ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 71367— 2024

ФЕРРИТЫ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА И ИЗДЕЛИЯ ИЗ НИХ

Метод измерения ширины кривой ферримагнитного резонанса и эффективного коэффициента Ланде

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 3 мая 2024 г. № 576-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

ФЕРРИТЫ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА И ИЗДЕЛИЯ ИЗ НИХ

Метод измерения ширины кривой ферримагнитного резонанса и эффективного коэффициента Ланде

Microwave ferrite devices and products made of them. Method of measuring the width ferrimagnetic resonance and effective Lande coefficient

Дата введения — 2025—03—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на поликристаллические ферриты сверхвысокочастотного диапазона (СВЧ) и изделия из них и устанавливает метод измерения ширины кривой ферримагнитного резонанса (ФМР):

- от $0,5 \cdot 10^3$ до $40 \cdot 10^3$ А/м — в диапазоне частот (3000 ± 100) МГц;
- от $0,8 \cdot 10^3$ до $80 \cdot 10^3$ А/м — в диапазоне частот (9500 ± 500) МГц;
- от $8 \cdot 10^3$ до $320 \cdot 10^3$ А/м — в диапазоне частот (30000 ± 1000) МГц и эффективного коэффициента Ланде от 1,5 до 3.

В технических условиях (ТУ) на конкретные типы изделий из ферритов допускается устанавливать частоту и методы измерения ширины кривой ФМР, отличающиеся от указанных в настоящем стандарте, если эти методы аттестованы и обеспечивают значения показателей точности измерения не хуже установленных настоящим стандартом.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 2789 Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики

ГОСТ 8711 (МЭК 51-2—84) Приборы аналоговые показывающие электроизмерительные прямого действия и вспомогательные части к ним. Часть 2. Особые требования к амперметрам и вольтметрам

ГОСТ 10007 Фторопласт-4. Технические условия

ГОСТ 11036 Сталь сортовая электротехническая нелегированная. Технические условия

ГОСТ 12172 Клеи фенолополивинилацетальные. Технические условия

ГОСТ 19693 Материалы магнитные. Термины и определения

ГОСТ 20282 Полистирол общего назначения. Технические условия

ГОСТ 20900 Трубы волноводные медные и латунные прямоугольные. Технические условия

ГОСТ 22261 Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия

ГОСТ Р 55878 Спирт этиловый технический гидролизный ректификованный. Технические условия

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 ут-

Издание официальное

верждения (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 19693.

4 Принцип и условия измерений

4.1 Ширину кривой ФМР и эффективный коэффициент Ланде измеряют резонаторным методом, основанным на теории возмущения резонатора измеряемым образцом (далее — образец).

4.2 Ширину кривой ФМР и эффективный коэффициент Ланде следует измерять в следующих климатических условиях, если другие условия не установлены в ТУ на конкретные изделия из ферритов:

- температура окружающего воздуха — от 18 °С до 28 °С;
- относительная влажность воздуха — от 45 % до 80 %;
- атмосферное давление — от 86 до 106 кПа (от 645 до 795 мм рт.ст.).

При температуре выше 30 °С относительная влажность не должна быть более 70 %.

4.3 Ширину кривой ФМР и эффективный коэффициент Ланде следует измерять в диапазоне частот, указанном в ТУ на конкретные изделия из ферритов.

4.4 Время измерения не должно превышать 5 мин.

5 Аппаратура

5.1 Измерение ширины кривой ФМР и эффективного коэффициента Ланде следует проводить на установке, электрическая структурная схема которой приведена на рисунке 1.

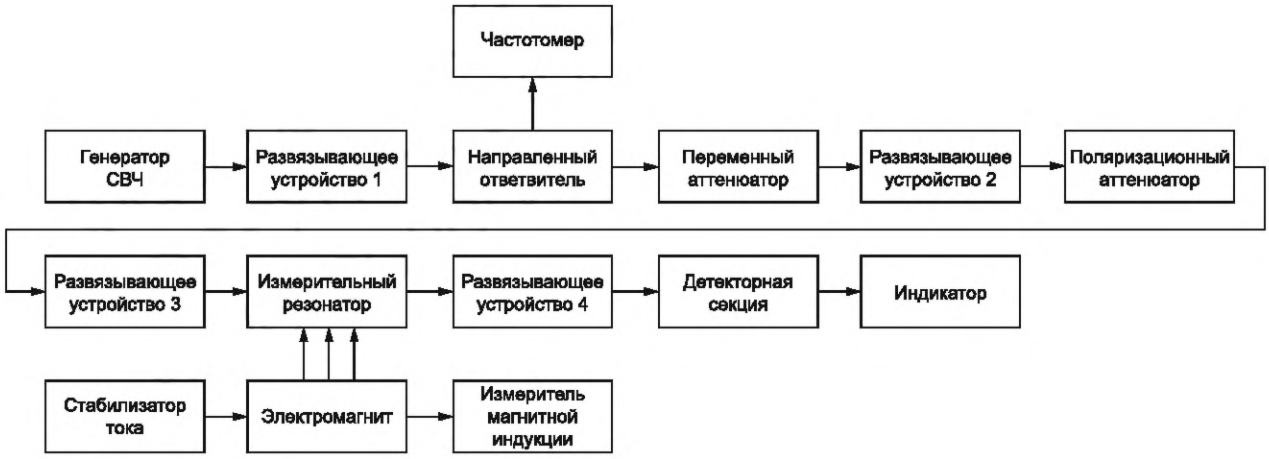

Рисунок 1

5.2 Генератор СВЧ должен иметь выходную мощность не менее 3 мВт. Нестабильность частоты генератора СВЧ за 15 мин работы не должна быть более $1 \cdot 10^{-4}$. Нестабильность уровня выходной мощности за 15 мин работы не должна быть более 0,15 дБ.

5.3 Направленный ответвитель должен иметь переходное ослабление не более 15 дБ и направленность не менее 20 дБ.

5.4 Развязывающими устройствами должны быть ферритовые вентили и циркуляторы.

Развязки развязывающих устройств 1, 2, 3 должны быть не менее 20 дБ, развязывающего устройства 4 — не менее 30 дБ.

Коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН) развязывающих устройств 1, 2 должен быть не более 1,2; КСВН развязывающего устройства 3 со стороны выхода — не более 1,05; КСВН развя-

зывающего устройства 4 со стороны входа — не более 1,05. Со входа развязывающего устройства 3 и выхода развязывающего устройства 4 КСВН должен быть не более 1,2.

Если КСВН развязывающих устройств превышает указанные значения, то необходимо провести их согласование с помощью трансформаторов сопротивлений или других согласующих устройств до значений, указанных выше.

Допускается последовательное включение двух вентилей или циркуляторов.

5.5 Переменный аттенюатор должен обеспечивать плавное изменение ослабления мощности СВЧ от 1 до 20 дБ.

КСВН аттенюатора должен быть не более 1,2.

5.6 Поляризационный аттенюатор должен обеспечивать плавное изменение ослабления мощности СВЧ не менее чем на 20 дБ с погрешностью, находящейся в пределах ±0,11 дБ.

5.7 Конструкция измерительного резонатора должна соответствовать приведенной на рисунке 2.

Измерительный резонатор должен быть проходного типа с колебаниями типа $H_{\alpha 1 n}$, изготовленный из медной или латунной волноводной трубы прямоугольного сечения по ГОСТ 20900.

Добротность измерительного резонатора должна быть не менее 2000.

Диэлектрический подстроечный стержень должен быть изготовлен из диэлектрика любой марки, имеющего тангенс угла диэлектрических потерь не более $1 \cdot 10^{-4}$.

Держатель образца должен быть изготовлен в форме пробирки из фторопласта-4 марки П по ГОСТ 10007 или в форме стержня из полистирола ПСМ (ПС МД) по ГОСТ 20282 или фторопласта-4 марки П.

Образец должен приклеиваться к торцу стержня клеем БФ-4 ГОСТ 12172. Образец следует устанавливать в центре резонатора с отклонением не более 0,02α, где α — размер широкой стенки резонатора.

5.8 Детекторная секция должна иметь чувствительность не менее 1 мВ/мкВт и КСВН — не более 2,0.

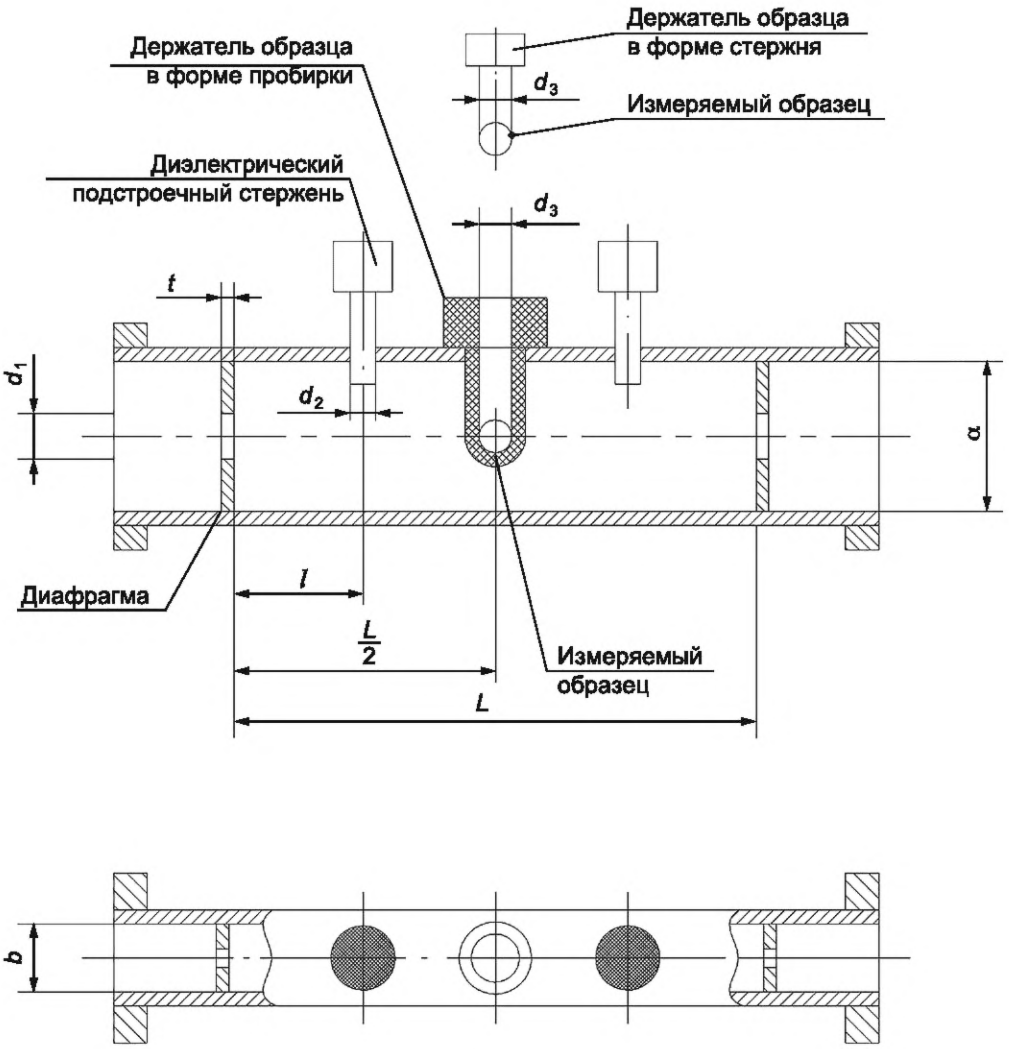

Рисунок 2

Таблица 1

Размеры в миллиметрах

Обозначение размеров	В диапазоне частот, МГц		
	3000 ± 100	9500 ± 500	30000 ± 1000
L	136	129	82
d_1	10	6	2,4
d_2	4	3	1,5
d_3	3	2	1,0
t	1	0,5	0,5
α	72	23	7,2
b	10	10	3,4
l	34	32	17,0

Допуски на размеры должны соответствовать установленным в эксплуатационной документации на измерительную установку.

5.9 Индикатором должен быть микроамперметр постоянного тока класса точности не ниже 1,0 по ГОСТ 8711 с пределами измерения от 0 до 10 мкА или цифровой вольтметр постоянного напряжения класса точности не ниже 0,1 с младшим разрядом «сотни мкВ». Допускается применение других индикаторов класса точности не ниже 1,0.

5.10 Погрешность частотомера не должна выходить за пределы ±0,1 %.

5.11 Направленный ответвитель и частотомер могут быть исключены из схемы, приведенной на рисунке 1, если генератор СВЧ обеспечивает установку частоты и ее контроль с погрешностью, находящейся в пределах ±0,1 %.

5.12 Электромагнит должен состоять из магнитопровода, изготовленного из стали 10895 или 20895 по ГОСТ 11036, и двух катушек, расположенных на полюсных наконечниках.

Резонатор следует устанавливать в зазоре магнитопроводов таким образом, чтобы направление магнитного поля было перпендикулярно широкой стенке резонатора.

Для получения достаточно малой неоднородности магнитного поля отношение диаметра полюса к длине зазора должно быть не менее трех.

Напряженность магнитного поля в зазоре электромагнита должна плавно регулироваться в пределах: от $30 \cdot 10^3$ до $150 \cdot 10^3$ А/м в диапазоне частот (3000 ± 100) МГц; от $150 \cdot 10^3$ до $350 \cdot 10^3$ А/м в диапазоне частот (9500 ± 500) МГц; от $500 \cdot 10^3$ до $1200 \cdot 10^3$ А/м в диапазоне частот (30000 ± 1000) МГц.

5.13 Стабилизатор постоянного тока, питающий катушки электромагнита, должен обеспечивать напряженность магнитного поля в соответствии с 5.12.

Нестабильность тока стабилизатора в течение 10 мин работы не должна выходить за пределы $\pm 10^4$.

5.14 Измеритель магнитной индукции должен обеспечивать измерение магнитной индукции постоянных магнитных полей и приращение магнитной индукции в диапазоне не более 2000 мТл.

Погрешность измерения магнитной индукции, %, не должна выходить за пределы

$$\pm\left[1+0{,}1\left(\frac{B_n}{B}-1\right)\right],$$

где B_n — верхняя граница диапазона, на котором проводят измерение магнитной индукции, мТл;

B — измеренное значение магнитной индукции, мТл.

Погрешность измерения приращений магнитной индукции, %, не должна выходить за пределы

$$\pm\left[2+0{,}05\left(\frac{0{,}1B_n}{\Delta B}-1\right)\right],$$

где ΔB — измеренное значение приращения магнитной индукции, мТл.

6 Требования к образцам

6.1 Образцы должны иметь форму сферы. Диаметр образца сфер d, мм, должен удовлетворять следующему условию:

$$d \le 0{,}385 \sqrt[3]{V_p \frac{(\Delta H)^2}{H_p \cdot M_s}}, \quad (1)$$

где V_p — объем резонатора по 5.7, мм^3;

ΔH — ширина кривой ФМР, А/м;

H_p — напряженность магнитного поля при ФМР, А/м;

M_s — намагниченность насыщения образца, А/м.

При этом, чтобы обеспечить достаточно малое возмущение резонатора, ослабление, вносимое образцом, должно удовлетворять следующему условию:

$$\alpha_0 - \alpha_p \le 20\lg\left(1 + 0{,}06 \cdot Q_0 \cdot \frac{\Delta H}{H_p}\right), \quad (2)$$

где α_0 — начальное ослабление поляризационного аттенюатора, дБ;

α_p — ослабление поляризационного аттенюатора при ФМР, дБ;

Q_0 — добротность измерительного резонатора.

Если условие (2) не соблюдается, то диаметр образца должен быть уменьшен.

Шероховатость поверхности не более 2 мкм по ГОСТ 2789.

Конкретные размеры образцов, допускаемые отклонения от размера и шероховатость поверхности должны соответствовать установленным в ТУ на конкретные изделия из ферритов.

6.2 Относительное отклонение от круглости образца в форме сферы не должно выходить за пределы ±5 %. Относительное отклонение от круглости Δ, %, определяют по формуле

$$\Delta = \frac{D_{макс} - D_{мин}}{D_{мин}} \cdot 100, \quad (3)$$

где D_{max}, D_{min} — максимальное и минимальное значения диаметров образца, мм.

6.3 Погрешность измерения размеров образцов не должна выходить за пределы ±4 мкм.

6.4 Контроль отклонения от круглости и изотропности образца можно осуществлять при измерении ширины кривой ФМР путем вращения образца вокруг оси держателя.

7 Подготовка к измерениям

7.1 Все приборы и элементы, приведенные на рисунке 1, применяют в соответствии с их эксплуатационной документацией.

7.2 Образцы и держатель образца перед измерением протирают этиловым спиртом по ГОСТ Р 55878 и просушивают в течение 10 мин.

7.3 Держатель образца помещают в резонатор, на генераторе СВЧ устанавливают режим непрерывной генерации. На поляризационном аттенюаторе устанавливают ослабление α'_0, равное 20 дБ.

7.4 Изменяя частоту генератора СВЧ и регулируя диэлектрический подстроечный стержень измерительного резонатора, устанавливают максимальное значение сигнала по прибору индикаторного блока. С помощью поглощающего аттенюатора устанавливают значение сигнала, равное 100 делениям.

8 Проведение измерений

8.1 В держатель устанавливают образец, подготовленный для измерения по 7.2.

8.2 Регулируя ток в электромагните, по минимальному показанию прибора индикаторного блока устанавливают напряженность постоянного магнитного поля, равную резонансной.

8.3 С помощью поляризационного аттенюатора повторно устанавливают показание по шкале прибора индикаторного блока, равное 100 делениям.

8.4 По шкале поляризационного аттенюатора отсчитывают ослабление при резонансе α'_p.

8.5 Образец извлекают из держателя. В зазоре электромагнита плавной регулировкой устанавливают минимальное значение напряженности постоянного магнитного поля.

8.6 На поляризационном аттенюаторе устанавливают начальное ослабление α_0, равное:

- 5 дБ, если $\alpha'_0 - \alpha'_p < 5$ дБ;
- 10 дБ, если 5 дБ $\le \alpha'_0 - \alpha'_p < 10$ дБ;
- 15 дБ, если 10 дБ $\le \alpha'_0 - \alpha'_p < 15$ дБ;
- 20 дБ, если 15 дБ $\le \alpha'_0 - \alpha'_p < 20$ дБ.

8.7 Повторяют операции, указанные в 7.4, 8.1—8.3.

8.8 По шкале поляризационного аттенюатора отсчитывают ослабление при резонансе α_p.

8.9 По измерителю магнитной индукции определяют напряженность магнитного поля при резонансе H_p.

8.10 Ослабление, вносимое поляризационным аттенюатором, $\alpha_{0,5}$, дБ, соответствующее половине резонансного поглощения, определяют по формуле

$$\alpha_{0,5} = \alpha_0 + 10\lg 2 - 10\lg\left(10^{\frac{\alpha_0 - \alpha_p}{10}} + 1\right), \quad (4)$$

где α_0 — начальное ослабление по 8.6, дБ;

α_p — ослабление при резонансе по 8.8, дБ.

8.11 По шкале поляризационного аттенюатора устанавливают ослабление, равное $\alpha_{0,5}$.

8.12 Уменьшают напряженность постоянного магнитного поля электромагнита до получения на приборе индикаторного блока показаний, равных 100 делениям. По измерителю магнитной индукции отсчитывают напряженность магнитного поля H_1.

8.13 Увеличивают напряженность постоянного магнитного поля электромагнита до получения на приборе индикаторного блока показаний, равных 100 делениям на другой ветви резонансной кривой. По измерителю магнитной индукции отсчитывают напряженность магнитного поля H_2.

8.14 По частотомеру отсчитывают частоту f_0.

9 Обработка результатов измерений

9.1 Ширину кривой ФМР ΔH, А/м, определяют по формуле

$$\Delta H = H_2 - H_1, \quad (5)$$

где H_1, H_2 — напряженность магнитного поля по 8.12 и 8.13 соответственно, А/м.

9.2 Эффективный коэффициент Ланде $g_{эф}$ определяют по формуле

$$g_{эф} = \frac{f_0}{\gamma_{эф} \cdot H_p}, \quad (6)$$

где f_0 — частота по 8.14, МГц;

H_p — напряженность магнитного поля при резонансе по 8.9, А/м;

$\gamma_{эф}$ — коэффициент эффективного гиромагнитного отношения, равный $1{,}765 \cdot 10^{-2} \frac{\text{МГц} \cdot \text{м}}{\text{А}}$.

10 Показатели точности измерений

10.1 Погрешность измерения ширины кривой ФМР с установленной вероятностью 0,95 находится в интервале:

- $\pm\left(5 + \frac{4 \cdot 10^3}{\Delta H}\right)\%$ — в диапазоне частот (3000 ± 100) МГц;
- $\pm\left(5 + \frac{5 \cdot 10^3}{\Delta H}\right)\%$ — в диапазоне частот (9500 ± 500) МГц;
- $\pm\left(8 + \frac{2{,}5 \cdot 10^3}{\Delta H}\right)\%$ — в диапазоне частот (30000 ± 1000) МГц,

где ΔH — ширина кривой ФМР, А/м.

10.2 Погрешность измерения эффективного коэффициента Ланде, %, с установленной вероятностью 0,95 находится в интервале $\pm\left(2 + 4\frac{\Delta H}{H_p}\right)$.

10.3 Расчет погрешности измерения ширины кривой ФМР и эффективного коэффициента Ланде приведен в приложении А.

11 Требования безопасности

11.1 Установка для измерения ширины кривой ФМР должна соответствовать требованиям безопасности, установленным ГОСТ 22261.

11.2 При проведении измерений на установке для измерения ширины кривой ФМР и эффективного коэффициента Ланде необходимо соблюдать указания мер безопасности, установленные эксплуатационной документацией на применяемые приборы и действующей на предприятии документацией по охране труда и технике безопасности.

Приложение А
(справочное)

Расчет погрешности измерения ширины кривой ФМР и эффективного коэффициента Ланде

А.1 Погрешность измерения ширины кривой ФМР $\delta_{\Delta H}$, %, вычисляют по формуле

$$\delta_{\Delta H} = \pm \left[2\sqrt{A_1^2\left(\sigma_1^2+\sigma_2^2+\sigma_3^2\right)+A_2^2\left(2\sigma_1^2+\sigma_2^2+2\sigma_3^2\right)+\left(A_2-A_1\right)^2\left(\sigma_1^2+\sigma_3^2\right)+} \right.$$
$$\left. +A_2\left(\delta_4+\delta_5+\delta_6\right)-A_1\left(\delta_7+\delta_8+\delta_6\right)+\delta_9 \right], \quad (A.1)$$

где 2 — 0,95-я квантиль нормированной нормальной функции распределения;

A_1, A_2 — коэффициенты влияния частных погрешностей на значение погрешности $\delta_{\Delta H}$. Значения A_1, A_2 определяют по графику на рисунке А.1.

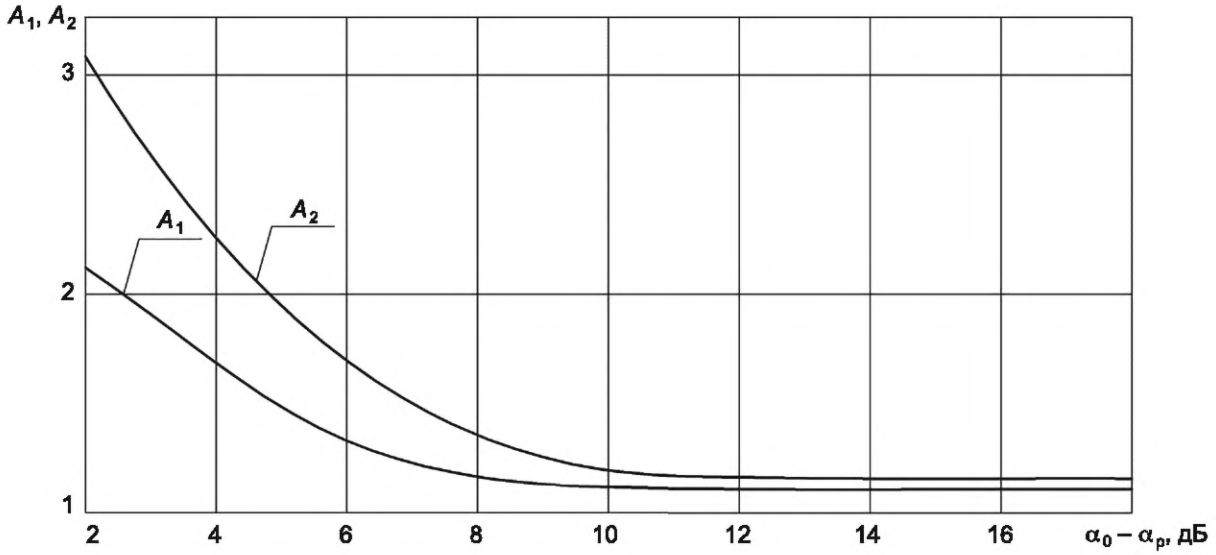

Рисунок А.1 — Зависимость коэффициентов частных погрешностей A_1 (при резонансе) и A_2 (на половинном уровне) от разности ослаблений $\alpha_0 - \alpha_p$

σ_1 — среднее квадратическое отклонение погрешности за счет нестабильности мощности генератора, %, вычисляемое по формуле

$$\sigma_1 = \frac{\left(10^{\frac{\delta_1}{10}}-1\right)t_1 \cdot 100}{3t_2}, \quad (A.2)$$

где δ_1 — нестабильность уровня выходной мощности генератора СВЧ за нормированное время t_2 в соответствии с 5.2, дБ;

t_1 — время одного измерения, мин;

3 — 0,997-я квантиль нормированной нормальной функции распределения;

σ_2 — среднее квадратическое отклонение погрешности за счет неточности отсчета ослабления по шкале поляризационного аттенюатора, %, вычисляемое по формуле

$$\sigma_2 = \frac{\left(10^{\frac{0,25\alpha_1}{10}} - 1\right) \cdot 100}{\sqrt{3}}, \quad (A.3)$$

где α_1 — цена деления шкалы поляризационного аттенюатора в интервале от 10 до 20 дБ;

$\sqrt{3}$ — 0,997-я квантиль нормированной равномерной функции распределения;

σ_3 — среднее квадратическое отклонение погрешности за счет неточности установки на приборе индикаторного блока уровня сигнала, соответствующего 100 делениям прибора, %, вычисляемое по формуле

$$\sigma_3 = \frac{0,5\alpha_3}{3}, \quad (A.4)$$

где α_3 — класс точности прибора индикаторного блока по ГОСТ 8711;

δ_4 — максимальное значение погрешности за счет рассогласования при напряженности постоянного магнитного поля, равной H_1 или H_2 по 8.12, 8.13, %, вычисляемое по формуле

$$\delta_4 = \sqrt{\Gamma_2^2 \cdot \Gamma_3^2 + \Gamma_2^2 \cdot \Gamma_4^2} \cdot 100, \quad (A.5)$$

где Γ_2 — модуль коэффициента отражения измерительного резонатора с образцом на половинном уровне; значение Γ_2 определяют по графику на рисунке А.2.

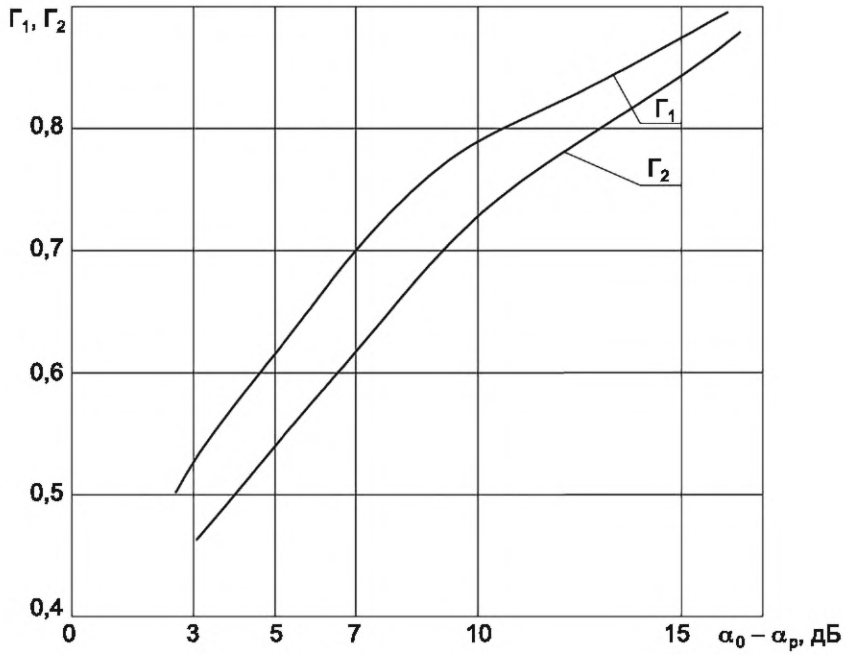

Рисунок А.2 — Зависимость модулей коэффициентов отражения измерительного резонатора Γ_1 (при резонансе) и Γ_2 (на половинном уровне) от разности ослаблений $\alpha_0 - \alpha_p$

Γ_3, Γ_4 — модули коэффициентов отражения развязывающих устройств 3 и 4;

δ_5 — погрешность установки шкалы поляризационного аттенюатора на уровне $\alpha_{0,5}$ по 8.11, дБ, вычисляемая по формуле

$$\delta_5 = \left(10^{\frac{\delta_5'}{10}} - 1\right) \cdot 100, \quad (A.6)$$

где δ_5' — погрешность установки шкалы поляризационного аттенюатора на уровне $\alpha_{0,5}$ по 8.11, дБ, вычисляемая по формуле

$$\delta'_5 = 0{,}01 + 0{,}005\alpha_{0,5}, \quad (A.7)$$

δ_6 — погрешность установки шкалы поляризационного аттенюатора на уровне α_0 по 8.6, %, вычисляемая по формуле

$$\delta_6 = \left(10^{\frac{\delta'_6}{10}} - 1\right) \cdot 100, \quad (A.8)$$

где δ'_6 — погрешность установки шкалы поляризационного аттенюатора на уровне α_0 по 8.6, дБ, вычисляемая по формуле

$$\delta'_6 = 0{,}01 + 0{,}005\alpha_0, \quad (A.9)$$

δ_7 — максимальное значение погрешности за счет рассогласования при напряженности постоянного магнитного поля, равной $H_р$, %, вычисляемое по формуле

$$\delta_7 = \sqrt{\Gamma_1^2 \cdot \Gamma_3^2 + \Gamma_1^2 \cdot \Gamma_4^2} \cdot 100, \quad (A.10)$$

где Γ_1 — модуль коэффициента отражения измерительного резонатора с образцом при резонансе, значение Γ_1 определяют по графику на рисунке А.2;

δ_8 — погрешность установки шкалы поляризационного аттенюатора на уровне $\alpha_р$ по 8.8, %, вычисляемая по формуле

$$\delta_8 = \left(10^{\frac{\delta'_8}{10}} - 1\right) \cdot 100, \quad (A.11)$$

где δ'_8 — погрешность установки шкалы поляризационного аттенюатора на уровне $\alpha_р$ по 8.8, дБ, вычисляемая по формуле

$$\delta'_8 = 0{,}01 + 0{,}005\alpha_р, \quad (A.12)$$

δ_9 — относительная погрешность измерения приращения напряженности магнитного поля при помощи измерителя магнитной индукции, %, вычисляемая по формуле

$$\delta_9 = \left[2 + 0{,}5\left(\frac{0{,}1H_п}{\Delta H} - 1\right)\right], \quad (A.13)$$

где ΔH — ширина кривой ФМР, А/м;

$H_п$ — наибольшее значение напряженности магнитного поля, измеряемое на соответствующем поддиапазоне измерителя магнитной индукции, А/м.

А.2 Погрешность измерения эффективного коэффициента Ланде $\delta(g_{эф})$, %, вычисляемая по формуле

$$\delta(g_{эф}) = \delta_{10} + \delta_{11}, \quad (A.14)$$

где δ_{10} — погрешность установки магнитного поля $H_р$, %, вычисляемая по формуле

$$\delta_{10} = \frac{4\Delta H}{H_р}, \quad (A.15)$$

где $H_р$ — напряженность магнитного поля при резонансе по 8.9, А/м;

δ_{11} — погрешность измерения напряженности магнитного поля при помощи измерителя магнитной индукции, %, вычисляемая по формуле

$$\delta_{11} = \left[1 + 0{,}1\left(\frac{H_п}{H_р} - 1\right)\right]. \quad (A.16)$$

УДК 621.318.13.029.64.083:006.354 ОКС 29.100.10

Ключевые слова: ферриты сверхвысокочастотные, ширина кривой, ферромагнитный резонанс, эффективный коэффициент Ланде, метод измерения

Редактор *Л.С. Зимилова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *И.А. Королева*
Компьютерная верстка *И.Ю. Литовкиной*

Сдано в набор 06.05.2024. Подписано в печать 15.05.2024. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 1,86. Уч-изд. л. 1,58.

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