

Рис. 10. Временная диаграмма и спектр напряжения на выходе управляемого инвертора

Выполненный сравнительный анализ и результаты моделирования свидетельствуют о важных достоинствах предложенной схемы управляемого резонансного инвертора тока и ее перспективности применения в радиосвязи.

#### Список используемых источников

1. Raab F.H. Radio frequency pulse width modulation, IEEE Transactions on Communications, vol. 21, pp. 958–966, Aug. 1973.
2. Dr. Andrzej Samulak. System Analyses of Class-S Power Amplifier. Germany: Erlangen, 2010.
3. Kahn L.R. Single sideband transmission by envelope elimination and restoration, Proc. IRE, vol. 40. no.7, pp. 803–806, july 1952.

## ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ОЦЕНКЕ ЗАЩИЩЕННОСТИ РАДИОКАНАЛОВ ОТ СТРУКТУРНЫХ ПОМЕХ

**С.В. Дворников, Р.В. Иванов**

*Рассматриваются предложения по оценке защищенности радиоканалов с частотной модуляцией от структурных помех. Представляются результаты по расчету вероятности ошибки имитонавязывания. Даются предложения по практическому использованию результатов.*

*Ключевые слова: радиоканал с частотной модуляцией, структурные помехи, вероятностная оценка защищенности, имитоустойчивость.*

## PROPOSALS FOR EVALUATING THE STRUCTURAL SECURITY OF RADIO INTERFERENCE

Dvornikov S., Ivanov R.

*Proposals to assess the security of radio frequency modulated by structural interference. Presents the results for the calculation of error probability of imposing of the false data. Suggestions for the practical use of the results.*

*Keywords: radio frequency modulation, structural noise, probabilistic assessment of security, stability from imposing of the false data.*

## Введение

В настоящее время радиоканалы широко используются для управления роботизированными системами, в том числе беспилотными летательными аппаратами, поэтому вопросы оценки их защищенности от структурных помех являются актуальными.

В настоящей работе рассмотрен радиоканал с частотной модуляцией, как обеспечивающий наибольшую дальность при использовании его в интересах управления [1]. Однако, простота указанного модуляционного формата, используемого при передаче дискретной информации, делает радиоканал доступным для воздействия на него структурными помехами.

В дальнейшем определим воздействие структурных помех, направленных на формирование неверных команд в решающем устройстве, как процедуру имитонавязывания. А имитоустойчивость (имитостойкость) – как способность противостояния имитонавязыванию.

Таким образом, постановку структурных помех, приводящих к имитонавязыванию, можно отнести к одному из наиболее опасных видов деструктивного воздействия на радиоканалы управления.

Проблема имитонавязывания уже рассматривалась в различных работах [2, 3, 4], что подчеркивает актуальность рассматриваемой проблематики. Настоящая статья посвящена исследованию вопросов оценки имитоустойчивости радиоканалов с частотной модуляцией.

## Оценка имитостойкости радиоканалов с частотной модуляцией

Процедуры имитонавязывания предполагают использование помех близких по своей частотно-временной структуре подавляемым сигналам [3]. При этом сущность имитонавязывания заключается в подмене истинного сигнала помехой, приводящей к неверному принятию решения при демодуляции [5]. Фактически при имитонавязывании в радиоканалах с частотной модуляцией происходит формирование помехой на входе демодулятора символа, противоположного информационному, т. е. на решающем элементе создается ситуация неопределенности в принятии решения. В результате чего, выходная последовательность символов будет носить случайный характер.

Учитывая указанные обстоятельства, рассмотрим особенности демодуляции сигналов с частотной модуляцией. Поскольку управление роботизированными системами, как правило, осуществляется в движении, то на практике используется некогерентное детектирование, которое согласно [6] обеспечивает вероятность битовой ошибки равное:

$$P_B = \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{E_B}{2N_0}\right), \quad (1)$$

где  $E_B$  – энергия символа (для бинарных передач);  $N_0$  – спектральная плотность мощности шума (в рассматриваемой ситуации – спектральная плотность мощности структурной помехи).

В [3] показано, что одной из проблем эффективной постановки структурной помехи является обеспечение их тактовой синхронизации с имитируемым сигналом. Согласно [7], это обусловлено различными причинами, такими как различия дистанций связи и подавления, наличие априорных знаний о битовой структуре команды, возможностей методов измерения и оценивания параметров сигналов и т. д.

Для учета особенностей приводящих к рассинхронизации помехи и сигнала введем понятие коэффициента временного несовпадения структурной помехи и сигнала на входе демодулятора  $\rho$ , который, с учетом его вероятностной природы, будет лежать в пределах  $\rho \in [0; 1]$ .

Тогда  $\rho = 1$  будет соответствовать условиям передачи помехой символа противоположного передаваемого сигналом управления в пределах тактового интервала, т. е. условиям, при которых решающее устройство работает случайным образом. А  $\rho = 0$  будет соответствовать ситуации, когда структура помехи соответствует структуре сигнала и полностью совпадает с ним по такту, т. е. способствует его достоверному приему.

Для условий скрытного радиоэлектронного подавления наилучшая ситуация наступит в случае равенства энергий структурной помехи  $E_{\Pi}$  и сигнала, приходящаяся на бит  $E_B$ , и обеспечению условия  $\rho = 1$ :

$$E_{\Pi} = E_B. \quad (2)$$

Действительно, выполнение равенства (2) должно приводить к полной неопределенности на входе решающего устройства демодулятора.

С учетом указанных замечаний, выражение (1) можно преобразовать к следующему виду, таким образом, чтобы в нем учитывалось тактовое несовпадение структурной помехи и сигнала, т.е. результирующая формула полностью характеризовала процесс имитонавязывания:

$$P_B = \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{E_B + (1 - 2\rho)E_{\Pi}}{2N_0}\right). \quad (3)$$

Полученная формула (3) представляет собой модель оценки вероятности ошибки в канале с частотной модуляцией в условиях имитонавязывания, т. е. воздействия оптимальной по структуре и энергии имитационной помехи.

Действительно, эффективность имитонавязывания обусловлена только вопросами тактовой синхронизации с имитируемым сигналом, которая в модели (3) учитывается посредством параметра  $\rho$ .

При  $\rho = 1$  имеем  $P_B = 0,5$ , что характеризует полную неопределенность на решающем устройстве демодулятора.

Напротив, при  $\rho = 0$  происходит суммирование энергии сигнала и помехи, приводящее к повышению достоверности принятия правильного решения. На рисунке представлены результаты зависимости вероятности битовой ошибки  $P_B$  от ОСШ при различных значениях параметра  $\rho$ .

Так, на рисунке показана зависимость вероятности битовой ошибки при  $\rho_1 = 1$ ;  $\rho_2 = 0,9$ ;  $\rho_3 = 0,5$  и  $\rho_4 = 0,1$ . Таким образом, выражение (3) можно рассматривать в качестве модели оценки эффективности процедур имитонавязывания. Ее практическая реализация будет заключаться в измерении длительности тактового интервала несовпадения помехи с имитируемым сигналом в приемном тракте роботизированной системы. Полученное вероятностное значение позволит осуществлять планирование мероприятий как по имитонавязыванию, так и по имитозащите.

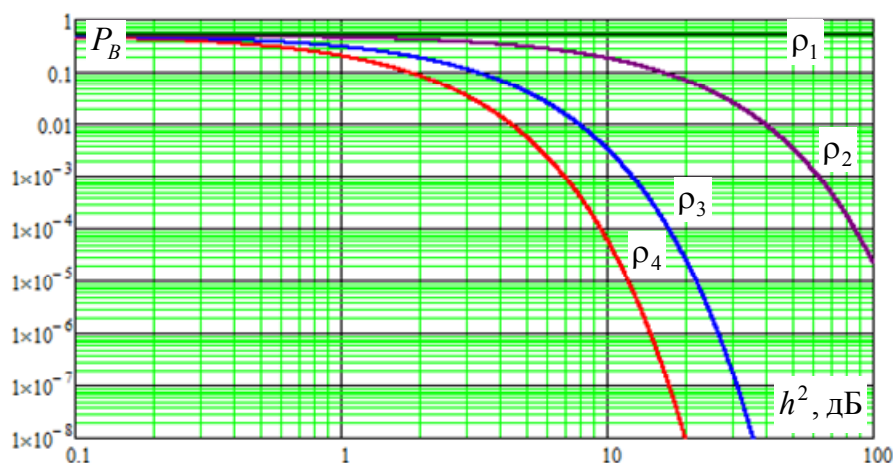


Рисунок. Зависимость вероятности битовой ошибки от ОСШ при различных значениях коэффициента временного несовпадения

## Заключение

Проведенные исследования показали, что реализация процедур эффективного имитонавязывания связана с определенными сложностями не только по формированию помех заданной частотно-временной структуры, но и обеспечению их согласованности по уровню и тактовой синхронизации с имитируемыми сигналами.

Продуктивной мерой, позволяющей избежать имитонавязывание, является установка на входе демодулятора индикатора уровня принимаемого сигнала. При его превышении значения, определяемого допустимым дисперсионным разбросом, необходимо роботизированную систему автоматически переводить в автономный режим.

Кроме того, целесообразно для управления использовать сигналы с различным тактовым интервалом на длительности команды, изменяемым случайным образом, или же использовать сигналы сложных конструкций [8].

Направление дальнейшего исследования связано с оперативным решением вопросов обнаружения [9] самого факта деструктивного воздействия структурных помех на радиоканалы.

#### Список используемых источников

1. Точиллов Л. Системы управления БЛА [Электронный ресурс] / ISPL.ru: [сайт]. URL: [http://www.ispl.ru/Sistemy\\_upravleniya-BLA.html](http://www.ispl.ru/Sistemy_upravleniya-BLA.html), свободный.
2. Орошук И.М. Оценка имитостойкости радиоканала с замираниями при использовании сигналов с частотной манипуляцией // Радиотехника. 2004. № 11. С. 12–18.
3. Дворников С.В., Погорелов А.А., Вознюк М.А., Иванов Р.В. Оценка имитостойкости каналов управления с частотной модуляцией // Информация и космос. 2016. № 1. С. 32–35.
4. Дворников С.В., Кузнецов Д.А., Кожевников Д.А., Пшеничников А.В., Манаенко С.С. Теоретическое обоснование синтеза ансамбля биортогональных сигналов с повышенной помехоустойчивостью // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. 2015. № 5 (22). С. 16–20.
5. Дворников С.В., Устинов А.А., Пшеничников А.В., Борисов В.В., Москалец А.Г., Бурькин Д.А. Демодуляция сигналов ОФТ на основе адаптивного порога // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. 2013. № 2. С. 90–97.
6. Зюко А.Г. Помехоустойчивость и эффективность систем связи. М.: Связь, 1972. 360 с.
7. Дворников С.В. Проблема поиска сигналов источников информации при радиомониторинге // Мобильные системы. 2007. № 4. С. 33–35.
8. Агиевич С.Н., Дворников С.В., Гусельников А.С. Описание сигналов в базисах функций сплайн-Виленкина – Кристенсона // Контроль. Диагностика. 2009. № 3. С. 52–57.
9. Дворников С.В. Метод обнаружения на основе посимвольного перемножения реализаций спектра наблюдаемого процесса с автоматическим расчетом порога принятия решения // Научное приборостроение. 2004. Т. 14. № 4. С. 92–97.

## ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ФОРМИРОВАНИЮ СИГНАЛОВ МЕТОДОМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ КОНКАТЕНАЦИИ ВЕЙВЛЕТ-ФУНКЦИЙ

**С.С. Дворников, А.В. Пшеничников**

*В работе представлены результаты исследования возможности использования в системах радиосвязи сигналов, формируемых в базисе вейвлет-функций (БВФ). Сигналы, сформированные в БВФ, наделяются свойством структурной скрытности по отношению к базисам гармонических функций. Представленные результаты моделирования подтверждают данное заключение. В статье обоснован подход к синтезу сигналом методом последовательной конкатенации вейвлетов различной структуры, соответствующих информационным символам.*

*Ключевые слова: базисные функции, манипуляционные форматы, вейвлет-функции, фазоманипулированные сигналы, помехоустойчивость, скрытность сигналов.*