

**ВЛИЯНИЕ ФАЗОМАНИПУЛИРОВАННОЙ ПОМЕХИ
НА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ КОРРЕЛЯЦИОННОГО
ДЕМОДУЛЯТОРА СИГНАЛОВ С МНОГОПОЗИЦИОННОЙ
ФАЗОВОЙ МАНИПУЛЯЦИЕЙ**

**Г.В. Куликов[@],
Нгуен Ван Зунг,
До Чунг Тиен**

МИРЭА – Российский технологический университет, Москва 119454, Россия

[@]Автор для переписки, e-mail: kulikov@mirea.ru

Энергетические и спектральные преимущества сигналов с фазовой манипуляцией предопределили их широкое применение в современных цифровых навигационных, связанных и телевизионных системах. Использование таких сигналов заложено в коммуникационных стандартах DVB-S, DVB-S2/S2X, ГЛОНАСС, CDMA, WiFi IEEE 802.11 и др. Для повышения пропускной способности радиоканалов применяют многопозиционную фазовую манипуляцию (М-ФМ), что способствует увеличению количества возможных фазовых состояний сигнала и, как следствие, информационной емкости канального символа. Однако такое увеличение существенно влияет на помехоустойчивость приема сигналов М-ФМ. В статье методами статистической радиотехники проанализирована помехоустойчивость приема сигналов с многопозиционной фазовой манипуляцией в присутствии шумовой и фазоманипулированной помехи. Проведены расчеты вероятности битовой ошибки от отношения сигнал/шум, интенсивности помехи, относительной скорости передачи помехи и от ее расстройки относительно центральной частоты спектра полезного сигнала. Показано, что сигналы с многопозиционной фазовой манипуляцией весьма значительно подвержены влиянию фазоманипулированной помехи. С увеличением позиционности сигналов это влияние усиливается. Степень снижения помехоустойчивости приема зависит от величины относительной скорости передачи помехи и ее интенсивности. Поражающее действие фазоманипулированной помехи наиболее заметно проявляется при ее попадании в главный лепесток спектра сигнала. По мере увеличения относительной скорости передачи помеха становится более широкополосной и псевдошумовой, и ее влияние сказывается даже при весьма больших частотных расстройках, несколько снижаясь в области главного лепестка спектра сигнала. Наблюдаемое снижение представляется закономерным, так как анализируемый алгоритм приема сигналов М-ФМ оптимален к воздействию именно шумовой помехи.

Ключевые слова: вероятность битовой ошибки, фазоманипулированная помеха, многопозиционная фазовая манипуляция, помехоустойчивость.

EFFECT OF PHASE-SHIFT INTERFERENCE ON THE NOISE IMMUNITY OF CORRELATION DEMODULATOR OF SIGNALS WITH MULTIPLE PHASE SHIFT KEYING

**G.V. Kulikov@,
Nguyen Van Dung,
Do Trung Tien**

MIREA – Russian Technological University, Moscow 119454, Russia

@Corresponding author e-mail: kulikov@mirea.ru

The energy and spectral advantages of signals with phase shift keying predetermined their widespread use in modern digital navigation, communications and television systems. The use of such signals is the base of communication standards of DVB-S, DVB-S2 / S2X, GLONASS, CDMA, WiFi IEEE 802.11 and others. To increase the capacity of radio channels, multiple phase shift keying (MPSK) is applied. This increases the number of possible phase states of the signal and, thus, the information capacity of the channel symbol. However, such an increase greatly affects the noise immunity of MPSK signal reception. In the article the noise immunity of receiving signals with multiple phase shift keying in the presence of noise and phase-shift interference is analyzed by the methods of statistical radio engineering. The dependencies of bit error probability on the signal-to-noise ratio, on the interference intensity, on the relative transmission speed of the interference, and on its detuning relative to the center frequency of the spectrum of the useful signal are calculated. It is shown that signals with multiple phase shift keying are very strongly influenced by phase-shift interference, and this influence increases with increasing signal positionality. The degree of reduction of the noise immunity of the reception depends on the magnitude of the relative transmission rate of the interference and its intensity. The damaging effect of the phase-shift interference is most pronounced when it hits the main lobe of the signal spectrum. As the relative transmission rate increases, the interference becomes more broadband and pseudo-noise, and it affects even with very large frequency detuning somewhat decreasing in the region of the main lobe of the signal spectrum. This decrease seems natural, since the analyzed algorithm for receiving MPSK signals is optimal for the effects of noise interference.

Keywords: bit error rate, phase-shift interference, multiple phase-shift keying, noise immunity.

Введение

Энергетические и спектральные преимущества сигналов с фазовой манипуляцией предопределили их широкое применение в современных цифровых навигационных, связных и телевизионных системах. Использование таких сигналов заложено в коммуникационных стандартах DVB-S, DVB-S2/S2X, ГЛОНАСС, CDMA, WiFi IEEE 802.11 и др. Для повышения пропускной способности радиоканалов применяют многопозиционную фазовую манипуляцию (М-ФМ), увеличивая количество M возможных фазовых состояний сигнала и, тем самым, информационную емкость канального символа. Однако такое увеличение M сильно влияет на помехоустойчивость приема сигналов

М-ФМ. Характеристики помехоустойчивости приема сигналов М-ФМ на фоне белого гауссовского шума хорошо изучены [1, 2]. Показано [1], что минимально достижимая вероятность ошибки при оптимальной когерентной обработке такого сигнала определяется выражением:

$$P_M = 2Q(\sqrt{2E_s / N_0} \sin \frac{\pi}{M}), \quad Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-t^2/2} dt,$$

где E_s – энергия канального символа;

N_0 – спектральная плотность мощности шума.

В реальных радиосистемах передачи информации в канале связи, наряду с шумовой помехой, обычно присутствуют и другие виды помех, как непреднамеренных, так и специально организованных. Одной из часто встречающихся является фазоманипулированная помеха. Помехи такого типа могут возникать в результате работы в зоне приема дополнительной радиостанции, передающей дискретную информацию. Опасное влияние такой помехи на качество приема информации подтверждено рядом исследований [3–10].

Цель настоящей работы – оценка влияния фазоманипулированной помехи на помехоустойчивость корреляционного демодулятора сигналов с многопозиционной фазовой манипуляцией.

В самом общем виде сигнал М-ФМ на k -ом тактовом интервале длительности T_s можно записать следующим образом:

$$s_{k,i}(t) = A_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_i + \varphi_c), \quad \varphi_i = \frac{i2\pi}{M}, t \in ((k-1)T_s, kT_s], i = 0, 1, \dots, M-1, \quad (1)$$

где $A_0 = \sqrt{2E_s / T_s}$ – амплитуда сигнала;

ω_0 – несущая частота;

φ_c – начальное фазовое смещение сигнального созвездия сигнала, которое для простоты дальнейшего изложения и упрощения расчетов можно положить равным нулю.

Считаем, что на входе приемника присутствует реализация

$$x(t) = s_{k,i}(t) + s_{\Pi}(t) + n(t),$$

включающая в себя, кроме полезного сигнала (1), фазоманипулированную помеху $s_{\Pi}(t)$ и белый гауссовский шум $n(t)$ с односторонней спектральной плотностью N_0 :

$$\langle n(t) \rangle = 0; \langle n(t_1)n(t_2) \rangle = \frac{N_0}{2} \delta(t_2 - t_1).$$

Одна посылка фазоманипулированной помехи длительностью T_{Π} может быть записана следующим образом:

$$s_{\Pi}(t) = \mu A_0 a_j \cos[(\omega_0 + \Delta\omega_{\Pi})t + \varphi_{\Pi}], t \in ((j-1)T_{\Pi}, jT_{\Pi}], j = 1, \dots, N, \quad (2)$$

где $a_j = \pm 1$ – случайный символ помехи;

$\Delta\omega_{\Pi}$ – расстройка помехи относительно центральной частоты спектра сигнала М-ФМ;

φ_{Π} – случайная начальная фаза помехи, равномерно распределенная на полуинтервале $(-\pi, +\pi]$.

На длительности T_s одного тактового интервала сигнала (рис. 1) в общем случае укладывается $N = T_s / T_{\Pi}$ тактовых интервалов помехи (2).

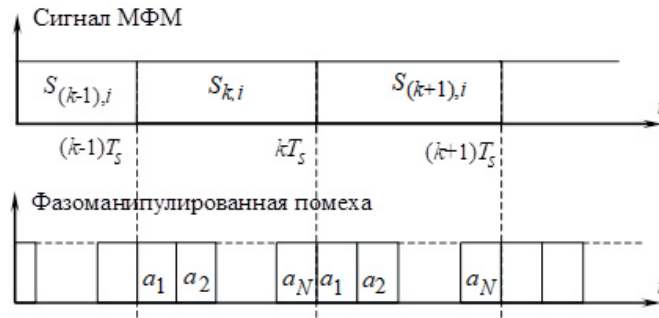


Рис. 1. Временные соотношения между полезным сигналом и фазоманипулированной помехой.

Результаты расчетов

Методика расчета вероятности битовой ошибки при приеме сигналов М-ФМ на фоне нефлуктуационной помехи с использованием статистических параметров распределений случайных процессов на выходах корреляторов приемника подробно изложена в [11, 12]. Здесь лишь упомянем, что при условии фиксации начальной фазы помехи φ_{Π} все распределения являются нормальными. Приведем результаты расчета этих параметров.

Среднее значение процесса на входе порогового устройства, соответствующего i -му интегратору, определяется следующим образом:

$$m_i = \frac{2E_s}{N_0} \left\{ (1 - \cos \varphi_i) - \frac{2\mu}{N} \sin \frac{\varphi_i}{2} \frac{\sin \Delta}{\Delta} \left[\cos(\varphi_{\Pi} - \frac{\varphi_i}{2}) \sum_{j=1}^N a_j \sin(2j-1)\Delta + \sin(\varphi_{\Pi} - \frac{\varphi_i}{2}) \sum_{j=1}^N a_j \cos(2j-1)\Delta \right] \right\},$$

а дисперсия:

$$D_i = \frac{4E_s}{N_0} (1 - \cos \varphi_i),$$

здесь использовано обозначение $\Delta = \frac{\Delta \omega_{\Pi} T_s}{2N}$.

Методика [11, 12] позволяет определить вероятности символьной и битовой ошибок, условные по фазе φ_{Π} и комбинациям $\mathbf{a} = \{a_1, \dots, a_j, \dots, a_N\}$, перебором всех возможных сигнальных посылок М-ФМ с учетом симметричности сигнального созвездия:

$$P_{es}(\varphi_{\Pi}, \mathbf{a}) = 1 - \prod_{i=1}^{M-1} \left[1 - Q\left(\frac{m_i}{\sqrt{D_i}}\right) \right], \quad (3)$$

$$P_{eb}(\varphi_{\Pi}, \mathbf{a}) = P_{es}(\varphi_{\Pi}, \mathbf{a}) / \log_2 M.$$

Необходимо заметить, что вычисление вероятности битовой ошибки по формуле (3) справедливо при достаточно больших отношениях сигнал/шум и сигнал/помеха [1].

Для получения безусловной вероятности битовой ошибки необходимо провести усреднение величины $P_{eb}(\varphi_{\Pi}, \mathbf{a})$ по фазе $\varphi_{\Pi} \in (-\pi, \pi]$ и 2^N возможным сочетаниям помеховых символов $\mathbf{a}$:

$$P_{eb} = \frac{1}{2^N} \sum_{\mathbf{a}} \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} P_{eb}(\varphi_{\Pi}, \mathbf{a}) d\varphi_{\Pi}$$

Вывести аналитическое выражение в этом случае не удастся, поэтому для получения окончательных результатов можно воспользоваться численным усреднением.

На рис. 2 показаны рассчитанные зависимости вероятности ошибки от отношения сигнал/шум $E_b/N_0 = E_s/(N_0 \log_2 M)$, пересчитанного на один бит информации, при разных интенсивностях фазоманипулированной помехи, $\Delta\omega_{\text{П}} = 0$, и двух значениях относительной скорости передачи помехи N . Сплошные кривые соответствуют $N = 2$, а пунктирные – $N = 5$.

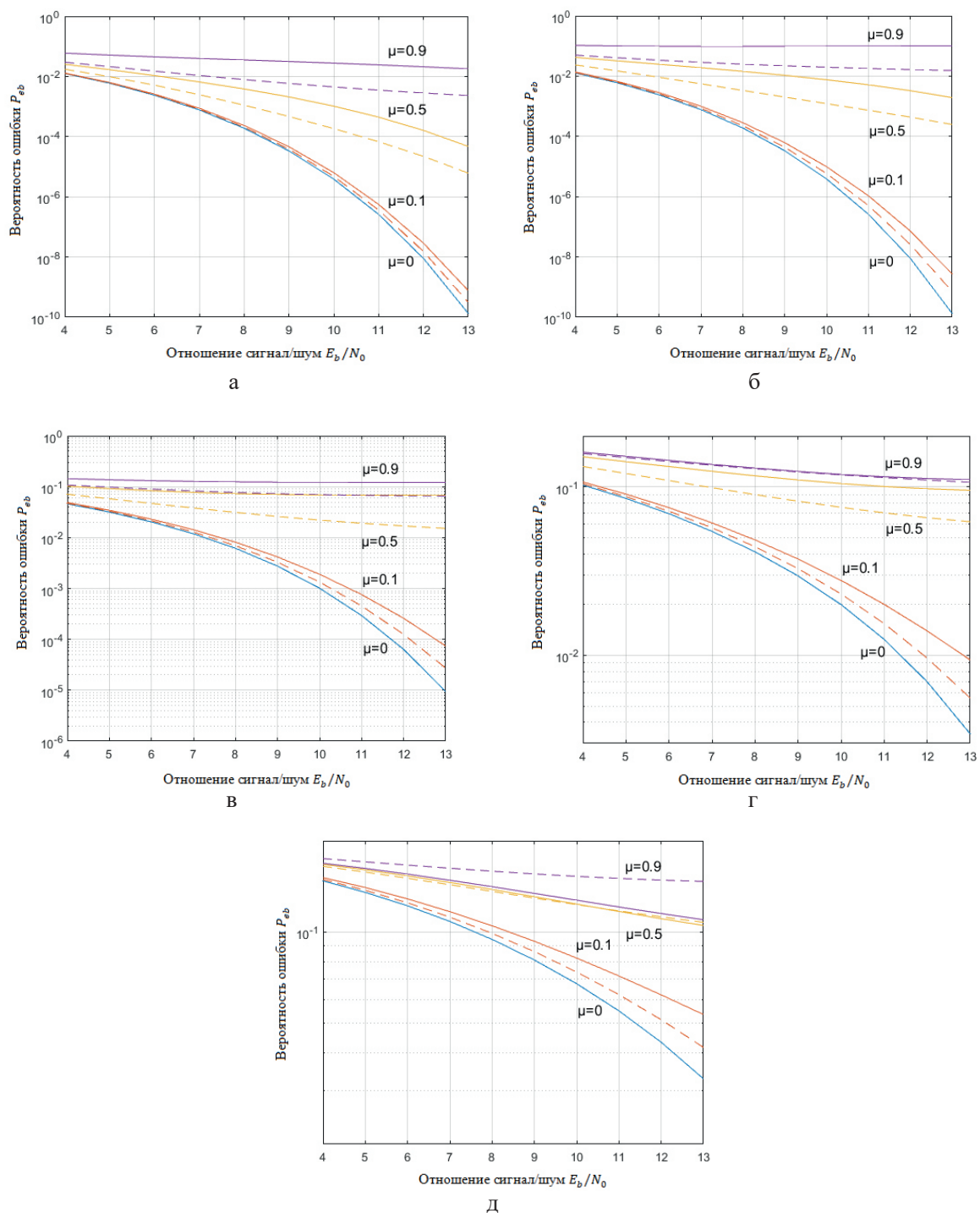


Рис. 2. Зависимость вероятности битовой ошибки от отношения сигнал/шум при наличии фазоманипулированной помехи: а – 2ФМ; б – 4ФМ; в – 8ФМ; г – 16ФМ; д – 32ФМ.

Видно (рис. 2), что наличие фазоманипулированной помехи может значительно снижать помехоустойчивость приема сигналов. Степень этого снижения зависит от величины N и интенсивности μ . Так, например, для $M = 8$ при $P_{eb} = 10^{-2}$: если для $\mu = 0.1$ энергетический проигрыш по сравнению со случаем только шумовой помехи составляет всего 0.5 дБ, то для $\mu = 0.5$ он превышает 7 дБ. Это подтверждается и графиком, приведенным на рис. 3. Результаты получены при значении $E_b / N_0 = 13$ дБ и $N = 2$ (сплошные линии), $N = 5$ (пунктирные линии). При увеличении μ от 0 до 1 вероятность ошибки увеличивается более, чем на четыре порядка.

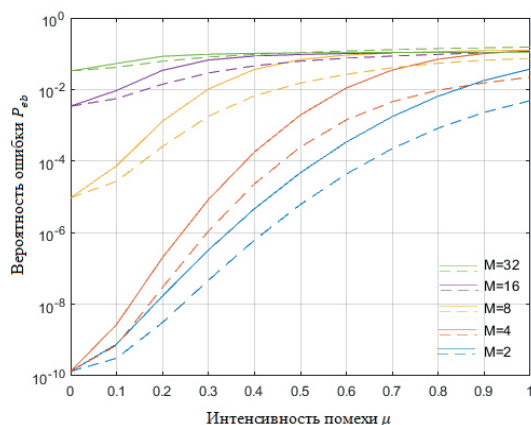


Рис. 3. Зависимость вероятности битовой ошибки от интенсивности фазоманипулированной помехи.

Частотные свойства поражающего действия фазоманипулированной помехи наглядно иллюстрируются графиками, приведенными на рис. 4. Здесь показаны кривые вероятности ошибки в зависимости от параметра $\Delta\omega_{\Pi}T_s$ при $\mu = 0.5$, при $N = 2$ (сплошные) и $N = 5$ (пунктирные). Видно, что при повышении относительной скорости передачи фазоманипулированной помехи N она становится более широкополосной, и ее влияние сказывается даже при весьма больших расстройках, несколько снижаясь в области главного лепестка спектра сигнала.

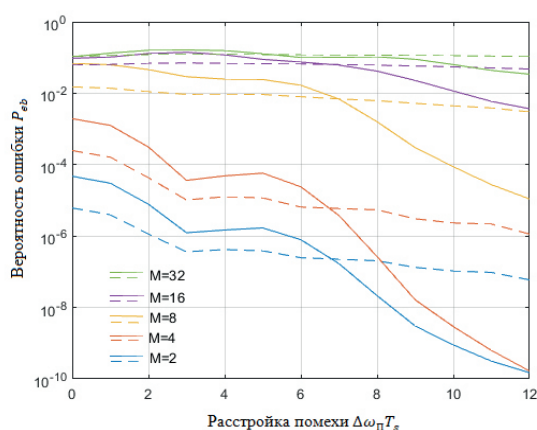


Рис. 4. Зависимость вероятности битовой ошибки от расстройки фазоманипулированной помехи.

Степень снижения поражающего действия фазоманипулированной помехи при больших величинах N можно проанализировать по графикам, показанным на рис. 5. Здесь приведены кривые P_{eb} для случая прицельного действия помехи ($\Delta\omega_{\Pi}T_s = 0$) и отношения сигнал/шум $E_b / N_0 = 13$ дБ. Очевидно, что в пределе при $N \rightarrow \infty$ такая помеха становится

псевдошумовой, и графики асимптотически приближаются (снижаются) к некоторому горизонтальному уровню. Это снижение представляется закономерным, так как анализируемый алгоритм приема сигналов М-ФМ оптимален к воздействию именно шумовой помехи.

Подчеркнем, что при больших интенсивностях помехи для $M \geq 8$ при нечетных N вероятность ошибки выше, чем при четных, возможно вследствие разной комбинации частотных составляющих дискретного спектра помехи, поражающих полезный сигнал.

Для повышения помехоустойчивости приема сигналов М-ФМ на фоне фазоманипулированной помехи необходимо использовать алгоритмы компенсации помех [13–18].

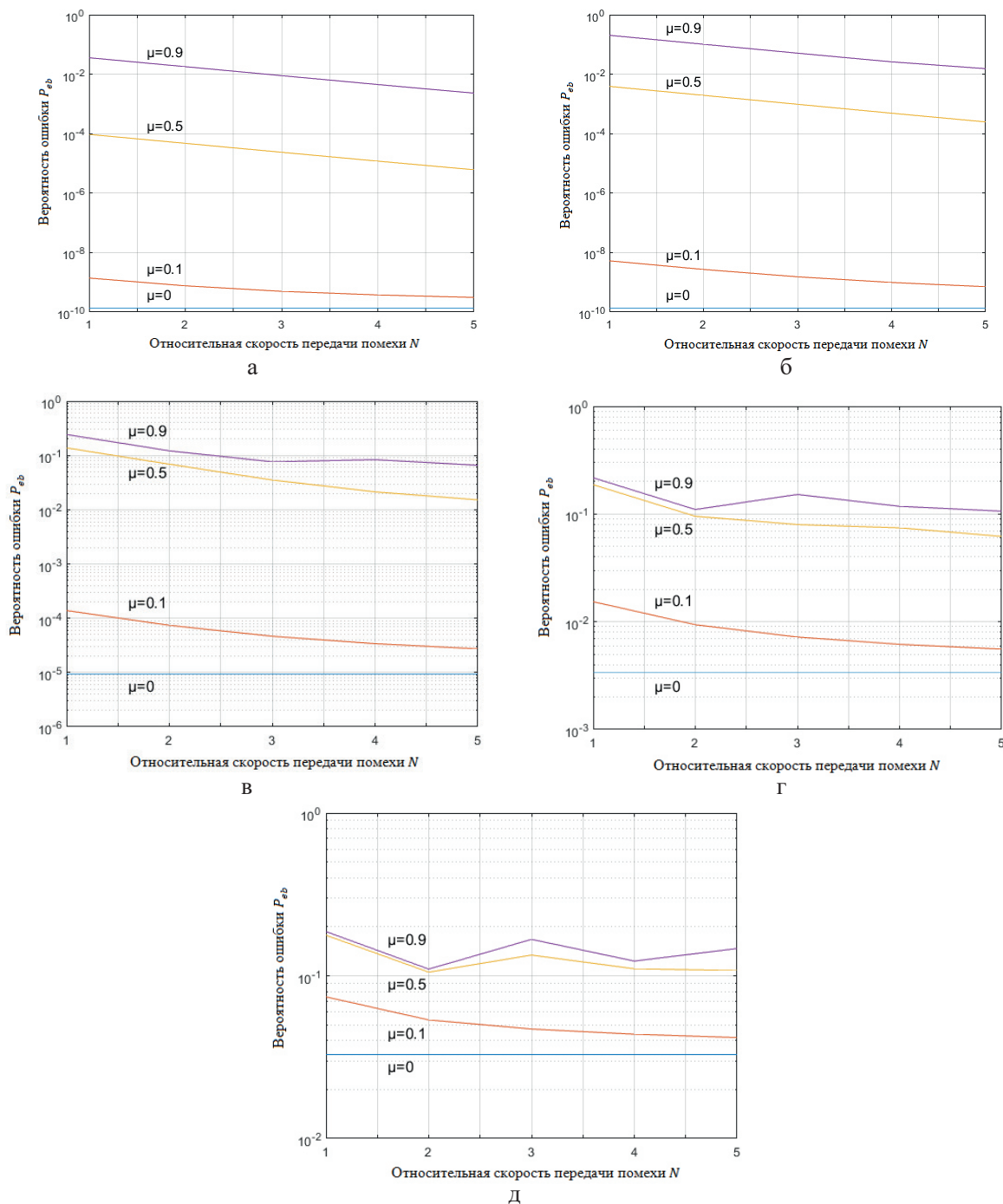


Рис. 5. Зависимость вероятности битовой ошибки от относительной скорости фазоманипулированной помехи: а – 2ФМ; б – 4ФМ; в – 8ФМ; г – 16ФМ; д – 32ФМ.

Выводы

По результатам анализа полученных данных можно сделать следующие выводы:

1. Сигналы с многопозиционной фазовой манипуляцией весьма заметно подвержены влиянию фазоманипулированной помехи. По мере увеличения позиционности сигналов это влияние усиливается. Степень снижения помехоустойчивости приема зависит от величины относительной скорости передачи помехи и ее интенсивности.
2. При увеличении относительной скорости передачи фазоманипулированной помехи ее эффективность снижается, скорее всего, из-за того, что она становится шумоподобной. Однако, с другой стороны, такая помеха является более широкополосной.
3. Поражающее действие фазоманипулированной помехи наиболее сильно проявляется при ее попадании в главный лепесток спектра сигнала.
4. Для повышения помехоустойчивости приема сигналов М-ФМ на фоне фазоманипулированной помехи необходимо использовать алгоритмы компенсации помех.

Литература:

1. Прокис Дж. Цифровая связь: пер. с англ. / под ред. Д.Д. Кловского. М.: Радио и связь, 2000. 800 с.
2. Боккер П. Передача данных. Техника связи в системах телеобработки данных: в 2-х т. Т. I. Основы: пер. с нем. / под ред. Д.Д. Кловского. М.: Связь, 1980. 264 с.
3. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. М.: Радио и связь, 1985. 384 с.
4. Борисов В.И., Зинчук В.М., Лимарев А.Е., Мухин Н.П., Шестопалов В.И. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты. М.: Радио и связь, 2000. 384 с.
5. Куликов Г.В. Анализ влияния псевдослучайной фазоманипулированной помехи на помехоустойчивость корреляционного демодулятора сигналов с минимальной частотной манипуляцией // Радиотехника и электроника. 2002. Т. 47. № 8. С. 973–976.
6. Галев А.В., Косолапов А.С. Исследование влияния структурных помех на помехоустойчивость систем с широкополосными шумоподобными сигналами при когерентном приеме // Наука и образование. 2012. № 4. 77-30569/400050 (15 с.).
7. Алексеев А.А., Чучин Е.В. Модели качества приема сигналов в условиях белого шума и воздействия структурных помех // Ученые записки: Электронный научный журнал Курского государственного университета. 2012. № 1. С. 70–79. URL: <http://www.scientific-notes.ru/index.php?page=6&new=23>
8. Мальцев Г.Н., Травкин В.С. Оптимальный прием сложных фазоманипулированных сигналов в спутниковых радиоканалах в условиях внутрисистемных структурных помех // Информационно-управляющие системы. 2006. № 5. С. 36–42.
9. Иванов М.С., Федосеев В.Е. Методика и результаты анализа потенциальной помехоустойчивости приема цифрового сигнала на фоне манипулированной структурной помехи // Вестник Воронежского технического университета. 2010. Т. 6. № 11. С. 108–112.
10. Ложкин К.Ю., Стиценко А.И. Помехоустойчивость некогерентного и когерентного приема ДФРМ-сигнала в условиях воздействия фазоманипулированной, гармониче-

ской или гауссовской помех // Журнал Сибирского федерального университета. 2017. Т. 10. № 2. С. 260–270.

11. Куликов Г.В., Нгуен Ван Зунг, Нестеров А.В., Лелюх А.А. Помехоустойчивость приема сигналов с многопозиционной фазовой манипуляцией в присутствии гармонической помехи // Научные технологии. 2018. № 11. С. 32–38.

12. Куликов Г.В., Нгуен Ван Зунг. Анализ помехоустойчивости приема сигналов с многопозиционной фазовой манипуляцией при воздействии сканирующей помехи // Российский технологический журнал. 2018. Т. 6. № 6. С. 5–12.

13. Петров Е.П., Петров И.Е., Абатуров С.Г. Защита приемных устройств мобильной связи с шумоподобными сигналами от мощных подобных и гармонических помех // T-Comm. 2010. № 4. С. 21–25.

14. Петров Е.П., Алешкин Е.А. Метод подавления подобных помех с неизвестной амплитудой и задержкой сигнала в системах связи с шумоподобными сигналами // T-Comm. 2016. Т. 10. № 11. С. 34–39.

15. Акимов П.С., Бакут П.А., Богданович В.А. [и др]. Теория обнаружения сигналов / под ред. Бакута П.А. М.: Радио и связь, 1984. 440 с.

16. Авдеев В.В., Паршин Ю.Н., Минаева И.А. Эффективность цифрового компенсатора мощной негауссовской помехи // Радиотехника. 1984. №8. С. 33–35.

17. Иванов М.С., Федосеев В.Е. Методика и результаты анализа потенциальной помехоустойчивости приема цифрового сигнала на фоне манипулированной структурной помехи // Вестник Воронежского технического университета. 2010. Т. 6. № 11. С. 108–112.

18. Иванов М.С., Федосеев В.Е. Синтез демодулятора с оптимальной компенсацией структурной прерывистой помехи // Вестник Воронежского технического университета. 2010. Т. 6. № 10. С. 91–95.

References:

1. Proakis J. Digital communications. Ed. Klovsky D.D. Moscow: Radio i Svyaz' Publ., 2000. 800 p. (in Russ.)

2. Bocker P. Transmission of data. Communication techniques in data teleprocessing systems: in 2 volumes. V. I. Basics. Ed. Klovsky D.D. Moscow: Svyaz' Publ., 1980. 264 p. (in Russ.).

3. Varakin L.E. Communication system with noise-like signals. Moscow: Radio i Svyaz' Publ., 1985. 384 p. (in Russ.).

4. Borisov V.I., Zinchuk V.M., Limarev A.E., Mukhin N.P., Shestopalov V.I. Noise immunity of radio communication systems with spreading of the signal spectrum by the method of pseudo-random adjustment of the operating frequency. Moscow: Radio i Svyaz' Publ., 2000. 384 p. (in Russ.)

5. Kulikov G.V. Analysis of the influence of a pseudo-random phase-shift interference on the noise immunity of a correlation signal demodulator with a minimum frequency shift keying. *Radiotekhnika i elektronika* (Journal of Communications Technology and Electronics). 2002; 47(8): 973-976. (in Russ.)

6. Galev A.V., Kosolapov A.S. Research of influence of smart jamming on error probability of direct-sequence spread-spectrum systems at coherent reception. *Nauka i obrazovanie*

(Science and Education). 2012; 4: 77-30569/400050 (15 p.) (in Russ.)

7. Alekseev A.A., Chuchin E.V. Models of quality of reception of signals in the conditions of white noise and influence of structural hindrances. *Uchenye zapiski* (Scientific notes): The online academic journal of Kursk State University. 2012; 1: 70-79. (in Russ.). URL: <http://www.scientific-notes.ru/index.php?page=6&new=23>

8. Maltsev G.N., Travkin V.S. Optimal reception of complex phase-manipulated signals in satellite channels under internal structural noise. *Informatsionno-upravliayuschie sistemy* (Information and Control Systems). 2006; 5: 36-42. (in Russ.)

9. Ivanov M.S., Fedoseev V.E. Technique and results of the analysis of the potential noise stability of reception of the digital signal against the manipulated structural hindrance. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* (Bulletin of Voronezh State Technical University). 2010; 6(11): 108-112. (in Russ.)

10. Lozhkin K.Yu., Stitsenko A.I. The immunity of non-coherent and coherent reception of a signal DQPSK in the conditions of influence of PSK, harmonic or Gaussian noise. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo Universiteta* (Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies). 2017; 10(2): 260-270. (in Russ.)

11. Kulikov G.V., Nguyen Van Dung, Nesterov A.V., Lelyukh A.A. Noise immunity of reception of signals with multiple phase-shift keying in the presence of harmonic interference. *Naukyomkie tekhnologii* (Science Intensive Technologies). 2018; 11: 32-38. (in Russ.)

12. Kulikov G.V., Nguyen Van Dung. Analysis of noise immunity of reception of signals with multiple phase shift keying under the influence of scanning interference. *Rossiyskiy tekhnologicheskii zhurnal* (Russian Technological Journal). 2018; 6(6): 5-12. (in Russ.)

13. Petrov E.P., Petrov I.E., Abaturv S.G. Protecting mobile receivers with noise-like signals from powerful and harmonic interference. *T-Comm*. 2010; 4: 21-25. (in Russ.)

14. Petrov E.P., Aleshkin E.A. Method of suppression of signal-similar interference with unknown amplitude and time delay in communication systems with noise-shaped signals. *T-Comm*. 2016; 10(11): 34-39. (in Russ.)

15. Akimov P.S., Bakut P.A., Bogdanovich V.A. [et al.] Signal detection theory. Ed. Bakut P.A. Moscow: Radio i Svyaz' Publ., 1984. 440 p. (in Russ.)

16. Avdeev V.V., Parshin Yu.N., Minaeva I.A. Efficiency of the digital compensator for powerful non-Gaussian interference. *Radiotekhnika* (Radio Engineering). 1984; 8: 33-35. (in Russ.)

17. Ivanov M.S., Fedoseev V.E. Technique and results of the analysis of the potential noise stability of reception of the digital signal against the manipulated structural hindrance. *Vestnik Voronezhskogo tekhnicheskogo universiteta* (Bulletin of the Voronezh Technical University). 2010; 6(11): 108-112. (in Russ.).

18. Ivanov M.S., Fedoseev V.E. Synthesis of the demodulator with optimum indemnification of the structural faltering hindrance. *Vestnik Voronezhskogo tekhnicheskogo universiteta* (Bulletin of the Voronezh Technical University). 2010; 6(10): 91-95. (in Russ.)

Об авторах:

Куликов Геннадий Валентинович, доктор технических наук, профессор кафедры радиоэлектронных систем и комплексов Института радиотехнических и телекоммуникационных систем ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78).

Нгуен Ван Зунг, аспирант кафедры радиоэлектронных систем и комплексов Института радиотехнических и телекоммуникационных систем ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78).

До Чунг Тиен, аспирант кафедры радиоэлектронных систем и комплексов Института радиотехнических и телекоммуникационных систем ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78).

About the authors:

Gennady V. Kulikov, D.Sc. (Engineering), Professor, Professor of the Chair of Radio Electronic Systems and Complexes, Institute of Radio Engineering and Telecommunication Systems, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo pr., Moscow 119454, Russia).

Nguyen Van Dung, Postgraduate Student of the Chair of Radio Electronic Systems and Complexes, Institute of Radio Engineering and Telecommunication Systems, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo pr., Moscow 119454, Russia).

Do Trung Tien, Postgraduate Student of the Chair of Radio Electronic Systems and Complexes, Institute of Radio Engineering and Telecommunication Systems, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo pr., Moscow 119454, Russia).

Для цитирования: Куликов Г.В., Нгуен Ван Зунг, До Чунг Тиен. Влияние фазоманипулированной помехи на помехоустойчивость корреляционного демодулятора сигналов с многопозиционной фазовой манипуляцией // Российский технологический журнал. 2019. Т. 7. № 2. С. 18–28. DOI: 10.32362/2500-316X-2019-7-2-18-28

For citation: Kulikov G.V., Nguyen Van Dung, Do Trung Tien. Effect of phase-shift interference on the noise immunity of correlation demodulator of signals with multiple phase shift keying. *Rossiyskiy tekhnologicheskii zhurnal* (Russian Technological Journal). 2019; 7(2): 18-28. (in Russ.). DOI: 10.32362/2500-316X-2019-7-2-18-28