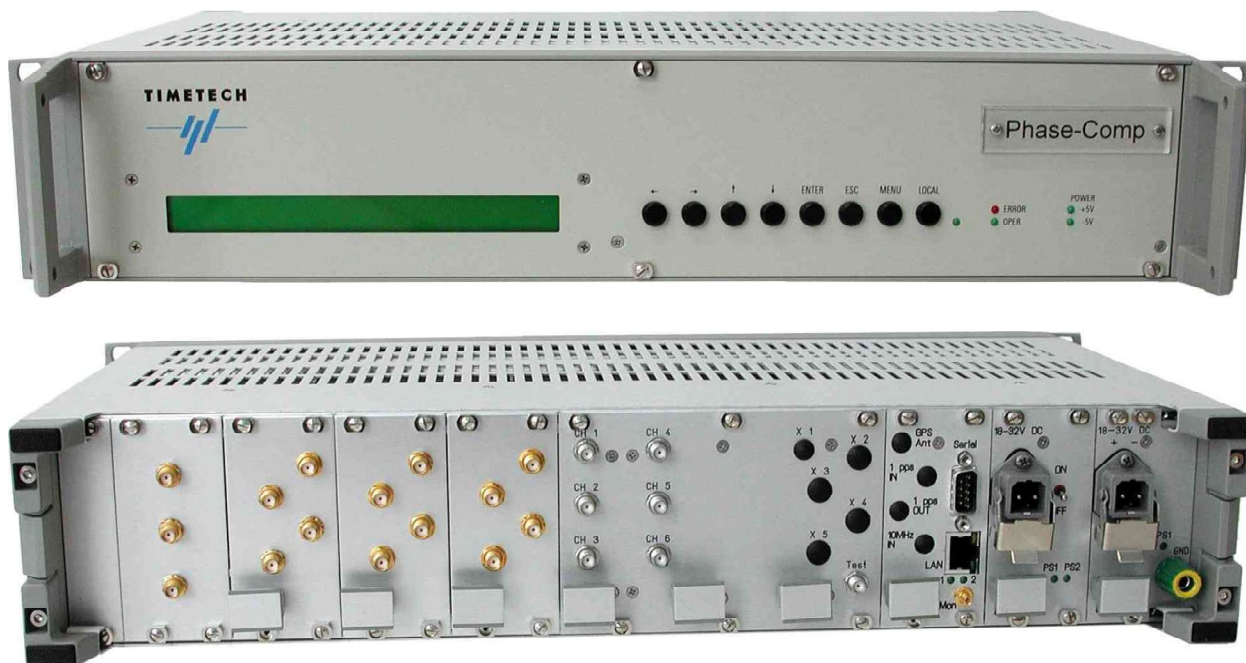


# Фазовый компаратор

6 каналов, 100 МГц с возможностью 5/10 МГц

Элемент № 10265



## Основные характеристики:

- Высокое разрешение и низкий шум
- Произвольное определение эталонного канала
- 6 входов на 100 МГц, SMA коннекторы
- Программное обеспечение M&C<sup>1</sup> для внешнего ПК с установленной ОС Windows 2000 или выше
- Файлы данных совместимы с программой STABLE32
- Настраиваемый интервал выборки: 2/с или 20/с
- Программное обеспечение для отображения фазы, частоты и ADEV
- Программное обеспечение, позволяющее определять виртуальные каналы

---

На фото изображен фазовый компаратор с 3 модулями умножителя (опция №3) и с двуполярным источником постоянного тока (опция №5). Вход для 3 модулей умножителя расположен на разъеме №1 (слева). В конечном продукте вход для модулей умножителя находится на панели самого модуля умножителя.

---

<sup>1</sup> M&C – Monitoring and Control - мониторинг и контроль

### **Основные характеристики умножителя частоты:**

- Умножение частоты с низко-фазовым шумом создает 4 выхода в 100 МГц от одного входа 5/10 МГц каждого модуля умножения.
- Ручная конфигурация (через контрольное ПО) входной частоты 5 МГц или 10 МГц.
- Входы 5/10/100 МГц, настраиваемые через соединительные кабели.
- Мониторы контроля потребляемой мощности на входном порту и выходных портах модуля умножителя.
- Настраиваемый аттенюатор на входном порту модуля умножителя.

### **Опции продукта:**

<b>Опция</b>	<b>Характеристика опции</b>
1	6 каналов 100 МГц с 1 модулем умножителя частоты 5/10 МГц до 100 МГц
2	6 каналов 100 МГц с 2 модулями умножителя частоты 5/10 МГц до 100 МГц
3	6 каналов 100 МГц с 3 модулями умножителя частоты 5/10 МГц до 100 МГц
4	6 каналов 100 МГц с 4 модулями умножителя частоты 5/10 МГц до 100 МГц
5	2 <sup>ой</sup> вход DC вместо входа AC на разъеме №10
6	ПО «Three-corner-hat»

### **Фазовый компаратор состоит из 3 частей:**

#### **1. Аппаратура фазового компаратора**

Аппаратура фазового компаратора обеспечивает высокоточные сравнения фаз на уровне 100 МГц. Один из входных сигналов используется в качестве эталонного сигнала. Остальные 5 каналов сравниваются с данным эталоном. С помощью дополнительной частоты чуть меньше 100 МГц каждый канал измерений проходит каскад из аналогового и цифрового микшеров для производства промежуточного сигнала, который подходит для входа счетчика временных интервалов (TIC). Два TIC используются параллельно для каждого канала измерений. Первый грубый предоставляет широкий диапазон измерений, второй, более точный, предоставляет высокоточные измерения.

До 4 умножителей частоты могут быть подключены в одну стойку. Каждый из этих умножителей имеет вход 5 или 10 МГц (настраиваемо) и 4 выхода 100 МГц. Через соединительный кабель умножители могут быть подключены к входам фазовых компараторов.

Для контроля компаратора на передней стороне оборудования имеется LCD-дисплей и 8 кнопок.

## **2. Программное обеспечение для контроля и мониторинга**

Данное ПО предназначено для контроля функционирования фазового компаратора, мониторинга корректности работы аппаратуры, а также для выбора конфигурации входной частоты умножителей. Данное ПО предназначено для установки на внешнем ПК. Оно выполняет те же функции, что и панель на передней части оборудования, однако, имеет более удобный в пользовании дисплей и интерфейс на основе меню.

## **3. Программное обеспечение для отображения данных**

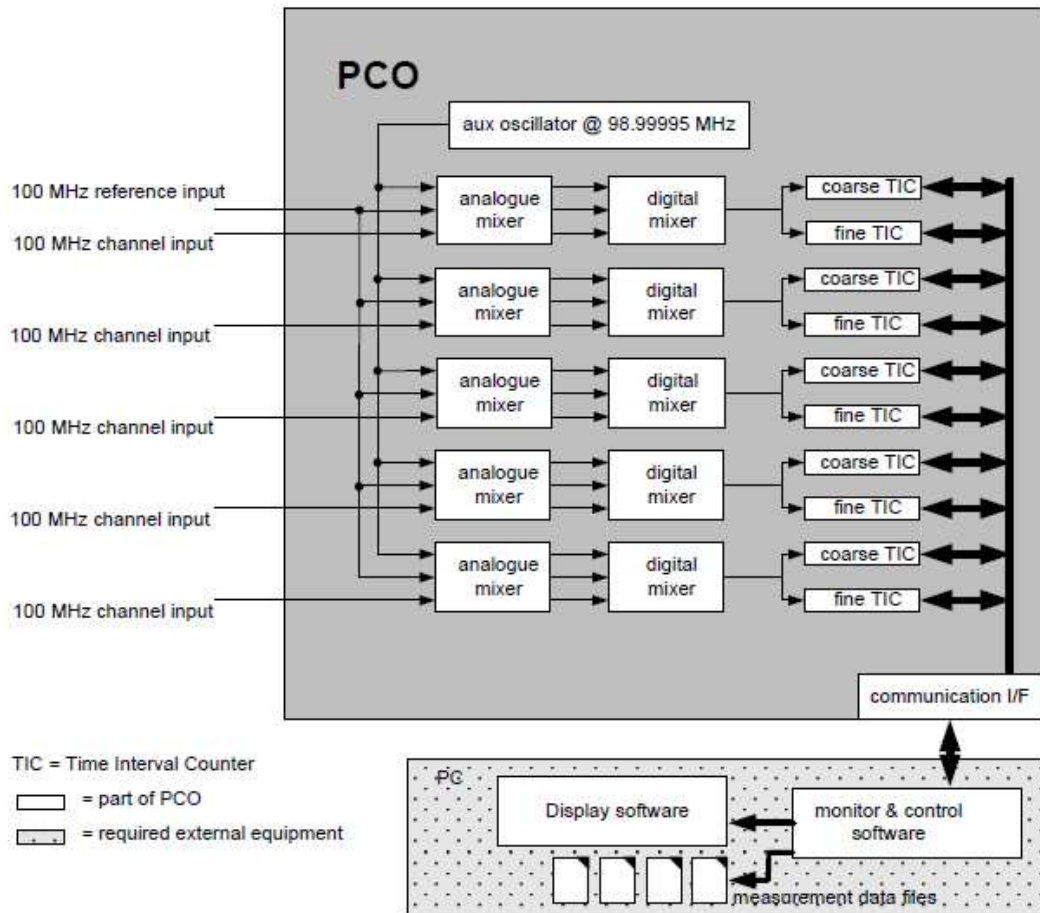
Данное ПО используется для мониторинга функционирования фазового компаратора в режиме реального времени. Оно показывает текущие измерения фазы и текущее значение ADEV, базирующееся на методе «скользящего окна». Эти данные предоставляются последовательно для каждого канала. Данное ПО предназначено для работы на внешнем ПК.

Фазовый компаратор позволяет на самом современном уровне сопоставлять значения фазы и частоты.

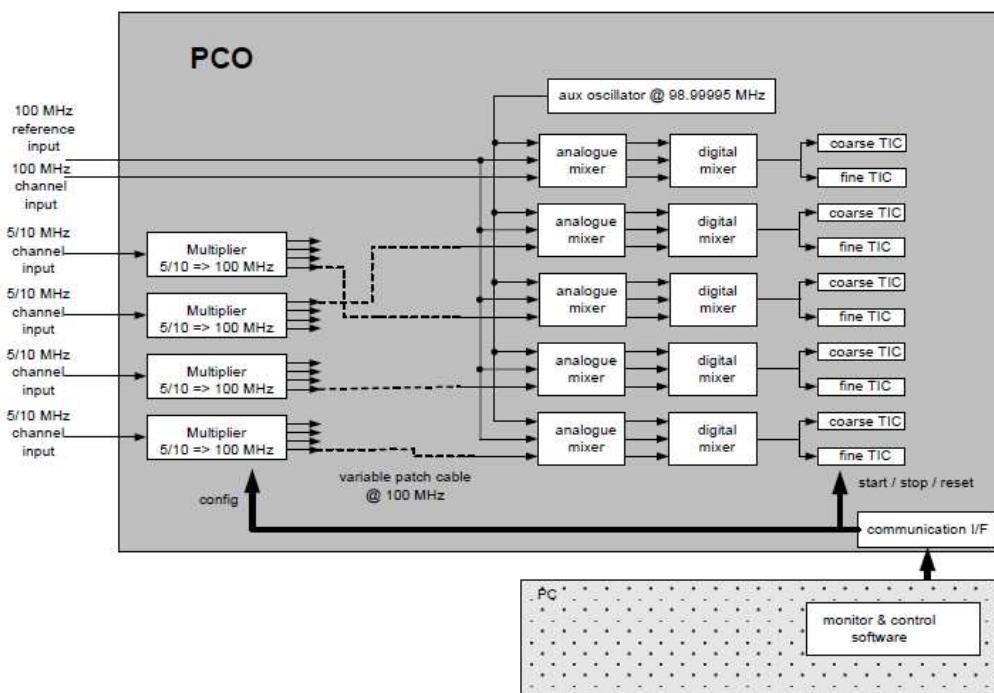
Большое число входных каналов позволяет следить за всей группой часов с помощью всего 1 компаратора. Типичное применение включает:

- Измерения фазы высокого разрешения и частоты;
- Отслеживание времени и записи данных и в течение длительного периода;
- Характеристика времени с помощью «метода 3 часов»;
- Отслеживание группы часов;
- Характеристика температуры генератора;
- Настройка генератора;
- Отслеживание износа генератора;
- Отслеживание синхронизации сети.

## Блок-схема фазового компаратора



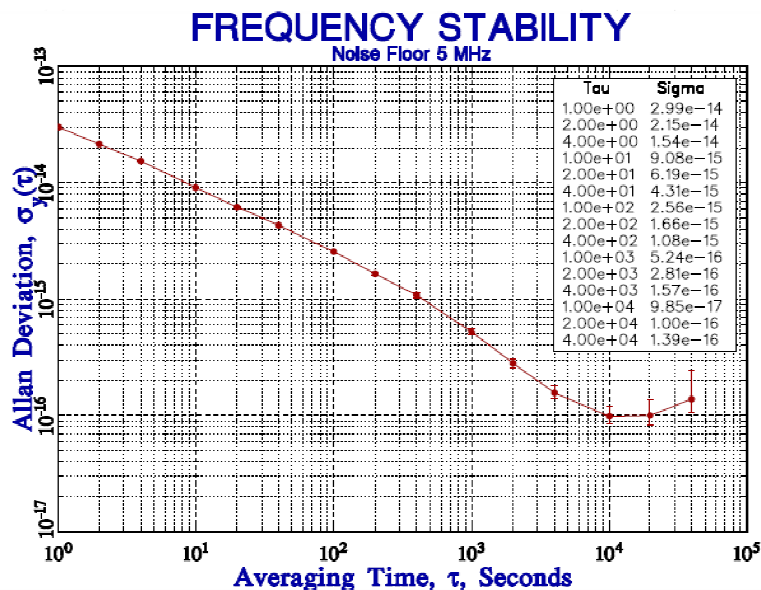
Блок-схема фазового компаратора в базовой конфигурации показывает поток сигналов фазовых измерений.



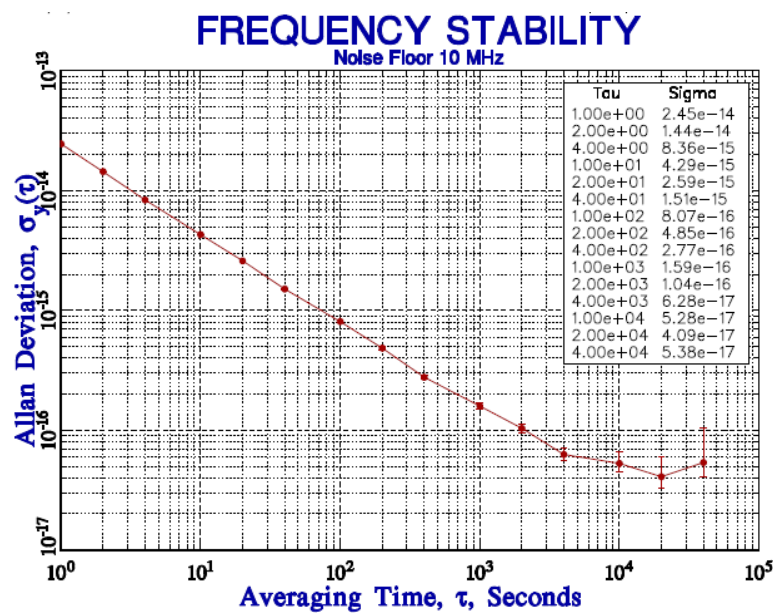
Данная блок-схема фазового компаратора с дополнительными распределителями частот показывает поток информации о функции управления (Опция №4).

## Результаты измерений

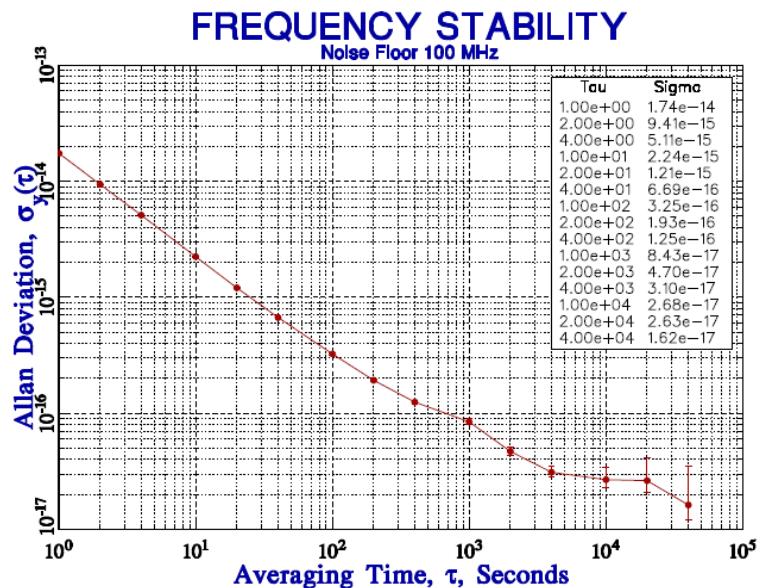
Следующие графики STABLE32 показывает результаты измерений уровня шума при входных 5 МГц, 10 МГц и 100 МГц.



Уровень шума ADEV 5 МГц



Уровень шума ADEV 10 МГц

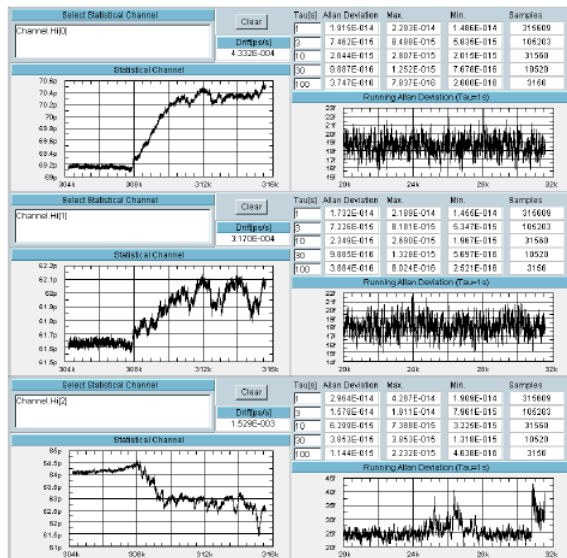


*Уровень шума ADEV 100 МГц*

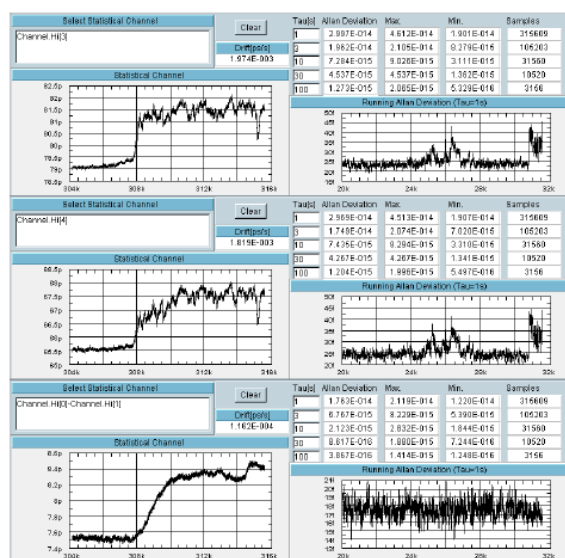
Все измерения проводились в стандартных лабораторных условиях (температура +18 .. +24°C, ~4 Крр, без кондиционирования). Фазовый компаратор был замкнут на общий источник с пассивным сплиттером.

### Программное обеспечение для вывода информации на экран

Данное ПО используется для мониторинга текущих измерений. Оно показывает данных о текущих измерениях фазы («Statistical Channel») и текущие значения ADEV для tau=1 сек, которые основываются на анализе полученных измерений методом «скользящего окна» («Running Allan Deviation»). Также ПО показывает таблицы текущих ADEV, минимальное и максимальное значения ADEV, которые вычисляются методом «скользящего окна» с момента начала измерений для tau=1..100 сек. Также в таблице представлено число фазовых импульсов, на которых строится анализ. Данная информация предоставляется постоянно для каждого из каналов. На примерах ниже эталонным каналом является канна №6. Для данного канала недоступны непосредственные измерения. Однако данное ПО отображает данные о 6 каналах. На примере канал №6 отображает разницу между каналами №1 и №2. Текущее отклонение частоты показано для каждого канала («Drift[ps/s]»).



Мониторинг каналов 1-3 в режиме реального времени



Мониторинг каналов 4-6 в режиме реального времени

Входы Hi[0] и Hi[2] настроены на эти 3 канала

Входы Hi[3] и Hi[4] и разница Hi[0]-Hi[1] настроены на эти 3 канала

Данный скриншот показывает итоговый экран программного обеспечения. Отклонение Аллана рассчитывается для tau=1..100 000 сек.

Число под заголовком («Channel x») обозначает число анализируемых фазовых импульсов. Текущие значения измерений представлены для обоих фазовых компараторов, с низким разрешением («LoRes Pha[ps]») и с высоким разрешением («HiRes Pha[ps]»). Также показано текущее отклонение частоты («Drift[ps/s]»). Тон биений («Beat Freq[Hz]») позволяет проверять работоспособность функций компаратора. Разница между двумя измеряемыми каналами составляет порядка 10 кГц и почти 0 для логического канала (см. «Channel 1-2»).



Channel 1			Channel 2			Channel 3		
315.609k		Clear	315.609k		Clear	315.609k		Clear
Tau[s]	Allan Deviation		Tau[s]	Allan Deviation		Tau[s]	Allan Deviation	
1	1.915E-014	Null	1	1.732E-014	Null	1	2.964E-014	Null
3	7.462E-015		3	7.226E-015		3	1.578E-014	
10	2.644E-015	HiRes Pha[ps]	10	2.349E-015	HiRes Pha[ps]	10	6.299E-015	HiRes Pha[ps]
30	9.897E-016	7.049E+001	30	9.885E-016	6.207E+001	30	3.853E-015	6.252E+001
100	3.751E-016	LoRes Pha[ps]	100	3.909E-016	LoRes Pha[ps]	100	1.250E-015	LoRes Pha[ps]
300	3.391E-016	2.581E+003	300	4.166E-016	2.585E+003	300	1.105E-015	2.576E+002
1000	1.717E-016	Drift[ps/s]	1000	1.928E-016	Drift[ps/s]	1000	4.645E-016	Drift[ps/s]
3000	9.720E-017	4.332E-004	3000	1.413E-016	3.170E-004	3000	3.026E-016	1.529E-003
10000	2.986E-017	Beat Freq[Hz]	10000	2.287E-017	Beat Freq[Hz]	10000	4.297E-017	Beat Freq[Hz]
30000	2.976E-017	9.9894E+003	30000	1.321E-017	9.9894E+003	30000	2.282E-017	9.9893E+003
100000	8.688E-018		100000	3.316E-018		100000	2.840E-018	

Channel 4			Channel 5			Channel 1 - 2		
315.609k		Clear	315.609k		Clear	315.609k		Clear
Tau[s]	Allan Deviation		Tau[s]	Allan Deviation		Tau[s]	Allan Deviation	
1	2.997E-014	Null	1	2.969E-014	Null	1	1.763E-014	Null
3	1.962E-014		3	1.749E-014		3	6.767E-015	
10	7.284E-015	HiRes Pha[ps]	10	7.435E-015	HiRes Pha[ps]	10	2.123E-015	HiRes Pha[ps]
30	4.537E-015	8.149E+001	30	4.267E-015	6.767E+001	30	8.617E-016	8.413E+000
100	1.426E-015	LoRes Pha[ps]	100	1.342E-015	LoRes Pha[ps]	100	3.791E-016	LoRes Pha[ps]
300	1.015E-015	9.885E+003	300	7.495E-016	5.083E+002	300	6.891E-016	-3.885E+000
1000	3.419E-016	Drift[ps/s]	1000	2.078E-016	Drift[ps/s]	1000	3.321E-016	Drift[ps/s]
3000	1.922E-016	1.974E-003	3000	1.230E-016	1.819E-003	3000	2.200E-016	1.162E-004
10000	5.587E-017	Beat Freq[Hz]	10000	4.910E-017	Beat Freq[Hz]	10000	2.864E-017	Beat Freq[Hz]
30000	5.853E-017	9.9894E+003	30000	5.916E-017	9.9892E+003	30000	1.850E-017	-5.0398E-002
100000	1.859E-017		100000	1.981E-017		100000	5.372E-018	

Channel Logging		
File Descriptor	Lines	Maximum File Size
phase_pco2	15.609k	20000
Output File Name		
phase_pco2_04-Jul-2005-05-20-26.dat		

Скриншот программы

## Программное обеспечение «Three-corner-hat» («Треугольная шляпа»)

Во время измерения ADEV при сравнении выхода тестируемого устройства с единственными эталонными часами, результат ADEV влияет на общую нестабильность обоих часов. Для точных измерений эталонные часы должны быть гораздо стабильнее, чем тестируемое устройство, таким образом, чтобы влияние эталонных часов на ADEV могло быть проигнорировано.

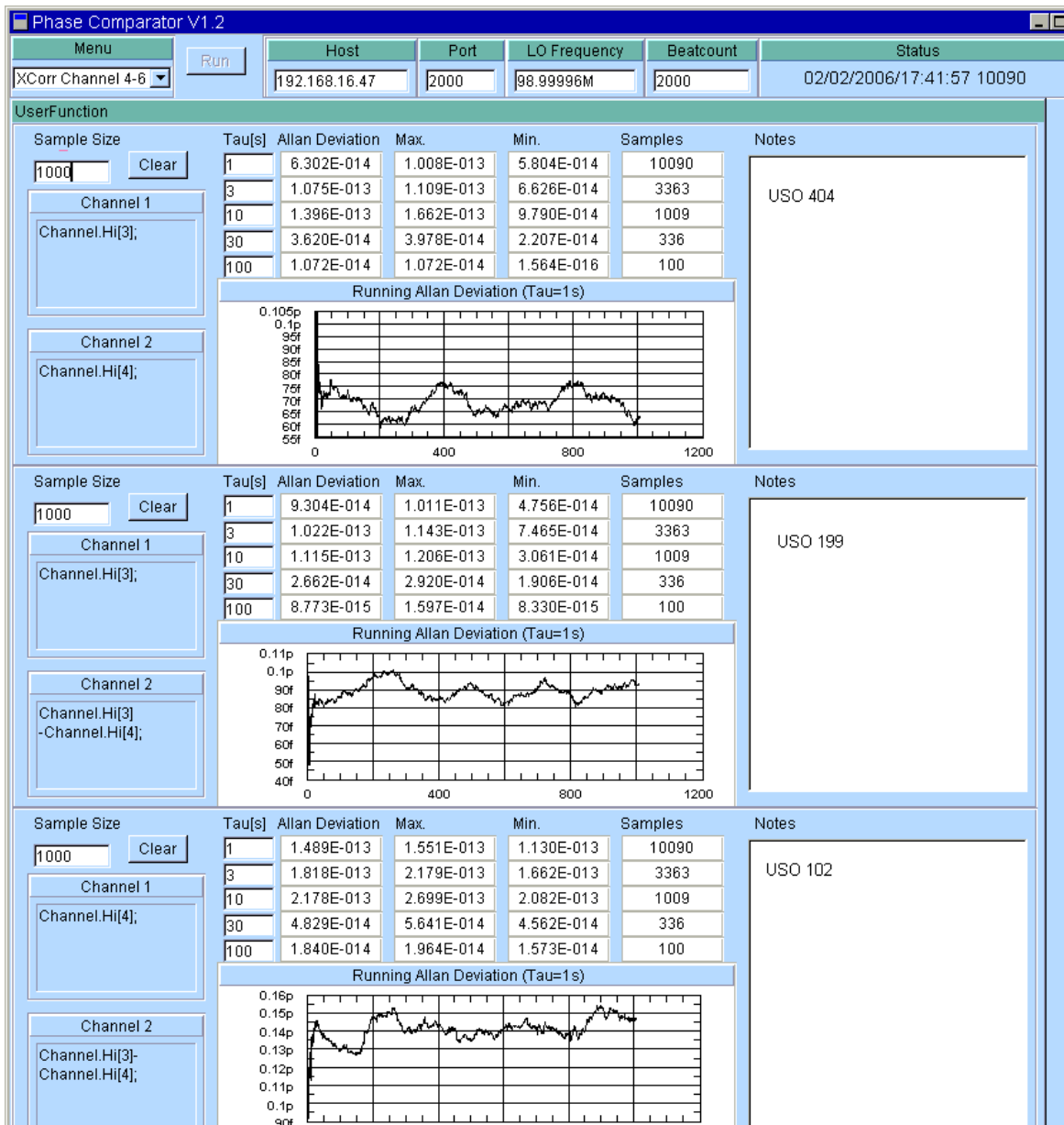
Метод «Three-Corner-Hat» используется в случаях, когда требуется измерить работу нескольких часов, работающих почти с равной точностью. Проводятся одновременные измерения работы каких-либо одних часов в сравнении с любыми другими, им противопоставляемыми. На основе этих данных ПО «Three-Corner-Hat» вычисляет, как работают каждые из этих двух часов в отдельности.



На скриншоте ниже показан пример подобного измерения. Для проведения данных измерений три сверхстабильных генератора (USO) были замкнуты на стабильную эталонную частоту при временной постоянной системе управления с обратной связью ФАПЧ при  $\tau=10$  сек. Это означает, что USO работает как бы на холостом ходу для ADEV при  $\tau=1$  сек. Импульсы брались с интервалом в 1 сек. Целью этого испытания было измерить ADEV при 1 сек для испытуемых USO (т.е. для USO с серийными номерами 404, 199, и 102).

Кривые на скриншоте показывают текущее ADEV при 1 сек для каждого USO в отдельности. Таблицы над кривыми показывают текущий ADEV (MIN, MAX) для нескольких временных интервалов  $\tau$ , а также нормальный ADEV.

При сравнении результатов для этих трех USO можно заметить, что работа USO 404 более чем на фактор два лучше работы USO 102 (для ADEV при интервале в 1 сек:  $6,3 \times 10^{-14}$  в сравнении с  $1,5 \times 10^{-13}$ ). Это показывает, что метод «Three-Corner-Hat» способен разрешить даже значительные различия в работе измеряемых часов.



Скриншот, иллюстрирующий проведенное в качестве примера измерение методом «Three-Corner-Hat» (описание см. выше).

### Рабочие характеристики

	5 МГц	10 МГц	100 МГц
Входной уровень	+3 .. +15 дБм	+3 .. +15 дБм	+0 .. +7 дБм
... для оптимальной работы	+7 .. +15 дБм	+7 .. +15 дБм	+5 .. +7 дБм

	5 МГц		10 МГц		100 МГц	
	спец	обыч	спец	обыч	спец	обыч
1 сек	$6,0 \times 10^{-14}$	$3,0 \times 10^{-14}$	$3,0 \times 10^{-14}$	$2,5 \times 10^{-14}$	$2,5 \times 10^{-14}$	$1,8 \times 10^{-14}$
10 сек	$1,5 \times 10^{-14}$	$9,1 \times 10^{-15}$	$6,0 \times 10^{-15}$	$4,3 \times 10^{-15}$	$3,5 \times 10^{-15}$	$2,3 \times 10^{-15}$

100 сек	$4,0 \times 10^{-15}$	$2,6 \times 10^{-15}$	$1,2 \times 10^{-15}$	$8,1 \times 10^{-16}$	$5,0 \times 10^{-16}$	$3,3 \times 10^{-15}$
1 000 сек	$1,0 \times 10^{-15}$	$5,2 \times 10^{-16}$	$2,5 \times 10^{-15}$	$1,6 \times 10^{-16}$	$1,2 \times 10^{-16}$	$8,4 \times 10^{-17}$
10 000 сек	$3,0 \times 10^{-16}$	$9,9 \times 10^{-17}$	$9,0 \times 10^{-17}$	$5,5 \times 10^{-17}$	$4,0 \times 10^{-17}$	$2,7 \times 10^{-17}$
100 000 сек	$3,0 \times 10^{-16}$	$9,9 \times 10^{-17}$	$9,0 \times 10^{-17}$	$5,5 \times 10^{-17}$	$2,0 \times 10^{-17}$	$5,5 \times 10^{-18}$

Примечание 1: Измерения, проводимые в указанные временные интервалы, в большей степени зависят от наружной температуры. Технические характеристики действительны в лабораторных условиях, температура +18 .. +24°C, смещение < 0.2K/час, отклонение < 0,5 Кpp. Использование фазоустойчивых кабелей, таких как FSJ1, TCOM-400, LMR-400, является обязательным условием для расстояний более 20см. Использование в стандартной среде без климатической установки ограничивает уровень собственных шумов в некоторых частях в  $10^{-17}$  для каналов на 100 MHz.

Сдвиг частоты (рабочий)	$< 1 \times 10^{-8}$
Сдвиг частоты (спец)	$< 1 \times 10^{-12}$
Коннекторы	SMA

## Системные характеристики

### Измерения

Число каналов	6	
Число эталонных входов	1 (любой из 6 каналов)	
Виртуальные каналы	Любая комбинация 2 каналов с помощью ПО Дисплея	Мониторинг и контроль ПО
Измерения в реальном времени	Фаза, частоты и ADEV по каждому каналу	ПО Дисплея
Выход измерений	Фазовые данные сохраняются в файлах, формат которых совместим с программным обеспечением STABLE32. Для этого требуется емкость памяти внешнего ПК	Мониторинг и контроль ПО

### Электрический интерфейс

Сетевое напряжение DC	От 18 до 32 V DC	Опционально генератор
Сетевое напряжение AC	От 90 до 265 V AC, от 47 до 65 Гц	может быть оборудован
Выбор источника	Распределение нагрузки между входами AC и DC	дополнительным входом DC.
Потребление мощности	< 60 Ватт	

## **М&С интерфейс**

Линия последовательной связи	RS232, 9-пиновый разъем Sub-D папа
Протокол	19200 бит/с, 8N1, плоский ASCII
Ethernet	10 Мбит, витая пара (RJ 45)
Сервисы TCP	telnet (удаленный экран) порт 23 Командная строка, выход порт 2000, 2001, данных настраивается
Сервисы UDP	syslog client порт 514 TFTP сервер порт 69 выход данных порт определяемый NTP client порт 123
Отслеживаемые пункты	ADEV, фаза, частота, статус и контроль оборудования.
Управляемые пункты	Начало, конец, очистка измерений

## **Передняя панель**

LCD дисплей, 2 строки, 40 символов  
Дисплей для каждого канала: наличие сигнала + сдвиг фазы и частоты относительно эталонного канала  
8 кнопок для базовой установки и настройки оборудования

## **Механическая часть**

Габариты 19 дюймов, 2 HU (448.8мм × 88мм)  
Глубина 265 мм, вес 8 кг

## **Условия окружающей среды**

### **Транспортировка и хранение**

Температура -20°C до +75°C  
Влажность 10% до 90% (без конденсации)  
Удары max 10г нагрузки на 11 мс  
Вибрация max 0.15 мм от 5 до 8 Гц  
max 1г нагрузки от 8 до 500 Гц  
Высота < 20 000 м

### **Работа**

Температура 0°C до +50°C (наиболее благоприятно при +18..24°C, смещение < 0.2 К/ч)

Влажность 20% до 90% (без конденсации)

Высота < 3000 м

**Требования для внешнего ПК (не является частью фазового компаратора)**

Система Windows 2000, XP или выше, процессор  $\geq$  1ГГц, RAM  $\geq$  250 Мб

Объем измерений < 40 Мб в день, данные делятся в дневные и почасовые файлы.

Требования к доступности ПК и к межсетевым подключениям Внешний ПК должен быть последовательно доступен во время всего интервала измерений. Данные измерений передаются со скоростью 1 пакет в секунду.

Режим работы Можно запускать одновременно с ПО для мониторинга и контроля, работающим в фоновом режиме, однако это не рекомендуется. Предпочтительно иметь отдельный компьютер, предназначенный исключительно для сбора данных.