

# Измерение параметров излучений БС GSM

## Нормативные документы

1. European Telecommunication Standard. GSM. ETSI. *Примечание: Первые версии стандарта системы GSM были опубликованы в 1990 г. и с тех пор постоянно дорабатываются. В данном материале использованы, в основном, следующие документы:*

- 1.1. GSM 05.01: Physical layer on the radio path; General description.
- 1.2. GSM 05.04: Modulation.
- 1.3. GSM 05.05: Radio transmission and reception.
- 1.4. GSM 05.10: Radio subsystem synchronization.

*С последними версиями этих и других документов стандарта GSM можно познакомиться на официальном сайте ETSI, а также на сайте альянса производителей соответствующего оборудования - 3GPP Third Generation Partnership Project. В частности, некоторые новые моменты отражены в документах:*

- 1.5. ETSI TS 100 910 V8.19.0 (2005-09).
- 1.6. 3GPP TS 05.05, ver. 8.19.0.

2. ГОСТ Р 50657-94. Совместимость радиоэлектронных средств электромагнитная. Устройства радиопередающие всех категорий и назначений народнохозяйственного применения. Требования к допустимым отклонениям частоты. Методы измерений и контроля.

3. ГКРЧ. Нормы 17-99. Радиопередатчики всех категорий и назначений. Требования на допустимые отклонения частоты. Методы измерений и контроля. Утв. 29.03.99. Москва. 1999 г.

4. ГКРЧ. Нормы 19-02. Нормы на ширину полосы радиочастот и внеполосные излучения радиопередатчиков гражданского назначения: Утв. решением ГКРЧ от 28.10.2002 г. Введены в действие с 1 июня 2003 г. Москва. 2002.

*Примечание: отдельно следует отметить отечественный документ:*

5. РД 45.151-2000. Руководящий документ отрасли. Программа и методика технических испытаний системы сотовой радиотелефонной связи стандарта GSM при приемке и вводе в эксплуатацию законченного строительством объекта связи. Москва, 2000 г., «Институт сотовой связи». Введен в действие с 01.07.00 информационным письмом № 3535 от 20.06. 00.

*В этом документе причудливым и ошибочным образом смешаны требования отечественных нормативных документов и стандарта ETSI. Некоторые из этих ошибок будут обсуждены ниже. К сожалению, именно по этому документу в настоящее время работники надзорной и радиочастотной служб проводят измерения параметров БС GSM на этапе приемки их в эксплуатацию.*

## 1. Полосы частот и принципы работы GSM

Система глобальной сотовой подвижной связи стандарта GSM (Global System for Mobil communication), предназначенная для передачи речи и данных, разработана Европейским институтом телекоммуникационных стандартов (ETSI). К настоящему времени сети GSM развернуты и разворачиваются почти в ста странах мира на всех континентах. В России GSM принята в качестве основного федерального стандарта подвижной связи.

Первая модификация системы - GSM 900 использует для мобильных терминалов полосу частот 890 ...915 МГц, для базовых станций - полосу 935 – 960 МГц. В этих полосах располагаются 124 радиоканала с частотным разносом 200 кГц. Частоты этих каналов пронумерованы (ARFCN) и распределены в соответствии с размещением сот. Каналы мобильных и базовых станций образуют дуплексные пары с разносом 45 МГц. На краях указанных полос предусмотрены защитные интервалы по 200 кГц. Аналогичная система GSM 1800 предназначена для развертывания в диапазоне 1800 МГц.

В пределах разрешенных частотных каналов оператор сети может использовать как опцию режим скачков по частоте во всей сети или в отдельной ее части. В GSM используются так называемые «медленные» скачки по частоте – со скоростью 216,68 перескоков/с для борьбы с влиянием многолучевого распространения радиосигнала. Последовательность частот для скачков назначается в соответствии со специальной таблицей.

Конкретной базовой станции, несмотря на возможное использование скачков, приписывается частота, на которой организован так называемый широковещательный канал управления - ВССН, предназначенный для всех мобильных станций.

Физический канал в GSM образуется путем комбинации частотного и временного разделения и определяется последовательностью используемых радиочастотных каналов и временных окон. Для временного разделения каналов на одной несущей создано 8 интервалов времени – слотов. При скоро-

сти передачи  $1625/6 = 270,833$  кбит/с в системе используется следующая иерархия временных интервалов:

- Длительность передачи одного бита составляет  $48/13 = 3,69$  мкс,
- Слот (пакет, радиоимпульс) имеет длительность  $15/26 = 576,9$  мкс и состоит из 156,25 бит,
- Кадр – интервал передачи 8 слотов - имеет длительность  $60/13 = 4,62$  мс,
- Мультикадр может состоять из 26 или 51 кадров и имеет длительность 120 мс или  $3060/13 = 235,4$  мс,
- Суперкадр может состоять из 51 или 26 мультикадров (1326 кадров) и имеет длительность 6,12 с.
- Гиперкадр состоит из 2048 суперкадров и имеет длительность 3 ч 28 м 53 с 760 мс.

Физически слоты – это радиоимпульсы, имеющие начальные и конечные «хвостовые» интервалы длительностью 3 бита (10 мкс). В конце слотов предусмотрены также защитные интервалы длительностью 8,25 бита. Распределение уровня сигнала во времени для слотов (пакетов) различного типа регламентировано в стандарте специальными масками «время- уровень». Таким образом, радиоимпульсы разделены паузами с минимальным уровнем излучения. **Импульсный характер излучения GSM, обусловленный временным разделением каналов, обязательно следует учитывать при проведении измерений.**

В GSM используют пять различных типов пакетов (слотов, радиоимпульсов). Для понимания дальнейшего материала следует обратить внимание на так называемый пакет FB, который используется в системе для подстройки частоты абонентских терминалов. В этом пакете базовая станция передает последовательность из 142 битов-нулей, т.е. излучает немодулированную несущую со сдвигом частоты вверх на используемое значение девиации частоты  $1625/24 = + 67,708$  кГц. Этот пакет является элементом так называемого канала FSSN – канала подстройки частоты мобильных станций. В свою оче-

редь, этот канал входит в состав широковещательного канала управления (ВССН), который используется только в направлении от базовой станции к мобильным на фиксированной частоте (в канале управления ВССН скачков частоты нет – это канал циркулярный – предназначенный для всех мобильных станций).

Пакет FB организован в нулевом временном окне и начинает мультикадр управления. Далее этот пакет повторяется в 10, 20, 30, 40 кадре этого мультикадра – т.е. базовая станция периодически излучает 5 радиоимпульсов с частотой  $f_0 + 67,708$  кГц, следующих через 46 мс. Период передачи этих пяти пакетов подстройки частоты не может быть меньше длительности суперкадра 6,12 с.

### Модуляция в GSM

При выборе типа модуляции (манипуляции) для простой и доступной цифровой мобильной системы связи необходимо принять во внимание много противоречивых требований. Несколько упрощая проблему, можно сказать, что конкурентами в обеспечении этих требований являются:

- QPSK – квадратурная фазовая манипуляция, имеющая много модификаций (OQPSK, DQPSK), и
- GMSK – гауссовская частотная манипуляция с минимальным сдвигом.

Вообще говоря, эти виды модуляции можно рассматривать как варианты угловой модуляции. Несмотря на меньшую спектральную эффективность, излучение GMSK имеет очень полезное свойство – **постоянную огибающую**, что значительно упрощает требования к оборудованию и питанию.

Поскольку разработчик GSM (ETSI) первоначально преследовал главную цель – создать простую и дешевую систему мобильной связи для передачи речи и небольших объемов данных, была выбрана манипуляция GMSK со следующими параметрами:

- скорость передачи («скорость телеграфирования»)  $R = 270,833$  кбит/с,
- длительность передачи бита  $T = 1/R = 3,69$  мкс,
- частота манипуляции -  $R/2$ ,

- девиация -  $D = \pm R/4$ ,
- индекс частотной манипуляции = 0,5,
- фазовый сдвиг несущей на интервале одного бита -  $\pi/2$ ,
- нормированная ширина полосы (на уровне 3 дБ) гауссовского фильтра, через который проходит сигнал передачи данных перед подачей его на модулятор -  $f_{\phi} T = f_{\phi}/R = 0,3$  ( $f_{\phi} = 81,25$  кГц).

Эти данные позволяют рассчитать спектр соответствующего излучения и оценить параметры, определяющие его ширину (НШПЧ, ШЗПЧ, КШПЧ – об этом далее). Идеализированный спектр излучения GMSK с параметрами GSM представлен на рис. 0 (верхняя кривая). Эффекты, обусловленные импульсным характером излучения GSM (наличием слотов), здесь не учтены.

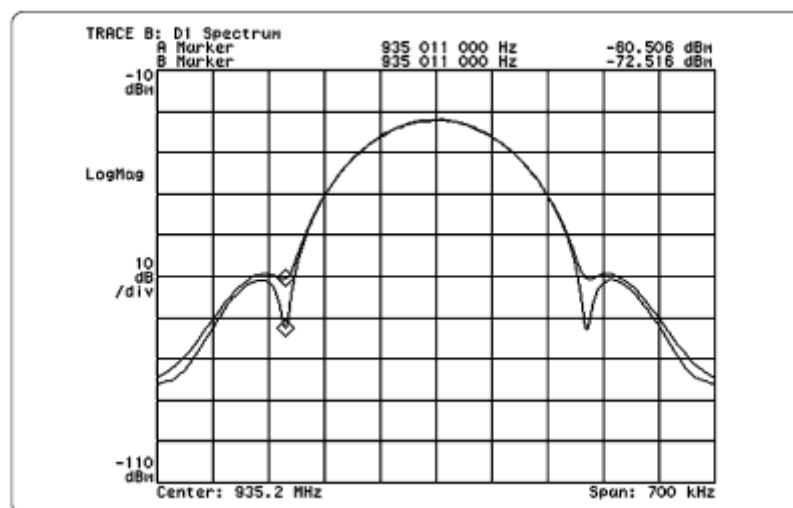


Рис. 0

Поскольку принятая в первой модификации скорость передачи 270,8 кбит/с очень быстро перестала удовлетворять потребителей, была предложена модификация GSM - **EDGE** (**E**nhanched **D**ata rates for **G**SM **E**volution). Использование более изоэтренной квадратурной фазовой манипуляции ( $3\pi/8$ ) 8-PSK, позволило в три раза поднять скорость передачи (3 бита на символ) при почти полной идентичности спектров излучения (см. рис.0 , нижняя кривая). Измерения GSM в модификации EDGE имеют свою специфику, эти вопросы здесь не рассматриваются.

## 2. Измерение средней частоты излучения

Формирование несущих частот и временных интервалов в базовой станции и абонентских терминалах GSM производится по единому опорному генератору. Как опцию в системе рекомендуется использовать синхронизацию частоты всех базовых станций. Внутрисистемные требования стандарта GSM к относительной погрешности установки несущей частоты базовых станций очень жесткие - заданы значением  $\pm 5 \cdot 10^{-8}$ . Таким образом, абсолютное отклонение несущей частоты любого канала от номинального значения не должно превышать  $\pm 45$  Гц для GSM 900.

Для мобильных терминалов (абонентских станций) относительная погрешность установки несущей частоты не должна превышать  $\pm 0,1 \cdot 10^{-6}$ , т.е. соответствующее абсолютное отклонение должно находиться в пределах  $\pm 90$  Гц. Для подстройки частоты мобильных терминалов базовые станции GSM передают упомянутый выше специальный слот FB.

**Внутрисистемные требования по допустимому отклонению частоты несущей передатчиков базовых станций GSM очень высоки, операторы системы должны тщательно соблюдать эти требования - в противном случае система перестанет работать.** В стандарте ETSI описана весьма изощренная методика измерения и контроля допустимого отклонения частоты БС GSM, предусматривающая использование временного стробирования сигнала в пределах радиоимпульсов, синхронные измерения набега фазы и специальную обработку результатов для вычисления среднего фазового набега и соответствующего отклонения средней частоты.

Требования отечественных нормативных документов с точки зрения обеспечения ЭМС РЭС в диапазоне GSM не такие жесткие - допустимое отклонение частоты передатчиков сухопутных станций в полосе 470 –2450 МГц должно находиться в пределах  $\pm 20 \cdot 10^{-6}$  (т.е.  $\pm 18$  кГц для частот порядка 900 МГц). При приемке БС GSM в эксплуатацию, а также при решении задач радиоконтроля, в принципе, может быть поставлена задача проверки с при-

емлемой погрешностью соблюдения базовыми станциями GSM этих общих норм. Погрешность измерения должна быть в несколько раз меньше значения ДОЧ, т.е. порядка нескольких кГц на частотах GSM 900. Такое значение инструментальной погрешности измерения частоты немодулированного излучения обеспечить совсем нетрудно. Однако при измерении отклонения частоты излучений базовых станций GSM, как правило, отсутствует возможность выключения модуляции передатчика.

А при измерении частоты излучения БС в штатном режиме работы, кроме инструментальных, будут существенно влиять методические погрешности, обусловленные импульсным характером радиосигнала, флуктуациями средней частоты контролируемого излучения вследствие использования угловой манипуляции и другими факторами. Действительно, эксперименты показывают, что средняя частота излучения базовой станции GSM, регистрируемая частотомером, как правило, значительно отличается от присвоенной частоты БС. Соответствующее отклонение может достигать 15...20 кГц.

**В этой связи представляется совершенно некорректной рекомендация РД 45.151-2000 по использованию электронно-счетных частотомеров для оценки «центральной» (?) частоты излучения» БС GSM. Напомним, кстати, что стандартизованным термином является «средняя частота полосы частот излучения». Поскольку излучение базовых станций GSM принципиально имеет импульсный характер, его среднюю частоту целесообразно измерять одним из методов «по спектру».**

В РД 45.151-2000 содержится рекомендация по определению частоты излучения базовой станции как полусуммы частот, «соответствующих снижению уровня до -30 дБ по обе стороны от центральной частоты». Однако опыт показывает, что такие измерения имеют **большие методические погрешности**, обусловленные существенной немонотонностью огибающей спектра излучения БС GSM.

Методически более правильно (в соответствии с определением термина **отклонение частоты** как «отклонения средней частоты полосы час-

тот излучения от присвоенной частоты») оценивать среднюю частоту широкополосных излучений полусуммой границ **занимаемой** полосы частот (рис.8). Этот вопрос мы обсудим позже – когда будем говорить об измерениях ширины полосы частот излучений БС GSM. При измерении частоты БС GSM можно использовать другую возможность, обусловленную специфической особенностью работы этой системы.

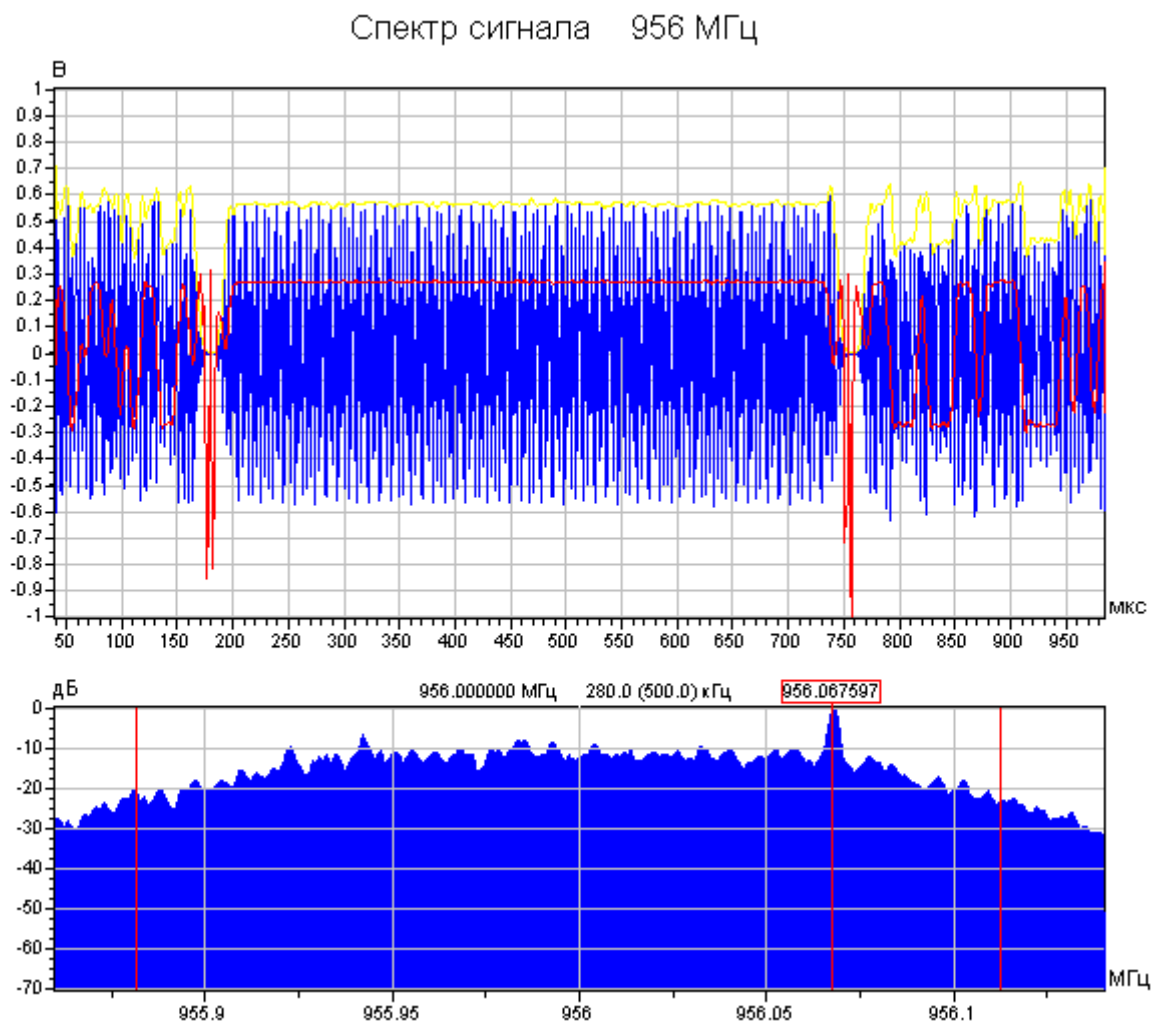


Рис. 1. Временная диаграмма и спектр излучения базовой станции стандарта GSM в режиме «максимального удержания». Характерная спектральная составляющая обусловлена передачей пакета подстройки частоты

Как было указано выше, при передаче пакетов FB базовые станции излучают немодулированную несущую со сдвигом частоты вверх на используемое системой значение девиации частоты 67,708 кГц. В результате в спектре излучения базовой станции, полученном в режиме «максимального



удержания» (рис.1), появляется характерная составляющая, частоту которой можно измерить «по спектру»

Методика контроля допустимого отклонения частоты базовых станций GSM по пакету FB заключается в следующем:

- настроить измерительный приемник или анализатор спектра на частоту  $f_0 + 67,708$  кГц, где  $f_0$  - присвоенная частота излучения контролируемой базовой станции,
- убедиться, что уровень сигнала базовой станции достаточен для уверенной регистрации спектра,
- установить режим «максимального удержания» («наложения спектра»),
- установить достаточно большое время накопления спектра,
- выждать интервал времени, пока анализатор спектра не зарегистрирует появление нескольких пакетов FB – в спектре появится спектральная линия с частотой  $f_0 + 67,708$  кГц,
- измерить частоту указанной спектральной составляющей,
- определить отклонение частоты этой спектральной линии от частоты настройки приемника или анализатора спектра.

Случайная методическая погрешность таких измерений зависит от длительности выборки и от разрешающей способности спектроанализатора. При использовании оборудования «ИРГА» эта погрешность имеет порядок  $\pm 50$  Гц (рис. 2).

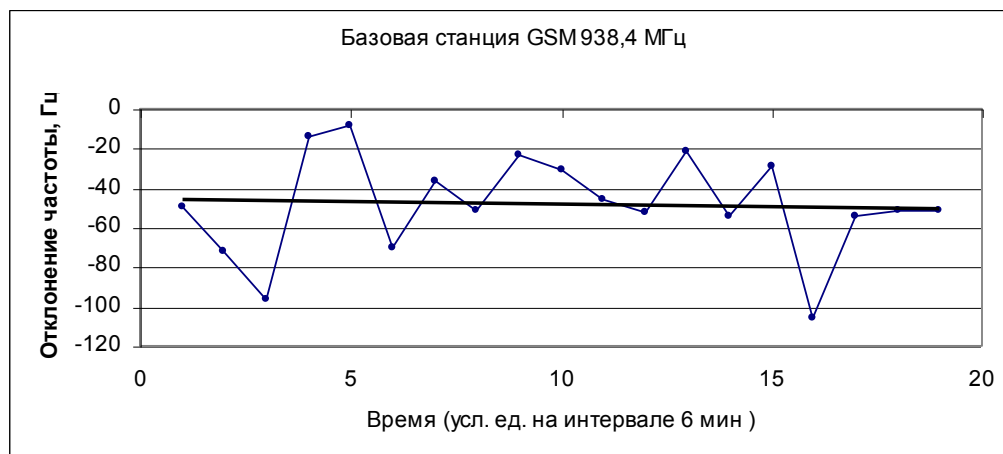


Рис. 2. Результаты измерения отклонения характерной частоты базовой станции системы GSM по пакету FB

На рис. 2 видно, что имеется также соизмеримая систематическая составляющая погрешности, обусловленная асимметрией участка анализируемого спектра спектральной вблизи составляющей характерной частоты. При некотором усложнении алгоритма эта систематическая составляющая погрешности может быть заметно уменьшена.

Такой метод измерения частоты БС GSM применим при использовании как анализаторов спектра на основе БПФ, так и обычных сканирующих приборов. На рис. 3 приведены примеры измерения отклонения частоты БС GSM на спектроанализаторе E4407B фирмы Agilent в различных полосах анализа.

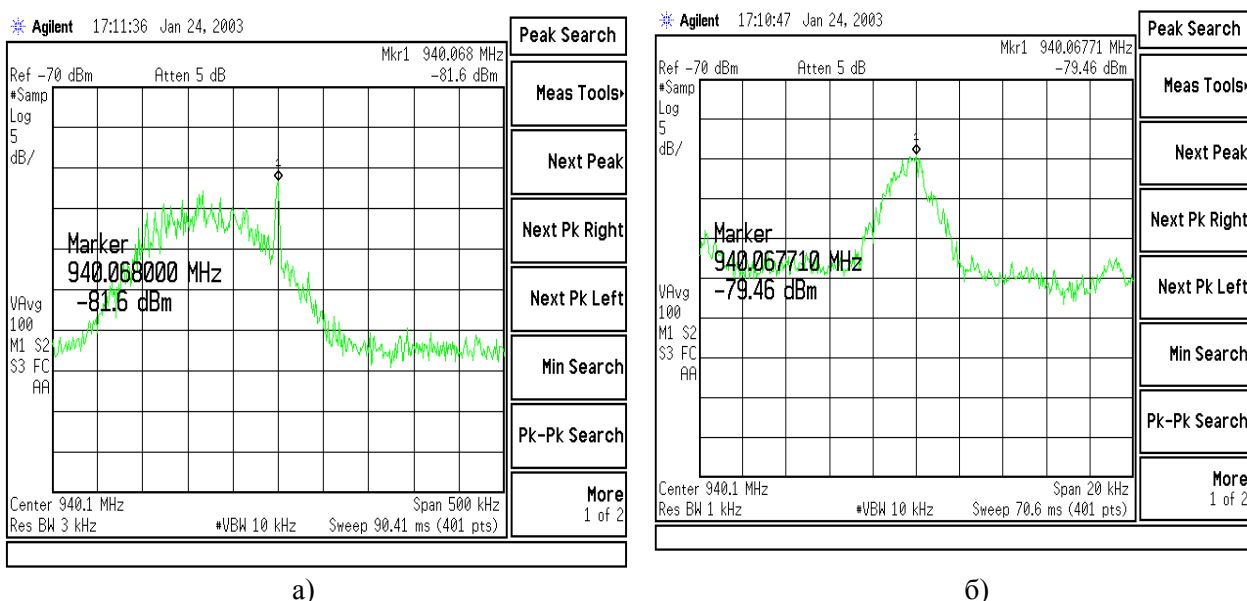


Рис.3. Измерение частоты БС GSM по пакету подстройки частоты FB, а) – в полосе анализа 500 кГц, б) в полосе анализа 20 кГц

В различных средствах измерения могут использоваться различные алгоритмы определения характерных частот – от простого обнаружения максимума (обычные спектроанализаторы) до изоэренного определения средне-взвешенного положения по частоте центра тяжести спектральной линии (оборудование «Ирга»). Соответственно, погрешности таких измерений могут различаться. Однако при необходимости, рассмотренным выше способом можно проконтролировать с приемлемой погрешностью соблюдение базовыми станциями GSM отечественных норм на допустимое отклонение частоты.

ты. **Измерения частоты при этом проводятся фактически по немодулированному излучению – в соответствии с требованиями отечественных нормативных документов.** Результирующая погрешность измерения отклонения частоты будет определяться, в основном, инструментальной погрешностью опорного генератора (ОГ) используемого оборудования. При обычных значениях нормируемой относительной погрешности ОГ порядка  $\pm (1...5) \cdot 10^{-7}$  с запасом обеспечиваются требования по погрешности контроля ДОЧ БС GSM, предъявляемыми отечественными нормативными документами.

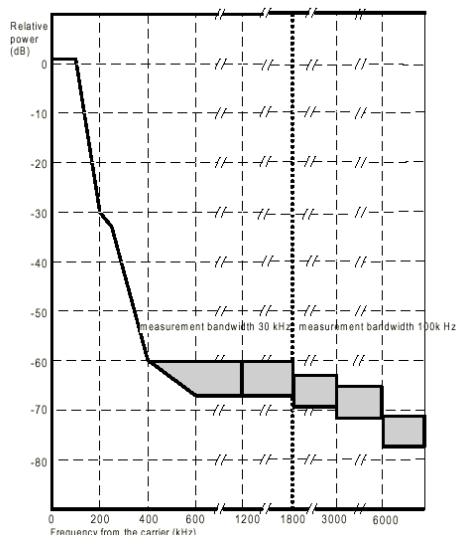
### **3. Требования к радиочастотному спектру излучения БС GSM**

В стандарте ETSI на GSM нет сведений ни о классе излучения передатчиков базовых станций, ни о значении необходимой ширины полосы частот (НШПЧ). Это вполне понятно: системе выделена сплошная полоса частот с защитными интервалами по краям. Внеполосные излучения передатчиков БС GSM - это, в основном, внутрисистемные помехи.

**Требования к радиочастотному спектру излучения передатчиков базовых станций GSM в стандарте ETSI сформулированы двояким образом.**

Во-первых, в табличной и графической формах заданы ограничительные линии (маска), за пределы которой не должен выходить усредненный спектр излучения, обусловленный влиянием модуляции и широкополосных шумов (рис.4).

Spectrum characteristics (spectrum due to the modulation)



a2) GSM 900 normal BTS:

	100	200	250	400	$\geq 600$ $< 1200$	$\geq 1200$ $< 1800$	$\geq 1800$ $< 6000$	$\geq 6000$
$\geq 43$	+0.5	-30	-33	-60	-70	-73	-75	-80
41	+0.5	-30	-33	-60	-68	-71	-73	-80
39	+0.5	-30	-33	-60	-66	-69	-71	-80
37	+0.5	-30	-33	-60	-64	-67	-69	-80
35	+0.5	-30	-33	-60	-62	-65	-67	-80
$\leq 33$	+0.5	-30	-33	-60	-60	-63	-65	-80

Рис. 4. Ограничительные линии (маска) и таблицы стандарта ETSI для спектра излучения БС GSM, обусловленного влиянием модуляции и широкополосных шумов

**Нормировка эти данных проводится относительно максимальной мощности в полосе 30 кГц на частоте несущей.** Как видно, эта маска достаточно широка – на частоте соседнего канала (т.е. при расстройке 200 кГц), мощность излучения, измеренная в полосе 30 кГц, должна упасть «всего» на 30 дБ. Требования стандарта ETSI при проведении таких измерений предполагают **использование детектора средних значений и временного стробирования слотов в пределах 50...90 % их длительности с целью устранения влияния импульсного характера излучения БС GSM, обусловленного наличием слотов** (ниже мы остановимся на этом подробнее).

Отдельно сформулированы требования к результирующему радиочастотному спектру БС (так называемому ORFS) - с учетом влияния импульсного характера излучения (рис. 5). Временное стробирование при этом не используют, но измерения проводят «по точкам» с использованием

пикового детектора в режиме «max hold». Нормировка получаемого спектра проводится по уровню мощности излучения БС на частоте несущей при значении RBW=300 кГц!

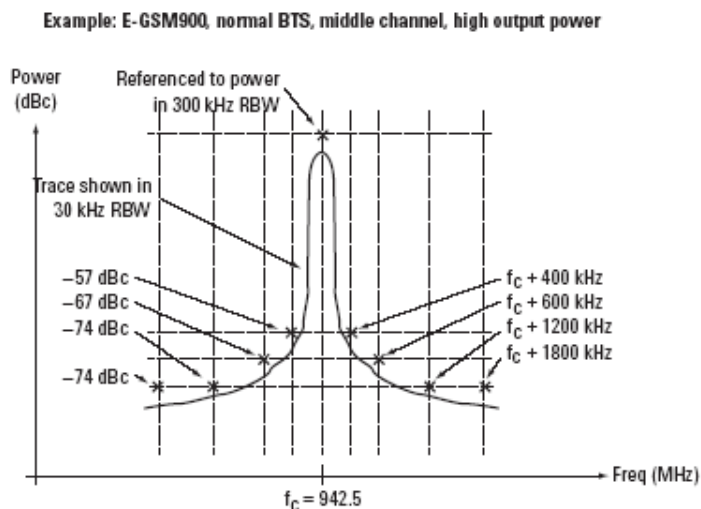


Рис. 5а. Измерения результирующего радиочастотного спектра БС GSM (так называемого ORFS), учитывающего импульсный характер излучения.

Влияния импульсного характера сигнала GSM на уровень сигнала 30 кГц фильтра поясняется рисунком из стандарта ETSI GSM 05.05 (рис. 5б).

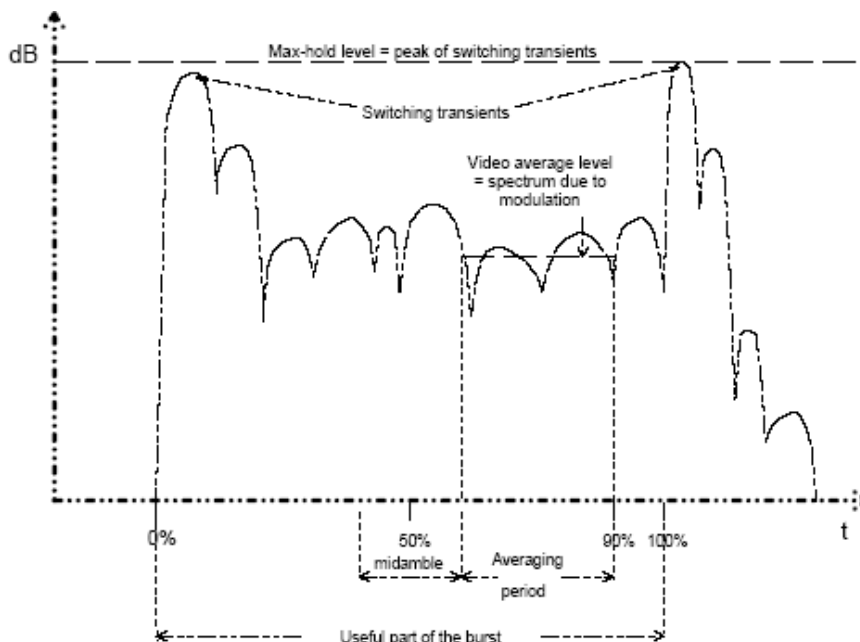


Figure 1: Example of a time waveform due to a burst as seen in a 30 kHz filter offset from the carrier

Рис. 5б. Увеличение отклика на выходе 30-кГц фильтра спектроанализатора относительно среднего значения в начале и конце радиоимпульса

Общепринятая мировая практика выделения частотного ресурса нескольким операторам сотовой связи стандарта GSM заключается в разделении всего

диапазона на индивидуальные для каждого из двух-трех операторов полосы частот с защитным интервалом 200 кГц между ними. Иногда используют даже два защитных интервала. Однако в России стандартная полоса GSM частично занята правительственными радиослужбами. Поэтому при выделении частот для сетей GSM-900 допускают перемежение полос различных операторов, а защитные полосы вообще не выделяют. По существующим правилам, на этапе приемки, в принципе, может возникнуть необходимость контроля соответствия ширины полосы и уровней внеполосных радиоизлучений БС GSM требованиям не только стандарта ETSI, но и отечественных нормативных документов. Кроме того, на этапе эксплуатации иногда приходится разбираться с взаимными претензиями операторов на помехи друг другу. Поэтому может оказаться необходимым оценить ширину полосы излучения БС GSM и при радиоконтроле.

Очевидно, что при этом не следует смешивать три различных подхода к оценке ширины полосы и внеполосных излучений БС GSM:

- подход стандарта ETSI,
- подход МСЭ-Р по определению соответствия ШЗПЧ расчетному значению НШПЧ,
- подходы отечественных Норм 19-02 по определению КШПЧ.

### **НШПЧ и класс излучения БС GSM**

В нормативных документах и литературе можно встретить весьма противоречивую информацию о классе излучения и НШПЧ передатчиков GSM:

- класс 200KF7W обычно указывают в базах данных частотных присвоений,
- класс 240KG7W – указан в Российском регламенте радиосвязи в примере заполнения бланка формы №1 для GSM1800,
- класс 270KG1W – указан в статье,
- класс 271KF7W – указан в Рек. МСЭ-Р SM.329,

- значение 233 кГц для НШПЧ приведено в материалах Института телекоммуникационных исследований (ITS) Национальной администрации по телекоммуникациям и информатике (NTIA) США, посвященных результатам расчета и моделирования спектра излучения при GMSK.

Напомним, что первые четыре символа условного обозначения класса излучения- это значение НШПЧ (символ К определяет, что полоса выражена в кГц), символ F – признак частотной модуляции (манипуляции), G – фазовой модуляции, 7 – указывает на наличие двух или более каналов цифровой информации, 9 – признак сложной системы с несколькими каналами цифровой и аналоговой информации, E – телефония, D – передача данных, телеметрия, W – сочетание передачи данных и телефонии.

Достаточно очевидно, что указываемое в базах данных частотных присвоений значение 200 кГц – это частотный разнос между каналами в системе GSM, а не значение НШПЧ. Значение необходимой ширины полосы частот (НШПЧ) передатчика базовой станции GSM может быть оценено также на основе формул, приведенных ГОСТ 50016-92, в отчете МККР № 836-2 и рекомендации МСЭ SM.853-1. Но эти расчеты дают несколько различающиеся значения.

Введенные в действие с 1 июня 2003 г. Нормы ГКРЧ 19-02 на стр. 27 определяют класс излучения при модуляции GMSK (с примечанием - GSM-900) как F7D или F7W и приводят формулу, соответствующую указаниям МСЭ-Р для расчета НШПЧ:  $B_n = K_G R$ , где  $R = 270,833$  кбит/с – скорость передачи,  $K_G$  – коэффициент, значение которого определяется таблицей в зависимости от параметра  $f_\phi T$  и от доли мощности излучения, попадающего в НШПЧ.

При  $f_\phi T = 0,3$  значение коэффициента  $K_G$  изменяется от 0,7 до 1,06 в зависимости от доли мощности излучения (95...99,8% соответственно), попадающего в расчетное значение НШПЧ. В Нормах 19-02 использован несколько странный параметр «охват полосы», который можно выбирать (непонятно из каких соображений) из ряда 95%, 99% или 99,8 %. Напомним,

что МСЭ-Р однозначно определяет понятие ШЗПЧ условием попадания в эту полосу именно 99% средней мощности. Излучение считает совершенным, когда измеренное значение ШЗПЧ не превышает расчетного значения НШПЧ.

Если коэффициент  $K_G$  принять из условия «охвата полосы 99%», то Нормы 19-02 определяют значение НШПЧ GSM **247кГц**. Соответственно, класс излучения БС GSM следует записать как **247KF7D**.

Следует обратить внимание, что на стр. 30 Норм 19-02 приведена еще одна, но ошибочная формула для расчета НШПЧ при модуляции GMSK. В этой формуле ошибочно фигурирует коэффициент  $K_G$  вместо коэффициента  $K$ , значение которого для излучения GSM должно быть отрицательным. Подробнее об этом см. рек. МСЭ-Р SM .853 и одну из предшествующих лекций наших курсов повышения квалификации.

#### **4. Контроль ширины полосы частот и уровня внеполосных излучений**

По-видимому, основное внимание следует обратить на контроль ширины полосы частот и уровней внеполосных излучений тех БС, которые работают на нижней и верхней границах выделенного данному оператору частотного диапазона. Внутри своей полосы они друг другу не должны мешать, а если мешают – то это собственные проблемы данного оператора GSM. Главное - чтобы внеполосные излучения этих базовых станций не мешали РЭС других операторов.

Возможны три подхода к контролю ширины спектра излучения базовых станций GSM:

1. Сопоставлять спектры излучения передатчика БС GSM, получаемые в строгом соответствии с требованиями стандарта ETSI, с соответствующими регламентированными масками;
2. Измерять **контрольную ширину полосы частот** в соответствии с требованиями отечественных документов - ГОСТ Р 50016-92 и Норм 19-02;



3. Измерять – в соответствии с указаниями МСЭ-Р и Международного Регламента радиосвязи **ширину занимаемой полосы** частот базовой станции и сравнивать ее со значением необходимой ширины полосы частот. Для этого, кстати, в базах данных частотных присвоений надо правильно указывать класс излучения GSM.

В этой связи следует указать, что в отечественном РД 45.151-2000 как раз неправомерно смешаны требования ГОСТ Р 50016 и стандарта ETSI. Иллюстрацией является фраза из этого документа *«Фактические значения измеренных уровней излучений не должны более, чем на 20 % (в соответствии с ГОСТ Р 50016-92) превышать ограничительную линию спектра, определяемую Рекомендациями (?) ETSI GSM 05.05»*. В одной фразе – несколько ошибок:

1) отечественный стандарт требует измерять КШПЧ на уровне минус 30 дБ от уровня немодулированной несущей,

2) нулевой уровень маски стандарта ETSI GSM (рис 4) задан максимумом сглаженного спектра при RBW=30 кГц,

3) стандарт ETSI (это не рекомендация, а стандарт!) регламентирует проводить такие измерения с использованием **временного стробирования излучения на интервале 50...90% длительности слотов**,

4) в стандарте ETSI, разумеется, **нет никакого допуска** на превышение уровня спектральных составляющих, определяемого маской стандарта GSM.

Заметим также, что в РД 45.151-2000 вообще некорректно используются регламентированные термины. В частности, в одном из разделов предлагается **измерять ширину необходимой полосы частот**. Однако, НШПЧ – это расчетная величина, а измерять можно либо КШПЧ, либо ШЗПЧ.

**Первый подход** - сопоставление спектров излучения БС с масками стандарта ETSI является, естественно, основным в международной практике испытаний передатчиков базовых станций. Методика таких измерений, предполагающая возможность управления режимом работы передатчика, заключается в следующем:

В передатчике должен быть **выключен режим скачков частоты, все слоты активизированы**. В анализаторе спектра сигнал **стробируют в пределах 50-90% длительности слота** – для исключения влияния эффектов нарастания и спада радиоимпульса. Устанавливают ширину полосы спектроанализатора  $RBW = 30$  кГц, измеряют уровень сигнала на присвоенной частоте (**при включенной модуляции**) – этот уровень используют для нормировки. Далее вводят определенную расстройку по частоте, измеряют уровень и т.д. Непрерывное сканирование по частоте при этом не используют - измерения проводят либо в ручном режиме, либо с использованием специального программного обеспечения измерений «по точкам».

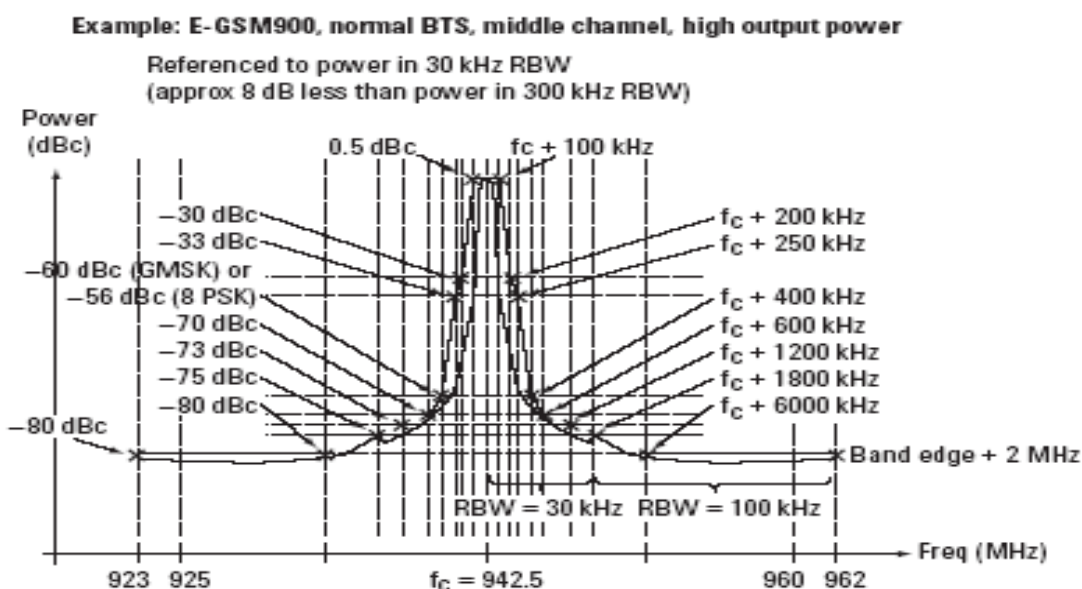


Рис. 6. Сопоставление спектра БС GSM, обусловленного влиянием модуляции и широкополосных шумов с регламентируемой маской стандарта ETSI

При больших расстройках разрешаемую полосу спектроанализатора  $RBW$  увеличивают до 100 кГц, используют предусилители и фильтры – «пробки»

для подавления основного излучения. Затем данные нормируют и сопоставляют с маской стандарта ETS GSM 05.05. Очевидно, что это достаточно сложные измерения, требующие скрупулезного соблюдения всех требований стандарта.

**Второй подход** к контролю ширины полосы частот излучений БС GSM состоит в измерении контрольной ширины полосы частот в соответствии с требованиями отечественных документов - ГОСТ Р 50016-92 и Норм 19-02.

Требования к КШПЧ и внеполосным излучениям при гауссовской частотной манипуляции в Нормах 19-02 сформулированы в виде ограничительных линий, определяющих ширину спектра на соответствующих измерительных уровнях **от уровня немодулированной несущей** (табл.1 и рис. 9) .  
**Допускается выход огибающей спектра излучения контролируемого передатчика за пределы этой маски на 10%.**

Требования к внеполосным излучениям БС GSM по Нормах 19-02. Табл. 1

Уровень	Формула расчета	Ширина спектра, кГц
-30 дБ	КШПЧ=1,2 НШПЧ	297
-40 дБ	1,2 КШПЧ	356
-50 дБ	1,4 КШПЧ	416
-60 дБ	1,6 КШПЧ	470

*Примечание: По всей видимости, при определении этой маски не был учтен импульсный характер излучения GSM, обусловленный наличием слотов для временного разделения каналов.*

**Испытательный сигнал непосредственно для GSM в Нормах 19-02 не определен.** С некоторой осторожностью можно воспользоваться указаниями в одного из разделов Норм 19-02, где указано, что для многоканальных систем передачи данных испытательный сигнал должен быть сформирован путем манипуляции всех каналов «телеграфными точками» (т.е. последовательностью чередующихся нулей и единиц), скорость и синхронизация которых должны быть выбраны таким образом, чтобы мгновенная частота радиопередатчика последовательно принимала все возможные значения в течение равных промежутков времени. Представляется, что отличие формы реального модулирующего сигнала БС GSM от не строго определенного измерительного не должно внести существенной погрешности в результат измерения контрольной ширины полосы. Можно предположить, что в среднем, за достаточно большой интервал времени накопления спектра, все возможные

сочетания длительностей и уровней модулирующего сигнала будут обеспечены.

Определенную трудность при измерениях КШПЧ БС GSM представляет реализация регламентированной Нормами 19-02 процедуры установки нулевого уровня анализа спектра – по уровню немодулированной несущей или, что то же самое, по уровню всего сигнала контролируемой БС. Выключить модуляцию БС GSM практически невозможно, но требуемый нулевой измерительный уровень можно приблизительно установить и без выключения модуляции - по уровню спектральной составляющей, обусловленной передачей пакета FВ подстройки частоты абонентских терминалов. Поскольку длительность передачи 142 битов-нулей этого пакета составляет  $142 \times 3,69 = 524$  мкс, то ширина соответствующей спектральной составляющей на уровне -3дБ от максимума будет порядка 2 кГц. Зафиксировать максимальный уровень этой составляющей можно будет только в том случае, если RBW анализатора спектра установить достаточно малой, например, порядка 1 кГц.

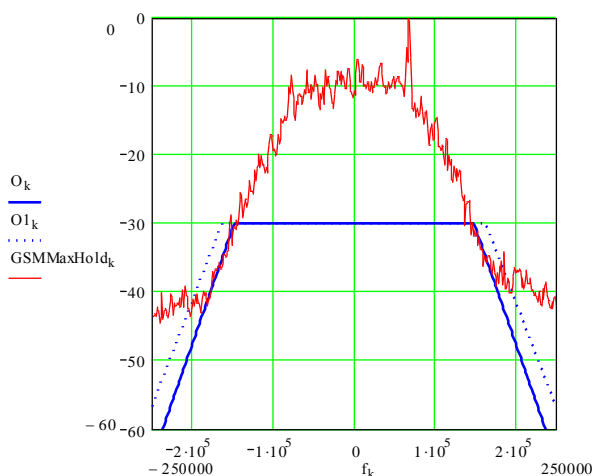


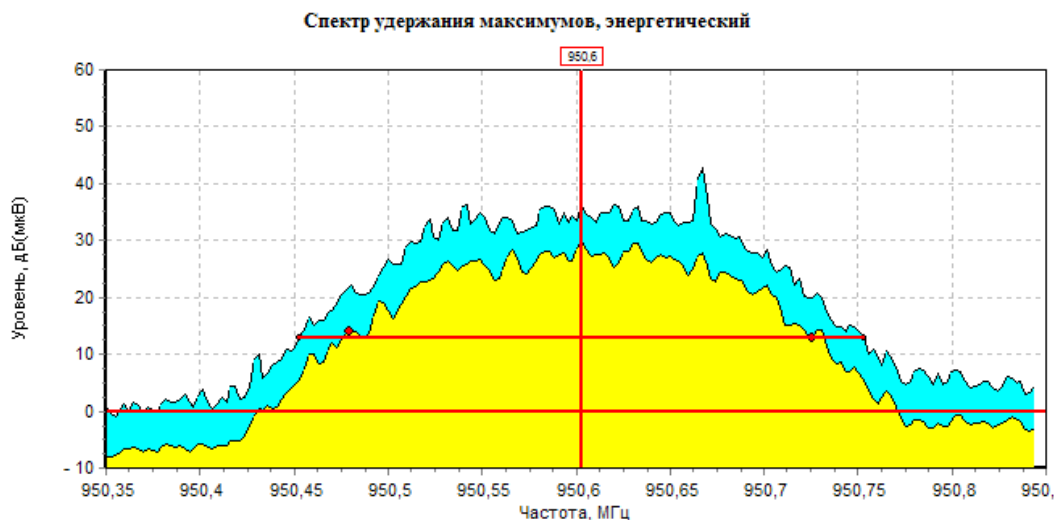
Рис.9. Ограничительные линии (маска) внеполосных излучений БС GSM по Нормам 19-02 (точечная линия синего цвета – с учетом допуска 10%) и реальный спектр излучения БС «в эфире», полученный на анализаторе Agilent E4407B при RBW = 3 кГц в режиме «максимального удержания». За нулевой уровень анализа спектра принят уровень сигнала при передаче пакета подстройки частоты – приблизительно это уровень немодулированной несущей. Здесь есть небольшая систематическая погрешность установки нулевого уровня (порядка 1,5 дБ), обусловленная использованным значением RBW = 3 кГц.

Рис. 9 показывает, что реальный спектр излучения БС GSM, полученный (в режиме «максимального удержания») «по полю», находится в пределах маски Норм 19-02 на уровнях выше -40 дБ. Это позволяет сделать вывод о возможности проведения таких измерений КШПЧ непосредственно в штатном режиме работы БС. На уровнях ниже -40 дБ сказывается влияние фонового излучения других БС в соседних частотных каналах, поэтому контроль «по полю» внеполосных излучений БС по требованиям Норм 19-02 практически невозможен.

Если же измеряют ширину спектра БС на уровне -30 дБ от максимума спектра (а это часто делают на практике), получают значение КШПЧ порядка 350 кГц и следует неверный вывод, что БС не соответствует требованиям Норм 19-02. Впрочем, эту проблему, как правило, обходят очень просто – исходное значение НШПЧ БС GSM принимают равным 271 кГц, что увеличивает нормативное значение КШПЧ до 325 кГц, а с учетом 10% допуска – до 390 кГц.

Здесь необходимо еще раз обратить внимание на то обстоятельство, что обнаружить и зафиксировать уровень спектральной составляющей, обусловленной передачей пакета FВ, можно только при достаточно малых значениях разрешаемой полосы анализатора спектра (RBW) и последетекторного фильтра (VBW). Однако Нормы 19-02 для шумовых испытательных сигналов регламентируют выбирать значение RBW анализатора спектра достаточно большим 0,05 КШПЧ, т.е. приблизительно 15 кГц. Действительно, измерения по сглаженному спектру позволяют уменьшить погрешности измерения КШПЧ, обусловленные немонотонностью огибающей спектра. Поэтому можно рекомендовать двухступенчатые измерения- при малых значениях RBW следует установить нулевой измерительный уровень анализатора спектра, а собственно измерения КШПЧ проводить при RBW=15 кГц.

На рис. 10 представлены спектры излучения БС GSM, полученные «по полю» на установке ИУ2 и на анализаторе E4407B. Уровень спектральной составляющей, обусловленной передачей пакета подстройки частоты мобильных терминалов, приближенно задает уровень немодулированной несущей. Значение КШПЧ, измеренное по этим спектрограммам, имеет порядок  $(300 \pm 5)$  кГц. Эти значения хорошо согласуются с нормативным значением КШПЧ (табл.1).



Параметр	Значение
Границы полосы анализа	950.35 ... 950.85 МГц
Ширина полосы анализа	500 кГц
Уровень сигнала в полосе анализа	45.3 дБ(мкВ)
Ширина занимаемой полосы	246,116 кГц
Средняя частота занимаемой полосы	950.602593 МГц
Ширина полосы на уровне X = -30 дБ	300,603 кГц
Средняя частота полосы на уровне X = -30 дБ	950.603056 МГц

Рис. 10а. Спектры излучения (удержания максимумов и усредненный энергетический) базовой станции GSM и результаты измерения ШЗПЧ и КШПЧ, полученные на установке ИУ2 в режиме широкополосного сканирования.

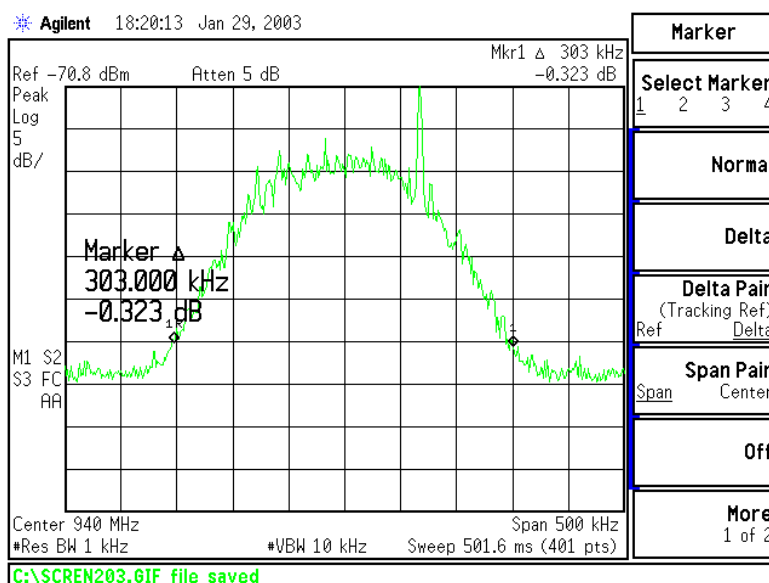


Рис. 10б. Спектр излучения БС GSM в режиме максимального удержания, полученный с использованием анализатора спектра E4407B фирмы Agilent Technologies. Измеренное значение КШПЧ 303 кГц

В тех случаях, когда максимальная ширина полосы анализа радиокон-  
трольного оборудования недостаточна для непосредственного измерения  
КШПЧ, можно последовательно измерять левую и правую границы спектра  
на уровне минус 30 дБ от максимального уровня спектральной составляющей  
пакета FB (рис. 11а, б).

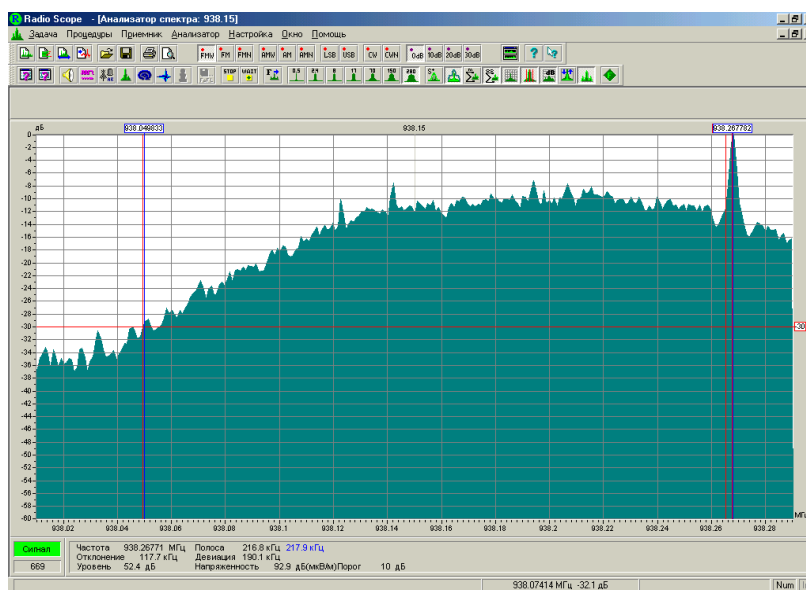


Рис. 11а. Измерение левой границы контрольной ширины полосы частот БС (218 кГц) на уровне минус 30 дБ относительно уровня немодулированной несущей (спектральной составляющей, обусловленной передачей пакета подстройки частоты)

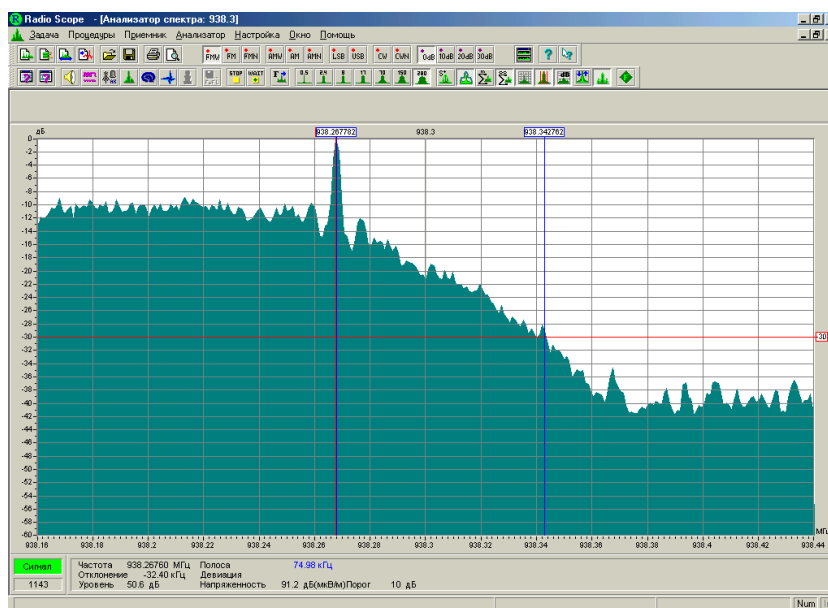


Рис. 11б Измерение правой границы контрольной ширины полосы частот БС GSM (75 кГц). Сумма оценок положения левой и правой границ дает значение КШПЧ 293 кГц

Суммарное значение КШПЧ по результатам измерений, представленных на рис. 11, составляет 293 кГц, что находится в пределах нормы КШПЧ



297 кГц. Напомним, что по требованиям ГОСТ Р 50016-92 результат измерения КШПЧ радиоизлучений не должен превышать нормируемое значение более чем на 20%, а по Нормам 19-02 – не более, чем на 10%. Этот допуск учитывает возможное наличие методических погрешностей измерения КШПЧ. Таким способом можно оценивать ширину контрольной полосы частот для излучений базовых станций GSM в штатном режиме их работы в близком соответствии с требованиями ГОСТ 50016-92 и Норм 19-02.

К приведенным выше иллюстрациям следует сделать несколько замечаний:

1. Эти измерения КШПЧ проведены «по полю». Наличие фона, как правило, не дает возможности вести радиомониторинг внеполосных излучений БС GSM на уровнях ниже минус 40 дБ от уровня немодулированной несущей. Измерения на более низких уровнях можно провести только при непосредственном подключении спектроанализатора к радиочастотному тракту передатчика.

2. Есть все основания полагать, что расчетные формулы ограничительных линий Норм 19-02 для спектра GMSK носят довольно приближенный характер. По крайней мере, идеализированный спектр излучения GSM, полученный с использованием специализированного измерительного генератора, на уровнях ниже минус 50 дБ **относительно немодулированной несущей** выходит за пределы маски Норм 19-02 (рис. 12). На этом же рисунке приведены маски стандарта ETSI, в которые спектр излучения GSM вписывается с достаточным запасом.

3. По всей видимости, расчетные формулы ограничительных линий Норм 19-02 для излучения GMSK с параметрами GSM не учитывают импульсный характер излучения GSM, обусловленный наличием слотов.

Поэтому вопрос о погрешностях измерений КШПЧ по требованиям Норм 19-02 пока остается открытым.

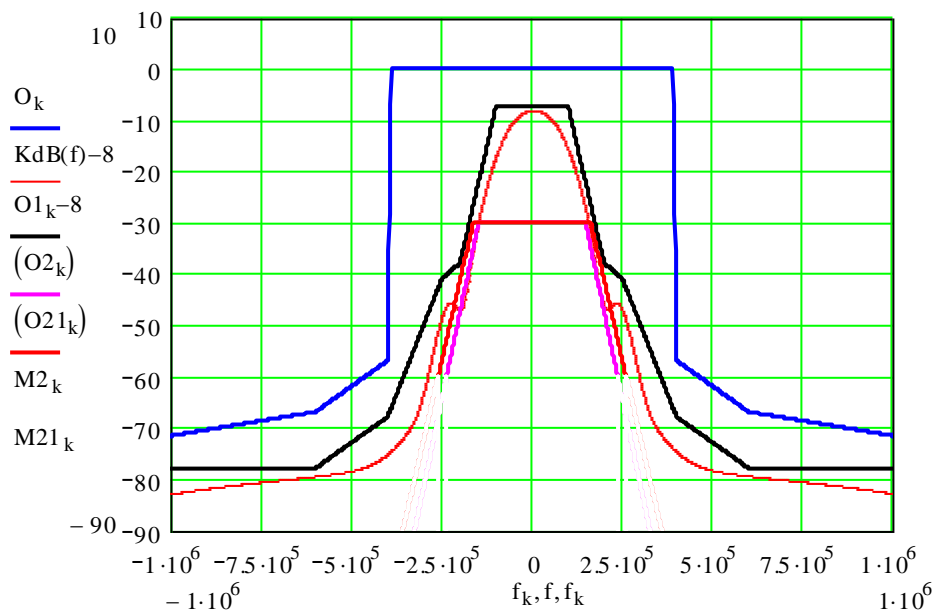


Рис. 12. Сопоставление ограничительных линий стандарта ETSI и Норм 19-02 для излучения БС GSM.

- Синяя кривая – маска ETSI для ORFS,
- черная кривая – маска ETSI для спектра, обусловленного влиянием модуляции (в режиме стробирования средней части слотов),
- фиолетовая кривая – маска Норм 19-02,
- красная кривая – модельный спектр при модуляции GMSK.

**Третий подход** к контролю ширины полосы частот БС GSM предполагает измерение ширины **занимаемой полосы частот** и сравнение ее со значением необходимой ширины полосы частот. Для проведения таких измерений на установке ИУ 2 направленную антенну следует сориентировать в направлении прихода излучения от базовой станции, установить максимальную ширину полосы анализа 280 кГц, установить режим бесконечного накопления спектра. Выждать интервал времени порядка 10..15 с для усреднения получаемого энергетического спектра (рис.13).

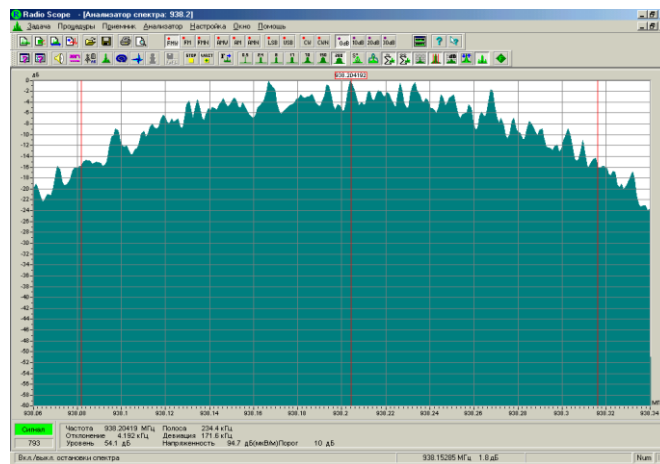


Рис. 13. Усредненный энергетический спектр излучения базовой станции GSM на установке ИУ 2 в полосе анализа 280 кГц. Значение ШЗПЧ 234 кГц.

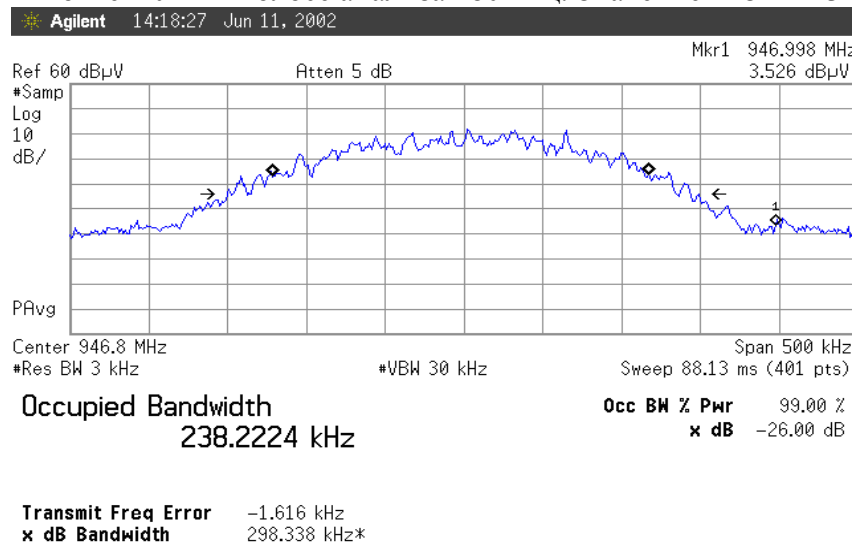


Рис. 14 Спектр излучения базовой станции GSM (E4407B) и результат измерения ширины занимаемой полосы частот

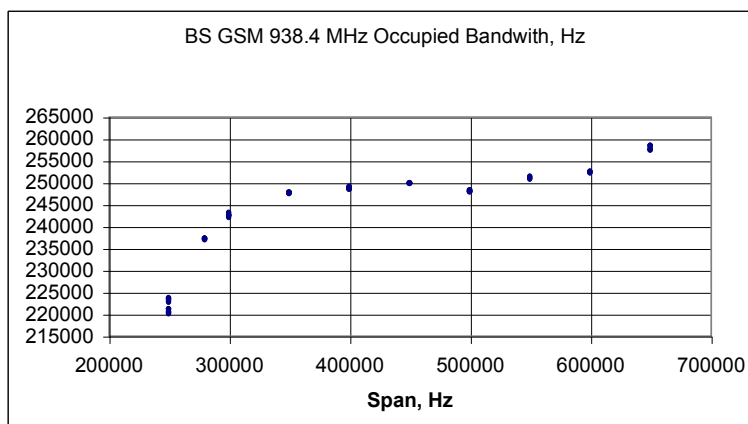


Рис. 15. Зависимость оценки ШЗПЧ излучения БС GSM (анализатор E4407B) от пределов интегрирования спектра. При расширении пределов интегрирования до 500 кГц начинает проявляться влияние излучений соседних по частоте базовых станций.

При измерении ШЗПЧ следует обязательно проверять корректность полученного результата путем ограничения маркерами области интегрирования спектра. При уменьшении области интегрирования от границ полосы анализа на 15..20 кГц результат измерения ШЗПЧ должен изменяться не более, чем на погрешность квантования.

Результаты измерения ширины занимаемой полосы для базовых станций GSM в СПб в полосе 935 ...940 МГц на установке ИУ-2 Проблемной лаборатории по РК и ЭМС при ГУТ по методике дают значения 235...240 кГц, что несколько ниже расчетного значения НШПЧ 247 кГц. Здесь имеется небольшая систематическая погрешность, поскольку максимальная ширина полосы анализа спектра 280 кГц в установке ИУ2 находится на пределе достаточности для анализа такого широкополосного излучения. Измерения ШЗПЧ излучений БС GSM на ИУ 2 в режиме широкополосного сканирования дают значения, в пределах 1..2 кГц совпадающие с расчетным значением НШПЧ 247 кГц (рис. 16).

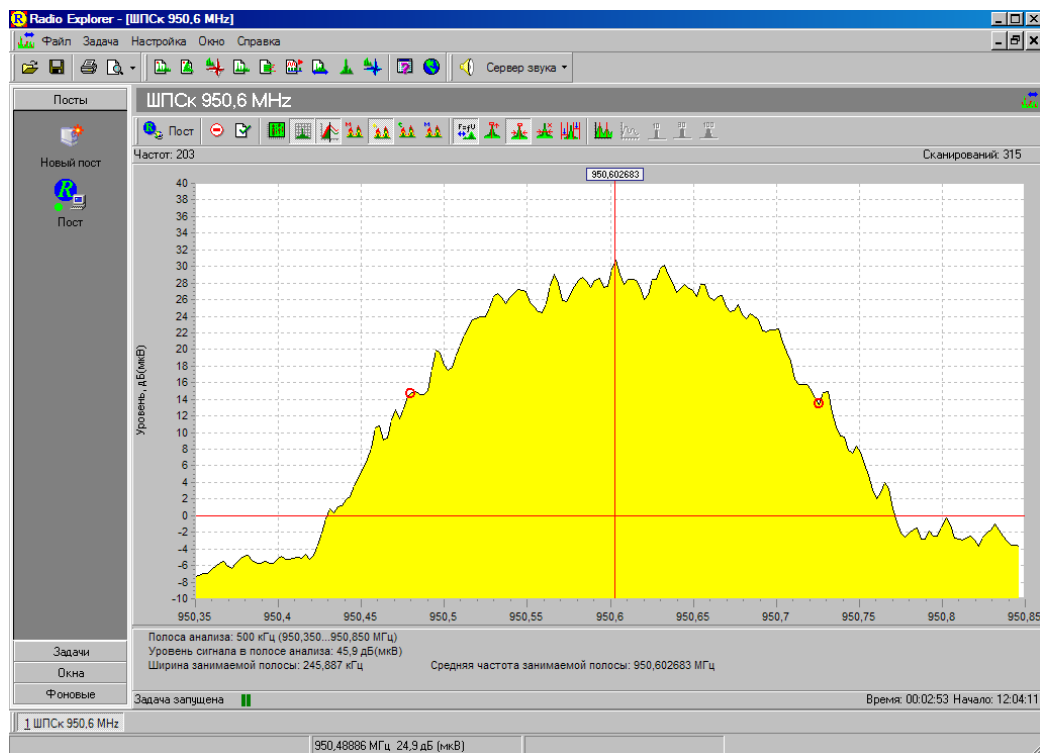


Рис. 16. Измерения ШЗПЧ БС GSM на установке ИУ-2 в режиме широкополосного сканирования. ШЗПЧ = 246 кГц

Измерения ШЗПЧ БС GSM с использованием сканирующего анализатора спектра E4407B фирмы Agilent Technologies, имеющего широкие возможности по выбору полосы анализа, дают результаты в пределах 240..250 кГц (рис. 14, 15). Как показывает рис. 15, оптимальная ширина полосы анализа спектра при измерениях ШЗПЧ составляет порядка 400 кГц. При увеличении полосы анализа свыше 500 кГц на результат измерения ШЗПЧ начинает сказываться влияние спектра излучения соседних по частоте базовых станций GSM.

Одновременно с измерениями ШЗПЧ в современных анализаторах спектра отображается оценка полусуммы границ ШЗПЧ (Transmit Freq Error), что позволяет методически корректно определить среднюю частоту полосы частот модулированного излучения GSM (рис. 14-16).

**К сожалению, инструментальную погрешность таких измерений средней частоты производители анализаторов спектра пока не нормируют.** Кроме того, такая оценка средней частоты излучения имеет и методические погрешности, обусловленные статистической природой получаемого

энергетического спектра и конечным временем его усреднения. Рис. 17 дает приближенное представление о характере систематической и случайной составляющих методической погрешности измерения средней частоты полосы частот излучения БС GSM как полусуммы границ занимаемой полосы частот. Разумеется, погрешность измерения этим методом будет выше, чем при измерении частоты по характерной спектральной составляющей, обусловленной передачей пакета FB подстройки частоты.

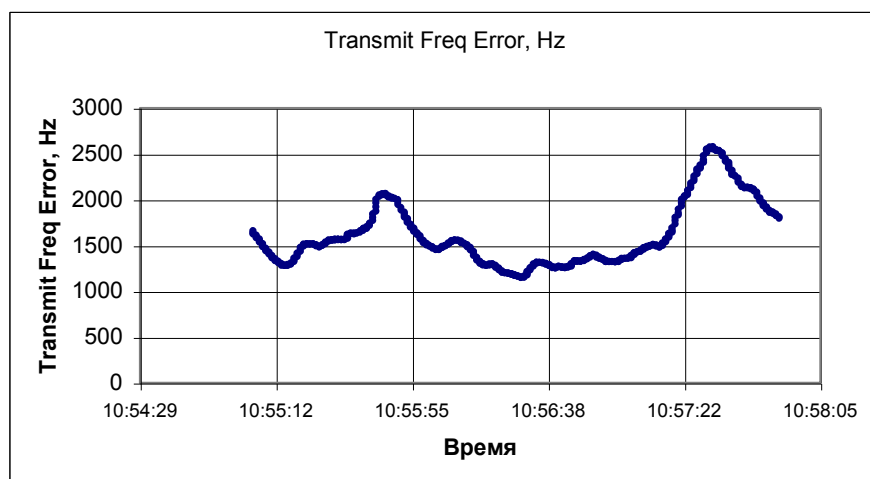


Рис. 17. Отклонение средней частоты излучения БС GSM от присвоенного значения по результатам измерения Transmit Freq Error – полусуммы границ оценки ШЗПЧ

Хотя эти погрешности требуют более подробного анализа, можно утверждать, что указанным способом можно достаточно достоверно проверить соответствие **«отклонения средней частоты полосы частот излучения»** БС GSM требованиям отечественных документов к **ДОЧ** таких передатчиков.

## Контроль побочных излучений БС GSM

Побочное излучение – излучение на частоте или на частотах, расположенных за пределами необходимой ширины полосы частот, уровень которого может быть снижен без ущерба для соответствующей передачи сообщений. К побочным излучениям относятся гармонические излучения, паразитные излучения, продукты интермодуляции и частотного преобразования, но к ним не относятся внеполосные излучения (рек. МСЭ-Р SM. 329).

Внутрисистемные требования стандарта GSM к побочным излучениям БС в полосах передачи и приема:

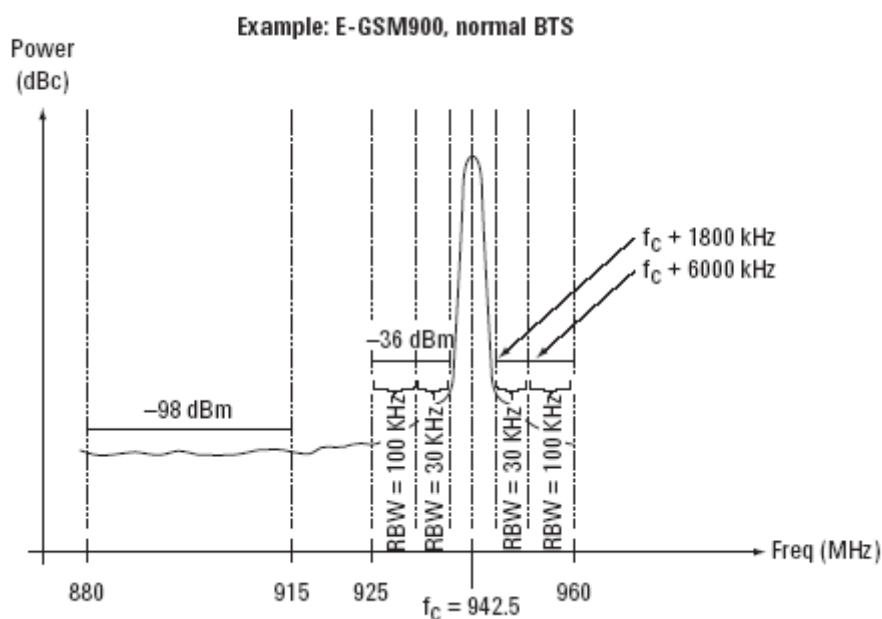
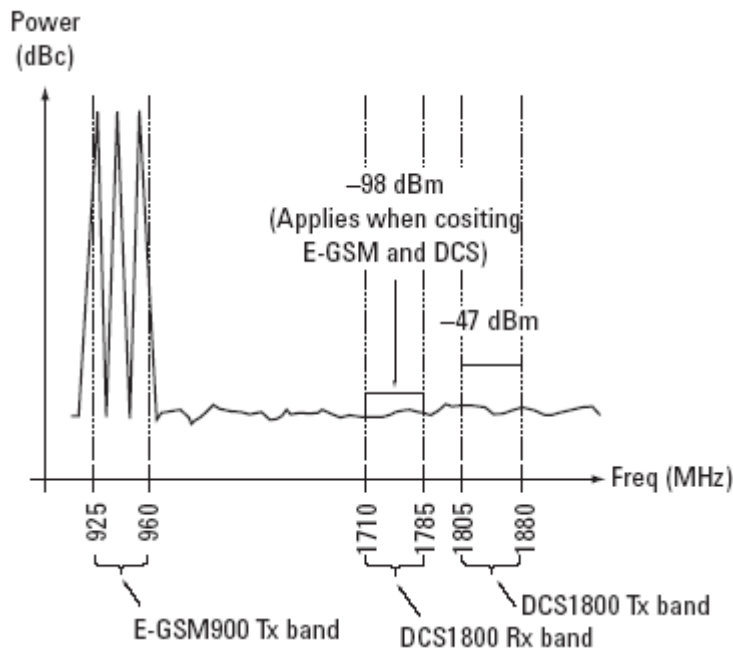


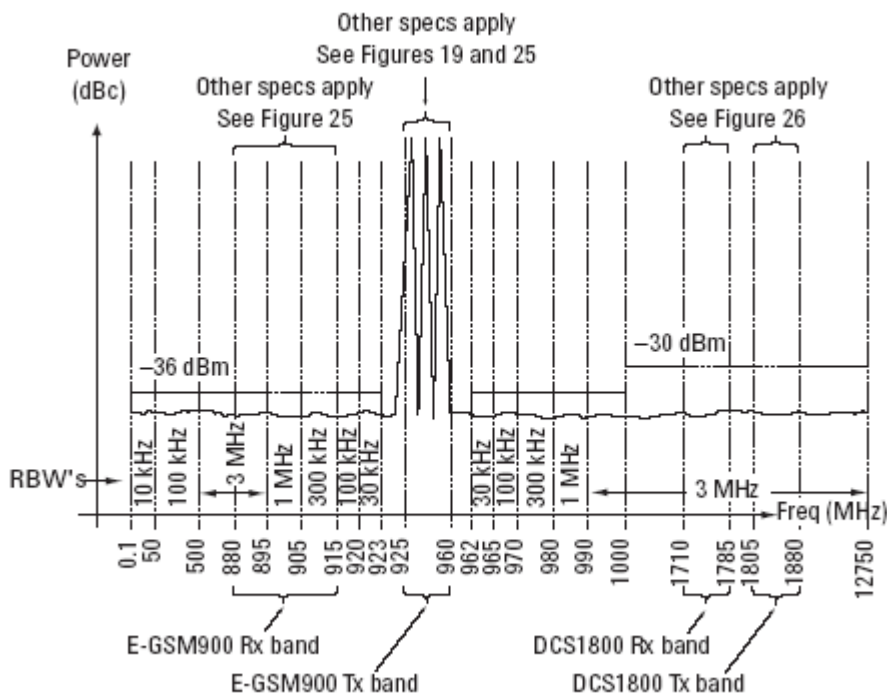
Рис. 16. Требования стандарта ETSI к побочным излучениям БС GSM в полосах передачи и приема

**Межсистемные требования стандарта ETSI к побочным излучениям БС GSM 900 в полосах передачи и приема GSM 1800 (cross band spurious):**



**Рис. 17. Требования стандарта ETSI к побочным излучениям БС GSM 900 в полосах GSM 1800**

**Требования к так называемым широкополосным побочным излучениям(wideband spurious) БС GSM 900 вне полос GSM:**



**Рис. 18. Требования стандарта ETSI к побочным излучениям БС GSM 900 вне полос GSM**



