

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ СВЧ И КВЧ РТС

Козелков С. В., Пашков Д. П.
Харьковский военный университет
г. Харьков, ул. Свободы, 6

Проведены исследования распространения радиоволн в атмосфере и ее влияние на СВЧ и КВЧ радиосигналы. На основе проведенного анализа разработан метод по повышению помехоустойчивости СВЧ и КВЧРТС.

Современное развитие общества требует повышения информационного обеспечения этого развития. Одним из основных направлений такого повышения является использование для передачи информации радиоволн сантиметрового и миллиметрового диапазонов [1]. При этом особое внимание уделяется созданию сверхвысокочастотных (СВЧ) и крайневыхочастотных (КВЧ) радиотехнических средств (РТС). Однако особенности состава атмосферы (и особенно тропосферного ее слоя) [2] вызывают частотно-селективные замирания (ЧСЗ) радиосигнала, которые существенно снижают помехоустойчивость СВЧ и КВЧ РТС [2,3].

Для повышения помехоустойчивости традиционно используются когерентные РТС [3,4]. При этом вероятность ошибки в таких РТС определяется выражением [4]

$$P_e = 2F(\sqrt{2h_b})[1 - F(\sqrt{2h_b})], \quad (1)$$

где $F(\cdot)$ – интеграл ошибок;

h_b – отношение сигнал-шум.

Особенностью когерентного приема является зависимость от формы принимаемого сигнала [4]. Свободным от этой зависимости является автокорреляционный прием. Помехо-

устойчивость автокорреляционных РТС определяется вероятностью ошибки [4]

$$P_e = 0,5 \exp(-0,5h_b^2). \quad (2)$$

Учитывая выражения (1) и (2) для линейных РТС при $h_b = 2$ для ОФМ сигналов, выигрыш когерентного приема по сравнению с автокорреляционным приемом радиосигналов будет равен 10 разам.

Однако при распространении радиосигналов сантиметрового и миллиметрового диапазонов длин волн, вследствие влияния известных радиофизических эффектов [2], возникают ЧСЗ, вызывающие неравномерность амплитудно-частотной характеристики и нелинейность фазово-частотной характеристики радиоканала. При этом фазовые искажения модулированных колебаний приводят к смещению оценок информационных параметров [4,5] и определяют выражения отношения энергии элемента сигнала на выходе РТС к спектральной плотности белого шума в виде

$$h_b = h \cos \Delta\varphi, \quad (3)$$

где $\Delta\varphi$ – величина фазовых искажений.

Учитывая выражение (3), формулы (1) и (2) можно представить в виде соответственно

$$P_e = 2F(\sqrt{2h \cos \Delta\varphi})[1 - F(\sqrt{2h \cos \Delta\varphi})], \quad (4)$$

$$P_e = 0,5 \exp[0,5(h \cos \Delta\varphi)^2]. \quad (5)$$

Проведя анализ формул (4) и (5), можно получить, что для двоичных ОФМ сигналов при значениях $\Delta\varphi \geq 50^\circ$ вероятность ошибки когерентного приема становится больше вероятности ошибки автокорреляционного приема, используемого в тех же условиях. Например, при $\Delta\varphi = 60^\circ$ проигрыш, вызванный нелинейными инерционными процессами в когерентных РТС составит 30 раз. При этом расчеты показывают, что при фиксированной вероятности ошибки $P_0 = 10^{-5}$ ав-

токорреляционный прием в отсутствии частотно-селективных процессов "проигрывает" 1,9 дБ когерентному приему. Однако при частотно-селективных процессах помехоустойчивость когерентных РТС снижается на 3 дБ. Поэтому представляется целесообразным для повышения помехоустойчивости РТС в разрабатываемом способе применить в каналах с ЧСЗ механизм адаптации при приеме радиоволн сантиметрового и миллиметрового диапазонов. Таким образом, предлагается использовать в СВЧ и КВЧ РТС с адаптивным переходом на автокорреляционный или когерентный прием в зависимости от величины фазовых искажений, вносимых нелинейными инерционными процессами в частотно-селективной среде распространения радиоволн. Практической реализацией разработанного способа является демодулятор адаптивной РТС, представленный в [6].

Для оценки эффективности предложенного способа предположим, что общее время сеанса функционирования равно

$$\Delta T = \sum_{i=1}^N \Delta T_i + \sum_{j=1}^N \Delta T_j = T_1 + T_2, \quad (6)$$

где T_1 – продолжительность работы РТС в условиях отсутствия ЧСЗ в канале, причем

$$T_1 = \sum_{i=1}^N \Delta T_i;$$

T_2 – длительность ЧСЗ (т.е. продолжительность работы РТС при ЧСЗ), причем

$$T_2 = \sum_{j=1}^N \Delta T_j;$$

Тогда средняя за сеанс связи величина вероятности ошибки приема РТС равна

$$\bar{P} = \frac{P' T_1 + P'' T_2}{\Delta T}, \quad (7)$$

где P' – вероятность ошибки в канале без ЧСЗ;

P'' – вероятность ошибки в канале с ЧСЗ.

Так как в РТС при наличии ЧСЗ используется автокорреляционный прием сигналов, а при отсутствии ЧСЗ – когерентный, то формулу (7) можно заменить следующим образом

$$\bar{P}_1 = \frac{P'_k T_1 + P''_k T_2}{\Delta T} = |T_1 = T_2| = \frac{P'_k + P''_k}{2}, \quad (8)$$

Сравнивая с помехоустойчивостью типового РТС использующего когерентный прием, у которого средняя за сеанс связи вероятность ошибки равна

$$\bar{P}_1 = \frac{P'_k T_1 + P''_k T_2}{\Delta T} = |T_1 = T_2| = \frac{P'_k + P''_k}{2},$$

получим

$$\frac{\bar{P}_2}{\bar{P}_1} = \frac{P'_k + P''_k}{P'_k + P''_k},$$

Учитывая выражение (6) и (7) при $h=2$ и величине фазовых искажений в канале $\Delta\varphi = 60^\circ$, выигрыш по помехоустойчивости РТС при использовании предложенного метода составит

$$W = \frac{\bar{P}_2}{\bar{P}_1} = 2,3 \text{ раза.}$$

Для систем связи с $P_0 = 10^{-5}$ при фазовых искажениях в канале $\Delta\varphi = 60^\circ$ выигрыш в соответствии с выражениями (6) и (7) по сравнению с известными способами в используемых в настоящее время РТС [3,4] составляет 2,9 дБ, а по сравнению с перспективными [3] составляет 2 дБ, но уже при $\Delta\varphi = 80^\circ$ выигрыш увеличивается до 4,2 дБ по сравнению с известными РТС и до 3,1 дБ по сравнению с перспективными системами [3]. Ожидаемый выигрыш для различных величин дисперсии фазовых искажений для СВЧ и КВЧ РТС вследствие применения разработанного адаптивного способа представлен на рис. 2. При вероятности ошибки 10^{-3} для сигнала ОФМ-2 при $h=2$ выигрыш предлагаемых адаптивных РТС по сравнению с типовыми РТС, рассмотренными в работах [4,5], составит ~ 1 дБ, что

обеспечит, по оценке специалистов, используемой в работе [7], экономию в 1 млн. долларов. Предложенные рекомендации могут быть использованы при проектировании и создании информационных радиотехнических систем различного назначения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов М. А., Козелков С. В. Обоснование рациональной оценки возможности повышения эффективности высокоскоростной передачи информации. – М, 1989 – 8с. – Дел. В ЦИВТИ МО СССР, вып. №4239, В1385.

2. Ванькевич В. В., Иванов М. А., Макаренко Б. И., Козелков С. В. Теоретические и экспериментальные исследования специфики тропосферного распространения СВЧ и КВЧ радиосигналов. / (Радиотехника) Республи-

канский межведомственный научно-технический сборник. – Харьков, 1990, вып. 92., с 106-114.

3. Спилкер Дж. Цифровая спутниковая связь / пер. с англ. Под ред. В. В. Маркова. – М, – Связь, 1979. – 592с.

4. Коржик В. И., Финк Л. М., Щелкунов К. Н. Расчет помехоустойчивости систем передачи дискретных сообщений: Справочник под ред. Л. М. Финка – М, Радио и связь, 1981, – 232с.

5. Окунев Ю.Б. Теория фазоразностной модуляции. – М, Связь, 1979, – 216 с.

6. А.с. 1540029 СССР, МКИ Н 04 27/22. Демодулятор сигналов / М. А. Иванов, С.В. Козелков, Б. И. Макаренко. – №4392041/24-09; Заявл. 15.03.88; Оpubл. 30.01.90. Бюл. №4.

7. Финк Л. М. Сигналы, помехи, ошибки. – М: Радио и связь, 1984, – 216с.