

Игорь Дианов
НПП "Аналитик ТелекомСистемы"
(095) 490-07-13, 490-07-99
igor@analytic.ru

Copyright © 1995

АНАТОМИЯ МОДЕМНОГО ЖЕЛЕЗА

*"Чинил я прошлым годом будильник.
Все хорошо, да пружина лишняя осталась."
(из рассказа Михаила Алексеевича - дедушки автора)*

Модем не будильник, да и электроны не шестеренки. Работает он надежнее, хотя ронять его тоже не рекомендуется. Но если что случится, то проще новый купить, чем найти сгоревший chip. Так почти все и поступают.

В статье делается попытка открыть "черный ящик" под названием модем и рассказать в популярной форме "что у него там внутри".

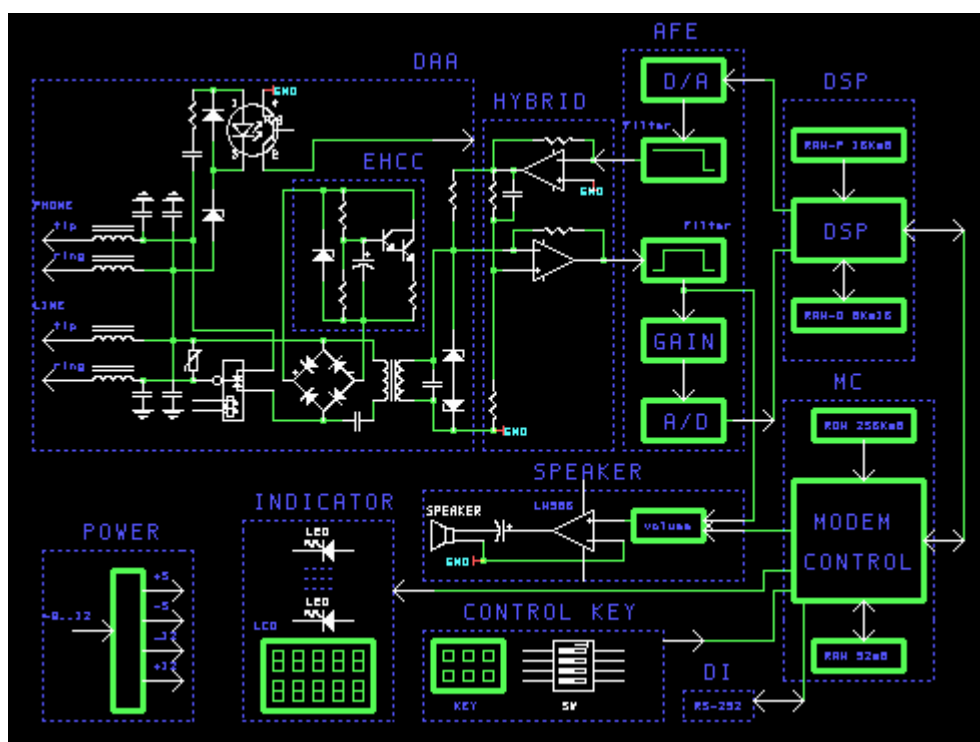


Рис. 1 Типовая блок-схема внешнего модема

На рис. 1 представлена типовая блок-схема внешнего модема, а в тексте рассматривается необходимость каждого из узлов, приводятся требования к его реализации и популярные схемотехнические решения.

1. Интерфейс с телефонной линией (Direct Access Arrangement - DAA)

В ГОСТах экс-СССР регламентируется "Стык 1 ТЧ". В США модемы проверяются на соответствие FCC Part 65, Part 15, в Великобритании соответствующий стандарт - BS6305... Телефонные компании всего мира жестко регламентируют требования к оборудованию, подключаемому к каналам.

Обеспечение физического соединения, защита от перенапряжения и радиопомех, набор номера и фиксация телефонных звонков, гальваническая развязка и согласование импеданса - вот далеко не полный перечень функций, поддерживаемых схемой DAA. Перечисленные функции обеспечиваются следующим образом.

1) Соединители RJ11 обеспечивают физическое подключение к коммутируемой телефонной линии и телефонному аппарату. В дешевых изделиях телефон подключается параллельно входу модема, в качественных поддерживается переключение телефон/модем, реализованное на реле.

Хорошим тоном можно считать реализацию режимов многолинейных телефонных систем (Key Telephone System) - RJ12, RJ13 и поддержку работы на четырехпроводных выделенных линиях RJ45, JM8. В таблице 1 приводится назначение контактов этих соединителей.

Таблица 1

Номер контакта	RJ11	RJ12,RJ13	RJ45	Номер контакта	JM8
1				1	Ring transmit
2		A	Tip receive	2	Tip transmit
3	Tip	Tip	Ring transmit	3	
4	Ring	Ring	Tip transmit	4	
5		A1	Ring receive	5	
6				6	
				7	Tip receive
				8	Ring receive

2) Входные линии защищаются от перенапряжения варистором, который резко уменьшает свое сопротивление при напряжении 400...500 В. Второй каскад быстродействующей защиты устанавливается во вторичную обмотку трансформатора и реализован на встречноключенных стабилитронах.

3) Защита линии от радиопомех, излучаемых модемом, выполняется на обычных LC фильтрах (1000 pF плюс три витка на феррите).

4) Для коммутируемых линий поддерживаются функции импульсного набора номера, "отбоя" (постоянный ток менее 0.5 мА) и "удержания линии" (постоянный ток более 8 мА).

Наиболее универсальна реализация, в которой набор номера выполняет реле, а постоянный ток протекает через трансформатор.

В новых разработках часто используется схема Electronic Holding Coll Circuit (ЕНСС). Она имеет низкое сопротивление постоянному току, достаточное для удержания линии, но сохраняет высокий импеданс для переменного тока полезного сигнала. При этом набор номера осуществляет реле или сам узел ЕНСС с оптронной развязкой управления.

Схема ЕНСС имеет ограниченное применение на некоторых типах АТС (например, "Квант").

5) Наиболее консервативен узел фиксации телефонных звонков. За последние десять лет он почти не изменился. Высоковольтная емкость, резистор, стабилитрон, светодиод оптронной развязки (с небольшой игрой на номиналах и типах) - вот, пожалуй, и все.

6) Важным требованием к интерфейсу с линией является обеспечение симметричности входа и его гальваническая развязка. Для этого используются трансформаторы. Оптронные развязки сегодня интересны, скорее, как экзотика.

Сами трансформаторы, непрерывно совершенствуясь, претерпели две волны моды. Сначала использовались обычные - с емкостной развязкой по переменному току. Затем были разработаны модели, не ухудшающие параметров при значительных постоянных токах подмагничивания. При переходе к высоким скоростям все вернулось в начало...

7) Согласование импеданса. Входное и выходное сопротивление модема переменному току (300...3400 Гц) должно быть 600 Ом \pm 15%.

Качественный трансформатор и точный нагрузочный резистор тому залог. Для уменьшения зависимости импеданса от частоты устанавливают дополнительную емкость параллельно вторичной обмотке трансформатора.

2. Дифференциальная система (HYBRID)

Цель дифференциальной системы - переход от двухпроводной линии к четырехпроводной схеме аналогового окончания модема. Узел компенсирует проникновение выходного сигнала во входной (ближнее эхо), что повышает реальную чувствительность.

Известно несколько типов "пассивных" реализаций:

- трансформаторная, при которой вторичная обмотка трансформатора имеет среднюю точку, подключаемую через балластный резистор к земле;

- электронные, для схем с однополярным и двухполярным питанием; в этом случае выходной сигнал вычитается из входного на

операционном усилителе, а частотная зависимость минимизируется использованием форсирующего каскада.

Большим местом этих схем является зависимость от сопротивления онкретной телефонной линии. Несколько типов модемов имеют аппаратную подстройку, но до конца справиться с зависимостью сопротивления от частоты в пассивных системах не удается.

Активная дифференциальная система используется в дорогих моделях. Необходимый для компенсации сигнал постоянно вычисляется сигнальным процессором. Сформированный дополнительным ЦАП и сглаженный фильтром, он вычитается из входного сигнала, обеспечивая высокое качество компенсации.

3. Аналоговый фронт (Analog Front End - AFE)

Гальванически изолированный от внешнего мира трансформатором и разделенный на входной и выходной дифференциальной системой сигнал попадает на "аналоговый фронт", где разворачивается борьба за милливольты и децибелы.

Выходной сигнал формируется ЦАП. Для средних скоростей передачи он обычно 10-разрядный, а для высокоскоростных модемов - 14...16-разрядный. Частота дискретизации данных от 7.2 до 9.6 кГц. Сглаживающий фильтр, как правило, выполняется на базе интегральной технологии "переключающихся конденсаторов". Он обеспечивает затухание более 32 дБ на частотах свыше 4.6 кГц.

Входной сигнал поступает на полосовой фильтр. Для модемов, соответствующих V.22bis - это 900...1500 Гц или 2100...2700 Гц. Для высокоскоростных полоса может достигать 300...4000 Гц (V.34). "Облагороженный" сигнал усиливается программно управляемой схемой АРУ и измеряется АЦП. Частота дискретизации и разрядность АЦП примерно соответствуют ЦАП.

4. Сигнальный процессор (Digital Signal Processor - DSP)

Давно закончились времена, когда "единички" и "нолики" выделялись из помех с помощью аппаратных компараторов. Скорость передачи и ее качество сейчас определяются вычислительными ресурсами, задействованными для обработки сигнала. Их усредненные значения приведены в таблице 2.

ПЗУ DSP выполняется или по масочной технологии на кристалле процессора, или в виде микросхем ОЗУ, в которые программа загружается из ПЗУ контроллера. ОЗУ данных реализуется на процессоре или совмещается с ОЗУ команд.

Таблица 2

Рекомендация ITU-T	V.22bis	V.32bis	V.34
Скорость передачи б/с	2400	14400	28800
Разрядность (бит)	16	16	16
Быстродействие (MIPS)	5	20	30

Ресурс ПЗУ/ОЗУ (кбит*разр.)	2*16/0.124*16	8*16	32*16
Пример DSP	TMS320C10	ADSP2115	DSP1633F

5. Контроллер (Modem controller - MC)

Поддержка интерфейса с компьютером, управление DSP, реализация протоколов коррекции ошибок и сжатия информации, управление пользовательским интерфейсом и взаимодействие с энергонезависимой памятью - вот неполный перечень функций контроллера.

Усредненные значения необходимых ресурсов приведены в таблице

3. Поддержка идеологии "upgrade" привела к постепенному сосредоточению хранения "firmware" DSP и контроллера в одной микросхеме с возможностью ее замены.

Таблица 3

Рекомендация ITU-T	V.22bis	V.32bis	V.34
Скорость передачи б/с	2400	14400	28800
Разрядность (бит)	8	8	8
Быстродействие (MIPS)	1	4	8
Ресурс ПЗУ (кбит*разр.)	32*8	256*8	256*8
Ресурс ОЗУ (кбит*разр.)	32*8	32*8	32*8
Ресурс EEPROM (кбит*разр.)	1*1	4*1	4*1
Пример контроллера	i80C51	68000	AT&T C882

6. Интерфейс с компьютером (Data Interface - DI)

Внешние модемы взаимодействуют с компьютером по цепям интерфейса RS-232C / V.24. Полный набор цепей позволяет работать как в асинхронном, так и в синхронном режимах. Микросхемы преобразователей уровня 1488, 1489 обеспечивают сопряжение биполярной логики интерфейса с внутренними ТТЛ уровнями.

Внутренние изделия могут работать только в асинхронном режиме, т.к. в их состав входит микросхема асинхронного COM порта - UART(16C450 или 16C550, имеющая встроенный буфер приема). Есть реализации, в которых порт эмулируется контроллером. Достаточно буфера и дешифратора для подключения UART к общей шине компьютера. Джемперы позволяют настроить номер COM порта (COM1...COM4) со стандартным или расширенным номером прерывания.

7. Интерфейсы с пользователем (User Interface)

1) Звук (SPEAKER).

Встроенный в модем динамик озвучивает процессы, происходящие в телефонном канале. В хороших моделях используются магнитоэлектрические динамики с линейной полосой воспроизведения, в

более дешевых пьезоэлектрические. Для удобства пользователя громкость звука можно регулировать (узел volume).

Наиболее часто узел звука строится по схеме:

- сигнал снимается после фильтра, но до АРУ;
- громкостью управляет контроллер с помощью микросхемы коммутатора напряжения 4052;
- фильтр вносит предискажение АЧХ для линеаризации характеристик конкретного типа динамика;
- микросхема LM386, запитанная от +5 В, усиливает сигнал;
- для четырехпроводных устройств одновременно воспроизводится как входной, так и выходной сигнал.

2) Панель индикации (INDICATOR). Внутренние модемы не имеют панелей индикации. Во внешних чаще всего используются светодиоды (LED). В относительно дорогих устройствах применяют символьные двухстрочные жидко-кристаллические индикаторы (LCD). Используя панель управления можно отобразить состояние модема, характеристики физической линии, вывести меню для программирования режимов. Использование стандартных (HD44780A00-совместимых) индикаторов не сильно увеличивает себестоимость, но позволяет производителю ощутимо поднять цену.

3) Панель управления (CONTROL KEY).

В большинстве модемов панель сводится к набору джамперов и переключателей (SW), как недоступных без разборки изделия, так и имеющих специальные "окошки", "крышечки", обеспечивающие "защиту от дурака".

В изделиях с LCD кнопочная панель (KEY) сосредоточивает все функции по управлению режимами работы.

8. Питание (POWER)

Встроенные модемы запитываются от компьютера напряжениями +5

В и лишь в отдельных случаях используют +-12 В.

Внешние модемы массового производства используют внешние адаптеры, преобразующие напряжение первичного питания 220 В во вторичное напряжение 9..12 В. Встроенный стабилизатор формирует:

- основное питание +5 В; обычно использовалось гашение напряжения из +12 В на линейном стабилизаторе, сейчас внедряются импульсные стабилизаторы;
- 5 В для аналоговых цепей;
- +-12 В для интерфейса RS-232C.

В старых разработках применялись однополупериодные схемы выпрямления для получения положительного и отрицательного напряжения. В новых используются двухполупериодные, а отрицательное напряжение формируется за счет разделительных емкостей.

9. Производители

Обзор архитектуры модемов будет не полным, если не коснуться вопроса их производителей. Все фирмы можно условно разделить на три группы.

1) Разработчики "модемного сердца" - набора специализированных БИС (chip set).

Для средних скоростей передачи относительно много фирм ввязались в гонку за призом (хотя и не все его получили): Intel, Rockwell, ATI, EXAR, Sierra Semiconductor, Silicon Systems, Hayes, Sharp, Cermetek, Texas Instrument, и др.

Для высокоскоростных модемов лидеры обозначились более четко. Это гигант связи и телекоммуникации на американском континенте AT&T и "продукт американской конверсии" Rockwell International. Наличие лидеров ничуть не принижает результатов, достигнутых другими компаниями.

2) Производители, использующие универсальные процессоры, и, как следствие, разрабатывающие свои алгоритмы сигнальной обработки: Motorola Codex, Telebit Corp., U.S. Robotics Inc., ZyXEL, и др. Для реализации протоколов сжатия и коррекции ошибок они, как правило, покупают лицензию фирмы R. Scott Association. Все эти фирмы дополнительно поддерживают свои собственные протоколы физического уровня.

Немного в стороне стоят, так называемые, soft-модемы, программное обеспечение которых загружается из компьютера - красивые по заложенной идее, они пока не получили широкого распространения.

3) Сборщики модемов на основе chip set. Не стоит понимать термин "сборщики" в пренебрежительном тоне. Качество работы во многом определяется тем, насколько хорошо поддерживаются заложенные в chip set возможности, насколько "бесшумно" реализован аналоговый тракт передачи и еще от тысячи других причин. Многие фирмы вносят свои коррективы и реализуют дополнительные функции в программном обеспечении базовых наборов микросхем.

Приведем лишь несколько крупных фирм производителей: AMT International Industries Inc., Archtek America Corp., ATI Technologies, AT&T Paradyne, Boca Research Inc., Calpak Corp., Cardinal Technologies Inc., GVC Technologies Inc., Hayes Microcomputer Products Inc., Microcom Inc., MultiTech Systems, Practical Peripherals Inc., Racal-Datacom Inc., Zoom Telephonics Inc.