

6.9. Методы измерения характеристик сигналов систем радиосвязи и вещания

Методы измерения характеристик сигналов систем радиосвязи и вещания изучаются в курсах «Радиоизмерения», «Радиопеленгация» и др. Они также подробно описаны в справочнике МСЭ-Р [3] и в монографии [4]. Ниже приведены сведения практического характера, поясняющие некоторые вопросы организации и оптимизации процесса измерений, и даны практические рекомендации по проведению измерений для операторов станций РК.

6.9.1. Измерение напряженности поля

Измерения напряженности поля в малых зонах. Во многих практических случаях для получения информации о распределении интенсивности сигнала на заданной территории пользуются усредненными по этой территории данными, полученными на ряде измерительных площадок с размерами приблизительно 100×100 м, называемых малыми зонами. Количество малых зон и их размещение на исследуемой территории зависит от сроков проведения измерений, требуемой точности результатов измерений.

Для определения медианного значения напряженности поля в каждой малой зоне назначаются (по возможности равномерно по всей ее площади) так называемые места приема в количестве N ($N = 2n - 1 \geq 9$ — нечетное число), в каждом из которых выполняются необходимые измерения. На основании этих измерений определяются усредненные по данной зоне значения напряженности поля. Медиана напряженности поля по измеренным данным определяется путем их упорядочивания по величине и выборе из образованного таким образом ряда n -го измерения.

Основным требованием при проведении таких измерений является возможность быстрого перемещения измерительной аппаратуры из одной малой зоны в другую, что предполагает использование мобильной станции.

Описанная методика измерений напряженности поля позволяет, в частности, решать следующие практические задачи: определять зоны обслуживания вещательных передатчиков и базовых станций в подвижной связи, измерять диаграммы направленности передающих антенн, устанавливать зависимость изменения напряженности поля с увеличением расстояния, дистанционно определять мощность установленного на радиостанции передатчика, к которому отсутствует доступ, и т.д.

Измерения напряженности поля вдоль маршрута. В полосах частот выше 30 МГц уровень напряженности поля значительно изменяется от пункта к пункту во времени и в пространстве, что обусловлено явлениями рассеяния и отражения радиоволн. Поэтому для контроля зон обслуживания в службах, услуги которых должны быть доступны в любом месте этой зоны, необходимо проведение измерений во многих точках приема, распределенных в пространстве. Такой контроль необходим в подвижных сетях связи, а также в радиовещательной службе (ТВ и ОВЧ ЧМ радиостанции). Обычно связанные с этим контролем измерения проводятся на этапе планирования сети, а также в период ее эксплуатации.

При контроле зон обслуживания вместо измерения напряженности поля в отдельных малых зонах, методика проведения которых была рассмотрена выше, следует использовать другую методику — проводить измерения напряженности поля во время движения транспортного средства по заранее установленным маршрутам. Эта методика позволяет уточнить результаты теоретических расчетов зоны обслуживания, в ходе выполнения которых невоз-

можно с высокой точностью учесть рельеф местности, особенности городской застройки и т.п., а также выявить ухудшенные качества приема аналоговых и цифровых сигналов из-за многолучевости, возникающей в процессе распространения радиоволн.

Минимальные требования к этим системам РК, позволяющим проводить измерения зон обслуживания, состоят в следующем.

- Измерения напряженности поля должны выполняться быстро и точно и одновременно на нескольких частотах. Интервалы времени, с которыми в ходе измерений осуществляется сбор данных об уровнях напряженности поля для каждой частоты, должны быть достаточно короткими, чтобы на любой из них можно было получить статистическую оценку результатов измерений. Для получения такой оценки требуется наличие измерительных точек через каждые 0,8 длины волны в каждом изучаемом канале.
- При проведении измерений необходимо обеспечивать возможность сопряжения получаемых результатов с данными, характеризующими координаты точек, которым эти данные соответствуют. Координаты точек, в которых проводились измерения напряженности поля, предоставляются навигационными системами и должны быть определены достаточно точно.
- Для хранения во время прохождения заданного маршрута всех полученных и еще необработанных данных должна иметься достаточная емкость памяти.
- Система должна быть оснащена дисплеем для отображения измеренных данных в реальном времени. Это дает возможность оператору определять нарушения в работе подвижной радиосети и/или в измерительной системе в ходе измерений на маршруте.
- Система должна быть способна выдавать статистическую оценку результатов измерений путем обработки полученных данных (например, статистическая оценка, классификация данных в соответствии с уровнями вероятности, усреднение на интервалах времени, определяемых пользователем).
- Система должна обеспечивать вывод данных на монитор, принтер и графопроектор, а также перевод результатов в программу, используемую для частотного планирования сети.

6.9.2. Измерения ширины полосы частот

Измерения ширины полосы частот (спектра излучения) основаны на измерениях мощности. Технические и административные трудности не позволяют, как правило, проводить непосредственные измерения, поэтому следует довольствоваться приближенными оценками, которые могут быть получены только путем измерения амплитуд спектральных составляющих излучения с помощью анализатора спектра на значительном расстоянии от передатчика. Для выполнения таких измерений целесообразно использовать подвижную станцию РК, находящуюся на таком расстоянии от передатчика, чтобы в месте приема уровень поля вблизи границ полосы излучения превышал уровень шумов и помех не менее чем на 10 дБ.

То обстоятельство, что имеется некоторая свобода выбора в отношении местоположения подвижных станций, дает им определенные преимущества перед фиксированными, позволяя уменьшить уровень помех, которые часто снижают точность оценки граничных значений полосы. Подвижная станция РК должна подъехать как можно ближе к контролируемому передатчику и располагаться таким образом, чтобы можно было использовать направленное действие антенны для разделения контролируемого излучения от мешающего. Для определения ширины полосы частот должен применяться анализатор спектра с характеристиками, соответствующими частоте измеряемого передатчика и классу его излучения.

6.9.3. Измерение частоты

Частотная характеристика анализаторов спектра и частотомеров охватывает в настоящее время диапазон ОВЧ/УВЧ с частотным разрешением порядка 1 Гц или менее. Как правило, в тех случаях, когда требуется более высокая точность, измерительные приборы могут настраиваться путем синхронизации их по стандарту частоты. Чаще всего в подвижных станциях РК не требуется обеспечения максимальной точности, которая может быть достигнута на фиксированных станциях РК, поскольку многие задачи, выполняемые подвижными станциями, не предназначены для проведения измерений с высокой точностью.

6.9.4. Измерения глубины модуляции и девиации частоты

Такие измерения обычно представляет интерес только в радиовещании. В случае звукового радиовещания задача измерений параметров модуляции в пределах зоны обслуживания НЧ/СЧ передатчиков (с амплитудной модуляцией) или ОВЧ передатчиков (с частотной модуляцией) может быть выполнена чаще всего мобильной станцией, поскольку в случае относительно малой излучаемой мощности или удаленности от стационарной станции РК передатчики не могут контролироваться фиксированной станцией.

Более подробное описание измерений упоминаемых параметров приведено в справочнике [3].

6.9.5. Измерение занятости спектра

Проверка соблюдения операторами условий лицензии на излучающее РЭС является важнейшей задачей службы РК. Такая проверка выполняется сотрудниками местного отделения системы РК или специальной бригадой в соответствии с конкретным заданием, которое должно содержать исходные данные, определяемые возможными целями проверки:

- обнаружение в эфире данного РЭС в течение заданного времени на станции РК или в ином месте;
- проверка соответствия излучаемой в эфир информационной программы заявленной;
- проверка реальных значений технических параметров (излучаемой мощности, ширины занимаемой полосы частот, стабильности и номиналов несущих и поднесущих частот, глубины модуляции и величины девиации частоты, коэффициента нелинейных искажений звуковой программы и т.п.).

Кроме того, при измерениях занятости спектра выполняются следующие работы:

- проверка качества изображения и/или звука в зоне обслуживания (методические указания о выборе количества и расположения мест испытаний, используемой аппаратуре, условиях проведения проверки, продолжительности ее и т.д. высылаются из Центра управления системой РК в каждом конкретном случае);
- проверка помеховой обстановки в данном населенном пункте (методические указания о контролируемых частотных каналах, выборе количества и расположения мест испытаний, рекомендуемой аппаратуре, измерительных антеннах, времени суток и продолжительности испытаний, фиксировании характеристик и типа помех, их азимутов прихода, интенсивности и т.д. высылаются из Центра управления системой РК для каждого конкретного случая);
- проверка точности определения зоны обслуживания путем расчетов, т.е. сравнение формы, площади и положения границ расчетной и реальной зон обслуживания (методические указания о частотном канале, выборе количества и расположения мест ис-

пытаний, репрезентативных и измеряемых параметрах сигналов, используемых типах и поляризации измерительных антенн, рекомендуемой аппаратуре, условиях, объемах и последовательности проведения проверки, ее продолжительности и т.д. высылаются из Центра управления системой РК в каждом случае отдельно);

- проверка выполнения операторами излучающих РЭС временных и иных ограничений на работу в эфире, выданных Центром управления использованием РЧС;
- проверка рекомендаций и предложений по улучшению использования РЧС (все условия и методика проверки высылаются Центром управления использованием РЧС в каждом случае индивидуально).

Радиоконтроль в полосах ВЧ или на более низких частотах может легко осуществляться фиксированными станциями. Подвижные станции используют для контроля занятости спектра в полосах более высоких частот (ОВЧ/УВЧ), когда в исследуемой зоне отсутствуют фиксированные станции этого диапазона.

Для выполнения измерений занятости РЧС составляется перечень подлежащих контролю полос частот, введенных в БД, может быть также предусмотрено панорамное воспроизведение на дисплее контролируемой полосы спектра частот.

Если в процессе сканирования этих полос будет обнаружено, что уровень сигналов исследуемого передатчика превышает установленный пользователем порог более чем на 6 дБ, то результаты этих измерений сопоставляют с данными предыдущих измерений в БД и определяют признаки несоответствия. Если окажется, что исследуемый передатчик зарегистрирован, а полученные отклонения измеренного уровня не являются результатом несанкционированных изменений его технических параметров, то результаты этих последних измерений вводятся в БД с указанием времени, амплитуды, приблизительной ширины полосы и типа модуляции. Если передатчик окажется действующим незаконно, то результаты измерений вводятся в другую БД, и оператору радиопеленгатора может быть поставлена задача измерения пеленга на источник исследуемого сигнала.

Полученные результаты могут использоваться для составления отчетов о занятости спектра, а также отчетов о работе неизвестных передатчиков.

6.9.6. Измерение качества приема цифровых сигналов в сетях радиосвязи и вещания

Измерение коэффициента ошибок по битам. Для цифровых систем радиосвязи и вещания (например, систем сотовой связи стандарта GSM или цифрового звукового вещания стандарта DAB) знания напряженности поля недостаточно для анализа качества приема. Качество принимаемого сигнала может быть определено путем измерений коэффициента ошибок по битам (сокращенно BER — bit error rate).

Для вышеуказанных служб в процессе РК должны проводиться измерения коэффициента ошибок. Такие измерения осуществляются во время движения транспортного средства, на котором установлено устройство приема сигнала базовой или вещательной станции. Организация таких измерений подобна той, которая была описана в разд. 6.9.1, однако измеряется не только напряженность поля, но и коэффициент ошибок.

Оценка основных технических характеристик сигналов цифрового наземного телевидения (DVB-T). В настоящее время имеется ряд типов измерительной аппаратуры различной степени сложности для исследований цифровых систем. Для измерений по тракту передатчиков и эфирных исследований систем цифрового телевидения фирмой Rohde & Schwarz разработан многофункциональный измерительный приемник типа EFA. Приведем примеры, демонстрирующие некоторые его возможности.

На рис. 6.8 приведен вид экрана дисплея этого приемника в разных режимах исследования эфирного сигнала хорошего (слева) и удовлетворительного (справа) качества. Обе части рис. 6.8, а отображают лучевую структуру сигнала. Прибор позволяет оценить относительные уровни и временные задержки отдельных лучей, составляющих принимаемый сигнал. Сигнал хорошего качества (слева) имеет один доминирующий луч, тогда как сигнал более низкого качества (справа) состоит из суммы нескольких соизмеримых по интенсивности лучей, которые интерферируют, делая неравномерной частотную характеристику канала связи и снижая помехоустойчивость приема сигнала.

Изображения частотного спектра сигналов (рис. 6.8, б) отличаются степенью неравномерности амплитуд частотных составляющих спектра сигнала. Уменьшение уровня отдельных частотных составляющих сигнала на правой характеристике объясняются повышенной многолучевостью.

На рис. 6.8, в приведена картина так называемых сигнальных созвездий; каждая точка — это конец вектора модулированных составляющих (несущих в спектре) от идеального положения, при котором конец вектора находится в центре своей ячейки. Следовательно, чем сильнее разброс точек от центров ячеек, тем больше значения коэффициента неисправленных ошибок по битам.

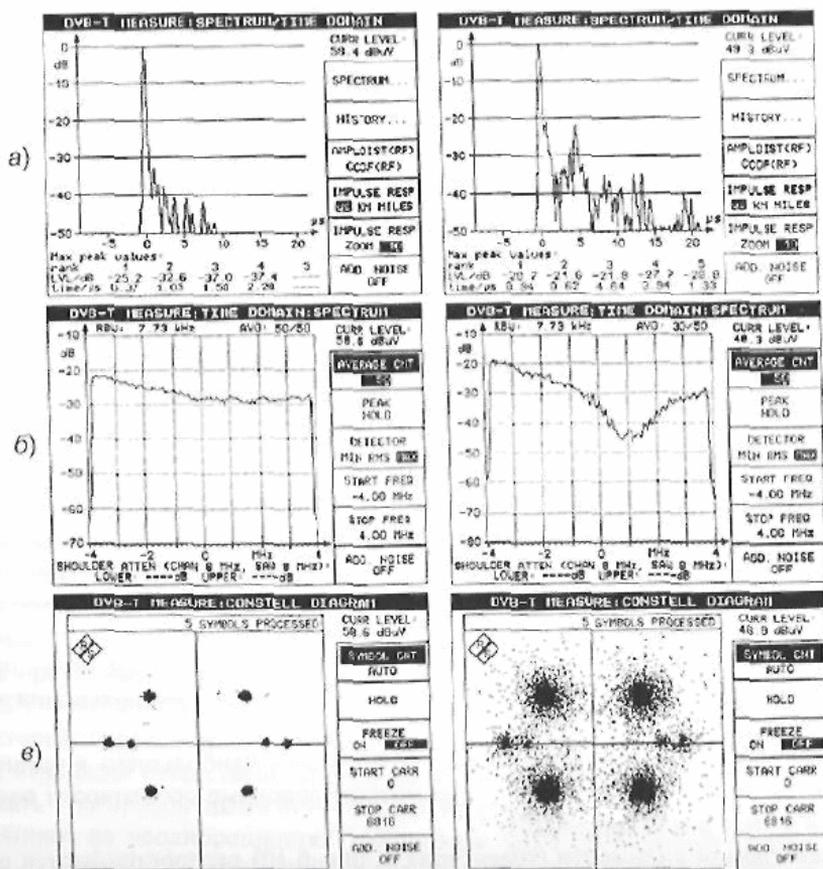


Рис. 6.8. Изображения на экране дисплея приемника EFA некоторых характеристик эфирного сигнала (слева — хорошего, справа — удовлетворительного качества) системы DVB-T: а — картина многолучевости в месте приема; б — спектр телевизионного сигнала; в — сигнальные созвездия

Приведенные характеристики сигнала DVB-T трудно охарактеризовать в численном виде. Однако прибор позволяет получать текущую информацию о степени неисправленных ошибок BER, причем предельно-допустимое (нормированное) значение этого параметра на выходе декодера Витерби [7] равно $2 \cdot 10^{-4}$.

Примеры изображения экрана в этом режиме работы прибора приведены на рис. 6.9, где можно найти упомянутый выше нормированный параметр. Слева на этом рисунке показаны параметры цифрового потока ТВ сигнала хорошего ($BER = 0,2 \cdot 10^{-9}$), справа — удовлетворительного ($BER = 1,8 \cdot 10^{-8}$) качества. В нижних половинах левой и правой частей рис. 6.9 приведены параметры данной системы цифрового ТВ: число несущих в спектре (FFT mode), защитный интервал (guard interval) и т.д.

DVB-T MEASURE		DVB-T MEASURE	
SET RF (8MHz)	ATTEN : 0 dB	SET RF (8MHz)	ATTEN : 0 dB
562.00 MHz	66.6 dBuV	562.00 MHz	48.5 dBuV
FREQUENCY/MER/BER:		FREQUENCY/MER/BER:	
FREQUENCY OFFSET	-0.038 kHz	FREQUENCY OFFSET	-0.029 kHz
BITRATE OFFSET	8.4 ppm	BITRATE OFFSET	8.3 ppm
MER (RMS)	29.7 dB	MER (RMS)	16.4 dB
BER BEFORE VIT	0.0E-8 (84/100)	BER BEFORE VIT	1.5E-3 (10/10)
BER BEFORE RS	0.2E-9 (546/1000)	BER BEFORE RS	1.8E-8 (63/100)
BER AFTER RS	0.0E-8 (658/1000)	BER AFTER RS	0.0E-7 (74/100)
OFDM/CODE RATE:		OFDM/CODE RATE:	
FFT MODE	8K (TPS: 8K)	FFT MODE	8K (TPS: 8K)
GUARD INTERVAL	1/4 (TPS: 1/4)	GUARD INTERVAL	1/4 (TPS: 1/4)
ORDER OF QAM	QPSK (TPS: QPSK)	ORDER OF QAM	QPSK (TPS: QPSK)
ALPHA	1 NH (TPS: 1 NH)	ALPHA	1 NH (TPS: 1 NH)
CODE RATE	1/2 (TPS: 1/2)	CODE RATE	1/2 (TPS: 1/2)
CELL ID	0000	CELL ID	0000
TPS RES (F1-F4)	00,00,00,00	TPS RES (F1-F4)	00,00,00,00
TS BIT RATE	4.97647 MB1/s	TS BIT RATE	4.97647 MB1/s
	ADD. NOISE OFF		ADD. NOISE OFF

Рис. 6.9. Изображения на экране дисплея EFA текущих значений параметров цифрового сигнала и ТВ системы