

Модемы для многоканальной передачи данных по высоковольтным линиям

Геннадий Чирков, Юрий Чирков

Описываются модемы, предназначенные для передачи телеметрической информации по высоковольтным линиям электропередачи и другим аналоговым каналам связи.

Некоторые проблемы передачи данных по аналоговым сетям

Комплексное решение задач автоматизации в энергетике и других отраслях промышленности в значительной степени связано с инфраструктурой систем связи.

Системы связи, использующие современные цифровые технологии с временным или кодовым разделением каналов (оптоволоконные, спутниковые, сотовые), в западном мире ставшие основными или, по меньшей мере, приоритетными, в российских условиях из-за значительной территориальной распределенности энергосистем и отсутствия развитой базовой инфраструктуры телекоммуникаций не получили такого же широкого распространения.

Основу систем связи предприятий отечественного энергетического комплекса составляют аналоговые каналы передачи данных, организованные путем частотного уплотнения в физической среде линий электропередач (ЛЭП) высокого напряжения. ЛЭП являются естественной средой для передачи информации между энергообъектами, и здесь их доля составляет, по самым скромным оценкам, около 80%.

Для того чтобы решать актуальные на сегодняшний день задачи автоматизации, связанные с передачей данных на большие расстояния (например аварийная защита объектов, коммерческий учет электроэнергии и ряд других), приходится или вводить в эксплуатацию дополнительные каналы, или уплотнять существующие. Первое требу-

ет значительных материальных затрат и во многих случаях бывает нецелесообразно с чисто финансовой точки зрения. Второе при находящейся ныне в эксплуатации и широко распространенной аппаратуре первичного уплотнения чаще всего невозможно из-за технических ограничений модемов производства 70-х и 80-х годов, не позволяющих в полной мере использовать отведенный частотный диапазон.

Применение модемов, основанных на цифровой обработке сигналов, в известной степени спасает положение, так как они обладают значительными преимуществами перед аппаратурой предыдущего поколения, прежде всего по избирательности, надежности, стабильности параметров и сервисным возможностям. Но при этом, оставшись по сути одноканальной аппаратурой, они ориентированы прежде всего на замену устаревшей техники и могут быть практически использованы только в этом качестве. Известные образцы подобной аппаратуры обеспечивают совместно с речевым лишь 1 канал телемеханики в надтональном спектре в полосе 2400–3400 Гц со скоростью передачи 100, 200, 300 или 600 бод, в то время как весьма актуальной является одновременная передача в полосе телефонного канала нескольких дискретных каналов, в том числе временное «интеллектуальное» использование

под дискретный канал урезанного речевого диапазона 300–2100 Гц во время отсутствия телефонных разговоров.

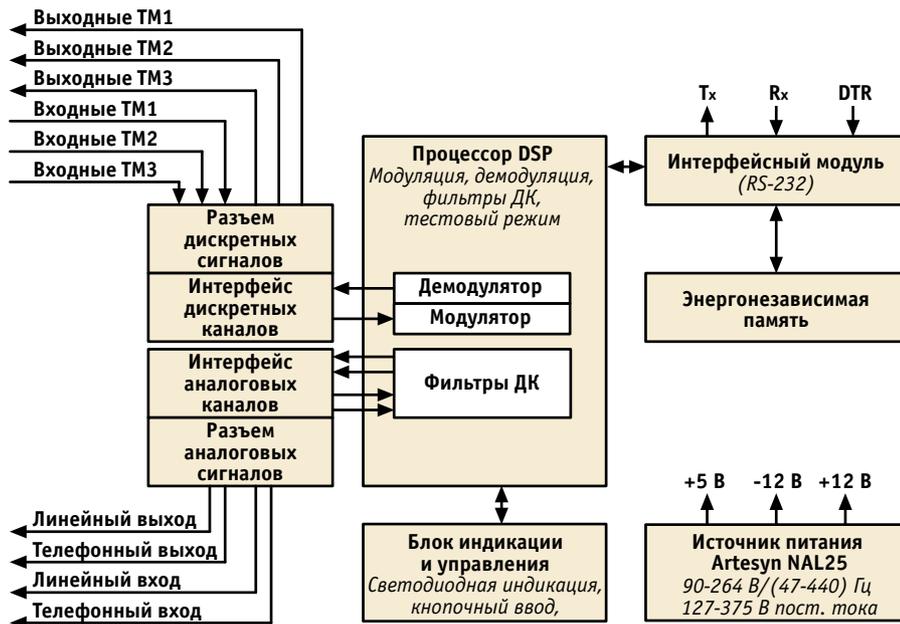
Ограничения обусловлены, в первую очередь, элементной базой, на которой они построены: 16-разрядными сигнальными процессорами так называемой «первой волны» разработки середины 80-х — начала 90-х годов. Эти процессоры обладают быстродействием порядка 10–20 млн. оп./с, памятью до 1–2 кслов и достаточно простой периферией. Их возможностей хватает на один, максимум на два дуплексных канала, при этом в двухканальном варианте не всегда удается добиться теоретически достижимых результатов по избирательности и помехозащищенности.

Многофункциональный модем ЦМТ-3 для аналоговых каналов передачи

Предложенный авторами подход позволил реализовать модем, удовлетворяющий поставленным требованиям, а именно многоканальности, универсальности, простоте в эксплуатации и надежности. В многофункциональном модеме ЦМТ-3 (рис. 1), разработанном фирмой ПРОСОФТ-Е, применен более мощный и развитый по отношению к процессорам предыдущего поколения и в то же время доступный по цене 16-разрядный сигнальный процессор ADSP-2181 фирмы Analog Devices. Обладая производительнос-



Рис. 1. Многофункциональный модем ЦМТ-3



Условные обозначения:

- *TM1, TM2, TM3* — дискретные сигналы телемеханики или других цифровых данных, соответственно, 1-го, 2-го и 3-го каналов;
- *фильтры ДК* — цифровые фильтры Д и К-типов, обеспечивающие разделение речевого канала и каналов телемеханики;
- *Tx* — передача данных из модема;
- *Rx* — прием данных модемом;
- *DTR* — сопровождение передачи

Рис. 2. Структурная схема модема ЦМТ-3

тью 30-40 млн. оп./с, памятью 16 кслов ROM и 16 кслов RAM на кристалле, развитыми портами ввода-вывода, процессор способен производить обработку одновременно 3-4 каналов, не требуя при этом дополнительной аппаратной поддержки. Вся обработка сигналов, включая речевой диапазон, регулировку и сервис, выполнена внутри кристалла программным путем. Схема устройства не содержит ни одного регулирующего или настроечного элемента и не критична к значительному разбросу параметров входящих в нее аналоговых элементов, что в конечном итоге является залогом простоты и надежности устройства в целом.

Структура модема ЦМТ-3 показана на рис. 2, она включает следующие узлы: модуль процессора обработки сигналов (DSP), интерфейс дискретных сигналов, интерфейс аналоговых сигналов, интерфейс связи с компьютером, блок индикации и управления, блок питания.

Процессор выполняет все основные функции обработки сигналов, включая модуляцию сигналов телемеханики, разделение спектра, демодуляцию принимаемых данных, выдачу тестовых сигналов.



Рис. 3. Подключение модема ЦМТ-3 к компьютеру

Разделение спектра на речевую и телемеханическую части производится цифровыми фильтрами типов «Д» и «К»,

обеспечивающими взаимное разделение каналов порядка -60 дБ.

Интерфейсный модуль выполнен на микроконтроллере, обеспечивающем чтение данных конфигурации модема из компьютерной и их запись в энергонезависимую память, где они хранятся сколько угодно длительное время при отключенном питании модема. При включении питания данные конфигурации поступают в DSP и производится автоматический запуск модема.

Блок индикации и управления обеспечивает световую индикацию передаваемых и принимаемых сигналов телемеханики и ввод модема в тестовый режим.

Импульсный источник питания формирует основное питающее напряжение $+5$ В и напряжения ± 12 В, необходимые для питания интерфейсов.

Устройство реализует необходимый набор сервисных функций. Пользователь в зависимости от стоящей перед ним задачи может самостоятельно настраивать модем: менять манипуляционные частоты, количество каналов, амплитуду аналогового сигнала на передачу по каждому каналу, чувствительность приемника. Для изменения конфигурации ЦМТ-3 интерфейсный порт модема подключается к любому свободному последовательному порту компьютера (рис. 3). После этого пользователь запускает интерфейсную программу (рис. 4) в среде Windows, вводит в окна необходимые параметры и производит запись данных в модем, где они хранятся в энергонезависимой памяти.

При разработке ЦМТ-3 были учтены требования по совместимости с други-

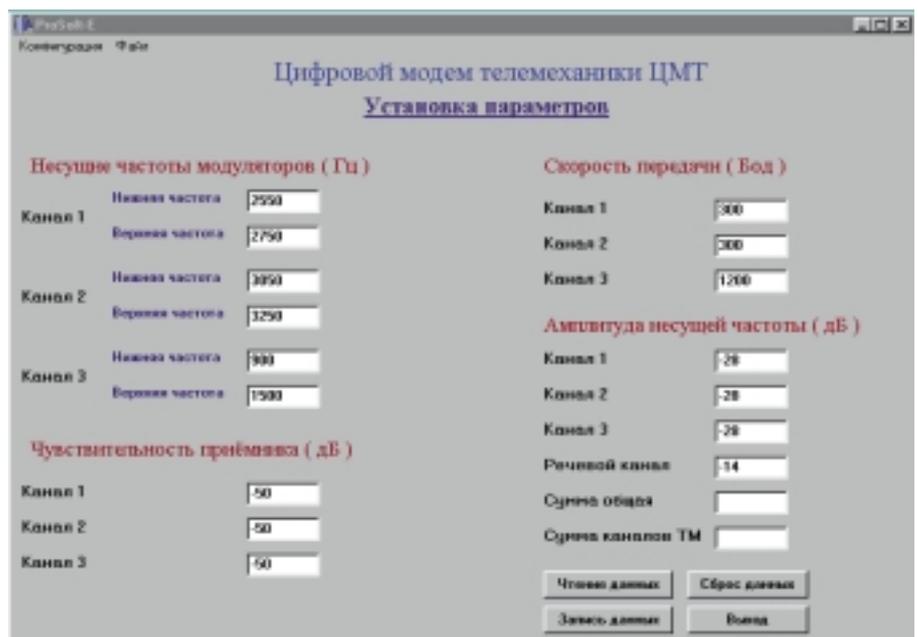


Рис. 4. Установка параметров модема в интерфейсной программе

ми модемами, находящимися в эксплуатации, а также с аппаратурой связи, принадлежащей другим ведомствам, в том числе использующей нестандартные несущие частоты.

Особое внимание уделено возможностям эксплуатации модемов ЦМТ-3 в сопряжении с различными видами связной аппаратуры и средами передачи сигнала (линиями электропередач, физическими парами, радиоканалами). В случае использования выделенных физических пар пользователи аппаратуры имеют дополнительные возможности по вторичному уплотнению. Одна физическая пара может применяться для одновременной передачи нескольких каналов в диапазоне 300-3400 Гц (5-6 каналов в одном направлении в полосе до 24000 Гц) со скоростями выше 1200 бод (при использовании относительной фазовой или квадратурной амплитудной модуляции).

Конструктивно модем ЦМТ-3 выполнен в металлическом корпусе типа «Евромеханика». Органы управления (кнопки), индикаторы, контрольные сигнальные гнезда расположены на передней панели. Входные и выходные сигналы поступают через два разъема,

находящихся также на передней панели. ЦМТ-3 может использоваться в виде автономного прибора или монтироваться в 19-дюймовые стойки.

Первичное уплотнение каналов для передачи по ЛЭП

Более рациональное использование отведенного частотного диапазона при многоканальной передаче данных с частотным разделением базируется на методах цифровой фильтрации. При одновременной передаче в нескольких каналах возникает эффект взаимного проникновения, что приводит к флюктуациям фронта выходных импульсов. По результатам проведенных исследований, флюктуации фронта составляют не более 2% при величине взаимной развязки каналов -36 дБ. Для обеспечения необходимой развязки каналов при многоканальной передаче каждый канал селектируется как по приему, так и по передаче, обеспечивая затухание в соседнем канале не хуже -36 дБ. Ширина полосы канала ΔF при уплотнении выбирается, исходя из скорости передачи, согласно соотношению

$$\Delta F = K * S_p \text{ [Гц]}$$

Здесь K – коэффициент, зависящий от разности частот при манипуляции и составляющий от 1,5 до 2,

S_p – скорость передачи в бодах.

Например, при скорости 600 бод и разности частот 300 Гц ($K=1,5$) ширина полосы составляет 900 Гц. С точки зрения общей ширины полосы канала, нет разницы, передается 1 канал со скоростью 600 бод или 2 канала со скоростями по 300 бод, суммарная ширина полосы практически остается без изменений.

Основные характеристики модема, обеспечивающие его работу совместно с ВЧ-аппаратурой связи по ЛЭП, выделенным линиям и др., приведены в таблице 1.

К одному из аспектов повышения пропускной способности канала можно отнести временное занятие речевого спектра дискретным каналом передачи данных в момент отсутствия голосовой связи. В большинстве эксплуатируемых каналов связи речевой тракт используется достаточно редко, и цифровое детекторное устройство, введенное в состав модема как часть программы обработки, обеспечивает при отсутствии речевого сигнала организацию до-

Таблица 1. Основные характеристики модема ЦМТ-3

Количество дискретных каналов передачи/приема		до трех
Скорость передачи в надтональном спектре 2400-3400 Гц		100...600 бод
Скорость передачи в урезанном тональном спектре 300-2100 Гц		300...1200 бод
Разделение надтонального и тонального диапазонов, не хуже		-55 дБ
Взаимное проникновение дискретных каналов при одновременной работе, не хуже		-36 дБ
Чувствительность на входе приемника, не хуже		-36 дБ
Сопrotивление нагрузки на аналоговых окончаниях модема		600 Ом
Гальваническая развязка окончаний:	аналоговых	трансформаторная
	цифровых	оптоэлектронная
Напряжение питания (импульсный источник питания)		90-264 В/(47-440) Гц 127-375 В постоянного тока
Габаритные размеры		220-160-70 мм

полнительного дискретного канала, например, для передачи информации со счетчиков электроэнергии.

Вариант построения 3-канальной системы передачи данных поясняет рис. 5.

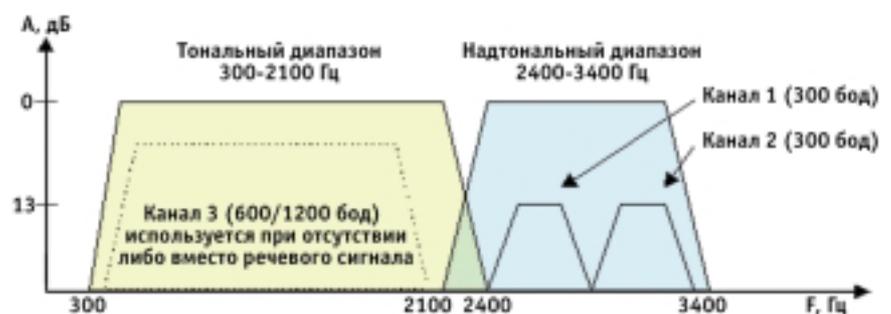
Передача по радиолиниям

Передача данных по ЛЭП и радиолиниям принципиально не различается. Структура первичного сигнала остается прежней. Модем осуществляет формирование каналов в полосе 300-3400 Гц. Дальнейшее преобразование сигнала для передачи по радиотракту производится в радиостанции в соответствии с выделенным радиодиапазоном и законом модуляции. Однако в случае использования одного и того же диапазона для передачи в прямом и обратном направлении (режим полудуплексной передачи) необходимо переключать ВЧ-часть радиостанции на прием либо на передачу. Для того чтобы реализовать такой режим, в модеме предусмотрено формирование сигнала, включающего передатчик радиостанции в момент начала передачи. При этом приемник отключен и прием не производится. При использовании радиостанций с дуплексным режимом работы (одновременная передача в двух направлениях на разных несущих) схема подключения модема к радиостанции — четырехпроводная, такая же, как при передаче по ЛЭП.

Вторичное уплотнение каналов

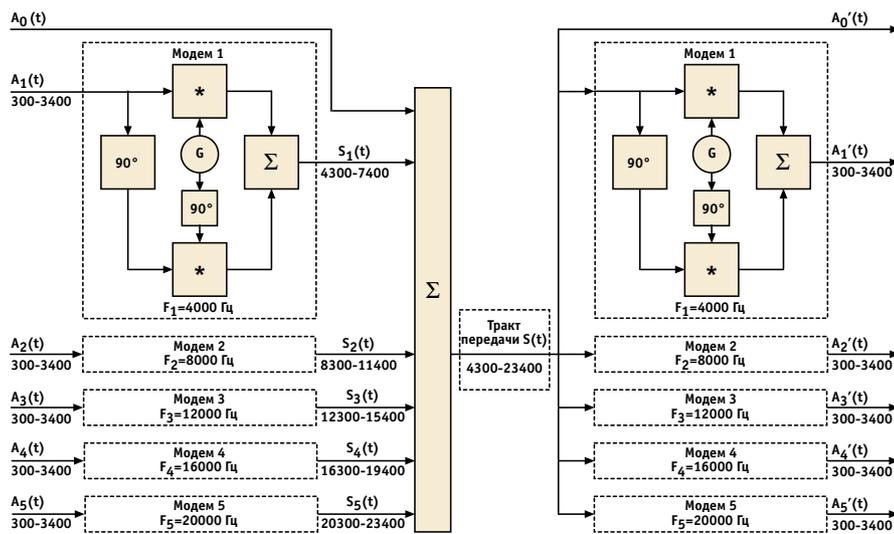
Способность аппаратной части модема обрабатывать спектр частот до 24000 Гц дает возможность дополнительно уплотнить каналы при передаче по физическим линиям, полоса пропускания которых не ограничена. Канал передачи 300-3400 Гц, сформированный аппаратурой первичного уплотне-

ния, преобразуется методом амплитудной модуляции с одной боковой полосой (ОБП) на любую несущую частоту до 20000 Гц. Один модем способен выполнить пару преобразований ОБП: в прямую и обратную сторону. Все это при использовании N модемов ($N=1...5$) создает пользователю потенциальную возможность уплотнить линию передачи в обоих направлениях до $N+1$ каналов (с учетом передачи в нулевом диапазоне 300-3400 Гц). Возможная схема построения 6-канальной системы связи по физической линии в одном направлении приведена на рис. 6. Следует отметить, что аппарат-



Условные обозначения: A — амплитуда; F — частота

Рис. 5. Организация каналов передачи 300, 300, 600/1200 бод в спектре 300-3400 Гц



Условные обозначения:

$A_i(t)$, $A'_i(t)$ – сигнал i -го канала тональной частоты (ТЧ) и соответствующий сигнал на приемной части; $S_i(t)$ – сигнал канала ТЧ с амплитудной модуляцией ОБП, преобразованный на несущую частоту F_i ; $S(t)$ – групповой сигнал в линейном тракте передачи; F_i – несущие частоты для формирования группового сигнала с амплитудной модуляцией ОБП; « 90° » – сдвиг по фазе сигнала на 90° при ОБП-модуляции; « $*$ » – умножение сигналов; « G » – генератор несущей частоты

Рис. 6. Многоканальная система связи по физической линии

ная часть модема в этом случае не изменяется, все функции определяются программным обеспечением.

Перспективы использования модемов ЦМТ-3

Вместо заключения хотелось бы остановиться на нескольких практических задачах, в которых использование модема ЦМТ-3 наиболее эффективно и экономически оправданно.

Ближайшая перспектива использования модемов ЦМТ-3 — это предприятия электрических сетей, где требует-

ся дополнительное уплотнение существующих линий передач по ЛЭП. При этом в тональном спектре 300–3400 Гц к существующему каналу телемеханики со скоростью 100, 200 или 300 бод добавляется еще один канал передачи данных АСКУЭ (автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии) со скоростью до 300 бод. Процесс внедрения модемов ЦМТ-3 для задач АСКУЭ на удаленных подстанциях, где присутствует только ВЧ-канал по ЛЭП, в настоящее время широко проводится на предприятиях электросетей АО «Тюменьэнерго».

Преимущества использования модема ЦМТ-3 для этих задач по сравнению с другими аналогичными изделиями заключаются в его высокой избирательной способности и исключительной простоте конфигурирования. Пользователь сам назначает параметры передачи (частоты, скорость, амплитуда передачи, чувствительность приемника), исходя из помеховой обстановки, параметров ВЧ-канала и др. При этом точность задания частоты и скорости составляет 1 Гц, амплитуды – 1 дБ, а смена конфигурации занимает всего около 1 минуты.

Еще одно применение модема ЦМТ-3 — крупные узловые подстанции, где требуется передача информации с повышенной скоростью (600 бод, 1200 бод). Модем конфигурируется для передачи данных со скоростью 600 бод в надтональном диапазоне и/или 1200 бод в речевом диапазоне. При этом преимущества модема ЦМТ-3 заключаются в гибкости конфигурирования. Пользователь может отыскать такую конфигурацию, при которой достигается оптимальное соотношение скорости и ошибок передачи.

В настоящее время разрабатываются более дешевый бескорпусный вариант модема и более эффективные алгоритмы обработки сигналов, которые позволят существенно повысить скорость передачи и помехоустойчивость. ●

Авторы – сотрудники фирмы «ПРОСОФТ-Е»

Телефон: (3432) 49-3036

Факс: (3432) 49-3459

E-mail: Chirkov@prosoft.ural.ru