

ные характеристики и состояние объемно-пористых танталовых конденсаторов // Интеллектуальные системы в производстве. – 2014. – № 1. – С. 96–99.

5. Сибгатуллин Б. И., Барсуков В. К. Расчет и моделирование переходных процессов при испытаниях танталовых конденсаторов импульсным током // Интеллектуальные системы в производстве. – 2015. – № 1. – С. 115–120.

6. Сибгатуллин Б. И., Барсуков В. К. Механизмы отказов танталовых конденсаторов в установившихся и переходных режимах работы // Электротехнические комплексы и системы. – 2015. – С. 185–189.

7. Электроимпульсная консолидация танталовых анодов для электролитических конденсаторов / М. С. Юрлова, Е. Г. Григорьев, Е. А. Олевский, В. Д. Деменюк // Физика и химия обработки материалов. – 2014. – № 5. – С. 82–90.

Получено 05.09.2016

8. Кузнецова В. А., Кузнецов П. Л., Муравьев В. В. Указ. соч.

9. Сибгатуллин Б. И., Барсуков В. К. Расчет и моделирование переходных процессов при испытаниях танталовых конденсаторов импульсным током.

10. Сибгатуллин Б. И., Барсуков В. К. Механизмы отказов танталовых конденсаторов в установившихся и переходных режимах работы.

11. Исследование влияния на эксплуатационные характеристики качества материалов танталовых оксидно-полупроводниковых чип-конденсаторов.

12. Беляева Е. А., Кузнецова В. А., Муравьев В. В. Указ. соч.

13. Кузнецова В. А., Кузнецов П. Л., Муравьев В. В. Указ. соч.

УДК 621.391

И. З. Климов, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

ОБНАРУЖЕНИЕ НАЧАЛА СЕАНСА СВЯЗИ ПРИ РАБОТЕ В СЕТИ С НЕСТАЦИОНАРНЫМИ КАНАЛАМИ

Организация сети, использующей нестационарные декаметровые каналы связи, требует повышенной надежности обнаружения вызывного сигнала [1], поэтому использование для решения таких задач широкополосного сигнала (ШПС) представляется целесообразным. В этом случае представляет интерес поиск путей обеспечения уверенного определения начала сеанса связи.

При очень малом значении вероятности ложных обнаружений F_0 , характеризующей ошибку обнаружения главного пика (ГП) широкополосного сигнала в одной точке дискретной временной оси, положительное решение по обнаружению ГП обеспечивает достаточно надежное обнаружение начала сеанса связи. Однако уменьшение значения вероятности ложной тревоги F_0 приводит к повышению порога обнаружения ГП, т. е. к росту вероятности его пропуска. Поэтому значение вероятности F_0 желательно выбирать исходя из условия незначительного влияния данного вида ошибок на прием цифровой информации.

При делении широкополосного сигнала на широкополосные элементы (ШПЭ) [2] разрешающая способность сигнала по времени определяется базой B_e ШПЭ. В общем случае вероятность ложного обнаружения ГП на интервале длительности посылки будет определяться значением произведения ($B_e \times F_0$). Для достижения малой вероятности ошибки задача фиксации начала сеанса связи может решаться на интервале, превышающем длительность одной посылки. Действительно, если первое обнаружение ГП на интервале длительности посылки считать предварительным, а окончательное решение о начале сеанса связи принимать после получения k_0 последова-

тельных решений, то вероятность ложного обнаружения начала сеанса есть

$$F_{л} = F_S^{k_0}, \quad (1)$$

где F_S – вероятность ложного обнаружения на интервале неопределенности задержек сигнала, которая значительно больше вероятности F_0 , так как интервал содержит множество точек.

При $F_S \ll 1$ вероятность (1) быстро уменьшается с увеличением параметра k_0 .

Более полной, чем вероятность (1), эксплуатационной характеристикой правила определения сеанса связи будет средняя продолжительность интервала до первого ложного определения. Процесс определения начала сеанса можно представить простой цепью Маркова с $(k_0 + 1)$ -состоянием, которая на каждом шаге с вероятностью F_S увеличивает свое состояние на 1 и с вероятностью $(1 - F_S)$ возвращается в нулевое состояние. Для такой цепи среднее нормированное время попадания из состояния k в состояние k_0 удовлетворяет разностному уравнению

$$\begin{aligned} T_k &= F_S (T_{k+1} + 1) + (1 - F_S)(T_0 + 1) = \\ &= F_S T_{k+1} + (1 - F_S) T_0 + 1 \end{aligned} \quad (2)$$

с граничным условием

$$T_{k_0} = 0. \quad (3)$$

Действительно, если цепь из состояния с номером k переходит в состояние $(k + 1)$, то среднее время достижения конечного (поглощающего) состояния будет равно времени достижения из этого нового состояния плюс 1 шаг. Если же из состояния k со-

вершается переход в начальное состояние с номером 0, то время достижения конечного состояния будет определяться временем достижения из нулевого состояния плюс 1 шаг. Из уравнения (2) получаем

$$T_k = T_0 - \sum_{i=1}^k \frac{1}{F_S^i}. \quad (4)$$

С учетом граничного условия (3) из равенства (4) имеем среднее время достижения конечного состояния из состояния с номером 0:

$$T_0 = \sum_{i=1}^{k_0} \frac{1}{F_S^i} = \frac{1 - F_S^{k_0}}{F_S^{k_0} (1 - F_S)}. \quad (5)$$

На рис. 1 показаны зависимости среднего времени (5) от вероятности F_S , построенные для трех значений: $k_0 = 2, 3, 4$.

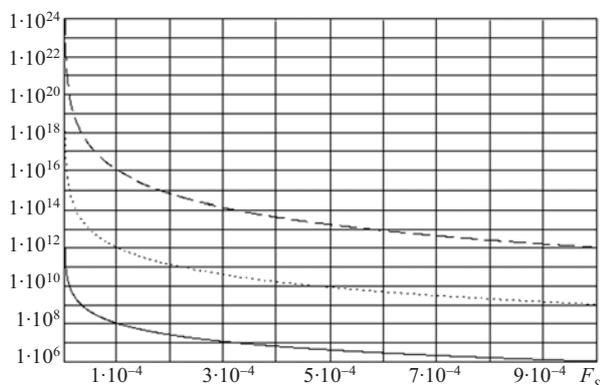


Рис. 1. Зависимость среднего времени ложного обнаружения от вероятности ложного обнаружения F_S на интервале неопределенности задержек сигнала

Величина (5) является результатом нормирования абсолютного значения интервала времени величиной временного интервала между независимыми решениями по обнаружению ГП, который составляет величину $n_p T_S$. При $n_p = 100$ и $T_S = 0,01$ с среднее время равно 30...300 лет для $T_0 = 10^9...10^{10}$. Следовательно, величина $F_S = (1...3) \cdot 10^{-5}$ будет вполне достаточной при $k_0 = 2$, а при $k_0 = 3$ можно определить $F_S = 4,5 \cdot 10^{-4}...10^{-3}$.

Отсчеты отклика по оси задержек в области главного пика являются коррелированными. Интервал корреляции определяется шириной полосы частот, занимаемой ШПЭ, и в M_e раз (число ШПЭ) больше интервала корреляции отсчетов аддитивной смеси, а решающие статистики (РС) ветвей независимы. Поэтому число независимых отсчетов РС в области боковых выбросов будет равно $2(B_e - 1)$. Следовательно, вероятность F_S будет для общей РССЗ (решающая статистика системы синхронизации по задержке) и определится через вероятность F_0 следующим образом:

$$F_S = \sum_{i=1}^{2(B_e-1)} C_{2(B_e-1)}^i F_0^i (1-F_0)^{[2(B_e-1)-i]} = 1 - (1-F_0)^{2(B_e-1)}. \quad (6)$$

Из графиков зависимости (6), изображенных на рис. 2, следует, что при $k_0 = 2$ для $B_e = 64$ достаточным уровнем является $F_0 = 10^{-7}$, а при $k_0 = 3 - F_0 = 5 \cdot 10^{-5}$.

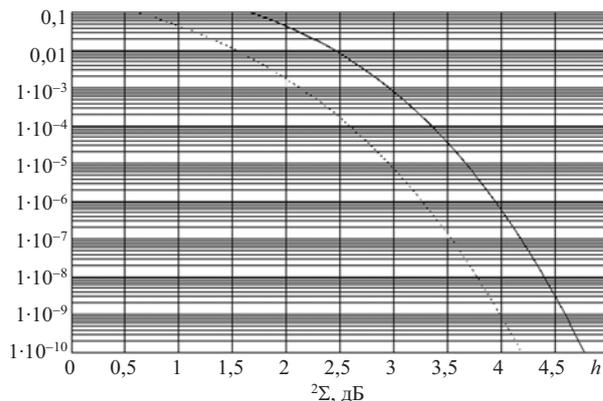


Рис. 2. Зависимости вероятности пропуска при $M_e = 4, n_p = 100$ и общей РССЗ

Анализ вероятности пропуска для полученных F_0 (рис. 3), показывает, что по отношению к аналогичным зависимостям при $F_0 = 10^{-13}$ наблюдается улучшение обнаруживающей способности, которое составляет 1-1,2 децибела при изменении значения F_0 от 10^{-13} до 10^{-7} , и 1,4-1,9 децибела при изменении значения F_0 от 10^{-13} до $5 \cdot 10^{-5}$.

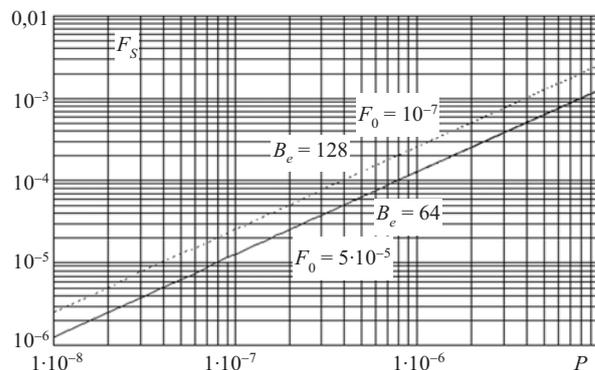


Рис. 3. Зависимости вероятности (6) от вероятности F_0

По сравнению с изменением уровня F_0 на 6-7 порядков выигрыш в обнаружении на 1-1,9 децибел может представляться не очень значительным. Однако в условиях, когда необходимо обеспечивать надежную синхронизацию по задержке при приеме слабых сигналов, выигрыш за счет использования максимально возможной вероятности ложных обнаружений может быть существенным. В частности, такая мера может быть полезной при использовании временного разнесенного приема, реализуемого на основе обработки в целом повторов сообщений, когда передача ДИ обеспечивается в условиях глубоких замираний.

Представленные на рис. 4 реализации общей РС, получаемой при обработке 2-лучевого ШПС и уровня порога обнаружений для максимального значения вероятности ложных обнаружений, подтверждают результаты теоретических оценок о возможности

разделения и синхронизации по задержке сравнительно слабых лучей. Удовлетворительное качество приема ДОФТ требует отношения сигнала к помехе (с/п) в отклике более 14 децибел. При передаче без повторов и 2-4 лучах сопоставимой мощности среднее значение отношения с/п, характеризующее луч, составляет 9...11 децибел. При 2 вариантах сообщения необходимо принимать лучи со средним отношением с/п 6...8 децибел.

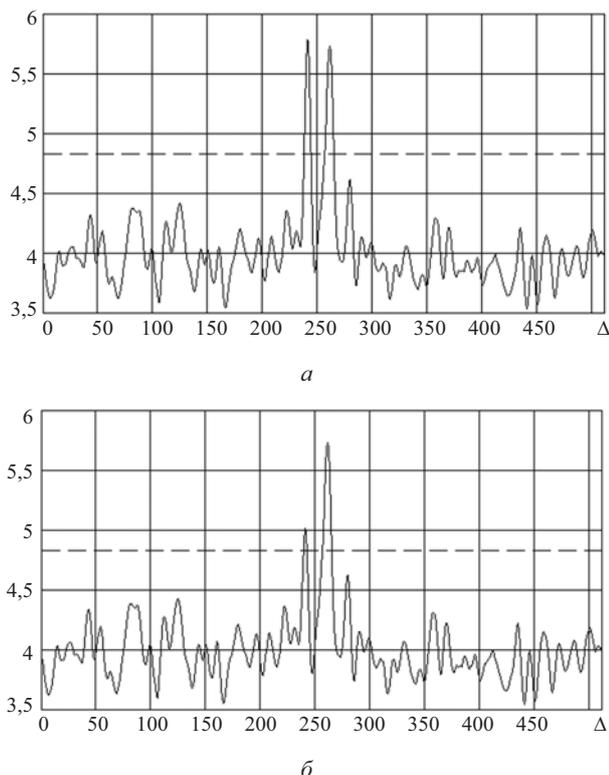


Рис. 4. Реализации общей РС и порога обнаружения с $F_0 = 5 \cdot 10^{-5}$ для ШПС с базой $B_S = 256$, $M_e = 4$ при $n_p = 100$: а - $h^2_{\Sigma 1} = h^2_{\Sigma 2} = 2$ дБ; б - $h^2_{\Sigma 1} = 2$ дБ, $h^2_{\Sigma 2} = 1$ дБ

Возможность выделения лучей с уровнем около 2 децибел обеспечивает необходимый запас для выделения существенных лучей в условиях замираний. При наличии нескольких лучей прием луча с очень малой мощностью оказывает незначительное влияние на качество приема ДИ по сравнению с лучами,

Получено 13.09.2016

которые содержат основную мощность сигнала, поступающего на вход приемника. Поэтому нет смысла выделять лучи, характеризуемые отношением с/п около 2 децибел. Такое отношение можно рассматривать как предварительное, пока нет реальной статистики и не вполне ясен вопрос об ограничении параметра n_p при программной реализации алгоритма. Для этого параметра действуют два ограничения: первое определяется скоростью реализации вычислительного процесса и его скоростью, второе обусловлено влиянием рассогласования тактовых частот. Действительно, взаимный сдвиг тактовых частот не должен приводить к рассогласованию временных осей на интервале $n_p T_S$, при котором отсчеты, соответствующие оценке положения максимума ГП, имели бы значительный разброс относительно истинного значения максимума. То есть временной сдвиг, обусловленный рассогласованием тактовых частот, должен на интервале $n_p T_S$ иметь величину много меньше односторонней ширины ГП.

При обнаружении начала сеанса связи по нескольким последовательным решениям обнаружения ГП решение выносится с задержкой, оцениваемой величиной $k_0 n_p T_S$. Для определения конца сеанса связи фиксируется начало последовательности пропусков ГП. Так как ошибка для этого случая также определяется ложными обнаружениями, то все результаты, полученные для определения начала сеанса, применимы также для обнаружения конца связи.

Таким образом, выполненный анализ позволил более точно задать требуемый уровень вероятности ложных обнаружений в точке развертки РССЗ F_0 и надежно фиксировать границы сеанса связи по результатам обнаружения ГП в системе синхронизации по задержке при длительных ожиданиях сеанса и условиях значительной неопределенности его начала.

Библиографические ссылки

1. Климов И. З., Меркушев О. В. Определение методов оценки надежности доставки информации конечному получателю в радиосети с нестационарными каналами связи // сб. докл. 3-й междунар. науч.-техн. конф. «Радиотехника, электроника и связь – РЭС-2015». – Омск : ВТТА. – С. 86–96.
2. Там же.