

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R SM.1268-4
(11/2017)

Метод измерения максимальной девиации частоты излучений ЧМ-радиовещания на станциях радиоконтроля

Серия SM
Управление использованием спектра



Предисловие

Роль Сектора радиосвязи заключается в обеспечении рационального, справедливого, эффективного и экономичного использования радиочастотного спектра всеми службами радиосвязи, включая спутниковые службы, и проведении в неограниченном частотном диапазоне исследований, на основании которых принимаются Рекомендации.

Всемирные и региональные конференции радиосвязи и ассамблеи радиосвязи при поддержке исследовательских комиссий выполняют регламентарную и политическую функции Сектора радиосвязи.

Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)

Политика МСЭ-R в области ПИС излагается в общей патентной политике МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК, упоминаемой в Приложении 1 к Резолюции МСЭ-R 1. Формы, которые владельцам патентов следует использовать для представления патентных заявлений и деклараций о лицензировании, представлены по адресу <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>, где также содержатся Руководящие принципы по выполнению общей патентной политики МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК и база данных патентной информации МСЭ-R.

Серии Рекомендаций МСЭ-R

(Представлены также в онлайн-форме по адресу <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>)

Серия	Название
BO	Спутниковое радиовещание
BR	Запись для производства, архивирования и воспроизведения; пленки для телевидения
BS	Радиовещательная служба (звуковая)
BT	Радиовещательная служба (телевизионная)
F	Фиксированная служба
M	Подвижные службы, служба радиоопределения, любительская служба и относящиеся к ним спутниковые службы
P	Распространение радиоволн
RA	Радиоастрономия
RS	Системы дистанционного зондирования
S	Фиксированная спутниковая служба
SA	Космические применения и метеорология
SF	Совместное использование частот и координация между системами фиксированной спутниковой службы и фиксированной службы
SM	Управление использованием спектра
SNG	Спутниковый сбор новостей
TF	Передача сигналов времени и эталонных частот
V	Словарь и связанные с ним вопросы

Примечание. – Настоящая Рекомендация МСЭ-R утверждена на английском языке в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции МСЭ-R 1.

Электронная публикация
Женева, 2018 г.

© ITU 2018

Все права сохранены. Ни одна из частей данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких бы то ни было средств без предварительного письменного разрешения МСЭ.

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R SM.1268-4

**Метод измерения максимальной девиации частоты излучений
ЧМ-радиовещания на станциях радиоконтроля**

(1997-1999-2011-2014-2017)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации описаны методы измерения девиации и мультиплексной мощности станций ЧМ-радиовещания в ходе обычной программы работы и проверяется соответствие условиям, которые предполагаются согласно процедурам планирования радиовещательных сетей.

Ключевые слова

ЧМ-радиовещание, девиация частоты, измерение, мощность модуляции, радиоконтроль.

Соответствующие Рекомендации, Отчеты МСЭ

Рекомендация МСЭ-R BS.412.

ПРИМЕЧАНИЕ. – В каждом случае следует использовать последнее по времени издание действующих Рекомендации/Отчета.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a)* что планируемые параметры сетей ЧМ-радиовещания представлены в Рекомендации МСЭ-R BS.412;
- b)* что защитные отношения для планирования частот радиовещательных передатчиков основаны на максимальной девиации частоты в размере ± 75 кГц (или ± 50 кГц) и максимальной мощности модулирующего сигнала, не превышающей мощность синусоидального сигнала, который приводит к девиации частоты в размере ± 19 кГц;
- c)* что различные радиовещательные передачи превышают максимальную девиацию частоты и/или мощность модуляции вследствие разных типов программ, дополнительных компонентов сложного сигнала (например, система передачи данных по радио (RDS)) и сжатия звука;
- d)* что требуется ограничить пиковую девиацию частоты и мощность модуляции в связи с взаимной защитой планирования радиовещания и воздушной радионавигационной службы в полосе частот выше 108 МГц;
- e)* что радиоконтроль радиовещательных излучений необходим для того, чтобы при передачах не превышались максимальная девиация частоты и максимальная мощность модуляции;
- f)* что необходимы общие процедуры измерений, с тем чтобы достичь взаимного признания результатов измерений заинтересованными сторонами, например специалистами по управлению использованием частот, службами радиоконтроля и радиовещательными организациями;
- g)* что количество радиовещательных станций, использующих дополнительные сигналы, такие как сигналы RDS и сигналы высокоскоростной передачи данных, возрастает, и эти системы очень чувствительны к помехам, создаваемым соседними каналами,

признавая,

- a) что метод, описанный в Приложении 1, является просто проверкой типа "годен – не годен", основанной на спектральной маске, которая не может заменить точные измерения девиации частоты;
- b) что метод, описанный в Приложении 1, не может применяться к передачам с пиковой девиацией в размере 50 кГц в связи с тем, что не имеется соответствующей спектральной маски;
- c) что метод, описанный в Приложении 2, также может применяться к передачам с пиковой девиацией в размере 50 кГц,

рекомендует

- 1 использовать метод, описанный в Приложении 1, в качестве контрольной проверки, показывающей, превышает ли девиация частоты станции ЧМ-радиовещания установленные пределы;
- 2 использовать метод, описанный в Приложении 2, в тех случаях, когда требуются значения девиации и мощности модуляции.

Приложение 1

Метод, основанный на простой спектральной маске, для указания превышения пределов девиации частоты

1 Потребности

Для такого измерения могут применяться любой анализатор спектра и любой измерительный приемник с возможностями анализатора.

2 Соединение передатчика и анализатора спектра

С помощью измерительной антенны.

3 Условия измерений

- во время трех отсчетов измерений, каждый продолжительностью по 5 минут, оцениваемый передатчик следует модулировать с использованием типичного для этого конкретного передатчика программного материала. Могут проводиться дополнительные измерения для обеспечения того, чтобы программный материал был действительно типичным;
- не должны присутствовать импульсные помехи (например, помехи от источника зажигания);
- значение сигнал/помеха + шум должно составлять ≥ 50 дБ.

4 Корректировки анализатора спектра

Анализатор спектра следует корректировать следующим образом:

- центральная частота (CF) = f_0 (несущая частота передатчика);
- RBW 10 кГц (фильтр ПЧ);
- VBW 10 кГц (видеофильтр);

- интервал – 340 кГц;
- время развертки – 340 мс (1 мс/кГц);
- режим удержания максимального значения;
- ослабление на входе зависит от уровня на входе.

Настройки анализаторов процессора цифровых сигналов (DSP) будут различаться, но должны обеспечивать равнозначные результаты.

5 Инструкция по измерениям

- a) Записывать сигнал передатчика в течение периода более 5 минут.
- b) Наблюдение за анализатором и акустический контроль на приемнике следует использовать как средство для обеспечения того, чтобы не оценивались результаты измерений, которые были искажены импульсной помехой. По этой же причине измерение повторяется дважды.
- c) Совместить графическое измерение с маской, как описано в пункте 7.
- d) Центр оси x маски должен соответствовать центральной частоте (f_0).
- e) Скорректировать эталонный уровень таким образом, чтобы максимальная амплитуда измерения составляла 0 дБ.
- f) Определить, находятся ли результаты измерения в пределах маски.

6 Пределы

Если какое-либо из измерений спектра выходит за пределы маски, считается, что девиация приемника не соответствует требованиям.

7 Построение маски

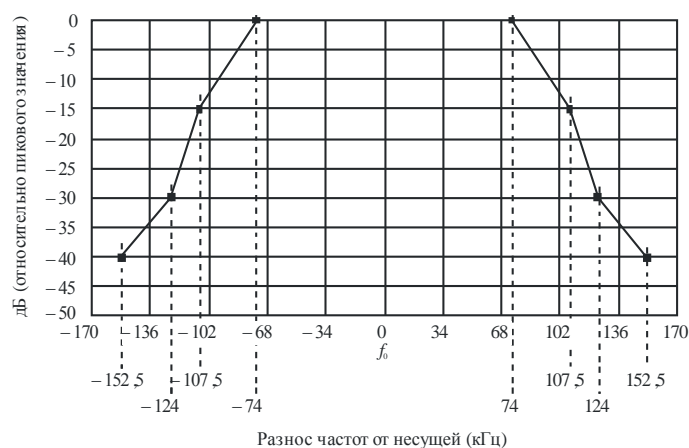
- a) Калибровка маски должна соответствовать настройкам анализатора.
- b) Центр оси x совмещен с f_0 .
- c) Верхняя часть оси y соответствует эталонному уровню 0 дБ.
- d) Координаты соединяются прямыми линиями.

Ось x (кГц)	Ось y (дБ)
$f_0 - 74$	0
$f_0 - 107,5$	-15
$f_0 - 124$	-30
$f_0 - 152,5$	-40

Ось x (кГц)	Ось y (дБ)
$f_0 + 74$	0
$f_0 + 107,5$	-15
$f_0 + 124$	-30
$f_0 + 152,5$	-40

Графическое изображение таблицы показано на рисунке 1.

РИСУНОК 1
Форма маски



SM.1268-01

Приложение 2

Метод измерения максимальной девиации частоты излучений ЧМ-радиовещания на станциях радиоконтроля

1 Общие положения

1.1 Определения

Девиация частоты

В случае частотной модуляции девиация частоты относительно частоты немодулированной несущей f_0 .

Мгновенная девиация

В случае частотной модуляции мгновенная девиация $\Delta f(t)$ представляет собой разницу между мгновенным значением частоты в любое заданное время (t) и частотой немодулированной несущей (f_0). Мгновенное значение частоты равно

$$f(t) = f_0 + \Delta f(t).$$

Пиковая девиация

В случае частотной модуляции пиковая девиация Δf представляет собой абсолютное максимальное значение разницы между частотой немодулированной несущей (f_0) и мгновенным значением частоты $f(t)$.

Сложный сигнал

Этот сигнал включает всю стереоинформацию (в том числе пилотный тональный сигнал) и может также включать радиосигнал трафика, сигнал RDS и другие дополнительные сигналы.

Мощность модуляции (известная также как мультиплексная мощность)

Относительная мощность, усредненная по 60 с модулирующего сигнала по следующей формуле:

$$\text{мощность модуляции} = 10 \log \left\{ (2/60 \text{ s}) \int (\Delta f(t)/19 \text{ кГц})^2 dt \right\} \quad \text{дБс.}$$

0 дБс

Средняя мощность сигнала, эквивалентная мощности синусоидального сигнала, который приводит к пиковой девиации в размере ± 19 кГц.

1.2 Внедрение

Существуют различные причины, например сокращение времени, необходимого для измерений, по которым представляется разумным проводить измерения девиации частоты на местах, а не непосредственно на выходе приемника. Для того чтобы избегать погрешности измерений, требуется, чтобы измеряемый сигнал соответствовал характеристикам, перечисленным ниже, а также чтобы измерительное оборудование соответствовало требованиям, изложенным в пункте 3.

1.3 Пределы

Защитные отношения, указанные в Рекомендации МСЭ-R BS.412 для планирования передатчиков ЧМ-звукового радиовещания, применяются при условии, что не превышает пиковая девиация в размере ± 75 кГц и что средняя мощность модуляции в любом интервале времени в 60 с не превышает среднюю мощность модуляции одного синусоидального сигнала, который приводит к пиковой девиации в размере ± 19 кГц.

1.4 Время наблюдения

Следует, чтобы время наблюдения длилось не менее 15 минут. В некоторых случаях может потребоваться час или даже больше, чтобы обеспечить измерение программного материала, который приводит к максимальным значениям девиации частоты и мощности модуляции.

2 Необходимые условия для измерений

2.1 Требуемое отношение уровня полезного и мешающего РЧ-сигналов E_n/E_s в измерительном оборудовании

Такое отношение зависит от характеристик оборудования, используемого для измерений. Для обеспечения требуемой точности, определенной в пунктах 3.1 и 3.2, уровень нежелательных излучений должен быть ниже значений, приведенных в таблицах 1 и 2.

Измерительные приемники, как правило, имеют фильтры Гаусса или каналные фильтры. В практических условиях фильтры Гаусса могут меньше подходить для измерений пиковой девиации, чем каналные фильтры.

а) Измерительные приемники с ПЧ-фильтрами Гаусса

ТАБЛИЦА 1

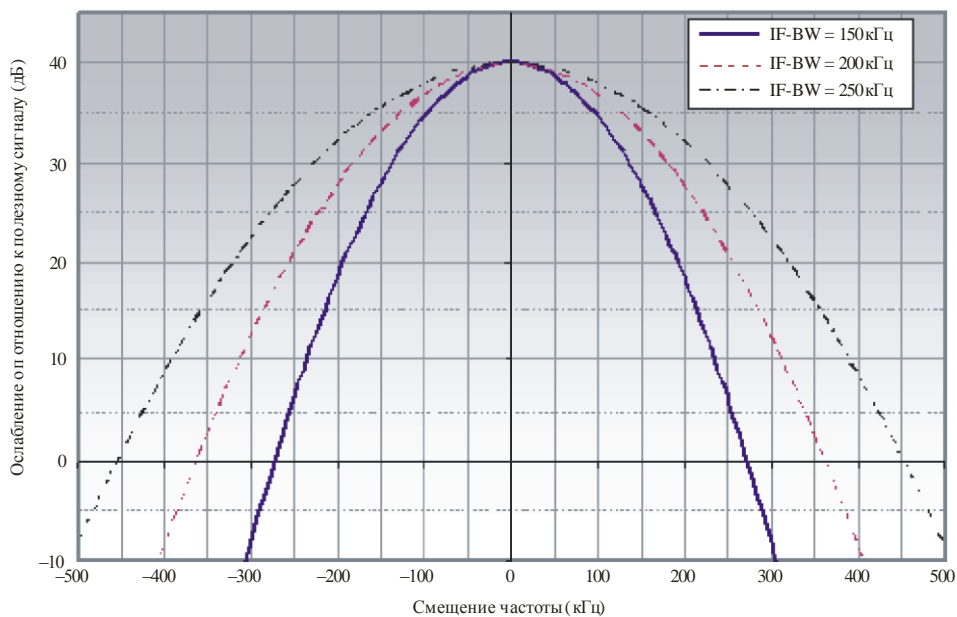
Разница частот $\pm \Delta f$ (кГц)	Необходимое защитное отношение (дБ)
0	40
X	$40 - 20 * \log \left(e^{-\ln \sqrt{2} * \left(\frac{2X}{B} \right)^2} \right)$

В таблице 1 B означает номинальную ширину полосы 3 дБ измерительного фильтра в килогерцах.

На представленной ниже диаграмме показаны необходимые защитные отношения при трех примерах ширины полосы измерений.

РИСУНОК 2

Необходимые защитные отношения для приемников с фильтрами Гаусса



SM.1268-02

b) Измерительные приемники с канальными фильтрами

ТАБЛИЦА 2

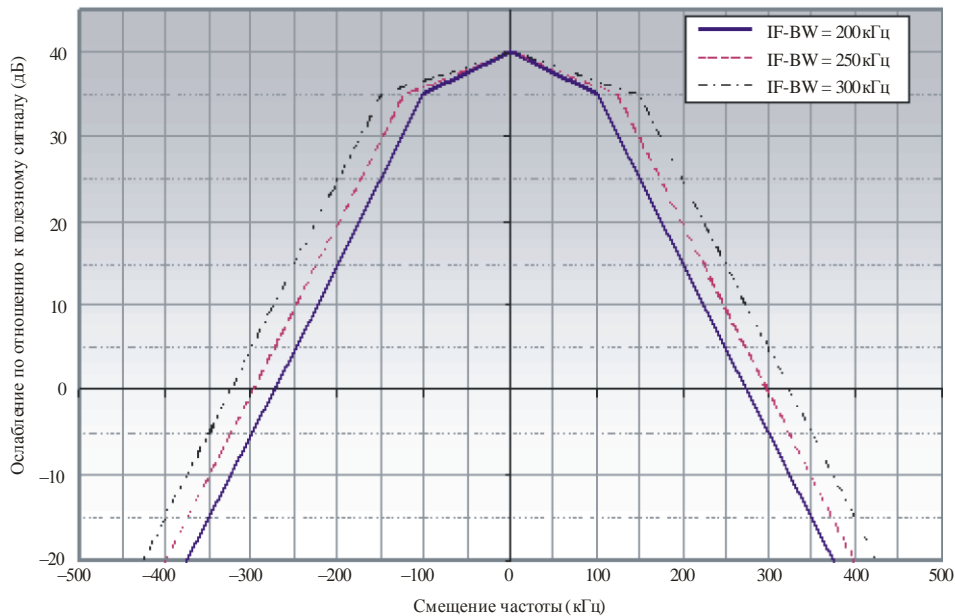
Разница частот $\pm \Delta f$ (кГц)	Необходимое защитное отношение (дБ)
0	40
$B/2$	35
X (для $X > B/2$)	$35 - 0,2*(X - B/2)$

В таблице 2 B означает номинальную ширину полосы 3 дБ измерительного фильтра в килогерцах. Применяется линейная интерполяция между дискретными значениями.

На представленной ниже диаграмме показаны необходимые защитные отношения при трех примерах ширины полосы измерений.

РИСУНОК 3

Необходимые защитные отношения для приемников с канальными фильтрами



SM.1268-03

Важно соблюдать применимые защитные отношения, которые приводятся выше, поскольку даже незначительное увеличение уровней мешающего сигнала приведет к существенным ошибкам в измерениях.

2.2 Многолучевое распространение и искажение

Поступающие с задержкой сигналы от полезных передатчиков, а также сигналы от других передатчиков в совмещенном канале или соседнем канале должны быть достаточно слабыми, для того чтобы на результаты измерений не влияло многолучевое распространение. В случае только многолучевого приема считается достаточным, если произведение времени задержки и амплитудного коэффициента в процентах равно

$$(U_r/U_d) \cdot \tau < 64\% \cdot \text{мкс}, \quad (1)$$

где:

U_r : амплитуда отраженного сигнала;

U_d : амплитуда прямого сигнала;

τ : временная задержка (мкс).

Более общий способ определения искажения, создаваемого как многолучевым приемом, так и сигналами других передатчиков, основан на том, что все эти компоненты приводят к некоторой амплитудной модуляции принимаемого сигнала. Такая получаемая в результате амплитудная модуляция лучше всего определяется с помощью максимального градиента зависимости РЧ-амплитуды от РЧ-частоты и называется степенью искажения. Ее значение легко измеряется с помощью рефлектометра. Соответствующее максимально допустимое значение градиента для стереофонического приема равно

$$d(U/U_d)/df < 0,4\%/кГц, \quad (2)$$

где:

U : полная амплитуда принимаемого сигнала.

Важно, чтобы степень искажения не превышала указанных выше пределов, так как даже незначительное увеличение приведет к существенным ошибкам в измерениях. Влияние отражений можно минимизировать, изменяя высоту приемной антенны. Оптимальной является высота, при которой обеспечивается максимальный уровень напряженности поля.

2.3 Уровень полезного сигнала на входе приемника

Для обеспечения достаточного значения отношения сигнал–шум на ЗЧ входной уровень полезного сигнала для приемника должен составлять не менее -47 дБм¹.

3 Характеристики подходящего измерительного оборудования

Для измерения всех пиковых значений девиации частоты оборудование должно быть способно обнаруживать девиацию, вызываемую наибольшим компонентом сигнала основной полосы или сложного сигнала.

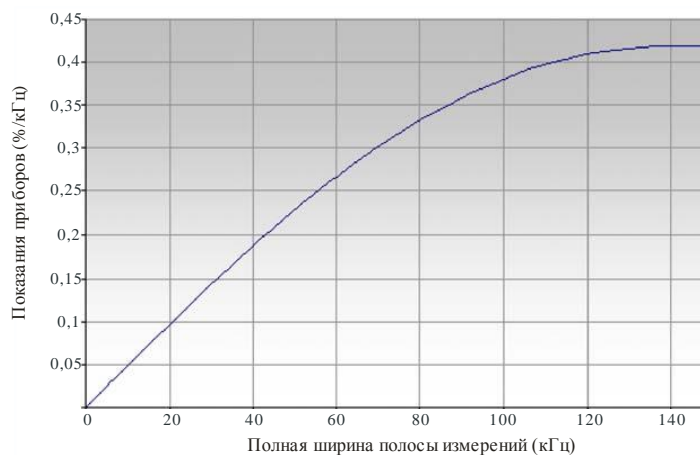
Поэтому при использовании цифрового измерительного оборудования необходимо, чтобы его частота дискретизации равнялась 200 кГц или больше, в зависимости от максимальной частоты сложного сигнала.

3.1 Измерения отражения

В связи с отсутствием направленности антенны измерения в большинстве случаев будет невозможным измерить значения напряженности поля полезного и мешающего излучений по отдельности и использовать формулу (1) для расчета степени искажения и многолучевого распространения. Более удобный способ измерения этого параметра заключается в использовании рефлектометров, которые фактически измеряют уровень амплитудной модуляции принимаемого сигнала, и в расчете степени многолучевого распространения с использованием формулы (2).

Предпочтительно, чтобы ширина полосы измерений рефлектометра составляла 150 кГц. Но большинство имеющихся рефлектометров имеют ширину полосы, которая существенно меньше. В этом случае максимально допустимая степень многолучевого распространения составляет менее 0,4%/кГц, как отмечается в пункте 2.2. На рисунке 4 показаны скорректированные значения для максимальной указанной степени искажения, в зависимости от ширины полосы измерений рефлектометра.

РИСУНОК 4



SM.1268-04

¹ Это соответствует напряженности поля около 68 дБ(мкВ/м) при использовании антенны, как рекомендуется в Рекомендации МСЭ-R BS.599, рисунок 1, кривая В (коэффициент обратного излучения 12 дБ).

3.2 Измерения девиации частоты

Используемое измерительное оборудование должно быть способно измерять девиацию в размере 100 кГц или больше. Кроме того, измерительное оборудование должно обладать такими характеристиками, при которых учитываются необходимая ширина полосы измерений, коэффициент формы фильтра и т. д., для того чтобы нелинейность и искажение не приводили к неточности, значение которой выше значения, указанного в таблице 3.

ТАБЛИЦА 3

Точность приборов для измерений девиации

Мгновенная девиация	Необходимая точность
≤ 80 кГц	± 2 кГц
> 80 кГц	$\pm 5\%$

3.3 Измерения мощности модуляции

Согласно пункту 1.1 мощность модуляции (дБо) указывается в дБо. Измерительное оборудование должно быть способно измерять мощность модуляции в диапазоне от -6 дБо до $+6$ дБо. Точность приборов должна как минимум соответствовать значениям, указанным в таблице 4.

ТАБЛИЦА 4

Точность приборов для измерений мощности модуляции

Мощность модуляции (дБо)	Необходимая точность (дБ)
< -2	$\pm 0,4$
-2 до $+2$	$\pm 0,2$
> 2	$\pm 0,4$

4 Оценка результатов

Считается нецелесообразным рассматривать появление отдельных отсчетов мгновенной девиации частоты выше 75 кГц как нарушение предельного значения девиации, поскольку:

- динамическая модуляция передатчика ЧМ-радиовещания посредством обычного программного контента может включать пики модуляции, которые появляются крайне редко, и она может не повторяться при втором измерении;
- даже когда условия измерений, указанные в пункте 2, соблюдаются, нельзя постоянно полностью избегать внешних помех.

В связи с этим и учитывая погрешность измерений при желательном уровне достоверности в 95%, можно считать, что передатчик ЧМ-радиовещания превышает предельные значения девиации, если некоторое количество отсчетов измерений превышает $\pm(75$ кГц плюс погрешность измерений). Подтвержденным практикой значением можно считать $10^{-4}\%$ (эквивалентно 10^{-6}) отсчетов измерений, превышающих девиацию в 77 кГц (см. таблицу 3).

Поскольку мощность модуляции усредняется за период в 60 с, краткие пиковые значения, включенные в программный контент или причиняемые внешними помехами, уже в значительной степени исключены. Поэтому можно считать, что передатчик ЧМ-радиовещания превышает пределы мощности модуляции, если самое высокое измеренное значение мультиплексной мощности превышает 0 дБо + погрешность измерения. Подтвержденным практикой значением можно считать 0,2 дБо, см. таблицу 4.

ПРИМЕЧАНИЕ. – В тех случаях, когда оператор сети самостоятельно контролирует соблюдение пределов, рекомендуется вычитать из предельных значений фактическую погрешность измерения измерительного приемника (75 кГц для девиации и 0,0 дБс для мультиплексной мощности). Это гарантирует соблюдение данных предельных значений, при их независимом контроле уполномоченными органами после приведенной выше оценки результатов.

5 Представление результатов измерений

5.1 Мощность модуляции

Мощность модуляции следует представлять как функцию времени за период интервала измерений. Необходимо указывать максимальную зарегистрированную величину.

5.2 Девиация частоты

Следует указывать процент отсчетов, превышающих 75 кГц + погрешность измерения, см. пункт 4.

Для более подробной информации, девиацию можно представлять с помощью гистограмм и как функцию времени. Графики девиации частоты обрабатываются следующим образом:

- разделить представляющий интерес диапазон девиации частоты (например, 150 кГц) на желаемое разрешение (например, 1 кГц), для того чтобы получить количество бинов B (в данном случае $B = 150$ бинов);
- для каждого бина подсчитать количество отсчетов, значение которых находится в пределах этого бина;
- для каждого бина x добавить значения от бина x до бина B и разделить на общее число отсчетов N . В результате будет получен график интегральной функции дополнительного распределения, приведенный на рисунке 5;
- далее, получить M пиковых значений в течение времени наблюдения девиации. M зависит от разрешающей способности носителя (устройство, экран, принтер и т. п.), на котором представляются результаты, и времени наблюдения. Время интегрирования пиковых значений – это время наблюдения, деленное на M . Подтвержденные практикой значения времени интегрирования могут составлять 1 с или 10 с. Эти M пиковых значений девиации частоты представляются как функция времени в течение интервала измерения, как показано на рисунке 6.

РИСУНОК 5

График интегральной функции дополнительного распределения девиации (гистограмма) в предположении, что погрешность измерения составляет 2 кГц

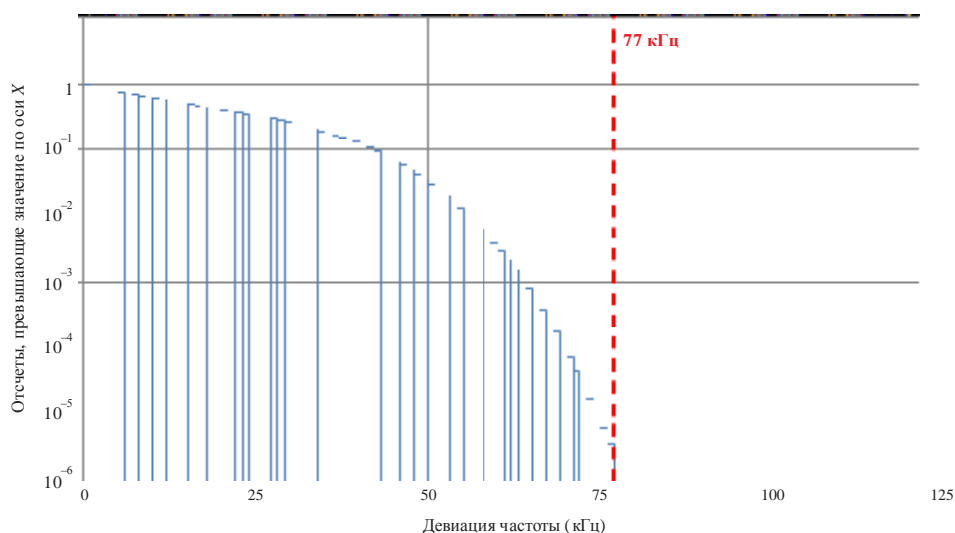
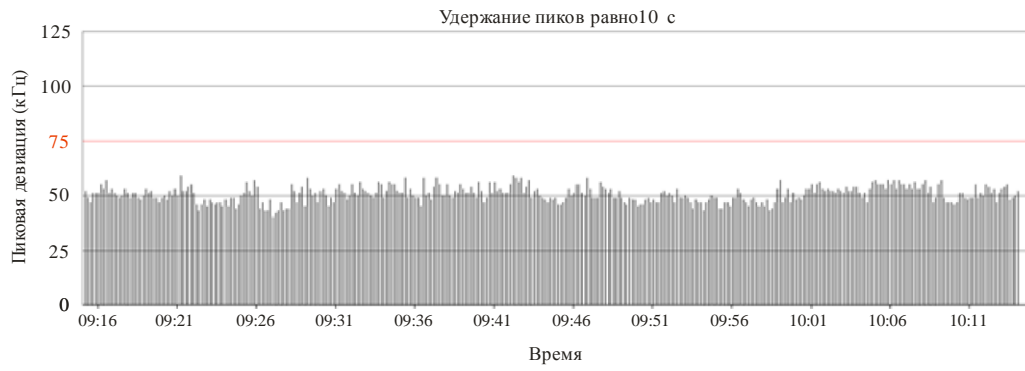


РИСУНОК 6
График девиации как функции времени



SM.1268-06