ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ И РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ
(ВНИИФТРИ)

МЕТОДИКА

ПОВЕРКИ ОБРАЗЦОВЫХ МЕР КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ И СОГЛАСОВАННЫХ НАГРУЗОК

МИ 5—74

Москва
ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ
1978

gost.e-ecolog.ru

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ И РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ
(ВНИИФТРИ)

МЕТОДИКА

ПОВЕРКИ ОБРАЗЦОВЫХ МЕР КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ И СОГЛАСОВАННЫХ НАГРУЗОК

МИ 5—74

Москва ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ 1978

©Издательство стандартов, 1978

УДК 621.317.341.3.08

МЕТОДИКА

ПОВЕРКИ ОБРАЗЦОВЫХ МЕР КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ И СОГЛАСОВАННЫХ НАГРУЗОК МИ 5–74

Методика поверки образцовых мер коэффициента отражения и согласованных нагрузок МИ 5—74 рекомендует методы и средства аттестации и поверок образцовых волноводных мер коэффициента отражения, согласованных нагрузок классов 1 и 2 на стандартные сечения прямоугольных волноводов, работающих в диапазоне частот 2,60—37,50 ГГц, находящихся в эксплуатации и выпускаемых из производства.

Настоящая методика составлена в соответствии с ГОСТ 13759—68.

1. НАЗНАЧЕНИЕ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

1.1. Образцовые волноводные меры коэффициента отражения и согласованные нагрузки предназначены для калибровки и поверки панорамных измерителей коэффициента стоячей волны напряжения (к. с. в. н.), для поверки измерительных линий и других измерителей к. с. в. н., а также для измерения направленности направленных ответвителей и для контроля волноводных проходных устройств.

1.2. Принцип действия образцовых волноводных мер основан на отражении определенной части энергии падающей волны и поглощении остальной ее части. В результате этого в волноводном тракте создается стоячая волна с фиксированным значением к. с. в. н., определяемым номинальным значением меры.

1.3. К основным параметрам образцовых волноводных мер и согласованных нагрузок относятся:

диапазон частот (длин волн), в котором обеспечивается работа мер;

сечение волновода и допуски на него;

значение к. с. в. н. (модуля коэффициента отражения) меры;

частотная зависимость (изменение значения к. с. в. н. в рабочем диапазоне частот);

погрешность аттестации образцовых мер;

постоянство модуля коэффициента отражения при перемещении отражателя с поглотителем (для мер с переменной фазой коэффициента отражения на фиксированных частотах).

1.4. Образцовые волноводные меры отражений с переменной фазой коэффициента отражения состоят из отрезка прецизионного волновода, внутри которого посредством механизма перемещается поглотитель с отражателем. Перемещение может быть отсчитано по шкале механизма.

1.5. Образцовые меры с постоянной фазой коэффициента отражения состоят из отрезка прецизионного волновода с отражателем, зафиксированным в одном положении.

1.6. Волноводные согласованные нагрузки состоят из поглотителя клинообразной формы.

2. АТТЕСТАЦИЯ И ПОВЕРКА. ПРИМЕНЯЕМЫЕ СРЕДСТВА

2.1. Образцовые меры, поступающие на аттестацию и поверку, должны быть полностью укомплектованы в соответствии с эксплуатационной документацией предприятия-изготовителя.

2.2. Поверка образцовых мер включает следующие операции:

2.2.1. Внешний осмотр.

2.2.2. Измерение модуля коэффициента отражения мер с переменной фазой коэффициента отражения и измерение постоянства модуля коэффициента отражения при изменении фазы.

2.2.3. Измерение модуля коэффициента отражения образцовых мер с постоянной фазой коэффициента отражения (для этих мер допускается проводить первичную поверку на предприятии-изготовителе по техническим условиям на эти меры).

2.2.4. Измерение модуля коэффициента отражения подвижных согласованных нагрузок.

2.2.5. Измерение модуля коэффициента отражения неподвижных согласованных нагрузок.

2.3. При проверке образцовых мер необходимо провести внешний осмотр. При этом надо открыть крышку входного фланца меры и убедиться в чистоте волновода, целости отражателя и поглотителя и качестве фланца. Контактирующая поверхность фланца должна быть чистой, без забоин и царапин.

2.4. Размеры сечения волновода и координаты направляющих отверстий или штифтов должны контролироваться измерительным инструментом: в пределах класса 2 для волноводов сечением 7,2×3,4; 11×5,5; 16×8; 17×8; 23×10; 28,5×12,6; 35×15 мм и в пределах класса 3 для волноводов сечением 48×24; 58×25;

Средства поверки

Вид прибора	Сечение волновода, мм						
	7,2×3,4	11×5,5	16×8	17×8	23×10	28,5×12,6	35×15
Генератор СВЧ	Г4-115	Г4-114	Г4-111	Г4-111	Г4-111	Г4-111	Г4-111 и Г4-82
Аттенюатор развязывающий	Из комплекта измерительной линии Р1-12	Из комплекта измерительной линии Р1-13	Д5-20	Д5-20	Д5-21	Д5-22	Д5-26
Вентиль ферритовый	07ВВ-1; 08ВВ-1	Э8-26	Э8-25	Э8-25	Э8-24	Э8-23; 4ВВ-7	Э8-22
Рефлектометр образцовый	ПИ 2.248.039	ПИ 2 248.041	ПИ 2.744.000	ПИ 2.744.001	ПИ 2.744.002	ПИ 2.744.003	ПИ 2.744.003
Аттенюатор поляризационный	Д3-36А	Д3-35А	Д3-34А	Д3-34А	Д3-33А	Д3-32А	Д3-27А
Детекторная секция	Из комплекта аттенюатора Д5-8	Из комплекта аттенюатора Д5-7	Э7-5	Э7-5	Э7-6	Э7-7	Э7-8
Усилитель измерительный	У2-6	У2-6	У2-6	У2-6	У2-6	У2-6	У2-6

Продолжение

Вид прибора	Сечение волновода, мм		
	48×24	58×25	72×34
Генератор СВЧ	Г4-81 и Г4-82	Г4-80 и Г4-81	Г4-80 и Г4-81
Аттенюатор развязывающий	Д5-25	Д5-18	Д5-18
Вентиль ферритовый	Э8-21	Э8-19	Э8-18
Трансформатор согласования некалиброванный	ТНР-48 ПИ 2.240.012-1Сп	ТНР-58 ПИ 2.240.016-1Сп	ТНР-72 ПИ 2.240.015-1Сп
Ответвитель направленный	ОНО-48 ПИ 2.243.009 Сп	ОНО-58 ПИ 2.243.031 Сп	ОНО-72 ПИ 2.243.036 Сп
Трансформатор согласования калиброванный	ТНР-48К ПИ 2.240.012-2Сп	ТНР-58К ПИ 2.240.016-2Сп	ТНР-72К ПИ 2.240.015-2Сп
Устройство поверки поглотителей (подвижная неоднородность в волноводе)	ПИ 2.248.035-Сп	ПИ 2.248.037-Сп	ПИ 2.248.036-Сп
Подвижный короткозамыкатель	ПИ 2.266.008-Сп	ПИ 2.266.010-Сп	ПИ 2.266.011-Сп
Четвертьволновый короткозамыкатель	ПИ 5.170.021-Сп	ПИ 2.706.019-Сп	ПИ 2.706.020-Сп
Аттенюатор поляризационный	Д5-28А	Д5-31Б	Д5-29Б
Детекторная секция	Э7-9	ДГК-10	ДГК-10
Усилитель измерительный	У2-6	У2-6	У2-6

Примечание. Может быть применена и другая аппаратура с аналогичными техническими характеристиками.

72×34 мм. В процессе контроля поверяемые меры не должны быть повреждены.

2.5. Модуль коэффициента отражения мер измеряют на образцовых установках соответствующего сечения волновода с помощью аппаратуры, указанной в таблице.

2.6. Поверка осуществляется при нормальных условиях: окружающая температура 20±5°С, относительная влажность 65±15%.

2.7. Перед проведением измерения необходимо убедиться в исправности аппаратуры, входящей в состав образцовой установки (генераторов, усилителей), в качественном подсоединении элементов и узлов СВЧ-тракта. Контактирующая поверхность выходного фланца трансформатора настройки рефлектометра на высокую направленность, фланцев применяемых нагрузок для настройки рефлектометра должна быть достаточно чистой, без забоин и царапин.

2.8. Генератор и усилитель образцовой установки надо прогревать не менее получаса. При работе с приборами следует руководствоваться инструкцией по их эксплуатации.

3. ИЗМЕРЕНИЕ МОДУЛЯ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ ОБРАЗЦОВЫХ МЕР С ПЕРЕМЕННОЙ ФАЗОЙ

3.1. Модуль коэффициента отражения мер с переменной фазой измеряют на образцовой установке с помощью аппаратуры, указанной в таблице. Блок-схема образцовой установки для аттестации образцовых мер на заданные номинальные значения к. с. в. н. приведена на рис. 1.

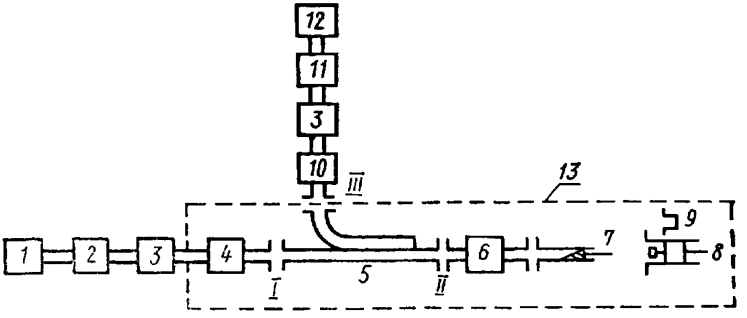

Рис. 1. Блок-схема образцовой установки:

1—источник мощности СВЧ, *2*—аттенюатор переменный; *3*—ферритовые вентили; *4* и *6*—трансформаторы настройки рефлектометра; *5*—направленный ответвитель; *7*—подвижная согласованная нагрузка; *8*—подвижной короткозамыкатель; *9*—четвертьволновый короткозамыкатель; *10*—поляризационный аттенюатор, *11*—детекторная головка; *12*—усилитель типа У2—6; *13*—трехплечевой настраиваемый рефлектометр

Модуль коэффициента отражения измеряется в точках рабочего диапазона частот согласно техническим условиям. Сигнал от

СВЧ-генератора *1* через аттенюатор *2*, ферритовый вентиль *3* и трансформатор *4* подается на вход плеча *I* направленного ответвителя *5*. К плечу *III* направленного ответвителя *5* подсоединяют поляризационный аттенюатор *10*, ферритовый вентиль *3*, детекторную головку *11* и усилитель *12* типа У2-6.

При аттестации нагрузок с номинальными значениями к. с. в. н. 1,05; 1,14; 1,4; 2,0 к плечу *II* направленного ответвителя *5* подсоединяют трансформатор *6* и согласованную нагрузку *7*, которые служат для настройки направленного ответвителя *5* на максимальную направленность по минимальному значению тока детектора *11* и по наименьшей разнице двух показаний (максимум — минимум) на индикаторе прибора при перемещении поглотителя согласованной нагрузки в пределах половины длины волны в волноводе. Трансформатор *4* и подвижный короткозамыкатель *8* служат для согласования генератора с волноводным трактом по наименьшей разнице двух показаний (максимум—минимум) при перемещении короткозамыкателя вдоль волновода в пределах половины длины волны.

Настройка образцового рефлектометра осуществляется в такой последовательности:

На поляризационном аттенюаторе *10* устанавливается затухание 20 дБ, а на переменном аттенюаторе *2* — максимальное затухание. К выходу трансформатора *6* присоединяют подвижный короткозамыкатель *8*. Затем переменным аттенюатором *2* стрелка выходного прибора усилителя устанавливается в пределах второй половины шкалы. Перемещая подвижный короткозамыкатель в пределах половины длины волны, органами настройки трансформатора *4* добиваются того, чтобы максимальное и минимальное показания индикаторного прибора усилителя отличались между собой не более чем на 2—3 деления шкалы. После этого к выходу трансформатора *6* присоединяется согласованная нагрузка. Поляризационный аттенюатор устанавливается в положение, близкое к нулевому показанию шкалы. Органами настройки трансформатора *6* добиваются минимального значения тока детектора *11* и наименьшей разницы между двумя показаниями (максимум—минимум) при перемещении поглотителя согласованной нагрузки и при минимальном ослаблении аттенюатора *2* и аттенюатора генератора *1*.

Если при этом отраженный сигнал установился в области шумов усилителя, то следует убедиться в том, что рефлектометр настроен на достаточно высокую направленность. Для этого вместо согласованной нагрузки присоединяют образцовую нагрузку с номинальным значением к. с. в. н. 1,05 (1,14 — для сечений 7,2×3,4 и 11×5,5 мм). При смене нагрузок во избежание перегрузки выходного прибора аттенюатор *2* устанавливается в положение максимального ослабления. Если при перемещении поглотителя с отражателем данной нагрузки показания выходного прибора усилите-

ля типа У2-6 изменяются в пределах 10—30 делений второй половины шкалы, то следует считать, что полученная направленность достаточна. В противном случае продолжают настройку рефлектометра описанным выше способом, добиваясь уменьшения разницы показаний до указанных пределов.

Затем продолжают настройку согласования генератора. Устанавливают на поляризационном аттенюаторе затухание 20 дБ, вводят максимальное затухание на аттенюаторе *2*, присоединяют к выходу трансформатора *6* подвижный короткозамыкатель. Органами настройки трансформатора *4* добиваются, чтобы при перемещении короткозамыкателя колебания стрелки прибора усилителя были примерно в пределах ±0,5 делений шкалы на уровне 80—90 делений.

После настройки измерительной установки к выходному фланцу трансформатора *6* присоединяют четвертьволновый короткозамыкатель. Ослабление поляризационного аттенюатора N_1 устанавливается таким, чтобы второй отсчет (значения N_2 и N_3) был в пределах 0,5—2,5 дБ шкалы аттенюатора. При аттестации и поверке мер с номинальным значением к.с.в., равным 2,0 N_1, устанавливают в пределах 9—10 дБ, для мер с номинальным значением к.с.в.н., равным 1,4, N_1 — 14—15 дБ, для мер с номинальным значением к. с. в. н., равным 1,14, N_1 — 23—26 дБ, для мер с номинальным значением к. с. в. н., равным 1,05, N_1 — 32—35 дБ.

Во всех случаях переменным аттенюатором *2* устанавливают уровень мощности в тракте таким, чтобы отклонение стрелки прибора усилителя было в пределах 70—90 делений шкалы (операции калибровки). Затем вместо четвертьволнового короткозамыкателя к фланцу трансформатора *6* присоединяют аттестуемую нагрузку. Затухание поляризационного аттенюатора уменьшают до отклонения стрелки прибора усилителя в пределах второй половины шкалы. Поглотитель с отражателем аттестуемой нагрузки устанавливают в положение, при котором наблюдается максимальное отклонение стрелки прибора усилителя. Поляризационным аттенюатором стрелку прибора устанавливают точно в то положение, в котором она находилась при коротком замыкании. Отсчитывают показание N_2 в децибелах на поляризационном аттенюаторе. Затем поглотитель с отражателем устанавливают в положение, соответствующее минимальному отклонению стрелки прибора усилителя. Поляризационным аттенюатором стрелка прибора возвращается точно в первоначальное положение. Отсчитывают показания N_3 на поляризационном аттенюаторе. По табл. 1 приложения или по формуле (1) находят значения Γ_1 и Γ_2, соответствующие разностям затуханий

$$\Gamma_{1,2}=10^{-\frac{\Delta N_{1,2}}{20}\text{дБ}}, \qquad (1)$$

Измеренное значение модуля коэффициента отражений аттестуемой нагрузки можно вычислить по формуле

$$\Gamma_{\text{м}}=\frac{\Gamma_1+\Gamma_2}{2}. \qquad (2)$$

Измерения $\Gamma_{\text{м}}$ проводят три раза. Действительное значение определяют как среднее арифметическое результатов трех измерений. После каждого измерения требуется проверять калибровку по четвертьволновому короткозамыкателю. Если отклонение стрелки прибора изменилось больше чем на $\pm 0{,}5$ деления шкалы на уровне 70—90 делений, то результат данного измерения не учитывают и корректируют калибровку. Соответствующее значение к. с. в. н. пересчитывается по формуле

$$m=\frac{1+\Gamma_{\text{м}}}{1-\Gamma_{\text{м}}} \qquad (3)$$

или по табл. 1 приложения.

3.2. Поверяемая мера допускается к применению, если на частотах поверки разность между средним измеренным значением к. с. в. н. и паспортным не превышает $\pm\sqrt{(\delta\Gamma_{\text{уст}})^2+(\delta\Gamma_{\text{м}})^2}$, где $\delta\Gamma_{\text{уст}}$ — погрешность образцовой установки; $\delta\Gamma_{\text{м}}$ — погрешность меры. При этом записывают значение, полученное при данной поверке.

3.3. Постоянство модуля коэффициента отражения при перемещении отражателя с поглотителем проверяется на измерительной установке по блок-схеме, показанной на рис. 1, на двух крайних частотах рабочего диапазона после соответствующей настройки рефлектометра. Проверка осуществляется посредством сравнения соседних отклонений индикаторного прибора усилителя в минимумах. Отношение соседних минимумов не должно превышать значений, указанных в технической документации на меры. Значение минимума должно при этом находиться в пределах 70—90 делений шкалы усилителя У2-6.

4. ПОВЕРКА ОБРАЗЦОВЫХ МЕР С ПОСТОЯННОЙ ФАЗОЙ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ

4.1. Первичную поверку образцовых мер с постоянной фазой коэффициента отражения проводят либо по технической документации, либо измерением модуля коэффициента отражения на образцовых установках с настраиваемым рефлектометром. Периодическую поверку этих образцовых мер проводят измерением модуля коэффициента отражения на образцовых установках с настраиваемым рефлектометром соответствующего сечения волновода.

4.2. Блок-схема образцовой установки для поверки образцовых мер показана на рис. 1. Настройка рефлектометра и измерение

модуля коэффициента отражения мер с постоянной фазой коэффициента отражения мало отличаются от настройки рефлектометра и измерения модуля коэффициента отражения мер с переменной фазой коэффициента отражения.

Отличие состоит лишь в том, что рефлектометр следует настраивать на более высокую направленность, поскольку погрешность измерения вследствие неидеальной направленности в этом случае не исключается. Рефлектометр настраивают в той же последовательности, что и при поверке мер с переменной фазой коэффициента отражения. При настройке рефлектометра на максимальную направленность используют подвижную согласованную нагрузку с к. с. в. н., равным 1,02—1,05. При этом добиваются, чтобы после настройки отношение максимального сигнала индикации к минимальному было не более 1,05. При работе на образцовых установках в диапазоне волноводов сечением 7,2×3,4 и 11×5,5 мм допускается применение подвижных нагрузок с к. с. в. н. не более 1,12—1,14. При этом добиваются, чтобы соответствующее отношение максимального сигнала индикации к минимальному было не более 1,03.

После настройки измерительной установки к выходному фланцу трансформатора *6* присоединяют четвертьволновый короткозамыкатель, предварительно установив на поляризационном аттенюаторе затухание в пределах 9—12 дБ при поверке мер с номинальным значением к. с. в. н., равным 2,0, и в пределах 13—16 дБ при поверке мер с номинальным значением к. с. в. н., равным 1,5. Переменным аттенюатором *2* устанавливают уровень мощности в тракте таким, чтобы стрелка прибора усилителя отклонялась в пределах 70—90 делений шкалы. Затем вместо четвертьволнового короткозамыкателя к фланцу трансформатора *6* присоединяют поверяемую нагрузку. Затухание поляризационного аттенюатора уменьшают до возвращения стрелки прибора усилителя точно в то положение, какое она занимала при подсоединении четвертьволнового короткозамыкателя, и определяют разность затуханий ΔN (в децибелах) поляризационного аттенюатора. Восстанавливают прежнее затухание на аттенюаторе и проверяют калибровку, присоединив вместо поверяемой нагрузки четвертьволновый короткозамыкатель. Если калибровка нарушилась (изменение отклонения стрелки прибора больше $\pm 0{,}5$ деления шкалы), то такое измерение не учитывается и калибровка корректируется.

Измерения ΔN проводят три раза. Каждому значению ΔN находят соответствующее значение модуля коэффициента отражения Γ по табл. 1 приложения или по формуле (1). Действительное значение $\Gamma_м$ определяют как среднее арифметическое результатов этих трех измерений.

4.3. Поверяемая мера допускается к применению, если на частотах поверки относительная разность между средним измеренным значением $\Gamma_м$ и паспортным не превышает $\pm \sqrt{(\delta\Gamma_{уст})^2 + (\delta\Gamma_м)^2}$,

где $\delta\Gamma_{уст}$ — погрешность образцовой установки; $\delta\Gamma_м$ — погрешность меры. При этом записывают значение к.с.в.н., полученное при данной поверке.

5. ПОГРЕШНОСТЬ АТТЕСТАЦИИ И ПОВЕРКИ

5.1. Полная относительная погрешность аттестации и поверки волноводных мер коэффициента отражения в общем виде определяется формулой

$$\delta_п = \pm\sqrt{(\delta_р\Gamma_м)^2+(\delta_а\Gamma_м)^2+(\delta_ф\Gamma_м)^2+\frac{\Sigma(\delta_с\Gamma_м)^2}{\sqrt{n}}} \qquad (4)$$

где $\delta_р\Gamma_м$ — относительная погрешность, обусловленная несовершенством рефлектометра; $\delta_а\Gamma_м$ — относительная погрешность, обусловленная неточным измерением ослабления поляризационным аттенюатором; $\delta_ф\Gamma_м$ — относительная погрешность, обусловленная влиянием фланцевого соединения; $\delta_с\Gamma_м$ — случайные погрешности измерения; n — число измерений.

Погрешность $\delta_р\Gamma_м$ определяется формулой

$$\delta_р\Gamma_м = \pm(\delta_1\Gamma_м + \delta_2\Gamma_м), \qquad (5)$$

где $\delta_1\Gamma_м$ — погрешность из-за конечного значения направленности рефлектометра; $\delta_2\Gamma_м$ — погрешность из-за неполного согласования генератора в плоскости присоединения измеряемой нагрузки.

Выражение для максимальной частной относительной погрешности $\delta_1\Gamma_м$ имеет вид

$$\delta_1\Gamma_м = \pm\Gamma_{отв}\sqrt{1+\frac{1}{\Gamma_м^2}}, \qquad (6)$$

где $\Gamma_м$ — модуль коэффициента отражения поверяемой меры; $\Gamma_{отв}$ — коэффициент направленности рефлектометра.

Максимальная частная погрешность из-за неполного согласования в сторону генератора, определяемая самым неблагоприятным соотношением фаз между $\Gamma_{эт}$, $\Gamma_м$ и Γ_{2i}, определяется формулой

$$\delta_2\Gamma_м = \pm(\Gamma_{эт}+\Gamma_м)\Gamma_{2i}. \qquad (7)$$

При $\Gamma_{эт}=1$

$$\delta_2\Gamma_м = \pm(1+\Gamma_м)\Gamma_{2i}. \qquad (7а)$$

Частная относительная погрешность $\delta_а\Gamma_м$ обусловливается неточным измерением разности ослабления.

Погрешность измерения ослабления поляризационными аттенюаторами определяется следующими формулами:

для аттенюаторов типа Д3-32А, Д3-33А, Д3-34А, Д3-35А, Д3-36А

$$\Delta K = \pm(0{,}01_{\text{дБ}} + 0{,}005 K_{\text{дБ}} + \Delta K^{\text{р}}_{\text{дБ}}), \qquad (8)$$

где $K_{\text{дБ}}$ — разность ослабления поляризационного аттенюатора при к. с. в. н. входа и выхода не более 1,10—1,15; $\Delta K^{\text{р}}_{\text{дБ}}$ — погрешность измерения разности затухания, обусловленная рассогласованием, вносимым ферритовым вентилем; ΔK — полная погрешность измерения разности ослабления, дБ;

для аттенюаторов типа Д5-27А, Д5-28А, Д5-29Б, Д5-30Б, Д5-31Б

$$\Delta K = \pm(0{,}01_{\text{дБ}} + 0{,}004 K_{\text{дБ}} + \Delta K^{\text{р}}_{\text{дБ}}). \qquad (8а)$$

Суммарную погрешность, обусловленную фланцевым соединением, формируют два фактора: допуск на изготовление прямоугольных волноводов и взаимное смещение фланцев соединяемых волноводов. Суммарный модуль коэффициента отражения вычисляется по формуле

$$\Gamma_{\text{ф}} = \sqrt{\Gamma_1^2 + \Gamma_2^2}, \qquad (9)$$

где Γ_1 — модуль коэффициента отражения вследствие допусков на изготовление волновода меры; Γ_2 — модуль коэффициента отражения вследствие взаимного смещения фланцев соединяемых волноводов.

При плюсовых отклонениях сторон волновода меры от номинальных значений $(a+\Delta a,\ b+\Delta b)\Gamma_1$ определяется формулой

$$\Gamma_1 = 0{,}5\left[\frac{\Delta b}{b} - \frac{\Delta a}{a}\left(\frac{\lambda_{\text{в}}}{\lambda_0}\right)^2\right], \qquad (10)$$

Γ_2 определяется как наибольшее из значений, вычисляемых по формуле

$$\Gamma_2 = \frac{\pi^2 b}{1{,}25\,\lambda_{\text{в}}}\left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2 \text{ или } \Gamma_2 = \frac{\pi^2 \lambda_{\text{в}}}{2a}\left(\frac{\Delta a}{a}\right)^2, \qquad (11)$$

где a и b — размеры сторон волновода; Δa и Δb — предельные отклонения размеров сторон волновода от номинальных значений; $\lambda_{\text{в}}$ и λ_0 — длины волн в волноводе и в свободном пространстве на рабочей частоте; δa и δb — предельные отклонения стыковки волновода меры с идеализированным волноводом.

Максимальное взаимное смещение обоих фланцев соединяемых волноводов определяют по формуле

$$\delta b = \delta a = 6{,}82\Delta + \Delta d + \Delta Д, \qquad (12)$$

где Δ — допуск на положение середины калибровочного отверстия; Δd — допуск на шпильку; $\Delta Д$ — допуск на отверстие.

В формуле (1) относительные погрешности $\delta_р\Gamma_м$, $\delta_а\Gamma_м$ и $\delta_ф\Gamma_м$ являются знакопеременными систематическими. Погрешности $\delta_с\Gamma$ являются случайными, обусловленными в общем случае нестабильностью генератора по мощности, по частоте и нестабильностью усилителя. Применяемая в образцовых установках аппаратура позволяет случайные погрешности измерений свести к минимуму, а используемая методика измерений ограничить эти погрешности в пределах частной погрешности, обусловленной несовершенством рефлектометра. Это реализуется посредством калибровки установки по четвертьволновому короткозамыкателю после каждого отдельного измерения.

Стабильность генератора по мощности и стабильность усилителя У2-6 при измерении обеспечивают постоянство отклонения индикаторного прибора усилителя в пределах ±0,5 деления шкалы на уровне 70—90 делений. Если калибровка нарушилась, то результат измерения не учитывается и следует провести повторную калибровку, а при необходимости проверить настройку рефлектометра. Проведенные серии измерений из 10, 5 и 3 измерений и их математическая обработка показывают, что нет необходимости увеличивать число измерений. Ряд из трех измерений является достаточно надежным.

Изменения уровня сигнала в пределах ±0,5 делений шкалы на уровне 70—90 делений выходного прибора могут обусловливаться как неидеальной стабильностью генератора с усилителем, так и неидеальной настройкой рефлектометра. Поэтому формула для полной относительной погрешности аттестации и поверки образцовых мер коэффициента отражения примет вид

$$\delta_п\Gamma_м = \pm\sqrt{(\delta_р\Gamma_м)^2+(\delta_а\Gamma_м)^2+(\delta_ф\Gamma_м)^2}. \qquad (13)$$

Соответствующая ей погрешность по к. с. в. н.

$$\delta_п m = \frac{2\Gamma_м}{1-\Gamma_м^2}\delta\Gamma_м. \qquad (14)$$

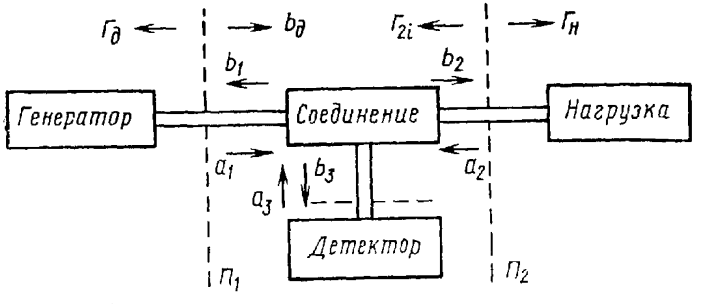

Рис. 2. Эквивалентная схема трехплечевого рефлектометра:

$a_{1,2,3}$ — напряжения волн, подающих на соединение; $b1_{,2,3}$ — напряжения волн, отраженных от соединения; $\Gamma_д$ — коэффициент отражения в сторону генератора в плоскости $П_1$; Γ_{2i} — коэффициент отражения в сторону генератора в плоскости $П_2$; $\Gamma_н$ — коэффициент отражения нагрузки

Остаточный коэффициент отражения Γ_{2i} определяется после окончания настройки трансформатором *4* при перемещении короткозамыкателя, подсоединенного к рефлектометру в плоскости $П_2$ (рис. 1 и рис. 2). Экстремальные значения сигнала индикации при перемещении короткозамыкателя можно выразить следующими соотношениями (считая характеристику детектора квадратичной):

$$b_{э\max}=K\frac{\Gamma_{кз}^2}{(1-\Gamma_{2i}\cdot\Gamma_{кз})^2},$$

$$b_{э\min}=K\frac{\Gamma_{кз}^2}{(1+\Gamma_{2i}\cdot\Gamma_{кз})^2},$$

где $\Gamma_{кз}$ — модуль коэффициента отражения подвижного короткозамыкателя. Запишем их отношение, принимая $\Gamma_{кз}=1$,

$$B=\frac{b_{э\max}}{b_{э\min}}=\frac{(1+\Gamma_{2i})^2}{(1-\Gamma_{2i})^2}=\frac{1+2\,\Gamma_{2i}}{1-2\,\Gamma_{2i}}=1+4\Gamma_{2i},$$

отсюда

$$\Gamma_{2i}=\frac{B-1}{4}. \qquad (15)$$

Посредством применяемых трансформаторов нетрудно достичь такого согласования, при котором $B\leqslant 1{,}01$ (учитывая также квадратичность характеристики детектора, при которой колебание стрелки выходного прибора будет в пределах $\pm 0{,}5$ деления на уровне 70—80 делений шкалы).
Тогда из формулы (15) следует

$$\Gamma_{2i}\leqslant 0{,}0025. \qquad (16)$$

5.2. Погрешность аттестации и поверки образцовых мер с переменной фазой коэффициента отражения. При аттестации и поверке образцовых мер с переменной фазой коэффициента отражения можно исключить погрешность из-за неидеальной направленности — формула (6) и уменьшить погрешность из-за неполного согласования генератора — формула (7). Измерения осуществляют при двух положениях подвижного элемента образцовой меры. При перемещении отражателя с поглотителем в нужных пределах в индикаторном плече рефлектометра будут наблюдаться максимальные и минимальные отклонения, обусловленные суммарным действием

$$\delta_1\Gamma_м=\pm\,\Gamma_{отв}\sqrt{1+\frac{1}{\Gamma_м^2}}\ \text{и}\ \delta_2^*\Gamma_м=\pm\Gamma_м\cdot\Gamma_{2i}.$$

Проведя измерения при максимальном и минимальном сигналах индикации, получим значения $\Gamma_{\max}$ и $\Gamma_{\min}$.

Среднее значение

$$\Gamma_м = \frac{\Gamma_{max}+\Gamma_{min}}{2}$$

будет свободно от погрешностей $\delta_1\Gamma_м$ и $\delta_2{}^*\Gamma_м=\Gamma_м\cdot\Gamma_{2i}$.
Погрешность собственно рефлектометра определяется соотношением

$$\delta_2\Gamma_м=\pm\Gamma_{2i}\leqslant 0{,}0025.$$

Полную погрешность аттестации и поверки образцовых мер коэффициента отражения определяют по формуле

$$\delta_п\Gamma_м=\pm\sqrt{(\Gamma_{2i})^2+(\delta_а\Gamma_м)^2+(\delta_ф\Gamma_м)^2}. \qquad (17)$$

5.3. Погрешность аттестации и поверки образцовых мер с постоянной фазой коэффициента отражения. При измерении модулей коэффициентов отражений от неподвижных нагрузок погрешность собственно рефлектометра в полной мере определяется соотношениями (6) и (7). С уменьшением к. с. в. неподвижных нагрузок вес погрешности, обусловленной неидеальной направленностью, будет возрастать по сравнению с весом погрешности, вызванной неполным согласованием генератора. Поэтому для существенного уменьшения суммарной погрешности измерения необходимо настраивать рефлектометр на максимальную направленность, например 80 дБ. Настройка рефлектометра на столь высокую направленность с применением аппаратуры измерительной установки (см. рис. 1) осуществляется на основе использования свойства квадратичной характеристики детекторов на СВЧ и использования подвижной нагрузки с к. с. в. н., равным 1,02—1,03. При перемещении поглотителя в волноводе нагрузки в необходимых пределах наблюдаются максимальные и минимальные отклонения на индикаторном приборе усилителя. При максимальном сигнале индикации, когда отражение от подвижного поглотителя и сигнал вследствие неидеальной направленности сложились в фазе, справедливо соотношение

$$v^2_{max}=c(\Gamma_п+\Gamma_{отв})^2=c\Gamma^2_{max}.$$

Соответственно, когда эти сигналы сложились в противофазе, справедливо соотношение

$$v^2_{min}=c(\Gamma_п-\Gamma_{отв})^2=c\Gamma^2_{min}.$$

Отношение квадратов напряжений

$$\frac{v^2_{max}}{v^2_{min}}=\frac{(\Gamma_п+\Gamma_{отв})^2}{(\Gamma_п-\Gamma_{отв})^2}=1+\frac{4\,\Gamma_п\,\Gamma_{отв}}{\Gamma^2_п-2\Gamma_п\Gamma_{отв}+\Gamma^2_{отв}}. \qquad (18)$$

Рассмотрим пример. При настройке используется нагрузка с поглотителем, имеющим $\Gamma_{\text{п}}=0{,}01$. Допустим, что рефлектометр настроен на направленность 80 дБ, т. е. $\Gamma_{\text{отв}}=0{,}0001$. Тогда отношение квадратов напряжений при максимальном и минимальном сигналах индикации согласно формуле (18) составит 1,04. Это означает, что колебания сигнала индикаторного прибора усилителя при перемещении поглотителя будут в пределах, например, 83—90 делений шкалы. Таким образом, данный метод позволяет настраивать рефлектометр на направленность 80 дБ и выше без применения высокочувствительных приемников супергетеродинного типа.

Полная относительная погрешность аттестации и поверки мер с постоянной фазой коэффициента отражения определяется по формуле (13). При этом погрешность $\delta_{\text{р}}\Gamma_{\text{м}}$ собственно рефлектометра [см. формулу (5)] можно существенно уменьшить описанной настройкой вследствие сведения к минимуму погрешности $\delta_1\Gamma_{\text{м}}$.

6. АТТЕСТАЦИЯ И ПОВЕРКА СОГЛАСОВАННЫХ НАГРУЗОК

6.1. Аттестация и поверка подвижных согласованных нагрузок осуществляется путем измерения модуля коэффициентов отражения поглощающих клиньев.

6.1.1. Коэффициент отражения поглощающих клиньев измеряют на образцовой установке по блок-схеме, помещенной на рис. 3.

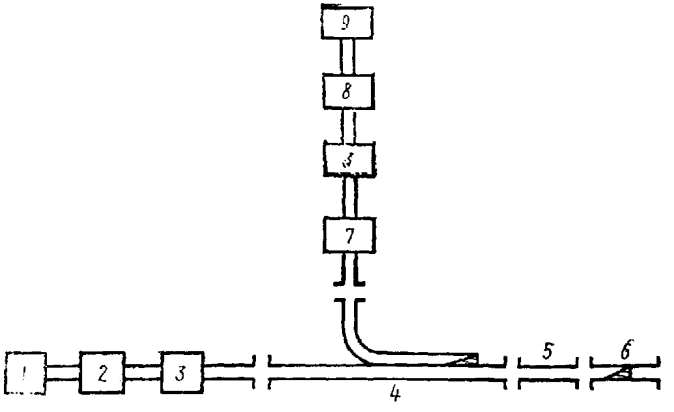

Рис. 3. Блок-схема образцовой установки:

1—источник мощности СВЧ; *2*—аттенюатор переменный; *3*—ферритовые вентили; *4*—направленный ответвитель; *5*—четырехполюсник без потерь с подвижной неоднородностью; *6*—измеряемый поглотитель; *7*—поляризационный аттенюатор; *8*—детекторная головка; *9*—усилитель типа У2-6

Процесс измерения следующий. Изменяют фазу подвижной неоднородности четырехполюсника *5* путем перемещения ее в преде-

лах половины длины волны. Затем фиксируют фазу в таких положениях, при которых наблюдается наибольшее или наименьшее показание индикаторного прибора усилителя. После этого перемещают поглотитель аттестуемой согласованной нагрузки в положение, при котором наблюдается максимальное или минимальное отклонение стрелки прибора усилителя. Затем убеждаются, что экстремальное отклонение стрелки индикаторного прибора сохраняется при перемещении в небольших пределах неоднородности четырехполюсника *5*. При необходимости экстремальное отклонение стрелки следует откорректировать путем перемещения подвижной неоднородности в небольших пределах и зафиксировать. Перемещая поглотитель аттестуемой нагрузки, отсчитывают максимальное и минимальное показания индикаторного прибора (максимальное показание стрелки прибора устанавливается посредством аттенюатора *2* в пределах 80—100 делений шкалы).

Измеряемый модуль коэффициента отражения вычисляют:

а) при установке подвижной неоднородности четырехполюсника *5* в положение, при котором наблюдается наибольшее отклонение стрелки прибора усилителя (1-й вариант), по формуле

$$\Gamma_{\text{п}}=(\Gamma_{\text{пн}}+\Gamma_{\text{отв}})\frac{K-1}{K+1}, \qquad (19)$$

б) при установке подвижной неоднородности четырехполюсника *5* в положение, при котором наблюдается наименьшее отклонение стрелки прибора усилителя (2-й вариант), по формуле

$$\Gamma_{\text{п}}=(\Gamma_{\text{пн}}-\Gamma_{\text{отв}})\frac{K-1}{K+1}, \qquad (20)$$

где $\Gamma_{\text{п}}$ — модуль коэффициента отражения измеряемого поглотителя; $\Gamma_{\text{отв}}$ — коэффициент направленности; $\Gamma_{\text{пн}}$ — модуль коэффициента отражения подвижной неоднородности;

$$K=\sqrt{\frac{\alpha_{\max}}{\alpha_{\min}}}, \qquad (21)$$

где $\alpha_{\max}$ — максимальное показание стрелки прибора усилителя, $\alpha_{\min}$ — минимальное показание стрелки прибора усилителя.

Коэффициент K измеряют посредством поляризационного аттенюатора, пользуясь методом замещения на СВЧ. Полученное значение K в децибелах переводят в отношение напряжений K по формуле (22) или по табл. 2 приложения

$$K=10^{\frac{K_{\text{дБ}}}{20}}. \qquad (22)$$

Если при перемещении поглотителя максимальные и минимальные показания мало отличаются друг от друга, то пользуют-

ся 2-м вариантом. В противном случае всегда пользуются 1-м вариантом, а 2-й вариант является лишь контрольным. Искомый к. с. в. н. поглотителя согласованной нагрузки при $\Gamma_н \leqslant 0{,}01$ вычисляют по формуле

$$m = 1 + 2\Gamma_н, \qquad (23)$$

а при $\Gamma_п > 0{,}01$ вычисляют по формуле (3).

Модуль коэффициента отражения поглотителей согласованных нагрузок измеряют в трех точках диапазона волновода (двух крайних и одной средней). Измеренные значения к. с. в. н. не должны превышать величины, указанной в технической документации.

6.1.2. $\Gamma_{пн}$ и $\Gamma_{отв}$ измеряются однажды — при аттестации измерительной установки по блок-схеме, показанной на рис. 1, и согласно технической документации на образцовые рефлектометры.

6.1.3. Формула для нахождения полной относительной погрешности измерения коэффициента отражения (по модулю) подвижного поглотителя имеет вид

$$\delta\Gamma_п = \pm \sqrt{\left(\frac{\delta\Gamma_{пн}}{1 \pm \frac{\Gamma_{отв}}{\Gamma_{пн}}}\right)^2 + \left(\frac{\delta\Gamma_{отв}}{\frac{\Gamma_{пн}}{\Gamma_{отв}} \pm 1}\right)^2 + \left[\left(\frac{2K}{K^2-1}\right) \cdot \delta K\right]^2}, \qquad (24)$$

где $\delta\Gamma_{пн}$ — относительная погрешность измерения $\Gamma_{пн}$ подвижной неоднородности; $\delta\Gamma_{отв}$ — относительная погрешность измерения коэффициента направленности; δK — относительная погрешность измерения K.

6.2. Аттестация и поверка неподвижных согласованных нагрузок.

6.2.1. Неподвижные согласованные нагрузки классов 1 и 2 аттестуют и поверяют на образцовой установке по блок-схеме, показанной на рис. 1, с добавлением подвижной неоднородности *5* образцовой установки по блок-схеме, приведенной на рис. 3, путем непосредственного измерения модуля коэффициента отражения нагрузок. На предприятии-изготовителе допускается проводить первичную поверку выпускаемых нагрузок согласно технической документации на эти нагрузки.

6.2.2. Перед измерением необходимо настроить рефлектометр образцовой установки до направленности 70 дБ согласно п. 4.2 настоящей методики.

После настройки рефлектометра к выходу трансформатора *6* присоединяют четырехполюсник с подвижной неоднородностью вместе с измеряемой нагрузкой. Затем перемещают подвижную неоднородность в пределах половины длины волны в волноводе и отсчитывают максимальное α_{max} и минимальное α_{min} показания индикаторного прибора усилителя. При этом аттенюатор устанавливают в такое положение, при котором максимальные отклонения стрелки индикаторного прибора будут в пределах до 100 деле-

ний шкалы, и фиксируют его. Модуль коэффициента отражения измеряемой нагрузки вычисляют по формуле

$$\Gamma_н = \Gamma_{пн} \frac{K-1}{K+1}, \qquad (25)$$

где $\Gamma_{пн}$ — модуль коэффициента отражения подвижной неоднородности; $K = \sqrt{\frac{\alpha_{max}}{\alpha_{min}}}$ — при квадратичной характеристике детектора и линейной характеристике усилителя.

Коэффициент K измеряют посредством поляризационного аттенюатора, пользуясь методом замещения на СВЧ. Полученное значение K в децибелах переводят в отношение напряжений K по формуле (22) или по табл. 2 приложения

$$K = 10^{\frac{K_{дБ}}{20}}.$$

6.2.3. Формула для нахождения полной относительной погрешности измерения коэффициента отражения (по модулю) согласованной нагрузки с постоянной фазой коэффициента отражения имеет вид

$$\delta\Gamma_н = \pm\left(\frac{\Gamma_{отв}}{\Gamma_н} + \sqrt{\delta\Gamma_{пн} + \left(\frac{2K}{K^2-1}\cdot\delta K\right)^2}\right), \qquad (26)$$

где $\Gamma_{отв}$ — остаточный коэффициент направленности после настройки рефлектометра; $\delta\Gamma_{пн}$ — относительная погрешность измерения $\Gamma_{пн}$ подвижной неоднородности; δK — относительная погрешность измерения K.

7. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

7.1. Образцовая мера коэффициента отражения и согласованные нагрузки, удовлетворяющие требованиям настоящей методики, признают годными к применению и на них выдают свидетельство, в котором записывают частоты, на которых производилась поверка, и соответствующие значения модулей коэффициента отражения (к. с. в.).

7.2. Образцовые меры коэффициента отражения и согласованные нагрузки, не удовлетворяющие требованиям настоящей методики, к применению не допускают.

Значения к.с.в.н. и модулей коэффициента отражения в децибелах

Таблица 1

$m = 1{,}05$

$\Delta N_{дБ}$	Γ	m	$\Delta N_{дБ}$	Γ	m
30,40	0,0302	1,062	32,90	0,0226	1,046
30,50	0,0298	1,061	33,00	0,0224	1,046
30,60	0,0295	1,061	33,10	0,0221	1,045
30,70	0,0292	1,060	33,20	0,0219	1,045
30,80	0,0288	1,059	33,30	0,0216	1,045
30,90	0,0285	1,059	33,40	0,0214	1,044
31,00	0,0282	1,058	33,50	0,0211	1,043
31,10	0,0279	1,057	33,55	0,0210	1,043
31,20	0,0275	1,056	33,60	0,0209	1,043
31,30	0,0272	1,056	33,65	0,0208	1,042
31,40	0,0269	1,055	33,70	0,0206	1,042
31,50	0,0266	1,055	33,75	0,0205	1,042
31,60	0,0263	1,054	33,80	0,0204	1,042
31,70	0,026	1,053	33,86	0,0203	1,041
31,80	0,0257	1,053	33,90	0,0202	1,041
31,90	0,0254	1,052	33,95	0,0201	1,041
32,00	0,0252	1,052	34,00	0,0199	1,041
32,10	0,0248	1,051	34,05	0,0198	1,040
32,20	0,0245	1,050	34,10	0,0197	1,040
32,30	0,0243	1,050	34,20	0,0195	1,040
32,40	0,024	1,049	34,30	0,0193	1,039
32,50	0,0237	1,048	34,40	0,0190	1,039
32,59	0,0235	1,048	34,46	0,0189	1,039
32,70	0,0232	1,047	34,50	0,0188	1,038
32,80	0,0229	1,047	34,54	0,0187	1,038

Продолжение табл. 1

$m = 1{,}14$

$\Delta N_{дБ}$	Γ	m	$\Delta N_{дБ}$	Γ	m
22,35	0,0763	1,165	22,70	0,0733	1,158
22,40	0,0759	1,164	22,78	0,0726	1,157
22,42	0,0757	1,164	22,80	0,0725	1,156
22,43	0,0756	1,163	22,86	0,0716	1,154
22,48	0,0752	1,163	22,90	0,0716	1,154
22,49	0,0751	1,162	22,92	0,0714	1,154
22,52	0,0748	1,162	22,98	0,0710	1,153
22,60	0,0741	1,160	23,04	0,0705	1,152
22,66	0,0736	1,159	23,10	0,0700	1,150

Продолжение табл. 1

$m = 1{,}14$

$\Delta N_{дБ}$	Γ	m	$\Delta N_{дБ}$	Γ	m
23,14	0,0697	1,150	23,97	0,0632	1,135
23,16	0,0695	1,149	24,00	0,0631	1,135
23,20	0,0692	1,149	24,08	0,0625	1,133
23,26	0,0687	1,148	24,20	0,0616	1,131
23,30	0,0684	1,147	24,30	0,0609	1,130
23,32	0,0682	1,146	24,36	0,0605	1,129
23,35	0,0680	1,146	24,40	0,0600	1,128
23,37	0,0678	1,145	24,46	0,0598	1,127
23,40	0,0376	1,145	24,50	0,0596	1,127
23,50	0,0668	1,143	24,54	0,0593	1,126
23,55	0,0664	1,142	24,60	0,0589	1,125
23,60	0,0660	1,141	24,70	0,0582	1,124
23,64	0,0657	1,141	24,74	0,0579	1,123
23,68	0,0654	1,140	24,80	0,0575	1,122
23,70	0,0653	1,140	24,85	0,0570	1,121
23,80	0,0646	1,138	25,04	0,0560	1,119
23,85	0,0642	1,137	25,10	0,0559	1,118
23,89	0,0639	1,136	25,18	0,0551	1,116
23,94	0,0635	1,136	25,22	0,0548	1,116

Продолжение табл. 1

$m = 1{,}4—1{,}5$

$\Delta N_{дБ}$	Γ	m	$\Delta N_{дБ}$	Γ	m
13,32	0,2157	1,550	15,20	0,1738	1,421
13,45	0,2126	1,540	15,22	0,1734	1,420
13,58	0,2095	1,530	15,24	0,1730	1,418
13,72	0,2060	1,519	15,25	0,1728	1,418
13,85	0,2030	1,509	15,26	0,1726	1,417
13,98	0,2000	1,500	15,28	0,1722	1,417
14,12	0,1968	1,490	15,30	0,1718	1,415
14,27	0,1935	1,480	15,31	0,1716	1,414
14,40	0,1903	1,470	15,32	0,1714	1,414
14,56	0,1870	1,460	15,33	0,1712	1,413
14,72	0,1837	1,450	15,35	0,1708	1,412
14,80	0,1820	1,445	15,38	0,1702	1,410
14,82	0,1815	1,443	15,40	0,1698	1,409
14,88	0,1803	1,440	15,44	0,1690	1,407
14,90	0,1799	1,439	15,45	0,1688	1,406
14,95	0,1788	1,435	15,47	0,1685	1,405
15,00	0,1778	1,432	15,50	0,1679	1,403
15,05	0,1768	1,429	15,52	0,1675	1,402
15,06	0,1766	1,429	15,53	0,1673	1,402
15,10	0,1756	1,426	15,54	0,1671	1,401
15,12	0,1754	1,425	15,55	0,1669	1,400
15,14	0,1750	1,424	15,56	0,1667	1,400
15,15	0,1748	1,424	15,58	0,1663	1,399
15,17	0,1744	1,422	15,59	0,1661	1,399

Продолжение табл. 1

$m = 1{,}4—1{,}5$

$\Delta N_{дБ}$	Γ	m	$\Delta N_{дБ}$	Γ	m
15,60	0,1659	1,398	15,80	0,1622	1,387
15,62	0,1656	1,397	15,85	0,1613	1,385
15,66	0,1648	1,395	15,87	0,1608	1,383
15,68	0,1644	1,393	15,90	0,1603	1,382
15,70	0,1641	1,393	15,94	0,1596	1,380
15,75	0,1639	1,392	16,00	0,1585	1,377
15,76	0,1631	1,390	16,01	0,1583	1,376
15,77	0,1629	1,389	16,10	0,1567	1,372

Продолжение табл. 1

$m = 2{,}0$

$\Delta N_{дБ}$	Γ	m	$\Delta N_{дБ}$	Γ	m
9,10	0,3507	2,077	9,60	0,3311	1,990
9,13	0,3495	2,075	9,63	0,3299	1,985
9,14	0,3492	2,072	9,65	0,3292	1,982
9,15	0,3488	2,071	9,66	0,3290	1,980
9,20	0,3467	2,061	9,68	0,3280	1,976
9,22	0,3459	2,056	9,70	0,3270	1,972
9,24	0,3450	2,053	9,71	0,3269	1,971
9,25	0,3448	2,052	9,72	0,3266	1,970
9,26	0,3445	2,051	9,74	0,3258	1,966
9,30	0,3428	2,043	9,75	0,3254	1,965
9,32	0,3420	2,039	9,76	0,3251	1,963
9,34	0,3412	2,035	9,80	0,3236	1,957
9,35	0,3408	2,034	9,86	0,3213	1,947
9,38	0,3397	2,029	9,90	0,3199	1,940
9,40	0,3389	2,025	9,92	0,3192	1,938
9,43	0,3377	2,020	9,93	0,3188	1,931
9,45	0,3369	2,016	9,96	0,3177	1,930
9,48	0,3358	2,011	9,98	0,3170	1,928
9,50	0,3350	2,007	10,00	0,3162	1,925
9,52	0,3342	2,003	10,02	0,3154	1,921
9,54	0,3334	2,00	10,05	0,3144	1,917
9,55	0,3331	1,998	10,07	0,3137	1,914
9,56	0,3327	1,997	10,09	0,3129	1,911

Таблица 2

Значение отношений напряжений в децибелах

$K_{дБ}$	K	$K_{дБ}$	K
2,00	1,259	4,20	1,622
2,10	1,274	4,30	1,641
2,20	1,288	4,40	1,660
2,30	1,303	4,50	1,679
2,40	1,318	4,60	1,698
2,50	1,334	4,70	1,718
2,60	1,349	4,80	1,738
2,70	1,365	4,90	1,758
2,80	1,380	5,00	1,778
2,90	1,396	5,10	1,799
3,00	1,413	5,20	1,820
3,10	1,429	5,30	1,841
3,20	1,445	5,40	1,862
3,30	1,462	5,50	1,884
3,40	1,479	5,60	1,905
3,50	1,496	5,70	1,928
3,60	1,514	5,80	1,950
3,70	1,531	5,90	1,972
3,80	1,549	6,00	1,995
3,90	1,567	6,10	2,018
4,00	1,585	6,20	2,042
4,10	1,603	6,30	2,065

Редактор *А. В. Цыганкова*
Технический редактор *В. Ю. Смирнова*
Корректор *А. Г. Старостин*

Сдано в наб. 06.03.78 Подп. в печ. 02.08.78 Формат 60×90¹/₁₆. Бумага типографская № 2 **Гарнитура** литературная Печать высокая 1,5 усл. печ. л. 1,31 уч.-изд. л. Тир. 2000 **Зак.** 631 Цена 5 коп.

ик Почета» Издательство стандартов. Москва, Д-557, Новопресненский пер., 3
Тип. «Московский печатник». Москва, Лялин пер., 6.

gost.e-ecolog.ru