

АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА ПРИЕМА ШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ

Е. А. Кожевников

ФГУП «18 ЦНИИ» МО РФ

Получена 3 октября 2011 г.

Аннотация. Предложена адаптивная система приема широкополосных сигналов для радиорелейных, тропосферных и спутниковых систем связи в условиях динамизма сигнально-помеховой обстановки. Управление в системе осуществляется по принципу экстремального регулирования с использованием ортогональных поисковых колебаний и синхронного детектирования. В режиме поиска и синхронизации управление ведется не по максимуму отношения сигнал/помеха+шум, как в известных системах, а по минимуму суммарной мощности сигнала и помех. После того, как отношение сигнал/помеха+шум на выходе достигает порогового значения, управление ведется по сигналу «свертки» широкополосного сигнала. Система сопрягается с зеркальными, гибридными зеркальными, цилиндрическими антеннами и полусферическими решетками с изотропной диаграммой направленности.

Ключевые слова: Широкополосный сигнал, помеха, свертка, экстремальное регулирование, антенна.

Abstract. Self-organizing broadband signal antenna system is suggested for radio relay, troposcatter and satellite communication systems in conditions of dynamic signal noise. The system is operated on the principle peak-holding (optimizing) control using orthogonal search oscillations and synchronous detection. In the search and synchronization mode adjustment is carried out not under the maximal signal/interference +noise as in commonly used systems, but under the minimum of total signal strength and noise. After the ratio of signal/interference +noise at the output reaches threshold value the system is managed under the broadband signal convolution. The system is compatible with mirror, hybrid mirror, bird cage (cylindrical) antennas and hemispherically scanned antenna arrays with isotropic direction characteristic.

Keywords: broadband signal, interference, convolution, peak-holding (optimizing) control, antenna.

В предлагаемой системе используется антенна со сферической или полусферической диаграммой направленности. Структурная схема антенной системы представлена на рис.1, а предлагаемой адаптивной системы на рис.2.

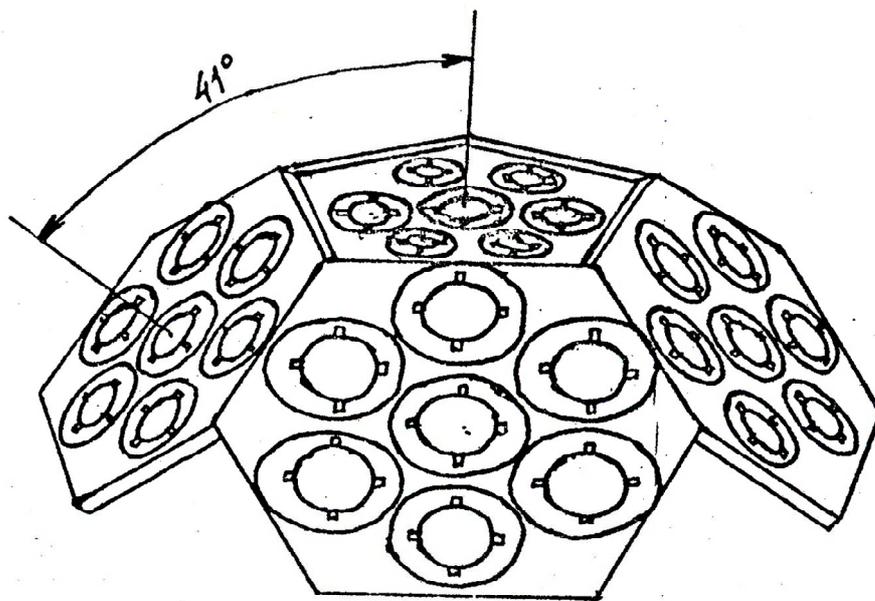


Рис. 1

При формировании такой диаграммы направленности за счет появления дифракционных лепестков появляется изрезанность диаграммы, и формируются провалы, которые при большом числе помех достигают 9-10 дБ.

Чтобы избежать этих потерь и увеличить отношение мощности полезного сигнала к мощности помех, в устройстве применен градиентный алгоритм, который наряду с подавлением помех обеспечивает максимизацию полезного сигнала, с этой целью блок управления сумматорами 15 и адаптивный процессор (формирователь весовых коэффициентов 14, рис.2) выполнены по методу экстремального регулирования с использованием поисковых ортогональных колебаний и синхронного детектирования.

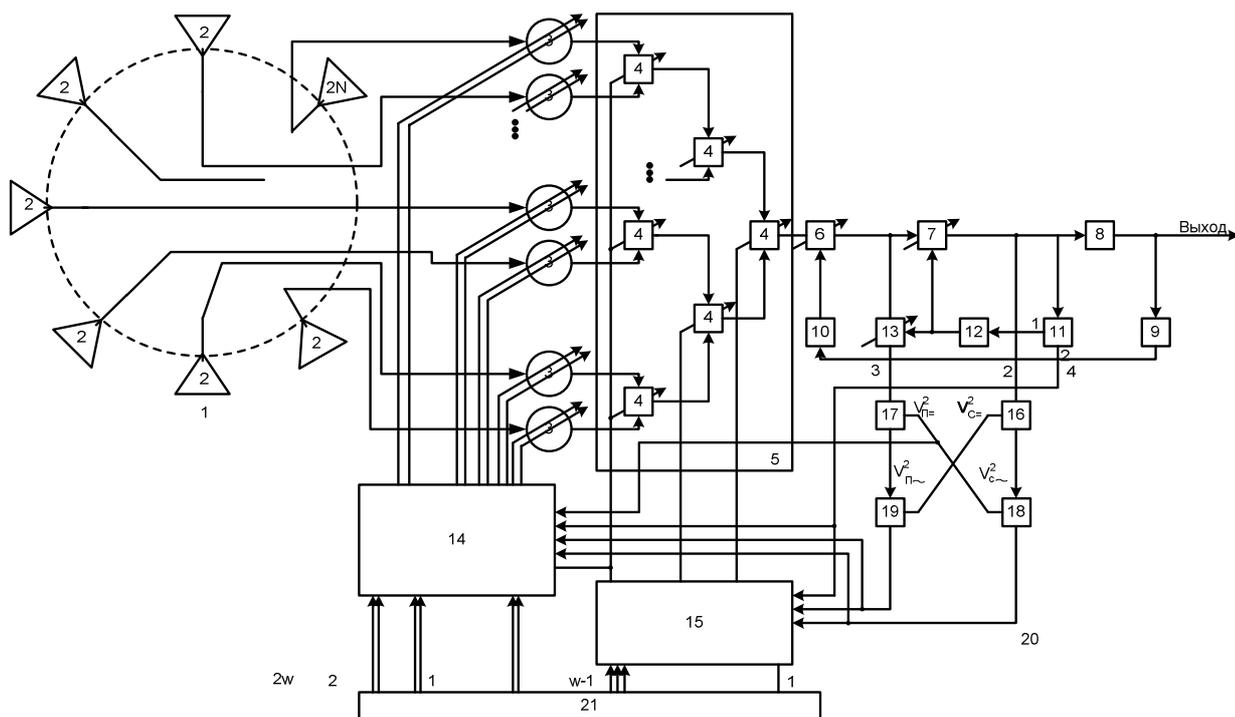


Рис. 2

Надписи к рисунку 2:

- 1 – полусферическая антенная система (рис.1.);
- 2 – излучатели;
- 3 – регуляторы комплексного коэффициента передачи (РКПП);
- 4 – управляемые весовые сумматоры;
- 5 – блок попарного весового сложения;
- 6 – смеситель «свертки» сигнала;
- 7 – перестраиваемый полосно-пропускающий фильтр;
- 8 – блок выделения дискретной информации;
- 9 – блок синхронизации;
- 10 – гетеродин;
- 11 – блок определения наличия «свертки» сигнала;
- 12 – блок задержки;
- 13 – перестраиваемый режекторный фильтр;
- 14 – адаптивный процессор;
- 15 – блок управления сумматорами;
- 16 – детектор сигнала;
- 17 – детектор помехи;
- 18 – управляемый аттенюатор сигнала;
- 19 – управляемый аттенюатор помехи;
- 20 – блок взвешивания;
- 21 – генератор поисковых ортогональных колебаний.

Управление в системе осуществляется по принципу экстремального регулирования с использованием поисковых ортогональных колебаний. В качестве критерия оптимальности выбран критерий максимума отношения сигнал/помеха+шум. Условием оптимальности является:

$$\frac{P_c}{P_n + P_{ш}} = \max \quad (1)$$

$$\left[\frac{dP_c}{dw} (P_n + P_{ш}) - \frac{d(P_n + P_{ш})}{dw} P_c \right] = 0 \quad (w = w_1), \quad (2)$$

где P_c – мощность полезного сигнала на выходе блока 6,

P_n – мощность помехи на выходе блока 6,

$P_{ш}$ – мощность собственных шумов приемного тракта,

w – вектор весовых коэффициентов.

Из (1,2) следует, что для настройки по максимуму отношения сигнал/помеха+шум необходимо разделить полезный сигнал и помеху с шумом, оценить мощности сигнала и смеси помехи с шумом, определить их производные и произвести нормирование. С учетом этого, в предлагаемой системе перестраиваемый полосовой фильтр (ППФ) блок 7 (рис.2) выделяет свернутый и отфильтрованный полезный широкополосный сигнал, а перестраиваемый режекторный фильтр (ПРФ) блок 13 (рис.2) пропускает преобразованную при «свертке» помеху во всей полосе сигнала до «свертки», небольшая часть которой «вырезана» в полосе «свернутого» сигнала. Это позволяет вычислить градиенты по мощности полезного сигнала $\frac{dP_c}{dw}$ и мощности помехи $\frac{dP_n}{dw}$, после детекторов 16, 17 отнормировать их во взвешивающих устройствах 18, 19 по отношению к мощности соответственно P_c и $P_n + P_{ш}$ и с помощью формирователя весовых коэффициентов (адаптивного

процессора) 14 организовать управление регуляторами комплексного коэффициента передачи 3 (рис.2).

Для реализации (1,2) формирователь весовых коэффициентов 14 и блок управления коэффициентом передачи весовых сумматоров 15 аналоговые и построены на основе модуляционного метода, т.е. на измерении изменения мощности помех на выходе устройства в результате принудительных возмущений амплитудных и фазовых параметров каналов приема. Градиент мощности помех получается с помощью соотношений [5]:

$$\frac{dP_n}{dw_{i1}} = \frac{\frac{dP_n}{dw_i} \frac{dP_n}{d\varphi_i}}{\frac{dP_n}{d\varphi_i} \cos \varphi_i - \frac{dP_n}{dw_i} w_i \sin \varphi_i} \quad (3)$$

$$\frac{dP_n}{dw_{i2}} = \frac{\frac{dP_n}{dw_i} \frac{dP_n}{d\varphi_i}}{\frac{dP_n}{d\varphi_i} \sin \varphi_i - \frac{dP_n}{dw_i} w_i \cos \varphi_i} \quad (4),$$

где $i = \overline{1, 2N}$.

При достаточном энергетическом запасе происходит установка коэффициента передачи управляемых весовых сумматоров 4 (рис.2), равных 1 в той цепочке, которая соединена с облучателем, ориентированным на сигнал и регулировка соответствующего РККП 3.

Максимальное число подавляемых помех равно $2N-1$.

Предлагаемая адаптивная система разработана на основании принципов, впервые предложенных в [3,4] и развитых в [5] применительно к низкоорбитальным системам спутниковой связи для ориентированных и неориентированных космических аппаратов. Антенная система представляет собой полусферическую или сферическую решетку с изотропной диаграммой направленности. Антенные элементы размещаются на поверхности сферы на гранях усеченных пирамид, соединенных плоскостями оснований, в вершинах икосаэдра. На рис.1 представлен пример конкретного выполнения антенной системы, перекрывающей полусферу, с плоскими субрешетками излучателей (применяется для ориентированных КА). В качестве излучателей могут

использоваться турникетные антенны или цилиндрические спиральные излучатели.

В предлагаемом решении диаграммо-образующая схема антенны имеет принципиальные отличия от ФАР и МЛА, заключающиеся в том, что если в ФАР и МЛА управляемые сумматоры объединены с фазовращателями для создания нужного амплитудно-фазового распределения, то в предлагаемом решении управляемые сумматоры объединены с комплексными регуляторами весовых коэффициентов, которые формируют «нули» в направлении на помехи, а управляемые сумматоры (4, рис. 2) обеспечивают увеличение усиления в направлении на сигнал и самофокусировку по сигналу.

При приеме сигналов ППРЧ отпадает необходимость подавления помех на каждой частотной позиции, что недостижимо из-за недостаточного быстродействия алгоритма, весовая обработка осуществляется непосредственно на принимаемых частотах (4-6 и более ГГц), а подавление помех осуществляется в полосе до 20 МГц.

При подлете КА к району размещения ЗС (при отсутствии широкополосного сигнала от радиосредств ЗС) в режиме поиска и синхронизации блок управления коэффициентом передачи весового сумматора включает все каналы блока попарного весового сложения, формируя изотропную диаграмму направленности, тем самым готовятся условия для приема сигнала с любого, априорного неизвестно направления во всей полусферической области (для неориентированных аппаратов во всей сферической области).

Управление ведется по минимуму мощности помеха+шум, т.е. производится предварительное ослабление помех с любого направления. При появлении сигнала от ЗС и получении сигнала «наличие свертки» формирователь весовых коэффициентов формирует управляющие воздействие на РККП, в результате формируются «нули» в направлениях на помехи.

В отличие от существующих алгоритмов, одновременно по этому же сигналу блок управления коэффициентом передачи весового сумматора

обеспечивает максимальный коэффициент передачи в направлении полезного сигнала от ЗС и максимальное ослабление в направлениях на помехи, углубляя «нули», т.е. формируются более глубокие нули и обеспечивается самофокусировка по сигналу ЗС. За счет самофокусировки по сигналу происходит преобразование исходной изотропной диаграммы направленности в диаграмму с максимумом в направлении на сигнал, коэффициент усиления в направлении на сигнал увеличивается на величину, большую коэффициента усиления единичного излучателя, т.е. при приеме коротких пакетов сигнала от ЗС управление ведется по критерию максимума отношения сигнал/помеха+шум.

Известные алгоритмы Уидроу, Аппельбаума и Ширмана реализуются на частотах до 100-150 МГц для подавления узкополосных помех с шириной спектра до 1 МГц. В предлагаемом техническом решении обработка осуществляется непосредственно на принимаемых частотах (4-5 и более ГГц), а подавление помех осуществляется в полосе до 20 МГц.

Результаты моделирования показали следующие параметры:

1. Коэффициент подавления широкополосной помехи 20 дБ в полосе 18 МГц.
2. Коэффициент подавления узкополосной помехи (полоса 2 МГц) составляет 25 дБ.

Для достижения большего значения коэффициента подавления неравномерность АЧХ не должна превышать 0,2 дБ между трактами приема, а полоса сигнала должна быть снижена до 10 МГц.

Литература:

1. Монзинго Р.А., Миллер Т.У. Адаптивные антенные решетки. Введение в теорию. Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1986.-448 с.
2. Уидроу Б., Стирнз С. Адаптивная обработка сигналов. Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1989.-440с.

3. Блинов И.Н., Голуб В.М., Аносов А.М. , Тузов Г.И. Устройство для компенсации помех. Авт. свидетельство № 296974 от 03.07.1989г.
4. Блинов И.Н., Голуб В.М., Аносов А.М. Адаптивная система приема широкополосных сигналов. Авт. свидетельство № 1781826 от 15.08.1992г.
5. Блинов И.Н., Аносов А.М., Голуб В.М. Адаптивная система приема широкополосных сигналов для низкоорбитальных систем спутниковой связи. Труды НТК. Проблемные вопросы сбора, обработки и передачи информации в сложных радиотехнических системах. – Спб., 1994 г.
6. Е.Е.Исаков. Устойчивость военной связи в условиях информационного противоборства. -Спб., 2009 г.,400с.
7. Кожевников Е.А., К вопросу о выборе алгоритмов при комплексировании сигнальных методов и методов пространственно-временной обработки широкополосных сигналов. – Журнал радиоэлектроники, №9-сентябрь, 2011г