

МЕТОД ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ РАССИНХРОНИЗАЦИИ В ПРИЕМНИКАХ СИГНАЛОВ МНФ НА ИХ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ

Парамонов А.А., Бородин А.О.

Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики

117454, Россия, Москва, проспект Вернадского, 78, каф. РПУ

Тел.: (095) 434-91-92; E-mail: rpu@chat.ru

Реферат: Доклад посвящен проблеме влияния погрешностей систем синхронизации приемника на помехоустойчивость демодуляторов сигналов МНФ. Разработан метод оценки помехоустойчивости в условиях рассинхронизации приемника, основанный на определении модифицированного евклидова расстояния. Приведены результаты анализа помехоустойчивости приема сигналов МНФ с полным откликом и глубиной принятия решения, равной 2, при погрешностях систем фазовой синхронизации.

Введение

Данная работа является продолжением исследования, результаты которого докладывались на конференциях "Цифровая обработка сигналов и ее применение" в 1998 и 1999 годах [1,2]. Интерес к модулированным сигналам с непрерывной фазой (МНФ) объясняется высокой энергетической и спектральной эффективностью этих сигналов [3], что делает их весьма привлекательными для применения в современных системах связи. Однако практическая реализация этих характеристик возможна лишь при использовании оптимальных и квазиоптимальных методов приема. Наиболее известны алгоритмы максимального правдоподобия символа и последовательности (МПС и МПП), а также аналогичные алгоритмы с использованием обратной связи по решению (МПСОСР и МППОСР), дающие существенное уменьшение количества вычислительных операций в демодуляторе [1,4]. Все эти алгоритмы являются когерентными, т.е. требуют для своей реализации полного знания параметров сигнала в демодуляторе для формирования опорных колебаний. Но реальные системы генерации опорных сигналов обладают определенными погрешностями в восстановлении фазы колебаний и сетки тактовой синхронизации. Для полного анализа помехоустойчивости демодуляторов сигналов МНФ необходимо оценить влияние погрешностей восстановления фазы и тактовой сетки опорных колебаний.

Модифицированное евклидово расстояние

Для анализа помехоустойчивости алгоритмов приема сигналов МНФ, основанного на определении вероятности первой ошибки [1] применяется метод, базирующийся на определении евклидова расстояния между сигналами. Однако, так как для определения помехоустойчивости данный метод использует характеристики, заложенные именно в саму систему сигналов, он применим только к оптимальным и квазиоптимальным приемникам, которые обладают всей необходимой информацией о сигнале (начальная фаза, несущая частота, влияние канала на сигнал), с идеальными генератором опорного сигнала и устройствами фазовой и тактовой синхронизации. Реально в приемнике информация о сигнале всегда будет известна с некоторыми погрешностями, да и устройства приемника не являются идеальными. Проблема учета влияния погрешности синхронизации привела к необходимости модернизации метода.

Рассмотрим систему из двух сигналов. Пусть опорные колебания S_0 и S_1 (рис. 1) в точности соответствуют переданным сигналам, прошедшим через канал связи, который вносит в них некоторые искажения, при условии отсутствия шумов. При равной вероятности появления S_0 и S_1 и критерии идеального наблюдателя выбор в пользу какого-либо из этих сигналов производится в соответствии со следующей логикой: через середину отрезка S_0S_1 , соединяющего концы векторов OS_0 и OS_1 , проводится перпендикулярная прямая $1-1'$, делящая всю плоскость сигналов на две половины. Если принятый сигнал попадает в полуплоскость, которой принадлежит сигнал S_1 , то считается, что передавался сигнал S_1 и т.д. Поэтому минимальное расстояние до прямой $1-1'$ (т.е. половина евклидова расстояния между сигналами S_0 и S_1), разделяющей сигнальную плоскость на полуплоскости принятия решения, и является показателем помехоустойчивости системы сигналов S_0 и S_1 .

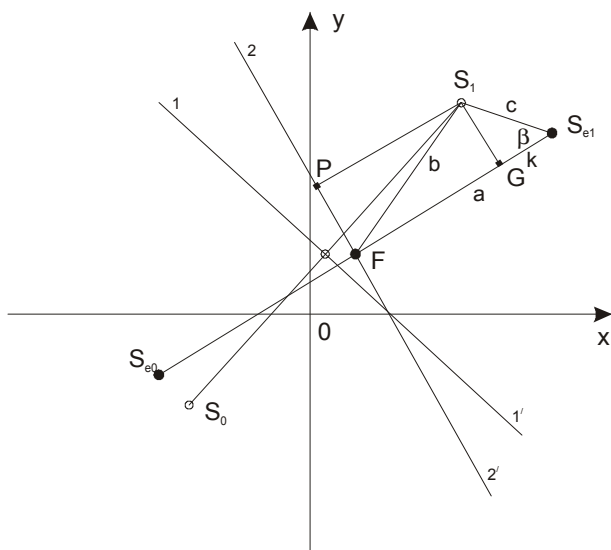


Рис. 1. Идеальные и неидеальные опорные сигналы на фазовой плоскости (к определению “мнимого” евклидова расстояния).

Предположим теперь, что неидеальность знаний приемника о параметрах проходящего сигнала или погрешности устройств синхронизации в установке начальной фазы опорного колебания и т.д. каким-либо образом изменила местоположение опорных сигналов на сигнальной плоскости. Обозначим новые (ошибочные) опорные сигналы как S_{e0} и S_{e1} . Так как приемник принимает решение о переданном сигнале, опираясь на свою информацию о том, какие сигналы он может получить из канала связи, он снова делит плоскость сигналов на две полуплоскости, но теперь делящая прямая $2-2'$ будет проходить через середину отрезка $S_{e0}S_{e1}$. Параметром, характеризующим помехоустойчивость приема в рассматриваемом случае, является минимальное расстояние от конца вектора OS_1 (точка S_1) до прямой $2-2'$, т.е. длина отрезка S_1P , перпендикулярного прямой $2-2'$. По аналогии с евклидовым расстоянием $D_{01} = S_1S_0$, можно ввести “модифицированное” евклидово расстояние $D_{M01} = 2S_1P$. С помощью геометрических соотношений определим $D_{M01} = (a^2 - c^2 + b^2)/2a$.

В рассматриваемом случае обработки сигнала неидеальным приемником (например, с ошибкой в параметрах опорного сигнала) модифицированное евклидово расстояние является аналогом обычного евклидова расстояния при рассмотрении идеального приемника.

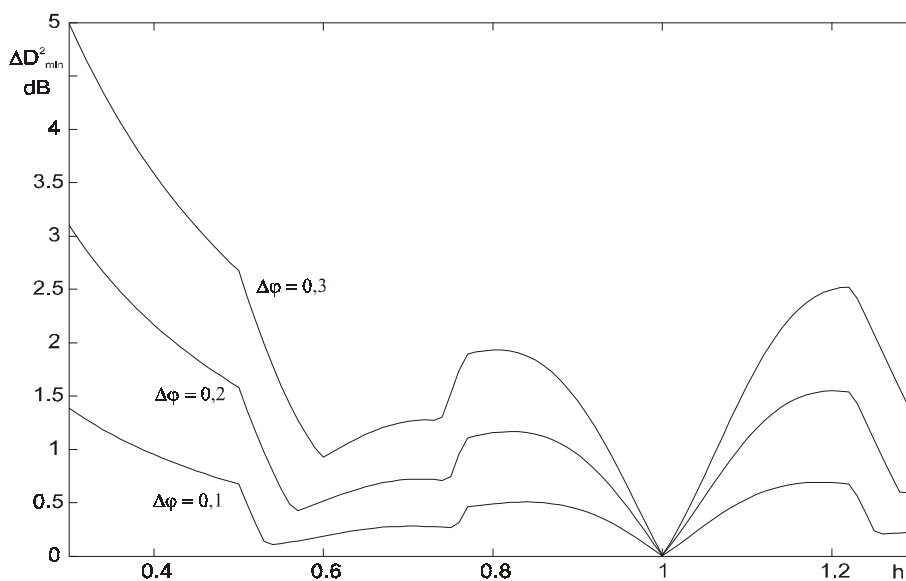


Рис. 2 Зависимость потерь по минимальному евклидовому расстоянию от индекса модуляции при различных значениях $\Delta\varphi$.

Используя модифицированное евклидово расстояние можно определить вероятность ошибки при различных значениях погрешностей синхронизации, при приеме сигналов, прошедших многолучевой канал,

алгоритмами, не учитывающими многолучевости, при воздействии различных помех, чье влияние на сигнал можно описать определенными сдвигами фазовых диаграмм сигнала на фазовой плоскости относительно передаваемого сигнала. В данной работе анализ ограничен рассмотрением влияния погрешностей фазовой синхронизации на помехоустойчивость демодуляторов.

Результаты

Рассмотрим результаты вычислений с использованием модифицированного евклидова расстояния.

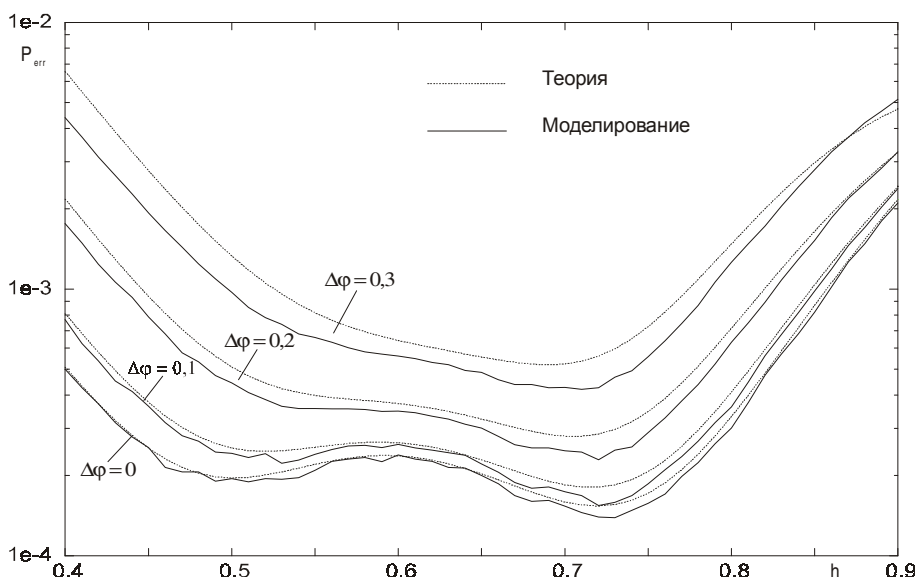


Рис. 3 Зависимость вероятности первой ошибки от индекса модуляции при различных значениях $\Delta\varphi$.

На рис. 2 показаны зависимости потерь по минимальному евклидовому расстоянию по сравнению со случаем идеальной фазовой синхронизации, выраженных в децибелах, от индекса модуляции для сигнала МНФ с полным откликом и глубиной принятия решения $Q = 2$ при различных значениях погрешности фазовой синхронизации.

Рис. 3 показывает зависимость вероятности первой ошибки от индекса

модуляции, причем на рисунке приведены как кривые оценки вероятности первой ошибки, полученные на основе анализа модифицированного евклидова расстояния (пунктир), так и результаты моделирования процесса приема сигналов МНФ с помощью алгоритма МППОСР. Сравнение приведенных кривых показывает хорошее совпадение результатов теоретической оценки помехоустойчивости демодулятора в условиях неидеальности системы фазовой синхронизации с результатами моделирования.

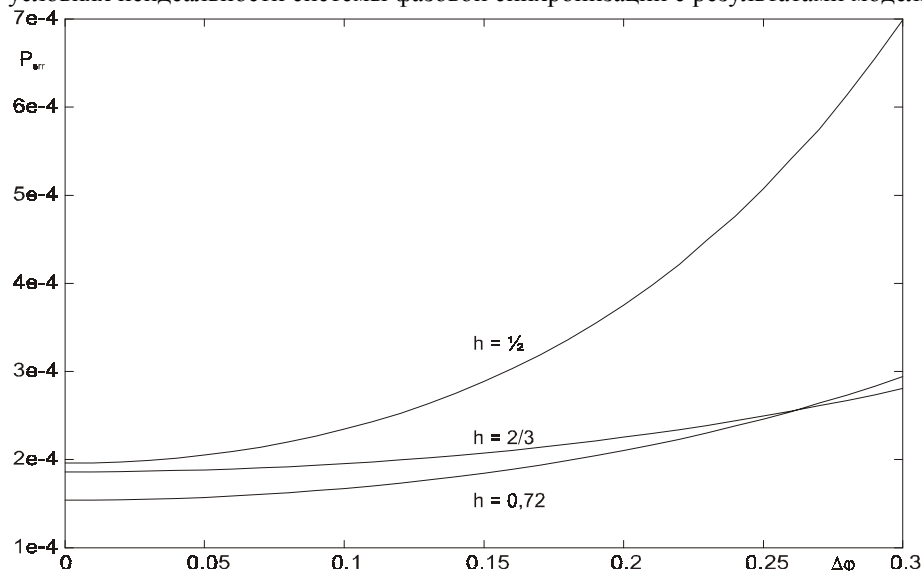


Рис. 4 Зависимость вероятности первой ошибки от $\Delta\varphi$ при различных значениях индекса модуляции.

На рис 4 показаны зависимости вероятности первой ошибки от величины погрешности фазовой синхронизации для индексов модуляции $h = 1/2$, $h = 2/3$ и $h = 0.72$. Из приведенных графиков хорошо видно, что сигналы с $h = 2/3$ и $h = 0.72$ в меньшей степени подвержены ухудшению помехоустойчивости при увеличении погрешности фазовой синхронизации.

Приведем некоторые числовые результаты, полученные из графиков. Для сигналов с индексом модуляции $h = 1/2$

вероятность ошибки увеличилась в 1,24, 2,28 и 5,01 раза при погрешности фазовой синхронизации $\Delta\varphi = 0,1, 0,2$ и $0,3$, соответственно, тогда как для сигналов с $h = 2/3$ и $h = 0.72$ эти значения будут соответственно 1,10, 1,51, 2,46 и 1,11, 1,64, 3,07.

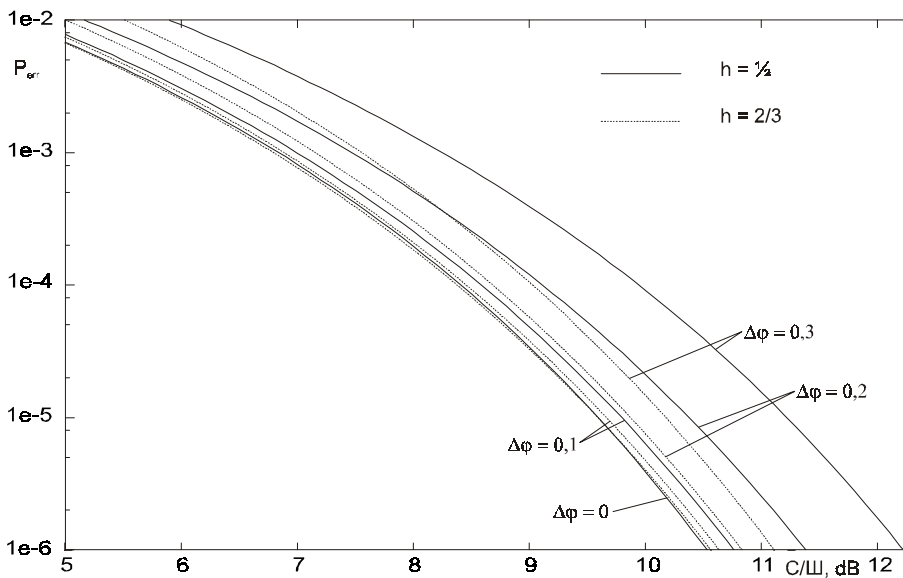


Рис. 5 Зависимость вероятности первой ошибки от отношения сигнал/шум при различных $\Delta\varphi$ и индексах модуляции h .

Рис. 5 демонстрирует зависимости вероятности первой ошибки от отношения сигнал/шум при различных значениях погрешности фазовой синхронизации для сигналов с индексами модуляции $h = 1/2$ и $h = 2/3$. При значении $h = 2/3$ наблюдается меньшая зависимость помехоустойчивости от величины погрешности синхронизации. При вероятностях ошибки порядка 10^{-5} энергетические потери для сигналов с индексом модуляции $h = 1/2$

составляют 0,18 дБ, 0,71 дБ и 1,54 дБ при значениях погрешности фазовой синхронизации $\square\square = 0,1, 0,2$ и $0,3$, соответственно. А при $h = 2/3$ потери при тех же значениях погрешностей равны 0,07 дБ, 0,29 дБ и 0,60 дБ.

Заключение

Итак, в работе описан метод исследования влияния на помехоустойчивость приема сигналов МНФ погрешностей систем синхронизации приемника, основанный на определении модифицированного евклидова расстояния. Возможно применение разработанного метода и к исследованию некоторых других факторов, влияющих на помехоустойчивость приема, таких, как прием с помощью алгоритмов, предназначенных для широкополосного канала, в каналах с замираниями, прием в условиях узкополосных помех и др. С помощью разработанного метода проведен анализ помехоустойчивости приема сигналов МНФ с полным откликом и глубиной принятия решения $Q = 2$ при погрешностях систем фазовой синхронизации.

По приведенным в работе графикам можно точно определить энергетические потери и увеличение вероятности ошибки для ряда значений погрешностей. Найдены значения индексов модуляции, устойчивых к погрешностям синхронизации. Наиболее устойчивыми к нестабильности фазовой синхронизации оказались сигналы с индексами модуляции $0,6 \leq h \leq 0,75$. Так для $h = 2/3$ потери составили 0,07 дБ, 0,29 дБ и 0,60 дБ при погрешностях фазовой синхронизации $\square\square = 0,1, 0,2$ и $0,3$, соответственно. Результаты работы могут быть полезны при выборе параметров сигналов МНФ, минимизирующих зависимость помехоустойчивости приема от нестабильности работы устройств синхронизации, а также при анализе влияния на приемники других факторов, ухудшающих помехоустойчивость.

Библиографический список

1. Парамонов А.А., Бородин А.О. Прием сигналов МНФ в многолучевом канале с использованием обратной связи по решению // 1-ая Международная конференция "Цифровая обработка сигналов и ее применение" (DSPA'98)
2. Парамонов А.А., Бородин А.О. Исследование вероятностных характеристик пакетов ошибок при демодуляции сигналов МНФ // 2-ая Международная конференция "Цифровая обработка сигналов и ее применение" (DSPA'99)
3. Емельянов П.Б., Парамонов А.А. Дискретные сигналы с непрерывной фазой // Зарубежная радиоэлектроника, 1990, N 12.
4. Парамонов А.А. Методы приема дискретных сигналов с взаимной связью между символами // Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / МИРЭА - М., 1993.

THE METHOD OF ESTIMATION OF NOISEPROOF FEATURE ON DEMODULATOR MISTIMING CONDITION

Paramonov A.A., Borodin A.O.

Department of Radioreceiving Devices
 Moscow State Institute of Radio Engineering, Electronics and Automation (Technical University)
 78, Vernadskiy Prospekt, 117454, Moscow, Russia
 Tel.: (+7 -095) 434-91-92; E-mail: rpu@chat.ru

Abstract: The article is devoted to the problem of influence of synchronization errors on CPM signal demodulation noiseproof feature. The estimation method of noiseproof feature on demodulation mistiming condition is described. The method is based on modified Euclidian distance. The CPM signal demodulator noiseproof feature analysis is performed for the full responds CPM signal and observation interval equals 2 on phase locking error condition.

Introduction

This article continues investigations whose results were reported at DSPA-98 and 99 [1,2]. Interest to continuous phase modulation signals (CPM) is challenged by their high energy and spectral efficiency [3]. Therefore CPM signal scheme is especially attractive for application to modern communication systems. However practical realization of these features is possible only when optimal or quasioptimal algorithms are used. It is well known the algorithms of maximum likelihood symbol and sequence estimations (MLSyE and MLSE), and the same algorithms with decision feedback (MLSyE-DF and MLSE-DF), which greatly decrease calculating complexity in a demodulator [1,4]. All these algorithms are coherent, i.e. they need complete information about signal and channel for forming reference signals. But practical reference generators have some errors in phase and timing recovery. For object of complete CPM signal demodulation noiseproof feature analysis it is necessary to estimate the influence of mistiming. Graphical results and References are presented in the Russian version of the article.

Modified Euclidian distance

For the purpose of analysis of demodulation algorithms noiseproof feature the method, based on determination of Euclidian distance between signals is usually used [1]. However that method uses features peculiar to the signals but not to channels or demodulators. Therefore that method can be applied to optimal or quasioptimal demodulators, which have all necessary information about the signal (initial phase, carrier frequency, channel influence on the signal), an ideal reference generator and timing mechanisms. In a real demodulator information about signal is known with some error and equipments of the demodulator are not perfect. The estimation problem of influence of synchronization errors has led to necessity of the method modernization.

Let us assume that there is two-signal scheme. The reference signals S_0 and S_1 (Fig. 1) are exactly equal to the transmitted signals, which have passed through a channel without noises, that somehow distorts them. If the probabilities of S_0 and S_1 are equal, and we use the criterion of an ideal observer, we have to draw the perpendicular line $1-1'$ via the middle of S_0S_1 (Fig. 1), which divides the signal plane into the two half plane. If the received signal drops on the S_1 -half plane, the demodulator will make up a resolution, that the signal S_1 has been transmitted, and so on. Therefore the minimum distance to $1-1'$ line (i.e. the half of Euclidian distance between S_0 and S_1) determines the noiseproof feature of $S_0 S_1$ signal scheme.

Let us assume that non-ideal demodulator knowledge about the signals or an error in the timing mechanisms somehow changes the reference signals positions on the signal plane. Let us mark the new (mistaken) reference signals as S_{e0} and S_{e1} . The demodulator again divides the plane onto the two half planes, but now the $2-2'$ line will pass via the middle of $S_{e0}S_{e1}$ segment. And the minimum distance from the end of the OS_1 vector to the $2-2'$ line will define the noiseproof feature of the demodulator. On the analogy of the Euclidian distance $D_{01} = S_1S_0$ we have introduced the term "modified Euclidian distance". The modified Euclidian distance is equal $D_{M01} = (a^2 - c^2 + b^2)/2a$. Hence if the demodulator is not ideal, the modified Euclidian distance is analogue of the Euclidian distance for an ideal demodulator.

The error rate performance of CPM demodulators, when there are some mistiming in the demodulator or the signal passes through the fading channels and the demodulator doesn't take it into consideration or when there are some noises, whose influence can be described by signal positions shift, may be calculated by means of modified Euclidian distance method.

Results

Here are the calculation results based on using of a modified Euclidian distance. Fig. 2 shows us the minimum Euclidian distance loss in comparison with the ideal phase locking case (dB) against modulation index for full responds CPM signal and observation interval $Q = 2$ symbol intervals for various values of phase locking error.

Fig. 3 shows the first error probability against modulation index. There are the first error curves based on analysis of modified Euclidian distance (dotted line) and the curves based on computer simulation of CPM signal demodulation process by means of the MLSE-DF algorithm on this figure. A comparison of those graphs shows us a

good coincidence between the theoretical estimation results of demodulator error rate performance on condition that the phase locking is not ideal and the simulation results.

Fig.4 shows the first error probability against phase locking error for various values of modulation index $h = 1/2$, $h = 2/3$ and $h = 0.72$. It is obvious that the signals with $h = 2/3$ and $h = 0.72$ are less liable to a noiseproof feature degradation than the signals with $h = 1/2$ when the phase locking errors are rising. Let us to quote some numerical results from the graphs. For the signals with modulation index $h = 1/2$ the first error probability have increased a 1,24, 2,28 and 5,01 times for the phase locking errors $\Delta\varphi = 0,1$, 0,2 и 0,3, while for the signals with $h = 2/3$ and $h = 0.72$ that values are 1,10, 1,51, 2,46 and 1,11, 1,64, 3,07.

Fig. 5 shows the first error probability against signal-to-noise ratio for various values of phase locking error for the signals with modulation indexes $h = 1/2$ and $h = 2/3$. The signals with $h = 2/3$ are less liable to noiseproof feature degradation from the phase locking error values. At the error probabilities are about 10^{-5} the power losses are 0,18 dB, 0,71 dB и 1,54 dB for the signals with modulation index $h = 1/2$ when the phase locking error values are $\Delta\varphi = 0,1$, 0,2 и 0,3. And for the signals with modulation index $h = 2/3$ the power losses are 0,07 dB, 0,29 dB и 0,60 dB.

Conclusion

The article describes the estimation method of synchronization error influence on the CPM signal demodulation noiseproof feature. This method based on determination of a modified Euclidian distance. It is possible to use the method for investigation of some more factors that influence on demodulation noiseproof feature, for example, when the demodulator for non-fading channels is functioning in a fading channel or for narrowband noises etc. The CPM signal demodulator noiseproof feature analysis is performed for the full responds CPM signal and observation interval $Q = 2$ when there are several phase locking errors.

The obtained graphs allow determining power losses and error probability data for several values of phase locking error. The values of modulation index, that are stable to phase locking errors, are found. These are the signals with modulation indexes $0,6 \leq h \leq 0,75$. So for $h = 2/3$ the power losses are 0,07 dB, 0,29 dB и 0,60 dB when the phase locking error values are $\Delta\varphi = 0,1$, 0,2 и 0,3. Results of this investigation may be useful for choice of CPM signal parameters, that minimizing an influence of a reference generator and timing mechanisms instability upon noiseproof feature, and for analysis of influence of some more factors, that degrade demodulation noiseproof feature.