



УДК 621.396.96

Методика оценки интервалов когерентности радиотрактов РЛС

Д.С. Очков, Е.А. Силаев, И.С. Формальный

Рассмотрена методика оценки интервалов когерентности радиотрактов РЛС различных диапазонов частот. Приведены расчеты достижимой длительности когерентного сигнала и дальности действия когерентных локаторов.

Estimation of radar's intervals of coherence

D.S. Ochkov, E.A. Silaev, I.S. Formalnov

Method of estimation of radar's intervals of coherence is discussed. Calculations of possible coherence intervals are given.

Введение.

Использование в РЛС когерентного формирования и обработки сигналов значительно повышает энергетический потенциал и точностные характеристики радиолокаторов [1], [2]. Представляет интерес оценить достижимые интервалы когерентности радиотрактов РЛС различных диапазонов частот, дать рекомендации по их проектированию.

В работе [3] даны оценки интервалов когерентности отдельных источников высокостабильных колебаний миллиметрового диапазона с использованием экстраполяции спектральной плотности фазовых шумов в область малых отстроек частоты. В данной работе сделана попытка оценить достижимые интервалы когерентности с учетом особенностей построения радиотракта РЛС с использованием результатов измерений кратковременной нестабильности частоты различных опорных кварцевых генераторов.

Методика оценки.

Упрощенно структурную схему радиотракта РЛС с точки зрения преобразования сигнала по частоте можно представить следующим образом (см. рис. 1).

Все опорные, гетеродинные и синхросигналы формируются от одного высокостабильного опорного генератора. Используются одни и те же опорные и гетеродинные сигналы при переносе зондирующих сигналов с промежуточной частоты (ПЧ) на

несущую частоту и преобразовании эхо-сигналов с несущей на ПЧ, а также при формировании и обработке сигналов на ПЧ. Такая структура построения радиотракта выбрана с целью увеличения интервала когерентности.

Для успешного проведения когерентной обработки сигнала длительностью T_c после его формирования на ПЧ, переноса на несущую частоту, излучения, отражения от объекта локации, приема, преобразования на ПЧ необходимо, чтобы разность фаз между началом и концом сигнала на входе устройства обработки, возникающая из-за флуктуаций частоты опорных и гетеродинных колебаний (т.е. за вычетом регулярного набега фазы), была не более заданной величины $\Delta\Psi$.

Без ограничения общности примем, что сигнал представляет собой непрерывное гармоническое колебание длительностью T_c . Положим также, что случайное относительное отклонение частоты опорного генератора на временном интервале t в момент времени t характеризуется дисперсией Аллана $\delta f(t, t)$, принятой для оценки кратковременной нестабильности частоты [4].

Найдем максимально возможную разность фаз между началом и концом сигнала длительностью T_c на входе устройства обработки (после квадратурного преобразователя или какого-либо другого устройства, выделяющего фазу сигнала), предположив, что объект локации расположен на расстоянии R_u , а время распространения сигнала до цели и обратно $T_3 = 2R_u/c$.

Фаза начала сигнала на входе устройства обработки:

$$\Psi_{НАЧ} = \Psi_0 + 2pf_{ПЧ}(t_0 + T_3) + 2pf_{Г}(t_0 + T_3) - 2pf_{Г}(t_0 + T_3 + df(T_3, t_0)T_3) + 2pf_{ПЧ}(t_0 + T_3 + df(T_3, t_0)T_3) \quad (1)$$

Фаза конца сигнала на входе устройства обработки

$$\Psi_{КОН} = 2pf_{ПЧ}(t_0 + T_c + T_3 + df(T_c, t_0)T_c) + 2pf_{Г}(t_0 + T_c + T_3 + df(T_c, t_0)T_c) - 2pf_{Г}(t_0 + T_3 + T_c + df(T_c, t_0)T_c + df(T_3, t_0 + T_c)T_3) + 2pf_{ПЧ}(t_0 + T_3 + T_c + df(T_3, t_0)T_3 + df(T_c, t_0 + T_3)T_c) + \Psi_0 \quad (2)$$

Найдем разность фаз

$$\Delta\Psi_c = 2pf_{ПЧ}(2T_c + df(T_c, t_0)T_c + df(T_c, t_0 + T_3)T_c) + 2pf_{Г}(-df(T_3, t_0 + T_c)T_3 + df(T_3, t_0)T_3) \quad (3)$$

Нас интересует только возможный паразитный набег фазы. Поэтому из выражения (3) уберем регулярный набег $2pf_{ПЧ}2T_c$, а остальное преобразуем к виду

$$\Delta\Psi_{c_МАКС} = 4pf_{ПЧ}df(T_c)T_c + 4pf_{Г}df(T_3)T_3 \quad (4)$$

В случае, если в радиотракте производится n преобразований по частоте при переносе зондирующих сигналов с ПЧ на несущую частоту и преобразовании эхо-сигналов с несущей на ПЧ, выражение (4) примет вид

$$\Delta\Psi_{c_МАКС} = 4pf_{ПЧ}df(T_c)T_c + \sum_{i=1}^n 4pf_{Г}df(T_3)T_3 \quad (5)$$

С учетом того, что

$$f_{HEC} = \sum_{i=1}^n f_{\Gamma_i} \pm f_{ПЧ}, \quad (6)$$

преобразуем (5) к виду

$$\Delta\Psi_{C_МАКС} = 4\rho f_{ПЧ} df(T_c)T_c + 4\rho (f_{HEC} \pm f_{ПЧ}) df(T_3)T_3 \quad (7)$$

Известно [5], что величина несущей частоты обычно на порядок превышает значение $f_{ПЧ}$. Из этого следует, что при традиционном построении радиотракта величиной $f_{ПЧ}$ во втором слагаемом выражения (7) можно пренебречь.

Отметим, что при выводе конечных выражений не учитывались изменения во времени (на интервале T_c) комплексного коэффициента передачи среды распространения и комплексного коэффициента отражения объекта, а принимались во внимание только фазовые флуктуации радиотракта РЛС.

Анализ результатов.

Из (7) можно сделать ряд выводов и рекомендаций для увеличения интервала когерентности радиотракта РЛС, а именно:

1) Возможная длительность когерентного сигнала не зависит от величины несущей частоты и дальности действия когерентного локатора, а определяется параметрами опорного генератора и значением промежуточной частоты, на которой производится формирование и обработка сигнала.

2) Для увеличения длительности когерентного сигнала следует снижать промежуточную частоту, на которой производится формирование и обработка сигнала.

3) Возможная дальность действия когерентного локатора не зависит от длительности когерентного сигнала, а определяется параметрами опорного генератора и значением несущей частоты.

4) Для увеличения дальности действия следует снижать несущую частоту.

Для расчетов по формуле (7) примем довольно жесткое, но распространенное в радиолокации условие $\Delta\Psi = \pi/20$.

Тогда зависимости требуемой дисперсии Аллана $\delta f(\tau)$ опорных колебаний для локаторов X (кривая 1), Ka (кривая 2) и W (кривая 3) диапазонов от величины интервала когерентности τ , т.е. от заданных T_3 или $R_{ц}$, примут вид, представленный на рис. 2. На этом же рисунке приведена зависимость $\delta f(T_c)$ при $f_{ПЧ} = 100$ МГц (кривая 10).

Понятно, что для обеспечения заданной дальности действия того или иного когерентного локатора кривые дисперсии Аллана $\delta f(\tau)$ реальных опорных генераторов должны располагаться под приведенными на рисунке расчетными кривыми на всем протяжении заданной дальности. То же самое касается и обеспечения заданной дли-

тельности когерентного сигнала.

На рис.2 представлены также экспериментальные кривые дисперсии Аллана опорных кварцевых генераторов разных диапазонов (2,5 МГц – кривая 4 [6], 5 МГц – кривая 5 [8], 10 МГц – кривая 6 [7], 110 МГц – кривая 7 [9], 160 МГц – кривая 8 , 308 МГц – кривая 9). Кварцевые генераторы на частоты 160 МГц и 308 МГц разработаны авторами и результаты измерений дисперсии Аллана представлены в данной статье впервые.

Заключение.

Из анализа приведенных зависимостей следует, что высокочастотные кварцевые генераторы (100-400 МГц) обеспечивают возможную дальность действия когерентного локатора до 2 тысяч километров в W диапазоне, до 5 тысяч километров в Ka диапазоне и до 20 тысяч километров в X диапазоне. При этом обеспечивается длительность когерентного сигнала до 1-2 секунд.

Что касается прецизионных генераторов диапазона 2-10 МГц, то они реализуют длительность когерентного сигнала в десятки секунд, но требуется более детальное исследование поведения дисперсии Аллана на временных интервалах 1-10 мс, чтобы сделать заключение о возможности их применения в когерентных локаторах Ka и W диапазонов.

Видимо, достоинства низкочастотных и высокочастотных кварцевых генераторов можно объединить, используя их совместно в схеме с ФАПЧ [10].

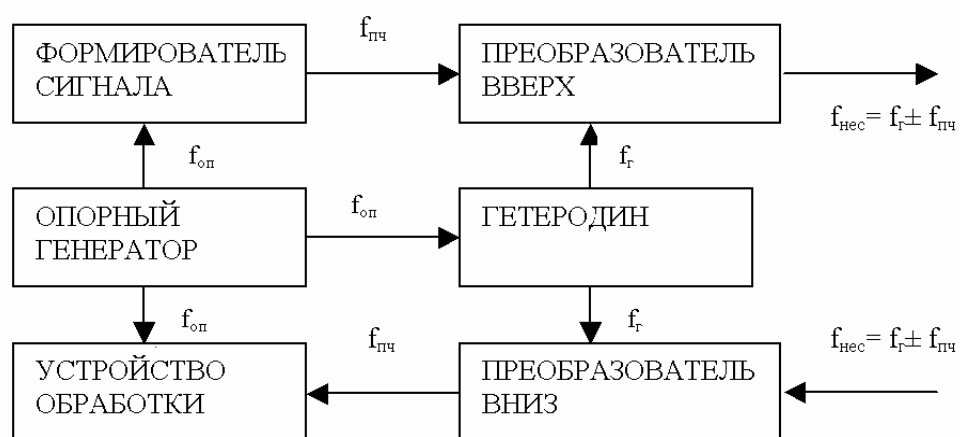


Рис. 1. Структурная схема радиотракта РЛС.

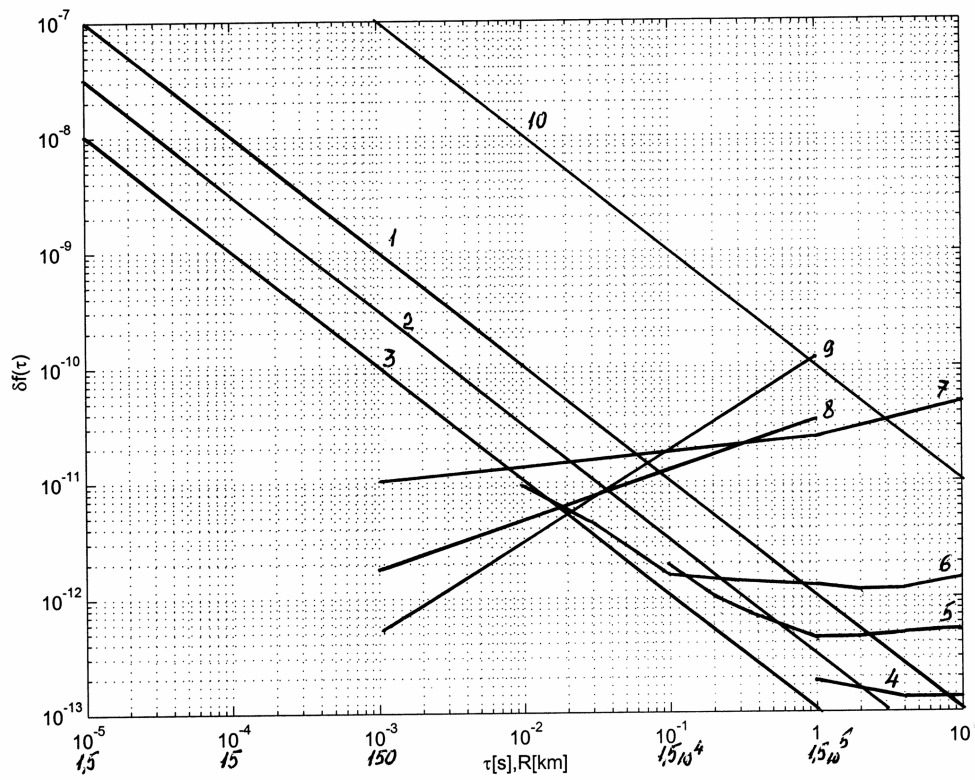


Рис. 2. Кривые оценки когерентности радиотракта РЛС по дисперсии Аллана.

ЛИТЕРАТУРА

1. A.Moussessian, R.L.Jordan, E.Rodriguez, A.Safaeinili, T.L.Akins,W.N.Edelstein, Y.Kim, S.P.Gogineni. A new coherent radar for ice sounding in Greenland.- Proc. IEEE, 2000.
2. Г.П. Кобельков, А.А. Курикша, Б.А. Левитан, Д.С. Очков, Г.К. Соловьёв, А.А. Толкачёв, С.А. Топчиев, В.Е. Фарбер. Обоснование возможности и целесообразности создания РЛС радиовидения в миллиметровом диапазоне длин волн. – Радиотехника, 2006, № 1.
3. Д.В. Богомолов, Д.С. Очков. Оценка интервалов когерентности высокостабильных колебаний источников миллиметрового диапазона. – Радиотехника и электроника, 1995, № 1.
4. D.W. Allan and Y.A. Barnes. A modified “Allan variance” with increased oscillator characterization ability. – Proc. 35th Ann. Frequency Control Symposium, May 1981, pp. 470-475.
5. Справочник по радиолокации, т.3, под ред. М. Сколника, М. Советское радио, 1979.
6. Y.Y. Gagnepain, M. Oliver, F.L. Walls. Excess noise in quartz crystal resonators. - Proc. 37th Ann. Frequency Control Symposium, Yune 1983, pp. 218-225.
7. S.V. Anastasyev, A.A. Volkov, Y.L. Vorokhovsky. A new high stability DOCXO. Statistics of results of frequency stability measurments.- Proc. 48th IEEE Int. Frequency Control Symposium, May 2002, pp. 633-638.
8. Y.L. Vorokhovsky, S.V. Anastasyev, A.A. Volkov. The significant improvement of basic OCXO for time and frequency standarts.- Proc. 49th IEEE Int. Frequency Control Symposium, May 2003, pp. 440-443.
9. E.A. Silaev, D.V. Bogomolov. Low noise ovenized quartz oscillator.- Proc. 44th IEEE Int. Frequency Control Symposium, May 1998, pp.349-352.
10. Е.Г. Молчанов, Д.С. Очков, Е.А. Силаев, И.С. Формальнов, Д.В. Чубаров. Гетеродины СМ-диапазона с низким уровнем фазовых шумов. – Радиотехника, 2006, № 1.