

## АЛГОРИТМ АДАПТИВНОГО ПРИЕМА КВЧ РАДИОСИГНАЛОВ

к.т.н. С.В. Козелков, Н.П. Руденко, В.Ф. Столбов, С.А. Тышук  
(представил д.т.н., проф. Л.Ф. Купченко)

В статье изложен алгоритм адаптивного приема крайневых высокочастотных (КВЧ) радиосигналов в канале с частотно-селективными замираниями. В предложенном алгоритме осуществлен адаптивный переход от когерентного приема к автокорреляционному, в зависимости от величины фазовых искажений в нелинейных радиоканалах, что позволило повысить помехоустойчивость радиотехнических средств.

Наиболее важными факторами, которые необходимо принимать во внимание при оценке работы спутниковых линий связи КВЧ диапазона, является влияние атмосферных эффектов на энергетику радиосигнала [1, 2, 3]. Особую актуальность представляют фундаментальные и прикладные исследования КВЧ диапазона выше 10 ГГц [1]. Рядом стран ведутся исследования по влиянию тропосферного слоя на качество передаваемой информации по спутниковым каналам связи. Примером может служить космическая программа "Италсат" (Италия), одной из задач которой являлось проведение ряда экспериментов, связанных с изучением распространения радиоволн КВЧ диапазона [4]. Эти исследования представляют интерес для конструирования радиотехнических средств (РТС), работающих на очень высоких частотах. Эксперименты по данной программе проводились на частотах 20,40 и 50 ГГц [4]. Одним из параметров измерений являлось определение фазовых искажений. Измерения спутником "Сирио" показали наличие фазовых искажений  $5^0 - 10^0$  в полосе частот 500 МГц [4]. Эта величина значительно превосходит значения, предсказываемые классической теорией Ван-де-Халста [1, 4]. Даже, если значения фазовых искажений сами по себе и не столь велики, представляется весьма важным то, что их физические причины все еще остаются неизвестными. Поэтому измерения фазовых искажений проводилось спутником "Италсат" на частоте 40 ГГц посредством модуляции несущей синусоидальным сигналом частоты 505 МГц [4]. Информация об искажениях фазы является фундаментальной для определения предельных характеристик будущих связанных систем с высокой пропускной способностью [1].

Как на современных, так и на вновь создаваемых радиотехнических средствах, работающих в КВЧ диапазоне, необходимо учитывать влияния тропосферного слоя и, по возможности, более эффективно снижать данное влияние, позволяя повышать качество принимаемого сигнала.

Особый интерес вызывают исследования влияния частотно-селективных замираний на изменение фазы радиосигнала, прошедшего атмосферный слой Земли. При этом для повышения помехоустойчивости РТС необходимо применять алгоритм адаптации при приеме и обработке сигнала, прошедшего тропосферный слой Земли с частотно-селективными замираниями. Данный алгоритм позволяет эффективно использовать свойства когерентного приема при отсутствии на трассе прохождения сигнала частотно-селективных замираний и наоборот использовать автокорреляционный метод при их наличии на трассе распространения. Алгоритм адаптивного приема сигналов реализует схема, представленная на рис.1, где введены следующие обозначения: 1 - анализатор; 2 - блок восстановления (БВ) несущей; 3 - полосовой фильтр; 4 - коммутатор сигналов; 5 - перемножитель; 6 - блок линии задержки; 7 - интегратор; 8 - блок тактовой синхронизации; 9 - решающий блок.

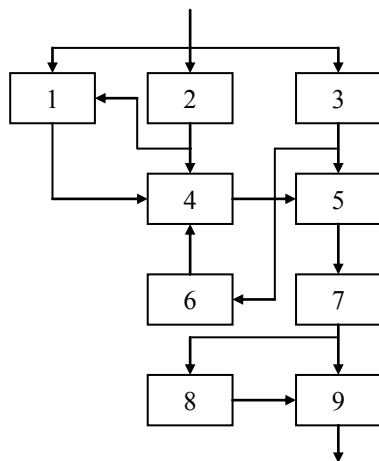


Рис.1. Схема, реализующая алгоритм адаптивного приема радиосигналов

На вход РТС воздействует аддитивная смесь сигнала и белого шума [1,5]:

$$U(t) = A \cos[\omega_0 t + \varphi(t) + \varphi_0] + \xi(t), \quad (1)$$

где  $A$  - амплитуда сигнала;  $\omega_0$  - круговая частота сигнала;  $\varphi(t)$  - меняющаяся фаза;  $\varphi_0$  - мгновенная начальная фаза;  $\xi$  - составляющая шума.

Смесь  $U(t)$  поступает на сигнальный вход анализатора 1, на вход блока 2 восстановления несущей и на вход входного фильтра 3. Сигнал  $U(t)$ , пройдя входной полосовой фильтр 3 (полоса пропускания которого достаточно широка по сравнению с  $1/T$ ), поступит на сигнальный вход пере-

множителя 5 и на вход линии 6 задержки, пройдя которую задержанный на такт сигнал

$$U(t-T) = A \cos[\omega_0(t-T) + \varphi(t-T) + \varphi_0] + \xi(t-T) \quad (2)$$

поступает на первый вход коммутатора 4 сигналов.

С входа демодулятора сигнал  $U(t)$  поступит в блок 2 восстановления несущей, откуда восстановленное опорное колебание

$$G(t) = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (3)$$

поступает на второй вход коммутатора 4 сигналов, а также воздействует на опорный вход анализатора 1.

С сигнального входа анализатора 1 полосовой фильтр одного канала выделяет нижнюю спектральную составляющую

$$U_H(t) = A \cos[\omega_0 t + \varphi_H + \varphi_0] + \xi(t), \quad (4)$$

а полосовой фильтр другого канала – верхнюю спектральную составляющую

$$U_B(t) = A \cos[\omega_0 t + \varphi_B + \varphi_0] + \xi(t). \quad (5)$$

В одном канале, пройдя ограничитель, сигнал  $U_H(t)$  поступает на первый вход фазового детектора, а в другом канале, пройдя ограничитель, сигнал  $U_B(t)$  поступает на первый вход фазового детектора. На вторые входы фазовых детекторов поступает опорное колебание  $G(t)$ . Фазовые детекторы выполнены на основе интегральных перемножающих схем, поэтому на выходе интеграторов формирует напряжение, пропорциональные величинам  $\Delta\varphi_1 = \varphi - \varphi_H$ ,  $\Delta\varphi_2 = \varphi_B - \varphi$ , на выходе интегратора другого канала. В вычитателе значения этих напряжений вычитаются. Результирующее напряжение на выходе вычитателя пропорционально величине фазовых искажений

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_1 - \Delta\varphi_2 = 2\varphi - \varphi_H - \varphi_B, \quad (6)$$

сравнивается с допустимым значением в пиковом детекторе.

При наличии на трассе распространения радиоволн частотно-селективных замираний величина  $\Delta\varphi \neq 0$ . Отсюда  $V\Delta\varphi \geq V\Delta\varphi_{\text{доп}}$ , на выходе пикового детектора формируется управляющий сигнал "1", который, поступая на 3 вход коммутатора 4, переводит его в автокорреляционный режим работы. При этом сигнал с первого входа коммутатора сигналов  $U(t-T)$ , пройдя коммутатор сигналов 4, поступает на опорный вход перемножителя 5. Произведение сигналов  $U(t)$  и  $U(t-T)$  интегрируется в интеграторе 7, на выходе которого образуется

$$I_1 = \int_{(n-1)T}^{nT} [A \cos(\omega_0 t + \varphi(t) + \varphi_0) + \xi(t)] \{ A \cos[\omega_0(t-T) + \varphi(t-T) + \xi(t)] \} dt = 0,5A^2 T \text{Cos}[\varphi(t) - \varphi(t-T)] + \theta_1 + \theta_2 + \theta_3. \quad (7)$$

Далее решающий блок 9, синхронизируемый блоком 8 тактовой синхронизации, принимает решение по величине и знаку  $I_1$ .

При отсутствии на трассе распространения радиоволн частотно-селективных замираний величина  $\Delta\varphi \approx 0$ . При  $V\Delta\varphi < V\Delta\varphi_{\text{дон}}$ , на выходе пикового детектора образуется управляющее напряжение, которое, поступая на 3 вход коммутатора 4 сигналов, переводит его на когерентный режим работы. При этом сигнал  $G(t)$  со второго входа коммутатора 4 сигналов, пройдя его, поступает на опорный вход перемножителя 5. Произведение сигналов  $U(t)$  и  $G(t)$  интегрируется в интеграторе 7, на выходе которого имеется

$$I_2 = \int_{(n-1)T}^{nT} A[\cos(\omega_0 t + \varphi(t) + \varphi_0) + \xi(t)] A \cos(\omega_0 t + \varphi_0) dt =$$

$$= 0,5A^2 T \cos \varphi + \theta. \quad (8)$$

В последующем решающий блок 9, синхронизируемый блоком 8 тактовой синхронизации, принимает решение по величине и знаку  $I_2$ .

Алгоритм адаптивного приема радиосигналов предлагается использовать при построении приемников систем передачи информации по тропосферным радиоканалам.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Тепляков И.М., Рощин Б.В., Фомин А.И., Вейцель В.А. Радиосистемы передачи информации. – М.: Радио и связь, 1982. – 264 с.
2. Ипполито Л. Дж. Влияние условий атмосферного распространения радиоволн на космические системы // ТИИЭР. – 1981. – Т. 69, № 6. – С. 29 - 58.
3. Крейн Р.К. Прогноз влияния осадков на спутниковые системы связи // ТИИЭР. – 1977. – Т. 65, № 3. – С. 210 - 231.
4. AIAA 11<sup>th</sup> Communication satellite systems – conferens. – San Diego, California, 1986. – P. 298 - 307.
5. Окунев Ю.Б. Теория фазоразностной модуляции. – М.: Связь, 1979. – 240 с.

*Поступила в редколлегию 27.11.2000*