

## ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ ПРИ СОЗДАНИИ АНТЕННЫ С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ В ДЕКАМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ВОЛН

к.т.н. Д.В. Карлов  
(представил д.т.н., проф. А.В. Полярус)

*Рассмотрены проблемы, возникающие при создании антенны с синтезированной апертурой в декаметровом диапазоне волн. Определены основные требования к характеристикам многочастотного сигнала, используемого для образования такой антенны.*

**Постановка задачи.** Для существующих станций контроля воздушного пространства (СКВП) декаметрового диапазона волн актуальным остается вопрос повышения разрешающей способности в угломестной плоскости. Ее возможно повысить за счет увеличения вертикальных размеров антенны, но этот подход является нецелесообразным по экономическим причинам. Поэтому возникла идея об искусственном создании больших антенных апертур в ионосфере за счет учета особенности распространения радиоволн в декаметровом диапазоне.

**Анализ литературы.** Создаваемая антенная апертура в ионосфере подобна тем, которые создаются самолетными или спутниковыми бортовыми СКВП в процессе так называемого синтезирования [1 – 4].

**Целью данной статьи** является определение задач, которые необходимо решать при создании антенны с синтезированной апертурой в декаметровом диапазоне волн.

В известных СКВП с синтезированной апертурой для синтезирования апертуры необходимо осуществлять:

- движение носителя СКВП;
- фокусирование, т.е. устранение нелинейных изменений фазы эхо-сигнала.

Применительно к нашей работе первая задача при неподвижной ЗГ СКВП заменяется использованием свойства чувствительности траекторий распространения сигналов в ионосфере к изменению частоты. Наиболее простым способом создания указанной частотной зависимости было бы применение линейно частотно-модулированных (ЛЧМ) сигналов с такой девиацией частоты  $\Delta f$ , которая бы обеспечивала необходимые размеры синтезированной апертуры. К сожалению, величина  $\Delta f$  ограничена зна-

чением примерно равным 10 кГц [5]. В противном случае дисперсионные искажения сигналов становятся недопустимо большими. Поэтому принято решение об использовании одиночных импульсов разной частоты. Отдельный импульс при правильно выбранных параметрах будет иметь незначительные дисперсионные искажения.

Для решения второй задачи синтезирования, т.е. фокусирования антенны, эти импульсы подвергаются оптимальной или квазиоптимальной обработке. Основная задача обработки заключается в когерентном суммировании принятых эхо-сигналов. Практически когерентное суммирование обеспечить невозможно вследствие большого количества причин. Проанализируем основные из них. С этой целью для примера запишем суммарный трехчастотный сигнал в виде

$$U_{\Sigma}(t) = U_1(t - \tau_{31}) \cos(\omega_1 t + \varphi_1) + U_2(t - \tau_{32}) \cos(\omega_2 t + \varphi_2) + U_3(t - \tau_{33}) \cos(\omega_3 t + \varphi_3), \quad (1)$$

где  $U_i(t - \tau_{3i})$  – огибающая  $i$ -го сигнала ( $i = \overline{1, 3}$ );  $\tau_{3i}, \varphi_i$  – соответственно задержка и фаза  $i$ -го сигнала.

Чтобы обеспечить когерентность сигналов, необходимо:

- перевести все сигналы на одну частоту;
- выровнять задержки огибающей  $i$ -х сигналов  $\tau_{3i}$ ;
- выровнять фазы  $\varphi_i$  этих сигналов.

Будем полагать также, что аппаратные погрешности преобразования сигналов на одну частоту малы, (в современных приемниках декаметрового диапазона достигается стабильность  $10^{-8} \dots 10^{-9}$ , т. е. за 10 с фаза сигнала самопроизвольно может измениться на единицы градусов) по сравнению с другими погрешностями. Таким образом, остается задача выравнивания задержек и фаз сигналов различной частоты.

Время задержки каждого сигнала определяется как

$$\tau_{3i} = \int_0^{L_i} \frac{dl}{V_{\varphi i}(l)}, \quad (2)$$

где  $L_i$  – длина трассы локации для  $i$ -го сигнала;  $V_{\varphi i}(l)$  – фазовая скорость распространения  $i$ -го сигнала, которая зависит от коэффициента преломления ионосферы  $n_i(l)$ , т.е.  $V_{\varphi i}(l) = \frac{c}{n_i(l)}$ , где  $c$  – скорость света, а  $l$  – положение текущей точки на наклонной траектории.

В свою очередь, коэффициент преломления зависит от частоты, параметров ионосферы и изменяется вдоль трассы распространения сигнала. Рас-

чет задержки по формуле (2) вследствие отсутствия полной информации о параметрах ионосферы не имеет смысла. Таким образом, возникает задача об оптимальном измерении времени задержки  $\tau_{zi}$  с учетом того, что из-за динамических свойств ионосферы и цели происходит непрерывное изменение задержек  $\tau_{zi}$ . При этом необходимо учесть, что обычно в загоризонтной (ЗГ) СКВП производится оптимизация частотно-углового режима работы, в течение которого определяются частоты, на которых наблюдается наименьшее затухание сигнала, и в диапазоне которых уровень помех всякого рода наименьший. Однако в нашей задаче, особенно при больших размерах апертуры, оптимизацию режима работы СКВП нужно выполнять в относительно широком диапазоне частот (до сотен килогерц). Это не всегда возможно. Следовательно, на некоторых частотах условия для получения точных оценок задержек сигнала будут малопримемлемы. Эта точность может быть повышена при использовании информации от соседних частотных каналов, где сигнал подвержен меньшим искажениям. Такая информация может быть полезна в случае коррелированности сигналов различных частот.

Если радиоволны отражались от разных слоев ионосферы, то как показали эксперименты [6], коэффициент корреляции не превышал значений 0,1 ... 0,3. Таким образом, выбор частот необходимо производить так, чтобы высоты отражения находились в пределах одного слоя ионосферы (чаще всего слоя F2). Такой выбор легко осуществляется путем достаточно простых расчетов [7]. Если указанные условия выполнены, то даже в области высокоширотной ионосферы при проведении экспериментов на трассе протяженностью 1450 км было выявлено, что на частотах 10,7 и 16,7 МГц корреляция между сигналами, которые сдвинуты по частоте на 3,6 и 12 кГц в ночные часы достигала 0,72 ... 0,9 [8].

Следовательно, возникает оптимизационная задача по разнесу крайних частот многочастотного сигнала. С одной стороны, необходимо увеличивать разнос частот в интересах увеличения общего размера синтезированной апертуры, а с другой – уменьшать его с целью сохранения приемлемой корреляции между разночастотными сигналами, а значит, обеспечивать повышение точности измерения задержек.

Заметим, что точность выравнивания задержек сигналов не является абсолютной и поэтому образовавшаяся синтезированная апертура антенны не будет линейной. В целом эти отличия от линейности не должны ухудшить направленные свойства синтезированной антенны при условии, что фазы мнимых излучателей выровнены. Следовательно, возникает третья задача по синтезированию апертуры антенны – это выравнивание фаз  $\varphi_i$  сигналов с целью обеспечения их когерентности. Эта задача может решаться путем синтеза квазиоптимальной схемы измерения изменяющихся фаз сигналов в каж-

дом канале. Фаза сигнала может быть представлена зависимостью

$$\varphi_i = k_i \int_0^{L_i} n_i(l) dl, \quad (3)$$

где  $k_i = \frac{2\pi}{\lambda_i}$  – волновое число на частоте  $f_i$ .

**Выводы.** Таким образом, видно, что большое количество факторов влияют на полезный сигнал, который используется для создания антенны с синтезированной апертурой в дециметровом диапазоне волн. Основное влияние на качество синтеза оказывает ионосфера, однако в отличие от измерения задержки, точность измерения фазы сигнала, прошедшего ионосферу, должна быть достаточно высокой, иначе вместо накопления сигналов можно создать условия для их вычитания. Итак, возможность создания антенны с синтезированной апертурой определяется, главным образом, возможностью обеспечения приемлемой точности измерения фазы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Антипов В.Т., Горяинов А.Н., Кулик и др. / Под ред. В.Т. Горяинова. Радиолокационные станции с цифровым синтезированием апертуры антенны – М.: Радио и связь, 1988. – 304 с.
2. Буренин Н.И. РЛС с синтезированной апертурой. – М.: Сов. радио, 1972. – 342 с.
3. Джонсон В.Т. Неоднозначности в космических радиолокаторах с синтезированной апертурой // Радиотехника СВЧ. – 1984. – № 27. – С. 7 – 17.
4. Доросинский Л.Г., Куров А.Р. Эффективность обнаружения целей РЛС с синтезированной апертурой // Радиотехника. – 1986. – № 1. – С. 23 – 24.
5. Гинзбург В.Л. Распространение электромагнитных волн в плазме. – М.: Наука, 1967. – 683 с.
6. Намазов С.А., Рожкина Т.Е. Исследование сложного сигнала при ионосферном распространении дециметровых волн // Распространение радиоволн. – М.: Наука. – 1975. – С. 262 – 290.
7. Чернов Ю.А. Возвратно-наклонное зондирование ионосферы. – М.: Связь, 1971. – 204 с.
8. Благовещенский Д.В., Благовещенская Н.Ф., Курченко Ю.А. Корреляционные характеристики частотно-разнесенного приема КВ-сигналов в зоне полярных сияний // Тезисы докладов XII Всесоюзной конференции по распространению радиоволн. Ч. 1. – М.: Наука, 1978. – С. 156 – 157.

Поступила 28.03.2003

**КАРЛОВ Дмитрий Владимирович**, кандидат технических наук, ст. научный сотрудник научного центра при ХВУ. Окончил ХВУ в 1995 году. Область научных интересов – военная кибернетика, радиолокация.