ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ
СОЮЗА ССР

МИКРОСХЕМЫ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ШУМОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

ГОСТ 23089.12—86

Издание официальное

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ
Москва

gost.e-ecolog.ru

УДК 621.3.049.77.001.4 : 006.354 Группа Э29

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ СОЮЗА ССР

МИКРОСХЕМЫ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ

Методы измерения шумовых параметров операционных усилителей

Integrated microcircuits. Methods for measuring noise parameters of operational amplifiers

ГОСТ 23089.12—86

ОКП 62 3100

Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 27 июня 1986 г. № 1938 срок действия установлен

с 01.07.87
до 01.07.92

Несоблюдение стандарта преследуется по закону

Настоящий стандарт распространяется на операционные усилители (ОУ) и устанавливает методы измерения:

нормированной э.д.с. шума и нормированного тока шума;

эффективного значения напряжения шума;

размаха шума.

Общие требования при измерении и требования безопасности по ГОСТ 23089.0—78.

1. МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ НОРМИРОВАННОЙ Э.Д.С. ШУМА И НОРМИРОВАННОГО ТОКА ШУМА

1.1. Принцип, условия и режим измерения

1.1.1. Метод измерения нормированной э.д.с. шума и нормированного тока шума основан на выделении отдельных участков спектра шума, осуществляемом узкополосными фильтрами с дальнейшим измерением нормированной э.д.с. шума и нормированного тока шума измерителем переменного напряжения.

1.1.2. Электрический режим и условия измерения должны соответствовать установленным в стандартах или технических условиях (далее — ТУ) на ОУ конкретных типов.

Издание официальное **Перепечатка воспрещена**

★

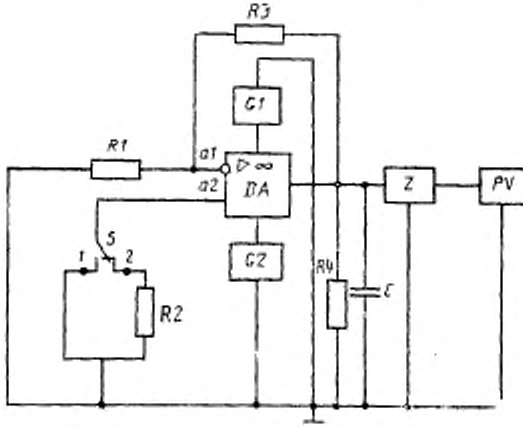
© Издательство стандартов, 1986

1.1.3. ОУ должен быть включен с корректирующими цепями, если данное требование установлено в стандартах или ТУ на ОУ конкретных типов.

Шумы устройства контактирования ОУ и уровень наводок не должны влиять на результаты измерения.

1.2. Аппаратура

1.2.1. Измерения следует проводить на измерительной установке, электрическая структурная схема которой приведена на черт. 1.



DA—проверяемый ОУ; *G1, G2*—источники постоянного напряжения; *Z*—полосовой фильтр; *PV*—измеритель переменного напряжения; *R1, R3*—резисторы обратной связи; *R2*—резистор, имитирующий сопротивление источника шума; *R4*—резистор нагрузки; *C*—конденсатор нагрузки; *S*—устройство коммутации; *a1*—инвертирующий вход ОУ; *a2*—неинвертирующий вход ОУ

Черт. 1

1.2.2. Источники питания *G1* и *G2* должны обеспечивать установление и поддержание напряжения питания ОУ с погрешностью, не выходящей за пределы ±1%, и удовлетворять условию

$$E_{ш,\,G,\,max} \leqslant 0{,}1\ E_{ш,\,н,\,min}, \qquad (1)$$

где $E_{ш,\,G,\,max}$ — максимальная спектральная плотность напряжений пульсаций и собственных шумов источников постоянного напряжения *G1* и *G2*, приведенная ко входу проверяемого ОУ, В/$\sqrt{\text{Гц}}$;

$E_{ш,\,н,\,min}$ — минимальная нормированная э.д.с. шума проверяемого ОУ, В/$\sqrt{\text{Гц}}$.

1.2.3. Полосовой фильтр Z должен обеспечивать эффективную полосу пропускания $\Delta f^* = 0{,}3\, f_ц \pm 5\%$,
где $f_ц$ — центральная частота полосы пропускания фильтра, Гц.

Центральную частоту полосы пропускания фильтров выбирают из ряда: 10, 20, 71, 120, 1000, 10^4, 10^5 Гц.

Неравномерность коэффициента передачи фильтра в полосе пропускания не должна выходить за пределы $\pm 0{,}25$ дБ.

Погрешность установления и поддержания коэффициента передачи полосового фильтра не должна выходить за пределы $\pm 2{,}5\%$.

Затухание полосового фильтра вне полосы пропускания должно быть не менее 24 дБ/окт.

Приведенное ко входу напряжение собственных шумов $U_{ш.\,вх.\,Z}$, В, фильтра Z не должно превышать значения

$$U_{ш.\,вх.\,Z} \leqslant 0{,}1 \frac{R_1+R_3}{R_1} \cdot E_{ш.\,у.\,min} \cdot \sqrt{\Delta f^*}, \qquad (2)$$

$$U_{ш.\,вх.\,Z} \leqslant 0{,}1 \frac{R_1+R_3}{R_1} \cdot I_{ш.\,у.\,min} \cdot R_2 \cdot \sqrt{\Delta f^*}, \qquad (2а)$$

где Δf^* — эффективная полоса пропускания полосового фильтра, Гц;

$I_{ш.\,у.\,min}$ — минимальный нормированный ток шума проверяемого ОУ, $А/\sqrt{Гц}$.

1.2.4. Измеритель PV должен обеспечивать измерение переменного напряжения с погрешностью, не выходящей за пределы $\pm 3\%$.

Время измерения $t_и$, с, измерителем PV определяют по формуле

$$t_и = \frac{1}{\Delta f^* \cdot \sigma^2_{ф.д}}, \qquad (3)$$

где $\sigma_{ф.д}$ — среднее квадратическое отклонение значений флуктуаций на выходе сглаживающего фильтра детектора.

1.2.5. Сопротивление резистора $R1$ должно быть от 10 до 100 Ом. Резистор $R1$ должен быть без токовых шумов (например проволочный).

Допустимое отклонение сопротивления резистора не должно выходить за пределы $\pm 0{,}5\%$.

1.2.6. Сопротивление резистора $R3$, Ом, выбирают из условий

$$\frac{R_1}{R_1+R_3} \geqslant \frac{10^3}{K_{у.\,U.\,min}}, \qquad (4)$$

$$\frac{R_1}{R_1+R_3} \geqslant \frac{U_{см.\,max}+10\, E_{ш.\,у.\,max} \cdot \sqrt{\Delta f^*}}{U_{вых.\,max}}. \qquad (5)$$

При измерении нормированного тока шума, кроме условия (4), должно выполняться неравенство

$$\frac{R_1}{R_1+R_3} \geqslant \frac{U_{см,\ max}+10\ I_{ш.\ н,\ max}\cdot\sqrt{\Delta f^*}\cdot R_2+I_{вх,\ max}\cdot R_2}{U_{вых,\ max}}, \quad (6)$$

где $K_{д;\ U,\ min}$ — минимальное значение коэффициента усиления проверяемого ОУ;

$U_{см,\ max}$ — максимальное абсолютное значение напряжения смещения нуля проверяемого ОУ, В;

$E_{ш.\ н,\ max}$; $I_{ш.\ н,\ max}$ — максимальные значения нормированной э.д.с., $В/\sqrt{Гц}$, и нормированного тока шума проверяемого ОУ, $А/\sqrt{Гц}$;

$U_{вых,\ max}$ — абсолютное значение максимального выходного напряжения проверяемого ОУ, В.

Резистор *R3* должен быть без токовых шумов (например проволочный).

Допустимое отклонение сопротивления резистора *R3* не должно выходить за пределы ±0,5%.

1.2.7. Сопротивление резистора *R2*, Ом, выбирают из условия

$$R_2 \geqslant \frac{1{,}66\cdot 10^{-20}}{I^2_{ш.\ н,\ min}}, \quad (7)$$

где $I_{ш.\ н,\ min}$ — минимальное значение нормированного тока шума проверяемого ОУ, $А/\sqrt{Гц}$.

Резистор *R2* должен быть без токовых шумов (например проволочный).

Допустимое отклонение сопротивления резистора *R2* не должно выходить за пределы ±0,5%.

1.2.8. Сопротивление резистора *R4*, Ом, выбирают из условия

$$\frac{1}{R_н} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_Z}, \quad (8)$$

где $R_н$ — сопротивление нагрузки ОУ, Ом;

R_Z — входное сопротивление полосового фильтра, Ом.

Допустимое отклонение сопротивления резистора *R4* не должно выходить за пределы ±5%.

1.2.9. Емкость конденсатора *C*, Ф, выбирают из условия

$$C_н = C + C_м + C_Z, \quad (9)$$

где $C_н$ — емкость нагрузки проверяемого ОУ, Ф;

$C_м$ — паразитная емкость монтажа, выходной цепи ОУ, Ф;

C_Z — входная емкость полосового фильтра, Ф.

Допустимое отклонение емкости конденсатора C не должно выходить за пределы ±5%.

1.2.10. Суммарная паразитная емкость $C_п$, Ф, состоящая из собственной емкости резистора $R2$ и емкости монтажа, должна удовлетворять условию

$$C_п \leqslant \frac{0,1}{2\pi f \cdot R_2}, \qquad (10)$$

где f — частота, на которой проводят измерение, Гц.

1.2.11. Измерительные приборы и элементы, указанные на электрической структурной схеме, допускается заменять другими устройствами, выполняющими те же функции и обеспечивающими точность измерений, указанную в настоящем стандарте.

1.3. Подготовка и проведение измерений

1.3.1. Подключают ОУ к измерительной установке.

1.3.2. Подают на ОУ напряжения от источников постоянного напряжения $G1$ и $G2$ и любым известным способом убеждаются в отсутствии генерации ОУ и посторонних наводок.

1.3.3. Ставят устройство коммутации S в положение 1 и измерителем PV измеряют напряжение $U_{ш.\,вых.\,1}$.

1.3.4. Ставят устройство коммутации S в положение 2 и измерителем PV измеряют напряжение $U_{ш.\,вых.\,2}$.

1.3.5. При необходимости допускается измерять нормированный ток шума и по инвертирующему входу $ОУ$ подключением резистора $R2$ в цепь инвертирующего входа проверяемого $ОУ$.

1.4. Обработка результатов

1.4.1. Нормированную э.д.с. шума $E_{ш.\,н}$, $В/\sqrt{Гц}$, определяют по формуле

$$E_{ш.\,н} = \sqrt{\left(\frac{R_1}{R_1+R_3} \cdot \frac{U_{ш.\,вых.\,1}}{K_Z} \cdot \frac{1}{\sqrt{\Delta f^*}}\right)^2 - 1{,}66 \cdot 10^{-20} \cdot R_1}, \qquad (11)$$

где K_Z — коэффициент передачи полосового фильтра Z.

Эффективную полосу пропускания полосового фильтра Δf^* допускается принимать равной полосе пропускания того же фильтра на уровне 0,7 (минус 3 дБ).

1.4.2. Нормированный ток шума $I_{ш.\,н}$ определяют по формуле

$$I_{ш.\,н} = \sqrt{\left(\frac{R_1}{R_1+R_3} \cdot \frac{U_{ш.\,вых.\,2}}{R_2} \cdot \frac{1}{K_Z \cdot \sqrt{\Delta f^*}}\right)^2 - \frac{1{,}66 \cdot 10^{-20}}{R^2}}. \qquad (12)$$

1.5. Показатели точности измерений

1.5.1. Погрешность измерения нормированной э.д.с. шума и нормированного тока шума ОУ не должна выходить за пределы ±10% с доверительной вероятностью $P^* = 0{,}997$.

1.5.2. Определение показателей точности измерения нормированной э.д.с. шума и нормированного тока шума приведено в рекомендуемом приложении 1.

2. МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ЗНАЧЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ШУМА

2.1. Принцип, условия и режим измерений

2.1.1. Метод измерения эффективного значения напряжения шума ОУ основан на выделении заданной полосы шумового спектра ОУ, осуществляемом широкополосным фильтром с дальнейшим измерением эффективного значения напряжения шума, приведенного ко входу.

2.1.2. Условия и режим измерения — по пп. 1.1.2 и 1.1.3.

2.2. Аппаратура

2.2.1. Измерения следует проводить на измерительной установке, электрическая структурная схема которой приведена на черт. 2.

2.2.2. Источники постоянного напряжения *G1* и *G2* должны обеспечивать установление и поддержание напряжения питания ОУ с погрешностью, не выходящей за пределы ±1%, и удовлетворять условию

$$U_{ш,\,G,\,max} \leqslant 0{,}1\ U_{ш,\,эфф,\,min}, \qquad (13)$$

где $U_{ш,\,G,\,max}$ — максимальное эффективное значение напряжения пульсаций и собственных шумов источников постоянного напряжения *G1* и *G2*, приведенное ко входу проверяемого ОУ, В;

$U_{ш,\,эфф,\,min}$ — минимальное эффективное значение напряжения шума проверяемого ОУ, В.

2.2.3. Полосовой фильтр *z* должен обеспечивать полосу пропускания (на уровне минус 3 дБ) от 20 Гц до 20 кГц. Погрешность частот срезов полосового фильтра не должна выходить за пределы ±5%.

Погрешность установления и поддержания коэффициента передачи фильтра не должна выходить за пределы ±2%.

Затухание фильтра вне полосы пропускания с обеих сторон должно быть не менее 24 дБ/окт.

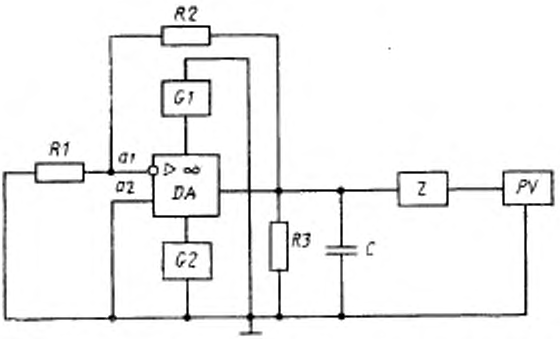
Приведенное ко входу напряжение собственных шумов $U_{ш,\,вх\,z}$, В фильтра *Z* не должно превышать значения

$$U_{ш,\,вх,\,z} \leqslant 0{,}1\ \frac{R_1+R_2}{R_1} \cdot U_{ш,\,эфф,\,min}. \qquad (14)$$

2.2.4. Измеритель *PV* должен обеспечивать измерение эффективного значения переменного напряжения с относительной погрешностью, не выходящей за пределы ±3%.

Частоты срезов полосы пропускания измерителя *PV* должны удовлетворять условиям:

$$f_{\text{срз, н, }PV} \leqslant f_{\text{срз, н, }Z}, \tag{15}$$



DA—проверяемый ОУ; *G1*, *G2*—источники постоянного напряжения; *Z*—полосовой фильтр; *PV*—измеритель эффективного значения переменного напряжения; *R1*, *R2*—резисторы обратной связи; *R3*—резистор нагрузки; *C* — конденсатор нагрузки; *a1* — инвертирующий вход ОУ; *a2* — неинвертирующий вход ОУ

Черт. 2

$$f_{\text{срз, в, }PV} \geqslant f_{\text{срз, в, }Z}, \tag{16}$$

где $f_{\text{срз, н, }PV}$; $f_{\text{срз, в, }PV}$ и $f_{\text{срз, н, }Z}$, $f_{\text{срз, в, }Z}$ — нижняя и верхняя частоты срезов полосы пропускания измерителя *PV* и фильтра *z* соответственно, Гц.

Приведенное ко входу напряжение собственных шумов $U_{\text{ш, вх, }PV}$, В измерителя *PV* не должно превышать значения

$$U_{\text{ш, вх, }PV} \leqslant 0{,}1\,\frac{R_1+R_2}{R_1}\,U_{\text{ш, эфф, min}} \cdot K_Z, \tag{17}$$

где K_Z — коэффициент передачи полосового фильтра.

2.2.5. Сопротивление резистора *R1* должно быть от 10 до 100 Ом. Резистор *R1* должен быть без токовых шумов (например проволочный).

Допустимое отклонение сопротивления резистора *R1* не должно выходить за пределы ±0,5%.

2.2.6. Сопротивление резистора *R2*, Ом, выбирают из условий

$$\frac{R_1}{R_1+R_2} \geqslant \frac{10^3}{K_{y,U,\text{min}}}, \tag{18}$$

$$\frac{R_1}{R_1+R_2} \geqslant \frac{U_{см,\,max}+10\,U_{ш,\,эфф\,max}}{U_{вых,\,max}}, \qquad (19)$$

где $K_{у,\,U,\,min}$ - минимальное значение коэффициента усиления проверяемого ОУ;

$U_{см,\,max}$ — максимальное абсолютное значение напряжения смещения проверяемого ОУ, В;

$U_{ш,\,эфф,\,max}$ — максимальное эффективное значение напряжение шума проверяемого ОУ, В;

$U_{вых,\,max}$ — абсолютное значение максимального выходного напряжения проверяемого ОУ, В.

Резистор *R2* должен быть без токовых шумов (например проволочный).

Допустимое отклонение сопротивление резистора *R2* не должно выходить за пределы ±0,5%.

2.2.7. Сопротивление резистора *R3*, Ом, выбирают из условия

$$\frac{1}{R_н} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_Z}, \qquad (20)$$

где $R_н$ — сопротивление нагрузки проверяемого ОУ, Ом;

R_Z — входное сопротивление фильтра, Ом.

Допустимое отклонение сопротивления резистора *R3* не должно выходить за пределы ±5%.

2.2.8. Емкость конденсатора *C*, Ф, выбирают из условия:

$$C_н = C + C_м + C_Z, \qquad (21)$$

где $C_н$ — емкость нагрузки проверяемого ОУ, Ф;

$C_м$ — паразитная емкость монтажа входной цепи ОУ, Ф;

C_Z — входная емкость фильтра, Ф.

Допустимое отклонение емкости конденсатора *C* не должно выходить за пределы ±5%.

2.2.9. Измерительные приборы и элементы, указанные на электрической структурной схеме, допускается заменять другими устройствами, выполняющими те же функции и обеспечивающими точность измерений, указанную в настоящем стандарте.

2.3. Подготовка и проведение измерений

2.3.1. Подключают ОУ к измерительной установке.

2.3.2. Подают на ОУ напряжение от источников постоянного напряжения *G1* и *G2* и любым известным способом убеждаются в отсутствии генерации ОУ и посторонних наводок.

2.3.3. Измеряют напряжение $U_{ш,\,вых}$ измерителем *PV*.

2.4. Обработка результатов

2.4.1. Эффективное значение напряжения шума $U_{ш, эфф}$, В, приведенное ко входу ОУ, определяют по формуле

$$U_{ш,\ эфф}=\sqrt{\left(\frac{R_1}{R_1+R_2}\cdot\frac{U_{ш,\ вых}}{K_Z}\right)^2-1{,}66\cdot10^{-20}\cdot R_1\cdot\Delta f^*},\qquad(22)$$

где Δf^* — эффективная полоса пропускания полосового фильтра Z, Гц.

2.5. Показатели точности измерений

2.5.1. Погрешность измерения — по п. 1.5.1.

2.5.2. Определение показателей точности измерения эффективного значения напряжения шума приведено в рекомендуемом приложении 2.

3. МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ РАЗМАХА ШУМА

3.1. Принцип, условия и режим измерения

3.1.1. Метод измерения размаха шума основан на детектировании шумов двух полярностей с дальнейшим суммированием пиковых значений напряжений.

3.1.2. Условия и режим измерения — по пп. 1.1.2 и 1.1.3.

3.2. Аппаратура

3.2.1. Измерения следует проводить на измерительной установке, электрическая структурная схема которой приведена на черт. 3.

3.2.2. Источники питания *G1* и *G2* должны обеспечивать установление и поддержание напряжения питания ОУ с погрешностью, не выходящей за пределы ±1%, и удовлетворять условию

$$\Delta U_{ш.\ G,\ min}\leqslant 0{,}1\ \Delta U_{ш,\ min},\qquad(23)$$

где $\Delta U_{ш,\ G,\ max}$ — максимальный размах напряжений собственных шумов и пульсаций источников питания, приведенный ко входу проверяемого ОУ, В;

$\Delta U_{ш,\ min}$ — минимальный размах шума проверяемого ОУ, В.

3.2.3. Погрешность измерителя постоянного напряжения *PV* не должна выходить за пределы ±0,5%.

3.2.4. Полосовой фильтр *Z* должен обеспечивать полосу пропускания Δf от 0,1 до 10 Гц.

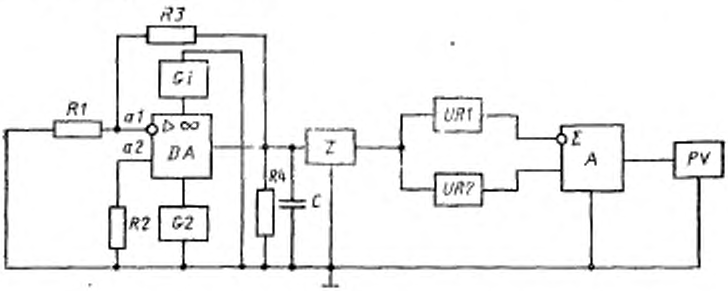
Погрешность установления и поддержания коэффициента передачи фильтра *Z* в полосе пропускания не должна выходить за пределы ±3%.

Затухание фильтра вне полосы пропускания с обеих сторон должно быть не менее 12 дБ/окт.

3.2.5. Пиковыми детекторами *UR1, UR2* должно быть обеспечено преобразование шумовых выбросов по их амплитудному значению с погрешностью, не выходящей за пределы ±1%.

Изменение амплитуды на выходе детекторов за время измерения не должно превышать 1%.

3.2.6. Сумматор *A2* должен обеспечивать суммирование выбросов шума по их абсолютному значению с погрешностью, не выходящей за пределы ±1%.



DA—проверяемый ОУ; *A*—сумматор; *G1, G2*—источники постоянного напряжения; *R1, R3*—резисторы обратной связи; *R2*—резистор, имитирующий сопротивление источника шума; *R4*—резистор нагрузки; *C*—конденсатор нагрузки; *UR1, UR2*—пиковые детекторы положительной и отрицательной полярности; *Z*—полосовой фильтр; *a1*—инвертирующий вход ОУ; *a2*—неинвертирующий вход ОУ

Черт. 3

3.2.7. Сопротивление резистора *R1* должно быть от 10 до 100 Ом. Резистор *R1* должен быть без токовых шумов (например проволочный).

Допустимое отклонение сопротивления резистора *R1* не должно выходить за пределы ±0,5%.

3.2.8. Сопротивление резистора *R2* устанавливают в стандартах или ТУ на ОУ конкретных типов. Резистор *R2* должен быть без токовых шумов (например микропроволочный). Рекомендуемое значение сопротивления резистора *R2* 100 кОм.

Допустимое отклонение сопротивления резистора *R2* не должно выходить за пределы ±0,5%.

3.2.9. Сопротивление резистора *R3*, Ом, выбирают из условий

$$\frac{R_1}{R_1+R_3} \geqslant \frac{10^6}{K_{y,\,U,\,\min}}, \qquad (24)$$

$$\frac{R_1}{R_1+R_3} \geqslant \frac{U_{\text{см, max}}+2\Delta U_{\text{ш, max}}+R_2\cdot I_{\text{вх, max}}}{U_{\text{вых, max}}}, \qquad (25)$$

где $K_{y,U,\min}$ — минимальное значение коэффициента усиления проверяемого ОУ;

$U_{см,\max}$ — максимальное абсолютное значение напряжения смещения проверяемого ОУ, В;

$\Delta U_{ш,\max}$ — максимальное значение размаха шума проверяемого ОУ, В;

$U_{вых,\max}$ — абсолютное значение выходного напряжения проверяемого ОУ, В;

$I_{вх,\max}$ — максимальное абсолютное значение выходного тока проверяемого ОУ, А.

Резистор *R3* должен быть без токовых шумов (например проволочный).

Допустимое отклонение сопротивления резистора *R3* не должно выходить за пределы ±0,5%.

3.2.10. Измерительные приборы и элементы, указанные в электрической структурной схеме, допускается заменять другими устройствами, выполняющими те же функции и обеспечивающими точность измерения, указанную в настоящем стандарте.

3.3. Подготовка и проведение измерений — по пп. 2.3.1—2.3.3.

3.4. Обработка результатов

3.4.1. Размах шума $\Delta U_ш$, В, определяют по формуле

$$\Delta U_ш = \frac{R_1}{R_1+R_3} \cdot \frac{1}{K_{UR} \cdot K_A \cdot K_Z} \cdot U_{вых} - 6{,}45 \cdot 10^{-10} \sqrt{R_2 \cdot \Delta f}, \quad (26)$$

где K_{UR} — коэффициент передачи детекторов;

K_A — коэффициент передачи сумматора *A*;

K_Z — коэффициент передачи фильтра *Z*.

3.5. Показатели точности измерений

3.5.1. Погрешность измерения — по п. 1.5.1.

3.5.2. Определение показателей точности измерения размаха шума приведено в рекомендуемом приложении 3.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1
Рекомендуемое

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ НОРМИРОВАННОЙ Э.Д.С. ШУМА И НОРМИРОВАННОГО ТОКА ШУМА

1. Составляющие погрешности измерения

1.1. Погрешность δ_1, вызванную конечным значением коэффициента усиления проверяемого ОУ, определяют по формуле

$$\delta_1 = \frac{R_1 + R_3}{R_1 \cdot K_{y.U.\,min}}, \qquad (1)$$

где $K_{y.U.\,min}$ — минимальный коэффициент усиления проверяемого ОУ.

1.2. Погрешность δ_2, вызванную наличием напряжений пульсации и собственных шумов источников питания проверяемого ОУ, определяют по формуле

$$\delta_2' = K_{вл.\,н.\,н}\,(f)\,\frac{E_{ш.\,\sigma.\,max}}{E_{ш.\,н.\,min}}, \qquad (2)$$

$$\delta = K_{вл.\,н.\,н}\,(f)\,\frac{E_{ш.\,\sigma.\,max}}{I_{ш.\,н.\,min} \cdot R_2}, \qquad (2а)$$

где $K_{вл.\,н.\,н}\,(f)$ — коэффициент влияния нестабильности источников питания на э. д. с. смещения нуля проверяемого ОУ от частоты;

$E_{ш.\,\sigma.\,max}$ — максимальная спектральная плотность напряжений пульсации и собственных шумов источников питания проверяемого ОУ, $В/\sqrt{Гц}$;

$E_{ш.\,н.\,min}$ — минимальная нормированная э. д. с. шума проверяемого ОУ, $В/\sqrt{Гц}$;

$I_{ш.\,н.\,min}$ — минимальный нормированный ток шума проверяемого ОУ, $А/\sqrt{Гц}$.

1.3. Погрешность δ_3', вызванную отклонением значений сопротивлений резисторов *R1* и *R3*, определяют по формуле

$$\delta_3' \leqslant \sqrt{2}\,\delta_R, \qquad (3)$$

где δ_R — допустимое отклонение значений сопротивлений резисторов *R1* и *R3*.

Погрешность δ_3'', вызванную отклонением значения сопротивления резистора *R2*, определяют по формуле

$$\delta_3'' = \delta_{R_2}, \qquad (3а)$$

где δ_{R_2} — допустимое отклонение значения сопротивления резистора *R2*.

1.4. Погрешность δ_4, вызванную изменением сопротивления резистора *R3* от паразитной емкости, определяют по формуле

$$\delta_4 = 1 - [1 + (2\pi f C_п R_2)^2]^{-1/2}, \qquad (4)$$

где f — частота, на которой проводят измерения, Гц;

$C_п$ — паразитная емкость резистора *R3*, Ф.

1.5. Погрешность δ_5, вызванную погрешностью измерения измерителя PV, определяют по формуле

$$\delta_5 = \delta_{PV}, \tag{5}$$

где δ_{PV} — погрешность измерителя PV.

1.6. Погрешность δ_6, вызванную неточностью коэффициента передачи полосового фильтра Z, определяют по формуле

$$\delta_6 = \delta_{K_Z}, \tag{6}$$

где δ_{K_Z} — погрешность коэффициента передачи полосового фильтра Z.

1.7. Погрешность δ_7, вызванную неточностью определения эквивалентной полосы пропускания полосового фильтра, определяют по формуле

$$\delta_7 = \sqrt{\delta_U^2 + \delta_f^2 + \delta_\varphi^2}, \tag{7}$$

где δ_U — составляющая погрешности, обусловленная погрешностью измерения напряжения;

δ_f — составляющая погрешности, обусловленная измерением частоты;

δ_φ — составляющая погрешности, обусловленная ошибками при определении кривой зависимости частотной характеристики фильтра, подсчета площади и построения равновеликого прямоугольника.

1.8. Погрешность δ_8, вызванную конечным значением времени измерения, определяют по формуле

$$\delta_8 = \frac{1}{\sqrt{\Delta f^* \cdot t_и}}, \tag{8}$$

где Δf^* — эффективная полоса пропускания полосового фильтра, Гц;

$t_и$ — заданное время измерения, с.

1.9. Погрешность δ_9, вызванную наличием собственных шумов полосового фильтра, определяют по формуле

$$\delta_9' = \frac{\sqrt{U_{ш,z}^2 + \left(\frac{R_1+R_3}{R_1} \cdot E_{ш,\,н,\,min} \cdot \sqrt{\Delta f^*}\right)^2}}{E_{ш,\,н,\,min} \cdot \frac{R_1+R_3}{R_1} \cdot \sqrt{\Delta f^*}} - 1, \tag{9}$$

$$\delta_9'' = \frac{\sqrt{U_{ш,z}^2 + \left(\frac{R_1+R_3}{R_1} \cdot I_{ш,\,н,\,min} \cdot R_2 \cdot \sqrt{\Delta f^*}\right)^2}}{I_{ш,\,н,\,min} \cdot R_2 \cdot \sqrt{\Delta f^*}} - 1, \tag{9а}$$

где $U_{ш,z}$ — напряжение собственных шумов на входе полосового фильтра z, В.

1.10. Погрешность δ_{10}, вызванную наличием собственных шумов измерителя *PV*, определяют по формуле

$$\delta'_{10}=\frac{\sqrt{U^2_{ш,\,PV}+\left(\frac{R_1+R_2}{R_1}\cdot K_Z\cdot E_{ш,\,н,\,min}\cdot\sqrt{\Delta f^*}\right)^2}}{E_{ш,\,н,\,min}\cdot\frac{R_1+R_3}{R_1}\cdot K_Z\cdot\sqrt{\Delta f^*}}-1; \qquad (10)$$

$$\delta''_{10}=\frac{\sqrt{U^2_{ш,\,PV}+\left(\frac{R_1+R_3}{R_1}\cdot K_Z\cdot I_{ш,\,н,\,min}\cdot R_2\cdot\sqrt{\Delta f}\right)^2}}{I_{ш,\,н,\,min}\cdot R_2\cdot\sqrt{\Delta f^*}\cdot\frac{R_1+R_3}{R_1}\cdot K_Z}-1. \qquad (10а)$$

1.11. Погрешность δ_{11}, вызванную наличием нормированной э. д. с. шумов проверяемого ОУ при измерении нормированного тока шума, определяют по формуле

$$\delta_{11}=\frac{\sqrt{E^2_{ш,\,н,\,max}+(I_{ш,\,н,\,min}\cdot R_2)^2}}{I_{ш,\,н,\,min}\cdot R_2}-1. \qquad (11)$$

2. Погрешность измерения

2.1. Погрешность измерения нормированной э. д. с. шума δ_E определяют по формуле

$$\delta_E=\delta_1\pm K_E\sqrt{\left(\frac{\delta'_2}{K_1}\right)^2+\left(\frac{\delta'_3}{K_2}\right)^2+\left(\frac{\delta_4}{K_2}\right)^2+\left(\frac{\delta_5}{K_1}\right)^2+\left(\frac{\delta_7}{K_1}\right)^2+\left(\frac{\delta_8}{K_2}\right)^2+\left(\frac{\delta'_9}{K_1}\right)^2+\left(\frac{\delta_{10}}{K_1}\right)^2}, \qquad (12)$$

где K_E — коэффициент, зависящий от закона распределения погрешности измерения и доверительной вероятности P^*_E. Для нормального закона распределения и $P^*_E=0{,}997$, $K=2{,}97$;

K_1, K_2 — коэффициенты, зависящие от законов распределения частных погрешностей. Для частной погрешности с нормальным законом распределения $K_1=3$. Для частной погрешности с равномерным законом распределения $K_2=1{,}73$.

2.2. Погрешность измерения нормированного тока шума δ_E определяют по формуле

$$\delta_E=\delta_1\pm K_E\sqrt{\left(\frac{\delta''_2}{K_1}\right)^2+\left(\frac{\delta'_3}{K_2}\right)^2+\left(\frac{\delta''_3}{K_2}\right)^2+\left(\frac{\delta_4}{K_2}\right)^2+\left(\frac{\delta_5}{K_1}\right)^2+\left(\frac{\delta_6}{K_1}\right)^2+\left(\frac{\delta_7}{K_1}\right)^2+\left(\frac{\delta_8}{K_2}\right)^2+\left(\frac{\delta''_9}{K_1}\right)^2+\left(\frac{\delta''_{10}}{K_1}\right)^2+\left(\frac{\delta_{11}}{K_1}\right)^2}. \qquad (13)$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
Рекомендуемое

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ЗНАЧЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ШУМА

1. Составляющие погрешности измерения

1.1. Погрешность δ_1, вызванную конечным значением коэффициента усиления проверяемого ОУ, определяют по формуле

$$\delta_1=\frac{R_1+R_2}{R_1\cdot K_{y,\,U,\,\min}}, \qquad (1)$$

где $K_{y,\,U,\,\min}$ — минимальный коэффициент усиления проверяемого ОУ.

1.2. Погрешность δ_2, вызванную наличием напряжений собственных шумов и пульсации источников питания, определяют по формуле

$$\delta_2=K_{вл,\,н,\,п}(f)\frac{U_{ш,\,\sigma,\,\max}}{U_{ш,\,эфф,\,\min}}, \qquad (2)$$

где $K_{вл,\,н,\,п}(f)$ — коэффициент влияния нестабильности источников питания на напряжение смещения нуля проверяемого ОУ от частоты;

$U_{ш,\,\sigma,\,\max}$ — максимальное эффективное значение напряжений пульсации и собственных шумов источников питания проверяемого ОУ, В;

$U_{ш,\,эфф,\,\min}$ — минимальное эффективное значение напряжения шума проверяемого ОУ, В

1.3 Погрешность δ_3, вызванную отклонением значений сопротивлений резисторов *R1* и *R2*, определяют по формуле.

$$\delta_3<\sqrt{2\,\delta_R}, \qquad (3)$$

где δ_R — допустимое отклонение значений сопротивлений резисторов *R1* и *R2*.

1.4. Погрешность δ_4, вызванную наличием собственных шумов резисторов *R1* *R2*, определяют по формуле

$$\delta_4=\frac{\sqrt{1{,}66\cdot10^{-20}\cdot R_п\cdot\Delta f+U^2_{ш,\,эфф,\,\min}}}{U_{ш,\,эфф,\,\min}}-1, \qquad (4)$$

где $R_п=\dfrac{R_1\cdot R_2}{R_1+R_2}$.

1.5. Погрешность δ_5, вызванную погрешностью измерения измерителя *PV*, определяют по формуле

$$\delta_5=\delta_{PV}, \qquad (5)$$

где δ_{PV} — погрешность измерителя *PV*.

1.6. Погрешность δ_6, вызванную неточностью коэффициента передачи полосового фильтра Z, определяют по формуле

$$\delta_6 = \delta_{K_Z}, \tag{6}$$

где δ_{K_Z} — погрешность коэффициента передачи полосового фильтра Z.

1.7. Погрешность δ_7, вызванную нестабильностью частот срезов полосы пропускания фильтра Z, определяют по формуле

$$\delta_7 = \sqrt{\frac{\delta_{f_{\text{срз, в}}}}{f_{\text{срз, в}}}}, \tag{7}$$

где $\delta_{f_{\text{срз, в}}}$ — погрешность верхней частоты среза фильтра Z;

$f_{\text{срз, в}}$ — верхняя частота среза полосы пропускания фильтра Z, Гц.

1.8. Погрешность δ_8, вызванную наличием собственных шумов полосового фильтра Z, определяют по формуле

$$\delta_8 = \frac{\sqrt{U_{\text{ш, }z} + \left(\frac{R_1+R_2}{R_1} \cdot U_{\text{ш, эфф, min}}\right)^2}}{U_{\text{ш, эфф, min}} \cdot \frac{R_1+R_2}{R_1}} - 1, \tag{8}$$

где $U_{\text{ш. }z}$ — напряжение собственных шумов на входе полосового фильтра, В.

1.9. Погрешность δ_9, вызванную наличием собственных шумов измерителя PV, определяют по формуле

$$\delta_9 = \frac{\sqrt{U_{\text{ш, }PV} + \left(\frac{R_1+R_2}{R_1} \cdot K_Z \cdot U_{\text{ш, эфф, min}}\right)^2}}{U_{\text{ш, эфф, min}} \cdot \frac{R_1+R_2}{R_1} \cdot K_Z} - 1, \tag{9}$$

где $U_{\text{ш. }PV}$ — напряжение собственных шумов на входе измерителя PV;

K_Z — коэффициент передачи фильтра Z.

2. Погрешность измерения

2.1. Погрешность измерения эффективного значения напряжения шума определяют по формуле

$$\delta_\Sigma = \delta_1 \pm K_\Sigma \sqrt{\left(\frac{\delta_2}{K_1}\right)^2 + \left(\frac{\delta_3}{K_2}\right)^2 + \left(\frac{\delta_4}{K_1}\right)^2 + \left(\frac{\delta_5}{K_1}\right)^2 + \left(\frac{\delta_6}{K_1}\right)^2 + \left(\frac{\delta_7}{K_2}\right)^2 + \rightarrow} \\ \rightarrow + \left(\frac{\delta_8}{K_1}\right)^2 + \left(\frac{\delta_9}{K_1}\right)^2, \tag{10}$$

где K_Σ — коэффициент, зависящий от закона распределения погрешности измерения и доверительной вероятности P_Σ^*. Для нормального закона распределения и $P_\Sigma^* = 0{,}997$, $K = 2{,}97$;

K_1, K_2 — коэффициенты, зависящие от законов распределения частных погрешностей. Для частной погрешности с нормальным законом распределения $K_1 = 3$. Для частной погрешности с равномерным законом распределения $K_2 = 1{,}73$.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
Рекомендуемое

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ РАЗМАХА ШУМА

1. Составляющие погрешности измерения

1.1. Погрешность δ_1, вызванную конечным значением коэффициента усиления проверяемого ОУ, определяют по формуле

$$\delta_1 = \frac{R_1 + R_3}{R_2 \cdot K_{y,\,U,\,\min}}, \qquad (1)$$

1.2. Погрешность δ_2, вызванную наличием напряжений собственных шумов и пульсаций источников питания, определяют по формуле

$$\delta_2 = K_{вл,\,и,\,н}(f)\frac{\Delta U_{ш,\,\sigma,\,\max}}{\Delta U_{ш,\,\min}}, \qquad (2)$$

где $\Delta U_{ш,\,\sigma,\,\max}$ — максимальный размах напряжений собственных шумов и пульсаций источников питания проверяемого ОУ, В;

$K_{вл,\,и,\,н}(f)$ — коэффициент влияния нестабильности источников питания на э. д. с. смещения нуля проверяемого ОУ от частоты;

$\Delta U_{ш,\,\min}$ — минимальный размах шума проверяемого ОУ, В.

1.3. Погрешность δ_3, вызванную отклонением значений сопротивлений резисторов обратной связи *R1* и *R3*, определяют по формуле

$$\delta_3 \leqslant \sqrt{2\,\delta_R}, \qquad (3)$$

где δ_R — допустимое отклонение значения сопротивления резисторов *R1* и *R3*.

1.4. Погрешность δ_4, вызванную наличием собственных шумов резистора *R2*, определяют по формуле

$$\delta_4 = 6{,}45 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{(R_2 \cdot \Delta f)^{1/2}}{\Delta U_{ш,\,\min}}, \qquad (4)$$

где Δf^* — эффективная полоса пропускания фильтра *Z*, Гц.

1.5. Погрешность δ_5, вызванную погрешностью измерителя *PV*, определяют по формуле

$$\delta_5 = \delta_{PV}, \qquad (5)$$

где δ_{PV} — погрешность измерителя *PV*.

1.6. Погрешность δ_6, вызванную погрешностью коэффициента передачи фильтра нижних частот *Z*, определяют по формуле

$$\delta_6 = \delta_{K_Z}, \qquad (6)$$

где δ_{K_Z} — погрешность коэффициента передачи фильтра нижних частот в полосе пропускания.

1.7. Погрешность δ_7, вызванную погрешностью коэффициента преобразования пиковых детекторов *UR1* и *UR2*, определяют по формуле

$$\delta_7 = \delta_{UR}, \tag{7}$$

где δ_{UR} — погрешность коэффициента передачи пиковых детекторов.

1.8. Погрешность δ_8, вызванную погрешностью суммирования сумматора *A2*, определяют по формуле

$$\delta_8 = \delta_A, \tag{8}$$

где δ_A — погрешность суммирования сумматора *A*.

1.9. Погрешность δ_9, вызванную конечным значением времени измерения, определяют по формуле

$$\delta_9 = \frac{1}{\sqrt{\Delta f \cdot t_и}}, \tag{9}$$

где $t_и$ — время измерения, с.

1.10. Погрешность δ_{10}, вызванная конечным значением времени разряда детекторов, не должна превышать 1%.

2. Погрешность измерения

2.1. Погрешность измерения размаха шума $\delta_Д$ определяют по формуле

$$\delta_Д = \delta_1 \pm K_Д \sqrt{\left(\frac{\delta_2}{K_1}\right)^2 + \left(\frac{\delta_3}{K_2}\right)^2 + \left(\frac{\delta_4}{K_1}\right)^2 + \left(\frac{\delta_5}{K_1}\right)^2 + \left(\frac{\delta_6}{K_1}\right)^2 + \left(\frac{\delta_7}{K_1}\right)^2 + \left(\frac{\delta_8}{K_1}\right)^2 + \left(\frac{\delta_9}{K_1}\right)^2}, \tag{10}$$

где $K_Д$ — коэффициент, зависящий от закона распределения погрешности измерения и доверительной вероятности $P_Д^*$. Для нормального закона распределения и $P_Д^* = 0{,}997$, $K = 2{,}97$;

K_1, K_2 — коэффициенты, зависящие от законов распределения частных погрешностей. Для частной погрешности с нормальным законом распределения $K_1 = 3$. Для частной погрешности с равномерным законом распределения $K_2 = 1{,}73$.

Редактор *М. В. Глушкова*
Технический редактор *М. И. Максимова*
Корректор *Е. А. Богачкова*

Сдано в наб. 17.07.86 Подп. в печ. 03.09.86 1,25 усл. п. л. 1,25 усл. кр.-отт. 1,11 уч.-изд. л. Цена 5 коп.

gost.e-ecolog.ru

Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов, 123840, Москва, ГСП, Новопресненский пер., 3
Тип. «Московский печатник». Москва, Лялин пер., 6. Зак. 2410