

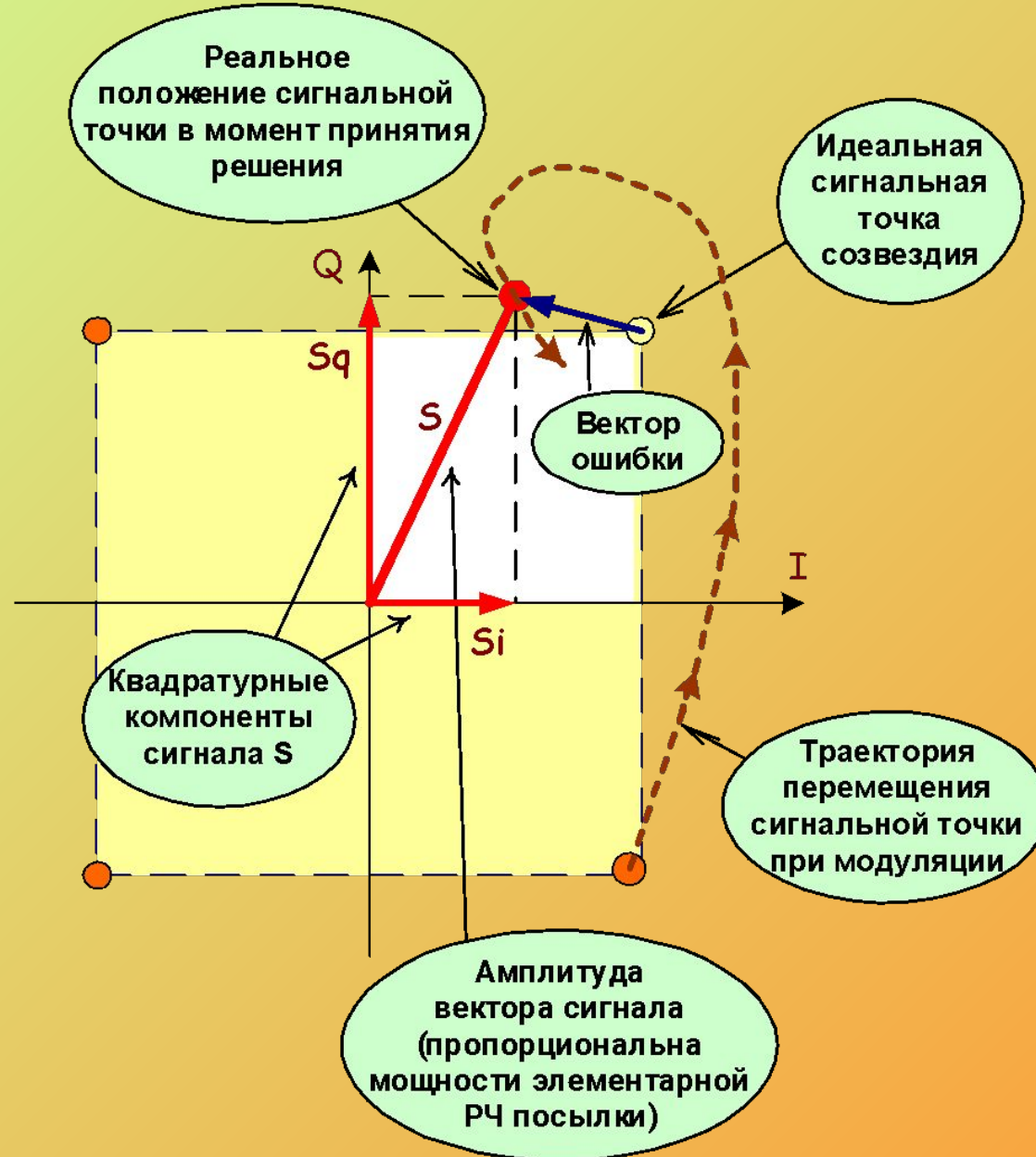
# Пакет прикладных программ векторного анализа и синтеза модулированных сигналов "Вектор"



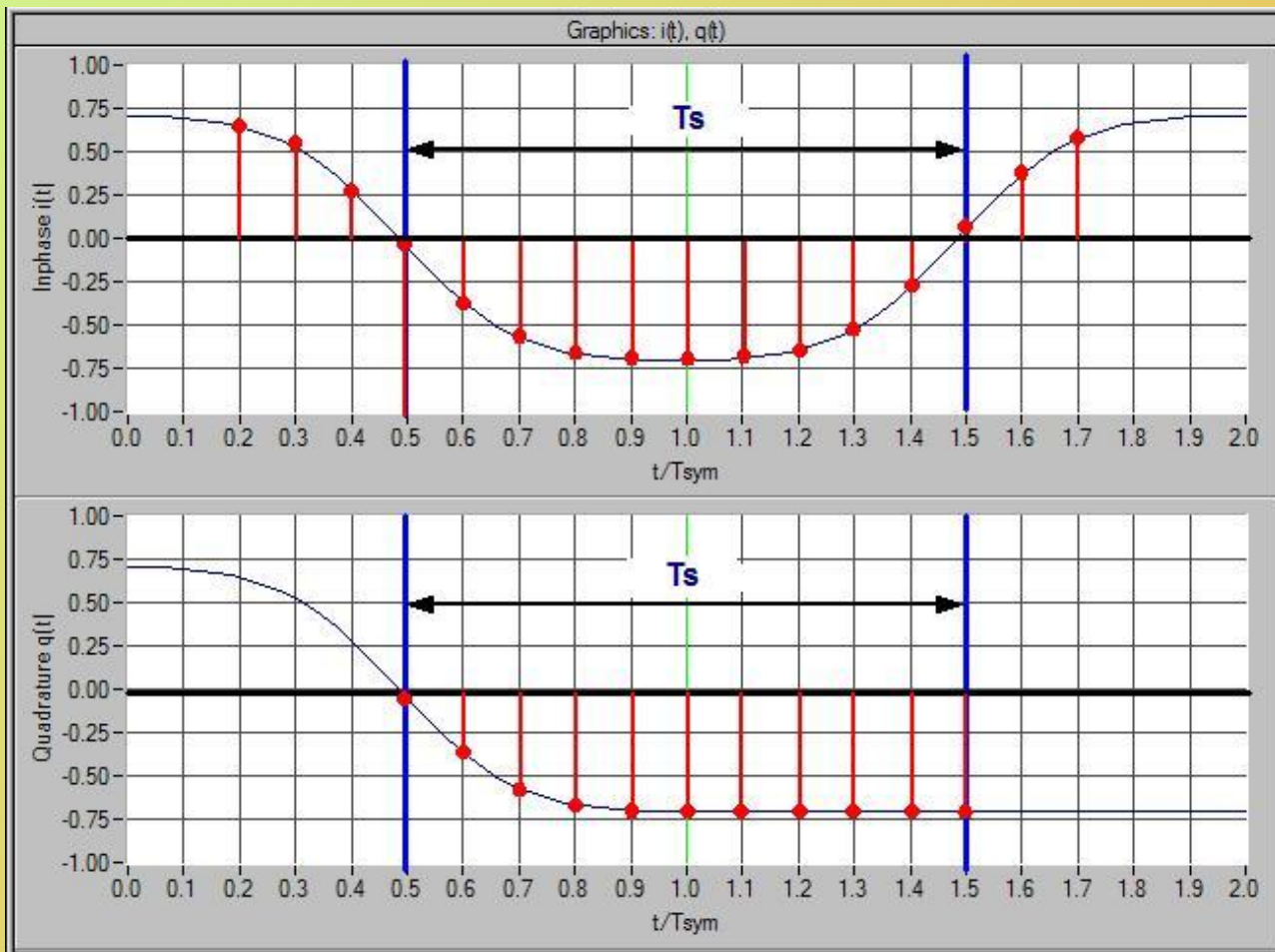
Векторный  
анализ и  
синтез  
сигналов



# Квадратурное представление сигнала



# Векторное представление модулированного сигнала



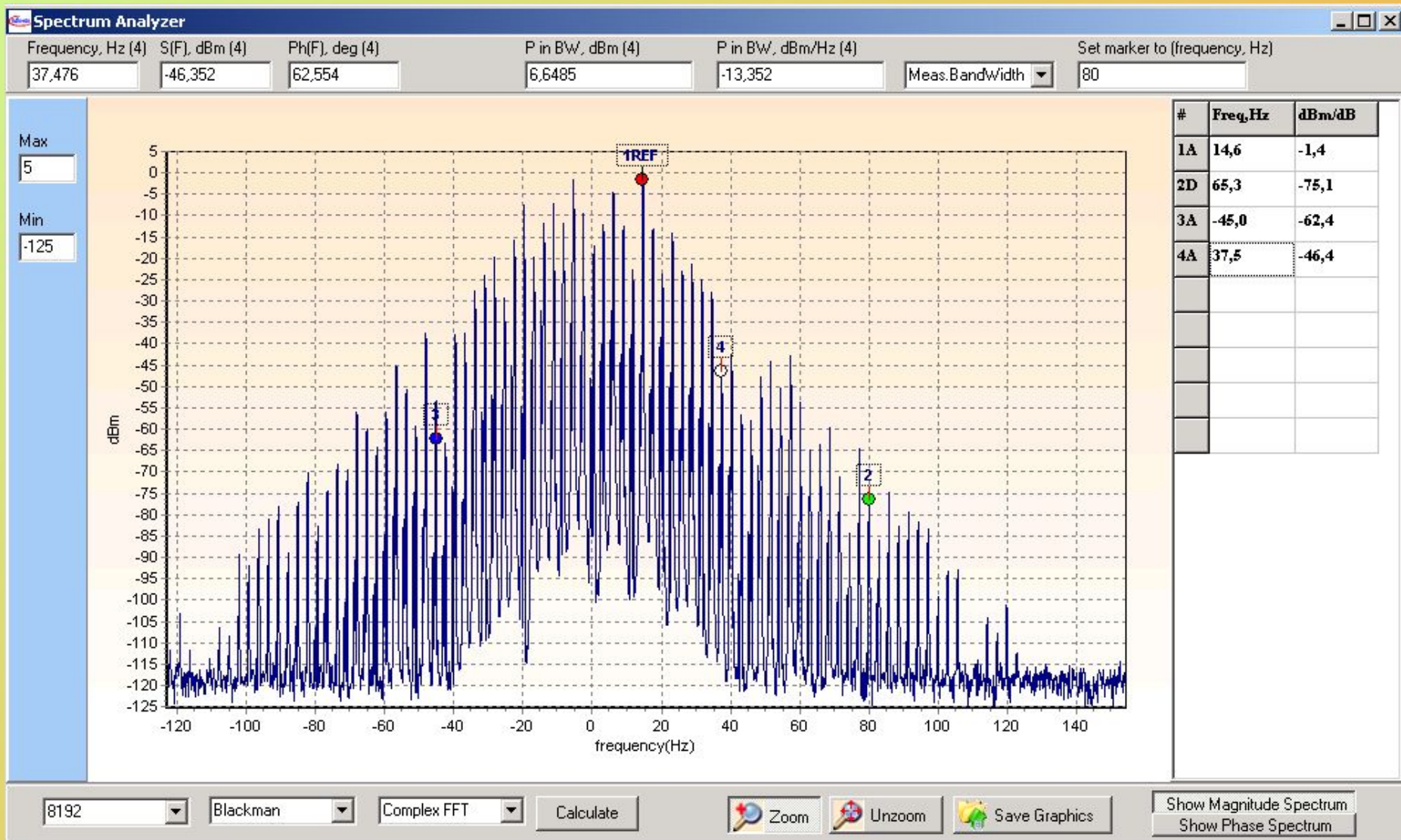
*Процесс  
формирования  
отсчетов  
квадратурных  
компонент при  
 $SpS=10$*





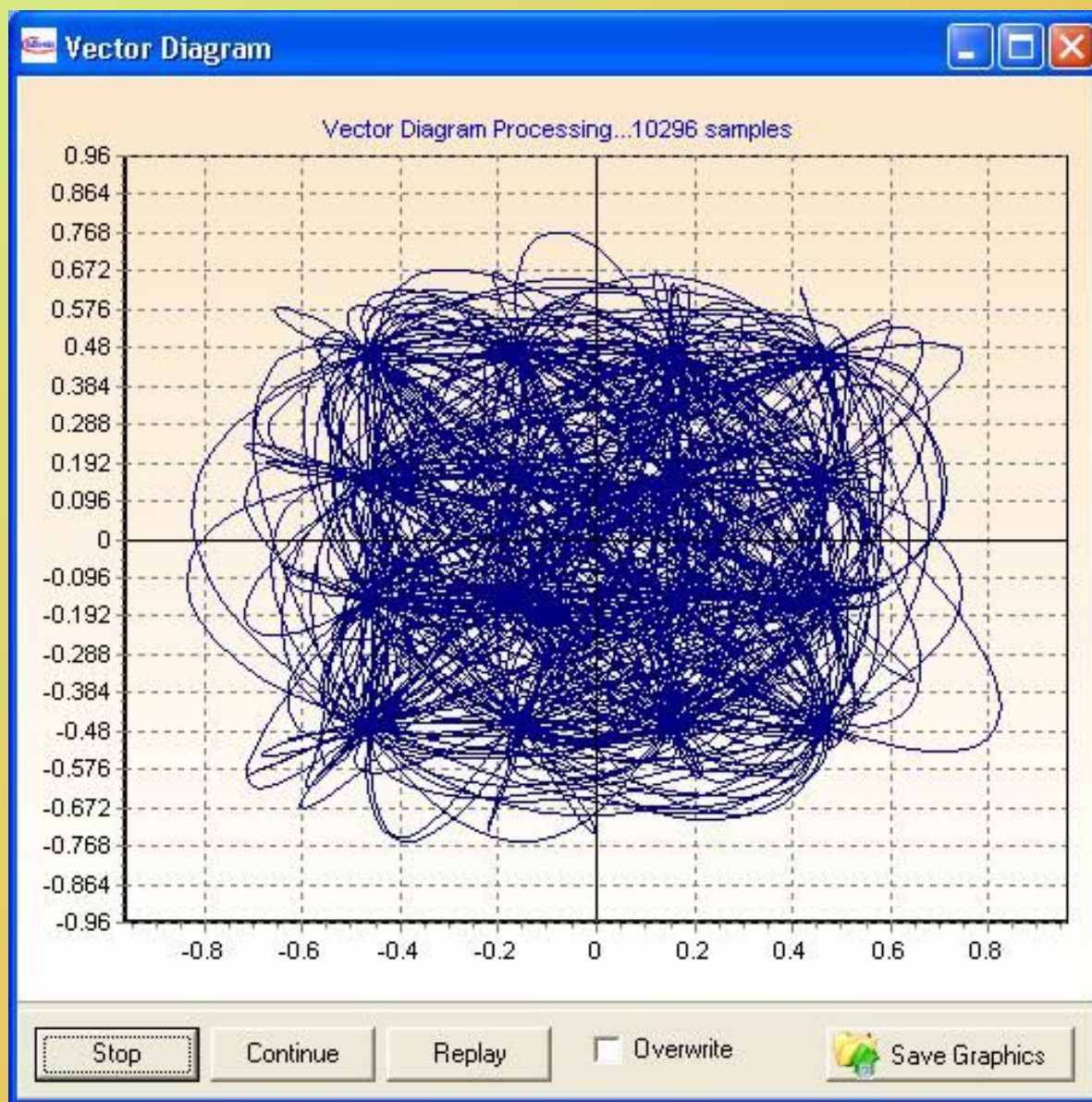


# Сложный характер сигналов





# Сложный характер сигналов



# Нарушения целостности сигнального созвездия

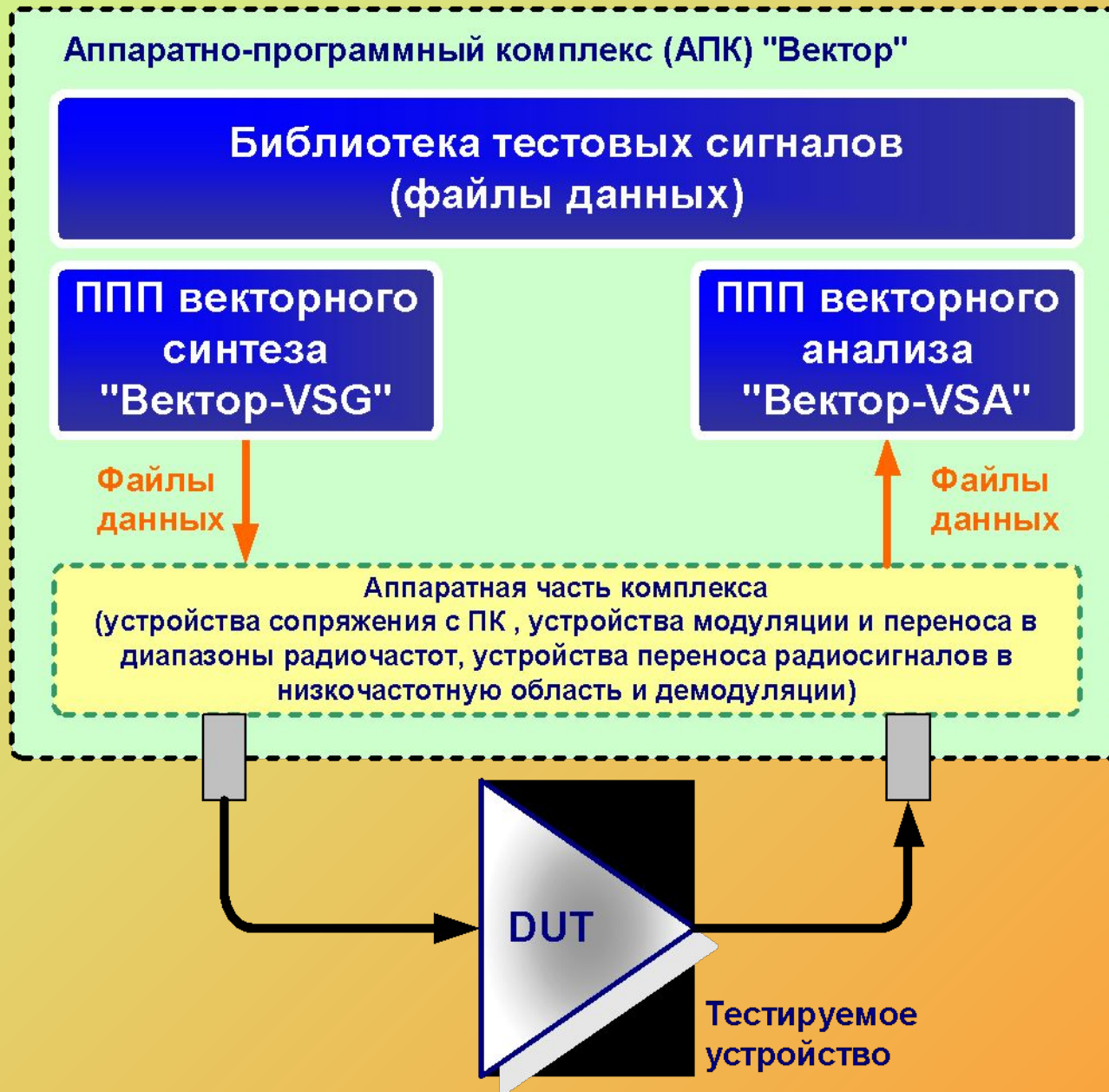
## Нарушения целостности сигнального созвездия

– любое отличие сигнального созвездия реального модулированного сигнала от его канонического вида.





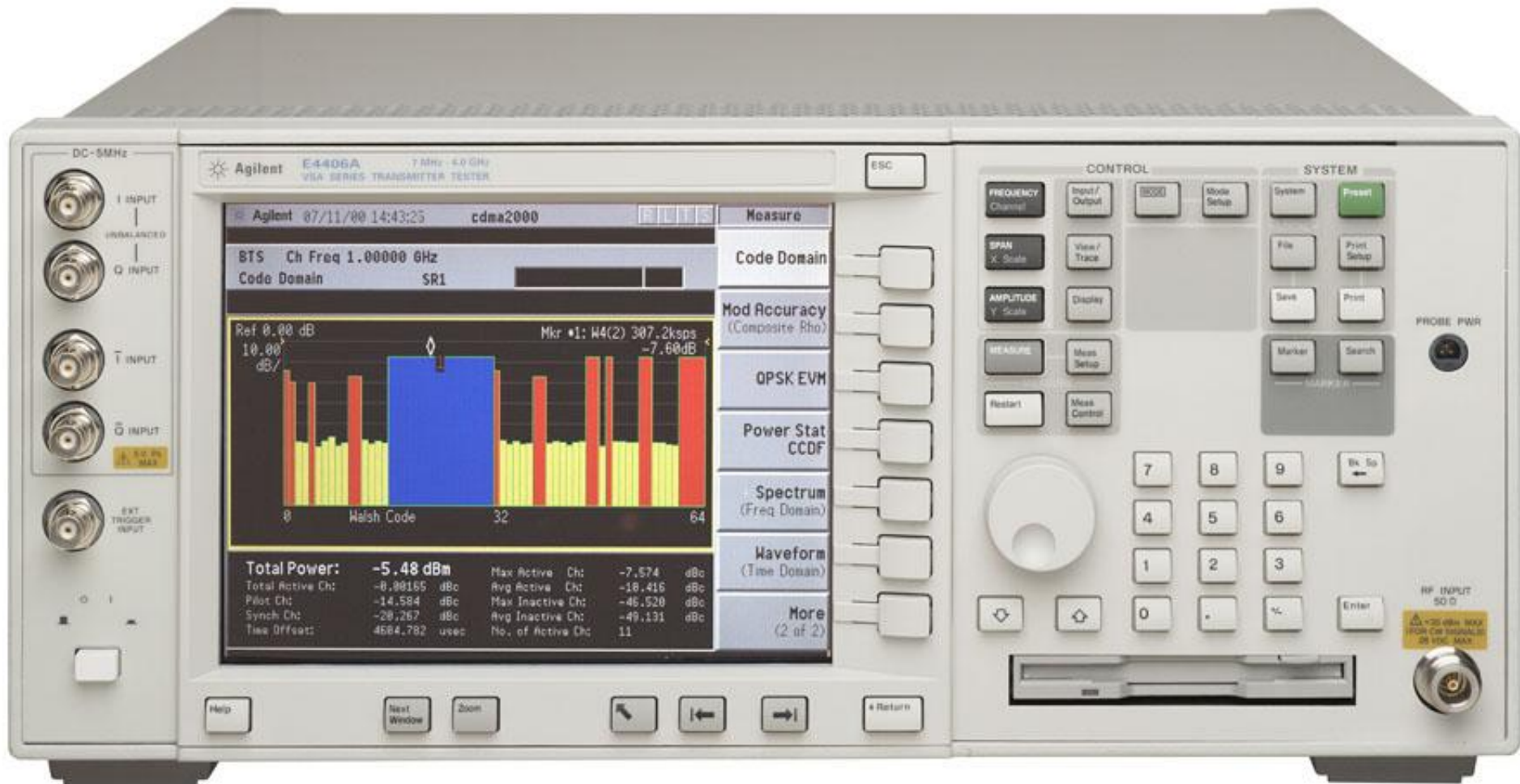
# Аппаратно-программный комплекс (АПК)



Прототипы  
разрабатываемого  
аппаратного-  
программного  
комплекса



# Agilent - E4406A VSA





# Agilent - 89640A VSA



# R&S WinIQSIM Simulation Software

WinIQSIM (WCDMA) - Katalog iqs

File System Data Modulation Impairments Graphics AMQ Window Help

4.095 MHz 128 PRBS 23 10 Cosine Rect 32.000 MHz 12 49.152 MHz

Block Diagram - WCDMA

Data Source → WCDMA Configuration → IQ Impairments (Off) → Phase Distortion (Phase Noise Off, Sidebands Off) → Bandpass (Off) → Amplifier Dist (Off) → Poweramping (Off) → Multipath (Off) → Offset (Off)

WCDMA Channel Configuration

General Settings Filtering

Channel Configuration Table

Multi Channel Edit

Ch	Typ	ShoCo	Data	Power	State	LC Offs	D Offs
1st Perch	16	63	Data 0	0.00	OFF	0	0
2nd Perch	16	46	Data 0	0.00	OFF	0	0
CCCH	64	0	Data 0	0.00	OFF	0	0
DPCH 1	32	16	PRBS	0.00	ON	0	0
DPCH 2	32	18	PRBS	0.00	ON	6	0
DPCH 3	32	20	PRBS	0.00	ON	12	0
DPCH 4	32	22	PRBS	0.00	ON	18	0
DPCH 5	32	24	PRBS	0.00	ON	24	0
DPCH 6	32	26	PRBS	0.00	ON	30	0
DPCH 7	32	28	PRBS	0.00	ON	36	0

CCDF Test Close Channel Graph

Graphics: FFT Magnitude

Amplitude (f) / dB

2.3  
-20.0  
-40.0  
-60.0  
-80.0  
-100.0  
-120.0  
-140.0  
-148.4

-24576000 -10000000 0 10000000 24573000

#fz/Hz

Zoom Unzoom Color

Cursor State f: 11852652.7331 Am: 42.3166

Delta X: 0

Update Done

# IQ creator - Aeroflex

**IQCreator** EN Английский (США) ?

File Modulation Generate AIQ File! 34xx View Tools Window Help

ats\_edge\_dn\_cont

Modulation Filter Data Source IQ Impairments Graphics

Select a Graph Type: Vector

Graph Title: ats\_edge\_dn\_cont

Scaling

	Minimum	Maximum
<input checked="" type="checkbox"/> X-Axis Auto Scaling:	-1.5	1.5
<input checked="" type="checkbox"/> Y-Axis Auto Scaling:	-1.5	1.5

Plot...

**Vector** Marker 1

ats\_edge\_dn\_cont

Q

I



Программа

векторного

синтеза

сигналов

«Вектор-VSG»



# Основные функции программы "Вектор-VSG"

ППП векторного  
синтеза  
"Вектор-VSG"

Чтение и запись файлов данных  
(отсчеты модулированных  
сигналов)

Генерирование модулированных  
сигналов, используемых в наиболее  
распространенных стандартах и  
технологиях связи

Введение различного рода  
искажений в формируемый сигнал

Отображение сигналов во  
временной области, на IQ плоскости



# Отображение формируемых сигналов

**Отображение  
(графическое  
представление)  
формируемых  
сигналов**

Синфазные  $I(t)$  и квадратурные  $Q(t)$   
компоненты

Просмотр амплитуды (Magnitude) и  
фазы (phase) сигнала

Просмотр набора анализируемых  
данных

Просмотр векторных диаграмм

Просмотр сигнального созвездия





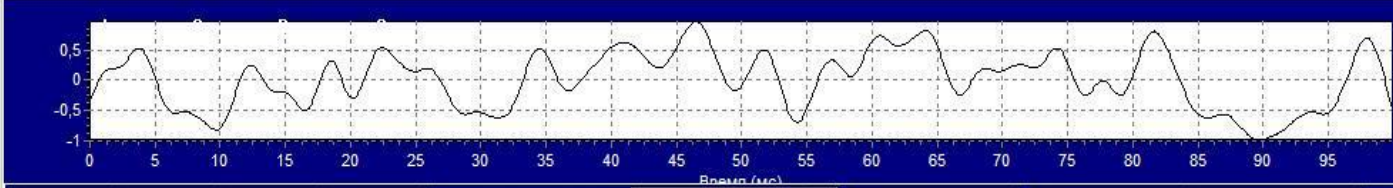
# Общий вид интерфейса программы VSG

**Векторный Генератор Сигналов** EN Английский (США)

Файл | Модуляция | Стандарт | Параметры | Данные | Искажения | Фильтр | Измерения | Отображение | Загрузить в VSA | Анализ | Установки | Окна | Инструменты | Помощь

Для вычисления параметров сигнала используйте Меню/Измерения

### Временное представление IQ(t)



0,5  
0  
-0,5  
-1

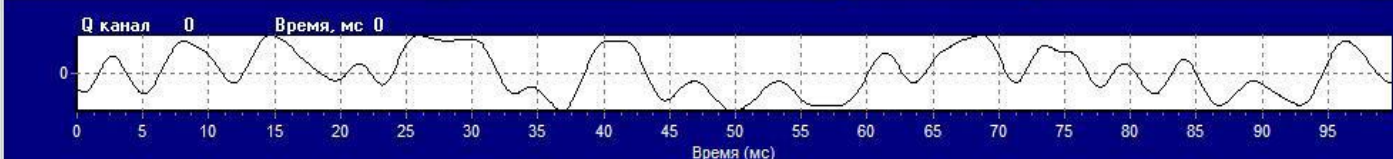
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95

Время (мс)

Первая Назад Вперед Послед Страница 1 из 16 Постранично Сохранить графику Масштабировать Отменить масштаб

### Q канал

0



0

0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95

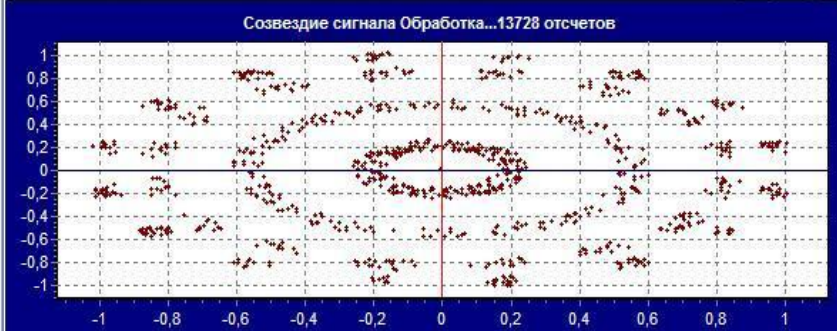
Время (мс)

#	Время(мс)	Q Канал

0,97 Мин. напряжение -1,00 Макс. напряжение 1000 Точек на стр. 1 Перейти на стр...

### Сигнальное Созвездие - Constellation

Созвездие сигнала Обработка...13728 отсчетов



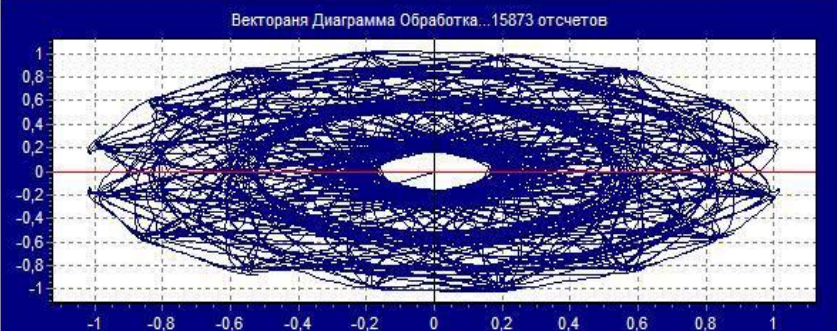
1  
0,8  
0,6  
0,4  
0,2  
0  
-0,2  
-0,4  
-0,6  
-0,8  
-1

-1 -0,8 -0,6 -0,4 -0,2 0 0,2 0,4 0,6 0,8 1

Стоп Продолжить Повторить  Перелисывать Сохранить график

### Векторная диаграмма

Векторная Диаграмма Обработка...15873 отсчетов



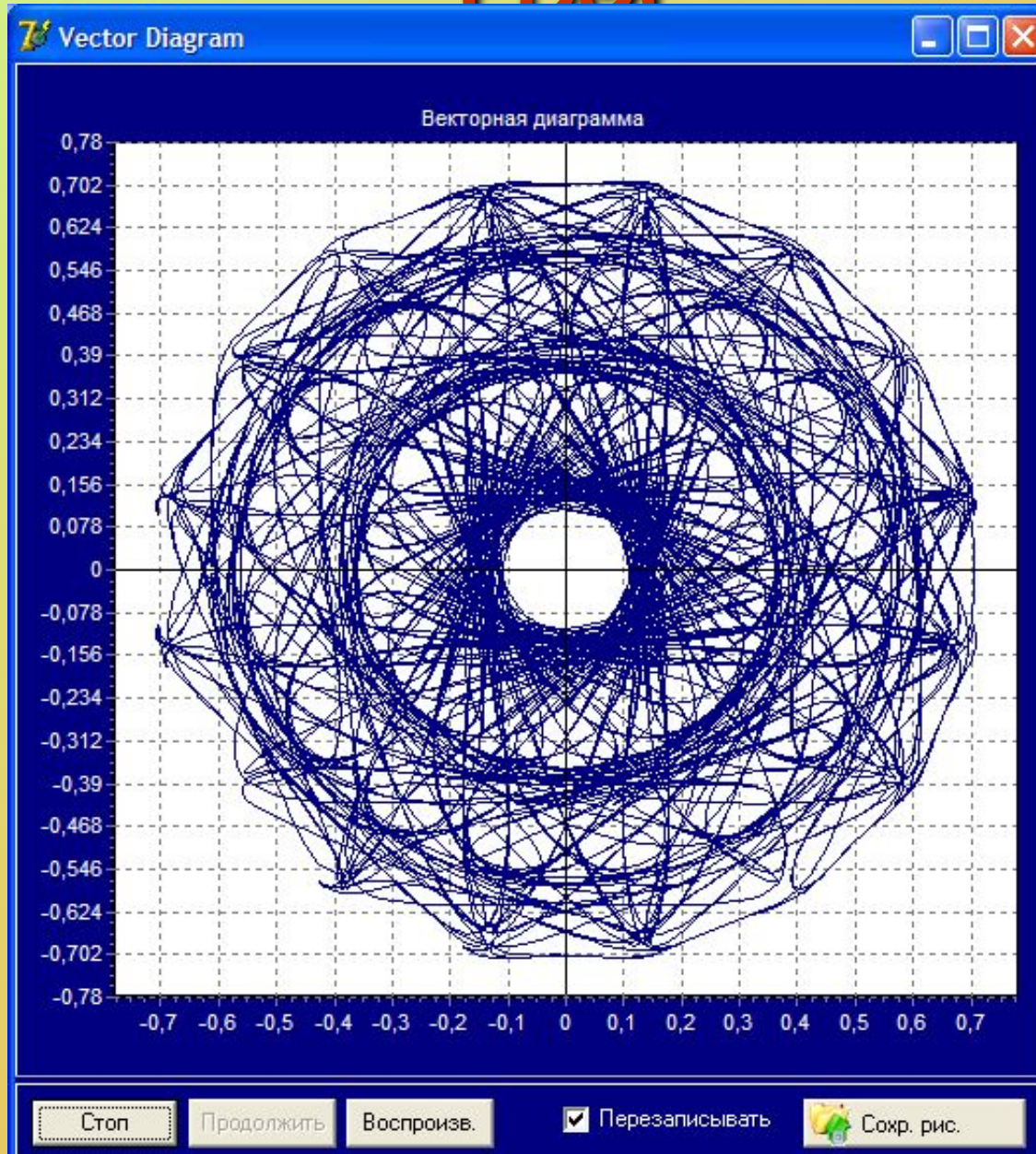
1  
0,8  
0,6  
0,4  
0,2  
0  
-0,2  
-0,4  
-0,6  
-0,8  
-1

-1 -0,8 -0,6 -0,4 -0,2 0 0,2 0,4 0,6 0,8 1

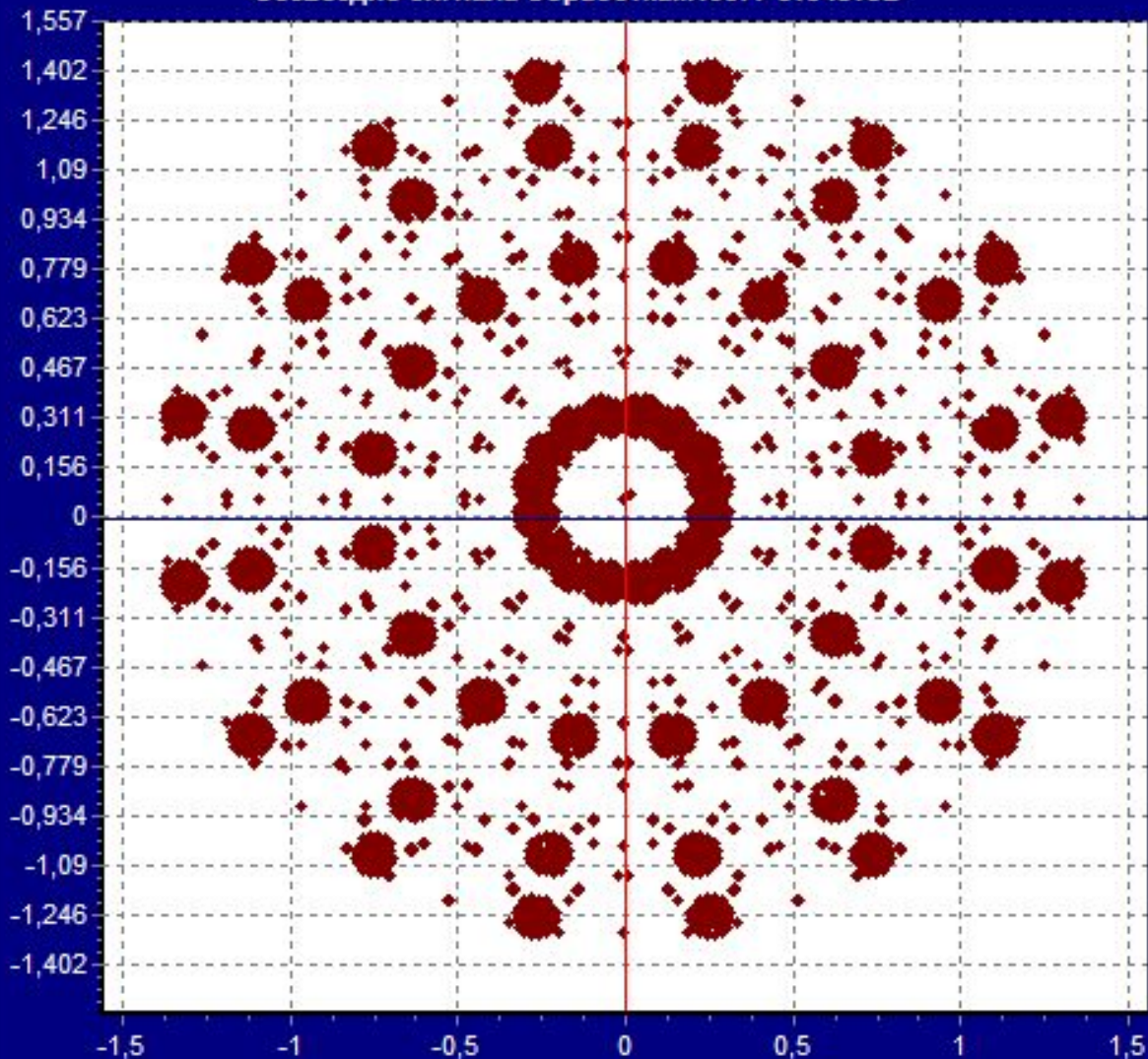
Стоп Продолжить Повтор  Перезаписать Сохранить...



# Векторная диаграмма для сигнала **FDGF**



Созвездие сигнала Обработка...19877 отсчетов



Сигнальное  
созвездие  
для сигнала  
EDGE с  
внесенными  
искажениями

Стоп

Продолжить

Повторить

Переписывать

Сохранить график





# Использование маркеров

The screenshot displays a software interface for graph analysis. It features a graph with a blue background and a white grid. A black curve is plotted, with four markers placed at specific points: a red marker labeled '1REF', a blue marker labeled '2', a green marker labeled '3', and a yellow marker labeled '4'. To the right of the graph is a data table with two columns. A context menu is open over the graph, listing several actions: 'Добавить маркер', 'Добавить Дельта маркер', 'Удалить маркеры', 'Установить как Референсный', 'Вырезать', and 'Сохранить график как текст'. Below the graph, there are buttons for 'Отменить масштаб' and 'Скопировать'. The bottom part of the screenshot shows the same graph with the markers removed, and the data table updated with labels '1A', '2A', '3D', and '4A'.

	84,3	-0,34869
	88,3	-0,7876
	9,4	-0,17212
	95,6	-0,37469

1A	84,3	1,2011
2A	88,3	1,42082
3D	9,4	1,22736
4A	95,6	1,44113



# Введение КОМПЛЕКСНЫХ ИСКАЖЕНИЙ

Искажения

**IQ Разбаланс**

Разбаланс по амплитуде, дБ :

Разбаланс по фазе, град :

**Шум**

С/Ш, дБ :

**ГУН**

Фазовый шум, град :

Дискретная побочная, расстройка, Гц :

Дискретная побочная, уровень, дБ :

**Сдвиг**

По фазе, град :

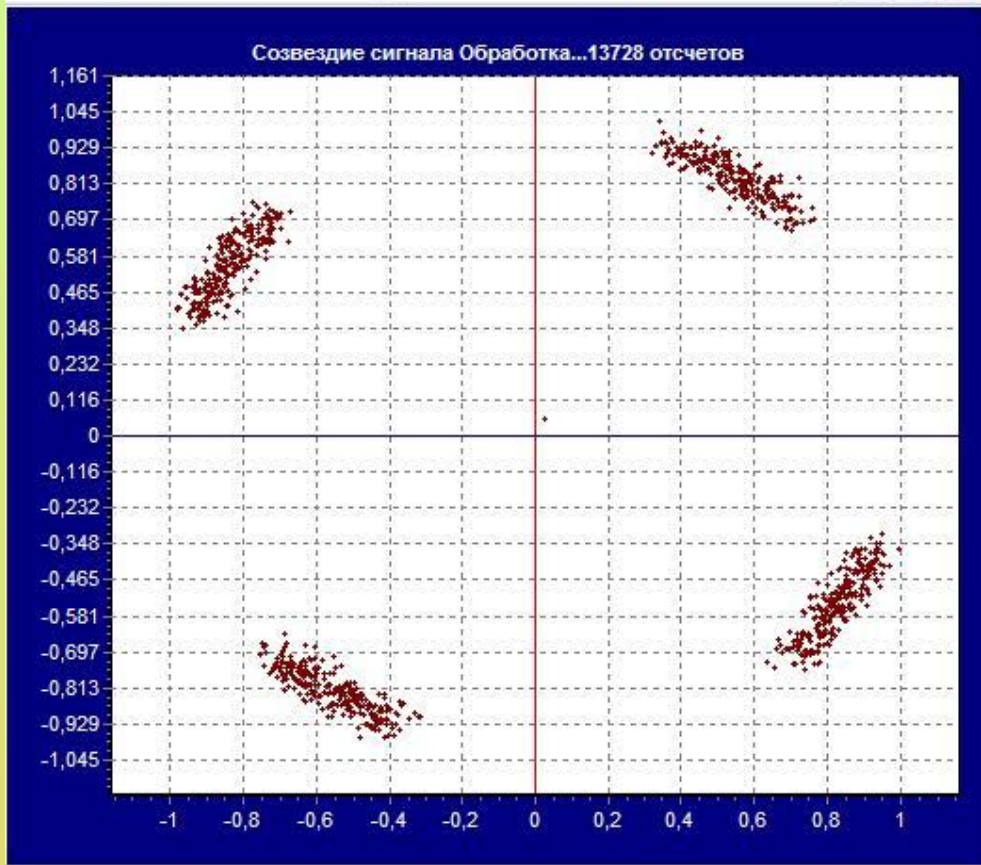
По частоте, Fдискр:

По уровню I, % :   Q, % :

Ok Отмена

# Введение комплексных искажений

Сигнальное Созвездие - Constellation



Стоп   Продолжить   Повторить    Переписывать   Сохранить график  
 Повтор

Настройка изображения

АвтоМасштаб

I:  Мин.    Макс.  
Q:  Мин.    Макс.

Искажения

ИТQ Разбаланс

Разбаланс по амплитуде, % :

Разбаланс по фазе, град :

Шум

С/Ш, дБ :

ГУН

Фазовый шум, град :

Дискретная побочная, расстройка, Гц :

Дискретная побочная, уровень, дБ :

Сдвиг

По фазе, град :

По частоте,  $f_{\text{дискр}}$  :

По уровню I, % :   Q, % :



# Моделирование РЧ трактов

Векторный Генератор Сигналов D:\! VSA-Ru\vsgamp.pcm

Модуляция | Стандарт | Параметры | Данные | Искажения | Фильтр | Измерения | Отображение | Загрузить в VSA | Анализ | Установки | Ок

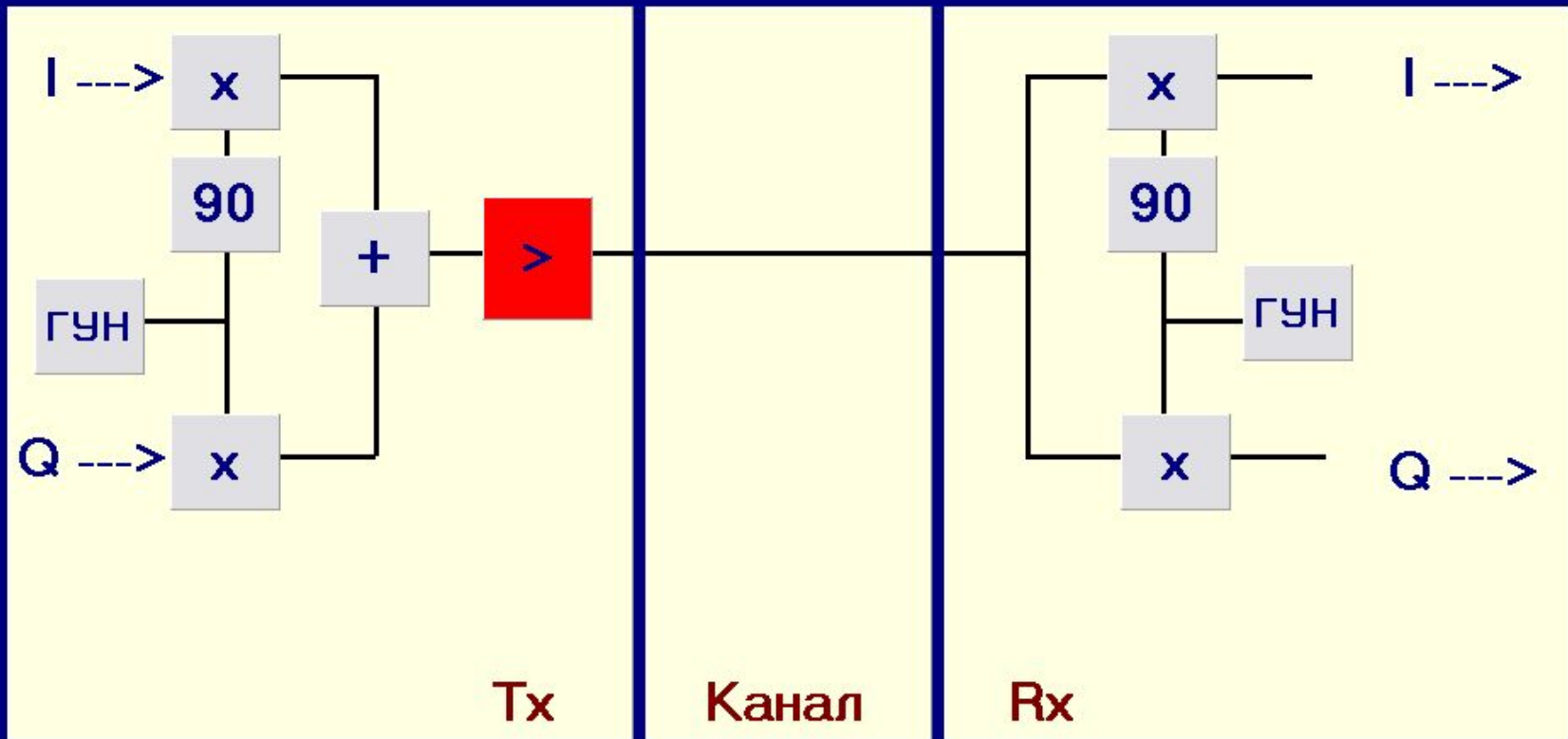
Для числения параметров сигнала используйте Меню/Измерения

- РЧ Тракты
- Тракт передачи (Tx)
- Тракт приема (Rx)
- Канал связи

Временное представление IQ(t)

1 канал 0      Время, мс 0

Установка параметров



Сохранить Установки

Ок

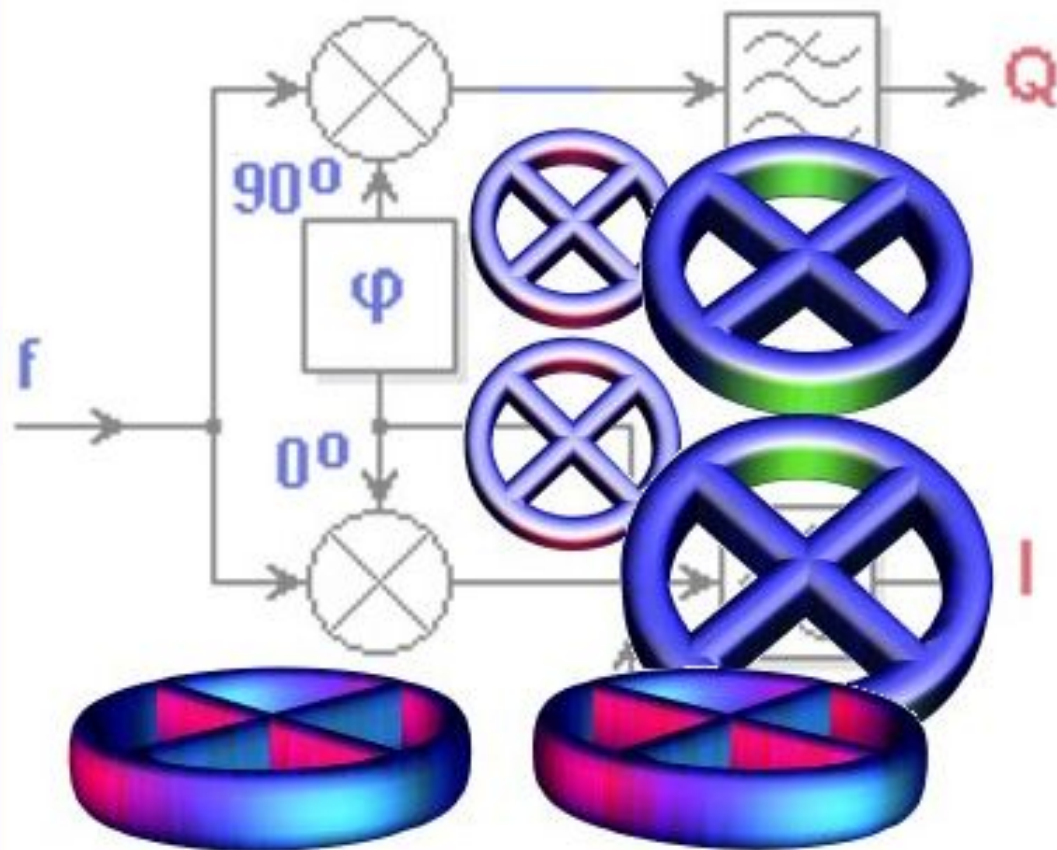
Программа  
векторного  
анализа  
сигналов  
«Вектор-VSA»



МТУСИ

Векторный Анализатор Сигналов VSA

Вер. 0.01





# Основные функции программы "Вектор-VSA"

ППП  
векторного  
анализа  
сигналов  
"Вектор-VSG"

Чтение и запись файлов данных  
(отсчеты модулированных  
сигналов)

Анализ модулированных сигналов,  
нахождение их параметров

Отображение сигналов во  
временной, спектральной области,  
на IQ плоскости

Демодуляция сигналов GSM, EDGE

Оценка показателей качества  
сигналов (EVM)



# Общий вид интерфейса программы VSA

Векторный Анализатор Сигнала E:\VSA-ru\ExampleFiles\EDGE\EDGE\_2SpS\_for\_Pattern\_22\_bit\EDGE\_2SpS\_16ADC\_1V\_ref\filtered.pcm

Файл | Параметры сигнала | Демодулятор | Фильтр | Измерения | Просмотр | Анализ | Окна | Инструменты | Помощь

Для вычисления параметров сигнала используйте Меню/Измерения

### Анализатор Спектра

Частота, Hz [2]	SIF, dBm [2]	PN(F), deg [2]	P in B'W, dBm [2]	P in B'W, dBm/Hz [2]	Максимальная частота, Гц	Установить маркер на частоту, Гц
5719,5	-73,546	96,882	-0,21509	-54,542	270833,33	0

#	Freq, Hz	dBm/dB
1A	22448,0	47,8
2D	15723,0	15,0

16384 | Gauss | Complex FFT | BIAS | Рассчитать | Zoom | Unzoom | Сохр. рис. | Показать частотный спектр | Показать фазовый спектр

Конт. построение трасс |  Иерархический список | Перв. | Назад | Вперед | Посл. | Авто | Стоп

### Временное представление IQ(t)

I channel 0 | Время, мс 0

Q channel 0 | Время, мс 0

Первая | Назад | Вперед | Послед | Страница 1 из 159 | Постранично | Сохранить графику | Масштабировать | Отменить масштаб

0,43 | Макс. шаг | -0,42 | Мин. шаг | 1000 | Шаг частоты | 1 | Шаг времени отс.

Windows Com... | VSA-(sept07).d... | vsa\_ru | Безымянный - ... | Регистрация: ... | RU | 14:08

# Программные модули для VSA

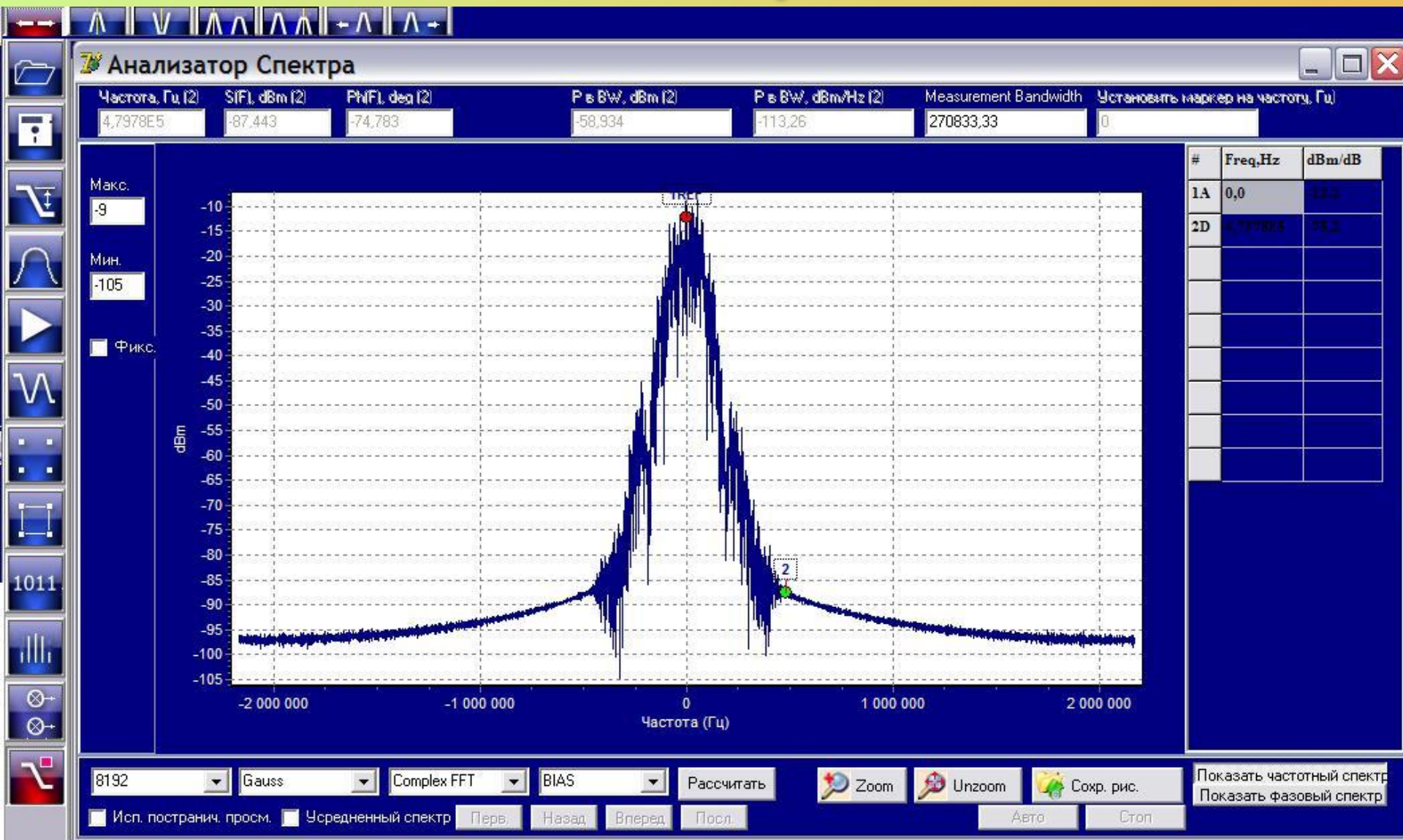
Ряд наиболее часто используемых подпрограмм будет оформлен в виде динамически компокуемых библиотек (DLL). Это позволяет достаточно просто производить совершенствование алгоритмов функционирования без переработки всей программы.

Основные возможности и функции программного комплекса, **реализованные с применением** динамически компокуемых библиотек (DLL):

- Анализ сигнала во временной области.
- Анализ параметров входного сигнала: амплитуда, фаза, напряжение, мощность.
- Отображение сигналов во временной области.
- Отображение квадратурных компонент I/Q.
- Установка маркеров во временной области.
- Анализ сигналов в частотной области.
- Установка маркеров в частотной области.
- Измерение амплитуд в дБм, дБм/Гц.
- Нахождение экстремальных значений исследуемых сигналов.
- Измерения параметров модуляции: сдвиг сигнала (DC offset), фазовая ошибка (Phase error); амплитудный разбаланс (IQ imbalance); частотный сдвиг (Frequency deviation); амплитуда вектора ошибки EVM (Error vector magnitude).
- Цифровая демодуляция сигналов (Digital demodulation) таких, как GMSK, 8-PSK, QPSK и т.п..
- Фильтрация сигналов в соответствии с используемым стандартом.



# Просмотр амплитудного и фазового спектра



# Цифровая демодуляция

Метры сигнала | Демодулятор | Фильтр | Каналы | Пресет | Анализ | Окно | Инструменты

Измерения параметров сигнала используйте Меню/Измерения

## Демодуляция сигнала EDGE

Средние значения

Parameter	RMS Value
EVM, %	0,54933
Freq. Err. Hz	
Mag. Err. %	
Ph. Err. deg	
Origin offset	

Параметры текущей страницы

Parameter	RMS Value	PEAK Value
EVM, %	0,54933	
Freq. Err. Hz		
Mag. Err. %		
Ph. Err. deg		

Символов на стр.     Перекрытие (%)

Смещение стр. (симв.)

Всего символов: 1000  
 Всего страниц: 6  
 текущая стр.: 2  
 Страниц на экр.: 2  
 Старт (мс): 0,54646  
 Стоп. (ms): 1,0929  
 Перейти на стр.:     Стоп на стр. (Авто)

TSNumber: No TS  
 DC оффсет комп.: включено  
 RRC фильтр: включено

Назад    Вперед

Первый    Послед.

Авто    Стоп

Overwrite previous  
 Hold Maximum

Усредненные: Constellation

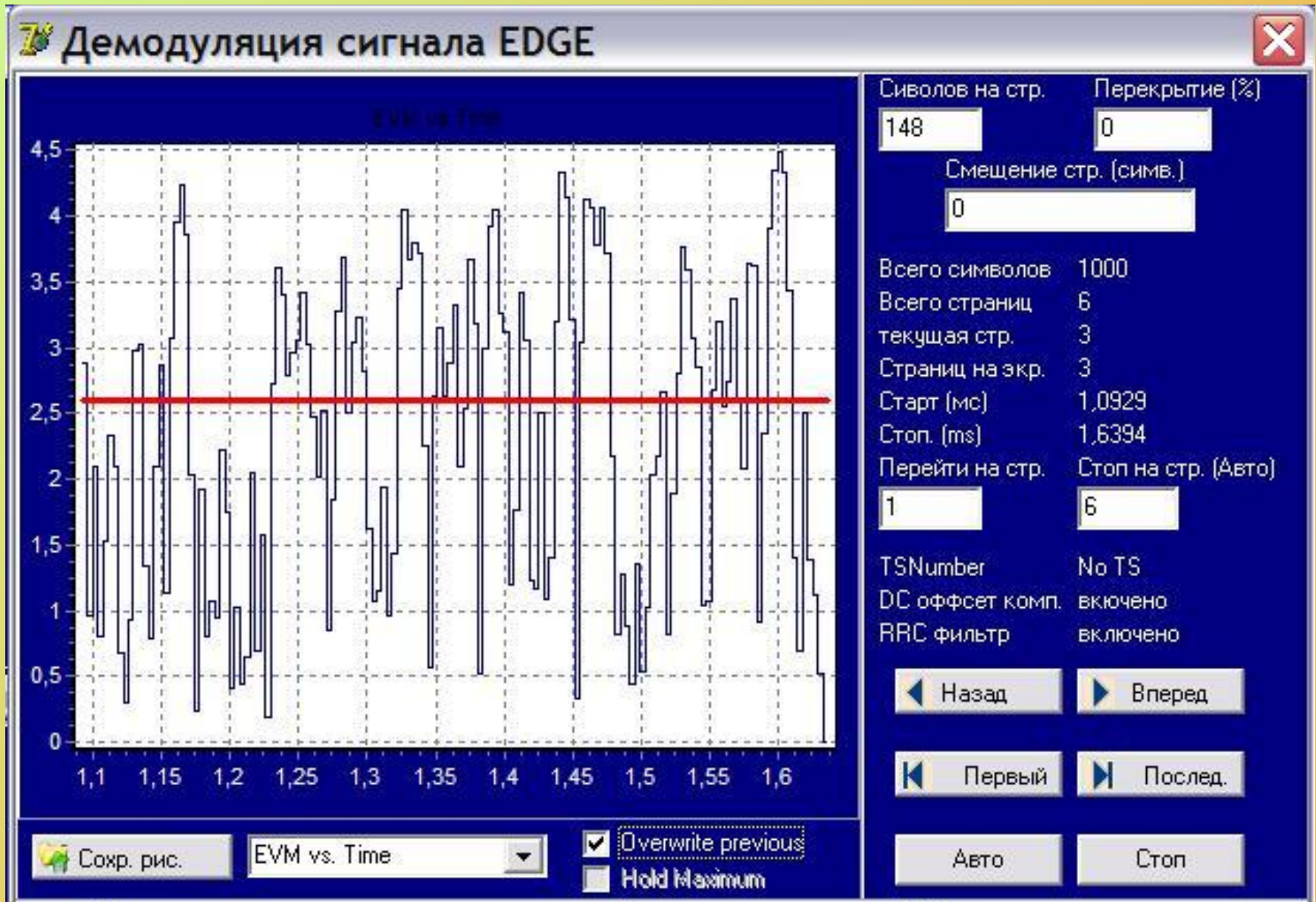
Демодулированные симв. (Hex)     3GPP Формат

0	5	4	7	3	3	1	3	1	4	6	6	6	4	7	2	2	2	3		
2	2	2	6	6	2	2	0	2	0	2	2	7	2	7	2	2	1	2		
2	0	6	0	6	2	3	0	3	0	2	4	7	4	7	0	3	5	3		
7	6	5	6	6	5	2	1	2	2	5	0	6	2	0	5	3	0	2		
0080	3	5	4	7	2	6	1	3	1	0	2	6	6	6	7	0	2	0	1	
0100	7	2	2	3	6	1	2	2	6	2	6	2	0	0	0	2	7	7	7	
0120	7	2	1	1	1	1	0	4	4	4	6	3	7	7	7	0	4	1	1	1
0140	3	7	4	4	6	4	5	7	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X





# Цифровая демодуляция





# Библиотеки тестовых сигналов

## Библиотека тестовых сигналов

опорные (reference) сигналы

сигналы с введенными  
искажениями

сигналы пакетированные  
(бурстованные, burst)

непакетированные сигналы

фильтрованные сигналы

нефильтрованные сигналы

# Библиотеки тестовых сигналов

Разрабатываемый комплекс является многофункциональным – он обеспечивает полный цикл автоматизированного исследования сигналов, функциональных узлов и устройств. При этом могут быть использованы тестовые сигналы различного рода. Отсчеты квадратурных компонент анализируемых сигналы могут быть заданы в виде файлов различного формата (psm, txt) и при необходимости программно переконвертированы. Произведена разработка пакета тестовых сигналов для различных стандартов и технологий.

На данном этапе сформированы **более 400 тестовых сигналов** систем цифровой связи, которые будут использованы в качестве эталонных при разработке и развитии настоящего комплекса программ. Сформированные сигналы не являются окончательными - в ходе работы возможно как исправление, так и формирование новых тестовых версий.

# Тестирование программного продукта

- Сопоставление результатов с аналогами: Agilent, R&S, Aeroflex

Достигнута точность программ  
Agilent





# Разработка лабораторных работ

- Изучение методов отображения модулированных сигналов современных систем связи
- Изучение процесса формирования и нарушений целостности сигнального созвездия QPSK сигнала
- Изучение методов формирования и свойств сигнала EDGE
- Изучение влияния качества квадратурного модулятора на сигнальное созвездие QPSK сигнала

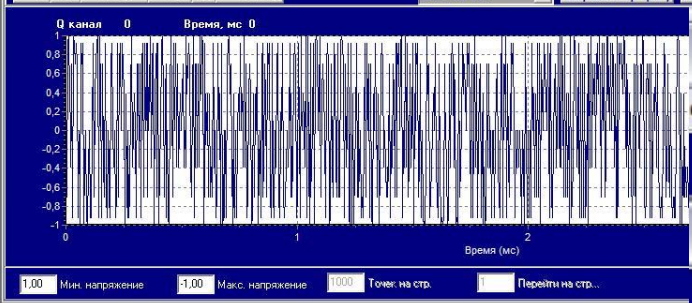
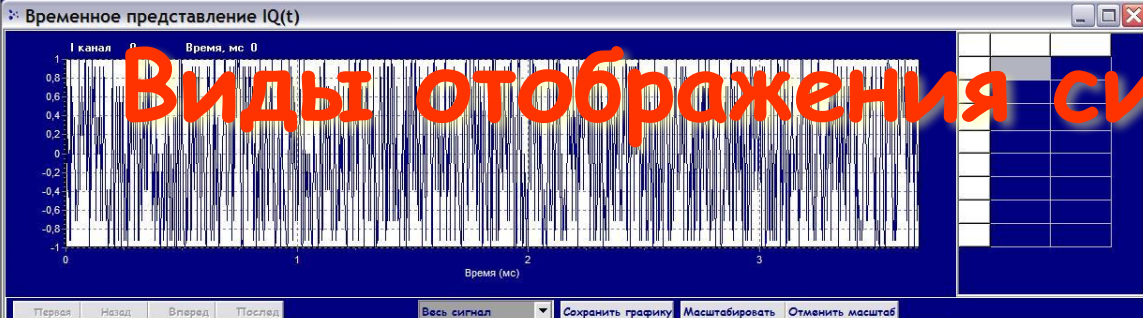


# Изучение методов отображения модулированных сигналов современных систем связи





# Виды отображения сигналов

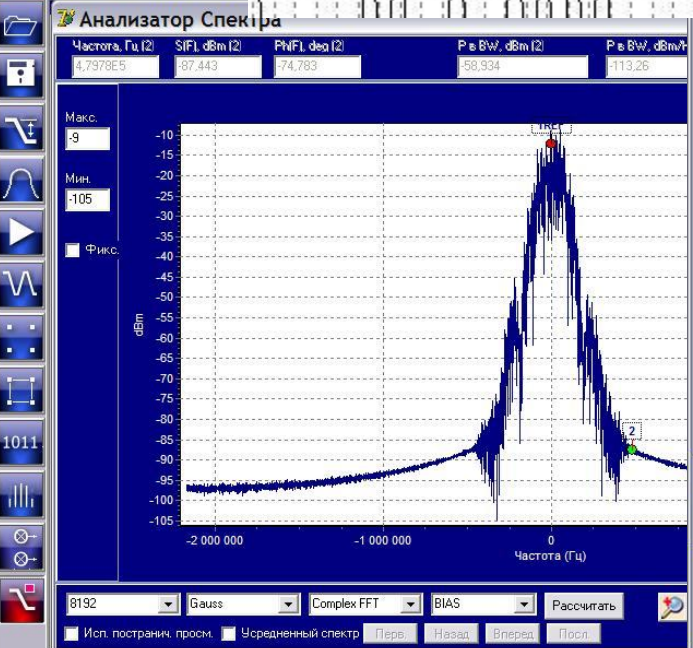
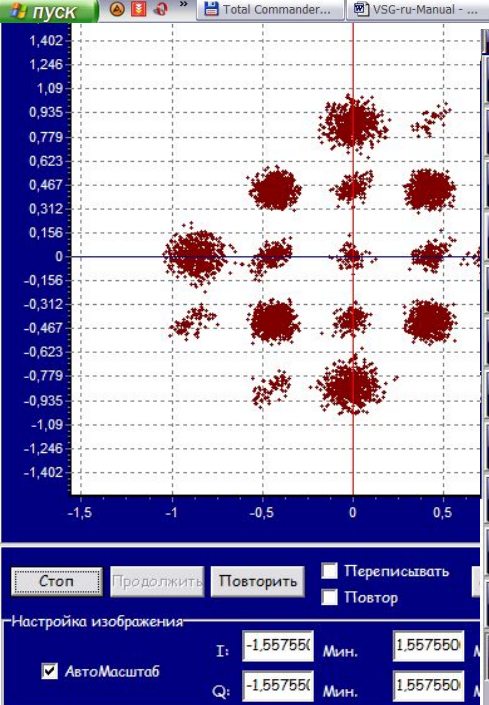
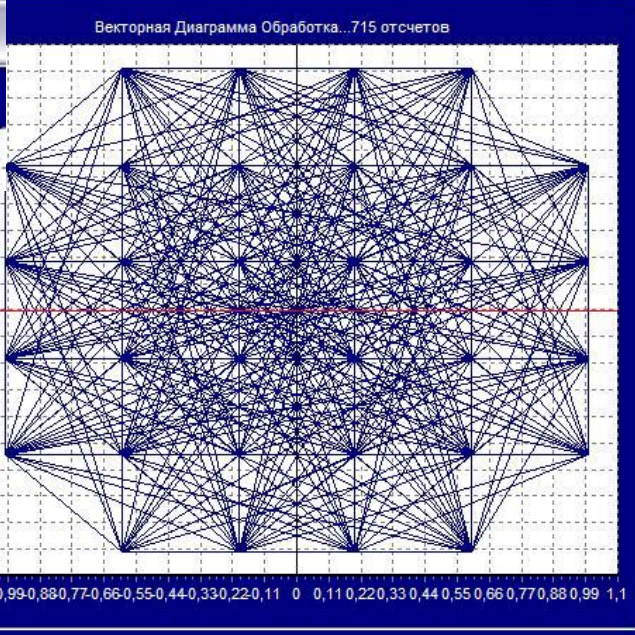


Для вычисления параметров сигнала используйте Меню/Измерения

Канал	Канал	Канал	Q Канал
-0,43864	0,54865	-8173	8989
-0,38116	0,40442	-6245	6626
-0,20496	0,21497	-3358	3522
0,0039673	0	65	0
0,21643	-0,21497	3546	-3522
0,40491	-0,40442	6634	-6626
54883	-0,54865	8992	-8989
63867	-0,63861	10464	-10463
67847	-0,67834	11116	-11114
69379	0,69329	11203	11195

- EN Английский (США)
- IQ компоненты
  - Массив данных
  - Созвездие
  - Статистические данные
  - Векторная диаграмма

Векторная диаграмма



Станция

Стоп Продолжить Повтор

Перезаписать Повтор Сохранить...

Настройка изображения

АвоМасштаб I: -1.1 Мин. 1.1 Макс. Q: -1.1 Мин. 1.1 Макс.



# Изучение методов формирования и свойств сигнала EDGE



# Изучение методов формирования и свойств сигнала EDGE



Для изменения параметров сигнала используйте Меню/Измерения

в (EDGE)

### Демодуляция сигнала EDGE

Символов на стр.  Перекрытие (%)

Смещение стр. (симв.)

Всего символов 1000  
 Всего страниц 6  
 текущая стр. 2  
 Страниц на экр. 2  
 Старт (мс) 0,54646  
 Стоп. (ms) 1,0929

Перейти на

TSNumber  
 DC offset  
 RRC filter

Назад

Первый

Автоматически

### Демодуляция сигнала EDGE

Символов на стр.  Перекрытие (%)

Смещение стр. (симв.)

Всего символов 9987  
 Всего страниц 66  
 текущая стр. 10  
 Страниц на экр. 1 - 10  
 Старт (мс) 0  
 Стоп. (ms) 5,4646  
 Перейти на стр.  Стоп на стр. (Авто)

TSNumber No TS  
 DC offset комп. включено  
 RRC фильтр включено

Назад

Вперед

Первый

Послед.

Автоматически

Стоп

Сохранить рисунок Constellation

Overwrite previous  
 Hold Maximum

Усредненные

Parameter	RMS Value
EVM, %	0,54933
Freq. Err. Hz	
Mag. Err. %	
Ph. Err. deg	
Origin offset	

Demodulated symbols (Hex)

0080	3	5	4	7	2	6	1	3	1	0	2	6	6
0100	7	2	2	3	6	1	2	2	6	2	6	2	0
0120	7	2	1	1	1	1	0	4	4	4	6	3	7
0140	3	7	4	4	6	4	5	7	X	X	X	X	X

Parameters of current page

Parameter	RMS Value	PEAK Value
EVM, %	0,54933	
Freq. Err. Hz		
Mag. Err. %		
Ph. Err. deg		

Сохранить рисунок EVM vs. Time

Overwrite previous  
 Hold Maximum

Усредненные

Parameter	RMS Value
EVM, %	0,20323
Freq. Err. Hz	
Mag. Err. %	
Ph. Err. deg	
Origin offset	

Demodulated symbols (Hex)

0080	2	6	2	7	6	2	1	0	3	1	7	5	5	2	1	1	7	0	7
0100	5	4	0	6	4		5	4			5	4							5
0120	2	1	5	2	1	5	2	1	5	2	1	5	2	1	5	2	1	5	2
0140	6	0	0	9	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Parameters of current page

Parameter	RMS Value	PEAK Value
EVM, %	0,20156	
Freq. Err. Hz		

3GPP Format

Демодуляция сигналов (EDGE)

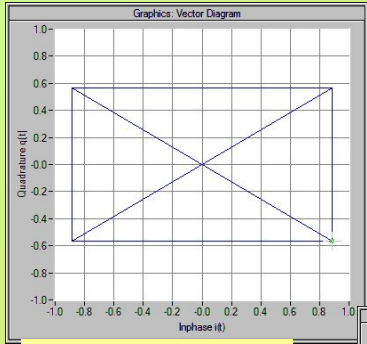


# Изучение влияния качества квадратурного модулятора на сигнальное созвездие QPSK сигнала

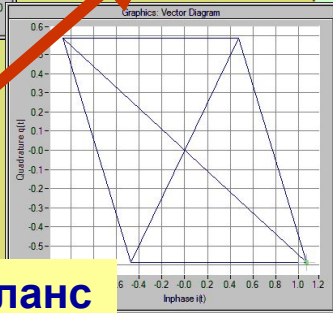


# Влияние различных факторов на целостность сигнального созвездия в тракте передачи

**Сигнал  
QPSK**

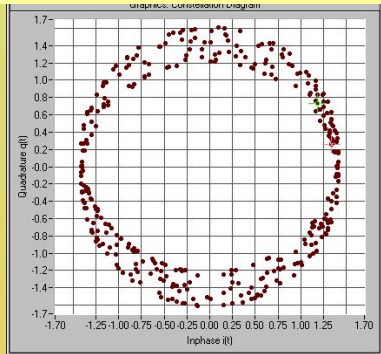


**Разбаланс  
амплитуд**

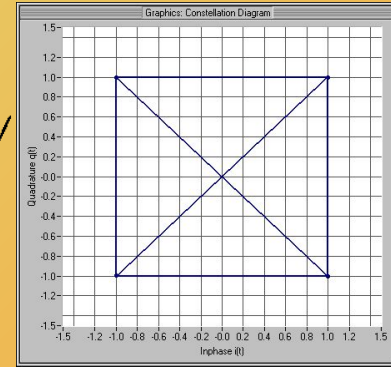
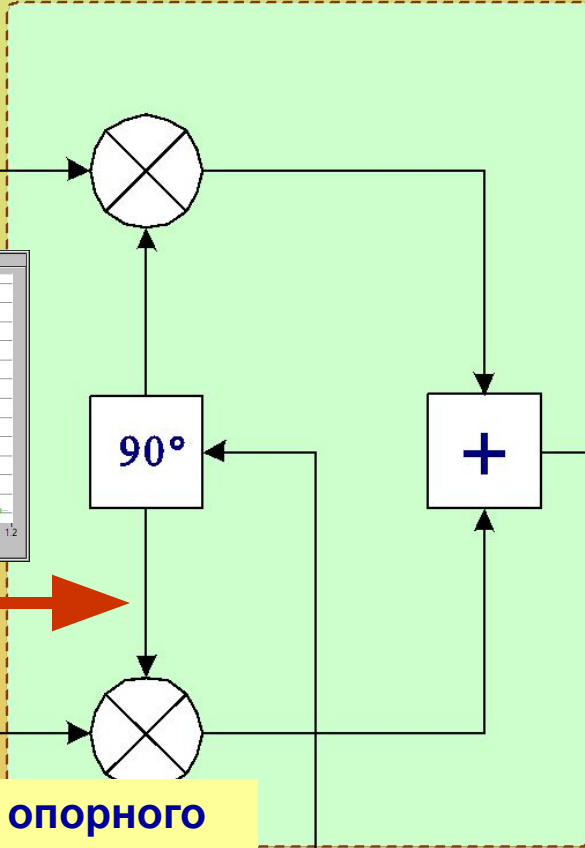
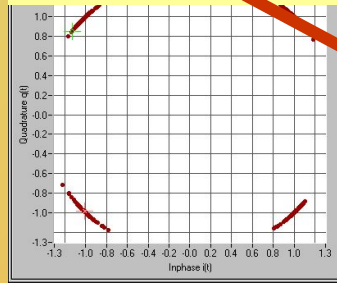


**Разбаланс  
фаз**

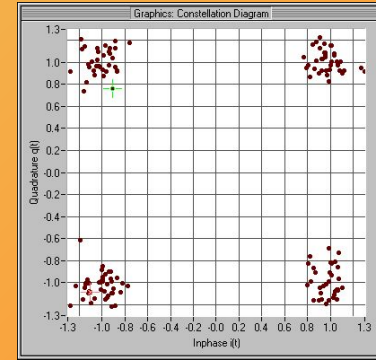
**Побочные опорного  
генератора**



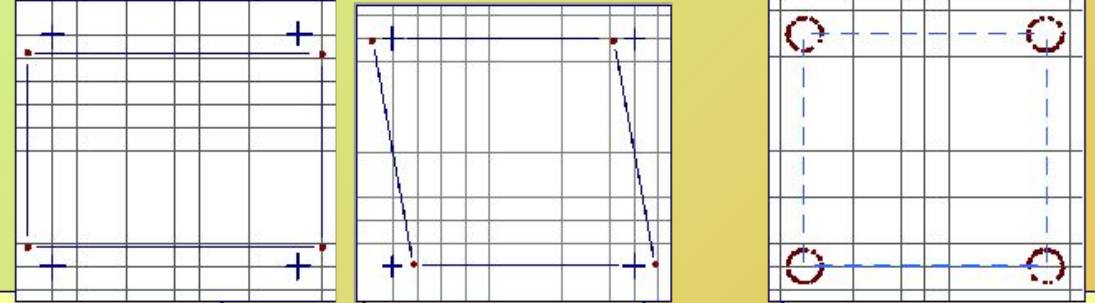
**Шумы опорного  
генератора**



**Шумы тракта  
передачи**



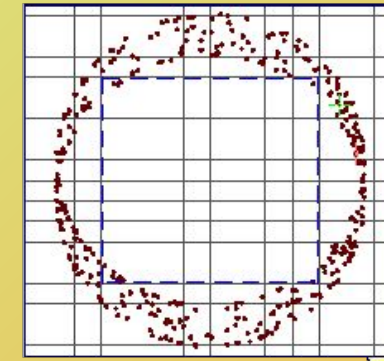
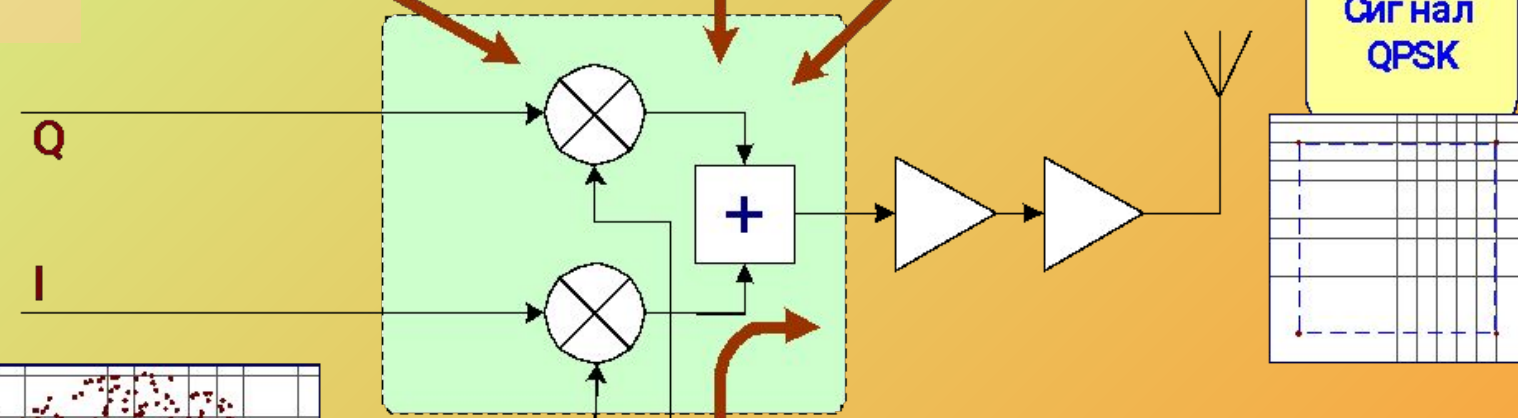
# Изучение влияния качества квадратурного модулятора на сигналное созвездие QPSK сигнала



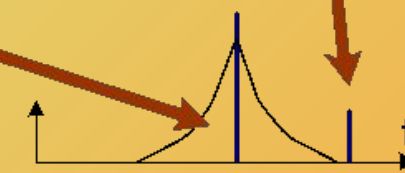
Амплитудный разбаланс каналов

Фазовый разбаланс каналов

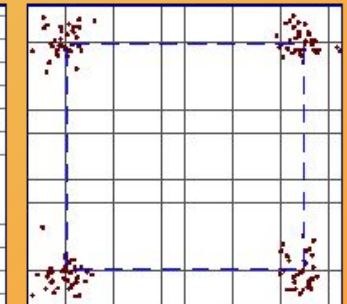
Гармонический побочный сигнал



Побочные опорного генератора



90°



Утечка опорного сигнала

Шумы тракта передачи