

## Режимы работы радиометрических супергетеродинных приемников с многочастотной накачкой

Р.В. Первушин

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

*Дана оценка влияния параметров сверхширокополосного сигнала на характеристики радиометрических приемников супергетеродинного типа с апертурными антеннами.*

*The influence of parameters on the performance of ultra-wideband signal microwave radiometric receivers superheterodyne type aperture antennas was given.*

Характеристики радиометрических измерительных систем определяется многими факторами: видом антенной системы; особенностями построения приемника. Особенно это заметно при переходе от узкополосных сигналов к широкополосным и, тем более, к сверхширокополосным в системах, состоящих из апертурных антенн и супергетеродинных приемников. Как показано в [1] улучшения соотношения сигнал/шум одобных радиометрических систем можно достичь применением «бигармонической накачки» гетеродина радиометрического приемника супергетеродинного типа.

В качестве источника многочастотного сигнала целесообразно использовать СВЧ генераторы на диоде Ганна. Возникновение многочастотных асинхронных режимов работы автогенераторов на таких диодах происходит благодаря наличию самосинхронизации отраженных от нагрузки сигналов, возникающих во время переходного процесса при включении автогенератора. Множественность колебаний обусловлено многоконтурностью резонансных систем волноводных генераторов, включая элементы крепления диода и коаксиальной системы подвода питания. При этом разнос частот генерируемых асинхронных колебаний может достигать сотни и даже тысячи мегагерц, а количество асинхронных колебаний может достигать десяти. На практике нашли применение двухчастотные (бигармонические) режимы работы, а остальные многочастотные режимы считаются «паразитными». Однако в пассивной радиолокации возможно применение и этих режимов.

Если спектральная плотность принимаемого сигнала в достаточно широком диапазоне частот является постоянной, в смесителе супергетеродинного радиометрического приемника можно использовать многочастотную гармоническую накачку. Это позволит расширить эквивалентную полосу принимаемых частот, а, следовательно, повысить флуктуационный порог чувствительности радиометра. При выборе трехчастотного режима работы гетеродина, следует соблюдать следующие соотношения между ними

$$|f_1 - f_2| \geq 2\Delta f, |f_2 - f_3| \geq 2\Delta f, \quad (1)$$

где  $f_1, f_2, f_3$  - асинхронные частоты гетеродина,

$2\Delta f$  - полоса пропускания УПЧ супергетеродинного приемника.

Приведенное выше условие позволяет исключить попадание гармонических компонент с разностными частотами асинхронных компонент в полосу пропускания УПЧ. В таком режиме прием сигнала будет осуществляться по трем «прямым» и трем «зеркальным каналам» приемного тракта, что эквивалентно увеличению суммарной полосы пропускания по высокой частоте в три раза по сравнению с работой супергетеродинного приемника с одночастотным гетеродином и приемом сигнала по «прямому» и «зер-

кальному» каналам. Это, в свою очередь, приводит к улучшению флуктуационного порога чувствительности радиометра в  $\sqrt{3}$  раз.

Для оценки влияния приема измеряемого сигнала по трем каналам одновременно ВЧ тракта приемника на диаграмму направленности антенной системы, по аналогии с методикой изложенной в [2] выведено выражение

$$\Psi(\theta) = G \left| \begin{array}{ccc} \theta \left( 1 + \frac{f_1 + \Delta f}{2f_0} \right) & \theta \left( 1 + \frac{f_2 + \Delta f}{2f_0} \right) & \theta \left( 1 + \frac{f_3 + \Delta f}{2f_0} \right) \\ \int \frac{2J_1(\theta)}{\theta} d\theta + & \int \frac{2J_1(\theta)}{\theta} d\theta + & \int \frac{2J_1(\theta)}{\theta} d\theta \\ \theta \left( 1 - \frac{f_1 - \Delta f}{2f_0} \right) & \theta \left( 1 - \frac{f_2 - \Delta f}{2f_0} \right) & \theta \left( 1 - \frac{f_3 - \Delta f}{2f_0} \right) \end{array} \right|, \quad (2)$$

где  $f_0 = \frac{f_1 - f_3}{2}$  - центральная полоса приема тракта ВЧ;

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

Анализ выражения (2) показывает, что высокочастотный тракт системы можно представить как полосно-пропускающий фильтр с центральными частотами  $f_1, f_2, f_3$  и полосой пропускания каждого фильтра  $2(\Delta f + \Delta f_P)$ , где  $\Delta f_P$  - полоса режекции, обусловленная значением наличия приема по «прямому» и «зеркальному» каналам супергетеродинного приемника и определяется значением нижней частотой полосы пропускания тракта УПЧ.

С учетом наличия полосы режекции  $\Delta f_P$  выражение (2) принимает вид

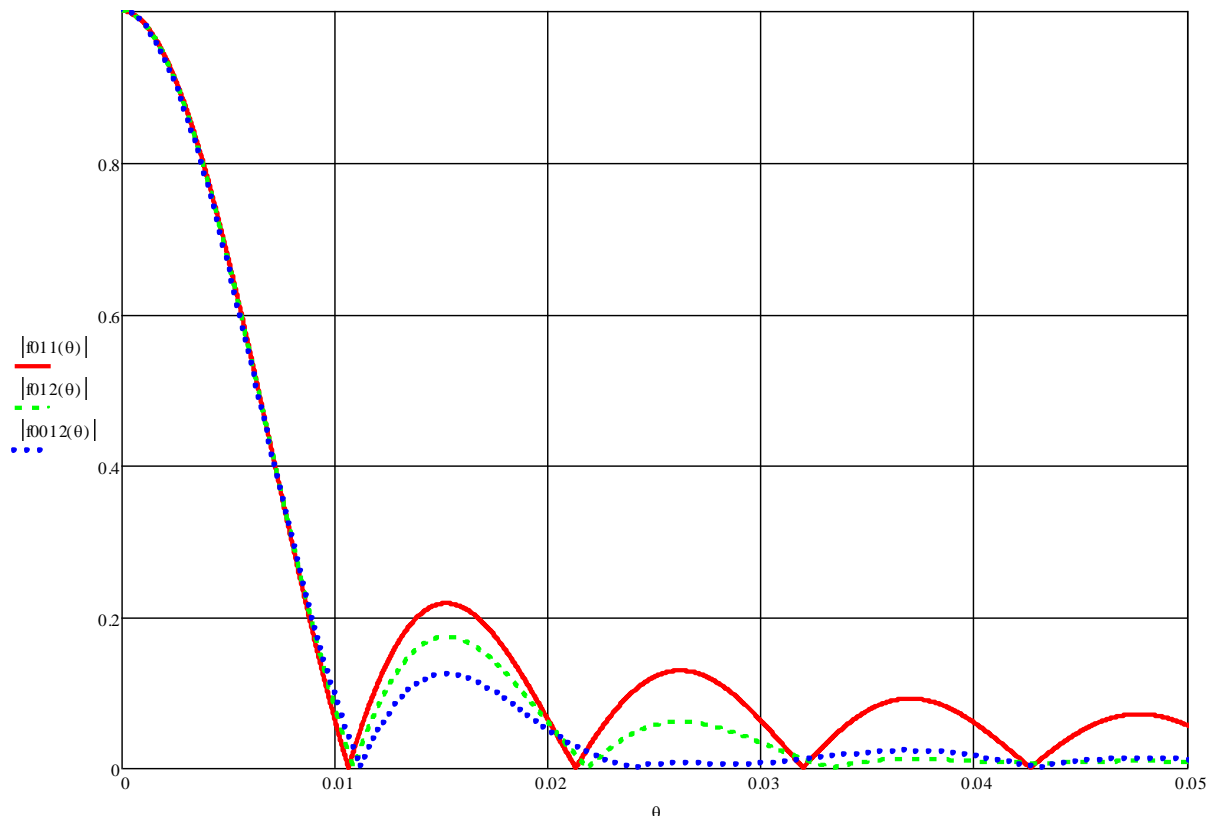
$$\Psi(\theta) = G \left| \begin{array}{ccc} \theta \left( 1 + \frac{f_1 + \Delta f - \Delta f_P}{2f_0} \right) & \theta \left( 1 + \frac{f_1 + \Delta f + \Delta f_P}{2f_0} \right) & \\ \int \frac{2J_1(\theta)}{\theta} d\theta + & \int \frac{2J_1(\theta)}{\theta} d\theta + & \\ \theta \left( 1 - \frac{f_1 - \Delta f - \Delta f_P}{2f_0} \right) & \theta \left( 1 - \frac{f_1 - \Delta f + \Delta f_P}{2f_0} \right) & \\ \theta \left( 1 + \frac{f_2 + \Delta f - \Delta f_P}{2f_0} \right) & \theta \left( 1 + \frac{f_2 + \Delta f + \Delta f_P}{2f_0} \right) & \\ \int \frac{2J_1(\theta)}{\theta} d\theta + & \int \frac{2J_1(\theta)}{\theta} d\theta + & \\ \theta \left( 1 - \frac{f_2 - \Delta f - \Delta f_P}{2f_0} \right) & \theta \left( 1 - \frac{f_2 - \Delta f + \Delta f_P}{2f_0} \right) & \\ \theta \left( 1 + \frac{f_3 + \Delta f - \Delta f_P}{2f_0} \right) & \theta \left( 1 + \frac{f_3 + \Delta f + \Delta f_P}{2f_0} \right) & \\ \int \frac{2J_1(\theta)}{\theta} d\theta + & \int \frac{2J_1(\theta)}{\theta} d\theta & \\ \theta \left( 1 - \frac{f_3 - \Delta f - \Delta f_P}{2f_0} \right) & \theta \left( 1 - \frac{f_3 - \Delta f + \Delta f_P}{2f_0} \right) & \end{array} \right|. \quad (3)$$

Таким образом, полосно-пропускающий фильтр при трехчастотной накачке гетеродина приемника имеет три полосы режекции шириной  $\Delta f_P$  и две полосы режекции, ширина которых определяется разном частот гетеродина  $\Delta f_{P1} = f_1 - f_2 - 2(\Delta f_P + \Delta f)$  и  $\Delta f_{P2} = f_2 - f_3 - 2(\Delta f_P + \Delta f)$ .

Как показано в (1), существенным фактором, влияющим на образование диаграммы направленности апертурной антенны, являются частотные характеристики фильтра. Так частота гетеродина  $f_2$  может совпадать или отличаться в ту или иную сторону с центральной частотой  $f_0$ , а полосы режекции  $\Delta f_{P1}$  и  $\Delta f_{P2}$ , при условии  $f_1 = f_2 + 2(\Delta f_P + \Delta f)$  и  $f_2 = f_3 + 2(\Delta f_P + \Delta f)$  соответственно, могут равняться нулю.

На рис. 1. представлены графики, отображающие результаты моделирования ДН антенны, для супергетеродинного приемника в различных режимах работы:  $f_0 11(\theta)$  -

ДН для радиометрической системы с узкополосным сигналом;  $f_{012}(\theta)$  - ДН для радиометрической системы с супергетеродинным приемником, работающим с одночастотным гетеродином и одной боковой полосой приема  $\Delta f = 0,125f_0$ ;  $f_{0012}(\theta)$  - ДН для радиометрической системы с супергетеродинным приемником, работающим с трехчастотным гетеродином и результирующей широкополосностью  $III = \frac{f_3 - f_1}{f_0} = 0,25$ .

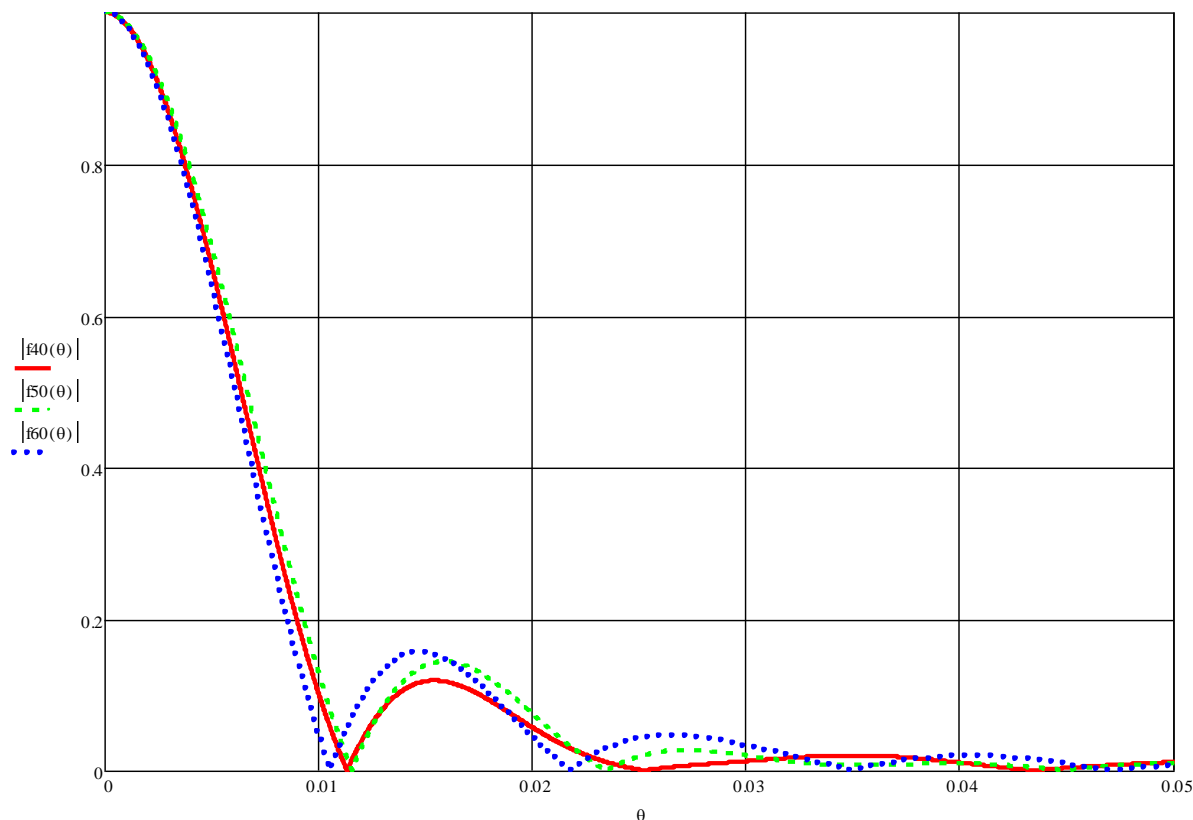


**Рис.1. Влияние на ДН апертурной антенны режимов работы супергетеродинного приемника**

Из графика следует, что применение трехчастотного гетеродина в радиометрическом приемнике заметно улучшает ДН антенной системы по уровню боковых лепестков (уровень второго лепестка снижается почти в два раза по сравнению с использованием узкополосного сигнала, а уровень остальных – еще значительней) и эквивалентно переходу системы из режима работы с широкополосным сигналом в режим работы со сверхширокополосным сигналом.

На рис. 2. представлены графики, отображающий ДН антенны, для следующих режимов работы системы с трехчастотным гетеродином:  $f_{40}(\theta)$  при  $f_0 = f_2$ , то есть при симметричном расположении частот гетеродина  $f_1$  и  $f_3$  относительно частоты  $f_2$ ;  $f_{50}(\theta)$  при  $f_0 < f_2$ , то есть при несимметричном расположении частот гетеродина  $f_1$  и  $f_3$  относительно частоты  $f_2$  при этом  $\Delta f_{P1} = 2\Delta f_{P1} = 0,25f_0$ ;  $f_{60}(\theta)$  при  $f_0 > f_2$ , то есть при несимметричном расположении частот гетеродина  $f_1$  и  $f_3$  относительно частоты  $f_2$  при этом  $2\Delta f_{P1} = \Delta f_{P1} = 0,25f_0$ .

Анализ результатов моделирования показывает, что изменения, вызванные переходом на трехчастотный режим работы гетеродина в радиометрическом приемнике, происходят как в главном лепестке ДН, так и в ее боковых лепестках.



**Рис.2. Влияние на ДН апертурной антенны взаимного расположения частот многочастотного гетеродина**

Из приведенных результатов можно сделать вывод о необходимости тщательного выбора системы калибровки измерительных радиометрических систем с апертурными антеннами, работающими со сверхширокополосными сигналами. При этом необходимо еще на стадиях проектирования и изготовления осуществлять сквозной контроль амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) всей системы. А на стадии эксплуатации выбирать калибровочный сигнал со спектральным составом, согласующимся с АЧХ измерительной системы. Кроме того, целесообразно осуществлять регулярный контроль частотной характеристики и, одновременно, спектра калибровочного сигнала.

В докладе приводятся результаты численного моделирования влияния приема сверхширокополосного сигнала измерительной системы, построенной по супергетеродинной схеме с трехчастотным гетеродином.

### Литература

1. Первушин Р.В. Особенности работы радиометрических супергетеродинных приемников бигармонической накачкой. // III Всероссийские Армановские чтения [Электронный ресурс]: Сверхширокополосные сигналы в радиолокации, связи и акустике / Материалы IV Всероссийской научной конференции (Муром, 25-27 июня 2013 г.) – Муром: ИПЦ МИ ВлГУ, 2013. – С. 222-225. ISSN 2304-0297 (CD-ROM).
2. Первушин Р.В. Особенности формирования диаграмм направленности апертурными антеннами. // Сверхширокополосные сигналы в радиолокации, связи и акустике [Электронный ресурс]: Всероссийские радиофизические научные чтения-конференции памяти Н.А. Арманда. Сб. докладов III Всероссийской научной конференции (Муром, 28 июня – 1 июля 2010 г.). – Муром: ИПЦ МИ ВлГУ, 2010. – С.100-103. –1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Загл. с экрана. -№ гос. регистрации 0321001175.