

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

Г. Г. Бортник, В. М. Кичак, О. В. Стальченко

СИСТЕМИ ДОСТУПУ

Підручник

Вінниця
ВНТУ
2010

УДК 621.391
ББК 32.811.2
Б21

Рецензенти:

Л. Н. Беркман, доктор технічних наук, професор (ДУІКТ)
В. В. Поповський, доктор технічних наук, професор (ХНУРЕ)
О. М. Шинкарук, доктор технічних наук, професор (ХНУ)

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом підготовки "Телекомунікації". Лист № 1/11-7441 від 06.08.2010.

Бортник, Г. Г.

Б21 Системи доступу : підручник / Г. Г. Бортник, В. М. Кичак, О. В. Стальченко. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 308 с.

ISBN 978-966-641-393-5

У підручнику наведено сучасні методи цифрових модуляцій, що використовуються у мережах абонентського доступу. Розглянуто основні технології абонентського доступу проводовими та безпроводовими лініями зв'язку. Викладено особливості та принципи побудови мереж абонентського доступу.

Наведено та проаналізовано основні структури цифрових систем та мереж абонентського доступу.

Призначений для студентів спеціальностей "Телекомунікаційні системи та мережі", „Технології та засоби телекомунікацій”.

УДК 621.391
ББК 32.811.2

ISBN 978-966-641-393-5

© Г. Бортник, В. Кичак, О. Стальченко, 2010

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	15
1 АБОНЕНТСЬКІ ЛІНІЇ МІСЦЕВИХ ТЕЛЕФОННИХ МЕРЕЖ.....	19
1.1 Основні етапи розвитку систем абонентського доступу.....	19
1.2 Моделі систем абонентського доступу.....	26
1.3 Основні тенденції еволюції абонентських систем.....	33
2 МЕТОДИ МОДУЛЯЦІЇ ТА КОДУВАННЯ В СИСТЕМАХ ДОСТУПУ.....	41
2.1 Особливості передавання сигналів абонентськими лініями зв'язку.....	41
2.2 Лінійне кодування типу 2B1Q.....	43
2.3 Модуляція типу QAM.....	47
2.4 Модуляція типу CAP.....	57
2.5 Модуляція типу DMT.....	62
2.6 Модуляція типу OFDM.....	66
3 ТЕХНОЛОГІЇ ЦИФРОВИХ АБОНЕНТСЬКИХ ЛІНІЙ.....	68
3.1 Вступ у сімейство технологій xDSL.....	68
3.2 Основні характеристики технології xDSL.....	71
3.3 Реалізація HDSL на базі T1.....	73
3.4 ISDN на базі кодування 2B1Q.....	78
3.5 Особливості SDSL.....	79
3.6 Особливості асиметричної DSL.....	81
3.7 Особливості DSL з адаптацією швидкості.....	83
3.8 Високошвидкісні DSL.....	87
3.9 Переваги технології xDSL.....	88
4 ТЕХНОЛОГІЇ HDSL ТА HDSL2.....	90
4.1 Передумови створення HDSL.....	90

4.2 Використання HDSL для E1.....	92
4.3 Кадр HDSL для E1.....	93
4.4 Переваги HDSL та особливості використання.....	96
4.5 Реалізація HDSL для ISDN.....	98
4.6 Обмеження HDSL та передумови створення HDSL2.....	99
4.7 Вибір методу кодування для HDSL2.....	101
4.8 Особливості дуплексного режиму в HDSL2.....	103
4.9 Типові параметри обладнання HDSL.....	105
4.10 Застосування технологій HDSL в апаратурі WATSON.....	106
5 ТЕХНОЛОГІЇ ADSL.....	110
5.1 Базова архітектура ADSL.....	110
5.2 Мережа ADSL.....	111
5.3 Кодування в ADSL.....	115
5.4 Інтерфейс ADSL.....	126
5.5 Структура кадру ADSL.....	128
5.6 Можливості ADSL.....	133
5.7 Особливості переходу від ADSL до VDSL.....	139
6 ШИРОКОСМУГОВІ СИСТЕМИ ДОСТУПУ.....	146
6.1 Види широкосмугових систем доступу.....	146
6.2 Комбіноване середовище „волокно-коаксіал”.....	146
6.3 Пасивна оптична мережа.....	150
6.4 Варіанти створення системи доступу в широкосмуговій ЦМІО.....	152
6.5 Технологія ATM в Ш-ЦМІО.....	155
6.6 Система доступу в широкосмуговій ЦМІО.....	157
7 ОРГАНІЗАЦІЯ ДОСТУПУ АБОНЕНТА ДО ISDN.....	162
7.1 Види абонентського доступу до ресурсів мережі ISDN.....	162
7.2 Способи і приклади організації абонентського доступу до ISDN.....	164

8 ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ПРОВОДОВИХ СИСТЕМ ДОСТУПУ.....	169
8.1 Огляд існуючих проводових СД України.....	169
8.2 Тенденції розвитку ПСД у світі.....	172
8.3 Техніко-економічні аспекти різних технологій ПСД.....	175
8.4 Вибір оптимальних технологій ПСД для України.....	179
8.5 Напрямки розвитку ПСД для інформаційно-комунікаційної інфраструктури України.....	182
9 БЕЗПРОВОДОВИЙ ДОСТУП ДО ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ	186
9.1 Напрямки використання безпроводового доступу.....	187
9.2 Ефективність технології WLL.....	188
9.3 Основні методи побудови безпроводової системи абонентського доступу.....	192
9.4 Система абонентського доступу на базі LMDS.....	195
9.5 Підтримка функцій мобільності системою абонентського доступу.....	200
9.6 Технологія передавання даних GPRS.....	204
9.7 Система радіодоступу EDGE.....	209
9.8 Інтеграція стаціонарних і мобільних мереж зв'язку.....	212
10 ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СИСТЕМ РАДІОДОСТУПУ.....	214
10.1 Основні тенденції розвитку СРД у світі.....	214
10.2 Аналіз стану розвитку СРД в Україні.....	219
10.3 Перспективні системи радіодоступу для України.....	220
10.4 Техніко-економічні оцінки перспективної системи радіодоступу.....	224
11 ВИСОКОЧАСТОТНІ СИСТЕМИ ІНТЕРНЕТ-ДОСТУПУ.....	229
11.1 Доступ мережею кабельного телебачення.....	229
11.2 Доступ супутниковими каналами.....	235
11.3 Доступ мікрохвильовими телерадіоінформаційними мережами.....	240
11.4 Інтегрований підхід до побудови системи Інтернет-доступу.....	248
12 СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНИХ СТРУКТУР СИСТЕМ ДОСТУПУ.....	253
12.1 Методи синтезу оптимальних структур систем доступу.....	253
12.2 Постановка задачі синтезу структур систем доступу.....	260
12.3 Методи розв'язання окремих задач синтезу структур систем доступу.....	264
12.3.1. Задачі синтезу топології.....	265

12.3.2	Задача розподілу потоків.....	271
12.3.3	Вибір пропускної здатності каналів.....	281
12.4	Синтез структури однорангової системи доступу.....	292
12.5	Синтез структури ієрархічної системи доступу.....	296
13	ЗАГАЛЬНА КОНЦЕПЦІЯ РОЗВИТКУ СИСТЕМ АБОНЕНТСЬКОГО ДОСТУПУ.....	300
	ЛІТЕРАТУРА.....	306

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АВУ	абонентська високочастотна установка
АДІКМ	адаптивна диференціальна імпульсно-кодова модуляція
АЗП	абонентський захисний пристрій
АК	абонентський комплект
АЛ	абонентська лінія
АМТС	автоматична міжміська телефонна станція
АП	абонентський пункт
АС	абонентська станція
АТС	автоматична телефонна станція
БС	базова станція
ВАМ	відкритий абонентський модуль
ВВП	вузол вихідного повідомлення
ВВС	взаємодія відкритих систем
ВКП	ввідно-комутаційний пристрій
ВЛ	виділена лінія
ВМ	відгалужувач магістральний
ВНП	вузол повідомлення, яке надходить
ВОЛЗ	волоконно-оптична лінія зв'язку
ВС	вузлова станція
ВСМ	відгалужувач субмагістральний
Д-АВУ	абонентська високочастотна установка з дельта-модуляцією
ЗД	засоби доступу
ЗЛ	з'єднувальна лінія
ІКМ	імпульсно-кодова модуляція
КК	кабельний колодязь
КП	комутаційне поле
КС	кінцева станція
КТБ	кабельне телебачення
КШ	кабельна шахта
КЯ	кабельний ящик
ЛК	лінійний комутатор
ЛМ	локальна мережа
МАД	мережа абонентського доступу
МВК	мультиплексор з виділенням каналів
МД	мережа доступу
МП	мережа перенесення
МС	місцева станція
МСЕ	Міжнародний союз електрозв'язку
МТМ	міська телефонна мережа
МТС	міська телефонна станція

ОА	обладнання абонента
ОАТС	офісна автоматична телефонна станція
ОВ	оптичне волокно
ОВАТС	офісно-виробнича АТС
ОК	оптичний кабель
ОМД	обладнання мережі доступу
ОЦК	основний цифровий канал
ПВВ	пристрій введення-виведення
ПД	передавання даних
ПМ	підсилювач магістральний
ПСМ	підсилювач субмагістральний
ПСД	проводові системи доступу
ПСПД	проводові системи передавання даних
Р	розгалуджувач
РАТС	районна автоматична телефонна станція
РК	розподільна коробка
РРЛ	радіорелейна лінія
САД	системи абонентського доступу
СД	системи доступу
СКК	системи з комутацією каналів
СКП	системи з комутацією пакетів
СКТ	системи кабельного телебачення
СПМ	системи проводового мовлення
СРД	системи радіодоступу
СТМ	сільська телефонна мережа
ТА	телефонний апарат
ТВЧ	телебачення високої чіткості
ТМ	транзитна мережа
ТП	телевізійний приймач
ТФМЗК	телефонна мережа загального користування
ТЧ	тональна частота
ЦКВ	цифровий кросовий вузол
ЦКП	центр комутації пакетів
ЦМІО	цифрова мережа інтегрального обслуговування
ЦС	центральна станція
ЦСП	цифрова система передавання
ШДМ	широкосмугова мережа доступу
ШК	шафа кабельна
ШР	шафа розподільна
Ш-ЦМІО	широкосмугова цифрова мережа інтегрального обслуговування

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line (Asymmetric DSL) – асиметрична цифрова абонентська лінія
AMI	Alternate Mark Inversion – кодування з чергуванням полярності елементів
AMR	Adaptive MultiRate codec – адаптивний багатошвидкісний мовний кодек
ANSI	American National Standards Institute – Американський національний інститут стандартів
ATM	Asynchronous Transfer Mode – асинхронний режим передавання
ATU-C	ADSL Transmission Unit-Central – передавальний пристрій ADSL на центральній станції
ATU-R	ADSL Transmission Unit-Remote – віддалений передавальний пристрій
AWG	American Wire Gauge System – американська система стандартизації кабелів
BER	Bit Error Rate – інтенсивність (частота появи) помилкових бітів
BG	Billing Gateway – білінговий шлюз
B-ISDN	Broadband ISDN – широкосмугова мережа ISDN
BLER	block error rate – коефіцієнт блокових помилок
BRI	Basic Rate Interface – інтерфейс базового рівня
BTS	Base Transceiver Station – базова приймально-передавальна станція
C/I	carrier-to-interference ratio – відношення потужності несучої до рівня завад
CAP	Carrierless Amplitude and Phase Modulation – амплітудно-фазова модуляція з придушенням несучої
CBR	Constant Bit Rate – постійна швидкість передавання даних
CDMA	Code Division Multiple Access – багатостанційний доступ з кодовим розділенням каналів
CDSL	Consumer Digital Subscriber Line – прикладна цифрова абонентська лінія
CEBus	Consumer Electronics Bus – загальна шина для побутової електроніки
CID	caller identification – визначення викличного пристрою
CPE	Customer Premises Equipment – обладнання (телекомунікаційне), яке знаходиться на території абонента
CSA	carrier sensing area – зона обслуговування телефонної компанії
CSU	Channel Service Unit – модуль обслуговування каналу
CWDM	Coarse Wavelength Division Multiplexing – „грубе” мультиплексування з розділенням за довжиною хвилі

DACS	Digital Access and Cross Connect System – система з цифровим доступом і кросуванням каналів
DECT	Digital European Cordless Telecommunications (standard) – Європейський стандарт на цифрову безпроводову мережу
DLC	digital loop carrier (distribution line carrier) – канал зв'язку на несучій у розподіленій мережі
DMT	Discrete Multitone – дискретна багатотональна модуляція
DPSK	differential phase-shift keying – відносна фазова маніпуляція
DSL	Digital Subscriber Line – цифрова абонентська лінія
DSLAM	DSL Access Multiplexer – мультиплексор доступу DSL
DSP	digital signal processing – цифрова обробка сигналів
DSU	Digital Service Unit – цифровий службовий модуль
DSU/CSU	data service unit /channel service unit – сервер каналних даних
U	
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing – мультиплексування з розділенням за довжиною хвилі з високою щільністю
DWMT	discrete wavelet multitone – багатотонне вейвлет-кодування
ECSD	Enhanced Circuit Switched Data – вдосконалена послуга комутації каналів
EDGE	Enhanced Data rates for GSM [Global] Evolution – технологія та система безпроводового зв'язку
EGPRS	Enhanced GPRS – вдосконалений стандарт GPRS
EIR	Equipment Identification Register – реєстр ідентифікації обладнання
ETSI	European Telecommunications Standards Institute – Європейський інститут стандартів зв'язку
FDM	Frequency Division Multiplexing – частотне розділення каналів
FDMA	Frequency-Division Multiple Access – множинний доступ з частотним розділенням каналів
FEC	forward error correction – корекція з випередженням помилок
FEXT	far-end crosstalk – перехресні завади на приймальному кінці лінії
FTTB	Fiber-To-The-Building – технологія вводу до будинку оптичного кабелю
FTTC	Fiber-To-The-Curb – технологія вводу оптичного кабелю до кабельної шафи
FTTH	Fiber-To-The-Home – технологія вводу оптичного кабелю до житлового будинку (квартири)
FTTO	Fiber-To-The-Office – технологія вводу оптичного кабелю до офісу
FTTOpt	Fiber-To-The-Optimum – технологія вводу оптичного кабелю до оптимальної точки

FTTR	Fiber-To-The-Remote – технологія вводу оптичного кабелю до віддаленого вузла
FTTZ	Fiber-To-The-Zone – технологія вводу оптичного кабелю до певної зони
FXO	Foreign Exchange Office – голосовий інтерфейс для підключення офісної мережі до мультиплектора
FXS	Foreign eXchange Subscriber – голосовий інтерфейс для підключення телефону до мультиплектора
GGSN	Gateway GPRS Support Node – шлюзовий вузол підтримки послуг GPRS
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying – гаусова маніпуляція з мінімальним частотним зсувом
GPRS	General Packet Radio Service – пакетний радіозв'язок загального користування
GSM	Global System for Mobile communications – глобальна мережа мобільного зв'язку
HDSL	High-bit-rate Digital Subscriber Line (High-bit-rate DSL) – швидкісна цифрова абонентська лінія
HDTV	High Definition Television – телебачення високої чіткості
HFC	Hybrid Fiber Coax – комбінована оптокоаксіальна система
HLR	Home Location Register – домашній реєстр
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data – технологія мереж GSM
HTU	HDSL Termination Unit – кінцевий пристрій HDSL
HTU-C	HDSL Termination Unit-central exchange – кінцевий пристрій HDSL зі сторони центральної станції
HTU-R	HDSL Termination Unit-remote – віддалений кінцевий пристрій HDSL
IDSL	ISDN DSL – ISDN-цифрова абонентська лінія
ISDN	Integrated Services Digital Network – цифрова мережа з інтегрованими послугами
ITU	International Telecommunications Union – Міжнародний союз електрозв'язку
ITU-T	International Telecommunications Union - Telecommunications sector – Міжнародний союз електрозв'язку – сектор телекомунікацій
IWMSC	Interworking MSC – MSC для забезпечення міжмережевого обміну
KTS	key telephone system – кнопкова телефонна система
LAN	Local Area Network – локальна мережа
LE	Local Exchange – місцева телефонна станція
LEC	Local Exchange Carrier – місцева телефонна компанія
LEPA	Local Exchange Primary Access – первинний доступ до місцевої станції

LMDS	Local Multipoint Distribution Service – місцева (локальна) багатоточкова розподільна служба зв'язку
LTU	line terminal unit – лінійний термінал
MMDS	Multichannel Multipoint Distribution Service – багатоканальна багатоточкова розподільна служба зв'язку
MS	Mobile Station – мобільна станція
MSC/VLR	Mobile Switching Center/ Visitor Location Register – мобільний центр комутації, суміщений з гостьовим регістром
MSDSL	Multirate Single pair DSL – багатошвидкісна технологія передавання цифрових потоків скрученою парою
MUX	multiplexer – мультиплексор
NEXT	перехресні завади на ближньому (передавальному) кінці
NGDLC	next generation DLC – наступне покоління DLC
NID	network interface device – мережевий інтерфейс
NIU	network-interface unit – мережевий інтерфейсний модуль
nPSK	n-phase-shift keying – n-позиційна фазова маніпуляція
NRZ	Non Return to Zero – без повернення в нуль (один з двійкових методів кодування даних)
NT	network terminal – мережевий термінал
NTPA	Network Termination Primary Access – первинний доступ до мережевого терміналу
NTU	network terminating unit – кінцевий комплект мережі
ODN	Optical Distribution Network – оптична розподільна мережа
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing – мультиплексування з ортогональним частотним розділенням сигналів
OLT	Optical Line Terminal – оптичний лінійний термінал
ONU	optical network unit – пристрій оптичної мережі
OQPSK	offset quadrature phase-shift keying – квадратурна фазова маніпуляція зі зсувом
OSI-RM	Open System Interconnection-Reference Model – еталонна модель організації взаємодії великих систем
OSS	operational support system – система оперативної підтримки
PAM	Pulse-Amplitude Modulation – амплітудно-імпульсна модуляція
PBCCN	Packet Broadcast Control Channel – радіоканал передавання пакетів даних і керування
PBX	Private Branch Exchange – телефонна станція для приватного користування
PCCN	Packet Common Control Channel – загальний канал пакетів керування
PCU	Packet Controller Unit – пакетний контролер
PDCH	Packet Data Channel – канал пакетного передавання даних

PDH	Plesiochronous Digital Hierarchy – плезіохронна цифрова ієрархія
PDN	premises distribution network – споживча розподільна мережа
PDN	Public Data Network – мережа передавання даних загального користування
PDTCH	Packet Data Traffic Channel – інформаційний канал передавання даних
PHS	Personal Handy-Phone System – система для персональних мобільних телефонів
PLMN	Public Land Mobile Network – мережа сухопутного мобільного зв'язку загального користування
PON	passive optical network – пасивна оптична мережа
POTS	Plain Old Telephone Service – загальна телефонна мережа
POTS-C	Plain Old Telephone Service-Central – інтерфейс між ТФМЗК і розподільником у центральній станції
POTS-R	Plain Old Telephone Service- Remote – інтерфейс між ТФМЗК і розподільником на віддаленій стороні
PRA	primary-rate access – доступ на базовій швидкості передавання
PRI	Primary Rate Interface – первинний інтерфейс обміну
PSD	power-spectrum density – спектральна густина потужності
PSTN	Public Switched Telephone Network – комутована телефонна мережа загального користування
QAM	Quadrature Amplitude Modulation – квадратурна амплітудна модуляція
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying – квадратурна фазова маніпуляція
RADSL	Rate Adaptive DSL – цифрова абонентська лінія з адаптацією швидкості
RLC	run-length coding – кодування зі стрибкоподібною довжиною слова
RT	remote terminal – віддалений термінал
SDH	Synchronous Digital Hierarchy – синхронна цифрова ієрархія
SDSL	Symmetrical Digital Subscriber Line – симетрична цифрова абонентська лінія
SDV	switched digital video – комутація цифрового відео
SGSN	Serving GPRS Support Node – сервісний вузол підтримки послуг GPRS
SLC	simple line coding – просте лінійне кодування
SMS	Short Message Service – послуга коротких повідомлень
SM-SC	Short Message Switching Center – центр комутації коротких повідомлень
SNR	signal to noise ratio – відношення сигнал-шум
SOHO	Small Office/Home Office – "малий офіс – домашній офіс"

SONET	Synchronous Optical Network – синхронна оптична мережа
STM	synchronous transport mode – режим синхронного передавання даних
TA	Terminal Adapter – термінальний адаптер
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol – протокол керування передаванням/Інтернет протокол
TDM	Time-Division Multiplexing – часове розділення каналів
TDMA	Time Division Multiple Access – багатостанційний (множинний) доступ з часовим розділенням каналів
TE	Terminal Equipment – термінальне обладнання, яке відповідає вимогам стандарту мережі ISDN
TPON	telephone over network; telephone over passive optical network – телефонний зв'язок пасивною оптичною мережею
T-SM	T- interface of Service Module – T-інтерфейс сервісного модуля
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System – універсальна система мобільного зв'язку
USAT	ultrasmall aperture terminal – термінал з ультрамалою апертурою променя
VDSL	Very high bit-rate Digital Subscriber Line – високошвидкісна цифрова абонентська лінія
VSAT	Very Small Aperture Terminal – термінал з надмалою апертурою променя, наземна приймальна частина супутникової мережі зв'язку
WCDMA	Wideband CDMA – широкопasmовий багатостанційний доступ з кодовим розділенням каналів
A	
WDM	Wavelength Division Multiplexing – мультиплексування з розділенням за довжиною хвилі
WLL	Wireless Local Loop - безпроводова місцева лінія
xDSL	x-type Digital Subscriber Line – сімейство технологій DSL

ВСТУП

Системи доступу (СД) – порівняно новий термін, яким позначають сукупність телекомунікаційних засобів між приміщеннями користувачів і магістральною телекомунікаційною мережею (МТМ). Функціональність СД на каналному рівні деталізовано в Рекомендації G.902 ІТУ-Т як деяку реалізацію, що складається з елементів (таких як кабелі зв'язку, обладнання передавання), котрі забезпечують необхідні носійні транспортні можливості для надання телекомунікаційних послуг між стиком (інтерфейсом) вузла обслуговування (SNI) і кожним з асоційованих із цим вузлом стиків «користувач-мережа» (UNI). СД може бути сконфігурована і керована через стик Q3. Вона, у принципі, не обмежує типів і кількості SNI та UNI, що їх підтримуватиме СД.

У пізнішій Рекомендації Y.1541 ІТУ-Т для СД на базі Інтернет-протоколу (IP) дано означення функцій СД на мережному рівні як реалізації, що складається з мережних елементів для забезпечення можливостей доступу між «IP-користувачем» і «IP-сервіспровайдером» для надання IP-послуг. «IP-користувач» і «IP-сервіспровайдер» є логічними сутностями, якими закінчується IP-рівень і/або IP-пов'язані функції і які можуть також містити функції нижчого рівня.

Відомі означення СД стосуються передусім функціональних характеристик СД, а тому при застосуванні цих означень до реальних СД часто виникають суперечності стосовно віднесення тих чи інших системних елементів до систем приміщень користувачів, до СД або до МТМ. Оскільки в цьому підручнику подано матеріал щодо конкретної системи телекомунікаційних мереж (мереж для інфокомунікаційної інфраструктури України), то є сенс конкретизувати визначення СД за системно-структурними ознаками в такий спосіб: системи доступу – це сукупність системних елементів (лінійні та вузлові споруди, кабелі, обладнання, програмні та інформаційні засоби), розташованих між стиками обладнання користувачів і стиками обладнання найближчих вузлів мереж.

Варто зазначити, що в цьому означенні, на відміну від визначень ІТУ-Т, як користувачі розглядаються не логічні сутності, а конкретні засоби, які або користуються, або надають інфокомунікаційні послуги. Згідно з таким означенням основною функцією СД є забезпечення доступу всіх користувачів і надавачів (провайдерів) інфокомунікаційних послуг до необхідних їм функцій та ресурсів (пропускної здатності) МТМ. Як і кожна система зв'язку, СД виконує також і транспортні функції переміщення інформації між стиками обладнання користувачів і стиками обладнання телекомунікаційної мережі. Проте це не є основною функцією СД, оскільки переміщення відбувається здебільшого на обмежених

відстанях – від десятків метрів до кількох кілометрів. Основними функціями СД у цьому означенні є функції узгодження стиків UNI та стиків SNI з функціональними й транспортними можливостями СД, мультиплексування та комутації інформаційних потоків, забезпечення якості послуг доступу. Очевидно, що СД має виконувати також і функції інтерпретації сигналізації від стиків UNI та SNI – для забезпечення можливості доступу користувачів до різних стиків SNI (наприклад, різних операторів МТМ), до різних провайдерів послуг (у тому числі й послуг доступу), а також для розподілу інформаційних потоків від стиків SNI до відповідних користувачів.

На відміну від МТМ, СД виконують значно масовіші функції, є значно розгалуженішими, і тому їхня вартість становить більшу частину вартості всієї системи інфокомунікаційної інфраструктури країни – близько 60-70%. Саме тому створено й далі створюються різноманітні технології та технічні рішення з метою подолання суперечності між пропускну здатністю і функціональністю СД для кожного користувача та витратами на створення і експлуатацію СД. Існують десятки різновидів СД із використанням багатьох провідних і безпроводових технологій.

Мережа зв'язку України побудована на базі аналогових і цифрових систем передавання та комутації і тому потребує ґрунтовної модернізації. Змінити цю ситуацію можливо лише впровадженням сучасних новітніх технологій та наданням різноманітних пакетів послуг. Хоча слід відмітити, що такі цифрові технології, як PDH, SDH та ISDN вже не задовольняють сучасні вимоги споживачів до мереж зв'язку. Тому провідні розробники систем зв'язку розробляють технології, які б при існуючих лініях і каналах зв'язку дали можливість збільшити їх пропускну здатність або покращити якісні показники надаваних послуг.

Новітні технології у галузі зв'язку можна розділити на два напрямки. До першого напрямку можна віднести технології, метою яких є удосконалення параметрів та характеристик носіїв. До них відносяться оптичне ущільнення волоконно-оптичних ліній (WDM), частотне ущільнення абонентських мідних ліній (xDSL), ефективне використання радіодіапазону.

WDM (Wavelength Division Multiplexing – мультиплексування з розділенням за довжиною хвилі), технологія, що дає можливість збільшити пропускну здатність волоконно-оптичних ліній зв'язку до 5 Тбіт/с і більше. Загалом WDM – це кілька технологій: DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing – мультиплексування з розділенням за довжиною хвилі з високою щільністю); CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing – „грубе” мультиплексування з розділенням за довжиною хвилі). Вони використовуються залежно від типу системи та отримання необхідних характеристик.

xDSL – аббревіатура, яка об'єднує такі технології, як ADSL, HDSL, RADSL, VDSL. Загалом використання даних технологій підвищує пропускну здатність вже існуючих мереж на мідних кабелях як місцевих, так і міжміських. У радіодіапазоні найсучаснішими технологіями є технології мобільних мереж 3G, 4G.

До другого напрямку можна віднести технології, які використовують оптимальну обробку та передавання інформації, удосконалюють елементну базу та підвищують швидкодію.

ATM (Asynchronous Transfer Mode) – технологія, яка забезпечує асинхронний режим передавання з великою швидкістю та гарантією високої якості передавання. TCP/IP (Transmission Control Protocol/ Internet Protocol) – протоколи, які використовуються в мережі Інтернет для об'єднання неоднорідних мереж.

Що ж до впровадження новітніх технологій в Україні, то більшість телекомунікаційних компаній (насамперед, ВАТ „Укртелеком”), намагаються модернізувати існуючі волоконно-оптичні мережі, впроваджуючи, наприклад, технології WDM, хоча ця модернізація просувається досить повільно, оскільки потребує значних капіталовкладень.

Протягом останніх років спостерігається підвищення рівня впровадження технологій xDSL в Україні. Хоча використання даних технологій потребує менших затрат, але модемне обладнання, яке знаходиться у абонента, коштує набагато більше, ніж звичайні низькошвидкісні засоби передавання інформації. Тому основною проблемою впровадження новітніх технологій абонентського доступу в Україні є економічна.

На сучасному етапі найефективнішими технологіями абонентського доступу, які набувають широкого впровадження в Україні, є WDM, 3G, 4G, ATM, TCP/IP, xDSL.

Даний підручник містить десять розділів, у яких наведено методи та засоби побудови систем абонентського доступу з точки зору використання різних технологій як проводового, так і безпроводового зв'язку та подається їх аналіз як з точки зору абонента, так і з точки зору оператора, який надає послуги електрозв'язку. Для зручності на початку підручника подано список скорочень. У кінці кожного розділу для кращого засвоєння матеріалу наведено контрольні запитання, а наприкінці підручника – список рекомендованої літератури.

Перший розділ знайомить читача з абонентськими лініями, їх історичним розвитком, характеристиками вже існуючих ліній та перспективами на майбутнє.

Другий розділ дає можливість ознайомитись з видами лінійного кодування та модуляцій для різних служб абонентського доступу та їх перспективами.

У третьому розділі наведено основні особливості технологій сімейства xDSL, які застосовуються у сучасних проводових абонентських лініях.

Четвертий розділ дає можливість глибше ознайомитись з технологіями доступу на основі американського T1 та європейського E1 стандартів, а також можливості їх реалізації у ISDN. Окремо розглядаються методи кодування зі зменшенням швидкості передавання (зменшенням смуги частот) первинного цифрового сигналу.

У п'ятому розділі наведено розгорнуту архітектуру технології ADSL та більш сучасні технології на її базі. Обґрунтовано технічні та економічні показники застосування даних технологій відповідно до використання різних типів ліній зв'язку.

У шостому розділі розглядаються види широкосмугових систем та мереж доступу з використанням як коаксіальних кабелів, так і волоконно-оптичних ліній зв'язку, а також їх змішане використання.

Сьомий розділ присвячено аналізу можливостей інтеграції абонентських мереж доступу до ISDN.

У восьмому розділі розглядаються варіанти застосування існуючих систем безпроводового зв'язку у побудові мереж доступу, їх переваги та недоліки порівняно з проводовими системами, особливо з використанням ВОЛЗ.

У дев'ятому розділі подано концепцію створення абонентської мережі доступу на основі високошвидкісних абонентських ліній.

Автори використали досвід викладання дисциплін підготовки бакалаврів, спеціалістів і магістрів в Інституті радіотехніки, зв'язку та приладобудування Вінницького національного технічного університету за напрямом «Телекомунікації» для спеціальностей «Телекомунікаційні системи та мережі» і «Технології та засоби телекомунікацій». Підручник допоможе студентам розширити теоретичні знання при вивченні дисциплін «Системи доступу», «Телекомунікаційні та інформаційні мережі зв'язку», «Інтегральна цифрова система зв'язку», а також докладніше ознайомить з новими методами побудови мереж і систем абонентського доступу.

1 АБОНЕНТСЬКІ ЛІНІЇ МІСЦЕВИХ ТЕЛЕФОННИХ МЕРЕЖ

1.1 Основні етапи розвитку систем абонентського доступу

Перші мережі телефонного зв'язку склалися – з точки зору лінійних споруд – лише з абонентських ліній (АЛ). Ці АЛ під'єднувалися до ручних комутаторів, оператори яких здійснювали з'єднання між абонентами.

Перші АЛ були створені на базі повітряних ліній зв'язку. Підземний телефонний кабель був вперше прокладений в Росії в 1885 році при будівництві Нижньогородської телефонної мережі. Довжина десятижильного кабелю складала близько одного кілометра.

Із розвитком телефонних мереж підвищувалася довжина АЛ. Виникла проблема підвищення дальності зв'язку. Англійський учений О. Хевісайд в 1893 році сформулював умови мінімуму енергетичних втрат сигналу, який передається лініями зв'язку. Шуканий мінімум досягався за рахунок підбору чотирьох основних параметрів кабельних пар: активного опору жил (R), індуктивності (L), ємності (C) і провідності ізоляції (G). Простіше всього – з практичної точки зору – змінювати індуктивність.

У 1900 році були розроблені два методи підвищення індуктивності кабельних пар – пупінізація і крарупізація. Перший метод, запропонований М. Пупінім, ґрунтувався на під'єднанні до кабельних пар котушок індуктивності. Це дозволяло підвищити дальність зв'язку в три-п'ять разів, що відповідало дальності зв'язку (залежно від діаметра жил кабелю) від 10 до 100 км. Другий метод, розроблений К. Е. Крарупом, полягав у тому, що кабель обмотувався стрічкою, виготовленою з тонкого дроту, в один, два або три шари.

Обидва методи підвищення дальності зв'язку почали застосовуватися з 1902 року. Пупінізація ширше використовувалася в місцевих (міських і сільських) телефонних мережах. Крарупізація виявилася ефективнішою для кабелів, що прокладаються під водою. Це пояснюється тим, що такий кабель не містить потовщень, утворених при під'єднанні котушок Пупіна. Зворотна сторона підвищення індуктивності – утворення фільтра нижніх частот, який створює перешкоди для ущільнення кабельних пар. З цієї причини пупінізація і крарупізація незабаром перестали широко застосовуватися для підвищення дальності зв'язку.

Автоматизація міських телефонних станцій (МТС), початок якої покладено введенням в експлуатацію машинної станції 3 серпня 1926 року в Ростові-на-Дону, не привела до зміни принципів реалізації АЛ. Поступово відбувався процес переходу від повітряних до кабельних ліній. Істотно те, що однопроводні АЛ поступово замінювалися двопроводними. Проте за даними на 1 січня 1928 року загальна

довжина повітряних ліній зв'язку в МТС складала 14,3 тисячі кілометрів проти 2,3 тисяч км кабельних ліній (або 14 відсотків). Це співвідношення поступово змінювалось за рахунок збільшення частки кабельних ліній зв'язку. До 1945 року питома вага кабельних ліній в МТС (правда, за довжиною жил, а не за загальною довжиною) склала вже 94 відсотки.

У післявоєнні роки, практично у всіх містах, кабельну каналізацію стали будувати з використанням азбоцементних труб і збірних оглядових пристроїв. У великих містах знайшли застосування колектори, в яких розміщувалися всі споруди комунального господарства (кабелі зв'язку і енергосистеми, трубопроводи різного призначення і под.). Свинець, що використовувався раніше як оболонка кабелю, поступово замінюється синтетичними матеріалами. На довгих АЛ стали використовуватися підсилювачі мостового типу. Для задоволення заявок нових абонентів застосовується спарене під'єднання двох телефонних апаратів (ТА) до однієї АЛ.

Помітна зміна в принципах побудови мережі доступу відбулася при впровадженні першої підстанції (концентратора) ПС-МКС-100 в 1957 році. Пізніше була створена підстанція кількістю до 1000 номерів – ПСК-1000. Використання підстанцій приводить до скорочення середньої довжини АЛ. Це, у свою чергу, покращує якість передавання інформації, підвищує ефективність використання АЛ і забезпечує ряд переваг, істотних з точки зору еволюції телефонної мережі загального користування ТФМЗК.

Все зазначене вище відноситься, більшою мірою, до міських, а не сільських телефонних мереж (СТМ). Сільський зв'язок розвивався за дуже специфічними сценаріями. Таке положення було обумовлене двома основними чинниками:

- технічні засоби, які використовувались для побудови мереж електрозв'язку, ще не забезпечували можливості створення уніфікованих комутаційних станцій, систем передавання і лінійно-кабельних споруд для всіх рівнів ієрархії ТФМЗК;
- система сільського зв'язку була орієнтована на забезпечення потреб сільськогосподарського виробництва (органів керування колгоспів і радгоспів) при незначній телефонізації квартир і приватних будинків.

Побудова абонентських мереж в сільській місцевості велася з широким використанням повітряних ліній зв'язку. Це не забезпечувало високої якості передавання мови і прийнятної надійності зв'язку. За даними за 1950 рік на 100 км повітряних ліній було зафіксовано 1,6 пошкоджень з середнім часом простою 6 годин. Ця статистика відноситься до всіх лінійних споруд, включаючи ділянку абонентського доступу.

Останні два десятиліття внесли свій внесок у розвиток абонентських мереж. Найістотнішими можна назвати: використання систем передавання,

ЛІТЕРАТУРА

1. Соколов Н. А. Сети абонентского доступа. – М.: „Энтер”, 2004.– 254 с.
2. Бортник Г. Г., Кичак В. М., Стальченко О. В., Яблонський В. Ф. Мережі абонентського доступу: Навчальний посібник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 201 с.
3. Бортник Г. Г., Кичак В. М., Яблонський В. Ф. Методи та засоби оцінювання параметрів абонентських ліній зв'язку. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006.– 139 с.
4. Денисьева О. М. Цифровые системы передачи для абонентских линий // Вестник связи. - №9. – 1995. – С. 37-38.
5. Соколов Н. А. Эволюция городских телефонных сетей. – Пермь: ИТОО „Книга”, 1994. – 375 с.
6. Гроднев И. И., Верник С. М., Кочановский Л. Н. Линии связи. – М.: Радио и связь, 1995. – 488 с.
7. Судовцев В. А., Судовцев А. В. Терминология в электросвязи. – М.: Радио и связь, 1994. – 160 с.
8. Смолянский М. Э. Проектирование линейных сооружений ГТС. – М.: Радио и связь, 1989. – 176 с.
9. Дубровский Э. П. Канализационно-кабельные сооружения связи. – М.: Высшая школа, 1991.– 320 с.
10. Овсянников А. И., Колесников В. А., Цибулин М. К. Основы проектирования сооружений связи: Учебное пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1991. – 232 с.
11. Владимиров В. В., Фомин И. А. Основы районного планирования. – М.: Высшая школа, 1995. – 224 с.
12. Квазиэлектронные и электронные АТС / М. Ф. Лутов, М. А. Жарков, П. А. Юнаков. – 2-е издание, перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1988. – 264 с.
13. Стеклов В. К., Беркман Л. Н. Проектування телекомунікаційних мереж: Підручник для вузів / Під ред. В. К. Стеклова. – К.: Техніка, 2002. – 792 с.
14. Кириллов В. И. Многоканальные системы передачи: Учебник для вузов.– М.: Новое знание, 2002. – 751 с.
15. Иванов А. Б. Контроль соответствия в телекоммуникациях и связи. – М.: САЙРУС СИСТЕМС, 2000. – 375 с.
16. Стеклов В. К., Беркман Л. Н. Телекомунікаційні мережі: Підручник для вузів. – К.: Техніка, 2001. – 392 с.
17. Математичні основи теорії телекомунікаційних систем / В. В. Поповський, С. О. Сабурова, В. Ф. Олійник, Ю. І. Лосєв, Д. В. Агеєв та ін.: За загальною редакцією В. В. Поповського. – Харків: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. – 564 с.

18. Цифровая связь: Справочник / И. П. Панфилов, В. К. Стеклов, М. Л. Бирюков и др.; Под ред. В. К. Стеклова. – К.: Техніка, 1992. – 230 с.
19. Цифровая сельская связь / И. В. Ситняковский, В. И. Мейкман, Б. Н. Маслицкий; Под ред. М. Д. Венедиктова. М.: Радио и связь, 1994. – 248 с.
20. В. О. Гребенніков, В. В. Хиленко. Про стратегію і тактику інформаційного розвитку України. Частина 3. Розвиток проводових мереж доступу / Зв'язок. – 2008. - № 3, 4 – С. 2-8.
21. В. О. Гребенніков, В. В. Хиленко. Про стратегію і тактику інформаційного розвитку України. Частина 4. Розвиток мереж радіодоступу / Зв'язок. – 2008. - № 3, 4 – С. 13-21.
22. Framework recommendation on functional access networks (AN). Architecture and function, access types, management and service node aspects. Recommendation G.902. ITU-T, 1996.
23. IP access network architecture. Recommendation Y.1231. ITU-T, 1996.
24. Asymmetrical digital subscriber line (ADSL) transceivers. Recommendation G.992.1 ITU-T, 1999.
25. Asymmetrical digital subscriber line (ADSL) transceivers – Extended bandwidth ADSL2 (ADSL2+). Recommendation G.992.5 ITU-T, 2005.
26. Architectural framework for delivery of time-critical services over cable television networks using cable modems. Recommendation J.160 ITU-T, 2005.
27. IP Cablecom2 Architecture Framework – Main document. Recommendation J.360 ITU-T, 2006.
28. Corning Cable Systems Evolant Solutions for FTTx Networks. www.corning.com/cablesystems.
29. Asia fiber optic superstore online. Product Catalog. www.go4fiber.com.
30. Functional requirements and architecture of the NGN release 1. ITU-T Recommendation Y.2012 (09/2006).
31. A comparative Analysis of Mobile WiMAX Deployment Alternatives in the Access Network // WiMAX Forum, May 2007.
32. Dahlman Eric et al. The 3G Long-Term Evolution – Radio Interface Concepts and Performance Evaluation // Ericsson Research. September, 2006. (www.ericsson.com/technology/tech_articles/)
33. Commonalities between CDMA2000 and WCDMA Technologies // Qualcomm. October, 2006. (www.qualcomm.com/common/documents/white_papers/).
34. Мікрохвильові технології в телекомунікаційних системах / Т. М. Наритник, В. П. Бабак, М. Ю. Ільченко, С. О. Кравчук. – К.: Техніка, 2000. – 304 с.

Навчальне видання

Геннадій Григорович Бортник
Василь Мартинович Кичак
Олександр Володимирович Стальченко

Системи доступу

Підручник

Редактор Т. Старічек
Оригінал-макет підготовлено О. Стальченком

Підписано до друку 22.12.2010 р.
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 19,01.
Наклад 500 (1-й запуск 1-150) прим. Зам. № 2010-200.

Вінницький національний технічний університет,
навчально-методичний відділ ВНТУ,
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-85-32.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК №3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-85-32.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК №3516 від 01.07.2009 р.