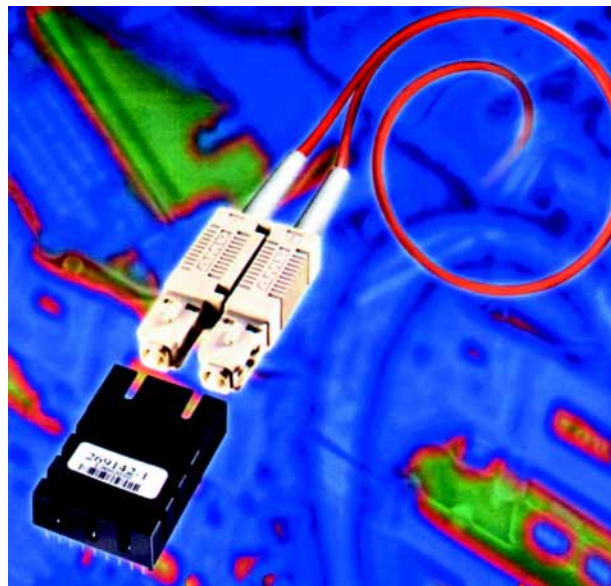


# ВЫСОКОСКОРОСТНЫЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫЕ МОДЕМЫ ДЛЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ

**ПОЯВЛЕНИЕ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ, СИСТЕМ ОТЛАДКИ И ЭМУЛЯЦИИ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ, КОМПЛЕКСОВ ИМИТАЦИИ КАНАЛОВ ТОНАЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ И ТЕСТИРОВАНИЯ МОДЕМОВ ПОЗВОЛЯЕТ СОЗДАВАТЬ ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫЕ ВЫСОКОСКОРОСТНЫЕ МОДЕМЫ, ПРИБЛИЖАЮЩИЕСЯ ПО СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ К ПРЕДЕЛЬНЫМ ЗНАЧЕНИЯМ ГРАНИЦЫ ШЕННОНА. ПРИ ЭТОМ ВОЗМОЖНО КАК СОЗДАНИЕ ФИРМЕННЫХ ПРОТОКОЛОВ, ТАК И БОЛЕЕ КАЧЕСТВЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОТОКОЛОВ, РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИТУТ. РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОТОКОЛА V.34 BIS НАИБОЛЕЕ ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНА В СВЯЗИ С МЕНЬШЕЙ ЗАДЕРЖКОЙ НА ОБРАБОТКУ СИГНАЛА, НО ТРЕБУЕТ БОЛЕЕ ВЫСОКОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОЦЕССОРА.**



## ВВЕДЕНИЕ

За последние годы наблюдается значительный прогресс в разработке всё более скоростных модемов. При этом следует различать модемы в соответствии с областями их использования. Принято выделять модемы для:

- коммутируемых двухпроводных телефонных линий общего пользования;
- выделенных четырёхпроводных каналов канальной частоты;
- двухпроводных и четырёхпроводных физических линий связи.

Наибольшее внимание пользователей и производителей привлечено к модемам первой группы. Именно для этих модемов ИТУТ издаёт большинство соответствующих рекомендаций, позволяющих обеспечить встречную работу между модемами различных производителей. Некоторые характеристики этих модемов приведены в табл. 1.

Из представленных протоколов наивысшей помехоустойчивостью обладают стандарты V.34, в которых использован комплексный подход и практически полностью использован возможный потенциал канала связи. При этом соотношение сигнал/шум (С/Ш) в канале связи в зависимости от скорости передачи должно быть не хуже: 4800 бит/с — 10,5 дБ; 9600 бит/с — 14,5 дБ;

14400 бит/с — 20,0 дБ; 19200 бит/с — 25,0 дБ; 24000 бит/с — 30,5 дБ; 28800 бит/с — 30,0 дБ.

Кроме того, на отечественных каналах в настоящее время лучшие результаты показывают многоканальные PEP-протоколы, которые имеют высокую устойчивость к неравномерности АЧХ и импульсным помехам.

Оригинальные версии PEP-протокола (PEP-S2 и PEP-S4) реализованы в модеме фирмы "Сигма" для линий с 2- и 4-проводным окончанием, соответственно, при этом на выделенной линии с 4-проводным окончанием канала ТЧ достигнута скорость передачи до 32 Кбит/с в дуплексном режиме. Протоколы, предназначенные для работы по

**Таблица 1. Протоколы модуляции для каналов с 2-проводным окончанием**

Протокол	Скорость	Вид связи	Вид модуляции	Разделение каналов
V.21	300	дуплекс	ЧМ	частотное
V.22	600/1200	дуплекс	ФРМ	частотное
V.22 bis	1200/2400	дуплекс	КАМ	частотное
V.23	600/1200	полудуплекс	ЧМ	временное
V.26 bis	1200/2400	полудуплекс	ФРМ	временное
V.26 ter	1200/2400	дуплекс	ФРМ	эхоподавление
V.32	2400/4800/9600	дуплекс	КАМ	эхоподавление
V.32 bis	7200/9600/12000/14400	дуплекс	Решёт. кодир.	эхоподавление
V.34	до 28800	дуплекс	Решёт. кодир.	эхоподавление
V.34 bis	до 33600	дуплекс	Решёт. кодир.	эхоподавление
V.32 ter	до 19200	дуплекс	Решёт. кодир.	эхоподавление
HST	4800-16800	ассиметр. дуплекс	Решёт. кодир.	частотное
PEP	до 19200	полудуплекс	511xCKK64	частотное
TurboPEP	до 23000	полудуплекс	Решёт. кодир.	частотное
ZyX	до 19200	дуплекс	Решёт. кодир.	эхоподавление
PEP-S2	до 9600	дуплекс	128xCKK64	частотное

**Таблица 2. Протоколы модуляции для каналов с 4-проводным окончанием**

Протокол	Скорость, бит/с	Вид связи	Вид модуляции
V.26	1200/2400	дуплекс	ФРМ
V.33	12000/14400	дуплекс	Решёт. кодир.
PEP	до 28800	дуплекс	Решёт. кодир.
PEP-S4	до 32000	дуплекс	Решёт. кодир.

выделенным четырёхпроводным каналам, представлены в табл. 2.

Наибольшая скорость передачи возможна при работе по физическим линиям связи. В этом случае может использоваться высокая энергетика линейного сигнала и, самое главное, значительно более высокая полоса частот. При этом можно обеспечить дуплексную передачу со скоростью 32 Кбит/с на расстояние до 30 км. Повышение уровня сигнала на стыке до 10 В позволяет передавать информацию со скоростью 32 Кбит/с на расстояние до 50 км.

В то же время, уже имеются данные о модемах типа DSL, позволяющих передавать данные со скоростью до 7,5 Мбит/с на расстояние до 3,5 км. Наибольшее применение данные модемы нашли при сопряжении пользователей с Internet в обход телефонных коммутаторов.

### АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СТАНДАРТНЫХ И ФИРМЕННЫХ ПРОТОКОЛОВ МОДУЛЯЦИИ

Основная функция модема — преобразование цифрового сигнала

в аналоговый в соответствии с некоторым законом. Такое преобразование называется модуляцией.

Способ модуляции играет основную роль в достижении максимально возможной скорости передачи информации при заданной вероятности безошибочного приёма. Предельные возможности системы передачи оцениваются с помощью известной формулы Шеннона:

$$C = F \cdot \log_2(1 + P_s/P_N),$$

где  $F$  — используемая полоса частот, пропускаемая каналом;  $P_s$  — средняя мощность сигнала,  $P_N$  — средняя мощность шума в полосе частот  $F$ .

Основными дестабилизирующими факторами, снижающими скорость передачи данных, являются наличие шумов в канале ТЧ и переприёмных участков по низкой частоте.

Показателем модема по передаче информации на зашумленном канале является помехозащищённость модема. Одним из методов повышения помехоустойчивости является кодирование сигнала помехоустойчивыми кодами.

Наличие в канале переприёмных участков приводит к искажению ампли-

тудно-частотной характеристики канала, а также к изменению времени прохождения сигнала в зависимости от его частоты (групповое время задержки).

Для обеспечения работы на канале с переприёмными участками применяется введение в алгоритмы обработки сигнала адаптивных эквалайзеров, а также разбиение канала на некоторое множество подканалов с разной скоростью передачи в каждом подканале.

Метод разбиения полосы канала ТЧ на несколько подканалов впервые был реализован фирмой TELEBIT в протоколах семейства PEP (*Packetized Ensemble Protocol*) для модемов серии TrailBlazer.

Для обеспечения совместимости модемов, производимых различными фирмами изготовителями, протоколы модуляции в процессе их разработки проходят оценку международным консультативным комитетом по телефонии и телеграфии, позднее переименованных в международный телекоммуникационный союз (ITU-T). Протоколы, одобренные этим союзом, приводятся в рекомендациях серии V.

Для обеспечения более устойчивой работы модемов на линиях низкого ка-

**MicroLAB Systems**  
127591, Москва, Россия,  
Дубнинская ул., д. 83, оф. 612  
WEB: www.mlabsys.com  
E-mail: info@mlabsys.com  
тел./факс: (095)-900-6208

**Комплексные решения ЦОС для процессоров TMS320**

**TORNADO СИСТЕМЫ ЦОС**  
**MIRAGE ЭМУЛЯТОРЫ!**  
**АЦП/ЦАП, СОПРОЦЕССОРЫ**

**TORNADO**  
системы ЦОС для ПК и автономных приложений на базе TMS320C3x/5000/6000  
**\$540+**  
дочерние модули АЦП/ЦАП, сопроцессоры ЦОС  
**\$215+**

**MIRAGE**  
эмуляторы JTAG/MPSD для TMS320  
**\$1000+**  
**TI Code Composer**  
**\$1300** (C3x/C4x)  
**\$1995** (Studio)

**Hypersignal**  
САПР алгоритмов и систем ЦОС  
**\$1995+**  
**QEDesign**  
САПР цифровых фильтров  
**\$1095+**  
**Nucleus PLUS, 3L Diamond**  
ОСРВ

чества некоторые фирмы разрабатывают и снабжают свои модемы фирменными протоколами модуляции и исправления ошибок.

Доступные на российском рынке дешёвые модемы в основном предназначены для использования в городских условиях. К ним можно отнести модемы Acorp-56EMS, Eline 34/56, USRobotics Sportster 56K и т.п. Практически все эти модемы реализованы на наборе микросхем фирм ROCKWELL, DAVICOM и CONEXANT. Использование подобных модемов на линиях с большим количеством мешающих факторов невозможно.

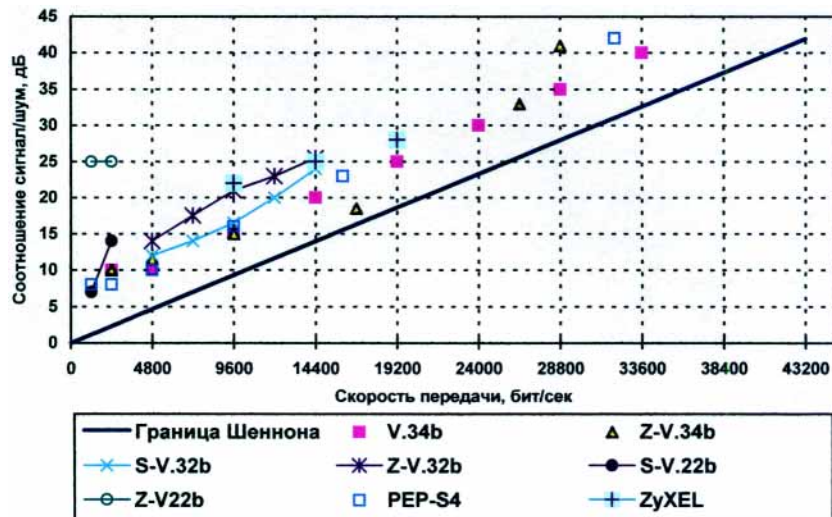
Также на нашем рынке доступны полупрофессиональные модемы типа ZyXEL Omni 56K Pro, 3Com Courier V.Everything 56K и т.п., которые помимо работы на городских телефонных линиях, обеспечивают работу по международным и международным телефонным линиям. Однако многочисленные тестирования этих модемов выявили их существенные недостатки в характеристиках при работе на линиях связи с большим количеством мешающих факторов. Среди основных мешающих факторов, оказывающих наибольшее влияние на характеристики модема, можно выделить: затухание соединительной линии, переприёмные участки, сдвиг частоты, дрожание фазы, задержка сигнала в канале связи и аддитивный шум.

Значительное воздействие этих факторов на характеристики, по нашему мнению, обусловлены следующими причинами:

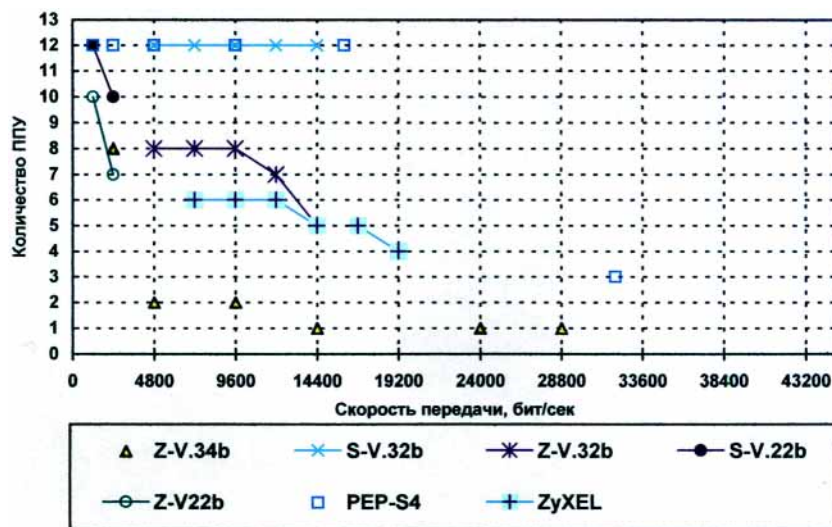
- применение низкопроизводительных дешёвых процессорных наборов;
- применение дешёвой элементной базы в аналоговом тракте;
- экономия ресурсов памяти и производительности.

Экономия на применяемых элементах приводит к ограничению в использовании оптимальных алгоритмов обработки сигналов. Помимо этого, в импортных модемах используются универсальные алгоритмы для всех скоростей работы от 2400 до 33600 бит/с. Данный подход существенно ухудшает характеристики модема. Кроме того, в импортных модемах используются упрощённые процедуры вхождения в связь, что часто приводит к неверному определению характеристик линии связи.

В разработанном фирмой СИГМА модеме учтены все приведённые



**Рисунок 1 Помехоустойчивость**



**Рисунок 2 Устойчивость к искажениям, вносимым ППУ**

выше факторы. Так, для обеспечения работ на канале низкого качества с большим числом переприёмных участков разработан фирменный протокол, основанный на методе разбиения полосы канала ТЧ на несколько подканалов, а также более тонком анализе качества канала и подстройке передающей и принимающей частей модема под измеренные характеристики канала.

Это позволило существенно улучшить характеристики модема. Правильность такого подхода подтверждается результатом реализации рекомендации V.32 bis, который показал существенно лучшие характеристики по сравнению с лучшими образцами современных импортных модемов.

Результаты тестирования модемов фирмы СИГМА (обозначены буквой S)

и U-336S фирмы ZYXEL (обозначены буквой Z) при работе на различных протоколах модуляции, а также результат моделирования помехоустойчивости протокола V.34 bis приведены на рис. 1, а скоростные характеристики, в зависимости от количества переприёмных участков, приведены на рис. 2. Испытания проводились с использованием имитатора канала ТЧ "Canal-5", разработанного фирмой АНАЛИТИК, г. Москва. Для тестирования модемов фирмой СИГМА был разработан специальный программно-аппаратный комплекс, включающий в себя имитаторы оконечного оборудования данных (ООД) с различными вариантами стыков, а также позволяющий определять коэффициент ошибки при работе модема на канале ТЧ.

## ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПОВЫШЕНИЯ СКОРОСТИ РАБОТЫ МОДЕМОВ НА ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ЛИНИЯХ

Приведённые на рис. 1 результаты показывают, что при правильной реализации рекомендации V.34 bis могут быть достигнуты наиболее высокие параметры модема.

Рекомендация V.34 описывает несколько различных методов адаптации модема под характеристики канала связи:

- изменение тактовой частоты;
- изменение несущей частоты;
- изменение шаблона амплитудно-частотной характеристики;
- изменение числа состояний свёрточного кодера;
- изменение уровня шейпингования;
- выбор оптимального уровня выходного сигнала передатчика;
- выбор параметров предварительного нелинейного кодера;
- выбор параметров нелинейного растяжения сигнального созвездия и др.

Рекомендация описывает несколько методов повышения помехоустойчивости модема. К ним относятся:

- сигнально-кодовое кодирование на основе 4-мерного сигнального созвездия (треллис-кодирование);
- формирование выходного сигнала передатчика с минимальной мощностью (шейпинг выходного сигнала передатчика);
- нелинейное предварительное кодирование;
- нелинейное растяжение сигнального созвездия.

Анализ методов обработки сигналов, заложенных в рекомендацию V.34 bis, позволяет оценить требуемую производительность процессора. По нашему мнению, общая нагрузка на процессор только модемных алгоритмов будет составлять 150–250 млн. операций в секунду для 16-разрядного процессора с фиксированной точкой. Эта оценка основывается на анализе требуемой производительности для модема в соответствии с рекомендацией V.32 bis. Реализация модемного алгоритма V.32 bis потребовала около 80–90 млн. операций с плавающей точкой над 32-разрядными числами. При переходе к операциям с фиксиро-

ванной точкой потребуется значительное увеличение числа операций, примерно в полтора раза. Кроме того, сама рекомендация V.34 bis значительно сложнее V.32 bis, что также увеличит число необходимых операций.

Аналого-цифровой и цифро-аналоговый преобразователи должны иметь не менее 16 двоичных разрядов. Частота дискретизации может быть выбрана достаточно низкой, значение в диапазоне 8000–14400 Гц будет обеспечивать требуемые характеристики. Функция кодека по подстройке фазы частоты дискретизации ЦАП-АЦП, вероятно всего, не потребуется. Это связано с тем, что в любом случае, как в передатчике, так и в приёмнике придётся выполнять операцию программной передискретизации, а операция подстройки фазы может быть совмещена с передискретизацией практически без увеличения её сложности. Коэффициент нелинейности аналогового тракта не должен быть больше -60 дБ, желательно, чтобы он был меньше -80 дБ. Внешнее аппаратное АРУ должно иметь возможность усиливать входной сигнал более чем на 20 дБ. Выходной сигнал передатчика модема по рекомендации V.34 bis будет обладать большим пик-фактором, особенно на высоких скоростях, исходя из этого, для обеспечения отсутствия нелинейных искажений, аналоговый тракт должен иметь максимально возможный динамический диапазон.

Требования к программной реализации отдельных узлов модема должны быть существенно ужесточены по сравнению с реализацией более низкоскоростных модемов, например V.32 bis. Это связано со следующими факторами. Собственный шум существующего модема по рекомендации V.32 bis составляет -28...-32 дБ на входе решающего устройства. Однако такой уровень собственного шума слишком велик для обеспечения безошибочной работы на высоких скоростях рекомендации V.34 bis даже по "чистому" каналу. Для высоких скоростей уровень собственных шумов должен быть снижен на 15–20 дБ, по сравнению с существующими величинами. В основном это относится к узлам синхронизации несущего и тактового колебаний, эхокомпенсатора, адаптивного корректора сигнала и узла автоматической регулировки уровня. Кроме того, следует отметить, что программы модемных узлов должны быть параметризованы — на низких скоростях уровень собственных шумов может быть увеличен, но зато улучшены ди-

намические свойства, на высоких скоростях уровень собственных шумов должен быть существенно снижен. В некоторых случаях простой параметризации программ модемных узлов будет недостаточно, и потребуется использовать различные программы в зависимости от скорости передачи информации.

При разработке программного обеспечения и аппаратной части модема большое внимание должно уделяться правильному моделированию поставленных задач.

Для проверки разрабатываемых алгоритмов фирмой СИГМА широко используются программно-аппаратные средства цифровой обработки сигналов [4] (автономные контроллеры ЦОС семейства TORNADO, эмуляторы MIRAGE, модули ввода/вывода сигналов), разработанные фирмой "МикроЛаб Системс" (<http://www.mlabsys.com>), г. Москва. Авторы выражают большую признательность руководству фирмы — Семенову П.А. и Процаку А.М. за высокий уровень продукции и оказанную техническую и информационную поддержку.

### Литература

1. Лагутенко О.И. Модемы. Справочник пользователя. СПб.: Лань, 1997. 368 с.
2. Прокис Джон. Цифровая связь. Пер. с англ. под ред. Д.Д. Кловского. М.: Радио и связь, 2000. 800 с.
3. Нормы на электрические параметры каналов тональной частоты магистральной и внутризональных первичных сетей. Утверждены приказом МС РФ № 43 от 15.04.1996 г.
4. Комплексный подход к проектированию систем цифровой обработки сигналов на базе процессоров TMS320 // Chip News. 1998. № 6-7. С. 52–56.

## СРОЧНОЕ ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПЛАТ

103460 Москва, Зеленоград, а/я 31 (095) 777-8080

г. Санкт-Петербург, ул. Маяковского, д. 45, оф. 211 (812) 278-0236

г. Екатеринбург, ул. Фрунзе, 50, оф. 10 (3432) 22-5739

order@rezonit.ru  
www.rezonit.ru

Торговая марка фирмы «РЕМКОМ-ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ»