

Измерение параметров сигналов радаров с использованием векторного анализатора сигналов в качестве идеального приёмника

- **Представление ВАС (VSA) 89601A**
- Импульсный сигнал с ЛЧМ
- Импульсный сигнал с кодом Баркера
- Индикатор движущейся цели
- Выводы



Agilent Technologies

185

Векторный анализ сигналов

- VXI векторные анализаторы серии 89600
- Анализаторы спектра серии ESA-E + 89601
- Анализаторы спектра серии PSA + 89601
- Анализаторы спектра серии MXA + 89601
- Осциллографы серии Infinium 6000 + 89601



Agilent Technologies

Широкополосный векторный анализ сигналов в полосе до 50 ГГц

Полный набор векторных измерений:

- Анализ различных видов модуляций & форматов в диапазоне до 50 ГГц
- Измерение параметров импульсных сигналов с внутр. заполнением
- Все возможности обычного спектрального анализа
- Информационная полоса – 400 МГц !!!
- Временное стробирование, спектрограммы

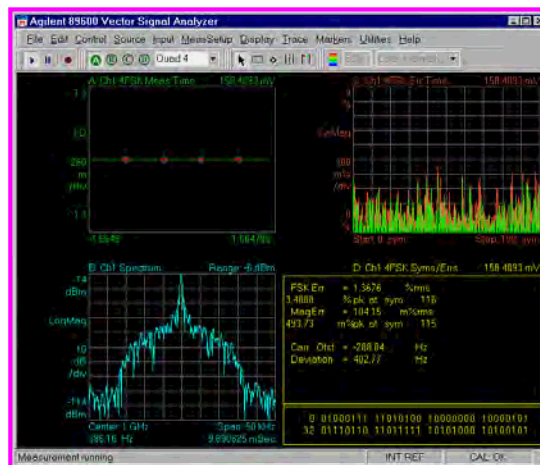


Гибкие возможности векторного анализа приложения 89601

Форматы

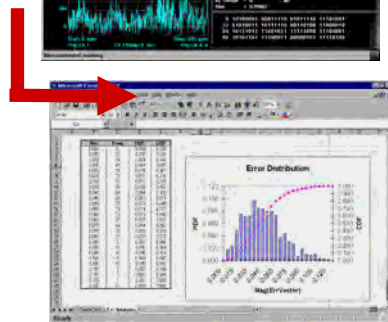
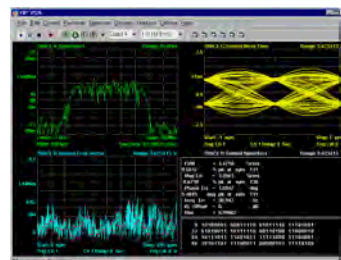
- ▶ FSK (2,4,8,16 level)
- ▶ BPSK
- ▶ QPSK
- ▶ OQPSK
- ▶ DQPSK
- ▶ $\pi/4$ -DQPSK
- ▶ 8PSK
- ▶ D8PSK
- ▶ QAM (16 to 256 level)
- ▶ VSB (8 and 16 level)

Изменяемые тактовая частота символов, тип и форма фильтров, параметры запуска

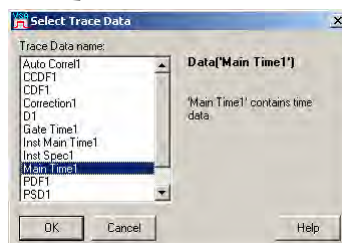
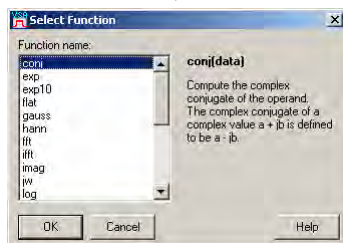


Гибкие возможности векторного анализа приложения 89601

- Управление аппаратными средствами
- Запись сигналов
- Связь с векторными генераторами Agilent для последующего воспроизведения записанных сигналов
- Интеграция с САПР, включая MATLAB
- Использование данных при составлении отчётов



Использование математических операций в 89601



190

План

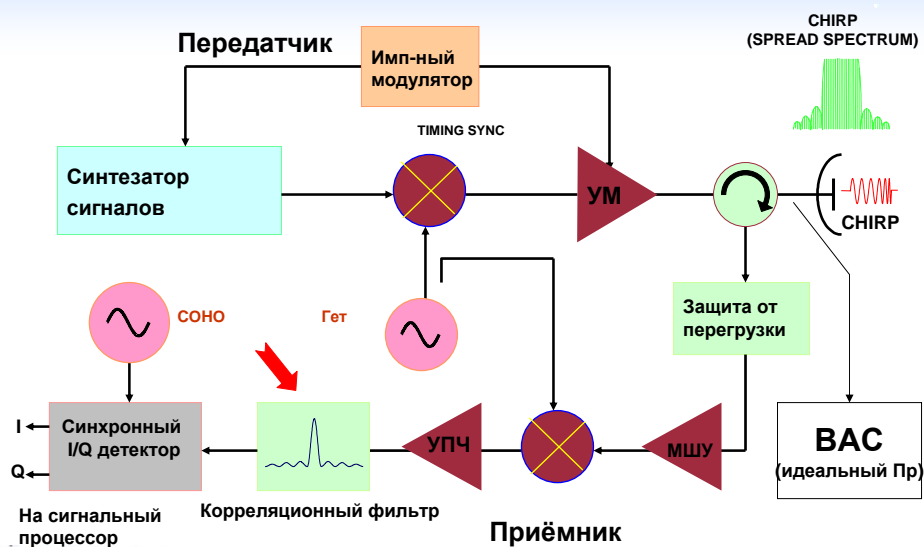
- Представление ВАС (VSA) 89601A
- **Импульсный сигнал с ЛЧМ**
- Импульсный сигнал с кодом Баркера
- Индикатор движущейся цели



Agilent Technologies

191

Радар на основе импульсных сигналов с ЛЧМ



Agilent Technologies

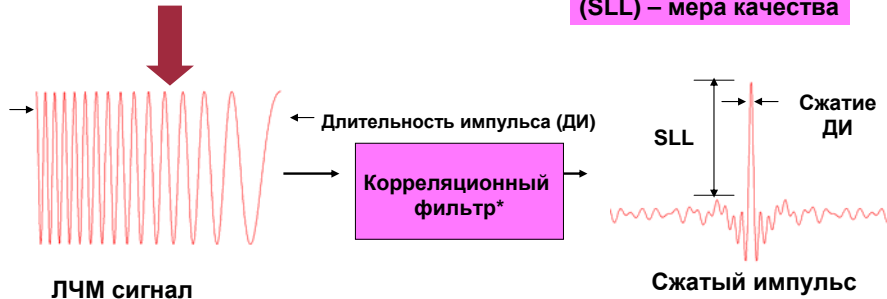
192

Мера качества сигнала - Time Side Lobe Level

Формула ЛЧМ сигнала

$$F(t) = A \cos\left(w_c t + \frac{1}{2} u t^2\right)$$

Time Side Lobe Level (SLL) – мера качества



* Выполняется в ВАС

Коэффициент сжатия = ДИ/ ДИ сжатый (PCR)

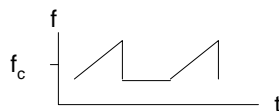
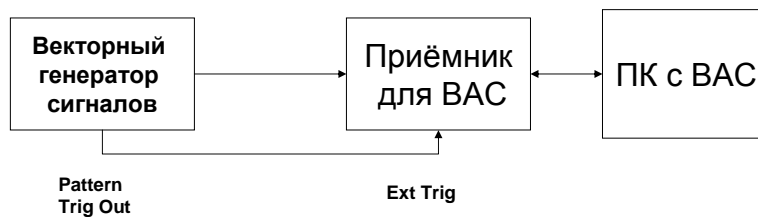


Agilent Technologies

193

Блок-диаграмма эксперимента

Имитация сигнала радара



Закон изменения частоты - пила

Полоса = 4МГц

ДИ = 15 мкс

f_c = 20 МГц



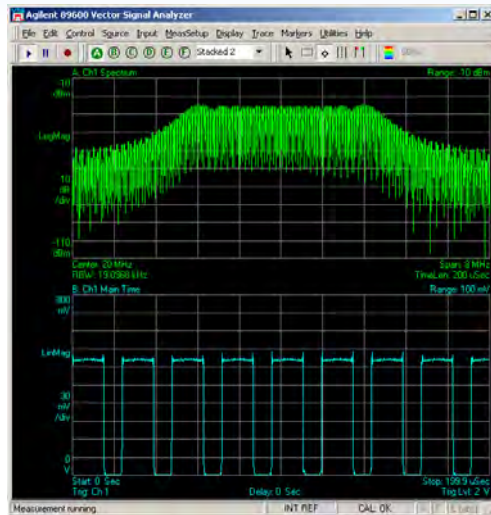
Agilent Technologies

194

Вид ЛЧМ сигнала

спектр

время



Шаг 1:

Для измерений SLL & PCR, используем математику для реализации корреляционного фильтра (Измеряемый – Идеальный)

Use time cross correlation identity:

$\text{Meas}(t) \otimes \text{Ideal}(t) =$

$\text{ifft}[\text{Meas}(f) * \text{conj}[\text{Ideal}(f)]]$

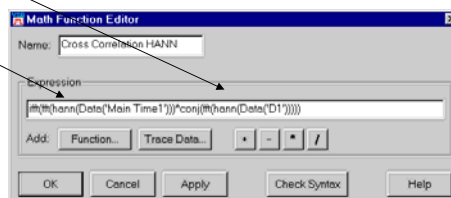
где

$\text{Meas}(f) = \text{window} * \text{fft}(\text{Meas}(t))$

$\text{Ideal}(f) = \text{window} * \text{fft}(\text{Ideal}(t))$

Ideal = Форма созданная в MatLab (регистр D1)

window = Hanning window



Шаг 2:

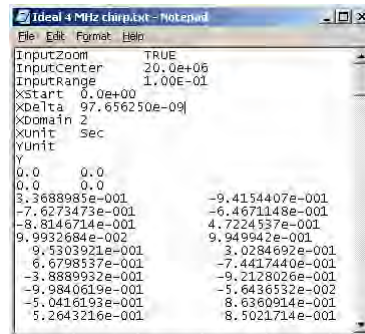
Импортирование идеального ЛЧМ сигнала

- Идеальная форма сформирована в MATLAB®
- Длительность = 15.332 мкс (ДИ + t_r + t_f)
- Шаг между отсчётами ($1/\text{Rate}$) такой же, как и при измерении

$$\begin{aligned} SS_{VSA} &= 1/SR_{VSA} = 1/(1.28 * \text{Span}) \\ &= 1/(1.28 * 8 \text{ МГц}) \\ &= 97.65625 \text{e-}9 \text{с} \end{aligned}$$

- Добавлен VSA-заголовок в файл
- Импорт данных в регистр D1 в BAC
-

*See "Creating A Recording Using an ASCII Editor" in the VSA s/w Help.

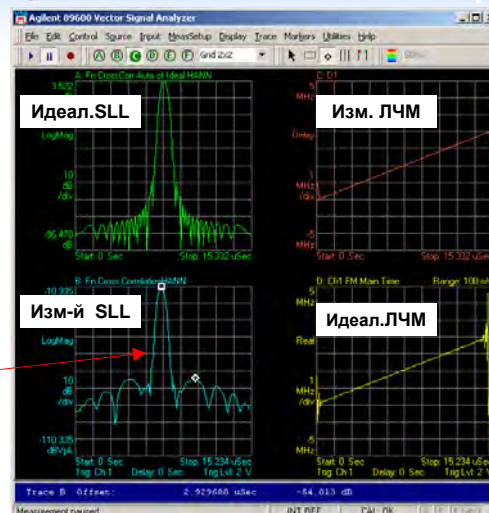


Agilent Technologies

197

Отображение результатов работы корреляционного фильтра

-53 дБ
SLL



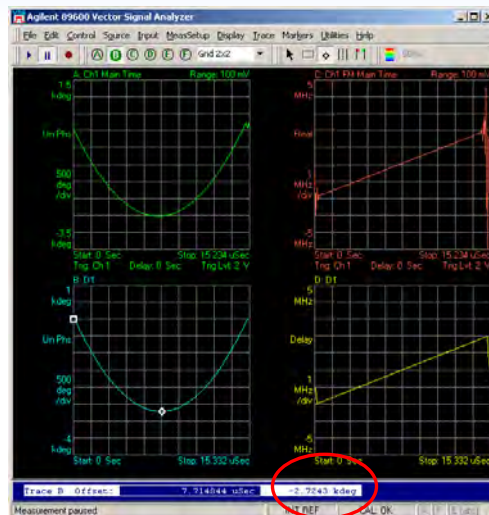
Agilent Technologies

198

Определение ошибок: сравнение с идеальным сигналом

Невозможно определить ошибки без сравнения с идеальным сигналом reference. Набег фаз за 15мкс составляет 2743 град.

В качестве опорного сигнала можно использовать импортированный сигнал с такими же параметрами.



Определение ошибок

- ошибка = $\text{Measured}(t)/\text{Ideal}(t)$
 - отношение амплитуд
 - разница фаз
- для ЛЧМ ошибки используем Group Delay of Time:

$$gd = dPh/df,$$

в данном случае $df = k dt$ для ЛЧМ

То есть $gd = dPH/(k dt)$ или зависимость частоты от времени (FM vs Time) так как

$$FM = dPH/ dt$$
- для ошибки фазы (PH), установим сигналы запуска



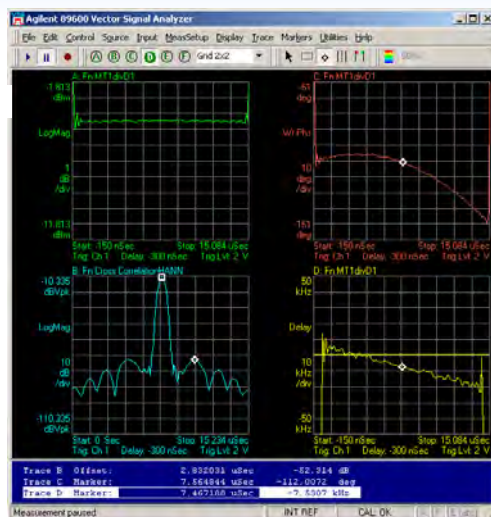
Экран отображения ошибок формирования импульсного ЛЧМ сигнала

Идеальный

Измер. SLL

Фазовая ошибка

Ошибка ЛЧМ



Agilent Technologies

201

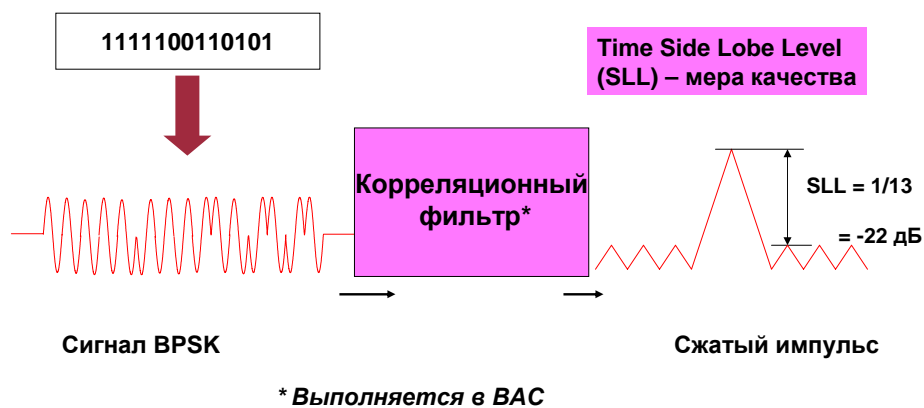
- Представление ВАС (VSA) 89601A
- Импульсный сигнал с ЛЧМ
- **Импульсный сигнал с кодом Баркера**
- Индикатор движущейся цели



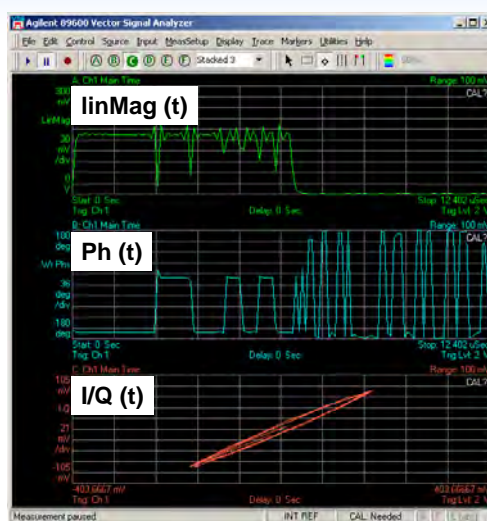
Agilent Technologies

202

13-разрядный код Баркера



Сигнал с модуляцией BPSK (двухпозиционная фазовая манипуляция)

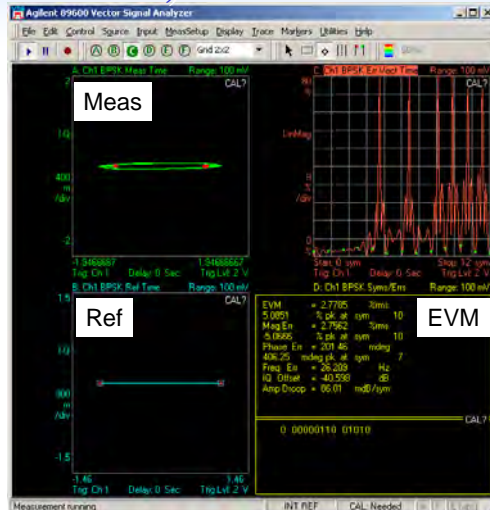


Амплитуда вектора ошибки сигнала с BPSK (Barker EVM)



- Carrier Lock
- Symbol Lock
- Filter
- Demod Bits
- Реконструкция идеального сигнала

Исп-ся для SLL

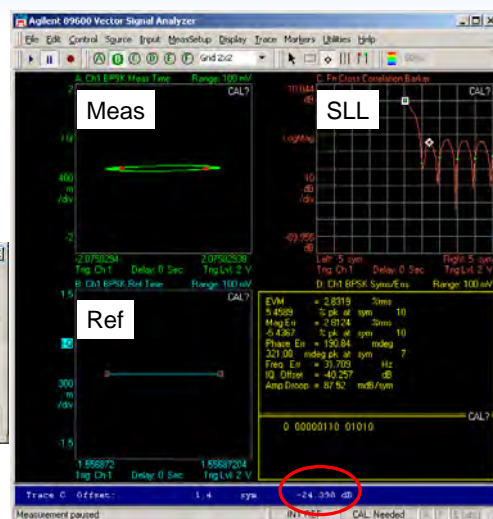
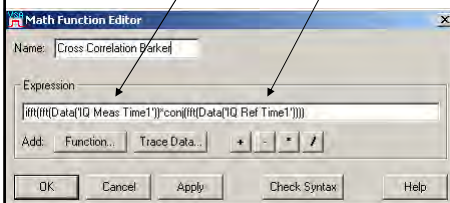



Баркер SLL

Реализуем функцию корреляции:

$$\text{Meas}(t) \otimes \text{Ref}(t) =$$

$$\text{ifft}[\text{Meas}(f) * \text{conj}[\text{Ref}(f)]]$$



- 
- Представление ВАС (VSA) 89601A
 - Импульсный сигнал с ЛЧМ
 - Импульсный сигнал с кодом Баркера
 - **Индикатор движущейся цели - Moving Target Indicator (MTI)**



Agilent Technologies

207

Индикатор движущейся цели - Moving Target Indicator (MTI)



Основные измерения

- **Стабильность - мера качества**
- **Компенсация отражений от неподвижных объектов (Clutter Cancellation Ratio)- - мера качества**

Радарные системы высокого класса обеспечивают стабильность 0.2дБ/1 градус и 60-70дБ подавление отражений от неподвижных объектов



Agilent Technologies

208

Индикатор движущейся цели - Moving Target Indicator (MTI)

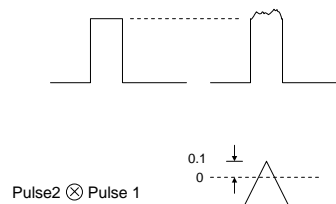
Основные измерения - Стабильность

Стабильность определяется разницей (совокупной) между импульсом n и $n+1$ или импульсом n и k .

Будем использовать кросскорреляцию, позволяющую получить информацию о “похожести” между импульсами.

Корреляция – путём умножения 2х сигналов в каждый момент времени и суммирования результатов

$$\text{Pulse 2 avg} = \text{Pulse 1 avg} + 0.1 \text{ dB}$$



Agilent Technologies

209

Стабильность: реализация кросс-корреляции

Time Convolution Identity

$$f_1(t) \otimes f_2(t) = R[t] \\ = \text{IFFT}[G(f)]$$

где:

$$G(f) = \text{fft}[\text{win}(f_1(t)) * \text{conj}[\text{fft}[\text{win}(f_2(t))]]]$$

Для нормализации и импульсу 1

$$G(f) = \text{fft}[\text{win}(f_1(t)) * \text{conj}[\text{fft}[\text{win}(f_2(t))]]] / \text{fft}[\text{win}(f_1(t)) * \text{conj}[\text{fft}[\text{win}(f_1(t))]]]$$

Перевод во временную область

$$R(t) = \text{ifft}(G(f))$$



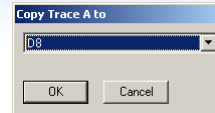
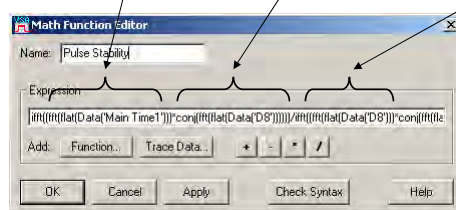
Agilent Technologies

210

Измерение стабильности (часть 1)

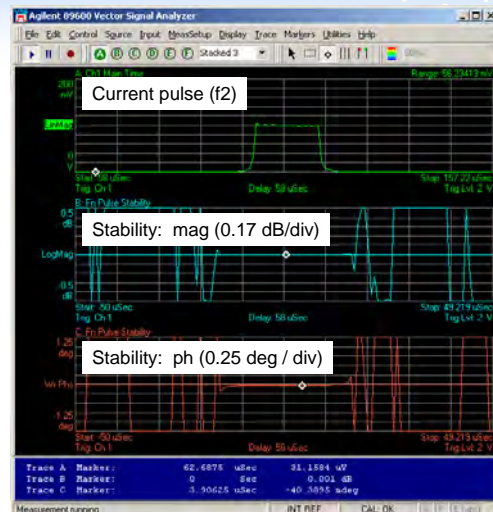
1. Set MainTime to one pulse period; Span for 10*mainlobe width.
2. Measure Reference pulse1 (f1) copy to temporary Data Register D8
3. Create User Math function "Pulse Stability"

$$G(f) = \text{ifft} \{ \text{fft}[\text{win}(f1(t))] * \text{conj}[\text{fft}[\text{win}(f2(t))]] \} / \text{ifft} \{ \text{fft}[\text{win}(f1(t))] * \text{conj}[\text{fft}[\text{win}(f1(t))]] \}$$



Измерение стабильности (часть 2)

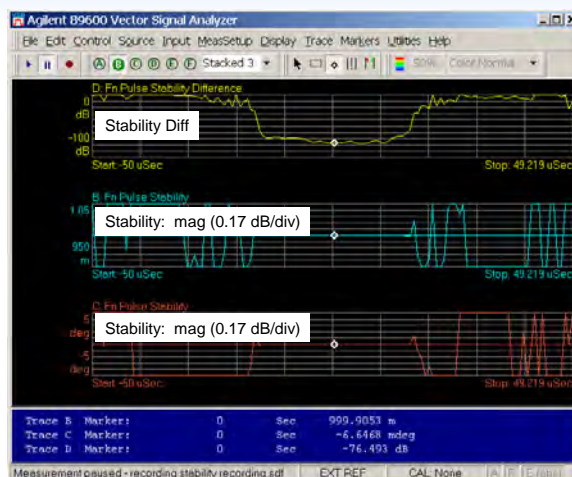
3. Display correlation results (fn "Pulse Stability")
 - Trace B : logMag
 - Trace C: WrappedPhase
4. Rescale Trc B&C to zoom into center bin where results are valid.
5. Measure next pulse by MeasStart.



Demo

Другой способ выражения стабильности

Для стабильности, определяемой как разница (отличие), используем стабильность по 1му импульсу



Fn "Stability Difference =

$\text{square}(1 - (\text{ifft}(\text{fft}(\text{flat}(\text{Data}(\text{'Main Time1'}))) * \text{conj}(\text{fft}(\text{flat}(\text{Data}(\text{'D8'})))))) / (\text{ifft}(\text{fft}(\text{flat}(\text{Data}(\text{'D8'})))) * \text{conj}(\text{fft}(\text{flat}(\text{Data}(\text{'D8'}))))))$



Agilent Technologies

213

Индикатор движущейся цели - Moving Target Indicator (MTI)

Основные измерения

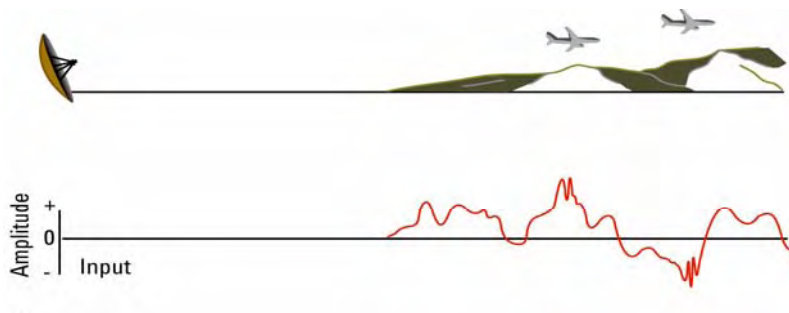
- **Стабильность** - мера качества
- **Компенсация отражений от неподвижных объектов (Clutter Cancellation Ratio) - мера качества**



Agilent Technologies

214

Отражения от неподвижных объектов в радаре MTI



Agilent Technologies

215

Один из способов подавления отражений от неподвижных объектов - 3 Pulse Canceller

Time Delay Identity

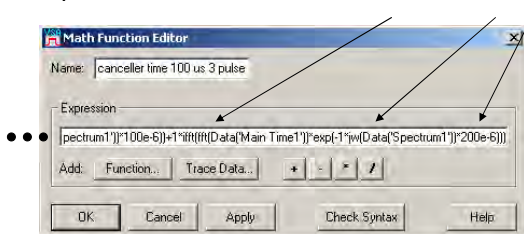
$$f(t-t_0) = F(\omega) \cdot e^{-j\omega t_0}$$

3 Pulse Canceller

$$s_o(t) = s_i(t) - 2s_i(t-t_0) + s_i(t-2t_0)$$

$$s_o(t) = s_i(t) + \text{IFFT}[-2F(\omega) \cdot e^{-j\omega t_0} + F(\omega) \cdot e^{-j\omega 2t_0}]$$

$$s_o(t) = s_i(t) + \text{IFFT}[-2\text{FFT}(f(t)) \cdot e^{-j\omega t_0} + \text{FFT}(f(t)) \cdot e^{-j\omega 2t_0}]$$



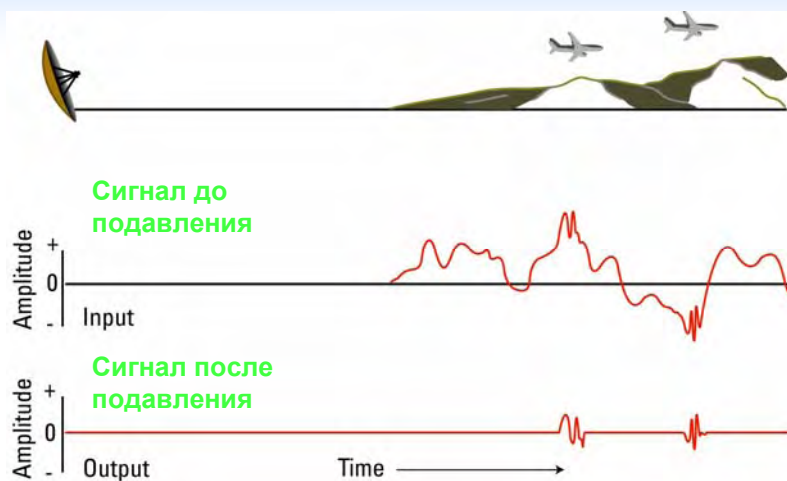
0.25*(Data('Main Time1')-2*fft(fft(Data('Main Time1'))*exp(-1*jw(Data('Spectrum1'))*100e-6))+1*fft(fft(Data('Main Time1'))*exp(-1*jw(Data('Spectrum1'))*200e-6)))



Agilent Technologies

216

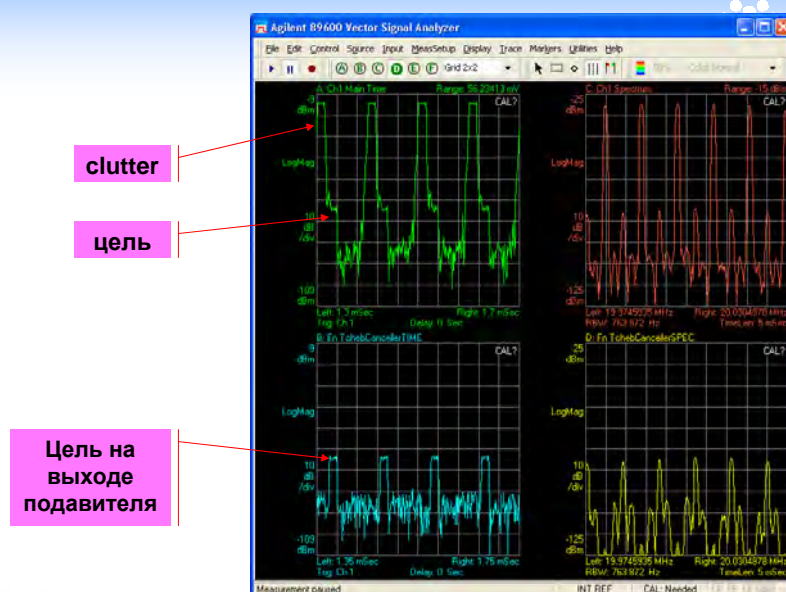
Отражения от поверхности земли



Agilent Technologies

217

Реализация подавления



Agilent Technologies

218