

Таймер/счетчик/анализаторы серий FCA3000 и FCA3100
Микроволновый счетчик/анализаторы серии MCA3000
Руководство по эксплуатации



077-0506-01

Таймер/счетчик/анализаторы серий FCA3000 и FCA3100
Микроволновый счетчик/анализаторы серии MCA3000
Руководство по эксплуатации

Copyright © Tektronix. Все права защищены. Лицензированные программные продукты являются собственностью компании Tektronix, ее филиалов или ее поставщиков и защищены национальным законодательством по авторскому праву и международными соглашениями.

Изделия корпорации Tektronix защищены патентами и патентными заявками в США и других странах. Приведенные в данном руководстве сведения заменяют любые ранее опубликованные. Права на изменение спецификаций и цен сохранены.

TEKTRONIX и ТЕК являются зарегистрированными товарными знаками Tektronix, Inc.

TimeView — торговая марка компании Pendulum AB.

Как связаться с корпорацией Tektronix

Tektronix, Inc.
14150 SW Karl Braun Drive
P.O. Box 500
Beaverton, OR 97077
USA

Сведения о продуктах, продажах, услугах и технической поддержке.

- В странах Северной Америки по телефону 1-800-833-9200.
- В других странах мира — см. сведения о контактах для соответствующих регионов на веб-узле www.tektronix.com.

Гарантия

Корпорация Tektronix гарантирует отсутствие в данном изделии дефектов в материалах и изготовлении в течение 3 (трех) лет со дня приобретения. Если в течение гарантийного срока в таком изделии будут обнаружены дефекты, корпорация Tektronix, по своему выбору, либо устранил неисправность в дефектном изделии без дополнительной оплаты за материалы и потраченное на ремонт рабочее время, либо произведет замену неисправного изделия на исправное. Компоненты, модули и заменяемые изделия, используемые корпорацией Tektronix для работ, выполняемых по гарантии, могут быть как новые, так и восстановленные с такими же эксплуатационными характеристиками, как у новых. Все замененные части, модули и изделия становятся собственностью корпорации Tektronix.

Для реализации права на обслуживание в соответствии с данной гарантией необходимо до истечения гарантийного срока уведомить корпорацию Tektronix об обнаружении дефекта и выполнить необходимые для проведения гарантийного обслуживания действия. Ответственность за упаковку и доставку неисправного изделия в центр гарантийного обслуживания корпорации Tektronix, а также предоплата транспортных услуг возлагается на владельца. Корпорация Tektronix оплачивает обратную доставку исправного изделия заказчику только в пределах страны, в которой расположен центр гарантийного обслуживания. Доставка исправного изделия по любому другому адресу должна быть оплачена владельцем изделия, включая все расходы по транспортировке, пошлины, налоги и любые другие расходы.

Данная гарантия не распространяется на случаи, когда дефект, отказ в работе или повреждение изделия вызваны неправильной эксплуатацией, хранением или обслуживанием изделия. Корпорация Tektronix не обязана по данному гарантийному обязательству: а) исправлять повреждения, вызванные действиями любых лиц (кроме инженеров Tektronix) по установке, ремонту или обслуживанию изделия; б) исправлять повреждения, вызванные неправильным использованием изделия или подключением его к несовместимому оборудованию; в) исправлять повреждения или неполадки, вызванные использованием материалов, не рекомендованных Tektronix, а также г) обслуживать изделие, подвергшееся модификации или интегрированное в иное оборудование таким образом, что эти действия увеличили время или сложность обслуживания изделия.

ДАННАЯ ГАРАНТИЯ ПРЕДОСТАВЛЯЕТСЯ ТЕКТРОНИХ НА ДАННОЕ ИЗДЕЛИЕ НА УСЛОВИЯХ ЗАМЕНЫ ЛЮБЫХ ДРУГИХ ГАРАНТИЙ, ДАННЫХ ЯВНО ИЛИ ПОДРАЗУМЕВАВШИХСЯ. КОРПОРАЦИЯ ТЕКТРОНИХ И ЕЕ ПОСТАВЩИКИ ОТКАЗЫВАЮТСЯ ОТ ЛЮБЫХ ДРУГИХ ПОДРАЗУМЕВАЕМЫХ ГАРАНТИЙ ТОВАРНОСТИ ИЛИ ПРИГОДНОСТИ ДЛЯ ДРУГИХ ЦЕЛЕЙ. ОТВЕТСТВЕННОСТЬ КОРПОРАЦИИ ТЕКТРОНИХ ПО ДАННОМУ ГАРАНТИЙНОМУ ОБЯЗАТЕЛЬСТВУ ОГРАНИЧИВАЕТСЯ ТОЛЬКО РЕМОНТОМ ИЛИ ЗАМЕНОЙ ДЕФЕКТНЫХ ИЗДЕЛИЙ ЗАКАЗЧИКАМ. КОРПОРАЦИЯ ТЕКТРОНИХ И ЕЕ ПОСТАВЩИКИ НЕ НЕСУТ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЗА КОСВЕННЫЙ, СПЕЦИФИЧЕСКИЙ ИЛИ КАКОЙ-ЛИБО ОПОСРЕДОВАННЫЙ УЩЕРБ ДАЖЕ В ТОМ СЛУЧАЕ, ЕСЛИ ПРЕДСТАВИТЕЛИ КОРПОРАЦИИ ТЕКТРОНИХ БЫЛИ ЗАРАНЕЕ УВЕДОМЛЕНЫ О ВОЗМОЖНОСТИ ТАКОГО УЩЕРБА.

[W4 – 15AUG04]

Оглавление

Общие правила техники безопасности	iii
Предисловие	vii
О данном руководстве	vii
Функции.....	vii
Мощные и универсальные функции	viii
Отсутствие ошибок	ix
Новое в конструкции прибора	ix
Дистанционное управление	x
Распаковка	1
Стандартные принадлежности	1
Идентификация	1
Установка	1
Ознакомление с прибором	3
Передняя панель	3
Входные разъемы.....	4
Задняя панель	5
Главный экран.....	6
Элементы управления	10
Ввод численных значений	15
Меню	15
Преобразование входного сигнала	23
Управление входным сигналом	23
Как уменьшить шум и помехи или пренебречь ими	28
Измерения частоты	33
Теория измерения	33
Входы А и В	39
Вход С	41
Отношение А/В, В/А, С/А, С/В	41
Вспышка А, В, С.....	41
Частотно-модулированные сигналы	45
Амплитудно-модулированные сигналы	48
Период.....	50
Частота	51
Измерения времени	53
Введение	53
Временной интервал	54
Время нарастания/спада А/В.....	54
Погрешность временного интервала (Time Interval Error, TIE) (только для приборов серии FCA3100).....	56

Оглавление

Ширина импульса A/B	56
Коэффициент заполнения A/B	57
Погрешности временных измерений	57
Измерения фазы	60
Разрешение	61
Возможные ошибки	61
Суммирование (только для приборов серии FCA3100).....	66
Измерения напряжения	71
V_{MAX} , V_{MIN} и V_{PP}	71
V_{RMS}	71
Измерения с математической и статистической обработкой	73
Усреднение	73
Математическая обработка	73
Статистика	75
Тестирование пределов	80
Подготовка синхронизации.....	83
Рекомендации	83
Подготовка пуска и останова	84
Входные сигналы подготовки синхронизации	86
Подготовка к синхронизации и период установки	87
Примеры подготовки синхронизации	88
Подготовка синхронизации и профилирование.....	95
Приложение А: Настройки прибора по умолчанию	99
Приложение В: Управление синхронизацией измерений	101
Процесс измерения.....	101
Предметный указатель	

Общие правила техники безопасности

Во избежание травм, а также повреждений данного изделия и подключаемого к нему оборудования необходимо соблюдать следующие правила техники безопасности.

Используйте изделие в строгом соответствии с инструкциями, чтобы исключить фактор риска.

Процедуры по обслуживанию устройства могут выполняться только квалифицированным персоналом.

Во время работы с прибором может потребоваться доступ к другим компонентам системы. Прочтите разделы по технике безопасности в руководствах по работе с другими компонентами и ознакомьтесь с мерами предосторожности и предупреждениями, связанными с эксплуатацией системы.

Пожарная безопасность и предотвращение травм

Используйте соответствующий кабель питания. Подключение к электросети должно выполняться только кабелем, разрешенным к использованию с данным изделием и сертифицированным для страны, в которой будет производиться его эксплуатация.

Соблюдайте правила подсоединения и отсоединения. Не подсоединяйте и не отсоединяйте пробники и провода, когда они подключены к источнику напряжения.

Используйте защитное заземление. Прибор заземляется через провод защитного заземления шнура питания. Во избежание поражения электрическим током соответствующий контакт кабеля питания должен быть заземлен. Проверьте наличие защитного заземления, прежде чем выполнять подсоединение к выходам и входам прибора.

Соблюдайте ограничения на параметры разъемов. Во избежание воспламенения или поражения электрическим током проверьте все допустимые номиналы и маркировку на приборе. Перед подсоединением прибора просмотрите дополнительные сведения по номинальным ограничениям, содержащиеся в руководстве к прибору.

Входы не предназначены для подключения к электросети и цепям категорий II, III или IV.

Не подавайте на разъемы, в том числе на разъем общего провода, напряжение, превышающее допустимое для данного прибора номинальное значение.

Отключение питания. Отсоедините шнур питания прибора от источника питания. Не следует перекрывать подход к шнуру питания; он должен всегда оставаться доступным для пользователя.

Не используйте прибор с открытым корпусом. Использование прибора со снятым кожухом или защитными панелями не допускается.

Не пользуйтесь неисправным прибором. Если имеется подозрение, что прибор поврежден, передайте его для осмотра специалисту по техническому обслуживанию.

Избегайте прикосновений к оголенным участкам проводки. Не прикасайтесь к неизолированным соединениям и компонентам, находящимся под напряжением.

Не пользуйтесь прибором в условиях повышенной влажности.

Не пользуйтесь прибором во взрывоопасных средах.

Не допускайте попадания влаги и загрязнений на поверхность прибора.

Обеспечьте надлежащую вентиляцию. Дополнительные сведения по обеспечению надлежащей вентиляции при установке изделия содержатся в руководстве.

Условные обозначения в данном руководстве

Ниже приводится список условных обозначений, используемых в данном руководстве.



ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ. Предупреждения о действиях и условиях, представляющих угрозу для жизни или способных нанести вред здоровью.



ОСТОРОЖНО. Предостережения о действиях и условиях, способных привести к повреждению данного прибора или другого оборудования.

Символы и условные обозначения в данном руководстве

Ниже приводится список возможных обозначений на изделии.

- Обозначение DANGER (Опасно!) указывает на непосредственную опасность получения травмы.
- Обозначение WARNING (Внимание!) указывает на возможность получения травмы при отсутствии непосредственной опасности.
- Обозначение CAUTION (Осторожно!) указывает на возможность повреждения данного изделия и другого имущества.

Ниже приводится список символов на изделии.



Предисловие

О данном руководстве

Настоящее руководство содержит информацию по эксплуатации таймера/счетчика/анализатора серий FCA3000 и FCA3100 и микроволнового счетчика/анализатора серии MCA3000.

С целью упрощения описания функции, являющиеся общими для всех типов приборов, не сопровождаются упоминанием о названиях этих приборов. Функции, являющиеся характерными только для определенного типа прибора или серии приборов, отмечаются особо.

Ссылки на приборы:

- **FCA3X00** — любой прибор серии FCA3000 или FCA3100
- **FCA3000** — любой прибор серии FCA3000 (FCA3000, FCA3003, FCA3020)
- **FCA3100** — любой прибор серии FCA3100 (FCA3100, FCA3103, FCA3120)
- **MCA3000** — любой прибор серии MCA3000 (MCA3027 или MCA3040)

Функции

- Широкий диапазон измеряемых частот — до 40 ГГц
- Самый быстродействующий микроволновый счетчик на рынке (время регистрации — 25 мс)
- Единственный в отрасли частотомер с графическим дисплеем
- Высокое, до 50 пс, разрешение одиночного импульса (по времени), что соответствует 12 разрядам/с (по частоте)
- Одновременное отображение частоты сигнала и параметров напряжения
- Чувствительность синхронизации — $15 \text{ мВ}_{\text{rms}}$ от 0 до 200 МГц
- Разрешение по напряжению — до 1 мВ
- Высокие скорости передачи информации по шине USB/GPIB — до 15 тыс. измерений в секунду (блочный режим)
- Нулевое мертвое время при измерении частоты/периода
- Наилучшие параметры временной развертки термостатированного кварцевого генератора (ОСХО) (стабильность $1,5 * 10^{-8}$ /год)

- Приборы серии MCA3000 обеспечивают проведение измерений параметров незатухающих гармонических волн и очень коротких всплесков — длительностью до 40 нс.
- Программируемый импульсный выход от 0,5 Гц до 50 МГц (серия FCA3100)
- Генератор опорного выходного сигнала с частотой 10 МГц
- Режимы статистики измерений, гистограмм и графика тренда
- Возможность подачи входного сигнала спереди и сзади

Мощные и универсальные функции

Уникальной функцией прибора являются широкие возможности подготовки синхронизации, позволяющие получать частотные и временные характеристики практически любого сложного сигнала.

Например, можно вводить задержку между условием внешней подготовки синхронизации и фактической подготовкой синхронизации прибора. Более подробно о подготовке синхронизации см. в главе 5 *Управление измерениями*.

Помимо традиционных функций измерения таймера/прибора эти приборы имеют много других функций, обеспечивающих измерение таких параметров, как фаза, коэффициент заполнения, время нарастания/спада и пиковое напряжение. Данный прибор способен обеспечить все функции измерения как на входе А, так и на входе В. Большинство функций измерения может быть подготовлено либо с помощью одного из главных входных сигналов, либо с помощью отдельного канала подготовки синхронизации (Е).

С помощью встроенных математических и статистических функций прибор способен производить обработку результатов проведенных измерений без необходимости привлечения внешнего контроллера или программы. Математические функции включают в себя инверсию, масштабирование и смещение. Статистические функции включают в себя определение минимума, максимума, среднего значения, стандартного отклонения и отклонения Аллана на выборках размером до $2 \cdot 10^9$.

Отсутствие ошибок

Очень скоро вы обнаружите, что для работы с прибором почти не требуется разъяснений благодаря его интуитивно понятному пользовательскому интерфейсу. Дерево меню с несколькими уровнями обеспечивает простоту управления таймером/прибором. Большой графический ЖК-дисплей с задней подсветкой является информационным центром и может отображать несколько параметров сигнала одновременно, а также состояние настройки и сообщения оператора.

Получаемая на измеряемых выборках статистика в дополнение к стандартному численному представлению результатов измерений, такому как минимальные, максимальные, средние значения и стандартное отклонение, может быть легко представлена в виде гистограмм или графических трендов.

Функция AUTO (АВТО) автоматически запускается на любой форме входного сигнала. Режим обучения шины позволяет упростить программирование GPIB. В этом режиме ручные настройки прибора могут передаваться контроллеру для использования при последующем перепрограммировании. У эпизодического пользователя шины нет никакой необходимости в изучении программы и синтаксиса для осуществления каждой отдельной настройки прибора.

Новое в конструкции прибора

Обеспечение длительной эксплуатации благодаря высокому уровню развития технологии

Настоящие счетчики рассчитаны на получение качественных результатов измерений в течение длительного периода времени. Их конструкция является в высшей степени интегральной. Цифровая счетная схема состоит всего лишь из одной разработанной по специальному заказу FPGA (программируемой пользователем вентильной матрицы) и 32-разрядного микроконтроллера. Высокий уровень интеграции и малое число компонентов обеспечивают снижение потребления энергии и среднее время безотказной работы 30 000 часов. Современная технология монтажа компонентов на поверхность платы гарантирует высокое качество изготовления. Существенную роль играет прочная механическая конструкция, включающая в себя металлический шкаф, выдерживающий механические удары и обеспечивающий защиту от электромагнитного излучения.

Высокое разрешение

Использование в настоящем приборе *реверсивного счета с интерполяцией* позволяет для всех частот получать прекрасное относительное разрешение 12 разрядов/с.

Измерение синхронизируется с циклами входного сигнала, а не с временной разверткой. Одновременно с нормальным «цифровым» счетом прибор осуществляет аналоговые измерения в промежутке времени между событиями «пуск/стоп» синхронизации и ближайшим последующим тактовым импульсом. Измерение выполняется посредством четырех идентичных схем путем зарядки интегрирующей емкости постоянным током, начиная от момента события синхронизации. Зарядка прекращается в момент прихода переднего фронта первого из последующих тактовых импульсов. Сохраненный в интегрирующей емкости заряд характеризует собой разницу во времени между событием синхронизации пуска и передним фронтом первого из последующих тактовых импульсов. Аналогичное накопление заряда производится для события синхронизации останова.

После того как «цифровая» часть измерения выполнена, сохраненные в конденсаторах заряды измеряются аналого-цифровыми преобразователями.

По завершении всех измерений — цифровых измерений времени и аналоговых интерполяционных измерений — прибор рассчитывает результат. В результате базовое цифровое разрешение, равное ± 1 тактовому импульсу (10 нс), уменьшается до 100 пс для приборов серии FCA3000 и до 50 пс для приборов серии FCA3100.

Поскольку измерение синхронизируется с входным сигналом, разрешение для измерений частоты является очень высоким и не зависит от величины частоты. Счетные устройства имеют 14-разрядную шкалу индикации, так что устройство индикации само по себе не ограничивает разрешения.

Дистанционное управление

Настоящий прибор программируется при помощи двух интерфейсов — GPIB и USB.

Интерфейс GPIB обеспечивает полную функциональность и соответствие самым последним введенным в практику стандартам: IEEE 488.2 1987 для оборудования и SCPI 1999 для ПО. Существует также второй режим GPIB, который имитирует набор команд Agilent 53131/132 для обеспечения простого обмена между приборами в операционных системах АТЕ.

Интерфейс USB предназначен главным образом для использования совместно с дополнительным ПО для анализа TimeView™. Для обмена данными используется патентованная версия протокола SCPI.

Быстрая шина GPIB

Настоящие счетные устройства являются не только чрезвычайно мощными и универсальными приборами — они также характеризуются и быстротой связи по шине. Скорость передачи данных по шине достигает 2 000 инициированных измерений в секунду. При измерении массивов с помещением данных в ОЗУ скорость может достигать 250 тыс. измерений в секунду.

Эта исключительно высокая скорость измерения делает возможным проведение новых измерений. К примеру, можно выполнять *анализ джиттера* на основе нескольких десятков тысяч измерений ширины импульса и осуществлять сбор этих данных в пределах секунды.

В руководстве программиста содержится подробное описание доступных команд программирования на базе SCPI.

Прибор легко использовать в рабочих средах с интерфейсами GPIB. Встроенный режим *обучения шины* позволяет вводить вручную все настройки прибора и передавать их контроллеру. В дальнейшем ответный сигнал может использоваться для перепрограммирования прибора с использованием тех же самых настроек. Это позволяет исключить необходимость нерегулярному пользователю изучать все в отдельности программные коды.

Полные (заданные вручную) настройки прибора могут быть также сохранены в 20 ячейках ОЗУ и легко быть оттуда извлечены. Десять ячеек ОЗУ могут быть защищены от постороннего доступа пользователем.

Распаковка

Проверьте комплектность содержимого упаковки и убедитесь в отсутствии повреждений вследствие транспортировки. Если комплектность оказалась неполной или оказалось повреждено содержимое, немедленно предъявите претензию транспортному предприятию. Также уведомите своего регионального представителя Tektronix в случае, если требуется ремонт или замена.

Стандартные принадлежности

См. Краткое руководство пользователя таймера/счетчика/анализатора серии FCA3000, FCA3100 и микроволнового счетчика/анализатора серии MCA3000 для получения списка стандартных комплектующих.

Идентификация

Идентифицирующая этикетка на задней панели прибора содержит информацию о модели, серийном номере и конфигурации прибора. (См. стр. 5, *Задняя панель*.) Для отображения информации о приборе на экране дисплея можно также нажать **User Opt > About** (Опции пользователя > Информация).

Установка

Напряжение источника питания

Прибор можно подключить к источнику питания переменного тока с номинальным напряжением 90–265 В_{rms}, 45–440 Гц. Прибор автоматически настраивается на входное напряжение сети.

Для приборов серии FCA3X00 или MCA3000 обслуживаемый пользователем плавкий предохранитель не предусмотрен.



ОСТОРОЖНО. Если предохранитель перегорел, значит, вероятнее всего, источник питания серьезно поврежден. **Не** следует менять предохранитель. Отправьте прибор в сервисный центр Tektronix. Снятие крышки для ремонта, техобслуживание и регулировка должны выполняться только квалифицированным, хорошо обученным персоналом, который прекрасно осведомлен о сопровождающих эти процедуры опасностях.

В случае несанкционированного доступа внутрь прибора до истечения гарантийного срока гарантийные обязательства теряют свою юридическую силу.

Заземление Ошибки заземления источника сетевого напряжения делают опасным подсоединение к нему любого прибора. Перед тем как подключать любое устройство к сети питания, необходимо убедиться в том, что защитное заземление функционирует нормально. Только после этого и только при помощи трехжильного сетевого шнура устройство может быть подключено к сети питания. Никакой другой метод заземления не допускается. Удлинительные шнуры должны всегда иметь проводник заземления.



ОСТОРОЖНО. При внесении устройства с холода в теплое рабочее помещение образующийся на нем конденсат может стать причиной удара электрическим током. Перед использованием дайте постоять прибору несколько часов, пока конденсат с него не испарится. Проследите, чтобы требования к заземлению прибора были неукоснительно выполнены.

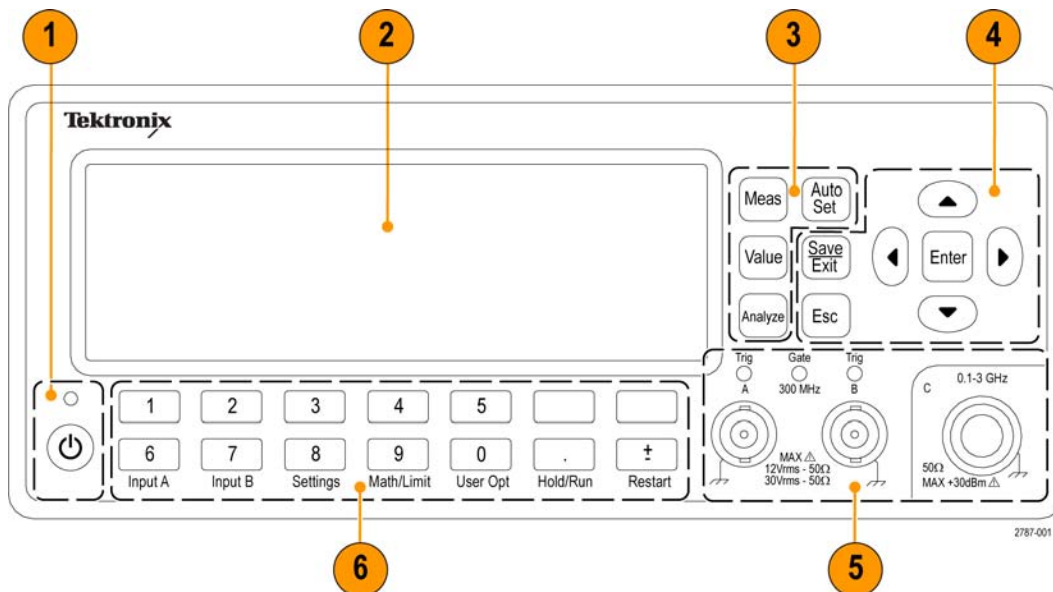


ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ. Никогда не разрывайте цепь шнура заземления. Любой разрыв цепи защитного заземления внутри или снаружи прибора или отсоединение клеммы защитного заземления могут стать причиной удара электрическим током.

Ориентация и охлаждение Прибор можно использовать в любом положении. Не создавайте препятствий для потока воздуха через вентиляционные отверстия в боковых панелях: оставьте свободный зазор шириной 5 см по бокам и сзади прибора. Прибор также оборудован складными ножками для использования в настольном варианте.

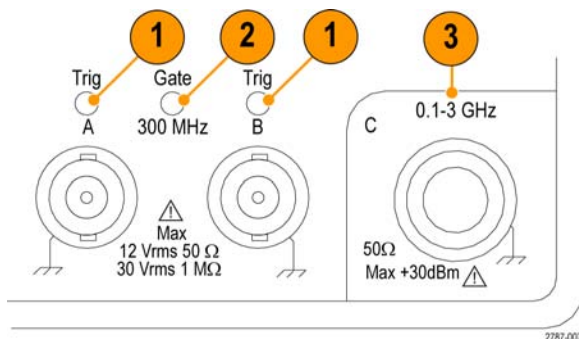
Ознакомление с прибором

Передняя панель



1. Кнопка питания (См. стр. 10, *Кнопка Power (Питание)*.)
2. Главный экран (См. стр. 6, *Главный экран*.)
3. Кнопки измерений (См. стр. 10, *Кнопка Meas (Измерения)*.)
4. Кнопки навигации (См. стр. 12, *Кнопка Save/Exit (Сохранить/Выход)*.)
5. Входные разъемы (См. стр. 4, *Входные разъемы*.)
6. Кнопки клавиатуры (См. стр. 12, *Кнопки клавиатуры*.)

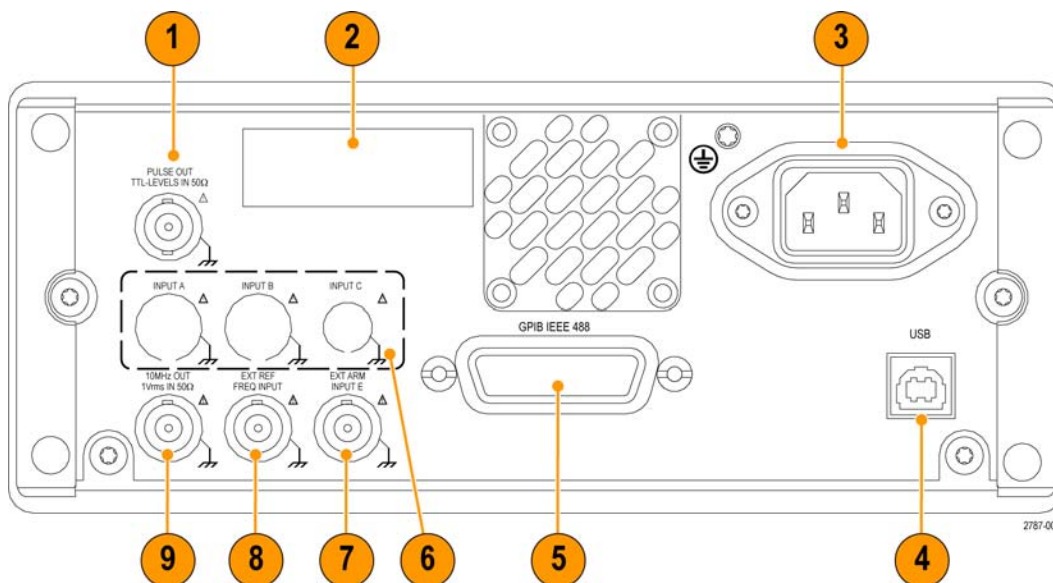
Входные разъемы



1. Входы А и В и индикаторы синхронизации. Мигание светодиодного индикатора синхронизации сигнализирует о правильной синхронизации.
2. Индикатор стробирующего импульса. Индикатор GATE (Стробирующий импульс) горит, когда счетчик занят подсчетом циклов входного сигнала.
3. Предварительный делитель входного сигнала С (3 или 20 ГГц, серии FCA3000 и FCA3100) или понижающий преобразователь (27 или 40 ГГц, серия MCA3000) для измерения более высоких частот.

ПРИМЕЧАНИЕ. Заводская опция RP для приборов серий FCA3000 и FCA3100 переносит входные разъемы с передней панели на заднюю. Светодиодные индикаторы Gate (Стробирующий импульс) и Trig A/B (Синхронизация A/B) остаются на передней панели. Опция RP недоступна на приборах серии MCA3000.

Задняя панель

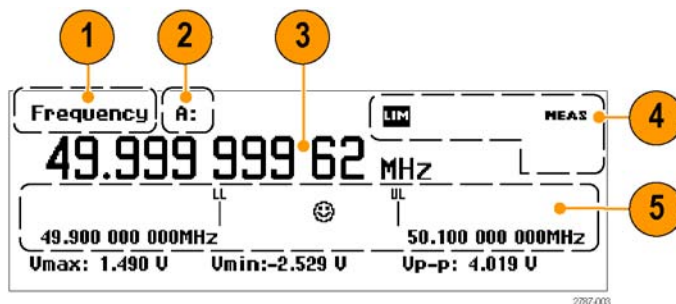


1. Разъем импульсного выходного сигнала (только серия FCA3100)
2. Идентификационная маркировка, содержащая информацию о модели, серийном номере и номерах установленных опций.
3. Разъем сети питания.
4. Порт USB 2.0 12 Мбит/с для подключения к ПК.
5. Порт GPIB для подключения к контроллеру.
6. Дополнительные разъемы для входных сигналов на задней панели. Заводская опция RP переносит входные разъемы с передней панели на заднюю. Недоступна для приборов серии MCA3000.
7. Разъем входного сигнала внешней подготовки (для внешней подготовки (синхронизации) измерений). Для подготовки измерений можно также выбрать входы Input A (Вход А) и Input B (Вход В) из Settings Menu (Меню настроек).
8. Разъем внешнего опорного входного сигнала. Если для Measurement Reference (Опорный сигнал для измерений) задано значение Auto (Авто) в Settings Menu (Меню настроек), этот вход выбирается автоматически при условии, что присутствует полезный сигнал.
9. Выходной разъем 10 МГц. Обеспечивает вывод опорного сигнала, извлекаемого из активного опорного сигнала для измерений (внутренний или внешний опорный сигнал). Источник опорного сигнала для измерений задается в Settings Menu (Меню настроек).

Главный экран

Для отображения источников сигнала, измерений с помощью прибора (численных и графических) и пунктов меню в приборе используется монохромный ЖК-дисплей. Тип отображаемых элементов определяется режимом, в котором находится дисплей.

Режим измерения численных значений



Нажмите кнопку Value (Значение), чтобы на экран производился числовой вывод текущего измерения.

1. Текущее измерение.
2. Источник измеряемого сигнала. Если основная выводимая информация представляет собой результат статистического измерения, этот текст также отражает тип статистического измерения (например, A MEAN:)
3. Вывод основной измеряемой информации. В нижней части экрана выводится информация об электрических параметрах сигнала источника. Тип показаний или отображения зависит от режима измерения или анализа.
4. Статус измерения. Отображает режим математической обработки или режим тестирования пределов (MATH или LIM), статус «измерение/задержка/единичное измерение» (MEAS, HOLD, SING) и статус дистанционного управления GPIB (REM). Статус измерения присутствует во всех режимах отображения.

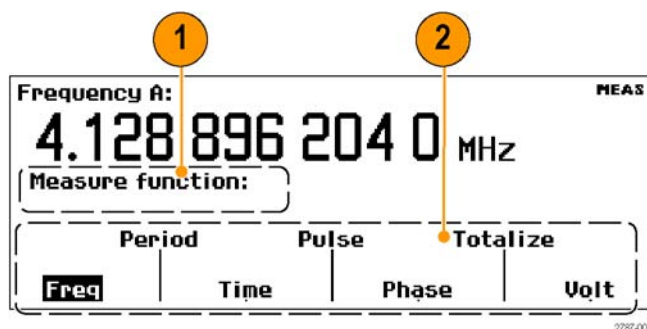
ПРИМЕЧАНИЕ. Как правило, экран отображает активное измерение, когда управление прибором осуществляется дистанционно. Однако для ускорения измерений TimeView отключает экран: на экране отображается сообщение *Display OFF* (Экран выключен), статус измерения — REM (Дистанционное), и все кнопки передней панели, кроме кнопки Esc, отключаются. Нажмите кнопку Esc, чтобы отправить сообщение *Return To Local* (Вернуться к локальному управлению) на устройство дистанционного управления и вернуть прибор в режим локального управления.

Нельзя использовать клавишу Esc для возврата прибора в режим локального управления, если при удаленном подключении была запрограммирована функция *Local Lockout* (Блокировать локальное управление).

- Индикатор сигнала достижения предельного значения (если включен). Настройки нижнего (LL) и верхнего (UL) пределов отображаются в виде вертикальных полос с указанием соответствующих предельных значений. Смайлик отражает сравнительное измеренное значение и состояние «пройден/сбой» относительно предельного значения (улыбающееся лицо — когда измерение осуществляется в заданных пределах, и нахмуренное — когда измерение осуществляется вне этих пределов). Текст LIM (предел) в верхней части экрана, характеризующий состояние измерения относительно предельных значений, мигает, когда измерение выходит за установленные пределы, и продолжает мигать даже после его возвращения в эти пределы. Нажатием кнопки Restart (Перезапустить) производится сброс состояния LIM.

Режим меню

Нажатием на кнопку меню (например, на кнопку Meas (Измерения) или любую другую из кнопок расположенной ниже клавиатуры) в нижней области экрана вызываются пункты меню для данной кнопки.

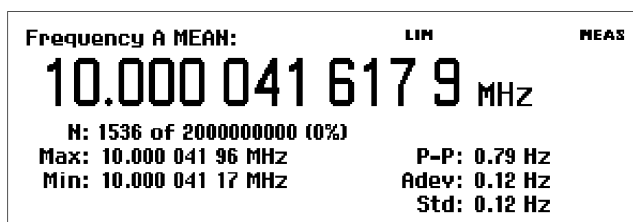


- Путь по меню отображает текущие выбранные пункты меню.
- Меню отображает доступные пункты меню. Нажмите кнопку клавиатуры непосредственно под пунктом меню, чтобы выбрать этот пункт и/или открыть меню более низкого уровня. Текущий выбор отображается инверсным текстом. Для выделения и выбора пунктов меню можно также использовать кнопки с навигационными стрелками.

Режимы анализа

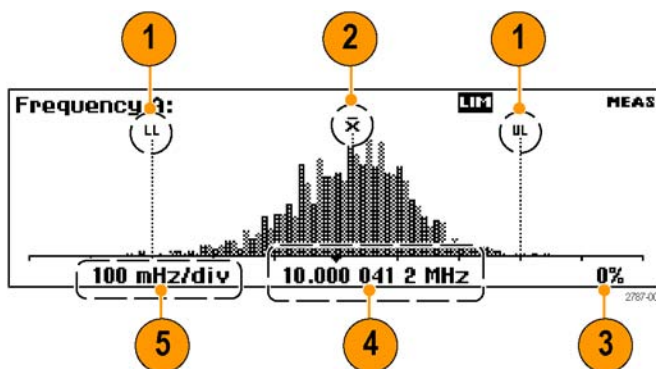
Режимы анализа (доступ к ним осуществляется нажатием кнопки Analyze (Анализ)) используют базовый статистический анализ для отображения измеренных значений в числовом виде, в виде гистограмм или графических трендов.

Цифровой дисплей. Прибор осуществляет последовательные измерения и отображает результаты в виде числовых статистических показаний.



- MEAN: главное измеренное значение, представляет собой текущее среднее значение по N-выборкам
- N: число выборок измерения (задается в разделе меню Settings > Stat (Настройки > Статистика))
- Max, Min: максимальное и минимальное измеренные значения
- P-P: наибольшая разность показаний прибора
- Adev: отклонение Аллана
- Std: стандартное отклонение

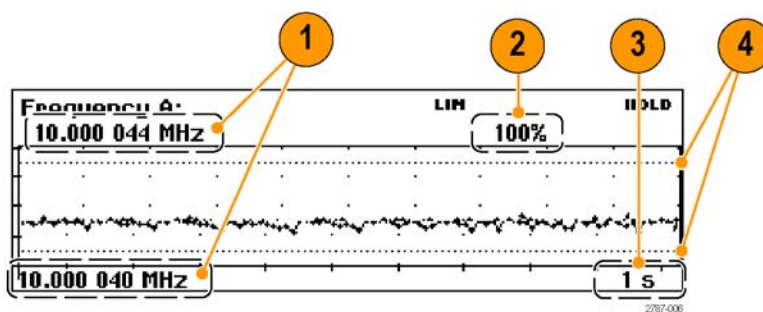
Показ гистограммы. Прибор отображает последовательные измерения в виде гистограммы. Число столбцов вдоль горизонтальной оси задается в разделе меню Settings > Stat (Настройки > Статистика).



1. Верхний и нижний уровни срабатывания сигнала достижения предельного значения (если включены). Если тестирование предельных значений включено, прибор автоматически выбирает масштаб графика для отображения как гистограммы, так и этих значений. Прибор для выбора масштаба использует только те данные, которые находятся внутри этих пределов; измерения вне видимой области графика отображаются при помощи стрелок в левой или правой части дисплея.
2. Положение текущего среднего значения измерения (\bar{X}).
3. Процент выполнения текущего измерения.

4. Центр графика (отмечен темным треугольником) и соответствующая ему частота.
5. Цена деления графика по горизонтальной оси. Сигнал достижения предельного значения (если включен) задает масштаб, позволяющий отображать текущие измерения и предельные уставки. Прибор непрерывно автоматически корректирует масштаб столбцов гистограммы на базе измеряемых данных.

Изображение графика тренда. Прибор выполняет последовательность измерений и представляет во времени измеренные значения в виде графика. Этот режим полезен для наблюдения за флуктуациями или тенденциями отклонения измеряемых величин. По достижении заданного числа выборок график тренда фиксируется (если выбран режим HOLD (Задержка)) или перезапускается (если выбран режим RUN (Пуск)). Масштаб графика тренда на основе измеренных данных непрерывно корректируется, и при перезапуске график начинается с нуля. Уровни сигнала достижения предельных значений, если он включен, изображаются горизонтальными линиями.



1. Верхний и нижний частотные диапазоны изображаемого графика. Масштаб графика тренда автоматически и непрерывно корректируется на основе измеряемых данных, позволяя отображать значения измеряемого тренда.
2. Процент выполнения текущего измерения.
3. Цена деления по горизонтали.
4. Уровни срабатывания сигнала достижения предельного значения (если включен). Если тестирование предела включено, прибор устанавливает масштаб графика, позволяющий отображать как график тренда измерения, так и предельные значения (горизонтальные пунктирные линии).

Элементы управления

Кнопка Power (Питание)

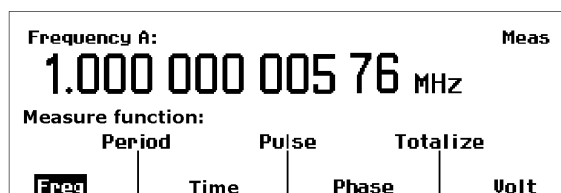


Нажимайте кнопку **Power** (Питание) для включения и выключения прибора. Кнопка Power (Питание) является вспомогательной. На некоторые приборы питание подается, как только они подключаются к сети питания, о чем предупреждает красный светодиодный индикатор, находящийся над кнопкой. Для полного отключения прибора от сети питания необходимо отсоединить от нее шнур питания.

Кнопка Meas (Измерения)



При помощи кнопки **Meas** (Измерения) вдоль нижней части экрана отображается меню измерений, выполняемых прибором. Нажмите кнопку меню непосредственно под пунктом меню, чтобы его выбрать и открыть необходимое подменю.



Типичные измерения включают в себя частоту, период, время, импульс, фазу, суммирование (только для приборов серии FCA3100) и напряжение в вольтах. Содержимое меню измерений зависит от модели прибора и его конфигурации.

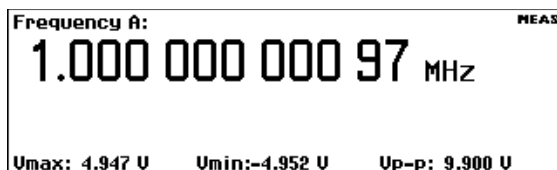
Текущий выбор обозначается инверсией текста (таким же образом указывается положение курсора). Выбор требуемой функции измерения производится нажатием соответствующей экранной клавиши меню под пунктом меню.

Для перемещения курсора и выбора других пунктов меню можно также использовать кнопки со стрелками **Left** (Влево) и **Right** (Вправо). Подтверждение выбора производится нажатием кнопки **Enter** (Ввод).

Кнопка Value (Значение)



Кнопка **Value** (Значение) используется для отображения текущего измерения в числовом виде. Вдоль нижней части экрана прибор также выводит дополнительные измеряемые значения.



Кнопка Analyze (Анализ)

Кнопка **Analyze** (Анализ) используется для отображения текущего измерения в одном из трех режимов вывода результатов статистического анализа. Для перехода из одного режима вывода статистических данных в другой последовательно нажимайте кнопку Analyze (Анализ). (См. стр. 7, *Режимы анализа.*)

Кнопка Auto Set (Автоустановка)

Кнопка **Auto Set** (Автоустановка) используется для автоматической установки уровней синхронизации для функции измерения и амплитуды входного сигнала (для относительно нормальных сигналов). Это позволяет быстро настроить прибор для вывода результатов измерения.

При однократном нажатии кнопки Auto Set (Автоустановка):

- автоматически устанавливаются уровни синхронизации;
- аттенюаторы устанавливаются на 1x;
- включается дисплей;
- параметру Auto Trig Low Freq (Низкочастотная автосинхронизация) задается одно из следующих значений:
 - 100 Гц, если $f_{in} \geq 100$ Гц;
 - f_{in} , если $10 < f_{in} < 100$ Гц
 - 10 Гц, если $f_{in} \leq 10$ Гц.

При двукратном нажатии кнопки Auto Set (Автоустановка) в пределах двух секунд происходит более широкая предустановка **Preset** (Предустановка). В дополнение к установкам, выполняемым при однократном нажатии кнопки Auto Set (Автоустановка), выполняются также следующие установки:

- параметру **Meas Time** (Время измерения) задается значение **200 мс**;
- выключается функция **Hold-Off** (Задержка);
- параметру **Hold/Run** (Задержка/Пуск) задается значение **Run** (Пуск);
- выключается функция **Math/Limit** (Математические функции/Предел);
- выключаются **Analog** (Аналоговые фильтры) и **Digital Filters** (Цифровые фильтры);
- параметру **Timebase Ref** (Опорный синхроимпульс) устанавливается значение **Auto** (Авто);
- выключается функция **Arming** (Подготовка синхронизации).

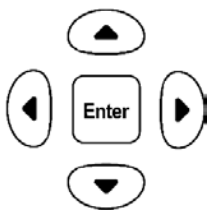
Еще более широкий набор предустанавливаемых функций может быть задан, если вызвать заводские стандартные настройки.

**Кнопка Save/Exit
(Сохранить/Выход)**

Кнопка **Save/Exit** (Сохранить/Выход) используется для подтверждения текущего выбора и выхода на уровень предыдущего меню.

Кнопка Esc

Кнопка **Esc** используется для выхода на уровень предыдущего меню без подтверждения текущего выбора.

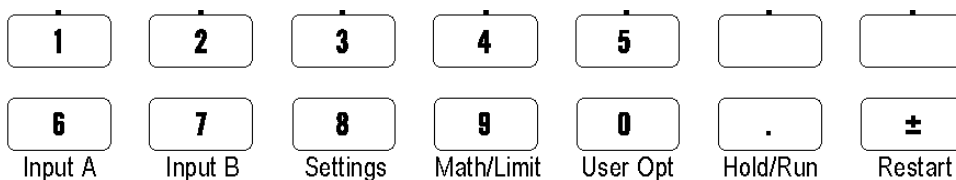
**Кнопки со стрелками и
кнопка Enter (Ввод)**

Кнопки со **стрелками** и кнопка **Enter** (Ввод) позволяют выполнять множество функций в зависимости от того, в каком режиме работает прибор.

- **Режим меню:** используйте кнопки со стрелкой влево, стрелкой вправо и Enter (Ввод) для отображения и выбора пунктов меню.
- **Режим числового ввода:** используйте кнопку со стрелкой влево для удаления самой правой цифры в поле ввода. Используйте кнопки со стрелками вверх и вниз для пошагового увеличения или уменьшения численного значения в поле ввода (по схеме 1-2-5).
- Кнопку **Enter** (Ввод) используйте для подтверждения отображаемого значения или выбранного пункта меню.
- **Контрастность ЖК-дисплея:** используйте кнопки со стрелками вверх и вниз для настройки контрастности ЖК-дисплея, когда на приборе не отображается меню и нет приглашения для ввода.

Кнопки клавиатуры

Кнопки клавиатуры используются для выбора пунктов меню, открытия меню конфигурации прибора и ввода значений параметров.



Цифровые кнопки (0–9, . и ±) предназначены для ввода численных значений параметров в полях параметров.

Функциональные кнопки меню (кнопки 1–5 и две пустые кнопки в верхнем ряду) предназначены для выбора соответствующих пунктов экранного меню.

Кнопки **Меню** (от кнопки Input A (Вход А) до кнопки User Opt (Опции пользователя) в нижнем ряду клавиатуры) предназначены для отображения меню, соответствующего каждой конкретной кнопке.

Input A, Input B (Вход А, Вход В). Кнопки **Input A** (Вход А) и **Input B** (Вход В) предназначены для отображения и настройки параметров выбранного входного канала. Меню Input A (Вход А) и Input B (Вход В) позволяет выполнить настройки, относящиеся к конкретным каналам, включая крутизну фронта сигнала, тип входа сигнала (переменный или постоянный ток), входной импеданс (50 Ом или 1 МОм), входной коэффициент ослабления (1x или 10x), режим синхронизации (ручной или автоматический), уровень синхронизации (в режиме ручной синхронизации) и фильтр (частота среза). Меню Input A и B (Входы А и В) идентичны друг другу.

Для установки определенного уровня синхронизации выберите режим синхронизации **Manual** (Ручной), выберите пункт меню **Trig** (Синхронизация) и при помощи кнопок с навигационными стрелками путем увеличения/уменьшения значения установите требуемый уровень. Для этого можно также использовать цифровые кнопки. Ввод заданного значения осуществляется нажатием кнопки **Enter** (Ввод).

Меню Filter Settings (Параметры фильтра) позволяет выбрать фиксированный аналоговый фильтр с частотой 100 кГц или настраиваемый цифровой фильтр. Эквивалентная частота среза устанавливается при помощи меню для ввода значений, которое открывается, если выбрать в меню пункт Digital LP Frequency (Цифровая частота LP).

ПРИМЕЧАНИЕ. При измерении времени нарастания или времени спада всегда используйте для установки уровня синхронизации режим Auto (Авто).

Settings (Настройки). Нажмите кнопку **Settings** (Настройки), чтобы отобразить меню настройки измерений. Меню Settings (Настройки) содержит параметры настройки измерений Measure Time (Время измерения) (для измерения частоты), Burst (Вспышка) (для импульсно-модулированных сигналов), Arming (Подготовка синхронизации) (условный пуск/останов измерения), Trigger Holdoff (Удержание синхронизации) (прекращение задержки синхронизации), Statistics (Статистика) (настройка статистических измерений), Time base Reference (Опорный синхросигнал) (внутренний или внешний) и Miscellaneous (Прочее) (например, настройка времени ожидания входного сигнала и автоматической низкочастотной синхронизации).

Math/Limit (Математические функции/Предел). Кнопка **Math/Limit** (Математические функции/Предел) предназначена для отображения меню конфигурации математической обработки и тестирования пределов. Меню Math (Математические функции) содержит предварительно определенные формулы и пользовательские константы для математической обработки результатов измерения. Типичным вариантом использования математической обработки является преобразование измерения к виду, позволяющему учесть влияние микшера или множителя на исследуемый сигнал.

Меню Limits (Пределы) позволяет устанавливать численные пределы и выбирать способ оповещения прибором о нарушении этих пределов.

User Opt (Опции пользователя). Кнопка **User Opt** (Опции пользователя) предназначена для отображения меню конфигурации опций пользователя. Меню User Options (Опции пользователя) содержит параметры настройки прибора, включающие в себя сохранение или вызов настроек прибора (до двадцати в энергонезависимом ЗУ с уникальной меткой каждая), выбор интерфейса шины (USB или GPIB), конфигурацию шины GPIB (тип, адрес), автоматическую самодиагностику прибора, условную настройку выходного сигнала (только для приборов серии FCA3100) и информацию о конфигурации прибора (модель, серийный номер, прошивка и конфигурация).

В меню User Options (Опции пользователя) также предоставляется функция калибровки прибора. Данный процесс внутренней калибровки требует ввода пароля. См. Справочное руководство по техническим характеристикам таймера/счетчика/анализатора серии FCA3000, FCA3100 и микроволнового счетчика/анализатора серии MCA3000 для получения инструкций по выполнению внутренней калибровки прибора.

Hold/Run (Задержка/Пуск). Кнопка **Hold/Run** (Задержка/Пуск) используется для управления процессом измерения. Нажимайте кнопку для переключения между режимами пуска (непрерывное измерение) и задержки (пауза в проведении измерения). Когда прибор находится в режиме задержки измерения, индикатор измерения в верхнем правом углу экрана меняется с MEAS (Измерение) на HOLD (Задержка). Еще раз нажмите кнопку Hold/Run (Задержка/Пуск), чтобы возобновить работу в нормальном (непрерывном) режиме измерения.

Чтобы выполнить единичное измерение, переведите прибор в режим Hold (Задержка), затем нажмите кнопку Restart (Перезапуск). Когда прибор находится в режиме единичного измерения, индикатор измерения в верхнем правом углу экрана меняется с HOLD (Задержка) на SING (Единичное измерение).

Restart (Перезапуск). Кнопка **Restart** (Перезапуск) предназначена для сброса результатов измерения и запуска нового измерения. Это полезно, когда при изменении входного сигнала нужно запустить новое измерение, особенно

если замеры являются длительными по времени. Когда прибор находится в режиме Hold (Задержка), используйте эту кнопку для проведения единичных измерений.

Перезапуск не влияет ни на какие настройки прибора.

Ввод численных значений

Иногда возникает необходимость ввода констант и предельных значений в поле меню. Вам также может понадобиться ввести значение, отсутствующее в списке фиксированных значений, выбираемых при помощи кнопок со стрелками **Вверх/Вниз**, или значение, которое находится слишком далеко, чтобы его было удобно установить путем пошагового увеличения или уменьшения исходного значения.

Для ввода численных значений используйте цифровые кнопки (**0–9**, **.** (десятичная точка) и **±** (смена знака)).

Значения можно также вводить, используя экспоненциальный формат. Функциональная клавиша **EE** (Ввести экспоненту) позволяет переключаться между вводом мантиссы и показателя степени.

Для сохранения нового значения нажмите кнопку **Save|Exit** (Сохранить|Выход), а для выхода из этого меню без сохранения значения нажмите кнопку **Esc** (сохраняется текущее значение).

Меню

Меню Input A, Input B (Вход А, Вход В)

Меню Input A, Input B (Вход А, Вход В) содержит параметры настройки для настройки каждого из каналов. Содержимое этих меню является идентичным.

Таблица 1: Меню Input A, Input B (Вход А, Вход В)

Пункт	Описание
Slope (Крутизна)	Синхронизация по нарастающему или ниспадающему фронту сигнала.
Signal coupling (Тип входа сигнала)	Переменный или постоянный ток.
Input impedance (Входное сопротивление)	1 МОм или 50 Ом.

Таблица 1: Меню Input A, Input B (Вход А, Вход В) (прод.)

Пункт	Описание
Input signal attenuation (Ослабление входного сигнала)	1x или 10x.
Trigger Mode (Режим синхронизации)	Устанавливает режим уровня синхронизации сигнала (Auto (Авто) или Man (Ручной)). Находясь в режиме синхронизации Auto (Авто), используйте пункт меню Trig (Синхронизация) для установки уровня синхронизации вручную в процентах от величины амплитуды. Находясь в режиме синхронизации Man (Ручной), используйте пункт меню Trig (Синхронизация) для ввода значения уровня синхронизации. <i>ПРИМЕЧАНИЕ. При измерении времени нарастания или времени спада всегда используйте режим Auto (Авто).</i>
Trig (Синхронизация)	Устанавливает уровень синхронизации сигнала. Отображаемое значение представляет собой текущий уровень синхронизации.
Filter (Фильтр)	Устанавливает фиксированный, равный 100 кГц аналоговый или регулируемый цифровой отсекающий фильтр. Для задания определенной частоты используйте меню Digital LP Frequency (Цифровая частота LP).

Меню Settings (Настройки)

Используйте меню Settings (Настройки) для настройки параметров измерения.

Таблица 2: Меню Settings (Настройки)

Пункт	Описание
Meas Time (Время измерения)	Задаёт длительность измерения. Это меню доступно для измерений частоты. Более длительное время измерения означает меньшее количество измерений в секунду и даёт более высокое разрешение.
Burst (Вспышка)	Задаёт параметры, относящиеся к измерениям импульсно-модулированного сигнала (вспышки). Меню настроек Burst (Вспышка) доступно, если выбрано измерение Meas > Freq > Freq Burst (Измерение > Частота > Частота вспышки). Как несущая, так и модулирующая (частота следования импульсов — pulse repetition frequency, PRF) частоты могут быть измерены, зачастую — без поддержки внешнего сигнала подготовки синхронизации.

Таблица 2: Меню Settings (Настройки) (прод.)

Пункт	Описание
Arm (Подготовка)	<p>Задаёт параметры начала и конца измерения. Подготовка синхронизации — общий термин, используемый для средств управления фактическим временем начала и конца измерения. Нормальный автономный режим работы подавляется, и синхронизация происходит при обнаружении предусмотренных предшествующих ей условий.</p> <p>Сигнал или сигналы, используемые для инициирования подготовки синхронизации, могут подаваться по трем каналам (А, В или Е), и пусковой канал может отличаться от канала останова. Все условия могут задаваться посредством этого меню.</p>
Trigger Hold Off (Удержание синхронизации)	<p>Задаёт задержку, в течение которой после запуска измерения игнорируются условия прекращения синхронизации. Как правило, используется для обхода сигналов, генерируемых отскакивающими контактами реле.</p>
Stat (Статистика)	<p>Задаёт параметры статистического измерения:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Число выборок, используемых для расчета различных статистических оценок. ■ Число столбцов на представлении гистограммы. ■ Задаёт включение и выключение разбивки по времени (задержки между измерениями) и устанавливает время задержки в диапазоне от 2 мкс до 500 с.
Timebase (Временная развертка)	<p>Задаёт опорный синхросигнал Internal (Внутренний) или External (Внешний) для измерений. Третьим возможным вариантом является Auto (Авто). Тогда, если на контрольном входе присутствует полезный сигнал, выбирается внешний опорный синхросигнал. Индикатор <i>EXT REF</i> (Внешний опорный сигнал) в верхнем правом углу экрана сообщает о том, что прибор использует внешний опорный синхросигнал.</p>

Таблица 2: Меню Settings (Настройки) (прод.)

Пункт	Описание
Misc (Прочее)	<p>Задаёт различные параметры измерения:</p> <p>Функция Interpolator Calibration (Калибровка интерполятора) включает или выключает калибровку интерполятора прибора, увеличивающего скорость измерения за счёт точности измерения.</p> <p>Smart Measure (Разумные параметры) устанавливает:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Параметр Smart Time Interval (Разумный временной интервал) (для измерения интервалов времени), использующий отметки времени для определения того, какой измерительный канал какому предшествует. ■ Параметр Smart Frequency (Разумная частота) (для измерений Frequency (Частота) или Period Average (Усредненный период)), использующий непрерывную маркировку времени и регрессионный анализ с целью увеличения разрешения при измерении временных интервалов длительностью от 0,2 до 100 с. <p>Timeout (Время ожидания) включает или выключает функцию времени ожидания и задаёт максимальное время, в течение которого прибор должен ожидать, прежде чем завершить «повисшее» измерение и вывести нулевой результат. Этот временной диапазон находится в пределах от 10 мс до 1000 с.</p> <p>Auto Trig Low Freq (Низкочастотная автосинхронизация) устанавливает низкочастотный предел для автоматической синхронизации и измерений напряжения в диапазоне от 1 Гц до 100 кГц. Более высокий предел задаёт более короткое время установления сигнала и более быстрые измерения.</p> <p>Input C Acq (Регистрация на входе C) (только для приборов серии MCA3000) устанавливает:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ функцию Acquisition (Регистрация) в режим Auto (Авто) (сканирует на наличие полезных входных сигналов весь заданный диапазон частот) или Manual (Ручной) (сканирует на наличие полезных входных сигналов узкий диапазон частот вблизи заданной средней частоты). Ручной режим следует использовать при измерении параметров сигналов вспышки; он также рекомендуется при регистрации частотно-модулированных сигналов, когда примерно известна частота. Дополнительной особенностью ручного режима является то, что результаты измерения появляются намного быстрее, поскольку процесс регистрации не обрабатывается. <p>Следует отметить, что частоты сигналов вне диапазона полосы измерения могут приводить к получению неверных результатов. Чтобы привлечь внимание оператора к возможности возникновения подобной ситуации, в верхнем правом углу экрана прибора появляется индикатор M.ACQ (Ручная регистрация).</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Значение Freq C Center (Средняя частота на входе C).

Таблица 2: Меню Settings (Настройки) (прод.)

Пункт	Описание
	TIE (Time Interval Error) (погрешность временного интервала) (только для приборов серии FCA3100) устанавливает прибор в режим автоматического выбора опорной частоты (Auto (Авто)) или ручного ввода частоты (Manual (Ручной)). При измерении TIE используется непрерывная маркировка времени с целью наблюдения медленных фазовых смещений (дрейфа) в номинально устойчивых сигналах в течение длительных периодов времени.

Меню Math/Limit (Математические функции/Предел)

Меню Math/Limit (Математические функции/Предел) обеспечивает применение соответствующих параметров для проведения математических расчетов измеряемых величин и запуск прибора для тестирования предела.

Таблица 3: Подменю Math (Математические функции)

Пункт	Описание
Math (Математические функции)	Это меню предназначено для выбора одной из пяти формул для соотнесения с результатом измерения; при необходимости отключения математической функции выберите Off (Выкл.). Имеющиеся в распоряжении формулы: $K * X + L$ $K / X + L$ $(K * X + L) / M$ $(K / X + L) / M$ $X / M - 1$ K, L и M — константы, которым можно задавать любое значение. X представляет собой текущий невидоизмененный результат измерения.
K, L, M	Используемые в формулах константы, которым можно задавать любые значения.

Подменю Limit (Предел) позволяет задавать условия тестирования предела и определять действия в случае нарушения предела. (См. стр. 80, *Тестирование пределов.*)

Таблица 4: Подменю Limit (Предел)

Пункт	Описание
Limit Behavior (Действие при нарушении предела)	Устанавливает действие, которое должен выполнить прибор в случае нарушения предела, или отключает режим тестирования предела.
Limit Mode (Режим тестирования предела)	Устанавливает тип тестируемого предела (Upper (Верхний), Lower (Нижний) или Range (Диапазон)).

Таблица 4: Подменю Limit (Предел) (прод.)

Пункт	Описание
Lower Limit (Нижний предел)	Устанавливает значение для нижнего предела.
Upper Limit (Верхний предел)	Устанавливает значение для верхнего предела.

Меню User Opt (Опции пользователя)

Меню User Opt (Опции пользователя) позволяет устанавливать общие параметры прибора.

Таблица 5: Меню User Opt (Опции пользователя)

Пункт	Описание
Save/Recall (Сохранить/ Загрузить)	<p>Сохраните или загрузите до двадцати настроек конфигурации прибора или до восьми наборов данных измерений в энергонезависимом ЗУ.</p> <p>Пункты подменю:</p> <p>Setup (Настройка):</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Save Current Setup (Сохранить текущую настройку): Сохраняет текущую конфигурацию прибора в заданной области памяти. ■ Recall Setup (Загрузить настройку): Загружает текущую конфигурацию прибора из выбранной области памяти прибора. Использует настройку Default (По умолчанию) для загрузки в прибор стандартной заводской настройки. ■ Modify Labels (Изменить метки): Редактирует метку длиной из семи символов, связанную с соответствующей областью памяти. Уникальные метки напоминают о цели настройки. ■ Setup Protect (Защита настройки): Доступ к первым десяти позициям памяти запрещен, когда параметру Setup Protect (Защита настройки) присвоено значение ON (ВКЛ). Переключение Setup Protect (Защита настройки) в положение OFF (ВЫКЛ) открывает доступ ко всем десяти позициям одновременно.

Таблица 5: Меню User Opt (Опции пользователя) (прод.)

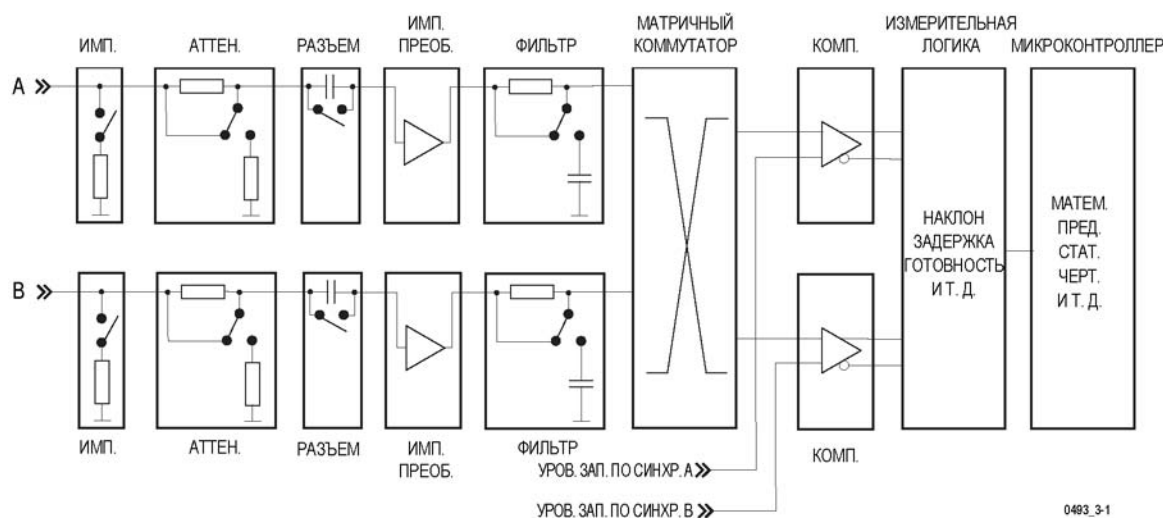
Пункт	Описание
	<p>Dataset (Массив данных): Сохранение или загрузка единичного статистического измерения (когда прибор находится в режиме Hold (Удержание), для проведения единичного измерения нажмите Restart (Перезапуск)). В энергонезависимом ЗУ может быть сохранено до восьми массивов данных, каждый из которых содержит до 32 000 выборок. Если число выборок в измерении превышает 32 000, из них сохраняются только 32 000 последних. Каждому массиву данных прибор по умолчанию присваивает соответствующую метку, которую пользователь затем может отредактировать.</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Save (Сохранить): Сохранение текущего статистического измерения в выбранной области памяти. ■ Recall (Загрузить): Загружается и отображается выбранный массив данных. ■ Erase (Стереть): Стирает выбранный массив данных. <p>Total Reset (Полный сброс): Сохраняет все заводские настройки и стирает всю пользовательскую информацию (настройки и массивы данных).</p>
Calibrate (Калибровка)	Этот пункт меню доступен только для калибровки в заводских условиях и защищен паролем.
Interface (Интерфейс)	<p>Устанавливает активный интерфейс шины (GPIB или USB) и соответствующую информацию об адресах.</p> <p>Bus Type (Тип шины): выберите GPIB или USB.</p> <p>GPIB Mode (Режим GPIB): выберите Native (Собственный) (набор команд SCPI, используемый в этом режиме, полностью эксплуатирует все функции прибора этой серии) или Compatible (Совместимый) (набор команд SCPI, используемый в этом режиме, совместим с Agilent 53131/132/181).</p> <p>GPIB Address (Адрес GPIB): введите номер прибора GPIB (0–30).</p>
Test (Тест)	<p>Позволяет выбрать и запустить специальные тесты включения питания.</p> <p>Test Mode (Режим тестирования): выберите отдельный вид самопроверки прибора или же сразу все тесты.</p> <p>Start Test (Пуск теста): запускается выбранный тест.</p>
Digit Blanks (Позиции для цифр)	<p>Устанавливает число отображаемых цифр маски.</p> <p>Пульсирующие результаты измерения могут быть более просты для чтения, если предусмотреть маску для одной или нескольких крайних значащих цифр. Используйте клавиши со стрелками «Вверх» и «Вниз» для изменения или ввода требуемого числа (от 0 до 13) с клавиатуры. Пустые позиции для цифр отмечены на экране тире.</p>
About (О приборе)	Отображает информацию о приборе, включая модель, серийный номер, версию прошивки прибора, вариант временной развертки и дату калибровки, а также верхний предел по частоте для канала C (для приборов с опцией «Канал C»).

Ознакомление с прибором

Преобразование входного сигнала

В приборе предусмотрены входные усилители для адаптации к логической схеме прибора поступающих извне и сильно различающихся сигналов. Эти усилители оснащены большим числом элементов управления, и важно понимать, как они совместно работают и влияют на сигнал.

На следующей блок-схеме показан путь передачи входного сигнала. Это не полная техническая схема, но она позволяет понять функции элементов управления.



Чтобы получить доступ к элементам управления входным сигналом, нажмите кнопку меню **Input A** (Вход А) или **Input B** (Вход В).

Управление входным сигналом

Сопrotивление В соответствующем меню Input A (Вход А) или Input B (Вход В) входное сопротивление можно установить равным 1 МОм или 50 Ом.

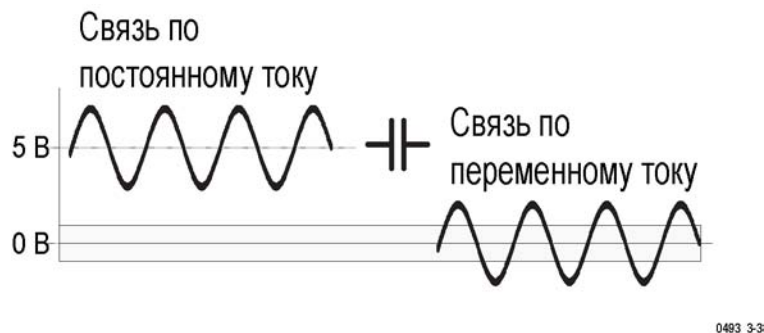


ОСТОРОЖНО. Переключение сопротивления на 50 Ом при входном напряжении выше $12 V_{RMS}$ может привести к серьезному повреждению входного контура.

Ослабление Амплитуду входного сигнала можно уменьшить с коэффициентом 1 или 10 путем переключения функциональной клавиши меню **1x/10x**.

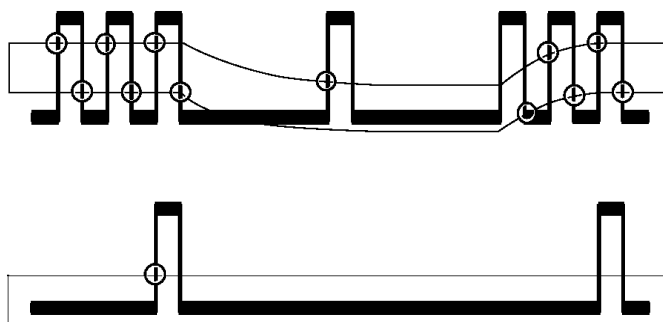
Ослабление входного сигнала следует выполнять каждый раз, когда он выходит за пределы динамического диапазона входного напряжения ± 5 В или этим можно уменьшить влияние шумов и помех. (См. стр. 28, *Как уменьшить шум и помехи или пренебречь ими.*)

Тип входа Переключение между связью по переменному и по постоянному току при помощи функциональной клавиши AC/DC (Постоянный ток/Переменный ток).



Используйте функцию связи по переменному току для исключения нежелательных постоянных составляющих сигналов. Всегда используйте связь по переменному току, когда сигнал переменного тока накладывается на напряжение постоянного тока, превышающее диапазон уставки уровня синхронизации. Например, при измерении симметричных сигналов, таких как синусоидальные и квадратные/треугольные волны, связь по переменному току отфильтровывает все их постоянные составляющие. Это значит, что уровень синхронизации, равный 0 В, всегда устанавливается вблизи середины сигнала, где синхронизация является наиболее устойчивой.

Используйте связь по постоянному току для сигналов с переменной скважностью или с очень низкой или высокой скважностью. На приведенных ниже рисунках показано, как могут пропускаться импульсы или как может не сработать синхронизация из-за того, что амплитуда сигнала падает ниже полосы гистерезиса синхронизации.



Фильтры сигналов

Если вам не удается получить устойчивые показания, это может быть связано со слишком низким отношением сигнала к шуму (часто оно обозначается, как S/N или SNR), возможно, ниже диапазона 6–10 дБ. Конкретные условия требуют специальных решений, таких как использование фильтров верхних частот, полосно-пропускающих или узкополосных режекторных фильтров, но обычно нежелательные шумовые сигналы имеют более высокую частоту, чем интересующий вас сигнал. В этом случае вы можете использовать встроенные фильтры низких частот. Существуют как аналоговые, так и цифровые фильтры, которые можно соединять друг с другом.



Рис. 1: Варианты выбора меню после выбора пункта FILTER (Фильтр).

Аналоговый фильтр низких частот. В приборе имеются аналоговые RC-фильтры низких частот, по одному на вход А и вход В. Частота среза примерно равна 100 кГц, а подавление сигнала составляет 20 дБ при частоте 1 МГц. Точные частотные измерения сигналов низкой частоты с помехами (до 200 кГц) могут быть обеспечены, когда шумовая составляющая имеет существенно более высокую частоту, чем фундаментальный сигнал.

Цифровой фильтр низких частот. Цифровой НЧ-фильтр использует функцию Hold-Off (Задержка). Используя функцию задержки синхронизации, можно ввести мертвое время в контур синхронизации входа. То есть, вход прибора будет игнорировать все пересечения полосы гистерезиса входным сигналом в течении предустановленного времени после первого события синхронизации.

Если задать время Hold-Off (Задержка) равным примерно 75 % от продолжительности цикла сигнала, ошибочная синхронизация будет заблокирована вблизи точки, где входной сигнал возвращается через полосу гистерезиса. Когда сигнал достигает точки синхронизации следующего цикла, установленное время Hold-Off (Задержка) истекает, и инициируется новая, правильная синхронизация.

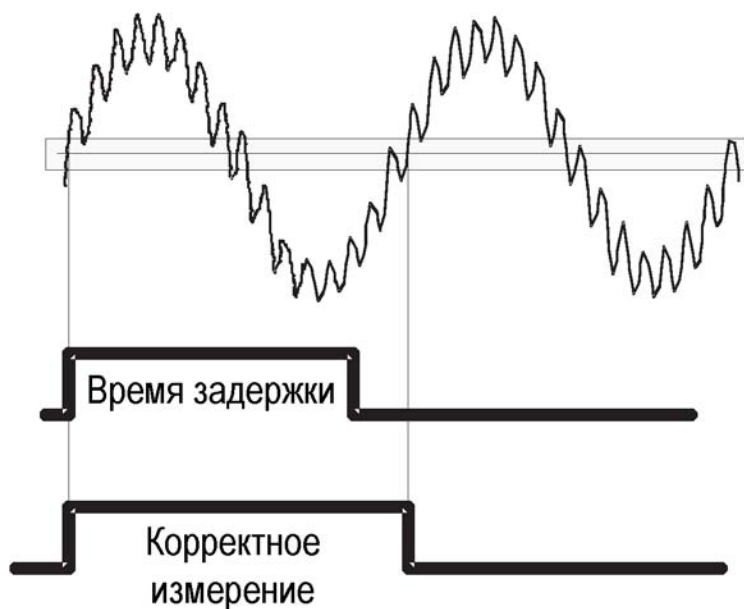
Избавляя вас от необходимости расчета подходящего времени задержки, прибор сделает это сам, преобразовав введенную вами в меню Digital LP Freq (Цифровая частота LP) частоту среза фильтра в эквивалентное время задержки.



Для того, чтобы использовать функции цифрового фильтра эффективно и недвусмысленно, необходимо знать о некоторых существующих ограничениях. Во первых, необходимо иметь общее представление об измеряемой частоте. Слишком низкое значение частоты среза может дать вполне устойчивое показание, которое будет заниженным. В этом случае синхронизация происходит только на каждом 2-м, 3-м или 4-м цикле. Слишком высокое значение частоты среза (в два раза больше частоты входного сигнала) также приводит к устойчивому показанию. Здесь в каждой половине цикла происходит подсчет одного шумового импульса.

Диапазон установки частоты среза довольно широк: 1 Гц — 50 МГц

В случае сомнений относительно частоты и формы входного сигнала используйте осциллограф для проверки.



0493_3-8

Рис. 2: Цифровой НЧ-фильтр используется в логической схеме, а не в усилителе входного сигнала.

Trigger Mode (Man/Auto)
(Режим синхронизации
(Ручной/Авто))

Этот пункт меню задает режим синхронизации. Когда активным является режим **Auto** (Авто), прибор автоматически измеряет уровни размаха входного сигнала и задает уровень синхронизации, составляющий 50 % от этой величины. Так же автоматически задается и ослабление.

Для измерений времени нарастания/спада прибор устанавливает уровни синхронизации 10 и 90 % от измеряемых пиковых значений.

Когда активным является режим **Manual** (Ручной), уровень синхронизации задается в меню **Trig** (Синхронизация). Текущее значение синхронизации показано ниже пункта меню Trig (Синхронизация).

Ускорение измерений. Функция автоматической синхронизации быстро измеряет амплитуду и вычисляет уровень синхронизации, но если вы хотите ускорить измерения, не жертвуя преимуществами автоматической синхронизации, используйте функцию **Auto Trig Low Freq** (Низкочастотная автосинхронизация) для установки низкочастотного предела при измерении напряжения. Этот пункт меню находится в **Settings > Misc > Auto Trig Low Freq** (Настройки > Прочее > Низкочастотная автосинхронизация).

Если вы знаете, что интересующий вас сигнал всегда имеет частоту выше определенного значения f_{low} , вы можете ввести это значение в меню ввода значений. Диапазон f_{low} составляет от 1 Гц до 100 кГц, а значение по умолчанию принимается равным 100 Гц. Чем выше это значение, тем выше скорость измерения благодаря более быстрому обнаружению напряжения уровня синхронизации.

ПРИМЕЧАНИЕ. Можно использовать автоматическую синхронизацию на одном из входов, а ручные уровни синхронизации — на другом.

Manual Trigger (Trig)
(Ручная синхронизация
(Синхронизация))

Меню Trig (Синхронизация) позволяет вводить определенные значения уровня синхронизации. Используйте кнопки со стрелками для пошагового увеличения или уменьшения значения уровня синхронизации или клавиатуру для ввода его конкретного значения. Для ускорения данной процедуры удерживайте кнопки со стрелками в нажатом положении.

Установка ручных уровней синхронизации ускоряет цикл измерений. Для ручной синхронизации не требуется, чтобы прибор обнаруживал и вычислял уровни синхронизации.

ПРИМЕЧАНИЕ. Если ввести уровень синхронизации вручную, прибор переключится из режима синхронизации Auto (Авто) в режим Man (Ручной).

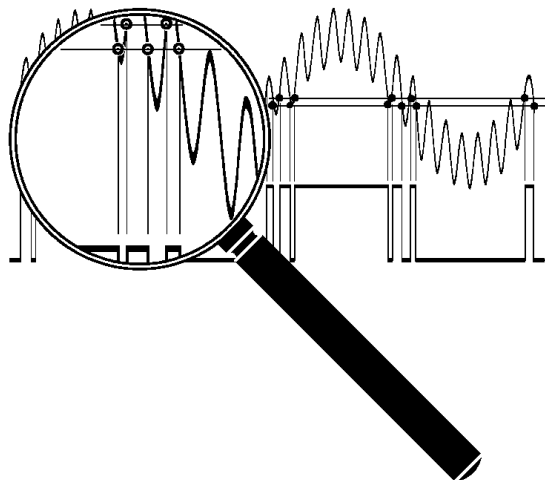
ПРИМЕЧАНИЕ. Не следует использовать ручную синхронизацию для проведения измерений сигналов с неустойчивыми уровнями.

Преобразование уровня синхронизации автоматического режима в уровень синхронизации ручного режима. Можно преобразовывать полученные в автоматическом режиме расчетные уровни синхронизации в фиксированные уровни ручного режима путем переключения из режима синхронизации **Auto** (Авто) в режим синхронизации **Manual** (Ручной). Текущий расчетный уровень автоматической синхронизации (показан под пунктом меню **Trig** (Синхронизация)) становится новым фиксированным уровнем ручной синхронизации. Последующие измерения выполняются существенно быстрее, поскольку прибор больше не вычисляет уровни синхронизации для каждого измерения.

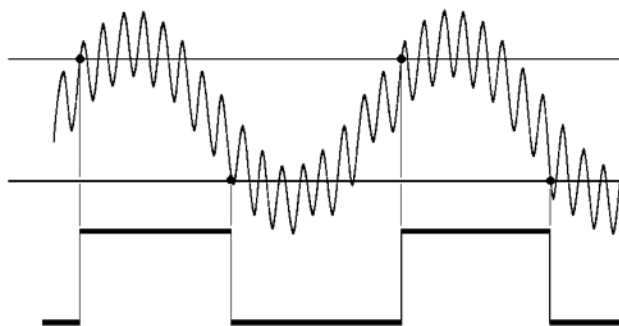
ПРИМЕЧАНИЕ. Можно использовать автоматическую синхронизацию на одном из входов, а ручные уровни синхронизации — на другом.

Как уменьшить шум и помехи или пренебречь ими

Входные цепи прибора очень чувствительны к шуму. Правильная подгонка амплитуды шумового сигнала и шумовых характеристик к входной чувствительности прибора (уровням синхронизации) снижает риск неправильного счета импульсов из-за влияния шума и помех. Например, неправильно заданный уровень синхронизации с узким гистерезисом может привести к неправильному счету импульсов на сигналах с переменным уровнем, см. приведенный ниже рисунок.



Более широкий гистерезис синхронизации обеспечивает правильную синхронизацию и измерения сигналов с переменным уровнем и шумами.



Для снижения или исключения влияния шума и улучшения качества результатов измерения используйте следующие функции:

- входной аттенюатор 10x;
- переменный уровень синхронизации (автоматическая синхронизация);
- переменный гистерезис для некоторых функций;
- аналоговый фильтр подавления шумов низких частот;
- цифровой фильтр низких частот (удержание синхронизации).

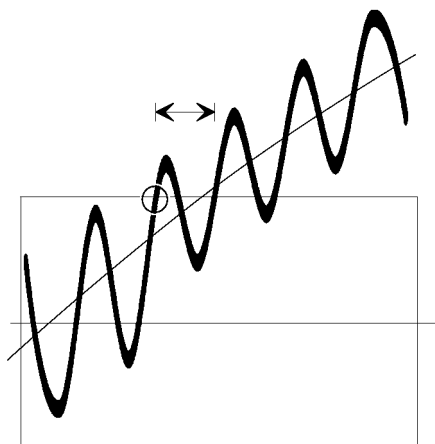
В случае сигналов с очень высоким вкладом шумов для обеспечения максимально возможной надежности измерений можно использовать одновременно сразу несколько вышеперечисленных методов.

Оптимизация амплитуды входного сигнала и уровня синхронизации, а также использование аттенюатора и элементов управления синхронизацией, не зависят от частоты входного сигнала и полезны для всего частотного диапазона. С другой стороны, НЧ-фильтры на ограниченном диапазоне частот функционируют избирательно.

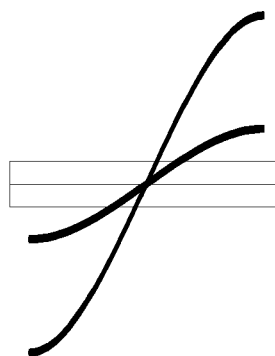
Гистерезис синхронизации

Сигнал должен пересечь полосу входного гистерезиса шириной 20 мВ до того, как произойдет синхронизация. Этот минимальный гистерезис синхронизации предохраняет входной контур от автоколебаний и снижает его чувствительность к шуму. Другими названиями гистерезиса синхронизации являются чувствительность синхронизации и помехоустойчивость.

Накладывающийся на сигнал шум низкого уровня может также влиять на точку синхронизации, ускоряя или задерживая ее наступление, даже если он и не приводит к неправильному счету импульсов. Эта неопределенность синхронизации особенно важна при измерении сигналов низкой частоты ввиду малой скорости нарастания (в единицах В/с) таких сигналов.



Для уменьшения неопределенности синхронизации необходимо, чтобы сигнал пересекал полосу гистерезиса как можно быстрее (высокая скорость нарастания). Сигнал с высокой амплитудой проходит полосу гистерезиса синхронизации быстрее, чем сигнал с низкой амплитудой. При низкочастотных измерениях, когда неопределенность синхронизации играет существенную роль, не следует ослаблять сигнал слишком сильно, но следует установить высокий уровень чувствительности прибора.



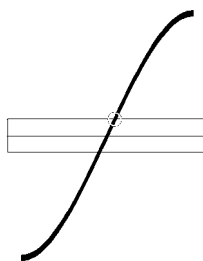
Неправильный счет импульсов, вызываемый ошибками синхронизации, является гораздо более обычным явлением. Во избежание неправильного счета, вызываемого паразитными сигналами, следует уменьшить амплитуду входного сигнала. Это особенно полезно при измерениях на контуре с высоким сопротивлением и при использовании входного сопротивления 1 МОм. В этих условиях кабели легко подхватывают шум.

Внешнее ослабление и внутренний 10х-аттенюатор снижают амплитуду сигнала вместе с шумом. При этом внутренний элемент управления чувствительностью прибора снижает чувствительность прибора, в том числе и его чувствительность к шуму. Для уменьшения избыточной амплитуды сигнала следует использовать встроенный 10х-аттенюатор, внешний коаксиальный аттенюатор или 10х-пробник.

Как использовать настройки уровня синхронизации

Для большинства частотных измерений оптимальную синхронизацию можно получить путем установки среднего уровня синхронизации по средней амплитуде, используя узкую или широкую полосу гистерезиса в зависимости от характеристик сигнала.

При измерении НЧ-сигналов синусоидальной формы с низким уровнем шума для уменьшения неопределенности синхронизации следует устанавливать высокий уровень чувствительности (узкая полоса гистерезиса). Синхронизация по середине сигнала или поблизости от нее имеет наименьшую ошибку, поскольку крутизна сигнала в середине синусоидальной волны наибольшая.



При необходимости избежать неправильного счета импульсов из-за шумов, накладывающихся на сигнал, наилучший результат дает расширение окна гистерезиса, если расположить это окно центрально вокруг средней части входного сигнала. Превышение амплитудой сигнала пределов полосы гистерезиса должно быть одинаковым.

Автоматическая синхронизация. Для нормальных частотных измерений, то есть, без использования подготовки синхронизации, функция *Auto Trigger* (Автоматическая синхронизация) заменяется на функцию *Auto (Wide) Hysteresis* (Автоматический (широкий) гистерезис), расширяющую окно гистерезиса с установлением его границ на уровне 70 и 30 % двойной амплитуды. В этой процедуре для определения минимального и максимального уровней синхронизации сигнала (уровни, где синхронизация прекращается) используется метод последовательных приближений. После этого прибор задает уровням гистерезиса расчетные значения. Относительные уровни гистерезиса по умолчанию задаются равными 70 % на входе А и 30 % на входе В. Эти значения могут быть скорректированы вручную в диапазоне от 50 до 100 % на входе А и в диапазоне от 0 до 50 % на входе В. Однако сигнал подается только на один канал.

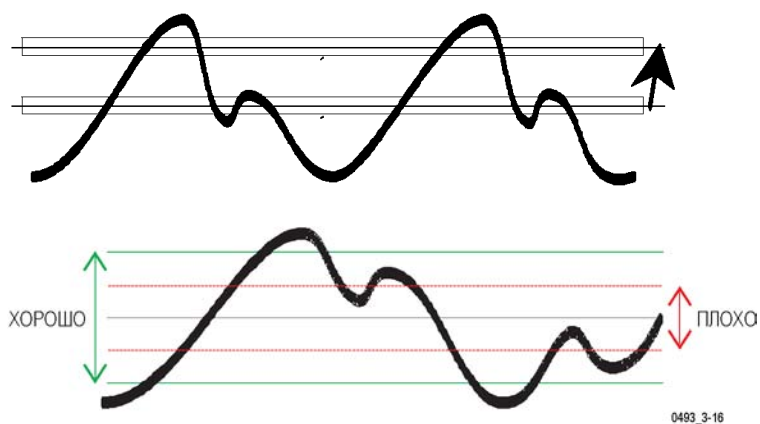
Обычно прибор повторяет процесс обнаружения уровня синхронизации сигнала для каждого частотного измерения с целью идентификации новых значений уровней синхронизации и гистерезиса. Необходимым предварительным условием для включения режима автоматической синхронизации поэтому является повторяемость входного сигнала. Другим условием является недопустимость существенного изменения амплитуды сигнала после запуска измерения.

Автоматическая синхронизация также снижает максимальную скорость измерения, когда автоматическая система тестирования выполняет большое число измерений в секунду. Для увеличения скорости измерения нажмите один раз кнопку Auto Set (Автоустановка), чтобы установить уровень синхронизации вручную на основе значений, рассчитанных в режиме автоматического определения уровня.

Ручная синхронизация. Переключение в режим **Man Trig** (Ручная синхронизация) означает также *Narrow Hysteresis* (Узкий гистерезис) на последнем автоматически полученном уровне. Одним нажатием кнопки **Auto Set** (Автоустановка) запускается единичный расчет автоматического уровня синхронизации (*Auto Once* (Авто, однократно)). Это расчетное значение, составляющее 50 % от амплитуды размаха, представляет собой новый фиксированный уровень синхронизации, который при необходимости можно корректировать вручную.

Гармоническое искажение. Практика показывает, что устойчивые показания свободны от шума или помех. Однако они не всегда являются правильными, поскольку причиной неправильных, хотя и устойчивых показаний, могут быть гармонические искажения.

Сигналы в виде синусоидальных волн, содержащие гармонические искажения, см. приведенные ниже графики, могут быть измерены путем установки правильных уровней синхронизации (режим Manual (Ручной)) или путем использования непрерывно меняющейся чувствительности (режим Auto (Авто)). Можно также улучшить качество получаемых результатов, используя функцию Trigger Hold-Off (Удержание синхронизации) для установки точки синхронизации в заданном месте сигнала.



Измерения частоты

Теория измерения

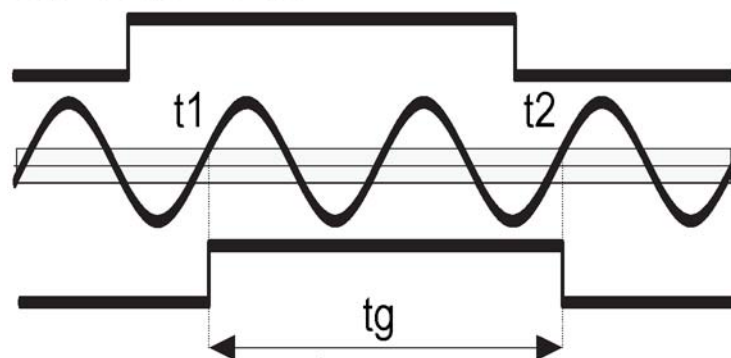
Реверсивный счет

В приборах серий FCA3000, FCA3100 и MCA3000 используется метод реверсивного счета, позволяющий синхронизировать начало измерения с входным сигналом. Это обеспечивает точный счет количества интегральных входных циклов.

Реверсивный счет — это существенное улучшение по сравнению с простыми частотомерами, осуществляющими подсчет числа входных циклов в течение предустановленного несинхронизированного интервала времени. Погрешность простого подсчета в течение заданного интервала времени может составлять ± 1 входной цикл.

После запуска отсчета установленного интервала времени измерения прибор синхронизирует начало фактического времени счета с первым событием синхронизации (t_1) входного сигнала.

Заданное время измерения



Фактическое время стробирования

0493_4-10

Таким же образом прибор по истечении установленного интервала времени измерения синхронизирует конец фактического времени счета с входным сигналом. Метод многорегистрового счета позволяет одновременно измерять фактическое время счета (t_g) и число циклов (n), имевших место в этот интервал времени.

Затем прибор производит расчет частоты по формуле:

$$f = \frac{n}{t_g}$$

Прибор измеряет время счета t_g с разрешением 100 пс независимо от измеряемой частоты. Поэтому использование предварительного делителя частоты не влияет на ошибку дискретизации. Поэтому *относительная* погрешность дискретизации составляет 100 пс/ t_g .

Для интервала времени измерения длительностью 1 секунда это значение составляет:

$$\frac{100 \text{ ps}}{1 \text{ s}} = 100 \times 10^{-12} = 1 \times 10^{-10}$$

За исключением случая очень низких частот t_g и заданный интервал времени измерения почти одинаковы.

Выборка и запоминание

Если входной сигнал исчезает во время измерения, прибор ведет себя, как вольтметр с функцией выборки и хранения, и фиксирует результат предыдущего измерения.

Тайм-аут

В основном при использовании интерфейса GPIB в меню, доступ к которому осуществляется выбором пути **Settings > Misc > Timeout** (Настройки > Прочее > Тайм-аут), можно вручную выбирать фиксированный тайм-аут. Диапазон фиксированного тайм-аута простирается от 10 мс до 1000 с, а настройка по умолчанию — **Off** (Выкл.).

Выберите время, превышающее продолжительность цикла самой низкой частоты измеряемого сигнала; умножьте это время на масштабирующий коэффициент входного канала и введите это время в качестве тайм-аута.

Если в течение тайм-аута не произошло синхронизации, прибор выдаст сообщение NO SIGNAL (Сигнал отсутствует).

Скорость измерения

Заданное время измерения определяет скорость измерения величин Period Average (Усредненный период) и Frequency (Частота). Для непрерывных сигналов:

$$Speed \approx \frac{1}{t_g + 0.2} \text{ readings/s}$$

если включен режим синхронизации Auto (Авто), она может увеличиться до значения:

$$Speed \approx \frac{1}{t_g + 0.001} \text{ readings/s}$$

если включен режим синхронизации Manual (Ручной) или с помощью GPIB:

$$Speed \approx \frac{1}{t_g + 0.00012} \text{ readings/s}$$

Усредненные измерения и измерения для единичного цикла. Для уменьшения фактического времени счета или измерительного окна в счетчиках предусмотрены очень короткие времена измерения и режим под названием **Single** (Единичный) для измерений периода. Последнее означает, что прибор осуществляет измерение в пределах только *одного цикла* входного сигнала. В приложениях, где прибор использует входной сигнал с масштабированием, измерение в режиме **Single** (Единичный) будет продолжаться столько циклов, сколько будет задано коэффициентом деления. Если требуется произвести измерение в очень коротком окне, используйте вход с низким коэффициентом деления.

Усреднение является нормальным режимом для измерений частоты и периода, если требуется достичь максимального разрешения. Однако всегда существует компромисс между временем и точностью измерений: решите, сколько необходимо разрядов, и используйте как можно более короткое время измерения, которого достаточно для достижения цели.

Предварительное масштабирование может оказывать влияние на время измерения (FCA3003, FCA3020, FCA3103, FCA3120). Предварительные делители частоты оказывают влияние на длительность минимального времени измерения, поскольку короткие вспышки должны содержать минимальное число периодов несущей частоты. Это число зависит от коэффициента масштабирования.

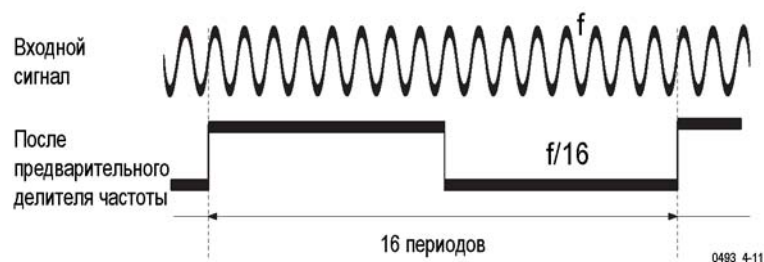


Рис. 3: Предварительный делитель с коэффициентом 16.

На рисунке показано влияние 3 МГц предварительного делителя. На 16 циклов входного сигнала предварительный делитель выдает один цикл квадратной выходной волны. Когда прибор использует предварительный делитель, он считает число масштабированных циклов выходного сигнала $f/16$. Дисплей отображает правильную частоту входного сигнала, поскольку прибор компенсирует эффект коэффициента деления d :

$$f = \frac{n \times d}{t_s}$$

Предварительные делители не снижают разрешения реверсивных счетчиков. Относительная погрешность дискретизации тем не менее составляет:

$$\frac{100 \text{ ps}}{t_g}$$

Коэффициенты деления для различных режимов см. следующей таблице:

Таблица 6: Коэффициенты масштабирования при проведении измерений

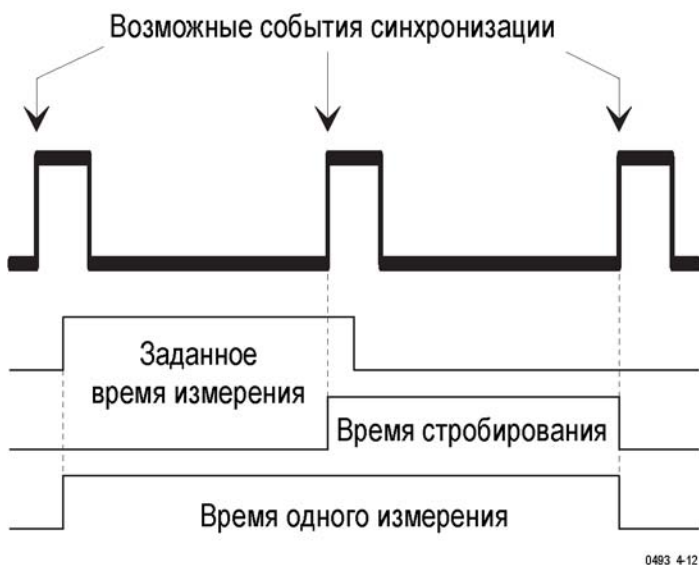
Функция	Коэффициент масштабирования
Частота (A/B) (300 МГц)	2
Вспышка (A/B) (<160 МГц)	1
Вспышка (A/B) (>160 МГц)	2
Средний период A/B (400 МГц)	2
Единичный период A/B (300 МГц)	1

Таблица 6: Коэффициенты масштабирования при проведении измерений (прод.)

Функция	Коэффициент масштабирования
Частота С (3 ГГц)	16
Частота С (20 ГГц)	128

НЧ-сигналы. Сигналы с частотой ниже 100 Гц должны измеряться с использованием ручной синхронизации, если не изменена стандартная настройка (100 Гц). (См. стр. 18.) Для нижнего предела может быть установлено значение 1 Гц, но процесс измерения существенно замедляется в случае использования автоматической синхронизации с очень низкими частотами.

При измерении импульсов с низкой частотой следования, когда, например, частота составляет 0,1 Гц, нет предварительного масштабирования, и измерение выполняется для единичного периода, длительность измерения должна быть равна, по крайней мере, длительности одного цикла, то есть 10 с, а в худшем случае — примерно 20 с. Худший случай — это когда событие синхронизации происходит сразу перед началом отсчета времени измерения, см. следующий рисунок. Измерение частоты того же самого сигнала займет вдвое больше времени, поскольку эта функция включает в себя масштабирование с коэффициентом 2. Даже если ввести в этом примере короткое время измерения, прибору для проведения измерения потребуется 20–40 с.



Сигналы в диапазоне радиочастот (FCA3003, FCA3020, FCA3103, FCA3120). Предварительный делитель на входе С делит частоту входного сигнала, прежде чем она будет обработана стандартной цифровой

счетной логической схемой. Коэффициент деления иначе называется *коэффициентом масштабирования* и может принимать различные значения в зависимости от типа предварительного делителя. Предварительный делитель на 3 ГГц предназначен для использования коэффициента масштабирования 16. Это значит, что частота на входе С, например, 1,024 ГГц, преобразуется в частоту 64 МГц.

Предварительные делители предназначены для обеспечения максимальной эффективности измерения параметров устойчивых непрерывных РЧ-сигналов. Большинство предварительных делителей по своей природе неустойчивы, и в отсутствие входного сигнала в них могут возникать автоколебания. Для предотвращения автоколебаний в предварительном делителе вводится так называемый «проходной детектор». Проходной детектор непрерывно измеряет уровень входного сигнала и блокирует выход предварительного делителя в отсутствие сигнала, или когда присутствует слишком слабый сигнал.



Рис. 4: Проходной детектор в предварительном делителе.

Присутствие сигнала вспышки, параметры которого должны быть измерены, накладывает определенные требования на сам сигнал. Независимо от способности прибора производить измерения в течение очень коротких временных интервалов, длительность вспышки должна удовлетворять следующим минимальным условиям:

$$Burst_{min} > (presc.factor) \times (inp.cycle\ time) \times 3$$

Обычно реальный минимальный предел задается другими факторами, такими как скорость проходного детектора. Эта скорость зависит от конкретного варианта используемого входа.

Измерение параметров микроволн (FCA3020, FCA3120, MCA3027 и MCA3040). Измерение частот величиной вплоть до 20 ГГц возможно при помощи приборов серий FCA3020 и FCA3120, в которые включены предварительные делители, рассчитанные на диапазон 20 ГГц.

Приборы серий MCA3027 и MCA3040 позволяют измерять частоты величиной до 27 ГГц и 40 ГГц соответственно, для чего используются понижающие преобразователи. Понижающие преобразователи смешивают неизвестный входной сигнал с сигналом гетеродина известной частоты до тех пор, пока в пределах полосы пропускания усилителя ПЧ (в данном случае 10–200 МГц) не появится сигнал. (См. рис. 5.)

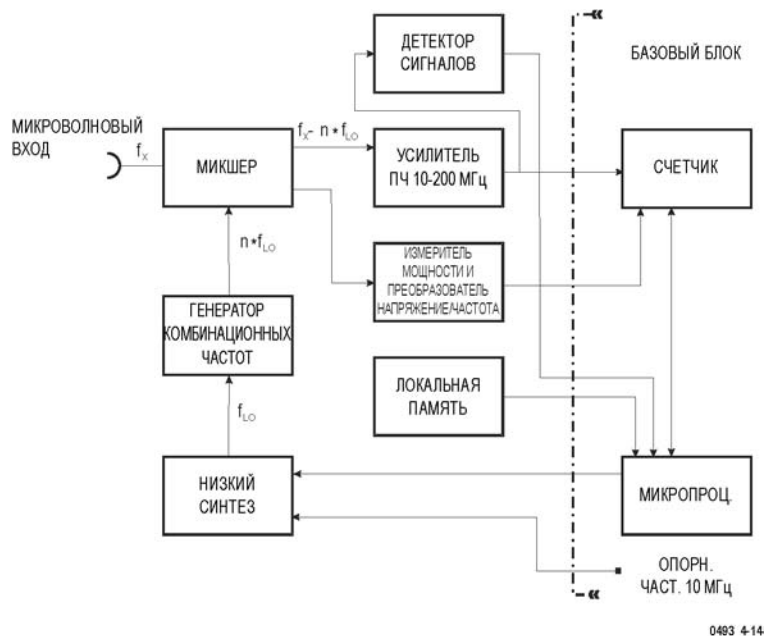


Рис. 5: Измерение параметров микроволнового сигнала прибором серии MCA3000.

Базовый диапазон частот гетеродина, 430–550 МГц, делится на несколько дискретных частот, выбираемых из справочной таблицы. Выходной сигнал гетеродина подается на генератор комбинационных частот, который создает гармонический спектр, охватывающий весь указанный диапазон микроволн.

Автоматический процесс расчета частоты входного сигнала состоит из следующих шагов:

- 1. Предварительный сбор данных.** Эта операция определяет, подается ли на вход измеряемый сигнал, а также определяет частоту гетеродина, который будет генерировать ПЧ-сигнал выше определенного порогового уровня. Это делается последовательным ступенчатым изменением частоты гетеродина, начиная от самого высокого до самого низкого ее значения в справочной таблице, и подачей полученного спектра генератора комбинационных частот к микшеру. Операция прекращается, когда детектор сигнала выводит сигнал состояния на процессор.
- 2. Регистрация.** Эта операция определяет гармонику, необходимую для генерирования ПЧ-сигнала. Прибор измеряет ПЧ, снижает частоту гетеродина на 1 МГц и снова измеряет ПЧ. Проверяя значения двух измерений и знак разницы между ними, прибор определяет, следует ли добавить исходную ПЧ или вычесть ее из расчетной гармоники для получения конечного значения. Например, если разница между двумя

значениями составляет 5 МГц, прибор знает, что пятая гармоника является исходной.

3. **Окончательный расчет радиочастоты.** Прибору известна частота гетеродина, коэффициент усиления n и знак. Прибор производит отсчет ПЧ на временном интервале измерения в соответствии с требуемым разрешением и использует результат для расчета конечного значения, чтобы вывести его на экран в виде:

$$f_x = n \times f_{LO} \pm IF$$

Существует несколько условий, способных усложнить процесс регистрации. Все они регулируются средствами, предусмотренными прошивкой прибора. Например:

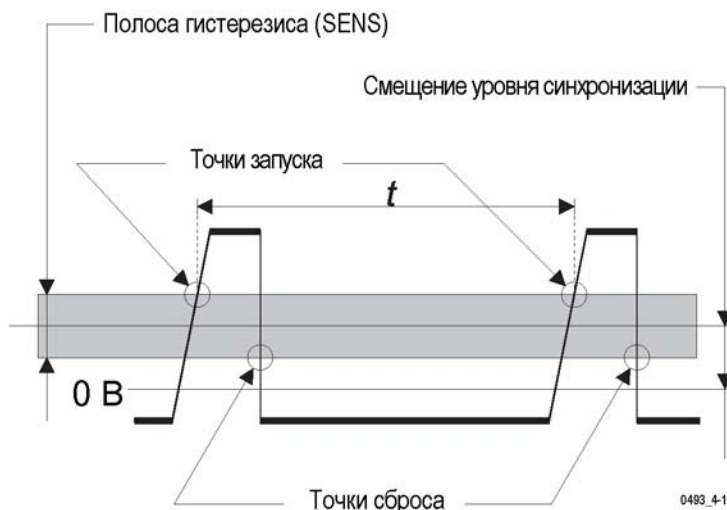
- Одно из ступенчатых значений частоты генерирует ПЧ, но не ее сдвинутое значение. Прибор переходит к следующему значению таблицы.
- Частотная модуляция приводит к неустойчивости расчетного значения n . Прибор увеличивает время измерения.

Измерение мощности. Приборы MCA3027 и MCA3040 рассчитаны на измерение мощности микроволнового сигнала во всем диапазоне понижающего преобразователя «Вход С». Частотно-зависимые поправочные данные измерения мощности, сохраняемые в понижающем преобразователе, помогают повысить качество измеряемых значений.

Входы А и В

Путь по меню: **Meas > Freq** (Измерение > Частота).

Частота измеряется, как обратная времени величина между двумя соседними точками синхронизации в пределах полосы гистерезиса. Прибор измеряет частоты на входе А и В в диапазоне от 0,00 Гц до 300 МГц в режиме автоматического запуска (от 0,001 Гц до 400 МГц в режиме ручного запуска).



Частоты выше уровня 100 Гц лучше всего измерять при помощи *Default Setup* (Настройка по умолчанию). (См. стр. 99, *Настройки прибора по умолчанию*.) Далее **Freq A** (Частота А) выбирается автоматически. Другими важными автоматическими настройками являются **AC Coupling** (Связь по переменному току), **Auto Trig** (Автоматическая синхронизация) и **Meas Time 200 ms** (Время измерения 200 мс). Настройки по умолчанию обеспечивают удачный выбор точки начала измерения частоты.

Ниже приведен список настроек, которые следует использовать для проведения наиболее оптимальных измерений частоты:

- *AC Coupling* (Связь по переменному току), поскольку возможное смещение постоянной составляющей, как правило, нежелательно.
- *Auto Trig* (Автоматическая синхронизация) в данном случае означает *Auto Hysteresis* (Автоматический гистерезис) (сравнимо с АРУ), поскольку происходит подавление накладывающегося шума, выходящего за пределы окна нормального узкого гистерезиса.
- *Meas Time 200 ms* (Время измерения 200 мс) для получения разумного компромисса между скоростью измерения и разрешением.

Некоторые из настроек, устанавливаемых при помощи вызова команды *Default Setup* (Настройка по умолчанию), могут быть также установлены нажатием кнопки **Auto Set** (Автоустановка). Однократное нажатие на нее означает:

- *Auto Trig* (Автоматическая синхронизация). Следует отметить, что эта настройка выполняется один раз, только если ранее был выбран режим *Man Trig* (Ручная синхронизация).

Нажатие кнопки **Auto Set** (Автоустановка) дважды в течение двух секунд также позволяет установить время измерения 200 мс.

Вход С

Приборы серии FCA3X00

Коэффициент масштабирования входа С в соответствующих приборах серии FCA3X00 позволяет проводить измерения частоты до уровня 20 ГГц. Коэффициент масштабирования входа С является полностью автоматизированным, и никакая его настройка не требуется.

Приборы серии MCA3000

Приборы серии MCA3000 обеспечивают измерение частоты до уровней 27 или 40 ГГц на базе метода автоматического понижающего преобразования. (См. стр. 37, *Измерение параметров микроволн (FCA3020, FCA3120, MCA3027 и MCA3040)*.) Более быстрая (ручная) регистрация является альтернативой, если известно примерное значение измеряемой частоты. Введите эту частоту в качестве точки начала процесса регистрации.

Дополнительной функцией является измерение мощности сигнала с высоким разрешением.

Отношение A/B, B/A, C/A, C/B

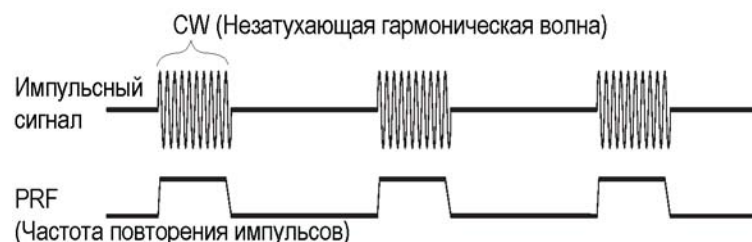
Путь по меню: **Meas > Freq Ratio** (Измерение > Относительная частота).

Для определения соотношения частот двух входных сигналов прибор производит отсчет циклов по двум каналам одновременно и делит результат, полученный для первичного канала, на результат, полученный для вторичного канала. Отношение может быть измерено между входами А и В, где любой из этих каналов может быть как первичным, так и вторичным. Отношение может быть также измерено между входами С и А или между входами С и В, где вход С играет роль первичного канала.

Вспышка А, В, С

Путь по меню: **Meas > Freq Burst** (Измерение > Частота вспышки).

Сигнал вспышки характеризуется несущей (carrier wave, CW) частотой и частотой модуляции, которая иначе называется частотой следования импульсов (pulse repetition frequency, PRF) и включает и выключает немодулированный сигнал.



0483_4-4

Как несущая частота, так и частота модуляции, а также число циклов во вспышке, измеряются без использования внешних сигналов подготовки синхронизации с выбираемой задержкой начала подготовки синхронизации или без нее. (См. стр. 83, *Подготовка синхронизации*.)

Общие ограничения частоты для соответствующего измерительного канала также применимы к измерению параметров вспышки. Минимальное число циклов во вспышке на входе А или В равно 3 при частоте ниже 160 МГц и 6 при частоте, находящейся в диапазоне от 160 до 400 МГц. Измерения параметров вспышки на входе С включают в себя предварительное масштабирование, так что минимальное число циклов равно $3 \times$ коэффициент масштабирования. Например, модель с частотой 3 ГГц имеет коэффициент масштабирования 16, и поэтому требует наличия в каждой вспышке не менее 48 циклов.

Минимальная длительность вспышки составляет 40 нс ниже и 80 нс выше уровня 160 МГц.

Вспышка и синхронизация

Вспышки с частотой модуляции выше 50 Гц могут измеряться в режиме автоматической синхронизации.

При использовании автоматической синхронизации ошибки рассинхронизации могут происходить чаще. (См. стр. 45, *Возможные ошибки измерения параметров вспышки*.)

При частоте модуляции ниже 50 Гц, и когда интервал между вспышками достаточно мал, следует использовать ручную синхронизацию.

Сначала всегда пытайтесь использовать режим **Auto Set** (Автоустановка). Функции *Auto Trigger* (Автоматическая синхронизация) и *Auto Sync* (Автоматическая синхронизация) в комбинации в большинстве случаев дают удовлетворительные результаты. Иногда переключение синхронизации из режима **Auto** (Авто) в режим **Manual** (Ручной) в меню **Input A/B** (Вход А/В) может приводить к получению более устойчивых показаний.

Вход С всегда синхронизируется автоматически, а функция **Auto Set** (Автоустановка) влияет только на синхронизацию вспышки.

Измерение параметров вспышки с помощью ручной предустановки

Для исследования соответствующей части вспышки необходимо задать три временных параметра: время измерения, задержка синхронизации и задержка пуска подготовки.

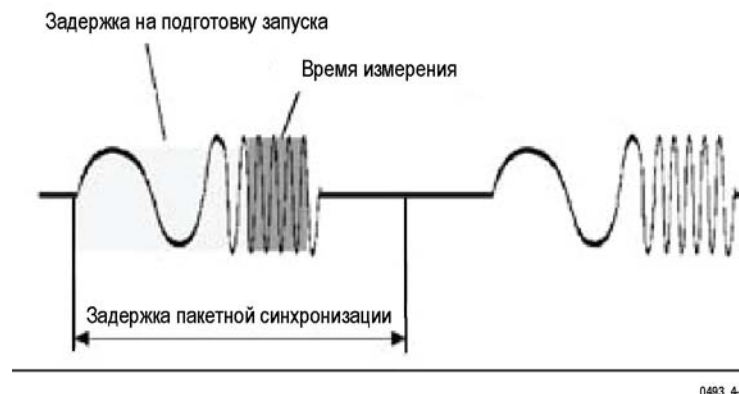
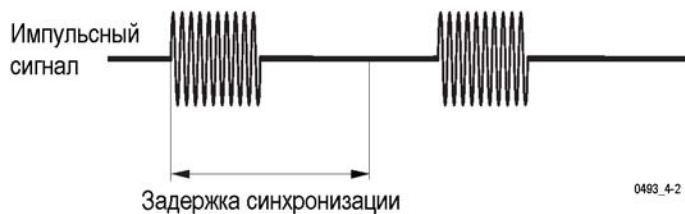


Рис. 6: Три временных параметра, которые необходимо задать для измерения представляющей интерес части вспышки

Функция внутренней синхронизации BURST (Вспышка) позволяет измерять частоты на входе А и В в диапазоне от 0,001 Гц до 300 МГц в режиме автоматического запуска (от 0,001 Гц до 400 МГц в режиме ручного запуска) и на входе С с ограниченными характеристиками – до верхнего предельного значения частоты, определяемой коэффициентом масштабирования. Для измерения параметров вспышки с помощью ручных установок:

1. Нажмите **Meas > Freq > Freq Burst** (Измерение > Частота > Частота вспышки).
2. Выберите источник входного сигнала **А**, **В** или **С**.
3. Нажмите **Settings > Burst** (Настройки > Вспышка).
4. Нажмите **Meas Time** (Время измерения) и введите для времени измерения значение, соответствующее меньшей длительности, чем длительность вспышки, минус два цикла несущей частоты. Если приблизительные параметры сигнала вспышки неизвестны, всегда начинайте измерения с коротким временем измерения и постепенно увеличивайте его, пока показания не начнут терять устойчивость.
5. Нажмите **Sync Delay** (Задержка синхронизации) и введите значение, превышающее длительность вспышки, но меньше величины, обратной частоте следования импульсов.

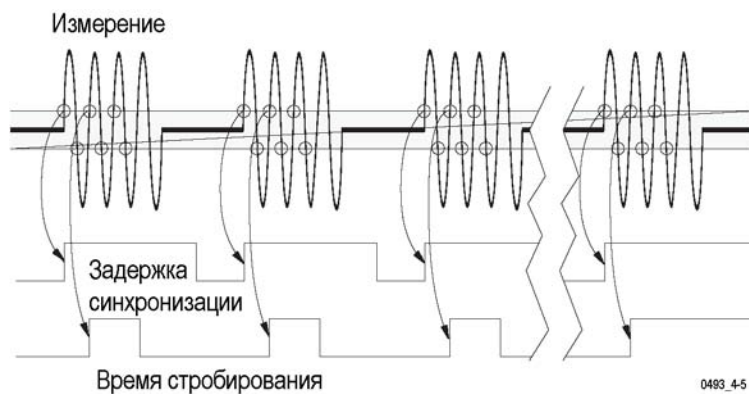


6. Нажмите **Start Delay** (Задержка пуска) и введите значение, превышающее длительность участка с неустановившимся переходным процессом короткого импульса.
7. Выберите пункт **Frequency Limit** (Предел частоты) (160/300 МГц), если предполагается использовать вход А или вход В. Чтобы минимизировать число циклов, необходимых для проведения измерения, по возможности используйте более низкий предел.
8. Нажмите **Save|Exit** (Сохранить|Выход) для отображения результатов измерения.

Прибор выдаст изображение всех представляющих интерес измерений параметров вспышки.

Выбор времени измерения. Время измерения должно быть короче длительности вспышки. Если измерение продолжается на участке, где отсутствуют импульсы, независимо от того, насколько мал этот промежуток времени, измерение можно считать испорченным. Лучше выбрать слишком малое время измерения, поскольку это приведет всего лишь к снижению разрешения. Измерение частоты коротких вспышек на малых промежутках времени позволяет получить более низкое разрешение, чем то, которое в нормальных условиях может быть получено при помощи данного прибора.

Как работает задержка синхронизации. Задержка синхронизации работает, как задержка подготовки внутреннего пуска; она препятствует пуску нового измерения до тех пор, пока не истечет установленное время синхронизации.



После того как начался отсчет установленного времени измерения, прибор синхронизирует пуск измерения со вторым событием синхронизации во вспышке. Это означает, что измерение ошибочно не начнется в период, когда вспышки нет, или во время вспышки.

Возможные ошибки измерения параметров вспышки. Пока измерение не будет синхронизировано с сигналом вспышки, первое измерение при прохождении вспышки может начаться случайно. Если это произошло и если длительность остальной части вспышки меньше заданного времени измерения, показание первого измерения будет неправильным. Однако после этого первого измерения правильно установленное время задержки синхронизации пуска обеспечит синхронизацию следующих измерений.

В приложениях, работающих в режиме ручного управления, это не проблема. В системах автоматизированного тестирования, где результат единичной выборки измерения должен быть надежным, необходимо выполнить, по крайней мере, два измерения: первое — для синхронизации измерения, а второе — для получения результата измерения.

Частотно-модулированные сигналы

Частотно-модулированный сигнал является сигналом несущей частоты (несущая частота = f_0), частота которого меняется при значениях выше и ниже частоты f_0 . Именно модулирующий сигнал изменяет несущую частоту.

Прибор позволяет измерить:

f_0 = несущая частота (частота);

f_{\max} = максимальная частота (MAX);

f_{\min} = минимальная частота (MIN);

Δf = Диапазон изменения частоты = $f_{\max} - f_0$ (размах).

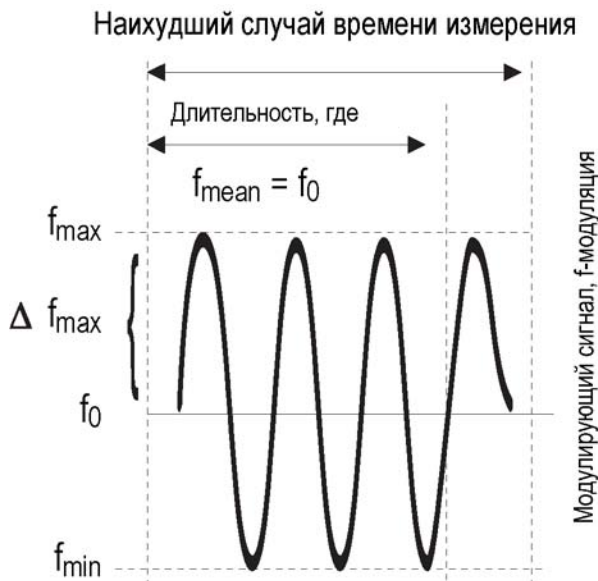
Частота f_0

Для определения несущей частоты измерьте величину f_{mean} , которая является хорошим приближением величины f_0 .

1. Нажмите **Analyze** (Анализ) для просмотра всех статистических параметров.
2. Выберите время измерения таким образом, чтобы прибор измерял четное число периодов модуляции. Таким образом в процессе измерения положительные отклонения частоты будут компенсироваться отрицательными.

Например, если частота модуляции составляет 50 Гц, а время измерения — 200 мс, прибор включает в процесс измерения 10 полных циклов модуляции.

Если модуляция является прерывистой, как в случае голосового сигнала, полностью компенсировать положительные отклонения отрицательными невозможно. В этом случае часть размаха модуляции может остаться некомпенсированной, что приведет либо к завышению, либо к занижению результата измерения.



0493_4-6

Рис. 7: Частотная модуляция

В худшем случае может быть не скомпенсирована ровно половина цикла модуляции, что приводит к максимальному значению неопределенности, равному:

$$f_0 - f_{mean} = \pm \frac{\Delta f_{max}}{t_{measuring} \times f_{modulation} \times \pi}$$

Для обеспечения высокой точности измерения несущей частоты f_0 , выполняйте измерения на немодулированном сигнале, если это возможно.

Частоты модуляции выше 1 кГц.

1. Отключите режим **Single** (Единичный).
2. Установите большое время измерения, в несколько раз превышающее значение обратной частоты модуляции. При большом времени измерения (10 с) и высокой частоте модуляции (выше 1000 Гц) можно получить хорошее приближение.

Низкие частоты модуляции.

1. Нажмите **Settings > Stat** (Настройки > Статистика) и задайте параметру **No. of samples** (Число выборок) максимально возможное значение с учетом максимально допустимого времени измерения.
2. Нажмите **Analyze** (Анализ) — прибор вычислит среднее значение выборок.

Обычно хорошие результаты получаются, когда время измерения составляет 0,1 с на выборку при количестве выборок более 30 ($n \geq 30$). Для отдельных случаев можно попытаться найти оптимальную комбинацию размера выборки и времени измерения. Она зависит от фактических значений f_0 и Δf_{max} .

Здесь частота дискретизации измерения (1/время измерения) является асинхронной частоте модуляции. Это приводит к тому, что результаты отдельных измерений случайным образом получаются выше или ниже величины f_0 . Когда число усредненных выборок становится достаточно большим, статистически усредненное значение частоты f_{mean} приближается к f_0 .

При измерении прибором текущих значений частоты (когда время измерения очень мало), среднеквадратичная неопределенность измеренного значения f_0 составляет:

$$f_0 - f_{mean} = \pm \frac{1}{\sqrt{2n}} \times \Delta f_{max}$$

где n — число усредненных выборок f .

fmax (MAX)

Для измерения f_{max} :

1. Нажмите **Settings > Stat** (Настройки > Статистика), затем установите для **No.of samples** (Число выборок) значение 1000 или более.
2. Нажмите **Meas Time** (Время измерения) и выберите низкое значение.
3. Нажмите **Analyze** (Анализ); прибор отображает f_{max} в поле показаний MAX (Максимум).

fmin (MIN)

1. Нажмите **Settings > Stat** (Настройки > Статистика), затем установите для **No.of samples** (Число выборок) значение 1000 или более.
2. Нажмите **Meas Time** (Время измерения) и выберите низкое значение.
3. Нажмите **Analyze** (Анализ); прибор отображает f_{min} в поле показаний MIN (Минимум).

- Δf_{p-p} (размах)
1. Нажмите **Settings > Stat** (Настройки > Статистика), затем установите для **No.of samples** (Число выборок) значение 1000 или более.
 2. Нажмите **Meas Time** (Время измерения) и выберите низкое значение.
 3. Нажмите **Analyze** (Анализ) и получите значение размаха.

$$\Delta f_{p-p} = f_{max} - f_{min} = 2 \times \Delta f$$

Ошибки определения f_{max} , f_{min} и Δf_{p-p} .

Время измерения, соответствующее 1/10 цикла или 36° модулирующего сигнала, приводит к ошибке, равной примерно 1,5 %.

Выберите время измерения такое, что:

$$t_{measure} \leq \frac{1}{10 \times f_{modulation}}$$

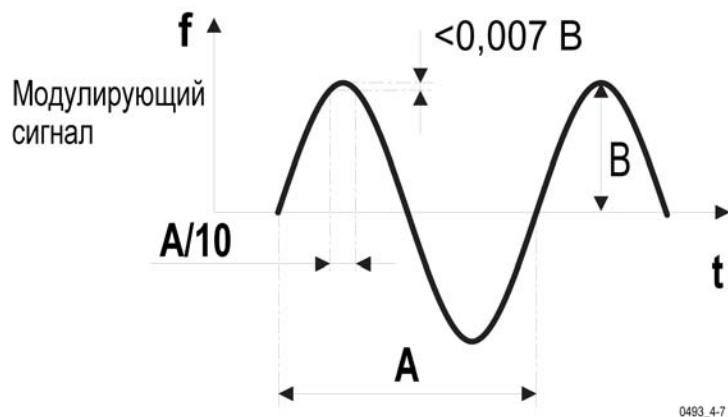


Рис. 8: Ошибка определения f_{max} .

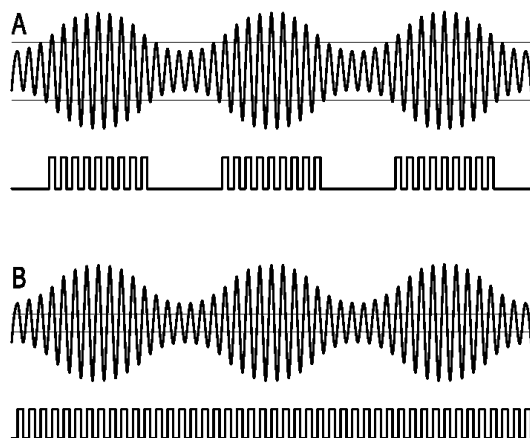
Чтобы убедиться, что полученная максимальная частота в действительности равна f_{max} , выберите достаточно большое число выборок, то есть, $n \geq 1000$.

Амплитудно-модулированные сигналы

Прибор позволяет измерять как несущую частоту, так и частоту модуляции амплитудно-модулированных сигналов. Эти измерения очень похожи на измерения параметров вспышки, описанные ранее в настоящем руководстве.

Измерение несущей частоты

При высокой глубине модуляции несущая (CW) постоянно присутствует только в узком диапазоне амплитуд в середине сигнала. Если чувствительность синхронизации прибора слишком низка (то есть, гистерезис слишком широк), синхронизация будет пропускать некоторые циклы, и результаты измерений будут некорректными.



Для измерения несущей частоты:

1. Нажмите кнопку меню **Input A** (Вход А).
2. Выберите время измерения, позволяющее получить требуемое разрешение.
3. Включите режим синхронизации **Manual** (Ручной).
4. Нажмите уровень **Trig** (Синхронизация) и введите уровень синхронизации **0 В**, после чего нажмите **Save|Exit** (Сохранить|Выход).
5. Выберите тип входа **AC** (Переменный ток).
6. Выберите ослабление **1x**, чтобы получить узкую полосу гистерезиса. Если прибор синхронизируется по шуму, при помощи функции «переменный гистерезис» сделайте гистерезис более широким, то есть, введите уровень синхронизации $>0 \text{ В}$, но $< V_{P-Pmin}$.

Измерение частоты модуляции

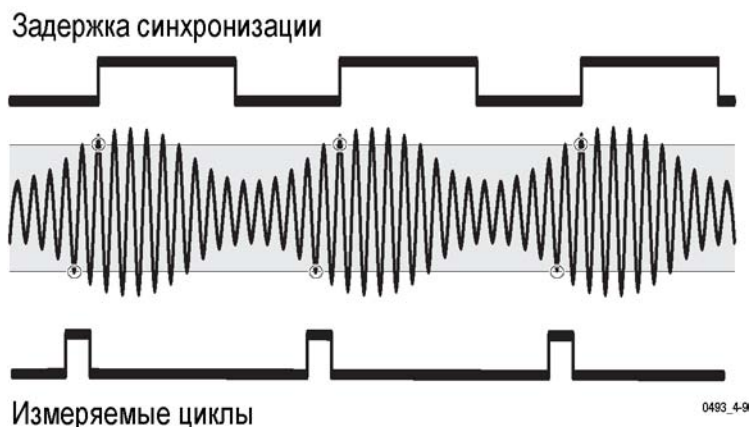
Самый простой способ измерения частоты модуляции является последующая демодуляция, например, при помощи РЧ-детекторной головки (известной также под названием выносной детекторной головки) со связью по переменному току на входном канале.

Если подходящего демодулятора нет в наличии, используйте функцию **Freq Burst** (Частота вспышки) для измерения частоты модуляции таким же образом, как при измерении частоты следования импульсов вспышки.

Для измерения частоты модуляции:

1. Нажмите **Meas > Freq Burst A** (Измерение > Частота вспышки, вход А).
2. Нажмите **Settings > Burst > Meas Time** (Настройки > Вспышка > Время измерения) и введите время измерения, составляющее примерно 25 % периода модуляции.
3. Нажмите **Sync Delay** (Задержка синхронизации) и введите значение, составляющее примерно 75 % периода модуляции.

4. Нажмите **Input A** (Вход А) и включите режим **Manual** (Ручной).
5. Нажмите **Trig** (Синхронизация) и введите уровень синхронизации, на котором происходит синхронизация прибора, в соответствии со следующим рисунком.



Регистрируемая величина **PRF** представляет собой частоту модуляции, даже если измеренное значение основной частоты неустойчиво.

Период

Единичный (входы А, В)
и средний (входы А, В, С)

Путь по меню: **Meas > Period > Single** (Измерение > Период > Единичный).

С точки зрения самого измерения функция периода идентична функции частоты. Это объясняется тем, что период циклического сигнала представляет собой величину, обратную частоте $1/f$.

На практике же имеются два небольших отличия.

1. Прибор вычисляет частоту (всегда среднее значение), как:

$$f = \frac{\text{number of cycles}}{\text{actual gate time}}$$

тогда как среднее значение периода вычисляется следующим образом:

$$p = \frac{\text{actual gate time}}{\text{number of cycles}}$$

2. Прибор не использует масштабирующий коэффициент при измерениях единичного периода.

Все другие функции и особенности, как описано выше для измерений частоты, применимы к измерениям периода.

Единичный (входы А, В), непрерывные измерения (только для приборов серии FCA3100)

Путь по меню: **Meas > Period > Single Back to Back** (Измерение > Период > Единичные непрерывные измерения).

Измерения параметров следующих друг за другом периодов выполняются подряд без использования мертвого времени, но при помощи меток времени.

Каждое пересечение нуля в положительном или отрицательном направлении (в зависимости от выбранной крутизны) до достижения максимальной частоты (125 кГц с включенной калибровкой интерполятора — **On** (Вкл.), или 250 кГц с выключенной калибровкой интерполятора — **Off** (Выкл.)) отмечается отметкой времени. Для каждой новой отметки времени предыдущее значение вычитается из текущего значения и выводится на дисплей.

В режиме **Value** (Значение), если длительность периода превышает 200 мс, содержимое дисплея обновляется каждый период. При более коротких периодах отображение каждого второго, третьего, четвертого и так далее результатов определяется ограничениями, накладываемыми скоростью обновления.

В режиме **Analyze** (Анализ) графики и статистические данные содержат все периоды вплоть до максимальной входной частоты. Для более высоких частот прибор отображает среднее значение периода, получаемое в измерениях длительностью 4 или 8 мкс. Таким образом, для более высоких частот фактической функцией является непрерывное измерение среднего периода.

Основной целью этой функции является проведение непрерывных измерений относительно длительных периодов без потери единичных периодов в процессе обработки результатов. Типичный пример — временная развертка выходного сигнала 1 имп./с от приемников GPS.

Среднее значение (входы А и В)

Путь по меню: **Meas > Period > Average** (Измерение > Период > Средний).

Прибор измеряет среднее значение периода сигнала. Это измерение обеспечивает более высокое разрешение измеряемых данных, чем измерение параметров единичного периода.

Частота

Частота (входы А, В), непрерывные измерения (только для приборов серии FCA3100)

Путь по меню: **Meas > Freq > Single Back to Back** (Измерение > Частота > Единичные непрерывные измерения).

Для проведения последовательных измерений частоты без использования мертвого времени используются отметки времени.

Эта функция является обратной по отношению к функции непрерывного измерения периода. В режиме Analyze (Анализ) время измерения используется для пошаговой расстановки отметок времени. В данном случае параметр разбивки по времени не используется.

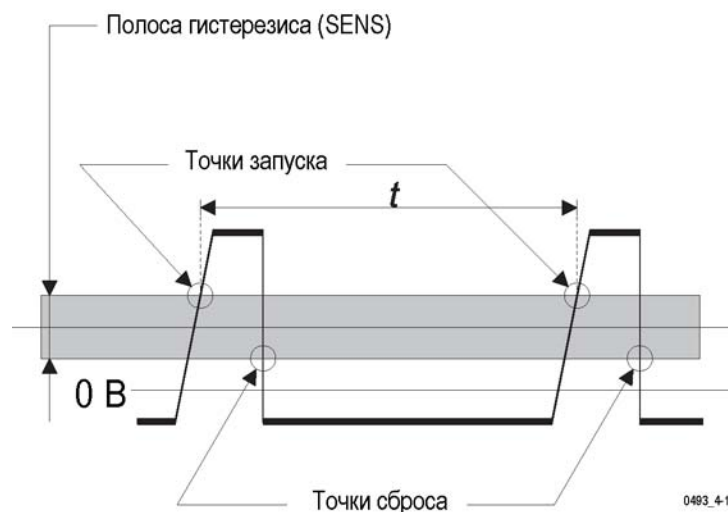
Последовательные измерения средней частоты без использования мертвого времени выполняются для расчета отклонения Аллана. Такие статистические измерения широко применяются производителями генераторов колебаний для описания кратковременной устойчивости.

Измерения времени

Введение

Измерение времени между состояниями пуска и останова на двух отдельных каналах являются основой всех измерений временных интервалов. В дополнение к функции **Time Interval A to B** (Временной интервал между А и В) счетчики предлагают другую комбинацию каналов и производных функций — **Pulse Width** (Ширина импульса) и **Rise/Fall Time** (Время нарастания/спада).

Время измеряется между точкой синхронизации и точкой сброса. Проведение точных измерений возможно только при узкой полосе гистерезиса.



Синхронизация и измерение времени

Заданный уровень синхронизации и крутизна фронта сигнала определяют начало и конец синхронизации. В режиме **Auto** (Авто) прибор устанавливает уровень синхронизации в 50 % от амплитуды сигнала, что является идеальным для большинства временных измерений.

Сводка условий, обеспечивающих надежные измерения времени.

- Функция **Auto Once** (Авто, однократно), или установка уровней синхронизации, определяемых в разделе **Auto Trig** (Автоматическая синхронизация), обычно являются наилучшим выбором при проведении временных измерений. Нажмите **Man Trig** (Ручная синхронизация), затем один раз нажмите кнопку **Auto Set** (Автоустановка).
- Связь по **постоянному току**.

- Ослабление **1x**. Выбирается автоматически, если кнопка **Auto Set** (Автоустановка) была нажата до установки уровней синхронизации.
- Высокий уровень сигнала.
- Крутые фронты сигнала.

Даже несмотря на то, что входные усилители обладают высокой чувствительностью, полоса гистерезиса имеет конечное значение, являющееся источником небольшой ошибки синхронизации в случае сигналов с различным временем нарастания и спада, например, сигнала с асимметричными импульсами наподобие тех, что изображены на предыдущем рисунке. Эта ошибка синхронизации устраняется компенсацией гистерезиса, которая фактически смещает точки синхронизации на половину ширины полосы гистерезиса.

Временной интервал

Путь по меню: **Meas > Time > Time Interval** (Измерение > Время > Временной интервал).

Режим **Time Interval** (Временной интервал) позволяет выполнять измерение времени нарастания и спада между указанными уровнями синхронизации.

Для установки фронта сигнала, на котором должно начинаться и заканчиваться измерение, используйте кнопку **Input A/B > Slope** (Вход A/B > Крутизна) (помечена символом фронта с положительной или отрицательной крутизной).

- Временной интервал между A и B: Прибор измеряет время между условием пуска на входе A и условием останова на входе B.
- Временной интервал между B и A: Прибор измеряет время между условием пуска на входе B и условием останова на входе A.
- Временной интервал между A и A, B и B Если один и тот же (общий) источник сигнала используется для событий синхронизации как пуска, так и останова, подайте сигнал и на вход A, и на вход B.

Время нарастания/спада A/B

Путь по меню: **Meas > Time > Rise Time** (Измерение > Время > Время нарастания), **Meas > Time > Fall Time** (Измерение > Время > Время спада).

Принято измерения времени нарастания/спада проводить от момента, когда сигнал прошел 10 % своей амплитуды, до момента, когда он прошел 90 % своей амплитуды.



Прибор вычисляет и устанавливает уровни синхронизации. Время нарастания и спада может измеряться как на входе А, так и на входе В.

Также измеряются и другие параметры — крутизна сигнала (В/с), V_{\max} и V_{\min} .

Для логических схем с эмиттерными связями опорные уровни составляют 20 % (пуск) и 80 % (останов). В этом случае можно использовать один из двух методов установки опорных значений:

1. Выберите описанную выше общую функцию *Time Interval* (Временной интервал) и вручную установите уровни синхронизации, предварительно рассчитав их на основе абсолютных пиковых значений. Затем можно воспользоваться дополнительными параметрами V_{\max} и V_{\min} . Для измерений, выполняемых на входе А, используйте следующие настройки:

Время нарастания:

$$\text{Уровень синхронизации А} = V_{\min} + 0,2 (V_{\max} - V_{\min})$$

$$\text{Уровень синхронизации В} = V_{\min} + 0,8 (V_{\max} - V_{\min})$$

Время спада:

$$\text{Уровень синхронизации А} = V_{\min} + 0,8 (V_{\max} - V_{\min})$$

$$\text{Уровень синхронизации В} = V_{\min} + 0,2 (V_{\max} - V_{\min})$$

2. Выберите один из выделенных вариантов измерения времени нарастания/спада и вручную откорректируйте относительные уровни синхронизации (в %) в режиме Auto Trigger (Автоматическая синхронизация). Для ввода уровней синхронизации используйте оба меню входных каналов, даже если сигнал подается только на один канал.

На результат измерения могут также повлиять выбросы и паразитные колебания. (См. стр. 58, *Автоматическая синхронизация*.)

Погрешность временного интервала (Time Interval Error, TIE) (только для приборов серии FCA3100)

Путь по меню: **Meas > Time > TIE** (Измерение > Время > Погрешность временного интервала).

При измерении TIE используется непрерывная маркировка времени с целью наблюдения медленных фазовых смещений (дрейфа) в номинально устойчивых сигналах в течение длительных периодов времени. Типичное приложение — мониторинг распределенных тактовых сигналов ФАПЧ в системах с синхронной передачей данных.

Измерения TIE применимы только к тактовым сигналам, но не к сигналам передачи данных.

Частота сигнала, подлежащего проверке, может быть установлена вручную или автоматически. В режиме **Auto** (Авто) частота определяется по первым двум выборкам. Это значение округляется до четырех значащих цифр (например, 2,048 МГц) и при поступлении соответствующего запроса выводится на шину. Оно также отображается как результат дополнительного измерения в режиме **Value** (Значение).

TIE измеряется как временной интервал между входным сигналом и тактовым сигналом внутреннего или внешнего опорного генератора. Эти сигналы не являются синфазными, поэтому независимо от фактического значения временного интервала при запуске измерения результат в момент времени $t = 0$ в математическом смысле обнуляется. Графическое представление в режиме **Analyze** (Анализ) начинается в точке начала координат.

Ширина импульса A/B

Путь по меню: **Meas > Pulse > Width Positive** (Измерение > Импульс > Ширина положительной части), **Meas > Pulse > Width Negative** (Измерение > Импульс > Ширина отрицательной части).

Для измерений могут использоваться и вход А, и вход В, причем может быть измерена ширина как положительной, так и отрицательной части импульса.

- Ширина положительной части импульса представляет собой время между нарастающим фронтом и следующим нисходящим фронтом.
- Ширина отрицательной части импульса представляет собой время между нисходящим фронтом и следующим нарастающим фронтом.

Выбранная крутизна фронта является пусковой. Для прекращения синхронизации прибор автоматически выбирает крутизну противоположной полярности.

Коэффициент заполнения A/B

Путь по меню: **Meas > Pulse > Duty Factor Positive** (Измерение > Импульс > Коэффициент заполнения положительной части), **Meas > Pulse > Duty Factor Negative** (Измерение > Импульс > Коэффициент заполнения отрицательной части).

Коэффициент заполнения (или скважность) — это отношение ширины импульса к периоду времени:

$$Duty\ factor = \frac{Pulse\ width}{Period}$$

Прибор определяет это соотношение за один проход путем проведения трех измерений с отметками времени (два последовательных запуска по нарастающему и один запуск по ниспадающему фронту на входе А, если выбранной функцией измерения является Duty Factor Positive (Коэффициент заполнения положительной части) на входе А).

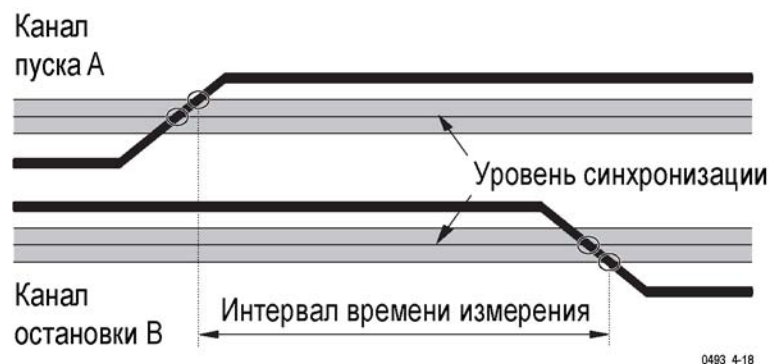
Для проведения измерений коэффициентов заполнения как положительной, так и отрицательной частей импульса, можно использовать и вход А, и вход В. Прибор выводит также на экран результаты измерений периода и ширины импульса.

ПРИМЕЧАНИЕ. Полное время измерения по сравнению с единичным измерением утраивается, поскольку измерение выполняется в три шага.

Погрешности временных измерений

Гистерезис

Гистерезис синхронизации может являться источником погрешностей временного измерения. Как показано на следующем рисунке, синхронизация временного измерения происходит в момент, когда входной сигнал пересекает всю полосу гистерезиса, а не ее половину:



Ширина полосы гистерезиса составляет примерно 20 мВ при ослаблении 1х и 200 мВ при ослаблении 10х.

Для поддержания погрешности синхронизации гистерезиса на низком уровне рекомендуется по возможности устанавливать аттенюатор в положение **1x**. Ослабление 10x используйте только тогда, когда входные сигналы обладают исключительно большими амплитудами, или когда необходимо устанавливать уровни синхронизации выше 5 В.

Превышение уровня синхронизации и закругление импульса

Дополнительные ошибки синхронизации могут быть вызваны синхронизацией при недостаточном превышении сигналом уровня синхронизации. Когда синхронизация происходит слишком близко к максимальному напряжению импульса, на неопределенность измерения могут повлиять два фактора: превышение уровня синхронизации и закругление.



Превышение уровня синхронизации. Когда входной сигнал пересекает полосу гистерезиса, лишь незначительно превышая ее, синхронизация может произойти на какие-нибудь 100 пс позднее, чем обычно. Заявленная для наихудшего случая систематическая погрешность синхронизации 500 пс включает в себя эту составляющую. Для минимизации этой погрешности следите, чтобы уровень синхронизации входного сигнала имел разумный запас на превышение.

Закругление импульса. Очень короткие импульсы могут иметь недостатки, связанные с закруглением импульса, выбросами или другими искажениями. Закругление импульса может приводить к существенным ошибкам синхронизации при измерениях параметров сигналов в быстродействующих цепях.

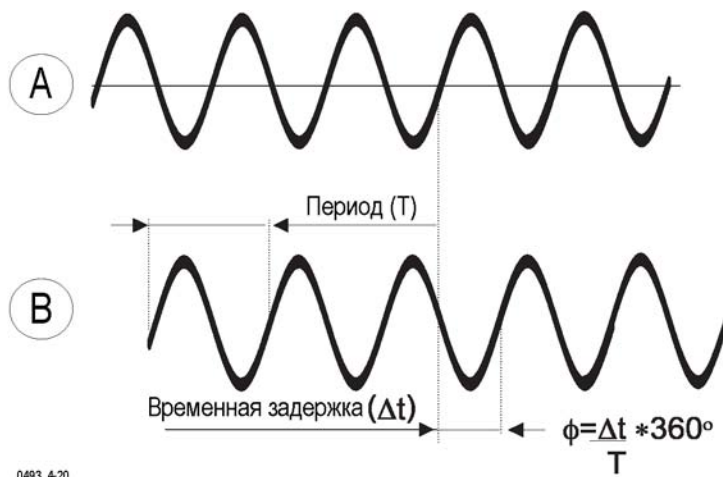
Автоматическая синхронизация

Применение автоматической синхронизации очень эффективно при измерении параметров неизвестных сигналов. Однако выбросы и паразитные колебания могут спровоцировать функцию автоматической синхронизации на выбор не совсем правильных минимального и максимального уровней сигнала. Это не влияет на измерение таких параметров, как частота, но может неблагоприятно повлиять на измерение продолжительности переходных процессов. Поэтому, работая с известными сигналами, такими, как сигналы логических схем, следует устанавливать уровни синхронизации вручную.

Всегда используйте ручные уровни синхронизации, если частота следования импульсов сигнала падает ниже уровня 100 Гц (по умолчанию) или ниже предельного низкочастотного уровня, заданного путем ввода соответствующего значения в диапазоне между 1 Гц и 50 кГц в меню автоматической синхронизации при низкой частоте **Settings > Misc > Auto Trig Low Freq** (Настройки > Прочее > Низкочастотная автосинхронизация).

Измерения фазы

Фаза — это временной интервал между двумя сигналами одной и той же частоты, выраженный в угловых градусах.



Традиционный метод измерения задержки по фазе при помощи таймера/прибора представляет собой двухступенчатый процесс, состоящий из двух последовательных измерений: измерения периода и сразу же следующего за ним измерения временного интервала. После этого выполняется математический расчет задержки по фазе:

$$\frac{360^\circ \times (\text{Time Interval } A-B)}{\text{Period}}$$

или иначе:

$$\text{Phase } A-B = 360^\circ \times \text{Time Delay} \times \text{Freq}$$

В приборах серий FCA3000, FCA3100 и MCA3000 используется более сложный метод определения фазы. Оба измерения выполняются за один проход одновременно с установкой отметок времени. Двух последовательных отметок времени для событий синхронизации на входах А и В достаточно для расчета сдвига по фазе и соотношения фаз сигналов.

Разрешение

Измерение фаз можно осуществлять на сигналах с частотой до 160 МГц. Разрешение измерения зависит от частоты. Для частот ниже 100 кГц разрешение составляет $0,001^\circ$, а для частот выше 10 МГц — 1° . Разрешение фазовых измерений может быть улучшено при помощи встроенных статистических функций усреднения результатов этих измерений.

Возможные ошибки

Фаза может быть измерена у входного сигнала с частотой до 160 МГц. Однако при таких очень высоких частотах разрешение по фазе снижается до:

$$100 \text{ ps} \times 360^\circ \times \text{FREQ}$$

Погрешности

Погрешность измерения сдвига фаз сигналов А и В зависит от ряда внешних параметров:

- Частота входного сигнала
- Максимальная амплитуда и крутизна сигналов на входах А и В
- Отношение «сигнал/шум» для входного сигнала

Важны также некоторые внутренние параметры прибора:

- Внутренняя временная задержка между трактами передачи сигналов входов А и В
- Различие окон гистерезиса входов А и В

Существует два типа погрешностей измерения фазы: случайные погрешности и систематические погрешности. Случайные погрешности связаны с величиной разрешения (дискретизацией) и ошибочной синхронизацией по шумовому сигналу. Систематические погрешности определяются погрешностями «разницы задержки между каналами» и «синхронизации по уровням синхронизации». Для данных входных сигналов систематические погрешности постоянны, и в общем их можно компенсировать в контроллере (GPIB-системы) или локально при помощи меню **Math/Limit** (Математические функции/Предел) (ручное управление) после проведения калибровочных измерений. (См. стр. 64, *Методы компенсации*.)

Случайные погрешности при измерениях фазы. Алгоритм вычисления погрешности дискретизации фазы:

$$100 \text{ ps} \times 360^\circ \times \text{FREQ}$$

Например, погрешность дискретизации для входного сигнала с частотой 1 МГц:

$$100 \text{ ps} \times 360^\circ \times (1 \times 10^6) \approx 0,04^\circ$$

Погрешность синхронизации по шуму состоит из погрешностей синхронизации *пуска* и *останова*, которые следует учитывать. Для синусоидальных входных сигналов каждая из погрешностей равна:

$$\frac{360^\circ}{2\pi \times s/n \text{ ratio}}$$

Воспользовавшись приведенным выше примером, добавим некоторый шумовой сигнал, так чтобы отношение «сигнал/шум» составляло 40 дБ. Это будет соответствовать амплитудному коэффициенту 100 (и мощностному коэффициенту 10 000). Тогда синхронизация по шуму внесет в случайную погрешность следующий вклад:

$$\frac{360^\circ}{2\pi \times 100} \approx 0.6^\circ$$

Сумма случайных погрешностей получается не обычным линейным сложением, а вычисляется как среднеквадратичная сумма составляющих ее погрешностей вследствие случайной природы их происхождения. В частности, для вышеприведенных примеров:

Случайная погрешность

$$\text{Random error} = \sqrt{\text{quant. err.}^2 + \text{start trg.err}^2 + \text{stop trg.err}^2}$$

Таким образом полная случайная погрешность равна:

$$\sqrt{0.04^2 + 0.6^2 + 0.6^2} \approx 0.85^\circ \text{ (single shot)}$$

А как насчет случайных погрешностей, вызываемых шумом внутреннего усилителя? Обычно вклад внутреннего шума пренебрежимо мал. Погрешность измерения фазы, вызванная наложением шума на полезный сигнал, будь то внутренний или внешний шум, составляет:

$$\frac{360^\circ}{2\pi \times s/n \text{ ratio}}$$

При входном сигнале величиной 250 мВ_{rms} и типичном внутреннем шуме величиной 250 мкВ_{rms} отношение «сигнал/шум» составляет не менее 60 дБ (коэффициент 1 000). Это приводит к наихудшей погрешности 0,06°.

Увеличение величины входного сигнала до 1,5 В_{rms} снижает эту погрешность до 0,01°.

Другой способ снижения случайных погрешностей состоит в использовании статистических функций прибора и расчета среднего значения на базе нескольких выборок.

Систематические погрешности при измерениях фазы. Систематические погрешности состоят из следующих составляющих:

- Разница задержки распространения между каналами.
- Погрешности синхронизации по уровням синхронизации (пуск, стоп) из-за их неопределенности.

Разница задержки распространения сигнала между каналами в идентичных условиях синхронизации, как правило, составляет 500 пс для обоих входных каналов. Поэтому соответствующий сдвиг фаз составляет:

$$<0,5 \text{ ns} \times 360^\circ \times \text{FREQ}$$

В следующей таблице приводятся фазовые сдвиги, вызванные разницей задержки распространения сигнала между каналами в зависимости от частоты сигнала:

Частота	Погрешность фазы, градусы
160 МГц	28,8°
100 МГц	18,0°
10 МГц	1,8°
1 МГц	0,18°
100 кГц	0,018°
10 кГц и ниже	0,002°

Погрешность синхронизации по уровню синхронизации зависит от следующих факторов:

- Фактическая точка синхронизации не совпадает с нулем из-за неопределенности ЦАП уровня синхронизации и погрешности смещения компаратора.
- Два сигнала имеют различную крутизну в момент прохождения через нуль.

У каждого прибора имеется входной гистерезис. Это необходимо для предотвращения ошибочной синхронизации входов по шумовому сигналу. Ширина полосы гистерезиса определяет максимальную чувствительность прибора. Она примерно составляет 30 мВ, так что при установке уровня синхронизации 0 В фактическая точка синхронизации, как правило, бывает равна +15 мВ, а точка восстановления –15 мВ. Этот тип погрешности синхронизации исключается при помощи компенсации гистерезиса.

Компенсация гистерезиса означает возможность микрокомпьютера смещать уровень синхронизации, так чтобы фактическая синхронизация (после смещения) соответствовала установленному уровню синхронизации (до смещения). Эта общая компенсация гистерезиса действительна для измерений фазы, временного интервала и времени нарастания/спада. Существует некоторая остаточная неопределенность величиной в несколько мВ, а также некоторый температурный дрейф точки синхронизации.

Номинальная точка синхронизации равна 0 В с неопределенностью ± 10 мВ.

Сигнал в виде синусоидальной волны, выраженной соотношением:

$$V(t) = V_p \times \sin(2\pi ft)$$

вблизи точки пересечения нуля имеет скорость нарастания $\frac{\Delta V}{\Delta t}$, равную $V_p \times 2\pi f$. Это дает систематическую погрешность времени при пересечении 10 мВ, а не 0 мВ.

$$\frac{10 \text{ mV}}{(V_p \times 2\pi \times \text{FREQ})}$$

Соответствующие погрешности фаз в градусах приведены в следующей таблице:

Частота	Погрешность фазы, градусы
160 МГц	28,8°
100 МГц	18,0°
10 МГц	1,8°
1 МГц	0,18°
100 кГц	0,018°
10 кГц и ниже	0,002°

$$\frac{10 \text{ mV} \times 360^\circ \times \text{FREQ}}{V_p \times 2\pi \times \text{FREQ}}$$

которая может быть снижена до:

$$\frac{0,6}{V_p} \text{ (in}^\circ \text{)}$$

Эта погрешность может иметь место на обоих входах, поэтому в худшем случае систематическая погрешность будет равна:

$$\frac{0,6}{V_p (A)} + \frac{0,6}{V_p (B)} \text{ (in}^\circ \text{)}$$

Методы компенсации. Приведенные выше расчеты показывают типичные неопределенности составляющих суммарной систематической погрешности определения фазы. Для данного набора входных сигналов эту погрешность в большей или меньшей степени можно компенсировать, проводя калибровочные измерения. В зависимости от приемлемости остаточной погрешности можно использовать описанные ниже методы. Первый метод очень прост, но в нем не учитывается разница задержки распространения сигнала между каналами. Второй учитывает все систематические погрешности, если его тщательно реализовывать, но зачастую это не имеет практического смысла.

Калибровочные измерения первым методом.

1. Подайте тестовые сигналы на входы А и В.
2. Выберите функцию **Phase A rel A** (Фаза А отн. А) для определения исходной погрешности.

3. Воспользуйтесь меню **Math/Limit** (Математические функции/Предел) для ввода этого значения в качестве константы **L** формулы $K \cdot X + L$ нажатием X_0 и измените знак.
4. Результат текущего измерения (X_0) вычитается из результатов последующих измерений фазы, выполненных с использованием функции **Phase A rel B** (Фаза А отн. В). Существенная часть систематических погрешностей измерения фазы, таким образом, будет исключена. Следует отметить, что эту калибровку необходимо повторить в случае изменения частоты или амплитуды сигнала.

Калибровочные измерения вторым методом.

1. Подайте один из исследуемых сигналов на оба входа — А и В, используя делитель мощности с сопротивлением 50 Ом или тройник BNC, в зависимости от сопротивления источника. Проследите, чтобы длины кабелей между делителем мощности/тройником и входами прибора были равны.
2. Выберите функцию **Phase A rel B** (Фаза А отн. В) и снимите показание прибора.
3. Введите это значение в качестве поправочного коэффициента точно так же, как это было сделано в описанном выше первом методе.
4. Для минимизации погрешностей поддерживайте амплитуду входного сигнала на постоянном уровне — это позволит минимизировать расхождение между калибровкой и измерением.
5. На этот метод накладываются те же самые ограничения по частоте и амплитуде, что и на первый метод. Каждый раз, когда изменяется частота или амплитуда сигнала, следует повторять калибровочное измерение.

Общие настройки для входов, принимающих сигналы:

Крутизна	Полож. или Отриц.
Связь	По переменному току
Сопротивление	1 МОм или 50 Ом в зависимости от источника и частоты
Синхронизация	Ручная
Уровень синхронизации	0 В
Фильтр	Выключен

Остаточная систематическая погрешность. Математическим (за рабочим столом или при помощи контроллера) введением поправок на базе одного из упомянутых выше методов систематическую погрешность удастся снизить, но не полностью ее исключить. Остаточная погрешность задержки времени скорее всего окажется пренебрежимо малой, однако погрешность уровня синхронизации всегда будет сохраняться, особенно, если температурные условия не будут оставаться неизменными.

Суммирование (только для приборов серии FCA3100)

Путь по меню: **Meas > Totalize** (Измерение > Суммирование).

Функции **Totalize** (Суммирование) суммируют число событий синхронизации по двум входам прибора — А и В. Предусмотрено пять функций суммирования.

В дополнение к ручному управлению областью интересов путем переключения функции **Hold/Run** (Задержка/Пуск) (функция ручного суммирования) можно также открывать и закрывать область интересов, используя средства подготовки синхронизации в разделе **Settings** (Настройки). Ниже приведено описание различных функций.

Пока область интересов открыта, содержимое дисплея постоянно обновляется. События накапливаются в течение ряда следующих друг за другом открытых периодов, пока не будет дана команда **Restart** (Перезапуск).

ПРИМЕЧАНИЕ. Ручные функции суммирования не могут использоваться совместно со статистическими функциями или такими параметрами, как блок и разбивка по времени.

*Автоматическая синхронизация для режима суммирования нормальным образом не работает. Перед пуском измерения с суммированием для расчета и однократной установки подходящих уровней синхронизации выполняется операция **Auto Once** (Авто, однократно).*

Totalize A (Суммирование А)

Это измерение позволяет суммировать (сосчитать) число событий синхронизации на входе А. Дополнительно рассчитываются параметры **А-В** и **А/В**. Управление пуском/остановом осуществляется вручную путем переключения кнопки **Hold/Run** (Задержка/Пуск), а счетчики сбрасываются нажатием кнопки **Restart** (Перезапуск).

Totalize B (Суммирование В)

Это измерение позволяет суммировать (сосчитать) число событий синхронизации на входе В. Дополнительно рассчитываются параметры **А-В** и **А/В**. Управление пуском/остановом осуществляется вручную путем переключения кнопки **Hold/Run** (Задержка/Пуск), а счетчики сбрасываются нажатием кнопки **Restart** (Перезапуск).

Totalize A+B (Суммирование А+В)

Это измерение позволяет рассчитать сумму событий синхронизации на входах А и В. Дополнительные параметры — **А** и **В**. Управление пуском/остановом осуществляется вручную путем переключения кнопки **Hold/Run** (Задержка/Пуск), а счетчики сбрасываются нажатием кнопки **Restart** (Перезапуск).

Totalize A–B
(Суммирование A–B)

Это измерение позволяет рассчитать разность событий синхронизации на входах А и В. Дополнительные параметры — А и В. Управление пуском/остановом осуществляется вручную путем переключения кнопки **Hold/Run** (Задержка/Пуск), а счетчики сбрасываются нажатием кнопки **Restart** (Перезапуск).

Функция **TOT A–B MAN** (Суммирование A–B вручную) позволяет, например, проводить дифференциальные измерения потока в системах управления.

Пример. Число машин на стоянке равно числу машин, въезжающих (А) на стоянку, минус число машин, выезжающих (В) с нее.

Totalize A/B
(Суммирование A/B)

Это измерение позволяет рассчитать отношение событий синхронизации на входах А и В. Дополнительные параметры — А и В. Управление пуском/остановом осуществляется вручную путем переключения кнопки **Hold/Run** (Задержка/Пуск), а счетчики сбрасываются нажатием кнопки **Restart** (Перезапуск).

Totalize and Arming
(Суммирование и подготовка синхронизации)

Совместное использование функций **Arming** (Подготовка синхронизации) и **Totalize** (Суммирование) позволяет открывать и закрывать область интересов при помощи подачи внешнего сигнала в один из каналов А, В или Е. Таким способом путем выбора канала, крутизны и времени задержки для пуска/останова можно получить доступ к функциям типа **TOT A Start/Stop by B** (Сумм. А, пуск/стоп по В), **TOT A-B Gated by E** (Сумм. А–В, стробир. по Е) и **TOT B Timed by A** (Сумм. В, синхрон. по А).

В отличие от ручных функций **Totalize** (Суммирование) функции подготовленного суммирования позволяют осуществлять управление блоком и разбивкой по времени. Таким образом, все функции *Statistics* (Статистика) являются доступными. После выполнения каждого условия останова отображается новый результат измерения.

ПРИМЕЧАНИЕ. В случае задания условия подготовки пуска, необходимо задать также условие подготовки останова на входах А, В, Е или Time (Время).

Примеры. Параметры подготовки синхронизации находятся в меню **Settings > Arm** (Настройки > Подготовка синхронизации).

Для установки вышеупомянутых функций **Totalize** (Суммирование), выполните следующие действия:

Totalize A, Start/Stop by B (Суммирование А, Пуск/Стоп по В).

1. Выберите пункт **Totalize** (Суммирование) в меню **Meas** (Измерение), затем выберите **A**.
2. Подайте измеряемый сигнал на вход **A**.
3. Вручную установите подходящее значение уровня синхронизации для входа **A**.
4. Подайте управляющий сигнал на вход **B**.
5. Вручную установите подходящее значение уровня синхронизации для входа **B**.
6. Нажмите **Settings > Arm** (Настройки > Подготовка) и задайте следующие параметры:
 - *Arm on Sample/Block* (Подготовка выборки/блока): Решите, каждое ли событие или каждый ли блок событий (режим **Analysis** (Анализ)) должны быть подготовлены.
 - *Start Channel* (Канал пуска): Выберите **B**.
 - *Start Slope* (Крутизна пуска): Выберите положительную крутизну (отмечена символом нарастающего фронта).
 - *Start Delay* (Задержка пуска): Решите, нужно ли вводить задержку (10 нс — 2 с) между управляющим сигналом и моментом фактического открытия области интересов.
 - *Stop Delay* (Задержка останова): Решите, нужно ли вводить задержку (10 нс — 2 с), в течение которой область интересов не будет откликаться на управляющий сигнал на канале останова. Главная область применения состоит в том, чтобы предотвратить отскакивание контактов реле, вследствие которого происходит преждевременное закрытие области интересов.
 - *Stop Channel* (Канал останова): Выберите **B**.
 - *Stop Slope* (Крутизна останова): Выберите положительную крутизну (отмечена символом нарастающего фронта).

Totalize A-B gated by E (Суммирование А-В, синхронизация по Е).

1. Нажмите **Meas > Totalize > A-B** (Измерение > Суммирование > А-В).
2. Подайте измеряемые сигналы на входы **A** и **B**.
3. Вручную установите подходящие значения уровней синхронизации для входов **A** и **B**.

4. Подайте управляющий сигнал (уровни ТТЛ) на вход E.
5. Нажмите **Settings** > **Arm** (Настройки > Подготовка) и задайте следующие параметры:
 - *Arm on Sample/Block* (Подготовка выборки/блока): Решите, каждое ли событие или каждый ли блок событий (режим STATISTICS (СТАТИСТИКА)) должны быть подготовлены.
 - *Start Channel* (Канал пуска): Выберите E.
 - *Start Slope* (Крутизна пуска): Выберите положительную крутизну (отмечена символом нарастающего фронта).
 - *Start Delay* (Задержка пуска): Решите, нужно ли вводить задержку (10 нс — 2 с) между управляющим сигналом и моментом фактического открытия области интересов.
 - *Stop Delay* (Задержка останова): Решите, нужно ли вводить задержку (10 нс — 2 с), в течение которой область интересов не будет откликаться на управляющий сигнал на канале останова. Главная область применения состоит в том, чтобы предотвратить отскакивание контактов реле, вследствие которого происходит преждевременное закрытие области интересов.
 - *Stop Channel* (Канал останова): Выберите E.
 - *Stop Slope* (Крутизна останова): Выберите отрицательную крутизну (отмечена символом ниспадающего фронта).

Totalize B timed by A (Суммирование B, синхронизация по A). При помощи этой функции можно синхронизировать пуск точного времени счета по внешнему событию.

1. Нажмите **Meas** > **Totalize** > **B** (Измерение > Суммирование > B).
2. Подайте измеряемый сигнал на вход B.
3. Вручную установите подходящее значение уровня синхронизации для входа B.
4. Подайте управляющий сигнал на вход A.
5. Вручную установите подходящее значение уровня синхронизации для входа A.
6. Нажмите **Settings** > **Arm** (Настройки > Подготовка) и задайте следующие параметры:
 - *Arm on Sample/Block* (Подготовка выборки/блока): Решите, каждое ли событие или каждый ли блок событий (режим STATISTICS (СТАТИСТИКА)) должны быть подготовлены.
 - *Start Channel* (Канал пуска): Выберите A.

Измерения фазы

- *Start Slope* (Крутизна пуска): Выберите положительную крутизну (отмечена символом нарастающего фронта).
- *Start Delay* (Задержка пуска): Решите, нужно ли вводить задержку (10 нс — 2 с) между управляющим сигналом и моментом фактического открытия области интересов.
- *Stop Delay* (Задержка останова): Задайте время измерения в диапазоне между 10 нс и 2 с.
- *Stop Channel* (Канал останова): Выберите **Time** (Время).

Измерения напряжения

V_{MAX} , V_{MIN} и V_{PP}

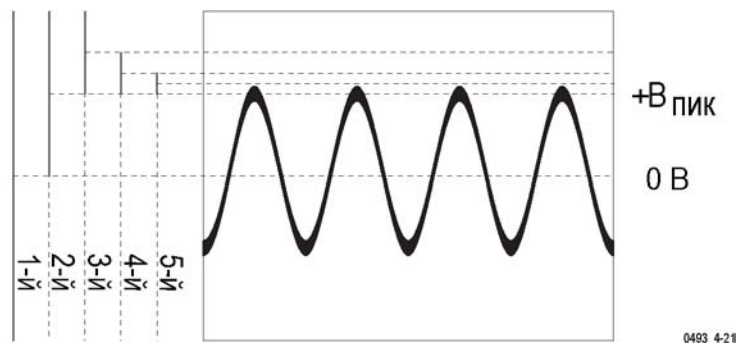
Прибор позволяет выполнять измерения уровней входного напряжения V_{MAX} , V_{MIN} , и V_{PP} на сигналах входного напряжения постоянного тока (от -50 до 50 В в двух автоматически выбираемых диапазонах) и на периодических сигналах в диапазоне частот между 1 Гц и 300 МГц. Погрешность измерения составляет около 1% от измеряемого значения.

Нажмите **Meas > Volt** (Измерение > Напряжение), чтобы открыть меню управления измерением напряжения.

По умолчанию низкочастотная граница составляет 20 Гц, но при помощи меню **Settings > Misc** (Настройки > Прочее) можно ее изменить, и устанавливать в диапазоне от 1 Гц до 50 кГц. Чем выше низкочастотная граница, тем быстрее выполняются измерения.

При выборе измерения напряжения результаты измерения отображаются крупными цифрами с высоким разрешением. Результаты других измерений отображаются в нижней части дисплея при помощи более мелких букв и цифр.

Измерения напряжения определяются последовательностью настроек уровня синхронизации и уточнением момента запуска прибора.



V_{RMS}

Когда форма входного сигнала известна (синусоидальная, треугольная, квадратная), ее коэффициент амплитуды, определяемый, как отношение (Q_{CF}) пикового значения (V_p) к среднеквадратичному (V_{rms}), может использоваться для задания константы K в математической функции $K * X + L$. На дисплее отображается фактическое значение V_{rms} входного сигнала в предположении, что основным параметром является V_{pp} .

$$V_{rms} = \frac{1}{2Q_{cf}} V_{pp}$$

Например, амплитудный коэффициент синусоидальной волны равен 1,414 ($\sqrt{2}$), поэтому значение константы в этой формуле для данного случая составит 0,354. Чтобы установить ее:

1. Нажмите **Math/Limit** > **Math** > **Math(Off)** > **K*X+L** (Математические функции/Предел > Математические функции > Математические функции (Выкл.) > K*X+L).
2. Нажмите **K** и введите **0,354**.
3. Убедитесь, что значение константы **L** по умолчанию установлено на **0** (ноль).
4. Подтвердите сделанный выбор при помощи функциональных клавиш меню под дисплеем и выйдите из меню.

Если вход имеет связь по переменному току и выбран параметр V_{pp} , дисплей отображает среднеквадратичное значение любого синусоидального входного сигнала.

Если синусоидальный сигнал накладывается на напряжение постоянного тока, среднеквадратичное значение определяется, как:

$$0,354 * V_{pp} + V_{DC}$$

Если значение V_{DC} неизвестно, его можно определить как:

$$V_{rms} = \frac{V_{MAX} - V_{MIN}}{2}$$

Для отображения среднеквадратичного значения синусоидальной волны, наложенной на сигнал напряжения постоянного тока, см. пример, приведенный выше, но при этом задайте константу $L = V_{DC}$.

Измерения с математической и статистической обработкой

В приборах предусмотрены функции усреднения, математической и статистической обработки результатов измерений. Их можно использовать как в отдельности, так и совместно.

Усреднение

При измерении величин **Frequency** (Частота) и **Period Average** (Усредненный период) для получения усредненных результатов используются аппаратные средства (подсчет синхроимпульсов ведется в течение нескольких полных циклов входного сигнала) Во всех остальных измерениях усреднение измеряемых величин осуществляется программным образом. Для отображения усредненных результатов всех измерений, кроме измерений **Frequency** (Частота) и **Period Average** (Усредненный период), используйте статистический режим **Numerical** (Цифровой).

Для установки времени измерения используйте пункты меню **Settings > Meas Time** (Настройки > Время измерения) (диапазон 20 нс — 1 000 с, разрешение — 20 нс, значение по умолчанию — 200 мс). Увеличение времени измерения позволяет отобразить больше цифр (получить более высокое разрешение), но при этом выполнить меньшее число измерений в секунду. Функция **Meas Time** (Время измерения) применима только для измерений типа **Frequency** (Частота) и **Period Average** (Усредненный период).

Настройка **Meas Time** (Время измерения) по умолчанию предусматривает отображение 11 цифр и обеспечивает четыре — пять измерений в секунду.

ПРИМЕЧАНИЕ. Для того, чтобы быстро выбрать наименьшее время измерения (20 нс), введите 0. Прибор автоматически выберет время измерения 20 нс.

Математическая обработка

В приборе запрограммировано пять стандартных математических выражений для обработки результатов измерения перед их выводом на экран. Эти выражения:

- $K * X + L$
- $K / X + L$
- $(K * X + L) / M$

- $(K/X+L)/M$
- $X/M-1$

Они содержатся в подменю **Math/Limit > Math** (Математические функции/Предел > Математические функции).

X — результат измерения. По умолчанию значения K , L и M выбираются таким образом, чтобы не влиять на результат измерения сразу после активации пункта **Math** (Математические функции). Эти значения также восстанавливаются при вызове заводских настроек по умолчанию.

Например, для измерения отклонения от определенной исходной частоты (вместо измерения самой частоты) выполните следующие действия:

1. Вызовите настройки по умолчанию нажатием **User Opt > Save/Recall > Recall Setup > Default** (Опции пользователя > Сохранить/Загрузить > Загрузить настройку > По умолчанию).
2. Подайте измеряемый сигнал на вход **Input A** (Вход А).
3. Нажмите **Auto Set** (Автоустановка), чтобы прибор сам определил оптимальные условия синхронизации.
4. Нажмите **Math/Limit > Math > L** (Математические функции/Предел > Математические функции > L).
5. Значение L можно задать одним из двух возможных способов:
 - Если значение текущего измерения соответствует предъявляемым требованиям, нажмите X_0 , чтобы сообщить его константе L . Можно неоднократно нажимать X_0 до тех пор, пока не установится требуемое значение.
 - Введите численное значение вручную с клавиатуры.
6. Нажмите **Save|Exit** (Сохранить|Выход) для подтверждения и сохранения этого значения.
7. Нажмите **Math** (Математические функции) и выберите выражение **$K*X+L$** . На дисплее отобразится отклонение от введенного значения.

Для масштабирования результата измерения используйте константу K .

Если требуется получить относительное отклонение, используйте выражение **$X/M-1$** .

Статистика

Статистические функции могут использоваться для всех измерений или только для результатов математической обработки измерений. Доступ к результату статистического анализа осуществляется нажатием кнопки Analyze (Анализ).

Отображаемая на дисплее статистическая информация:

- Max (Макс.): Максимальное значение в пределах совокупности выборки из N x_i значений.
- Min (Мин.): Минимальное значение в пределах совокупности выборки из N x_i значений.
- P-P (Размах): Наибольшая разность показаний прибора в пределах совокупности выборки из N x_i значений.
- MEAN (Среднее) (как часть основного результата измерения): Арифметическое среднее значение (\bar{x}) в пределах совокупности выборки из N x_i значений, которое вычисляется по формуле:

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$$

- Std (Стд.): Стандартное отклонение совокупности выборки из N значений, которое вычисляется по приведенной ниже формуле. Оно определяется, как квадратный корень из дисперсии.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

- Adev (Отклонение Аллана): Отклонение Аллана (σ) совокупности выборки из N значений, которое вычисляется по приведенной ниже формуле. Оно определяется, как квадратный корень из дисперсии Аллана.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N-1} (X_{i+1} - X_i)^2}{2(N - 1)}}$$

Величина N в статистических выражениях означает число выборок и представляет собой целое число в диапазоне от 2 до $2 \cdot 10^9$.

Различие между отклонением Аллана и стандартным отклонением

Отклонение Аллана представляет собой статистическую функцию, используемую для описания кратковременной неустойчивости (например, такой, которая возникает в случае кратковременных внезапных искажений амплитуды или фазы сигнала) путем получения выборок (проведения измерений) в течение коротких интервалов времени. Идея состоит в исключении влияния долговременного дрейфа, вызванного влиянием приработки компонентов, температуры или отклонений при последовательных сравнениях соседних выборок.

Стандартное отклонение, которое, возможно, является наиболее известной статистической функцией, описывает все типы отклонения, поскольку все выборки в совокупности сравниваются с общим средним значением.

Как отклонение Аллана, так и стандартное отклонение, выражаются в тех же самых единицах, что и результат основного измерения, например, в герцах или секундах.

Настройка параметров дискретизации

1. Нажмите **Settings > Stat** (Настройки > Статистика).
2. Нажмите **No. of samples** (Число выборок) и введите значение, используя цифровые кнопки или кнопки со стрелками **Вверх/Вниз**. Для сохранения значения нажмите кнопку **Save/Exit** (Сохранить/Выход).
3. Для вывода изображения гистограммы нажмите **No. of Bins** (Число столбцов) и введите соответствующее значение. Для сохранения значения нажмите кнопку **Save/Exit** (Сохранить/Выход).
4. Нажмите **Pacing time** (Шаг разбивки по времени) и введите соответствующее значение (диапазон составляет 2 мкс — 500 с, значение по умолчанию — 20 мс). Параметр разбивки по времени задает интервал получения выборки.
5. Активируйте установленный шаг разбивки по времени нажатием **Pacing Off** (Разбивка по времени выключена), так чтобы это состояние сменилось состоянием **Pacing On** (Разбивка по времени включена). Состояние *Pacing Off* (Разбивка по времени выключена) означает, что заданное число выборок будет получено с минимальной задержкой.
6. Нажмите **Hold/Run** (Задержка/Пуск), чтобы прервать процесс измерения.
7. Нажмите **Restart** (Перезапуск), чтобы инициировать единичный акт регистрации данных.
8. Переключайтесь в режим **Analyze** (Анализ) для просмотра результатов измерений в различной статистической обработке.

ПРИМЕЧАНИЕ. *Прибор обновляет содержимое экрана промежуточными результатами до полного завершения регистрации данных.*

Скорость статистической обработки и измерения

При использовании статистической обработки результатов измерений необходимо следить за тем, чтобы эти измерения не оказались слишком длительными по времени. При проведении измерения, включающего в себя регистрацию 1 000 выборок, не будет получен статистически обработанный результат, пока не будет выполнена 1 000 измерений. При неоптимальной настройке прибора для отображения результата статистической обработки измерения может потребоваться длительное время.

Для ускорения процесса статистической обработки измерения:

- Не используйте автоматическую синхронизацию. В режиме автоматической синхронизации прибор вычисляет уровни синхронизации перед каждым измерением. Определите подходящий уровень синхронизации и задайте его вручную.
- Не прибегайте к более длинному времени измерения, чем это необходимо для получения требуемого разрешения.
- Помните о возможности использования малого шага разбивки по времени (интервал измерения), если проведение измерений не требует длительного периода времени.

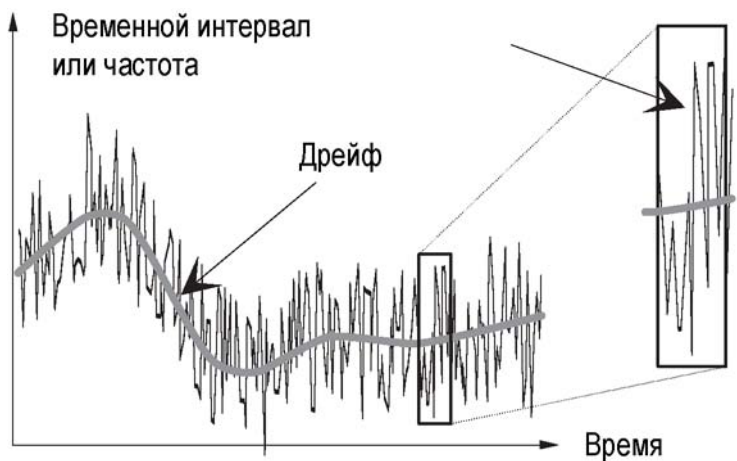
ПРИМЕЧАНИЕ. В процессе измерения на приборе отображаются промежуточные результаты.

Определение долговременной или кратковременной неустойчивости

При проведении измерений со статистической обработкой необходимо выбирать время измерения в соответствии с преследуемой целью. Например, джиттер или очень малые изменения (от цикла к циклу) во времени требуют, чтобы каждая выборка рассматривалась, как отдельное измерение.

При получении усредненных значений (только в случае измерений частоты и усредненного периода) выборки, используемые для статистических расчетов, уже являются усредненными, если заданное время измерения не меньше периода входного сигнала (с частотой до 160 МГц). Выше этого уровня вводится масштабирование частоты с коэффициентом 2, в результате чего масштабируется и определенная часть усредненного значения. Это может оказаться большим преимуществом при измерении неустойчивости в течение средних и длинных промежутков времени. Здесь усреднение работает, как сглаживающая функция, исключая эффект джиттера.

На приведенном ниже рисунке сигнал претерпевает медленное изменение, так же как и джиттер. При измерении джиттера следует использовать ограниченное число выборок, так чтобы медленное изменение несущественно влияло на результат измерения. В качестве альтернативы для измерений подобного типа можно использовать статистическую обработку на основе отклонения Аллана.



При измерениях, когда происходят более медленные изменения, следует производить расчеты максимального, минимального и среднего значений на длинных сериях усредненных выборок. Усреднение исключает джиттер в каждой выборке, а большое время измерения и большое число выборок позволяют зарегистрировать очень медленные изменения. Максимальный шаг разбивки по времени — 500 с, максимальное время измерения для каждой выборки — 1 000 с, а максимальное число выборок — $2 \cdot 10^9$.

Статистика и математика

Прибор позволяет выполнять над измеренным значением математические операции, прежде чем оно будет выведено на экран или на шину. При каждой конкретной настройке измерения можно оценить любую его систематическую погрешность, и в рамках соответствующей математической операции можно ввести необходимые поправки. Применяемая затем статистическая обработка проводится уже со скорректированным измеренным значением.

Доверительные интервалы

Для расчета доверительных интервалов измерения можно использовать величину стандартного отклонения.

$$\text{Доверительные интервалы} = \pm k s_x$$

где

s_x = стандартное отклонение

$k = 1$ для уровня достоверности 68,3 % (1σ — интервалы)

$k = 2$ для уровня достоверности 95,5 % (2σ — интервалы)

$k = 3$ для уровня достоверности 99,7 % (3σ — интервалы)

Пример расчета доверительных интервалов. В следующем примере приводится расчет доверительных интервалов для измерения временного интервала длиной в 100 мкс. Для получения среднего значения и

стандартного отклонения временного интервала используем статистический режим Numerical (Цифровой). Для получения устойчивого значения следует измерить достаточное число выборок. Предположим, что переходные процессы при синхронизации пуска и останова происходят достаточно быстро и не дают вклада в неопределенность измерения.

Прибор отображает среднее значение Mean = 100,020 мкс и стандартное отклонение Std Dev = 50 нс.

Поэтому доверительные интервалы при уровне достоверности 95,5 % = $\pm 2s_x$ ($= \pm 2 * 50$ нс) = ± 100 нс.

Доверительный интервал 3σ будет равен $\pm 3 * 50$ нс = ± 150 нс

Измерения джиттера

Статистическая обработка позволяет реализовать простой метод определения кратковременной нестабильности синхронизации (джиттера) импульсных сигналов. Джиттер обычно определяется как среднеквадратичное значение, равное стандартному отклонению, полученному на основе единичных измерений. Прибор может выполнять прямые измерения среднеквадратичного значения джиттера и выводить его на экран дисплея.

Кроме того, могут производиться измерения стандартных отклонений от средних значений. Среднеквадратичное значение является хорошим критерием для количественного описания джиттера, однако оно не дает информации о распределении измеренных значений.

Для улучшения технического решения может возникнуть необходимость анализа распределения. Для выполнения измерений с анализом тенденций используйте функции статистического анализа прибора. Для перехода в числовой и графический режимы представления результатов статистической обработки используйте кнопку **Analyze** (Анализ).

Добиться большей универсальности анализа можно при помощи дистанционного контроллера (GPIB или USB) и отдельно приобретаемого приложения TimeView™ для анализа сигналов в области модуляции.

Тестирование пределов

Режим Limits (Пределы) превращает прибор в эффективный монитор тревожных состояний (устройство тестирования пределов). Результаты измерений можно отслеживать в режиме реального времени и задавать действие, которое должно предприниматься при превышении соответствующего предельного значения. Нажмите **Math/Limit > Limits** (Математические функции/Предел > Пределы), чтобы открыть меню Limits (Пределы).

Для установки уровней тестирования пределов используйте пункты меню Lower Limit (Нижний предел) и Upper Limit (Верхний предел).

Действие при нарушении предела

Нажмите **Limit Behavior** (Действие при нарушении предела), чтобы задать способ реакции прибора на факт нарушения предельных значений. Возможные варианты реакции прибора:

- **Off** (Выкл.): никакие действия не предпринимаются. Индикатор **LIM** (Предел) не отображается.
- **Capture** (Регистрация): происходит регистрация измерения, превышающего предельную уставку; мигает индикатор **LIM** (Предел). Регистрация результатов измерения продолжается. Только выборки, удовлетворяющие критерию тестирования, являются частью совокупности значений, используемых для статистического представления.
- **Alarm** (Сигнал тревоги): мигает индикатор **LIM** (Предел), и продолжаются измерения. Все выборки, в том числе и те, что выходят за установленные пределы, являются частью совокупности значений, используемых для статистического представления.
- **Alarm_stop** (Сигнал тревоги с прекращением измерения): мигает индикатор **LIM** (Предел), прекращаются измерения (прибор переходит в режим Hold (Задержка)). Прибор отображает измерение, вызвавшее срабатывание детектора предела. Только выборки, измеренные до достижения состояния тревоги, являются частью совокупности значений, используемых для статистического представления.

Тревожные состояния могут также фиксироваться при помощи функции SRQ на шине GPIB. См. *руководство программиста для приборов серий FCA3000, FCA3100 и MCA3000*

Режимы тестирования пределов

Существует три режима тестирования пределов:

- **Above** (Выше): результаты измерений, превышающие установленный нижний предел, рассматриваются как приемлемые. Мигание символа **LIM** (Предел) на экране означает, что результат измерения хотя бы один раз оказался ниже нижнего предела с момента начала измерения. Нажмите кнопку **Restart** (Перезапуск), чтобы перевести символ **LIM** (Предел) в немигающее состояние.
- **Below** (Ниже): результаты измерений, находящиеся ниже установленного верхнего предела, рассматриваются как приемлемые. Мигание символа **LIM** (Предел) на экране означает, что результат измерения хотя бы один раз оказался выше верхнего предела с момента начала измерения. Нажмите кнопку **Restart** (Перезапуск), чтобы перевести символ **LIM** (Предел) в немигающее состояние.
- **Range** (Диапазон): результаты измерений, находящиеся между установленными пределами, рассматриваются как приемлемые. Мигание символа **LIM** (Предел) на экране означает, что результат измерения хотя бы один раз оказался ниже нижнего или выше верхнего предела с момента начала измерения. Нажмите кнопку **Restart** (Перезапуск), чтобы перевести символ **LIM** (Предел) в немигающее состояние.

Если выбран режим **Range** (Диапазон) и способ представления результатов **Value** (Значение), простое графическое представление текущего отношения результата измерения к предельным значениям будет выводиться одновременно с численным значением результата.

Верхний предел (upper limit, UL) и нижний предел (lower limit, LL) представляют собой вертикальные линии под главным цифровым дисплеем, и их численные значения отображаются маленькими цифрами рядом с этими линиями.

Этот тип графика напоминает классический аналоговый стрелочный прибор, в котором смайлик, изображающий улыбку, означает, что измерения находятся в заданных пределах. Смайлик, изображающий грусть, указывает на то, что результаты измерений выпадают за установленные пределы, но все еще находятся в области, отображаемой на дисплее. Измерения, выходящие за пределы отображаемой на дисплее области, обозначаются символом $<$ у левого края или символом $>$ у правого края экрана.

Расположение линий обозначения пределов выбирается так, чтобы предельный диапазон занимал среднюю треть области экрана. Это означает, что разрешение и длина шкалы задаются указанными пределами.

Пределы и режим анализа

Тестирование пределов можно использовать на графиках трендов и гистограммах (режимы анализа). Использование пределов на графиках трендов и гистограммах препятствует автоматическому масштабированию и косвенным образом задает длину шкалы и разрешение графиков.

Подготовка синхронизации

Подготовка синхронизации обеспечивает запуск и/или останов измерения при обнаружении прибором изменения во входном сигнале. Возможные типы подготовки синхронизации — **Arm Start** (Подготовка пуска) и **Arm Stop** (Подготовка останова) (в меню **Settings** > **Arm** (Настройки > Подготовка синхронизации)).

Подготовка синхронизации полезна при проведении измерений частоты сложных сигналов, таких как:

- Одиночные события или непериодические сигналы
- Импульсные сигналы с переменными шириной и положением импульсов
- Сигналы с меняющейся во времени частотой (профилирование)
- Выделенная часть сигнала сложной формы

Подготовка синхронизации происходит, когда прибор фиксирует соответствующую крутизну входного сигнала подготовки синхронизации (на входе А, В или Е). Можно также задавать период задержки от момента фиксации подготовки пуска до момента фактического пуска измерения и условие подготовки останова (по крутизне сигнала или времени задержки) для увеличения периода измерения.

Рекомендации

- Функцию **Arm Start** (Подготовка пуска) можно использовать со всеми измерениями, кроме **Frequency Burst** (Частота вспышки), **Ratio** (Отношение) и **Volt** (Напряжение). Подготовка пуска при измерении усредненных величин обеспечивает управление только пуском первой выборки.
- Функцию **Arm Stop** (Подготовка останова) можно использовать со всеми измерениями, кроме **Frequency Burst** (Частота вспышки), **Ratio** (Отношение), **Volt** (Напряжение) и **Rise/Fall Time** (Время нарастания/спада).
- Подготовка синхронизации отменяет нормальный свободный режим измерения; пока прибор не зафиксирует соответствующий сигнал подготовки пуска, измерение не запустится.
- В качестве источника подготовки пуска или останова можно использовать вход А, вход В и вход Е (на задней панели). Диапазон частот для входов А и В составляет 160 МГц. Диапазон частот для входа Е составляет 80 МГц (уровни ТТЛ).
- Измерения с подготовкой синхронизации, использующие входной сигнал А или В в качестве сигнала подготовки, ограничиваются

сигналами с частотой 160 МГц, если условие подготовки синхронизации в пределах сигнала не реализуется при частоте ниже 160 МГц.

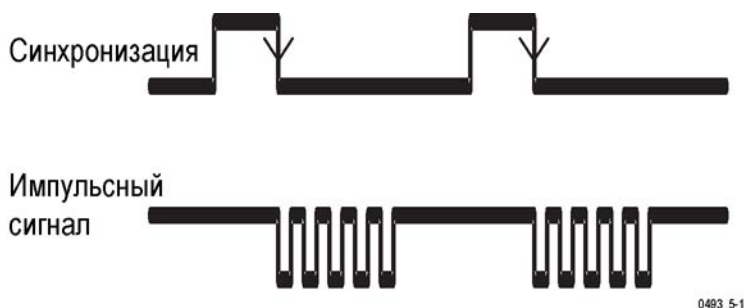
Подготовка пуска и останова

Подготовка пуска

Функция Arm Start (Подготовка пуска) действует, как внешняя синхронизация на осциллографе. Она синхронизирует пуск фактического измерения с появлением сигнала. Функцию Arm Start (Подготовка пуска) можно также использовать для задержки пуска измерения относительно импульса подготовки. Функция Arm Start (Подготовка пуска) может использоваться как одна, для проведения измерения, так и в комбинации с Arm Stop (Подготовка останова), для проведения более длительных измерений.

В качестве параметров функции Arm Start (Подготовка пуска) используются Channel (Канал), Slope (Крутизна) и Delay (Задержка).

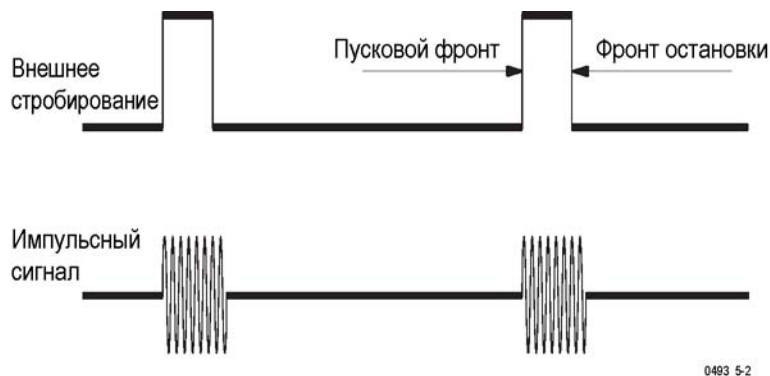
Источники сигналов, генерирующие сигналы сложной формы, такие как импульсные РЧ-сигналы, импульсные вспышки, телевизионные сигналы или сигналы с качающейся частотой, зачастую генерируют сигнал *синхронизации*, совпадающий с началом развертки, длительностью РЧ-вспышки или началом ТВ-сигнала. Этот сигнал синхронизации можно использовать для подготовки синхронизации прибора.



Вы можете задержать точку подготовки пуска относительно сигнала подготовки синхронизации. Эту функцию целесообразно использовать, когда внешний сигнал подготовки синхронизации не совпадает с той частью сигнала, которая представляет для вас интерес. Диапазон времени задержки составляет 20 нс — 2 с при заданном разрешении 10 нс.

Подготовка останова

Функция Arm Stop (Подготовка останова) прерывает измерение при обнаружении прибором сдвига уровня с заданной крутизной на входном сигнале подготовки синхронизации. Комбинация функций подготовки пуска и останова измерения составляет логическую функцию, определяющую полную длительность измерения. Например, эту комбинацию можно использовать для измерения частоты импульсного РЧ-сигнала, для которого условия пуска/останова устанавливаются внутри вспышки.



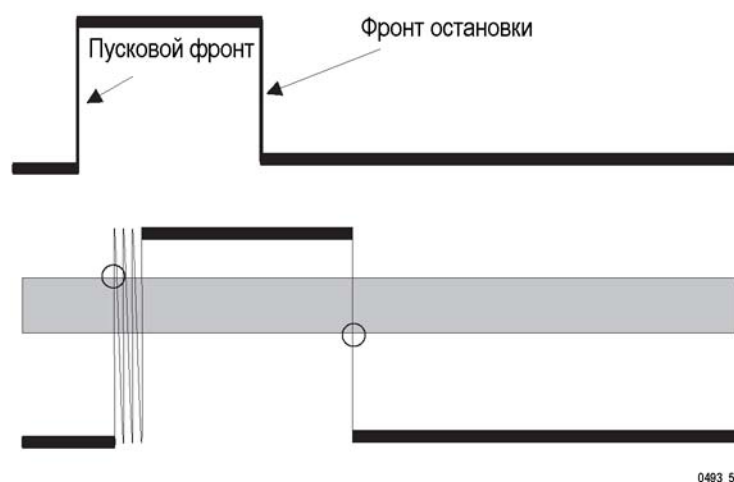
В качестве параметров функции Arm Stop (Подготовка останова) используются Channel (Канал), Slope (Крутизна) и Delay (Задержка).

ПРИМЕЧАНИЕ. *Время Arm > Stop Delay (Подготовка синхронизации > Задержка останова) может использоваться только с функцией Totalize (Суммирование) в приборах серии FCA3100.*

Пуск/останов при подготовке синхронизации и измерения параметров вспышки

При измерениях параметров вспышки, проводимые с учетом условий Arm Start/Stop (Подготовка пуска/останова), используется обычный режим измерения **Frequency** (Частота). Однако измерения параметров вспышки, проводимые без подготовки синхронизации, выполняются в режиме самосинхронизации **Frequency Burst** (Частота вспышки), когда прибор делает все возможное для синхронизации по импульсным вспышкам.

При измерениях интервалов времени можно использовать сигнал подготовки останова в качестве «внешнего сигнала синхронизации Hold Off (Удержание)». В этом случае происходит блокирование останова синхронизации в течение задаваемого извне периода времени.



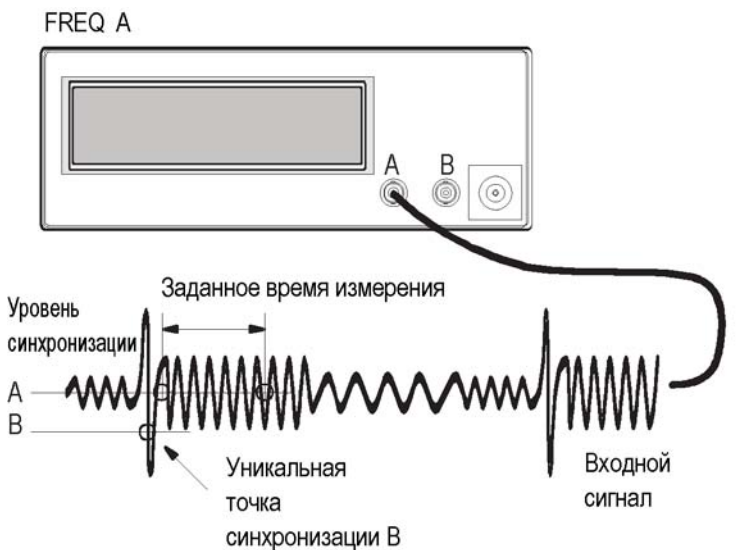
Входные сигналы подготовки синхронизации

Вход E (на задней панели) представляет собой обычный вход для сигнала подготовки синхронизации. Он похож на сигналы подготовки синхронизации (сигналы синхронизации), имеющие уровни ТТЛ. Уровень синхронизации фиксируется при напряжении 1,4 В и не может быть изменен. Крутизна фронта синхронизации может быть задана положительной или отрицательной.

В качестве входных сигналов подготовки синхронизации для измерений в одном или двух каналах (когда сигналом подготовки синхронизации является один из двух измеряемых сигналов) можно также использовать сигналы на входах A и B. Эти входы подходят лучше всего, если сигнал подготовки синхронизации не имеет уровней ТТЛ. Все элементы управления входами A и B (такие как переменный/постоянный ток, уровень синхронизации, 50 Ом/1 МОм и т. д.) могут использоваться для регулирования сигнала подготовки синхронизации.

Использование измеряемого сигнала как сигнала подготовки синхронизации

При проведении измерений времени и частоты на сигналах сложной формы, располагающих уникальной точкой синхронизации, можно использовать подготовку синхронизации входа B, так чтобы измеряемый сигнал являлся для прибора одновременно еще и сигналом «самоподготовки синхронизации». Ниже приведен пример настройки прибора для измерения частоты сигнала после достижения им заданного уровня напряжения.



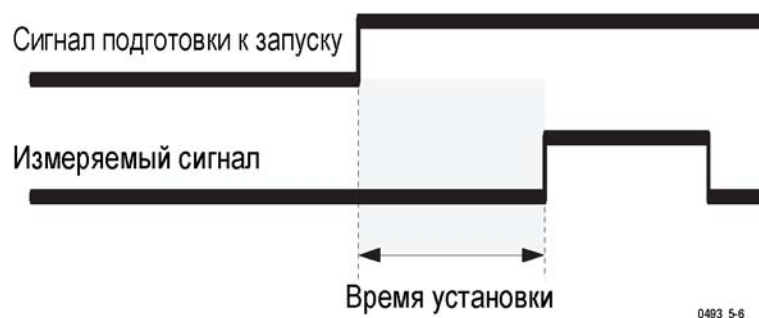
0493_5-4

1. Подайте сигнал на **Input A** (Вход A) и **Input B** (Вход B) при помощи расщепителя мощности.
2. Нажмите **Input A** (Вход A) и откорректируйте настройки для измерения соответствующего участка осциллограммы.

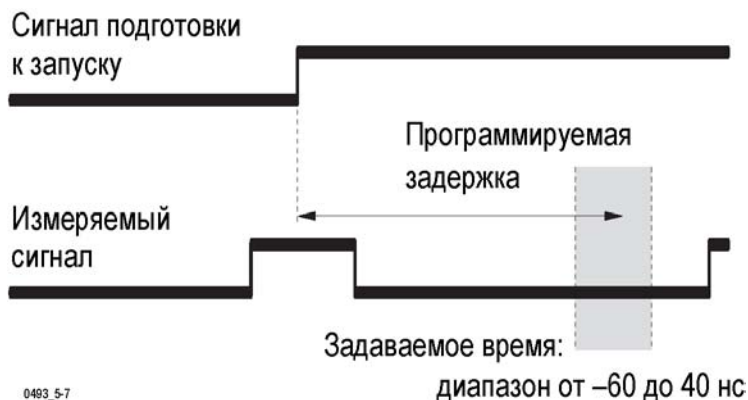
3. Нажмите **Input В** (Вход В) и откорректируйте соответствующие настройки, позволяющие обнаружить уникальную точку синхронизации. Для установки определенного уровня используйте связь **По постоянному току** и синхронизацию в режиме **Manual** (Ручной).
4. Нажмите **Settings > Arm** (Настройки > Подготовка синхронизации), включите подготовку синхронизации и установите **Start Slope** (Крутизна пуска), которую необходимо найти. Если потребуется, воспользуйтесь функцией **Start Delay** (Задержка пуска).
5. Установите время измерения, подходящее для рассматриваемого участка сигнала.

Подготовка к синхронизации и период установки

У прибора имеется период установки длительностью 5 нс, в течение которого он не способен обнаруживать какие-либо изменения сигнала подготовки синхронизации.



При использовании задержки подготовки синхронизации период установки изменяется. На следующем рисунке показано время с момента завершения задержки до момента, когда измерение будет подготовлено к синхронизации (с суммарным разрешением задержки 100 нс: от –60 до 40 нс). На рисунке показано, что сигнал синхронизации пуска, может быть зарегистрирован на 60 нс раньше истечения запрограммированного времени задержки. Чтобы правильный запуск измерения был гарантирован, сигнал синхронизации пуска должен прийти не позднее, чем через 40 нс по истечении запрограммированного времени задержки.



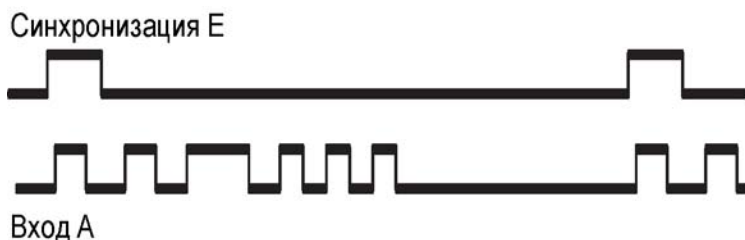
Примеры подготовки синхронизации

В данном разделе приводятся примеры измерения параметров разнообразных импульсных сигналов. В первых двух примерах рассматривается измерение ширины импульса единичного положительного импульса вспышки. В третьем примере рассматривается измерение времени между импульсами вспышки. Возможно также измерение периода, времени нарастания или коэффициента заполнения импульсного сигнала при соответствующем выборе типа измерения, а также измерение параметров отрицательного импульса при соответствующем изменении крутизны фронта.

Если основные параметры измеряемого сигнала неизвестны, определите их при помощи осциллографа. Используйте эти параметры для установки крутизны фронта измеряемого сигнала, крутизны фронта сигнала подготовки синхронизации и времени задержки подготовки синхронизации.

Пример подготовки синхронизации: Измерение параметров первого импульса вспышки

В данном примере показано, как измерить ширину первого импульса вспышки повторяющихся импульсов. В этом примере используется также сигнал синхронизации с уровнями ТТЛ. Быстрый и простой метод, описываемый первым, вообще не использует подготовку к синхронизации и основан на том, что прибор стремится к самостоятельной синхронизации своих внутренних процессов с входным сигналом.



Задача состоит в синхронизации пуска измерения с передним фронтом первого импульса. В зависимости от синхронизации сигнала это может быть просто, сложно или очень сложно.

Автоматическая синхронизация без подготовки. Измерение ширины импульса в пределах вспышки возможно без использования функции подготовки синхронизации. Зачастую прибор может автоматически синхронизировать пуск измерения с запуском первого импульса. Ниже приведены условия успешного измерения.

- Частота следования импульсов должна быть не слишком высока: предпочтительно ниже 50 Гц, но, определенно, не выше 150 Гц.
- Длительность вспышки импульсов (промежутки времени между первым и последним импульсами) должна быть существенно меньше промежутка времени до прихода следующей вспышки.
- Во избежание случайных ошибок счета число импульсов во вспышке должно быть больше 100.

Для автоматической синхронизации без подготовки синхронизации выполните следующие действия.

1. Подайте импульсный сигнал на вход А.
2. Вручную отрегулируйте чувствительность и уровень синхронизации, пока импульсный сигнал не будет правильно запускать прибор.
3. Нажмите **Meas > Pulse > Width Positive > A** (Измерение > Импульс > Ширина положительного импульса > А).
4. Нажмите **Settings > Stat > Pacing** (Настройки > Статистика > Разбивка по времени) и установите для разбивки по времени состояние **On** (Вкл.).
5. Нажмите **Settings > Stat > Pacing Time** (Настройки > Статистика > Шаг разбивки по времени) и введите значение, близкое к временному интервалу между вспышками.

Этот подход не гарантирует абсолютной синхронизации, однако с хорошей вероятностью автоматическая синхронизация будет работать. Вместе с тем, на экран выводятся случайные ошибочные значения. Для гарантированной синхронизации следует использовать функцию **Start Arming** (Подготовка пуска).

Синхронизация импульса вспышки с использованием подготовки пуска. Для подготовки синхронизации измерения можно использовать внешний сигнал синхронизации. Для этого необходимо, чтобы передний фронт сигнала синхронизации приходил, как минимум, на 5 нс раньше переднего фронта первого импульса вспышки (См. рис. 9.)

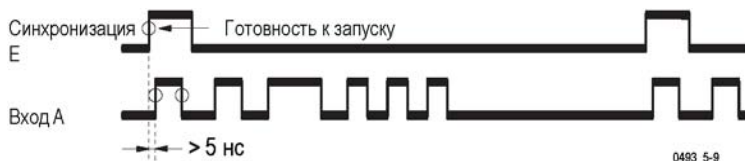


Рис. 9: Синхронизация с использованием функции Start Arming (Подготовка пуска).

Для синхронизации с подготовкой выполните следующие действия.

1. Подайте внешний сигнал синхронизации на вход **Input E** (Вход E) (на задней панели).
2. Подайте импульсный сигнал на вход **Input A** (Вход A).
3. Настройте уровень синхронизации для синхронизации по импульсному сигналу.
4. Нажмите **Settings > Arm > Arm On > Sample** (Настройки > Подготовка синхронизации > Включить подготовку синхронизации > Выборка).
5. Нажмите **Start Chan > E** (Канал пуска > E).
6. Нажмите **Start Delay** (Задержка пуска) и убедитесь, что значение задержки равно нулю.
7. Несколько раз нажмите **Save | Exit** (Сохранить | Выход), чтобы вернуться к основному экрану.
8. Нажмите **Meas > Pulse > Width Positive > A** (Измерение > Импульс > Ширина положительного импульса > A).

Если разница во времени между сигналом подготовки синхронизации и первым импульсом вспышки отсутствует (или слишком мала), время на подготовку необходимо объединить с временем задержки, см. следующий пример.

Синхронизация импульса вспышки с использованием подготовки пуску и задержки времени. Если короткие импульсы имеют устойчивую частоту повторения, то для проведения измерения можно использовать функции подготовки пуска и задержки времени. В этом методе для синхронизации пуска измерения используется синхронизирующий импульс, принадлежащий предыдущей вспышке. Задаваемая задержка времени должна быть больше длительности импульсных вспышек, и меньше периодичности их повторения, см. следующий рисунок.

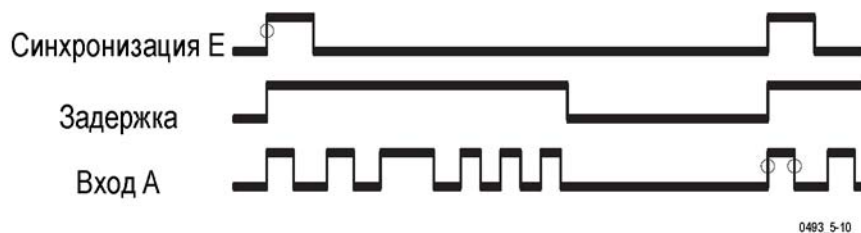


Рис. 10: Синхронизация с помощью подготовки пуска и задержки времени.

Для синхронизации с подготовкой и временной задержкой выполните следующие действия.

1. Подайте внешний сигнал синхронизации на вход **Input E** (Вход E) (на задней панели).
2. Подайте импульсный сигнал на вход **Input A** (Вход A).
3. Настройте уровень синхронизации для синхронизации по импульсному сигналу.
4. Нажмите **Settings > Arm > Arm On > Sample** (Настройки > Подготовка синхронизации > Включить подготовку синхронизации > Выборка).
5. Нажмите **Start Chan > E** (Канал пуска > E).
6. Нажмите **Start Delay** (Задержка пуска) и введите соответствующее значение задержки (большее, чем длительность импульсной вспышки, но меньшее, чем время их повторения).
7. Несколько раз нажмите **Save | Exit** (Сохранить | Выход), чтобы вернуться к основному экрану.
8. Нажмите **Meas > Pulse > Width Positive > A** (Измерение > Импульс > Ширина положительного импульса > A).

**Пример подготовки синхронизации:
Измерение параметров второго импульса вспышки**

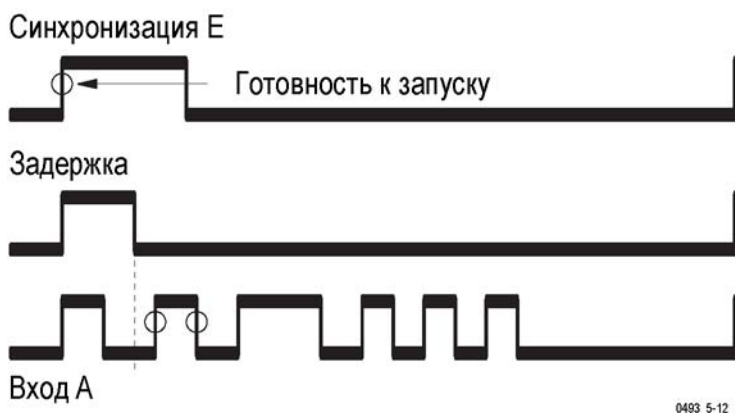
В данном примере показано, как измерить ширину второго импульса в серии импульсов. Здесь проблемой является синхронизация начала измерения с началом второго импульса. В этом случае автоматическая синхронизация (без использования функции подготовки синхронизации) не работает; она срабатывает только по первому событию во вспышке. Это означает, что данное измерение нуждается в использовании функции Arming (Подготовка синхронизации).

В зависимости от положения сигнала синхронизации относительно вспышки и его длительности измерение может быть выполнено с задержкой подготовки синхронизации или без нее. Если задний фронт сигнала синхронизации приходит после переднего фронта первого импульса, но до второго импульса вспышки, возможна нормальная подготовка пуска без временной задержки.

Выберите синхронизацию по положительной крутизне сигнала на входе А и по отрицательной крутизне на входе В. Крутизна фронта сигнала для канала с действующей подготовкой синхронизации задается в меню **Settings > Arm > Start Slope** (Настройки > Подготовка синхронизации > Крутизна пуска). На следующем рисунке показана ситуация, когда задний фронт сигнала синхронизации появляется до прихода второго импульса.



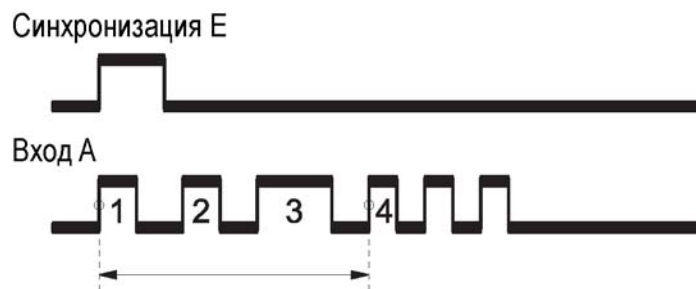
Если условия синхронизации не похожи на условия, показанные в вышеприведенном примере измерения, скажем, когда задний фронт сигнала синхронизации приходит слишком поздно, следует объединить подготовку синхронизации с задержкой времени, см. следующий рисунок.



Выполните ту же самую процедуру, что и в предыдущем примере, но установите подходящую задержку **Start Arm Delay** (Задержка подготовки пуска), так чтобы она истекла в промежутке между первым и вторым импульсами.

Пример подготовки синхронизации: Измерение времени между импульсами вспышки

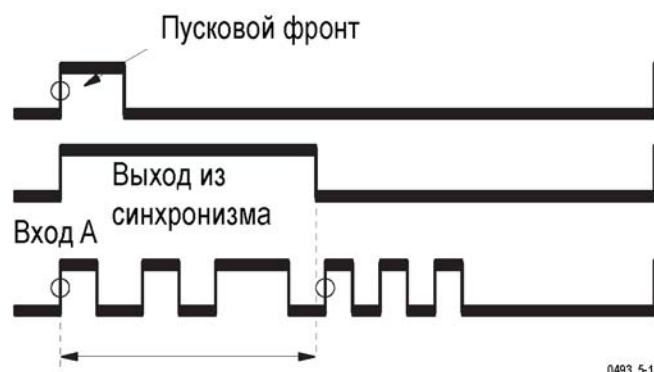
В предыдущих примерах задача синхронизации состояла в определении точки начала измерения и проведении измерения одиночного интервала времени. В следующем примере показано измерение времени между нарастающими фронтами первого и четвертого импульсов вспышки, см. приведенный ниже рисунок. Здесь требуется задание как времени пуска, так и времени конца измерения.



0493_5-13

В этом типе измерения используется функция **Time Interval A to A** (Временной интервал между А и А), и необходимо наличие сигнала на входе Input B (Вход В) для управления условиями останова измерения. Задача состоит в подготовке синхронизации как пуска, так и конца этого измерения. Подготовка пуска уже описана в первом примере подготовки синхронизации (синхронизация пуска измерения по переднему фронту первого импульса). Таким образом, остается выполнить синхронизацию останова (подготовку останова) измерения. Это можно сделать при помощи любого из следующих методов.

Использование удержания синхронизации для задержки останова на определенное время. Удержание синхронизации используется для подавления останова измерения в течение заранее заданного времени. Период Hold Off (Удержание) начинается синхронно с событием синхронизации пуска. Время удержания должно устанавливаться таким образом, чтобы оно истекало где-то между 3 и 4 импульсами.



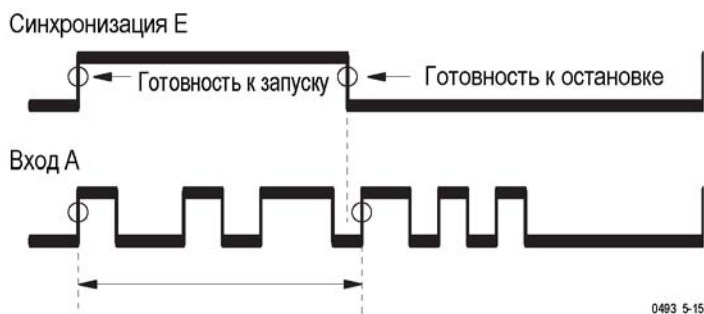
0493_5-14

Используйте такую же схему проверки, что и в предыдущих примерах. Далее действуйте следующим образом.

- Нажмите кнопку **Meas** (Измерение) и выберите пункт **Time Interval A to A** (Временной интервал между А и А).
- Нажмите **Input B** (Вход В) и выберите положительную крутизну и подходящий уровень синхронизации.

- Нажмите **Settings > Trigger Hold Off (On)** (Настройки > Удержание синхронизации) и введите подходящее время удержания синхронизации.
- Убедитесь в наличии условий подготовки пуска, описанных в примере 1, то есть, в отсутствии задержки подготовки синхронизации.
- Измерьте параметры сигнала.

Использование подготовки синхронизации останова (внешняя задержка) для задержки останова. До сих пор в приведенных выше примерах сигнал синхронизации использовался исключительно как сигнал подготовки пуска; то есть, синхронизация измерения осуществлялась по переднему фронту синхросигнала, а не по его длительности. Однако синхросигнал может также использоваться как внешний сигнал удержания синхронизации по заднему фронту синхросигнала при помощи функции Stop Arming (Подготовка останова). Если длительность импульсов сигнала синхронизации можно изменять, выберите такую длительность, которая истекает в промежутке между третьим и четвертым импульсами измеряемого сигнала, см. приведенный ниже рисунок.



Используйте такую же схему проверки, что и в предыдущем примере. Далее действуйте следующим образом.

1. Нажмите **Settings > Arm > Stop Chan > E** (Настройки > Подготовка синхронизации > Канал останова > E).
2. Нажмите кнопки **Stop Slope > Falling** (Крутизна останова > Задний фронт).
3. Измерьте параметры сигнала.

Подготовка синхронизации и профилирование

Профилирование означает измерение частоты с течением времени. В примерах рассматриваются измерения дрейфа, связанного с разогревом источника сигнала, в течение часов, линейности качания частоты в течение секунд, характеристик переключения генератора, управляемого напряжением (ГУН) в течение миллисекунд и изменений частоты внутри импульса РЛС с внутриимпульсной ЛЧМ в течение микросекунд.

Эти приборы способны осуществлять профилирование для большого числа ситуаций с учетом некоторых ограничений. Теоретически профилирование может быть выполнено вручную, то есть, путем считывания результатов отдельных измерений и нанесения их на график. Однако наиболее оптимально использовать прибор как быстродействующий клиентский компьютер с высоким разрешением получения выборок, сохраняющий результаты на своем внутреннем запоминающем устройстве и обрабатывающий их при помощи специального приложения для анализа и графического представления. Приложение TimeView™ существенно упрощает профилирование.

Существует два типа измерений профилирования: *несинхронизированные* и *периодическое получение выборок*.

Несинхронизированные измерения

Несинхронизированные измерения являются более длительными. Типичные несинхронизированные измерения заключаются в определении стабильности осциллятора в течение 24 часов, исходного дрейфа генератора в процессе разогрева продолжительностью 30 минут или кратковременной стабильности устройства. В этих случаях измерения проводятся на выбранных пользователем интервалах в диапазоне от 2 мкс до 1 000 с.

Существует несколько способов задания интервала измерения.

- Используйте шаг разбивки по времени (Settings > Stat (Настройки > Статистика)) для установки интервала измерения. Измерения продолжаются до тех пор, пока не будет получено заданное число выборок. Для останова измерения по завершении одного полного цикла используйте команды **Hold/Run** (Задержка/Пуск) и **Restart** (Перезапуск). Пока идет измерение, можно наблюдать за процессом формирования тренда или разброса данных на статистическом дисплее (Trend Plot (График тренда) или Histogram (Гистограмма)).
- Используйте таймер дистанционного контроллера. Это позволяет выполнять синхронизацию с внешними событиями, например, с изменением проверяемого устройства при проверке последовательности компонентов.

- Используйте внешние сигналы подготовки синхронизации. Например, можно использовать импульс сигнала подготовки синхронизации с частотой 10 Гц для проведения измерений с интервалами в 100 мс.
- Выполняйте измерения без использования синхронизации. Когда прибор выполняет измерения без синхронизации (непрерывные измерения), самая короткая задержка между измерениями составляет примерно 4 мкс (с выключенной внутренней калибровкой) или 8 мкс (с включенной внутренней калибровкой); к ней добавляется заданное время измерения. Например, при времени измерения 0,1 мс периодичность получения выборок составляет примерно 104–108 мкс.

Профилирование методом периодического получения выборок

Несинхронизированные измерения неэффективны, если для профилирования необходимо, чтобы интервалы между выборками составляли менее 4 мкс. Например, как профилировать отклик на ступенчатый сигнал ГУН взятием 100 выборок в течение временного промежутка в 10 мс?

Сценарий этого измерения требует использования *периодического* ступенчатого входного сигнала. Необходимо повторить измерение 100 раз, получать по одной новой выборке за цикл и задерживать получение каждой новой выборки на 100 мкс относительно предыдущей.

Проще всего это осуществить при помощи контроллера, например, загруженного на ПК вместе с приложением TimeView, хотя вполне возможно (правда, довольно утомительно) задать и выполнить все 100 измерений вручную.

Для того чтобы задать профилирование методом периодического получения выборок, необходимо обеспечить наличие следующих условий.

- Периодический входной сигнал (аналогичный частотному выходу ГУН).
- Внешний синхросигнал (аналогичный ступенчатому входному сигналу напряжения на ГУН).
- Использование подготовки синхронизации с задержкой на заданное время (100, 200, 300 мкс).

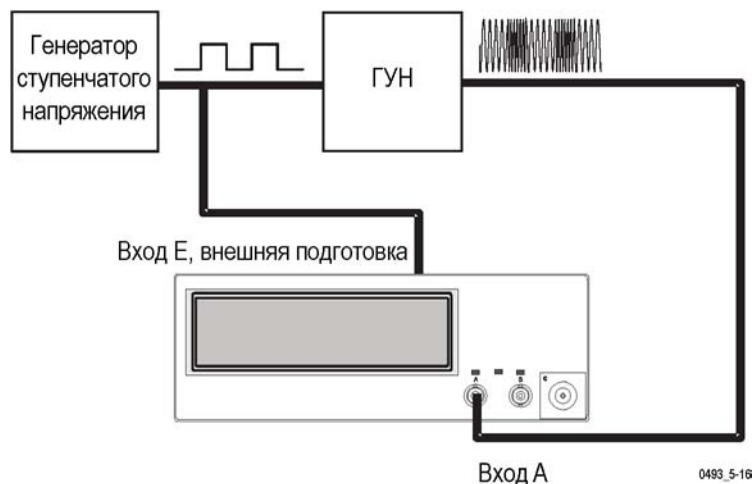
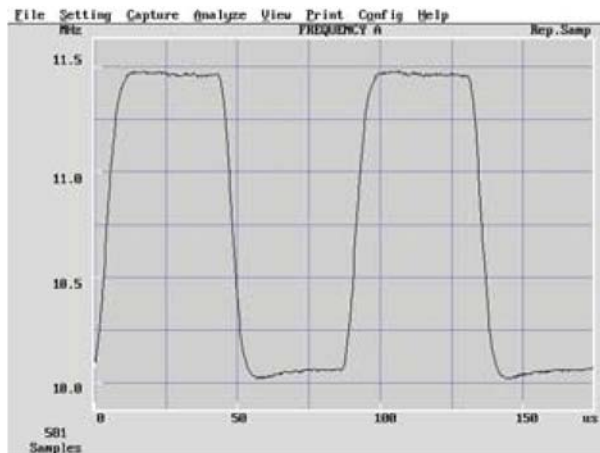


Рис. 11: Настройка профилирования нестационарного состояния ГУН.



0493_5-17

Рис. 12: Результаты профилирования нестационарного состояния.

Используйте результаты всех 100 измерений для построения графика частоты в зависимости от времени. Следует отметить, что абсолютная погрешность временной шкалы зависит от самого входного сигнала. Хотя подготовка синхронизации измерений происходит на интервалах $100 \text{ мкс} \pm 100 \text{ нс}$, фактический пуск измерения всегда синхронизируется по первому событию синхронизации входного сигнала после завершения подготовки синхронизации.

Подготовка синхронизации

Приложение А: Настройки прибора по умолчанию

В следующей таблице приведены заводские настройки прибора по умолчанию. Чтобы установить для прибора эти настройки, нажмите **User Opt > Save/Recall > Setup > Recall setup > Default** (Опции пользователя > Сохранить/Загрузить > Настройка > Загрузить настройку > По умолчанию). (См. стр. 20.)

Параметр	Значение по умолчанию
Input A & B (Входы А и В)	
Trigger Level (Уровень синхронизации)	Автоматически
Trigger Slope (Крутизна, тип фронта синхронизации)	Нарастающий (положительный)
Impedance (Сопротивление)	1 МОм
Attenuator (Аттенюатор)	1x
Coupling (Связь)	По переменному току
Filter (Фильтр)	Выключен
Arming (Подготовка синхронизации)	
Start (Пуск)	Выключен
Start Slope (Крутизна пуска)	Нарастающий (положительный)
Start Arm Delay (Задержка подготовки пуска)	0
Stop (Останов)	Выключен
Stop Slope (Крутизна останова)	Нарастающий (положительный)
Hold-Off (Удержание)	
Hold-Off State (Состояние удержания)	Выключено
Hold-Off Time (Время удержания)	200 мкс
Time-Out (Тайм-аут)	
Time-Out State (Состояние тайм-аута)	Выключено
Time-Out Time (Время тайм-аута)	100 мс
Statistics (Статистика)	
Statistics (Статистика)	Выключены
Number of Samples (Число выборок)	100
Number of Bins (Число столбцов)	20
Pacing State (Состояние разбивки по времени)	Выключено
Pacing Time (Шаг разбивки по времени)	20 мс
Mathematics (Математические функции)	
Mathematics (Математические функции)	Выключены
Math Constants (Математические константы)	K=1, L=0, M=1
Limits (Пределы)	

Приложение А: Настройки прибора по умолчанию

Limit State (Состояние предела)	Выключено
Limit Mode (Режим тестирования предела)	Диапазон
Lower Limit (Нижний предел)	0
Upper Limit (Верхний предел)	0
Burst (Вспышка)	
Sync Delay (Задержка синхронизации)	400 мкс
Start Delay (Задержка пуска)	0
Measure Time (Время измерения)	200 мкс
Freq. Limit (Предельная частота)	400 МГц
Miscellaneous (Прочее)	
Function (Функция)	Част. А
Smart Frequency (Разумная частота)	Автоматически
Smart Time Interval (Разумный временной интервал)	Выключено
Measure Time (Время измерения)	200 мс
Auto Trig Low Freq (Низкочастотная автосинхронизация)	100 Гц
Time base Reference (Опорный синхросигнал)	Автоматически
Blank Digits (Позиции для цифр)	0

Приложение В: Управление синхронизацией измерений

Процесс измерения

Поскольку работа этих приборов основана на применении метода реверсивного счета, они всегда синхронизируют пуск и останов фактического интервала измерения с событиями синхронизации входного сигнала. Новое измерение автоматически запускается после завершения предыдущего (если не включена функция **Hold** (Задержка)). Это идеальная ситуация для непрерывных колебательных сигналов.

Пуск измерения происходит, когда реализуются следующие условия (по порядку):

- Прибор полностью обработал предыдущее измерение.
- Сделаны все приготовления для нового измерения.
- Входной сигнал запускает измерительный вход прибора.

Измерение заканчивается, когда входной сигнал удовлетворяет условиям синхронизации останова. Это происходит сразу после следующих событий.

- Истекло установленное время измерения (применимо только для измерений типа **Frequency** (Частота) и **Period Average** (Усредненный период)).
- Входной сигнал выполняет условия синхронизации останова, обычно когда он проходит окно синхронизации во второй раз.

Разрешение, как функция времени измерения

Разрешение прибора определяется в основном погрешностью дискретизации и числом разрядов, отображаемых на дисплее (отображением младшего значащего разряда). В соответствии с разделом *Реверсивный счет*, (См. стр. 33.) расчетная частота f равна:

$$f = \frac{n}{t_g}$$

тогда как относительная среднеквадратичная погрешность дискретизации $E_q = \pm 100 \text{ пс}/t_g$.

Прибор отбрасывает лишние разряды, так чтобы разрешение среднеквадратичной дискретизации не могло изменить наименьшую значащую цифру более, чем на ± 5 единиц. Это происходит, когда выводимое значение равно 99999999 и погрешность дискретизации является наибольшей. Наилучшая ситуация — когда выводимое значение равно 10000000. Тогда разрешение дискретизации соответствует $\pm 0,5$ единицы наименьшей значащей цифры.

ПРИМЕЧАНИЕ. Абсолютное разрешение ± 1 при статистике 99999999 ($=1E8$) представляет собой в 10 раз более высокое относительное разрешение, чем абсолютное разрешение ± 1 при статистике 10000000 ($=1E7$), несмотря на одинаковое число разрядов в них.

Постепенное увеличение времени измерения снижает неустойчивость наименьшей значащей цифры, вызываемую неопределенностью дискретизации. При задании некоторого времени измерения прибор добавляет к выводимой статистике еще один разряд. Этот один дополнительный разряд резко, в десять раз, увеличивает разрешение отображаемого значения, но не уменьшает в десять раз неопределенность дискретизации. Поэтому для времени измерения, при котором к отображаемому значению добавляется еще один разряд, становится более заметной неопределенность в последнем разряде.

Для обеспечения устойчивого значения наименьшей значащей цифры выбранное максимальное время измерения должно быть таким, чтобы результат измерения содержал необходимое число разрядов. Такая оптимизация времени измерения позволяет добиться того, чтобы полное разрешение было равно разрешению дискретизации.

Время и скорость измерения

Задаваемое время измерения определяет длительность измерения при выборе режимов Frequency (Частота) или Period Average (Усредненный период). Это важно знать, если необходимо выполнять быстрые измерения, например, когда используются статистические функции или когда сбор данных осуществляется через шину GPIB.

Время между остановом одного измерения и пуском следующего при измерениях блоками (или «мертвое время») может составлять менее 2 мкс.

Блок — это собрание последовательных измерений, результаты которых сохраняются в локальной памяти для статистической обработки и построения графиков (режим **Analyze** (Анализ)) или для последующей передачи контроллеру через канал передачи данных GPIB или USB.

Дополнительные средства управления измерениями

Дополнительные средства управления пуском и остановом измерений. Измерения, выполняемые с помощью прибора, могут быть более сложными. Помимо синхронизации входного сигнала *пуском* измерения можно управлять при помощи следующих функций.

- Ручной перезапуск **Restart** (Перезапуск), если прибор находится в режиме **Hold** (Задержка).
- Синхронизация GPIB (<GET> или *TRG), если выбрана синхронизация шины. Синхронизация GPIB описана в руководстве по программированию.
- Внешний сигнал подготовки синхронизации, если включена функция **Start Arming** (Подготовка пуска).
- Истекшая задержка подготовки пуска, если включена функция **Arming Delay** (Задержка подготовки синхронизации).

Если включена функция **Stop Arming** (Подготовка останова), в дополнение к истечению времени измерения и синхронизации сигнала останова управление *остановом* измерения осуществляется также при помощи синхронизации внешнего сигнала подготовки.

Предметный указатель

А

Автоматическая
 синхронизация, 27, 31
Амплитудно-модулированные
 сигналы, 48
Аналоговый фильтр низких
 частот, вход, 25

Б

Более быстрые измерения, 27
Быстрая шина GPIB, x

В

Возможные ошибки (фаза), 61
Временная задержка
 (подготовка пуска), 84
Временное измерение ширины
 импульса, 56
Временной интервал, 54
Время измерения, 73
Вспышка
 выбор времени
 измерения параметров
 вспышки, 44
 измерение, 41
 измерения и подготовка
 синхронизации, 85
 ошибки измерения, 45
 синхронизация, 42

Вход

 аналоговый фильтр низких
 частот, 25
 Вход Е (Подготовка
 синхронизации), 86
 использование входного
 сигнала для подготовки
 синхронизации, 86
 ослабление, 23
 сигналы подготовки
 синхронизации, 86
 сопротивление, 23
 тип входа, 24
 фильтр низких частот, 25
 цифровой фильтр низких
 частот, 25
 А и В (Подготовка
 синхронизации), 86
Выбор времени измерения
 параметров вспышки, 44
Выборка и запоминание, 34

Г

Гармоническое искажение, 32

Д

Дата калибровки, 21
Джиттер и дрейф, 77
Дистанционное управление
 Кнопка Esc, 6
 состояние, 6
Доверительные интервалы,
 измерение, 78
Дополнительные
 средства управления
 измерениями, 103
Дрейф и джиттер, 77

Е

Единичное измерение, 14

З

Заводские настройки
 прибора, 99
Задержка синхронизации, 44
Закругление импульса и
 превышение уровня
 синхронизации, 58

И

Измерение времени
 нарастания/спада, 54
Измерение единичного
 периода, 50
Измерение коэффициента
 заполнения, 57
Измерение несущей
 частоты, 48
Измерение периода, 50
Измерение среднего
 периода, 50, 51
Измерение частоты, 39
Измерение частоты (Вход С), 41
Измерение частоты
 амплитудной модуляции, 49
Измерения
 Амплитудно-модулированные
 сигналы, 48
 возможные ошибки при
 измерении фазы, 61
 временной интервал, 54
 время и скорость, 101, 102
 время измерения, 77
 Время нарастания/спада, 54
 входные сигналы и
 сигналы подготовки
 синхронизации, 86
 входные сигналы
 подготовки
 синхронизации, 86
 джиттер и дрейф, 77
 диапазон времени
 измерения, 73

- доверительные интервалы, расчет, 78
 дополнительные средства управления, 103
 дрейф и джиттер, 77
 единичный период, 50
 закругление импульса и превышение уровня синхронизации, 58
 измерение времени между импульсами вспышки, 92
 измерение отклонения от заданной частоты, 74, 76
 измерение ширины второго импульса вспышки, 91
 измерение ширины первого импульса вспышки, 88
 измерения параметров вспышки и подготовка синхронизации, 85
 как работает задержка синхронизации, 44
 компенсация погрешностей определения фазы, 64
 компенсация погрешности определения фазы, 64
 Коэффициент заполнения, 57
 максимальная частота, 47
 математическая обработка, 75
 математические выражения, 73
 минимальная частота, 47
 наибольшая разность показаний прибора для частоты, 48
 напряжение, 71
 настройка параметров дискретизации, 76
 непрерывные, период, 51
 непрерывные, частота, 51
 несинхронизированные, 95
- Несущая амплитудно-модулированного сигнала, 48
 Несущая частота, 45
 низкие частоты модуляции, 47
 обзор подготовки синхронизации, 83
 относительная частота, 41
 ошибки при измерении фазы, 61
 Период, 50
 период установки при подготовке к синхронизации, 87
 период установки, подготовка синхронизации, 87
 период, непрерывные, 51
 период, средний, 51
 погрешности временных измерений, 57
 погрешности фазы в зависимости от частоты; таблица, 63
 погрешность временного интервала (ГПЕ), 56
 погрешность измерения фазы, 61
 Подготовка останова, 84
 Подготовка пуска, 84
 Подготовка синхронизации (измерения параметров вспышки), 85
 подготовка синхронизации и профилирование, 95
 Превышение уровня синхронизации и закругление импульса, 58
 примеры подготовки синхронизации, 88
 профилирование методом периодического получения выборок, 96
 процесс измерения, 101
- разрешение при измерении фаз, 61
 Расчет неопределенности, 78
 режимы тестирования пределов, 81
 с помощью математических выражений, 73
 сигналы вспышки, 41
 сигналы подготовки синхронизации и входные сигналы, 86
 сигналы подготовки синхронизации и измеряемые сигналы, 86
 сигнальное оповещение (тестирование пределов), 80
 синхронизация при временных измерениях, 53
 систематические погрешности, измерения фазы, 63
 скорость измерения и статистическая обработка данных, 77
 случайные погрешности, измерения фазы, 61
 средний период, 50, 51
 статистические измерения, 75
 суммирование, 66
 суммирование и подготовка синхронизации, 67
 теория измерения, 33
 тестирование пределов, 80
 тестирование пределов и режим анализа, 81
 ускорение измерений со статистической обработкой данных, 77
 Установка действия при нарушении предела, 80
 фаза, 60
 частота (Вход С), 41

- частота (Входы А и В), 39
 частота амплитудной модуляции, 49
 частоты модуляции выше 1 кГц, 46
 частоты, непрерывные, 51
 ЧМ, 45
 ширина импульса, 56
 Adev (Отклонение Аллана), 75
 Max (Макс.), 75
 Mean (Среднее), 75
 Min (Мин.), 75
 P-P (Размах):, 75
 Std (Стандартное отклонение), 75
 TPE, 56
 V_{макс.}, 71
 V_{мин.}, 71
 V_{размах}, 71
 V_{ср. кв.}, 71
 Измерения напряжения, 71
 Изображение графика тренда, 9
 Импульсные сигналы, 83
 Информация о приборе, 21
 Информация об установленной опции, 21
- К**
- Как работает задержка синхронизации, 44
 Кнопка со стрелкой вверх, 12
 Кнопка со стрелкой влево, 12
 Кнопка со стрелкой вниз, 12
 Кнопка со стрелкой вправо, 12
 Кнопка Analyze (Анализ), 11
 Кнопка Auto Set (Автоустановка), 11
 Кнопка Enter (Ввод), 12
 Кнопка Esc, 12
 Кнопка Esc и дистанционное управление, 6
 Кнопка Hold/Run (Задержка/Пуск), 14
 Кнопка Input A (Вход А), 15
 Кнопка Input B (Вход В), 15
- Кнопка Math/Limit (Математические функции/Предел), 14, 19
 Кнопка Meas (Измерения), 10
 Кнопка Restart (Перезапуск), 14
 Кнопка Save/Exit (Сохранить/Выход), 12
 Кнопка Settings (Настройки), 13, 16
 Кнопка User Opt (Опции пользователя), 14, 20
 Кнопка Value (Значение), 10
 Кнопки клавиатура, 12
 Кнопка Esc и дистанционное управление, 6
 Навигация, 12
 стрелка, 12
 стрелка вверх, 12
 стрелка влево, 12
 стрелка вниз, 12
 стрелка вправо, 12
 Analyze (Анализ), 11
 Auto Set (Автоустановка), 11
 Enter (Ввод), 12
 Esc, 12
 Hold/Run (Задержка/Пуск), 14
 Input A, Input B (Вход А, Вход В), 13, 15
 Math/Limit (Математические функции/Предел), 14, 19
 Meas (Измерения), 10
 Restart (Перезапуск), 14
 Save/Exit (Сохранить/Выход), 12
 Settings (Настройки), 13, 16
 User Opt (Опции пользователя), 14, 20
 Value (Значение), 10
 Кнопки клавиатуры, 12
 Кнопки навигации, 12
 Кнопки со стрелками, 12
- Кнопки Input A, B (Вход А, В), 13
 Компенсация погрешностей определения фазы, 64
 Компенсация погрешности определения фазы, 64
- М**
- Максимальная частота, 47
 Математические выражения, 73, 75
 Меню
 Input A, Input B (Вход А, Вход В), 15
 Math/Limit (Математические функции/Предел), 19
 Settings (Настройки), 16
 User Opt (Опции пользователя), 20
 Меню Input A, B (Вход А, В), 15
 Меню Math/Limit (Математические функции/Предел), 19
 Меню Misc (Прочее)
 Auto Trig Low Freq (Низкочастотная автосинхронизация), 18
 Input C Acq (Регистрация на входе С), 18
 Interpolator Calibration (Калибровка интерполятора), 18
 TPE, 19
 Timeout (Время ожидания), 18
 Меню Settings (Настройки), 16
 Arm (Подготовка), 17
 Burst (Вспышка), 16
 Meas Time (Время измерения), 16
 Misc (Прочее), 18
 Stat (Статистика), 17
 Timebase (Временная развертка), 17
 Trigger Hold Off (Удержание синхронизации), 17

Предметный указатель

Меню User Opt (Опции пользователя), 20
 About (О приборе), 21
 Calibrate (Калибровка), 21
 Digit Blanks (Позиции для цифр), 21
 Interface (Интерфейс), 21
 Save/Recall (Сохранить/Загрузить), 20
 Test (Тест), 21
 Минимальная частота, 47

Н

Набольшая разность показаний прибора для частоты, 48
 Настройка параметров дискретизации, 76
 Настройки прибора по умолчанию, 99
 Настройки прибора, по умолчанию, 99
 Непериодические сигналы, 83
 Непрерывное измерение периода, 51
 Непрерывное измерение частоты, 51
 Несинхронизированные измерения, 95
 Несущая частота, 45
 Низкие частоты модуляции, 47
 НЧ-фильтр, аналоговый, 25
 НЧ-фильтр, цифровой, 25

О

О приборе, 21
 Общие положения о безопасности, iii
 одиночные события, 83
 Ослабление, вход, 23
 Отклонение Аллана, 75, 76
 Относительная частота, 41

П

Период установки, подготовка синхронизации, 87

Погрешности (фаза), 61
 Погрешности временных измерений, 57
 Погрешности фазы в зависимости от частоты; таблица, 63
 Погрешность временного интервала (Time Interval Error, TIE), 56
 Подготовка синхронизации
 Временная задержка (подготовка пуска), 84
 входные сигналы, 86
 измерения параметров вспышки, 85
 измеряемый сигнал как сигнал подготовки синхронизации, 86
 импульсные сигналы, 83
 использование входного сигнала для подготовки синхронизации, 86
 непериодические сигналы, 83
 обзор, 83
 одиночные события, 83
 период установки, 87
 Подготовка останова, 84
 Подготовка пуска, 84
 примеры, 88, 91, 92
 профилирование, 83, 95
 сигнал подготовки синхронизации на базе измеряемого сигнала, 86
 сигналы синхронизации, 86
 синхронизирующие сигналы, 86
 Подменю Dataset (Массив данных)
 Erase (Стереть), 21
 Recall (Загрузить), 21
 Save (Сохранить), 21

Подменю Interface (Интерфейс)
 Bus Type (Тип шины), 21
 GPIB Address (Адрес GPIB), 21
 GPIB Mode (Режим GPIB), 21
 Подменю Limit (Предел)
 Limit Behavior (Действие при нарушении предела), 19
 Limit Mode (Режим тестирования предела), 19
 Lower Limit (Нижний предел), 20
 Upper Limit (Верхний предел), 20
 Подменю Math (Математические функции)
 K, 19
 L, 19
 M, 19
 Math (Математические функции), 19
 X, 19
 Подменю Save/Recall (Сохранить/Загрузить)
 Dataset (Массив данных), 21
 Setup (Настройка), 20
 Total Reset (Полный сброс), 21
 Подменю Setup (Настройка)
 Modify Labels (Изменить метки), 20
 Recall Setup (Загрузить настройку), 20
 Save Current Setup (Сохранить текущую настройку), 20
 Setup Protect (Защита настройки), 20
 Подменю Test (Тест)
 Start Test (Пуск теста), 21
 Test Mode (Режим тестирования), 21
 Показ гистограммы, 8

- Помехи, 28
- Понижающий преобразователь (измерение параметров микроволн), 37
- Превышение уровня синхронизации и закругление импульса, 58
- Предварительные делители и минимальное время измерения, 35
- Пределы, 80
- Пределы и режим анализа, 81
- Прекращение измерений (Hold (Задержка)), 14
- Преобразование уровня синхронизации автоматического режима в уровень синхронизации ручного режима, 28
- Примеры**
- измерение времени между импульсами вспышки (подготовка синхронизации), 92
 - измерение отклонения от заданной частоты, 74
 - измерение ширины второго импульса вспышки (подготовка синхронизации), 91
 - измерение ширины первого импульса вспышки (подготовка синхронизации), 88
 - математические выражения, 74, 76
 - расчет доверительных интервалов, 78
 - с помощью математических выражений, 74
 - суммирование и подготовка синхронизации, 67
 - Totalize A, Start/Stop by B (Суммирование A, Пуск/Стоп по B), 68
 - Totalize A-B gated by E (Суммирование A-B, синхронизация по E), 68
 - Totalize B timed by A (Суммирование B, синхронизация по A), 69
- Проведение единичного измерения, 14
- Профилирование, 83, 95
- Профилирование методом периодического получения выборок, 96
- Р**
- Разрешение, 101
 - Разрешение (фаза), 61
 - Расчет доверительных интервалов измерения, 78
 - Расчет неопределенности, 78
- Реверсивный счет, 33
- Регистрация (тестирование пределов), 80
- Режим меню, 7
- Режимы анализа, 7
- Ручная синхронизация, 27, 32
- С**
- Связь на входе переменному току, 24
 - Связь на входе по постоянному току, 24
 - Сигнал низкой частоты, 36
 - Сигнал тревоги с прекращением измерения (тестирование пределов), 80
 - Сигнальное оповещение (тестирование пределов), 80
 - Синхронизация
 - Автоматический (широкий) гистерезис, 31
 - более быстрые измерения, 27
 - гармоническое искажение, 32
 - Гистерезис, 29
 - заданный режим синхронизации, 27
 - измерение времени, 53
 - настройка уровня, 31
 - преобразование уровня синхронизации автоматического режима в уровень синхронизации ручного режима, 28
 - ручная синхронизация, 32
 - узкий гистерезис, 32
 - установленное значение уровня ручной синхронизации, 27
 - Синхронизация при временных измерениях, 53
 - Систематические погрешности, измерения фазы, 63
 - Скорость измерения, 34

Скорость статистической обработки и измерения, 77
 Случайные погрешности, измерения фазы, 61
 Сопротивление, вход, 23
 Стандартное отклонение, 76
 Статистика, 75
 Статистика и математика, 78
 Статистические измерения, 7
 Суммирование, 66

Т

Тайм-аут, 34
 Теория измерения, 33
 Выборка и запоминание, 34
 микроволна, 37
 понижающий преобразователь, 37
 предварительные делители, 36
 предварительные делители и минимальное время измерения, 35
 РЧ-сигнал, 36
 сигналы низкой частоты, 36
 скорость измерения, 34
 Тайм-аут, 34
 усредненные измерения и измерения для единичного цикла, 34
 Теория измерения параметров микроволн, 37
 Теория измерения параметров сигнала в диапазоне радиочастот, 36

Тестирование пределов, 80
 Настройка диапазона, 81
 Настройка сигнала тревоги с прекращением измерения, 80
 Настройка сигнального оповещения, 80
 Уставка Above (Выше), 81
 Уставка Below (Ниже), 81
 Установка действия при нарушении предела, 80
 установка регистрации, 80
 LL (нижний предел), 81
 UL (верхний предел), 81
 Тип входа, вход, 24

У

Уменьшение помех, 28
 Уменьшение шума, 28
 Управление входным сигналом, 23
 Уровни ручной синхронизации, 27
 Ускорение измерений со статистической обработкой данных, 77
 Усредненные измерения и измерения для единичного цикла, 34
 Установленное значение уровня ручной синхронизации, 27

Ф

Фаза, 60
 Фильтр низких частот, вход, 25
 Функции, vii

Ц

Цифровой фильтр низких частот, вход, 25

Ч

Частота (fo), 45

Частотно-модулированные сигналы, 45
 Частоты модуляции выше 1 кГц, 46
 Численные статистические измерения, 7

Ш

Шум, 28

А

Above (Выше) (тестирование пределов), 81
 Adev (Отклонение Аллана), 75
 Arm (Подготовка), 17
 Auto Trig Low Freq (Низкочастотная автосинхронизация), 18, 27

В

Below (Ниже) (тестирование пределов), 81
 Burst (Вспышка), 16
 Bus Type (Interface) (Тип шины (Интерфейс)), 21

С

Calibrate (Калибровка), 21

D

Dataset (Save/Recall) (Массив данных (Сохранить/Загрузить)), 21
 Digit Blanks (Позиции для цифр), 21

E

Erase (dataset item) (Стереть (элемент массива данных)), 21

G**GPIB**

- адрес, 21
- режим (собственный или совместимый), 21
- скорость шины, x

I

- Input C Acq (Регистрация на входе C), 18
- Interface (Интерфейс), 21
- Interpolator Calibration (Калибровка интерполятора), 18

K

- K (константа математической формулы), 19

L

- L (константа математической формулы), 19
- Limit Behavior (Действие при нарушении предела), 19
- Limit Mode (Режим тестирования предела), 19
- LL (тестирование пределов), 81
- Lower Limit (Нижний предел), 20

M

- M (константа математической формулы), 19
- Math (Математические функции), 19

- Max (Макс.), 75
- MEAN (Среднее), 75
- Meas Time (Время измерения), 16
- Min (Мин.), 75
- Misc (Прочее), 18
- Modify Labels (Изменить метки), 20

P

- P-P (Размах), 75

R

- Range (Диапазон) (тестирование пределов), 81
- Recall (dataset) (Загрузить (массив данных)), 21
- Recall (instrument setup) (Загрузить (настройки прибора)), 20

S

- Save (Сохранить), 21
- Save Current Setup (Сохранить текущую настройку), 20
- Save/Recall (Сохранить/Загрузить), 20
- Setup (Настройка), 20
- Setup Protect (Защита настройки), 20
- Smart Measure (Разумные параметры), 18
- Standard Deviation (Стандартное отклонение), 75
- Start Test (Пуск теста), 21
- Stat (Статистика), 17

- Std (Стд.), 75

T

- Test (Тест), 21
- Test Mode (Режим тестирования), 21
- TPE, 19, 56
- Timebase (Временная развертка), 17
- Timeout (Время ожидания), 18
- Total Reset (Полный сброс), 21
- Totalize and Arming (Суммирование и подготовка синхронизации), 67
- Trigger (Синхронизация Hold Off (Удержание), 17

U

- UL (тестирование пределов), 81
- Upper Limit (Верхний предел), 20

V

- Vмакс., 71
- Vмин., 71
- Vразмах, 71
- Vср. кв., 71

X

- X (математическая формула), 19