

Анализ погрешностей методов компенсации фоновых шумов в СВЧ радиометрических измерениях

Е.В.Федосеева

Муромский институт(филиал) ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», 602264, г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, 23, E-mail: elenafedoseeva@yandex.ru

Анализируются погрешности выделения информационного сигнала в СВЧ радиометрических системах при реализации метода диаграммной модуляции, поляризационного разрешения и при двухканальном приеме с дополнительным антенным каналом формирования сигнала компенсации.

Errors of allocation of an information signal in the microwave oven radiometric systems are analyzed at realisation of a method of chart modulation, the polarising permission and at two-channel reception with the additional antenna channel of formation of a signal of indemnification.

Введение

При проведении измерений радиощумового излучения окружающего пространства одной из основных является задача выделения сигнала, обусловленного приемом излучения из исследуемой области. Для решения данной задачи нельзя применить методы частотной селекции, распространенные в активных методах зондирования, т.к. информационная и помеховые составляющие входного сигнала имеют одинаковую шумовую природу. Поэтому основной подход к решению задачи в данном случае должен основываться на реализации пространственной селекции направлений преимущественного приема – угловой области главного лепестка ДН [1].

Можно выделить два основных направления решения указанной задачи: первое – разработка специальной антенной системы с минимальным уровнем приема по области рассеяния ДН и второе – организация приема дополнительного входного сигнала уровня, которого адекватен помеховой составляющей основного входного сигнала, обусловленной приемом фоновых шумов, с последующей реализацией нахождения разности двух входных сигналов.

Снижение уровня приема антенны по области рассеяния ДН всегда сопряжено с усложнением ее конструкции и уменьшением широкополосности всей системы.

Точность выделения информационной составляющей входного сигнала при реализации компенсационных методов в сильной степени зависит от адекватности дополнительного входного сигнала помеховой составляющей основного измерительного сигнала. По подходам к организации приема дополнительного сигнала компенсации можно выделить следующие известные методы: метод диаграммной модуляции, метод поляризационной селекции, метод пространственной селекции с применением двухканальной антенной системы [1,2].

Цель работы – проанализировать источники и величины погрешности измерений радиояркостной температуры в СВЧ радиометрических системах с реализацией методов компенсации фоновых шумов.

Анализ и оценка погрешности измерений радиояркостной температуры при реализации метода диаграммной модуляции

Одним из самых распространенных методов формирования компенсирующего сигнала в процессе СВЧ радиометрических измерений является метод диаграммной модуляции [1]. При его реализации главный лепесток ДН антенны наводится периодически

на исследуемый объект и область, соседнюю с ним. При небольших углах отклонения главного лепестка уровень приема по боковым лепесткам с двух направлений можно считать одинаковыми.

Погрешность измерения методом диаграммной модуляции, определяемая неточностью компенсации составляющей входного сигнала, обусловленной приемом фонового шума через область рассеяния ДН антенны, в общем случае может быть записана следующим образом:

$$\begin{aligned} \Delta T &= T_{a1}(\theta_1) - T_{a2}(\theta_2) = \\ &= (T_{\text{фв}}(\theta_1) - T_{\text{фв}}(\theta_2))\beta_{\text{в}} + (T_{\text{фн}}(\theta_1) - T_{\text{фн}}(\theta_2))\beta_{\text{н}} + \sum_i (T_{\text{яи}}(\theta_1)\beta_i(\theta_1) - T_{\text{яи}}(\theta_2)\beta_i(\theta_2)), \end{aligned} \quad (1)$$

где θ_1 и θ_2 - угловые направления на исследуемый объект и свободное пространство, соответственно; $T_{\text{фв}}$ и $T_{\text{фн}}$ - радиояркость верхнего и нижнего полупространства, $\beta_{\text{в}}$ и $\beta_{\text{н}}$ - коэффициенты рассеяния антенны в верхнее и нижнее полупространства; $T_{\text{яи}}$ - радиояркость областей пространства с существенным радиояркостным контрастом по отношению в однородному окружающему фону; $\beta_{\text{яи}}$ - коэффициент рассеяния области пространства с радиояркостным контрастом по отношению к окружающему однородному фону.

Согласно выражению (1) погрешность компенсации ΔT зависит от величины коэффициента рассеяния β для соответствующих областей пространства и величины радиояркостного контраста верхнего и нижнего полупространств.

Основной источник погрешности метода диаграммной модуляции - изменение взаимного расположения ДН антенны и верхнего и нижнего полупространства (рис.1).

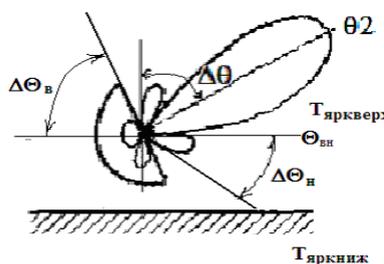


Рис.1.

На рис.1 показаны угловые секторы $\Delta\theta_{\text{н}}$ и $\Delta\theta_{\text{в}}$, прием по которым фонового шума в основном определяет погрешность формирования сигнала компенсации, абсолютная величина которой может быть оценена по формуле

$$\Delta = \Delta_{\text{р}\theta_{\text{в}}} (T_{\text{яркверх}} - T_{\text{яркниж}}) + \Delta_{\text{р}\theta_{\text{н}}} (T_{\text{яркниж}} - T_{\text{яркверх}}), \quad (3)$$

где $\Delta_{\text{р}\theta_{\text{в}}}$ и $\Delta_{\text{р}\theta_{\text{н}}}$ - относительная величина суммарной мощности, принимаемая по угловым секторам $\Delta\theta_{\text{н}}$ и $\Delta\theta_{\text{в}}$, соответственно.

Для анализа абсолютной погрешности сигнала компенсации в методе диаграммной модуляции по выражению (3) были получены угловые зависимости величины Δ для антенн с шириной ДН по уровню половинной мощности 3° и 10° при значениях разности радиояркостной температуры двух полупространств $\Delta T_{\text{вн}}$ - 50 К, 100 К и 200 К, результаты которых представлены на рис. 2 и 3.

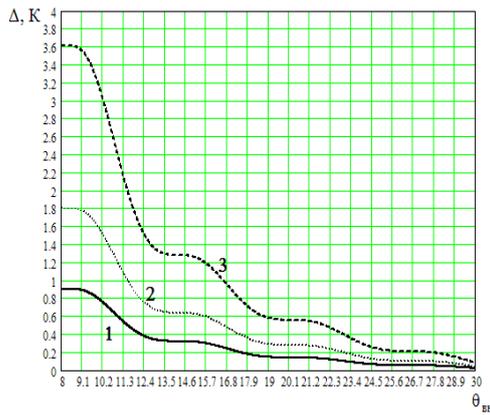


Рис.2.

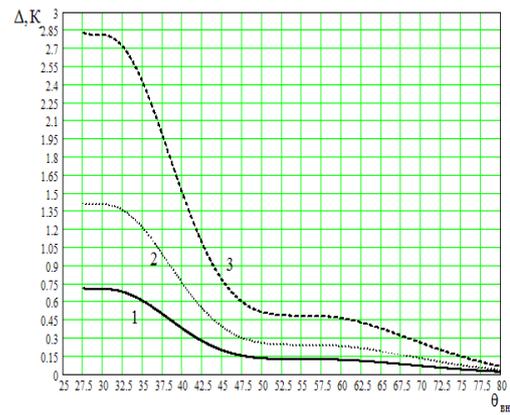


Рис.3.

Данные рис.2 и 3 показывают существенно нелинейную зависимость погрешности сигнала компенсации, от углового направления его формирования. Наибольшие значения погрешности соответствуют ситуациям, когда дополнительное направление θ_2 располагается вблизи границы с другим полупространством и через неизотропную часть области рассеяния ДН – через первые боковые лепестки осуществляется прием радиояркого излучения нижнего полупространства. Причем даже при принятии однородной формы распределения радиояркой температуры в граничащих полупространствах величина погрешности может достигать порядка 5 К, что существенно превышает чувствительность современных радиометров.

Анализ и оценка погрешности измерений радиояркой температуры при выполнении поляризационной селекции информационного сигнала

Основной принцип поляризационного разрешения информационного сигнала в СВЧ радиометрических системах состоит в организации приема радиожумового излучения на двух видах ортогональных поляризаций, при этом на второй поляризации должен отсутствовать прием сигнала из исследуемой области. Известны схемные решения СВЧ радиометрических систем [1], в которых применяется монополяризованная антенна и переключатель поляризации на входе приемника.

Погрешность измерений в методе поляризационного разрешения информационного сигнала определяется выражением

$$\Delta T = T_{\phi}^{\Gamma} \beta_{\text{верхЗА}}^{\Gamma} - T_{\phi}^{\text{В}} \beta_{\text{нижОБ}}^{\text{В}} \cdot K_S, \quad (2)$$

где T_{ϕ}^{Γ} , $T_{\phi}^{\text{В}}$ - фоновый шум при приеме на горизонтальной и вертикальной поляризации; $\beta_{\text{верхЗА}}$ - коэффициент рассеяния монополяризованной зеркальной антенны в область рассеяния ДН в верхнем полупространстве; $\beta_{\text{нижОБ}}$ - коэффициент рассеяния облучателя зеркальной антенны в область рассеяния ДН в нижнем полупространстве; K_S - коэффициент соотношения эффективных площадей зеркальной антенны и ее облучателя.

Анализ выражения (2) показывает, что в поляризационном методе разрешения информационного сигнала СВЧ радиометрической системы погрешность компенсации обусловлена двумя явлениями: неадекватностью приема антенной по двум ортогональным поляризациям в области рассеяния ДН антенны и различием фонового шума на двух ортогональных поляризациях.

Были проведены оценочные расчеты погрешности компенсации фонового шума в методе поляризационного разрешения при условии адекватности фонового излучения на двух ортогональных поляризациях, результаты которых приведены на рис.4 для двух

зеркальных антенн с шириной главного лепестка по уровню половинной мощности $2\theta_{0,5} = 1.5^\circ$ (1) и $2\theta_{0,5} = 5.5^\circ$ (2).



Рис.4.

Согласно данным рис.4 по погрешности метода поляризационного разрешения, обусловленной неадекватностью приема фонового излучения, могут быть сделаны следующие выводы: при условии низкотемпературного фона в верхнем полупространстве, например, при исследовании атмосферы с поверхности земли величина погрешности может иметь значение в пределах 2К; в случае наблюдения объекта или области пространства при высокотемпературном фоновом излучении, например, зондирование поверхности земли с борта летящего аппарата, погрешность измерения может оказаться достаточно большой порядка 10К.

Для оценки влияния на погрешность компенсации различий в уровне фонового шума на ортогональных поляризациях были проанализированы поляризационные свойства радишумового излучения атмосферы и земной поверхности. В результате оказалось, что метод поляризационного разрешения более эффективен при проведении измерений в ситуации, когда радиояркая температура нижнего полупространства больше радиояркой температуры верхнего полупространства по отношению к раскрытию антенны. Применительно к природным средам более полная компенсация помеховых компонент входного сигнала наблюдается при зондировании атмосферы, когда поверхность земли расположена в нижнем полупространстве по отношению к антенне. Например, при зондировании атмосферы при наличии в верхней части области рассеяния ДН антенны дождевых облаков с радиояркой температурой от 100К до 150К при $\beta_{\text{верх}} = 0.035 - 0.04$ значение $\Delta T_{\text{верх}}$ в пределах от 3.5К до 6К, в то время как $\Delta T_{\text{ниж}}$ не превышает 3К. При изменении направления зондирования на противоположное, т.е. при зондировании поверхности земли аналогичные величины равны $\Delta T_{\text{верх}} = 10К$, а $\Delta T_{\text{ниж}} = 0.2К$, соответственно.

Погрешности измерений радиояркой температуры при переходе к двухканальной антенной системе с дополнительным каналом формирования сигнала компенсации

В основе данного метода переход к двухканальному приему радишумового излучения при условии, что дополнительный антенный канал обеспечивает минимальный уровень приема по угловой области главного лепестка ДН основного антенного канала и адекватный основному каналу уровень приема мощности по области рассеяния. Основной вопрос практической реализации данного метода состоит в построении антенны с указанными свойствами. Один из вариантов переход к двухмодовому режиму в облучателе антенны на волнах H_{11} и E_{01} круглого волновода [2].

На рис.5 приведены ДН двух антенных каналов основного (1) и дополнительного (2) нормированные к уровню основного канала с осуществлением приема на одну плоскую апертуру зеркальной антенны.

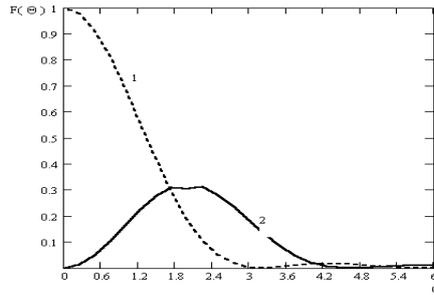


Рис.5.

Анализ ДН двухканальной антенны (рис.5) показывает, что не в полной мере выполняются требования нулевого приема дополнительным каналом в области главного лепестка основного канала и адекватности по области рассеяния двух каналов, поэтому оценка погрешности компенсации в данном методе должна быть проведена по двум параметрам: по величине потерь информационной составляющей антенной температуры и погрешность компенсации помеховых составляющих антенной температуры радиометрической системы, определяемых выражениями

$$\Delta T_{\text{инф}} = (1 - \beta_{\text{осн}}) \eta T_{\text{гл}} - (1 - \beta_{\text{доп}}) \eta T_{\text{гл}}, \quad (3)$$

$$\Delta T_{\text{пом}} = \beta_{\text{носн}} \eta T_{\text{бокн}} - \beta_{\text{ндоп}} \eta T_{\text{бокн}} + \beta_{\text{износн}} \eta T_{\text{бокиз}} - \beta_{\text{изндоп}} \eta T_{\text{бокиз}} = \Delta T_{\text{помн}} + \Delta T_{\text{помиз}}, \quad (4)$$

где $\beta_{\text{осн}}$ и $\beta_{\text{доп}}$ - коэффициенты рассеяния основного и дополнительного антенного каналов; $\Delta T_{\text{помн}}$ и $\Delta T_{\text{помиз}}$ - погрешности компенсации помеховых составляющих антенной температуры, обусловленные приемом излучения окружающего пространства через неизотропную и изотропную часть области рассеяния соответственно.

Проведенный численный анализ показал, данный метод компенсации фоновых шумов позволяет обеспечить погрешность на уровне 10 % помеховых составляющих, обусловленных приемом излучения антенной через изотропную часть области рассеяния и 15% погрешность компенсации помеховых составляющих, обусловленных приемом излучения через неизотропную часть области рассеяния антенной температуры СВЧ радиометрической системы при относительном уровне потерь информационной составляющей - 0.078. Для сравнения погрешность численной корректировки данных радиометрических измерений при условии неизменности и однородности фонового излучения составляет порядка 10% [2].

Выводы

Проведенный анализ погрешностей методов компенсации фоновых шумов в СВЧ радиометрических системах показал, что при выборе конкретного метода необходимо учитывать характер исследуемой области, степень однородности и уровень фонового излучения окружающего пространства и характеристики пространственной селекции антенны системы.

Литература

1. Фалин, В.В. Радиометрические системы СВЧ / В.В.Фалин. – М.: Луч, 1997. – 440 с.
2. Федосеева, Е.В. Радиометрическая система с дополнительным каналом формирования сигнала компенсации/ Е.В.Федосеева, И.Н. Ростокин // Труды ГГО. – 2010. - Вып. 562. –с. 243-257.