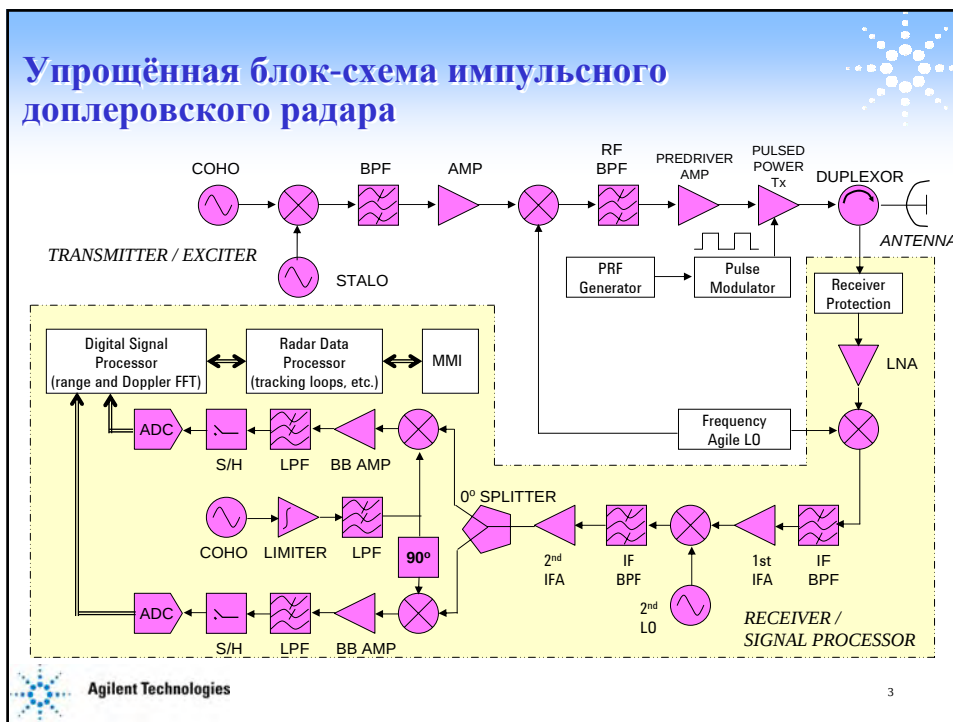




Agilent Technologies

- ❖ **Измерения параметров передающей части**
 - ✓ Анализ спектра непрерывный и импульсных сигналов
 - ✓ Измерение фазовых шумов
 - ✓ Измерение мощности
 - ✓ Измерение параметров цепей
 - ✓ Измерение параметров антенн
 - ✓ Анализ качества сформированных сигналов
- ❖ **Измерения параметров приёмной части**
 - ✓ Формирование сигналов простой и комплексной формы
 - ✓ Измерение коэффициента шума и КУ МШУ
- ❖ **Измерения во временной области**
- ❖ **Логический анализ цифровой части систем**

Agilent Technologies

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

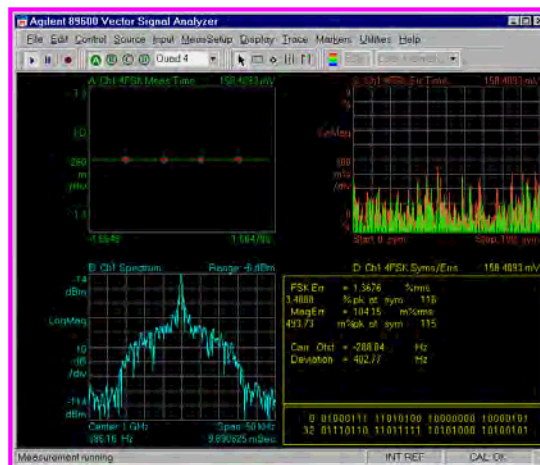


Гибкие возможности векторного анализа приложения 89601

Форматы

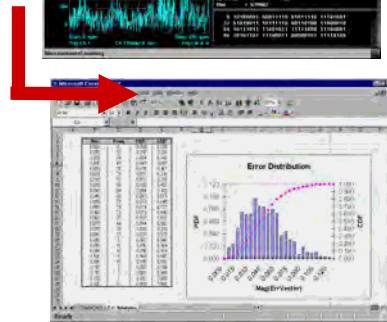
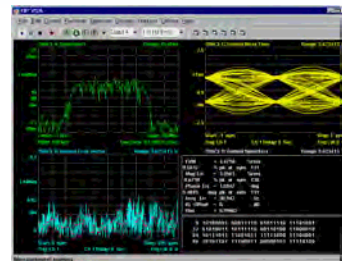
- ▶ FSK (2,4,8,16 level)
- ▶ BPSK
- ▶ QPSK
- ▶ OQPSK
- ▶ DQPSK
- ▶ $\pi/4$ -DQPSK
- ▶ 8PSK
- ▶ D8PSK
- ▶ QAM (16 to 256 level)
- ▶ VSB (8 and 16 level)

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

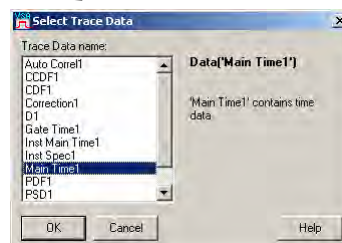
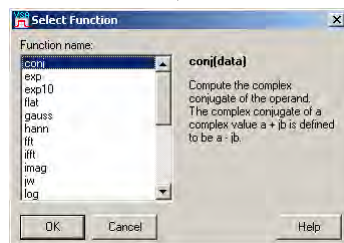
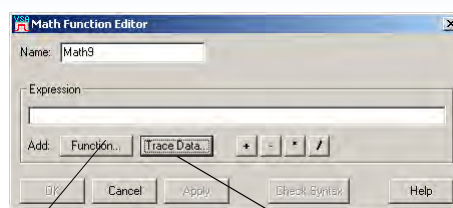


Гибкие возможности векторного анализа приложения 89601

- 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



План

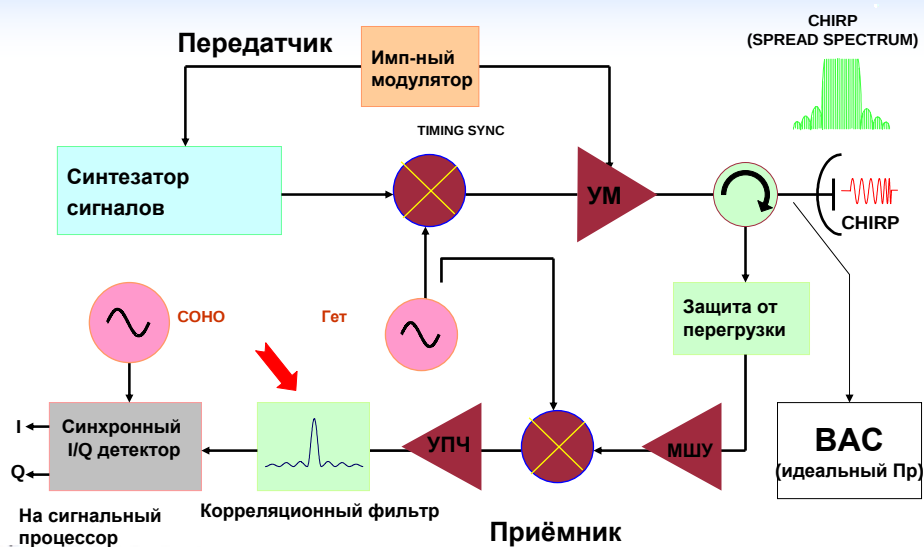
- Представление ВАС (VSA) 89601A
- **Импульсный сигнал с ЛЧМ**
- Импульсный сигнал с кодом Баркера
- Индикатор движущейся цели



Agilent Technologies

191

Радар на основе импульсных сигналов с ЛЧМ



Agilent Technologies

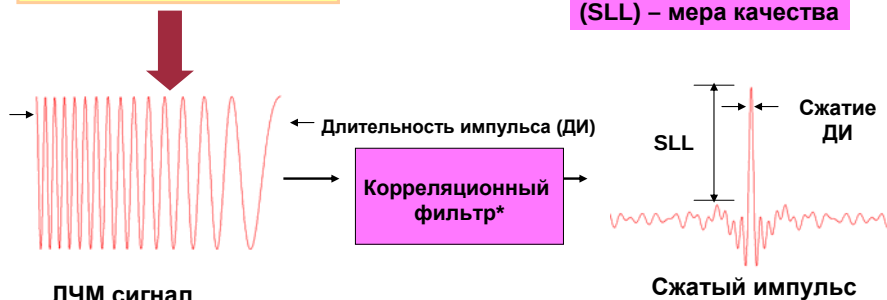
192

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

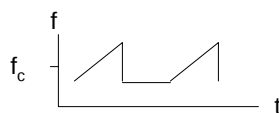
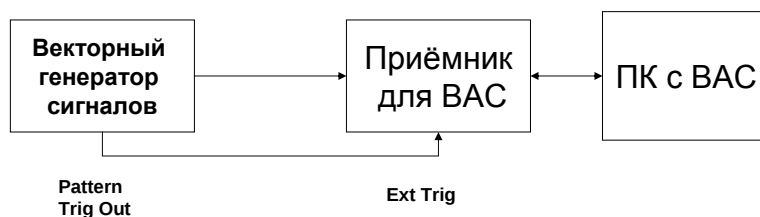
Коэффициент сжатия = ДИ/ ДИ сжатый (PCR)



193

Блок-диаграмма эксперимента

Имитация сигнала радара



Закон изменения частоты - пила

Полоса = 4МГц

ДИ = 15 мкс

f_c = 20 МГц

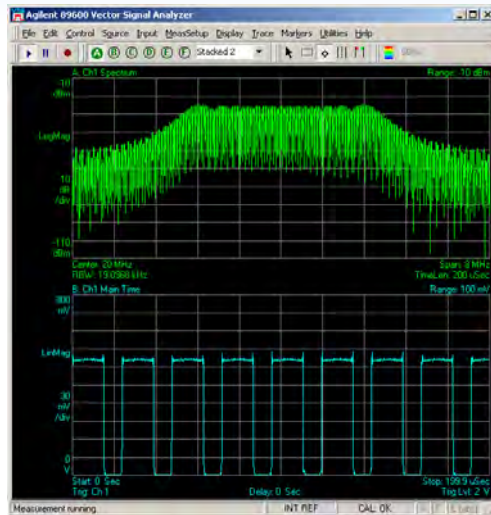


194

Вид ЛЧМ сигнала

спектр

время



Шаг 1:

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

Use time cross correlation identity:

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

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

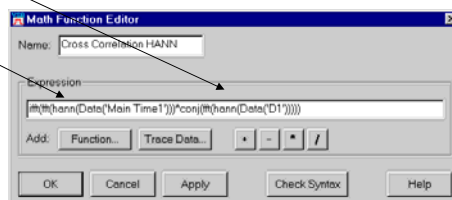
где

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

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

Ideal = Форма созданная в MatLab (регистр D1)

window = Hanning window



Шаг 2:

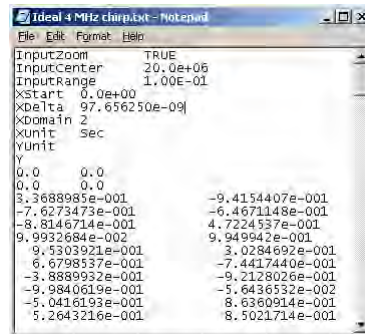
Импортирование идеального ЛЧМ сигнала

- 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.

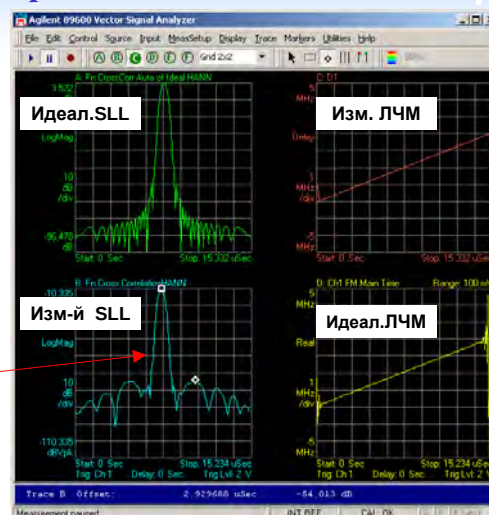


Agilent Technologies

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

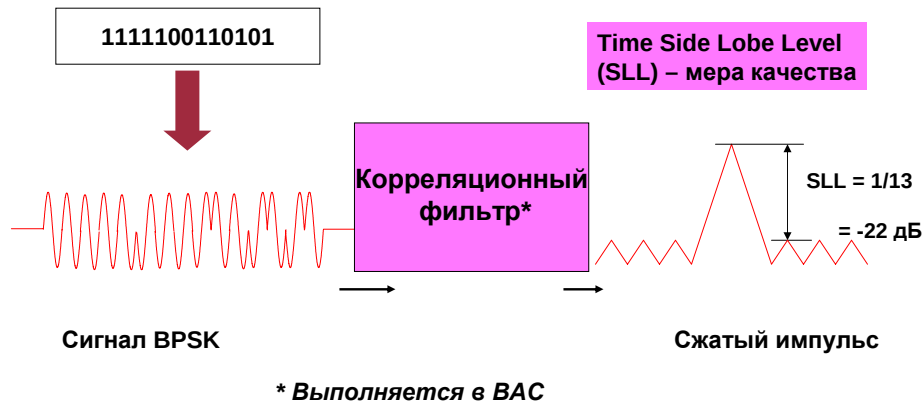
- Представление ВАС (VSA) 89601A
- Импульсный сигнал с ЛЧМ
- **Импульсный сигнал с кодом Баркера**
- Индикатор движущейся цели



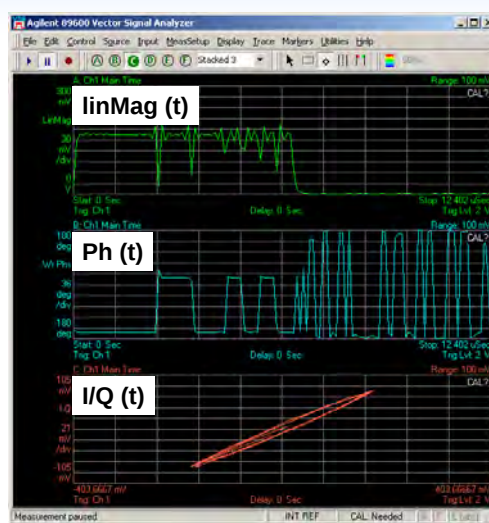
Agilent Technologies

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

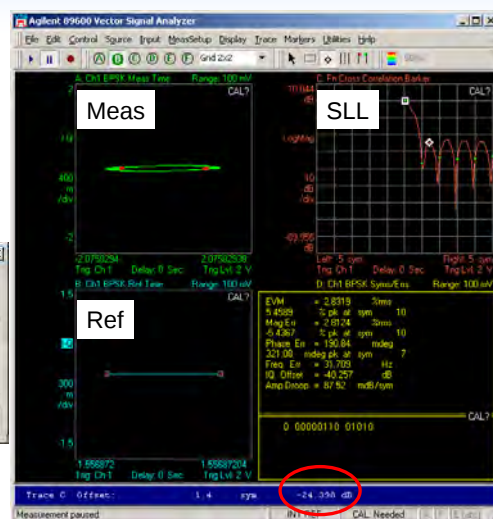
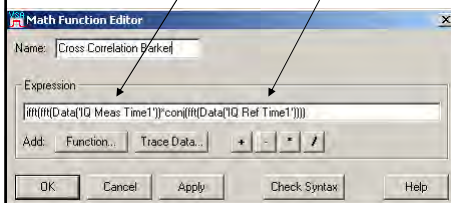


Баркер SLL

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)

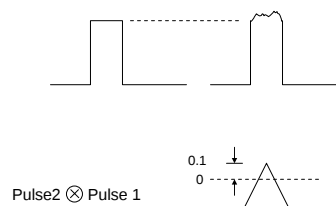
Основные измерения - Стабильность

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

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



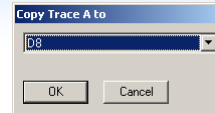
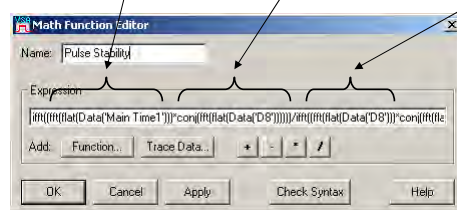
Agilent Technologies

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"

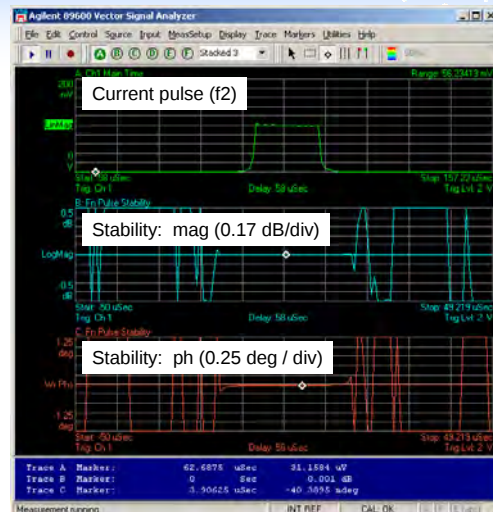
$$G(f) = \text{ifft} \{ \text{fft}[\text{win}(f1(t))] * \text{conj}[\text{fft}[\text{win}(f2(t))]] \} / \text{ifft} \{ \text{fft}[\text{win}(f1(t))] * \text{conj}[\text{fft}[\text{win}(f1(t))]] \}$$



211

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.

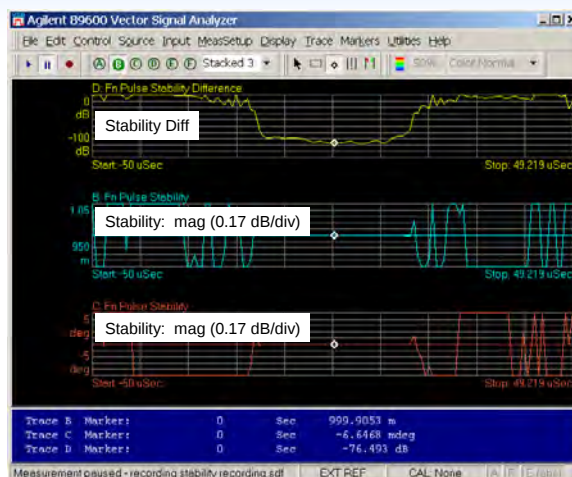


Demo

212

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

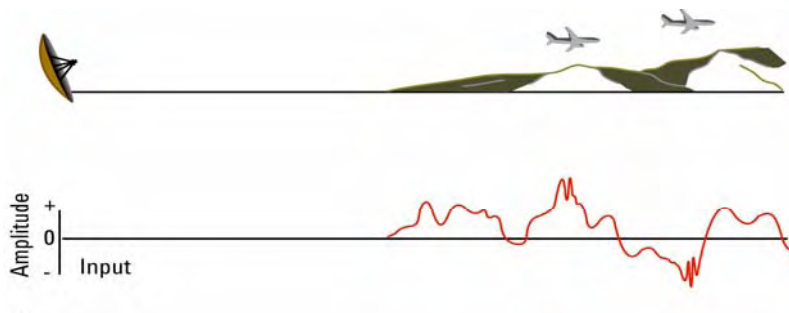
- **Стабильность** - мера качества
- **Компенсация отражений от неподвижных объектов (Clutter Cancellation Ratio) - мера качества**



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

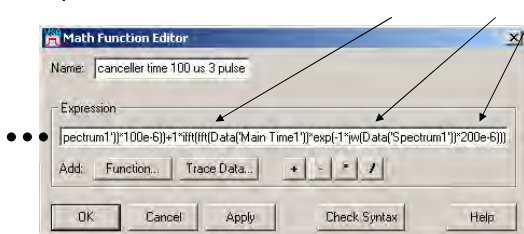
$$f(t-t_0) = F(\omega) * e^{-j\omega t_0}$$

3 Pulse Canceller

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

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

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



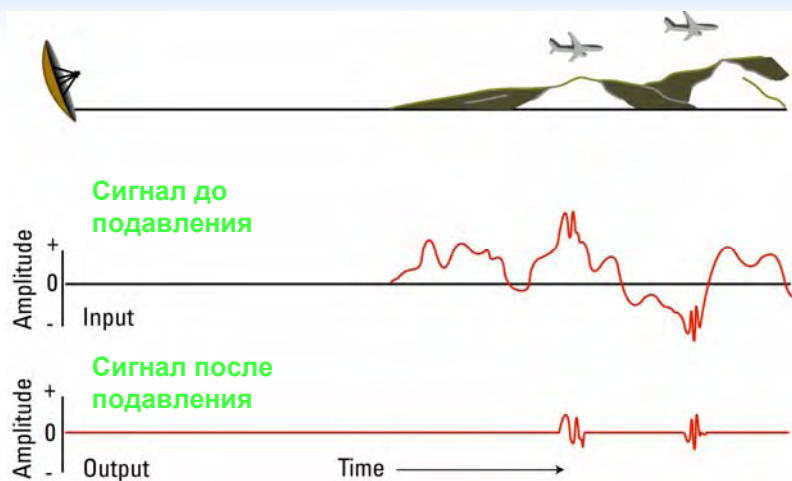
0.25*(Data('Main Time1')-2*fft(fft(Data('Main Time1'))*exp(-1*jw(Data('Spectrum1'))*100e-6))+1*fft(fft(Data('Main Time1'))*exp(-1*jw(Data('Spectrum1'))*200e-6)))



Agilent Technologies

216

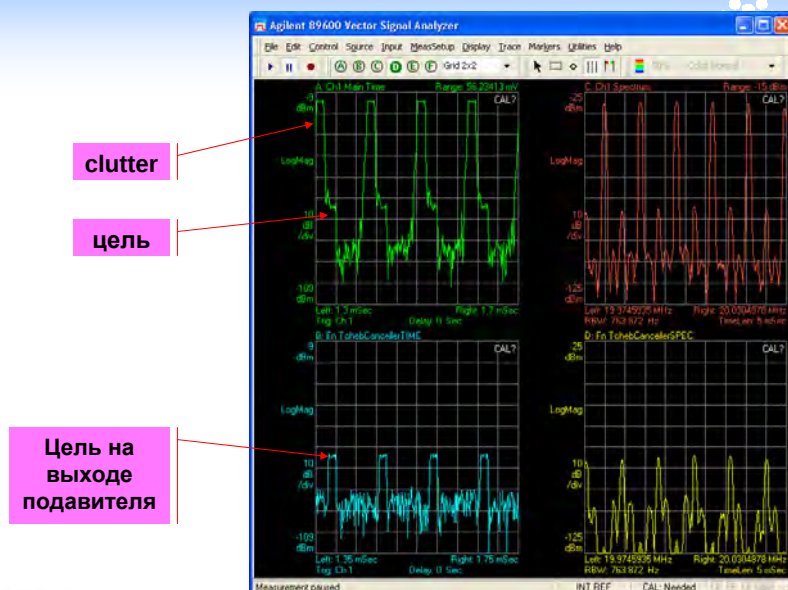
Отражения от поверхности земли



Agilent Technologies

217

Реализация подавления



Agilent Technologies

218

Agilent Technologies



❖ Измерения параметров передающей части

- ✓ Анализ спектра непрерывный и импульсных сигналов
- ✓ Измерение фазовых шумов
- ✓ Измерение мощности
- ✓ Измерение параметров цепей
- ✓ Измерение параметров антенн
- ✓ Анализ качества сформированных сигналов

❖ Измерения параметров приёмной части

- ✓ Формирование сигналов простой и комплексной формы
- ✓ Измерение коэффициента шума и КУ МШУ

❖ Измерения во временной области

❖ Логический анализ цифровой части систем



Agilent Technologies

219

Более 60 лет на рынке генераторов сигналов

1939
Аудио генератор
200A



1958
Первый клистронный
генератор 606A



1978
Генератор с
наилучшими
фазовыми шумами -
8662/3



1991
Новый мм
свирующий
генератор - 8360



1994
Экономичная серия PC
генераторов 8647/8



1996
Серия ESG
генераторов для рынка
цифровой связи



2001
ВЧ генератор с лучшими
техническим
параметрами PSG



2001
Программы для
создания сигналов
Signal Studio



2002
Первый векторный ВЧ
генератор сигналов серии
PSG



2003
Новые методы создания и
генерации сложных сигналов
Baseband Studio



1001011100100



Agilent Technologies

220

2004

СВЧ генераторы серии PSG

- Устанавливают новый стандарт –
шире диапазон, выше мощность, лучшие параметры

E8257D PSG

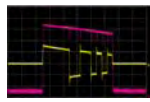
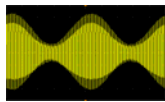
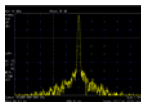
Аналоговый генератор сигналов

E8267D PSG

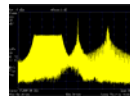
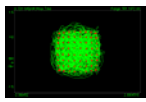
Векторный генератор сигналов



До 67 ГГц



До 44 ГГц



Ультранизкие ФШ

Расширенная техническая поддержка

Увеличение выходной мощности



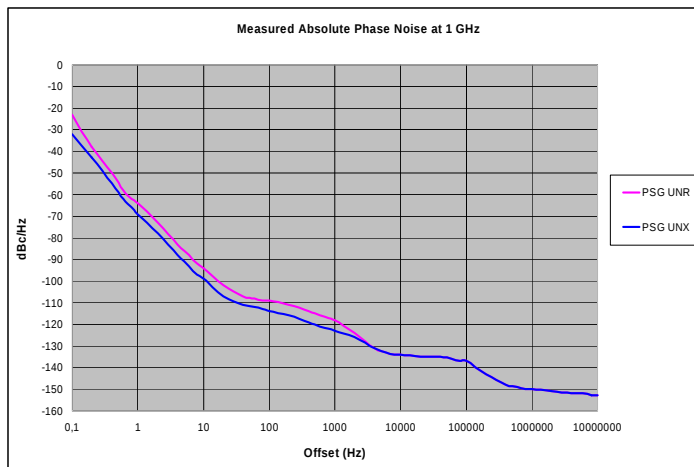
Agilent Technologies

Снятие с производства опции UNR для PSG E8257D-UNX и E8267D-UNX

Сравнение фазовых шумов Опций UNX и UNR

Примеры
использования

- В качестве гетеродина с низкими ФШ и джиттером
- Эмуляция сигналов радара
- Измерения вблизи несущей
- В составе системы E5500



Agilent Technologies

242

Цены на базовые блоки E8257D PSG (CIP USD)



Опция	Описание	Цена
520	Frequency range from 250 кГц to 20 ГГц	\$21,041
532	Frequency range from 250 кГц to 31.8 ГГц	\$32,988
540	Frequency range from 250 кГц to 40 ГГц	\$39,149
550	Frequency range from 250 кГц to 50 ГГц	\$53,592
567	Frequency range from 250 кГц to 67 ГГц	\$74,907

**Новый частотный
диапазон**

Изменение в конфигурации: Опция UNW (ИМ коротким импульсом)
требует заказа ступенчатого аттенюатора - опция 1E1



Agilent Technologies

243

Расширение в мм область до 325 ГГц OML мм. модули

Генераторы сигналов PSG



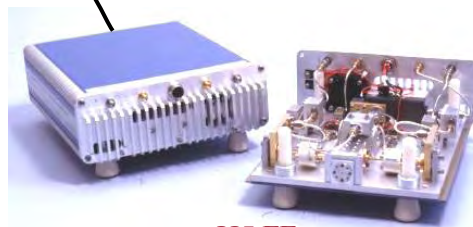
www.omlinc.com

Умножители OML доступны как
опции к генераторам PSG

8355xA мм. модули до 110 ГГц



Сняты с производства 30 Апреля 2005.



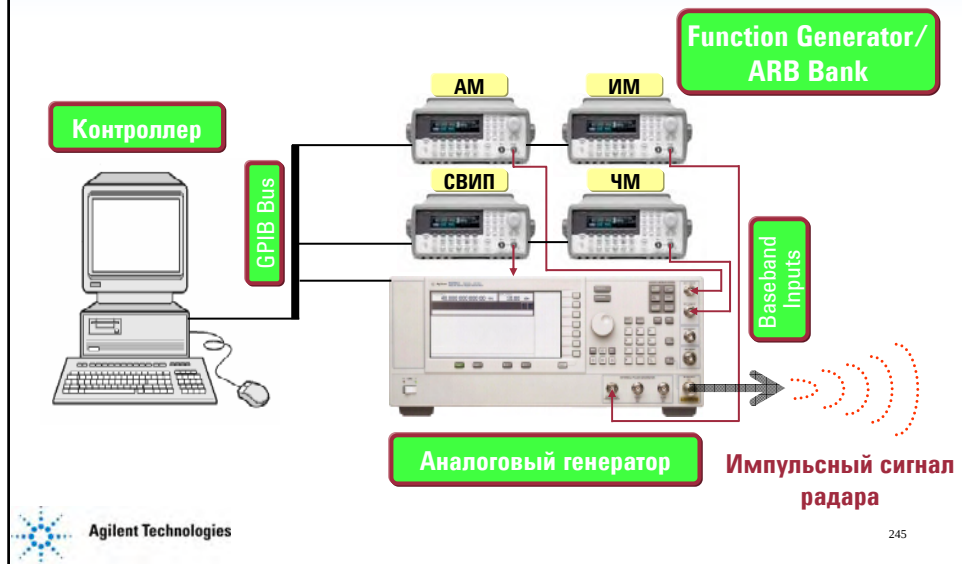
до 325 ГГц



Agilent Technologies

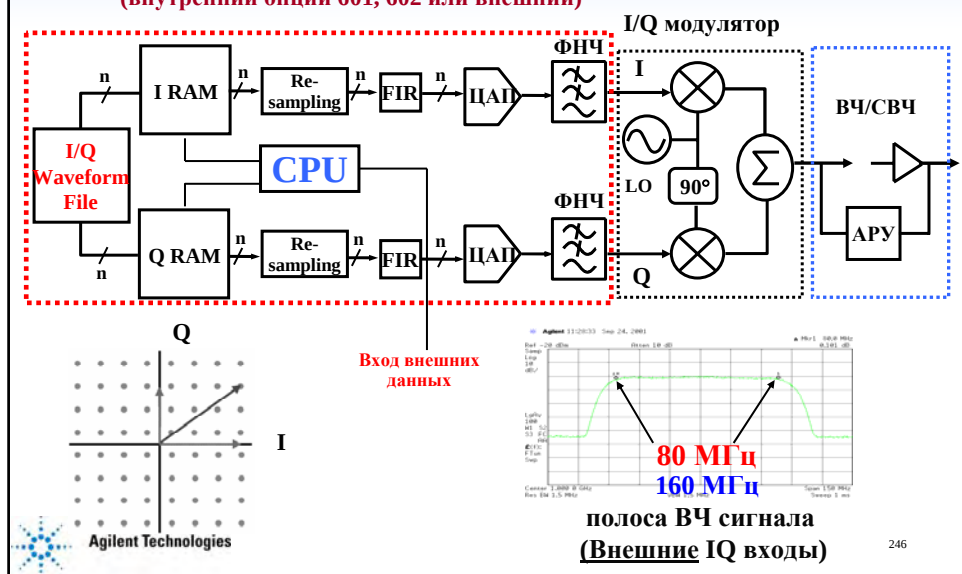
244

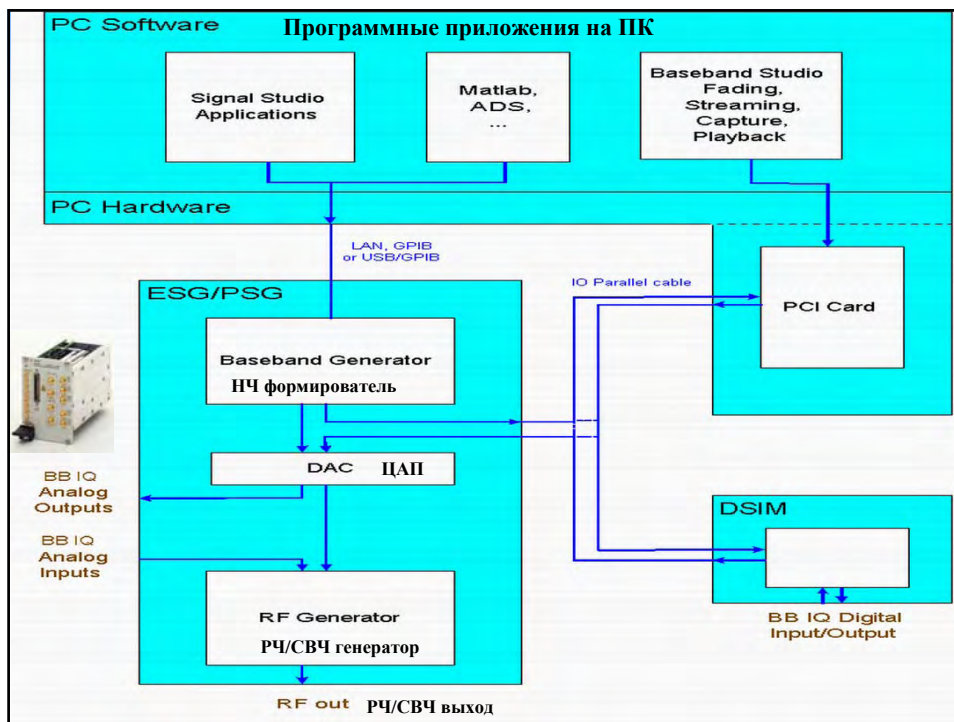
Традиционный способ формирования сигналов радаров



Структура векторного генератора опции 601, 602

Широкополосный генератор Baseband Signal Generator (внутренний опции 601, 602 или внешний)





Signal Studio N7620A Конструктор импульсов



Основное применение

- Создание, Хранение и Формирование сигналов радара **с полосой до 1ГГц (с N6030A)**

Достоинства

- Графический интерфейс
- Выбор формы импульса (ЛЧМ, коды Баркера, и т.д.)
- Режимы широкополосной коррекции (неравномерность, паразитные искажения, уменьшение искажений фазы сигнала)

PSA или ESA

LAN или GPIB

Agilent Tech

Генератор сигналов произвольной формы Agilent N6030A

Беспрецедентные возможности

1.25 GS/s ЦАП

15 разрядов

Масштабируемость системы

В виде отдельно прибора или как часть системы

Увеличение памяти

Большой объем памяти и новый контроллер последовательностей

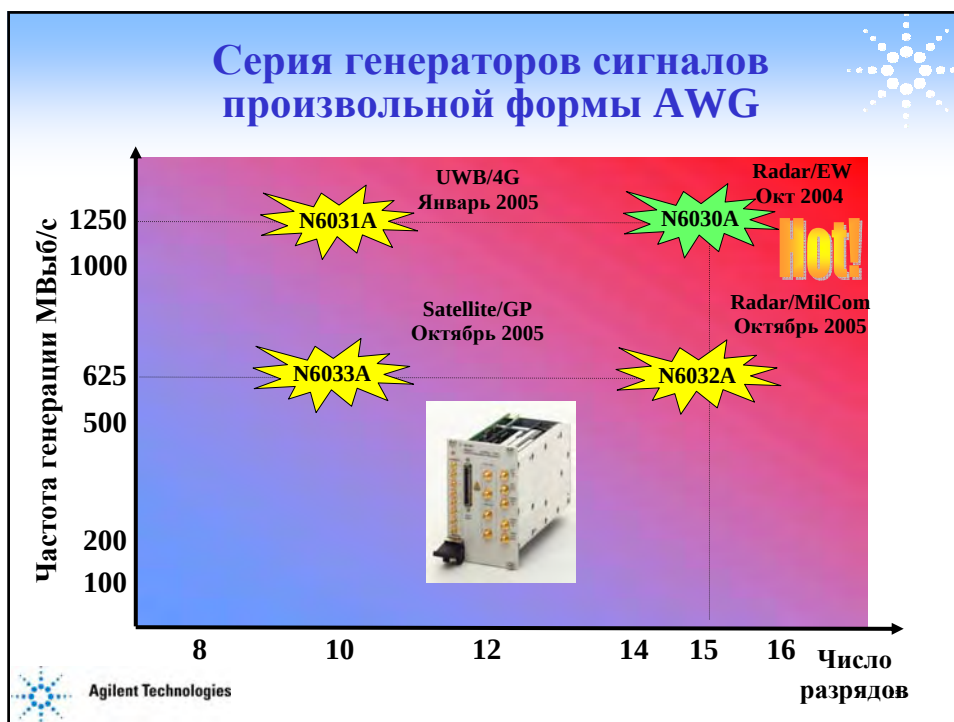
Простота в использовании

Графический интерфейс пользователя И совместимость с ПО Agilent



Agilent Technologies

250



Области применения генераторов сигналов произвольной формы AWG

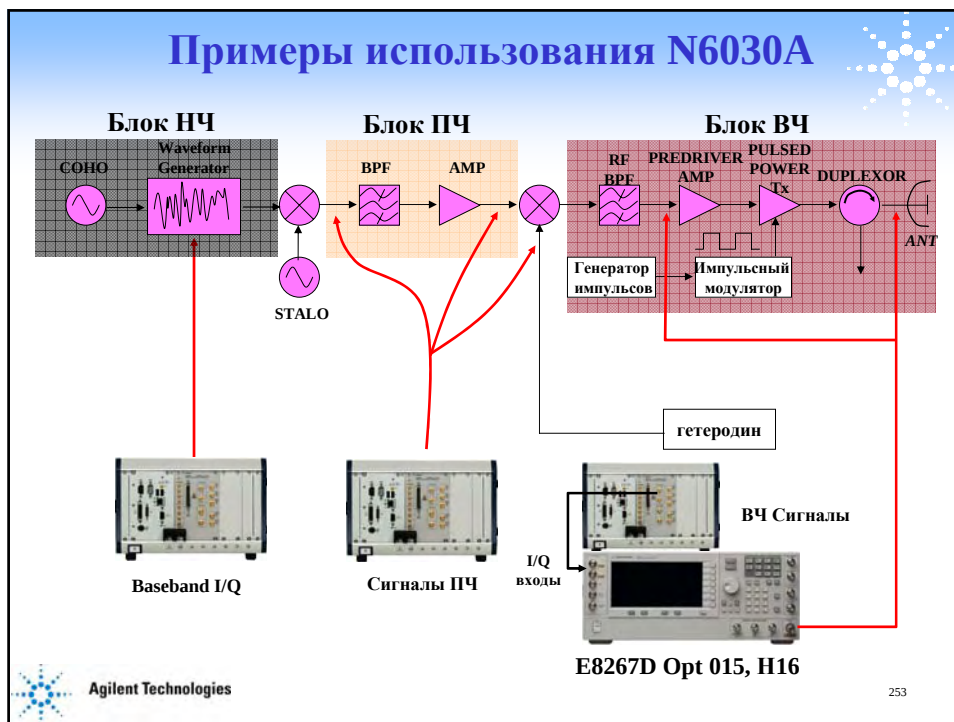
- Генерация сигналов радаров
 - ЛЧМ,
 - фазовым кодированием
- Широкополосные линии связи
 - Передача видео
 - Передача данных
- Системы связи для военных
 - Быстрая перестройка частоты
 - Эффективное использование спектра





Agilent Technologies

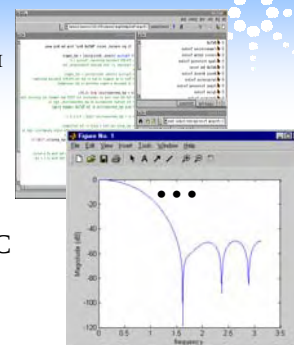
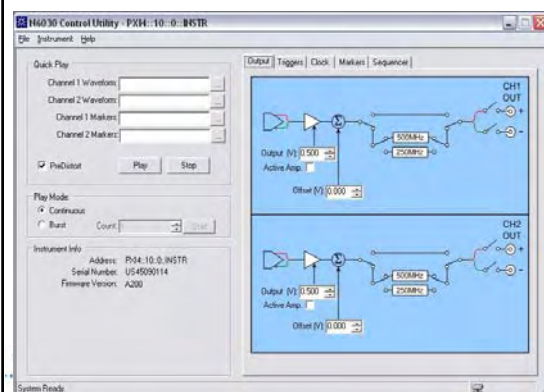
Примеры использования N6030A



Программное приложение для AWG

• Arbitrary Waveform SW Suite

- Графический Интерфейс Пользователя (GUI) для управления и настройки модулей
- Драйвер для Windows XP и 2000
- Полный контроль из MATLAB
- Драйвера для LabView, IVI-C и ms.NET
- Управление прибором из VEE и ADS через IVI-C

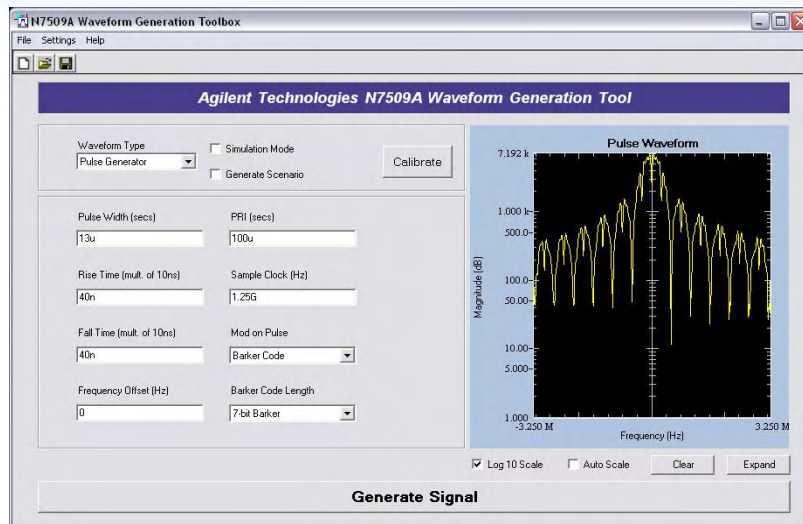


Загрузка файлов
в N6030A



Простота в
использовании

Специализированное ПО для формирования сигналов N7509A Waveform Generation Toolbox



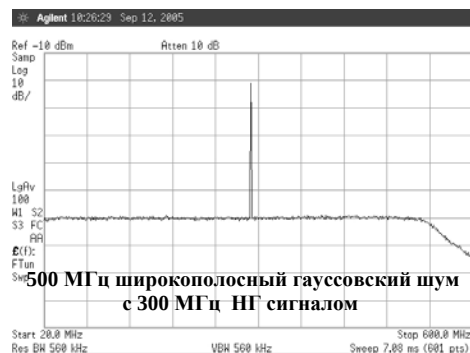
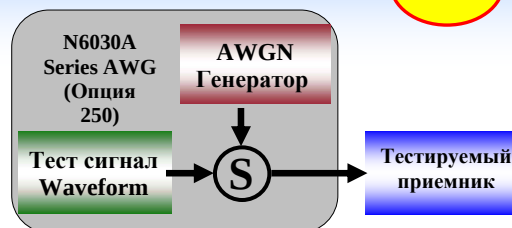
Agilent Technologies

255

Добавление белого гауссовского шума опция 250

New!

- **Задача**
 - Добавление широкополосного шума к полезному сигналу
 - изменение отношения сигнал/шум для тестирования приемников
- **Преимущества AWG**
 - Точные измерения, т.к генерация шума стабильна и контролируема
 - Создание сигналов и шума в Matlab
 - Ниже стоимость и меньше места (критично для крейтов)



Agilent Technologies

Опция прямого цифрового синтеза Direct Digital Synthesis (опция 330)

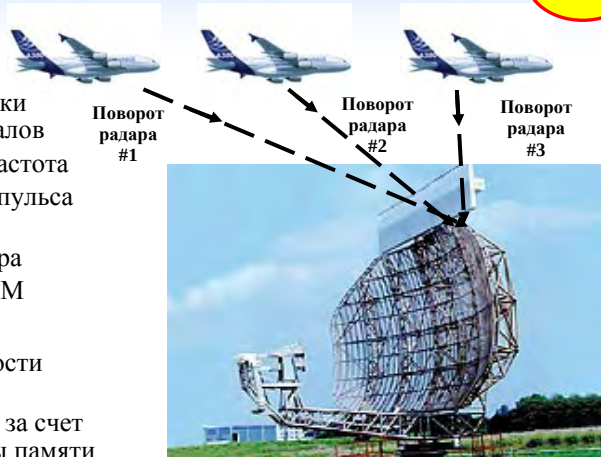
New!

Задача

- Создание динамически изменяющихся сигналов
 - Центральная частота
 - Амплитуда импульса к импульсу
 - Эффект Доплера
 - Параметры ЛЧМ

Преимущества AWG

- Уменьшение стоимости тестовой системы
- Быстрая реализация за счет уникальной системы памяти
- Минимальное использование памяти



Каждый поворот радара
изменяется частота, амплитуда,
фаза и тип модуляции сигнала



Agilent Technologies

257

Варианты комплектации N6030A AWG



Отдельный модуль + ПО

N6030A + SW
опции

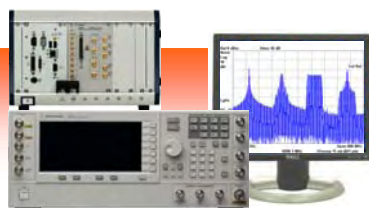


Собранная
система и ПО

N6030A + HW
опции



N8241A



Сконфигурированная
система с ПО

N7502A

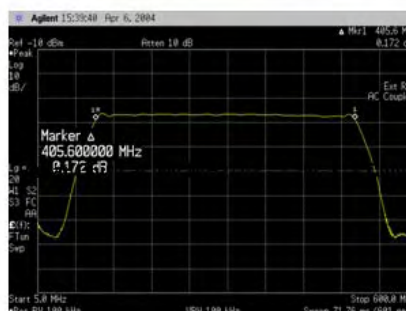


Agilent Technologies

258

Формирование широкополосных сигналов на частотах до 44 ГГц

- 1 ГГц I/Q Полоса
 - (в 2х-канальной конфигурации)
 - 500 МГц (для одного канала)
- Время переключения 1нс в полосе 1 ГГц
- Формирование фазокогерентных сигналов в полосе 1 ГГц
 - Многоканальные сигналы
 - Многоканальные сигналы (с модуляцией)
- ЦАП 1.25 ГВыб/с, 15 разрядов
- Уникальные возможности создания сложных сигналов
 - Нарастивание памяти и алгоритм воспроизведения
 - Добавление шума
 - Динамическая последовательности
 - Прямой цифровой синтез



Специальные опции для PSG

Опция **H1S** – 1 ГГц внешняя опора

Опция **HCC/H1G** – когерентность фаз

Опции для E8257D и E8267D

