



**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ  
СОЮЗА ССР**

---

# **МИКРОСХЕМЫ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ**

**МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ШУМОВЫХ ПАРАМЕТРОВ  
ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ**

**ГОСТ 23089.12—86**

**Издание официальное**

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ  
Москва**

**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**

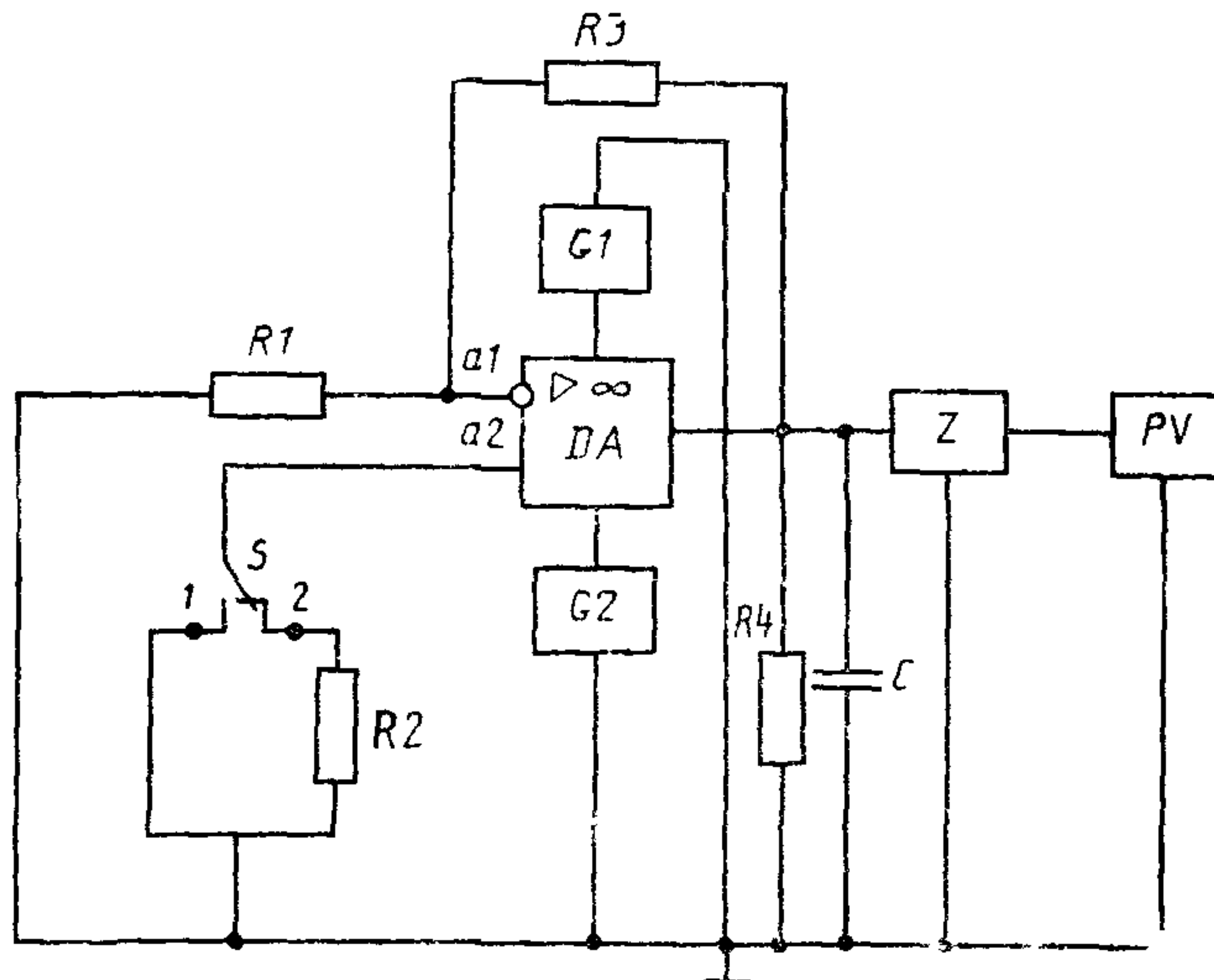
© Издательство стандартов, 1986

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  $\pm 1\%$ , и удовлетворять условию

$$E_{ш, G, \max} \leq 0,1 E_{ш, н, \min}, \quad (1)$$

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

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

1.2.3. Полосовой фильтр  $Z$  должен обеспечивать эффективную полосу пропускания  $\Delta f^* = 0,3 f_{\text{ц}} \pm 5\%$ ,

где  $f_{\text{ц}}$  — 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  $U_{\text{ш, вх, z}}$ , В, фильтра  $Z$  не должно превышать значения

$$U_{\text{ш, вх, z}} \leq 0,1 \frac{R_1 + R_3}{R_1} \cdot E_{\text{ш, в, min}} \cdot \sqrt{\Delta f^*}, \quad (2)$$

$$U_{\text{ш, вх, z}} \leq 0,1 \frac{R_1 + R_3}{R_1} \cdot I_{\text{ш, н, min}} \cdot R_2 \cdot \sqrt{\Delta f^*}, \quad (2a)$$

где  $\Delta f^*$  — эффективная полоса пропускания полосового фильтра, Гц;

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

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

Время измерения  $t_{\text{и}}$ , с, измерителем  $PV$  определяют по формуле

$$t_{\text{и}} = \frac{1}{\Delta f^* \cdot \sigma_{\text{фл}}^2}, \quad (3)$$

где  $\sigma_{\text{фл}}$  — 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

$$\frac{R_1}{R_1 + R_3} \geq \frac{10^2}{K_{y, U, \text{min}}}, \quad (4)$$

$$\frac{R_1}{R_1 + R_3} \geq \frac{U_{\text{см, max}} + 10 E_{\text{ш, н, max}} \cdot \sqrt{\Delta f^*}}{U_{\text{вых, max}}}. \quad (5)$$

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

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

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/ $\sqrt{\Gamma ц}$ , и нормированного тока шума проверяемого ОУ, А/ $\sqrt{\Gamma ц}$ ;  
 $U_{вых, \max}$  — абсолютное значение максимального выходного напряжения проверяемого ОУ, В.

Резистор  $R_3$  должен быть без токовых шумов (например проволочный).

Допустимое отклонение сопротивления резистора  $R_3$  не должно выходить за пределы  $\pm 0,5\%$ .

1.2.7. Сопротивление резистора  $R_2$ , Ом, выбирают из условия

$$R_2 \geq \frac{1,66 \cdot 10^{-20}}{I_{ш, н, \min}^2}, \quad (7)$$

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

Резистор  $R_2$  должен быть без токовых шумов (например проволочный).

Допустимое отклонение сопротивления резистора  $R_2$  не должно выходить за пределы  $\pm 0,5\%$ .

1.2.8. Сопротивление резистора  $R_4$ , Ом, выбирают из условия

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

где  $R_H$  — сопротивление нагрузки ОУ, Ом;

$R_Z$  — входное сопротивление полосового фильтра, Ом.

Допустимое отклонение сопротивления резистора  $R_4$  не должно выходить за пределы  $\pm 5\%$ .

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

$$C_H = C + C_M + C_Z, \quad (9)$$

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

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

$C_Z$  — входная емкость полосового фильтра, Ф.



Допустимое отклонение емкости конденсатора  $C$  не должно выходить за пределы  $\pm 5\%$ .

1.2.10. Суммарная паразитная емкость  $C_{\text{п}}$ ,  $\Phi$ , состоящая из собственной емкости резистора  $R_2$  и емкости монтажа, должна удовлетворять условию

$$C_{\text{п}} \leq \frac{0,1}{2 \pi f \cdot R_2}, \quad (10)$$

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  $G_1$  и  $G_2$  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  $U_{\text{ш, вых, 1}}$ .

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

1.3.5. При необходимости допускается измерять нормированный ток шума и по инвертирующему входу ОУ подключением резистора  $R_2$  в цепь инвертирующего входа проверяемого ОУ.

1.4. Обработка результатов

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

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

где  $K_Z$  — коэффициент передачи полосового фильтра  $Z$ .

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

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

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

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  $\pm 10\%$  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  $\pm 1\%$ , и удовлетворять условию

$$U_{ш, G, \max} \leq 0,1 U_{ш, \text{эфф}, \min}, \quad (13)$$

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;

$U_{ш, \text{эфф}, \min}$  — 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  $\pm 5\%$ .

Погрешность установления и поддержания коэффициента передачи фильтра не должна выходить за пределы  $\pm 2\%$ .

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

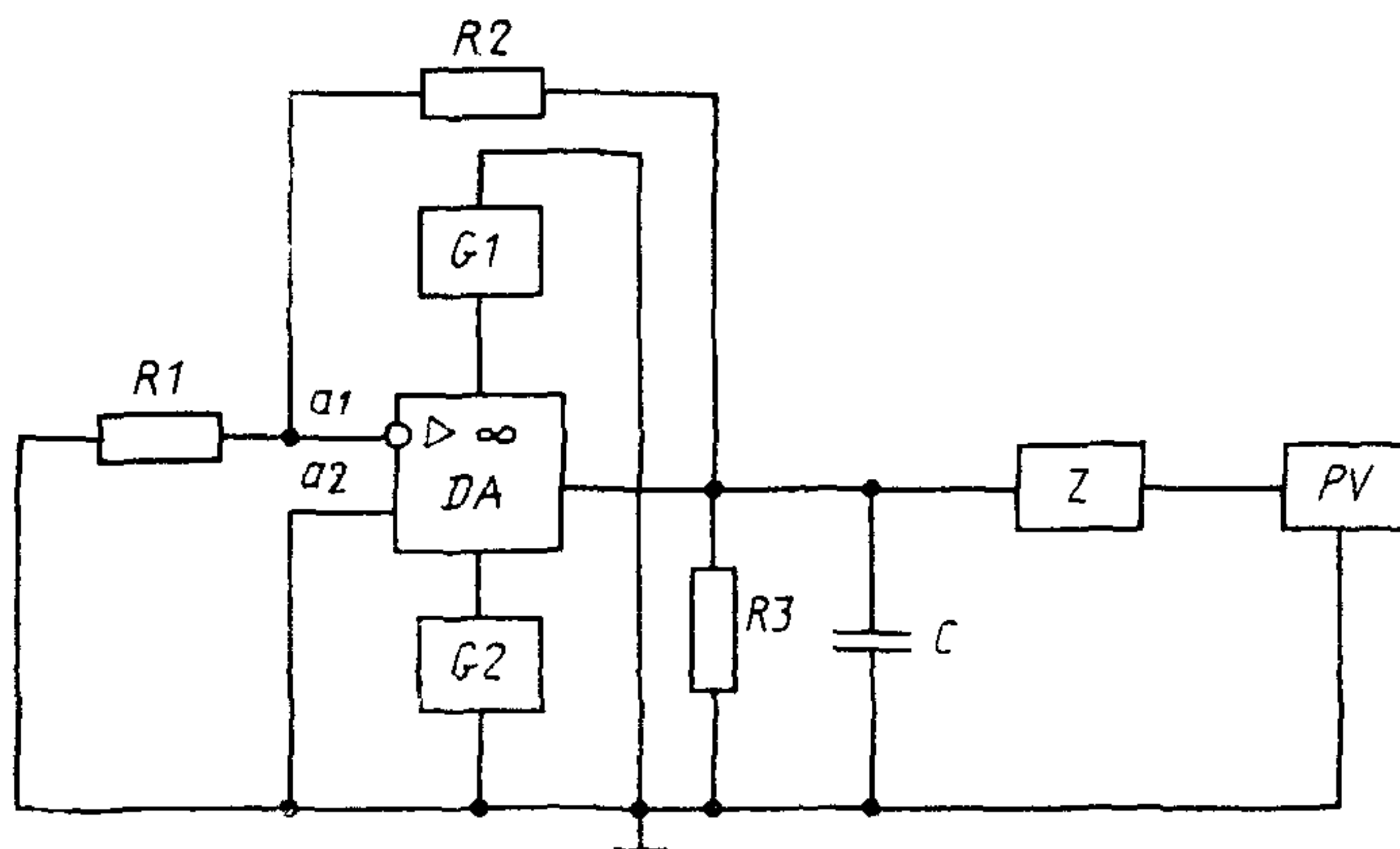
Приведенное ко входу напряжение собственных шумов  $U_{ш, \text{вх}, Z}$ , В фильтра  $Z$  не должно превышать значения

$$U_{ш, \text{вх}, Z} \leq 0,1 \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot U_{ш, \text{эфф}, \min}. \quad (14)$$

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

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

$$f_{\text{срз, н, } PV} \leq f_{\text{срз, н, } Z}, \quad (15)$$



$DA$ —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

$$f_{\text{срз, в, } PV} \geq f_{\text{срз, в, } Z}, \quad (16)$$

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

$$U_{\text{ш, вх, } PV} \leq 0,1 \frac{R_1 + R_2}{R_1} U_{\text{ш, эфф, мнн}} \cdot K_Z, \quad (17)$$

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  $\pm 0,5\%$ .

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

$$\frac{R_1}{R_1 + R_2} \geq \frac{10^2}{K_{y, U, \text{мнн}}}, \quad (18)$$



$$\frac{R_1}{R_1+R_2} \geq \frac{U_{\text{см, max}} + 10 U_{\text{ш, эфф max}}}{U_{\text{вых, max}}}, \quad (19)$$

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

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

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

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

Резистор  $R_2$  должен быть без токовых шумов (например проволочный).

Допустимое отклонение сопротивление резистора  $R_2$  не должно выходить за пределы  $\pm 0,5\%$ .

2.2.7. Сопротивление резистора  $R_3$ , Ом, выбирают из условия

$$\frac{1}{R_n} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_z}, \quad (20)$$

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

$R_z$  — входное сопротивление фильтра, Ом.

Допустимое отклонение сопротивления резистора  $R_3$  не должно выходить за пределы  $\pm 5\%$ .

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

$$C_n = C + C_m + C_z, \quad (21)$$

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

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

$C_z$  — входная емкость фильтра, Ф.

Допустимое отклонение емкости конденсатора  $C$  не должно выходить за пределы  $\pm 5\%$ .

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  $G_1$  и  $G_2$  и любым известным способом убеждаются в отсутствии генерации ОУ и посторонних наводок.

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

2.4. Обработка результатов

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

$$U_{ш, \text{эфф}} = \sqrt{\left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot \frac{U_{ш, \text{ВЫХ}}}{K_Z}\right)^2 - 1,66 \cdot 10^{-20} \cdot R_1 \cdot \Delta f^*}, \quad (22)$$

где  $\Delta f^*$  — 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  $\pm 1\%$ , и удовлетворять условию

$$\Delta U_{ш, G, \text{min}} \leq 0,1 \Delta U_{ш, \text{min}}, \quad (23)$$

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

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

3.2.3. Погрешность измерителя постоянного напряжения  $PV$  не должна выходить за пределы  $\pm 0,5\%$ .

3.2.4. Полосовой фильтр  $Z$  должен обеспечивать полосу пропускания  $\Delta f$  от 0,1 до 10 Гц.

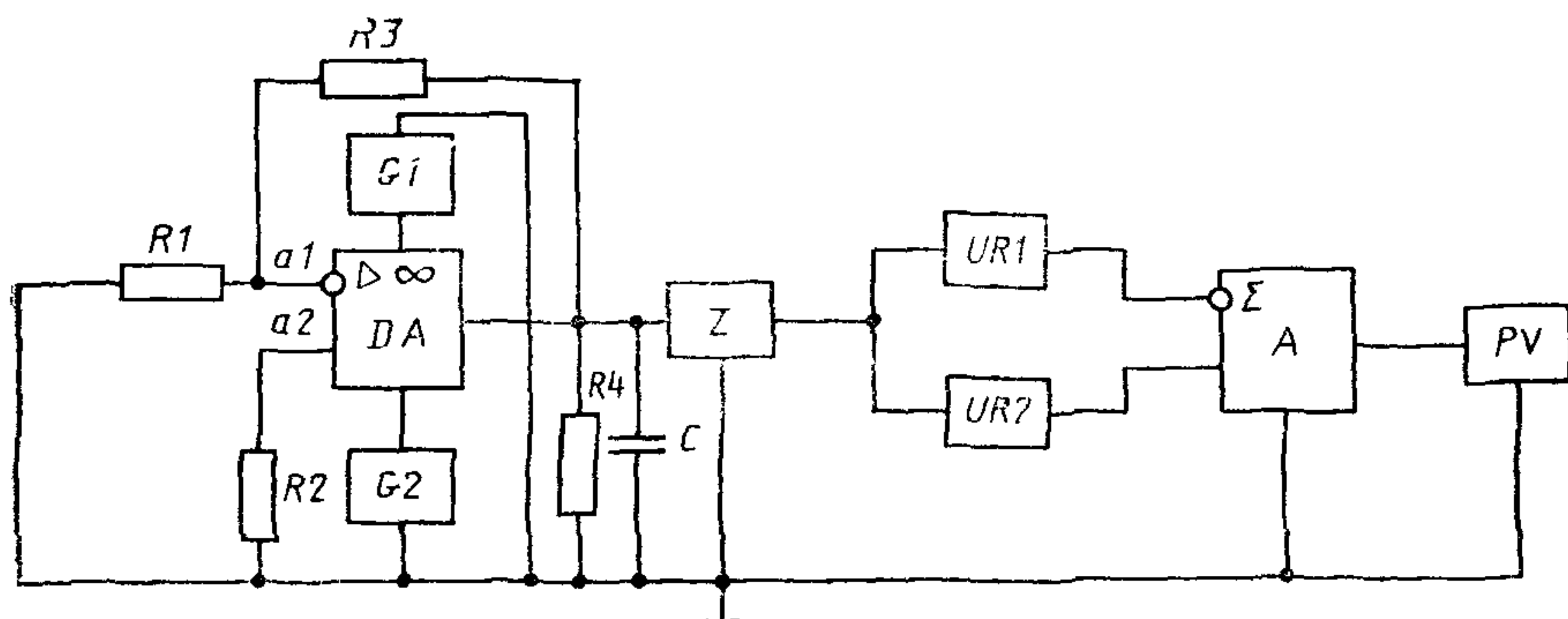
Погрешность установления и поддержания коэффициента передачи фильтра  $Z$  в полосе пропускания не должна выходить за пределы  $\pm 3\%$ .

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  $\pm 1\%$ .

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  $\pm 1\%$ .



$DA$ —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  $\pm 0,5\%$ .

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  $\pm 0,5\%$ .

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

$$\frac{R_1}{R_1 + R_3} \geq \frac{10^2}{K_{y, U, \min}}, \quad (24)$$

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



- 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 входного тока проверяемого ОУ, А.

Резистор  $R_3$  должен быть без токовых шумов (например проволочный).

Допустимое отклонение сопротивления резистора  $R_3$  не должно выходить за пределы  $\pm 0,5\%$ .

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 А;

$K_Z$  — 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.



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

### 1. Составляющие погрешности измерения

1.1 Погрешность  $\delta_1$ , вызванную конечным значением коэффициента усиления проверяемого ОУ, определяют по формуле

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

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

1.2 Погрешность  $\delta_2$ , вызванную наличием напряжений пульсации и собственных шумов источников питания проверяемого ОУ, определяют по формуле

$$\delta'_2 = K_{\text{вл, и, н}}(f) \frac{E_{\text{ш, г, max}}}{E_{\text{ш, н, min}}}, \quad (2)$$

$$\delta = K_{\text{вл, и, н}}(f) \frac{E_{\text{ш, г, max}}}{I_{\text{ш, н, min}} \cdot R_2}, \quad (2a)$$

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

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

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

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

1.3 Погрешность  $\delta'_3$ , вызванную отклонением значений сопротивлений резисторов  $R_1$  и  $R_3$ , определяют по формуле

$$\delta'_3 \leq \sqrt{2 \delta_R}, \quad (3)$$

где  $\delta_R$  — допустимое отклонение значений сопротивлений резисторов  $R_1$  и  $R_3$

Погрешность  $\delta''_3$ , вызванную отклонением значения сопротивления резистора  $R_2$ , определяют по формуле

$$\delta''_3 = \delta_{R_2}, \quad (3a)$$

где  $\delta_{R_2}$  — допустимое отклонение значения сопротивления резистора  $R_2$

1.4 Погрешность  $\delta_4$ , вызванную изменением сопротивления резистора  $R_3$  от паразитной емкости, определяют по формуле

$$\delta_4 = 1 - [1 + (2 \pi f C_{\text{п}} R_2)^2]^{1/2}, \quad (4)$$

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

$C_{\text{п}}$  — паразитная емкость резистора  $R_3$ , Ф

1.5. Погрешность  $\delta_5$ , вызванную погрешностью измерения измерителя  $PV$ , определяют по формуле

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

где  $\delta_{PV}$  — погрешность измерителя  $PV$ .

1.6. Погрешность  $\delta_6$ , вызванную неточностью коэффициента передачи полосового фильтра  $Z$ , определяют по формуле

$$\delta_6 = \delta_{KZ}, \quad (6)$$

где  $\delta_{KZ}$  — погрешность коэффициента передачи полосового фильтра  $Z$ .

1.7. Погрешность  $\delta_7$ , вызванную неточностью определения эквивалентной полосы пропускания полосового фильтра, определяют по формуле

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

где  $\delta_U$  — составляющая погрешности, обусловленная погрешностью измерения напряжения;

$\delta_f$  — составляющая погрешности, обусловленная измерением частоты;

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

1.8. Погрешность  $\delta_8$ , вызванную конечным значением времени измерения, определяют по формуле

$$\delta_8 = \frac{1}{\sqrt{\Delta f^* \cdot t_{\text{из}}}}, \quad (8)$$

где  $\Delta f^*$  — эффективная полоса пропускания полосового фильтра, Гц;

$t_{\text{из}}$  — заданное время измерения, с.

1.9. Погрешность  $\delta_9$ , вызванную наличием собственных шумов полосового фильтра, определяют по формуле

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

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

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

1.10. Погрешность  $\delta_{10}$ , вызванную наличием собственных шумов измерителя  $PV$ , определяют по формуле

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

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

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

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

## 2. Погрешность измерения

2.1. Погрешность измерения нормированной э. д. с. шума  $\delta_{\Sigma}$  определяют по формуле

$$\delta_{\Sigma} = \delta_1 \pm K_{\Sigma} \sqrt{\left( \frac{\delta'_2}{K_1} \right)^2 + \left( \frac{\delta'_3}{K_2} \right)^2 + \left( \frac{\delta_5}{K_2} \right)^2 + \left( \frac{\delta_6}{K_1} \right)^2 + \left( \frac{\delta_7}{K_1} \right)^2 + \left( \frac{\delta_8}{K_2} \right)^2 + \left( \frac{\delta'_9}{K_1} \right)^2 + \left( \frac{\delta_{10}}{K_1} \right)^2}, \quad (12)$$

где  $K_{\Sigma}$  — коэффициент, зависящий от закона распределения погрешности измерения и доверительной вероятности  $P_{\Sigma}^*$ . 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  $K_2 = 1,73$ .

2.2. Погрешность измерения нормированного тока шума  $\delta_{\Sigma}$  определяют по формуле

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ  
ЭФФЕКТИВНОГО ЗНАЧЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ШУМА

1 Составляющие погрешности измерения

1.1 Погрешность  $\delta_1$ , вызванную конечным значением коэффициента усиления проверяемого ОУ, определяют по формуле

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

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

1.2 Погрешность  $\delta_2$ , вызванную наличием напряжений собственных шумов и пульсации источников питания, определяют по формуле

$$\delta_2 = K_{\text{вл, и, п}}(f) \frac{U_{\text{ш, г, max}}}{U_{\text{ш, эфф, min}}}, \quad (2)$$

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

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

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

1.3 Погрешность  $\delta_3$ , вызванную отклонением значений сопротивлений резисторов  $R_1$  и  $R_2$ , определяют по формуле

$$\delta_3 \leq \sqrt{2} \delta_R, \quad (3)$$

где  $\delta_R$  — допустимое отклонение значений сопротивлений резисторов  $R_1$  и  $R_2$

1.4 Погрешность  $\delta_4$ , вызванную наличием собственных шумов резисторов  $R_1$  и  $R_2$ , определяют по формуле

$$\delta_4 = \frac{\sqrt{1,66 \cdot 10^{-20} R_n \cdot \Delta f^* + U_{\text{ш, эфф, min}}^2}}{U_{\text{ш, эфф, min}}} - 1, \quad (4)$$

где  $R_n = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$ .

1.5 Погрешность  $\delta_5$ , вызванную погрешностью измерения измерителя  $PV$ , определяют по формуле

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

где  $\delta_{PV}$  — погрешность измерителя  $PV$



1.6. Погрешность  $\delta_6$ , вызванную неточностью коэффициента передачи полосового фильтра  $Z$ , определяют по формуле

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

где  $\delta_{K_Z}$  — погрешность коэффициента передачи полосового фильтра  $Z$ .

1.7. Погрешность  $\delta_7$ , вызванную нестабильностью частот срезов полосы пропускания фильтра  $Z$ , определяют по формуле

$$\delta_7 = \sqrt{\frac{\delta_{f_{\text{срз, в}}}}{f_{\text{срз, в}}}}, \quad (7)$$

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  $\delta_8$ , вызванную наличием собственных шумов полосового фильтра  $Z$ , определяют по формуле

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

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

1.9. Погрешность  $\delta_9$ , вызванную наличием собственных шумов измерителя  $PV$ , определяют по формуле

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

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

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

где  $K_{\Sigma}$  — коэффициент, зависящий от закона распределения погрешности измерения и доверительной вероятности  $P_{\Sigma}^*$ . 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  $K_2 = 1,73$ .

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ РАЗМАХА ШУМА

1. Составляющие погрешности измерения

1.1. Погрешность  $\delta_1$ , вызванную конечным значением коэффициента усиления проверяемого ОУ, определяют по формуле

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

1.2. Погрешность  $\delta_2$ , вызванную наличием напряжений собственных шумов и пульсации источников питания, определяют по формуле

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

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

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

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

1.3. Погрешность  $\delta_3$ , вызванную отклонением значений сопротивлений резисторов обратной связи  $R_1$  и  $R_3$ , определяют по формуле

$$\delta_3 \leq \sqrt{2 \delta_R}, \quad (3)$$

где  $\delta_R$  — допустимое отклонение значения сопротивления резисторов  $R_1$  и  $R_3$ .

1.4. Погрешность  $\delta_4$ , вызванную наличием собственных шумов резистора  $R_2$  определяют по формуле

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

где  $\Delta f^*$  — эффективная полоса пропускания фильтра  $Z$ , Гц.

1.5. Погрешность  $\delta_5$ , вызванную погрешностью измерителя  $PV$ , определяют по формуле

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

где  $\delta_{PV}$  — погрешность измерителя  $PV$ .

1.6. Погрешность  $\delta_6$ , вызванную погрешностью коэффициента передачи фильтра нижних частот  $Z$ , определяют по формуле

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

где  $\delta_{K_Z}$  — погрешность коэффициента передачи фильтра нижних частот в полосе пропускания.

1.7. Погрешность  $\delta_7$ , вызванную погрешностью коэффициента преобразования пиковых детекторов  $UR1$  и  $UR2$ , определяют по формуле

$$\delta_7 = \delta_{UR}, \quad (7)$$

где  $\delta_{UR}$  — погрешность коэффициента передачи пиковых детекторов.

1.8. Погрешность  $\delta_8$ , вызванную погрешностью суммирования сумматора  $A2$ , определяют по формуле

$$\delta_8 = \delta_A, \quad (8)$$

где  $\delta_A$  — погрешность суммирования сумматора  $A$ .

1.9. Погрешность  $\delta_9$ , вызванную конечным значением времени измерения, определяют по формуле

$$\delta_9 = \frac{1}{\sqrt{\Delta f \cdot t_{\text{и}}}}, \quad (9)$$

где  $t_{\text{и}}$  — время измерения, с.

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

## 2. Погрешность измерения

2.1. Погрешность измерения размаха шума  $\delta_{\Sigma}$  определяют по формуле

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

где  $K_{\Sigma}$  — коэффициент, зависящий от закона распределения погрешности измерения и доверительной вероятности  $P_{\Sigma}^*$ . 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  $K_2 = 1,73$ .

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.  
Тир 12 000 Цена 5 коп.

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