ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ
СОЮЗА ССР

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

СТАНДАРТНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ШУМА И ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ШУМОВАЯ ТЕМПЕРАТУРА УСИЛИТЕЛЬНЫХ И ПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

ГОСТ 8.475—82

Издание официальное

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ
Москва

gost.e-ecolog.ru

РАЗРАБОТАН Государственным комитетом СССР по стандартам

ИСПОЛНИТЕЛЬ

В. В. Медведев

ВНЕСЕН Государственным комитетом СССР по стандартам

Член Госстандарта **Л. К. Исаев**

УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 15 ноября 1982 г. № 4291

УДК 534.322.3.08:006.354 Группа Т86

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ СОЮЗА ССР

Государственная система обеспечения единства измерений

СТАНДАРТНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ШУМА И ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ШУМОВАЯ ТЕМПЕРАТУРА УСИЛИТЕЛЬНЫХ И ПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ

Методика выполнения измерений

State system for ensuring the uniformity of measurements. Standard noise figure and equvalent noise temperature of the amplifiers and the receivers. Technique of measuring

ГОСТ 8.475—82

Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 15 ноября 1982 г. № 4291 срок введения установлен

с 01.01.84

Настоящий стандарт устанавливает методику выполнения измерений стандартного коэффициента шума (далее — коэффициента шума) и эквивалентной шумовой температуры входа усилительных и приемных устройств (далее — устройств) в диапазоне частот 0,002—37,5 ГГц.

1. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

1.1. При измерении коэффициента шума и эквивалентной шумовой температуры входа устройств (ЭШТВ) должны быть применены средства измерений, указанные ниже.

1.1.1. Тепловые, газоразрядные, твердотельные генераторы шума и генераторы шума на вакуумных диодах (ГШ) типов, приведенных в справочном приложении 1.

1.1.2. Измерители коэффициентов шума (ИКШ) и другие приборы, применяемые в качестве измерителей отношения шумовых сигналов (ИОШС). ИОШС выбирают по следующим параметрам:

степени линейности показаний в зависимости от уровня шумовой мощности, подводимой на его вход;

рабочей частоте измерения в мегагерцах и погрешности ее установления в процентах;

Издание официальное Перепечатка воспрещена

★

© Издательство стандартов, 1983

полосе пропускания в мегагерцах;

коэффициенту шума

Типы ИКШ и других приборов, применяемых в качестве ИОШС, приведены в справочных приложениях 2 и 3.

1.1.3. Измерительные приборы, сборочные единицы и блоки, необходимые для укомплектования рабочих мест, — по справочным приложениям 1—6.

1.1.4. Средства измерений, указанные в пп. 1.1.1—1.1.3, должны быть поверены.

1.1.5. Присоединительные размеры коаксиальных трактов и волноводных фланцев устройств и средств измерений — по ГОСТ 13317—80.

1.1.6. Для приемных систем, при эксплуатации которых необходимо контролировать коэффициент шума или ЭШТВ, допускается применять встроенные средства измерений при условии возможности их поверки при помощи серийно выпускаемых или вновь разработанных средств.

1.2. Допускается применять вновь разработанные или находящиеся в применении средства поверки, прошедшие метрологическую аттестацию в органах государственной метрологической службы.

2. УСЛОВИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

2.1. Измерения следует проводить при климатических условиях, указанных в технических условиях на устройства конкретного типа и в технической документации на средства измерений, утвержденной в установленном порядке.

2.2. При наличии помех в измерительном канале измерения необходимо проводить в экранированных помещениях и кабинах, обеспечивающих снижение уровня помех до значений, при которых разность между уровнем сигнала и уровнем помех должна быть не менее 20 дБ в измерительном канале.

2.3. Электрическое питание измерительного стенда — по ГОСТ 22261—76 и ГОСТ 13109—67.

2.4. Необходимо конкретизировать режим согласования на входе устройства для снижения погрешности измерения из-за рассогласования.

В зависимости от свойств и назначения устройства в нормативно-технической документации (НТД) на него должен быть указан один из следующих режимов согласования устройства с источником сигнала:

полное сопротивление источника сигнала должно соответствовать минимальному значению коэффициента шума или ЭШТВ устройства. Для получения значения минимального коэффициента

шума регулируют полное сопротивление составного генератора шума;

полное сопротивление источника сигнала должно соответствовать предельному значению коэффициента стоячей волны по напряжению $K_{ст\ U}$, указанному в НТД на устройство, при фазовых соотношениях, дающих наибольшее значение коэффициента шума или ЭШТВ;

полное сопротивление источника сигнала должно быть равно волновому сопротивлению стандартной линии передачи.

Для получения значения коэффициента шума или ЭШТВ устройства в режиме работы на согласованную линию передачи необходимо настраивать составной генератор шума на заданной частоте при помощи трансформатора полного сопротивления (ТПС) в режим бегущей волны или применять генераторы шума с высокой степенью собственного согласования;

полное сопротивление источника сигнала должно соответствовать значению, указанному в НТД на устройство. Для получения заданного значения полного сопротивления на выходе составного генератора шума необходимо воспроизвести полное сопротивление реального источника сигнала;

полное сопротивление источника сигнала должно соответствовать режиму комплексно-сопряженного согласования на входе устройства.

2.5. В НТД на устройства конкретных типов должна быть указана полоса пропускания в мегагерцах, в которой измеряют коэффициент шума или ЭШТВ.

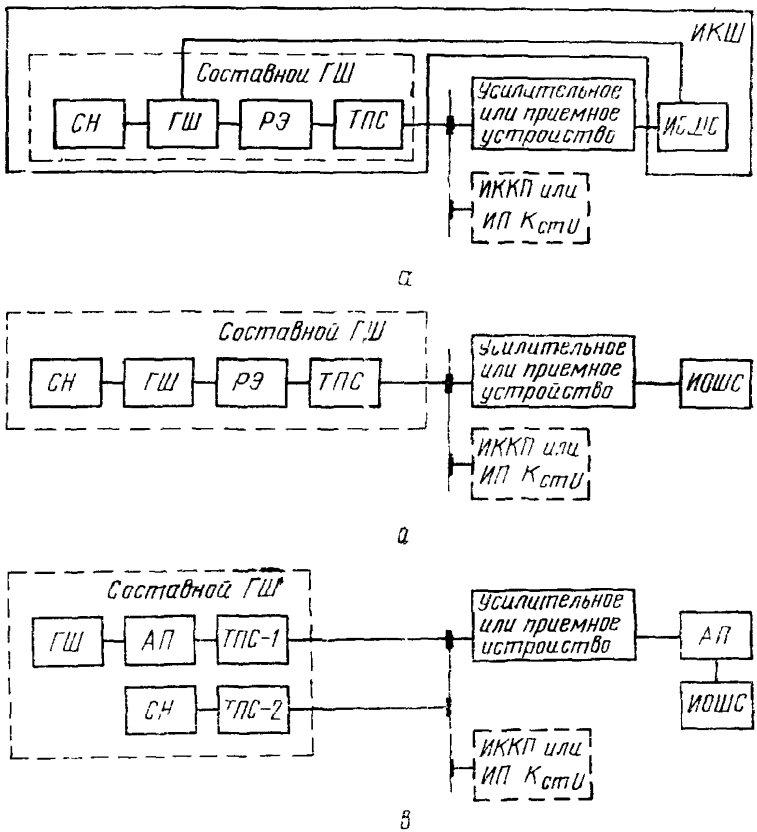
3. ПОДГОТОВКА К ИЗМЕРЕНИЯМ

3.1. Средства измерений и схемы их включения выбирают в зависимости от необходимой степени автоматизации и допускаемой погрешности измерения.

Погрешность измерения коэффициента шума или ЭШТВ малошумящих устройств уменьшают, используя в качестве одного из источников шумового сигнала охлаждаемый (низкотемпературный) генератор шума.

3.1.1. Минимальный коэффициент шума устройств измеряют на стенде, схема которого приведена на черт. 1 *а*. Минимальное значение коэффициента шума получают, регулируя полное сопротивление генератора шума при помощи ТПС, входящего в его состав. Регулирование и последующее отсчитывание минимального значения коэффициента шума контролируют при помощи ИКШ, включенного в режим автоматической регулировки усиления. В случае необходимости полное сопротивление генератора шума для режима согласования на входе устройства может быть измерено при помощи измерителей комплексных коэффициентов передачи (ИККП).

3.1.2. Коэффициент шума устройств, предназначенных для подключения к источнику сигнала с заданным полным сопротивлением (в том числе с сопротивлением, равным волновому), а также с за-



а—схема стенда для измерения коэффициента шума с использованием промодулированного генератора шума (ГШ); *б*—то же, методом двух отсчетов; *в*—схема стенда для прецизионных измерений с использованием аттестованного поляризационного аттенюатора (АП)

Черт. 1

Примечание. Пунктиром обозначены сборочные единицы и приборы, применение которых в ряде случаев не обязательно.

данным предельным значением коэффициента стоячей волны по напряжению $K_{ст\,U}$ измеряют на стенде, схема которого приведена на черт. 1*а*.

3.1.3. Коэффициент шума устройств, предназначенных для подключения к источнику сигнала с заданным полным сопротивлением

(в том числе с сопротивлением, равным волновому), может быть измерен на стенде, схема которого приведена на черт. 1*б*.

3.1.4. При прецизионных измерениях для уменьшения погрешности из-за рассогласования, связанной с изменением полного сопротивления генератора при его включении (или модуляции), в составе генератора шума должен быть развязывающий элемент (РЭ) — вентиль, циркулятор, резистивный аттенюатор или направленный ответвитель.

При прецизионных измерениях для уменьшения погрешности из-за рассогласования, связанной с отличием полного сопротивления генератора шума от сопротивления, соответствующего выбранному режиму согласования на входе устройства, в составе генератора шума должен быть ТПС, проверенный по вариации потерь. ТПС в составе генератора шума, предназначенный для измерения коэффициента шума, соответствующего предельному значению $K_{ст\ U}$ линии передачи, должен быть отградуирован по значению $K_{ст\ U}$ в зависимости от положения настроечного элемента.

3.1.5. Для проведения прецизионных измерений в состав генератора шума включают развязывающий элемент и согласующие устройства.

Составной генератор шума, предназначенный для прецизионных измерений, должен иметь жесткую конструкцию, предотвращающую нестабильность потерь в разъемах или во фланцах, и должен быть отградуирован по значению спектральной плотности мощности шума (СПМШ).

3.1.6. Для оценки погрешности из-за рассогласования, возникающей при измерении коэффициента шума устройства конкретного типа, результаты измерений, полученные с использованием составного генератора шума, сравнивают с результатами измерений, полученными без использования в составе генератора шума развязывающего элемента или согласующего устройства. В результате такого сравнения может быть выбрана оптимальная конструкция составного генератора шума.

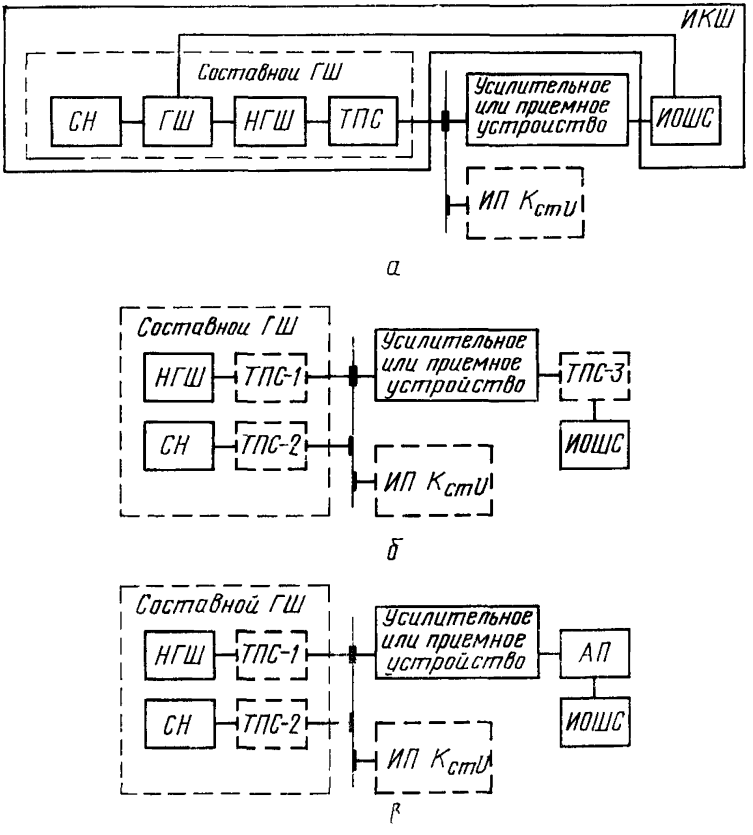
3.1.7. Полное сопротивление генератора шума в процессе регулирования до заданного значения контролируют при помощи измерителей комплексных коэффициентов передачи. $K_{ст\ U}$ на выходе генератора шума целесообразно контролировать при помощи панорамных измерителей $K_{ст\ U}$.

3.1.8. ЭШТВ устройств измеряют на стендах, схемы которых приведены на черт. 2.

При наличии низкотемпературного генератора шума (НГШ) проходного типа приборы включают по схеме черт. 2*а*. Для получения второго уровня шумового сигнала, необходимого для измерения ЭШТВ устройств, используют шумовую мощность от включаемого на некоторый период времени газоразрядного или твердотельного генератора шума. При этом составной генератор шума

должен иметь жесткую конструкцию, предотвращающую нестабильность потерь в промежуточном разъеме, и должен быть отградуирован по обсим уровням шумового сигнала.

При наличии НГШ непроходного типа приборы включают по схеме черт. 2*б*.



а—схема стенда для измерения ЭШТВ устройств с использованием НГШ проходного типа и ИКШ в автоматическом режиме; *б*—то же, с использованием НГШ непроходного типа; *в*—схема стенда для прецизионных измерений

Черт. 2

Примечание. Пунктиром обозначены сборочные единицы и приборы, применение которых в ряде случаев не обязательно.

При прецизионных измерениях приборы включают по схеме черт. 1*в* и 2*в*. Применение регулируемого аттенюатора, например, поляризационного аттенюатора (АП), установленного на выходе устройства, в некоторых случаях позволит исключить составляющую погрешности из-за нелинейности ИОШС.

Применение в конструкции составного генератора шума трансформаторов полного сопротивления ТПС-1 и ТПС-2 позволит уменьшить погрешность из-за рассогласования до пренебрежимо малого значения.

Погрешность из-за вариации потерь в трансформаторе ТПС-1 при необходимости может быть уменьшена, если НГШ градуировать при положениях настроечных элементов трансформатора ТПС-1, соответствующих выбранному режиму согласования на входе устройства для каждой из частот. Способ исключения погрешности из-за рассогласования может быть применен на стендах, схемы которых указаны на черт. 2*а, б, в*, а также для оценки погрешности из-за рассогласования при измерении шумовых параметров устройств конкретных типов без использования трансформаторов ТПС-1 и ТПС-2.

3.1.9. Необходимость согласования выхода устройства со входом ИОШС при помощи ТПС-3 (см. черт. 2*б*) должна быть указана в НТД на устройство конкретного типа.

3.1.10. При прецизионных измерениях коэффициента шума или ЭШТВ устройств в качестве одного из генераторов шума необходимо использовать согласованную нагрузку СН (см. черт. 1*в*, 2*б, в*), помещенную в окружающую среду с температурой, близкой к стандартной $T_0 = 293{,}16$ К. Конструкцией генератора шума должно быть обеспечено постоянство температуры согласованной нагрузки в процессе измерений и ее контроль.

3.2. Подготовка средств измерений к работе и проведение мероприятий по технике безопасности (заземление приборов, прогревание приборов и т. п.) должны быть выполнены в соответствии с техническими условиями на устройства конкретных типов и с технической документацией на средства измерений, утвержденной в установленном порядке.

4. ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

4.1. Определение коэффициента шума

4.1.1. Коэффициент шума $K_ш$ устройств определяют прямым измерением (при использовании ИКШ с противофазной модуляцией генератора шума и измерительного канала ИОШС) по формуле

$$K_ш = G\frac{\alpha}{\beta} - \frac{K_{ш\,иошс} - 1}{K_P}, \qquad (1)$$

где G — СПМШ генератора шума, включенного в импульсный режим генерации, отн. ед.;

β — сигнал на входе отсчетного устройства ИОШС, пропорциональный значению СПМШ генератора шума;

α — сигнал на входе отсчетного устройства ИОШС, пропорциональный измеряемому коэффициенту шума системы «устройство — ИОШС»;

$K_{ш\,иошс}$ — коэффициент шума ИОШС, отн. ед.;

K_P — коэффициент усиления мощности устройства, отн. ед.

Если в ИОШС предусмотрена схема компенсации собственных шумов, то при полной их компенсации коэффициент шума устройства рассчитывают по формуле

$$K_ш = G\frac{\alpha}{\beta} + \frac{1}{K_P} . \qquad (2)$$

При компенсации собственных шумов ИОШС до показания по шкале ИОШС, равного единице, коэффициент шума измеряют по формуле

$$K_ш = G\frac{\alpha}{\beta} . \qquad (3)$$

4.1.2. Коэффициент шума устройств определяют прямым измерением при использовании ИКШ, принцип действия которого основан на поочередной подаче модулирующего сигнала на генератор шума и на устройство (или на сверхвысокочастотный модулятор, установленный на выходе устройства), по формуле

$$K_ш = G\frac{\alpha}{\beta} - \frac{1}{K_P} . \qquad (4)$$

4.1.3. Коэффициент шума устройств измеряют прямопоказывающим ИКШ, принцип действия которого основан на измерении Y-фактора, с последующим автоматическим расчетом измеряемого параметра по формуле

$$K_ш = \frac{G}{\frac{\beta_1}{\alpha_1} - 1} - \frac{K_{ш\,иошс} - 1}{K_P} , \qquad (5)$$

где β_1 — сигнал на входе отсчетного устройства ИОШС при включенном генераторе шума;

α_1 — сигнал на входе отсчетного устройства ИОШС при выключенном генераторе шума;

Y-фактор — отношение сигналов на входе отсчетного устройства ИОШС при включенном и выключенном генераторе шума, отн. ед., т. е. $Y = \frac{\beta_1}{\alpha_1}$.

4.1.4. Коэффициент шума устройств определяют методом двух отсчетов по предварительным измерениям Y-фактора с последующим расчетом коэффициента шума по формуле

$$K_ш = \frac{G_1}{Y - 1} - \frac{K_{ш\,иошс} - 1}{K_P} , \qquad (6)$$

где G_1 — СПМШ генератора шума, отн. ед.

Коэффициент шума устройств при использовании для отсчетов Y-фактора прецизионного аттенюатора, установленного на выходе устройства, определяют по формуле (6).

Если прецизионный аттенюатор отградуирован в децибелах, то значение Y-фактора рассчитывают по формуле

$$Y=10^{0,1A}, \qquad (7)$$

где A — изменение ослабления аттенюатора при условии одинакового показания ИОШС при включенном и выключенном генераторе шума (или при поочередном подсоединении генераторов шума с температурами T_2 и T_1), дБ.

Если на результат измерения коэффициента шума устройства существенно влияют шумы ИОШС (т. е. составляющая $\frac{K_{ш\,иошс}-1}{K_P}$ в формуле (6) сравнима с коэффициентом шума системы «устройство — ИОШС»), то необходимо принять меры по сохранению предварительно определенного значения $K_{ш\,иошс}$ при подсоединении на вход ИОШС устройства. Для этого вход ИОШС необходимо снабдить развязывающим элементом или ТПС. ТПС должен быть настроен на режим согласования, указанный в технических условиях на устройство конкретного типа.

4.1.5. Коэффициент шума устройств определяют методом удвоения — разновидностью метода двух отсчетов.

Метод удвоения применяют при:

отсутствии ИКШ с необходимым диапазоном частот;

необходимости измерения коэффициента шума, намного меньшего значения G;

отсутствии ИОШС с удовлетворительной линейностью в заданном динамическом диапазоне;

необходимости использования в качестве РЭ в составе генератора шума прецизионного регулируемого аттенюатора (например, поляризационного);

необходимости использования генератора шума на вакуумном диоде, не позволяющем производить его модуляцию.

Коэффициент шума определяют по формуле

$$K_ш=G_{рег}-\frac{K_{ш\,иошс}-1}{K_P}, \qquad (8)$$

где $G_{рег}$ — СПШМ генератора шума, снабженного регулируемым аттенюатором, отн. ед.

Составной генератор шума должен быть отградуирован для нескольких значений ослабления аттенюатора. На основании полученных результатов должна быть построена градуировочная характеристика составного генератора шума по значению СПМШ в относительных единицах.

Для уменьшения погрешности из-за рассогласования составной генератор шума градуируют с введенным начальным ослаблением регулируемого аттенюатора.

Коэффициент шума устройств при использовании генератора шума на вакуумном диоде определяют по формуле (8).

Градуировочная характеристика твердотельного генератора шума или генератора шума на вакуумном диоде в зависимости от значения силы тока должна быть построена по результатам его градуировки по уровню СПМШ.

4.2. Определение эквивалентной шумовой температуры входа усилительных и приемных устройств $T_{вэ}$

Эквивалентная шумовая температура связана с коэффициентом шума следующим соотношением

$$K_{ш} = \frac{T_0 + T_{вэ}}{T_0} . \qquad (9)$$

4.2.1. Для определения эквивалентной шумовой температуры входа $T_{вэ}$ применяют прямопоказывающий ИКШ, принцип действия которого основан на измерении Y-фактора с последующим автоматическим рассчитыванием измеряемого параметра по формуле

$$T_{вэ} = \left(\frac{G_{1д}}{\frac{\beta_{1д}}{\alpha_{1д}} - 1} - \frac{K_{ш\,иошс} - 1}{K_P} \right) T_0 - T_н , \qquad (10)$$

где $G_{1д}$ — относительная избыточная СПМШ промодулированного дополнительного генератора шума, измеренная на выходе НГШ, отн. ед.;

$\beta_{1д}$ — сигнал на входе отсчетного устройства ИОШС при включенном дополнительном генераторе шума;

$\alpha_{1д}$ — сигнал на входе отсчетного устройства ИОШС при выключенном дополнительном генераторе шума;

$T_н$ — шумовая температура на выходе НГШ, К.

4.2.2. Эквивалентную шумовую температуру входа устройств при использовании НГШ проходного типа и ИКШ с противофазной модуляцией рассчитывают по формуле

$$T_{вэ} = \left(G_д \frac{\alpha_{2д}}{\beta_{2д}} - \frac{K_{ш\,иошс} - 1}{K_P} \right) T_0 - T_н , \qquad (11)$$

где $G_д$ — относительная избыточная СПМШ промодулированного дополнительного генератора шума, измеренная на выходе НГШ, отн. ед.;

$\beta_{2д}$ — сигнал на входе отсчетного устройства ИОШС при включенном дополнительном генераторе шума;

$\alpha_{2д}$ — сигнал на входе отсчетного устройства при выключенном дополнительном генераторе шума.

При измерении ЭШТВ устройств с малым усилением составляющая $\frac{K_{ш_{ИОШС}}-1}{K_P}$ может быть приведена к нулю компенсацией собственных шумов ИОШС до показания по его шкале, равного единице.

Значение ЭШТВ устройства рассчитывают по формуле

$$T_{вэ}=G_д\frac{\alpha_{эд}}{\beta_{2д}}T_0-T_н=t_{шс}T_0-T_н\ , \qquad (12)$$

где $t_{шс}$ — относительная шумовая температура системы НГШ — измеряемое устройство, измеряемая прямопоказывающим ИКШ при условии предварительной калибровки шкалы ИКШ, т. е. при выполнении условия $\beta_{2д}=G_д$, по формуле

$$t_{шс}=\frac{T_н+T_{вэ}}{T_0}=\alpha_{2д}\ . \qquad (13)$$

4.2.3. При измерении ЭШТВ, если используют промодулированный дополнительный генератор шума с температурой $T_{гш}$, который отградуирован в единицах относительной избыточной СПМШ $G_{д_н}$ относительно шумовой температуры НГШ ($T_н$) в соответствии с формулой

$$G_{д_н}=\frac{T_{гш}-T_н}{T_н}\ , \qquad (14)$$

то реальный коэффициент шума устройства, получаемый при использовании НГШ с конкретной шумовой температурой $T_н$, определяют по формуле

$$K_{ш_P}=\frac{T_н+T_{вэ}}{T_н}=\frac{G_{д_н}\alpha_{эд}}{\beta_{эд}}-\frac{K_{ш_{P_{ИОШС}}}-1}{K_P}\ , \qquad (15)$$

где $K_{ш_{P_{ИОШС}}}$ — реальный коэффициент шума ИОШС, измеренный при использовании НГШ, отн. ед., по формуле

$$K_{ш_{P_{ИОШС}}}=\frac{T_н+T_{вэ_{ИОШС}}}{T_н}\ , \qquad (16)$$

где $T_{вэ_{ИОШС}}$ — эквивалентная шумовая температура входа ИОШС, К.

Эквивалентную шумовую температуру входа устройства рассчитывают по формуле

$$T_{вэ}=(K_{ш_P}-1)T_н\ . \qquad (17)$$

Стандартный коэффициент шума рассчитывают по формуле

$$K_ш=1+(K_{ш_P}-1)\frac{T_н}{T_0}=\frac{T_0+T_{вэ}}{T_0}\ . \qquad (18)$$

4.2.4. Эквивалентную шумовую температуру входа устройств определяют методом двух отсчетов по формуле

$$T_{вэ}=\frac{T_2-YT_1}{Y-1}-\frac{T_{вэИОШС}}{K_p}, \qquad (19)$$

где T_1 — шумовая температура НГШ, К;

T_2 — шумовая температура согласованной нагрузки при температуре, близкой к T_0, К.

4.2.5. Эквивалентную шумовую температуру входа устройств при использовании для отсчета Y-фактора прецизионного аттенюатора, установленного на выходе устройства, определяют по формуле

$$T_{вэ}=\frac{T_2-YT_1}{Y-1}+\frac{T_0}{K_p}. \qquad (20)$$

Если прецизионный аттенюатор отградуирован в децибелах, то значение Y-фактора вычисляют по формуле

$$Y=10^{0{,}1(A_2-A_1)}, \qquad (21)$$

где A_2 — ослабление, вносимое аттенюатором при подсоединении ко входу устройства согласованной нагрузки с температурой T_2, близкой к T_0;

A_1 — ослабление, вносимое аттенюатором при подсоединении ко входу устройства НГШ с температурой T_1.

Поскольку отсчитывание по шкале аттенюатора выполняют при одинаковом уровне сигнала, подаваемом на ИОШС, требование к линейности шкалы последнего не предъявляют.

4.3. Коэффициент шума малошумящих устройств необходимо определять с учетом возможного отличия температуры согласованной нагрузки T_1' от температуры T_0.

Результаты измерений коэффициента шума, полученные прямым измерением при помощи ИКШ, использующих принцип поочередной или противофазной модуляции генератора шума и измерительного канала ИКШ, корректируют по формуле

$$K_ш=K_ш'-\left(\frac{T_1'}{T_0}-1\right), \qquad (22)$$

где $K_ш^1$ — показание ИКШ, полученное при условии $T_1'\neq T_0$.

Значение коэффициента шума, определенное методом двух отсчетов, в том числе при помощи ИКШ, принцип действия которого основан на автоматизированном способе двух отсчетов, корректируют по формуле

$$K_ш'=K_ш'-\left(\frac{T_1'}{T_0}-1\right)\frac{Y}{Y-1}, \qquad (23)$$

где $K''_{ш}$ — коэффициент шума устройства, измеренный при условии $T'_1 \neq T_0$. Значение Y-фактора рассчитывают по формуле

$$Y = \frac{G + K''_{ш}}{K''_{ш}} . \qquad (24)$$

Если в ИОШС предусмотрена система коррекции результатов измерения, то по формулам (22) и (23) контролируют правильность ее функционирования при условии $T'_1 \neq T_0$.

4.3.1. Если проходные элементы составного генератора шума имеют температуру, отличную от температуры согласованной нагрузки (например за счет разогрева газоразрядного генератора шума), то шумовую температуру T'_1 рассчитывают по формуле

$$T'_1 = \frac{T_2}{N_{в_{ГШ}} N_{РЭ} N_{ТПС}} + \frac{(N_{в_{ГШ}} - 1) T_{в_{ГШ}}}{N_{в_{ГШ}} N_{РЭ} N_{ТПС}} + \frac{(N_{РЭ} - 1) T_{РЭ}}{N_{РЭ} N_{ТПС}} + \frac{(N_{ТПС} - 1) T_{ТПС}}{N_{ТПС}} , \qquad (25)$$

где T_2 — температура согласованной нагрузки, К;

$T_{в_{ГШ}}$ — температура промодулированного (или выключенного для получения второго отсчета при измерениях методом двух отсчетов) газоразрядного генератора шума, К:

$T_{РЭ}$ — температура развязывающего элемента, К;

$T_{ТПС}$ — температура ТПС, К;

$T_{в_{ГШ}}$ — коэффициент потерь выключенного генератора шума;

$N_{РЭ}$ — коэффициент потерь развязывающего элемента;

$N_{ТПС}$ — коэффициент потерь ТПС.

4.4. Для исключения дополнительных ошибок измерения при использовании двухполосного ИОШС, принимающего как основной канал, так и зеркальный, необходимо убедиться в том, что коэффициент шума или ЭШТВ устройства не изменяется или изменяется в пренебрежимо малых пределах в области частот, занимаемой обоими каналами. Результаты измерения могут быть проверены непосредственным измерением параметра в каждой из полос с включением на выходе усилительного устройства фильтра зеркального канала и последующим сравнением результатов измерений.

Для измерения коэффициента шума устройств $K_{ш_1}$, имеющих на входе смеситель и предназначенных для приема в одной полосе, используют составной генератор шума, содержащий фильтр зеркального канала и развязывающий элемент.

Если измеряют коэффициент шума приемного устройства, имеющего на входе смеситель, без применения фильтра зеркального канала в составе ГШ, то на стенде будет измерен коэффициент

шума $K_{ш_2}$, приблизительно равный половине $K_{ш_1}$. Коэффициент шума $K_{ш_2}$ характеризует приемные устройства, предназначенные для приема в двух полосах.

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

5.1. Расчет погрешности измерения коэффициента шума

5.1.1. Погрешность измерения коэффициента шума ИКШ, принцип действия которого основан на поочередной или противофазной модуляции генератора шума и измерительного канала ИКШ, рассчитывают по формуле

$$\frac{\Delta K_{ш_1}}{K_{ш_1}} = \Delta_{имп} \pm \sqrt{\Delta^2_{нел} + \delta^2_{нел} + \delta^2_{гш} + \delta^2_{имп} + 2{,}12\delta^2_{р} + \left(\frac{\Delta N}{N}\right)^2 + \delta^2_{сл}}\ , \quad (26)$$

где $\Delta_{имп}$ — погрешность автоматического (импульсного) режима ИКШ, %, определяемая по формуле

$$\Delta_{имп} = \frac{K_ш - K_{ш_к}}{K_{ш_к}} 100\ , \quad (27)$$

где $K_ш$ — коэффициент шума, полученный методом прямого измерения;

$K_{ш_к}$ — коэффициент шума, полученный в контрольном режиме измерения, т. е. методом двух отсчетов;

$\Delta_{нел}$ — погрешность из-за нелинейности ИОШС;

$\delta_{нел}$ — погрешность метода поверки при определении $\Delta_{нел}$, %;

$\delta_{гш}$ — погрешность градуировки генератора шума, %;

$\delta_{имп}$ — погрешность метода поверки при определении $\Delta_{имп}$, %;

$\delta_р$ — погрешность из-за рассогласования, %;

$\frac{\Delta N}{N}$ — погрешность определения потерь в высокочастотном тракте на входе устройства, %, определяемая по формуле

$$\frac{\Delta N}{N} = \sqrt{\delta^2_в + \delta^2_и + \delta^2_н}\ , \quad (28)$$

где $\delta_в$ — вариация потерь в ТПС, установленном на выходе составного генератора шума, %;

$\delta_и$ — погрешность измерения потерь в ТПС, %;

$\delta_н$ — невоспроизводимость потерь в разъеме (фланце) на выходе составного генератора шума, %;

$\delta_{сл}$ — случайная погрешность измерения, %.

5.1.2. Погрешность измерения коэффициента шума прямопоказывающим ИКШ, принцип действия которого основан на измере-

нии Y-фактора с последующим автоматическим расчетом измеряемого параметра, рассчитывают по формуле

$$\frac{\Delta K_{ш_2}}{K_{ш_2}}=\Delta_{имп}\pm\sqrt{A^2\Delta^2_{нел}+A^2\delta^2_{нел}+\delta^2_{ГШ}+\delta^2_{имп}+2{,}12\delta^2_{р}+\left(\frac{\Delta N}{N}\right)^2+\delta^2_{сл}}, \quad (29)$$

где A — весовой коэффициент составляющих $\Delta_{нел}$ и $\delta_{нел}$, определяемый по формуле

$$A=\frac{Y}{Y-1}. \quad (30)$$

5.1.3. Погрешность измерения коэффициента шума методом двух отсчетов рассчитывают по формуле

$$\frac{\Delta K_{ш_3}}{K_{ш_3}}=\sqrt{A^2\Delta^2_{нел}+A^2\delta^2_{нел}+\delta^2_{ГШ}+2{,}12\delta^2_{р}+\left(\frac{\Delta N}{N}\right)^2+\delta^2_{сл}}. \quad (31)$$

Если для определения Y-фактора применяют аттестованный аттенюатор и в процессе измерений вводят поправки к шкале аттенюатора, то составляющая $\Delta_{нел}$ должна быть исключена. Погрешность аттестации аттенюатора следует учитывать вместо составляющей $\delta_{нел}$.

5.1.4. Случайную погрешность измерения $\delta_{сл}$ определяют по формуле

$$\delta_{сл}=\Delta_t(\alpha;\nu)\frac{1}{\sqrt{n}}\sqrt{\frac{\sum\limits_{i=1}^{n}(K_{ш_i}-K_{ш_{ср}})^2}{n-1}}, \quad (32)$$

где Δ_t $(\alpha;\ \nu)$ — доверительный интервал, определяемый по таблицам распределения Стьюдента;

ν — число степеней свободы, равное $(n-1)$;

α — уровень значимости для доверительной вероятности, равной 0,997;

n — число отсчетов при измерении;

$K_{ш_{ср}}$ — среднее значение коэффициента шума, определяемое по формуле

$$K_{ш_{ср}}=\frac{\sum\limits_{i=1}^{n}K_{ш_i}}{n}. \quad (33)$$

5.2. Погрешность измерения эквивалентной шумовой температуры входа устройства методом двух отсчетов (для случая $T_2\simeq T_0$) рассчитывают по формуле

$$\frac{\Delta T_{вэ_1}}{T_{вэ_1}}=\sqrt{A^2_N\Delta^2_{нел}+B^2_N\left[b^2_1\left(\frac{\Delta N}{N}\right)^2+b^2_2\delta^2_{T_1}\right]+C^2_N\left(\frac{\Delta T_2}{T_2}\right)+2{,}12\delta^2_{р}+\delta^2_{сл}}, \quad (34)$$

где δ_{T_1} — погрешность градуировки НГШ по температуре T_1, %;

$\frac{\Delta T_2}{T_2}$ — погрешность, учитывающая отличие T_2 от T_0;

A_N, B_N, C_N, b_1 и b_2 — весовые коэффициенты соответствующих составляющих погрешности.

Весовые коэффициенты вычисляют по формулам:

$$A_N = \frac{[N(T_0+T_{вэ})-(T_0-T_1)]\,(T_0+T_{вэ})}{T_{вэ}(T_0-T_1)}, \tag{35}$$

$$B_N = \frac{[T_1+T_0(N-1)]\,(T_0+T_{вэ})}{T_{вэ}(T_0-T_1)}, \tag{36}$$

$$C_N = \frac{[N(T_0+T_{вэ})-(T_0-T_1)]T_0}{T_{вэ}(T_0-T_1)}, \tag{37}$$

$$b_1 = \frac{T_0-T_1}{T_1+T_0(N-1)}, \tag{38}$$

$$b_2 = \frac{1}{1+\frac{T_0}{T_1}(N-1)}, \tag{39}$$

где N — коэффициент потерь в элементе высокочастотного тракта, соединяющего выход НГШ со входом устройства, если элемент не был подсоединен к НГШ при его градуировке.

Случайную погрешность измерения определяют по формуле

$$\delta_{сл} = \Delta_t(\alpha;\nu)\frac{1}{\sqrt{n}}\sqrt{\frac{\sum\limits_{i=1}^{n}(T_{вэ_i}-T_{вэ_{ср}})^2}{n-1}}. \tag{40}$$

Среднее значение $T_{вэ_{ср}}$ определяют по формуле

$$T_{вэ_{ср}} = \frac{\sum\limits_{i=1}^{n} T_{вэ_i}}{n}. \tag{41}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 1
Справочное

Генераторы шума

Тип генератора	Тип установки, прибора	Диапазон частот, Гц	Разъем (фланец), мм	Тип лампы	Значение СПМШ, отн. ед.	Погрешность градуировки, %	$K_{ст}U$		Потери, дБ, при выключенном генераторе шума
							при включенном генераторе шума	при выключенном генераторе шума	
—	Г1-5	3,86-5,96	48×24	ГШ10	65±12	4	1,3	1,3	—
	Г1-6	5,35-8,15	35×15						
	Г1-7	8,15—12,42	23×10	ГШ11					
	ПК7—22	12,05—17,44	16×8	—	—	—	—	—	
	Г1—8	11,71—17,44		ГШ11	65±12	4	1,3	1,3	0,4
	Г1-9	17,44—25,86	11×5,5	ГШ5	1	10	1,9		0,8
	Г1—10	25,86—37,5	7,2×3,4	ГШ6	61±12		1,3	1,5	1,8
Я5Х—270	Х5—26	12.05—17,44	16×8	ГШ11	65±6	4	1,5	1,3	1,0
Я5Х—271	Х5—27	17,44-25,86	11×5,5	ГШ5	61±12	10			
Я5Х—272	Х5—28	25,86—37,5	7,2×3,4	ГШ6					
—	Х5—23	0,01—1,25	7/3	—	—	—	—	—	—
Я8Х—265	Х5—9 Х5—10 Х5—11	0,18-3	16/7	1А405А	10—30	6	—	—	—

Продолжение

Тип генератора	Тип установки, прибора	Диапазон частот, Гц	Разъем (фланец), мм	Тип лампы	Значение СПМШ, отн. ед.	Погрешность градуировки, %	$K_{ст}U$		Потери, дБ, при выключенном генераторе шума
							при включенном генераторе шума	при выключенном генераторе шума	
Я8Х—265	Х5—12	0,18—3	16/7	1А405А	10—30	6	—	—	—
—	Х5—14	0,001—0,6		2Д2С	8—33	13	—	—	
Г2—32	—		16/4,6	ГШ11	1—50				—
Г2—5Б	Г1—2	0,5—2			63—65	6	1,6		
Г2—6Б		0,8—4							
Я5Х—268	Х5—24	0,7—4	7/3		66±8	5	2,0		1,0
Я5Х—269	Х5—20 Х5—21 Х5—22	3,2—12,05					1,5		
	Х5—25								
—	ПК7—15 ПК7—18	0,48—5		—	—	—	—		—
	ПК7—19 ПК7—21	3,86—12,42							
Г2—8В	—	3,94—5,64	48×24	ГШ10	64±8	4	1,25		0,6
Г2—9В		5,64—8,24	35×15						
Г2—10В		8,24—12,05	23×10	ГШ11					

Измерители коэффициента шума

Тип	Диапазон частот, ГГц	Пределы измерения коэффициента шума, отн. ед.	Погрешность измерения коэффициента шума, %	Пределы измерения коэффициента усиления, дБ	Погрешность измерения коэффициента усиления, %	Примечание
Х5—9	0,18—0,5	1—100	15	0—40	15	—
Х5—10	0,4—3,0		10		10	
Х5—11					6	ИКШ приемников
Х5—12	0,4—4,0				15	
Х5—14	0,002; 0,01—0,12		26		26	—
Х5—15	0,03 - 0,5		15(25 в диапазоне 0,03 - 0,15)		15(25 в диапазоне 0,03—0,12)	Косвенное измерение ЭШТВ
Х5—16	0,4—1,25		15		15	
Х5—17	0,624—1,248		10		20	Наблюдение коэффициента шума—в панораме
Х5—18	1,07—4,00					
Х5—20	3,86—5,96		15		15	—
Х5—21	5,35—8,15					
Х5—22	8,15—12,42					

Продолжение

Тип	Диапазин частот, ГГц	Пределы измерения коэффициента шума, отн. ед.	Погрешность измерения коэффициента шума, %	Пределы измерения коэффициента усиления, дБ	Погрешность измерения коэффициента усиления, %	Примечание
Г1—8	12,05—17,44	6—100	15	—	—	—
Г1—9	17,44—25,86			0—40		
Г1—10	25,86—37,5					
Х5—23	0,01—1,25	1—100	10	—	—	ИКШ приемников
Х5—24	0,7—4,0		8			
Х5—25	3,2—12,05		9			
Х5—26	12,05—17,44		8			
Х5—27	17,44—25,86		12			
Х5—28	25,86—37,5					
Х5—29	1—4		10	0—60	15	Измерение коэффициента шума транзисторов и интегральных схем, измерение ЭШТВ (20—600) К. Наблюдение шумовых параметров и коэффициента усиления — в панораме
Х5—29/1						
Х5—29/2						

Приборы, применяемые в качестве ИОШС

Наименование измерительного приемника ИКШ, установки	Тип прибора, установки	Диапазон частот, ГГц	Пределы измерения, дБ	Погрешность, дБ	Промежуточная частота, МГц	Полоса пропускания, МГц	Коэффициент шума, отн. ед.
Измеритель коэффициента шума	Х5—11	0,01—0,12	20	0,2	60*	1,5; 0,3	75
	Х5—23—Х5—28	0,002—0,12			61	118	—
	Х5—14	0,002; 0,01—0,12			2; 60*	1,5; 0,3	10
	Х5—15	0,03—0,5			582*		15
	Х5—9	0,18—0,5			2; 60*		12
	Х5—16	0,4—1,25					
	Х5—17	0,624—1,248			2	1,5	15
	Х5—10	0,4—3,0					
	Х5—12	0,4—4,0					
	Х5—18	1,07—4,0					
	Х5—29	1,0—4,0		0,15	2; 74,5	2; 149	20
	Х5—20	3,86—5,95		0,2	2; 60	1,5; 0,3	25

Продолжение

Наименование измерительного приемника ИКШ, установки	Тип прибора, установки	Диапазон частот, ГГц	Пределы измерения, дБ	Погрешность, дБ	Промежуточная частота, МГц	Полоса пропускания, МГц	Коэффициент шума, отн. ед.
Измеритель коэффициента шума	Х5-21	5,35—8,15		0,2			25
	Х5-22	8,15—12,42					
Установка для градуировки генераторов шума	Г1-2	0,4—4,0		0,05**			15
	Г1-4	0,03—0,5					—
	Г1-5	3,86—5,96					
	Г1-6	5,35—8,15	—	0,2	2; 60*	1,5; 0,3	25
	Г1-7	8,15—12,42					
	Г1-8	11,71—17,44					50
	Г1-9	17,44—25,86					200
	Г1-10	25,86—37,5					
Измеритель параметров антенн	ПК7-8	8,15—12,42					
	ПК7-9	1,07—2,14	20	0,25	60	20; 2,65	—
	ПК7-10	2,0—4,0					

Продолжение

Наименование измерительного приемника ИКШ, установки	Тип прибора, установки	Диапазон частот, ГГц	Пределы измерения, дБ	Погрешность, дБ	Промежуточная частота, МГц	Полоса пропускания, МГц	Коэффициент шума, отн. ед.
Измеритель параметров антенн	ПК7—11	3,86—7,15	20	0,25			
	ПК7—15	0,48—0,75					
	ПК7—16	0,6—1,248					
	ПК7—17	1,07—2,144					
	ПК7—18	2,0—4,0					
	ПК7—19	3,86—5,96	—	—	30	22; 2,5	—
	ПК7—20	5,6—8,15					
	ПК7—21	8,15—12,42					
	ПК7—22	12,05—17,44					

* Первая промежуточная частота.
** С использованием для отсчета Y-фактора блока аттенюатора Я 5Х—261.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
Справочное

Измерители комплексного коэффициента передачи (ИККП) и панорамные измерители (ИП)

Тип прибора	Диапазон частот, ГГц	Пределы измерения			Примечание
		ослабления, дБ	$K_{ст}U$, отн. ед.	фазы	
РК2—47	0,02—1,25	—30— +60	1,05—5	—	—
Р4—11	0,8—1,25	—60— +10	1,05—2	0—180°	ИККП работает на малых уровнях мощности
Р4—23	1—4	—10— +70			
Р4—36	4—12,65	—60— +30	1,1—2		
Р2—78	1,25—5	—30— 0	1,07—5	—	—
Р2—56	2,59—3,94	—35— 0	1,05—5		Для волноводных трактов
Р2—52	1,07—2,14	—30— 0	1,07—5		Для коаксиальных трактов
Р2—53	2,0—4,0				
Р2—54	3,2—12,05				
Р2—58	3,94—5,64	—35— 0	1,05—5		Для волноводных трактов
Р2—59	5,64—8,24				
Р2—61	8,24—12,05				
Р2—32	11,55—16,6	—30— 0	1,05—2		—
Р2—67	12,05—17,44	—35— 0	1,06—5		
Р2—66	17,44—25,86				
Р2—65	25,86—37,5				

ПРИЛОЖЕНИЕ 5
Справочное

Трансформаторы полного сопротивления, применяемые в составном генераторе шума

Тип трансформатора	Тип установки (прибора), которая укомплектована трансформатором	Диапазон частот, ГГц	Разъем (фланец), мм	Пределы согласования СВЧ тракта $K_{ст U}$		Вариации потерь, дБ (при согласовании тракта с $K_{ст U=2}$)	Примечание
				max	min		
Э1—17	Х5—5А	0,5—2	16/4,6	2,2	1,05	0,1	—
Э1—18		0,8—4		3,0			
—	Х5—9	0,18—0,50		10,0	1,15	0,4	Максимальный $K_{ст U}$ в диапазоне частот 0,18—0,25 ГГц
				20,0			Максимальный $K_{ст U}$ в диапазоне частот 0,25—0,50 ГГц
—	Х5—10, Х5—12 Х5—16, Г1—2	0,4—3,0	16/7	3	1,2	0,1	Максимальный $K_{ст U}$ в диапазоне частот 0,4—0,7 ГГц
				5			Максимальный $K_{ст U}$ в диапазоне частот 0,7—3,0 ГГц
—	Х5—14	0,01—0,12		—	—	1,0	Согласование сопротивления 20—1000 Ом

Продолжение

Тип трансформатора	Тип установки (прибора), которая, укомплектована трансформатором	Диапазон частот, ГГц	Разъем (фланец), мм	Пределы согласования СВЧ тракта $K_{ст U}$		Вариации потерь, дБ (при согласовании тракта с $K_{ст U=2}$)	Примечание
				max	min		
—	Х5—20	3,86—5,96	7/3	—	—	—	—
	Х5—21	5,35—12,42					
	Х5—22						
	Х5—29	1—4					
	Г1—5	3,86—5,96	48×24				
	Г1—6	5,35—8,15	35×15				
	Г1—7	8,15—12,42	23×10				
	Г1—8	11,71—17,44	16×8				
	Г1—9	17,44—25,86	11×5,5				
	Г1—10	25,86—37,5	7,2×3,4				
	ПК7—9	1,07—4,0	7/3				
	ПК7—10						
	ПК7—11	3,86—12,0					
	ПК7—15	0,48—1,248		3	1,01	0,05	
	ПК7—16						
	ПК7—17	1,07—4,0					
	ПК7—18						
	ПК7—19	3,86—12,44					
	ПК7—20						
	ПК7—21						
	ПК7—22	12,05—17,44					

Низкотемпературные генераторы шума

Тип генератора	Тип установки (прибора), которая укомплектована трансформатором	Диапазон частот, ГГц	Разъем (фланец), мм	Температура на выходе, К	Погрешность градуировки, К	$K_{ст}U$ выхода
—	Х5—15	0,03—0,5	7/3	81	±3	—
Г2—33	—	0,1—3,2	16/7(„Эльба")	78,4		1,15
Г2—34		2,6—6,0		78,8		
Г2—35		5,6—8,3	35×15	79,2		
Г2—36		8,2—12,0	23×10	79,3		
Г2—44	ПК7—11	3,86—7,15	7/3	80,8		
Г2—46	ПК7—9, ПК7—10	0,484—4,0			±2	1,25
—	ПК7—15	0,48—0,75		80		—
	ПК7—16	0,6—1,248				
	ПК7—17	1,07—2,144				
	ПК7—18	2,0—4,0				
	ПК7—19	3,86—5,96				
	ПК7—20	5,6—8,15				
	ПК7—21	8,15—12,44				
	ПК7—22	12,05—17,44	16×8		±3	
	Х5—29/2	1—4	7/3		±2	

Редактор *Л. И. Бурмистрова*
Технический редактор *Л. Я. Митрофанова*
Корректор *Т. А. Кононенко*

Сдано в наб 25.11 82 Подп. в печ. 11.02.83 1,75 п. л. 1,73 уч.-изд. л. Тир 16000 Цена 10 коп.

Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов, 123557, Москва, Новопресненский пер., 3.
Калужская типография стандартов, ул. Московская, 256. Зак. 3148

Цена 10 коп.

Величина	Единица		
	Наименование	Обозначение	
		международное	русское
ОСНОВНЫЕ ЕДИНИЦЫ СИ			
Длина	метр	m	м
Масса	килограмм	kg	кг
Время	секунда	s	с
Сила электрического тока	ампер	A	А
Термодинамическая температура	кельвин	K	К
Количество вещества	моль	mol	моль
Сила света	кандела	cd	кд
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЕДИНИЦЫ СИ			
Плоский угол	радиан	rad	рад
Телесный угол	стерадиан	sr	ср

ПРОИЗВОДНЫЕ ЕДИНИЦЫ СИ, ИМЕЮЩИЕ СПЕЦИАЛЬНЫЕ НАИМЕНОВАНИЯ

Величина	Единица			Выражение через основные и дополнительные единицы СИ
	Наименование	Обозначение		
		международное	русское	
Частота	герц	Hz	Гц	$с^{-1}$
Сила	ньютон	N	Н	м кг $с^{-2}$
Давление	паскаль	Pa	Па	$м^{-1}$ кг $с^{-2}$
Энергия	джоуль	J	Дж	$м^2$ кг $с^{-2}$
Мощность	ватт	W	Вт	$м^2$ кг $с^{-3}$
Количество электричества	кулон	C	Кл	с А
Электрическое напряжение	вольт	V	В	$м^2$ кг $с^{-3}$ $А^{-1}$
Электрическая емкость	фарад	F	Ф	$м^{-2}$ $кг^{-1}$ $с^4$ $А^2$
Электрическое сопротивление	ом	Ω	Ом	м кг $с^{-3}$ $А^{-2}$
Электрическая проводимость	сименс	S	См	$м^{-2}$ $кг^{-1}$ $с^3$ $А^2$
Поток магнитной индукции	вебер	Wb	Вб	$м^2$ кг $с^{-2}$ $А^{-1}$
Магнитная индукция	тесла	T	Тл	кг $с^{-2}$ $А^{-1}$
Индуктивность	генри	H	Гн	$м^2$ кг $с^{-2}$ $А^{-2}$
Световой поток	люмен	lm	лм	кд ср
Освещенность	люкс	lx	лк	$м^{-2}$ кд ср
Активность радионуклида	беккерель	Bq	Бк	$с^{-1}$
Поглощенная доза ионизирующего излучения	грэй	Gy	Гр	$м^2$ $с^{-2}$
Эквивалентная доза излучения	зиверт	Sv	Зв	$м^2 \cdot с^{-2}$

gost.e-ecolog.ru