

УДК 621.396.62:621.3.029

УЛУЧШЕНИЕ СТРУКТУРЫ ЧАСТОТНО-ИЗБИРАТЕЛЬНОГО ПРИЁМНИКА ШИРОКОПОЛОСНОГО ДИАПАЗОНА

Д. В. Гасилин

АО «ЦКБА», 644022, г. Омск, Космический проспект, 24а

В статье предложен вариант улучшения структуры частотно-избирательного приёмника широкополосного диапазона путём добавления цифрового узкополосного фильтра в каналы приёмника и применения алгоритма цифровой обработки сигналов высокого разрешения. Приёмник является широкополосным с возможностью одновременной обработки широкополосного и узкополосного сигналов на основе цифровых фильтров промежуточных частот.

Ключевые слова: частотно-избирательный приёмник, цифровая обработка сигналов, разность фаз, частота дискретизации, частотная модуляция

Сведения об авторе: Гасилин Дмитрий Вадимович, инженер АО «ЦКБА», 644027, г. Омск, Космический проспект, 24а, gaseffort@gmail.com

IMPROVING OF THE FREQUENCY-SELECTIVE BROADBAND RECEIVER STRUCTURE

D. V. Gasilin

SC «CKBA», 644027, Russia, Omsk, Kosmicheskij prospect, 24a

The article suggests a variant of improving the structure of a frequency-selective broadband receiver by adding a digital narrow-band filter to the receiver channels and applying the algorithm for digital processing of high resolution signals. The receiver is broadband with the ability to simultaneously process broadband and narrowband signals based on digital filters of intermediate frequencies.

Keywords: frequency-selective receiver, digital signal processing, difference in phase, sampling frequency, frequency modulation

Data of author: Gasilin Dmitry Vadimovich, gaseffort@gmail.com

Введение

Задача данной статьи показать способ улучшения структуры частотно-избирательного приёмника широкополосного диапазона путём добавления цифрового узкополосного фильтра в каналы приёмника и применения алгоритмов цифровой обработки сигналов высокого разрешения.

Структурная схема одного из N каналов широкополосного приёмника с первичной частотной селекцией, осуществляемой фильтром-преселектором промежуточной

частоты с реализуемыми полосой пропускания и центральной частотой, показана на рис. 1.

В радиолокационных системах объектом наблюдения является источник излучения радиоволн с некоторыми параметрами. При определении пространственного положения источника могут учитываться следующие параметры: амплитуда принятого сигнала, его частота, длительность, фаза относительно опорного генератора и их комбинации. Таким образом, система определения координат должна быть многоканальной как мини-

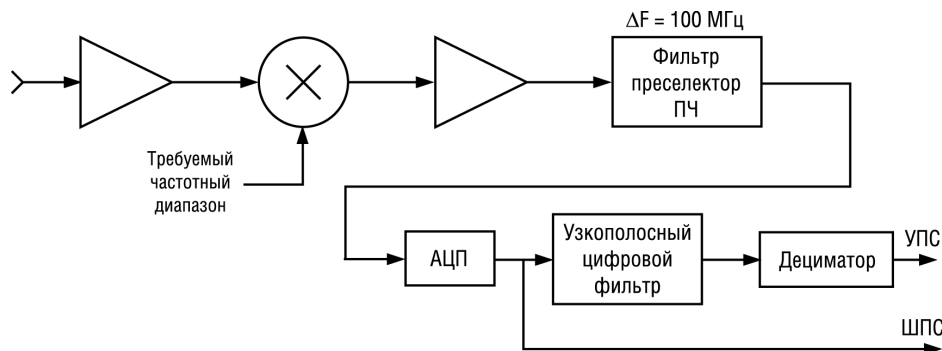


Рис. 1

Структурная схема одного из N каналов широкополосного приёмника

мум по типам измерений. При определении координат источника излучения могут применяться так называемые фазовые методы. В простейшем случае фазовый измеритель координаты состоит из двух пространственно разнесённых антенн, на которые принимаемый сигнал приходит в несколько различной фазе. По разности фаз сигналов с двух антенн по известным формулам можно вычислить одну угловую координату. Данный способ накладывает ограничения на принимаемый сигнал вследствие неоднозначности измерения разности фаз на достаточно высоких частотах и/или присутствия нескольких источников излучения. Расширить данный метод можно, переходя к комплексным корреляционным измерениям на антенной решётке некоторой геометрии. Результатом измерений в этом случае является не разность фаз, а комплексная корреляционная матрица измерений. Пусть x_1, \dots, x_N – векторы отсчётов комплексных амплитуд с N датчиков антенной решётки, где $x_i = [x_i(t_0), \dots, x_i(t_M)]^T$, t_0, \dots, t_M – отсчёты времени. Корреляционной матрицей измерений называется

$$R_{xx} = \begin{bmatrix} E(x_1 \cdot x_1^*) & \dots & E(x_1 \cdot x_i^*) & \dots & E(x_1 \cdot x_N^*) \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ E(x_i \cdot x_1^*) & \dots & E(x_i \cdot x_i^*) & \dots & E(x_i \cdot x_N^*) \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ E(x_N \cdot x_1^*) & \dots & E(x_N \cdot x_i^*) & \dots & E(x_N \cdot x_N^*) \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где $E(\cdot)$ – оператор усреднения. Матрица R_{xx} поставляет полную информацию, которую даёт многобазовая измерительная система. Заметим, что взяв фазу любого недиа-

гонального элемента матрицы R_{xx} , получим разность фаз между сигналами с соответствующих антенн. Таким образом, комплексная корреляционная матрица передаёт амплитудно-фазовые соотношения между всеми парами датчиков [1].

В качестве примера рассмотрим правильную кольцевую антенную решётку, состоящую из N равномерно распределённых по окружности радиуса r с центром в начале координат идентичных изотропных датчиков, расположенную в плоскости xOy . На решётку воздействуют d волновых фронтов от бесконечно удалённых источников с волновыми числами $k_i = \frac{2\pi}{\lambda_i}$, где λ_i – длина волн, приходящих с направления, $\vec{r}_i = (\sin \theta_i \cos \varphi_i, \sin \theta_i \sin \varphi_i, \cos \theta_i)$, θ_i, φ_i – углы возвышения и азимута в принятых координатах. Примем следующую модель сигнала: $x(t) = As(t) + n(t)$, где A – матрица отклика решётки, $s(t)$ – вектор гармонических составляющих сигнала, $n(t)$ – вектор шума измерений, $t = t_1, \dots, t_M$. В случае, когда на решётку воздействует один источник излучения в отсутствие шума, $s(t) = e^{j\omega t}$, $A = (ae^{jk \sin \theta \cos(\varphi - \varphi_1)}, \dots, ae^{jk \sin \theta \cos(\varphi - \varphi_N)})^T$, $R_{xx} = E(x \cdot x^*) = E(As(t) \cdot (As(t))^*) = AR_{ss}A^* = AA^*$.

Корреляционная матрица измерений при этом имеет вид

$$R_{xx} = \begin{bmatrix} 1 & \dots & a^2 e^{j\Delta\varphi_{1,i}} & \dots & a^2 e^{j\Delta\varphi_{1,N}} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a^2 e^{j\Delta\varphi_{i,1}} & \dots & 1 & \dots & a^2 e^{j\Delta\varphi_{i,N}} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a^2 e^{j\Delta\varphi_{N,1}} & \dots & a^2 e^{j\Delta\varphi_{N,i}} & \dots & 1 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где $\Delta\varphi_{j,i}$ – разность фаз между j -м и i -м датчиками соответственно [2].

Таким образом, многоканальная измерительная система должна обеспечивать измерение совокупностей разностей фаз между каналами, а в общем случае и амплитуду сигнала. Алгоритм расчёта для приёмника со сверхширокополосной цифровой обработкой сигналов приведён в статье [3].

Применение цифровых фильтров радиочастотных сигналов в совокупности с алгоритмами высокого разрешения в СВЧ широкополосных приёмниках позволяет достигнуть качественно новых свойств:

- высокой частотной избирательности и чувствительности;
- повышения помехозащищённости в плотной радиолокационной обстановке;
- технологических преимуществ.

На рис. 2 отображены результаты, полученные в ходе практической реализации

проекта (подаются два непрерывных сигнала через сумматор с ослаблением 6 дБ; сигналы заметно отличаются по частоте).

Заключение

Проведённая экспериментальная проверка подтвердила работоспособность реализованной конструкции и применённых алгоритмов, показала возможность получения высоких характеристик точности при измерении близких частот, разностей фаз для непрерывных сигналов в сочетании со сверхширокополосностью и возможностью обработки нескольких сигналов [3]. Полученные результаты будут применены в аппаратно-программном комплексе, который предполагается использовать в перспективных разработках сверхширокополосной системы, требующей высоких характеристик по быстродействию, высокой точности измерения разности фаз, несущей частоты и амплитуды сигналов.

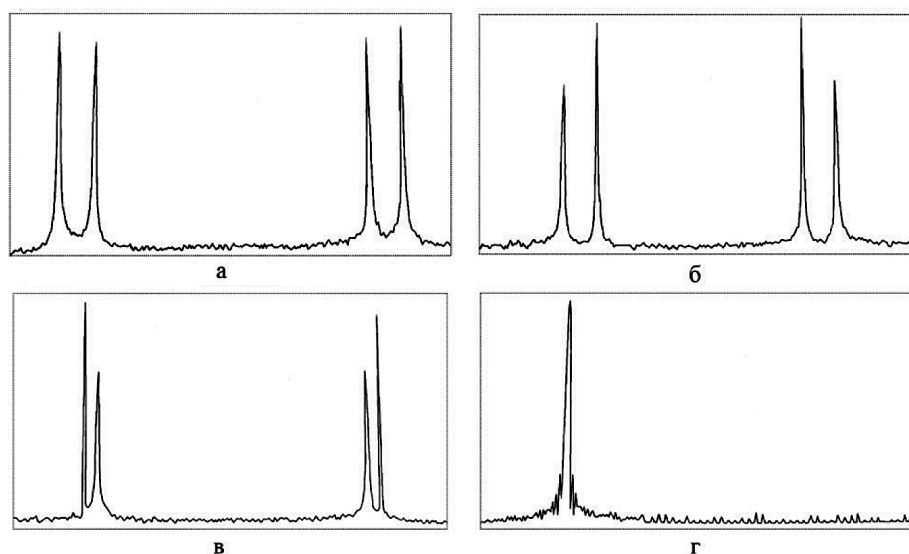


Рис. 2

Результаты подачи двух непрерывных сигналов на разных частотах через сумматор с ослаблением 6 дБ

- а* – два непрерывных сигнала через сумматор с ослаблением 6 дБ, частоты 91,150 и 100,000 МГц;
- б* – два непрерывных сигнала через сумматор с ослаблением 6 дБ, частоты 21,35 и 30,00 МГц;
- в* – два непрерывных сигнала через сумматор с ослаблением 6 дБ, частоты близкие – 18,10 и 21,05 МГц;
- г* – два непрерывных сигнала через сумматор с ослаблением 6 дБ, частоты очень близкие – 18,10 и 18,30 МГц; сигналы неразрешимы по Релею, измеряем 18,19 МГц [3]

Литература

1. James Tsui, Chi-Hao Cheng. Digital Techniques for wideband receivers, 3rd Edition. – SciTech Publishing, 2015. – 609 p.
2. Ansari R., Liu B. Multirate signal processing, in Mitra SK, Kaiser JF (eds.), Handbook for Digital Signal Processing. – New York: John Wiley & Sons, 1993.
3. Гасилин Д.В., Котельников В.Г. Алгоритм для частотно-избирательного приёмника со сверхширокополосной цифровой обработкой сигналов // Электронная техника. Серия 2. Полупроводниковые приборы. – 2016. – Вып. 3 (242). – С. 22-26.

References

1. James Tsui, Chi-Hao Cheng. Digital Techniques for wideband receivers, 3rd Edition. – SciTech Publishing, 2015. – 609 p.
2. Ansari R., Liu B. Multirate signal processing, in Mitra SK, Kaiser JF (eds.), Handbook for Digital Signal Processing. – New York: John Wiley & Sons, 1993.
3. Gasilin D.V., Kotelnikov V.G. Algorithm for frequency-selective receiver with ultra-wideband digital signal processing. *Elektronnaya tekhnika. Ser. 2. Poluprovodnikoviyе pribory* [Electronic engineering. Ser. 2. Semiconductor devices], 2016, №3 (242), pp. 22-26.