

Из рис. 1 следует, что структуры, изготовленные в соответствии с предложенной методикой обеспечивают поглощение в среднем более 50 % мощности взаимодействующего с ними электромагнитного излучения в диапазоне частот 0,7–17,0 ГГц. Таким образом, указанные структуры являются радиопоглощающими. Они представляются перспективными для использования в изготовлении изделий, предназначенных для функционального зонирования помещений, в которых располагаются радиоэлектронные приборы, чувствительные к воздействию электромагнитных помех. Такие изделия должны представлять собой занавесы, размещаемые между указанными приборами и закрепляемые на направляющих, зафиксированных либо на потолке помещения, либо на специальном подвижном каркасе.

Благодарности. Работа выполнена в рамках НИР «Эластичные и воздухопроницаемые электромагнитные экраны на основе фольгированных материалов для обеспечения информационной

и экологической безопасности» по заданию № 1.5 «Разработка новых материалов и технологий для систем электромагнитной защиты радиоэлектронного и информационного оборудования, биологических объектов от воздействия широкого спектра электромагнитных излучений, обеспечения электромагнитной безопасности населения и электромагнитной совместимости электро- и радиотехнических средств и оборудования» ГПНИ «Материаловедение, новые материалы и технологии» на 2021–2025 гг.

Литература

1. EMI shielding: methods and materials – a review / S. Geetha [et al.] // Journal of Applied Polymer Science, 2009. – Vol. 112, № 4. – P. 2073–2086.
2. Скалярные анализаторы цепей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mwmlab.com/oborudovanie/izmeritelnoe-svch-oborudovanie/skalyarnye-analizatory-cepей>. – Дата доступа: 21.09.2021.
3. Изделия электронные СВЧ. Методы измерения электрических параметров : ГОСТ 20271.1-91.

УДК 004.056:061.68

ПОДАВЛЕНИЕ ПОМЕХ В БЕСПРОВОДНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Бокуть Л.В.¹, Деев Н.А.²

¹Белорусский национальный технический университет

²Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси

Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматривается один из компенсационных методов подавления интенсивных узкополосных помех в системе передачи дискретно-непрерывных сообщений. Исследуется помехоустойчивость устройств обработки двоичных сигналов с межсимвольной псевдослучайной перестройкой рабочей частоты (ППРЧ).

Ключевые слова: обработка сигналов, дискретно-непрерывные сообщения, подавление помех, перестройка рабочей частоты.

SUPPRESSION OF HINDRANCES IN WIRELESS INFORMATION SYSTEMS

Bokut L.¹, Deev N.²

¹Belarusian National Technical University

²The United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus

Minsk, Belarus

Abstract. In the work one of compensation methods of suppression of intensive narrow-band hindrances in the system of transfer of discrete and continuous messages is considered. The noise stability of processing devices of binary signals with the intersymbolical pseudorandom reorganization of operating frequency (PROF) is investigated.

Key words: processing of signals, discrete and continuous messages, suppression of hindrances, reorganization of operating frequency.

Адрес для переписки: Бокуть Л.В., ул. Якуба Коласа, 22, г. Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: lvbokut@bntu.by

В настоящее время одной из важных проблем при функционировании беспроводных информационных систем передачи данных является обеспечение защищенности и повышение стойкости к воздействию аддитивных, мультипликативных помех и межсимвольной интерференции [1].

Для снижения вероятности ошибки на бит при действии интенсивных узкополосных помех целесообразно применение адаптивных компенсаторов помех (АКП). С этой целью в каждый из частотных каналов включается АКП, обеспечивающий обнаружение помехи и оценку ее уровня

[2]. Схема включения АКП и его структура приведены на рис. 1.

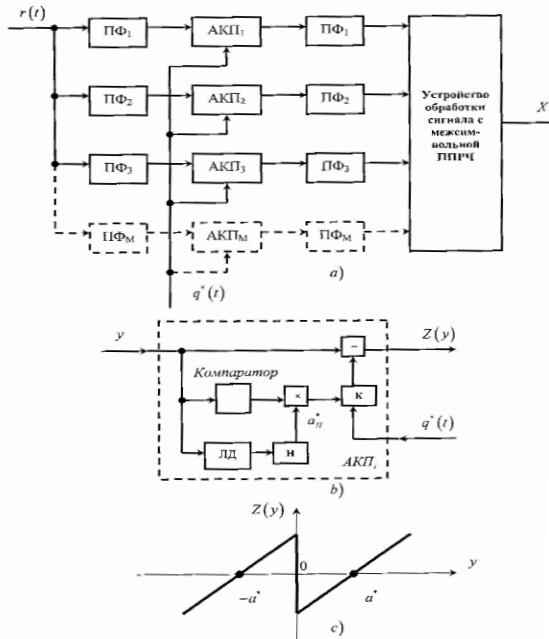


Рисунок 1 – Схема включения адаптивного компенсатора помех

На рис. 1 приняты обозначения ПФ – полосовой фильтр, Н – накопитель, ЛД – линейный детектор, К – коммутатор. С помощью схемы, представленной на рисунке, обеспечивается компенсация квазигармонических колебаний с относительно медленным изменением амплитуды $a(t)$. В паузе сигнала в частотном канале оценка амплитуды $a^*(t)$ осуществляется с высокой точностью. Включение компенсатора обеспечивается синхронизированной псевдослучайной последовательностью $q^*(t)$, коммутирующей выход устройства оценки помехи. Полосовые фильтры, включенные на выходе без инерционного АКП подавляют составляющие на частотах $(1 + 2k)\omega_{\text{п}}$, $k \geq 1$, образующиеся на выходе компаратора. Для компенсации узкополосной помехи адаптивный нелинейный преобразователь строится по схеме, представленной на рис. 1.

Характеристика преобразователя показана на рисунке (с) и описывается следующим выражением: $Z(y) = y - a_{\text{п}}^* \text{sing}(y)$, где $Z(y)$ – амплитудная характеристика АКП, $a_{\text{п}}^*$ – оценка амплитуды помехи.

Оценка амплитуды $a_{\text{п}}^*$ помехи формируется из условия статистической независимости отсчетов помехи и определяется математической зависимостью:

$$a_{\text{п}}^* = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N |y_i|,$$

где $a_{\text{п}}^*$ – оценка амплитуды помехи, k – порядковый номер независимого отсчета помехи.

Операция вычисления модуля осуществляется в линейном детекторе, а суммирование в накопителе. Поскольку оценка $a_{\text{п}}^*$ формируется в интервале времени, когда действует только помеха и внутренний шум приемника, то качество оценивания будет определять $P_{\text{ш}}$ – средняя мощность шума. При появлении в частотном канале сигнала включается цепь формирования оценки помехи с учетом оценки $a_{\text{п}}^*$, что обеспечивает качественную компенсацию первой гармоники помехи. Продукты помехового процесса, образуемые в компараторе, подавляются в полосовом фильтре (ПФ₁) включенном после вычитающего устройства компенсатора. За счет компенсации узкополосной помехи отношение q сигнал/помеха на выходе компенсатора увеличивается по сравнению с входным $q_{\text{вх}}$.

Между q и $q_{\text{вх}}$ существует следующая связь:

$$q = q_{\text{вх}} \mu_a^2,$$

где q – отношение сигнала/помеха на выходе компенсатора, $q_{\text{вх}}$ – отношение сигнала/помеха на входе компенсатора, μ_a^2 – коэффициент амплитудного подавления помехи.

Для рассматриваемого случая, требуемое соотношение мощности сигнала к мощности шума следующее:

$$P_{\text{с}}/P_{\text{ш}} \approx 10, \sigma_a^2/P_{\text{ш}} \ll 1,$$

$$q_{\text{п}} = a_{\text{п}}^2/P_{\text{ш}} \approx P_{\text{п}}/P_{\text{ш}} \approx 100,$$

тогда

$$\mu_a^2 = (1 + q_{\text{п}})/(1 + \sigma_a^2/P_{\text{ш}}) \approx 100,$$

$$q_{\text{вх}} = P_{\text{с}}/P_{\text{ш}}(1 + P_{\text{п}}/P_{\text{ш}}) = 10/101 \approx 1 \cdot 10^{-1},$$

где $q_{\text{п}}$ – отношение мощности помехи к мощности внутреннего шума приемника; ($q_{\text{п}} = a_{\text{п}}^2/P_{\text{ш}}$), σ_a^2 – дисперсия ошибки оценивания помехи, $P_{\text{ш}}$ – средняя мощность шума; $P_{\text{с}}$ – средняя мощность сигнала, $P_{\text{п}}$ – средняя мощность помехи.

Оценкой помехозащищенности систем связи с ППРЧ сигналами и адаптивными компенсаторами интенсивных гармонических помех определен обеспечиваемый энергетический выигрыш в сравнении с известными системами [3].

Отношение сигнал/помеха за счет АКП увеличивается в $\mu = [1 + (P_{\text{п}}/P_{\text{ш}})]$ раз, где $P_{\text{п}}$, $P_{\text{ш}}$ – мощности помехи и внутреннего шума приемника.

В случае оценивания помехи в канале без сигнала при относительно большом времени усреднения имеем $\sigma_a^2 \ll P_{\text{ш}}$, при этом $\mu_a^2 \approx (1 + q_{\text{п}})$.

В известных технических решениях коммутация каналов отсутствует, и оценка амплитуды помехи осуществляется в присутствии сигнала, поэтому:

$$q_{\text{п}} = a_{\text{п}}^2/(P_{\text{ш}} + P_{\text{с}}),$$

где $P_{\text{с}}$ – средняя мощность сигнала, и ошибка оценки помехи увеличивается до уровня мощности сигнала $P_{\text{с}}$.

Таким образом, снижается величина коэффициента μ_a^2 , т.е. эффективность компенсации помехи без коммутации каналов падает. Для оценки качества приема при действии помехи вводится энергетический параметр μ_Σ , определяющий вероятность ошибок P_e различения двоичных символов:

$$\mu_\Sigma = q_c / (1 + q_{\Pi} / \mu_a^2),$$

где $q_c = P_c / P_{\text{ш}}$ – отношение мощности сигнала к мощности шума; $q_{\Pi} = P_{\Pi} / P_{\text{ш}}$ – отношение мощности помехи к мощности шума, μ_a^2 – коэффициент амплитудного подавления помехи.

При отсутствии адаптивного компенсатора помех $\mu_\Sigma = q_c / (1 + q_{\Pi})$, т.е. интенсивная помеха ($q_{\Pi} \gg 1$) приводит к существенному снижению энергетического параметра μ_Σ по сравнению с q_c .

Включение адаптивного компенсатора помех позволяет снизить уровень действия помехи в $\mu_a^2 \approx (1 + q_{\Pi})$ раз, при этом обеспечивается $\mu_\Sigma = q_c$.

Таким образом, если $q_{\Pi} > 20$ дБ, то энергетический выигрыш при приеме с адаптивным компенсатором помех составляет более 20 дБ, а за счет автокомпенсации узкополосных помех не происходит полного стирания информации в пораженных помехами частотных каналах приема.

Литература

1. Бокуть, Л. В. Исследование компенсационного метода подавления помех в радиоканалах охранно-пожарных систем сигнализации / Л. В. Бокуть, Н. А. Деев // Приборостроение–2020 : материалы 13 международной науч.-техн. конф., 18–20 ноября 2020 г., Минск, Белорус. нац. техн. ун-т / редкол. : О.К. Гусев [и др.]. – Минск : БНТУ, 2020. – С. 240–242.

2. Хорошко, В. А., Чекатков, А. А. Методы и средства защиты информации. – М. : Юниор, 2010. – 501 с.

3. Борисов, В. И. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты / В. И. Борисов, В. М. Зинчук; под ред. В. И. Борисова. – М. : РадиоСофт, 2008. – 512 с.

УДК 621.382

ОСОБЕННОСТИ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНОВ P⁺, B⁺ И Sb⁺ В ПЛЕНКИ ПОЗИТИВНОГО ФОТОРЕЗИСТА ФП9120 НА КРЕМНИИ

Бринкевич Д.И.¹, Просолович В.С.¹, Черный В.В.²

¹Белорусский государственный университет

²Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Методом ИК-Фурье спектроскопии нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) исследованы пленки диазохинон-новолачного фоторезиста ФП9120 толщиной 1,8–5,0 мкм, имплантированные ионами B⁺, P⁺ и Sb⁺ с энергией 60 кэВ в интервале доз 5·10¹⁴–6·10¹⁷ см⁻². Рассмотрены различные механизмы радиационно-индуцированной модификации структурных и оптических свойств пленок ДХН-резистов за областью пробега ионов, обусловленные электронным и ядерным механизмами торможения ионов.

Ключевые слова: диазохинонноволачный фоторезист; ионная имплантация; нарушенное полное внутреннее отражение; адгезия; кремний.

FEATURES OF IMPLANTATION OF P⁺, B⁺ AND Sb⁺ IONS INTO FILMS OF FP9120 POSITIVE PHOTORESIST ON SILICON

Brinkevich D.¹, Prosolovich V.¹, Chorny V.²

¹Belarusian State University

²Belarusian National Technical University

Minsk, Belarus

Abstract. Diazoquinone-novolac photoresist films with 1,8–5,0 μm thick, implanted with B⁺, P⁺, and Sb⁺ ions with an energy of 60 keV in the dose range 5,10¹⁴–6,10¹⁷ cm⁻² were investigated. Various mechanisms of radiation-induced modification of the structural and optical properties of resist films beyond the ion path region, caused by the electronic and nuclear mechanisms of ion inhibition, were considered.

Key words: diazoquinone-novolac photoresist; ion implantation; attenuated total reflection; adhesion; silicon.

Адрес для переписки: Просолович В.С., пр. Независимости, 4, г. Минск 22030, Республика Беларусь
e-mail: prosolovich@bsu.by

Литография является одним из основных технологических процессов микроэлектроники. В качестве защитного светочувствительного материала (фоторезиста) в современной литографии

наибольшее распространение получили диазохинонноволачные (ДХН) резисты, представляющие собой композиты из фенолформальдегидных смол и нафтохинондиазида [1]. Модификация