

## ИСКАЖЕНИЯ МОДУЛИРУЮЩИХ ФУНКЦИЙ МНОГОЧАСТОТНЫХ СИГНАЛОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ

к.т.н. И. Г. Леонов, А.В. Кондратенко, Д.В. Максютя, Ю.М. Рябуха  
(представил д.т.н., проф. Ю. Н. Седышев)

*Рассмотрено влияние искажений модулирующей функции на корреляционные свойства многочастотного сигнала при его формировании методом фазовой модуляции. Получены зависимости уровня главного максимума сжатого сигнала от значений величин отклонения параметров гармонической модулирующей функции.*

Разрешение противоречий между дальностью действия и необходимой разрешающей способностью по дальности радиолокационной станции (РЛС) обычно достигается путем использования сложных зондирующих сигналов. Потенциально достижимые характеристики РЛС определяются характеристиками таких сигналов [1]. Определенными преимуществами обладают когерентные многочастотные сигналы (МЧС) с одинаковыми частотными составляющими [2]. Обычно такие сигналы формируются методом угловой (фазовой, частотной) модуляции исходного СВЧ радиоимпульса периодическим модулирующим напряжением.

Анализ модуляционных искажений, возникающих при формировании многочастотных сигналов методом угловой модуляции, позволяет оценить степень влияния технических и естественных дестабилизирующих факторов на форму корреляционных функций таких сигналов, тем самым на дальность действия и разрешающие способности РЛС. В соответствии с этим можно предъявить требования к допустимым значениям отклонений основных параметров модулирующего сигнала.

За основу примем модель РЛС, изображенную на рис. 1.

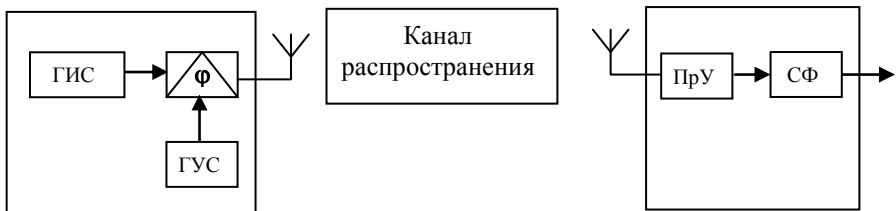


Рис.1. Модель многочастотной РЛС

Будем считать, что приёмное устройство максимизирует на выходе

отношение сигнал/шум, а канал распространения не вносит искажений в сформированный методом фазовой модуляции сигнал. Фазовый модулятор и генератор исходного одночастотного гармонического сигнала идеальны. При этих допущениях можно считать, что все искажения многочастотного сигнала возникают из-за:

- нестабильности начальной фазы модулирующего сигнала  $\Delta\varphi$  ( $\delta\varphi$ );
- нестабильности частоты модулирующего сигнала  $\Delta f$  ( $\delta f$ );
- нестабильности амплитуды модулирующего напряжения  $\Delta U_m$  ( $\delta U_m$ ), а значит, нестабильности индекса угловой модуляции  $\Delta M_\varphi$  ( $\delta M_\varphi$ ),

где  $\Delta\varphi$  ( $\delta\varphi$ ) – абсолютное и относительное отклонение начальной фазы модулирующего сигнала;  $\Delta f$  ( $\delta f$ ) – абсолютное и относительное отклонение частоты модулирующего сигнала;  $\Delta M_\varphi$  ( $\delta M_\varphi$ ) – абсолютное и относительное отклонение индекса угловой модуляции модулирующего сигнала;  $\Delta U_m$  ( $\delta U_m$ ) – абсолютное и относительное отклонение амплитуды модулирующего напряжения.

Эти нестабильности будем считать независимыми величинами.

Отклонения перечисленных параметров могут быть регулярными и случайными. Для первых достаточно определить допустимые отклонения относительных или абсолютных значений от номинальных. Для вторых требуется определить закон распределения плотности вероятности и дисперсии или среднеквадратические отклонения случайных приращений соответствующих параметров. В общем случае сформированный сигнал можно описать выражением [3]:

$$U_u(t) = U_0(t) \prod_{\xi=1}^M \sum_{\gamma=-N}^N J_\gamma(M_{\varphi\xi} + \Delta M_{\varphi\xi}) \times e^{i\gamma(2\pi(\xi f_m + \Delta f_\xi)t + \varphi_\xi(1 + \delta\varphi_\xi))} = \\ = U_0(t) \prod_{\xi=1}^M \sum_{\gamma=-N}^N J_\gamma[M_{\varphi\xi}(1 + M_{\varphi\xi})] \times e^{i\gamma(2\pi\xi f_m(1 + \delta f_\xi)t + \varphi_\xi(1 + \delta\varphi_\xi))},$$

где  $N = \text{ent}(M_{\varphi\xi} + \sqrt{M_{\varphi\xi} + 1})$ ;  $U_0(t) = U_0 e^{-j2\pi n f_m t}$ ;  $\delta M_{\varphi\xi} = \frac{\Delta M_{\varphi\xi}}{M_{\varphi\xi}}$ ;

$\delta f_\xi = \frac{\Delta f_\xi}{\xi f_m}$ ;  $\delta\varphi_\xi = \frac{\Delta\varphi_\xi}{\varphi_\xi}$ ;  $\xi \in Z$ ;  $\gamma \in Z$ ;  $\Delta M_{\varphi\xi}, \delta M_{\varphi\xi}, \Delta\varphi_\xi, \delta\varphi_\xi$  – абсолютное и относительное приращение индекса угловой модуляции и начальной фазы  $\xi$ -й составляющей частоты модулирующего сигнала;  $\Delta f_\xi, \delta f_\xi$  – абсолютное и относительное приращение  $\xi$ -й частоты модулирующего сигнала.

Исходя из задачи обнаружения, выберем в качестве исходного критерия оценки допустимых нестабильностей параметров формируемых многочастотных сигналов, допустимый уровень уменьшения вероятности правильного обнаружения по отношению к потенциальному значению при фиксированной вероятности ложной тревоги [2, 3]. Поскольку кривые обнаружения являются функциональными зависимостями, аргу-

ментом которых есть отношение сигнал/шум, то оценка допустимых значений искажения параметров будет привязана к допустимому значению снижения уровня главного максимума сжатого сигнала на выходе согласованного фильтра приемного устройства

$$\beta = \frac{\mathbf{R}_u(\mathbf{0},\mathbf{0})}{\mathbf{R}(\mathbf{0},\mathbf{0})},$$

где  $\mathbf{R}_u(\mathbf{0},\mathbf{0})$ ,  $\mathbf{R}(\mathbf{0},\mathbf{0})$  - значения корреляционной функции искаженного и идеального многочастотного сигнала в точке  $(\mathbf{0},\mathbf{0})$ .

Соответственно выражение для корреляционных функций искаженного и неискаженного сигналов имеют вид:

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{R}}_u(\mathbf{0},\mathbf{0}) = & \tau_c \prod_{\xi=1}^M \sum_{\gamma=-N}^N \left( J_\gamma [M\varphi_\xi(1+\delta M\varphi_\xi)] e^{j\gamma\varphi_\xi(1-\delta\varphi_\xi)} \right) \times \\ & \times \prod_{\nu=1}^M \sum_{\mu=-N}^N J_\mu(M\varphi_\nu) e^{-j\mu\varphi_\nu} \frac{\sin(k\pi[\gamma\xi(1+\delta\xi)-\mu\nu])}{k\pi[\gamma\xi(1+\delta\xi)-\mu\nu]}; \end{aligned}$$

$$\dot{\mathbf{R}}(\mathbf{0},\mathbf{0}) = \tau_c \prod_{\xi=1}^M \sum_{\gamma=-N}^N \left( J_\gamma(M\varphi_\xi) e^{j\gamma\varphi_\xi} \right) \times \prod_{\nu=1}^M \sum_{\mu=-N}^N J_\mu(M\varphi_\nu) e^{-j\mu\varphi_\nu} \frac{\sin(k\pi[\gamma\xi-\mu\nu])}{k\pi[\gamma\xi-\mu\nu]},$$

где  $J_\gamma$  - Функция Бесселя первого рода  $\Upsilon$  - порядка;  $J_\mu$  - функция Бесселя

первого рода  $\mu$  - порядка;  $\nu = \frac{\delta f_{cp}}{\Delta f_0}$  - относительная расстройка по частоте.

Выражения для допустимых отклонений значений  $f_\xi$ ,  $\varphi_\xi$ ,  $M\varphi_\xi$ :

$$\beta(\delta M\varphi_\xi) = \frac{\prod_{\xi=1}^M \sum_{\gamma=-N}^N J_\gamma [M\varphi_\xi(1+\delta M\varphi_\xi)] \prod_{\nu=1}^M \sum_{\mu=-N}^N J_\mu(M\varphi_\nu)}{\prod_{\xi=1}^M \sum_{\gamma=-N}^N J_\gamma(M\varphi_\xi) \prod_{\nu=1}^M \sum_{\mu=-N}^N J_\mu(M\varphi_\nu)};$$

$$\beta(\delta f_\xi) = \frac{\prod_{\xi=1}^M \sum_{\gamma=-N}^N J_\gamma(M\varphi_\xi) \prod_{\nu=1}^M \sum_{\mu=-N}^N J_\mu(M\varphi_\nu) \frac{\sin(k\pi[\gamma\xi(1+\delta f_\xi)-\mu\nu])}{k\pi[\gamma\xi(1+\delta f_\xi)-\mu\nu]}}{\prod_{\xi=1}^M \sum_{\gamma=-N}^N J_\gamma(M\varphi_\xi) \prod_{\nu=1}^M \sum_{\mu=-N}^N J_\mu(M\varphi_\nu)};$$

$$\beta(\delta\varphi_\xi) = \frac{\prod_{\xi=1}^M \sum_{\gamma=-N}^N J_\gamma(M\varphi_\xi) e^{j2\pi\gamma\varphi_\xi(1-\delta\varphi_\xi)} \prod_{\nu=1}^M \sum_{\mu=-N}^N J_\mu(M\varphi_\nu) e^{j2\pi\mu\varphi_\nu}}{\prod_{\xi=1}^M \sum_{\gamma=-N}^N J_\gamma(M\varphi_\xi) \prod_{\nu=1}^M \sum_{\mu=-N}^N J_\mu(M\varphi_\nu)}.$$

Зная законы распределения абсолютных или относительных отклонений параметров сигнала, можно получить дисперсии случайных приращений соответствующих параметров:

$$D[\delta M_{\varphi\xi}] = \int_{-\infty}^{\infty} (\delta M_{\varphi\xi} - m_{M\varphi\xi})^2 f(\delta M_{\varphi\xi}) d\delta M_{\varphi\xi};$$

$$D[\delta f_{\xi}] = \int_{-\infty}^{\infty} (\delta f_{\xi} - m_{f_{\xi}})^2 f(\delta f_{\xi}) d\delta f_{\xi}; \quad D[\delta \varphi_{\xi}] = \int_{-\infty}^{\infty} (\delta \varphi_{\xi} - m_{\varphi_{\xi}})^2 f(\delta \varphi_{\xi}) d\delta \varphi_{\xi},$$

где  $f(\delta M_{\varphi\xi})$ ,  $f(\delta f_{\xi})$ ,  $f(\delta \varphi_{\xi})$  - законы распределения соответствующих отклонений параметров модулирующей функции;  $m_{M\varphi\xi}$ ,  $m_{f_{\xi}}$ ,  $m_{\varphi_{\xi}}$  - математические ожидания значений индекса фазовой модуляции, частоты и фазы модулирующей функции.

На рис. 2 - 4 определены зависимости уровней главного максимума сжатого сигнала на выходе согласованного фильтра от значений величин отклонения параметров гармонической модулирующей функции  $\beta(\delta M_{\varphi\xi})$ ,  $\beta(\delta f_{\xi})$ ,  $\beta(\delta \varphi_{\xi})$  при  $\xi = 1$  и значениях индекса фазовой модуляции  $M=1$ ,  $M=2$ ,  $M=5$ . Если принять допустимое десятипроцентное уменьшение отношения сигнал/шум на выходе согласованного фильтра при этих индексах модуляции, то соответственно:

$$\delta M_{\varphi\xi} \leq 0.52, \quad \delta M_{\varphi\xi} \leq 0.232, \quad \delta M_{\varphi\xi} \leq 0.114 \quad (\text{рис. 2});$$

$$\delta f_{\xi} \leq 0.063, \quad \delta f_{\xi} \leq 0.042, \quad \delta f_{\xi} \leq 0.017 \quad (\text{рис. 3});$$

$$\delta \varphi_{\xi} \leq 0.053, \quad \delta \varphi_{\xi} \leq 0.042, \quad \delta \varphi_{\xi} \leq 0.022 \quad (\text{рис. 4}).$$

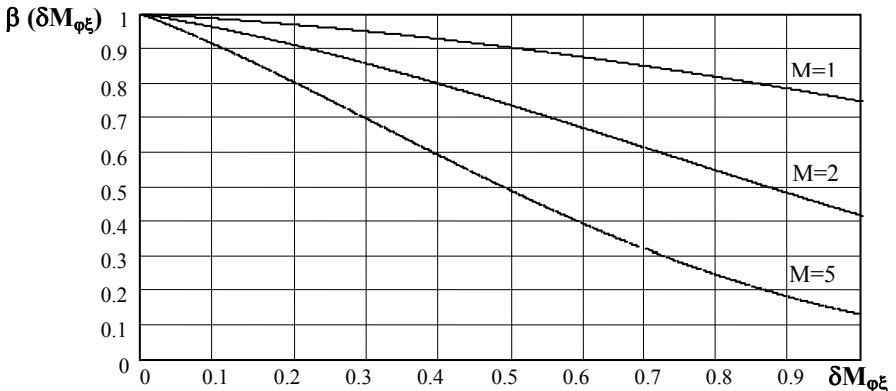


Рис. 2. Зависимость  $\beta$  от  $\delta M_{\varphi\xi}$  при  $\xi = 1$

Таким образом, из полученных зависимостей видно, что при увеличении индекса фазовой модуляции требования к стабильности параметров модулирующей функции возрастают. Рассмотренный критерий и полученные на его основе соотношения позволяют определить допустимый уровень отклонения параметров модулирующей функции при формиро-

вании многочастотного сигнала методом фазовой (частотной) модуляции,

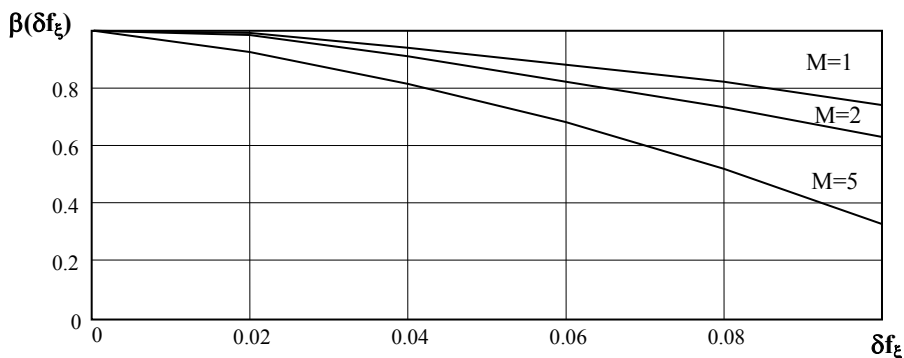


Рис. 3. Зависимость  $\beta$  от  $\delta f_\xi$  при  $\xi = 1$

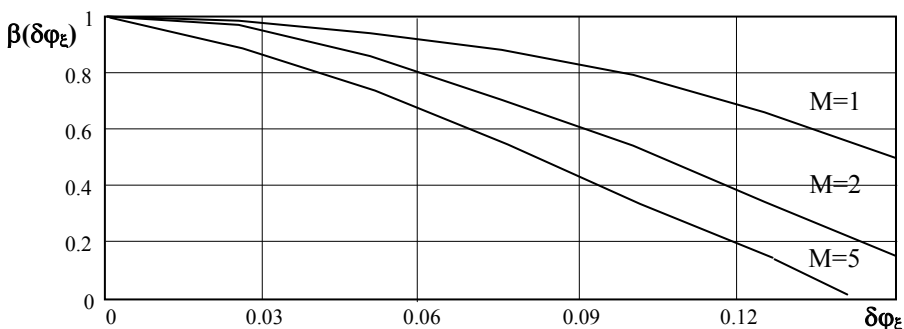


Рис. 4. Зависимость  $\beta$  от  $\delta \phi_\xi$  при  $\xi = 1$

а также оценить степень влияния их нестабильностей на ухудшение тактико-технических параметров многочастотных РЛС.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ширман Я.Д. Теоретические основы радиолокации. – М.: Сов. радио, 1970. – 560 с.
2. Картьяну Г. Частотная модуляция. – Бухарест: Меридиане, 1967. – 672 с.
3. Варакин Л.Е. Теория сложных сигналов. – М.: Сов. радио, 1970. – 376 с.

Поступила 10.05.2002

**ЛЕОНОВ Игорь Геннадиевич**, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры ХВУ. В 1977 году окончил Киевское высшее училище ПВО. Область научных интересов – формирование и обработка многочастотных радиолокационных сигналов.

**КОНДРАТЕНКО Александр Валерьевич**, адъюнкт ХВУ. В 1998 году окончил ХВУ. Область интересов – формирование сложных радиолокационных сигналов.

**МАКСЮТА Дмитрий Владимирович**, адъюнкт ХВУ. В 1997 году окончил ХВУ. Область интересов – многочастотная радиолокация.

**РЯБУХА Юрий Михайлович**, начальник отделения кафедры ХВУ. В 1997 году окончил ХВУ. Область интересов – многочастотная радиолокация.