

Б. С. ГОЛЬДШТЕЙН, В. А. СОКОЛОВ

# АВТОМАТИЧЕСКАЯ КОММУТАЦИЯ

**УЧЕБНИК**

*Допущено*

*Министерством образования Российской Федерации  
в качестве учебника для студентов образовательных учреждений  
среднего профессионального образования*



Москва  
Издательский центр «Академия»  
2007

УДК 30.61(075.32)

ББК 31.264я723

Г635

Рецензенты:

преподаватель дисциплины «Автоматическая коммутация» КТ МТУСИ,  
почетный работник среднего профессионального образования *М. И. Новикова*;  
проф. ГУТ (ФГУП ЛОНИИС) *Н. А. Соколов*

### **Гольдштейн Б. С.**

Г635 Автоматическая коммутация : учебник для студ. сред. проф. образования / Б. С. Гольдштейн, В. А. Соколов. — М. : Издательский центр «Академия», 2007. — 272 с.

ISBN 978-5-7695-3577-2

Изложены основы автоматической коммутации каналов, структуры коммутационных станций в процессе их эволюции, аналоговые и цифровые коммутационные узлы и станции. Описаны оконечные телекоммуникационные устройства, элементы теории телетрафика, понятия телефонной нагрузки и качества обслуживания. Рассмотрены сетевые аспекты телефонной сети общего пользования (ТСОП), уровни иерархии ТСОП, использование ТСОП для предоставления новых услуг, построение городских (ГТС), сельских (СТС) междугородных телефонных сетей, а также вопросы начисления платы за связь и эксплуатационного управления.

Для студентов средних профессиональных учебных заведений.

УДК 30.61(075.32)

ББК 31.264я723

*Оригинал-макет данного издания является собственностью  
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом  
без согласия правообладателя запрещается*

© Гольдштейн Б. С., Соколов В. А., 2007

© Образовательно-издательский центр «Академия», 2007

ISBN 978-5-7695-3577-2

© Оформление. Издательский центр «Академия», 2007

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Многие из тех, кто держит сейчас в руках этот учебник, видели, как устроены пчелиные соты. Любого изумляет удивительная стройность и рациональность их архитектуры. Однако есть очень старая загадка: «Чем отличается самый посредственный архитектор — человек от самой талантливой (если так можно сказать) пчелы»? А ответ таков: «Человек, прежде чем начать строительные работы, всегда строит будущее здание в своей голове».

Пчелы умеют не только строить. К примеру, они умеют воевать, используя мощное оружие, которым их снабдила природа, — ядовитое жало с обратными зубринами. Пчела жалит врага и выдергивает жало, зубрины которого образуют при этом глубокую рваную рану.

Но за многие тысячелетия пчелы так и не смогли усвоить, что ужалить, например, человека — это самоубийство: жало настолько прочно застревает в коже жертвы, что, пытаясь вытащить его, пчела вырывает свои внутренности и погибает. Нет у пчел разума, нет у них умения учиться.

Человек умеет больше, чем пчела, причем исключительно потому, что у него есть разум. И есть способность его развивать, получая (часто — не без труда) необходимые для жизни знания и навыки.

Этот процесс у каждого начинается с колыбели, но... Когда же он завершается?

Или когда он должен завершиться? И — должен ли завершаться вообще?

Авторы учебника убеждены, что процесс приобретения новых знаний должен продолжаться всю жизнь.

К сожалению, многие живут и действуют иначе. Результат такой позиции виден сразу и вполне отчетливо: все ее сторонники, сами того не замечая, в лучшем случае становятся чем-то вроде пчел.

Вас, юные читатели, такое устраивает? Особенно, если учесть, что «соты», которые эти «пчелы» хорошо умеют делать сегодня, устаревают и физически, и удивительно быстро морально. Во всяком случае, дело обстоит именно так в современных телекоммуникациях, в частности в коммутации. На смену устаревшей тех-

нике приходит новая, основанная на совсем иных идеях и принципах, и с ней не привыкшей учиться «пчеле» никогда не справиться!

Вы можете спросить: в чем же тогда задача профессионального образования, в частности среднего?

Ответ будет такой.

Разумеется, каждый выпускник технического учебного заведения должен получить определенный запас базовых знаний в той области техники, где ему предстоит работать. Но учебное заведение само вряд ли сможет определить, какие именно знания действительно являются для данной области базовыми. Это должны делать те, кто разрабатывает Государственные стандарты по содержанию и уровню подготовки выпускников по той или иной специальности.

Однако базовые знания — это не единственное, чему необходимо обучить выпускника. Не менее важно (а по мнению авторов, куда более важно) другое: *научить его учиться!* И здесь разработчики Государственных стандартов вряд ли помогут. Учебному заведению все придется делать самостоятельно, а посильную помощь ему призваны оказать те, кто пишет учебники, учебные пособия, методические указания и т.п. «Пчелиная» работа тут вряд ли будет полезна.

Девиз «Научить учиться» сопровождал авторов в течение всей работы над этим учебником, практически совпавшей по времени с разгаром революционных преобразований в области автоматической коммутации. Этот же девиз был главным критерием при решении вопросов о том, в каком объеме включать или вообще не включать в учебник материал, посвященный тем или иным технологиям коммутации: не преждевременно ли еще? не устарело ли уже?

Другим критерием пропорционального представления материала в учебнике послужило то, что в большей степени отвечает девизу «Дать базовые знания», а именно: сегодняшнее соотношение количества автоматических телефонных станций разных типов в сетях телефонной связи страны.

В начале 2005 г. оно было таким: доля декадно-шаговых станций — менее 10 %, координатных — около 45 %, а квазиэлектронных и электронных цифровых станций — около 45 %. Электромеханические телефонные станции постепенно заменяются цифровыми, но при этом нельзя забывать, что тем и другим придется совместно работать в одной и той же телефонной сети, а потому и знать их (в той или иной степени глубоко) представляется полезным.

В результате этот учебник организован по принципу компромисса между современной коммутационной техникой и педагогикой, которая предполагает освещение, с одной стороны, некото-

рых исторических аспектов эволюции коммутационных технологий и, с другой стороны, перспектив этой эволюции.

Основное внимание в учебнике уделено принципам построения автоматических телефонных станций (АТС) и телекоммуникационным технологиям для современных сетей связи общего пользования (ССОП), а также перспективным технологиям, которые предполагается использовать в сетях связи следующего поколения NGN (Next Generation Networks).

Итак, в путь!

# ЭВОЛЮЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОММУТАЦИИ

---

## 1.1. Телекоммуникации

Английский глагол *to communicate* (сообщать, передавать...) происходит от лат. *communico*, означающего «делать общим», «общаться», «связывать». Английское существительное *communication* переводится как «связь» (в самых разных значениях), а во множественном числе (с «s» на конце) означает систему средств общения, не являясь, вообще говоря, техническим термином (в настоящее время встречаются такие выражения, как «бизнес-коммуникации» и др.). Слово «телекоммуникации» (*telecommunications*) обозначает средства общения, т. е. средства обмена информацией, на расстоянии и подразумевает совокупность технологий, реализующих разные способы такого общения.

Комплекс устройств и сооружений, обеспечивающих телефонную связь на некоторой территории, называется *телефонной сетью*. В состав такой сети входят: коммутационные устройства (автоматические телефонные станции, узловые станции, подстанции, концентраторы и мультиплексоры); линейные сооружения (абонентские и соединительные линии, каналы междугородной и международной связи); гражданские сооружения (здания телефонных станций, усилительных пунктов); телефонные аппараты; пульты операторов. В процессе эволюции телефонная сеть стала составной частью мощной инфраструктуры цифровых телекоммуникаций, в которой речь — лишь один из типов передаваемых данных. Таким образом, телефонная связь является одним из видов телекоммуникаций.

## 1.2. Телефонные сети общего пользования

В России традиционно различают сети связи общего пользования следующих видов: городские, сельские, зонавые и междугородные.

*Городская телефонная сеть* (ГТС) обеспечивает телефонную связь на территории крупного города (обычно — областного центра) и его пригородов.

*Сельская телефонная сеть* (СТС) обеспечивает телефонную связь в пределах сельского административного района. Сети этих двух видов объединяет общее название — *местные телефонные сети*.

*Зоновая телефонная сеть* — это комплекс сооружений, которые предназначены для связи между абонентами нескольких разных местных телефонных сетей, расположенных на территории одной телефонной зоны. В такой зоне используется единая семи-значная зонавая нумерация. Территории зон часто совпадают с территориями областей, краев и иных административных образований.

*Междугородная телефонная сеть* — это комплекс сооружений, которые предназначены для организации связи между абонентами местных телефонных сетей, расположенных на территории разных телефонных зон.

Обязательное требование к ССОП — полная связность между всеми местными, национальными и региональными телефонными сетями. Связность между «островками» телефонии предусматривается для того, чтобы любой абонент мог соединиться с любым другим абонентом, получая возможность обмениваться с ним телефонной (да и не только телефонной) информацией.

Помимо ССОП существуют также *учрежденческие, ведомственные, корпоративные телефонные сети*, которые обеспечивают внутреннюю телефонную связь предприятий, учреждений, корпораций, организаций. Такие сети могут быть и полностью автономными, но чаще всего они имеют доступ к телефонной сети общего пользования.

### 1.3. Коммутация

Слово «коммутация» (*switching*) означает «включение и отключение», а *коммутационный элемент*, соответственно, — это устройство, которое при работе может переходить в состояние ВКЛ или в состояние ВЫКЛ. Это справедливо и в отношении электро-механических устройств (реле, искателей), и в отношении оптических коммутационных элементов, и в отношении транзисторов, с помощью которых строятся логические вентили и триггеры для булевых операций, бинарная память и т. п. Именно на этой базе создаются коммутационные схемы.

Международный союз электросвязи (ITU-T) определил коммутацию как «соединение одного (определенного) из множества входов системы с одним (определенным) из множества ее выходов, организуемое по запросу и предоставляемое этой паре вход-выход на время, которое требуется для обмена информацией между ними». Иными словами, соединение создается в соответствии с номером линии вызываемого пользователя, набранным вызыва-

ющим пользователем, и сохраняется до тех пор, пока один из них не положит трубку. Пока это соединение существует, по нему могут передаваться речь, данные или видеоинформация.

Таким образом, получив запрос коммутируемой связи, сеть устанавливает между вызывающим и вызываемым пользователями (людьми, компьютерами или модемами) соединение, доступное им полностью и безраздельно, но только на время связи. В течение всего этого времени ресурсы соединения не используются для обслуживания других запросов связи, а естественные паузы в разговоре или в передаче данных не могут заполняться другими разговорами или другими данными. По окончании связи соединение разрушается, после чего сетевые ресурсы, из которых оно было составлено, могут использоваться в других соединениях.

С учетом приведенных в подразд. 1.2 сведений о сетях связи и введенных в начале этого подраздела понятий можно сказать, что *коммутация* — это процесс последовательного соединения нескольких постоянно существующих независимо один от другого каналов в один составной канал, создаваемый только на время связи с тем, чтобы пользователи в конечных точках этого коммутируемого канала могли общаться между собой, т. е. обмениваться информацией.

Заметим, что оба приведенных определения относятся только к коммутации каналов. Существует еще и понятие «коммутация пакетов», о которой тоже будет говориться, но очень кратко и несколько позднее.

Коммутация каналов может быть аналоговой и цифровой.

*Аналоговой коммутацией* называется процесс, при котором соединение между конечными точками коммутируемого канала устанавливается посредством операций над аналоговым сигналом (с возможной его дискретизацией, но без преобразования в цифровую форму).

*Цифровой коммутацией* называется процесс, при котором соединение между конечными точками коммутируемого канала устанавливается с помощью операций над цифровым сигналом без преобразования его в аналоговый сигнал. Именно цифровой коммутации каналов посвящена основная часть этого курса.

## 1.4. Методы коммутации

В системах многоканальной (мультиплексированной) передачи информации применяются классические методы разделения каналов: пространственное разделение, временное разделение и частотное разделение. Если нужно соединить два канала, мультиплексированных одним и тем же методом, то и коммутацию этих



каналов предпочтительнее выполнить тем же методом. Отсюда — три классических метода коммутации.

- *Пространственная коммутация* — соединение пространственно разделенных каналов по электромеханической, электронной, цифровой или оптической технологии с использованием коммутационных элементов, построенных на базе той же технологии.

- *Временная коммутация* предусматривает возможность коммутировать в пространстве, но когда пространственно коммутируемый физический тракт достигает своего приемника в коммутационном поле, приемник получает команду выбирать только те данные, которые соответствуют определенному временному каналу. Если приемнику и передатчику отведены разные временные каналы, требуется временная коммутация. (Заметьте, что слова «временная», «временное», «временные», «временной» при использовании их в рассматриваемом здесь смысле произносятся с ударением на *последнем* слог!)

- *Частотная коммутация* применяется, как правило, для организации соединений телевизионных каналов или радиоканалов и в этом учебнике не рассматривается.

Коммутационные узлы и станции представляют собой совокупность технических средств, предназначенных для обработки вызовов, поступающих по абонентским и соединительным линиям сети, для предоставления инициаторам этих вызовов основных и дополнительных услуг связи, а также для учета и для начисления платы за услуги. Это определение охватывает коммутационные узлы и станции всех типов, а именно: городские АТС, учрежденческие телефонные станции (УАТС), концентраторы (К), узлы входящего (УВС) и исходящего (УИС) сообщения ГТС, узлы спецслужб (УСС), автоматические междугородные телефонные станции (АМТС) и узлы автоматической коммутации (УАК), центральные (ЦС), узловы (УС) и оконечные (ОС) сельские телефонные станции.

В общем случае коммутационный узел (станция) содержит коммутационное поле, предназначенное для соединения входящих и исходящих каналов (линий) на время обмена информацией; управляющие устройства, которые обеспечивают установление соединения через коммутационное поле, а также прием и передачу управляющей информации; комплекты входящих и исходящих линий; кодовые приемники и передатчики; устройства контроля и диагностики абонентских линий, источники электропитания; кроссовое оборудование и некоторые вспомогательные устройства.

Коммутационные узлы и станции классифицируют по способу создания соединений (ручные, полуавтоматические, автоматические), их месту в сети связи (оконечные, транзитные, центральные, узловы), принципу коммутации (аналоговые, цифровые), типу оборудования (электромеханические, квазиэлектронные, электронные).

## 1.5. Эволюция телефонных станций

### 1.5.1. Исторические предпосылки

Развитие средств связи началось с передачи на расстояние самых простых сигналов. В южных регионах России до сих пор сохранились старинные курганы, с вершин которых такие сигналы подавались с помощью костров. Днем, когда огонь был виден хуже, сигналом служил столб дыма, для чего сторожевым казачьим постам, расположенным на южных границах, предписывалось подбрасывать в костер сырые ветки. Точно так же в 1658 г. сообщение о появлении у берегов Англии испанского флота было передано с юга Англии на север при помощи заранее подготовленных костров. Специальные вышки, на которых всегда лежала куча хвороста или соломы, строили и в Запорожской Сечи: цепь таких вышек позволяла передавать сигналы на значительные расстояния.

Кроме оптической сигнализации использовалась и звуковая, поначалу — с помощью барабанов. Однако ружья гремят громче барабанов, поэтому в 1796 г. известие о начале коронации императора Павла I было передано ружейными выстрелами 3 000 солдат, расставленных на всем пути от Москвы до Петербурга. Пушки стреляют еще громче, чем ружья, в связи с чем в 1838 г. сообщение об отходе первого парохода по новому каналу Эри было послано из Буффало в Нью-Йорк посредством пушечных выстрелов. Сигнал преодолел расстояние в 700 км и поступил в Нью-Йорк через 1 ч 20 мин.

Уже в конце XVIII в., после опытов Гальвани и Вольты, положивших практическое начало науке об электричестве, начались работы, нацеленные на создание электрических средств связи. Первые такие работы касались передачи телеграфных сообщений. Наиболее примитивный способ телеграфии был основан на том, что две телеграфные станции соединялись одна с другой линиями связи, число которых было равно числу знаков алфавита, и каждый провод служил для передачи одного определенного знака.

Для уменьшения количества проводов между станциями потребовалось изыскать более совершенные способы передачи данных, одним из которых явился код Морзе, а другим — равномерный шестиэлементный код, созданный П. Л. Шиллингом, выпускником Первого кадетского корпуса в Петербурге, ветераном Отечественной войны 1812 г.

Более совершенные системы телеграфирования обеспечивали получение сообщений в виде печатного текста. Первый буквопечатающий аппарат был изобретен Б. С. Якоби, академиком Петербургской академии наук. Буквопечатающие аппараты Б. С. Якоби успешно работали на подземной кабельной линии между Зим-

ним дворцом и Главным управлением путей сообщения, затем — на кабельной линии Петербург — Царское Село.

Успехи телеграфии подтолкнули разработку идей передачи на расстояние живой человеческой речи. В фантастическом романе князя В. Одоевского «4338 год. Петербургские письма», написанном в 1840 г., люди будущего звонили друг другу по «магнетическому телеграфу». Идея, близкая к сегодняшней телефонии, выдвигалась французским ученым Ш. Бурселем в 1854 г. Среди других участников процесса, приведшего к изобретению телефона, следует назвать англичанина Ч. Уинстона, американцев М. Фармера, А. Меуччи, Э. Берлиннера и Э. Грея. Первая попытка создать прибор для передачи звуков на расстояние была предпринята И. Ф. Рейсом в 1861 г. Именно он впервые ввел термин «телефон» и наглядно продемонстрировал возможность переносить звуковые сигналы на расстояние с помощью электрического тока. Эта разработка, однако, в силу ее технического несовершенства не получила распространения. И лишь 15 лет спустя, 14 февраля 1876 г., А. Г. Белл зарегистрировал свой патент на изобретение, которое он назвал «Усовершенствование в телеграфии».

Значительный вклад внесли в разработку принципов действия и конструкции телефонных устройств российские изобретатели проф. П. Д. Войнаровский, блестящий выпускник физико-математического факультета Петербургского университета П. М. Голубицкий, инженеры Ф. И. Балюкевич, Е. И. Гвоздев, М. Дешевов, Г. Игнатьев, В. М. Нагорский, А. А. Новицкий, М. Махальский, К. А. Мосщицкий, Ю. Охорович, А. А. Столповский и др.

Примечательно внедрение телефонии в российском Военно-морском флоте. Огромные заслуги в этом, включая организацию производства телефонной аппаратуры и внедрение ее на боевых кораблях флота, принадлежат морскому офицеру Е. В. Колбасьеву. Первая телефонная станция Е. В. Колбасьева состояла из трех телефонов: два (из которых один использовался в качестве микрофона) — у водолаза и один — у старшины команды на корабле. Броненосец «Потемкин», в частности, и многие другие корабли имели телефонные установки Е. В. Колбасьева, изготовленные и установленные кронштадтской мастерской.

Много и продуктивно экспериментировал с первыми российскими телефонами действительный член Русского технического общества подполковник В. Б. Якоби, сын академика Б. С. Якоби. В 1881 г. он изобрел миниатюрный телефон, который назывался «телекаль» и представлял собой, по существу, вибрационный телефонный сигнальный прибор. Этот телефонный аппарат с успехом демонстрировался в 1882 г. на Второй Петербургской электротехнической выставке, которую отделяло более 100 лет от выставок Норвеком, где демонстрировались миниатюрные мобильные телефоны с вибровыводами. Самому же В. Б. Якоби не было суж-

дено увидеть практическое использование своих изобретений: материальные трудности, слабое здоровье и наследственный трудоглизм привели его к преждевременной кончине в августе 1884 г.

Не все российские изобретения были удобны иностранным концессионерам, управлявшим тогда (да и только ли тогда?) электропромышленностью России, и многих наших изобретателей постигла та же судьба. Другие, не связанные, как В. Б. Якоби и Е. В. Колбасев, воинской присягой российские изобретатели, например С. М. Бердичевский-Апостолов и М. Ф. Фрейденберг, после тщетных попыток заинтересовать своими работами отечественные государственные организации и коммерческие фирмы, были вынуждены патентовать свои изобретения за границей.

Впрочем, косность и недалёковидность отнюдь не являлись и не являются свойствами только российских госструктур. Наглядный пример — реакция телекоммуникационного гиганта XIX в. компании Western Union на предложение А. Г. Белла и его тестя Г. Хаббарда приобрести патент на телефон за 100 тыс. долл. Одним из наиболее поучительных документов в истории телефонии является письмо, написанное группой специалистов, которые были уполномочены компанией Western Union составить заключение по поводу этого предложения.

15 ноября 1876 года  
Чаунси М. Депью  
Президенту компании  
Western Union Telegraph Co.  
Нью-Йорк Сити

Уважаемый мистер Депью:

Наш комитет был образован согласно Вашему указанию для решения вопроса о приобретении патента США 174.465 компанией Western Union Company. Мистер Гардинер Г. Хаббард и мистер А. Г. Белл, изобретатель, продемонстрировали нам свой прибор, который они называют «телефоном», и изложили свои планы его применения.

Указанный «телефон» предназначен для передачи человеческой речи по телеграфным проводам. Мы обнаружили, что голос звучит очень слабо и неразборчиво, а при использовании длинных проводов между передатчиком и приемником звук становится еще слабее. С технической точки зрения мы не считаем, что это устройство когда-либо сможет передавать понятную речь на расстояние в несколько миль.

Господа Хаббард и Белл хотят установить свои «телефоны» практически в каждом доме или деловом предприятии нашего города. Эта идея абсурдна сама по себе. Более того, с какой стати кто-то захочет использовать такое неуклюжее и непрактичное устройство, если он может отправить посыльного на местную телеграфную станцию и передать оттуда ясно написанное сообщение в любой большой город Соединенных Штатов?

Специалисты-электрики нашей компании на сегодня уже разработали все существенные улучшения в области телеграфии, и мы не видим причин, по которым следует поддержать группу неспециалистов с нелепыми и непрактичными идеями, коль скоро у них нет ни малейшего представления о том, как решить затронутые проблемы. Финансовые прогнозы мистера Г.Г.Хаббарда, хотя и звучат очень заманчиво, основаны на необузданном воображении и на отсутствии понимания технических и экономических аспектов существующего положения; при этом игнорируются технические ограничения, присущие их устройству, которое едва ли может быть более чем игрушкой или лабораторной диковинкой. Мистер А.Г.Белл, изобретатель, служит учителем в школе для плохо слышащих, и для его работы «телефон», возможно, имеет какое-то значение, но при столь большом количестве недостатков не может всерьез считаться средством связи.

В свете изложенных фактов мы считаем, что предложение мистера Г.Г.Хаббарда о приобретении его патента за 100 000 долларов лишено здравого смысла, поскольку это устройство по своим возможностям не представляет для нас никакого интереса. Мы не рекомендуем его покупать.

Это легендарное письмо является, по-видимому, крупнейшей и грубейшей ошибкой во всей истории телекоммуникационного бизнеса. И не купила Western Union патент. А всего через несколько лет сама же предлагала за него 25 млн долл.!

Телефония же продолжала развиваться, хотя путь ее развития был тернист.

Сегодня все воспринимают как саму собой разумеющуюся возможность связаться по телефону с людьми, являющимися пользователями самых разных местных и междугородных сетей. Так было не всегда. К 1885 г. в США существовало уже более 300 лицензированных телефонных компаний, а телефону было лишь девять лет. Начиная с того времени и по 1907 г. людям часто приходилось иметь два телефона: один для связи с абонентами Bell Telephone Company, образовавшейся в 1877 г., а другой — для связи с людьми, жившими в городе, который обслуживала другая телефонная компания. Независимые телефонные компании и компания Bell не «разговаривали» друг с другом, между ними отсутствовало взаимодействие. В 1910 г. компания AT&T выдвинула стратегию взаимоувязанной телефонной связи, и из этой стратегии выросла телефонная сеть общего пользования. В обмен на предоставление компанией AT&T такого универсального обслуживания Федеральное правительство США предоставило ей монополию на телефонную связь, которую затем неоднократно отбирало. Большая часть других стран избежала этого неудобного периода и с самого начала создавала взаимоувязанные национальные сети, которые, в свою очередь, объединились в единую всепланетную сеть связи.