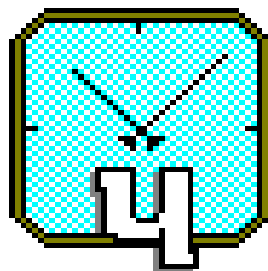


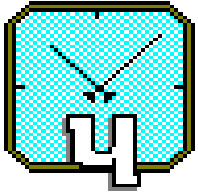
**Научно-технический семинар
«Системы синхронизации, формирования и обработки
сигналов для связи и вещания»**

**Многоканальная система цифровой
фазовой автоподстройки для формирования
резервируемого сигнала эталонной частоты**

**И.Н. Чернышев, В.Ю. Соловьев, К.Г. Мишагин
ЗАО «Время-Ч», Нижний Новгород**

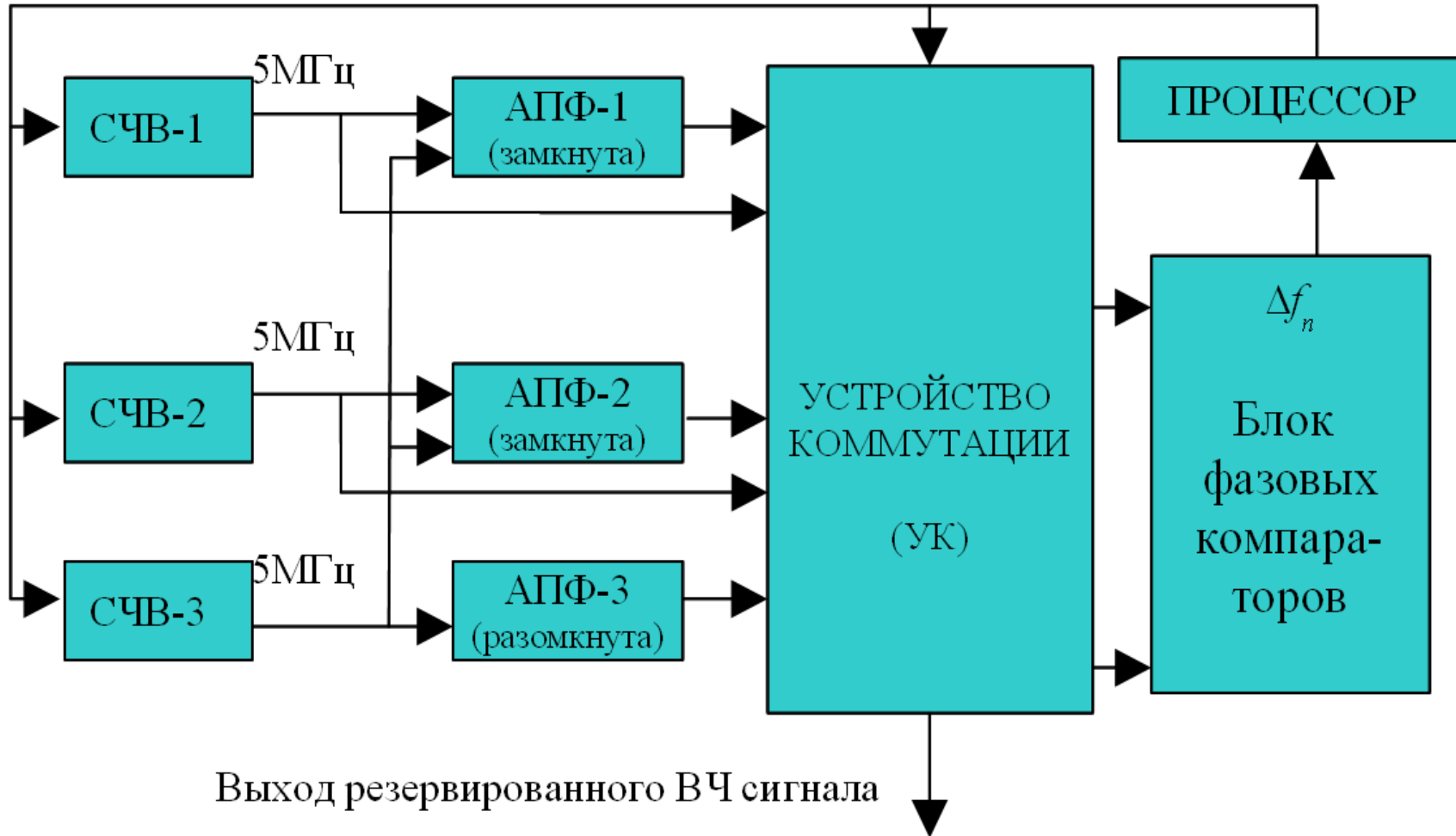


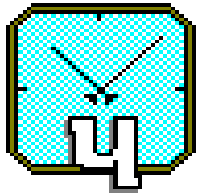
28 июня 2010 г.



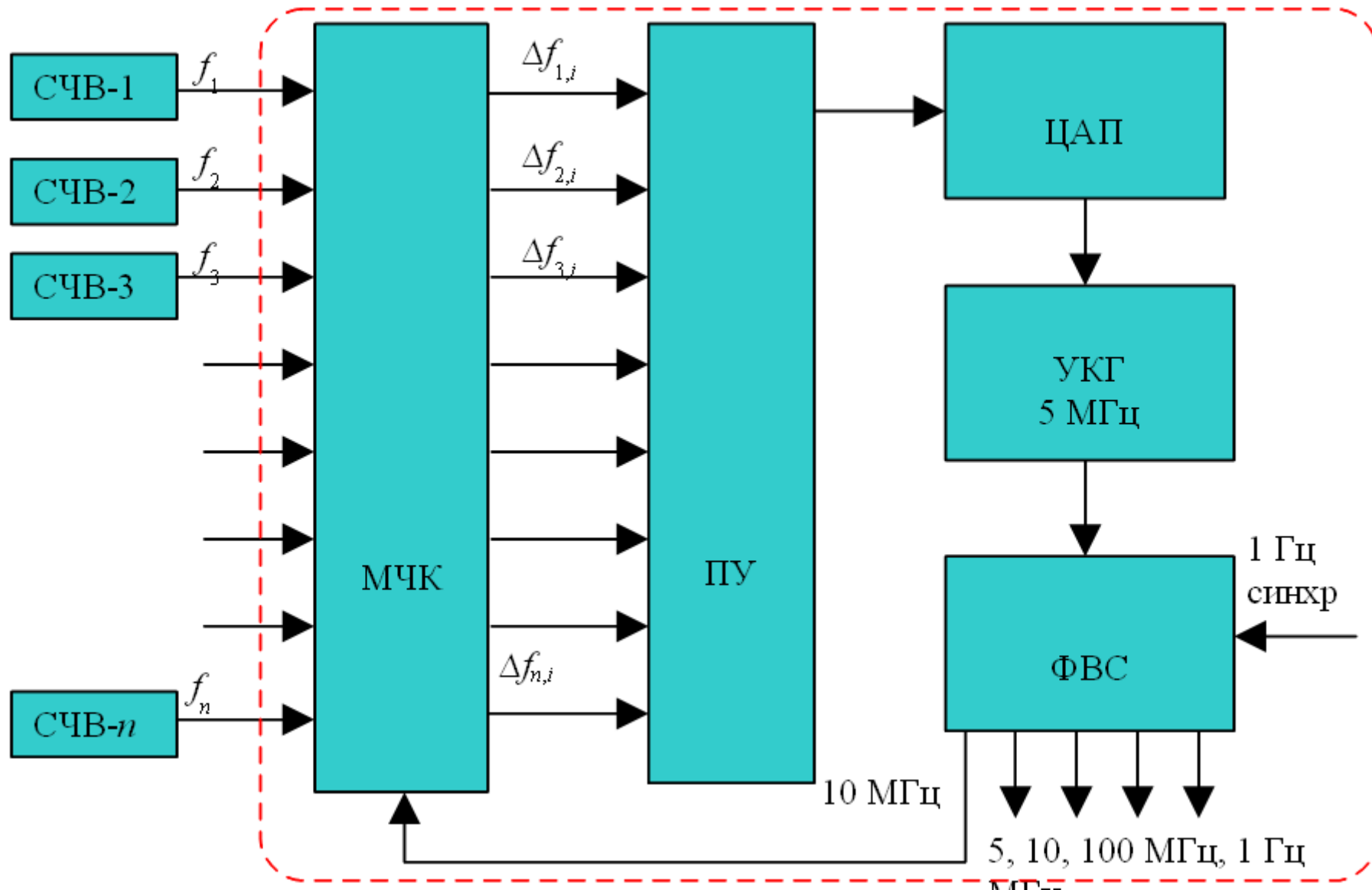
«Стандартная» схема резервирования с помощью систем автоподстройки фазы

Управление частотой (код синтезатора)





Резервирование на основе многоканальной цифровой автоподстройки вспомогательного кварцевого генератора



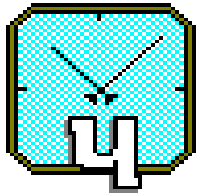
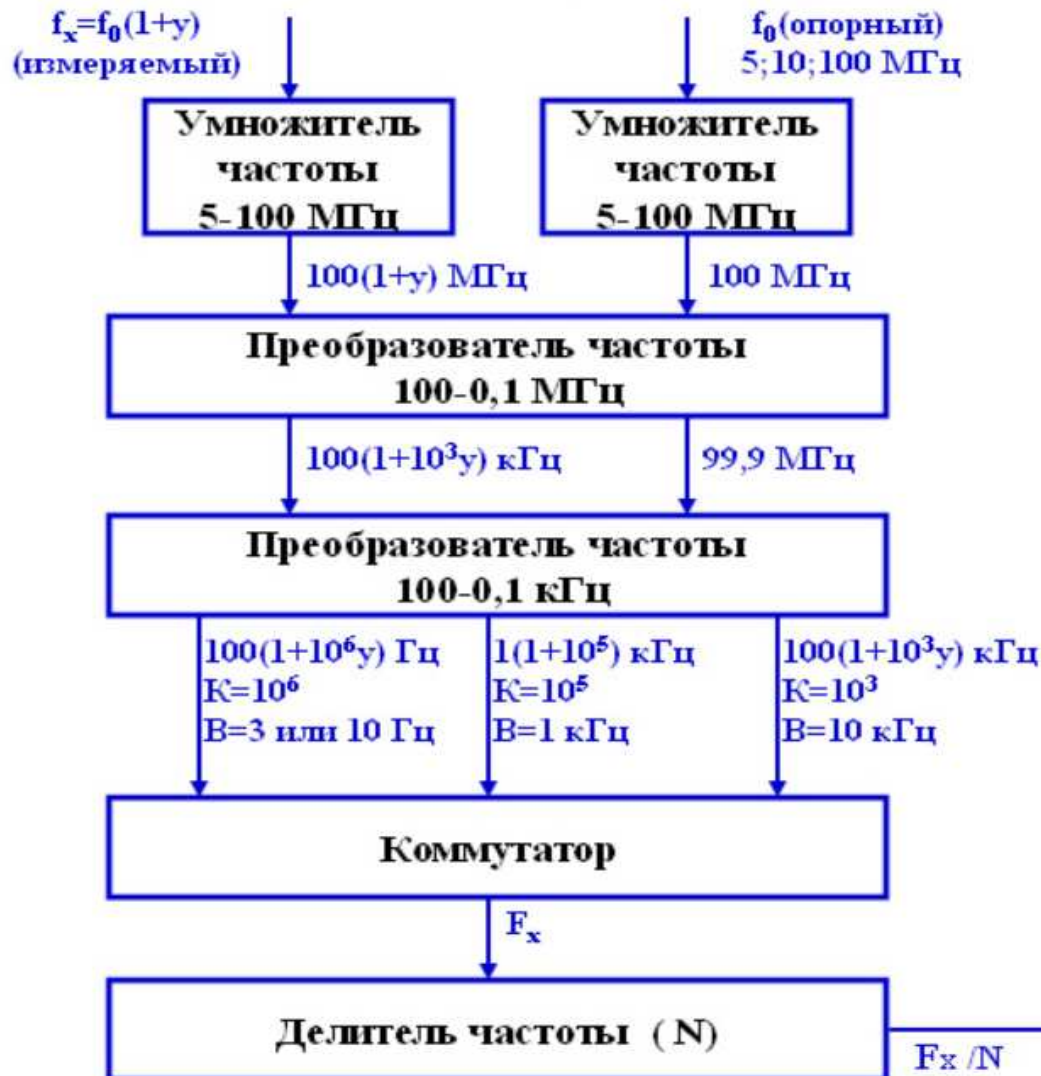


Схема одного канала фазового компаратора

Разрешение по фазе: 0,01 пс. Разрешение по частоте: $10^{-14} / \tau$

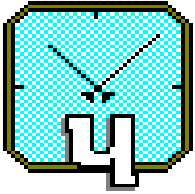


$f_0 = 5; 10; 12,5; 16, (6); 25; 50; 100$ МГц - номинальная частота

$y = (f_x - f_0) / f_0$ - относительная разность частот

K - коэффициент умножения

B - полоса пропускания



Алгоритм петли автоподстройки для одного канала

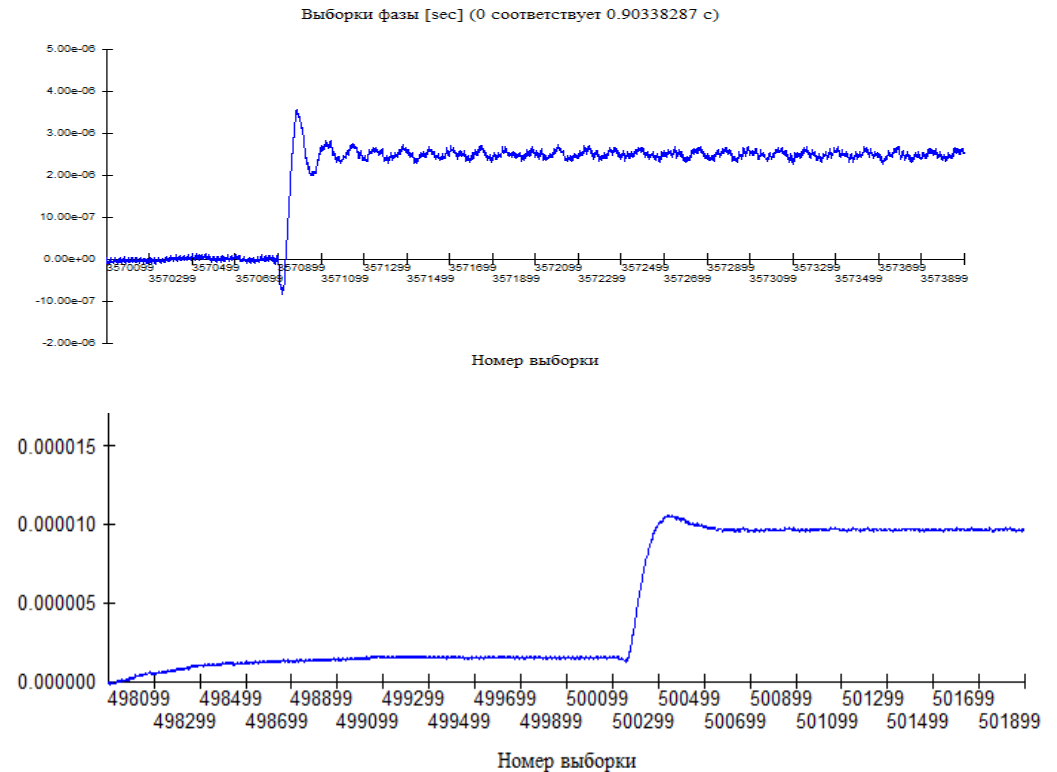
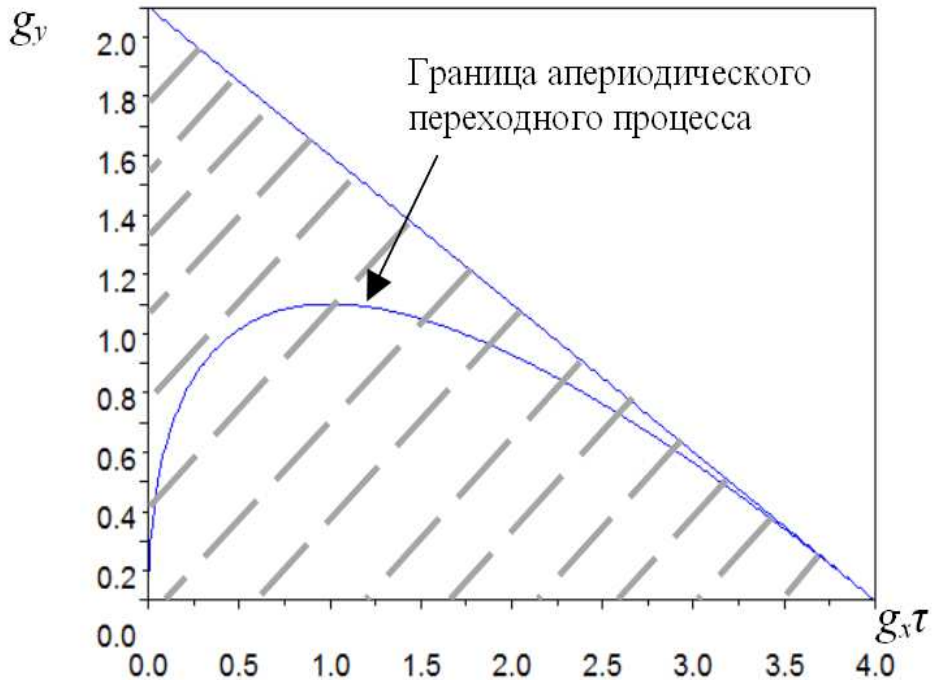
$$X(t + \tau) = FX(t) + Bu(t)$$

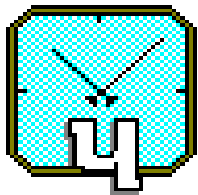
$X = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$, $F = \begin{bmatrix} 1 & \tau \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$, $u = -GX = -\begin{bmatrix} g_x & g_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$, $B = \begin{bmatrix} \tau \\ 1 \end{bmatrix}$

разность фаз
разность частот

$\tau = 10$ мс
Полоса фильтр.
в петле ~ 30 Гц

вектор управления
матрица перехода
вектор состояния





Подстройка относительно средней частоты

Выходная частота подстраиваемого генератора

$$f_o = \Delta + \sum_{k=1}^n \beta_k f_k$$

Программируемое смещение

Весовые коэффициенты

Частоты входных сигналов

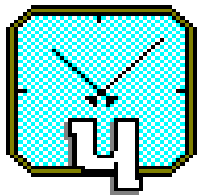
Выбор оптимальных весовых коэффициентов:

Модель идеального сумматора: $y(t) = \sum_k \beta_k y_k(t)$

Одинаковые по стабильности опорные сигналы: $\sigma_y(\tau) = \frac{\sigma(\tau)}{\sqrt{n}}$

В общем случае:

$$\sigma_{y,\min}^2(\tau) = \frac{1}{\sum_k \frac{1}{\sigma_k^2(\tau)}} \quad \beta_k^*(\tau) = \frac{\sigma_{y,\min}^2(\tau)}{\sigma_k^2(\tau)}$$



Реализация в приборе Ч7-317. Формирователь эталонных частот резервируемый

4 канала на входе

Частоты входных и выходных
сигналов: 5, 10, 100 МГц.

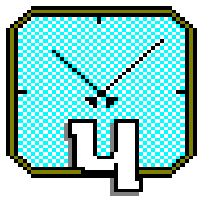
Возможна реализация 2,048 МГц



Вносимая нестабильность частоты: $< 10^{-13}$ за 1 секунду
 $< 5 \cdot 10^{-16}$ за 1 час

Скачки по фазе при включении/отключении
одного из входных сигналов: $< 0,1$ пс

Изменение частоты при включении/отключении
одного из входных сигналов: $< 10^{-14}$



Сравнение Ч7-317 (Время-Ч) и АОГ-110 (Symmetricom) по вносимой нестабильности. 32 НИИ МО РФ

Частотный компаратор VCH-314

Файл Пуск Просмотр Графики Окно Справка

Опн [Icons] [Icons] [Icons] [Icons] [Icons]

Файл Все От 1 До 50226 Пересч. П=3Гц К=1.e6 T=3600c N=200

Таблица результатов измерений, начатых 15.04.2010 16:37:26 (100 МГц)

Комментарий:
15.04.2010 16:37:26 (X-Ч1-75#76032, Y1-Ч7-317, Y2-АОГ Самоконтроль по 4 Ч1-75 - 100 МГц)

График выборок фазы

Комментарий: Fy1x Fy2x Fy

15.04.2010 16:37:26 (X-Ч1-75#76032, Y1-Ч7-317, Y2-АОГ Самоконтроль по 4 Ч1-75 - 100

Интервал времени измерения [c] ->	1	10	100	1000	
Средняя относ. разность частот (E{Fy1x})	-1.479e-16		-3.654e-16		
Средняя относ. разность частот (E{Fy2x})	-4.632e-16		1.399e-16		
СКО для пары сигналов Y1X (var(Fy1x))	7.24e-14	1.11e-14	2.26e-15	5.79e-16	3.35e-16
СКО для пары сигналов Y2X (var(Fy2x))	7.63e-14	1.23e-14	3.85e-15	8.86e-16	5.71e-16
СКДО для пары сигналов Y1X (var2(Fy1x))	8.36e-14	1.27e-14	2.30e-15	6.41e-16	3.74e-16
СКДО для пары сигналов Y2X (var2(Fy2x))	8.88e-14	1.29e-14	3.81e-15	9.30e-16	5.05e-16
Действительное число усреднений - N	3996	398	501	49	12

Выборки фазы [с] (0 соответствует 0.49066561с)

Номер выборки (Кпрор=51)

Номер выборки

СКДО

Ч7-317

АОГ-110

Пуск [Icons] [Icons] [Icons] [Icons] [Icons] [Icons] Частотный компара... Graphics Server Документ без имени - Т... RU 9:38

Заключение

- 1) Цифровая петля частотно-фазовой автоподстройки позволяет исключить остаточную разность частот.
- 2) Гибкая перестройка постоянной времени, полосы фильтрации, лимитов и т. п.
- 3) Реализация резервирования, исключающего скачки по частоте и по фазе. Автоматическое отключение каналов при превышении установленных лимитов при сохранении значения частоты.
- 4) Реализация всей системы в одном приборе.
- 5) Возможность внешнего управления частотой и фазой выходных сигналов. Возможность реализации физической шкалы времени.
- 6) Улучшение стабильности выходного сигнала по сравнению с входными.
- 7) Резервирование системы синхронизации.
- 8) Оценка в реальном времени качества сигнала и разностей частоты с применением оптимальной фильтрации (фильтров Калмана). Адаптивная подстройка весовых коэффициентов.