

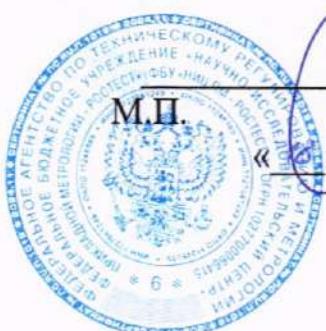


ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ПРИКЛАДНОЙ МЕТРОЛОГИИ – РОСТЕСТ»
(ФБУ «НИЦ ПМ – РОСТЕСТ»)

СОГЛАСОВАНО

Заместитель генерального директора



С.А. Денисенко

06 2025 г.

Государственная система обеспечения единства измерений

УСИЛИТЕЛИ СОГЛАСУЮЩИЕ ЦИФРОВЫЕ

Методика поверки

РТ-МП-967-204-2025

г. Москва
2025 г.

1. Общие положения

Настоящая методика распространяется на усилители согласующие цифровые (далее - анализаторы), изготовленные «Econ Technologies Co., Ltd», Китай, и устанавливает методику их первичной и периодической поверок.

Принцип действия усилителей основан на преобразовании сигналов, поступающих от первичных измерительных преобразователей в низкоимпедансный сигнал напряжения. Усилители могут работать в режиме усилителя заряда, усилителя сигнала с питанием IEPE и усилителя напряжения.

В усилителях предусмотрена возможность программирования коэффициента преобразования для работы с первичными измерительными преобразователями с разными коэффициентами преобразования.

Конструктивно усилители выполнены в жестком металлическом корпусе, на передней панели расположен цифровой сенсорный дисплей, с обратной стороны корпуса расположены от двух до четырех входных и от двух до четырех выходных канала.

Усилители выпускаются в следующих модификациях: MI-2004 и MI-2004A, которые отличаются погрешностью установки коэффициента усиления и уровнем шумов.

При проведении поверки обеспечивается прослеживаемость поверяемого СИ к:

- Государственному первичному эталону единицы электрического напряжения ГЭТ 13-2023 в соответствии с поверочной схемой, утвержденной приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 июля 2023 г. № 1520;

- Государственному первичному эталону единиц времени частоты и национальной шкалы времени ГЭТ 1-2022 в соответствии с поверочной схемой, утвержденной приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 сентября 2022 года № 2360.

При определении метрологических характеристик поверяемого средства измерений используется метод сличения при помощи с компаратора и измерения относительной разницы частот с использованием компаратора.

В результате поверки должны быть подтверждены метрологические характеристики, указанные в Приложении А.

Методика поверки допускает возможность проведения поверки меньшего количества измерительных каналов из состава средства измерений и для меньших режимов измерений.

2. Перечень операций поверки средства измерений

2.1. При проведении первичной и периодической поверок измерителей выполняют операции, указанные в таблице 1.

Таблица 1 – Операции поверки средства измерений

Наименование операции поверки	Номер пункта методики поверки	Обязательность выполнения операций поверки при	
		первичной поверке	периодической поверке
1	2	3	4
Внешний осмотр средства измерений	7	да	да
Контроль условий поверки	8.1	да	да
Опробование	8.2	да	да
Проверка программного обеспечения средства измерений	9	да	да
Определение относительной погрешности преобразования	10.1	да	да
Определение относительной погрешности установки коэффициента усиления	10.2	да	да
Определение неравномерности АЧХ	10.3	да	да
Проверка частот среза переключаемых ФВЧ и ФНЧ	10.4	да	да
Подтверждение соответствия средства измерения метрологическим требованиям	10.5	да	да

2.2. При получении отрицательного результата какой-либо операции поверки дальнейшая поверка не проводится и результаты оформляются в соответствии с п. 11.2.

3. Требования к условиям проведения поверки

3.1. При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия:

- температура окружающего воздуха: $23 \pm 5^{\circ}\text{C}$
- относительная влажность окружающего воздуха до 80 %.

3.2 Перед проведением поверки оборудование должно быть подготовлено к работе в соответствии с руководством по эксплуатации.

3.3 Средства поверки, вспомогательные средства и поверяемый усилитель должны иметь защитное заземление.

4. Требования к специалистам, осуществляющим поверку.

4.1. К поверке допускаются лица имеющие необходимые навыки по работе с подобными средствами измерений, включая перечисленные в таблице 2, и ознакомленными с эксплуатационной документацией на усилители и данной методикой поверки.

5. Метрологические и технические требования к средствам поверки.

5.1. При проведении поверки необходимо применять основные и вспомогательные средства поверки, приведенные в таблице 2.

Таблица 2 – Метрологические и технические требования к средствам поверки

Операции поверки, требующие применения средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
8.1. Контроль условий поверки	Средство измерений температуры от -10 °C до +60 °C, с погрешностью ±1 °C; Средство измерений относительной влажности от 10 % до 95 % с погрешностью ±3 %	Прибор комбинированный Testo 622, рег. № 53505-13
10.1. Определение относительной погрешности преобразования	Средство воспроизведения и измерений переменного напряжения в диапазоне значений от 1 мВ до 10 В с погрешностью ±0,5 %	Генератор сигналов сложной формы со сверхнизким уровнем искажений DS360, рег. № 45344-10;
10.2. Определение относительной погрешности установки коэффициента усиления	Рабочий эталон 3 разряда по приказу Росстандарта №1520 от 28.07.2023 в диапазоне значений от 1 мВ до 10 В	Мультиметр цифровой Agilent 34411A, рег. № 33921-07;
10.3. Определение неравномерности АЧХ	Рабочий эталон 5-го разряда по приказу Росстандарта от 26.09.2022 г. № 2360 в диапазоне частот от 0,1 до 20000 Гц;	Генератор сигналов сложной формы со сверхнизким уровнем искажений DS360, рег. № 45344-10;
10.4. Проверка частот среза переключаемых ФВЧ и ФНЧ	Средство измерений переменного напряжения в диапазоне значений от 1 мВ до 10 В в диапазоне частот от 0,1 до 20000 Гц с погрешностью ±0,5 %	Вольтметр универсальный цифровой быстродействующий В7-43, рег. № 10283-85; Мультиметр цифровой Agilent 34411A, рег. № 33921-07;
<p>Примечание:</p> <p>1) Все средства поверки должны быть поверены (иметь действующую запись в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений);</p> <p>2) Допускается использовать при поверке другие утвержденные и аттестованные эталоны единиц величин, средства измерений утвержденного типа и поверенные, удовлетворяющие метрологическим и техническим требованиям.</p>		

6. Требования (условия) по обеспечению безопасности проведения поверки.

6.1. При работе со средствами поверки и поверяемым средством измерений должны быть соблюдены общие требования безопасности, установленные в документах ГОСТ 12.2.007.0-75, ГОСТ 12.3.019-80, «Правила эксплуатации электроустановок потребителей», «Правила охраны труда при эксплуатации электроустановок потребителей».

6.2. Монтаж и демонтаж электрических цепей усилителя и средств поверки должны проводиться только при отключенном питании всех устройств.

7. Внешний осмотр средства измерений

7.1. При внешнем осмотре устанавливают соответствие усилителя следующим требованиям:

- соответствие комплектности и маркировки требованиям эксплуатационной документации и описанию типа;
- отсутствие механических повреждений корпусов, соединительных кабелей и разъемов.

7.2. В случае обнаружения несоответствия хотя бы по одному из вышеперечисленных требований усилитель признается непригодным к использованию, поверка прекращается (до устранения нарушения).

7.3. Результаты внешнего осмотра считать положительными, если усилитель удовлетворяет требованиям, указанным в п. 7.1.

8. Подготовка к поверке и опробование средства измерений

8.1. Контроль условий поверки

8.1.1. Перед проведение операций поверки выполнить контроль условий окружающей среды.

8.1.2. Контроль осуществлять измерением влияющих факторов, указанных в п. 3 настоящей методики.

8.1.3. Результаты измерений условий окружающей среды должны быть в пределах, указанных в п. 3 настоящей методики.

Все средства измерений должны быть прогреты и подготовлены к работе в соответствии со своим руководством по эксплуатации.

8.2. Опробование.

8.2.1. Опробование проводят в соответствии с эксплуатационной документацией усилителей.

9. Проверка программного обеспечения средства измерений

9.1. Проводят поверку идентификационных данных программного обеспечения на соответствие таблице 3.

9.2. Результат проверки считать положительным, если полученные идентификационные данные ПО, соответствуют идентификационным данным, указанным в таблице 3.

Таблица 3 – Идентификационные данные внешнего программного обеспечения

Идентификационные данные (признаки)	Значение
Идентификационное наименование ПО	Econ
Номер версии ПО	1.0.0 и выше

10. Определение метрологических характеристик и подтверждение соответствия средства измерения метрологическим требованиям

Измерения по п. 10.1-10.4 повторяют для каждого измерительного канала поверяемого усилителя.

10.1. Определение относительной погрешности преобразования.

10.1.1 Определение относительной погрешности преобразования в режиме Charge.

В усилителе выбирают режим Charge, коэффициент преобразования первичного измерительного преобразователя 1 пКл/ед.изм., коэффициент усиления 1 мВ/ед.изм, ФВЧ 0,1 Гц и ФНЧ 100 кГц. Соединяют схему подключения в соответствии с рисунком 1. С генератора через емкость 1000 ± 10 пФ на вход усилителя последовательно подают синусоидальное напряжение равное 10, 100, 1000, 5000 и 10000 мВ с частотой 160 Гц. При этом входное значение заряда не должно превышать максимальное значение. При помощи мультиметра

контролируют выходные значения напряжения переменного тока с выхода генератора и выхода усилителя.

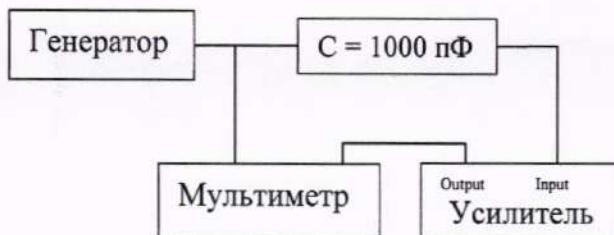


Рисунок 1 – Схема подключения для режима Charge

Действительное значение коэффициента преобразования усилителя определяют по формуле (1):

$$K_{\text{пр}} = \frac{K_y \cdot U_f \cdot C}{U_{\text{вых}}} \quad (1)$$

где

K_y – значение коэффициента усиления, мВ/ед.изм.;

U_f – значение напряжения, измеренное на выходе генератора, мВ;

C – действительное значение емкости, пФ;

$U_{\text{вых}}$ – значение напряжения, измеренное на выходе усилителя, мВ.

Относительную погрешность преобразования определяют по формуле (2):

$$\delta = \frac{K_{\text{изм}} - K_n}{K_n} \cdot 100 \% \quad (2)$$

где

$K_{\text{изм}}$ – измеренное значение коэффициента;

K_n – номинальное (запрограммированное) значение коэффициента.

Усилитель считается прошедшим испытания по данному пункту программы, если полученные значения относительной погрешности преобразования не превышают $\pm 1 \%$.

10.1.2 Определение относительной погрешности преобразования в режиме IEPE и Voltage.

В усилителе выбирают соответствующий режим измерений, коэффициент преобразования первичного измерительного преобразователя 1 мВ/ед.изм., коэффициент усиления 1 мВ/ед.изм, ФВЧ 0,1 Гц и ФНЧ 100 кГц. Соединяют схему подключения в соответствии с рисунком 2. С генератора на вход усилителя последовательно подают синусоидальное напряжение равное 10, 100, 1000, 5000 и 10000 мВ с частотой 160 Гц. При помощи мультиметра контролируют выходные значения напряжения переменного тока с выхода генератора и выхода усилителя.

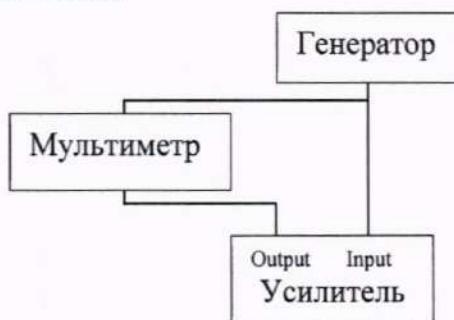


Рисунок 2 – Схема подключения для режима IEPE и Voltage

Действительное значение коэффициента преобразования усилителя определяют по формуле (3):

$$K_{\text{пр}} = \frac{K_y \cdot U_g}{U_{\text{вых}}} \quad (3)$$

где

K_y – значение коэффициента усиления, мВ/ед.изм.;

U_g – значение напряжения, измеренное на выходе генератора, мВ;

$U_{\text{вых}}$ – значение напряжения, измеренное на выходе усилителя, мВ.

Относительную погрешность преобразования определяют по формуле (2).

Усилитель считается прошедшим поверку по данному пункту методики, если полученные значения относительной погрешности преобразования не превышают $\pm 1\%$.

10.2. Определение относительной погрешности установки коэффициента усиления.

На усилителе устанавливают коэффициент преобразования равный 1 мВ/ед.изм. для режимов IEPE и Voltage (1 пКл/ед.изм. для режима Charge), ФВЧ 0,1 Гц и ФНЧ 100 кГц. Собирают схему подключения в соответствии с рисунком 1 для режима Charge и рисунком 2 для режима IEPE и Voltage. Устанавливают значения коэффициента усиления и значения выходного напряжения генератора в соответствии с таблицей 3. При помощи мультиметра (вольтметра) контролируют выходные значения напряжения переменного тока с выхода генератора и выхода усилителя.

Таблица 4 – Пример протокола определения погрешности установки коэффициента усиления

Коэффициент усиления, мВ/unit	Значение напряжения на выходе генератора, мВ	Измеренное значение напряжения на выходе усилителя, мВ	Измеренное значение коэффициента усиления, мВ/unit	Относительная погрешность, %
0,01 (-40 дБ)	10000			
0,0316 (-30 дБ)	3160			
0,1 (-20 дБ)	1000			
0,316 (-10 дБ)	3160			
1 (0 дБ)	1000			
3,16 (10 дБ)	316			
10 (20 дБ)	1000			
31,6 (30 дБ)	316			
100 (40 дБ)	100			
316 (50 дБ)	31,6			
1000 (60 дБ)	10			
3160 (70 дБ)	3,16			
10000 (80 дБ)	1			

Измеренное значение коэффициента усиления определяют по формуле (4) для режима Charge и формуле (5) для режимов IEPE и Voltage:

$$K_y = \frac{U_{\text{вых}} \cdot K_{\text{пр}}}{U_g \cdot C} \quad (4)$$

$$K_y = \frac{U_{\text{вых}} \cdot K_{\text{пр}}}{U_g} \quad (5)$$

Относительную погрешность преобразования определяют по формуле (2).

Усилитель считается прошедшим поверку по данному пункту методики, если полученные значения относительной погрешности установки коэффициента усиления не превышают $\pm 1,5\%$ для усилителя модификации MI-2004 и $\pm 1\%$ для усилителя модификации MI-2004A.

10.3. Определение неравномерности АЧХ.

На усилителе устанавливают коэффициент преобразования равный 1 мВ/ед.изм. для режимов IEPE и Voltage (1 пКл/ед.изм. для режима Charge), коэффициент усиления 1 мВ/ед.изм. (0 дБ), ФВЧ 0,1 Гц и ФНЧ 100 кГц. Собирают схему подключения в соответствии с рисунком 1 для режима Charge и рисунком 2 для режима IEPE и Voltage. С генератора на вход усилителя последовательно подают синусоидальное напряжение равное 1000 мВ с частотами равными 1, 10, 40, 160, 500, 1000, 5000, 10000, 15000 и 20000 Гц. При помощи мультиметра (вольтметра) контролируют выходные значения напряжения переменного тока с выхода генератора и выхода усилителя.

Неравномерность АЧХ определяют по формуле (6):

$$\gamma = \frac{U_i - U_{160}}{U_{160}} \cdot 100 \% \quad (6)$$

где

U_i – значение напряжения, измеренное на выходе усилителя на i -той частоте, мВ;

U_{160} – значение напряжения, измеренное на выходе усилителя на частоте 160 Гц, мВ.

Усилитель считается прошедшим поверку по данному пункту методики, если полученные значения неравномерности АЧХ не превышают $\pm 1\%$.

10.4. Проверка частот среза переключаемых ФВЧ и ФНЧ.

На усилителе устанавливают коэффициент преобразования равный 1 мВ/ед.изм. и коэффициент усиления 1 мВ/ед.изм. (0 дБ). Поочередно устанавливают частоты среза ФВЧ и ФНЧ усилителя и с генератора подают СКЗ напряжения равное 1000 мВ с частотой выставленного фильтра на входной разъем усилителя. С помощью мультиметра (вольтметра) измеряют СКЗ выходного напряжения усилителя.

Рассчитывают затухание на частоте среза по формуле (7):

$$\gamma_f = 20 \cdot \log\left(\frac{U_{\text{вых}}}{U_r}\right) \quad (7)$$

Усилитель считается прошедшим поверку по данному пункту методики, если полученные значения затухания в пределе от -1 до -5 дБ.

10.5. Подтверждение соответствия средства измерения метрологическим требованиям.

Усилитель считается пригодным к применению (соответствующим метрологическим требованиям), если он прошел поверку по каждому пункту данной методики и полученные значения метрологических характеристик соответствуют значениям, указанным в Приложении А.

11. Оформление результатов поверки

11.1. Усилитель, прошедший поверку с положительным результатом, признается пригодным и допускается к применению. По заявлению владельца средства измерений или лица, представившего его на поверку, выдается свидетельство о поверке средства измерений.

11.2. При отрицательных результатах поверки в соответствии с действующим законодательством в области обеспечения единства измерений РФ усилитель признается непригодным к применению. По заявлению владельца средства измерений или лица, представившего его на поверку, выдается извещение о непригодности к применению.

11.3. При проведении поверки в сокращенном объеме обязательно должен указываться объем проведенной поверки.

11.4. Результаты поверки передаются в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

Начальник отдела 204
ФБУ «НИЦ ПМ – Ростест»



А.Г. Волченко

Начальник лаборатории 204/3
ФБУ «НИЦ ПМ – Ростест»



Н.В. Лункин

Таблица А1 – Метрологические характеристики

Наименование характеристики	Значение
Максимальное значение амплитуды входного напряжения переменного тока в режимах IEPE и Voltage, В	± 10
Максимальное значение амплитуды входного заряда в режиме Charge, пКл	10^5
Диапазон изменений значений коэффициента преобразования первичных измерительных преобразователей по заряду (режим Charge), пКл/ед.изм.	от 0,001 до 9999
Диапазон изменений значений коэффициента преобразования первичных измерительных преобразователей по напряжению (режим IEPE и Voltage), мВ/ед.изм.	от 0,001 до 9999
Пределы допускаемой относительной погрешности преобразования на базовой частоте 160 Гц, %	± 1
Программируемые значения коэффициента усиления по заряду (режим Charge) с шагом 10 дБ, дБ	от -40 до 80
Программируемые значения коэффициента усиления по напряжению (режим IEPE и Voltage) с шагом 10 дБ, дБ	от -20 до 60
Пределы допускаемой относительной погрешности установки коэффициента усиления, %: - MI-2004 - MI-2004A	$\pm 1,5$ ± 1
Частоты среза переключаемых ФВЧ по уровню -3 ± 2 дБ, Гц	0,1; 1; 3; 10
Частоты среза переключаемых ФНЧ по уровню -3 ± 2 дБ, кГц	0,1; 1; 3; 10; 30; 100
Неравномерность АЧХ в диапазоне частот от 1 до 20000 Гц (при выбранной частоте ФВЧ 0,1 Гц и частоте ФНЧ 100 кГц и усилением 0 дБ (1 мВ/ед.изм.)), %	± 1