

## ДВУХКАНАЛЬНЫЙ ПОДАВИТЕЛЬ КРОССПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ ПОМЕХИ

Парамонов А.М., к.т.н., e-mail: pardimalex@mail.ru

**Ключевые слова:** кроссполяризационная помеха, радиорелейная связь, разнесение по поляризации, демодулятор.

### Введение

Во многих цифровых радиорелейных линиях связи используется передача сигналов двух каналов на одной и то же несущей частоте с разнесением по поляризации, что позволяет увеличить пропускную способность линии связи. Такое использование частот возможно только при условии достаточной развязки между сигналами с ортогональными поляризациями. Однако на трассе распространения может возникнуть деполяризация сигналов, вызванная дождем и другими гидрометеорами или многолучевым распространением сигнала. В результате уменьшается отношение сигнал/помеха на входе решающего устройства демодулятора, и, следовательно, уменьшается помехоустойчивость демодулятора.

Одним из возможных решений данной проблемы является использование двухканального приемного устройства с автоматическим подавителем кроссполяризационной помехи (ПКПП). Принцип работы двухканального подавителя помехи заключается в выделении помехи, поступающей по второму каналу приема, и, в адаптивном управлении фазой и амплитудой выделенной помехи для подавления помехи, скрытой в полезном сигнале первого канала приема.

Как правило, сигналы тактовой синхронизации в каналах, разнесенных по поляризации, независимы и не синхронизированы. В связи с этим, возможны две конфигурации ПКПП. В первом случае сигналы основной и ортогональной поляризации с выходов АЦП сначала записываются в память, каждый своим сигналом тактовой частоты, а затем считываются из нее общим сигналом тактовой частоты, который формируется из двух частных сигналов тактовой частоты. Во втором случае сигнал ортогональной поляризации, подаваемый на вход ПКПП, подвергается аналого-цифровому преобразованию с помощью тактового сигнала для сигнала с основной поляризацией. Достоинство второй конфигурации заключается в том, что она позволяет подавлять помехи, отличные от полезного сигнала, например, узкополосные. В данной статье приводятся результаты компьютерного моделирования радиосистемы с двухканальным ПКПП второй конфигурации.

### Структурная схема двухканального приемного устройства

Структурная схема двухканального приемного устройства приведена на рис. 1. Здесь используются сле-

Приведена одна из возможных структурных схем двухканального цифрового подавителя кроссполяризационной помехи (ПКПП). Описана математическая модель радиосистемы с разнесением по поляризации и с двухканальным приемом. С помощью компьютерного моделирования определена эффективность подавления кроссполяризационной помехи при приеме сигналов с КАМ.

дующие обозначения: РПУ - радиоприемное устройство, на выходе которого формируется сигнал промежуточной частоты требуемого уровня, АЧД - аналоговая часть демодулятора, ЦЧД - цифровая часть демодулятора, ФКС - формирователь квадратурных сигналов, СПЧ - синтезатор промежуточной частоты, АЦП - аналого-цифровой преобразователь, КП - комплексный перемножитель, ФОС - фильтр основной селекции, Д2 - дециматор на 2, АК - адаптивный корректор межсимвольных искажений, АФ - адаптивный фильтр, АД - амплитудный детектор устройства автоматической регулировки усиления, К - компаратор, ФНЧ - фильтр нижних частот, ВД - временной дискриминатор устройства тактовой синхронизации, СЧД - синтезатор частоты дискретизации, ДЧ - делитель частоты, РУ - решающее устройство, ФД - фазовый детектор устройства восстановления несущей частоты, ГСК - генератор синуса и косинуса, ИС - индикатор синхронизма, УУ - устройство управления.

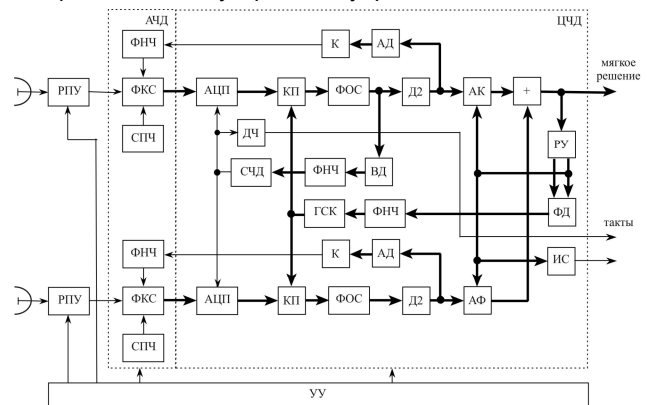


Рис. 1. Структурная схема двухканального приемного устройства

Способы формирования квадратурных сигналов рассмотрены, например, в [1]. Алгоритмы работы и выбор параметров устройств автоматической регулировки усиления, тактовой синхронизации, восстановления несущей частоты описаны, например, в статье [2]. В данной статье в качестве адаптивного корректора межсимвольных искажений рассматривается  $T$ -интервальный АК, реализованный в виде фильтра с конечной импульсной характеристикой (КИХ фильтра), коэффициенты которого формируются по алгоритму, соответствующему критерию минимума среднеквадратической ошибки [3].

Структура и алгоритм формирования коэффициентов адаптивного фильтра аналогичны тем, которые используются в АК. Единственное отличие заключается в том, что начальные значения всех коэффициентов равны нулю. Для формирования коэффициентов АК и АФ используется один и тот же сигнал ошибки. На выходе адаптивного фильтра из помехи, поступающей по второму каналу приема, формируется оценка помехи, скрытой в полезном сигнале первого канала приема. В сумматоре осуществляется подавление помехи.

**Модель радиосистемы**

Структурная схема модели радиосистемы с рассмотренным выше двухканальным приемным устройством при моделировании методом огибающей приведена на рис. 2. Здесь ГКС – генератор квадратурных сигналов, ГСП – генератор синусоидальной помехи, К – коммутатор, ФК – фильтр канала, ГШ – генератор шума, ДД – двухканальный демодулятор, ООСШ – оценщик отношения сигнал/шум, ПФП – построитель фазового портрета.

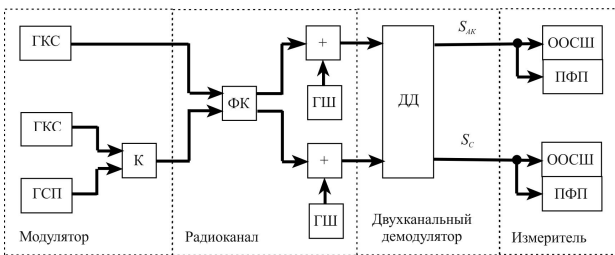


Рис. 2. Структурная схема модели двухканального приема

ГКС формирует две случайные многоуровневые последовательности (количество уровней определяется видом модуляции ФМ4, КАМ16, КАМ32, КАМ64, КАМ128 или КАМ256) с 16 отсчетами на такте (длительности символа), которые затем пропускаются через формирующий фильтр, типа корень квадратный из приподнятого косинуса. Средняя мощность комплексного символа равна 1. ГСП формирует две многоуровневые последовательности отсчетов синуса и косинуса с заданной частотой и амплитудой.

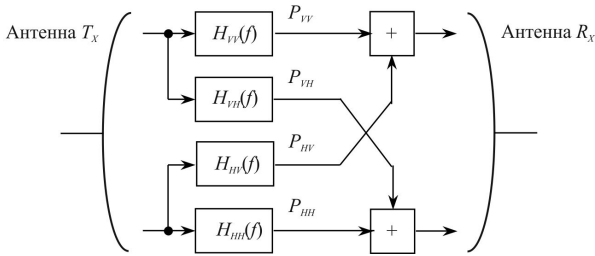


Рис. 3. Модель соканальной передачи

Радиоканал описывается четырьмя передаточными функциями  $H_{VV}(f)$ ,  $H_{VH}(f)$ ,  $H_{HV}(f)$ ,  $H_{HH}(f)$  (см. рис. 3). Передаточные функции  $H_{VV}(f)$  и  $H_{HH}(f)$  отображают путь прямой передачи сигналов, передаваемых с вертикальной и горизонтальной поляризациями соответственно, передаточные функции  $H_{HV}(f)$  и  $H_{VH}(f)$  - перекрестную связь между двумя поляризациями. В принципе в этой модели радиоканала можно использовать любую передаточную функцию. Обычно, по причине простоты, используют двухлучевую модель Раммлера. Кроме того, во многих случаях, и это обосновано, достаточно ис-

пользовать двухлучевую модель только для передаточных функций  $H_{VV}(f)$  и  $H_{HH}(f)$ , а перекрестные связи отобразить последовательным соединением attenuатора и линии задержки, т.е. передаточные функции  $H_{HV}(f)$  и  $H_{VH}(f)$  представить в виде:

$$H_{VH}(f) = a_{VH} \exp(-j2\pi\tau_{VH}),$$

$$H_{HV}(f) = a_{HV} \exp(-j2\pi\tau_{HV}).$$

При этом структурную схему радиоканала можно представить в виде, приведенном на рис. 4 а), где ИЧСЗ - двухлучевой имитатор частотно-селективных замираний, ЛЗ - линия задержки, Атт - attenuатор. С учетом того, что сигналы в каналах могут иметь разную задержку структурная схема дополнена двумя линиями задержки. Упрощенный вариант ФК приведен на рис. 4 б), где ФВ – фазовращатель [4]. Отличие заключается в отсутствии ИЧСЗ, а линии задержки в перекрестных связях заменены на фазовращатели.

При моделировании параметры частотно-селективных замираний и отношение сигнал/шум в обоих каналах, для простоты, устанавливались одинаковыми.

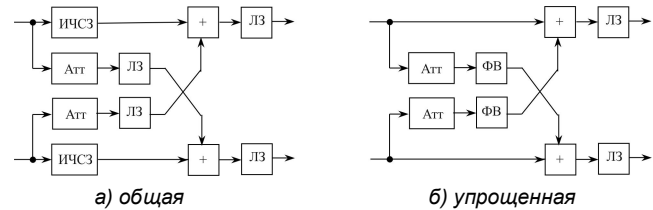


Рис. 4. Структурные схемы двухканальной модели радиоканала

Структурная схема модели двухканального демодулятора приведена на рис. 5. Здесь ФНЧ – фильтр нижних частот, ФВ – фазовращатель, ГСК – генератор синуса и косинуса, Инт – интерполятор, СЧД – синтезатор частоты дискретизации, АЦП – аналого-цифровой преобразователь, ФОС – фильтр основной селекции, Д2 – дециматор на два, АД – амплитудный детектор, К – компаратор, ВД – временной дискриминатор, ФД – фазовый детектор, АК – адаптивный корректор, АФ – адаптивный фильтр, РУ – решающее устройство, ИС – индикатор синхронизма.

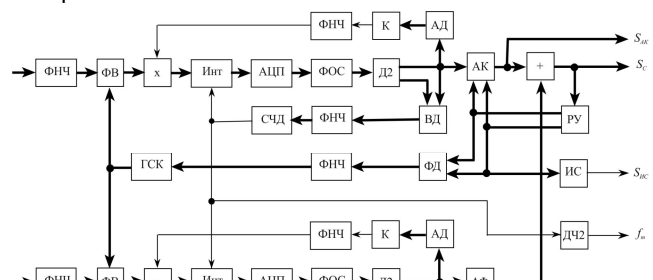
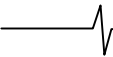


Рис. 5. Структурная схема модели двухканального демодулятора

В измерителе осуществляется оценка отношений сигнал/шум (ООСШ) и построение фазовых портретов (ПФП) сигналов на входе и выходе сумматора сигналов двух каналов.

**Результаты моделирования**

На первом этапе экспериментального исследования были сняты зависимости отношения сигнал/помеха на выходе сумматора от входных отношений сигнал/шум и



сигнал/помеха при отсутствии и наличии ПКПП для разных видов модуляции (фаза сигнала во втором канале сдвинута на  $90^\circ$ , задержка сигнала во втором канале отсутствует, частотно-селективные замирания отсутствуют). На основе полученных зависимостей определены зависимости энергетических потерь от входного отношения сигнал/помеха при отсутствии и наличии ПКПП для разных видов модуляции при вероятности ошибки в бите  $10^{-3}$  (рис. 6).

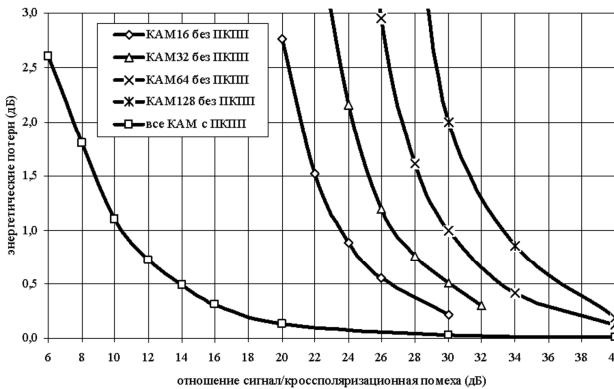


Рис. 6. Зависимость энергетических потерь от отношения сигнал/помеха

Из рисунка следует, что

- при отсутствии ПКПП полученные зависимости энергетических потерь хорошо согласуются с результатами, приведенными в [5]. В частности, энергетические потери в 1 дБ при вероятности ошибки в бите  $10^{-3}$  возникают при отношении сигнал/помеха 23,5 дБ для сигналов КАМ16, 26,7 дБ - для сигналов КАМ32, 30 дБ - для сигналов КАМ64 и 33,3 дБ - для сигналов КАМ128;

- при наличии ПКПП энергетические потери практически не зависят от вида модуляции;

- энергетический выигрыш в отношении сигнал/помеха при энергетических потерях в 1 дБ при вероятности ошибки в бите  $10^{-3}$  составляет 13,3 дБ для сигналов КАМ16, 16,3 дБ - для сигналов КАМ32, 19,6 дБ - для сигналов КАМ64 и 20,8 дБ - для сигналов КАМ128. Эти результаты также хорошо согласуются с теоретическими и экспериментальными данными, приведенными в литературе.

На втором этапе было определено, что качество работы ПКПП не зависит от сдвига фазы сигнала во втором канале.

На третьем этапе проводилось исследование зависимости качества работы ПКПП от задержки сигнала во втором канале. Эксперимент показал, что наилучшие результаты получаются при нулевой задержке, наихудшие - при задержке, равной половине тактового интервала. Зависимости энергетических потерь от входного отношения сигнал/помеха для сигналов КАМ128 при вероятности ошибки в бите  $10^{-3}$  для трех значений задержки (0,  $\frac{1}{4}$  и  $\frac{1}{2}$  такта) приведены на рис. 7.

Из рисунка следует, что при энергетических потерях 1 дБ энергетический проигрыш в отношении сигнал/помеха относительно случая нулевой задержки составляет 3,5 дБ при задержке, равной  $\frac{1}{4}$  такта, и 15,5 дБ при задержке, равной  $\frac{1}{2}$  такта. Т.е. энергетический проигрыш в отношении сигнал/помеха может быть недопус-

тимо большим. Поэтому в демодуляторе необходимо предусмотреть механизм подбора задержки сигнала во втором канале перед подачей его на АФ. В простейшем случае можно коммутировать четные и нечетные отсчеты на выходе дециматора на два, по критерию, например, минимума сигнала на выходе ФНЧ УАРУ, или минимума среднеквадратичной ошибки на выходе решающего устройства демодулятора.

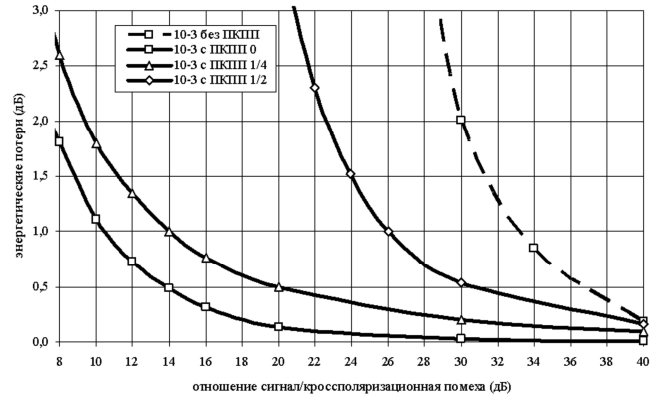


Рис. 7. Зависимость энергетических потерь от отношения сигнал/помеха

На четвертом этапе проводилось исследование зависимости качества работы ПКПП от параметров частотно-селективных замираний. Примеры зависимостей отношения сигнал/помеха на выходе ПКПП от параметров ЧСЗ для сигнала КАМ128 при входном отношении сигнал/шум 21 дБ и отношении сигнал/помеха 12 дБ приведены на рис. 8 (относительная расстройка пика АЧХ ЧСЗ относительно несущей равна 0,1) и на рис. 9 (глубина пика АЧХ ЧСЗ равна 3 дБ).

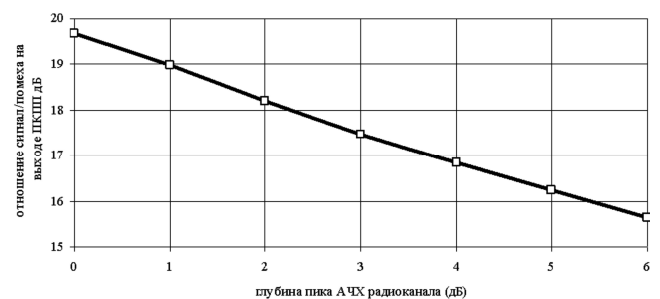


Рис. 8. Зависимость отношения С/П от глубины пика АЧХ радиоканала

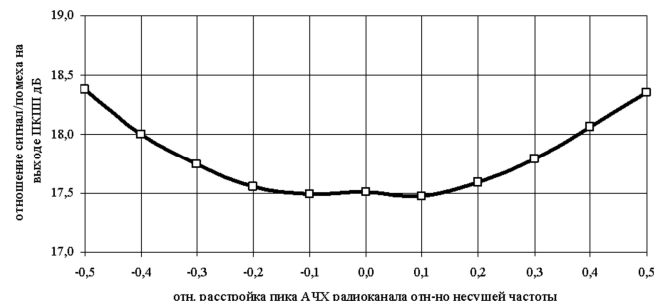


Рис. 9. Зависимость отношения С/П от расстройки пика АЧХ канала

Двухканальное приемное устройство с ПКПП, структурная схема которого приведена на рис. 1, позволяет эффективно подавлять не только кроссполяризационные (т.е. подобные полезному сигналу), но и узкополос-

ные помехи. На рис. 10, в качестве примера, приведены фазовые портреты сигналов до и после подавления синусоидальной помехи и частотные характеристики адаптивного фильтра при следующих параметрах моделирования:

- вид модуляции – КAM16,
- тактовая частота – 50 МГц,
- отношение сигнал/шум – 50 дБ,
- помеха – синусоидальная,
- отношение сигнал/помеха – 12 дБ,
- частота помехи – 12 МГц.

Из рисунка следует, что адаптивный фильтр в данном случае представляет собой полосовой фильтр с центральной частотой, равной частоте помехи.

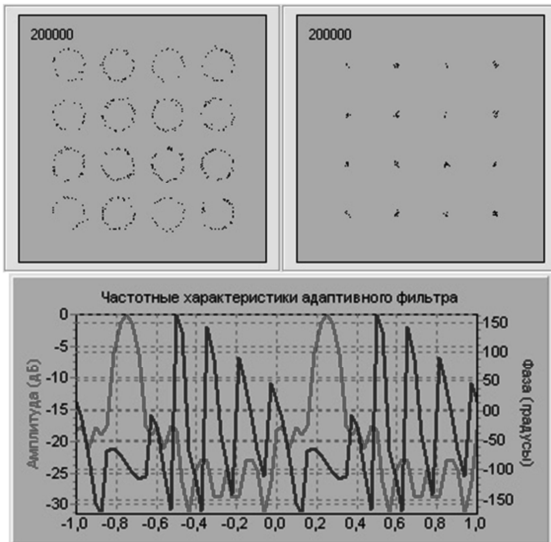


Рис. 10. Фазовые портреты и частотные характеристики адаптивного фильтра при подавлении синусоидальной помехи

## Литература

1. Парамонов А., Куропаткин О. Цифровая обработка при когерентной демодуляции сигналов. – Chip News / Инженерная микроэлектроника, 2000, № 8, с.2-6.
2. Парамонов А., Куропаткин О., Сосенко И. Выбор параметров фильтров устройств автоматического регулирования демодуляторов ФМ сигналов при их реализации на микросхемах фирмы Intersil. – Chip News / Инженерная микроэлектроника, 2001, № 9, с.14-20.
3. Тарасова В., Парамонов А., Куропаткин О. Адаптивная коррекция межсимвольных искажений. – Chip News / Инженерная микроэлектроника, 2001, № 4, с.4-6,9,10.
4. Handbook: Digital radio-relay systems. - Geneva: Radiocommunication Bureau, 1996. - 396p.
5. Borgne M. Comparison of high-level modulation schemes for high-capacity digital radio systems. - IEEE Trans., 1985, vol.COM-33, no.5, p.442-449.

## TWO-CHANNEL CROSS-POLARIZATION INTERFERENCE CANCELLER

*Paramonov A.M.*

In the high-speed digital radio system orthogonal polarization in the same route are used. Receiver such system has two-channel cross-polarization interference cancellers (XPIC). In this paper block diagram of fully digital XPIC are presented. The mathematical model digital radio system with orthogonal polarization and two-channel reception is described. Computer simulated results of cancellation characteristics of this XPIC for QAM signals are given.

### **международная научно-техническая конференция «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ. СОСТОЯНИЕ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ»**

ЗАО «МНИТИ» 24-25 октября 2012 года проводит 6-ю международную научно-техническую конференцию «Современные телевизионные технологии. Состояние и направления развития».

В конференции примут участие ведущие российские научные организации, заводы–изготовители, вещательные компании, а также отечественные и зарубежные изготовители компонентной базы.

Программа конференции включает в себя работу пленарного заседания и двух секций «ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ XXI ВЕКА» и «ПРИКЛАДНОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ».

В рамках конференции будет организована работа круглого стола «Внедрение цифрового телевидения в России».

Оргкомитет приглашает принять участие в работе научно-технической конференции и выступить с докладом или сообщением.

Дополнительная информация на сайте ЗАО «МНИТИ» [www.mniti.ru](http://www.mniti.ru)  
и по тел. (499) 763-44-52