

# ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ АВИАЦИОННОЙ РАДИОНАВИГАЦИИ AERONAUTICAL RADIO NAVIGATION MEASUREMENT SOLUTIONS

Ф. Бин Райм (F. Bin Rahim), П. Бруер (P. Breuer)

В данной статье особое внимание уделено различным радионавигационным сигналам в области авиации: сигналам всенаправленного ОВЧ-радиомаяка (VOR), сигналам инструментальной системы посадки (ILS) глиссадного (GS) и курсового (LLZ) радиомаяков, а также сигналам маркерного радиомаяка (MB). Контрольно-измерительные решения компании R&S® для аэронавигационного оборудования представлены в виде различных вариантов применения приборов: для калибровки, в НИОКР, при полевых испытаниях и испытаниях приемопередатчиков.

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ АВИАЦИОННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

В сфере авионики (термин, образованный путем комбинации слов авиация и электроника) предъявляются чрезвычайно высокие и жесткие требования, связанные с условиями эксплуатации данного оборудования. Нарушение работы электроники воздушного судна может подвергнуть жизни пассажиров непосредственной опасности. В связи с этим жизненно необходимо проводить тщательный мониторинг и измерение всех характеристик авиационного оборудования на предмет дефектов, возникающих при его монтаже и эксплуатации. Как показано на рисунке 1, авионике можно ориентировочно разделить по следующим категориям: навигация, связь, датчики, индикаторы и регистраторы. За исключением электро-дистанционных систем управления полетом, приведенная выше классификация остается справедливой для большинства современных воздушных судов как гражданского, так и военного на-



значения. В данном документе основное внимание будет уделено различным измерительным решениям компании Rohde & Schwarz в области работы с сигналами авиационной радионавигации. К подобным сигналам относятся сигналы: всенаправленного (азимутального) радиомаяка (VOR), систем инструментальной посадки — глиссадного радиомаяка (ILS-GS), систем инструментальной посадки — курсового радиомаяка (ILS-LOC), маркерного радиомаяка (MB).

тур, будь то калибровочные лаборатории, администрация аэропорта, производство или даже научно-исследовательские и конструкторские организации.

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПО ЧАСТОТНОМУ СПЕКТРУ

В системах связи на высоких частотах (ВЧ или HF), в диапазоне от 3 до 30 МГц, используется однополосная модуляция с подавленной несущей — сигнал с полосой частот около 2,5 кГц и типичной передаваемой мощностью в несколько сотен ватт. При этом характер распространения ВЧ сигналов меняется в зависимости от погодных условий, времени суток и состояния ионосферы. Частоты системы связи на

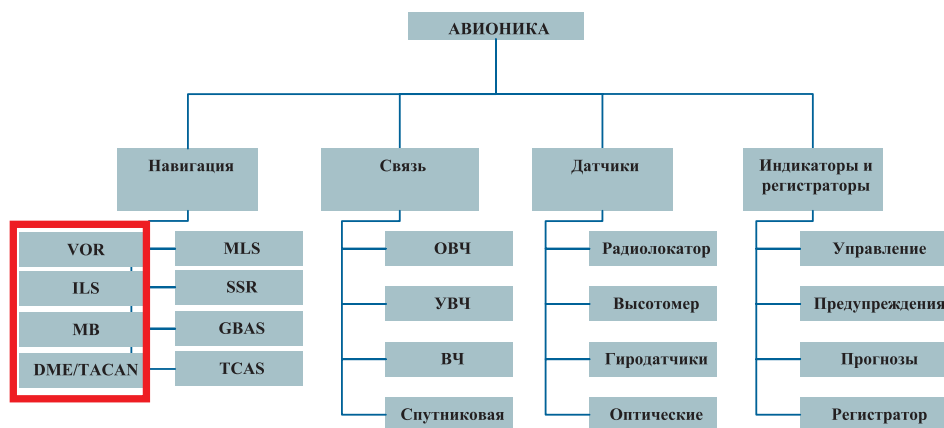


Рис. 1. Простейшее структурное разбиение авионики с упором на выделенные навигационные системы

В данной статье обсуждаются измерительные решения в части генерации и анализа аэронавигационных сигналов; в частности, исследуется, какое из решений наилучшим образом будет удовлетворять требованиям различных авиационных струк-

очень высоких частотах (ОВЧ или VHF) делятся на два диапазона: от 30 до 88 МГц — исключительно для военных потребителей, и от 118 до 156 МГц — как для гражданских, так и для военных потребителей; при этом используются сигналы со стандартной двухполосной амплитудной модуляцией и передаваемой мощностью от 40 до 45 дБмВт. Системы связи на ультравысоких частотах (УВЧ или UHF) охватывают как ОВЧ, так и УВЧ диапазон от 225 до 400 МГц. Для методов частотной модуляции используются уровни передаваемой мощности от 40 до 50 дБмВт, а для методов амплитудной модуляции — от 40 до 44 дБмВт. Данный частотный диапазон часто используется военными потребителями для реализации различных мер радиозащиты таких, например, как противодействие активным радиопомехам.

Радионавигация дальнего действия по маршруту движения, например, глобальная навигационная система GPS, функционирует в области более высоких диапазонов частотного спектра. Радиомаячная система ближней навигации, т.е.

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ (ТИПИЧНОЕ) СИГНАЛОВ АЭРОНАВИГАЦИИ ПО ЧАСТОТНОМУ СПЕКТРУ

	100 кГц	1 МГц	10 МГц	100 МГц	1 ГГц	5 ГГц	10 ГГц	Диапазон частот (Гц)
ВЧ-связь								3-30 МГц
ОВЧ-связь								118-156 МГц
УВЧ-связь								225-400 МГц
MB								75 МГц
ILS-GS								329-335 МГц
ILS-LLZ								108-112 МГц
VOR								108-118 МГц
DME								1025-1150 МГц, 962-1213 МГц
GPS (L1/L2)								1575,42 МГц (L1), 1227,6 МГц (L1)

Таблица 1

сигналы всенаправленного (азимутального) радиомаяка (VOR), систем инструментальной посадки — глиссадного радиомаяка (ILS-GS), систем инструментальной посадки — курсового радиомаяка (ILS-LOC) и маркерного радиомаяка (MB) действует в диапазонах ВЧ и ОВЧ. Дальномерное оборудование (DME) действует в диапазонах УВЧ.

**ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ НАВИГАЦИИ И ПОСАДКИ**

С точки зрения пилота, находящегося в кабине воздушного судна, за системы VOR/ILS и MB отвечают аналоговые индикаторы, а для системы GPS используется цифровая индикация. До того момента, как пилот приступит к своим обязанностям, за обеспечение точности и надежности работы приборов несет ответственность лицензированный авиационный инженер (ЛАИ). На рисунке 2 основное внимание уделено приборам, имеющим отношение к авиационной радионавигации, а вспомогательные приборы управления и энергопитания не указаны.

Приемо-передающие антенны авиационного радионавигационного оборудования обычно размещаются в носу, фюзеляже и вертикальном стабилизаторе (киле) самолета, в зависимости от наиболее вероятного направления приема сигнала (DOA). Например, приемопередатчики GPS размещены в самой верхней части самолета для наилучшего приема спутниковых сигналов, а антенны для систем Инструментальной посадки — глисс-



Рис. 2. Вид различных приборов для навигации и посадки в кабине воздушного судна



Рис. 3. Размещение бортовых вспомогательных систем авиационной радионавигации

садного и курсового радиомаяка размещены в нижней части — для наилучшего приема при заходе на посадку.

При навигации по маршруту используется оборудование GPS, радиолокация (RADAR), ОВЧ-связь с авиадиспетчерской службой, дальномерное оборудование (DME), а также автоматический радиопеленгатор (ADF). Например, с помощью GPS и ADF пилоты определяют местоположение воздушного судна и запрашивают у авиадиспетчерской службы разрешение на посадку. При плотном воздушном движении диспетчерская

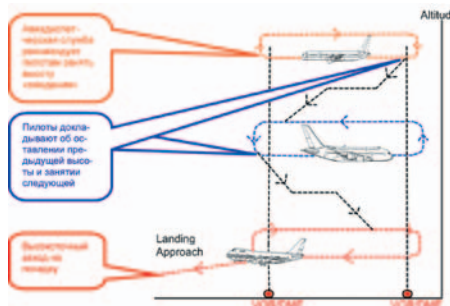


Рис. 4. Переход из эшелона в зоне ожидания к навигации при заходе на посадку

служба организует последовательное прибытие воздушных судов, пилоты которых выполняют «эшелонирование» в зоне ожидания (обычно используется схема захода на посадку по «коробочке») (см. рисунок 4).

Станции VOR/DME служат промежуточными точками маршрута перед конечным этапом снижения и заходом на посадку, направляемым по расстоянию до ВПП, информация о котором передается с помощью маркерных радиомаяков (MB) и системы инструментальной посадки (ILS).

Используемая в качестве одного из способов навигации при заходе на посадку, система инструментальной посадки (ILS) включает в себя три функции: глиссадный радиомаяк (GS), курсовой радиомаяк (LOC или LLZ) и маркерные радиомаяки (MB).

Глиссадный радиомаяк совместно с маркерными радиомаяками, которые информируют об удалении от ВПП, позволяют выполнять выравнивание траектории вертикального снижения относительно идеальной глиссады. Курсовой



Рис. 5. Навигация при заходе на посадку с использованием системы инструментальной посадки (ILS)

маяк обеспечивает выравнивание боковой (слева-справа) траектории захода на посадку относительно центральной линии ВПП. Маркерные радиомаяки, используемые при заходе на посадку, постепенно заменяются дальномерным оборудованием (DME), но при этом остаются важной частью существующей инфраструктуры аэропортов.

**ОБЗОР ВАРИАНТОВ ПРИМЕНЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ R&S**

Компания Rohde & Schwarz предлагает полный набор измерительных решений (см. таблицу 2) для работы с разнообразными авиационными сигналами радионавигации.

Подключение широкополосного датчика мощности R&S®NRP-Z81 к аналоговому генератору сигналов позволяет реализовать наиболее подходящее решение для испытания приемопередатчиков системы DME.

Аналоговый генератор сигналов R&S®SMA100A, оснащенный опцией работы с DME-системой R&S®SMA-K26, обеспечивает независимое контрольно-

Таблица 2

**НАБОР ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ R&S В ОБЛАСТИ АВИАЦИОННОЙ РАДИОНАВИГАЦИИ**

Приборы компании Rohde & Schwarz	Тип устройства	Опции	Типичные применения
R&S®SMA100A	Аналоговый генератор сигналов	SMA-K25 (VOR/ILS) SMA-K26 (DME)	Испытания приемника в НИОКР, на производстве и при обслуживании; Калибровка испытательного оборудования
R&S®NRP-Z81 в сочетании с R&S®SMA100A	Широкополосный датчик мощности	SMA-K26 (DME)	Испытания приемопередатчика системы DME
R&S®RTO/RTM	Осциллограф	Базовый блок	Контроль приемопередатчиков DME в испытательных лабораториях
R&S®FSQ/FSU R&S®FSMR	Анализатор спектра Измерительный приемник	FS-K15, FS-K7 (MB) FS-K15, FS-K7 (MB)	НИОКР и производство Калибровка сигналов VOR/ILS в испытательных лабораториях авионики
R&S®EVS300	Анализатор сигналов модуляции ILS/VOR	Базовый блок EVS-K2 (посл. соединение GPS-приемника) EVS-K3 (CRS/CLR) EVS-K8 (DME с датчиком R&S®NRP-Z81 и USB-адаптером R&S®NRP-Z4)	Полевые измерения на ВПП и использование в испытательных лабораториях
R&S®CMS57	Радиокommunikационный сервисный монитор	Базовый блок	Испытание приемопередатчиков в отделах ремонта, обслуживания и испытаний

измерительное решение для поверки оборудования встроенного контроля (BITE) на DME-станциях. Опция работы с VOR/ILS-сигналами R&S®SMA-K25 обеспечивает превосходное качество сигнала с исключительной спектральной чистотой, точностью модуляции и воспроизводимостью. Настройка прибора не представляет сложности благодаря использованию в графическом интерфейсе пользователя (GUI) блок-схемы формирования сигнала и структурированных меню. Широкополосный датчик мощности R&S®NRP-Z81 обеспечивает точный и мобильный анализ импульсов DME за счет использования USB-адаптера R&S®NRP-Z4. Осциллографы R&S®RTO/RTM обеспечивают воспроизведение сигналов с высочайшим качеством для проведения тщательного

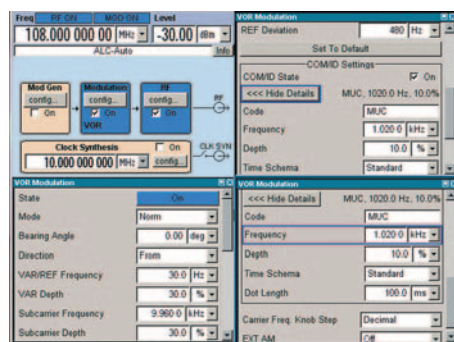


Рис. 6. Опция R&S®SMA-K25: активированная опция VOR в разделе MODULATION

импульсного анализа и предоставляют функции для работы с БПФ-спектром. Измерительный приемник R&S®FSMR с опцией R&S®FS-K15 обеспечивает высокоточную калибровку генераторов сигналов VOR/ILS и сервисных мониторов. Анализаторы спектра FSU и FSQ с опцией FS-K15 предназначены для разработки и производства инфраструктурных компонентов системы VOR/ILS. Совместно с опцией аналоговой демодуляции R&S®K7 и опцией векторного анализа сигналов FSQ-K70 они также обеспечивают проведение анализа приложений для передачи голосовых сообщений и данных.

Для наружных измерений, включая обслуживание на месте размещения и полевые измерения на ВПП, необходимо использовать погодозащищенные приборы, способные работать от батарей. Данным требованиям в полной мере удовлетворяет точный, портативный и универсальный анализатор модуляции R&S®EVS300. Радиокommunikационный монитор R&S®CMS57 обеспечивает отделы ремонта, обслуживания и испытаний универсальным решением «все в одном приборе» для испытания приемопередатчиков сигналов VOR/ILS и MB. Как уже было сказано выше, компания Rohde & Schwarz предостав-

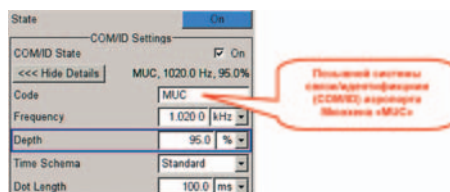


Рис. 7. Заданное пользователем значение «MUC» в пункте настроек

ляет решения как для испытания передатчиков, так и для испытания приемников. Для проведения испытаний передатчика необходимо принять меры по ослаблению сигнала до подачи его на ВЧ-вход. Например, типичный анализатор спектра характеризуется типовым входным значением мощности ВЧ-сигнала +27 дБмВт, а анализатор сигналов модуляции авионики имеет номинальное входное значение мощности ВЧ-сигнала +13 дБмВт.

Для проведения испытаний приемника в большинстве случаев достаточно использовать генератор сигналов с типичной выходной мощностью +20 дБмВт. В связи с этим, подавая максимальные входные уровни на ВЧ-порт, важно защитить оборудование от повреждений. Типичный анализатор спектра характеризуется широким динамическим диапазо-

ном, который позволяет отображать как слабые сигналы (из-за потерь при распространении), находящиеся чуть выше уровня шума, так и мощные сигналы (до момента передачи). Как правило, в диапазонах ВЧ, СВЧ и УВЧ предпочтительно использовать мощный 30-дБ аттенюатор с хорошим теплоотводом.

ИСПЫТАНИЯ ПРИЕМНИКА С ПОМОЩЬЮ ГЕНЕРАТОРА СИГНАЛОВ R&S®SMA100A

Применение опции работы с VOR/ILS-сигналами R&S®SMA-K25 в авиационных радионавигационных приемниках обеспечивает высокую точность при использовании сигналов VOR/ILS, ADF, MB, гибкие параметры настройки, включая глубину модуляции и настройку фазы, а также идентификацию COM/ID [4].

COM/ID автоматически преобразуется в код Морзе с помощью опции R&S®SMA-K25. Опция работы с VOR/ILS-сигналами R&S®SMA-K25 позволяет пользователю вводить буквенно-цифровые символы для формирования позывного системы связи/идентификации (COM/ID) аэропорта, которые автоматически преобразуются в код Морзе, как показано на рисунке 17. Предварительных знаний о коде Морзе не требуется.

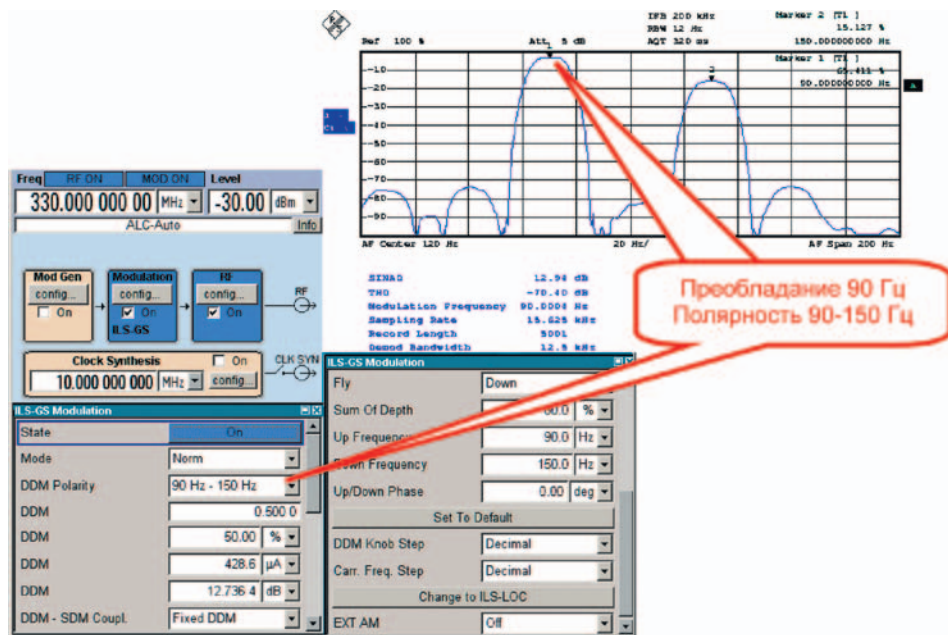


Рис. 8. Опция R&S®SMA-K25: Показаны настройки параметров модуляции ILS-GS. Спектр сигнала с амплитудной модуляцией ILS-GS и частотами 90 Гц – 150 Гц получен с помощью опции аналоговой демодуляции R&S®FS-K7

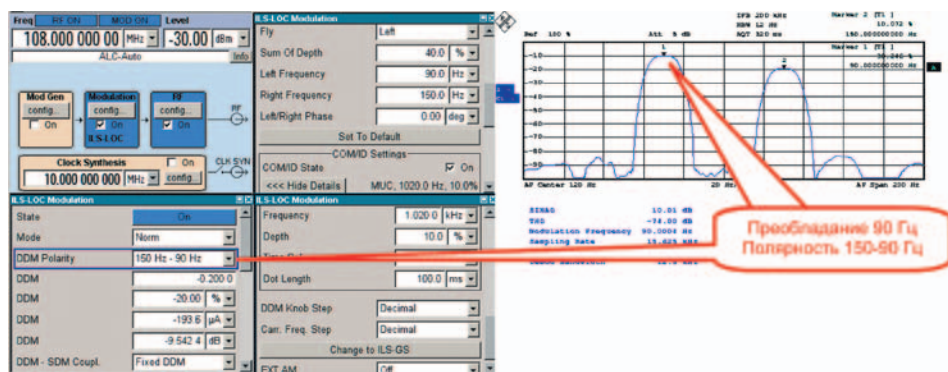


Рис. 9. Опция R&S®SMA-K25: показаны настройки параметров модуляции ILS-LOC

Гибкость настройки параметров в опции работы с VOR/ILS-сигналами R&S®SMAK25 делает возможной проверку таких параметров, как разность глубин модуляции (DDM). Как показано на рисунке 18, значение параметра DDM равно 0,5 для сигнала ILS-GS соответствует преобладающей частоте 90 Гц (левый луч). На рисунке 18 используется опция аналоговой демодуляции R&S®FS-K7 для иллюстрации спектра амплитудно-модулированного звукового сигнала. Показана преобладающая 90-Гц частота АМ-сигнала.

Спектр сигнала с амплитудной модуляцией ILS-LOC и частотами 90 Гц — 150 Гц получен с помощью опции аналоговой демодуляции R&S®FS-K7 (обратите внимание на гибкость настройки полярности параметра DDM).

Значение DDM, равное -0,2 для сигнала ILS-GS соответствует преобладающей частоте 90 Гц (левый луч), соответствующей полярности параметра DDM в опции R&S®SMA-K25 для частот 150 Гц — 90 Гц, как показано на рисунке 19. Опция аналоговой демодуляции R&S®FS-K7 использована на рисунке 19 для иллюстрации спектра звукового АМ-сигнала. В опции R&S®SMA-K25 настройки шкалы несущей частоты установлены в соот-

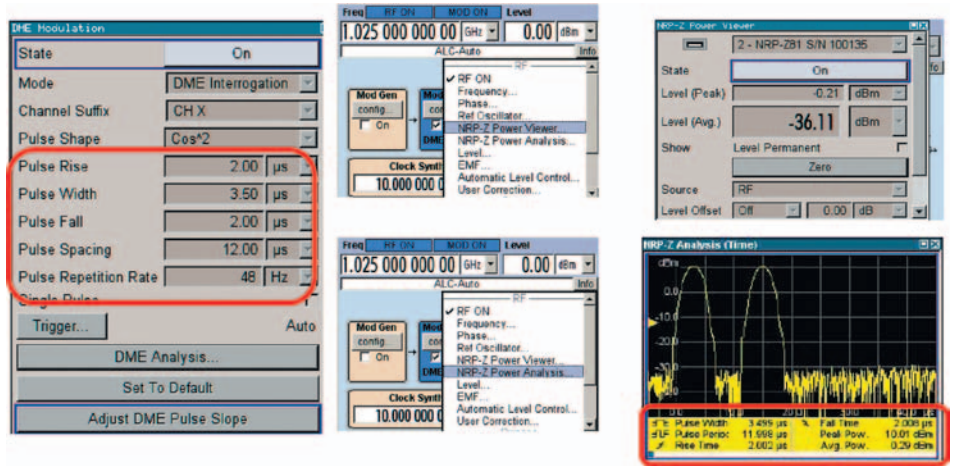


Рис. 12. Опция R&S®SMA-K26: генерация сигнала DME и его анализ с помощью датчика мощности R&S®NRP-Z81 и опции R&S®SMA-K28

ветствии требованиям Международной организации гражданской авиации (ICAO). Функция перехода позволяет легко переключаться между сигналами ILS-LOC и ILS-GS без необходимости возвращения к основной блок-схеме.

Установлены глубина модуляции 95% и несущая частота 75 МГц. Глубина модуляции на несущей частоте получена с помощью опции аналоговой демодуляции R&S®FS-K7.

В маркерных радиомаяках используется несущая частота 75 МГц, глубина амплитудной модуляции 95%. Поле ввода частоты маркера используется для настройки дальнего (400 Гц), среднего (1300 Гц) и ближнего (3000 Гц) маркерного радиомаяка. На рисунке 20 показан сигнал дальнего маркерного радиомаяка с глубиной амплитудной модуляции 95% и демодулированный с помощью опции аналоговой демодуляции R&S®FS-K7.

Настройки автоматического радиопеленгатора (ADF), поддерживаемые опцией работы с VOR/ILS-сигналами R&S®SMA-K25, показаны на рисунке 21. Выбранный тип модуляции сигнала COM/ID отображается во временной области с помощью анализаторов спектра/сигналов R&S® в режиме ZERO SPAN. На рисунке 21 каждое тире соответствует длительности 300 мс, каждая точка — 100 мс.

Режим ZERO SPAN позволяет во временной области вывести на экран соответствующий код Морзе для значения параметра COM/ID «MUC».

Выборное значение параметра COM/ID «M-U-C» проиллюстрировано во временной области с помощью анализатора сигналов.

Опция R&S®SMA-K26 позволяет выбрать сигналы опроса DME и задать значения девиации для увеличения надежности проверки. Опция R&S®SMA-K26 может использоваться для моделирования наземной DME-станции или приемопередатчика; добавление опции широкополосного датчика мощности R&S®NRP-Z81 [5] и программной опции анализа мощности R&S®SMA-K28 позволяет автоматически анализировать такие параметры импульсов, как время нарастания и спада, длительность импульса и интервал между импульсами. При одновременном использовании данных опций с помощью прибора R&S®SMA100A можно генерировать и анализировать во временной области характеристики сигналов системы DME.

При работе без программной опции анализа мощности R&S®SMA-K28 анализаторы спектра/сигналов компании R&S способны обеспечить проведение анализа импульсов во временной обла-

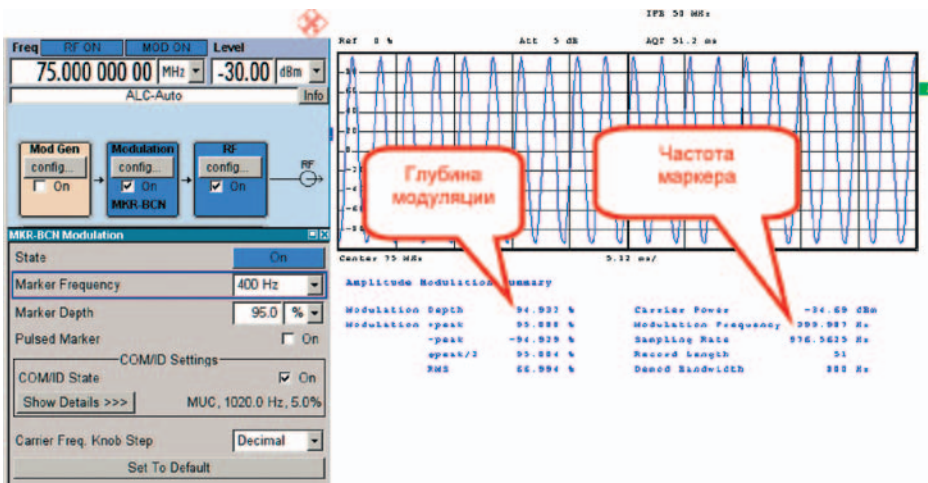


Рис. 10. Опция R&S®SMA-K25: показаны настройки амплитудной модуляции сигналов MB

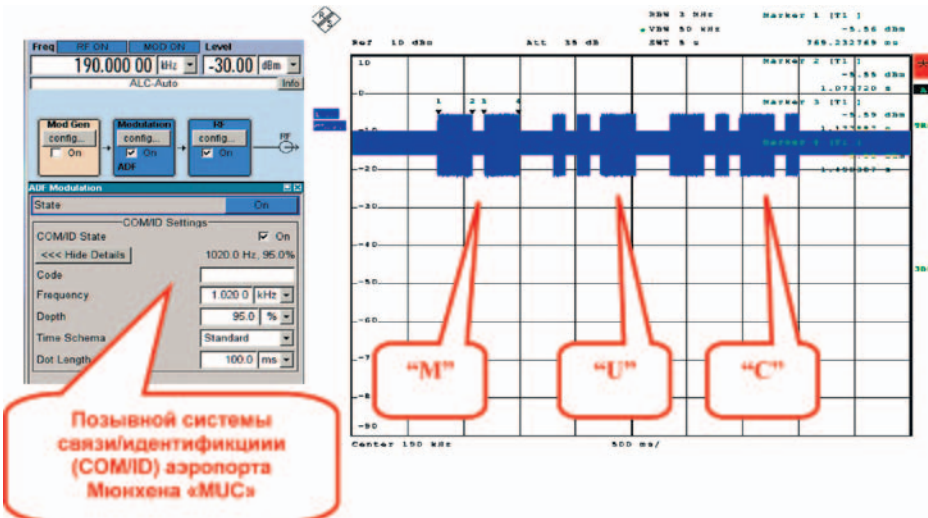


Рис. 11. Опция R&S®SMA-K25: показаны настройки модуляции автоматического радиопеленгатора

сти (в режиме ZERO SPAN). Однако, для специальных типов импульсов, таких как импульсы DME, использование широкополосного датчика мощности R&S®NRP-Z81 и USB-адаптера R&S®NRP-Z4 обеспечивает как проведение анализа во временной области (в программе для ПК «NRP Power Viewer Plus»), так и автоопределение параметров импульсов [5].

### КАЛИБРОВКА ГЕНЕРАТОРОВ СИГНАЛОВ VOR/ILS И СЕРВИСНЫХ МОНИТОРОВ С ПОМОЩЬЮ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРИЕМНИКА R&S®FSMR

Опция R&S®FS-K15 расширяет возможности измерительного приемника R&S®FSMR по контролю сигналов VOR и ILS от таких генераторов сигналов, как R&S®SMA или Collins, а также от таких сервисных мониторов, как R&S®CMS57.

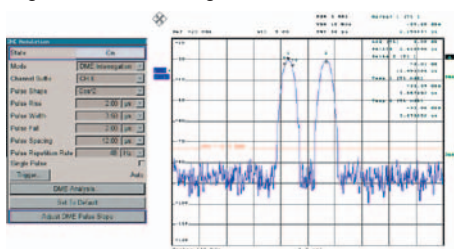


Рис. 13. R&S®SMA-K26: генерация сигналов DME и анализ длительности импульсов во временной области с помощью анализатора R&S®FSQ

Высокоточная калибровка ключевых параметров, в том числе пеленг сигналов VOR и разность глубин модуляции (DDM), легко выполняется с помощью опции R&S®FS-K15. Погрешность измерения параметра DDM составляет 0,0002 DDM + 1% от показаний; азимут VOR может быть измерен с погрешностью 0,03 и разрешением 0,01. Вместе с



Рис. 14. Опция работы с авиационным оборудованием R&S®FS-K15 для проверки передатчика сигналов VOR/ILS, установленная в измерительном приемнике R&S®FSMR

функциями, поддерживаемыми базовым блоком прибора, измерительный приемник R&S®FSMR позволяет калибровать следующие параметры генератора сигналов: частоту, абсолютный и относительный уровень, глубину модуляции, девиацию частоты, частоту модуляции и коэффициент искажений.

### ИЗМЕРЕНИЕ СИГНАЛОВ VOR С ПОМОЩЬЮ ОПЦИИ R&S®FS-K15

В режиме измерения сигнала VOR опция R&S®FS-K15 выводит суммарный результат, отображающий сразу все основные параметры. К ним относятся: несущая частота, уровень сигнала и глубина модуля-

ции для 30-Гц сигналов модуляции VAR и REF, девиация сигнала REF 9,96 кГц, идентификация COM/ID, и угол пеленга VOR [6]. Гистограмма индикатора отклонения от курса (CDI) индицирует угол пеленга. Оба типа пеленга FROM (прямой) и TO (обратный) отображаются на экране, чтобы можно было согласовать с ними на-

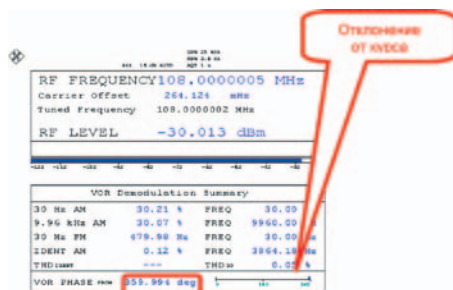


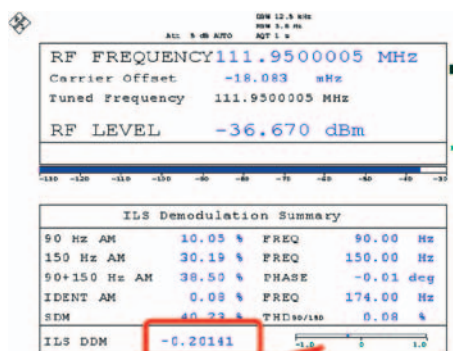
Рис. 15. Опция R&S®FS-K15 в режиме измерения VOR-сигналов выводит на экран сразу все основные параметры сигнала VOR. Здесь показан сигнал пеленга на 360° (FROM)

стройки передатчика (см. рисунок 25).

Альтернативным вариантом является анализ спектра модулированного сигнала. При проведении измерений параметров VOR-передатчиков важно ослабить мощность передатчика, используя подходящий внешний аттенюатор, до уровня ниже +30 дБмВт. В режиме VOR обеспечивается удобная работа с функциями автоподстройки частоты и автоматической регулировки уровня, автоматически устанавливающими частоту и уровень сигнала.

### ИЗМЕРЕНИЕ СИГНАЛОВ ILS С ПОМОЩЬЮ ОПЦИИ R&S®FS-K15

Так же, как в режиме VOR, функция измерения сигнала ILS обеспечивает быстрый просмотр всех основных параметров сигнала ILS в суммарной таблице результатов. Помимо таких ВЧ-параметров, как частота и уровень несущей, данная таблица содержит параметры DDM, SDM, глубину модуляции и частоту 90-Гц и 150-Гц сигналов, а также коэффициент гармонических искажений (THD) для 90-Гц и 150-Гц сигналов. Индикатор отклонения от курса (CDI) может быть представлен в аналоговом виде, который облегчает восприятие



Индикатор отклонения от курса (CDI)

возможных изменений при выполнении выравнивания.

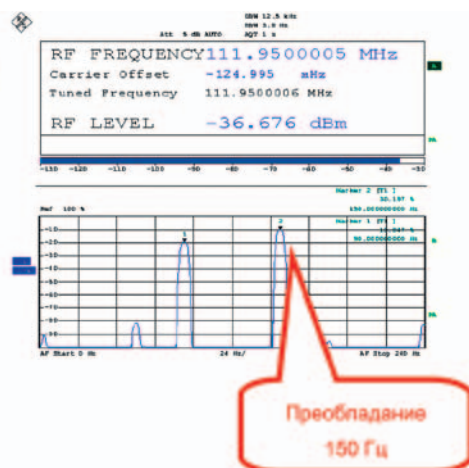
В опции R&S®FS-K15 поддерживается возможность одновременного вывода на экран числовых результатов и спектра звукового сигнала для проведения интуитивного графического анализа. Например, преобладающая частота 150 Гц, возникающая вследствие значения DDM -0,2 (как видно из гистограммы), показана на спектре звукового сигнала (см. рисунок 26). Одновременно на экран выводится суммарный коэффициент гармонических искажений (THD) и коэффициент селективных искажений для искажений K2/K3. Индикатор отклонения от курса (CDI) используется для вывода на экран статистики DDM для параметров ILS.

Опция аналоговой демодуляции R&S®FS-K7 позволяет анализировать ВЧ-спектр, включая несущую частоту. На спектре также можно наблюдать степень подавления гармоник. На рисунке 27 показаны преобладающая частота 150 Гц и дельта-маркеры DELTA, соответствующие их глубине амплитудной модуляции. Опция аналоговой демодуляции R&S®FS-K7 может так же использоваться для демодуляции амплитудно-модулированных сигналов маркерных радиомаяков (MB) (см. рисунок 20).

### ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПРИЕМО-ПЕРЕДАТЧИКОВ С ПОМОЩЬЮ R&S®CMS57

Благодаря встроенным в радиокommunikационный сервисный монитор R&S®CMS57 генератору и приемнику он может использоваться для ремонта, обслуживания и испытаний приемопередатчиков [9]. Для испытания передатчиков прибор R&S®CMS57 задействуется в качестве аналогового приемника, который демодулирует такие сигналы, как VOR, ILS и MB. Максимальное значение уровня по ВЧ-входу +13 дБмВт означает, что мощность передатчика должна быть ослаблена. Монитор R&S®CMS57 оснащен высокоточным встроенным генератором VOR/ILS-сигналов для испытания приемников.

Из рисунка 19 видно, что шаг значенной разности глубин модуляции (DDM) для сигналов ILS равен 0,001, для сигнала



Преобладание 150 Гц

Рис. 16. Опция R&S®FS-K15: спектр звукового сигнала ILS с преобладающей частотой модуляции 150

лов VOR — 0,01 градуса; а отображение осциллограмм демодулированных сигналов и генерация сигналов MB действительно убеждают в том, что радиокommunikационный тестер R&S®CMS57 является универсальным решением для ремонта и обслуживания авиационного радионавигационного оборудования.

**АНАЛИЗ ИМПУЛЬСОВ DME С ПОМОЩЬЮ ОСЦИЛЛОГРАФА R&S®RTO**

Цифровой осциллограф R&S®RTO (см. рисунок 20) сочетает превосходное качество отображения сигнала, высокую скорость сбора данных и передовую цифровую систему синхронизации в реальном масштабе времени с компактной конструкцией прибора в классе устройств с полосой пропускания 1 ГГц и 2 ГГц. Прибор также обеспечивает отображение основных видов аналоговой модуляции (таких как AM и ЧМ).



**Рис. 17. Опция аналоговой демодуляции R&S®FS-K7: ВЧ-спектр сигнала ILS с несущей и преобладающей частотой 150 Гц**

Характеристики сигналов DME (см. рисунок 21) могут быть получены с помощью цифровых осциллографов R&S®RTO1022 (2 ГГц, 2 канала) или R&S®RTO1024 (2 ГГц, 4 канала). На экран может быть выведен БПФ-спектр сигнала, а такие параметры, как время нарастания и спада импульса, длительность импульса и интервал между импульсами определяются с помощью набора курсоров.

**НАЗЕМНЫЙ И БОРТОВОЙ КОНТРОЛЬ С ПОМОЩЬЮ АНАЛИЗАТОРА R&S®EVS300**

Анализатор модуляции R&S®EVS300 значительно упрощает задачи измерения, отображения и хранения данных в полевых условиях. Базовый блок EVS300 обеспечивает максимальный уровень и точность модуляции для сигналов VOR, ILS и MB. Проведение полевых измерений, подобных показанным на рисунке 28, возможно в любое время суток при наличии никель-металлогидридной (NiMH) аккумуляторной батареи R&S®EVS-B3, обеспечивающей до 8 часов непрерывной ра-



**Рис. 18. Радиокommunikационный сервисный монитор R&S®CMS57**



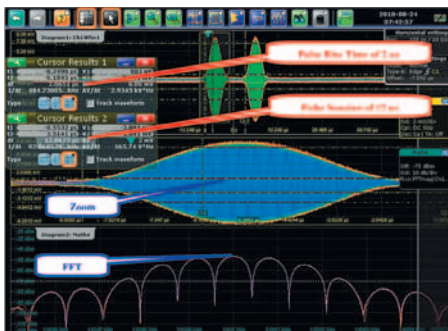
**Рис. 19. Генерация и анализ сигналов VOR, ILS и MB в приборе R&S®CMS57**

боты, погодоустойчивой наплечной сумки R&S®EVS-Z1 и вибраторной ILS/VOR антенны R&S®EVS-Z3.

Анализатор R&S®EVS300 вместе с опцией R&S®EVS-K1 (FSCAN) обеспечивают проведение CVOR/DVOR-анализа полезного сигнала и помех, измерение частоты и глубины модуляции, искажения AM-сигнала с частотой поднесущей 9,96 кГц, пеленга сигналов VOR в градусах в режимах прямого (FROM) или обратного (TO) пеленга, девиация ЧМ-сигнала с частотой поднесущей 9,96 кГц, декодирование и измерение частоты и глубины модуляции сигнала COM/ID, показанных на



**Рис. 20. 4-канальный цифровой осциллограф R&S®RTO1024 с полосой 2 ГГц**



**Рис. 21. Анализ импульса DME и БПФ-спектр на экране цифрового осциллографа R&S®RTO**

рисунке 29. Анализатор R&S®EVS300 также обеспечивает гибкие настройки для обслуживания антенн системы ILS, для обслуживания и проверки монтажа. Параметры DDM/SDM, частоты, уровень, фаза и глубина модуляции могут быть проанализированы с помощью базового модуля. Опции R&S®EVS-K1 (FSCAN) и R&S®EVS-K4 (FFT) предназначены для спектральных измерений, опция R&S®EVS-K7 (SCOPE) обеспечивает проведение измерений во временной области.

Семейство датчиков мощности R&S®NRT/NRP может использоваться для прямого измерения мощности посредством подходящего внешнего аттенюатора, расположенного до ВЧ-входа (максимальная

амплитуда сигнала +13 дБмВт). При расширенных измерениях сигналов ILS используется опция R&S®EVS-K3 (CRS/CLR), предназначенная для измерения клиренса и цифрового разделения сигналов в одном сигнальном канале [7].

Функция SETUP→OPTION позволяет настроить анализатор модуляции R&S®EVS300 для отображения виртуальной кабины пилота для анализа сигналов ILS/GS. Значение параметра DDM, равное 0,5, означает, что преобладающей является частота AM-сигнала 90 Гц (левый луч) и рекомендуется «лететь ниже» (fly down, FD).



**Рис. 22. Анализатор модуляции R&S®EVS300 для полевых измерений**

Опция R&S®EVS-K1 (FSCAN) обеспечивает проведение спектрального анализа в диапазоне частот от 70 до 350 МГц с поддержкой функций очистки/записи, усреднения и удержания максимумов кривых, а также функций маркера и дельта-маркера. В опции R&S®EVS-K4 (FFT) возможно использование окна Ганна, прямоугольного окна или не применять окна. На рисунке 31 показан сигнал с преобладающей частотой 90 Гц. Также с помощью данной опции могут быть проанализированы гармоники и комбинационные составляющие.

При анализе сигналов ILS/LOC или LLZ, значение DDM, равное -0,2, означает, что преобладающей является частота AM-сигнала 150 Гц (правый луч) и рекомендуется «лететь левее» (fly left, FL). Второй модуль обработки сигналов R&S®EVS-B1 позволяет одновременно проводить измерения как сигналов ILS-GS, так и сигналов ILS-LOC.

Два ВЧ-порта используются в качестве каналов 1 и 2. Одновременное измерение увеличивает пропускную способность в два раза, а также поддерживают ILS-измерения в реальном масштабе времени как по вертикальной (GS), так и поперечной (LOC) осям захода на посадку.

Маркерные радиомаяки используются для предупреждения пилота о необходимости проверить высоту снижения перед посадкой. Три маркерных радиомаяка —

ближний (3000 Гц), средний (1300 Гц) и дальний (300 Гц) с частотой несущего сигнала 75 МГц — расположены на определенных интервалах вдоль линии посадки и идентифицируются по импульсным звуковым и визуальным характеристикам.

«Высотой принятия решения» является заданная высота, на которой должен быть осуществлен уход на дополнительный круг, если требуемые визуальные ориентиры на взлетно-посадочной полосе не были зафиксированы (например, от авиадиспетчерской службы не было получено сообщения о препятствии на ВПП, а пилот после визуального осмотра прервал заход на посадку). Дальний маркер используется как обозначение границы глиссады, средний маркер как высота принятия решения категории I (высота более 60 м, видимость более 800 м, дальность видимости на ВПП 550 м), а ближний маркер как высота принятия решения категории II (высота от 30 до 60 м, дальность видимости на ВПП 350 м) [8].

Опция R&S®EVS-K2 (GPS) позволяет подключать внешние GPS-устройства через второй интерфейс RS-232. Результаты

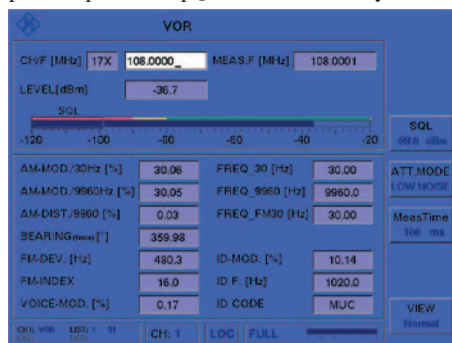


Рис. 23. Анализ VOR-сигналов прибором R&S®EVS300 и отображение ВЧ-спектра с помощью опции R&S®EVS-K1 (FSCAN)

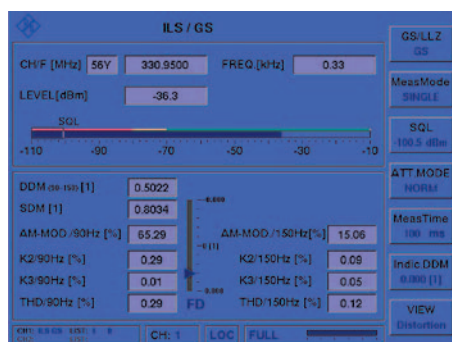


Рис. 24. Анализатор R&S®EVS300: статистический анализ сигналов ILS-GS при помощи кабинного столбчатого индикатора «лети выше/ниже» для параметра DDM

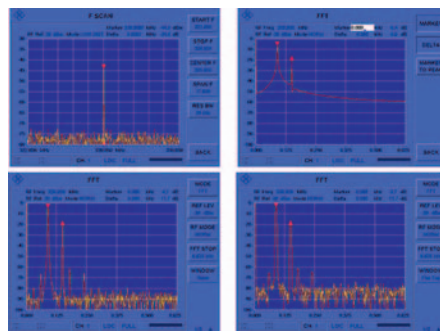


Рис. 25. Опции R&S®EVS-K1 (FSCAN) и R&S®EVS-K4 (FFT) (без использования окна, с окном Ганна или прямоугольными окнами)

измерения параметров сигналов ILS/VOR/MB сопоставляются с данными о положении, которые затем автоматически вносятся с пометкой времени в массивы данных для формирования отчетов об испытании.

Опция R&S®EVS-K3 предназначена для цифрового разделения сигналов курса и клиренса с помощью только одного канала обработки сигнала. Соотношение значений уровня и фазовое соотношение курса и клиренса может быть точно измерено в нормальном режиме работы системы ILS.



Рис. 26. Анализатор R&S®EVS300: статистический анализ сигналов ILS-LOC/LLZ при помощи кабинного столбчатого индикатора «лети левее/правее» для параметра DDM

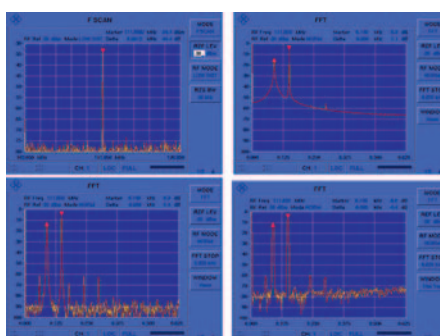


Рис. 27. Опции R&S®EVS-K1 (FSCAN) и R&S®EVS-K4 (FFT) (без использования окна, с окном Ганна или прямоугольными окнами)

Опция датчика мощности R&S®EVS-K5 может использоваться для подключения измерителя R&S®NRT к датчику мощности NRP через интерфейс USB или RS-232-C. Данные датчики мощности, способные выводить на экран как пиковую, так и среднюю мощность, делают возможным проведение полевых испытаний и обслуживание передатчиков. Также датчик мощности R&S®NRT позволяет выяв-

лять рассогласование сопротивлений на вкладке измерения коэффициента стоячей волны по напряжению (VSWR) в разделе измерения обратной мощности.

Опция отображения DME-импульсов R&S®EVS-K6 и опция широкополосного датчика мощности R&S®NRP-Z81 с легкостью позволяют контролировать такие параметры импульсов DME, как форму импульса, время нарастания и спада, длительность промежутка между импульсами, выходную пиковую мощность, максимальные колебания и временную задержку.

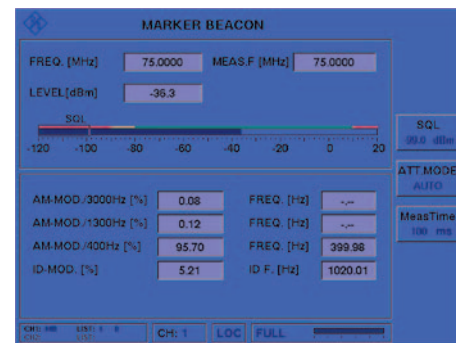


Рис. 28. Маркерный радиомаяк анализатора R&S®EVS300 с выходом звуковой частоты и авторегулировкой громкости

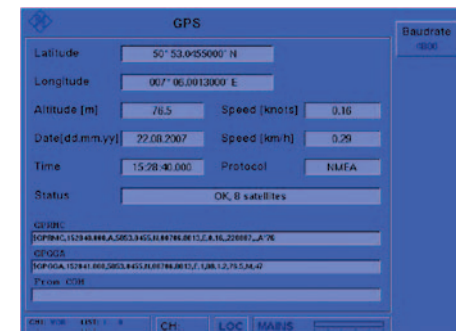


Рис. 29. Опция R&S®EVS-K2 (GPS) с подключением по последовательному порту RS-232 к внешнему GPS-устройству

Задержка запуска может быть изменена через вход сигнала запуска USB-адаптера R&S®NRP-Z3. Опции R&S®EVS-K5 и R&S®EVS-K6 могут поставляться совместно в виде пакетной опции R&S®EVS-K8.

Опция осциллографа R&S®EVS-K7 позволяет проводить анализ сигналов во временной области без подключения дополнительного оборудования. В примере проводится анализ сигнала на несущей частоте и в боковой полосе частот (CSB), состоящего из сигнала несущей радиочастоты с амплитудной модуляцией (AM) частотой 90 Гц и 150 Гц и сигнала с подавленной несущей и одной боковой полосой (SBO), который похож на сигнал CSB с подавленной несущей.

Анализатор R&S®EVS300 оснащен встроенной памятью для хранения и передачи данных. Даже на самой высокой скорости, составляющей 100 измерений в секунду, все параметрические данные могут быть зарегистрированы. Данные могут быть получены через интерфейс дистанционного управления (например, Ethernet или RS-232) или они мо-

гут быть сохранены на USB-накопителе в формате Microsoft Excel.

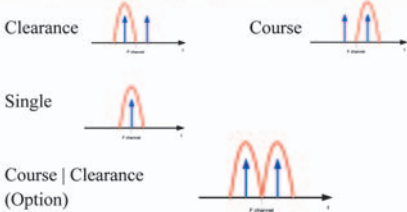
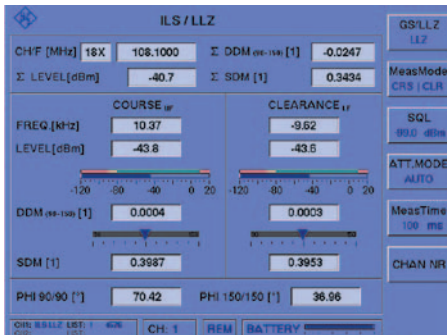
Автономная испытательная система калибровки R&S®EVS-Z10 позволяет пользователям различных модулей анализатора R&S®EVS300 провести калибровку их оборудования и получить отчеты об испытаниях, сэкономив на таможенных пошлинах и сроках доставки. Испытательная система R&S®EVS-Z10 состоит из генератора сигналов R&S®SMA100A, анализатора модуляции R&S®FMAV или приемника R&S®FSMR и ступенчатого аттенюатора R&S®RSG.

Опция R&S®FS-K15 является вариантом-продолжением опции R&S®FMAV.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Аналоговые генераторы сигналов R&S®SMA100A, оснащенные опцией работы с VOR/ILS-сигналами R&S®SMA-K25 обеспечивают высокоточную генерацию сигналов для испытания VOR/ILS, MB и ADF приемников. Генератор R&S®SMA100A со специальной опцией R&S®SMA-K25, предназначенной для максимального расширения испытательных возможностей, представляет собой универсальный аналоговый генератор сигналов для калибровочных и измерительных лабораторий.

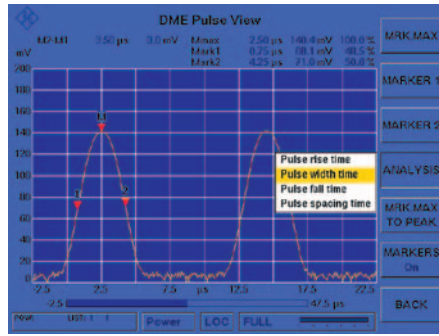
Опция R&S®SMA-B46 дополнительно



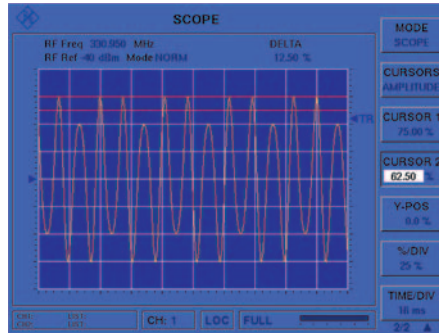
**Рис. 30. Режим работы курс/клиренс (CRS/CLR) опции R&S®EVS-K3 и его графическое представление**



**Рис. 31. Опция датчика мощности R&S®EVS-K5 (датчики мощности семейства R&S®NRP/T-Zxx)**

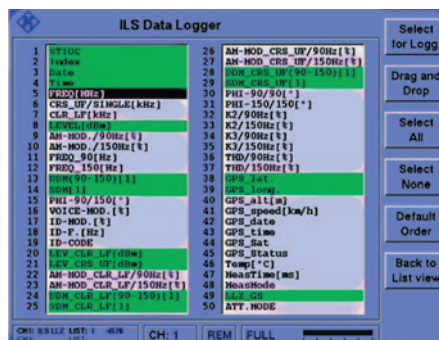


**Рис. 32. Опция R&S®EVS-K6 (DME) для работы с опцией датчика мощности EVS-K5**



**Рис. 33. Опция осциллографа R&S®EVS-K7**

обеспечивает возможность работы на большой высоте в соответствии со стандартом MIL-PRF-28800 F. Опция просмотра мощности R&S®SMA-K28 позволяет проводить анализ формы DME-импульсов. Для лабораторной разработки и калибровки VOR/ILS-передатчиков опция R&S®FSK15 позволяет проводить демодуляцию VOR/ILS-сигналов с помощью анализаторов спектра/сигналов R&S®FSQ и R&S®FSU и измерительных приемников R&S®FSMR. Опция аналоговой демодуляции R&S®FS-K7 обеспечивает проведение демодуляционного анализа сигналов MB в анализаторах спектра/сигналов R&S®FSQ и R&S®FSU.



**Рис. 34. Регистратор данных R&S®EVS300**

Высокоточный анализ уровня и модуляции для наземного и бортового контроля передатчиков VOR, ILS, MB и DME сигналов — профильная задача, выполняемая анализатором R&S®EVS300. Проведение полевых измерений становится относительно простой задачей при использовании таких принадлежностей, как никель-металлогидридная (NiMH) аккумуляторная батарея R&S®EVS-B3, обеспечивающая до 8 часов непрерывной работы, погодостойчивая наплеч-

ная сумка R&S®EVS-Z1 и вибраторная ILS/VOR антенна R&S®EVS-Z3. Испытательная система R&S®EVS-Z10 позволяет администрации аэропорта, распоряжающейся многочисленными приборами R&S®EVS300, самостоятельно выполнять их калибровку, снижая тем самым время простоя оборудования.



**Рис. 35. Испытательная система R&S®EVS-Z10**

Радиокommunikационный сервисный монитор R&S®CMS57 представляет собой универсальное решение, предназначенное для калибровочных лабораторий и позволяющее проводить испытания приемопередатчиков сигналов VOR, ILS и MB.

В зависимости от несущей частоты DME для анализа импульсов DME достаточно 2-ГГцовой версии цифрового осциллографа R&S®RTO. Также с помощью цифрового осциллографа R&S®RTO во временной области (в виде синусоидальных осциллограмм) могут анализироваться основные аналоговые виды модуляции (AM и ЧМ), применяемые в авиационной радионавигации.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Application Note 1GPAN10E, VOR-Receiver Tests using Signal Generator SMT.
2. Application Note 1GPAN11E, ILS-Test Procedures using Signal Generator SMT
3. Application Note 1GPAN09E, VOR-ILS. Testing using Signal Generator SMT.
4. [http://www2.rohde-schwarz.com/file/10970/MILNews10\\_2007\\_SMA100A.pdf](http://www2.rohde-schwarz.com/file/10970/MILNews10_2007_SMA100A.pdf).
5. [http://www2.rohde-schwarz.com/file/6981/Manual\\_NRP\\_Z81\\_Rev\\_02.pdf](http://www2.rohde-schwarz.com/file/6981/Manual_NRP_Z81_Rev_02.pdf).
6. [http://www2.rohde-schwarz.com/file/8350/FS-K15\\_e.pdf](http://www2.rohde-schwarz.com/file/8350/FS-K15_e.pdf).
7. [http://www2.rohde-schwarz.com/en/products/test\\_and\\_measurement/spectrumanalysis/EVS300-%7C-Manuals-%7C-22-%7C-700.html](http://www2.rohde-schwarz.com/en/products/test_and_measurement/spectrumanalysis/EVS300-%7C-Manuals-%7C-22-%7C-700.html).
8. Annex 10, Volume I Radio Navigation Aids, ICAO, pp. 317-318.
9. [http://www2.rohde-schwarz.com/file/7847/CMS\\_bro\\_en\\_v05.pdf](http://www2.rohde-schwarz.com/file/7847/CMS_bro_en_v05.pdf).

*This article highlights various aeronautical radio navigation signals such as VHF omnidirectional radio range (VOR), instrument landing system (ILS) for glide slope (GS) and localizer (LLZ), as well as marker beacon (MB). R&S® test and measurement solutions for avionics navigation equipment are introduced based on application scenarios, including calibration, research and development, field tests, and transceiver testing.*