

Вопросы ЭМС приемных земных станций спутниковой связи с другими РЭС

Докладчик: Журавлев Владимир Матвеевич

РТРС, начальник управления радиосвязи Департамента радиовещания
и радиосвязи

Х ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ»

Москва 2021



Обеспечение ЭМС в C-band

2900 - 3100 МГц ПР

РАДИОЛОКАЦИОННАЯ,
РАДИОНАВИГАЦИОННАЯ
232, 233, 234, 235, 236, 237

3100 - 3300 МГц ПР

РАДИОЛОКАЦИОННАЯ,
служба космических исследований
(активная),
спутниковая служба исследования
Земли (активная)
71, 238, 239

3300 - 3400 МГц ПР

РАДИОЛОКАЦИОННАЯ
71, 238

3400 - 3600 МГц СИ

ФИКСИРОВАННАЯ,
ФИКСИРОВАННАЯ СПУТНИКОВАЯ
(космос - Земля),
радиолокационная
210, 240, 241

3600 - 4200 МГц СИ

ФИКСИРОВАННАЯ,
ФИКСИРОВАННАЯ СПУТНИКОВАЯ
(космос - Земля)
210, 241

4200 - 4400 МГц ПР

ВОЗДУШНАЯ
РАДИОНАВИГАЦИОННАЯ,
ВОЗДУШНАЯ ПОДВИЖНАЯ (R)
242, 243

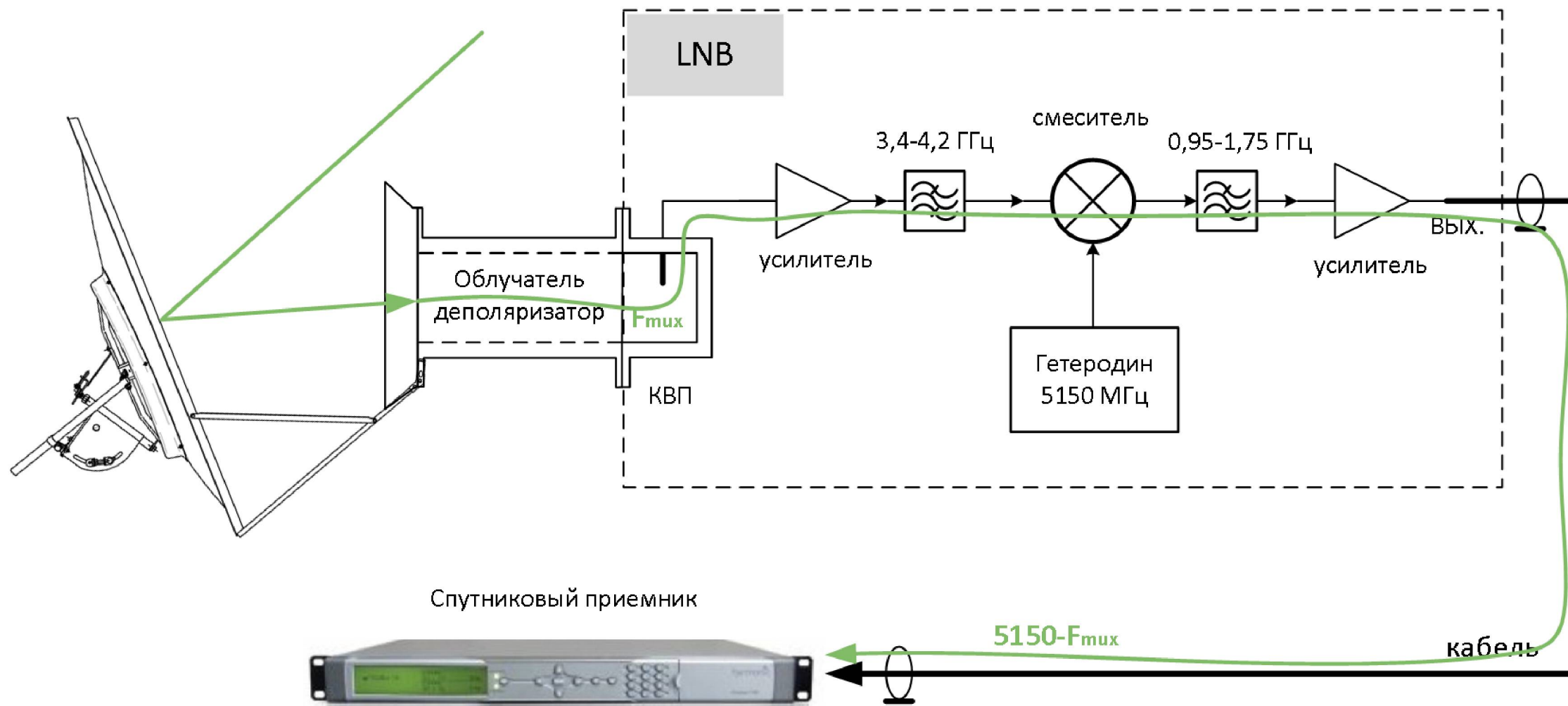
4400 - 4500 МГц СИ

ПОДВИЖНАЯ,
ФИКСИРОВАННАЯ
245, 245А

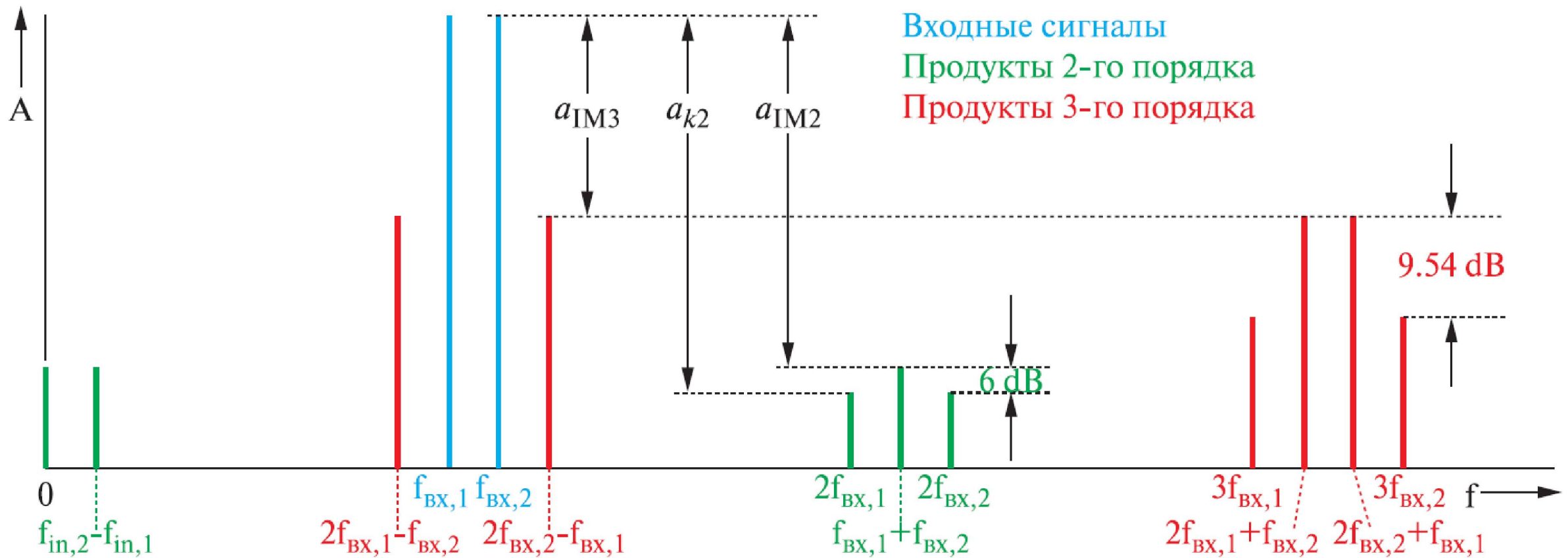
4500 - 4575 МГц СИ

ПОДВИЖНАЯ,
ФИКСИРОВАННАЯ,
ФИКСИРОВАННАЯ СПУТНИКОВАЯ
(космос - Земля)
210, 245, 245А, 246

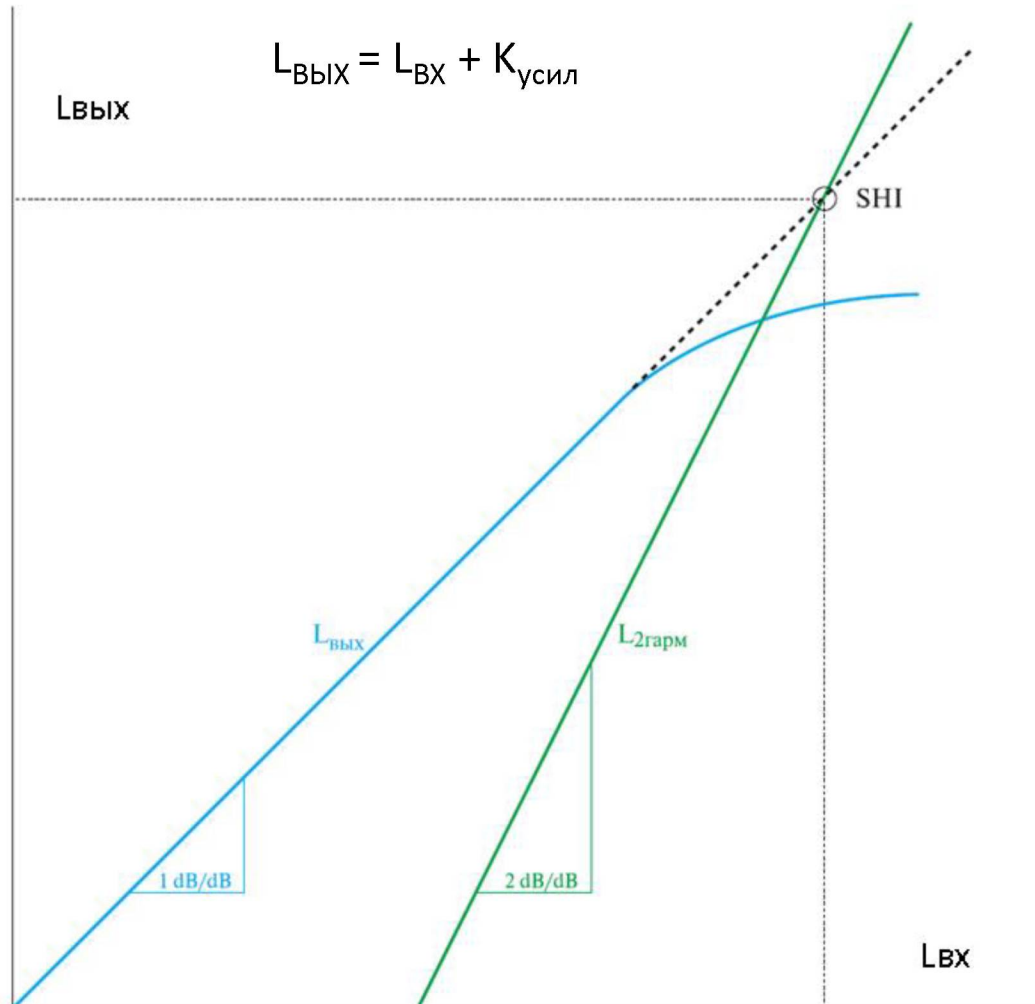
Схема преобразования сигнала в ЗССС



Спектр двухчастотного сигнала



Скорость роста гармоник

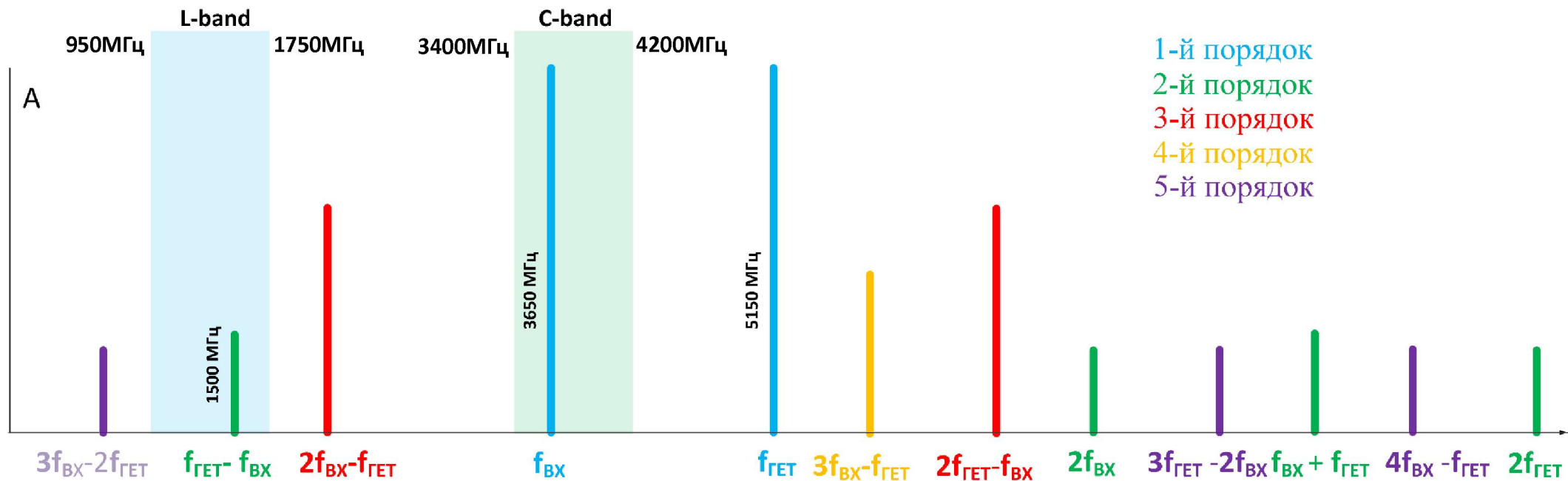


Двух частотный сигнал

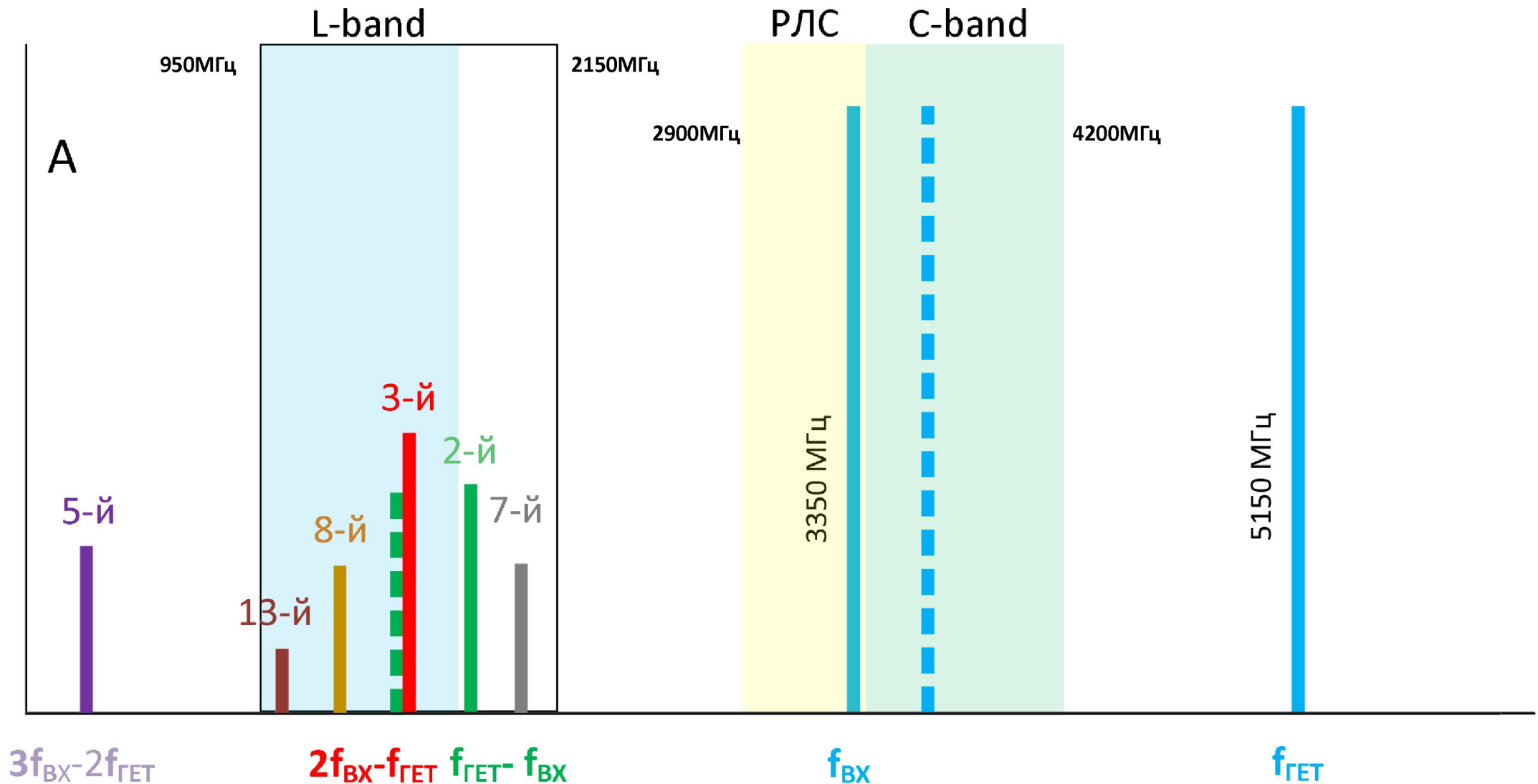
$$v_{\text{вх}}(t) = \hat{U}_{\text{вх}} \sin(2\pi f_{\text{вх},1} t) + \hat{U}_{\text{вх}} \sin(2\pi f_{\text{вх},2} t)$$

Постоянная составляющая	$a_2 \cdot 0,5(\hat{U}_{\text{вх},1}^2 + \hat{U}_{\text{вх},2}^2)$
Основные (первые) гармоники	$a_1 \cdot \hat{U}_{\text{вх},1} \cdot \sin(\omega_1 t)$ $a_1 \cdot \hat{U}_{\text{вх},2} \cdot \sin(\omega_2 t)$
Вторые гармоники	$a_2 \cdot 0,5 \cdot \hat{U}_{\text{вх},1}^2 \cdot \cos(2 \cdot \omega_1 t)$ $a_2 \cdot 0,5 \cdot \hat{U}_{\text{вх},2}^2 \cdot \cos(2 \cdot \omega_2 t)$
Интермодуляционные продукты 2-го порядка	$a_2 \cdot \hat{U}_{\text{вх},1} \cdot \hat{U}_{\text{вх},2} \cdot \cos(\omega_1 - \omega_2)t$ $a_2 \cdot \hat{U}_{\text{вх},1} \cdot \hat{U}_{\text{вх},2} \cdot \cos(\omega_1 + \omega_2)t$
Третьи гармоники	$a_3 \cdot 0,25 \cdot \hat{U}_{\text{вх},1}^3 \cdot \sin(3 \cdot \omega_1 t)$ $a_3 \cdot 0,25 \cdot \hat{U}_{\text{вх},2}^3 \cdot \cos(3 \cdot \omega_2 t)$
Интермодуляционные продукты 3-го порядка	$a_3 \cdot \hat{U}_{\text{вх},1}^2 \cdot \hat{U}_{\text{вх},2} \cdot 0,75 \cdot \sin(2\omega_1 + \omega_2)t$ $a_3 \cdot \hat{U}_{\text{вх},1}^2 \cdot \hat{U}_{\text{вх},2} \cdot 0,75 \cdot \sin(2\omega_2 + \omega_1)t$ $a_3 \cdot \hat{U}_{\text{вх},1}^2 \cdot \hat{U}_{\text{вх},2} \cdot 0,75 \cdot \sin(2\omega_1 - \omega_2)t$ $a_3 \cdot \hat{U}_{\text{вх},1}^2 \cdot \hat{U}_{\text{вх},2} \cdot 0,75 \cdot \sin(2\omega_2 - \omega_1)t$

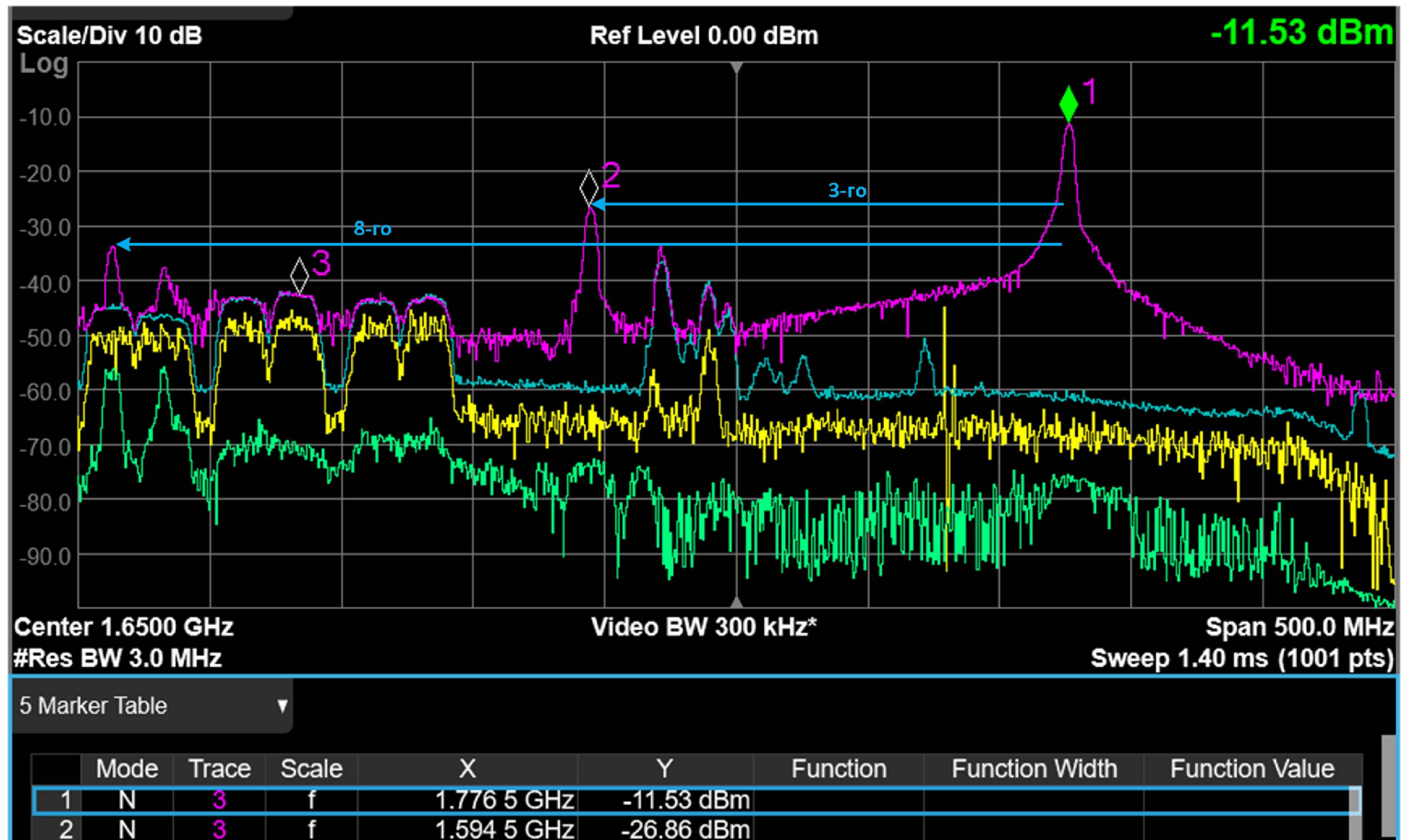
Двухчастотный случай, сигнал в полосе C-band



Двухчастотный случай, сигнал ниже полосы C-band

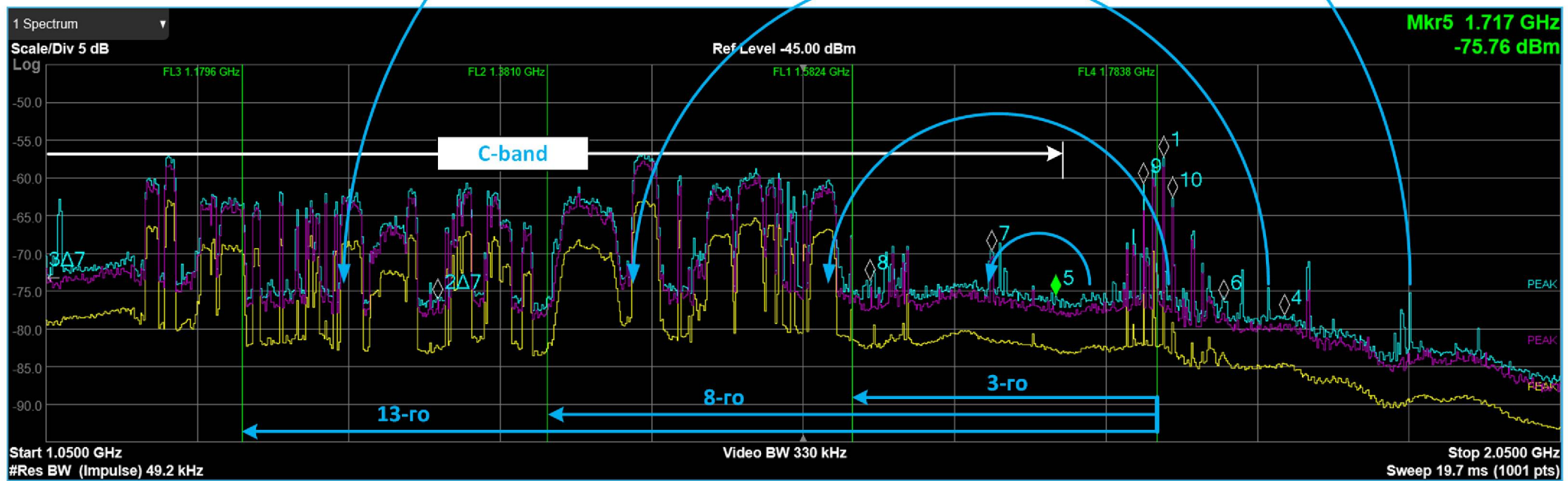


Помеха на частоте 3373 МГц

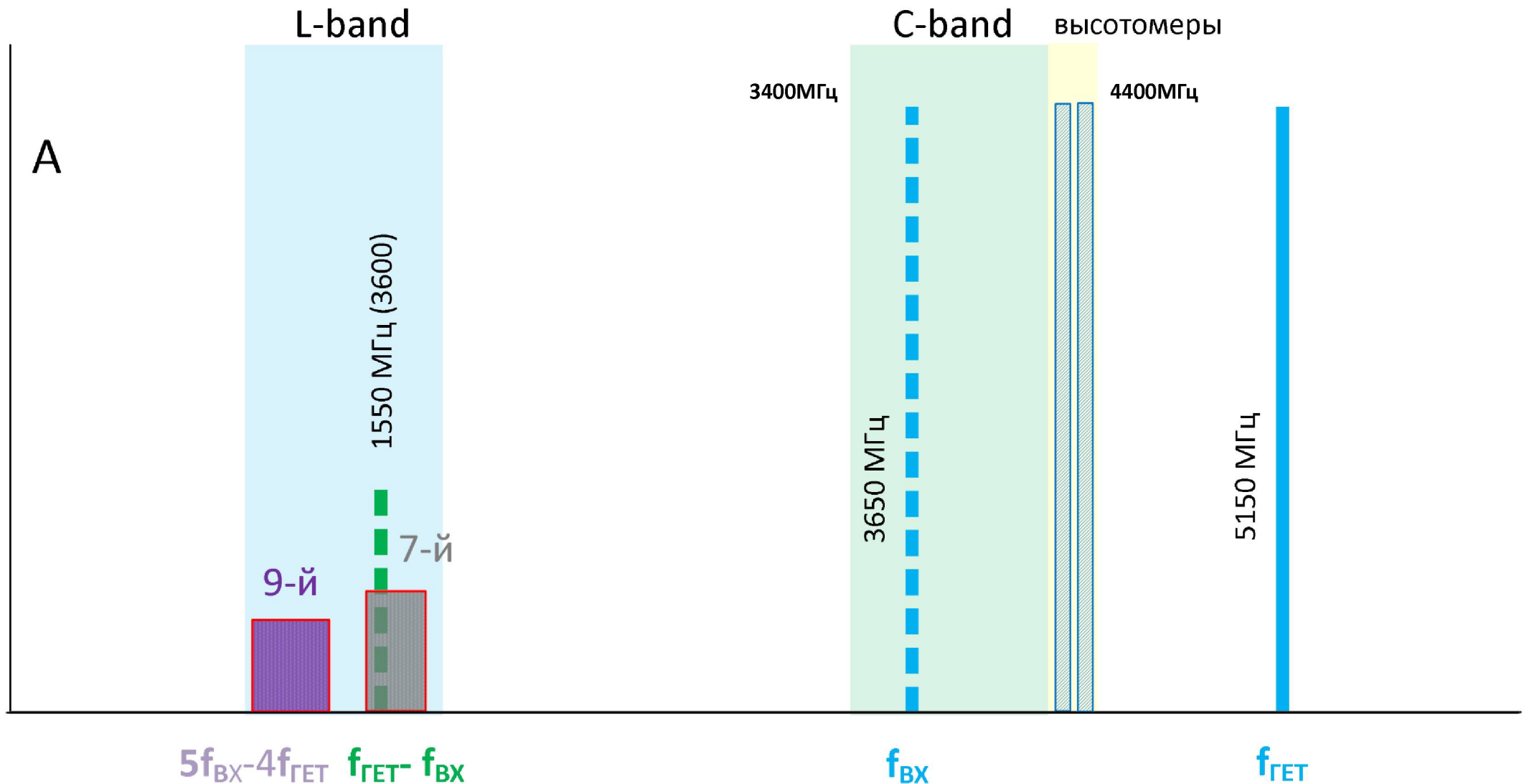


«Забрасывание» помех в полосу C-band от РЭС ниже по частоте

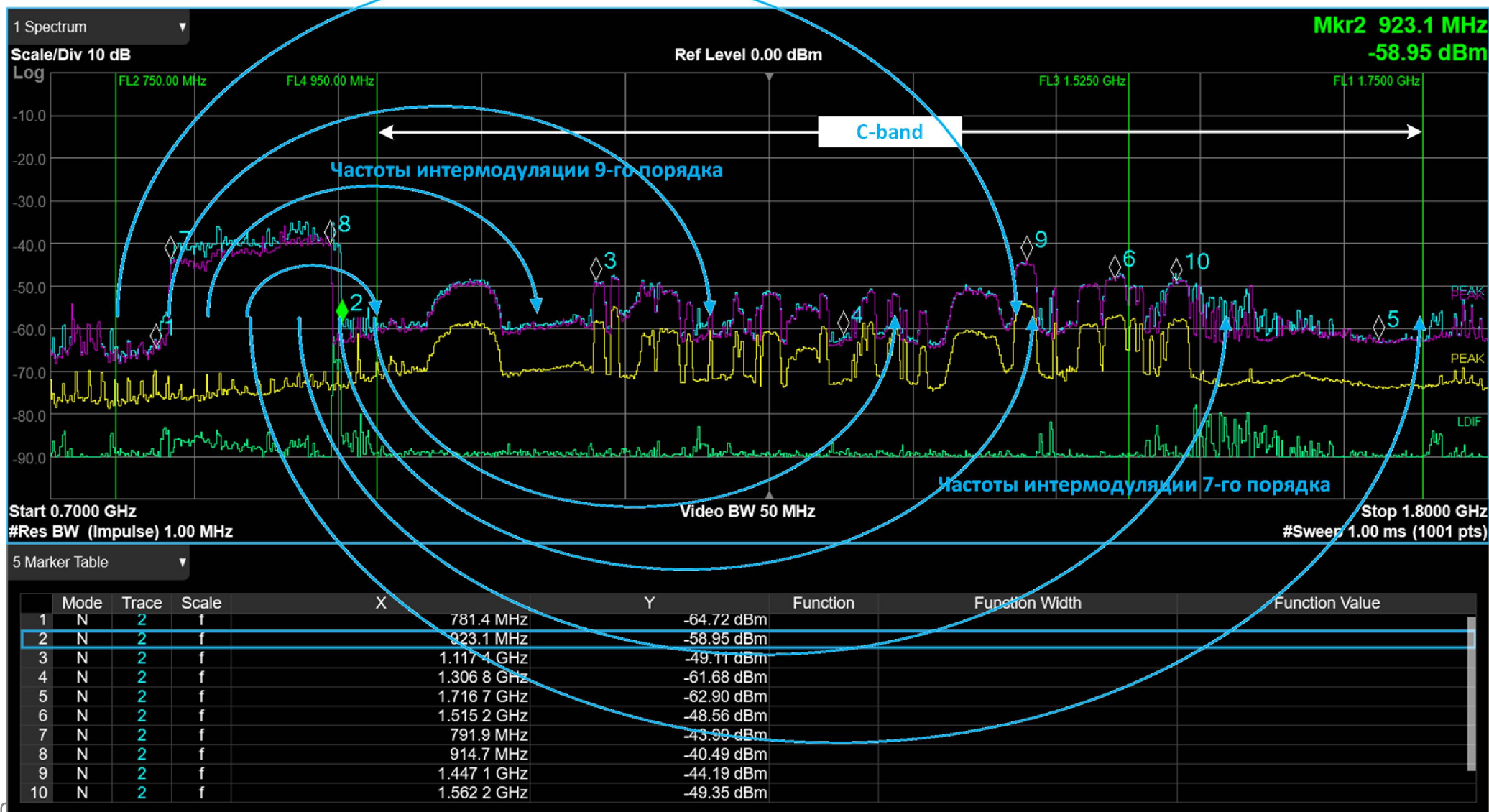
Спектр ПЧ (L-band)



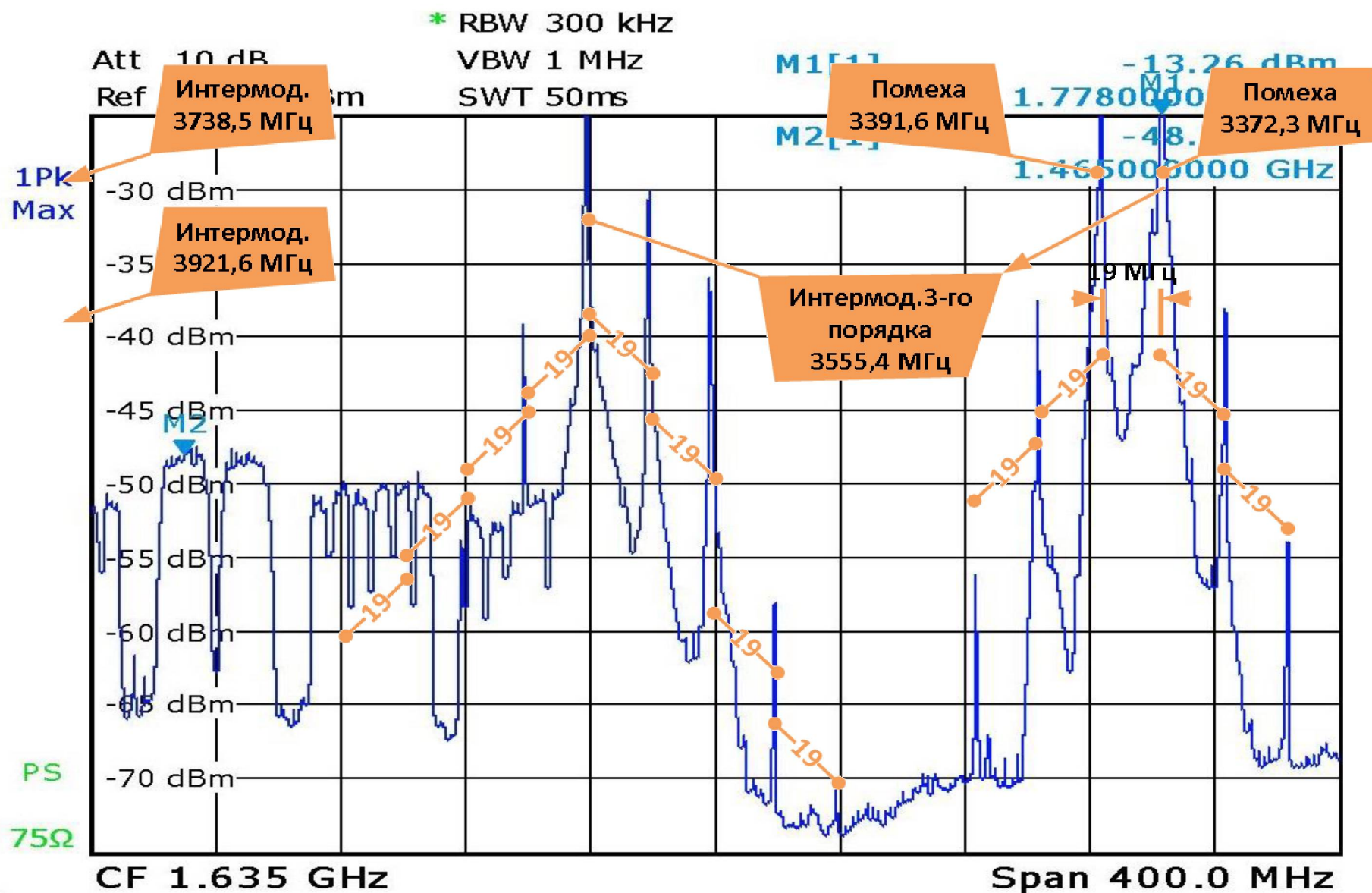
Двухчастотный случай, сигнал выше полосы C-band



«Забрасывание» помех в полосу C-band от РЭС выше по частоте



Лесенка интермодуляционных продуктов от 3-х частотного сигнала



Professional C-Band LNB with Internal Interference mitigating filters



DVB S2X

Features

- Internal Interference mitigating filters
- Low phase noise to meet DVB-S2X VSAT profile
- High P1dB and IP3
- Choose between Internal Ref. or External Ref. input models
- Compact size and light weight
- Wide operating temperature range

SMW 
SWEDISH MICROWAVE AB

 **САТПРО** • **РУ**

- Гетеродин 5550 МГц
- Входной фильтр 3550-4200 МГц
- Большой динамический диапазон

TECHNICAL SPECIFICATIONS

MODEL:	C-PLL 5.55 T
Input Frequency	3.550-4.200 GHz
LO Frequency	5.55 GHz

Не стандартная частота гетеродина, SMW PLL LNB 5550 MHz

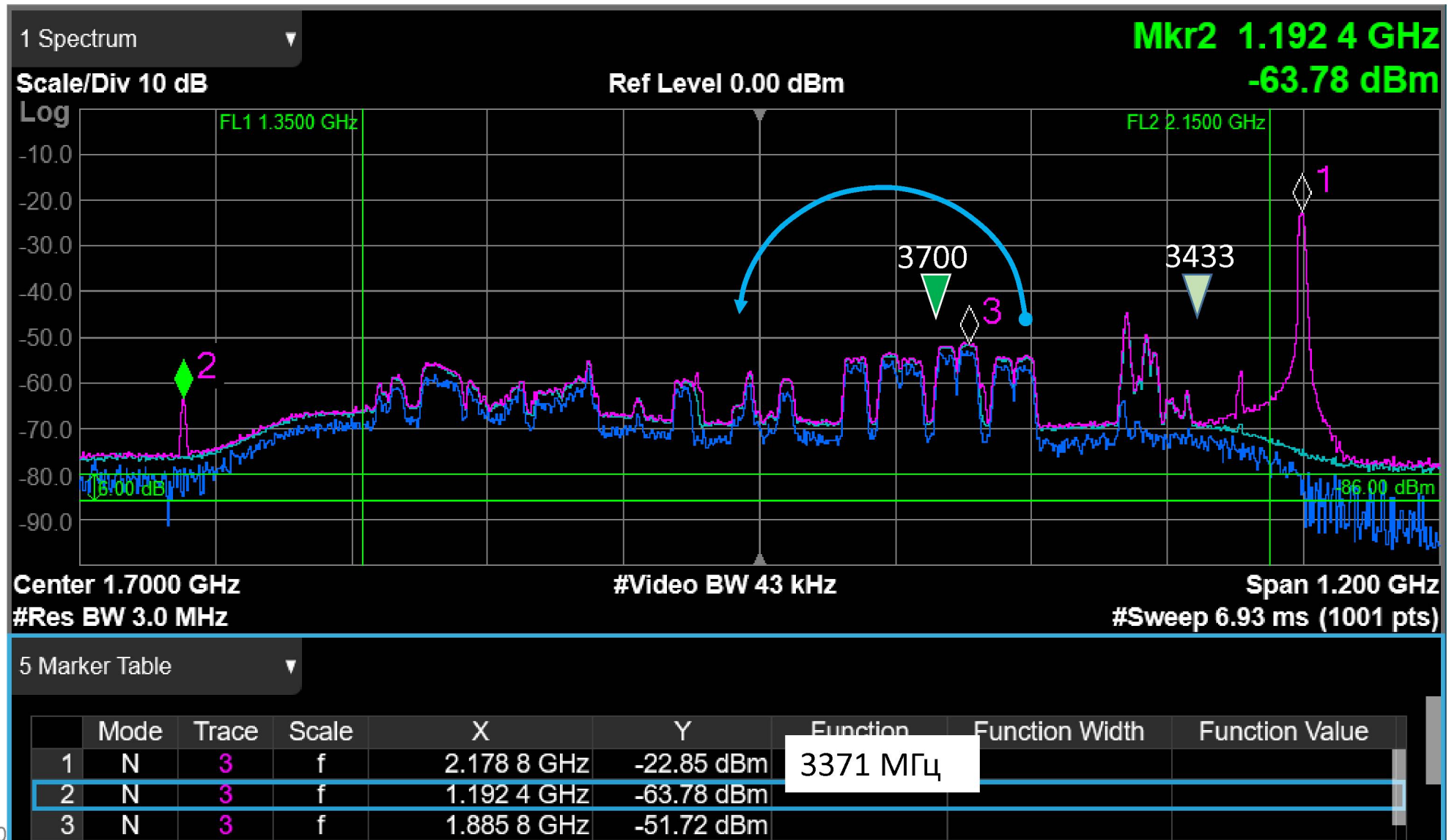
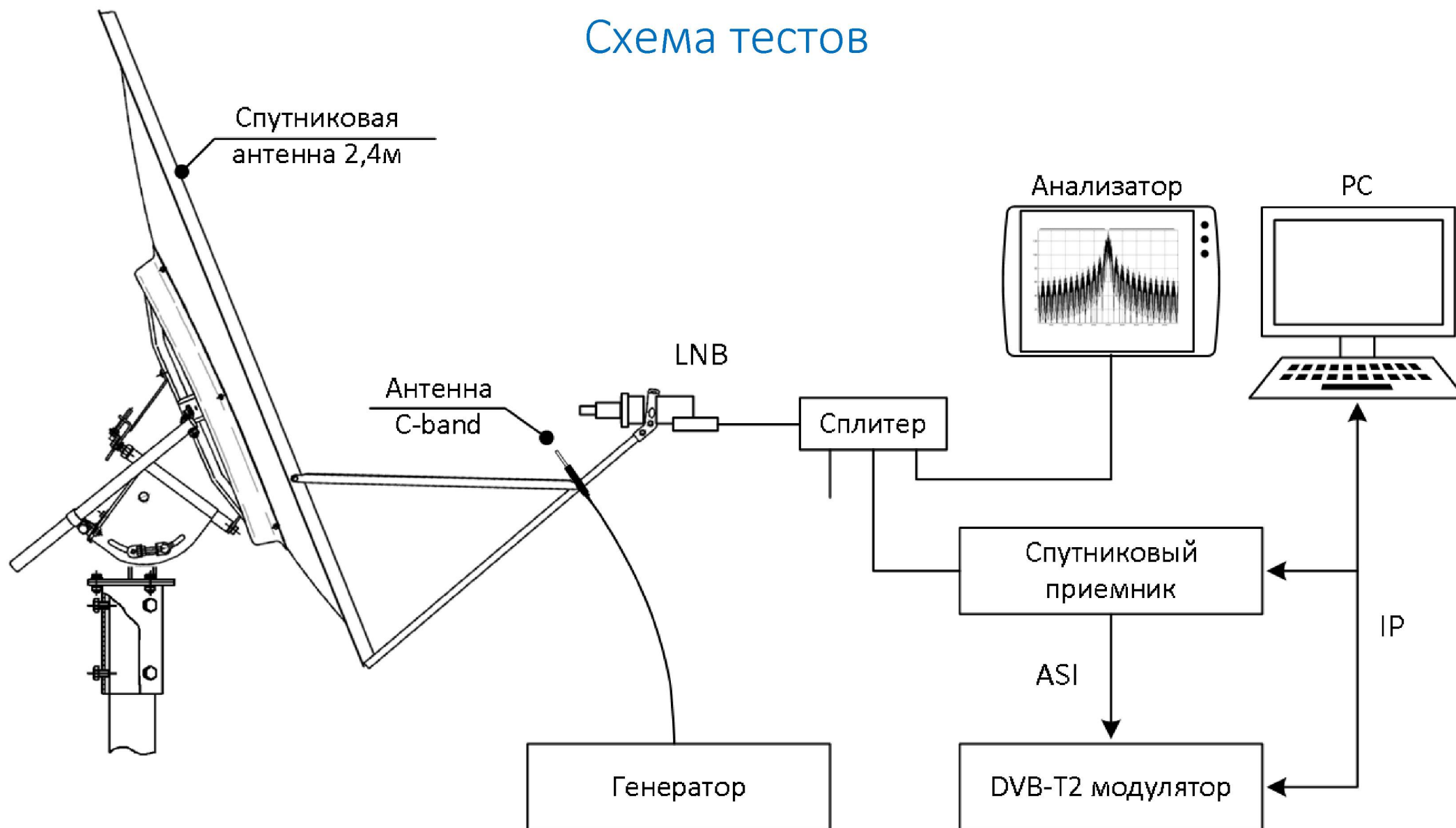
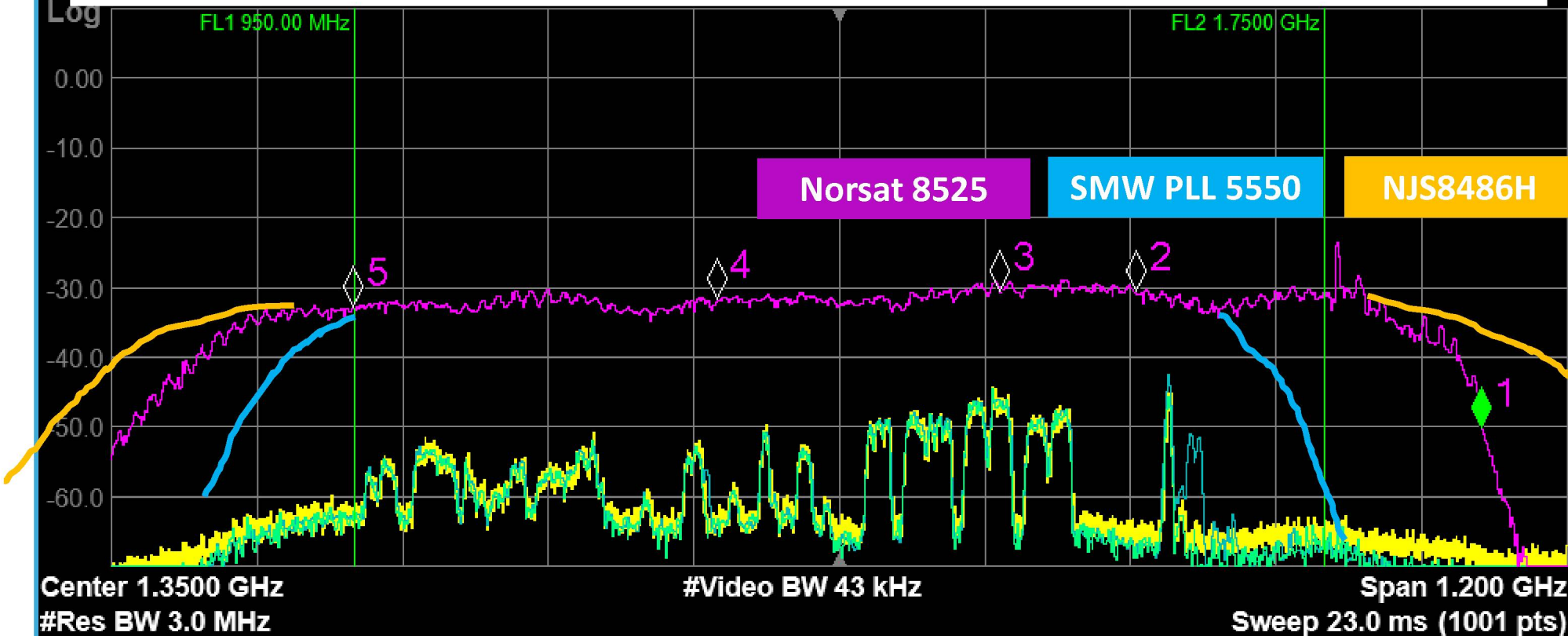


Схема тестов



Сравнение АЧХ LNB (для SMW PLL 5550 смещено на 400 МГц)

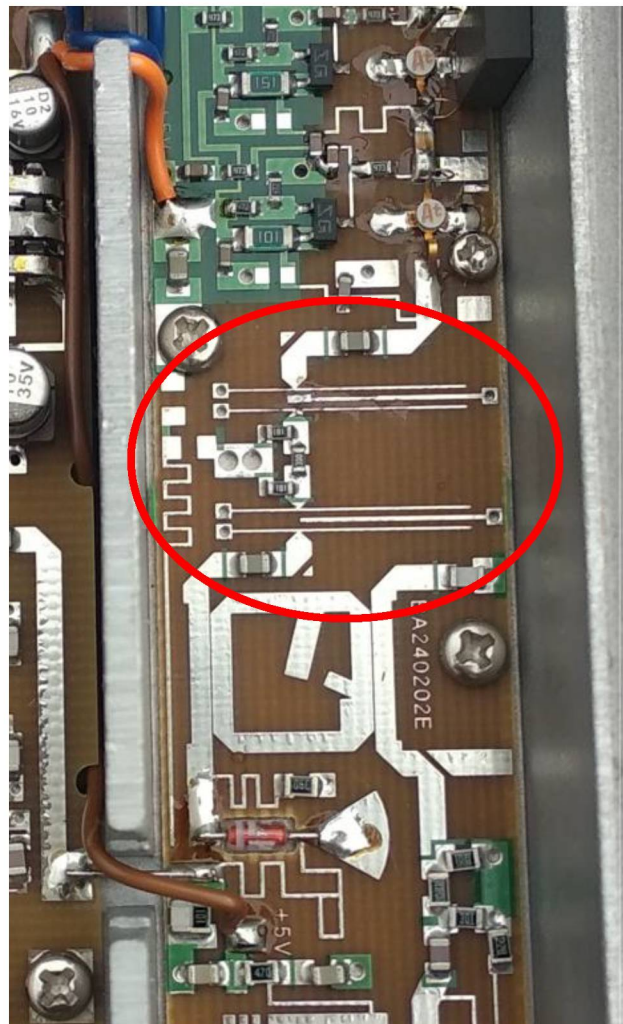


5 Marker Table

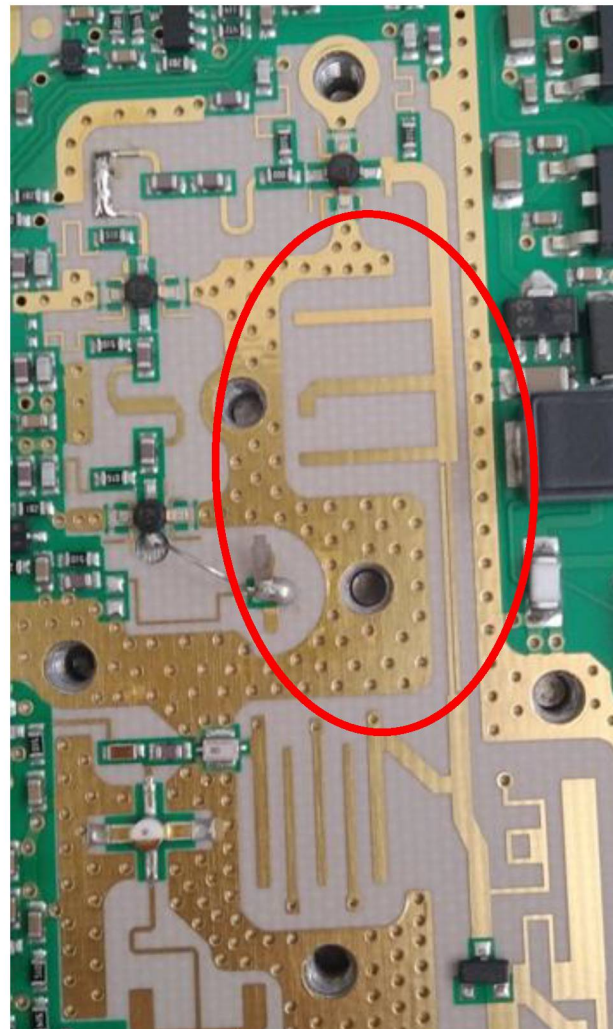
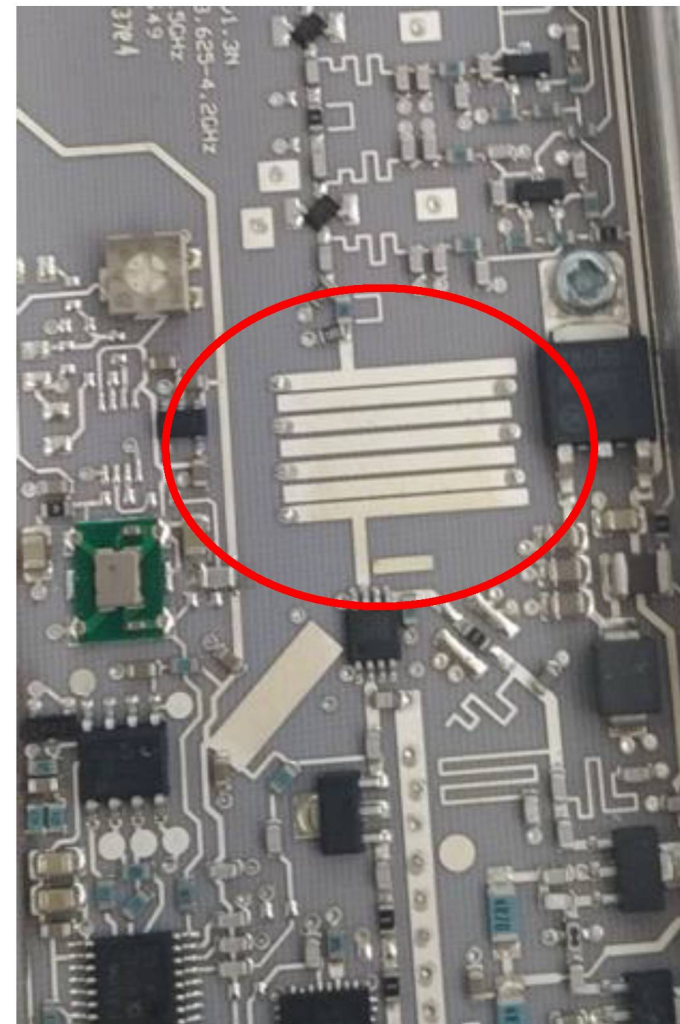
	Mode	Trace	Scale	X	Y	Function	Function Width	Function Value
1	N	3	f	1.880 0 GHz	-50.48 dBm	3270 МГц		
2	N	3	f	1.594 5 GHz	-30.88 dBm			
3	N	3	f	1.483 0 GHz	-30.79 dBm			
4	N	3	f	1.250 0 GHz	-31.92 dBm			
5	N	3	f	950.0 MHz	-33.01 dBm			

Сравнение входных фильтров NJS8486H

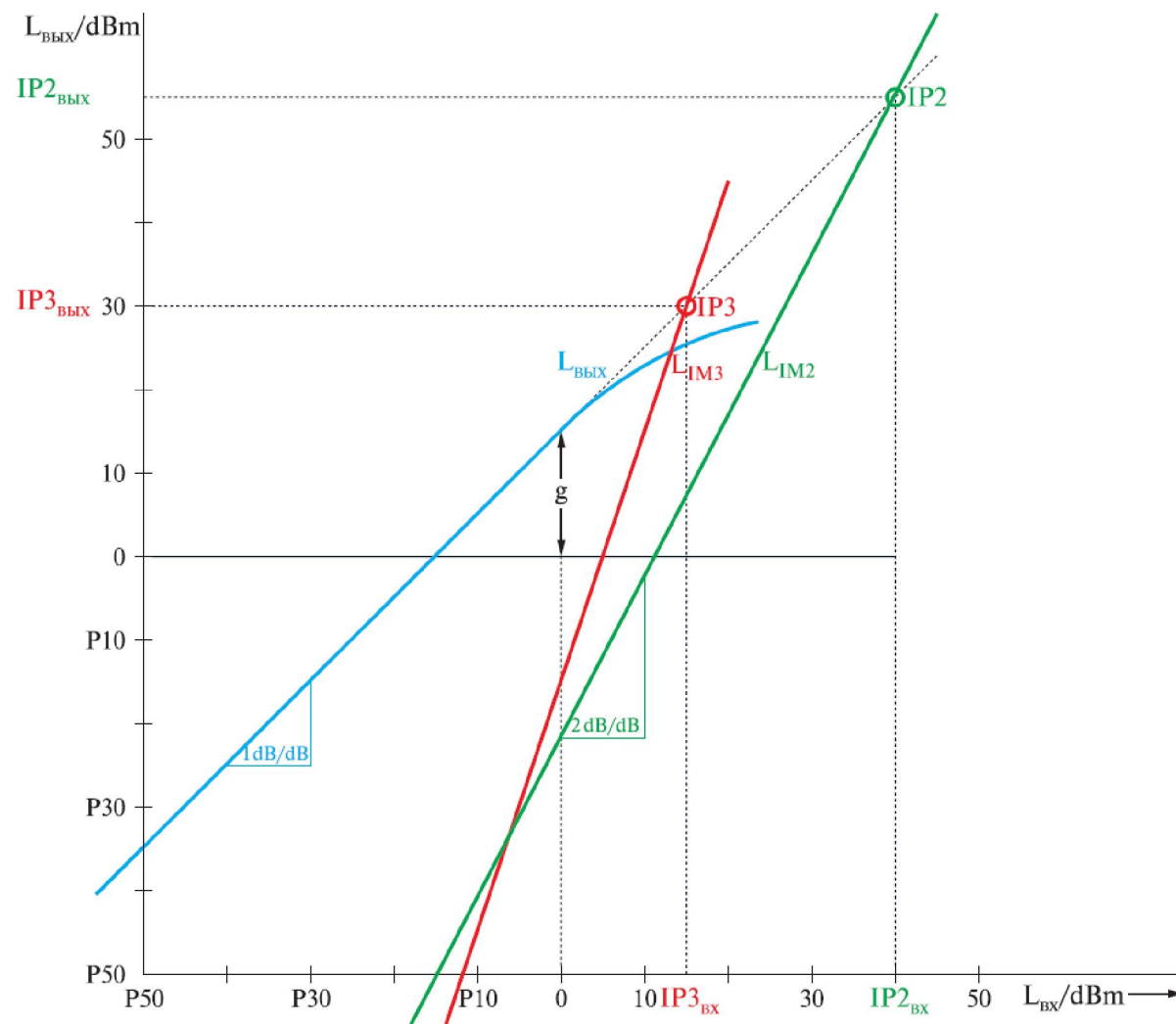
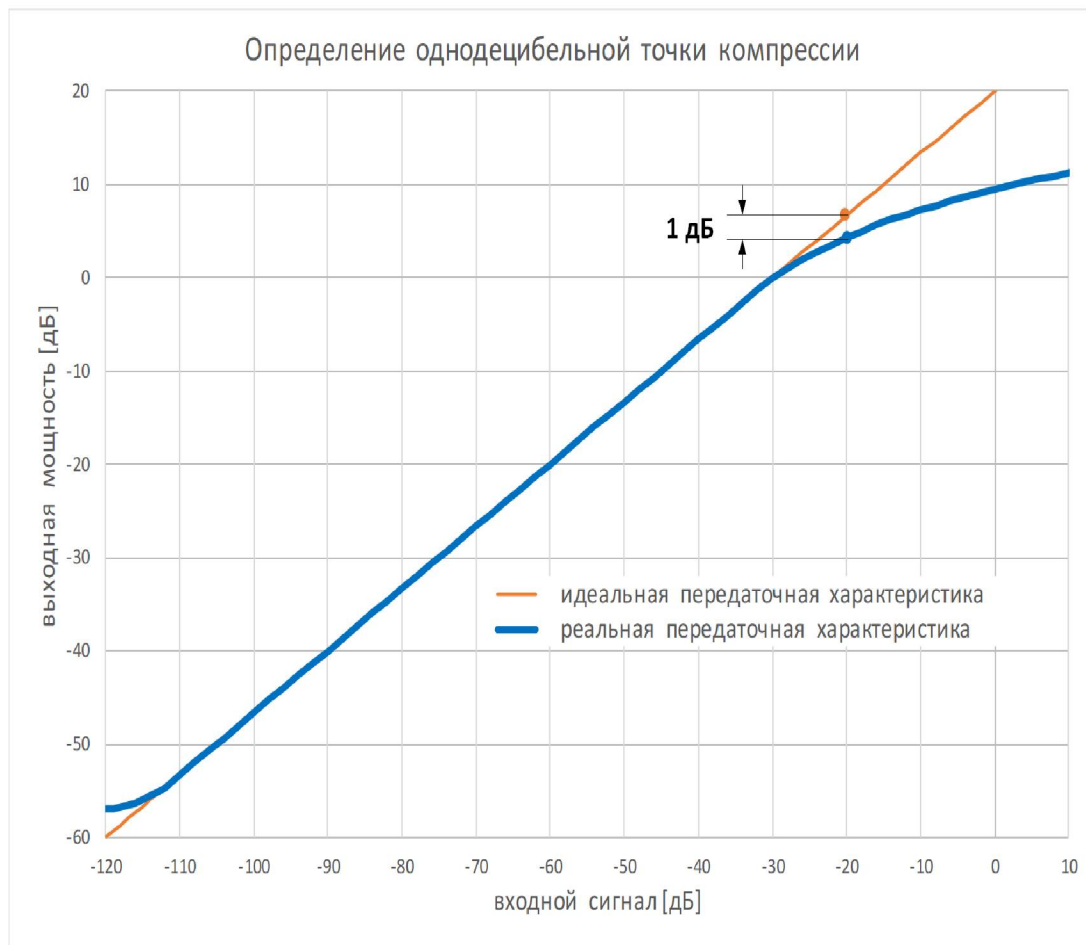
Norsat 8520

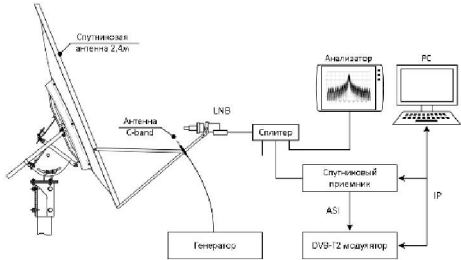


SMW PLL 5550



Измерение линейности цепи, сравнение цепей



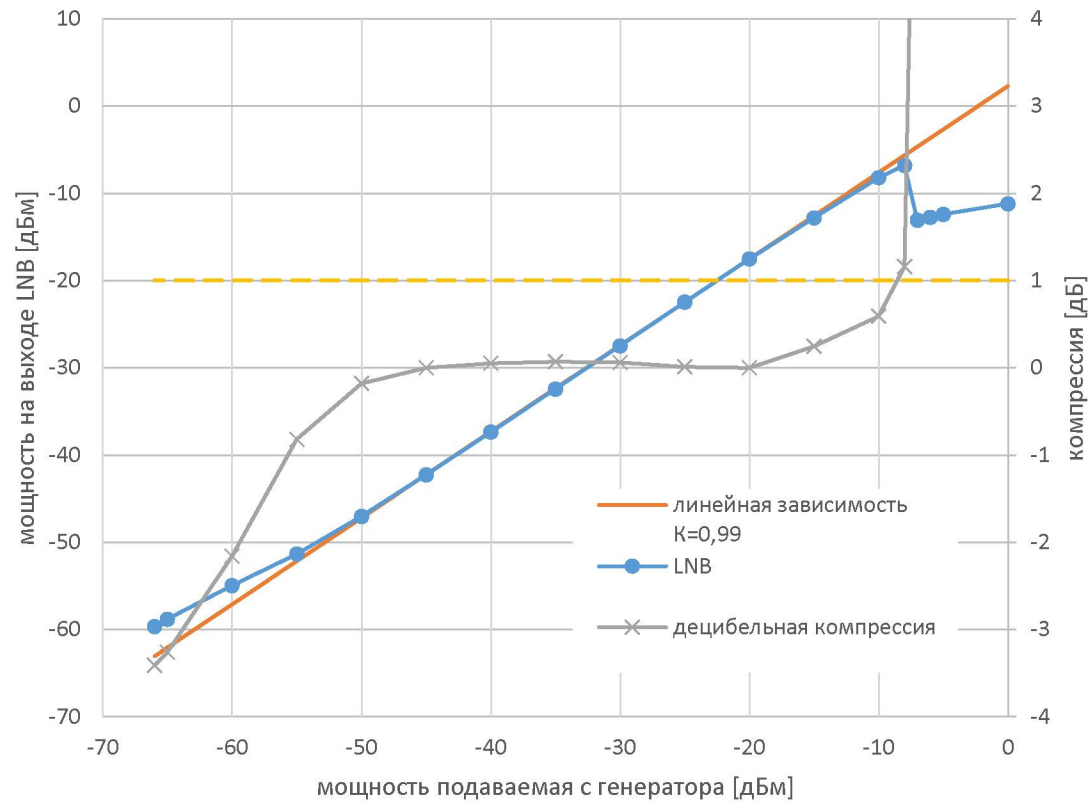


Измерение линейности и 1дБ компрессии

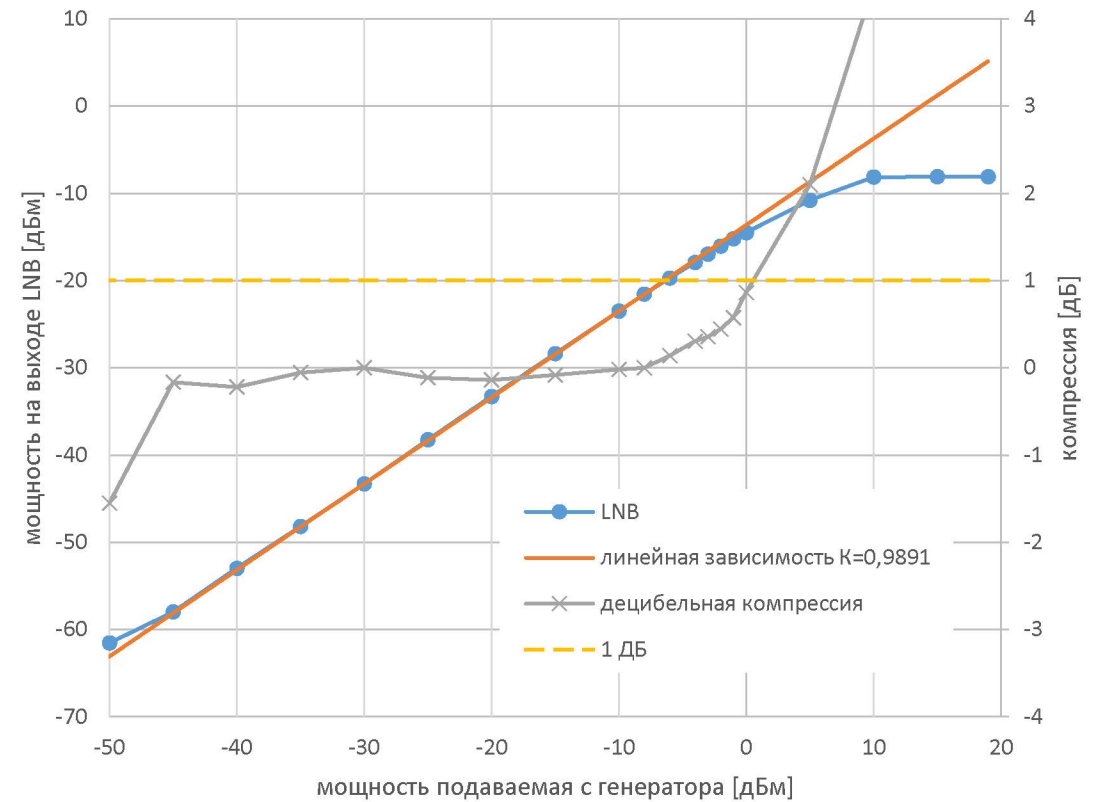
Norsat 8525F

SMW PLL 5550

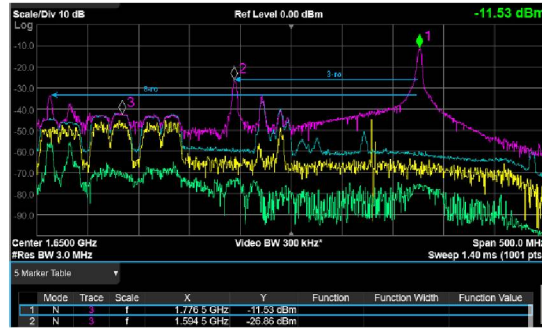
Измерение линейности LNB Norsat 8525F на частоте 3557 МГц



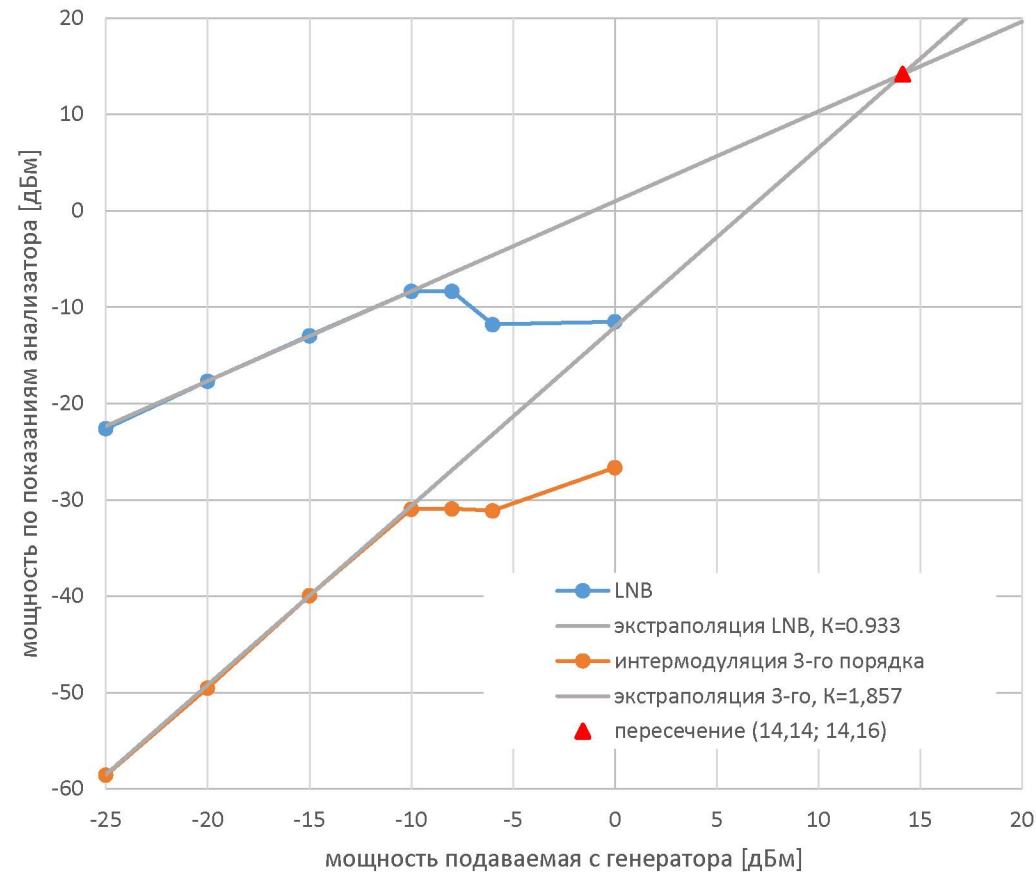
Измерение линейности PLL LNB SMW 5550 МГц, 3557МГц



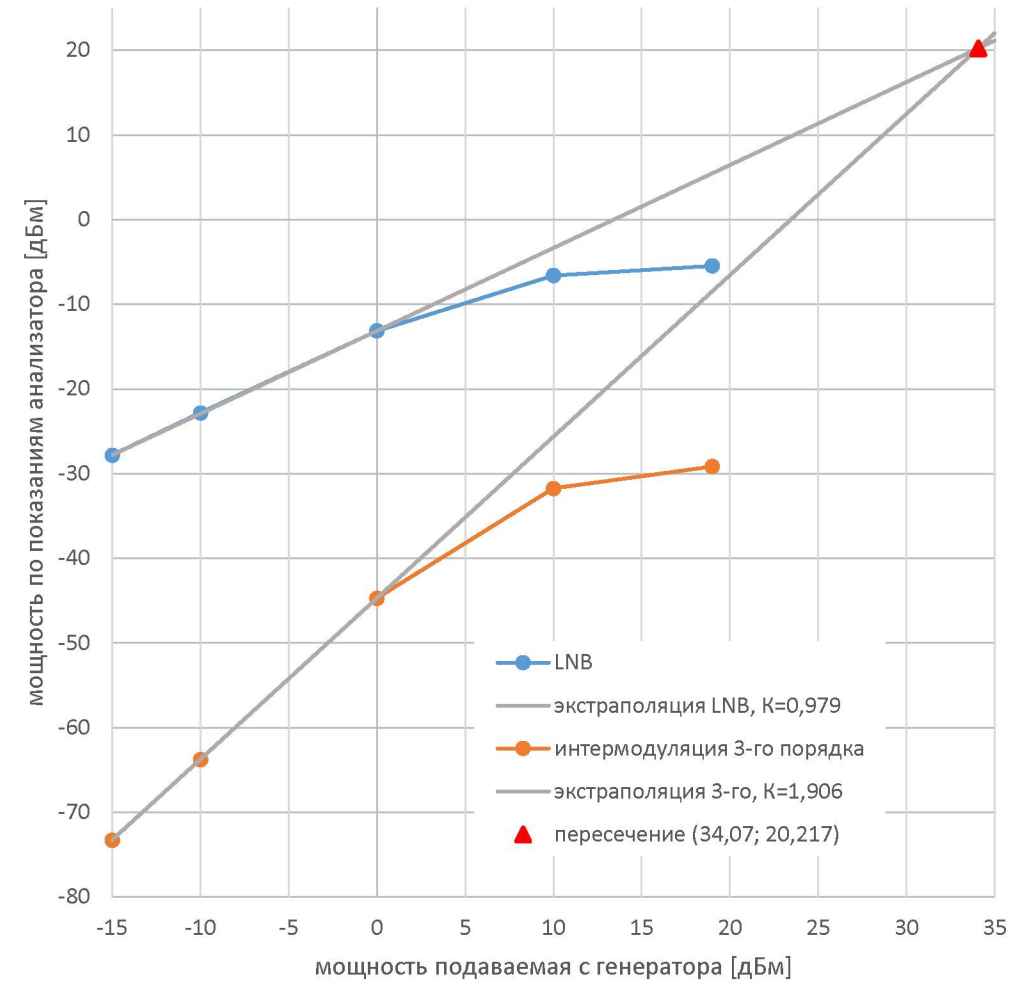
Измерение точки пересечения, «аналог IP3»



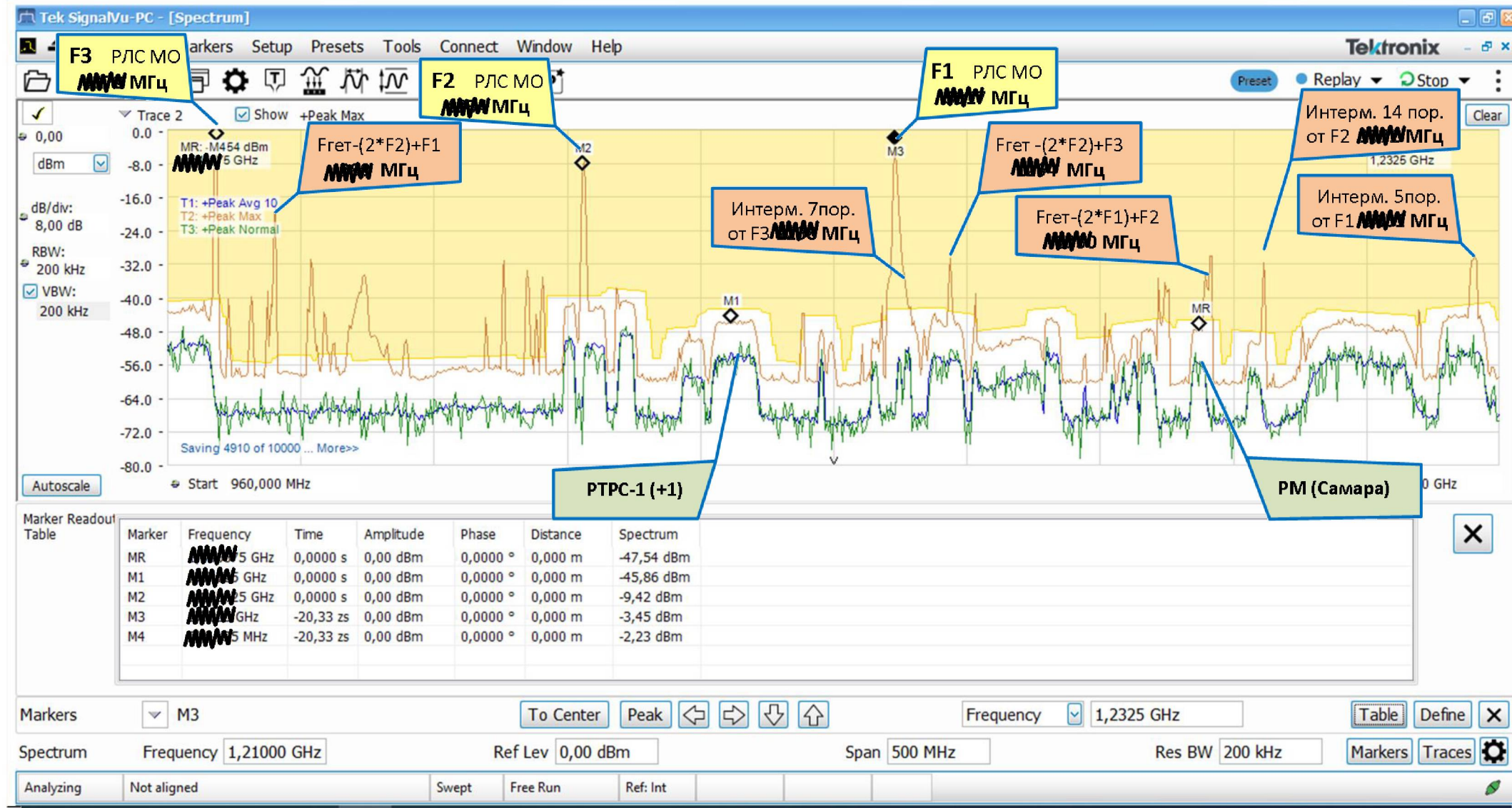
LNB Norsat



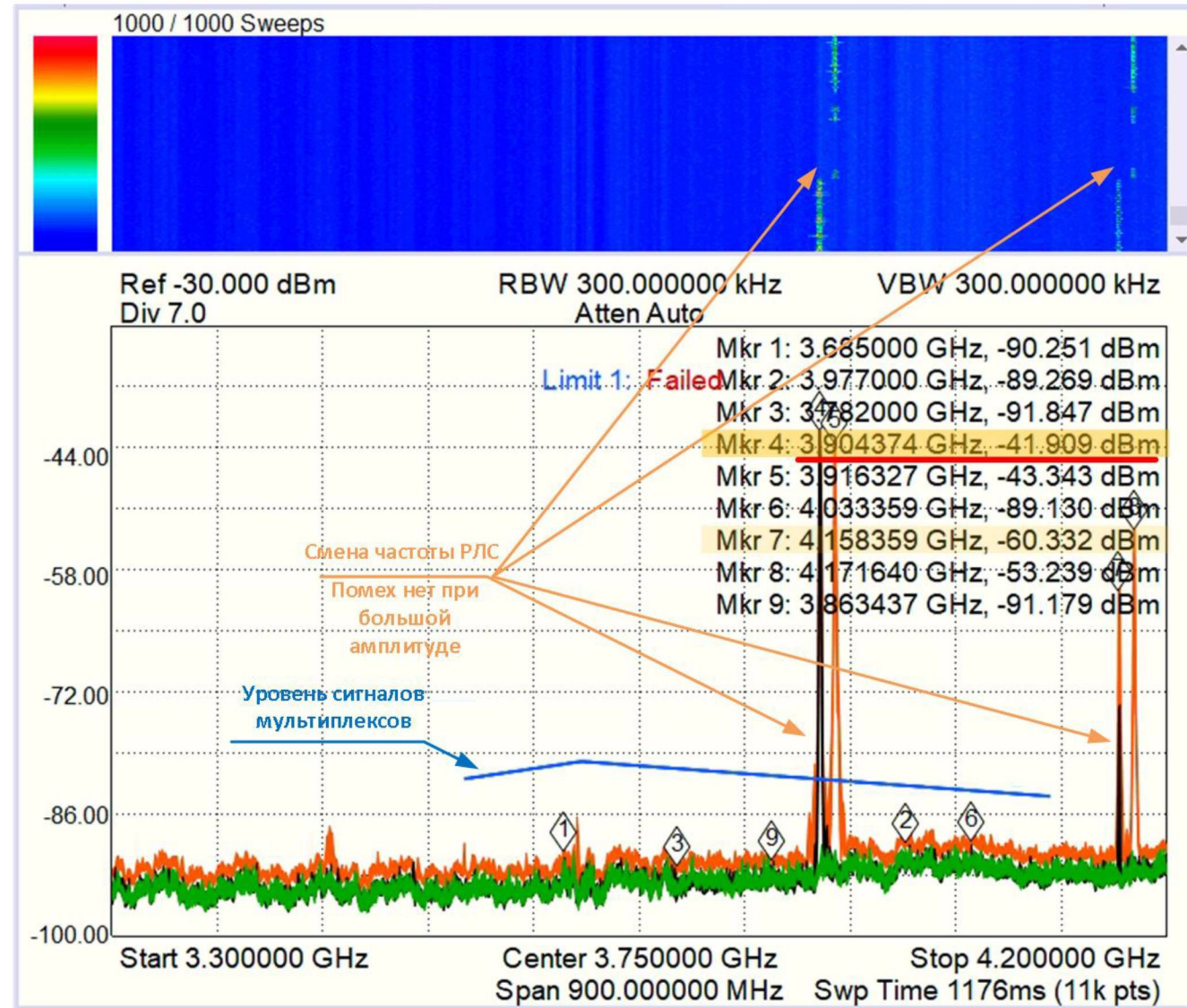
PLL LNB SMW 5550



Несовместимость с новыми РРЛ



Интермодуляционная помеха от РЛС на частоте СБ мультиплекса



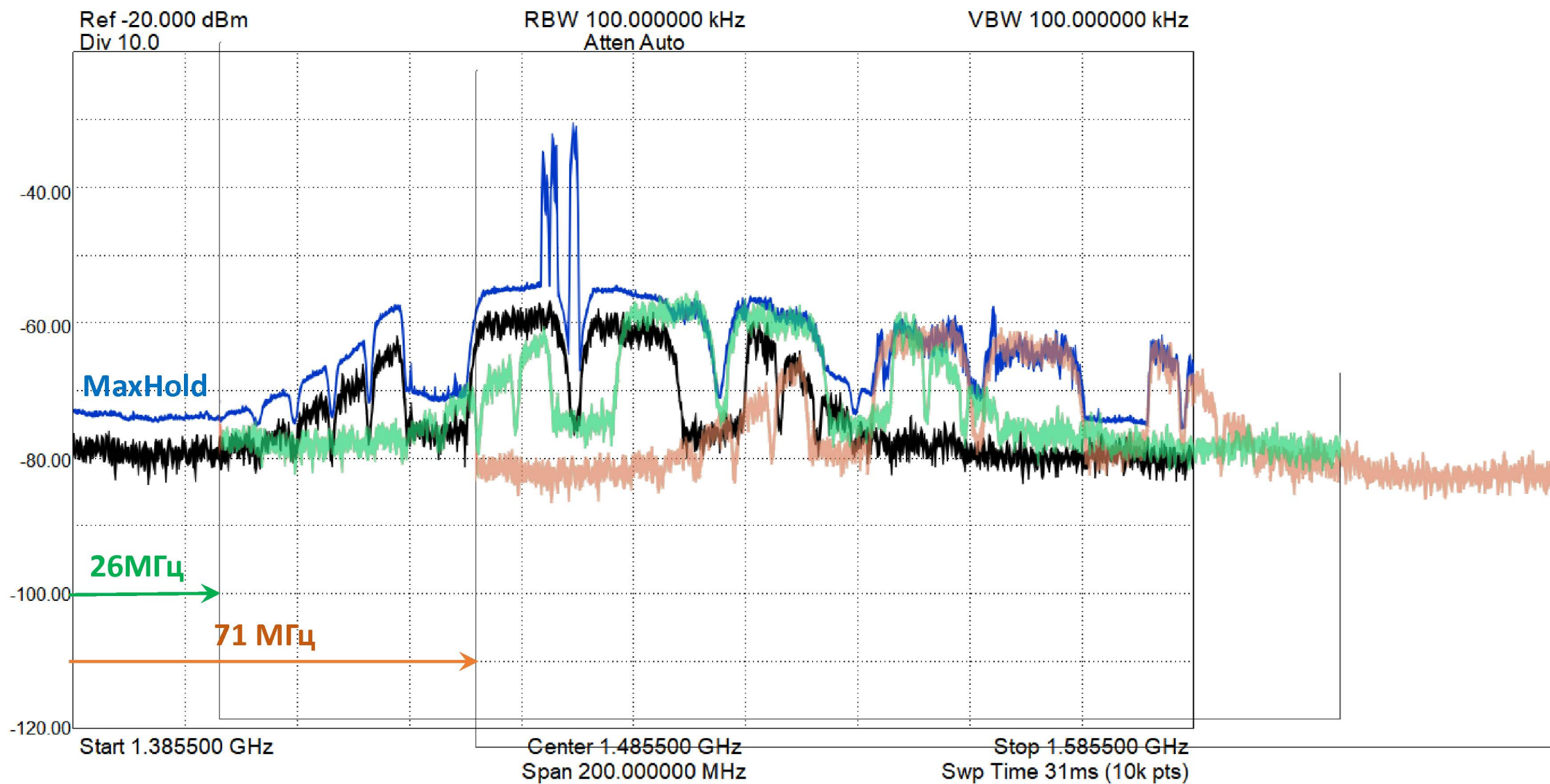
РТС-1 СБ **3704** МГц

↑ Помеха выросла в
400 раз

Продукт
интермодуляции
5-го порядка от частоты
3916 МГц = **3702** МГц

Смена частоты помехи,
продукт
интермодуляции
5-го порядка от частоты
3904 МГц = 3738 МГц

В СПб зафиксированы помехи работе LNB типа «Лжегетеродин»

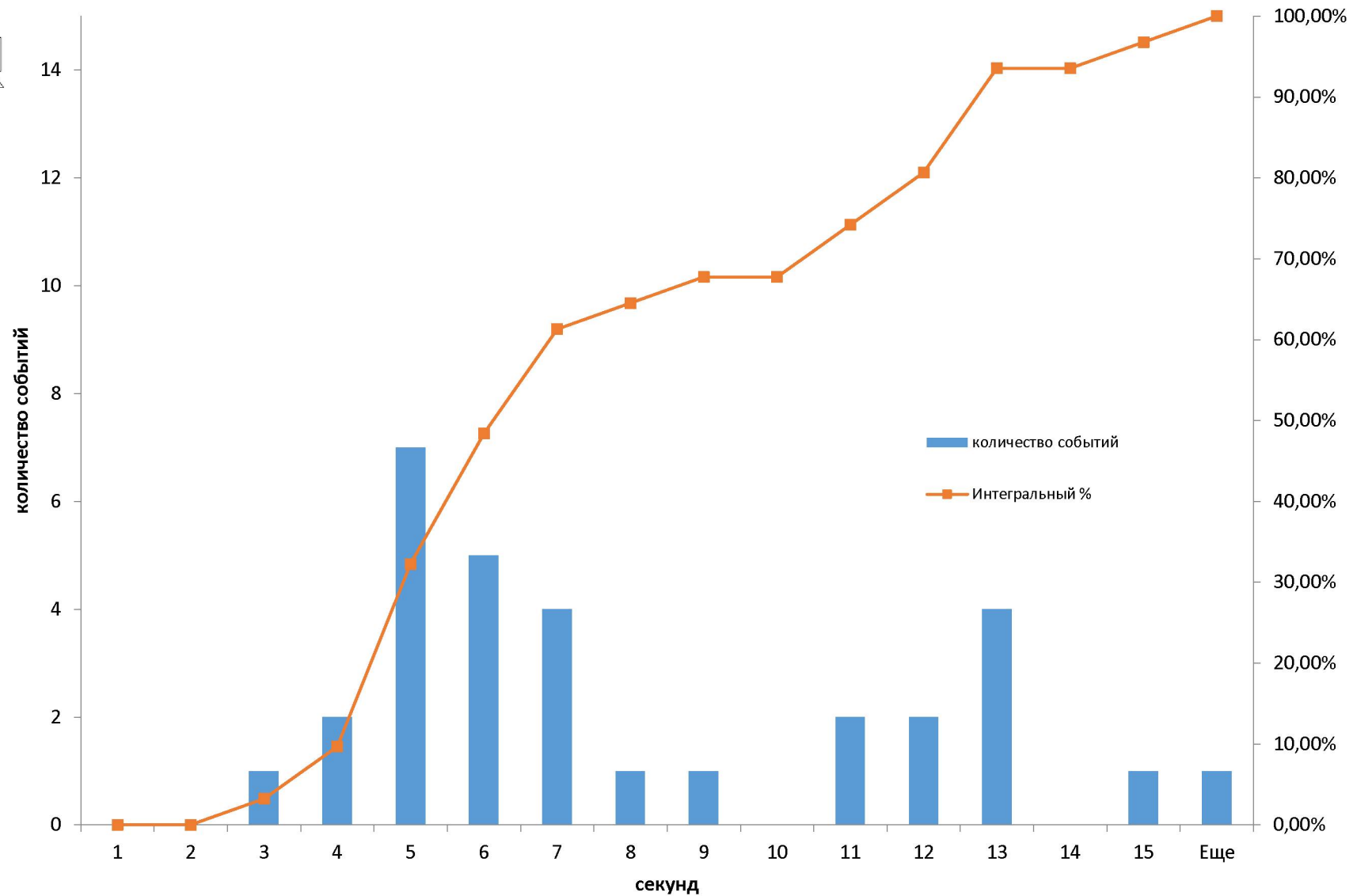
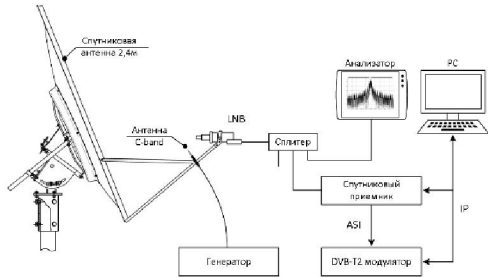


Имитация импульсной помехи от РЛС с длительностью импульсов 1 мкс

$F = 3371 \text{ МГц}$

1 мкс

$P = 19 \text{ дБм}$



Отказы приемника и отказы модулятора

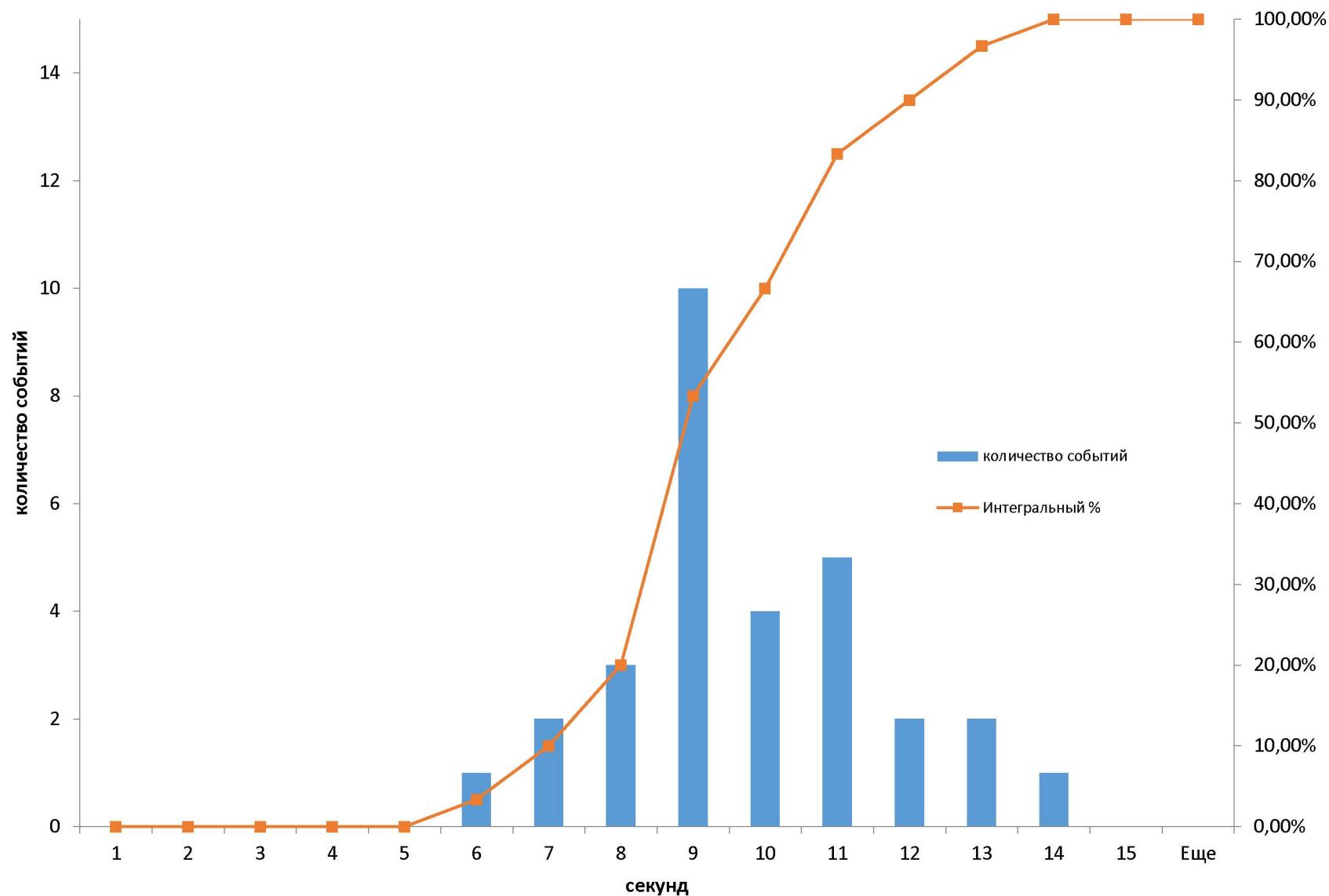


Имитация импульсной помехи от РЛС с длительностью импульсов 100 мкс

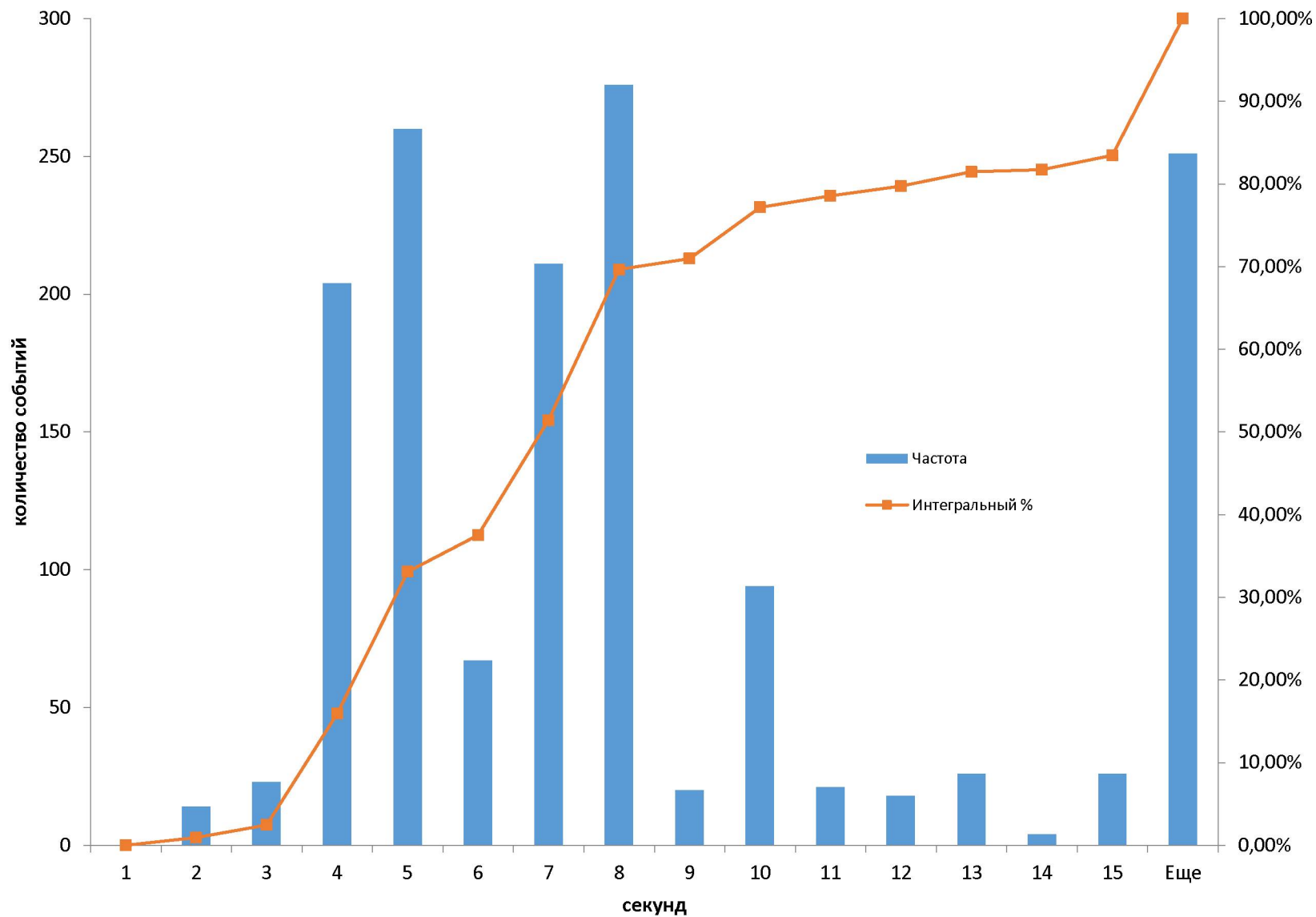
F = 3371 МГц

100 мкс

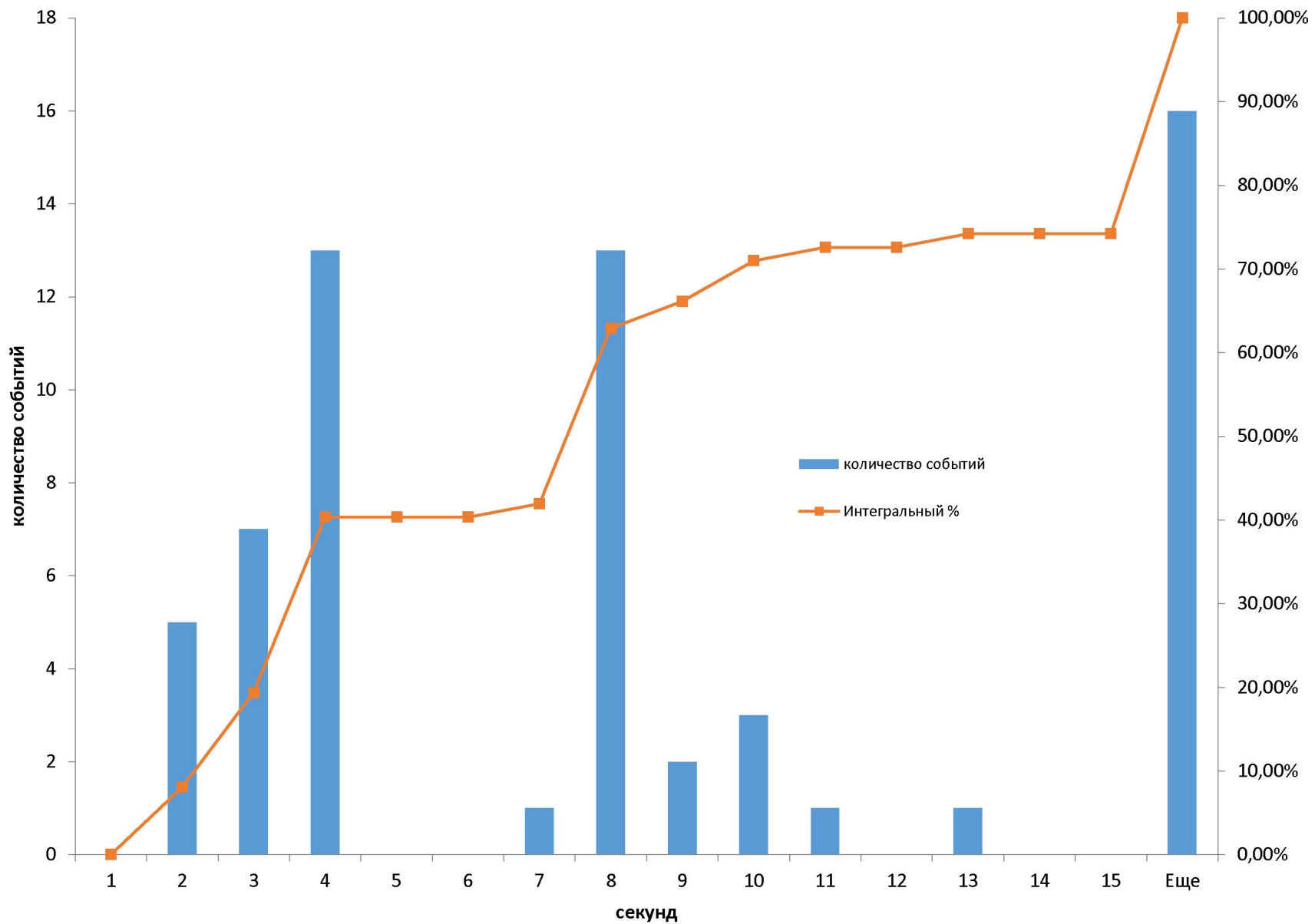
P = 19 дБм



Гистограмма блокирования, Татарстан, Удмуртия, Марий Эл, Нижегородская, Чувашия, Мордовия, Ульяновская, Пензенская, Самарская, 28 минут, 20.03.2020.



Гистограмма блокирования, РТПЦ Чувашии, центр зоны помех 20.03.2020



Спасибо за внимание

Журавлев Владимир Матвеевич

+7 (495) 648-01-11, доб.1817
VZhuravlev@rtrn.ru