

## Особенности формирования диаграмм направленности апертурными антеннами

Р.В. Первушин

Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета  
602264, г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская д.23  
E-mail: prv@pochta.ru

*Изложены оценки влияния сверхширокополосного сигнала на характеристики апертурных антенн.*

*The effects of superbroadband signals of characteristics of aperture antennas are expounded.*

Использование радиометрических систем для контроля и изучения природной среды, а так же технологических процессов стало уже будничным. Актуальным становится вопрос контроля количественных характеристик наблюдаемых процессов, то есть осуществление измерений с заданной точностью. Для этого, в соответствии с требованиями ГОСТов группы «Государственная система обеспечения единства измерений», необходимо, чтобы подобные системы обладали определенными метрологическими характеристиками. Точность измерения радиометрическими системами во многом определяется параметрами антенных устройств пассивного радиолокационного измерительного комплекса. Однако, оценивая погрешности измерений, при переходе к сверхширокополосным сигналам, как показано в [1], необходимо учитывать характеристики приемника и особенности его построения, параметры сигналов устройств калибровки. Таким образом, необходим системный подход к разработке и эксплуатации измерительных систем, использующих сверхширокополосные сигналы, в том числе радиометрологического направления.

При построении модели антенной системы, как правило, используется выражение описывающее диаграмму направленности антенны выражением вида

$$\Psi(\theta) = \frac{\sin(\theta)}{\theta}. \quad (1)$$

Однако в [2] данное выражение предлагается использовать при линейном распределении поля по апертуре для линейных антенн, а при линейном распределении поля по круглой апертуре рекомендуется выражение

$$\Psi(\theta) = \frac{2J_1(\theta)}{\theta}, \quad (2)$$

где  $2J_1(\theta)$  - функция Бесселя первого порядка.

Диаграмму направленности антенной системы при приеме сверхширокополосного сигнала можно описать выражением [3]

$$\Psi(\theta) = G \left| \int_{\theta\left(1-\frac{\Delta f}{2f_0}\right)}^{\theta\left(1+\frac{\Delta f}{2f_0}\right)} \frac{2J_1(\theta)}{\theta} d\theta \right|, \quad (3)$$

где  $G$  - нормировочный множитель;  $f_0$  - центральная частота приема СВЧ-тракта приемника;  $\Delta f$  - ширина полосы пропускания приемника.

На рисунке 1 представлены графики, позволяющие сравнить ДН круглых антенн, описанных выражениями (1) и (2).

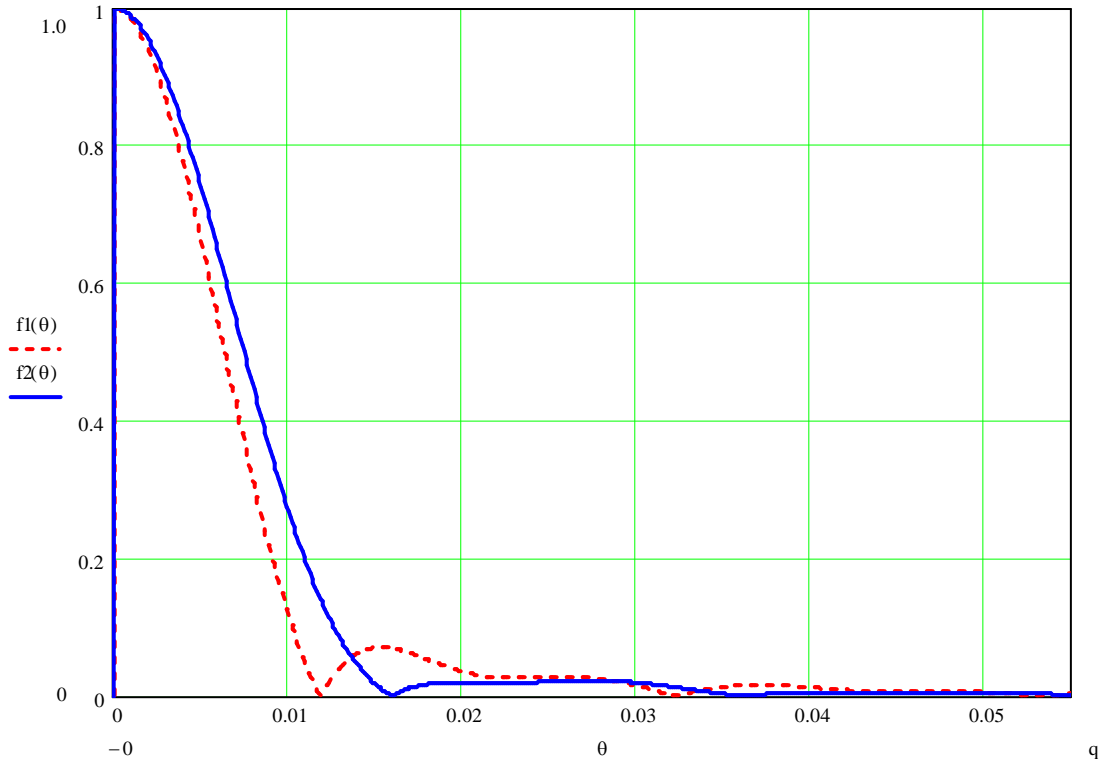


Рис.1 Графики ДН апертурной антенны

Из анализа графиков можно сделать вывод об увеличении ширины диаграммы направленности по уровню 0,7 при переходе в модели от выражения (1) к выражению (2) на 16%, по уровню первого нуля – на 30%, при этом более чем в пять раз снижается уровень первого бокового лепестка.

При использовании в качестве измерительного устройства супергетеродинного приемника, обработка сигнала может осуществляться по прямому каналу, по зеркальному каналу и, для увеличения ширины полосы приема а, следовательно, и чувствительности, по обоим каналам одновременно.

Для оценки влияния приема измеряемого сигнала по прямому и зеркальному каналам тракта промежуточной частоты супергетеродинного приемника по аналогии с [3] разделим выражение (3) на два слагаемых с заменой переменных

$$\Psi(\theta) = G \left[ \int_{\theta\left(1-\frac{\Delta f_1}{2f_0}\right)}^{\theta\left(1+\frac{\Delta f_1+\Delta f_2}{2f_0}\right)} \frac{2J_1(\theta)}{\theta} d\theta + \int_{\theta\left(1-\frac{\Delta f_1+\Delta f_2}{2f_0}\right)}^{\theta\left(1+\frac{\Delta f_1}{2f_0}\right)} \frac{2J_1(\theta)}{\theta} d\theta \right], \quad (2)$$

где  $\Delta f_1$  - нижняя частота полосы пропускания тракта промежуточной частоты приемника;  $\Delta f_2$  - полоса пропускания тракта промежуточной частоты приемника.

Таким образом, с точки зрения частотных характеристик, приведенных к входу измерительной системы, систему можно представить как полоснопропускающий фильтр с полосой пропускания  $\Delta f_{ex1} = 2(\Delta f_1 + \Delta f_2)$  и внутренней полосой режекции  $\Delta f_{ex2} = 2\Delta f_1$ .

На рисунке 2 представлены графики, отображающие влияние на диаграммы направленности (ДН) антенных систем, входящих в измерительный комплекс, видов приемников и их характеристик при приеме сверширокополосных сигналов для следующих случаев:  $f1(\theta)$  - при  $\Delta f = 0,25f_0$  (приемник прямого усиления);  $f2(\theta)$  - при  $\Delta f_1 = 0,0625f_0$  и  $\Delta f_2 = 0,125f_0$ ;  $f3(\theta)$  - при  $\Delta f_1 = 0,125f_0$  и  $\Delta f_2 = 0,125f_0$ .

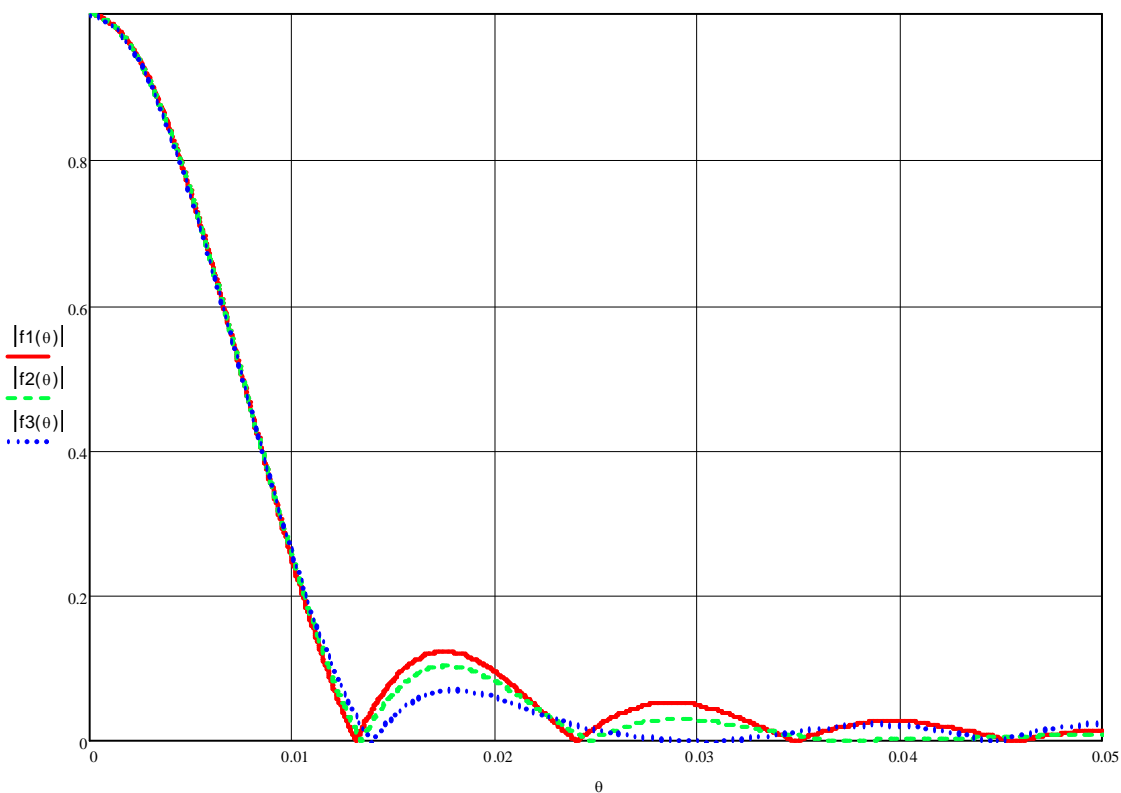


Рис.2 Влияние на ДН апертурной антенны полосы режекции

Анализ графиков показывает, что наличие приема одновременно по прямому и зеркальному каналам, при одинаковой эквивалентной полосе пропускания ( $2\Delta f_2 = \Delta f_{\text{эке}}$ ), приводит к неоднозначному изменению соотношений между уровнями боковых лепестков, к смещению и размытию «нулей» в ДН антенной системы в зависимости от ширины полосы режекции.

Как отмечено в [3], на практике частотная характеристика СВЧ тракта может вносить частотные искажения в основной и зеркальный каналы, изменяя их полосы пропускания неравномерно.

На рисунке 3 представлены графики, отображающие ДН антенны при приеме сигналов с неравными полосами пропускания ( $\Delta f_2$  - полоса пропускания основного канала,  $\Delta f_3$  - полоса пропускания зеркального канала) для следующих случаев:  $f_1(\theta)$  - при  $\Delta f = 0,25f_0$ ;  $f_2(\theta)$  - при  $\Delta f_1 = 0,0625f_0$ ,  $\Delta f_2 = 0,125f_0$  и  $\Delta f_3 = 0,0625f_0$ ;  $f_3(\theta)$  - при  $\Delta f_1 = 0,0625f_0$ ,  $\Delta f_2 = 0,0625f_0$  и  $\Delta f_3 = 0,125f_0$ .

Как следует из анализа графиков, изменения, при этом, происходят как в главном лепестке ДН так и в ее боковых лепестках, происходит смещение «нулей».

Таким образом, при выборе модели измерительной системы, работающих со сверхширокополосным сигналами, необходимо учитывать особенности антенных систем, выбор их математической модели, структуры построения приемника и его характеристики, а также сквозные частотные характеристики всей системы. В процессе эксплуатации важно правильно выбирать устройство калибровки, вырабатывающего сигнал, спектр которого согласован с АЧХ измерительной системы или гарантированно его превышает, и в последующем осуществлять регулярный контроль характеристик как самой системы, так и устройства формирования калибровочного сигнала.

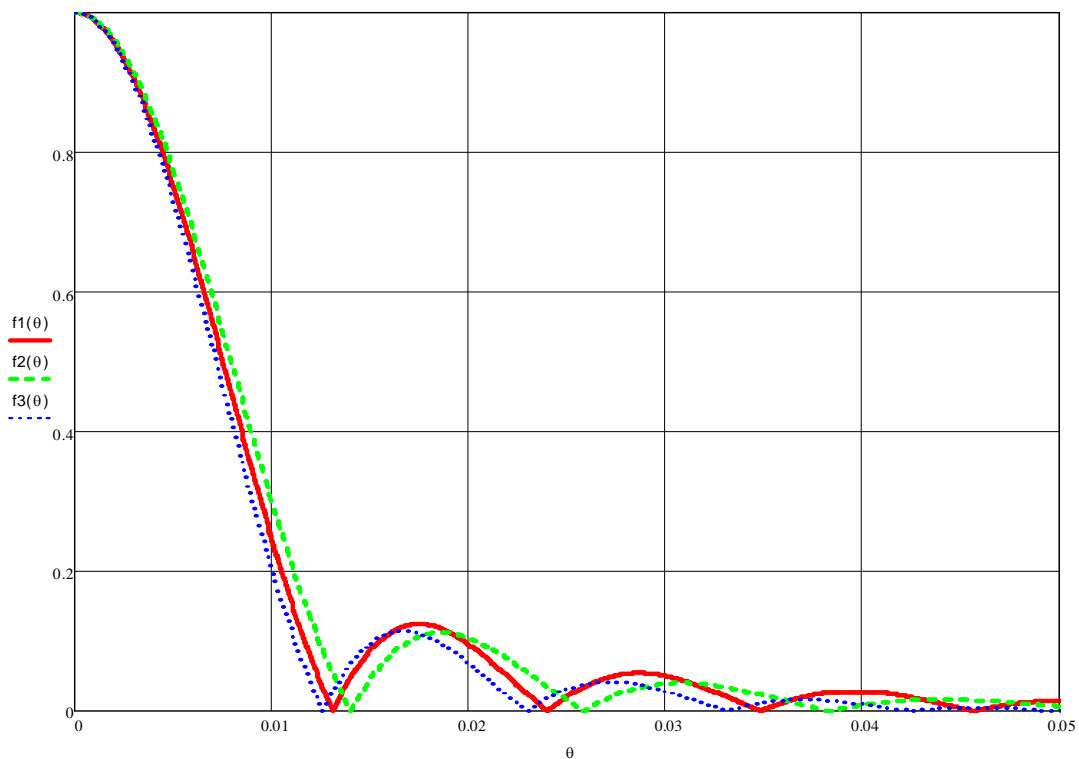


Рис.3 Влияние на ДН апертурной антенны соотношение полос пропускания основного и зеркального каналов

В целом значение погрешности, обусловленной приемом фонового излучения боковыми лепестками, при использовании сверхширокополосной радиометрической измерительной системы с супергетеродинным приемником, принимающего зеркальный канал, заметно снижается.

### Литература

1. Первушин Р.В., Костров В.В., Булкин В.В. Особенности пеленгации источников шумовых сигналов // Сверхширокополосные сигналы в радиолокации, связи и акустике. Тр. Всерос. научн. конф. (1-4 июля 2003, Муром). Муром: МИ ВлГУ, 2003. – С. 400-404.
2. Справочник по радиолокации. Под ред. М. Скольникова, Нью-Йорк, 1970. Пер. с англ. (в четырех томах) под общей ред. К.Н. Трофимова. Том 2. Радиолокационные антенные устояства. Под ред. П.И. Дудника. М., «Сов. радио», 1987, 408 с.
3. Первушин Р.В. Особенности калибровки радиометрических систем с зеркальным каналом приема // Радиофизические методы в дистанционном зондировании сред [Электронный ресурс]: сб. докладов Четвёртой Всероссийской научной школы и конференции. Муром, 30 июня – 3 июля 2009 г. – Муром: ИПЦ МИ ВлГУ, 2009. –433 с.:ил. № гос. регистрации 0320901239. – С.366-368.