

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R SM.1792-0*

**Измерения излучений боковой полосы передатчиков
T-DAB и DVB-T для целей контроля**

(2007)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации содержится руководство по процедурам измерения, и определяются настройки для измерения излучений наземного цифрового звукового радиовещания (T-DAB) и цифрового телевизионного вещания – наземного (DVB-T), с тем чтобы они соответствовали надлежащим спектральным маскам.

Ключевые слова

Процедуры измерения, измерение излучение, T-DAB, DVB-T.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что в Рекомендации МСЭ-R BS.1660 представлены описания спектральных масок, определяющих пределы для внеполосных излучений (ВП) передатчиков T-DAB (наземного цифрового звукового радиовещания);
- b) что в Приложении 2 Заключительных актов РКР-06 содержатся описания спектральных масок, определяющих пределы для внеполосных излучений передатчиков DVB-T (цифрового телевизионного вещания – наземного);
- c) что вероятность причинения вредных помех со стороны излучений T-DAB и DVB-T соседним радиослужбам особенно высока из-за их прямоугольной формы спектра, в результате чего максимальный уровень сигнала доходит до края присвоенной полосы частот;
- d) что станции контроля должны измерять соответствие с надлежащими масками для любого передатчика T-DAB либо DVB-T, желательно непосредственно с эфира, для защиты соседних радиоканалов от вредных помех;
- e) что динамический диапазон спектроанализаторов не достаточен для измерения внеполосных излучений от таких передатчиков,

рекомендует,

1 чтобы при измерении соответствия излучений T-DAB и DVB-T надлежащим спектральным маскам, использовался метод, описанный в Приложении 1.

* В 2019 году 1-я Исследовательская комиссия по радиосвязи внесла поправки редакционного характера в настоящую Рекомендацию в соответствии с Резолюцией МСЭ-R 1.

Приложение 1

1 Спектральные маски

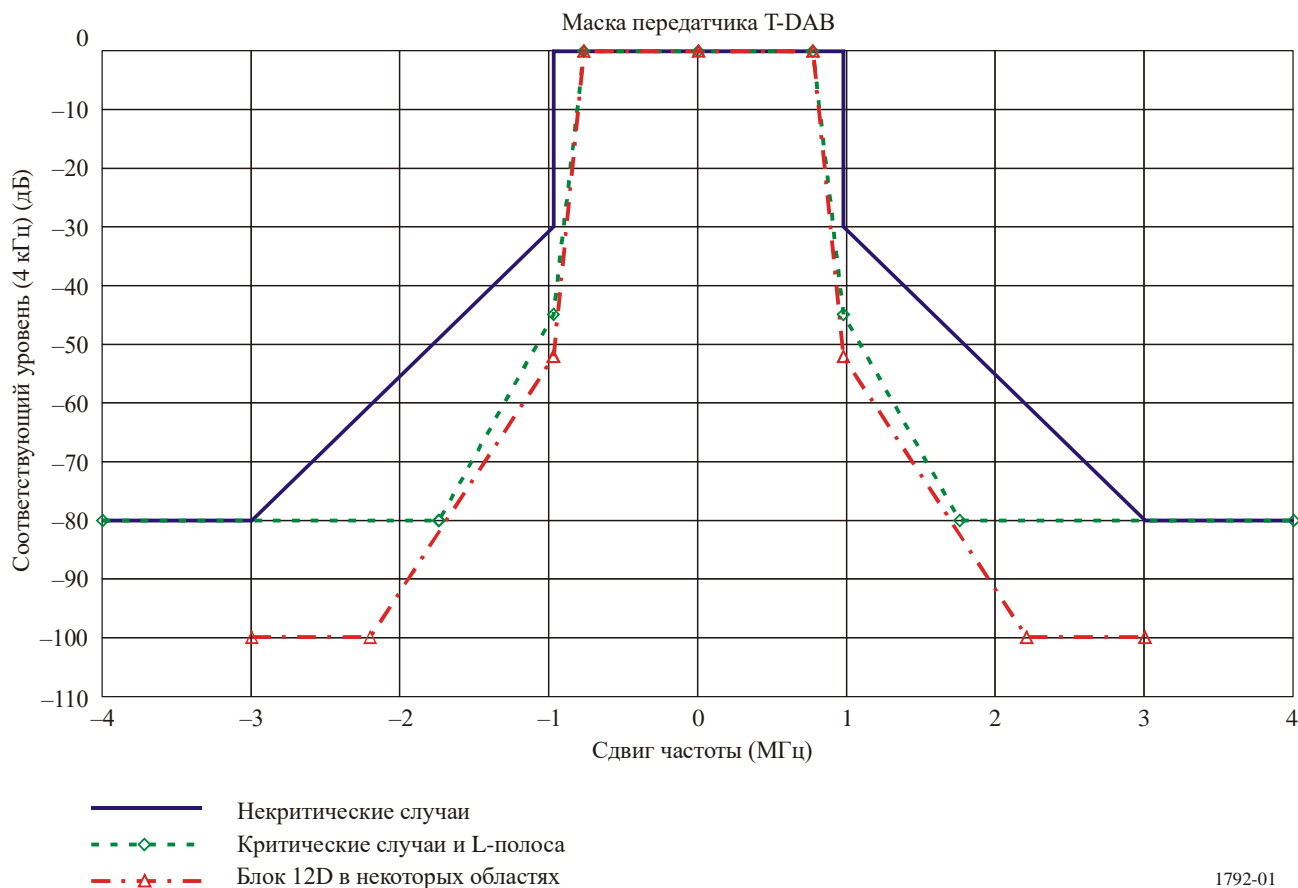
Для защиты соседних радиослужб спектральные маски определяются около основного излучения. Уровень любого внеполосного излучения и побочного излучения должен быть ниже маски.

1.1 T-DAB

Для передатчиков T-DAB в Рекомендации МСЭ-R BS.1660 устанавливаются следующие спектральные маски:

РИСУНОК 1

Внеполосные излучения от передатчиков T-DAB



1792-01

ПРИМЕЧАНИЕ. – Критическая маска должна быть использована для самого низкого и самого высокого канала в распределенной полосе частот для защиты соседних радиослужб, некритическая маска – внутри распределенной полосы частот.

Неравномерно расположенные контрольные точки частоты находятся на $\pm 0,77$ МГц, $\pm 0,97$ МГц, $\pm 1,75$ МГц и $\pm 2,2$ МГц.

Маска предполагает измерительный фильтр в 4 кГц.

1.2 DVB-T

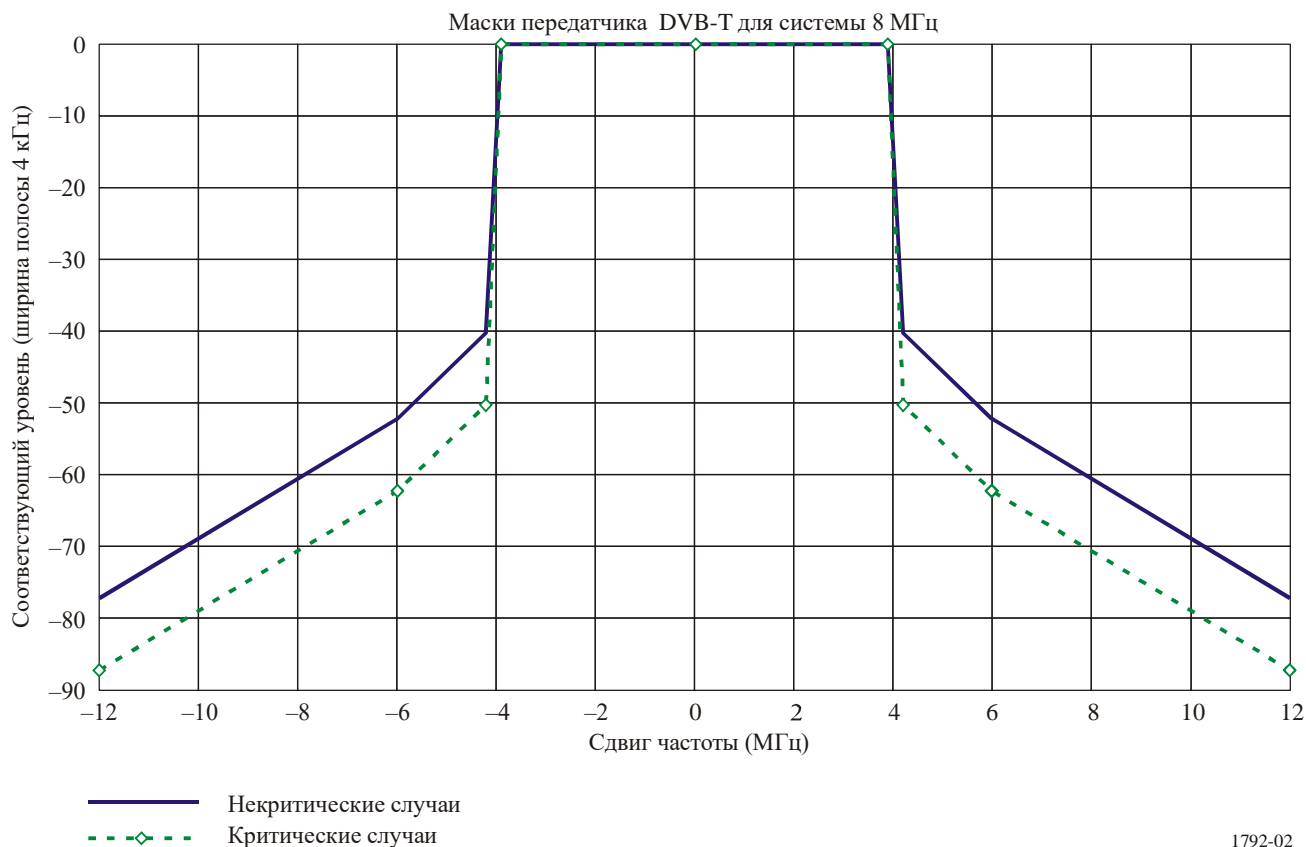
Для передатчиков DVB-T в Приложении 2 к Заключительным актам РКР-06 устанавливаются спектральные маски для систем DVB-T. В качестве примера, на рисунке 2 показана маска для канала шириной 8 МГц.

2 Измерения излучений боковой полосы от передатчиков T-DAB и DVB-T¹

2.1 В целом, как можно увидеть на рисунках 1 и 2, максимальный уровень излучений боковой полосы от передатчиков T-DAB и DVB-T может понизиться до уровня -101 дБ по сравнению с максимальной мощностью в присвоенном канале, измеренном приемником с такой же шириной полосы. Для достоверного измерения действительных излучений боковой полосы, оборудование для измерения должно иметь динамический диапазон по меньшей мере 110 дБ. Динамический диапазон современных контрольных приемников или спектроанализаторов, равный приблизительно 80 дБ, не достаточен для прямого измерения соответствия маскам.

РИСУНОК 2

Внеполосные излучения от передатчиков DVB-T 8 МГц



1792-02

ПРИМЕЧАНИЕ. – Критическая маска должна быть использована для самого низкого и самого высокого канала в распределенной полосе частот для защиты соседних радиослужб, некритическая маска – внутри распределенной полосы частот.

Неравномерно расположенные контрольные точки частоты находятся на $\pm 3,9$ МГц и $\pm 4,2$ МГц.

Маска предполагает измерительный фильтр в 4 кГц.

2.2 Принцип измерения

Для повышения динамического диапазона приемника измерения, сигнал T-DAB либо DVB-T должен быть пропущен через фильтр, подавляющий основной сигнал и проходящий область внеполосных излучений. Сигнал, включающий одну боковую полосу в области внеполосных излучений, сканируется через этот фильтр с разрешением по узкой полосе пропускания, и записываются получившиеся в результате спектральные уровни.

¹ Измерения для T-DAB также могут быть использованы для других систем, например наземного цифрового мультимедийного радиовещания (T-DMB) (см. Отчет МСЭ-R BT.2069).

При втором сканировании частотная характеристика фильтра (затухание) записывается для того же диапазона частот.

Затем к спектральным уровням, полученным в результате первого сканирования, добавляется затухание фильтра для того, чтобы получить истинный, нефильтрованный спектр.

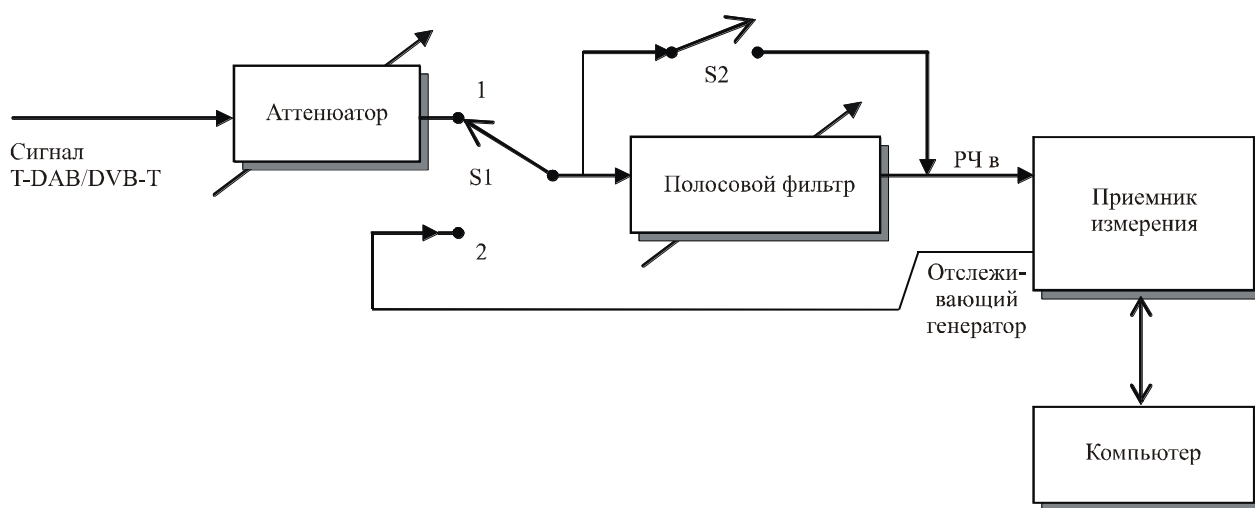
Достижимый коэффициент усиления в динамике измерения зависит лишь от точности фильтра.

2.3 Схема измерения

Возможны разнообразные схемы измерения для осуществления измерений боковой полосы в соответствии с описываемым принципом измерения. Представленная ниже схема является вариантом с отдельными компонентами для приемника, фильтра и контроллера измерения:

РИСУНОК 3

Пример схемы измерения



1792-03

Для вышеуказанной схемы измерения применяются следующие требования:

ТАБЛИЦА 1

Требования для примера схемы измерения

Элемент	Функция, требование, замечания
Аттенюатор	Для настройки входящего уровня сигнала T-DAB/DVB-T на максимальную величину, которую приемник может обработать без перегрузки. Ступени настройки: 1 дБ.
Фильтр	Для подавления основного сигнала T-DAB/DVB-T при обходе излучений боковой полосы. Может быть полосовым фильтром либо узкополосным режекторным фильтром. Если используется полосовой фильтр, то полоса пропускания шириной минимум 3 дБ должна быть 8 МГц для измерений DVB-T и 2 МГц для измерений T-DAB. Необходимо, чтобы фильтр можно было настраивать внутри требуемого частотного диапазона.
Приемник	Для записи спектральных уровней. Он должен быть оборудован отслеживающим генератором и интерфейсом для обеспечения возможности дистанционного управления и считывания данных. Разрешающая способность по полосе пропускания должна быть между 3 кГц и 8 кГц (желательно 4 кГц). Датчик: желательно RMS, альтернативный вариант AV.
Компьютер	Для контроля приемника и считывания данных об уровне. Он должен быть оснащен подходящим интерфейсом для соединения с приемником (например, ЛВС или IEEE 488).

Помимо прочего также возможны следующие альтернативные варианты конфигураций измерения:

- Все компоненты могут быть включены в одно устройство специально предназначенное для проведения автоматических либо полуавтоматических измерений излучений боковой полосы T-DAB/DVB-T.
- Приемник может быть спектроанализатором.
- Приемник/анализатор может включать в себя функции компьютера.
- Вместо встроенного отслеживающего генератора может быть использован генератор внешнего сигнала. Частота генератора сигнала должна контролироваться компьютером синхронно с приемником/анализатором.

2.4 Процедура измерения

Для объяснения процедуры измерения, представленной ниже, мы используем пример, в котором мы хотим измерить верхнюю боковую полосу сигнала DVB-T шириной 8 МГц, передающегося на 650 МГц.

2.4.1 Обеспечение приема сигнала без отражения

Измерение излучений боковой полосы сигнала T-DAB/DVB-T может быть произведено как на испытываемом выходе передатчика, так и непосредственно с эфира. Для того чтобы обеспечить достаточный уровень сигнала при проведении измерений непосредственно с эфира, место для проведения измерений выбирается в основном луче, ближе к передатчику. Тем не менее, даже если существует свободная прямая видимость до антенны передачи, отражения могут вызвать частотно-избирательное искажение сигнала. Для измерений боковой полосы необходимо, чтобы прием сигнала T-DAB/DVB-T осуществлялся без отражения. Для обеспечения этого, сигнал либо отражается на экране спектроанализатора, либо сканируется вручную с использованием приемника. Неравномерность основного сигнала T-DAB/DVB-T должна быть в пределах 2 дБ.

2.4.2 Определение максимального уровня сигнала

При первом испытании необходимо измерить максимальный уровень сигнала T-DAB/DVB-T, который приемник может обработать без перегрузки. Этот уровень не следует исключать из спецификаций приемника, потому что они определяют лишь динамический диапазон для немодулированных несущих. Для широкополосных модулированных сигналов, таких как T-DAB либо DVB-T, максимальный уровень значительно ниже. Для того чтобы это определить, сигнал T-DAB/DVB-T соединяется с приемником (без фильтра, коммутатор 2 на рисунке 3 заблокирован), но после регулируемого аттенюатора. Приемник настраивается на такое же разрешение по полосе пропускания, и на такой же датчик, как и для проведения фактического измерения (например, RMS 3 кГц). Ослабление ПЧ и РЧ должны быть установлены на 0 дБ. Если имеется предусилитель, его необходимо включить.

Самый критический частотный диапазон, в котором происходит перегрузка приемника, – это диапазон сразу за пределами "крайних" частот блока T-DAB/DVB-T.

ТАБЛИЦА 2

"Краевые" частоты излучений T-DAB и DVB-T

Система/ширина полосы	"Крайняя" частота (сдвиг от центральной частоты)
T-DAB/1,5 МГц	±775 кГц
DVB-T/7 МГц	±3,3 МГц
DVB-T/8 МГц	±3,8 МГц

Приемник настроен на частоту 100 кГц выше верхней крайней частоты либо на 100 кГц ниже нижней крайней частоты, в зависимости от того, какая боковая полоса должна быть измерена. В нашем примере измерений (см. п. 2.4) эта частота была бы 650 МГц + 3,8 МГц + 100 кГц = 653,9 МГц.

Используя регулируемый аттенуатор, сигнал регулируется до уровня чуть ниже того, при котором перегружается приемник. Это можно проверить, меняя ослабление 1 дБ вверх и вниз. Когда приемник не перегружен, указанный уровень также повышается либо понижается точно на 1 дБ. Необходимо определить минимальное ослабление, которое обеспечивает такой режим.

При такой настройке аттенуатора, приемник настроен на центральную частоту T-DAB/DVB-T. Указанный уровень отмечается как "максимальный уровень приема".

2.4.3 Настройка фильтра

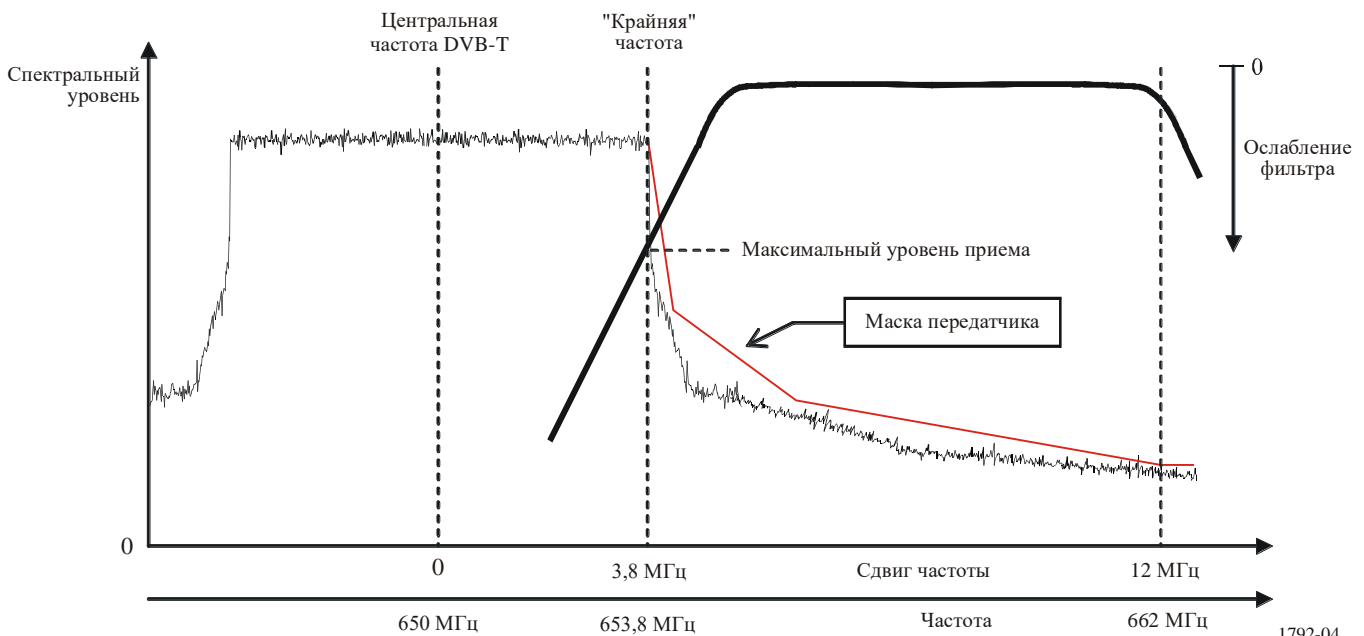
С тем чтобы повысить динамический диапазон для измерения, используется фильтр, который служит для обеспечения необходимого ослабления основного сигнала T-DAB/DVB-T вместо аттенуатора, используемого в п. 2.4.2.

Для регулировки частоты фильтра, приемник настраивается на частоту непосредственно внутри крайней частоты. В нашем примере (см. п. 2.4) эта частота была бы чуть ниже 653,8 МГц ($650 \text{ МГц} + 3,8 \text{ МГц}$).

Эта частота, на которой приемник получит максимальный уровень излучений во время фактических измерений. Теперь фильтр отрегулирован таким образом, что указанный уровень равен максимальному уровню приема, определенному в п. 2.4.2, и ослабление фильтра увеличивается в направлении центральной частоты излучения T-DAB/DVB-T. На рисунке 4 показана настройка фильтра для нашего примера измерений.

РИСУНОК 4

Настройка фильтра для примера измерений



Если используется узкополосный режекторный фильтр, он также регулируется таким образом, чтобы уровень приема на крайней частоте, измеряемой в п. 2.4.2, не превышался, начиная от центральной частоты T-DAB/DVB-T.

2.4.4 Определение уровня шума приемника

Поскольку фактические измерения не могут различать шумоподобные внеполосные излучения передатчика T-DAB/DVB-T от шума приемника, важно знать уровень шума приемника. Для его измерения приемник опять настраивается на такое же разрешение по полосе пропускания, и на такой же датчик, как и для проведения фактического измерения (например, RMS 3 кГц). Ослабления ПЧ и РЧ должны быть установлены на 0 дБ. Если имеется предусилитель, его необходимо включить. Сигнал

прерывается, и вход приемника завершается с 50 Ω . Указанный уровень приема отмечается как уровень шума приемника.

2.4.5 Осуществление действительного измерения

Используя настройки в рисунке 3 компьютерная программа начинается со сканирования соответствующего частотного диапазона. Измерение должно быть начато внутри основного канала T-DAB/DVB-T, с тем чтобы иметь эталонное значение для масок спектра. Стоповая частота зависит от определения окончания спектральной маски и диапазона полосы пропускания фильтра. В нашем примере (см. п. 2.4) мы начали записывать на 2 МГц от центральной частоты DVB-T, на 652 МГц, и остановились на 662 МГц, которая является окончанием определения спектральной маски (см. рисунок 2). Измеренные спектральные уровни записываются в файл вместе с текущей частотой приемника.

Затем отслеживающий генератор присоединяется к входу приемника (S1 на рисунке 3 поставить в положение 2) и сканирование повторяется для того же частотного диапазона. Измеренное ослабление записывается во втором файле, вместе с текущей частотой приемника.

2.4.6 Представление результатов

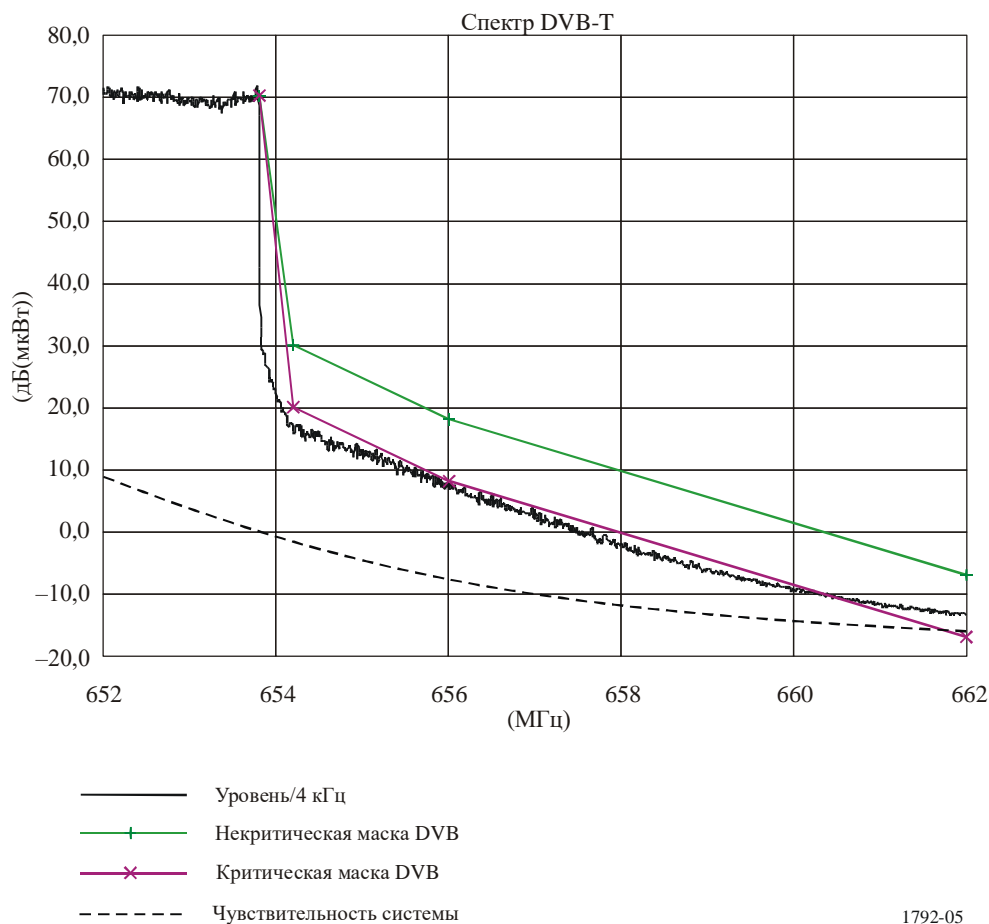
Компьютеру необходимо добавить измеренный уровень из файла 1 и ослабление из файла 2 для каждого шага частоты. Результатом является действительный спектр сигнала T-DAB/DVB-T с устраненным искажением в фильтре. Для быстрой оценки соответствующие спектральные маски из рисунков 1 и 2 должны быть включены в графическое изображение.

Поскольку фильтр, как правило, может быть оптимизирован только для верхней или только для нижней боковых полос, при необходимости проверки полного соответствия со спектральной маской следует выполнять два отдельных измерения.

Далее представлен возможный результат измерений из нашего примера (см. п. 2.4). Для того чтобы управлять приемником и нарисовать график с применением макроязыка, использовалась общая программа табличных расчетов.

РИСУНОК 5

Итоговый график для примера измерений



Можно заметить, что критическая маска превышена начиная от 660 МГц.

2.4.7 Рассмотрение вопроса о чувствительности системы

Уровни спектра от передатчика, в особенности вдалеке от центральной частоты T-DAB/DVB-T, будут очень слабыми и могут приходиться на уровень шума приемника либо ниже его. Поскольку в итоговом представлении не допускается разграничение между излучениями боковой полосы передатчика и шумом приемника, пределы, в рамках которых действительно измерение, следует устанавливать вручную. Для обоснованно надежного результата, спектральный уровень излучений боковой полосы передатчика, полученных через фильтр, должен быть, по меньшей мере, на 3 дБ выше шума приемника. Чувствительность системы – это уровень шума, измеренный в п. 2.4.4, увеличенный на ослабление фильтра на каждой частоте в рамках диапазона сканирования. Желательно включить чувствительность системы в представленный график на рисунке 5.

В нашем примере измерений запас в 3 дБ между измеренным уровнем сигнала и чувствительностью системы достигается на примерно 662 МГц. Диапазон достоверности измерений должен быть четко указан в представленном графике, либо отмечая соответствующие частоты, либо масштабируя ось x таким образом, что отображаются только достоверные результаты как на рисунке 5.

2.5 Практические соображения

Хотя описанный здесь метод подходит для измерений излучений боковых полос для всех передатчиков T-DAB и DVB-T, существует несколько аспектов, которые следует рассмотреть:

- Противоположные требования к фильтру, чтобы он был и крутым и мог быть легко настроен, приводят к компромиссу. Опыты показали, что полосовые фильтры, имеющие ширину 3 дБ от 1% настроенной частоты, подходят для оценки даже критической маски излучений

T-DAB/DVB-T примерно до 800 МГц. В то же время, они могут быть настроены только одной кнопкой, поскольку все резонаторы могут быть установлены на одной и той же оси.

- Самая сложная часть при осуществлении измерений боковой полосы – получить достаточный уровень сигнала от приемной антенны. Более того, эксперименты показали, что только некритические спектральные маски могут быть оценены непосредственно с эфира. Даже тогда должна использоваться направленная антенна с высоким коэффициентом усиления, как, например, антенна типа "волновой канал", которая должна быть расположена на оптимальной дистанции по отношению к передатчику, где ожидается максимальная напряженность поля. Для оценки критических масок, измерения должны быть проведены на испытываемом выходе самого передатчика.
 - Из-за очень ограниченного выбора оптимальных мест приема, такое измерение, как правило, следует осуществлять в подвижных устройствах контроля. Стационарное оборудование и оборудование с дистанционным управлением в большинстве случаев не получит достаточную напряженность поля.
-