

СОГЛАСОВАНО
Главный метролог
АО «АКТИ-Мастер»



А.П. Лисогор

16» марта 2026 г.

Государственная система обеспечения единства измерений

Осциллографы цифровые RIGOL

Методика поверки
МП MSO7ZZZ/2026

Москва
2026

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Настоящая методика поверки распространяется на осциллографы цифровые RIGOL (далее – осциллографы), изготавливаемые в модификациях DS7014, MSO7014, DS7024, MSO7024, DS7034, MSO7034, DS7054, MSO7054 компанией “RIGOL TECHNOLOGIES CO., LTD”, Китай, и устанавливает методы и средства их первичной и периодической поверки.

1.2 В результате поверки должны быть подтверждены метрологические требования (характеристики), приведенные в таблице А.1 Приложения А настоящей методики поверки.

1.3 При поверке осциллографов обеспечивается прослеживаемость поверяемого средства измерений к государственным эталонам:

ГЭТ 182–2010 в соответствии с государственной поверочной схемой для средств измерений импульсного электрического напряжения, утвержденной приказом Росстандарта от 30.12.2019 г. № 3463.

1.4 Операции поверки выполняются методами прямых измерений величин.

1.5 Допускается проведение периодической поверки для меньшего числа каналов осциллографов в соответствии с письменным заявлением владельца, с обязательным указанием в свидетельстве о поверке информации об объеме проведенной поверки.

2 ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ

2.1 При проведении поверки должны быть выполнены операции, указанные в таблице 1.

Таблица 1 – Операции поверки

Наименование операции поверки	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер пункта методики поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
Внешний осмотр средства измерений	да	да	Раздел 7
Подготовка к поверке и опробование средства измерений	да	да	Раздел 8
Идентификация программного обеспечения	да	да	Раздел 9
Определение метрологических характеристик и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	да	да	Раздел 10
Определение входного сопротивления каналов	да	да	10.1
Определение входной ёмкости каналов	да	нет	10.2
Определение относительной погрешности установки коэффициентов отклонения	да	да	10.3
Определение абсолютной погрешности установки постоянного напряжения смещения	да	да	10.4
Определение полосы пропускания	да	да	10.5
Определение абсолютной погрешности измерения временных интервалов	да	да	10.6
Определение абсолютной погрешности установки уровня синусоидального сигнала генератора	да	да	10.7
Определение неравномерности амплитудно-частотной характеристики генератора	да	да	10.8
Определение относительной погрешности установки частоты выходного сигнала генератора	да	да	10.9
Определение длительности фронта и спада сигнала прямоугольной и импульсной форм	да	да	10.10
Оформление результатов поверки	да	да	Раздел 11

3 ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

В соответствии с ГОСТ 8.395–80 и с учетом условий применения осциллографов, а также средств поверки, при проведении поверки должны соблюдаться следующие требования:

- температура среды от +15 °С до +35 °С;
- относительная влажность от 30 % до 80 %;
- атмосферное давление от 84 до 106 кПа.

4 ТРЕБОВАНИЯ К СПЕЦИАЛИСТАМ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИМ ПОВЕРКУ

К проведению поверки допускаются лица, имеющие высшее или среднетехническое образование, практический опыт в области радиотехнических измерений, имеющие документ о квалификации в соответствии с действующими нормативно-правовыми актами в области аккредитации. Специалист, выполняющий поверку, должен быть аттестован по группе электробезопасности не ниже 3 (Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 15 декабря 2020 г. № 903н «Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок»).

5 МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ПОВЕРКИ

5.1 Рекомендуются применять средства поверки, указанные в таблице 2.

Таблица 2 – Средства поверки

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
1	3	4
раздел 3 Контроль условий проведения поверки	Средства измерений температуры, относительной влажности и атмосферного давления; абсолютная погрешность измерений температуры в диапазоне от 0 до 50 °С в пределах $\pm 0,5$ °С; абсолютная погрешность измерений относительной влажности в диапазоне от 30 до 80 % в пределах ± 3 %; абсолютная погрешность измерений атмосферного давления в диапазоне от 84 до 106 кПа в пределах $\pm 0,2$ кПа	Термогигрометр ИВА-6Н-Д; рег. № 46434-11
п.10.1 Определение входного сопротивления каналов	Средства измерений и воспроизведения сопротивления постоянному току в диапазонах: – от 40 Ом до 90 Ом и погрешностью $\pm 0,1$ %; – от 800 кОм до 1200 кОм и погрешностью $\pm 0,5$ %	Калибратор осциллографов 9500В с формирователем 9530; рег. № 30374-13

Продолжение таблицы 2

1	2	3
п.10.2 Определение входной ёмкости каналов	Средства измерений электрической ёмкости в диапазоне от 1 до 35 пФ с погрешностью $\pm(0,02 \cdot C + 0,25)$ пФ	Калибратор осциллографов 9500В с формирователем 9530; рег. № 30374-13
п.10.3 Определение относительной погрешности установки коэффициентов отклонения	Средства измерений, соответствующие требованиям к эталонам не ниже 2 разряда, по ГПС для средств измерений импульсного электрического напряжения, приказ Росстандарта от 30.12.2019 г. № 3463	
п.10.4 Определение абсолютной погрешности установки постоянного напряжения смещения	Средства измерений и воспроизведения напряжения постоянного тока в диапазоне от ± 1 мВ до ± 100 В с погрешностью $\pm(0,00025 \times U_{\text{уст}} + 25 \text{ мкВ})$	
п.10.5 Определение полосы пропускания	Средства измерений и воспроизведения сигнала опорной частоты 10 МГц; относительная погрешность воспроизведения частоты 10 МГц $\pm 6 \cdot 10^{-11}$. Средства измерений и воспроизведения напряжения переменного тока от 100 мВ до 500 мВ, частотой от 1 МГц до 1000 МГц, с погрешностью установки амплитуды $\pm(0,001 \times U_{\text{уст}} + 10 \text{ мкВ})$	Стандарт частоты рубидиевый FS725; рег. № 31222-06
п.10.6 Определение абсолютной погрешности измерения временных интервалов		Калибратор осциллографов 9500В с формирователем 9530; рег. № 30374-13
п.10.7 Определение абсолютной погрешности установки уровня синусоидального сигнала генератора	Средства измерений напряжения переменного тока до 10 В, частотой от 10 Гц до 20 кГц; пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений напряжения переменного тока $\pm(6 \cdot 10^{-4} \cdot U + 3 \cdot 10^{-3})$	Мультиметр цифровой Keithley 2000, рег. № 25787-03
п.10.8 Определение неравномерности амплитудно-частотной характеристики генератора	Средства измерений мощности электромагнитных колебаний в диапазоне частот от 0 МГц до 100 МГц, при уровне мощности 0 дБм с относительной погрешностью $\pm 0,9 \%$.	Ваттметр поглощаемой мощности СВЧ NRP40T рег. № 69958-17
п. 10.9 Определение относительной погрешности установки частоты выходного сигнала генератора	Средства измерений частоты сигнала от 10 Гц до 300 МГц; погрешность измерений частоты не более $\pm 1 \cdot 10^{-6}$	Частотомер универсальный Tektronix FCA3000, рег. № 51532-12
п.10.10 Определение длительности фронта и спада сигнала прямоугольной и импульсной форм	Средства измерений интервалов времени в диапазоне от 1 нс до 10 с, импульсного электрического напряжения в диапазоне от 100 мВ до 5 В; с полосой пропускания не менее 2,5 ГГц; пределы допускаемой относительной погрешности частоты опорного генератора $\pm 2,5 \cdot 10^{-6}$	Осциллограф цифровой Tektronix DPO7254C, рег. № 53104-13
Дополнительное оборудование	Персональный компьютер с ОС Windows и установленной программой Power Viewer	Персональный компьютер
	Нагрузка проходная BNC-BNC 50 Ом, мощность не менее 0,5 Вт	Нагрузка 50 Ом

5.2 Допускается использование других средств измерений утвержденного типа, поверенные и имеющие метрологические и технические характеристики, аналогичные указанным в таблице 2, и обеспечивающие требуемую точность передачи единиц поверяемому средству измерений.

6 ТРЕБОВАНИЯ (УСЛОВИЯ) ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

6.1 При проведении поверки должны быть соблюдены требования безопасности в соответствии с ГОСТ 12.3.019-80.

6.2 Необходимо соблюдать меры предосторожности, изложенные в руководстве по эксплуатации осциллографов, а также меры безопасности, указанные в руководствах по эксплуатации средств поверки.

7 ВНЕШНИЙ ОСМОТР СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

7.1 При проведении внешнего осмотра осциллографа проверяются:

- соответствие внешнего вида осциллографа описанию и изображению, приведенных в описании типа (раздел – описание средства измерений);
- наличие защиты от несанкционированного вмешательства согласно описанию типа;
- правильность маркировки и комплектность;
- чистота и исправность разъемов;
- исправность органов управления, четкость фиксации их положений;
- отсутствие механических повреждений корпуса и ослабления крепления элементов;
- конструкции (определяется на слух при наклонах осциллографа).

7.2 При наличии дефектов или повреждений, препятствующих нормальной эксплуатации поверяемого осциллографа, его следует направить заявителю поверки (пользователю) для ремонта.

8 ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ И ОПРОБОВАНИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

8.1 Перед началом выполнения дальнейших операций поверки следует изучить руководство по эксплуатации осциллографа, а также руководства по эксплуатации средств поверки.

8.2 Выполнить контроль условий поверки в соответствии с требованиями, указанными в разделе 3 настоящей методики поверки.

8.3 Перед началом выполнения дальнейших операций используемые средства поверки и поверяемый осциллограф должны быть подключены к сети 230 В; 50 Гц и выдержаны во включенном состоянии в соответствии с указаниями руководств по эксплуатации.

Минимальное время прогрева осциллографа 30 минут.

8.4 Выполнить самотестирование по следующей процедуре:

- Выключить и снова включить осциллограф, при этом автоматически запустится процесс самотестирования;

В процессе самотестирования не должно быть сообщений об ошибках.

8.5 После прогрева осциллографа в течение не менее 30 минут выполнить процедуру автоподстройки (Self-calibration), для чего:

- убедиться в том, что к каналам осциллографа ничего не подключено;
- нажать кнопку **Utility** на передней панели осциллографа. В появившемся на дисплее меню, выбрать **System** → **SelfCal** и нажать кнопку **Start** на дисплее.
- дождаться завершения процесса автоподстройки, по его завершению не должно появиться сообщений об ошибках.

8.6 Проверить остаточное смещение каналов по вертикали по следующей процедуре:

- нажать кнопку **Acquire** на передней панели осциллографа;

- в появившемся на дисплее меню, выбрать **Acquisition** → **Average** и установить число усреднений 16 в поле **Averages**;

- установить на всех каналах коэффициент отклонения 2 мВ/дел;

- проверить, что отклонение траектории сигнала от центра горизонтальной линии сетки не превышает 0,5 деления вертикальной шкалы на всех каналах осциллографа.

8.7 Результат опробования считать положительным, если по завершении самотестирования и автоподстройки не возникают сообщения об ошибках, а остаточное смещение каналов по горизонтальной оси от центральной линии сетки не превышает 0,5 деления вертикальной шкалы на всех каналах осциллографа.

При получении отрицательных результатов по какой-либо операции необходимо повторить операцию. При повторном отрицательном результате процедуру поверки необходимо прекратить, результаты поверки оформить в соответствии с п.11 данной методики поверки.

9 ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

9.1 Нажать кнопку **Utility** на передней панели осциллографа. В появившемся на дисплее меню, выбрать **System** → **About**. На дисплее должно появиться окно с информацией о системе и установленном ПО.

9.2 Результат проверки считается положительным, если номер версии программного обеспечения в строке информации о версии ПО (Firmware) не ниже 01.01.04.

10 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ

Определение метрологических характеристик осциллографа выполнить по процедурам, изложенным в пунктах 10.1 ÷ 10.10.

Полученные результаты должны удовлетворять критериям подтверждения соответствия метрологическим требованиям, которые приведены в каждой операции поверки.

Допускается фиксировать результаты измерений качественно без указания действительных измеренных значений, если заявителем поверки не предъявлен запрос по их представлению в протоколе поверки.

При получении отрицательных результатов по какой-либо операции необходимо повторить операцию. При повторном отрицательном результате процедуру поверки необходимо прекратить, результаты поверки оформить в соответствии с п.11 данной методики поверки.

10.1 Определение входного сопротивления каналов

10.1.1 Выполнить на осциллографе сброс настроек последовательным нажатием кнопок **DEFAULT**, **OK**.

10.1.2 Подключить оборудование по схеме, представленной на рисунке 1.

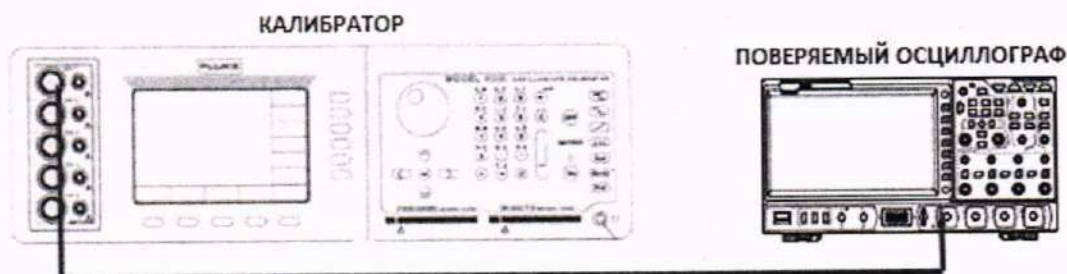


Рисунок 1 – Схема подключения оборудования для определения входного сопротивления каналов, входной ёмкости каналов, относительной погрешности коэффициентов отклонения, погрешности установки постоянного напряжения смещения, полосы пропускания

10.1.3 Включить канал 1 нажатием на кнопку включения канала на передней панели осциллографа в области настроек **Vertical**. Установить в меню канала 1 – импеданс 1 МОм.

10.1.4 Установить поворотным регулятором коэффициент отклонения на осциллографе 100 мВ/дел.

10.1.5 Установить на калибраторе режим измерения сопротивления, выходное сопротивление 1 МОм. Включить выход калибратора.

10.1.6 Записать измеренное калибратором значение сопротивления в таблицу 3.

10.1.7 Установить поворотным регулятором коэффициент отклонения на осциллографе 500 мВ/дел. Записать измеренное калибратором значение сопротивления в таблицу 3. Выключить выход калибратора.

10.1.8 Установить входное сопротивление канала осциллографа 50 Ом.

10.1.9 Установить на калибраторе режим измерения сопротивления, нагрузка 50 Ом. Выполнить действия по пунктам 10.1.6 и 10.1.7.

10.1.10 Выполнить действия по пунктам 10.1.1 – 10.1.9 для остальных каналов осциллографа.

Таблица 3 – Определение входного сопротивления каналов

Таблица 5. Определение входного сопротивления каналов		
Коэффициенты отклонения, мВ/дел	Измеренное значение входного сопротивления каналов	Пределы допускаемых значений сопротивления каналов
Входное сопротивление 1 МОм		
100		от 0,99 до 1,01 МОм
500		
Входное сопротивление 50 Ом		
100		от 49,5 до 50,5 Ом
500		

КРИТЕРИЙ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ СООТВЕТСТВИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ: измеренные значения входного сопротивления каналов должны находиться в пределах допускаемых значений.

10.2 Определение входной ёмкости каналов

10.2.1 Выполнить на осциллографе сброс настроек последовательным нажатием кнопок **DEFAULT, OK**.

10.2.2 Подключить оборудование по схеме, указанной на рисунке 1.

10.2.3 Включить канал 1 нажатием на кнопку включения канала на передней панели осциллографа в области настроек **Vertical**. Установить в меню канала 1 – импеданс 1 МОм.

10.2.4 Установить поворотным регулятором коэффициент отклонения на осциллографе 100 мВ/дел.

10.2.5 Установить на калибраторе режим измерения электрической ёмкости, импеданс 1 МОм. Включить выход калибратора.

10.2.6 Записать измеренное калибратором значение ёмкости в таблицу 4.

10.2.7 Установить поворотным регулятором коэффициент отклонения на осциллографе 500 мВ/дел. Записать измеренное калибратором значение ёмкости в таблицу 4. Выключить выход калибратора.

10.2.8 Выполнить действия по пунктам 10.2.3 – 10.2.7 для остальных каналов осциллографа.

Таблица 4 – Определение входной ёмкости каналов

Коэффициенты отклонения, мВ/дел	Измеренное значение входной ёмкости каналов, пФ	Пределы допускаемых значений входной ёмкости каналов, пФ
100		от 14 до 20
500		

КРИТЕРИЙ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ СООТВЕТСТВИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ:
измеренные значения входной ёмкости каналов должны находиться в пределах допускаемых значений.

10.3 Определение относительной погрешности установки коэффициентов отклонения

10.3.1 Выполнить на осциллографе сброс настроек последовательным нажатием кнопок **DEFAULT, OK**.

10.3.2 Подключить оборудование по схеме, представленной на рисунке 1.

10.3.3 Установить на калибраторе режим воспроизведения постоянного напряжения на нагрузку 1 МОм.

10.3.4 Включить канал 1 нажатием на кнопку включения канала на передней панели осциллографа в области настроек **Vertical**.

10.3.5 Выполнить следующие установки на осциллографе:

а) в меню канала **CH1** (в зависимости от поверяемого канала):

– **Impedance**: 1 МΩ;

– **BW Limit**: 20 MHz;

– **Attenuation**: 1x;

б) в меню **Acquire** (включается нажатием кнопки на передней панели):

– **Acquisition**: Average;

– **Averages**: 32;

в) установить поворотными регуляторами на передней панели осциллографа:

– коэффициент отклонения: 1 мВ/дел.;

– коэффициент развертки: 1 мкс/дел.;

– постоянное смещение: 0 В;

г) установить в меню **Trigger** синхронизацию по поверяемому каналу и отрегулировать уровень синхронизации, чтобы не было ложных срабатываний.

10.3.6 Войти в меню автоматических измерений нажатием кнопки **Measure** на передней панели осциллографа. Выбрать режим измерений среднего значения напряжения последовательным нажатием кнопок меню на дисплее осциллографа: **Add → Category → Vertical → Vavg**.

10.3.7 Установить на калибраторе положительное значение напряжения $U_{к+} = +3$ мВ. Включить выход калибратора. Записать измеренное осциллографом значение положительного напряжения из окна автоматических измерений **Vavg** в таблицу 5 как $U_{изм+}$.

10.3.8 Установить на калибраторе отрицательное значение напряжения $U_{к-} = -3$ мВ.

Записать измеренное осциллографом значение отрицательного напряжения из окна **Vavg** в таблицу 5 как $U_{изм-}$.

10.3.9 Устанавливая значения коэффициентов отклонения и соответствующие значения напряжения на калибраторе из таблицы 5, провести измерения по п.п. 10.3.7 – 10.3.8 для остальных коэффициентов отклонения. Записывать измеренные осциллографом значения напряжения $U_{изм+}$ и $U_{изм-}$ в таблицу 5. Выключить выход калибратора.

10.3.10 Установить на калибраторе и на канале осциллографа значение сопротивления 50 Ом. Повторить действия по п.п. 10.3.7 - 10.3.9 для входного сопротивления осциллографа 50 Ом.

10.3.11 Выполнить действия по пунктам 10.3.3 – 10.3.10 для остальных каналов осциллографа.

10.3.12 Рассчитать значение относительной погрешности коэффициентов отклонения $\delta_{ко}$ по формуле (1):

$$\delta_{K_0} = \frac{|(U_{\text{изм}+} - U_{\text{изм}-}) - (U_{K+} - U_{K-})|}{K_0 \cdot 8} \cdot 100, \% \quad (1)$$

где $\delta_{\text{изм}}$ – относительная погрешность коэффициентов отклонения;

K_0 – коэффициент отклонения, мВ/дел (для коэффициентов отклонения 1 мВ/дел и 2 мВ/дел принимать K_0 равным 4 мВ/дел);

$U_{\text{изм}+}$ и $U_{\text{изм}-}$ – значения напряжения, измеренные осциллографом, мВ;

U_{K+} и U_{K-} – значения выходного напряжения калибратора, мВ.

10.3.13 Записать расчетные значения относительной погрешности коэффициентов отклонения в таблицу 5.

Таблица 5 – Определение относительной погрешности коэффициентов отклонения

Коэф- фициенты отклонения K_0	Установки калибратора		Измерено осциллографом		Относительная погрешность коэффициентов отклонения $\delta_{K_0}, \%$	Пределы допускаемой относительной погрешности коэффициентов отклонения, %
	Напряжение U_{K+}	Напряжение U_{K-}	Напряжение $U_{изм+}$	Напряжение $U_{изм-}$		
Входное сопротивление каналов 1 МОм						
1 мВ/дел	+3 мВ	−3 мВ				±2
2 мВ/дел	+6 мВ	−6 мВ				
5 мВ/дел	+15 мВ	−15 мВ				
10 мВ/дел	+30 мВ	−30 мВ				
20 мВ/дел	+60 мВ	−60 мВ				
50 мВ/дел	+150 мВ	−150 мВ				
100 мВ/дел	+300 мВ	−300 мВ				
200 мВ/дел	+600 мВ	−600 мВ				
500 мВ/дел	+1,5 В	−1,5 В				
1 В/дел	+3 В	−3 В				
2 В/дел	+6 В	−6 В				
5 В/дел	+15 В	−15 В				
10 В/дел	+30 В	−30 В				
Входное сопротивление каналов 50 Ом						
1 мВ/дел	+3 мВ	−3 мВ				±2
2 мВ/дел	+6 мВ	−6 мВ				
5 мВ/дел	+15 мВ	−15 мВ				
10 мВ/дел	+30 мВ	−30 мВ				
20 мВ/дел	+60 мВ	−60 мВ				
50 мВ/дел	+150 мВ	−150 мВ				
100 мВ/дел	+300 мВ	−300 мВ				
200 мВ/дел	+600 мВ	−600 мВ				
500 мВ/дел	+1,5 В	−1,5 В				
1 В/дел	+3 В	−3 В				

КРИТЕРИЙ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ СООТВЕТСТВИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ:
значения относительной погрешности коэффициентов отклонения должны находиться в допускаемых пределах.

10.4 Определение погрешности установки постоянного напряжения смещения

10.4.1 Выполнить на осциллографе сброс настроек последовательным нажатием кнопок **DEFAULT, OK**.

10.4.2 Подключить оборудование по схеме, представленной на рисунке 1.

10.4.3 Установить на калибраторе режим воспроизведения постоянного напряжения на нагрузку 1 МОм.

10.4.4 Включить канал 1 нажатием на кнопку включения канала на передней панели осциллографа в области настроек **Vertical**.

10.4.5 Выполнить следующие установки на осциллографе:

а) в меню канала **CH1** (в зависимости от поверяемого канала):

– **Impedance**: 1 МΩ;

– **BW Limit**: 20 MHz;

– **Attenuation**: 1x;

б) в меню **Acquire** (включается нажатием кнопки на передней панели):

– **Acquisition**: Average;

– **Averages**: 32;

в) установить поворотными регуляторами на передней панели осциллографа:

– коэффициент отклонения: 1 мВ/дел.;

– коэффициент развертки: 1 мс/дел.;

– постоянное смещение **Offset**: 1 В;

г) установить в меню **Trigger** синхронизацию по поверяемому каналу и отрегулировать уровень синхронизации, чтобы не было ложных срабатываний.

10.4.6 Войти в меню автоматических измерений нажатием кнопки **Measure** на передней панели осциллографа. Выбрать режим измерений среднего значения напряжения последовательным нажатием кнопок меню на дисплее осциллографа: **Add → Category → Vertical → Vavg**.

10.4.7 Установить на калибраторе значение напряжения $U_k = -1$ В. Включить выход калибратора. Записать измеренное осциллографом значение напряжения из окна автоматических измерений **Vavg** в таблицу 6 как $U_{изм}$.

10.4.8 Устанавливать значения коэффициентов отклонения K_o , напряжение смещения $U_{см}$ и напряжение на калибраторе U_k , согласно таблице 6. Записывать измеренные осциллографом значения напряжения в таблицу 6. Выключить выход калибратора.

10.4.9 Установить на калибраторе и на канале осциллографа значение сопротивления 50 Ом. Устанавливая значения коэффициентов отклонения K_o , напряжения смещения $U_{см}$ и напряжения на выходе калибратора U_k согласно таблице 6, выполнить действия по пунктам 10.4.7 – 10.4.8 для входного сопротивления осциллографа 50 Ом. Записать измеренные значения напряжения $U_{изм}$ для сопротивления 50 Ом в таблицу 6.

10.4.10 Выполнить действия по пунктам 10.4.3 – 10.4.9 для остальных каналов осциллографа.

Таблица 6 – Определение погрешности установки постоянного напряжения смещения

Коэффициенты отклонения, K_0	Входное сопротивление	Значение напряжения смещения на осциллографе, $U_{см}$	Напряжение на калибраторе, U_K	Измеренное значение постоянного напряжения смещения, $U_{изм}$	Пределы допускаемых значений установки постоянного напряжения смещения
10 мВ/дел	1 МОм	+1 В	-1 В		от -1,02 В до -0,98 В
		0 В	0 В		от -3,00 мВ до +3,00 мВ
		-1 В	+1 В		от +0,98 В до +1,02 В
200 мВ/дел		+10 В	-10 В		от -10,17 В до -9,83 В
		0 В	0 В		от -22,00 мВ до +22,00 мВ
		-10 В	+10 В		от +9,83 В до +10,17 В
1 В/дел		+20 В	-20 В		от -20,30 В до -19,70 В
		0 В	0 В		от -102,00 мВ до +102,00 мВ
		-20 В	+20 В		от +19,70 В до +20,30 В
5 В/дел		+100 В	-100 В		от -101,50 В до -98,50 В
		0 В	0 В		от -502,00 мВ до +502,00 мВ
		-100 В	+100 В		от +98,50 В до +101,50 В
100 мВ/дел	50 Ом	+1 В	-1 В		от -1,03 В до -0,97 В
		0 В	0 В		от -12,00 мВ до +12,00 мВ
		-1 В	+1 В		от +0,97 В до +1,03 В
500 мВ/дел		+4 В	-4 В		от -4,09 В до -3,91 В
		0 В	0 В		от -52,00 мВ до +52,00 мВ
		-4 В	+4 В		от +3,91 В до +4,09 В

КРИТЕРИЙ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ СООТВЕТСТВИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ: измеренные значения постоянного напряжения смещения должны находиться в пределах допускаемых значений.

10.5 Определение полосы пропускания

10.5.1 Выполнить на осциллографе сброс настроек последовательным нажатием кнопок **DEFAULT, OK**.

10.5.2 Подключить оборудование по схеме, представленной на рисунке 2.

10.5.3 Установить на калибраторе 9500В режим воспроизведения переменного напряжения на нагрузку 50 Ом.



Рисунок 2 – Схема подключения оборудования для определения полосы пропускания, абсолютной погрешности измерения временных интервалов

10.5.4 Включить канал 1 нажатием на кнопку включения канала на передней панели осциллографа в области настроек **Vertical**. Остальные каналы должны быть отключены.

10.5.5 Выполнить следующие установки на осциллографе:

а) в меню канала **CH1** (в зависимости от поверяемого канала):

- **Impedance**: 50 Ω ;
- **BW Limit**: OFF;
- **Attenuation**: 1x;

б) в меню **Acquire** (включается нажатием кнопки на передней панели):

- **Acquisition**: Normal;

в) установить поворотными регуляторами на передней панели осциллографа:

- коэффициент отклонения: 100 мВ/дел.;
- коэффициент развертки: 500 нс/дел;
- постоянное смещение Offset: 0 В;

г) установить в меню **Trigger** синхронизацию по поверяемому каналу, уровень синхронизации 0 В.

10.5.6 Войти в меню автоматических измерений нажатием кнопки **Measure** на передней панели осциллографа. Выбрать режим измерений среднеквадратичного значения напряжения последовательным нажатием кнопок меню на дисплее осциллографа: **Add** → **Category** → **Vertical** → **VRMS**. Для стабильных показаний рекомендуется включить статистическую обработку измерений. Для этого – нажать на окно измерений **VRMS**, в появившемся справа на дисплее меню выбрать **Statistic** → **ON**. В качестве результата измерений записывать среднее значение **Avg**.

10.5.7 Установить на калибраторе синусоидальный сигнал, уровень сигнала (размах) 600 мВ, частота 1 МГц. Включить выход калибратора.

10.5.8 Подстроить на калибраторе уровень сигнала так, чтобы его размах составлял примерно 6 делений по вертикальной шкале осциллографа. Отрегулировать по необходимости коэффициент развертки так, чтобы на экране отображалось пять периодов синусоидального сигнала.

10.5.9 Записать измеренное значение напряжения осциллографом из окна автоматических измерений **VRMS** в таблицу 8 как $U_{оп}$.

10.5.10 Установить на калибраторе значение максимальной частоты F_{max} согласно таблице 7.

10.5.11 Установить на осциллографе коэффициент развертки таким, чтобы на дисплее наблюдалось не менее пяти периодов сигнала. Записать измеренное значение напряжения осциллографом из окна автоматических измерений **VRMS** в таблицу 8 как U_{Fmax} .

10.5.12 Установить коэффициент отклонения на осциллографе 500 мВ/дел, коэффициент развертки 500 нс/дел.

10.5.13 Установить на калибраторе уровень сигнала (размах) 3 В, частота 1 МГц.

10.5.14 Повторить измерения по п.п. 10.5.9 – 10.5.11 для коэффициента отклонения 500 мВ/дел. Выключить выход калибратора.

10.5.15 Вычислить значение ослабления уровня сигнала на максимальной частоте по формуле (2):

$$A = 20 \lg(U_{Fmax}/U_{оп}), \text{ дБ} \quad (2)$$

где $U_{оп}$ – значение уровня сигнала, измеренное осциллографом на частоте 1 МГц, мВ

U_{Fmax} – значение уровня сигнала, измеренное осциллографом на максимальной частоте, мВ.

10.5.16 Записать вычисленные значения ослабления в таблицу 8.

10.5.17 Выполнить действия по пунктам 10.5.3 – 10.5.16 для остальных каналов осциллографа.

Таблица 7 – Значения максимальной частоты

Наименование характеристики	Значение
Максимальная частота, МГц	
– для модификаций DS7014, MSO7014	100
– для модификаций DS7024, MSO7024	200
– для модификаций DS7034, MSO7034	350
– для модификаций DS7054, MSO7054	500
– с опцией DS7000-BW1T2,	200
– с опциями DS7000-BW1T3, DS7000-BW2T3	350
– с опциями DS7000-BW1T5, DS7000-BW2T5, DS7000-BW3T5	500

Таблица 8 – Определение полосы пропускания

Коэффициенты отклонения, мВ/дел	Значение уровня сигнала на частоте 1 МГц $U_{оп}$, мВ	Значение уровня сигнала на максимальной частоте U_{fmax} , мВ	Значение ослабления уровня сигнала на максимальной частоте А, дБ	Предел допускаемого значения ослабления, дБ, не менее
100				-3
500				

КРИТЕРИЙ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ СООТВЕТСТВИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ: значение ослабления уровня сигнала на максимальной частоте полосы пропускания не менее допускаемого значения.

10.6 Определение абсолютной погрешности измерения временных интервалов

10.6.1 Выполнить на осциллографе сброс настроек последовательным нажатием кнопок **DEFAULT, OK**.

10.6.2 Подключить оборудование по схеме, представленной на рисунке 2.

10.6.3 Установить на калибраторе 9500В режим воспроизведения переменного напряжения на нагрузку 50 Ом.

10.6.4 Включить канал 1 нажатием на кнопку включения канала на передней панели осциллографа в области настроек **Vertical**. Остальные каналы должны быть отключены.

10.6.5 Выполнить следующие установки на осциллографе:

а) в меню канала **CH1** (в зависимости отверяемого канала):

– **Impedance**: 50 Ω ;

– **Attenuation**: 1x;

б) в меню **Acquire** (включается нажатием кнопки на передней панели):

– **Acquisition**: Average;

– **Averages**: 32;

в) установить поворотными регуляторами на передней панели осциллографа:

- коэффициент отклонения: 20 мВ/дел.;

- коэффициент развертки: 1 нс/дел;

- постоянное смещение Offset: 0 В;

г) установить в меню **Trigger** синхронизацию поверяемому каналу, уровень синхронизации 0 В.

д) регулятором **Position** или нажатием на окно задания временных интервалов **D** - установить смещение по горизонтальной оси 1 мс.

10.6.6 Установить на калибраторе синусоидальный сигнал, уровень сигнала 1 В, частота 10 МГц. Включить выход калибратора. Включить выход калибратора.

10.6.7 В меню осциллографа включить режим курсорных измерений, нажатием на кнопку **Cursor**. Установить режим ручного управления курсорами последовательным нажатием кнопок меню на дисплее осциллографа: **Mode** → **Manual**.

10.6.8 Произвести измерение абсолютной погрешности установленного смещения Т. Для этого – установить первый вертикальный курсор на центральную линию, второй – в точку пересечения фронта сигнала с горизонтальной центральной линией. Измеренное курсорами значение отобразится в окне курсорных измерений как ΔХ.

10.6.9 Записать измеренное значение ΔХ в таблицу 9.

10.6.10 Выполнить действия по пунктам 10.6.4 – 10.6.9 для остальных каналов осциллографа.

Таблица 9 – Определение абсолютной погрешности измерения временных интервалов

Значение абсолютной погрешности измерения временных интервалов ΔХ, с	Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения временных интервалов, с
	$\pm(\delta_F \cdot T_{\text{изм}} + 1/F_{\text{дискр}} + 5 \cdot 10^{-11})$
Примечания: здесь Т – установленное на осциллографе смещение по горизонтальной шкале: 0,001 с; $F_{\text{дискр}}$ – частота дискретизации, Гц; $\delta_F = (2 \cdot 10^{-6} \cdot N + 2 \cdot 10^{-6})$ – относительная погрешность опорного генератора, с, где N – количество лет после выпуска из производства или подстройки, округленное до целого числа в большую сторону.	

КРИТЕРИЙ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ СООТВЕТСТВИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ:
 значения абсолютной погрешности измерения временных интервалов не должны превышать допускаемых пределов.

10.7 Определение абсолютной погрешности установки уровня синусоидального сигнала генератора (при наличии установленной опции MSO7000-AWG)

10.7.1 Выполнить на осциллографе сброс настроек последовательным нажатием кнопок **DEFAULT, OK**.

10.7.2 Войти в меню установок генератора нажатием на кнопку **G1** на передней панели осциллографа. Установки проводить при выключенном выходе (нажать повторно на кнопку **G1** на передней панели или дисплее осциллографа). Выполнить установки для канала 1 генератора:

- **Settings → Impedance:** 50 Ω;
- Wave: Sine;
- Frequency: 1 kHz;
- Amplitude: 20 mV;
- Offset 0 V.

10.7.3 Подключить оборудование по схеме, представленной на рисунке 3.



Рисунок 3 – Схема подключения оборудования для определения абсолютной погрешности установки уровня синусоидального сигнала генератора

10.7.4 Установить на мультиметре режим измерения напряжения переменного тока (ACV), предел измерений мультиметра установить 100 мВ.

10.7.5 Включить выход генератора и измерить мультиметром значения напряжения, установленного на генераторе согласно таблице 10. Полученные значения записать в таблицу 10.

10.7.6 Повторить измерения по п.п. 10.7.1 – 10.7.5 для второго канала генератора.

Таблица 10 – Определение абсолютной погрешности установки уровня синусоидального сигнала

Уровень сигнала, установленный на генераторе, $U_{уст}$	Пределы измерений мультиметра	Измеренное мультиметром значение напряжения на выходе генератора $U_{изм}$		Пределы допускаемых значений напряжения на выходе генератора ¹⁾
		Канал 1	Канал 2	
20 мВ	100 мВ			от 6,58 мВ до 7,56 мВ
100 мВ				от 34,3 мВ до 36,4 мВ
500 мВ	1 В			от 171 мВ до 181 мВ
1 В				от 346 мВ до 361 мВ
2,5 В				от 866 мВ до 902 мВ

*Примечания:

здесь $U_{уст}$ – уровень синусоидального сигнала на выходе генератора, установленный в мВ и В как размах (пик-пик);

$U_{изм}$ – значение напряжения, измеренное мультиметром в мВ или В как среднеквадратическое значение;

1) – пределы допускаемых значений рассчитаны исходя из допускаемой погрешности и приведены в среднеквадратических значениях напряжения.

КРИТЕРИЙ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ СООТВЕТСТВИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ:
измеренные значения напряжения на выходе генератора для всех каналов должны находиться в пределах допускаемых значений.

10.8 Определение неравномерности амплитудно-частотной характеристики генератора (при наличии установленной опции MSO7000-AWG)

10.8.1 Выполнить на осциллографе сброс настроек последовательным нажатием кнопок **DEFAULT, OK**.

10.8.2 Войти в меню установок генератора нажатием на кнопку **G1** на передней панели осциллографа. Установки проводить при выключенном выходе (нажать повторно на кнопку **G1** на передней панели или дисплее осциллографа). Выполнить установки для канала 1 генератора:

- **Settings** → **Impedance**: 50 Ω ;
- Wave: Sine;
- Frequency: 1 kHz;
- Amplitude: 223,6 мВ;
- Offset 0 V.

10.8.3 Подключить оборудование по схеме, представленной на рисунке 4.

ПОВЕРЯЕМЫЙ ОСЦИЛЛОГРАФ

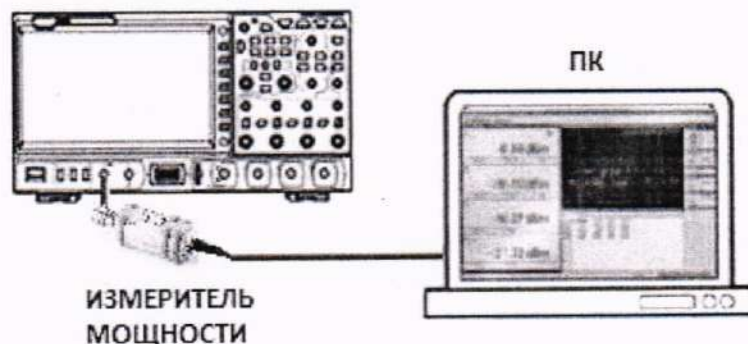


Рисунок 4 – Схема подключения оборудования при определении неравномерности амплитудно-частотной характеристики генератора

10.8.4 Включить выход генератора. Выполнить на генераторе подстройку уровня мощности сигнала $0 \pm 0,02$ дБм по показаниям измерителя мощности.

10.8.5 Произвести установку частоты сигнала на генераторе согласно таблице 11. Измеренные значения уровня мощности записать в таблицу 11.

10.8.6 Вычислить неравномерность амплитудно-частотной характеристики по формуле (3):

$$\Delta_{АЧХ} = P_{изм} - P_{оп}, \text{ дБ} \quad (3)$$

где $P_{изм}$ – измеренный уровень мощности в рабочем диапазоне частот генератора, дБм;
 $P_{оп}$ – уровень мощности на опорной частоте 1 кГц, дБм.

10.8.7 Повторить измерения по п.п. 10.8.1 - 10.8.6 для второго канала генератора.

Таблица 11 – Определение неравномерности амплитудно-частотной характеристики генератора

Частота, установленная на генераторе	Измеренное значение уровня мощности $P_{изм}^*$, дБм		Неравномерность амплитудно-частотной характеристики $\Delta_{АЧХ}$, дБ		Пределы допускаемых значений неравномерности амплитудно- частотной характеристики, дБ
	Канал 1	Канал 2	Канал 1	Канал 2	
1 кГц					±1
100 кГц					
1 МГц					
10 МГц					
25 МГц					
Примечание: * – на опорной частоте 1 кГц $P_{изм.} = P_{оп}$					

КРИТЕРИЙ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ СООТВЕТСТВИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ:
 неравномерность амплитудно-частотной характеристики генератора для всех каналов не должна превышать допускаемых пределов.

10.9 Определение относительной погрешности установки частоты выходного сигнала генератора (при наличии установленной опции MSO7000-AWG)

10.9.1 Выполнить на осциллографе сброс настроек последовательным нажатием кнопок **DEFAULT, OK**.

10.9.2 Подключить оборудование по схеме, представленной на рисунке 5.



Рисунок 5 – Схема подключения оборудования при определении относительной погрешности установки частоты выходного сигнала генератора

10.9.3 Установить на частотометре режим измерения частоты, входное сопротивление 1 МОм.

10.9.4 Войти в меню установок генератора нажатием на кнопку **G1** на передней панели осциллографа. Выполнить установки для канала 1 генератора:

- Wave: Sine;
- Frequency: 1 kHz;
- Amplitude: 1 V;
- Offset 0 V.

10.9.5 Записать показания частотомера в таблицу 12.

10.9.6 Произвести установку частоты сигнала на выходе генератора согласно таблице 12. Измеренные частотомером значения частоты сигнала записать в таблицу 12.

10.9.7 Вычислить значение относительной погрешности установки частоты генератора δ_F по формуле:

$$\delta_F = (F_{уст} - F_{изм}) / F_{изм} \quad (4)$$

где δ_F – значение относительной погрешности установки частоты генератора;

$F_{изм}$ – значение частоты, измеренное частотомером, кГц, МГц;

$F_{уст}$ – установленное значение частоты на выходе генератора, кГц, МГц.

10.9.8 Полученное значение относительной погрешности установки частоты генератора δ_F записать в таблицу 12.

10.9.9 Повторить измерения по п.п. 10.9.3 - 10.9.8 для второго канала генератора.

Таблица 12 – Определение относительной погрешности частоты выходного сигнала генератора

Установленное на генераторе значение частоты $F_{уст}$	Измеренное значение частоты частотомером $F_{изм}$	Относительная погрешность частоты генератора δ_F	Пределы допускаемой относительной погрешности установки частоты выходного сигнала генератора
1 кГц			$\pm 1 \cdot 10^{-4}$
100 кГц			
1 МГц			
10 МГц			
25 МГц			

КРИТЕРИЙ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ СООТВЕТСТВИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ:
значение относительной погрешности установки частоты выходного сигнала для каждого канала генератора не должно превышать допускаемое значение.

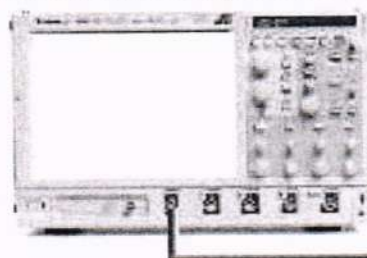
10.10 Определение длительности фронта и спада сигнала прямоугольной и импульсной форм (при наличии установленной опции MSO7000-AWG)

10.10.1 Выполнить на осциллографе сброс настроек последовательным нажатием кнопок **DEFAULT**, **OK**.

10.10.2 Войти в меню установок генератора нажатием на кнопку **G1** на передней панели осциллографа. Установки проводить при выключенном выходе (нажать повторно на кнопку **G1** на передней панели или дисплее осциллографа). Выполнить установки для канала 1 генератора:

- **Settings** → **Impedance**: 50 Ω ;
- **Wave**: Square;
- **Frequency**: 1 MHz;
- **Amplitude**: 1 V;
- **Offset** 0 V.

ЭТАЛОННЫЙ ОСЦИЛЛОГРАФ



ПОВЕРЯЕМЫЙ ОСЦИЛЛОГРАФ



Рисунок 6 – Определение длительности фронта и спада сигнала прямоугольной и импульсной форм

10.10.3 Подключить оборудование по схеме, представленной на рисунке 6.

10.10.4 Выполнить настройки на осциллографе:

- входное сопротивление 50Ω ;
- коэффициент отклонения 200 mV/div ;
- коэффициент развертки 5 nS/div ;
- запуск по переднему фронту или спаду сигнала (в зависимости от измеряемого параметра);

- режим измерения: длительности фронта или спада импульса (в зависимости от измеряемого параметра).

10.10.5 Записать измеренные значения длительности фронта и спада сигнала в таблицу 13.

10.10.6 Повторить измерения по п.п. 10.10.3 - 10.10.5 для второго канала генератора.

Таблица 13 – Определение длительности фронта и спада сигнала прямоугольной и импульсной форм

Измеряемый параметр сигнала	Измеренное значение длительности фронта и спада сигнала, нс		Допускаемое значение длительности фронта и спада сигнала, нс, не более
	Канал 1	Канал 2	
Длительность фронта			15
Длительность спада			

КРИТЕРИЙ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ СООТВЕТСТВИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ: измеренные значения длительности фронта и спада сигнала прямоугольной и импульсной форм каждого канала генератора не должны превышать допускаемого значения.

11 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

11.1 Результаты поверки представляются в соответствии с действующими правовыми нормативными документами и передаются в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений (ФИФ ОЕИ).

11.2 По заявлению пользователя (владельца) в случае положительных результатов поверки и соответствия средства измерений метрологическим требованиям поверитель наносит знак поверки на средство измерений в соответствии с описанием типа и/или выдает свидетельство о поверке, оформленное в соответствии с требованиями к содержанию свидетельств.

11.3 При отрицательных результатах поверки, выявленных при внешнем осмотре, опробовании или выполнении операций поверки, выдается извещение о непригодности к применению средства измерений с указанием причин непригодности.

11.4 При проведении поверки в сокращённом объёме в свидетельство о поверке обязательно вносятся сведения об объёме проведённой поверки.

11.5 По запросу пользователя (заявителя) может оформляться протокол поверки с выводами о соответствии поверенного средства измерений метрологическим требованиям без указания измеренных числовых значений величин, если пользователь (заявитель) не предъявил требование по указанию измеренных действительных значений.

Приложение А
(обязательное)

Таблица А.1 – Метрологические характеристики осциллографов цифровых RIGOL

Наименование характеристики	Значение
Входное сопротивление аналоговых $R_{вх}$ каналов (переключаемое)	$1 \pm 0,01 \text{ МОм}$ $50 \pm 0,5 \text{ Ом}$
Входная емкость аналоговых каналов, пФ	17 ± 3
Полоса пропускания по уровню минус 3 дБ, МГц, не менее	
– для модификаций DS7014, MSO7014	100
– для модификаций DS7024, MSO7024	200
– для модификаций DS7034, MSO7034	350
– для модификаций DS7054, MSO7054	500
– с опцией DS7000-BW1T2,	200
– с опциями DS7000-BW1T3, DS7000-BW2T3	350
– с опциями DS7000-BW1T5, DS7000-BW2T5, DS7000-BW3T5	500
Пределы допускаемой относительной погрешности установки коэффициентов отклонения (относительно полной шкалы), %	± 2 (относительно 32 мВ) ± 2
Пределы допускаемой абсолютной погрешности установки уровня постоянного смещения, мВ, в диапазонах установки K_0 :	
– от 1 до 200 мВ/дел;	$\pm(0,015 \cdot U_{см} + 0,1 \cdot K_0 + 2)$
– св. 200 мВ/дел	$\pm(0,01 \cdot U_{см} + 0,1 \cdot K_0 + 2)$
Пределы допускаемой относительной погрешности частоты внутреннего опорного генератора $\delta F^{1)}$	$\pm(2 \cdot 10^{-6} \cdot N + 2 \cdot 10^{-6})$
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения временных интервалов $T_{изм}$, с	$\pm(\delta F \cdot T_{изм} + 1/F_{дискр} + 5 \cdot 10^{-11})$
Основные характеристики генератора сигналов произвольной формы (для модификаций MSO7014, MSO7024, MSO7034, MSO7054 при наличии установленной опции MSO7000-AWG)	
Пределы допускаемой относительной погрешности установки частоты выходного сигнала	$\pm 1 \cdot 10^{-4}$
Пределы допускаемой абсолютной погрешности установки уровня синусоидального сигнала $U_{уст}$ на частоте 1 кГц, мВ	$\pm(0,02 \cdot U_{уст} + 1)$
Неравномерность амплитудно-частотной характеристики относительно 1 кГц, дБ, не более	± 1
Длительность фронта/спада сигнала прямоугольной и импульсной форм, нс, не более	15
Примечания: здесь K_0 – коэффициент отклонения, мВ/дел; K_p – коэффициент развертки, с/дел; δF – относительная погрешность опорного генератора; $T_{изм}$ – значение измеренного временного интервала, с; $F_{дискр}$ – частота дискретизации, Гц; $U_{см}$ – постоянное напряжение смещения, мВ; $U_{уст}$ – установленное значение выходного напряжения на генераторе, мВ; ¹⁾ N – количество лет после выпуска из производства или подстройки, округленное до целого числа в большую сторону.	