ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 71646— 2024

ИЗДЕЛИЯ КРИОЭЛЕКТРОННЫЕ И С ТЕРМОЭЛЕКТРОННЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ

Методы измерения шумовой температуры в диапазоне 4—100 К

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2024

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Акционерным обществом «Российский научно-исследовательский институт «Электронстандарт» (АО «РНИИ «Электронстандарт»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 303 «Электронная компонентная база, материалы и оборудование»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 1 октября 2024 г. № 1340-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2024

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ИЗДЕЛИЯ КРИОЭЛЕКТРОННЫЕ И С ТЕРМОЭЛЕКТРОННЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ

Методы измерения шумовой температуры в диапазоне 4—100 К

Cryoelectronic and thermoelectronic cooled products.
Methods of measuring noise temperature in the range 4—100 K

Дата введения — 2025—03—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на изделия криоэлектронные и с термоэлектронным охлаждением (далее — изделия) и устанавливает следующие методы измерения шумовой температуры:

- метод двух отсчетов при измерении в диапазоне 4—100 К и коэффициенте усиления более 30 дБ;
- метод постоянного уровня при измерении в диапазоне 20—60 К и коэффициенте усиления более 10 дБ;
- метод модуляционный прямого отсчета при измерении в диапазоне 60—100 К.

Совместно с настоящим стандартом следует применять ГОСТ 20271.1.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:
ГОСТ 20271.1 Изделия электронные СВЧ. Методы измерения электрических параметров
ГОСТ 20935 Криоэлектроника. Термины и определения

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ 20935.

4 Метод двух отсчетов

4.1 Принцип и условия измерения

4.1.1 Эквивалентную шумовую температуру входа изделий определяют путем сравнения мощности шума изделия с мощностью шума образцовых источников шумового сигнала.

Издание официальное

В качестве образцовых источников шумового сигнала используют:

- согласованную нагрузку при температуре окружающей среды (далее — теплая нагрузка);
- согласованную нагрузку при температуре кипения сжиженных газов (далее — холодная нагрузка).

4.1.2 Измерение проводят на частотах, указанных в технических условиях (ТУ).

4.2 Аппаратура

4.2.1 Измерение эквивалентной шумовой температуры входа изделия проводят на установке, структурная схема которой приведена на рисунке 1.

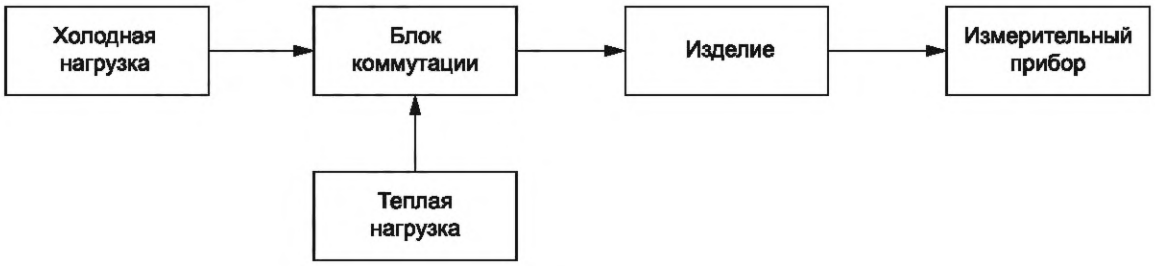

Рисунок 1

4.2.2 Для обеспечения точности измерений рекомендуют выбирать шумовую температуру $T_ш$ теплой и холодной нагрузок так, чтобы выполнялось равенство

$$T_ш = \sqrt{T_о \cdot T_х}, \quad (1)$$

где $T_о$ — температура окружающей среды (теплой нагрузки);

$T_х$ — шумовая температура холодной нагрузки.

4.2.3 Холодная нагрузка при измерении эквивалентной шумовой температуры входа изделия 40—20 К должна удовлетворять следующим требованиям:

- шумовая температура на входе холодной нагрузки не более 10 К;
- погрешность определения шумовой температуры холодной нагрузки не более ±1,5 К;
- коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН) холодной нагрузки не более 1,1 для волноводных трактов и не более 1,3 для коаксиальных.

4.2.4 Холодная нагрузка при измерении эквивалентной шумовой температуры входа изделия 20—100 К должна удовлетворять следующим требованиям:

- шумовая температура на входе холодной нагрузки не более 90 К;
- погрешность определения шумовой температуры холодной нагрузки не более ±2,0 К;
- КСВН холодной нагрузки не более 1,3.

4.2.5 Теплая нагрузка должна удовлетворять следующим требованиям:

- погрешность определения температуры теплой нагрузки окружающей среды не более ±2 К;
- КСВН теплой нагрузки не более 1,1.

4.2.6 Блок коммутации должен удовлетворять следующим требованиям:

- КСВН блока коммутации не более 1,1;
- вносимые потери блока коммутации не более 0,1 дБ;
- неидентичность потерь блока коммутации при переключениях не более 0,01 дБ.

4.2.7 Соединительные элементы измерительного тракта должны удовлетворять следующим требованиям:

- КСВН не более 1,1 для волноводных соединений и 1,2 для коаксиальных;
- вносимые потери не более 0,2 дБ;
- неидентичность потерь не более 0,02 дБ.

4.2.8 Измерительный прибор должен удовлетворять следующим требованиям:

- стабильность коэффициента усиления за время измерения не менее 0,2 дБ;
- пороговая чувствительность не менее 10^{-12} Вт. При недостаточной чувствительности измерительного прибора на выходе изделия включают дополнительный малошумящий усилитель, обеспечивающий пороговую чувствительность измерительного прибора и имеющую собственную шумовую температуру изделия не более чем на порядок.

4.3 Подготовка и проведение измерений

4.3.1 Подготавливают и включают измерительную установку, приведенную на рисунке 1, согласно эксплуатационной документации.

4.3.2 Включают изделие и устанавливают режим измерения, указанный в ТУ.

4.3.3 При подключении ко входу изделия теплой нагрузки регулировкой усиления измерительного прибора устанавливают стрелку индикатора измерительного прибора во второй половине шкалы. Отмечают показание прибора α_1.

4.3.4 При подключении ко входу изделия холодной нагрузки отмечают показания индикатора измерительного прибора α_2.

4.4 Обработка результатов

4.4.1 Эквивалентную шумовую температуру входа изделия вычисляют по формуле

$$T_{ш} = \frac{T_o - nT_1}{n-1} - \frac{T_{пр}}{K_y}, \quad (2)$$

где n — отношение показаний, отсчитанное при подключенной по входу прибора теплой нагрузке и величине показаний прибора при подключенной ко входу изделия холодной нагрузке, вычисляемое по формуле

$$n = \frac{\alpha_1}{\alpha_2}; \quad (3)$$

$T_{пр}$ — шумовая температура входа измерительного прибора;

K_y — коэффициент усиления изделия по мощности;

T_1 — шумовая температура холодной нагрузки, приведенная ко входу изделия и вычисляемая по формуле

$$T_1 = \frac{T_x}{L} + T_o\left(1 - \frac{1}{L}\right), \quad (4)$$

где L — затухание, вносимое блоком коммутации, в относительных единицах.

4.5 Показатели точности измерений

4.5.1 Абсолютную погрешность определения эквивалентной шумовой температуры входа изделия определяют по формуле

$$\Delta T_{ш} = K_{\Sigma} \cdot \delta_{Tш}, \quad (5)$$

где $\delta_{Tш}$ — относительная погрешность определения эквивалентной шумовой температуры, вычисляемая по формуле

$$\delta_{T_ш} = \sqrt{\frac{n^2}{(n-1)^2}\Delta T_1^2 + \frac{1}{(n-1)^2}\Delta T_o^2 + \frac{(T_1 - T_o)^2}{(n-1)^4}\Delta n^2 + \frac{1}{K_y^2}\Delta T_{пр}^2 + \frac{T_{пр}^2}{K_y^4}\Delta K_y^2}, \quad (6)$$

где ΔT_1 — абсолютная погрешность определения шумовой температуры холодной нагрузки, приведенная ко входу изделия и вычисляемая по формуле

$$\Delta T_1 = \sqrt{\frac{1}{L^2}\Delta T_x^2 + \frac{(L-1)^2}{L^2}\Delta T_o^2 + \frac{(T_o - T_x)^2}{L^4}\Delta L^2}, \quad (7)$$

где ΔT_o — абсолютная погрешность определения температуры теплой нагрузки (окружающей среды);

Δn — абсолютная погрешность измерительного прибора;

ΔK_y — абсолютная погрешность определения коэффициента усиления;

ΔL — абсолютная погрешность определения потерь блока коммутации;

K_{Σ} — коэффициент, зависящий от установленной вероятности и от закона распределения суммарной погрешности, значение которого приведено в приложении А.

4.5.2 Расчет интервалов погрешности, в которых с установленной вероятностью находится погрешность измерения, проводят в соответствии с приложением А.

5 Метод постоянного уровня

5.1 Принцип и условия измерения

Принцип и условия измерения в соответствии с 4.1.

5.2 Аппаратура

5.2.1 Измерения эквивалентной шумовой температуры входа изделия проводят на установке, структурная схема которой приведена на рисунке 2.

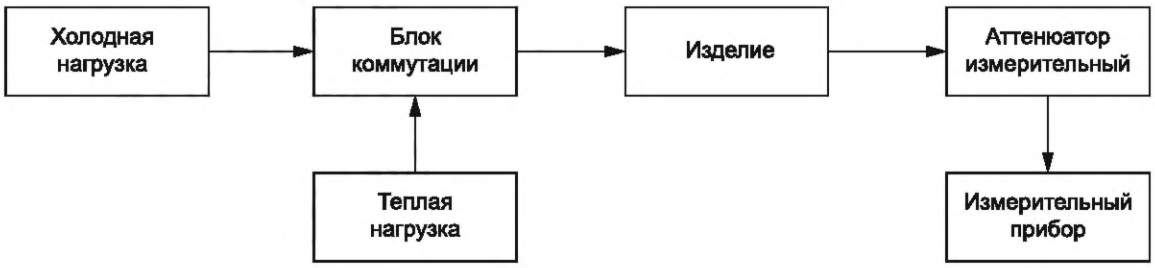

Рисунок 2

5.2.2 Шумовую температуру теплой и холодной нагрузок выбирают в соответствии с 4.2.2.
5.2.3 Требования к холодной нагрузке — в соответствии 4.2.4.
5.2.4 Требования к теплой нагрузке — в соответствии с 4.2.5.
5.2.5 Требования к блоку коммутации — в соответствии с 4.2.6.
5.2.6 Требования к соединительным элементам — в соответствии с 4.2.7.
5.2.7 Требования к измерительному прибору — в соответствии с 4.2.8.
5.2.8 Измерительный аттенюатор должен удовлетворять следующим требованиям:
- КСВН входа и выхода не более 1,2;
- начальное ослабление не более 0,5 дБ;
- диапазон градуированных ослаблений не менее 30 дБ;
- погрешность отсчета ослабления $\Delta\gamma$ не должна превышать ±0,01A дБ, (где A — установленное по шкале аттенюатора значение ослабления, дБ).

5.3 Подготовка и проведение измерений

5.3.1 Подготавливают и включают измерительную установку, приведенную на рисунке 2, согласно эксплуатационной документации.
5.3.2 Выполняют операции по 4.3.2.
5.3.3 При подключении холодной нагрузки ко входу изделия регулировкой усиления индикатора прибора устанавливают стрелку индикатора во второй половине шкалы. Отмечают показания индикатора α_1 и показания измерительного аттенюатора γ_1.
5.3.4 Подключают ко входу изделия теплую нагрузку, вводят на измерительном аттенюаторе такое ослабление, чтобы показание индикатора равнялось прежнему значению α_1. Отмечают показание измерительного аттенюатора γ_2.

5.4 Обработка результатов

5.4.1 Эквивалентную шумовую температуру входа изделия $T_ш$ вычисляют по формуле

$$T_ш = \frac{T_o - mT_1}{m-1} + \frac{T_o}{K_y}, \quad (8)$$

где m — отсчет ослабления аттенюатора, определяемый по формуле

$$m = 10\frac{\gamma_1 - \gamma_2}{10}; \quad (9)$$

K_y — коэффициент усиления в относительных единицах.
Величина T_1 определяется согласно 4.4.1.

5.5 Показатели точности измерений

5.5.1 Абсолютную погрешность определения эквивалентной шумовой температуры входа изделия $\Delta T_{ш}$ вычисляют по формуле

$$\Delta T_{ш} = K_{\Sigma} \cdot \delta_{Tш}, \quad (10)$$

где $\delta_{Tш}$ — относительная погрешность определения эквивалентной шумовой температуры, вычисляемая по формуле

$$\delta_{T_{ш}} = \sqrt{\frac{m^2}{(m-1)^2}\Delta T_1^2 + \frac{1}{(m-1)^2}\Delta T_o^2 + \frac{(T_1 - T_o)^2}{(m-1)^4}\Delta m^2 + \frac{1}{K_y^2}\Delta T_o^2 + \frac{T_o^2}{K_y^4}\Delta K_y^2}; \quad (11)$$

Δm — абсолютная погрешность отсчета ослабления аттенюатора (в относительных единицах), определяемая по формуле

$$\Delta m = m \cdot 0{,}23\Delta\gamma, \quad (12)$$

где $\Delta\gamma$ — погрешность отсчета ослабления, дБ.

5.5.2 Расчет интервалов погрешности, в которых с установленной вероятностью находится погрешность измерения, проводят в соответствии с приложением.

6 Метод модуляционный прямого отсчета

6.1 Принцип и условия измерения

Эквивалентную температуру шума входа изделия определяют путем сравнения мощности шума изделия с мощностью шума стандартного генератора шума.

6.2 Аппаратура

6.2.1 Измерения эквивалентной температуры шума производят на установке, структурная схема которой приведена на рисунке 3.

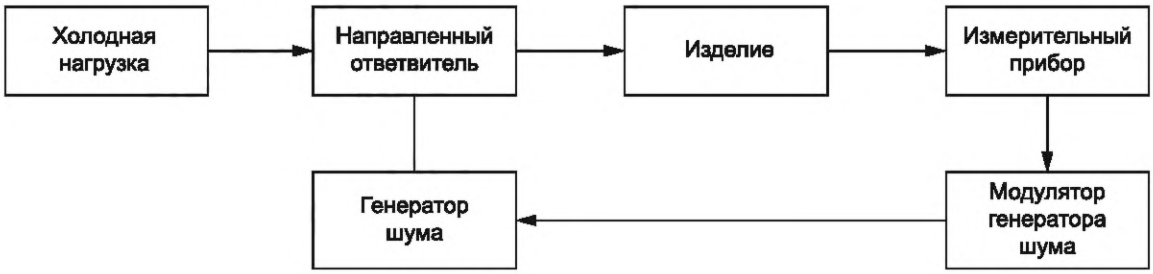

Рисунок 3

6.2.2 Требования к холодной нагрузке согласно 4.2.4.

6.2.3 Величину шумовой температуры, подаваемой на вход изделия через направленный ответвитель $T_{ш}$ выбирают из условия

$$0{,}5T_{ш} \le T_{гш} \le 2T_{ш},$$

где $T_{гш}$ — сигнал, подаваемый генератором шума.

6.2.4 Направленный ответвитель должен удовлетворять следующим требованиям:

- прямые потери должны быть не более 0,1 дБ;
- переходное затухание направленного ответвителя должно быть не менее 25 дБ с неравномерностью в рабочем диапазоне изделия не менее ±0,2 дБ.

6.2.5 Измерительный прибор должен соответствовать требованиям 4.2.8 и обеспечивать подачу импульсного напряжения для синхронизации генератора шума.

6.3 Подготовка и проведение измерений

6.3.1 Подготавливают и включают измерительную установку, приведенную на рисунке 3, согласно эксплуатационной документации.

6.3.2 Отсоединяют изделие и подключают генератор шума непосредственно к входу измерительного прибора.

6.3.3 Производят компенсацию собственных шумов измерительного прибора.

6.3.4 Подключают изделие, включают и устанавливают режим измерения, указанный в ТУ на изделие.

6.3.5 Производят калибровку шкалы измерительного прибора по сигналу, пропорциональному шумовой температуре, подаваемой на вход изделия от генератора шума $T_{гш}$.

6.3.6 Переключают измерительный прибор в режим «измерение».

6.3.7 Производят непосредственный отсчет величины суммарной шумовой температуры T_{Σ} по шкале измерительного прибора.

6.4 Обработка результатов

6.4.1 Эквивалентную шумовую температуру входа изделия $T_{ш}$ вычисляют по формуле

$$T_{ш} = T_{\Sigma} - T_1, \tag{13}$$

где T_{Σ} — шумовая температура, отсчитанная по измерительному прибору;

T_1 — шумовая температура холодной нагрузки, приведенная ко входу изделия и вычисляемая по формуле

$$T_1 = \frac{T_x}{L_1} + T_o\left(1 - \frac{1}{L_1}\right), \tag{14}$$

где L_1 — прямое затухание направленного ответвителя.

6.5 Показатели точности измерений

6.5.1 Абсолютную погрешность определения эквивалентной шумовой температуры входа изделия определяют по формуле

$$T_{ш} = \sqrt{\Delta T_{\Sigma}^2 + \Delta T_1^2}, \tag{15}$$

где ΔT_1, определяется согласно 4.5.1 с учетом замены L на L_1.

ΔT_{Σ} — зависит от точности калибровки генератора шума и используемого измерительного прибора.

6.5.2 Расчет интервалов погрешности, в которые с установленной вероятностью находится погрешность измерения, проводят в соответствии с приложением А.

Приложение А
(справочное)

Определение показателей точности измерения

А.1 При измерениях шумовой температуры показатели точности выражают интервалом, в котором с установленной вероятностью находится суммарная погрешность измерения. Интервал может выражаться в единицах измеряемой величины или в относительных единицах.

Интервал, в котором с установленной вероятностью находится суммарная погрешность измерения Δ_Σ, вычисляют по формуле

$$\Delta_\Sigma = K_\Sigma \sigma_\Sigma, \tag{А.1}$$

где K_Σ — коэффициент, зависящий от установленной вероятности и от закона распределения суммарной погрешности;

σ_Σ — суммарная среднеквадратическая погрешность, вычисляемая по формуле

$$\sigma_\Sigma = \pm\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\sigma_i^{\,2}}, \tag{А.2}$$

где n — число источников погрешности.

А.2 Суммарная среднеквадратическая погрешность может быть выражена через интервалы абсолютной и относительной погрешности по формулам:

$$\sigma_\Sigma = \pm\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\Delta i}{K_i}\right)^2}, \tag{А.3}$$

$$\sigma_\Sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\delta_i}{K_i}\right)^2}. \tag{А.4}$$

Для измерений, проводимых по данному стандарту, рекомендуется определить интервал погрешности с вероятностью 0,95.

Погрешности измерения, заданные интервалом с вероятностью не равной 0,95, пересчитываются к вероятности 0,95 по формуле:

$$\Delta(0{,}95) = \pm\Delta P - \frac{K_\Sigma(0{,}95)}{K_P}, \tag{А.5}$$

где $\Delta(0{,}95)$ — погрешность измерения, выраженная интервалом с вероятностью 0,95;

$K_\Sigma(0{,}95)$ — коэффициент по таблице А.1, взятый для соответствующего закона распределения погрешности при вероятности 0,95;

K_P — коэффициент по таблице А.1, взятый для соответствующего закона распределения погрешности при вероятности P;

ΔP — погрешность измерения, выраженная интервалом с вероятностью P.

Таблица А.1

Закон распределения погрешности измерения	Значение					
	P = 0,68	P = 0,9	P = 0,95	P = 0,99	P = 0,997	P = 0,999
Нормальный	1,0	1,64	1,96	2,58	2,97	3,29
Равномерный (равновероятный)	1,0	1,56	1,65	1,71	1,72	1,73
Треугольника (Симпсона)	1,0	1,67	1,91	2,2	2,32	2,37
Трапециевидный	1,0	1,98	2,0	2,16	2,22	2,26
Релея	1,0	2,15	2,45	3,03	3,4	3,72

Суммарная среднеквадратическая погрешность считается распределенной по нормальному закону в следующих случаях:

- все составляющие погрешности распределены по нормальному закону;
- составляющих погрешностей более пяти и закон их распределения неизвестен, отсутствует доминирующая составляющая;
- суммарная погрешность измерительных устройств состоит из составляющих, которые являются или номинальными погрешностями, указанными в ТУ, технических паспортах, аттестатах и другой документации или погрешностями, полученными непосредственно при обработке результатов.

УДК 621:006.354 ОКС 31.200

Ключевые слова: изделия криоэлектронные, изделия с термоэлектронным охлаждением, методы измерения шумовой температуры

Редактор *Е.В. Якубова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор Р.А. Ментова
Компьютерная верстка *Е.О. Асташина*

Сдано в набор 03.10.2024. Подписано в печать 15.10.2024. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 1,40. Уч.-изд. л. 1,12.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru