

ОАО «Омский научно-исследовательский институт
приборостроения»

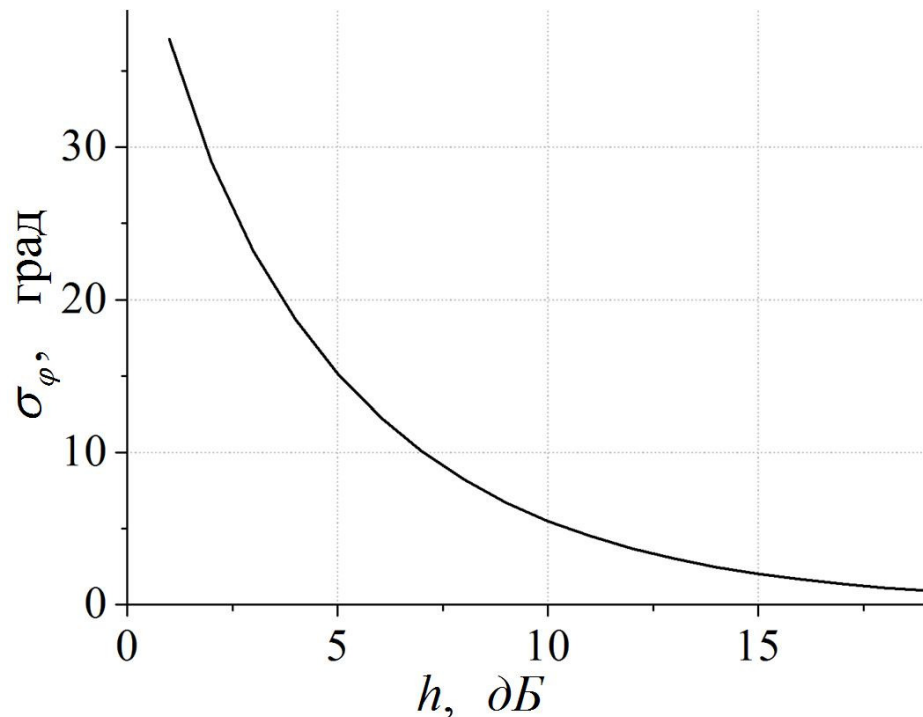
ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет
им. Ф.М. Достоевского»

**Способы повышения точности
измерения разности фаз сигналов
фазовым пеленгатором в
присутствии помехи**

Привалов Д.Д.

Актуальность

Нарушение работоспособности системы при наличии мешающих ИРИ



σ_φ - СКО вариации фазы сигнала

h – отношение сигнал/помеха

Происходит усложнение решения задачи измерения параметров полезного сигнала за счет интенсивного воздействия мешающих сигналов от других радиоэлектронных средств.

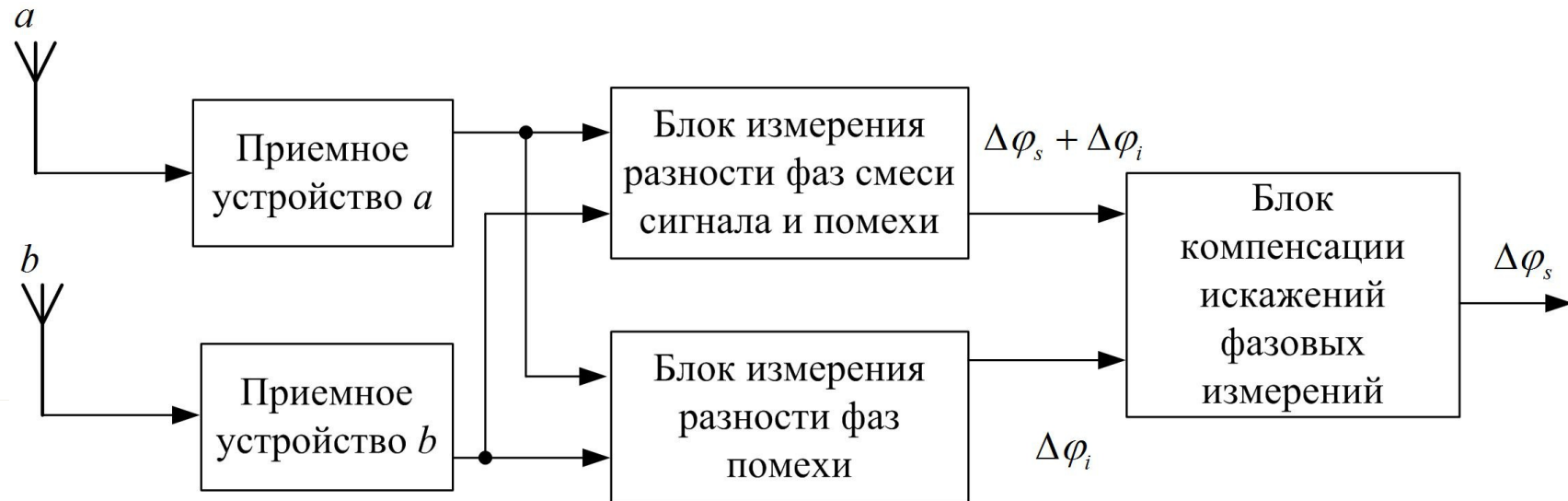
Цель и задачи

Цель: повышение точности измерения разности фаз сигналов фазовым пеленгатором в условиях воздействия помехи, превышающей по мощности полезный сигнал.

Задачи:

- Разработка способов, направленных на повышение точности измерения разности фаз фазоизмерительными устройствами на этапе первичной обработки сигналов.
- Проведение имитационного компьютерного моделирования для оценки эффективности применения предлагаемых способов повышения точности измерения разности фаз.
- Создание лабораторного стенда по обработке сигналов, который реализует предложенные способы, и проведение с помощью созданного стенда экспериментальных исследований их эффективности.

Схема компенсации искажений при фазовых измерениях

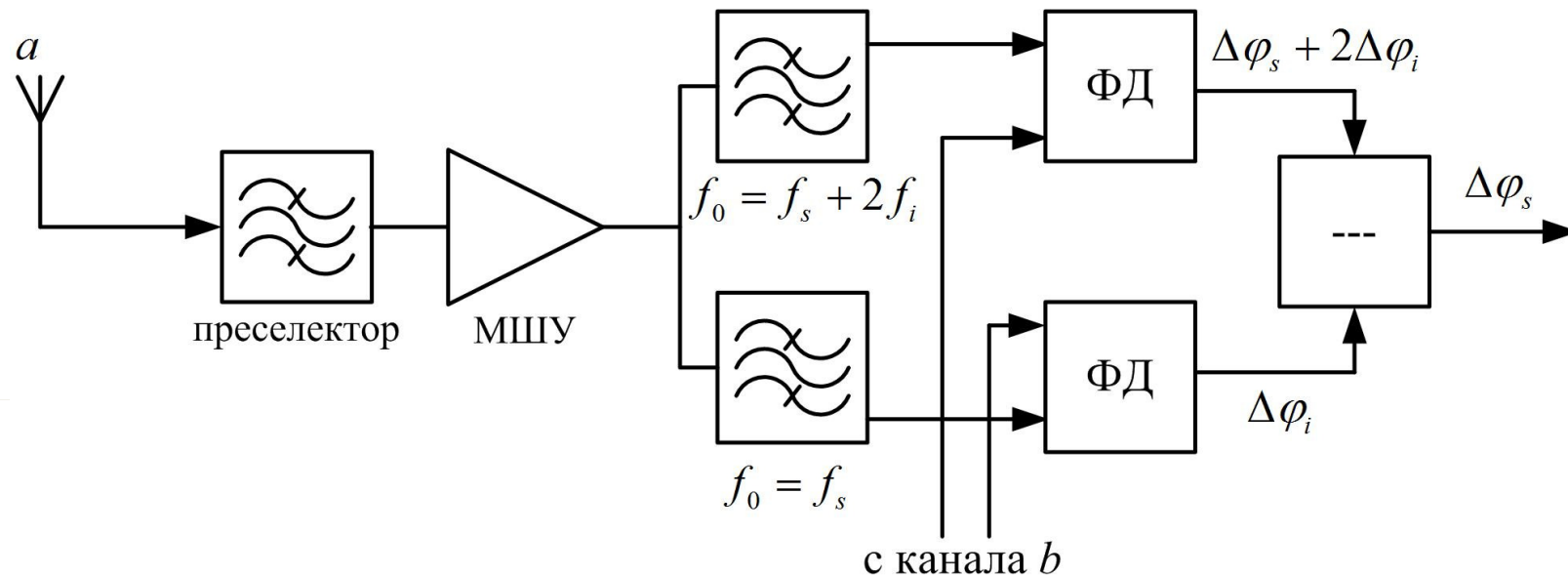


Примем на входе приемного устройства узкополосную смесь полезного сигнала (индекс s) и помехи (индекс i), попадающих в полосу обзора ω входных фильтров:

$$x(t) = X_s \sin(\omega_s t + \psi_s) + X_i \sin(\omega_i t + \psi_i) + n(t),$$

где $X_{s,i}$ — амплитуда, $\omega_{s,i}$ — несущая частота, $\psi_{s,i}$ — начальная фаза каждой составляющей смеси, $n(t)$ — гауссов шум. Полагаем $X_s < X_i$, $|\omega_s - \omega_i| \ll \omega_s$.

Использование продуктов взаимодействия сигнала и помехи на усилителе



$$y_{\omega}(t) = [a_1 X_s + 3a_3 X_i^2 X_s / 2] \sin(\omega_s t + \psi_s) + [a_1 X_i + 3a_3 X_i^3 / 4] \sin(\omega_i t + \psi_i) + 3a_3 X_i^2 X_s / 4 \cdot \sin((2\omega_i - \omega_s)t + 2\psi_i - \psi_s),$$

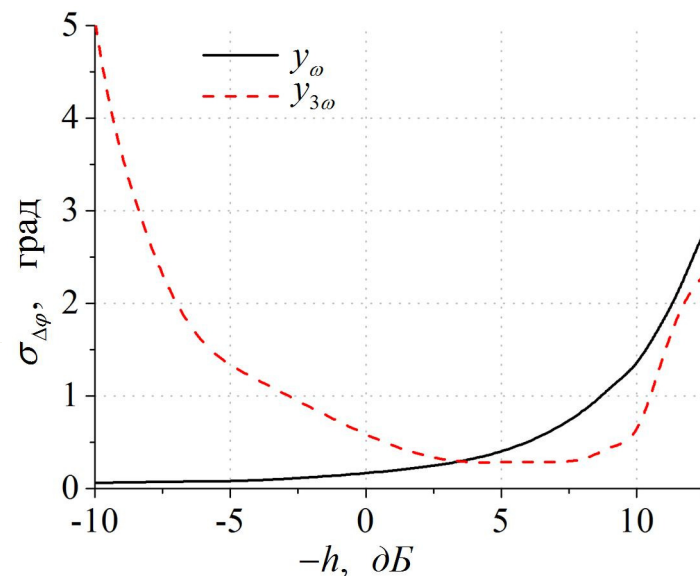
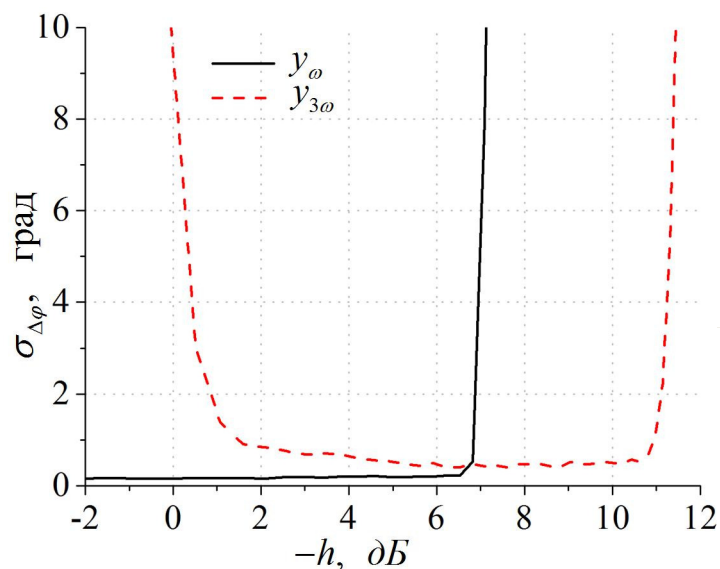
$$y_{3\omega}(t) = -a_3 \left[3X_i^2 X_s / 4 \cdot \sin((2\omega_i + \omega_s)t + 2\psi_i + \psi_s) + X_i^3 / 4 \cdot \sin(3\omega_i t + 3\psi_i) \right]$$

где a_v — коэффициенты полинома, аппроксимирующего проходную характеристику усилителя.

Использование продуктов взаимодействия сигнала и помехи на усилителе

Имитационное моделирование

Результаты эксперимента

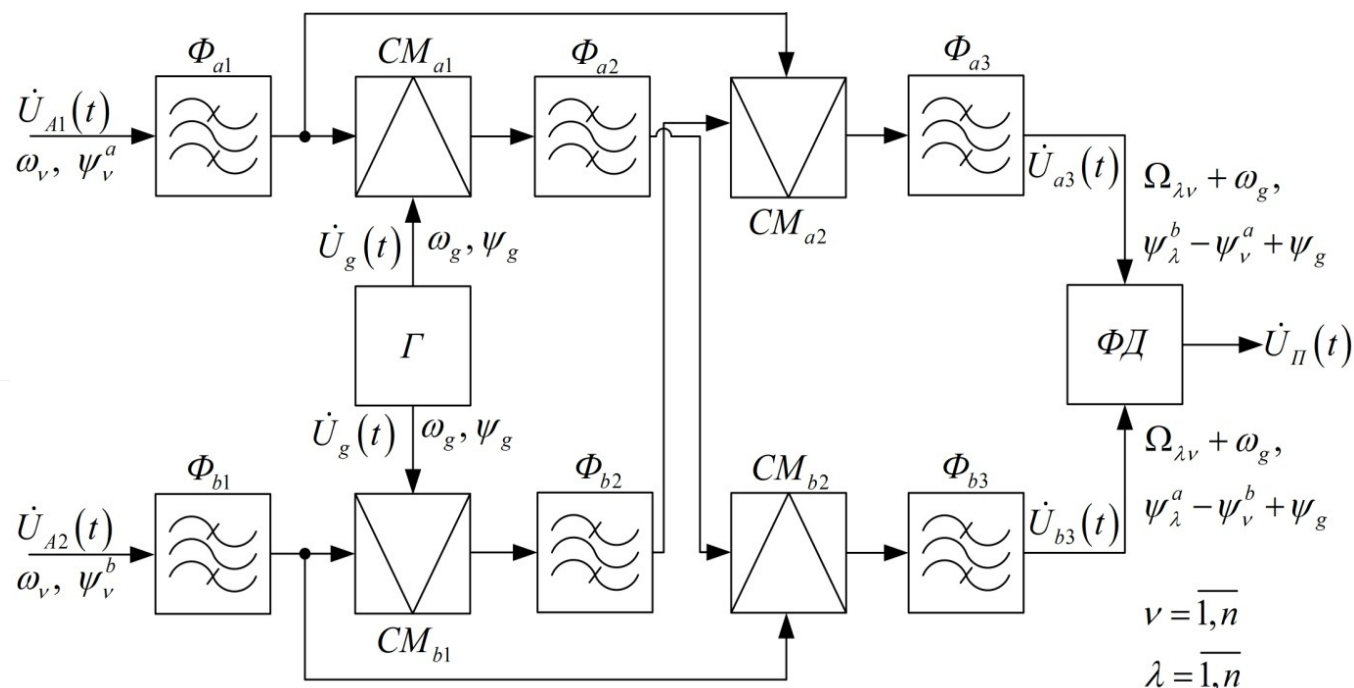


Увеличение отношения сигнал/помеха в полосе интермодуляции 3-го порядка по мощности $h_{3\omega}$ по сравнению с h_{ω} :

$$h_{3\omega} = 20 \ln \frac{3X_s}{X_i} \approx h + 9,5 \text{ (дБ)}.$$

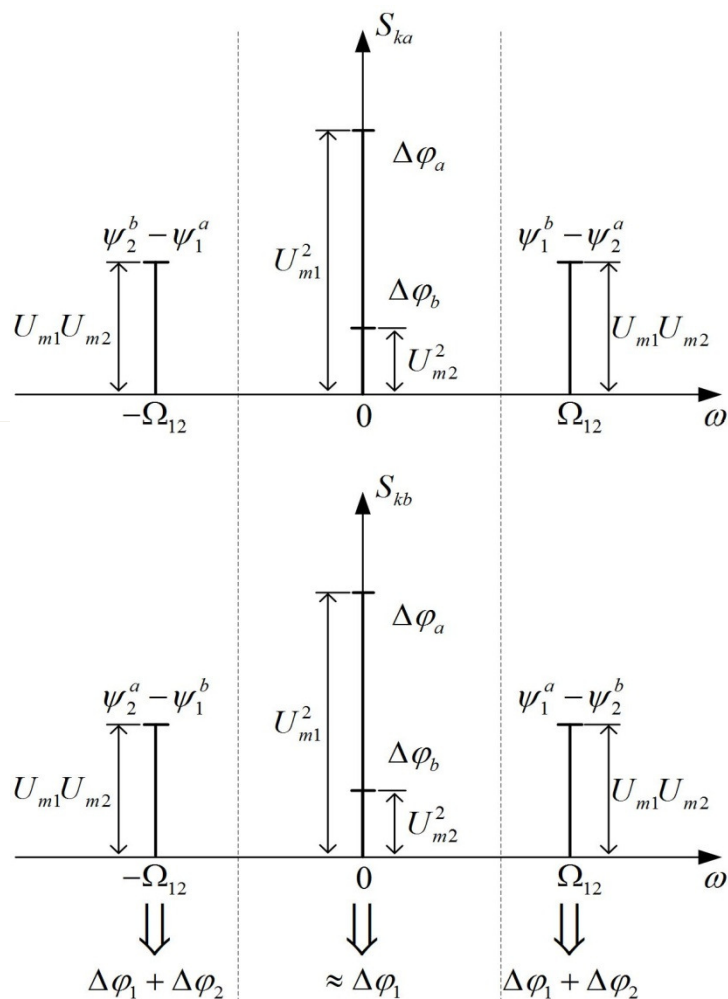
Усилитель AD8370 с цифровым управлением, АЦП AD9236 - 12 разрядов 80 MSPS, ПЛИС Xilinx Spartan-6 XC6SLX9

Использование продуктов взаимодействия сигнала и помехи на смесителе



Значимое преимущество схемы – обеспечение постоянства промежуточной частоты независимо от вариаций частоты входного сигнала. При этом стабильность промежуточной частоты определяется стабильностью гетеродина, который целесообразно сделать кварцевым.

Использование продуктов взаимодействия сигнала и помехи на смесителе



при $n = 2$ сигнал на выходе первого ФК

$$\begin{aligned} \dot{U}_{a2}(t) = & \frac{1}{4} U_{mg} e^{j(\omega_g t + \psi_g)} \times \\ & \times \left\{ U_{m1}^a U_{m1}^b e^{j(\psi_1^b - \psi_1^a)} + \right. \\ & + U_{m2}^a U_{m2}^b e^{j(\psi_2^b - \psi_2^a)} + \\ & + U_{m1}^a U_{m2}^b e^{-j\Omega_{12}t} e^{j(\psi_2^b - \psi_1^a)} + \\ & \left. + U_{m2}^a U_{m1}^b e^{j\Omega_{12}t} e^{j(\psi_2^b - \psi_1^a)} \right\}. \end{aligned}$$

Выделение боковых спектральных составляющих в каждом из фазовых каналов и вычитание из измеренной РФ для выделенных составляющих РФ на центральной составляющей = РФ для слабого сигнала

Введение опорного канала с целью уменьшения числа преобразований

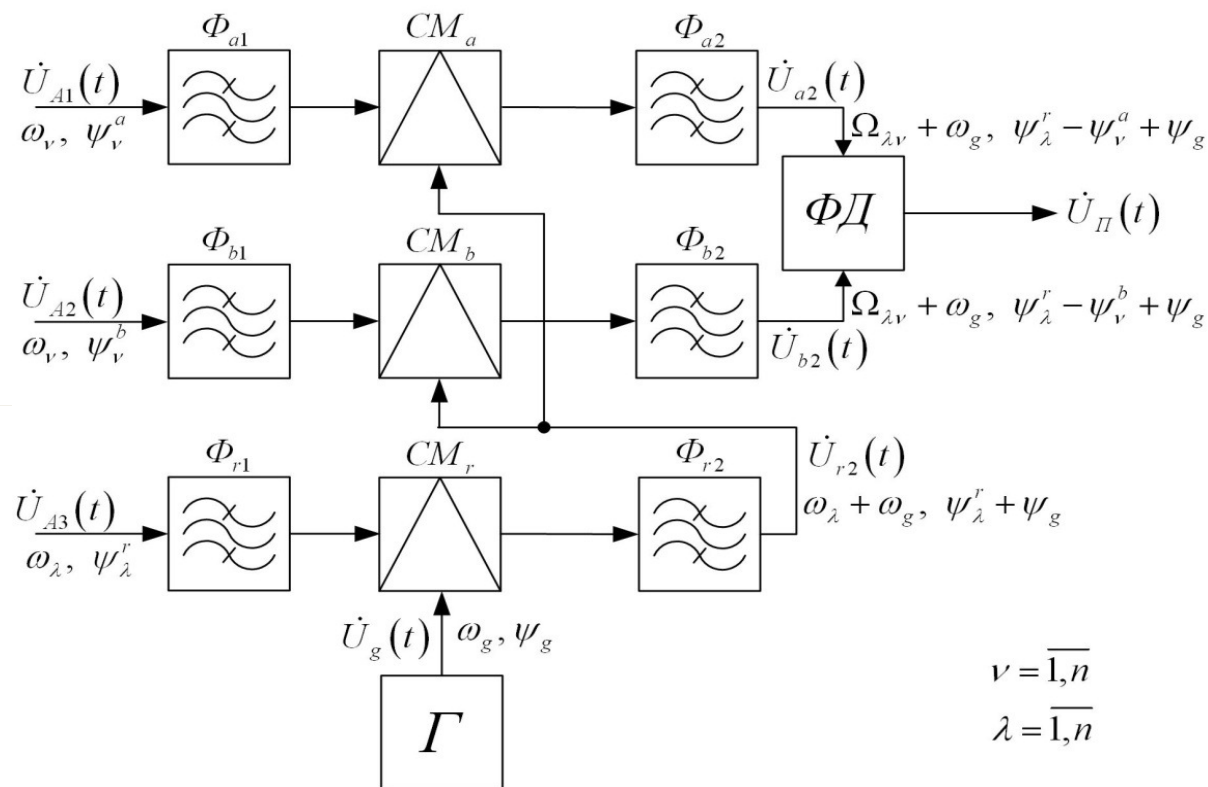
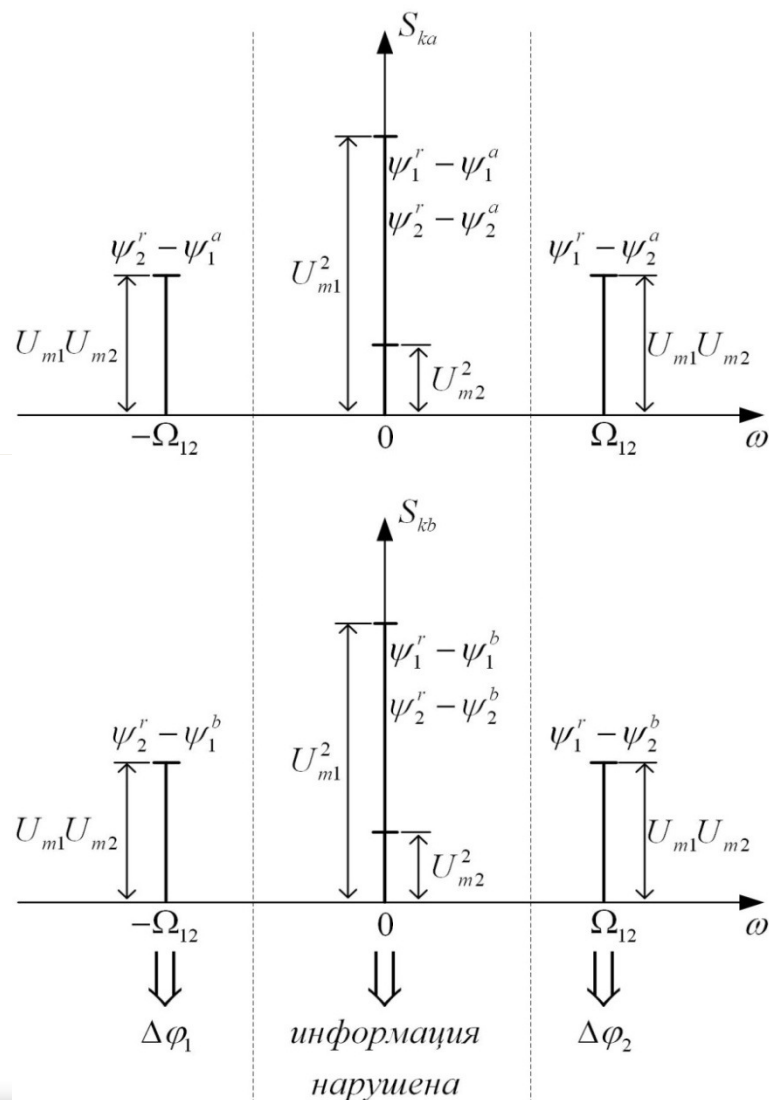


схема с дополнительным опорным каналом, коэффициент усиления которого можно сделать достаточно большим для наибольшего приближения данной схемы к схеме оптимального измерителя разности фаз.

Введение опорного канала с целью уменьшения числа преобразований

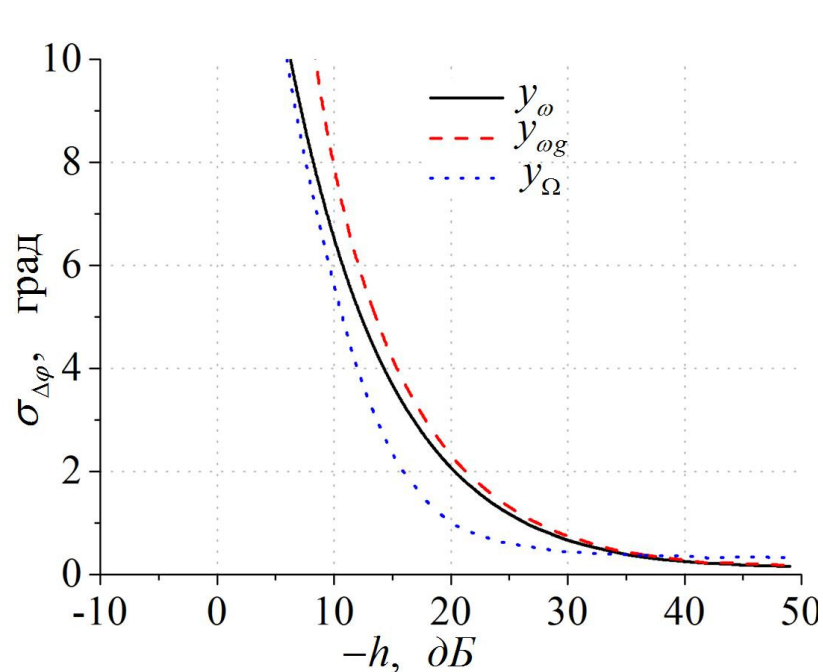


при $n = 2$ сигнал на выходе первого ФК

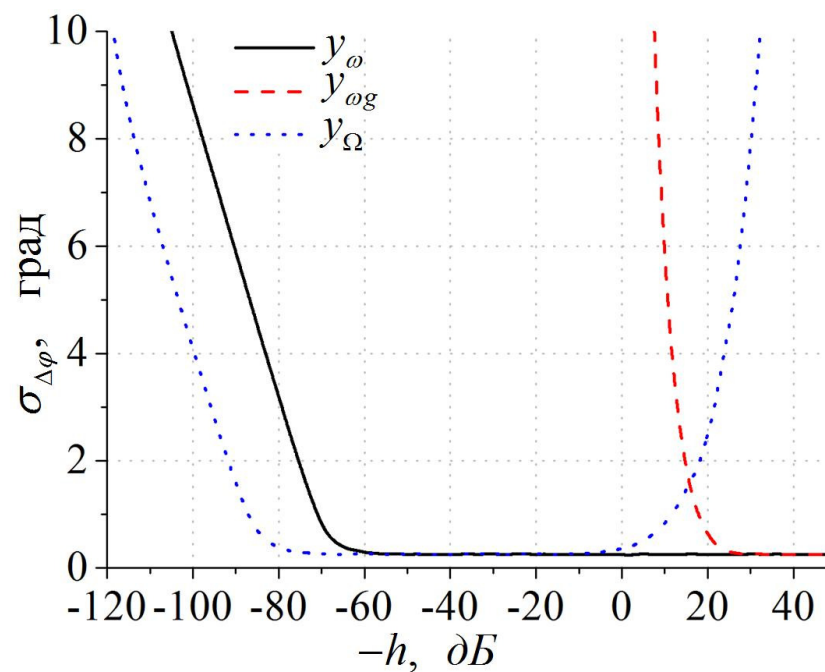
$$\begin{aligned} \dot{U}_{a2}(t) = & \frac{1}{4} U_{mg} e^{j(\omega_g t + \psi_g)} \times \\ & \times \left\{ U_{m1}^a U_{m1}^r e^{j(\psi_1^r - \psi_1^a)} + \right. \\ & + U_{m2}^a U_{m2}^r e^{j(\psi_2^r - \psi_2^a)} + \\ & + U_{m1}^a U_{m2}^r e^{-j\Omega_{12}t} e^{j(\psi_2^r - \psi_1^a)} + \\ & \left. + U_{m2}^a U_{m1}^r e^{j\Omega_{12}t} e^{j(\psi_2^r - \psi_1^a)} \right\}. \end{aligned}$$

Выделение боковых спектральных составляющих в каждом из фазовых каналов и измерение их РФ позволяет получить неискаженную информацию об углах прихода каждого из сигналов

Введение опорного канала с целью уменьшения числа преобразований



а)



б)

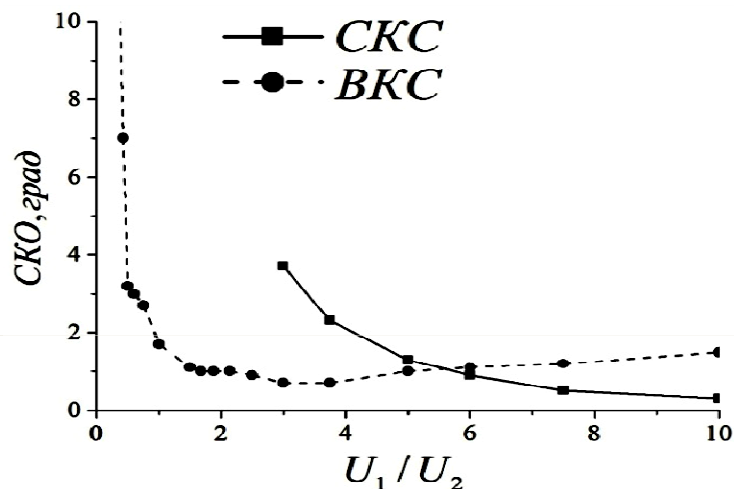
СКО измерения РФ с помощью обычного приемника, на СКС и ВКС соответственно в зависимости от отношения сигнал/помеха на входе при разносе по частоте а) 0,1 МГц; б) 3 МГц

Введение опорного канала с целью уменьшения числа преобразований

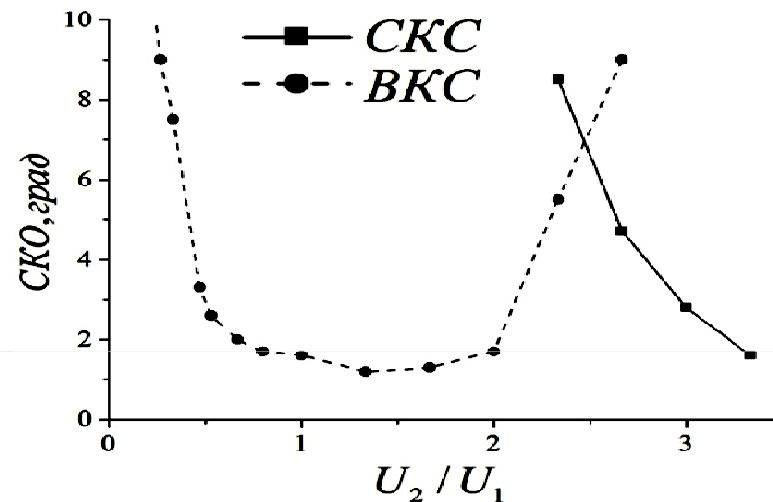
Частота биений

3 кГц

Первый ИРИ

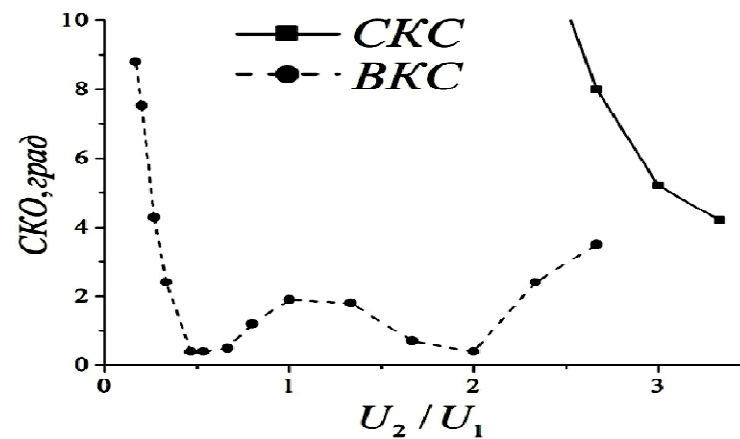
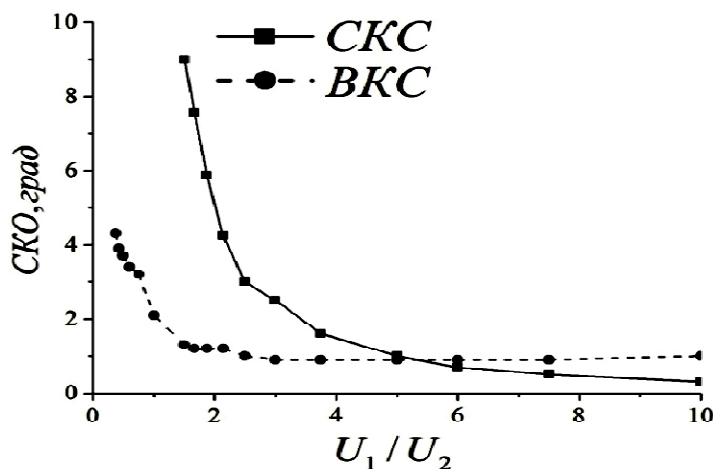


ЭКСПЕРИМЕНТ

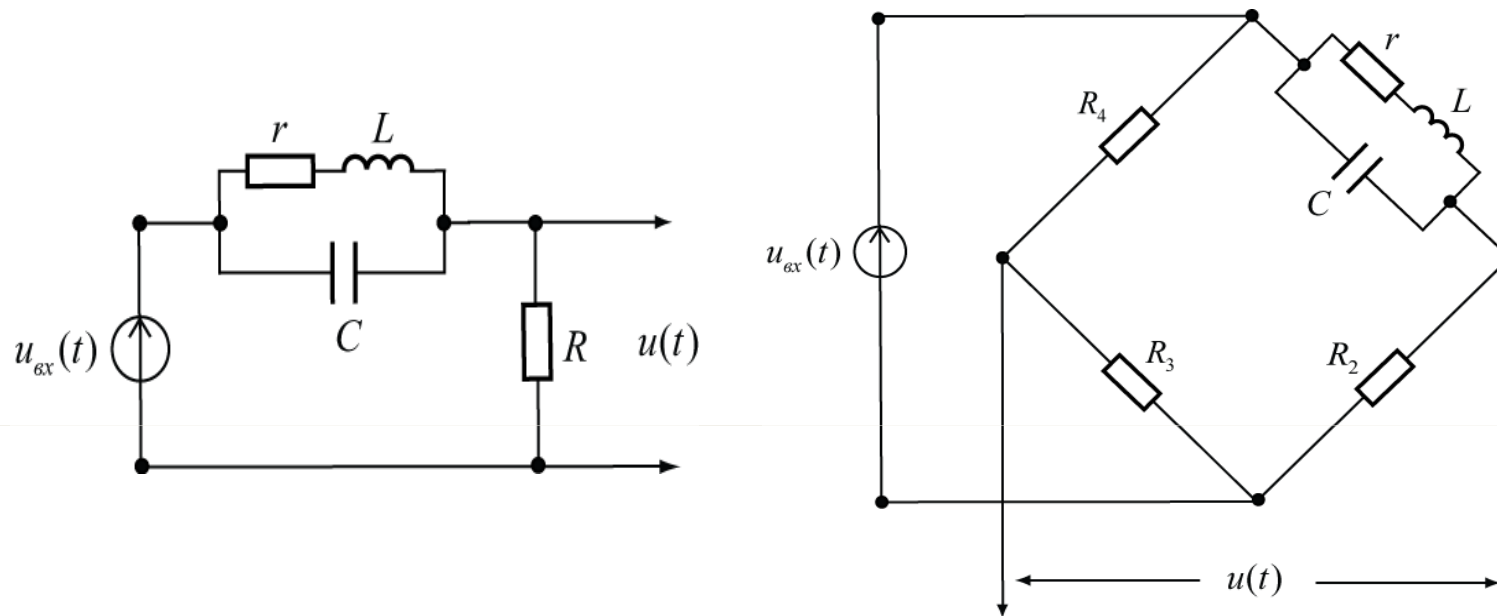


Второй ИРИ

15 кГц

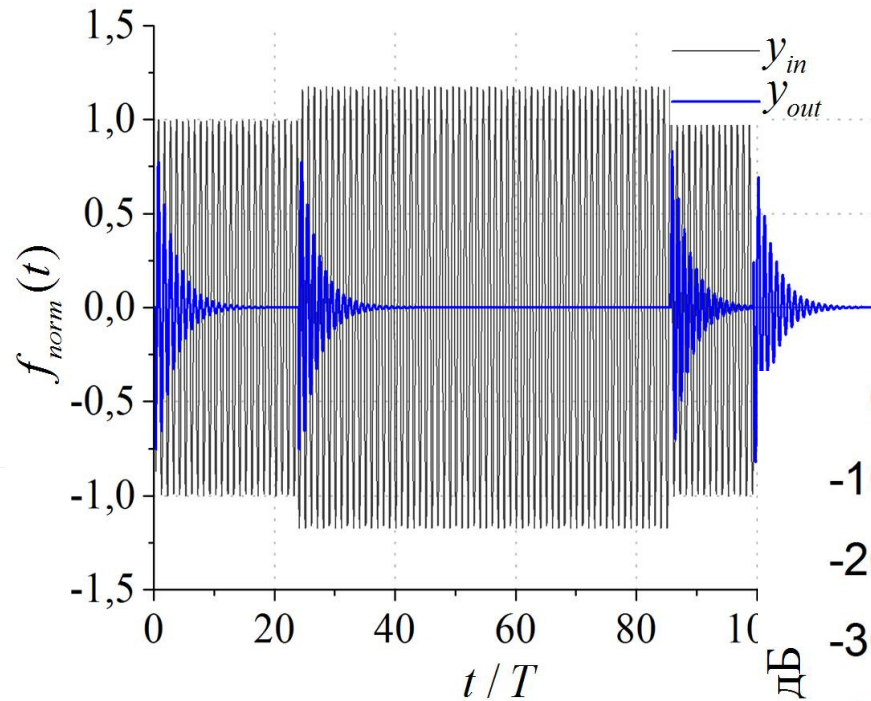


Применение схемы укорочения импульсных радиосигналов



Резисторы левого плеча подбираются из условия баланса моста на резонансной частоте: $R_3 / R_4 = R_2 / |k(j\omega_r)|$, где $|k(j\omega_r)| = \rho^2 / r$ — сопротивление параллельного контура при резонансе: $\rho = \sqrt{L/C}$ — характеристическое сопротивление контура.

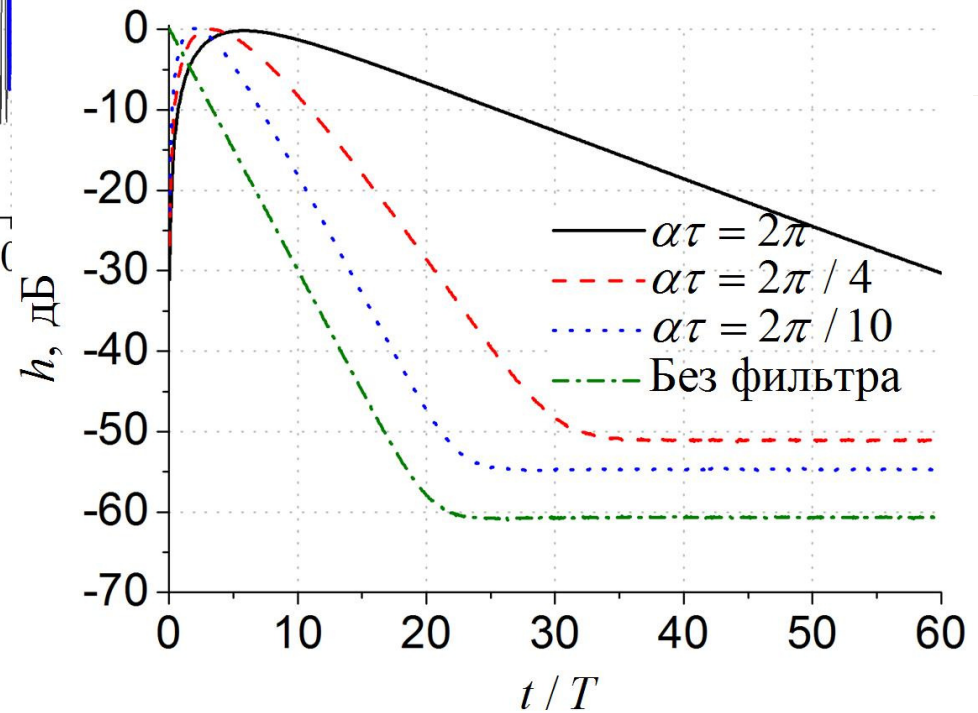
Применение схемы укорочения импульсных радиосигналов



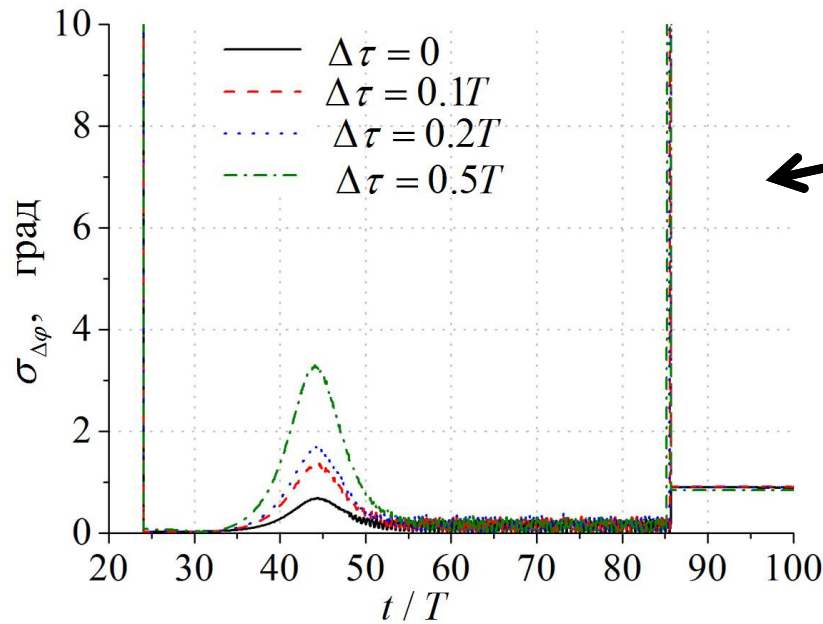
Результирующий сигнал на выходе
схемы укорочения



Огибающая радиосигнала на выходе
мостовой схемы укорочения при
различной ширине полосы
пропускания предшествующего
избирательного фильтра



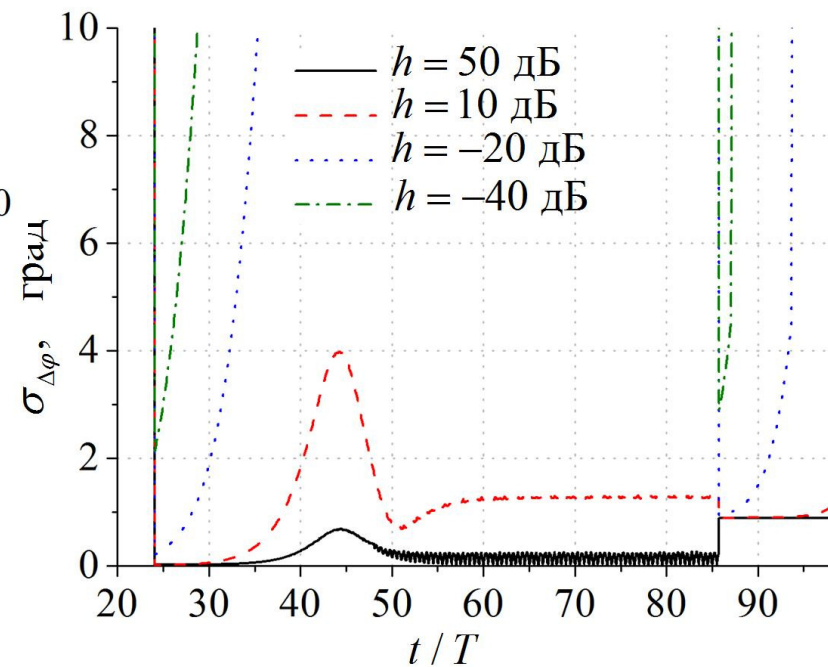
Применение схемы укорочения импульсных радиосигналов



СКО РФ сигнала в зависимости от временного сдвига между фазовыми каналами



СКО РФ для полезного сигнала в зависимости от мощности помехи



Заключение

- Предложен способ повышения точности измерения разности фаз непрерывных сигналов в присутствии отстроенной по частоте помехи, превышающей по мощности полезный сигнал, с помощью продуктов интермодуляции третьего порядка, а также экспериментально подтверждена его эффективность.
- Экспериментально подтверждена эффективность способа повышения точности измерения разности фаз непрерывных сигналов в присутствии мощной отстроенной по частоте помехи для фазового пеленгатора, построенного по взаимо-корреляционной схеме.
- обоснована возможность использования схемы укорочения импульсных радиосигналов для выделения действительной разности фаз полезных сигналов в присутствии смещенной во времени импульсной помехи, в том числе отстроенной по частоте. Даны рекомендации по использованию подобной схемы в составе радиоэлектронной системы.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!