверторы:** для контроля фазных токов и напряжений.

- **6 или 8 каналов (и более):** Встречаются в специализированных приборах высокого класса или MSO-осциллографах (осциллографах смешанных сигналов), например **RIGOL DHOMHO5000**. Применяются при анализе сложных многофазных систем (например, трехфазных инверторов, где нужно смотреть 3 напряжения и 3 тока одновременно) и сложных систем автоматики.

Помимо основных измерительных каналов, практически любой 2-канальный осциллограф оснащен специализированным **входом триггера (синхронизации)**, по которому может осуществляться внешний запуск развертки. В 4-канальных и более приборах такой вход может отсутствовать (предполагается, что его функцию может взять один из 4 входных каналов).

Гальванически развязанные каналы

В подавляющем большинстве стандартных настольных осциллографов (2-х или 4-канальных) все внешние кольца BNC-разъемов физически соединены между собой внутри прибора и выведены на общий провод заземления. Это означает, что при многоканальном измерении Вы не можете подключить заземляющий «крокодил» первого щупа к одной точке схемы, а «крокодил» второго щупа — к другой точке, если между этими точками есть разность потенциалов. Это приведет к короткому замыканию прямо через внутреннюю шину заземления осциллографа.

Для обхода ограничения общей земли существуют специализированные приборы — **осциллографы с изолированными каналами** (их часто называют *ScopeMeter* или приборы с технологией *IsolatedChannel*). В таких приборах каждый входной канал имеет собственную, гальванически изолированную аналоговую землю. Входные каскады каналов физически «отрезаны» друг от друга и от сетевой земли с помощью оптических или трансформаторных развязок.

Несмотря на высокую цену они незаменимы в силовой электронике, электроприводах и энергетике, т.к. обеспечивают безопасные измерения, можно подключать пробники в любые точки без риска выжечь оборудование и получить удар электрическим током (Корпус прибора и его органы управления полностью изолированы от опасных напряжений, присутствующих на измерительных щупах).

Если вам необходимо проводить «плавающие» измерения, но у вас стандартный осциллограф с общей землей, использовать изолированные каналы напрямую не получится. В этом случае применяют **внешние активные дифференциальные щупы**. Они измеряют разность потенциалов между двумя точками без необходимости подключения к схеме системной земли осциллографа, но стоят как самостоятельный измерительный прибор.

Выбор полосы пропускания

Полоса пропускания — это главный критерий при покупке осциллографа, так как именно от неё зависит, насколько точно прибор отобразит форму сигнала и его амплитуду. Если полоса выбрана неправильно, осциллограф будет «сглаживать» фронты импульсов, занижать амплитуду или вовсе превратит прямоугольный сигнал в синусоиду.

Чтобы не ошибиться, инженеры используют несколько практических правил.

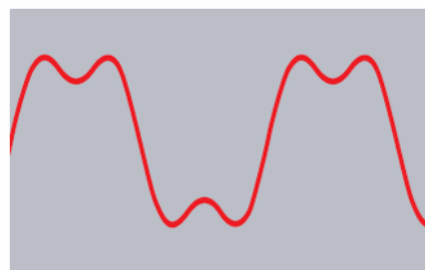
«Правило пятикратного запаса»

Для того чтобы погрешность измерения амплитуды не превышала 3%, полоса пропускания осциллографа должна быть как минимум в 5 раз выше, чем максимальная частота исследуемого сигнала. Это обеспечивает отображение 5-й гармоники исследуемого сигнала

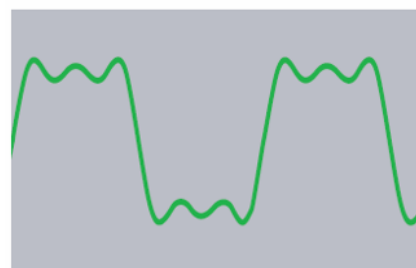
$$F_{\text{осц}} \geq 5 \times F_{\text{сигнала}}$$

Если такая точность не нужна, то минимальный запас – 3,6 х кратный (3-я гармоника плюс запас).

- Полоса = фундаментальной частоте (ФЧ):
1-я гармоника,
 - не дает информации о форме сигнала,
 - только частота и грубая оценка амплитуды (Ошибка даже для синуса – 30%)
- Полоса = 3 х ФЧ (1+3 гармоника)
 - Позволяет грубо оценить форму сигнала и его амплитуду.
 - Может использоваться для визуализации
 - Ошибка отображения 3-й гармоники -30%!
- Полоса = 3.6 х ФЧ (1+3 гармоника+запас)
 - Позволяет оценить форму сигнала и его амплитуду.
 - Может использоваться для визуализации и отладки электронных систем
 - Нет ошибки отображения 3-й гармоники
- Полоса=5 х ФЧ (1+3+5 гармоника)
 - Достоверное отображение формы сигнала, неплохая оценка амплитуды и временных параметров сигнала
 - Может использоваться для научных исследований, тестирования сигналов на соответствие стандартам



Fundamental + 3rd Harmonic



Fundamental + 5th Harmonic

Если полоса пропускания осциллографа не обеспечит прохождение даже 3-й гармоники, вместо формы сигнала пользователь увидит искаженный синус.

- **Пример:** Если вы работаете с синусоидальным сигналом частотой **20 МГц**, вам для точных амплитудных измерений сигнала необходим осциллограф с полосой пропускания не менее **100 МГц**.

Важно помнить: Полоса пропускания у осциллографа определяется в допуске до 3 дБ. Это означает, что на частоте, равной заявленной полосе пропускания (например, 100 МГц для 100-мегагерцового прибора), осциллограф уже может занижать реальную амплитуду сигнала на **-3 дБ** (это потеря примерно **30%** истинной амплитуды сигнала!). Именно поэтому запас необходим.

Выбор по времени нарастания фронта импульса

Если объект тестирования – цифровые сигналы (меандр, тактовые частоты процессоров, шины данных SPI, I2C и пр.), ориентироваться *только* на частоту сигнала нельзя.

Зачастую, частота повторения импульсов в цифровых сигналах может быть относительно небольшой, но фронты самих импульсов – очень крутые, а именно крутизна фронтов определяет качество передачи сигналов в цифровых системах.

Чтобы осциллограф правильно показал крутизну фронта (переход из «0» в «1» и наоборот), нужно выбирать полосу осциллографа исходя из **времени нарастания фронта импульса (Tr)**. Чем больше полоса пропускания, тем меньше фронты нарастания/спада импульса он способен отобразить без искажения.

Для определения времени нарастания, которое отобразит осциллограф (измеренного времени нарастания), используется классическое инженерное правило корня из суммы квадратов. Оно применяется, поскольку аналоговый тракт осциллографа ведет себя как фильтр нижних частот, последовательно сглаживающий фронт сигнала.

Формула расчета выглядит следующим образом:

$$t_{\text{изм}} = \sqrt{t_{\text{сигнала}}^2 + t_{\text{осциллографа}}^2}$$

Аналогично полосе пропускания, запас по скорости нарастания сигнала в осциллографе должен быть не менее, чем трехкратным (ошибка измерения скорости нарастания в этом случае составит порядка 5%).

Наилучшая скорость нарастания сигнала в цифровом осциллографе обычно указывается в спецификации. Если она не указана, то эту величину можно примерно определить из формулы

$$T_{\text{осц}} = 0,35 / F_{\text{осц}}$$

Пример: несмотря на то, если сигнал имеет частоту следования импульсов, к примеру, всего лишь 10 МГц, но сами импульсы имеют фронты 3,5 нс, то чтобы увидеть неискаженный фронт импульса, вам потребуется осциллограф с полосой минимум 300 МГц. 100-мегагерцовый прибор превратит этот прямоугольник в сглаженную трапецию.

У многих осциллографов есть очень чувствительные вертикальные диапазоны : 2 мВ/дел, 1 мВ/дел и даже ниже – 500 мкВ/дел, 200 мкВ/дел, 100 мкВ/дел. Следует учитывать, что на таких чувствительных вертикальных развертках полоса пропускания часто радикально снижается до уровня порядка 20 МГц. Это нужно проверять по спецификациям и по описаниям типа.

Исходя из вышесказанного, можно дать следующие рекомендации для выбора полосы пропускания осциллографа, исходя из типовых областей его использования:

- **До 50 МГц:** Аудиоаппаратура, ремонт бытовой техники, простые микроконтроллеры (Arduino), блоки питания.
- **100 МГц:** Большинство задач автоэлектрики, базовые цифровые интерфейсы (I2C, UART), ремонт несложной электроники.
- **200–300 МГц:** Проектирование устройств на быстрых микроконтроллерах (STM32), работа со стандартными ШИМ-контроллерами, импульсными высокочастотными схемами.
- **500 МГц и выше:** Высокоскоростные шины передачи данных (USB, Ethernet, DDR память), ВЧ-связь и профессиональная разработка, научные исследования

ТАБЛИЦА 2 ПОЛОСА ПРОПУСКАНИЯ И ТИПИЧНАЯ СКОРОСТЬ НАРАСТАНИЯ В ОСЦИЛЛОГРАФАХ VERDO

Серия осциллографов VERDO	Полоса пропускания, МГц	Скорость нарастания, нс
SH1400	40 / 70 / 100 / 200	8 / 5 / 3,5 / 1,75
ST1200	70 / 100 / 120	5 / 3,5 / 2,9
SB1400	100 / 200 / 300	3,5 / 1,7 / 1,17
SB1500		
SB15X1/ SB15X3/ SB15X5	70 / 100 / 200	5 / 3,5 / 1,75
SB15X4/ SB15X6	125 / 250	2,8 / 1,4
SB1600	60 / 100 / 200 / 300	

SB1700	100 / 200 / 350 / 500	3,5 / 1,75 / 1 / 0,7
SB1800	350 / 500	1 / 0,7

Частота дискретизации в режиме реального времени

Частоту дискретизации выбирают после полосы пропускания. Если полоса отвечает за то, **какие частоты прибор вообще пропустит**, то дискретизация — **насколько подробно** он сможет этот сигнал оцифровать.

Этот параметр в спецификациях описывается, как количество выборок (преобразований «аналоговый сигнал-цифровой код»), которое АЦП прибора осуществляет в секунду. Имеет размерность Выб/с (**Выборок в секунду**) или в английской литературе Sa/s (**S**amples per **s**econd).

Теоретические минимальные требования

С точки зрения математики, минимальные требования к частоте дискретизации описывает теорема отсчетов Котельникова (Найквиста): **Чтобы аналоговый сигнал можно было безошибочно восстановить из цифровой формы, частота дискретизации должна быть как минимум в 2 раза выше максимальной частоты в спектре сигнала.**

$$F_s > 2 \times F_{\max}$$

Практическое соотношение полосы пропускания и частоты дискретизации

Однако на практике двукратного запаса категорически недостаточно для осциллографа. Если оцифровать синусоиду ровно на удвоенной частоте, прибор зафиксирует всего по две точки на каждый период. В результате на экране вместо гладкой синусоиды может отобразиться ломаный треугольник или вообще прямая линия (если точки попадут на моменты перехода сигнала через ноль). Это явление искажения называется эффектом ложных частот или наложения спектров (Aliasing).

На практике, соотношение должно быть минимум 2,5. Такое соотношение достигается использованием аппаратной реализации математической интерполяции собранных дискретных точек в единую линию сигнала с помощью функции $\sin(x)/x$. Для реальных

измерений сигналов, близких к синусоидальной форме, желательно иметь это соотношение в районе не менее 4-5.

Для импульсов и цифровых сигналов важнее фронт. Нужно, чтобы на фронт попадало несколько точек. Тут правило 3- 5 кратного запаса следует применять к скорости нарастания фронтов, пересчитанной в эффективную частоту по формуле выше.

Частота дискретизации в многоканальных осциллографах

Еще важный момент: смотреть надо не только максимальную цифру в рекламе, а **частоту дискретизации при включенных каналах**. У многих приборов написано, например, 1 GSa/s, но при включении 2 или 4 каналов частота может делиться на 2 или 4 соответственно. Это будет означать, что, к примеру, в 4-канальном режиме осциллограф получит частоту дискретизации в каждом включённом канале ниже необходимой по теореме Котельникова, и она перестает соответствовать заявленной полосе пропускания, и т.е. реальная полоса пропускания прибора заметно снизится.

ТАБЛИЦА 3 МАКСИМАЛЬНАЯ ЧАСТОТА ДИСКРЕТИЗАЦИИ В ОСЦИЛЛОГРАФАХ VERDO

Серия осциллографов VERDO	Макс. частота дискретизации – 1 канал, Гвыб/с	Макс. частота дискретизации, при всех включенных каналах, Гвыб/с
SH1400 (2канала)	0,25/0,5/1	0,125/0,25/1
ST1200 (2 или 4 канала)		
8 битный режим	1	2 кан. -0,25 4 кан. -0,5
12 битный режим	0,5	2 кан. -0,125 4 кан. -0,25
14 битный режим	0,1	0,1
SB1400 (2 канала)	1 / 2 / 2,5 / 3,2	0,5 / 1 / 1,25 / 1,6
SB1500		
SB15X1/ SB15X3/ SB15X5	1,25	2 кан. 1,25

		4 кан. 0,625
SB15X4/ SB15X6	2	2 кан. – 1 4 кан. – 0,5
SB1600 (2 или 4 канала)		
8 битный режим	1 / 2 / 2,5	2 кан. -0,5/1/1,25 4 кан. 0,25 / 0,5
12 битный режим	0,5	2 кан. -0,5 4 кан. -0,125 / 0,5
14 битный режим	0,1	0,1
SB1700	2,5	1,25
SB1800	5	1

Длина памяти

Глубина или **длина памяти** (Memory Depth) цифрового осциллографа — это объем данных (количество точек/выборок), который прибор может сохранить за один цикл сбора данных. Она измеряется в точках (Points, **pts**) или выборках (Samples, **S**): например, 10 Кб, 1 Мб, 140 Мб.

Длина памяти напрямую связана с частотой дискретизации и временем отображения базовой формулой:

Глубина памяти = Частота дискретизации × Время развертки на экране

Если памяти недостаточно, осциллограф будет вынужден снижать частоту дискретизации на медленных развертках, превращаясь из высокочастотного прибора в низкочастотный.

Ниже приведены ключевые критерии, по которым нужно выбирать этот параметр.

Временной интервал записи (Длительность наблюдения)

Главный критерий — **как долго** вам нужно наблюдать за сигналом без потери качества оцифровки.

- **Малая память (до 100 Кб):** Позволяет рассмотреть только то, что происходит «здесь и сейчас» в рамках одного экрана на быстрой развертке. Подходит для простых, непрерывных периодических сигналов (синусоида, постоянный ШИМ).
- **Большая память (от 10 Мб до 100+ Мб):** Позволяет записывать длинные «куски» времени. Это необходимо, если вам нужно записать переходный процесс при включении устройства, поймать редкий сбой или декодировать длинную последовательность данных.

Необходимость сохранения максимальной частоты дискретизации

Чтобы осциллограф не «ослеп» на медленной развертке, память должна вмещать все выборки АЦП.

- **Пример:** Вам нужно исследовать пакет данных длительностью **20 мс** (миллисекунд), но внутри этого пакета есть высокочастотные импульсы, для правильного отображения которых нужна частота дискретизации **1 GS/s** (1 выборка каждые 1 нс).
- **Расчет:** Память = $1 \times 10^9 \text{ S/s} \times 0.02 \text{ с} = 20000000 \text{ точек} = 20 \text{ Мб}$.
- **Критерий выбора:** Если вы планируете детально масштабировать (зумировать) пойманный сигнал, чтобы рассмотреть микросекундные глитчи внутри миллисекундных интервалов, вам необходим прибор с памятью **не менее 20–50 Мб**.

Работа с цифровыми шинами и декодированием (Протоколы данных)

Если планируется анализировать пакетные интерфейсы передачи данных (I2C, SPI, UART, CAN, LIN):

- Для коротких команд (например, чтение одного регистра по I2C) достаточно **1–2 Мб**.
- Для анализа длинных пакетов данных, длинных транзакций или поиска редких ошибок в автомобильных шинах CAN требуется **от 10 до 50 Мб**. Малая память просто обрежет пакет, и вы не увидите, с чего началась ошибка.

Поиск редких и случайных аномалий

Для поиска единичных сбоев, которые происходят раз в несколько секунд, используется режим сегментированной памяти (если он поддерживается прибором-см. ниже) или просто длинная запись. Большой объем памяти позволяет осциллографу работать как «видеорегистратор»: вы нажимаете кнопку *Single* (однократный запуск), прибор записывает массив данных, а затем вы спокойно прокручиваете историю назад в поисках аномалии.

Рекомендации по выбору длины памяти:

Объем памяти	Для каких задач подходит	Кому достаточно
Низкий (10 Кб – 100 Кб)	Работа с аудио, простыми аналоговыми цепями, ремонт простых блоков питания. Сигналы строго повторяются.	Хобби, начинающие, базовый ремонт бытовой техники, обучение
Средний (1 Мб – 10 Мб)	Отладка простых микроконтроллеров, базовое декодирование коротких протоколов (UART, I2C),	Большинство стандартных сервисных центров и инженеров.
Высокий (20 Мб – 200+ Мб)	Автоэлектрика, анализ высокоскоростных шин, длинных пакетов данных, процессов запуска (Power-up sequence), поиск редких глитчей.	Профессиональная разработка электроники, встраиваемых систем, ВЧ-техника.

У большой длины памяти есть два побочных эффекта:

- Падение скорости обновления экрана (Waveform Update Rate):** Процессору осциллографа требуется время, чтобы перелопатить массив в 100-200 Мб данных. Из-за этого прибор может начать «подтормаживать», а время его «слепоты» между кадрами увеличится.
- Цена:** Приборы с глубокой памятью стоят существенно дороже.

Идеальный выбор сегодня: Для большинства современных профессиональных и полупрофессиональных задач «золотым стандартом» является глубина памяти в районе **10 – 40 Мб** на канал с возможностью её ручного ограничения в меню прибора для ускорения работы интерфейса.

ТАБЛИЦА 4 ДЛИНА ЗАПИСИ В ОСЦИЛЛОГРАФАХ VERDO

Серия осциллографов VERDO	Макс. длина памяти 1 канал, точек	Макс длина памяти, при всех включенных каналах, точек
SH1400 (2канала)	8K	8K
ST1200 (2 или 4 канала)	40M	20M/10M
SB1400 (2 канала)	10M	10M
SB1500 (2 или 4 канала)		
SB15X1/ SB15X3/ SB15X5	50M	Не специфицирована
SB15X4/ SB15X6	100M	Не специфицирована
SB1600 (2 или 4 канала)	40 M	20M/10M
SB1700 (2 или 4 канала)	100 M	Не специфицирована
SB1800 (2 или 4 канала)	400 M	200M/100M

Покадровая запись и сегментированная память

Когда инженеру нужно исследовать редкие, случайные события (например, импульсные помехи, пакеты данных или сбои в работе шины), он сталкивается с фундаментальным ограничением памяти осциллографа.

Если включить быструю развертку, чтобы рассмотреть детали сигнала, прибор мгновенно заполнит память и запишет всего пару миллисекунд реального времени. Если включить медленную развертку, чтобы наблюдать за схемой долго, прибор снизит частоту дискретизации и «замылит» высокочастотные детали.

Для решения этой дилеммы в современных цифровых приборах существуют два мощных режима: **сегментированная память** (Segmented Memory / Sequence) и **покадровая запись** (Waveform Record / History). Их часто путают, но они работают по-разному и созданы для совершенно разных сценариев.

Сегментированная память (Segmented Memory)

Этот режим отсутствует в бюджетных моделях и даже во многих моделях среднего ценового диапазона. Этот режим работает **до и во время** захвата сигнала.

- **Принцип действия:** Вся глубокая буферная память осциллографа жестко разделяется на множество одинаковых мелких кусочков — сегментов (от десятков до сотен тысяч точек в каждом). Прибор переходит в режим ожидания. Как только срабатывает триггер, осциллограф на максимальной скорости оцифровки записывает сигнал в первый сегмент и... **мгновенно засыпает**. Он полностью отключает обработку графики, вывод на экран и математику, чтобы минимизировать время «слепоты» (dead time). Прибор ждет следующего триггера, чтобы заполнить второй сегмент, затем третий и так далее.
- **Результат:** В памяти прибора оказывается «коллекция» из сотен или тысяч исключительно полезных событий (например, только пакетов данных шины CAN), а вся неинтересные временные промежутки между ними (когда на шине ничего не происходило) просто игнорируются и не тратит память.
- **Плюсы:** Время слепоты между сегментами снижается до микросекунд или наносекунд. Можно поймать пачку импульсов, идущих друг за другом на огромной скорости.
- **Минусы:** Требуется предварительной настройки триггера. Пока идет запись, экран осциллографа обычно «замерзает» — вы увидите результат только после заполнения всех сегментов. Есть только в старших дорогих моделях

Покадровая запись и режим истории (History Mode / Record)

Этот режим работает **непрерывно в фоновом режиме** или активируется **после** остановки прибора. Он есть почти во всех современных осциллографах, включая бюджетные серии.

- **Принцип действия:** это своего рода встроенный «видеорегистратор» или функция *Time Shift* на телевизоре. Когда вы работаете с осциллографом в этом режиме, он записывает каждый успешно выведенный на экран кадр (осциллограмму) в буферную память. У пользователя есть возможность открыть меню регистратора» и с помощью виртуальной шкалы воспроизведения буквально «отмотать время назад» покадрово, чтобы найти и рассмотреть то, что случилось секунду или минуту назад.
- **Плюсы:** не требует сложной предварительной настройки. Этот режим нужно просто включить.

- **Минусы:** работает с обычным, стандартным временем «слепоты» прибора. Если аномалия произошла в момент, когда процессор прорисовывал экран, «видеорегистратор» её просто не запишет.

Главные отличия: Сегментированная память vs Покадровая запись

Критерий	Сегментированная память (Segmented)	Покадровая запись (History)
Когда настраивать?	До измерения (нужно четко задать условия триггера).	Можно использовать после того, как сбой уже произошел.
Время «слепоты»	Минимальное (микросекунды). Прибор аппаратно оптимизирован для поимки быстрых событий.	Стандартное. Прибор работает в обычном режиме вывода графики.
Что пишется в память?	Только сырые точки данных АЦП в строго отведенные сегменты.	Готовые сформированные кадры (осциллограммы), которые выводились на дисплей.
Отображение на экране	Экран «слеп» во время накопления сегментов, результат выдается в конце.	Картинка обновляется в реальном времени, запись идет на заднем плане.
Идеальный сценарий	Запись быстрых пачек импульсов (лазерные вспышки, пакеты протоколов связи, радарные сигналы).	Случайный поиск редких сбоев по питанию или «зависаний» схемы, которые происходят раз в минуту.

ТАБЛИЦА 5 РЕЖИМЫ РЕГИСТРАЦИИ В ОСЦИЛЛОГРАФАХ VERDO

Серия осциллографов VERDO	Покадровая запись	Сегментированная память
SH1400	-	-
ST1200	1...1000 кадров	-
SB1400	1...1000 кадров	-
SB1500		
SB15X1/ SB15X3/ SB15X5	2-125000 кадров	До 700 тыс. сегментов/с
SB15X4/ SB15X6	2-250000 кадров	До 700 тыс. сегментов/с

SB1600	1...1000 кадров	-
SB1700	2-250000 кадров	До 700 тыс. сегментов/с
SB1800	1...1000 кадров	-

Режимы отбора выборок

Режимы отбора выборок (или режимы оцифровки/захвата, **Acquisition Modes**) определяют, каким именно образом осциллограф обрабатывает массив точек, поступающих с аналогово-цифрового преобразователя (АЦП), перед тем как построить график на экране.

Потребность в разных режимах возникает из-за того, что АЦП генерирует колоссальный объем данных, который на медленных развертках просто невозможно (и бессмысленно) вывести на экран один к одному. Прибору приходится производить «децимацию» (прореживание) данных, и делать это можно по-разному.

Вот 4 основных современных режима отбора выборок, которые есть в большинстве современных цифровых осциллографов:

Стандартный режим (Sample / Normal Mode)

Это режим по умолчанию, используемый для большинства стандартных измерений.

- **Принцип действия:** Из каждого фиксированного временного интервала (корзины выборок) осциллограф сохраняет и выводит на экран **только одну первую точку**, а все остальные промежуточные данные, считанные АЦП, просто выбрасывает.
- **Плюсы:** Идеально отображает общую форму сигнала, не требует дополнительных вычислительных мощностей процессора, обеспечивает максимальную скорость обновления экрана.
- **Минусы:** На медленных развертках (когда интервалы между выводимыми точками становятся большими) прибор полностью «слепнет» к тому, что происходит между этими точками. Он легко может пропустить короткую импульсную помеху (глитч) или выдать ложную низкочастотную осциллограмму из-за эффекта наложения спектров (алиасинга).

Режим пикового детектора (Peak Detect Mode)

Режим, созданный специально для поиска скрытых проблем и редких высоковольтных помех.

- **Принцип действия:** Осциллограф анализирует абсолютно все точки, которые АЦП успел оцифровать за интервал, но на экран выводит только **две экстремальные точки — минимальное и максимальное значения** за этот период.
- **Плюсы:** Позволяет гарантированно «поймать» даже самый узкий одиночный глитч или пик помехи, даже если вы работаете на очень медленной развертке (например, ищите секундные сбои в системе питания).
- **Минусы:** График на экране визуальнее становится более «зашумленным» и толстым, так как прибор умышленно собирает и отображает все случайные шумы.

Примечание: Режим детектирования пиков может быть реальной альтернативой длинной памяти в случае, когда она используется для поиска высокочастотных помех

Режим усреднения (Average Mode)

Режим борьбы со случайными (белыми) шумами самого тракта осциллографа или исследуемой схемы.

- **Принцип действия:** Прибор берет данные не из одного цикла захвата, а из нескольких последовательных триггерных событий (например, усредняет между собой 4, 16, 64 или 512 кадров). Стационарный полезный сигнал от кадра к кадру остается неизменным, а случайный шум математически стремится к нулю.
- **Плюсы:** Позволяет получить идеально чистую, тонкую и красивую линию сигнала. Дает возможность рассмотреть полезный сигнал, который буквально «тонет» в шумах.
- **Минусы:** Режим работает **только для строго периодических (повторяющихся) сигналов**. Если сигнал динамически меняется или вы пытаетесь поймать однократный импульс, режим усреднения просто превратит картинку в смазанную кашу. Также этот режим снижает скорость отклика прибора на изменения.

Режим высокого разрешения (High Resolution / Hi-Res Mode)

Еще один режим борьбы с шумом, но, в отличие от усреднения, он работает внутри одного-единственного кадра.

- **Принцип действия:** Осциллограф берет соседние точки, оцифрованные АЦП внутри одного интервала выборки, и **находит их среднее арифметическое**, выводя на экран уже сглаженную точку. Фактически это цифровой фильтр нижних частот (ФНЧ). Более того, за счет математического сжатия избыточных данных этот режим искусственно повышает вертикальное разрешение (например, превращает аппаратный 8-битный АЦП в 12-битный или даже 16-битный).
- **Плюсы:** Эффективно подавляет высокочастотный шум, делает линию тоньше и четче. В отличие от *Average Mode*, этот режим **можно использовать на однократных (Single) сигналах**.
- **Минусы:** За счет фильтрации неизбежно сужается реальная полоса пропускания осциллографа на медленных развертках. Быстрые фронты сигналов могут стать более пологими.

Какой режим выборок выбрать в практической работе?

Режим	Когда включать?	Что произойдет с шумом?	Опасность режима
Sample	Все стандартные задачи, экспресс-оценка стабильного сигнала.	Отображается как есть.	Можно пропустить короткий глитч на медленной развертке.
Peak Detect	Поиск случайных импульсных помех, сбоев по питанию, искрений.	Визуально увеличится.	Сигнал выглядит грязным, трудно оценивать истинную действующую амплитуду шума.
Average	Четкое измерение параметров (амплитуда, фаза) стабильного ВЧ-сигнала.	Практически полностью исчезнет.	Бесполезен на меняющихся данных и однократных импульсах.
Hi-Res	Рассмотрение мелких деталей на низкочастотных или однократных сигналах.	Уменьшится (сгладится).	Может искусственно завалить крутые фронты высокочастотных сигналов.

ТАБЛИЦА 6 РЕЖИМЫ ВЫБОРОК В ОСЦИЛЛОГРАФАХ VERDO

Серия осциллографов VERDO	Нормальный	Пик- детектор	Усреднение	Hi-Res
SH1400	+	+	-	-
ST1200	+	+	+	-
SB1400	+	+	+	-
SB1500	+	+	+	+
SB1600	+	+	+	-
SB1700	+	+	+	+
SB1800	+	+	+	-

Скорость захвата осциллограмм

Скорость захвата осциллограмм (Waveform Update Rate) — это параметр, показывающий, сколько раз в секунду осциллограф способен захватить сигнал, обработать его и вывести на экран. Этот параметр измеряется в **осциллограммах в секунду** (в англоязычных спецификациях: wfms/s — waveforms per second).

Если частота дискретизации (Sampling Rate) определяет, насколько качественно прибор оцифрует сигнал *внутри* одного кадра, то скорость захвата определяет, как много таких кадров прибор успеет сделать за секунду. В современных приборах эта величина варьируется от пары сотен до сотен тысяч и даже миллионов wfms/s.

Главная проблема цифровых приборов: Время «слепоты» (Dead Time)

Цифровой осциллограф работает не непрерывно, а циклически. Его рабочий процесс можно разделить на два этапа:

1. **Этап захвата (Acquisition time):** Прибор ждет выполнения условия запуска (триггера), АЦП оцифровывает сигнал и записывает его в буферную память.
2. **Этап обработки (Dead time / Время слепоты):** Процессор забирает данные из памяти, просчитывает математику, преобразует точки в картинку и отправляет её

на дисплей. **В этот момент осциллограф абсолютно слеп.** Если в исследуемом сигнале прямо сейчас произойдет сбой, глитч или помеха, прибор её просто не увидит.

У бюджетных или устаревших цифровых осциллографов время «слепоты» может составлять **99.9%** от всего времени работы. То есть прибор смотрит на сигнал всего 0.1% времени, а остальное время «думает».

На что влияет высокая скорость захвата?

Не все понимают смысл этого параметра, а он очень важен в практической работе по разработке и отладке электронных систем

Поиск редких и случайных аномалий (Глитчей)

Если в вашей цифровой схеме раз в несколько секунд проскакивает случайный паразитный импульс, вызывающий зависание системы, то:

- Осциллограф со скоростью **1 000 wfms/s** может ловить этот глитч на экране часами.
- Осциллограф со скоростью **1 000 000 wfms/s** зафиксирует его за секунды.

Живой отклик и визуализация динамики сигнала

При высокой скорости захвата картинка на экране становится «живой» — она мгновенно реагирует на вращение ручек настройки вашей схемы.

От чего зависит скорость захвата в реальной работе?

Заявленная в паспорте максимальная скорость захвата (например, 500 000 wfms/s) достигается только при идеальных условиях. В процессе работы она неизбежно падает под влиянием следующих факторов:

- **Длина памяти (Memory Depth):** Чем больше глубина памяти включена в меню, тем больший массив данных приходится обрабатывать процессору. Память в «десятки мегабайт» мгновенно снижает скорость захвата в десятки раз.
- **Время развертки (Timebase):** Если вы установили медленную развертку (например, 50 мс/деление), то один кадр физически длится полсекунды. Прибор чисто математически не сможет сделать больше 2 кадров в секунду. Максимальная скорость доступна только на быстрых развертках (нс/дел).
- **Включенные функции:** Математика (особенно спектральный анализ FFT), автоматические измерения параметров, а также **декодирование цифровых шин** (UART, SPI, CAN) заставляют центральный процессор тратить ресурсы, из-за чего скорость захвата падает до минимальных значений.

Как производители борются за скорость?

Чтобы поднять этот параметр, инженеры ушли от обработки графики силами центрального процессора. В современных приборах за сбор данных и их визуализацию отвечают специализированные аппаратные сопроцессоры. Они параллельно упаковывают данные от АЦП прямо в видеопамять, минуя долгие вычисления основного процессора. Практически все эти технологии имеют возможность ранжировать элементы сигнала в зависимости от частоты повторения на экране яркостью или цветом (например, синим выделяются редкие элементы сигнала, а красным – частые).

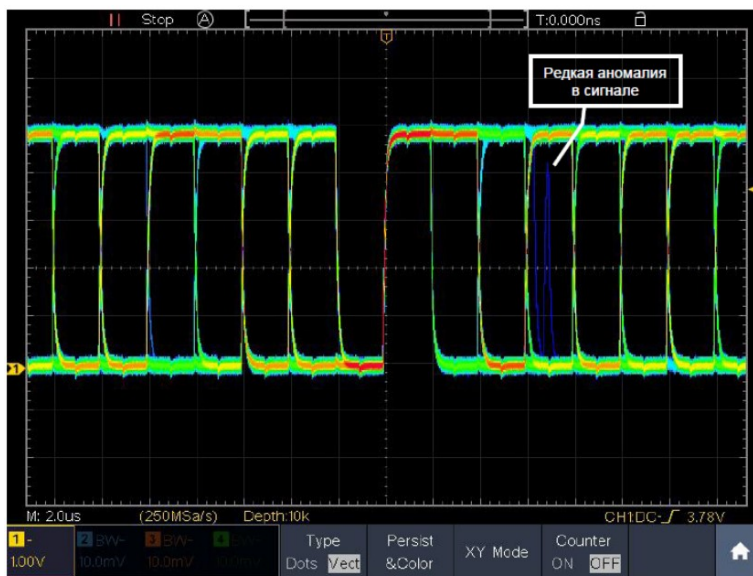


Рисунок 1 Визуализация редкой аномалии и выделение ее цветом в осциллографе Verdo SB1804

У каждого крупного бренда эта технология аппаратного ускорения называется по-своему:

- **SPO** (Smart Phosphor Oscilloscope) — у Siglent.
- **UltraVision** (I, II, III) — у Rigol.
- **MegaZoom** — у Keysight (Agilent).
- **DPX** (Digital Phosphor) — у Micsig / Tektronix.

Резюме: При выборе осциллографа для поиска сложных, случайных аппаратных ошибок и отладки импульсных систем, скорость захвата осциллограмм является критически важным параметром. Оптимальный порог для современного профессионального прибора среднего класса — **от 40 000 до 200 000 осц/с.**

ТАБЛИЦА 7 СКОРОСТЬ ЗАХВАТА ОСЦИЛЛОГРАММ В ОСЦИЛЛОГРАФАХ VERDO

Серия осциллографов VERDO	Макс. скорость захвата осциллограмм, осц/с
SH1400	10 000
ST1200	45 000
SB1400	не специфицировано
SB1500	50 000
SB1600	
SB162X	75 000
SB164X	45 000
SB1700	50 000
SB1800	600 000

Какая разрядность АЦП используется в современных приборах?

Разрядность аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) определяет **вертикальное разрешение** осциллографа. Если частота дискретизации отвечает за то, насколько точно сигнал нарезан по времени (ось X), то разрядность АЦП определяет, насколько точно прибор измеряет уровень напряжения (ось Y).

Долгое время золотым стандартом были 8-битные АЦП, но сегодня индустрия переживает настоящий бум высокого разрешения.

Разрядность АЦП измеряется в битах, и каждый дополнительный бит удваивает количество уровней квантования по вертикали:

- **8 бит ($2^8 = 256$ уровней):** Классика, которая постепенно уходит в сегмент бюджетных или уже неновых моделей. Экран делится всего на 256 шагов по

высоте. Еще несколько лет назад подавляющая часть осциллографов на рынке была 8-битной.

- **10 бит ($2^{10} = 1024$ уровня):** Переходный вариант, встречающийся в некоторых специализированных или портативных приборах (например, у Rohde & Schwarz)
- **12 бит ($2^{12} = 4096$ уровней): Современный стандарт** для большинства новых осциллографов среднего и даже базового уровня (серии Rigol DHO, VERDO SB1500/1700, Siglent HD, Tektronix 4/5/6 Series). Это в 16 раз точнее, чем 8 бит.
- **14 / 16 бит (16384 / 65536 уровней):** Прецизионные приборы для высокоточных лабораторных измерений, аудиоэлектроники, медицинского оборудования или низкочастотных датчиков. Как правило, это - относительно низкочастотные модели

Переход от 8 бит к 12 был тернистым, и если в начале этого пути производители осциллографов для увеличения разрядности аналого-цифрового преобразования просто объединяли работу АЦП нескольких каналов в один с фазовым сдвигом между ними (серия VERDO SB1600), то сейчас как правило, применяется настоящее 12-битное АЦП, которое дает колоссальные преимущества, но, как и в любой инженерной задаче, здесь есть свои компромиссы.

Плюсы АЦП с разрядностью больше 8 бит:

Ниже описано, зачем идет гонка в области 12-битных осциллографов:

Низкий шум квантования:

На 8-битном приборе при сильном приближении (Zoom) мелкого сигнала вы увидите отчетливую лестницу из пикселей — это погрешность округления АЦП. 12-битный прибор выдает плавную, чистую и визуально правильную линию.

Рассмотрение мелких деталей на фоне больших напряжений:

Классическая задача: измерить высокочастотные пульсации (милливольты) на шине питания процессора (скажем, 1,2 В) или замерить звон на затворе транзистора при напряжении 400 В. 8-битный осциллограф при попытке уместить весь сигнал на экране просто «не заметит» мелкую рябь. 12-битный АЦП позволяет рассмотреть эти микроскопические шумы без ухода прибора в перегрузку.

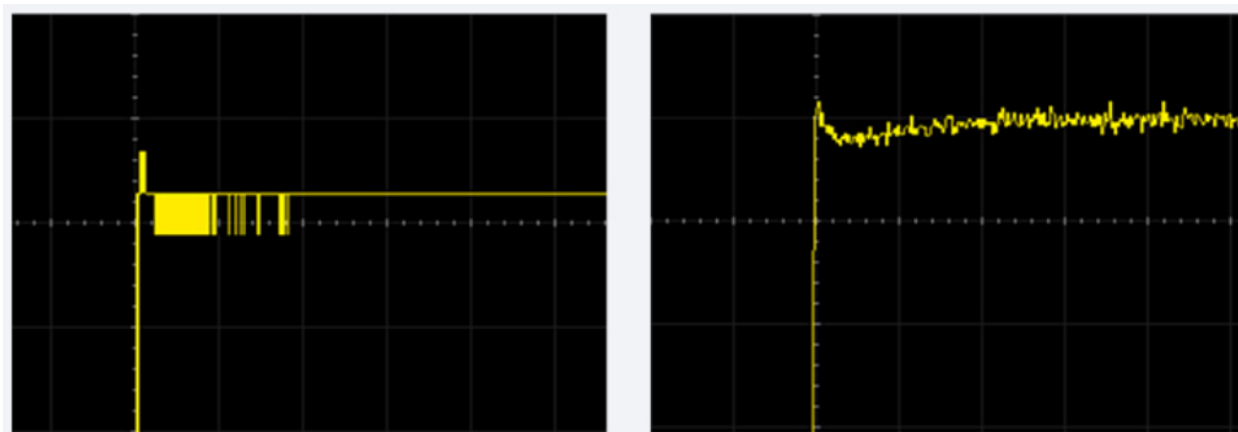


Рисунок 2 разница в работе зума для сигнала с большим уровнем пьедестала для осциллографа с ацп 8 бит (слева) и 12 бит (справа)

Минусы высокоразрядных АЦП:

Жертвуем скоростью (Полоса пропускания и частота дискретизации):

В физике полупроводников действует жесткое правило: чем выше разрядность, тем медленнее работает АЦП. Сделать 8-битный АЦП, работающий на частоте 10 ГГц, гораздо проще и дешевле, чем 12-битный. Поэтому сверхвысокочастотные осциллографы (на десятки гигагерц) до сих пор часто остаются 8-битными, либо стоят космических денег.

Нагрузка на процессор и память:

Осциллографу приходится перемалывать в разы больший объем данных. Если аппаратная часть (ASIC/FPGA) спроектирована плохо, включение высокого разрешения может привести к катастрофическому падению скорости захвата осциллограмм (Waveform Update Rate).

Цена:

Приборы с честным аппаратным 12-битным АЦП всё еще стоят дороже своих 8-битных аналогов прошлого поколения, хотя этот разрыв стремительно сокращается.

Важное примечание: Нельзя путать аппаратную разрядность АЦП с программным режимом **High Resolution (Hi-Res)**. Режим Hi-Res искусственно повышает разрядность до 12 бит за счет математического усреднения соседних точек на медленных развертках, но при этом жестко режет полосу пропускания прибора. Аппаратный 12-битный АЦП работает честно и не режет полосу.

Что на самом деле стоит за битностью АЦП ?

Маркетологи производителей осциллографов обожают крупно писать на коробках: «12 бит» или даже «14 бит». Но в реальном инженерном мире идеальных АЦП не существует. Часть этой заявленной разрядности неизбежно «тонет» во внутренних шумах и искажениях самого прибора.

То, что остается чистым, честным и пригодным для прецизионных измерений, называется **ENOB (Effective Number of Bits — эффективное число бит)**. Это интегральный параметр, который показывает реальную точность аналого-цифрового тракта осциллографа.

Что такое ENOB и откуда берутся потери?

Если номинальная разрядность — это просто количество ступенек, на которое АЦП теоретически может разбить сигнал по вертикали, то ENOB учитывает, что прибор работает в условиях реальных физических помех.

Математически ENOB жестко связан с параметром **SINAD** (отношение сигнала к сумме шума и гармонических искажений) формулой:

$$ENOB = \frac{SINAD - 1.76}{6.02}$$

Каждый «съеденный» шумами бит ухудшает точность измерений в два раза. Главные виновники падения ENOB:

- **Тепловой шум входных усилителей (LNA):** До того, как сигнал попадет в АЦП, он проходит через аналоговый тракт, который неизбежно добавляет широкополосный шум. Этот шум носит фундаментальный характер и критически повышается с ростом частоты сигнала и, соответственно, полосы пропускания аналогового тракта осциллографа. Именно высокий уровень высокочастотных тепловых шумов сдерживает проникновение 12-битных АЦП в архитектуру многогигагерцовых осциллографов, т.к. повышенное разрешение АЦП на высоких частотах нивелируется повышенным уровнем шумов.
- **Джиттер тактового генератора (Aperture Jitter):** Если контроллер оцифровки делает выборку точек с микроскопической нестабильностью во времени, на крутых фронтах это превращается в ошибку измерения напряжения.
- **Артефакты чередования (Interleaving):** Чтобы поднять частоту дискретизации (например, до 5 или 10 ГГц), производители часто объединяют несколько АЦП в один канал, заставляя их работать по очереди. Малейшая рассинхронизация между ними порождает паразитные гармоники, сильно роняющие ENOB.

Реальные значения ENOB в современных приборах

ENOB — величина динамическая. Она никогда не бывает постоянной и **стремительно падает с ростом частоты входного сигнала**.

Вот как выглядит суровая реальность для разных классов современных осциллографов:

Номинальная разрядность АЦП	ENOB (10–50 МГц)	ENOB ~ 1 ГГц)	Что это означает на практике?
8 бит (Бюджетные / старые приборы)	5.5 – 6.5 бит	4.5 – 5.2 бит	Сигнал «зашумлен», мелкие пульсации на фоне постоянного напряжения рассмотреть невозможно.
10 бит (Портативные / спец. серии)	7.5 – 8.2 бит	6.5 – 7.0 бит	Хороший компромисс для полевых условий, но для прецизионной лабораторной работы маловато.
12 бит (Современный стандарт среднего класса)	9.0 – 10.0 бит	7.5 – 8.5 бит	Огромный шаг вперед. Картинка гладкая, шумы квантования практически незаметны.
14 / 16 бит (Лабораторный High-End)	11.0 – 12.5 бит	9.0 – 10.5 бит	Экстремальная точность, необходимая для спектрального анализа и аудио-метрологии.

Обратите внимание: даже у лучших современных 12-битных осциллографов реальный ENOB на низких частотах составляет около **9.5 бит**, а на частотах около 1 ГГц он опускается в район **8 бит**. Но это все равно в разы лучше, чем показатели классических 8-битных платформ.

Как выжать из осциллографа максимальный ENOB? (практические рекомендации)

Если вам нужно провести максимально точные измерения (например, замерить микровольтовые шумы), вы можете искусственно поднять ENOB прямо во время работы с прибором:

- Включайте ограничение полосы (Bandwidth Limit):** Если вы измеряете пульсации источника питания на частоте 100 кГц, осциллографу ни к чему слушать эфир на частоте 500 МГц. Ограничьте полосу до 20 МГц в меню канала — это срежет высокочастотный шум аналогового фронтэнда и поднимет ENOB на 0.5–1 бит.
- Используйте режим High Resolution (Hi-Res):** в отличие от обычного усреднения, этот режим усредняет соседние точки АЦП в реальном времени. На медленных развертках он способен поднять ENOB 12-битного прибора почти до теоретических 14–15 бит (правда, за счет снижения эффективной полосы пропускания).

3. **Используйте внутренний масштаб по максимуму:** если ваш сигнал занимает всего 1-2 деления по вертикали, вы используете лишь малую часть динамического диапазона АЦП. Растягивайте сигнал так, чтобы он занимал **80–90% высоты экрана**.

ТАБЛИЦА 8. БИТНОСТЬ АЦП В ОСЦИЛЛОГРАФАХ VERDO

Серия осциллографов VERDO	Разрядность АЦП, бит
SH1400	8
ST1200	8 или 8/12 (переключ.)
SB1400	8
SB1500	12
SB1600	
SB162X	8 или 8/12/14 (переключ.)
SB164X	8 или 8/12 (переключ.)
SB1700	12
SB1800	8

Система синхронизации (триггер) цифрового осциллографа

Система синхронизации (Trigger System) — это «мозг» осциллографа, отвечающий за стабильность картинки на экране. Без синхронизации график превратился бы в хаотичное месиво из накладывающихся друг на друга линий, поскольку каждый новый кадр развертки начинался бы в случайный момент времени.

Триггер заставляет осциллограф делать «снимок» сигнала строго в определенный, заданный пользователем момент.

Главное отличие цифрового триггера от аналогового

В старых аналоговых осциллографах триггер буквально запускал движение электронного луча по экрану слева направо. Поэтому аналоговый прибор физически не мог показать, что происходило *до* момента срабатывания триггера.

В современных цифровых осциллографах (DSO) АЦП работает непрерывно, постоянно записывая данные в кольцевой буфер памяти. Функция триггера здесь — **стать временным якорем (точкой $T = 0$)** в этом массиве данных.

Благодаря этому цифровые приборы обладают уникальным режимом:

- **Предзапуск (Pre-trigger):** Осциллограф показывает на экране события, которые случились *до* выполнения условия синхронизации (буфер памяти просто считывается «назад» во времени). Это незаменимо для поиска причин сбоев.
- **Постзапуск (Post-trigger):** Отображение событий через заданное время *после* триггера.

Базовые параметры настройки синхронизации

Чтобы синхронизировать простейший периодический сигнал (например, синусоиду), инженеру нужно настроить три главных параметра:

1. **Источник (Source):** Указывает, какой именно сигнал анализировать. Это может быть любой из аналоговых каналов (CH1–CH4), внешний вход синхронизации (Ext) или частота питающей сети (Line — полезно для поиска наводок 50 Гц).
2. **Тип фронта (Slope):** Определяет, на каком направлении сигнала сработает триггер:
 - *Rising* (нарастающий фронт) — сигнал идет снизу вверх.
 - *Falling* (спадающий фронт) — сигнал идет сверху вниз.
 - *Either / Any* (оба фронта) — триггер сработает на любое изменение (есть в современных моделях).
3. **Уровень синхронизации (Level):** Горизонтальная линия напряжения, которую должен пересечь сигнал. На экране она отображается в виде небольшой стрелки или пунктира. Как только сигнал пересекает этот уровень в выбранном направлении фронта — происходит захват кадра. Физически это реализуется с помощью электронного компаратора, который сравнивает уровень сигнала-источника запуска с уровнем, заданным пользователем и выдает команду на запуск развертки. Почти во всех современных осциллографах компараторы- 2-уровневые, т.е. могут анализировать условия пользователя по двум уровням

сигнала. При этом еще могут накладываться временные условия, что позволяет реализовать большое количество сложных условий запуска.

Режимы работы триггера (Trigger Modes)

Любой осциллограф имеет три классических режима ожидания сигнала:

- **Автоматический (Auto):** Прибор ждет выполнения условий триггера. Если сигнала нет или уровень выставлен неверно, осциллограф через короткое время принудительно генерирует запуск сам. Экран не замерзает, вы видите «живой» сигнал (или прямую линию), но картинка может нестабильно бежать.
- **Нормальный (Normal):** Осциллограф обновляет экран **только тогда**, когда сигнал реально пересекает уровень синхронизации с нужным фронтом. Если условий нет — на экране остается застывший кадр предыдущего успешного захвата. Этот режим идеален для точного рассмотрения стабильных сигналов или редких пакетов.
- **Однократный (Single):** Прибор переходит в режим ожидания, послушно ловит **один-единственный** кадр при выполнении условий триггера, записывает его в память и застывает (*Stop*). Главный режим для фиксации переходных процессов при включении устройств или поимки случайных импульсов.

Время удержания (Trigger Holdoff)

Это функция, которая временно запрещает запуск развертки на заданный промежуток времени после его первого срабатывания.

Зачем это нужно: Если ваш сигнал состоит из сложных пакетов импульсов, обычный триггер будет цепляться за каждый первый попавшийся импульс внутри пакета, и картинка будет дрожать. Выставив *Holdoff* равным длине пакета, вы заставите осциллограф синхронизироваться строго по первому импульсу каждой пачки этих импульсов.

Современные цифровые осциллографы ушли далеко вперед от простого запуска по фронту. Для анализа цифровых схем используются специализированные типы триггеров, которые позволяют выделять в общем потоке сигналов уникальный его элемент или напротив, аномалию, которая препятствует нормальной работе всей электронной системы.

Поочередный запуск

Одно время довольно часто использовался поочередный запуск (Alternate Trigger) — это специальный режим системы синхронизации осциллографа, который применяется для одновременного стабильного отображения двух или более абсолютно независимых (асинхронных) сигналов. В этом режиме осциллограф динамически переключает источник синхронизации (например, канал1 ->канал2) на каждом новом цикле захвата осциллограммы (sweep) захватывает и накладывает на экран поверх первого.

Из-за инерционности человеческого зрения (и благодаря цифровому послесвечению) инженер видит на экране две четкие, неподвижные осциллограммы. В настоящее время этот режим уже не часто встречается в спецификации современных осциллографов.

В системе синхронизации (триггере) осциллографа фильтры выполняют критически важную задачу: они **очищают сигнал от помех до того, как он попадет на компаратор**, который принимает решение о запуске развертки.

Если исследуемый сигнал содержит шумы, наводки от сети или высокочастотный «звон», компаратор начнет срабатывать на этих ложных всплесках. В результате картинка на экране начнет хаотично мигать или превратится в «кашу». Фильтры стабилизируют триггер, изолируя целевое событие запуска.

Основные типы фильтров в цепи триггера

В меню настройки синхронизации (обычно в разделе **Trigger Coupling / Связь триггера**) доступны следующие режимы фильтрации:

- **AC Coupling (Связь по переменному току):** Включает фильтр верхних частот (ФВЧ), который полностью блокирует постоянную составляющую (DC).
 - *Когда применять:* Когда вам нужно синхронизироваться по слабому переменному сигналу, который «сидит» на высоком постоянном напряжении (например, при поиске пульсаций и шумов на шине питания 12 В). Без AC-фильтра при изменении постоянного напряжения уровень триггера постоянно «уплывал» бы за пределы экрана.
- **HF Reject (Подавление высоких частот):** Включает фильтр нижних частот (ФНЧ) с частотой среза обычно в районе 30–50 кГц. Он отсекает все высокочастотные шумы, пропуская в схему синхронизации только низкочастотную основу.
 - *Когда применять:* При работе с медленными сигналами (звуковые частоты, выходы аналоговых датчиков, ШИМ-сигналы управления двигателями), если на них наводятся ВЧ-помехи от работы цифровой части схемы или импульсных источников питания.

- **LF Reject (Подавление низких частот):** Включает ФВЧ с частотой среза около 30–50 кГц, который блокирует низкочастотные компоненты.
 - *Когда применять:* Идеально подходит для борьбы с сетевой наводкой 50 Гц (60 Гц) и её гармониками, а также для устранения влияния медленного дрейфа изолинии («плавания» земли). Компаратор будет видеть только быстрые фронты полезного сигнала.
- **Noise Reject (Подавление шума / Изменение гистерезиса):** Этот фильтр работает не в частотной, а в **амплитудной** области. Он не срезает частоты, а аппаратно увеличивает ширину зоны гистерезиса триггера (требуемый размах сигнала для срабатывания).
 - *Когда применять:* Когда на самом фронте сигнала присутствует сильный случайный шум. Без этого фильтра осциллограф будет ловить триггер несколько раз на одном и том же зашумленном фронте. Увеличенный гистерезис заставляет компаратор игнорировать мелкие флуктуации шума.

Типы интеллектуального триггера (Smart Triggers)

- **По длительности импульса (Pulse Width):** Триггер срабатывает только в том случае, если импульс оказался уже или шире заданного времени. Помогает находить помехи в тактовых линиях.
- **По неполной амплитуде (Runt):** Ловит импульсы, которые пересекли нижний порог логического уровня, но не смогли дорасти до верхнего («недоимпульсы»).

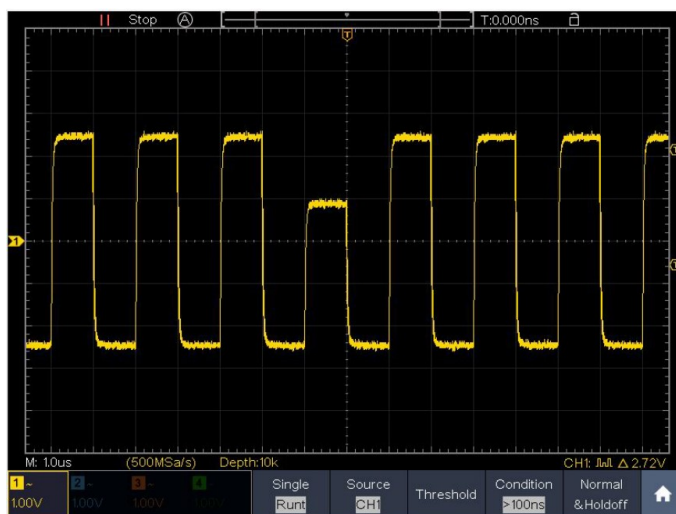


Рисунок 3 Захват аномалии типа «Рант» с помощью системы синхронизации цифрового осциллографа Verdo SB1804

- **По скорости нарастания (Slope/Slew Rate):** Запуск происходит, если фронт сигнала оказывается слишком пологим или неоправданно крутым.
- **Логический триггер (Pattern/Logic):** Анализирует состояние сразу нескольких каналов (например: сработать, если CH1 = 1, CH2 = 0, CH3 = 1).
- **Триггер протоколов (Serial Bus Trigger):** Самая мощная функция современных приборов. Осциллограф аппаратно декодирует шину данных в реальном времени и может запустить развертку, например, при обнаружении конкретного адреса устройства на шине I2C или при появлении ошибки *Error Frame* в автомобильной шине CAN.

Общее количество режимов запуска растет с увеличением цены прибора и может исчислять десятками, среди них запуски по N-му импульсу, запуск по превышению времени ожидания, запуск по нарушению установки удержания тактовых импульсов запуск по сложной комбинации 2 определенных пользователем событий, в т.ч. условиями, заданными на разных каналах, и пр. Перед покупкой стоит удостовериться, что прибор поддерживает нужный вам тип запуска.

ТАБЛИЦА 9 ТИПЫ ЗАПУСКА В ОСЦИЛЛОГРАФАХ VERDO

Серия VERDO	SH 1400	ST 1200	SB 1400	SB1500		SB 1600	SB 1700	SB 1800
				15x1/3 /5	15x4/ 6			
Источник запуска								
Аналоговые каналы	+	+	+	+	+	+	+	+
Вход внешнего запуска	-	-	+	+	+	+	+	+
Логические каналы	-	-	-	-	+	-	-	-
Питающая сеть (AC)	-	-	+	-	+	-	+	-
Фильтры в системе синхронизации								
AC	+	+	+	+	+	+	+	+
HF	-	+	+	+	+	+	+	+
LF	-	-	+	-	-	+	-	+
Шум	-	-	-	-	-	-	-	+

Типы запуска								
По фронту	+	+	+	+	+	+	+	+
Поочередной (к.1 – к.2)	-	-	+	-	-	-	-	-
Видео (PAL,NTSC,SECAM)	-	+	+	+	+	+	+	+
По импульсу	-	+	+	+	+	+	+	+
По наклону	-	+	+	+	+	+	+	+
По ранту	-	+	-	+	+	+	+	+
По окну	-	+	-	+	+	+	+	+
По таймауту	-	+	-	+	+	+	+	+
По N-му фронту	-	+	-	+	+	+	+	+
Логический триггер	-	+	-	+	+	+	+	+
По шине RS232/UART	-	+	-	+	+	+	+	+
По шине I2C	-	+	-	+	+	+	+	+
По шине SPI	-	+	-	+	+	+	+	+
По шине CAN	-	+	-	+	+	+	+	+
По шине LIN	-	-	-	+	+	-	+	-

Измерения в осциллографах

Осциллограф – это прибор прежде всего для визуализации сигнала. Однако, одновременно, он является измерительным прибором, и способен осуществить измерения отображаемого на экране сигнала.

Эволюция измерительных возможностей осциллографа — это путь от простой визуальной оценки «на глаз» до полностью автоматизированных программно-

аппаратных комплексов. Эту вертикаль инструментов можно разделить на 5 основных уровней.

Экранная сетка (Визуальная оценка)

Базовый уровень, доставшийся в наследство от аналоговых приборов. Инженер оценивает сигнал, физически подсчитывая количество делений (клеток) на дисплее.

- **Что измеряет:** Грубую амплитуду (по вертикали) и период/длительность (по горизонтали) путем умножения количества клеток на коэффициент вольт/деление или время/деление.
- **Минусы:** Низкая точность, высокая вероятность человеческой ошибки и ограничение разрешением экрана.

Курсорные измерения (Ручной контроль)

Первый шаг к цифровой автоматизации. Инженер вручную перемещает по экрану вертикальные или горизонтальные маркерные линии, совмещая их с интересующими участками осциллограммы. Курсоры измеряют: Точные разности напряжений (ΔV), временные интервалы (ΔT), а также мгновенную частоту ($1/\Delta T$).

Типы курсоров:

- **Y-курсоры (горизонтальные):** Измеряют амплитуду, напряжение, уровни логики.
- **X-курсоры (вертикальные):** Измеряют время, период, фазу, задержки.
- **Следящие (Track):** Перекрестия, которые «прилипают» к самому графику сигнала. Вы двигаете курсор по оси X, а он автоматически ползет по кривой вверх и вниз, показывая точное напряжение в этой точке.

Базовые автоматические измерения (Математика АЦП)

Все современные осциллографы снабжены функцией автоматических измерений: прибор рассчитывает параметры математически, анализируя массив оцифрованных точек, попавших в память.

В основе автоматических измерений лежит разделение собранных выборок осциллограммы на две важные категории по уровню:

- **Max/Min (Пиковые значения):** Абсолютный максимум и минимум напряжения, включая все случайные игольчатые помехи и выбросы.

- **Top/Base (Вершина и Базовый уровень):** Стабильные уровни «полки» прямоугольного сигнала, очищенные от высокочастотного звона и выбросов с помощью статистического анализа.

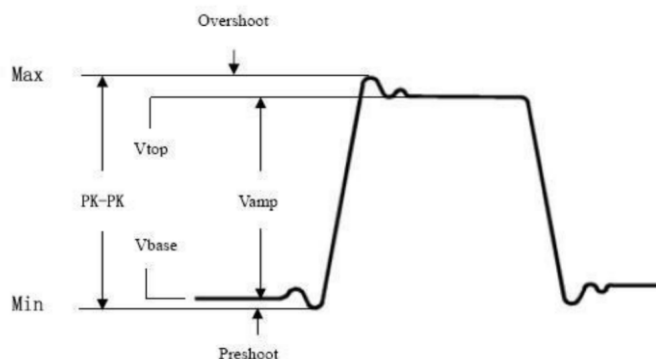


Рисунок 4 Импульс с некоторыми точками измерения напряжения

Большинство временных измерений (частота, ширина импульса) по умолчанию считаются на уровне **50%** от амплитуды, а время нарастания фронта — в интервале от **10% до 90%** (или от 20% до 80% в некоторых стандартах).

В большинстве приборов уровень пиковых значений, а также вершина и базовый уровень устанавливаются автоматически, что для сложных сигналов не всегда делается корректно. Поэтому в некоторых современных осциллографах есть пользовательская процедура настройки этих уровней по задаваемым правилам и уровням.

Например: для высокочастотных сигналов фронты характеризуются от уровней не 10%-90%, а от уровней 20% и 80%

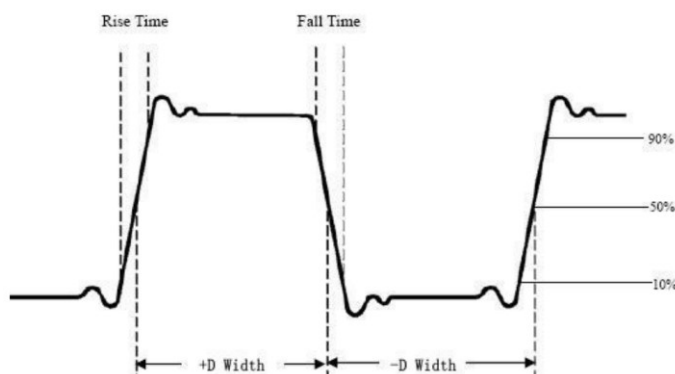


Рисунок 5 Импульс с некоторыми точками измерения временных параметров

Основные группы автоматических измерений

Современный осциллограф среднего класса способен одновременно выводить на периферию экрана (обычно внизу) от 4 до 8 параметров из более чем 30 доступных. При этом практически во всех осциллографах есть режим "моментального снимка", когда на экран выводятся результаты всех доступных в приборе измерения, однако при этом этим снимком занята, как правило, вся полезная область экрана.

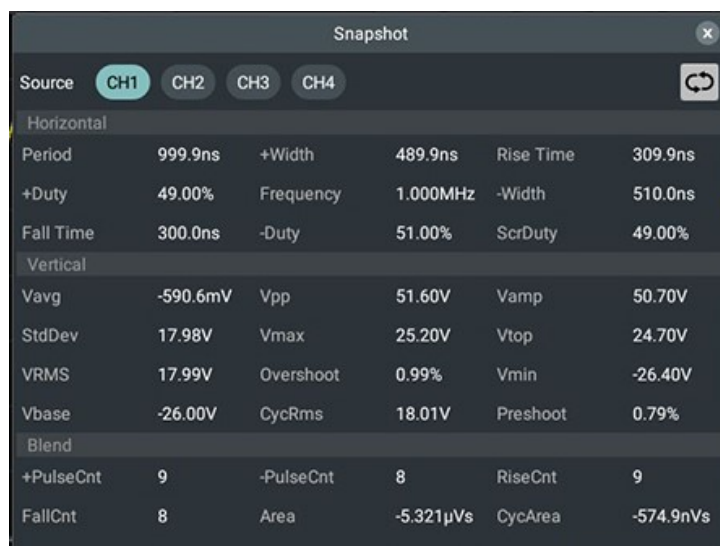


Рисунок 6 моментальный снимок автоматических измерений в осциллографах Verdo SB1521

Автоматические измерения делятся на три группы:

Группа измерений	Основные параметры	Для чего применяется
Амплитудные (Вертикальные)	Vpp (пик-пик), Vmax, Vmin, Vtop, Vbase, Vrms (среднеквадратичное), Среднее, Выброс (Overshoot).	Оценка уровней логики, качества питания, поиск просадок напряжения и перегрузок.
Временные (Горизонтальные)	Частота (Frequency), Период (Period), Длительность импульса (+/- Pulse Width), Коэффициент заполнения (Duty Cycle).	Анализ работы тактовых генераторов, ШИМ-контроллеров, таймеров.
Параметры фронтов	Время нарастания (Rise Time), Время спада (Fall Time).	Оценка целостности сигналов (Signal Integrity), проверка быстродействия ключей и драйверов.

Группа измерений	Основные параметры	Для чего применяется
Многоканальные (Задержки)	Задержка (Delay) между CH1 и CH2, Сдвиг фаз (Phase).	Наладка синхронности интерфейсов (SPI, тактовые сигналы), измерение КПД и фазовых сдвигов.

Автоматические измерения в окне

По умолчанию прибор измеряет параметры по **всему экрану или даже по всей выборке памяти**. Если на экране отображается длинный пакет из 50 импульсов, и у одного из них частота «поплыла», осциллограф усреднит значение по всему экрану, и вы не заметите проблему. Для решения таких проблем используется функция **Gating (Измерения в окне)**. Она позволяет сузить зону анализа с помощью курсоров, заставив прибор считать параметры только внутри конкретного интересующего вас участка сигнала. Проверяйте по спецификации, есть в ли в осциллографе, который планируете купить, такая функция?

Статистика, тренды и гистограммы (Глубокий анализ)

Когда вы включаете обычные автоматические измерения, осциллограф показывает вам «снимок» ситуации здесь и сейчас — параметры только того кадра, который выведен на экран. Но реальные сигналы динамичны: они плывут от нагрева, шумят, в них проскакивают случайные помехи. Статистика – это инструмент, который превращают осциллограф из индикатора текущего кадра в статистический анализатор, обрабатывающий миллионы осциллограмм в секунду.

«Большая пятерка» статистических параметров

При включении статистики под графиком сигнала появляется таблица, в которой для каждого выбранного измерения (например, частоты или амплитуды) рассчитываются пять ключевых параметров:

- **Current (Текущее):** Значение в последнем захваченном кадре.
- **Mean (Среднее):** Математическое среднее значение за все время с момента старта накопления статистики. Позволяет «отфильтровать» случайный шум и узнать истинное значение параметра.
- **Min (Минимум) и Max (Максимум):** Экстремальные точки. Прибор фиксирует «худший сценарий». Если за 4 часа работы схемы амплитуда хотя бы раз просела из-за сбоя, это останется зафиксированным в графе *Min*.

- **Std Dev (Стандартное отклонение / СКО):** Мера стабильности сигнала. Показывает, насколько сильно значения «гуляют» вокруг среднего. Если СКО близко к нулю, сигнал идеален. Большое СКО говорит о сильном шуме или джиттере (дрожании).
- **Count (Счетчик измерений):** Количество обработанных осциллограмм (объем выборки). Чем больше это число, тем достовернее статистика.



Рисунок 7 режим статистики автоизмерений в осциллографе Verdo SB1521

Некоторые сценарии применения статистики

Оценка шума и джиттера через Std Dev (СКО)

Стандартное среднеквадратичное отклонение (Std Dev).— это чистая математическая оценка стабильности.

Пример: Вы измеряете период тактового генератора. Если Std Dev равен 2 пс, генератор отличный. Если Std Dev подскочил до 150 пс — фазовый шум (джиттер) слишком велик, и цифровая схема будет работать со сбоями. То же самое с напряжением: Std Dev для измерения «Тор» (вершина импульса) покажет вам среднеквадратичное значение (RMS) шума на этой полке.

Поиск редких «выбросов» (Glitches) и просадок

Вместо того чтобы сидеть часами перед экраном, пытаюсь поймать глазами секундный сбой, вы оставляете прибор работать.

Пример: Тестируется блок питания на 5 В. Вы включаете измерение V_{max} и V_{min} со статистикой и уходите пить чай. Возвращаетесь через час: в графе Min зафиксировано 4,1 В. Значит, в какой-то момент произошла опасная просадка, и схема сбросилась не просто так.

Отслеживание температурного дрейфа

Компоненты схемы при работе нагреваются, и их параметры меняются. Сравнивая значения *Current* (прямо сейчас) и *Mean* (среднее за все время), или наблюдая, как медленно ползут значения *Min* и *Max*, можно оценить температурную стабильность (например, уход частоты кварцевого генератора).

Продвинутые инструменты: Гистограммы и Тренды

Современные осциллографы умеют не просто выводить цифры статистики, но и визуализировать её. Для этого служат два инструмента:

1. **Гистограммы (Histograms):** Прибор строит график распределения вероятности для измеряемого параметра. Например, если построить гистограмму для времени нарастания фронта, идеальный гауссовский «колокол» (нормальное распределение) скажет о наличии только естественного теплового шума. Если же колокол раздвоился — в схеме есть наводка от конкретной периодической помехи (например, от импульсного источника питания).
2. **Тренды и Треки (Trend / Track):** Осциллограф строит график, где по оси X идет время (или номер кадра), а по оси Y — значение измерения. Это позволяет увидеть, например, как частота модулируется во времени или как напряжение проседает строго циклически.

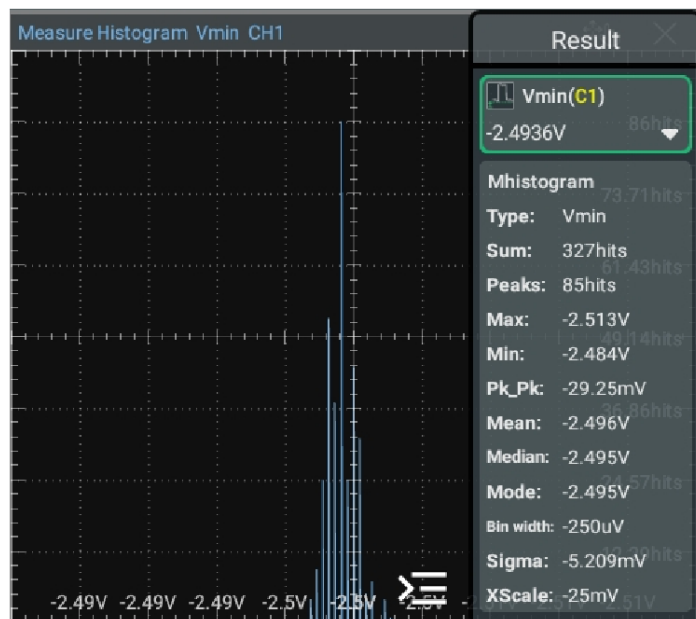


Рисунок 8 гистограммы автоизмерений в осциллографе Rigol серии MHO900

Специализированные программные модули (Прикладной High-End)

Высшая ступень, превращающая осциллограф в узкоспециализированный измерительный комплекс (часто это платные программные опции).

Возможности модулей:

- **Декодирование протоколов:** Автоматически разбирает пакеты данных «в цифру» для шин I2C, SPI, CAN, USB, PCIe, выводя на экран готовые HEX/ASCII коды вместо абстрактных импульсов.
- **Анализ целостности сигналов (Signal Integrity):** Строит глазковые диаграммы (Eye Diagrams) и разделяет джиттер (дрожание фазы) на случайный и детерминированный для оценки качества высокоскоростных линий.
- **Compliance Testing (Тесты на соответствие):** Автоматически тестирует интерфейсы (например, USB 3.0 или DDR4) по жестким маскам стандартов и генерирует официальный отчет формата «годен / не годен».
- **Силовая электроника:** Автоматически рассчитывает потери на переключение в транзисторах, параметры качества сети и характеристики магнитных компонентов.

ТАБЛИЦА 10 АВТОМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ В ОСЦИЛЛОГРАФАХ VERDO

Серия VERDO	SH 1400	ST 1200	SB 1400	SB 1500	SB 1600	SB 1700	SB 1800
Всего автоизмерений	7 или 12	39	20	43	39	43	39
Измерение между курсорами	-	-	-	+	+	+	+
Одновременно	6	8	8	8	8	8	8
Статистика	-	-	-	+	+	+	+
Подстройка опорных уровней автоизмерения	-	-	-	+	-	+	-

Осциллографические пробники – зачем нужны, какие требования к осциллографу

Правильное подключение объекта измерения пробников к осциллографу — это основа точных измерений. Ошибки на этом этапе приводят к искажению формы сигнала и погрешностям по частоте.

Основным способом подключения объекта измерения к осциллографу является **осциллографический пробник**, который выступает неким посредником между осциллографом и источником измеряемого сигнала, **обеспечивающим корректную передачу сигнала с заранее неизвестными параметрами в измерительный тракт осциллографа** (исключение составляет прямое коаксиальное соединение для подключения генераторов сигналов или выходов других приборов к осциллографу)

В современной осциллографии используются следующие типы пробников:

- **Пассивный пробник (1X/10X/100X/1000X и др.).** Представляет собой, упрощенно говоря, обычный резистивный делитель напряжения. Самый распространенный тип. Иногда имеет переключатель коэффициента деления. Позволяет безопасно измерять более высокие напряжения.
- **Активный пробник.** Содержит встроенный усилитель. Используется для высокочастотных сигналов, так как минимально нагружает исследуемую схему.
- **Дифференциальный пробник.** Измеряет разность потенциалов между двумя точками, ни одна из которых не заземлена. Обеспечивает гальваническую

развязку измеряемой цепи от схемы питания осциллографа и других его каналов. Идеален для силовой электроники.

- **Токовый пробник.** Измеряет ток без разрыва цепи с помощью датчика Холла или трансформатора тока.

Все осциллографы снабжены входным контактом для подключения либо высокочастотного кабеля либо пробника. Различают следующие виды входных осциллографических разъемов:

Разъем BNC (Bayonet Neill–Concelman). Он является основным и общепринятым стандартом для подключения пробников к осциллографу. Это быстроразъемный коаксиальный коннектор, который фиксируется с помощью четверти оборота байонетного замка. Это классический аналоговый BNC-разъем без каких-либо дополнительных контактов.



Рисунок 9 разъем bnc – female, используемый как входной разъем осциллографа

- **Нюанс:** Осциллограф со стандартным входным разъемом BNC не умеет автоматически определять коэффициент деления пробника. Если вы подключаете щуп 10X (например, комплектный RIGOL PVP2350), вам необходимо **вручную в меню канала** выставить значение «10X»

В современных цифровых осциллографах используются усовершенствованные версии BNC, которые позволяют прибору «общаться» с пробником:

- **BNC с интерфейсом Probe ID:** Вокруг стандартного металлического BNC-разъема расположено медное кольцо или дополнительный контакт. Пробник имеет встроенный резистор. Осциллограф считывает его сопротивление и автоматически переключает коэффициент деления на экране (например, с 1X на 10X или 100X). Применяется во многих популярных бюджетных и среднебюджетных сериях, но ни у всех производителей.
- **Интеллектуальные интерфейсы (активные разъемы):** Каждый крупный производитель разрабатывает свою цифровую контактную площадку вокруг BNC для питания и управления активными, дифференциальными или токовыми пробниками.

- **Примеры реализации активных разъемов на базе BNC :**

- TekVPI у [Tektronix](#)
- AutoProbe у [Keysight / Agilent](#)
- ProBus у [Teledyne LeCroy](#)

Эти интерфейсы не только передают сигнал, но и обеспечивают двустороннюю связь: осциллограф распознает точную модель пробника, подает на него питание, управляет встроенным фильтром или позволяет обнулять показания (Auto-Zero), осуществляет согласование пробника со входом прибора и пр.

Предельная полоса пропускания разъема типа **BNC** составляет примерно 4 ГГц. Для осциллографов на большие частоты применяются другие типы разъемов: **SMA** (до 18 ГГц), **3,5 мм** (до 33 ГГц), **2,92мм** (до 40 ГГц), **2,4 мм** (до 50 ГГц), **1,85 мм** (до 70 ГГц) и **1,0 мм** (до 115 ГГц)

Последние типы разъемов используются исключительно во флагманских осциллографах ультра-класса (например, серий Keysight Infiniium UXR или Tektronix DPO70000SX).

Согласование пробника со входом осциллографом

Согласование пробника со входом осциллографа необходимо для точной передачи сигнала без искажений формы, амплитуды и фазы. Из-за паразитной емкости кабеля и входных цепей несогласованный тракт превращает прямоугольный сигнал в сглаженный или, наоборот, добавляет ложные выбросы.

Согласование делится на два принципиальных этапа: **низкочастотное (компенсация емкости)** и **высокочастотное (согласование импедансов)**.

Низкочастотное согласование

В режиме делителя (к примеру, **10X**) эквивалентная схема состоит из двух частей: делителя напряжения на резисторах (9 МОм в пробнике + 1 МОм в осциллографе) и делителя на емкостях. Чтобы осциллограф правильно отображал все частоты, эти делители должны быть сбалансированы.

Для этого в корпусе пробника (возле BNC-разъема или на самом наконечнике) установлен подстроечный конденсатор, обеспечивающий компенсацию паразитных емкостей. Компенсация делается с помощью встроенного генератора 1кГц, с амплитудой 1-3 В.

Высокочастотное согласование (50 Ом)

Когда частота измеряемого сигнала превышает 200 МГц (или скорость нарастания фронта составляет единицы наносекунд), длина волны сигнала становится соизмерима с длиной кабеля пробника. В этот момент кабель начинает работать как **линия с распределенными параметрами**.

Если входное сопротивление осциллографа составляет стандартный 1 МОм, то высокочастотный сигнал, дойдя до конца кабеля, встретит колоссальное изменение

сопротивления, отразится обратно к источнику, снова отразится и породит искажения (стоячие волны, паразитный резонанс). Такая несогласованная линия порождает существенное искажение отображения формы сигнала и высокую ошибку измерения его амплитуды. Для согласования в этом случае используется **тракт 50 Ом**: Для ВЧ-измерений коаксиальный кабель имеет волновое сопротивление 50 Ом. Входной канал осциллографа в меню переключается с режима **1 МОм** на режим **50 Ом (в случае его отсутствия, можно использовать внешнюю нагрузку 50 Ом)**. В этом случае входной импеданс прибора точно соответствует волновому сопротивлению кабеля. Сигнал полностью поглощается нагрузкой, отражения отсутствуют, форма ВЧ-сигнала остается идеальной.

Примечание: Прямое подключение к 50-омному входу сильно нагружает исследуемую схему. Поэтому, если на вход прибора подается не 50- омный выход генератора, в таких задачах применяют **активные пробники** — они имеют огромное входное сопротивление на кончике (чтобы не портить сигнал в схеме), но их выходной кабель согласован на работу строго с 50-омным входом осциллографа.

Советы по выбору пары-осциллограф-пробник:

При выборе осциллографа с прицелом на будущую работу с пробниками важно смотреть не только на мегагерцы в паспорте прибора, но и на его физический интерфейс. Неудачный выбор заставит вас либо переплачивать за аксессуары, либо мучиться с ручными настройками.

- **Для простых задач (до 100–200 МГц):** Выбирайте приборы со стандартным чистым BNC. Они совместимы с любыми недорогими сторонними щупами, но коэффициент деления (1X/10X) придется переключать в меню вручную.
- **Для продвинутой разработки (от 300–500 МГц и выше):** Ищите осциллограф с **активным интерфейсом** (с контактными площадками вокруг BNC — вроде *RIGOL-Probe Interface*, *TekVPI* у Tektronix или *AutoProbe* у Keysight). Только к таким приборам можно подключить фирменные активные и дифференциальные щупы, которые питаются напрямую от осциллографа и автоматически передают в него свои коэффициенты калибровки.

ТАБЛИЦА 11 ТИП ВХОДНЫХ РАЗЪЕМОВ И РЕЖИМЫ ВХОДА ОСЦИЛЛОГРАФОВ VERDO

Серия VERDO	SH1400	ST1200	SB1400	SB1500	SB1600	SB1700	SB1800
Тип входных разъемов	Стандартный BNC						
Режим входа 1 МОм	+	+	+	+	+	+	+
Режим входа 50 Ом	-	-	-	-	Только:	+	+

					SB1625		
					SB1626		
					SB1627		

Математическая обработка сигнала

Математическая обработка сигнала (Math Functions) в современных цифровых осциллографах (DPO/MSO) превращает их из обычных измерителей напряжения в мощные аналитические станции. Благодаря встроенным процессорам и ПЛИС (FPGA), прибор может обрабатывать миллионы точек данных в реальном времени.

Ниже приведены ключевые группы математических функций, их особенности и практическое применение.

Базовые арифметические операции

Это простейшие функции, которые выполняются поточечно между двумя каналами (например, CH1 и CH2):

- **Сложение (+) и вычитание (-):** Главный способ реализации **программного дифференциального пробника**. Если подключить два обычных щупа к двум точкам схемы, а затем включить функцию CH1 - CH2, осциллограф покажет разность потенциалов между ними без риска короткого замыкания через заземление.
- **Умножение (x):** Используется для **вычисления мгновенной мощности**. Если на CH1 подать сигнал с датчика тока, а на CH2 — напряжение, то функция CH1xCH2 в реальном времени отобразит график потребляемой мощности в Ваттах.
- **Деление (/):** Позволяет к примеру, динамически вычислять сопротивление для участка цепи.

Частотный анализ: Быстрое преобразование Фурье (FFT)

Переводит сигнал из временной области (Вольт — Секунда) в частотную (Децибел — Герц). Современный FFT в осциллографах приближает их к полноценным анализаторам спектра. БПФ позволяет осуществлять поиск скрытых гармоник, оценку уровня шумов в источниках питания, анализ искажений звукового тракта и локализация электромагнитных помех (EMI).

- **Полезный совет:** Чтобы добиться хороших результатов применения БПФ в осциллографах необходимо правильно выбрать оконную функции (в меню настроек БПФ):
 - *Blackman-Harris / Hanning* — для точного измерения частоты.

- *Rectangular (Прямоугольное)* — для переходных процессов и коротких импульсов.
- *Flattop* — для максимально точного измерения амплитуды пиков.



Рисунок 10 режим бпф в осциллографе Verdo SB1804

Высшая математика (Интегрирование и Дифференцирование)

- **Дифференцирование (d/dt):** Показывает скорость изменения сигнала. Помогает измерить точную скорость нарастания фронта импульса или обнаружить скрытые, экстремально быстрые всплески (глитчи), которые незаметны на обычном графике.
- **Интегрирование ($\int dt$):** Вычисляет площадь под кривой сигнала. Идеально подходит для измерения полного заряда, прошедшего через цепь, энергию импульса и проч.

Цифровая фильтрация в реальном времени

Современные приборы позволяют программно «отрезать» лишнее прямо «на лету» с помощью встроенных цифровых фильтров:

- **ФНЧ (Фильтр нижних частот / LP):** Убирает высокочастотный шум и наводки, оставляя чистый низкочастотный сигнал (например, при анализе пульсаций сетевых ИБП).
- **ФВЧ (Фильтр верхних частот / HP):** Отсекает постоянную составляющую и медленный дрейф, позволяя детально рассмотреть быстрые компоненты сигнала.
- **Полосовой / Режекторный фильтры:** Выделяют конкретную частоту или, наоборот, вырезают ее (например, сетевой гул 50/60 Гц).

Продвинутый анализ

В приборах среднего и верхнего класса доступны сложные формулы:

- **Извлечение корня, логарифмы, абсолютное значение**
- **Редактор формул (Advanced Math):** Позволяет пользователю написать сложное уравнение в котором в качестве членов участвуют каналы осциллографа и константы. Некоторые производители (например, Tektronix) в качестве переменной для формулы позволяют использовать результаты автоматических измерений. Это позволяет, например, автоматически посчитать количество импульсов в пачке сигнала
- **Тренды и гистограммы:** Математическое построение графиков изменения параметров (например, как меняется частота ШИМ во времени) для визуализации стабильности системы.

ТАБЛИЦА 12 МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОПЕРАЦИИ НАД ОСЦИЛЛОГРАММАМИ В ОСЦИЛЛОГРАФАХ VERDO

Серия VERDO	SH1400	ST1200	SB1400	SB1500	SB1600	SB1700	SB1800
+, -, *, / ,	-	+	+	+	+	+	+
&&, , ^, !, , ,	-	-	-		-	+	-
Tan, Lg, Ln, Exp, Abs, Sine, CoSin,	-	-	-	+	-	+	-
Intg, Diff, Sqrt,	-	+	-	+	+	+	+
Формула пользователя	-	+	-	+	+	+	+
ФВЧ, ФНЧ, ФР, ФП	-	+	-	+	+	+	+
БПФ	-	+	+	+	+	+	+

Комбинированные осциллографы

Совмещение нескольких измерительных приборов в одном корпусе — это один из главных трендов современной измерительной техники. Такие устройства часто называют **комбинированными приборами**. Вот основные и наиболее удачные примеры интеграции, которые встречаются на рынке:

Скопметры (Портативные осциллографы-мультиметры)

Это классический пример «два в одном» для работы в полевых условиях, на объектах или в автосервисах. Совмещают полноценный цифровой осциллограф и изолированный цифровой мультиметр (DMM). Приборы имеют независимые входы. Вы можете безопасно измерять напряжение, сопротивление или емкость с помощью стандартных щупов мультиметра, и тут же переключаться на осциллографические проходы для анализа формы сигнала. Реализовано в сериях *Fluke ScopeMeter*, *VERDO SH1400*, *АКИП* и др.

Осциллографы со встроенным генератором сигналов (AWG)

Очень популярная комбинация для разработчиков электроники и ремонтников («осциллограф + источник сигнала»). Совмещают цифровой запоминающий осциллограф и одно- или двухканальный генератор сигналов произвольной формы (генератор функций).



Рисунок 11 меню управления встроенным генератором сигналов в осциллографе серии Verdo SB1500

Позволяет подать тестовый сигнал (синусоиду, меандр, импульс) на вход исследуемой схемы и тут же, на соседних каналах осциллографа, смотреть, как схема этот сигнал искажает или усиливает. В современных моделях это также позволяет автоматически строить графики Боде (АЧХ/ФЧХ). Реализовано в виде стандартных или опциональный вариантов современных настольных линейках от *Rigol* (серии с индексом "-Plus" или "A"), приборы *VERDO*.



Рисунок 12 снятие ачх пассивного пробника (1:1) с помощью графика бодэ на осциллографе Verdo SB1804

Осциллографы смешанных сигналов (MSO) + Логический анализатор

Комбинация для отладки цифровых и микропроцессорных систем. Совмещают аналоговые каналы осциллографа + цифровые (логические) каналы (обычно 8 или 16 каналов). Реализовано в любых осциллографах с аббревиатурой MSO, а также в качестве опции (например, в осциллографах VERDO SB15x4 и SB15x6). Позволяет одновременно видеть аналоговую форму сигнала (например, заваленные фронты импульсов или помехи по питанию) и логические уровни параллельных шин данных. В комплекте к логическому анализатору обязательно идет логический пробник на соответствующее число каналов.

Приборы «5 в 1» и «7 в 1» (Универсальные настольные комбайны)

В средний сегмент настольных приборов производители сейчас стараются «зашить» максимум функций, чтобы сэкономить место на рабочем столе инженера.

Современный настольный осциллограф часто включает в себя:

1. **Собственно осциллограф** (2или 4 аналоговых канала, редко 6 или 8).
2. **Логический анализатор (MSO)**.
3. **Генератор сигналов (AWG)**.
4. **Анализатор протоколов** (декодирование интерфейсов). Эта функция стала почти стандартной для осциллографов среднего ценового диапазона и позволяет захватывает, декодировать и синхронизироваться по сигналам последовательных

цифровых шин данных. Прибор анализирует тайминги, стартовые/стоповые биты, контрольные суммы и накладывает цветовую разметку прямо поверх осциллограммы. Вы видите не просто «забор» из импульсов, а четкие блоки: [Start] [Адрес: 0x50] [Запись] [Данные: 0xA1] [ACK]. Кроме того, прибор может синхронизироваться по элементам протокола, т.е. показать экран только тогда, когда в шине проскочит конкретное событие (например, ошибка контрольной суммы CRC или пакет данных с конкретным ID)

В настоящее время осциллографы в большинстве версий поддерживают работу с шинами: RS232/485/UART, I2C, SPI, CAN, LIN, несколько реж FlexRay, I2S, MIL-STD-1553 / ARINC 429. Осциллографы старшего ценового сегмента имеют опции работы с шинами USB, Ethernet, DDRx и др.



Рисунок 13 декодирование протокола rs232/uart с помощью осциллографа Verdo SB1804

5. **Встроенный цифровой вольтметр (DMM)** —полноценный мультиметр с отдельными входными разъемами или иногда – просто **вольтметр (DVM)**, который выводит точные цифровые значения напряжения прямо на экран поверх осциллограммы, используя те же осциллографические щупы.
6. **Регистратор -даталоггер (TrendPlot / Roll Mode)**. Регистратор предназначен для фиксации в памяти прибора медленных процессов в течение часов, дней или даже месяцев, поэтому эта функция, как правило, привязана именно к мультиметру.
7. **Частотомер** (высокоточный аппаратный счетчик частоты, как правило 6 разрядный). Обычно, не имеет самостоятельного входа - использует осциллографический вход и считает события запуска развертки

8. Анализатор спектра (на базе быстрого преобразования Фурье — FFT, или с отдельным радиочастотным трактом, как в приборах *Tektronix MDO*).

В чем выигрыш покупателя таких систем:

Один комбайн стоит дешевле и занимает значительно меньше места на столе, чем 3–4 отдельных прибора. Встроенный мультиметр/вольтметр и осциллограф могут использовать общую систему синхронизации, а данные с генератора могут напрямую сопоставляться с ответом схемы на экране, для выездных работ один скопметр заменяет целую сумку оборудования и т.д.

При этом нужно понимать, **что универсальность – это всегда компромисс**: встроенный в настольный осциллограф мультиметр часто уступает (например, по разрядности и погрешности или функциям для тестирования компонентов) хорошему отдельному настольному мультиметру, а встроенный генератор – менее функционален по сравнению со своим полноценным настольным аналогом. Да и если прибор уйдет в ремонт из-за поломки одного узла, вы временно лишитесь всех инструментов сразу.

ТАБЛИЦА 13 СОВЕТЫ ПО ВЫБОРУ ПРАВИЛЬНОЙ КОМБИНАЦИИ ПРИБОРОВ В ОДНОМ КОРПУСЕ

Комбинация	Основные сферы применения	Конкретные рабочие задачи	Кому подойдет
Осциллограф + Мультиметр (Скопметр)	Полевые работы, промышленная автоматика, силовая электрика.	- Поиск причин случайного срабатывания автоматов защиты. - Проверка датчиков и исполнительных механизмов на конвейере. - Быстрое переключение от измерения точного сопротивления к анализу формы сигнала управления.	Инженеры по наладке КИПиА, электрики, автоэлектрики, специалисты по обслуживанию станков.
Осциллограф + Генератор сигналов (AWG)	Разработка электроники, ремонт аудиотехники, радиотехника, обучение.	- Автоматическое снятие АЧХ/ФЧХ (графики Боде) фильтров и усилителей. - Симуляция работы датчика (подача сигнала с генератора) и проверка реакции схемы на него. - Поиск обрыва или искажения сигнала в	Разработчики аналоговой и цифровой схемотехники, ремонтники аудио/видеоаппаратуры, студенты.

Комбинация	Основные сферы применения	Конкретные рабочие задачи	Кому подойдет
		каскадах аудиоусилителей.	
Осциллограф + Логический анализатор (MSO)	Микропроцессорная техника, встроенные системы (Embedded).	- Отладка систем на базе микроконтроллеров, FPGA/ПЛИС и Arduino. - Одновременный контроль аналогового питания процессора и цифровых шин данных. - Поиск «иголок» (глитчей) на линиях синхронизации, из-за которых зависит цифровая плата.	Разработчики электроники, программисты микроконтроллеров (Embedded-инженеры).
Осциллограф + Регистратор данных (Даталоггер)	Диагностика энергосистем, климатические испытания, поиск плавающих сбоев.	- Длительный (сутки и более) мониторинг стабильности питающей сети 220/380 В. - Запись температурного режима мощного транзистора параллельно с фиксацией бросков тока. - Поиск редких сбоев в работе оборудования, которые происходят раз в несколько часов.	Инженеры по надежности, специалисты по силовой электронике, наладчики систем бесперебойного питания (ИБП).
Полный комбайн (5-в-1 / 7-в-1) (Осциллограф + Анализатор спектра + Вольтметр + Частотомер + Декодер шин и др.)	Универсальные лаборатории, сервисные центры широкого профиля.	- Комплексный ремонт сложных плат (где нужно и пульсации БП проверить, и частоту кварца измерить, и пакеты данных в CAN-шине расшифровать). - Проверка уровня радиопомех от импульсного источника питания на встроенном анализаторе спектра.	Сервисные инженеры по ремонту ноутбуков/смартфонов/пром-электроники, исследователи (R&D), радиолюбители со стажем.

ТАБЛИЦА 14 КОМБИНАЦИИ ПРИБОРОВ В ОДНОМ КОРПУСЕ В ОСЦИЛЛОГРАФАХ VERDO

Серия VERDO	SH 1400	ST 1200	SB 1400	SB1500		SB 1600	SB 1700	SB 1800
				15х1/3 /5	15х4/ 6			
Осциллограф (каналов)	2	2 или 4	2	2 или 4		2 или 4	2 или 4	2 или 4
Логический анализатор	-	-	-	-	16 кан. (опция)	-	-	-
Генератор сигналов	-	-	-	-	опция	опция	опция	+
Мультиметр (20000 отсчетов)	+	Тольк о ST122 X	-	-	-	опция	-	+
Функция DVM	-	-	-	+	+	-	+	-
Регистратор - даталоггер	-	Тольк о ST122 X	-	-	-	опция	-	+
Частотомер	-	6 разрядный						
Анализатор спектра (БПФ)								
макс. разрешение (точек)	-	4K	1K	1M		4K	1M	4K
Окон БПФ	-	6	4	6		6	6	9
Декодер последовательных шин								
RS232/UART,I2C, SPI, CAN	-	+	-	+	+	опция	+	+
LIN	-	-	-	+	+	-	+	-

Подключение осциллографа к ПК

Подключение осциллографа к персональному компьютеру значительно расширяет возможности работы: это позволяет автоматизировать измерения, сохранять большие массивы данных, проводить глубокий математический анализ (например, БПФ с высоким разрешением) и создавать отчеты. Способ подключения зависит от класса прибора (портативный, настольный или USB-осциллограф) и доступных интерфейсов.

Основные интерфейсы подключения

Современные осциллографы используют несколько стандартных физических интерфейсов для связи с ПК:

- **USB (USB-Device / USB-TMC):** Самый популярный и простой способ. Большинство настольных и портативных приборов (оснащены портом USB Type-B на задней панели. : Обычно используется класс USB-TMC (Test and Measurement Class), который позволяет ПК распознавать прибор как измерительное устройство

Внимание: Земляной контакт BNC-разъема осциллографа физически соединен с заземляющим контактом его сетевой вилки. У ПК корпус и земля USB-порта также соединены с сетевым заземлением. Если вы подключите осциллограф к ПК по USB, а «крокодил» заземления щупа случайно подсоедините к точке схемы с потенциалом, отличным от нуля, произойдет короткое замыкание через USB-кабель и компьютер.

- **Ethernet (LAN / LXI):** Стандарт для сетевой интеграции и удаленного управления. Реализуют возможность управления прибором с любого расстояния (даже через интернет), гальваническая развязка между ПК и осциллографом, простота интеграции в автоматизированные тестовые стойки.
 - Приборы с поддержкой стандарта **LXI** (LAN eXtensions for Instrumentation) имеют встроенный веб-интерфейс. Для базового контроля (посмотреть экран, скачать скриншот, изменить развертку) вообще не нужно ставить драйверы или среды программирования — достаточно только браузера. На экране ПК отображается точная интерактивная копия экрана осциллографа. Вы можете кликать мышкой по кнопкам и крутить виртуальные ручки — прибор мгновенно реагирует.

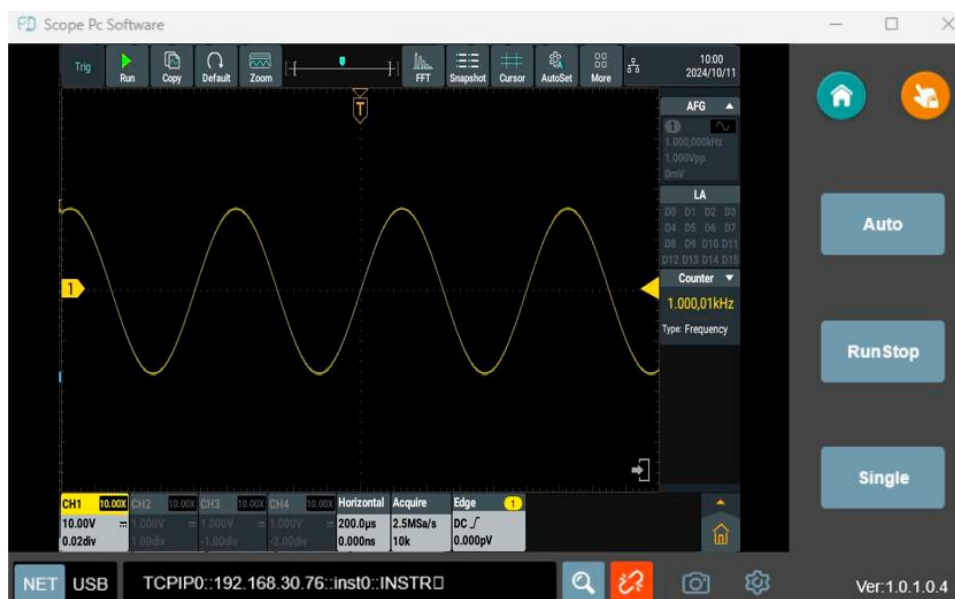


Рисунок 14. Виртуальная страница Verdo SB1524 на хост-пк, подключенном к осциллографу по lan или usb

- **Wi-Fi:** Встречается в современных портативных и планшетных осциллографах. Удобен для полевых измерений и безопасной работы с высоковольтными цепями, так как ПК физически изолирован от измерительной схемы.
- **RS-232 / COM-порт:** Устаревший интерфейс, который можно встретить на старых моделях. Скорость передачи данных крайне низкая, сегодня используется редко и в основном через переходники USB-to-Serial.

Программное обеспечение для работы

Физического подключения кабеля недостаточно — компьютеру нужны драйверы и специальный софт. Программное обеспечение делится на три уровня:

Фирменное ПО от производителя

Обычно каждый производитель поставляет в комплекте или предлагает скачать с официального сайта специализированную утилиту, которая полностью дублирует экран осциллографа на мониторе ПК, позволяет управлять ручками вертикальной/горизонтальной развертки и триггером мышкой, быстро сохранять скриншоты и экспортировать таблицы точек (CSV) для Excel.

Универсальные измерительные среды (VISA)

Для того чтобы ПК понимал команды, посылаемые прибору, используется архитектура **VISA** (Virtual Instrument Software Architecture). Это стандартный слой драйверов. Установка VISA-драйверов обязательна, если вы планируете использовать стороннее ПО

или писать собственные скрипты. Самые распространенные сборки: NI-VISA (от National Instruments), Keysight VISA

Язык SCPI: Основа удаленного управления и автоматизации

Для того чтобы управляющая программа на ПК могла отдавать команды осциллографу, используется международный стандарт **SCPI** (Standard Commands for Programmable Instruments — Стандартные команды для программируемых приборов)

Преимущества SCPI:

- **Универсальность:** Команды передаются в виде обычных ASCII-строк, поэтому код автоматизации можно писать на любом языке и в любой ОС.
- **Стандартизация:** Базовые команды (*RST, *IDN?, :RUN, :STOP) идентичны для осциллографов большинства мировых брендов, что упрощает модернизацию измерительных стендов.

Матрица рекомендаций по выбору интерфейса

Интерфейс	Когда ИДЕАЛЬНО использовать	Когда ДОПУСТИМО использовать	Когда использовать НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ
USB (USB-TMC)	• Лабораторный стол, когда ПК и осциллограф стоят рядом. • Поточковая откачка больших массивов точек (памяти) на ПК. • Быстрое подключение «на лету» без настройки сети.	• Измерения низковольтных плат с питанием от USB или батареек. • Работа с ноутбуком, отключенным от сети 220 В.	• Силовая электроника и высокие напряжения (риск выжечь ПК). • Удаленный контроль прибора из другой комнаты. • Стойки с большим количеством приборов.
Ethernet (LAN / LXI)	• Работа с высоковольтными цепями (нужна изоляция). • Автоматизированные измерительные стенды (ATE). • Удаленный контроль через веб-интерфейс или VPN.	• Повседневные лабораторные измерения общего назначения. • Снятие длинных осциллограмм в автоматическом режиме.	• Мобильные измерения в полевых условиях, где нет сетевых кабелей и роутеров.
Wi-Fi	• Измерения в труднодоступных	• Периодический мониторинг некритичных	• Непрерывный сбор «сырых» данных

Интерфейс	Когда ИДЕАЛЬНО использовать	Когда ДОПУСТИМО использовать	Когда использовать НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ
	местах (внутри щитов, автомобилей). • Работа в полевых условиях с планшета/ноутбука. • Полная физическая изоляция от измерительной схемы.	процессов в лаборатории. • Снятие быстрых скриншотов без проводов.	большого объема (высокий риск дропов и задержек). • Помехонасыщенная среда (рядом с мощными ИБП или радиопередатчиками).
RS-232 (COM)	• Интеграция в старые, давно работающие промышленные системы. • Управление специфическими реле времени или старыми стойками.	• Простые и редкие команды автоматизации (старт/стоп), где не важна скорость.	• Любые современные задачи • Передача скриншотов или массивов данных (процесс займет минуты).

Сохранение данных с осциллографа на внешний носитель

Сохранение данных с осциллографа на внешний носитель (чаще всего это USB-флеш-накопитель) — базовая и регулярная задача инженера. Это необходимо для документирования результатов измерений, ведения лабораторных журналов или последующего анализа данных на ПК, когда прибор не подключен к сети.

Порт для флешки (Разъем USB Type-A :USB 2.0) всегда расположен на передней панели прибора (в отличие от порта USB-Device для подключения ПК, который находится сзади).

Современные цифровые осциллографы позволяют сохранять информацию в нескольких принципиально разных форматах в зависимости от вашей цели

- **Экранные снимки (скриншоты)** в форматах **PNG, BMP или JPEG**.
- **Табличные данные (Формат CSV / TXT):** Файлы, содержащие сырые текстовые массивы точек: координата времени и соответствующее ей значение напряжения
- **Бинарные данные (Форматы типа BIN / DAT / WFM):** Внутренний оптимизированный формат производителя.
- **Профили настроек (Файлы конфигурации / Setup):** Сохранение всех текущих настроек прибора (вертикальная развертка, триггер, включенные каналы, математика).
- Результаты работы **самописца** или **даталоггера**

Из-за особенностей встроенных операционных систем осциллографов (обычно это урезанные версии Linux или Windows Embedded) к флеш-накопителям предъявляются жесткие требования: Флешка обязательно должна быть отформатирована в **FAT32** (или реже FAT16). Современные файловые системы вроде NTFS, exFAT или APFS (Apple) осциллограф, скорее всего, просто **не увидит**. Рекомендуется использовать накопители небольшого объема (оптимально — **до 16 или 32 ГБ**).

ТАБЛИЦА 15 ПОДКЛЮЧЕНИЕ К ПК ОСЦИЛЛОГРАФОВ VERDO

Серия VERDO	SH 1400	ST 1200	SB 1400	SB1500		SB 1600	SB 1700	SB 1800
				15x1/3 /5	15x4/ 6			
Порты подключения к ПК								
RS232	-	-	опция	-	-	-	-	-
USB device	+	+	+	+	+	+	+	+
USB- хост	- (MCS)	+	+	+	+	+	+	+
LAN	-	+	+	+	+	+	+	+
Сохранение на ПК								
Настройки	-	+	+	+	+	+	+	+
Данные (csv)	+	+	+	+	+	+	+	+
Копия экрана	+	+	+	+	+	+	+	+
Покадровый самописец	-	+	+	-	-	+	-	+
Управление с ПК								
ПО	+	+	+	+	+	+	+	+
SCPI	+	+	+	+	+	+	+	+
WEB (NI-VISA+LAN)	-	-	-	+	+	-	+	-

Видеовыход	-	-	опция	HDMI	HDMI	VGA (опц)	HDMI	VGA
------------	---	---	-------	------	------	--------------	------	-----

Практические выводы при выборе осциллографа:

- Осциллограф нужно выбирать не «по самым большим цифрам», а под реальные задачи: ремонт, разработка электроники, силовая часть, цифровые шины, выездная диагностика.
- Универсальный вариант для большинства задач — цифровой запоминающий осциллограф. Для микроконтроллеров и шин лучше смотреть MSO, для редких сбоев важны высокая скорость захвата и продвинутые триггеры.
- Полоса пропускания должна быть с запасом. Если запаса нет, осциллограф покажет искаженную форму сигнала, особенно на быстрых фронтах.
- Частота дискретизации, длина памяти и число активных каналов связаны между собой. Важно смотреть, не падает ли реальная дискретизация при включении нескольких каналов.
- Длинная память нужна не «для красоты», а чтобы долго наблюдать сигнал с высокой детализацией и не терять короткие события.
- Триггер — одна из ключевых функций. Чем сложнее сигнал, тем важнее умение запускаться по импульсу, ранту, шине, таймауту, логическому условию и другим событиям.
- Разрядность АЦП сама по себе не гарантирует точность. Нужно учитывать шум, реальное эффективное число бит, качество входного тракта и режимы обработки.
- Пробники не менее важны, чем сам осциллограф. Неправильный щуп или несогласованный вход могут испортить измерение даже на хорошем приборе.
- Комбинированные приборы удобны: осциллограф с генератором, мультиметром, логическим анализатором или декодером шин экономит место и деньги, но часто уступает отдельным специализированным приборам.
- Подключение к ПК, экспорт данных, SCPI, LAN/USB и сохранение CSV/скриншотов важны, если осциллограф нужен не только «посмотреть сигнал», но и документировать, автоматизировать или анализировать измерения.