

## Лекции

|   |     |
|---|-----|
| Лекция 1. Телекоммуникационные станции.<br>Коммутационные поля и типы управления . . . . .                                    | 13  |
| Лекция 2. Коммутационные поля на микроэлектронной<br>элементной базе . . . . .  | 43  |
| Лекция 3. Алгоритмы отдельных функций, выполняемые<br>в станциях с программным управлением . . . . .                          | 74  |
| Лекция 4. Программное обеспечение . . . . .   | 123 |
| Лекция 5. Передача линейных и управляющих сигналов . . . . .  | 151 |
| Лекция 6. Синхронизация и электропитание.<br>Синхронная и асинхронная передача . . . . .                                      | 193 |
| Лекция 7. Техобслуживание, эксплуатация<br>и администрирование станций, сеть управления<br>телекоммуникациями (TMN) . . . . . | 218 |
| Лекция 8. Общедоступные телефонные сети . . . . .   | 247 |
| Лекция 9. Некоторые виды сетей . . . . .  | 279 |

## Содержание

|   |    |
|---|----|
| Введение .....  | 10 |
| Основные термины .....  | 10 |
| Краткие итоги .....   | 11 |
| Глоссарий и сокращения .....  | 11 |
| Лекция 1. Телекоммуникационные станции.   |    |
| Коммутационные поля и типы управления .....   | 13 |
| Общие сведения о телекоммуникационных станциях .....  | 13 |
| Типы построения коммутационного поля .....  | 15 |
| Блокировка, смешивание нагрузки, доступность .....  | 20 |
| Типы управления станциями .....   | 24 |
| Общее управление .....  | 29 |
| Применение непосредственного соединения блоков .....  | 35 |
| Краткие итоги .....   | 40 |
| Лекция 2. Коммутационные поля на микроэлектронной<br>элементной базе .....                              | 43 |
| Принципы использования временных каналов<br>при цифровом потоке с импульсно-кодовой<br>модуляцией ..... | 43 |
| Типы коммутации .....   | 44 |
| Принципы реализации способов временной<br>коммутации .....  | 46 |
| Принцип реализации пространственной<br>коммутации временных каналов .....                               | 47 |
| Принцип реализации пространственно-временного<br>коммутатора .....                                      | 49 |
| Групппообразование .....  | 55 |
| Установление соединений в полностью<br>распределенных электронных системах<br>коммутации .....          | 59 |
| Краткий обзор некоторых дополнительных видов<br>обслуживания .....                                      | 66 |
| Комплект аналоговой абонентской линии<br>электронной станции .....                                      | 69 |
| Краткие итоги .....   | 71 |

|   |     |
|---|-----|
| Лекция 3. Алгоритмы отдельных функций,<br>выполняемые в станциях с программным<br>управлением ..... | 74  |
| Общие положения .....   | 75  |
| Алгоритм сканирования .....   | 76  |
| Пример алгоритма, реализующего процесс<br>сканирования .....  | 82  |
| Алгоритм передачи команд .....  | 84  |
| Пример реализации алгоритма передачи команд .....   | 88  |
| Алгоритм приема номера вызываемого абонента .....   | 92  |
| Декодирование, анализ номера и выбор направлений .....  | 96  |
| Алгоритм поиска промежуточных путей .....   | 103 |
| Алгоритмы приема и передачи сигнальной<br>информации .....  | 111 |
| Краткие итоги .....   | 120 |
| Лекция 4. Программное обеспечение .....   | 123 |
| Системы программирования .....  | 124 |
| Объектно-ориентированный подход .....   | 124 |
| Архитектура CORBA для распределенных<br>вычислительных систем .....                                 | 125 |
| Табличный метод, или метод универсальной программы .....  | 127 |
| Автоматный подход и табличные функции .....   | 131 |
| Основные операции работы с очередью .....   | 142 |
| Операционная система и распределение<br>ресурсов управляющего устройства .....                      | 144 |
| Теоретические положения .....   | 146 |
| Краткие итоги .....   | 149 |
| Лекция 5. Передача линейных и управляющих сигналов .....  | 151 |
| Передача сигналов по двум выделенным каналам .....  | 151 |
| Общий канал сигнализации (система № 7) .....  | 153 |
| Сигнализация при установлении соединения .....  | 159 |
| Повышение достоверности (определение<br>и исправление ошибок), 2-й уровень МТР .....                | 182 |
| Управление сетью сигнализации .....   | 184 |
| Маршрутизация сообщений сигнализации .....  | 184 |
| Краткие итоги .....   | 190 |

|  |     |
|--|-----|
| Лекция 6. Синхронизация и электропитание.  |     |
| Синхронная и асинхронная передача . . . . .  | 193 |
| «Блуждание» фазы . . . . .   | 196 |
| Принципы формирования акустических<br>(зуммерных) сигналов, стандартных фраз<br>(сообщений) и сигналов многочастотных<br>генераторов . . . . . | 200 |
| Цифровые генераторы частотных и акустических сигналов . . .  | 201 |
| Электропитающие установки . . . . .  | 205 |
| Обеспечение бесперебойности электропитания . . . . .   | 211 |
| Краткие итоги . . . . .  | 215 |
| Лекция 7. Техобслуживание, эксплуатация<br>и администрирование станций, сеть управления<br>телекоммуникациями (TMN) . . . . .                  | 218 |
| Общие положения . . . . .  | 218 |
| Аппаратура и методы технической эксплуатации<br>и обслуживания . . . . .   | 219 |
| Типовая процедура технического обслуживания . . . . .  | 220 |
| Сопровождение программного обеспечения . . . . .   | 220 |
| Меры по обеспечению надежности системы . . . . .   | 221 |
| Документация . . . . .   | 221 |
| Тестовые испытания и приемка . . . . .   | 222 |
| Язык общения «человек-машина» . . . . .  | 223 |
| Функции некоторых проверочных устройств . . . . .  | 224 |
| Обзор некоторых программных средств<br>технического обслуживания . . . . .   | 226 |
| Характеристики эксплуатации и технического<br>обслуживания . . . . .   | 229 |
| Сеть управления телекоммуникациями (TMN) . . . . .   | 230 |
| Основные принципы TMN . . . . .  | 232 |
| Информационная модель . . . . .  | 233 |
| Физическая архитектура . . . . .   | 236 |
| Функциональная архитектура и ее связь<br>с физической . . . . .  | 237 |
| Иерархия протоколов TMN . . . . .  | 240 |
| Краткие итоги . . . . .  | 244 |

|  |     |
|--|-----|
| Лекция 8. Общедоступные телефонные сети .....                                    | 247 |
| Предварительные сведения .....   | 247 |
| Общие принципы построения телефонных<br>сетей связи .....                        | 248 |
| Система нумерации на телефонной сети .....                                       | 257 |
| Нормированные параметры сети .....   | 262 |
| Маршрутизация. Синхронизация цифровых<br>сетей связи. Взаимодействие сетей ..... | 266 |
| Методы синхронизации сетей .....   | 272 |
| Краткие итоги .....  | 276 |
| Лекция 9. Некоторые виды сетей .....   | 279 |
| Интеллектуальные сети связи .....  | 279 |
| Принципы построения сети ОКС № 7 .....   | 283 |
| Сеть следующего поколения .....  | 290 |
| Краткие итоги .....  | 293 |
| Глоссарий .....  | 294 |
| Список английских сокращений .....   | 303 |
| Список русских сокращений .....  | 307 |
| Предметный указатель .....   | 308 |
| Литература .....   | 315 |

## Введение

Эта книга — продолжение серии книг автора по телекоммуникационным устройствам, сетям и технологиям. Она посвящена наиболее распространенному виду сетей — телекоммуникационным сетям.

В настоящее время этот тип сетей пока сохраняет наибольшее число пользователей. Кроме того, сети телекоммуникаций используются как технологическая основа для других технологий, например, мобильная связь и Интернет.

Поэтому современному специалисту в области информационной технологии необходимо основательно знать эту область. Технологии, связанные с телекоммуникационными сетями и взаимодействием сетей, являются основой профессии, соответствующая дисциплина — основная для студентов этого профиля.

Целью преподавания данной дисциплины и написания данной книги является ознакомление с принципами функционирования цифровых телекоммуникационных станций, методами сигнализации, включая Общий Канал Сигнализации, архитектурой построения этих сетей и методами технического обслуживания.

Наша книга — «Телекоммуникационные сети и устройства» представляет информацию, необходимую для студентов, которые хотят получить квалификацию в области техники связи и информационных технологий, а также организации сетей. Она адресована также профессионалам, которые работают в этой области с сетями, основанными на телекоммуникациях.

Мы предполагаем, что читатель не имеет никаких начальных знаний, хотя желательно прочесть предыдущую книгу этой серии «Терминалы и основные технологии обмена информацией», посвященную устройствам и сетям передачи данных, которые составляют физический уровень для коммутационных сетей. Для удобства чтения в этой книге приведены некоторые сведения из указанной выше книги.

Кроме основных разделов, книга содержит вспомогательные, которые помогают запомнить основные сведения или проверить их усвоение.

## Основные термины

Новые термины, используемые в каждой лекции, перечислены в конце книги с определениями, включенными в глоссарий. Они позволяют читателю проверить, верно ли усвоены все новые понятия.

## Краткие итоги

Каждая лекция заканчивается краткими итогами материала, изложенного в ней. Краткие итоги подчеркивают ключевые моменты, которые следует запомнить читателю.

## Глоссарий и сокращения

Книга содержит обширный глоссарий, который помогает в усвоении и проверке правильности восприятия терминов. Хотя все сокращения развернуты при первом упоминании, можно их не запоминать. Список сокращений содержит расшифровку английских сокращений. Русские сокращения немногочисленны и общеизвестны.

Эта часть лекций требует специального пояснения. В настоящее время ведутся бурные дискуссии о путях дальнейшего развития телефонных сетей. Существует мнение, что телефонная сеть устарела настолько, что уже нет смысла ее изучать. Однако реальность показывает, что потребность в телефонных станциях не уменьшается. Конечно, речь идет о новых поколениях сетевых устройств. Само построение сетей телекоммуникаций уже не подразумевает разделение на телефонные сети и сети передачи данных. Принято говорить о сетях доступа и транспортных сетях. Но основой этих сетей являются станции и устройства коммутации.

Блестящее развитие области телекоммуникаций, начиная с 1950-х годов и до нашего времени, привело к тому, что многие проблемы, стоявшие ранее, уже решены. Лозунг «связь всегда, везде, в любом объеме и удобном виде» успешно реализуется. Информация доставляется в любом виде — речевом, текстовом и в виде изображений, мультимедиа (несколько типов информации), и в реальном масштабе времени.

Сети и устройства подвижной связи обеспечивают информацию в ранее недоступных районах и в движении.

Пропускная способность оптических кабелей уже сегодня превышает потребности. Пропускная способность радиоканалов также существенно выросла.

Много споров идет о судьбе коммутаторов, в том числе и тех, которые мы рассмотрели в предыдущих курсах (SDH, ATM), поскольку скорости обработки информации современными компьютерами позволяют реализовывать новые программные способы коммутации.

Все это справедливо. Однако не совсем. Как всегда, жизнь богаче теоретических схем. К счастью или к сожалению, сети связи — необозримо масштабная область, и изменить всю сеть планеты за одну ночь или один год невозможно. Да и невыгодно. Поэтому развитие идет следующими путями.

Во-первых, достаточно долго будут одновременно существовать старое, современное и сверхновое оборудование. Под этими терминами в каждый исторический момент следует подразумевать различное состояние отрасли. В настоящее время для России (исходя из объема используемой техники): старое — координатная техника и аналоговые системы передачи, современное — цифровая коммутация и передача сообщений, сверхновое — программная коммутация и совмещение коммутации и обработки информации.

Во-вторых, новое всегда базируется на старом. Многие задачи, решенные в условиях жестких ограничений старой элементной базы (реле, транзисторов, микроэлементов или систем команд), дают более экономичные решения в современных условиях. Это, например, касается задач поиска путей, маршрутизации и других вопросов. Поэтому профессионалам хорошо бы их знать.

В-третьих, в науке и технике, когда достигнута некая вершина, за ней открываются новые вершины и возникает желания достичь и их. Так что кажущиеся сегодня завершенными задачи будут вновь поставлены в измененном виде и в других условиях, для других целей.

В этом курсе лекций область рассмотрения ограничена только цифровыми станциями. Те, кто работает с аналоговыми устройствами, может обратиться к книгам [1, 10, 15].

Для изучения этого курса лекций необходимо знание всех вопросов, содержащихся в первых частях книги [6, 7, 8].

Все термины применяются в соответствии с [50, 61, 67].

## **Лекция 1. Телекоммуникационные станции. Коммутационные поля и типы управления**

Лекция посвящена общему описанию основных составляющих телефонной станции — коммутационным полям и устройствам управления, которые будут детально рассмотрены в дальнейших лекциях.

### **Общие сведения о телекоммуникационных станциях**

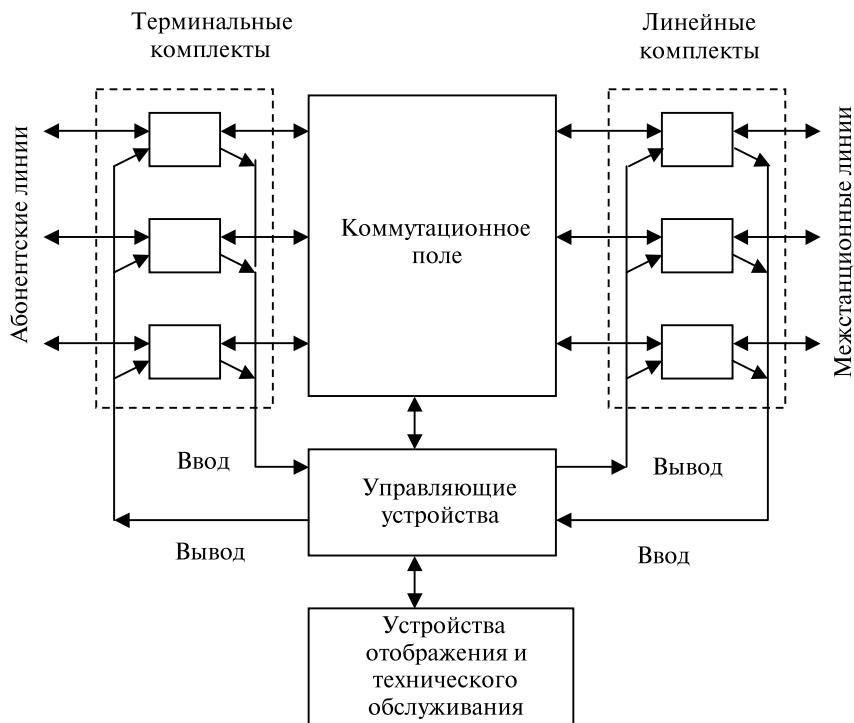
В данном разделе будут в основном рассмотрены станции, предназначенные для работы в телефонных сетях. Эти вопросы составляют основу телекоммуникации и изучались многие десятилетия. Существует ряд учебников ([1], [28], [35], [17]), которые являются базовыми при изучении данного материала, несмотря на то, что в настоящее время многие вопросы, изложенные в указанной литературе, необходимо адаптировать к современной технике. Развитие телекоммуникационной техники привело к интеграции, охватившей сначала сети информации (например, сети передачи речи и передачи данных), а потом соответствующие услуги. Вследствие набирающих силу интеграционных процессов ограничиться рассмотрением только задач передачи речи невозможно, поэтому будут рассмотрены и другие принципы коммутации и обработки информации. Основные принципы построения коммутационных станций не зависят от того, на какой базе (механические элементы или компьютерная техника) выполняются станции. Как мы увидим дальше, решения по построению станций диктуются в первую очередь экономическими и техническими требованиями, порождая таким образом возможность осуществлять новые услуги для абонентов.

Сегодня мы можем наблюдать большое разнообразие как телефонных станций, так и коммутационных узлов обработки информации. Однако все они содержат определенные группы устройств (рис. 1.1).

Рассмотрим задачи, выполняемые каждой из частей станции.

**Коммутационное поле** решает задачи соединения двух или нескольких источников между собой. На первых этапах внедрения телефонной техники эту роль играли электромеханические устройства на базе электромагнитных элементов. Эти базовые элементы определили названия для первых коммутационных систем:

- декадно-шаговая система Автоматических Телефонных Станций (АТС);
- координатная система АТС (АТС-К) или усовершенствованная АТС-К (АТС-КУ).



**Рис. 1.1.** Общий вид станции, предназначенный для коммутации и обработки информации

С появлением микроэлементной базы и развитием электронной вычислительной техники был разработан целый комплекс цифровых систем передачи и соответствующих цифровых систем коммутации. В настоящее время все больше задач коммутации выполняется совместно с задачами управления. Повышение быстродействия позволяет совместить эти задачи и тем самым приводит к дальнейшему прогрессу техники коммутации информации.

**Управляющее устройство** решает логические задачи, необходимые для установления соединения, а также выполняет работы, связанные с основными и дополнительными видами обслуживания. Первые системы АТС применяли управляющие устройства на базе электромагнитных реле, по сути представляющие собой медленные компьютеры. Число решаемых ими задач было ограничено вследствие их небогатых логических возможностей и большого времени выполнения. В дальнейшем, по мере развития микрокомпьютеров, для задач управления АТС стали применять

универсальную компьютерную технику, и в настоящее время на ней реализованы все части телефонной станции. Поэтому наряду с существующими методами построения и управления сетей, характерными для традиционной телефонии, стали развиваться и получать все большее распространение методы, присущие компьютерным сетям (например, пакетная передача, адресная коммутация и т. п.). При переходе к управлению с помощью компьютеров появилась еще одна существенная составляющая — это программное обеспечение, которое берет на себя все задачи по управлению станцией (кроме физического и некоторых функций уровня звена данных).

Общая структурная схема современной станции с программным управлением (рис. 1.1) включает также:

- *терминальные комплекты*, обеспечивающие выполнение протоколов связи уровня звена данных и иногда физического уровня с абонентскими терминалами;
- *линейные комплекты*, выполняющие те же функции, что и терминальные, но по отношению к объектам сети (другие станции, узлы сети).

Рассмотрим более подробно структуру построения станций на примере телефонных станций. Особенности построения других объектов коммутации информации будут проанализированы отдельно.

## **Типы построения коммутационного поля**

### **Однозвенное коммутационное поле**

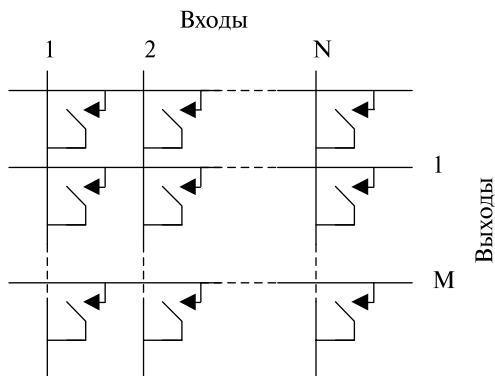
Для наиболее простого типа коммутационного поля — полнодоступного коммутационного поля — характерно, что каждый источник, включенный в его вход, может быть соединен с источником, включенным в выход.

Такой тип коммутационного поля применялся в станциях очень малой емкости (до 50 номеров и меньше). Но в последнее время прогресс элементной базы расширяет возможности его применения.

Предварительно можно сказать, что сейчас коммутаторы информационных сетей работают по однозвенному принципу, но постепенно современные коммутаторы, даже на базе программных маршрутизаторов, переходят к многозвенным схемам.

На рис. 1.2 приведено построение условной схемы коммутатора. На каждом пересечении горизонтали и вертикали коммутатора условно показан контакт, для простоты — механический.

Физический принцип реализации такого контакта может быть любым, в том числе и программно-адресным.



**Рис. 1.2.** Принцип построения однозвенной полнодоступной матрицы.

Такие полнодоступные принципы построения коммутационного поля не нашли широкого применения из-за их неэкономичности для станций большой емкости. Только в последнее время в связи с уменьшением габаритов и удешевлением микросхем, реализующих коммутаторы, стало возможным применять этот принцип для построения станций достаточно большой емкости (более 2000 входов/выходов). Но современные станции часто имеют большие емкости, до 300000 входов и 100000 выходов. В этом случае такая матрица просто не может быть выполнена, учитывая ее реальную цену и габариты.

В последнее время во многих важных приложениях для коммутации применяются программные способы, которые выполняются на компьютерах.

Эти способы коммутации эквивалентны способу с применением полнодоступной схемы. Но при больших емкостях один компьютер не может обеспечить обслуживание поступающих потоков вызовов ни по быстрдействию, ни по объемам памяти. Поэтому на программном уровне требуется поиск решений, эквивалентных многозвенной коммутации.

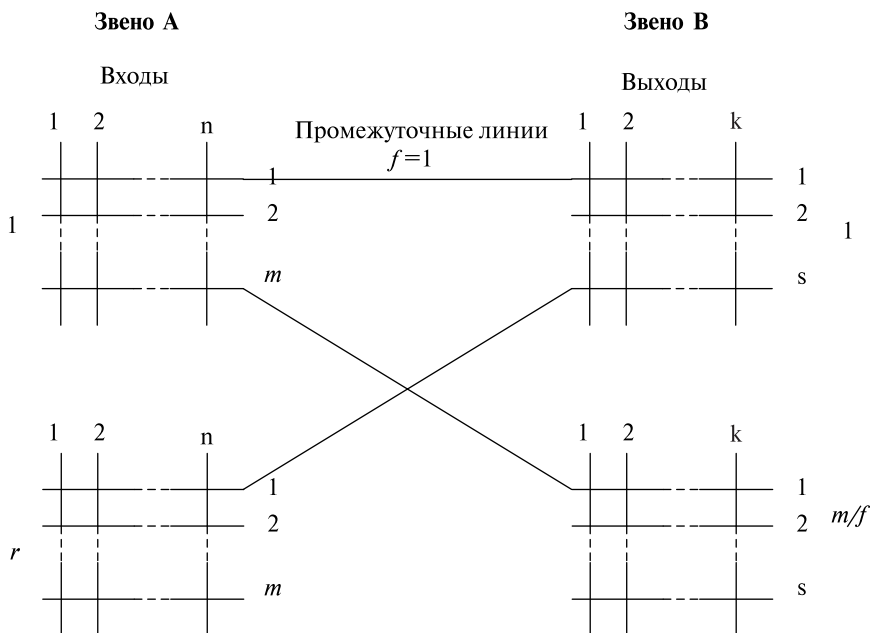
### **Двухзвенные и многозвенные схемы коммутации**

При большом числе пользователей более эффективны схемы коммутации, содержащие много звеньев. На рис. 1.3 приведена двухзвенная схема коммутации. Для определения областей применения сравним предыдущую и последующую схемы по числу требуемых точек коммутации.

На рис. 1.3 приняты следующие обозначения:

$n$  — число входов в матрицу звена  $A$ ;

$r$  — число матриц звена  $A$ ;



**Рис. 1.3.** Двухзвенная коммутационная схема

$m$  — число выходов матрицы звена А;  
 $s$  — число выходов матрицы звена В;  
 $k$  — число выходов из матрицы звена В;  
 $f$  — «связность».

Связность — это число промежуточных линий, которые соединяют одну определенную матрицу звена А с одной определенной матрицей звена В.

Пусть необходимо коммутировать  $N$  входов с  $M$  выходами. Тогда будут соблюдаться следующие условия:

для полностью доступной коммутационной схемы число точек коммутации равно  $NM$ ;

Для неполнодоступной схемы коммутации число точек коммутации равно  $r(nm) + m/f(ks)$ .

Однако  $r$  (число коммутаторов звена А) зависит от требуемого общего числа входов  $N$  и составляет

$$r = N/n.$$

В то же время  $m/f$  (число коммутаторов звена В) зависит от требуемого общего числа выходов  $M$ :

$$m/f = M/k.$$

Тогда число точек коммутации неполнодоступной коммутационной схемы будет равно  $Nm + Ms$ .

Тем самым определяется условие: чтобы многозвенная коммутационная схема была более эффективна, чем однозвенная, число коммутационных точек в ней должно быть меньше, чем в полнодоступной:

$$\begin{aligned} NM &> Nm + Ms \\ 1 &> m/M + s/N. \end{aligned}$$

Последнему условию может соответствовать множество сочетаний параметров коммутационных схем, но для всех из них справедливо, чтобы соблюдались соотношения

$$m/M > 1 \text{ и } s/N > 1 \text{ (где } N, M, m, s \neq 0\text{)}.$$

Эти требования означают, что число выходов матрицы звена А не должно быть больше общего числа выходов всей коммутационной схемы  $M$ , а число входов звена В не должно быть больше общего числа входов в коммутационную схему  $N$ .

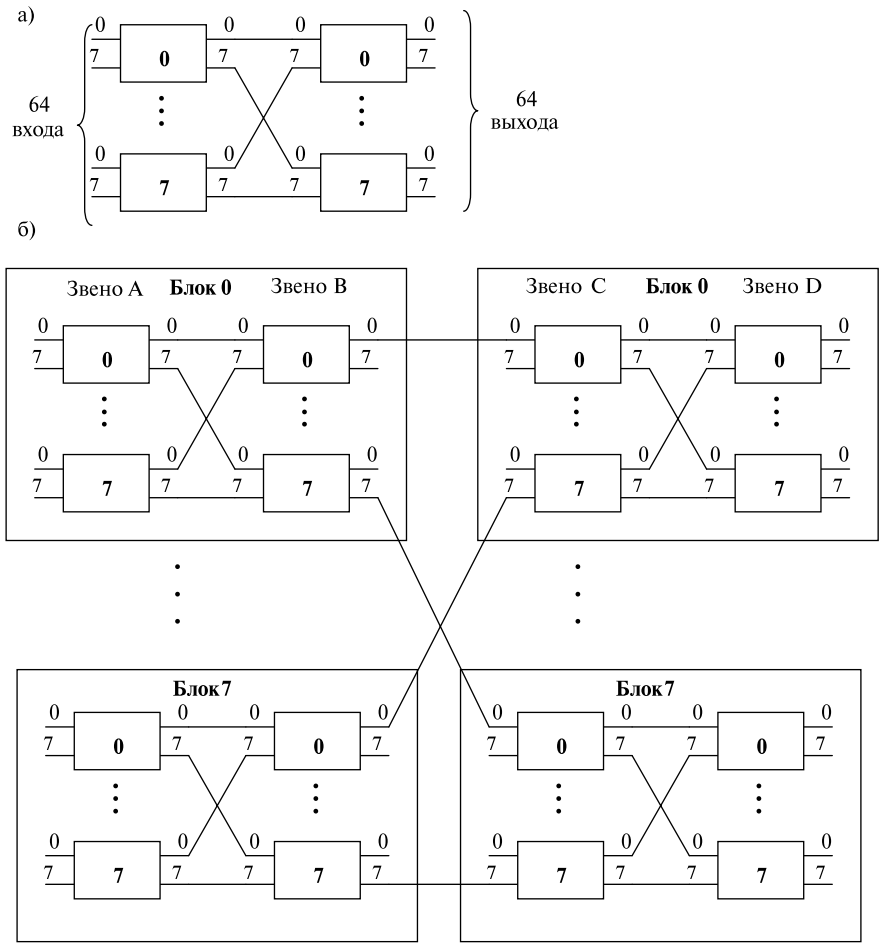
Такое условие выполняется для всех реальных задач. Число выходов матриц, которые имеются к настоящему времени, для малых станций (от 100-500 входов и того же диапазона выходов) варьируется от 4 до 8, а для больших емкостей (4000-300000 входов и выходов) встречаются матрицы по 512 выходов.

Из приведенных выше данных следует, что в современных телефонных станциях однозвенные коммутационные схемы во много раз менее экономичны, чем многозвенные.

Однако небольшое число входов в коммутационную матрицу не позволяет построить коммутационную двухзвенную схему с достаточно большим числом выходов. Для этих случаев применяются многозвенные схемы (см., например, рис. 1.4).

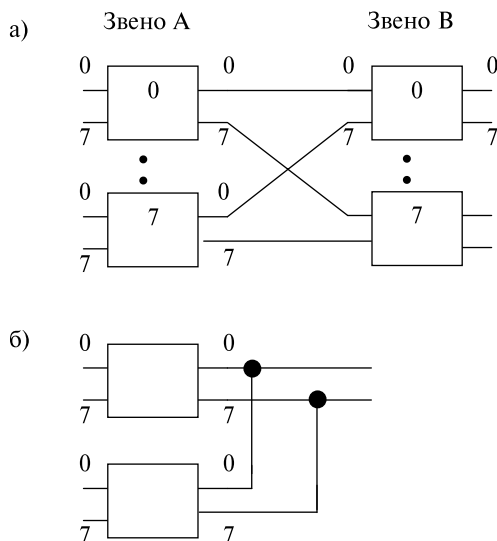
На рис. 1.4а показан блок, содержащий 8 коммутационных матриц  $8 \times 8$ . Он имеет общее число входов  $N = 64$  и выходов  $M = 64$ . Для увеличения числа входов и выходов строится схема из 8 блоков (рис. 1.4б), которая позволяет увеличить число входов и выходов до  $N = M = 512$ .

Приведенная на рис. 1.4 схема коммутации имеет равное количество входов и выходов. Однако для построения телефонных систем применяются различные типы блоков. Они различаются не только параметрами коммутаторов и числом каскадов, но и назначением.



**Рис. 1.4.** Пример построения 4-звенной коммутационной схемы 512x512

Например, известно, что уровень загрузки абонентских линий довольно низок (за исключением таксофонов, линий с терминалами сети Internet). В среднем они используются в час на 10-15%. Для межстанционных линий, стоимость которых очень высока, необходимо увеличить интенсивность использования и тем самым снизить требования по числу линий, выделяемых для заданной группы абонентов. Поэтому для включения абонентских линий применяются специальные схемы с концентрацией (рис. 1.5).



**Рис. 1.5.** Концентрация нагрузки на звене А:

а) 2-звенная схема с концентрацией; б) пример создания матрицы с концентрацией.

Для создания концентрации применяются матрицы, которые имеют число входов большее, чем число выходов. Это может достигаться конструктивно или путем запараллеливания выходов (рис. 1.5). В цифровых системах коммутации широко применяются варианты, когда концентрация путем запараллеливания делается на абонентских (терминальных) комплектах, что вносит дополнительные удобства. При рассмотрении вопросов построения терминальных комплектов будут рассмотрены и такие варианты.

## Блокировка, смешивание нагрузки, доступность

### Виды искажения

Переход от однозвенных коммутационных схем к многозвенным схемам порождает новое явление — блокировку.

Под блокировкой понимается невозможность установления соединения от заданного входа к свободному выходу из-за отсутствия свободных промежуточных линий.

В качестве примера блокировки (рис. 1.6) показано, как между 2-м входом и 3-м выходом невозможно установить соединение, поскольку матрицы двух звеньев соединяет единственная промежуточная линия.

[ . . . ]