

# Измерительные решения в области авиационной радионавигации

## Указания по применению

### Изделия:

R&S®SMA100A	R&S®EVS300
R&S®FSU	R&S®NRP-Z81
R&S®FSQ	R&S®CMS57
R&S®FSMR	R&S®RTO

В данном документе 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.

# Содержание

<b>1</b>	<b>Общие сведения.....</b>	<b>3</b>
1.1	Авиационная электроника.....	3
1.2	Распределение по частотному спектру .....	4
1.3	Оборудование для навигации и посадки.....	5
<b>2</b>	<b>Радионавигация в авиации .....</b>	<b>7</b>
2.1	Всенаправленный ОВЧ-радиомаяк (VOR) .....	7
2.2	Система инструментальной посадки (ILS) .....	9
2.2.1	Система инструментальной посадки – глиссадный маяк (ILS-GS) .....	10
2.2.2	Система инструментальной посадки – курсовой маяк (ILS-LOC/LLZ).....	11
2.2.3	Маркерный радиомаяк (MB) .....	13
2.3	Обзор вариантов применения оборудования R&S .....	14
<b>3</b>	<b>Варианты применения .....</b>	<b>16</b>
3.1	Испытания приемника с помощью генератора сигналов R&S®SMA100A.....	16
3.2	Калибровка генераторов сигналов VOR/ILS и сервисных мониторов с помощью измерительного приемника R&S®FSMR .....	21
3.2.1	Измерение сигналов VOR с помощью опции R&S®FS-K15 .....	21
3.2.2	Измерение сигналов ILS с помощью опции R&S®FS-K15 .....	22
3.3	Наземный и бортовой контроль с помощью анализатора R&S®EVS300.....	23
3.4	Эксплуатационные испытания приемо-передатчиков с помощью R&S®CMS57 .....	31
3.5	Анализ импульсов DME с помощью осциллографа R&S®RTO.....	33
<b>4</b>	<b>Заключение.....</b>	<b>35</b>
<b>5</b>	<b>Литература .....</b>	<b>35</b>
<b>6</b>	<b>Сокращения.....</b>	<b>36</b>
<b>7</b>	<b>Информация для заказа.....</b>	<b>37</b>

# 1 Общие сведения

## 1.1 Авиационная электроника



Рисунок 1 – Простейшее структурное разбиение авионики с упором на **выделенные** навигационные системы

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, авионику 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 назначения.

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). Дальномерное оборудование (DME) для гражданского применения и тактическая аэронавигационная система (TACAN) для военного применения описаны в документе [Application Note 1GP74](#) и поэтому не будут разбираться здесь подробно.

В данном документе обсуждаются измерительные решения в части генерации и анализа аэронавигационных сигналов; в частности, исследуется, какое из решений наилучшим образом будет удовлетворять требованиям различных авиационных структур, будь то калибровочные лаборатории, администрация аэропорта, производство или даже научно-исследовательские и конструкторские организации.

## 1.2 Распределение по частотному спектру

Таблица 1 – Распределение (типичное) сигналов авионавигации по частотному спектру

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

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

### 1.3 Оборудование для навигации и посадки



Рисунок 2 – Вид различных приборов для навигации и посадки в кабине воздушного судна

С точки зрения пилота, находящегося в кабине воздушного судна, за системы VOR/ILS и МВ 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 энергоснабжения не указаны.

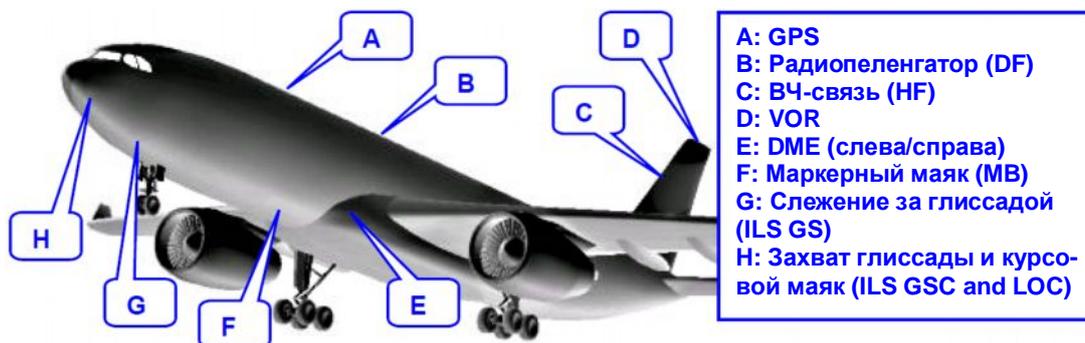


Рисунок 3 – Размещение бортовых вспомогательных систем авиационной радионавигации

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 – глиссадного и курсового радиомаяка размещены в нижней части – для наилучшего приема при заходе на посадку.

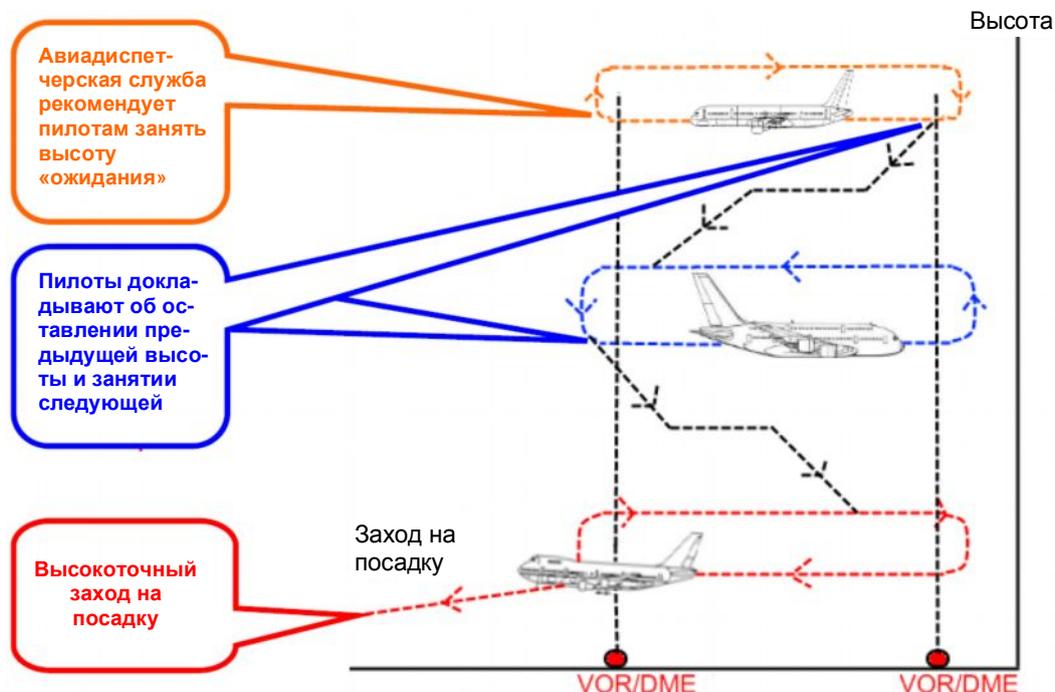


Рисунок 4 – Переход из эшелона в зоне ожидания к навигации при заходе на посадку

При навигации *по маршруту* используется оборудование GPS, радиолокация (RADAR), ОБЧ-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 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).



Рисунок 5 – Навигация при заходе на посадку с использованием системы инструментальной посадки (ILS)

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

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

## 2 Радионавигация в авиации

### 2.1 Всенаправленный ОВЧ-радиомаяк (VOR)

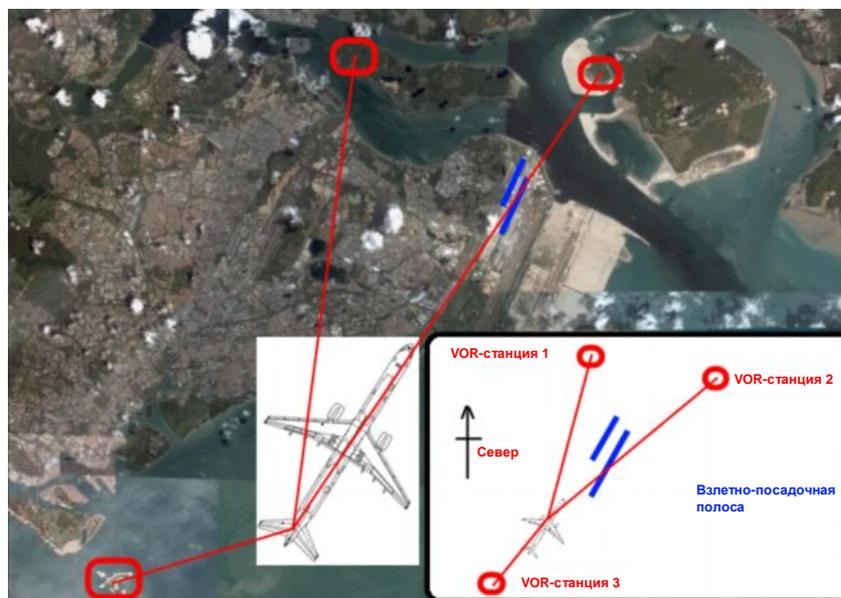


Рисунок 6 – Определение местоположения на конечном этапе захода на посадку с помощью VOR-станций

Всенаправленный ОВЧ-радиомаяк (VOR) действует в частотном диапазоне ОВЧ 108...118 МГц и обеспечивает воздушное судно (ВС) информацией о направлении на наземную станцию. С помощью демодуляции сигнала от передающей VOR-станции приемник VOR-сигналов воздушного судна позволяет извлечь информацию о направлении на передающую станцию [1]. Местоположение ВС можно вычислить путем триангуляции сигналов от двух и более станций. VOR-станции выдают относительные направления на наземные станции.

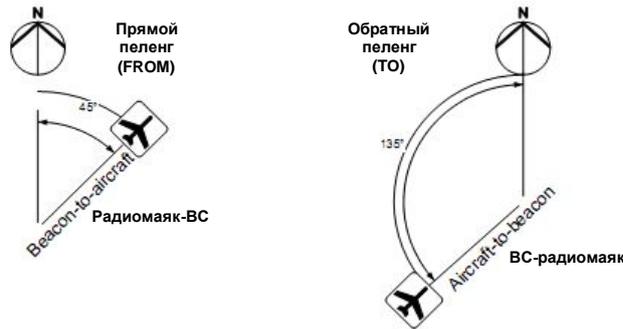


Рисунок 7 – Условные обозначения для режимов индикации прямого и обратного пеленга

Прибор в кабине для индикации VOR-информации может быть установлен либо в режиме индикации прямого пеленга FROM (ОТ маяка на ВС), либо в режим обратного пеленга TO (от ВС НА маяк). В режиме FROM радиомаяк является опорной точкой, и пеленг определяется как угол между направлением магнитной стрелки на север и направлением радиомаяк-воздушное судно. В режиме TO опорной точкой является воздушное судно, а пеленг определяется как угол между направлением магнитной стрелки на север и направлением воздушное судно-радиомаяк.  $\varphi_{TO} = 180^\circ - \varphi_{FROM}$  (см. рисунок 7).

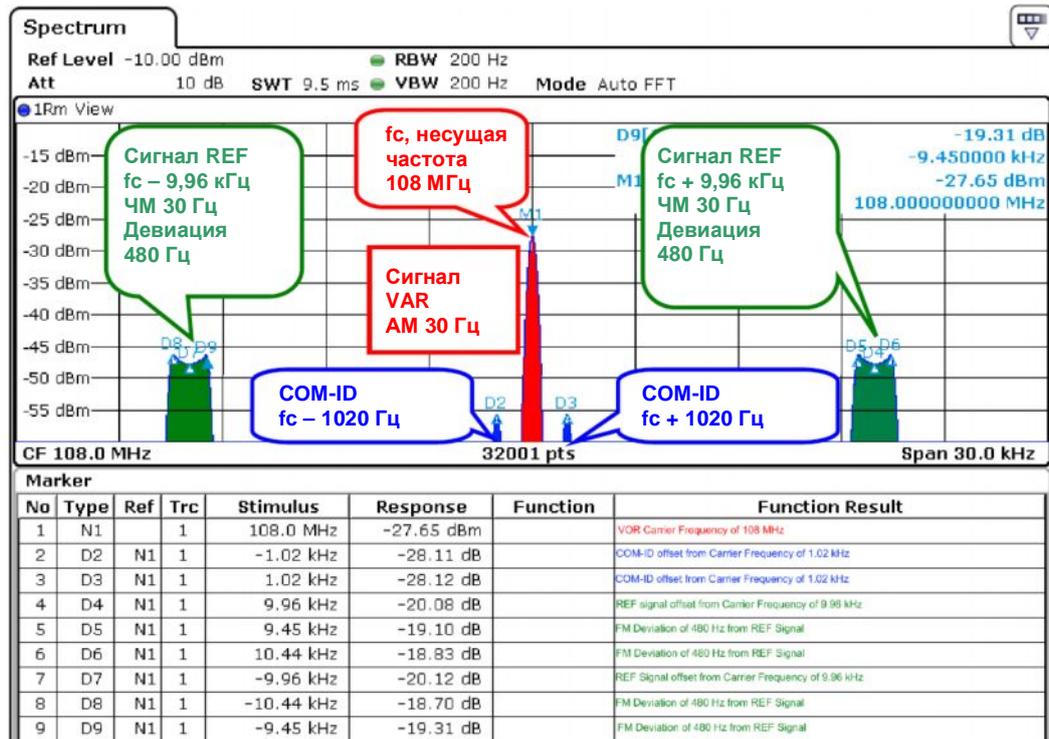


Рисунок 8 – Спектр сигнала VOR (используется функция индикации максимумов кривой MAX HOLD и логарифмический масштаб LOG SCALE), полученный в анализаторе сигналов R&S FSV

Всенаправленный ОВЧ-радиомаяк (VOR) действует в непрерывном режиме на частотах от 108 до 118 МГц, с использованием кодовой идентификации или COM/ID, в которой применяется до четырех символов кода Морзе, передаваемых на тональной частоте модуляции 1,020 кГц. На рисунке 8 показан пример спектра сигнала VOR с центральной частотой 108 МГц. Изображение спектра в логарифмическом масштабе получено с помощью анализатора R&S®FSV.

30-Гц опорный сигнал (REF) – это частотно-модулированный сигнал с пиковой девиацией 480 Гц на несущей частоте 9,96 кГц. Данная частотно-модулированная поднесущая затем подвергается амплитудной модуляции на несущей частоте VOR-сигнала. Сигнал переменной фазы (VAR) представляет собой амплитудно-модулированный сигнал на несущей частоте VOR-сигнала, получаемый с помощью антенной решетки, которая формирует диаграмму направленности в форме кардиоиды, вращающейся с частотой 30 Гц (1800 оборотов в минуту). Опорный сигнал REF передается с фиксированной всенаправленной антенны и поэтому не содержит изменяющихся во времени сигналов пространственной модуляции. Относительная разность фаз между обоими 30-Гц сигналами пропорциональна направлению на передатчик (из-за его вращения).

Рассматриваемые сигналы будут синфазны в направлении «магнитного» севера, не совпадать по фазе на 90 градусов в направлении «магнитного» востока, не совпадать по фазе на 180 градусов в направлении «магнитного» юга и не совпадать по фазе на 270 градусов в направлении «магнитного» запада. Функция VOR-приемников при приеме обоих сигналов VAR и REF заключается в сравнении их фаз и индикации направления на станцию в режиме индикации прямого пеленга.

## 2.2 Система инструментальной посадки (ILS)

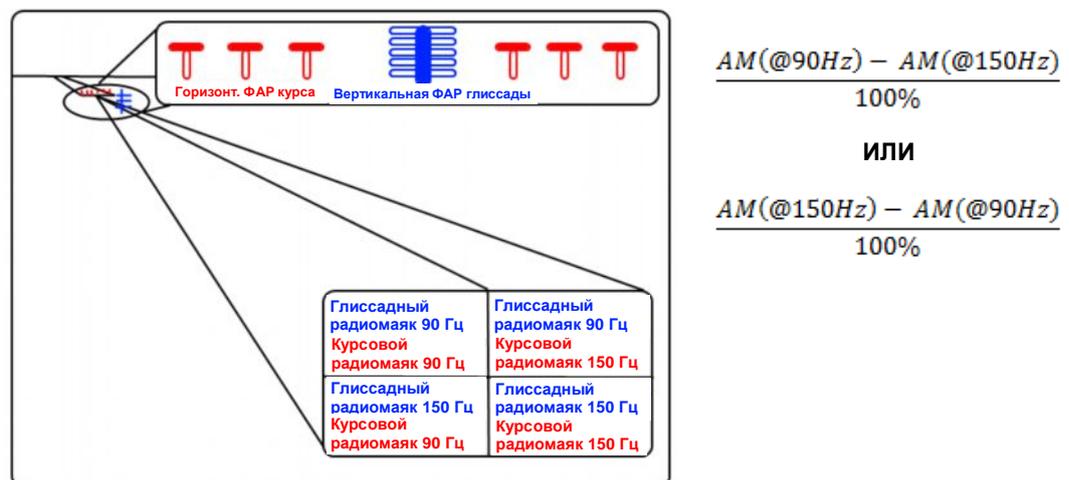


Рисунок 9 – Условные обозначения для сигналов ILS 90 Гц и 150 Гц

Система инструментальной посадки (ILS) обеспечивает пилотов воздушных судов информацией об идеальном посадочном курсе. Информация становится крайне необходимой в случае плохой видимости, вызванной сложными погодными условиями, при ночной посадке или при боковом ветре.

**Глиссадный радиомаяк ILS-GS** позволяет пилоту выдерживать правильный вертикальный курс во время посадки. Вертикальная коррекция производится за счет двух АМ-сигналов с глубиной модуляции 40%, действующих в диапазоне частот от 329 до 335 МГц. Для захода на посадку верхний тональный сигнал по умолчанию модулируется частотой 90 Гц, а нижний тональный сигнал – частотой 150 Гц [2]. Для формирования луча используется вертикальная фазированная антенная решетка.

**Курсовой радиомаяк ILS-LOC/LLZ** позволяет пилоту выдерживать правильный горизонтальный курс во время посадки. Боковая коррекция производится за счет двух АМ-сигналов с глубиной модуляции 20%, действующих в диапазоне частот от 108 до 112 МГц. Для захода на посадку левый тональный сигнал по умолчанию модулируется частотой 90 Гц, а правый тональный сигнал – частотой 150 Гц [2]. Для формирования луча используется горизонтальная фазированная антенная решетка.

«Разность глубин модуляции» (DDM) – это относительная разность между двумя АМ-сигналами с частотами модуляции 90 Гц и 150 Гц. Путем демодуляции принятого сигнала глиссидного маяка и вычисления разности глубин модуляции (DDM) между двумя тональными сигналами прибор ILS-GS обеспечивает пилота информацией о вертикальном курсе. Точно таким же образом, путем демодуляции принятого сигнала курсорного маяка и вычисления разности глубин модуляции (DDM) между двумя тональными сигналами прибор ILS-LOC/LLZ обеспечивает пилота информацией о боковом курсе. Маркерные радиомаяки служат для индикации удаления до начала ВПП с помощью различных слышимых тональных сигналов.

Вместе, маяки **ILS-GS**, **ILS-LOC/LLZ** и маркерные радиомаяки снабжают воздушное судно информацией о надежной и одобренной Международной организацией гражданской авиации (ICAO) траектории захода на посадку.

### 2.2.1 Система инструментальной посадки – глиссидный маяк (ILS-GS)



Рисунок 10 – Антенна глиссидного маяка ILS-GS

Передатчик глиссидного радиомаяка располагается в непосредственной близости от конца ВПП (вблизи от начала захода воздушного судна на посадку). Как правило, вертикально расположенная система антенн излучает два пересекающихся главных лепестка, один над другим, на частотах в диапазоне от 329 до 335 МГц. Верхний луч обычно модулируется частотой 90 Гц, а нижний – частотой 150 Гц. При правильном монтаже и обслуживании принимаемый сигнал будет в равной степени модулирован вдоль центральной линии глиссады.

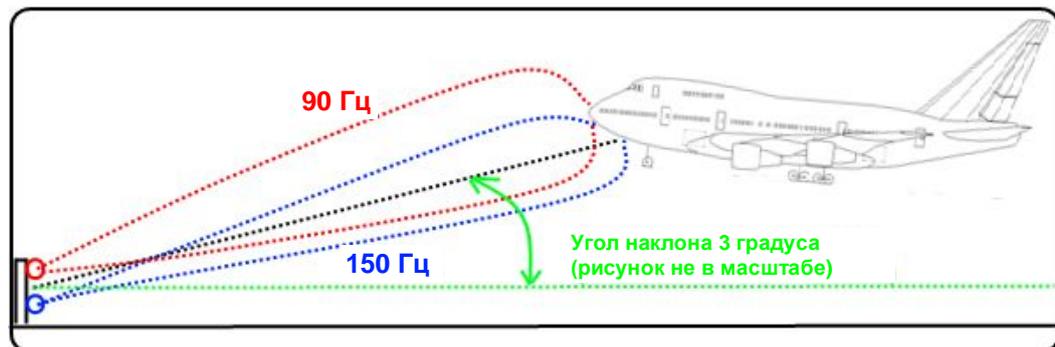


Рисунок 11 – Разность глубин модуляции (DDM) для радиомаяка ILS-GS (вид сбоку)

Общий раствор луча составляет приблизительно 1,4 градуса, а угол наклона задаваемой посадочной глиссады составляет 3 градуса. Путем демодуляции принятого сигнала глиссады и вычисления разности глубин модуляции (DDM) между двумя тональными сигналами прибор ILS-GS обеспечивает пилота информацией о вертикальном курсе [3].

Разность глубин модуляции (DDM) – это относительная разность между двумя АМ-сигналами с частотами модуляции 90 Гц и 150 Гц. Если значение DDM положительно, то преобладающим является верхний 90-Гц луч, если же значение DDM отрицательно, то преобладающим является нижний 150-Гц луч. Для поддержания достаточной тяги и угла захода на посадку пилоту необходимо регулировать режим работы двигателей таким образом, чтобы добиться идеального вертикального снижения (DDM=0). Угол захода на посадку также должен корректироваться таким образом, чтобы посадка воздушного судна «амортизировалась» воздушной прослойкой при касании ВПП и проходила в пределах допустимых значений механической прочности посадочных шасси.

## 2.2.2 Система инструментальной посадки – курсовой маяк (ILS-LOC/LLZ)



Рисунок 12 – Антенна курсового маяка ILS-LOC

Передатчик курсового радиомаяка располагается в непосредственной близости от конца ВПП (вблизи от начала захода воздушного судна на посадку). Как правило, горизонтально расположенная система антенн излучает два пересекающихся главных лепестка, один рядом с другим, на частотах в диапазоне от 108 до 112 МГц. Если смотреть со стороны заходящего на посадку воздушного судна, левый луч обычно модулируется частотой 90 Гц, а правый – частотой 150 Гц [3]. При правильном монтаже и обслуживании принимаемый сигнал будет в равной степени модулирован вдоль центральной линии ВПП.

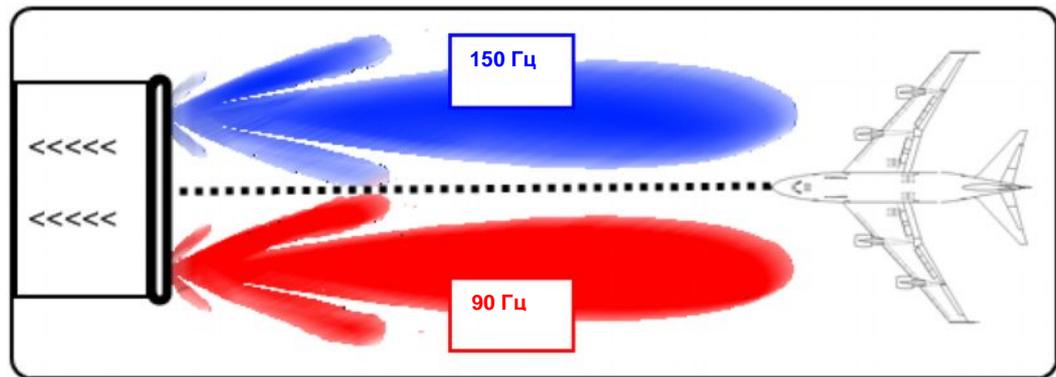


Рисунок 13 – Разность глубин модуляции (DDM) для радиомаяка ILS-LOC/LLZ (вид сверху)

Общий разворот луча составляет приблизительно 5 градусов, и приемник курсового сигнала использует его модуляцию для определения правильной траектории захода на посадку. Путем демодуляции принятого курсового сигнала и вычисления разности глубин модуляции (DDM) между двумя тональными сигналами прибор ILS-LOC/LLZ обеспечивает пилота информацией о боковом курсе.

Разность глубин модуляции (DDM) – это относительная разность между двумя АМ-сигналами с частотами модуляции 90 Гц и 150 Гц. Если значение DDM положительно, то преобладающим является левый 90-Гц луч, если же значение DDM отрицательно, то преобладающим является правый 150-Гц луч. Пилот должен обладать хорошими психомоторными навыками для удержания воздушного судна в рамках идеальной боковой коррекции  $DDM=0$ , особенно в условиях плохой видимости или при боковом ветре. В некоторых случаях сложные метеоусловия, вызванные сильным боковым ветром, могут заставить пилота наклонить нос воздушного судна по направлению к ветру, удерживая при этом шасси в направлении на ВПП. Такой процесс носит название «приземление с парированием сноса». К счастью, точные и надежные курсоглиссадные системы ILS-LOC/LLZ и ILS-GS позволяют контролировать полет даже в условиях плохой видимости или при сложных метеоусловиях.

### 2.2.3 Маркерный радиомаяк (МВ)

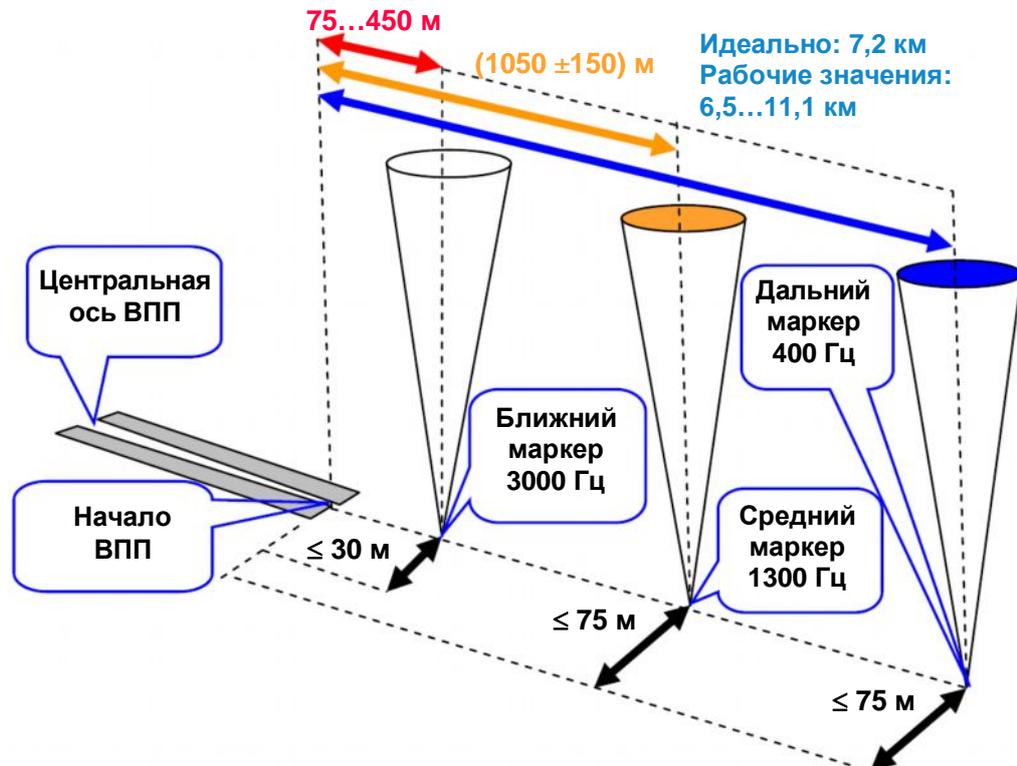


Рисунок 14 – Размещение маркерных радиомаяков относительно ВПП

Приемники маркерных радиомаяков (МВ) декодируют звуковые сигналы и выводят сигнальную информацию для идентификации одного из трех маркерных радиомаяков, установленных поблизости от взлетно-посадочной полосы. Маркеры размещаются, как показано на рисунке 14, в соответствии с приложением 10 тома I описания радионавигационных средств Международной организации гражданской авиации.



Рисунок 15 – Аудиовизуальная сигнализация маркерных радиомаяков

Маркерные радиомаяки излучают узкий луч в вертикальном направлении на несущей частоте 75 МГц, каждый из них имеет отличный от других код модуляции, который позволяет идентифицировать маяк при пролете над ним. Пилот может определить, над каким из маркерных радиомаяков пролетает воздушное судно, либо путем визуальной идентификации цвета маяка, либо путем прослушивания звукового сигнала. Дальний (или внешний) маркерный радиомаяк модулируется частотой 400 Гц, средний маркерный радиомаяк – частотой 1300 Гц, а ближний (или внутренний) маркерный радиомаяк – частотой 3000 Гц. Аудиовизуальные характеристики маркерных радиомаяков выглядят следующим образом:

- Дальний маркер в кабине индицируется СИНИМ цветом при звуковой частоте 400 Гц («спокойный» звук).
- Средний маркер в кабине индицируется ЖЕЛТЫМ (янтарным) цветом при звуковой частоте 1300 Гц («учащенный» звук).
- Ближний маркер в кабине индицируется БЕЛЫМ цветом при звуковой частоте 3000 Гц («тревожный» звук).

## 2.3 Обзор вариантов применения оборудования R&S

Таблица 2 – Набор измерительных решений R&S в области авиационной радионавигации

Приборы компании Rohde & Schwarz	Тип устройства	Опции	Типичные применения
R&S <sup>®</sup> 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 <sup>®</sup> NRP-Z81 в сочетании с R&S <sup>®</sup> SMA100A	Широкополосный датчик мощности	SMA-K26 (DME)	Испытания приемоответчика системы DME
R&S <sup>®</sup> RTO/RTM	Осциллограф	Базовый блок	Контроль приемоответчиков DME в испытательных лабораториях
R&S <sup>®</sup> FSQ/FSU R&S <sup>®</sup> 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 <sup>®</sup> 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 <sup>®</sup> NRP-Z81 и USB-адаптером R&S <sup>®</sup> NRP-Z4)	Полевые измерения на ВПП и использование в испытательных лабораториях
R&S <sup>®</sup> CMS57	Радиокommunikационный сервисный монитор	Базовый блок	Испытание передатчиков в отделах ремонта, обслуживания и испытаний

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

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

Аналоговый генератор сигналов R&S<sup>®</sup> SMA100A, оснащенный опцией работы с DME-системой R&S<sup>®</sup> SMA-K26, обеспечивает независимое контрольно-измерительное решение для поверки оборудования встроенного контроля (BITE) на DME-станциях. Опция работы с VOR/ILS-сигналами R&S<sup>®</sup> 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<sup>®</sup> NRP-Z81 обеспечивает точный и мобильный анализ импульсов DME за счет использования USB-адаптера R&S<sup>®</sup> NRP-Z4. Осциллографы R&S<sup>®</sup> RTO/RTM обеспечивают воспроизведение сигналов с высочайшим качеством для проведения тщательного 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 FS-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 погодно-защищенные 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 предоставляет 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 диапазоном, 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, ОВЧ и УВЧ предпочтительно использовать мощный 30-дБ аттенюатор с хорошим теплоотводом.

## 3 Варианты применения

### 3.1 Испытания приемника с помощью генератора сигналов R&S® SMA100A

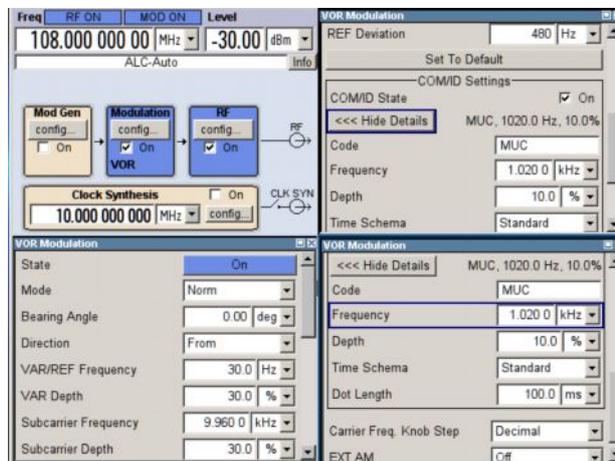
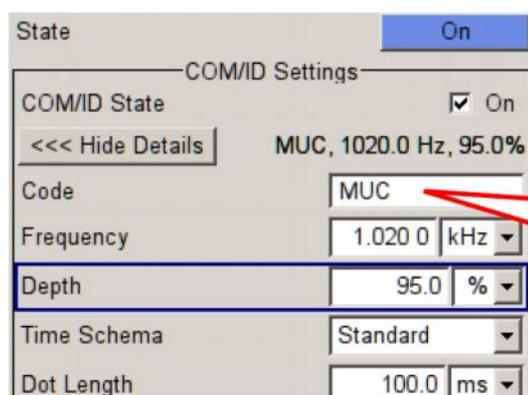


Рисунок 16 – Опция R&S®SMA-K25: активированная опция VOR в разделе MODULATION

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].



Позывной системы  
связи/идентификации  
(COM/ID) аэропорта  
Мюнхена «MUC»

Рисунок 17 – Заданное пользователем значение “MUC” в пункте настроек 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 позывной системы связи/идентификации (COM/ID) аэропорта, которые автоматически преобразуются в код Морзе, как показано на рисунке 17. Предварительных знаний о коде Морзе не требуется.

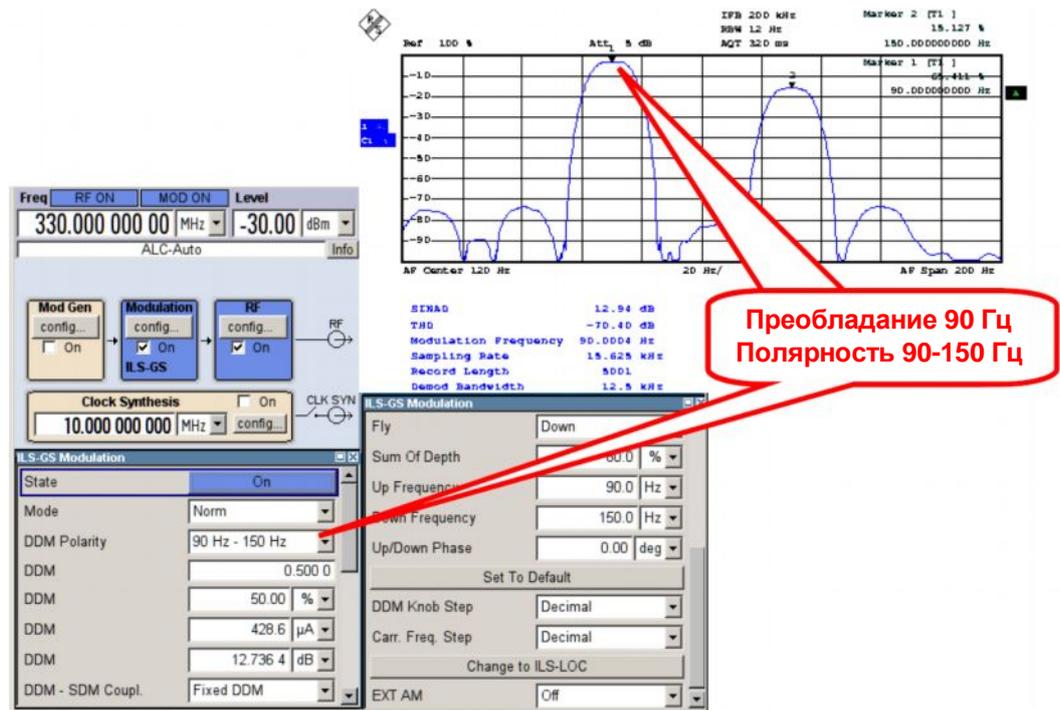
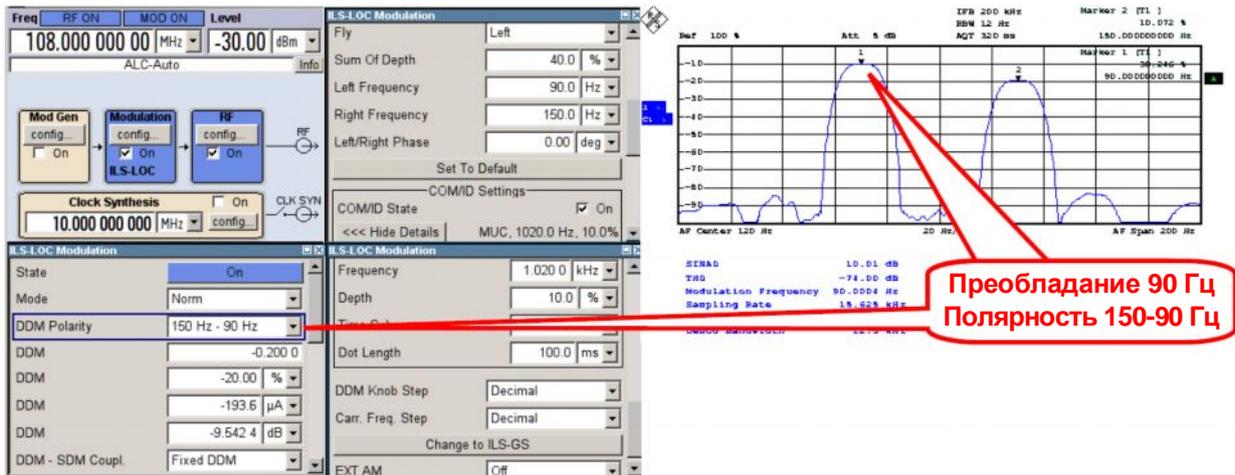


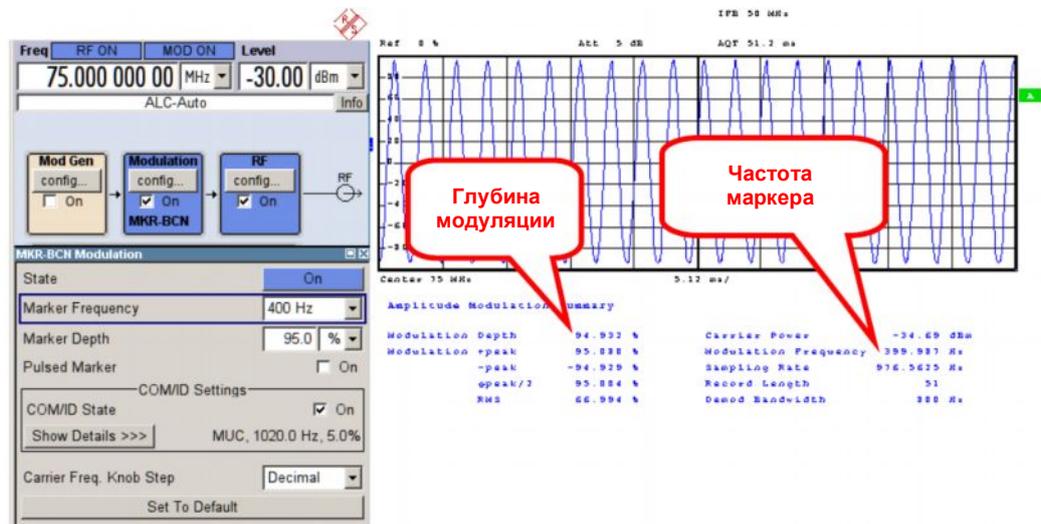
Рисунок 18 – Опция R&S® SMA-K25: Показаны настройки параметров модуляции ILS-GS. Спектр сигнала с амплитудной модуляцией ILS-GS и частотами 90 Гц - 150 Гц получен с помощью опции аналоговой демодуляции R&S® FS-K7

Гибкость настройки параметров в опции работы с VOR/ILS-сигналами R&S® SMA-K25 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 AM-сигнала.



**Рисунок 19 – Опция R&S<sup>®</sup>SMA-K25: Показаны настройки параметров модуляции ILS-LOC. Спектр сигнала с амплитудной модуляцией ILS-LOC и частотами 90 Гц - 150 Гц получен с помощью опции аналоговой демодуляции R&S<sup>®</sup>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<sup>®</sup>SMA-K25 для частот 150 Гц - 90 Гц, как показано на рисунке 19. Опция аналоговой демодуляции R&S<sup>®</sup>FS-K7 использована на рисунке 19 для иллюстрации спектра звукового AM-сигнала. В опции R&S<sup>®</sup>SMA-K25 настройки шкалы несущей частоты установлены в соответствии 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.



**Рисунок 20 – Опция R&S<sup>®</sup>SMA-K25: Показаны настройки амплитудной модуляции сигналов MB. Установлены глубина модуляции 95% и несущая частота 75 МГц. Глубина модуляции на несущей частоте получена с помощью опции аналоговой демодуляции R&S<sup>®</sup>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».

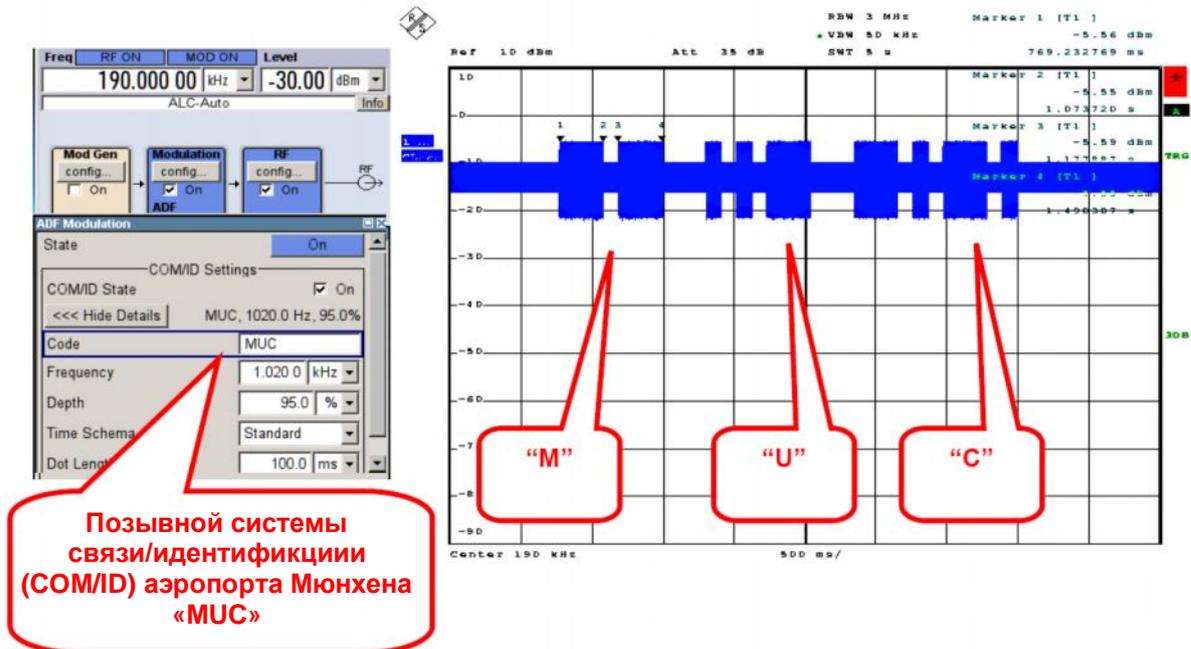


Рисунок 21 – Опция R&S®SMA-K25: Показаны настройки модуляции автоматического радиопеленгатора. Выбранное значение параметра COM/ID «M-U-C» проиллюстрировано во временной области с помощью анализатора спектра.

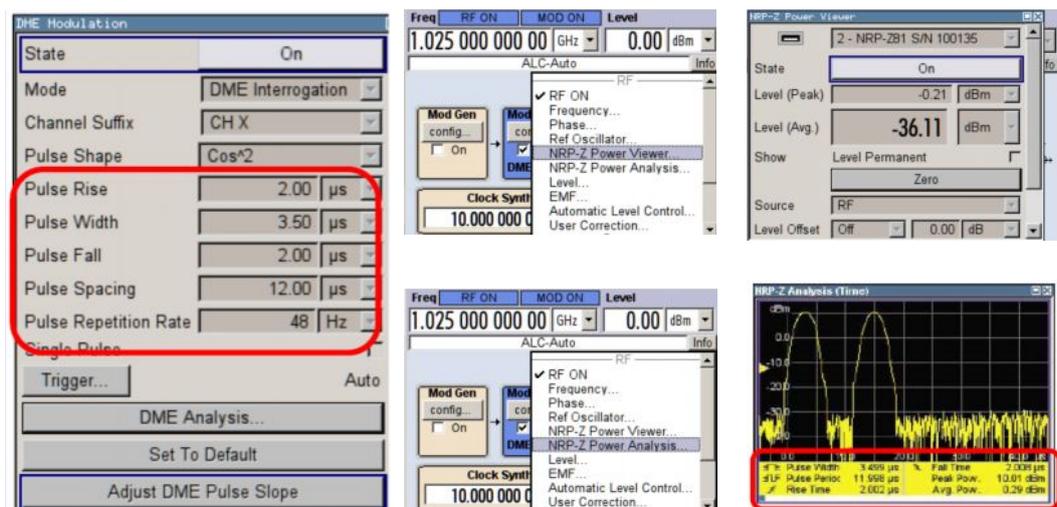


Рисунок 22 – Опция R&S®SMA-K26: генерация сигнала DME и его анализ с помощью датчика мощности R&S®NRP-Z81 и опции R&S®SMA-K28

Опция R&S®SMA-K26 позволяет выбрать сигналы опроса DME и задать значения девиации для увеличения надежности проверки. Дополнительную информацию см. в документе [Application Note 1GP74](#). Опция R&S®SMA-K26 может использоваться для моделирования наземной DME-станции или приемопередчика; добавление опций 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.

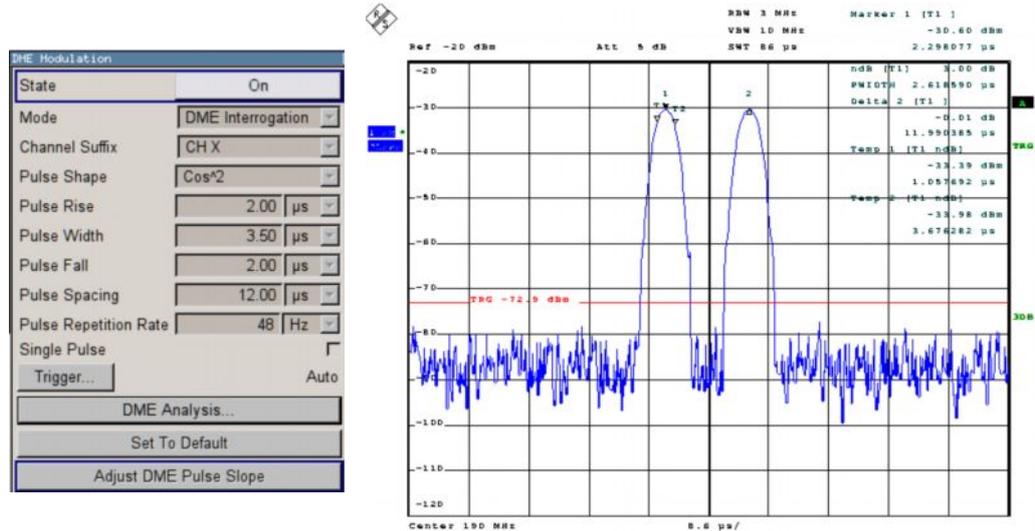


Рисунок 23 – R&S®SMA-K26: Генерация сигналов DME и анализ длительности импульсов во временной области с помощью анализатора R&S®FSQ

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

## 3.2 Калибровка генераторов сигналов VOR/ILS и сервисных мониторов с помощью измерительного приемника R&S®FSMR



Рисунок 24 – Опция работы с авиационным оборудованием R&S®FS-K15 для проверки передатчика сигналов VOR/ILS, установленная в измерительном приемнике 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. 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  $0,0002 \text{ DDM} + 1\%$  от показаний; азимут VOR может быть измерен с погрешностью  $0,03$  и разрешением  $0,01$ . Вместе с 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. Подробное описание можно найти по ссылке [http://www2.rohde-schwarz.com/file\\_10726/FS-K15\\_dat\\_sw\\_en.pdf](http://www2.rohde-schwarz.com/file_10726/FS-K15_dat_sw_en.pdf).

### 3.2.1 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 модуляции для 30-Гц сигналов модуляции VAR и REF, девиация сигнала REF  $9,96 \text{ кГц}$ , 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 настройки передатчика (см. рисунок 25).

Альтернативным вариантом является анализ спектра модулированного сигнала. При проведении измерений параметров VOR-передатчиков важно ослабить мощность передатчика, используя подходящий внешний аттенуатор, 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.

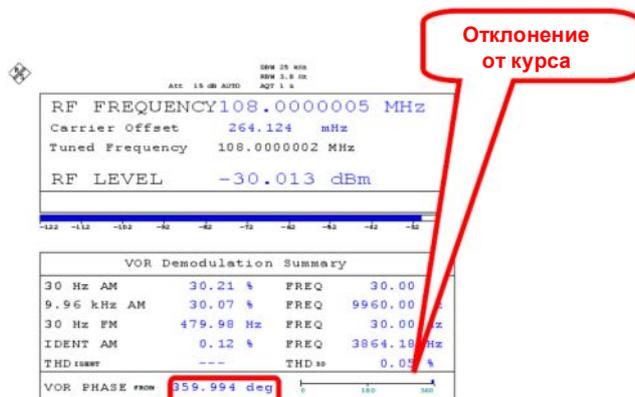


Рисунок 25 – Опция R&S®FS-K15 в режиме измерения VOR-сигналов выводит на экран сразу все основные параметры сигнала VOR. Здесь показан сигнал пеленга на 360° (FROM).

### 3.2.2 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 возможных изменений при выполнении выравнивания.

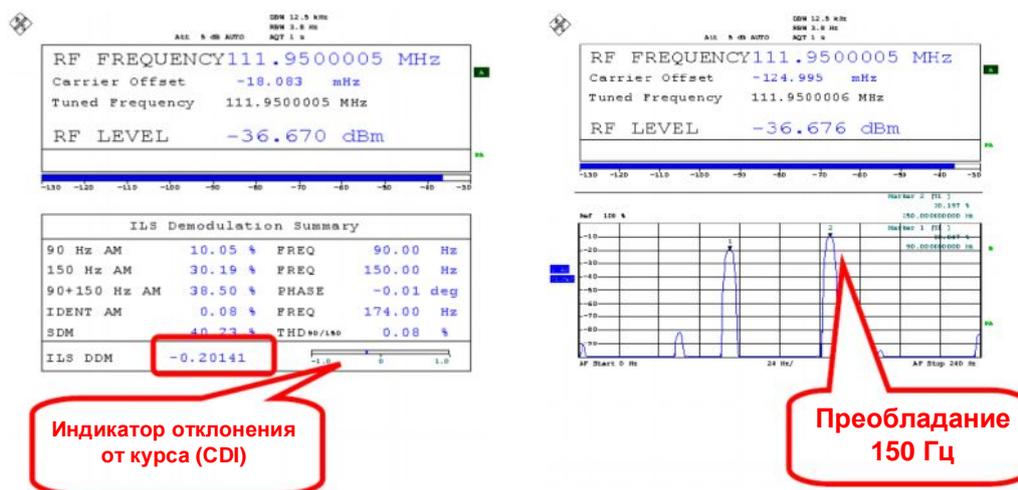


Рисунок 26 – Опция R&S®FS-K15: спектр звукового сигнала ILS с преобладающей частотой модуляции 150 Гц и значением DDM -0,2

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.



Рисунок 27 – Опция аналоговой демодуляции R&S®FS-K7: ВЧ-спектр сигнала ILS с несущей и преобладающей частотой 150 Гц

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).

### 3.3 Наземный и бортовой контроль с помощью анализатора R&S®EVS300



Рисунок 28 – Анализатор модуляции R&S®EVS300 для полевых измерений

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

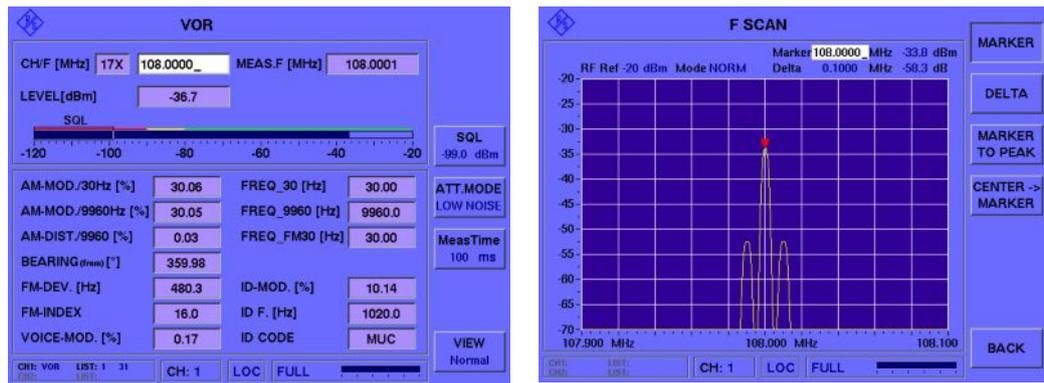


Рисунок 29 – Анализ VOR-сигналов прибором R&S®EVS300 и отображение ВЧ-спектра с помощью опции R&S®EVS-K1 (FSCAN)

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, девиации ЧМ-сигнала с частотой поднесущей 9,96 кГц, декодирование и измерение частоты и глубины модуляции сигнала COM/ID, показанных на 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].

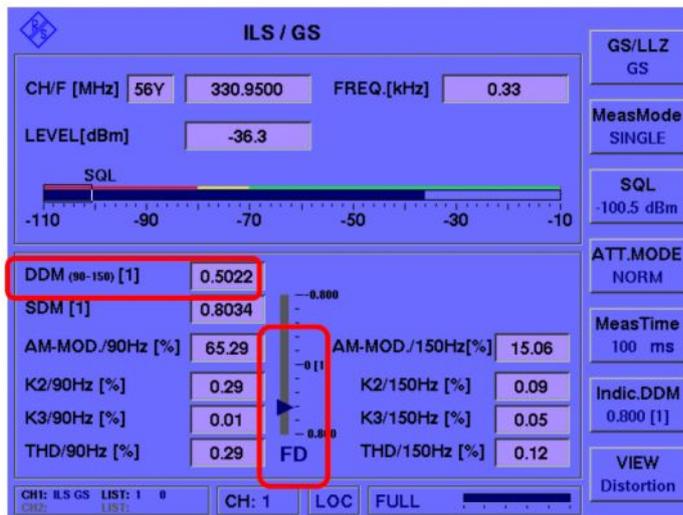


Рисунок 30 – Анализатор R&S®EVS300: статистический анализ сигналов ILS-GS при помощи кабинного столбчатого индикатора «лети выше/ниже» для параметра DDM

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 АМ-сигнала 90 Гц (левый луч) и рекомендуется «лететь ниже» (fly down, FD).

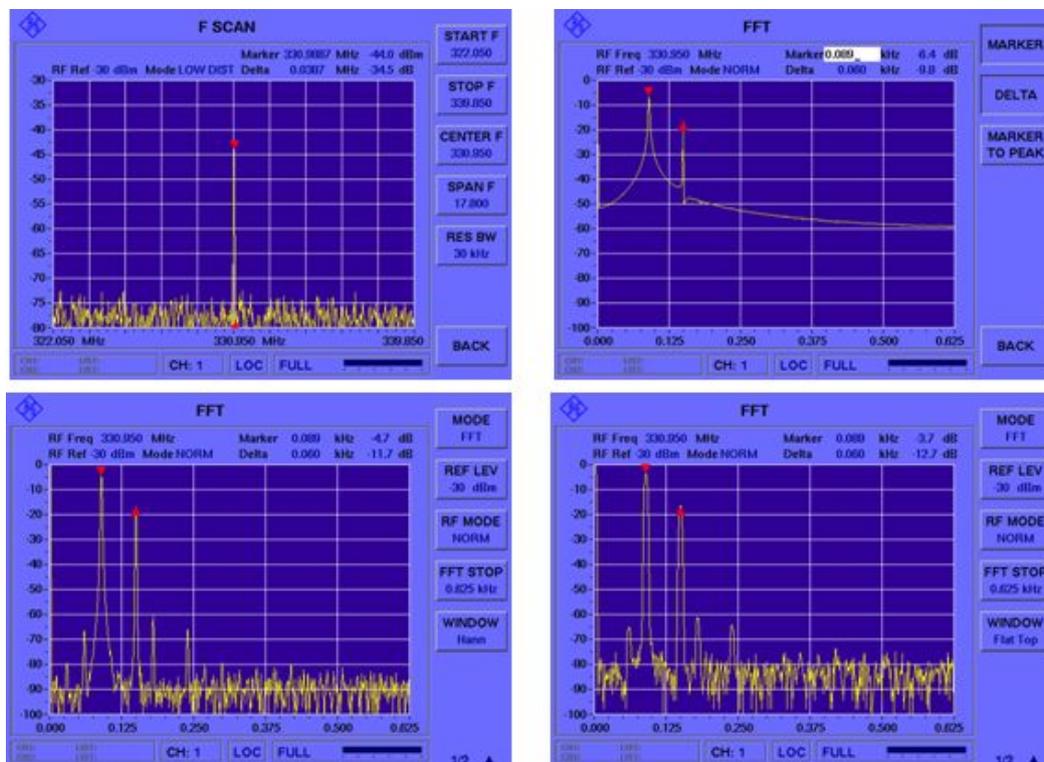


Рисунок 31 – Опции R&S®EVS-K1 (FSCAN) и R&S®EVS-K4 (FFT) (без использования окна, с окном Ганна или прямоугольными окнами)

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.



Рисунок 32 – Анализатор R&S®EVS300: статистический анализ сигналов ILS-LOC/LLZ при помощи кабинного столбчатого индикатора «лети левее/правее» для параметра DDM

При анализе сигналов ILS/LOC или LLZ, значение DDM, равное  $-0,2$ , означает, что **преобладающей** является **частота** АМ-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.

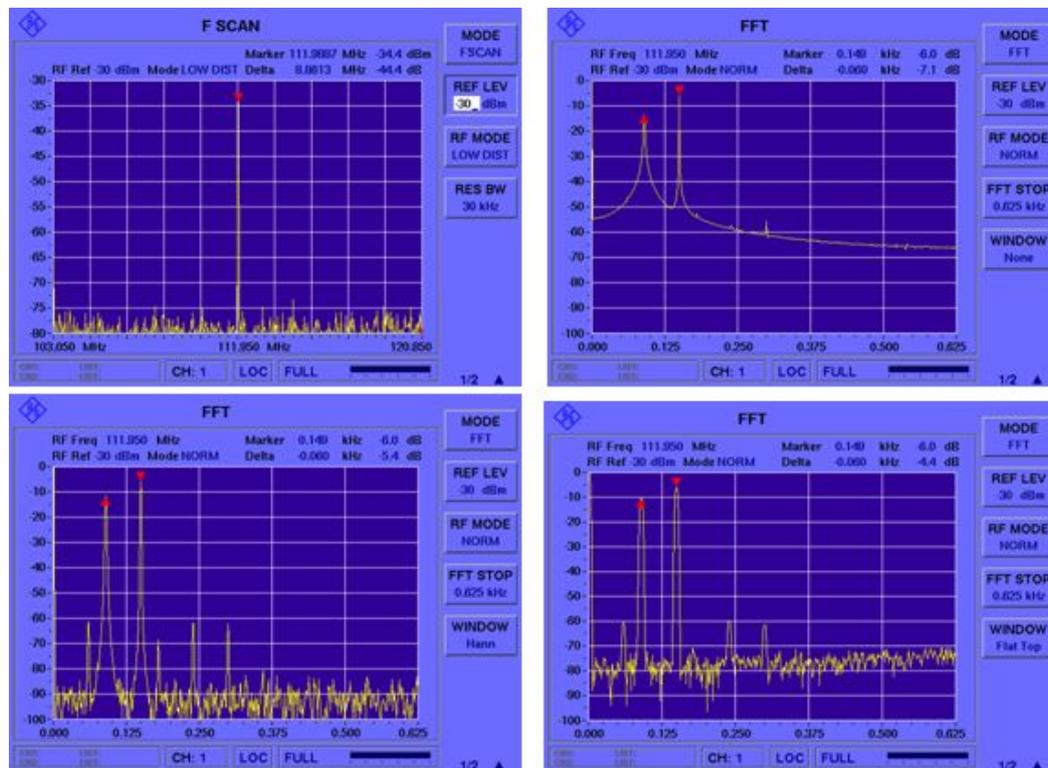


Рисунок 33 – Опции R&S EVS-K1 (FSCAN) и R&S®EVS-K4 (FFT) (без использования окна, с окном Ганна или прямоугольными окнами)



Рисунок 34 – Маркерный радиомаяк анализатора R&S®EVS300 с выходом звуковой частоты и авторегулировкой громкости

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].



Рисунок 35 – Опция R&S® EVS-K2 (GPS) с подключением по последовательному порту RS-232 к внешнему GPS-устройству

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



Рисунок 36 – Режим работы курс/клиренс (CRS/CLR) опции R&S®EVS-K3 и его графическое представление

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.

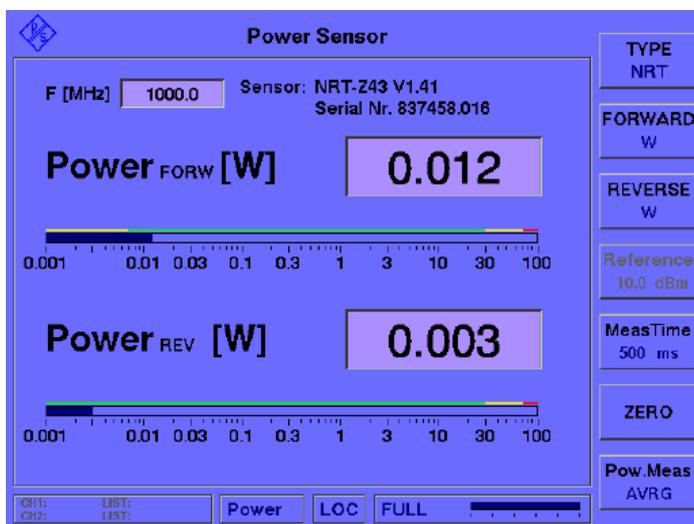


Рисунок 37 – Опция датчика мощности R&S®EVS-K5 (датчики мощности семейства R&S®NRP/T-Zxx)

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

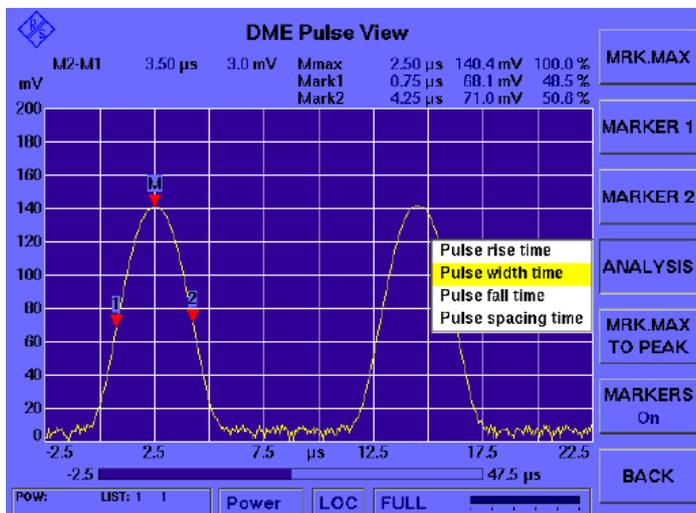


Рисунок 38 – Опция R&S®EVS-K6 (DME) для работы с опцией датчика мощности EVS-K5

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.

Задержка запуска может быть измерена 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.

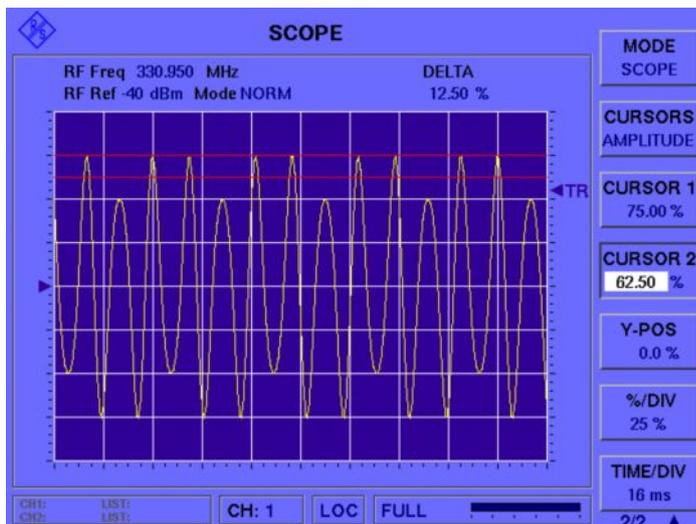


Рисунок 39 – Опция осциллографа R&S®EVS-K7

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.

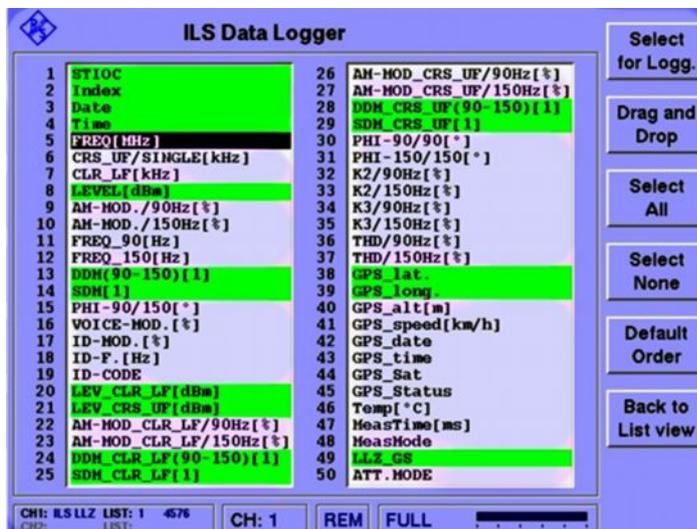


Рисунок 40 – Регистратор данных R&S®EVS300

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 интерфейсы дистанционного управления (например, Ethernet или RS-232) или они могут быть сохранены на USB-накопителе в формате Microsoft Excel.



Рисунок 41 – Испытательная система R&S®EVS-Z10

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, сэкономя 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. Дополнительную информацию об автономной испытательной системе калибровки R&S®EVS-Z10 можно получить по ссылке [http://www2.rohde-schwarz.com/file\\_11859/EVS-Z10\\_fly\\_en.pdf](http://www2.rohde-schwarz.com/file_11859/EVS-Z10_fly_en.pdf)

### 3.4 Эксплуатационные испытания приемо-передатчиков с помощью R&S®CMS57



Рисунок 42 – Радиокommunikационный сервисный монитор R&S®CMS57

Благодаря встроенным в радиокommunikационный сервисный монитор R&S®CMS57 генератору и приемнику он может использоваться для ремонта, обслуживания и испытаний приемо-передатчиков [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.

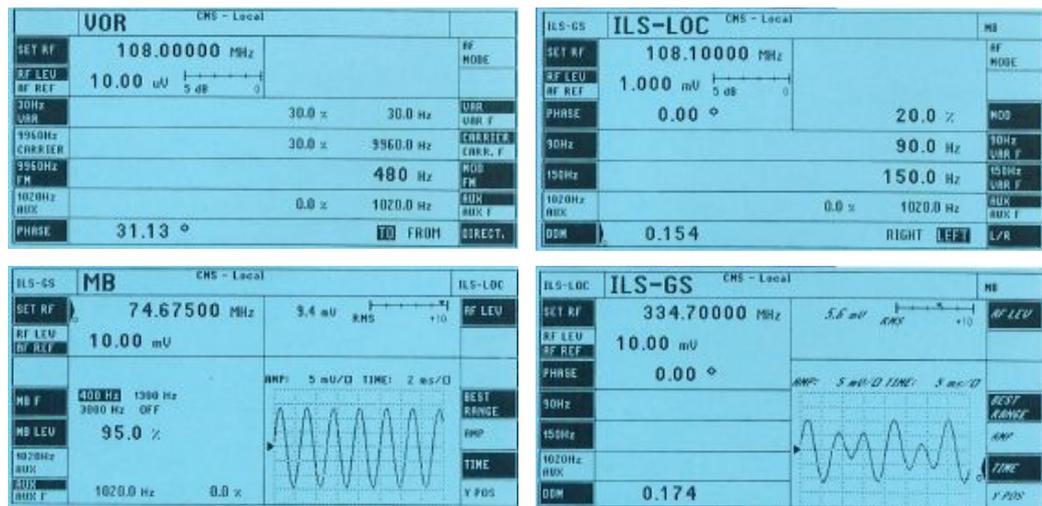


Рисунок 43 – Генерация и анализ сигналов VOR, ILS и MB в приборе R&S®CMS57

Из рисунка 43 видно, что шаг значений разности глубин модуляции (DDM) для сигналов ILS равен 0,001, для сигналов 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.

### 3.5 Анализ импульсов DME с помощью осциллографа R&S®RTO



*Рисунок 44 – 4-канальный цифровой осциллограф R&S®RTO1024 с полосой 2 ГГц*

Цифровой осциллограф R&S®RTO (см. рисунок 44) 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 АМ и ЧМ).

Характеристики сигналов DME (см. рисунок 45) 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 БФФ-спектр сигнала, а такие параметры, как время нарастания и спада импульса, длительность импульса и интервал между импульсами определяются с помощью набора курсоров.

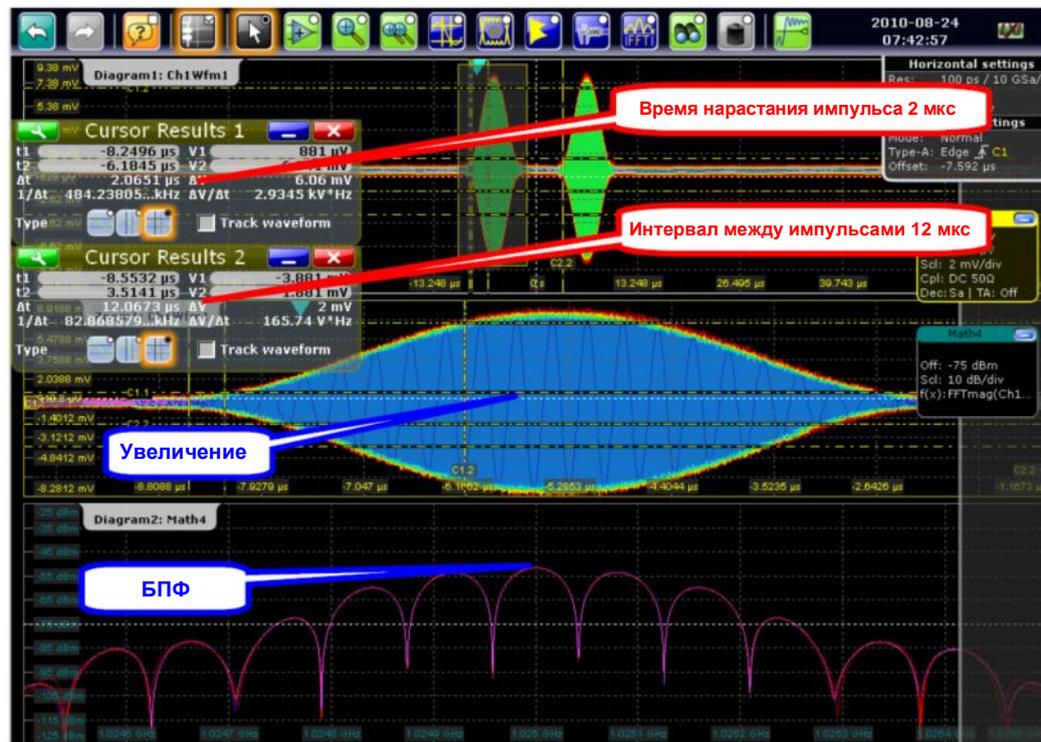


Рисунок 45 – Анализ импульса DME и БПФ-спектр на экране цифрового осциллографа R&S®RTO

## 4 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 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®FS-K15 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.

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, погодоустойчивая наплечная 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.

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

В зависимости от несущей частоты DME для анализа импульсов DME достаточно 2-ГГц-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 (АМ и ЧМ), применяемые в авиационной радионавигации.

## 5 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/spectrum\\_analysis/EVS300-%7C-Manuals-%7C-22-%7C-700.html](http://www2.rohde-schwarz.com/en/products/test_and_measurement/spectrum_analysis/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)

## 6 Сокращения

Сокращение	Значение
VOR	Very High Frequency Omni-Directional Radio Range Всенаправленный ОВЧ-радиомаяк
ILS-GS	Instrument Landing System-Glide Slope Система инструментальной посадки – глиссадный радиомаяк
ILS-LOC/LLZ	Instrument Landing System-Localizer Система инструментальной посадки – курсовой радиомаяк
MB	Marker Beacon Маркерный радиомаяк
DME	Distance Measurement Equipment Дальномерное оборудование
TACAN	Tactical Air Navigation Тактическая аэронавигационная система
MLS	Microwave Landing Systems Система посадки в диапазоне СВЧ
SSR	Secondary Surveillance RADAR Вторичный обзорный радиолокатор
TCAS	Traffic Collision Avoidance System Система предупреждения столкновений с воздушными судами
VHF	Very High Frequency Диапазон очень высоких частот (ОВЧ)
UHF	Ultra High Frequency Диапазон ультравысоких частот (УВЧ)
HF	High Frequency Диапазон высоких частот (ВЧ)
SATCOM	Satellite Communications Спутниковая связь
RADAR	Radio Detection and Ranging Радиолокатор
GPS	Global Positioning System Спутниковая система навигации
ADF	Automatic Direction Finder Автоматический радиопеленгатор
DOA	Direction-of-Arrival Направления приема сигнала
ATC	Air Traffic Control Управление воздушным движением (авиадиспетчерская служба)
AM	Amplitude Modulation Амплитудная модуляция
CSB	Carrier-plus-Sideband Несущая с боковой полосой
SBO	Suppressed-Carrier-Sideband Only Одна боковая полоса с подавленной несущей
THD	Total Harmonic Distortion Коэффициент гармонических искажений
DDM	Difference in Depth of Modulation Разность глубин модуляции
SDM	Sum of Depth of Modulation Сумма глубин модуляции
ICAO	International Civil Aviation Organization Международная организация гражданской авиации
BITE	Built-In-Test-Equipment Оборудование встроенного контроля
CDI	Course Deviation Indicator Индикатор отклонения от курса
CRS/CLR	Course/Clearance Курс/Клиренс
COM/ID	Communications/Identification Система связи/идентификации

## 7 Информация для заказа

### Генератор сигналов компании R&S®

Обозначение	Тип устройства	Код заказа
Аналоговый генератор сигналов	R&S®SMA100A	1400.0000.02
ВЧ-тракт (9 кГц ... 3 ГГц, с электронным аттенюатором)	R&S®SMA-B103	1405.0209.02
ВЧ-тракт (9 кГц ... 6 ГГц, с электронным аттенюатором)	R&S®SMA-B106	1405.0809.02
ВЧ-тракт (9 кГц ... 3 ГГц, без аттенюатора)	R&S®SMA-B103L	1405.0609.02
ВЧ-тракт (9 кГц ... 6 ГГц, без аттенюатора)	R&S®SMA-B106L	1405.1005.02
Модуляция VOR/ILS	R&S®SMA-K25	1405.3008.02
Модуляция DME	R&S®SMA-K26	1405.3408.02
Анализ мощности	R&S®SMA-K28	1405.3950.02

### Анализатор спектра/сигналов и измерительный приемник компании R&S®

Обозначение	Тип устройства	Код заказа
Анализатор спектра, 20 Гц ... x ГГц	R&S®FSU	1166.1660.0x
Анализатор сигналов, 20 Гц ... x ГГц	R&S®FSQ	1155.5001.0x
Измерительный приемник, 20 Гц ... x ГГц	R&S®FSMR	1166.3311.0x
Аналоговая демодуляция (АМ/ЧМ/ФМ)	R&S®FS-K7	1141.1796.02
Измерительный демодулятор VOR/ILS	R&S®FS-K15	1302.0936.02
Анализатор сигналов, 9 кГц ... x ГГц	R&S®FSV	1307.9002.0x

### Датчик мощности компании R&S® для анализа DME-импульсов

Обозначение	Тип устройства	Код заказа
Широкополосный датчик мощности	R&S®NRP-Z81	1137.9009.02
USB-адаптер (пассивный)	R&S®NRP-Z4	1146.8001.02

### Анализатор модуляции VOR/ILS компании R&S®

Обозначение	Тип устройства	Код заказа
Анализатор сигналов ILS/VOR	R&S®EVS300	3544.4005.02
Второй блок обработки сигналов	R&S®EVS-B1	5200.6625.02
GSM-модем	R&S®EVS-B2	5200.6631.02
Аккумуляторная батарея	R&S®EVS-B3	5200.8240.02
Сканирование частоты	R&S®EVS-K1	5200.6554.00
Режим GPS	R&S®EVS-K2	5200.6548.00
Режим CRS/CLR	R&S®EVS-K3	5200.9082.00
Режим FFT	R&S®EVS-K4	5201.5922.00
Поддержка датчиков мощности компании Rohde&Schwarz	R&S®EVS-K5	5201.8644.02
Отображение импульсов DME	R&S®EVS-K6	5201.8650.02
Режим осциллографа	R&S®EVS-K7	5201.8667.02
Комплект R&S®EVS-K5 + R&S®EVS-K6	R&S®EVS-K8	5201.8696.02
Погодозащищенная сумка	R&S®EVS-Z1	5200.5812.00
Измерительная антенна ILS/VOR	R&S®HF108	4061.0506.02
Испытательная система R&S®EVS300	R&S®EVS-Z10	5201.7777.02

### Радиокommunikационный сервисный монитор с генератором сигналов VOR/ILS компании R&S®

Обозначение	Тип устройства	Код заказа
Радиокommunikационный сервисный монитор	R&S®CMS57	0840.0009.57

**Цифровой осциллограф R&S® RTO**

<b>Обозначение</b>	<b>Тип устройства</b>	<b>Код заказа</b>
Цифровой осциллограф, 1 ГГц, 2 канала	R&S® RTO1012	1304.6002.12
Цифровой осциллограф, 1 ГГц, 4 канала	R&S® RTO1014	1304.6002.14
Цифровой осциллограф, 2 ГГц, 2 канала	R&S® RTO1022	1304.6002.22
Цифровой осциллограф, 2 ГГц, 4 канала	R&S® RTO1024	1304.6002.24
Термостатированный опорный генератор ОСХО, опорная частота 10 МГц	R&S® RTO-B4	1304.8305.02
Интерфейс GPIB	R&S® RTO-B10	1304.8311.02
Сменный жесткий диск, встроенное ПО	R&S® RTO-B19	1304.8328.02
Расширение памяти, 50 млн. отсч. на канал	R&S® RTO-B101	1304.8411.02
Расширение памяти, 100 млн. отсч. на канал	R&S® RTO-B102	1304.8428.02

## О компании Rohde & Schwarz

Rohde & Schwarz представляет собой независимую группу компаний, специализирующуюся на производстве электронного оборудования. Rohde & Schwarz является ведущим поставщиком контрольно-измерительных систем и приборов, оборудования для теле- и радиовещания, систем радиомониторинга и радиопеленгации, а также систем профессиональной радиосвязи специального назначения. Rohde & Schwarz успешно работает уже 75 лет, представительства и сервисные центры компании находятся в более чем 70 странах. Головной офис компании расположен в Мюнхене, Германия.

## Приверженность делу охраны окружающей среды

- Энергосберегающие изделия
- Непрерывное усовершенствование в области экологической устойчивости
- Сертифицированная система экологического менеджмента ISO 14001



## Контакты в регионах

США & Канада

США: 1-888-TEST-RSA (1-888-837-8772)

извне США: +1 410 910 7800

[CustomerSupport@rohde-schwarz.com](mailto:CustomerSupport@rohde-schwarz.com)

Восточная Азия

+65 65 13 04 88

[CustomerSupport@rohde-schwarz.com](mailto:CustomerSupport@rohde-schwarz.com)

Другие регионы

+49 89 4129 137 74

[CustomerSupport@rohde-schwarz.com](mailto:CustomerSupport@rohde-schwarz.com)

Данный документ и поставляемые программы могут применяться только при соблюдении условий, изложенных в области загрузки на веб-сайте Rohde & Schwarz.

R&S® является зарегистрированной торговой маркой компании Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG. Все торговые марки являются собственностью их владельцев.

**Rohde & Schwarz Regional Headquarters Singapore Pte. Ltd.**

10, Changi Business Park Central 2, #06-01/08

Singapore 486030

[www.rohde-schwarz.com](http://www.rohde-schwarz.com)