

ADSL

Autor: Administrator
11.08.2007.
Zmieniony 15.08.2007.

3.2 ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line).

3.2.1 Wstęp.

Bezkonkurencyjna do niedawna technologia ISDN z trudem odpiera ataki ze strony nowych modemów 56k. Tymczasem nie jest to kres możliwości linii telefonicznych - modemy ADSL pozwalają uzyskać zwiększone ponad stukrotnie transfery danych. Istnienie skrótu ADSL jest najlepszym dowodem na to, że nawet Andy Grove i Bill Gates czasami się mylą. Przed niespełna rokiem szef Intela i założyciel Microsoftu wypowiedzieli się na temat przyszłości wymiany informacji. Obydwaj zgodnie twierdzili wówczas, że przepustowość łączy telefonicznych stanowi wąskie gardło całego światowego systemu teleinformatycznego. Okazuje się, że nikt nie chce brać na siebie odpowiedzialności za żółwie tempo w jakim informacje wyświetlane są w oknie przeglądarki WWW. Sposobem uniknięcia problemów związanych z przepustowością, przynajmniej na ostatnim odcinku łączącym internautów z siecią, jest asymetryczna cyfrowa linia abonencka. Wykorzystując starą infrastrukturę (okablowanie) pozwala osiągnąć wspomniane wcześniej transfery dochodzące do 9 megabitów na sekundę. Opracowano już wiele odmian tej technologii (xDSL), jednak żadna z nich nie jest tak obiecująca jak ADSL. Pierwsze wersje systemu ADSL (nazwane później ADSL-1) umożliwiały transmisję w kierunku do abonenta z przepustowością 1.5 Mbit/s (1664 kbit/s w paśmie duplexowym) przy długości pętli abonenckiej ok. 5,5 km. Przeznaczone były głównie do transmisji ruchomych obrazów skompresowanych za pomocą algorytmu MPEG-1 i umożliwiały odtwarzanie jednego strumienia wideo jakości VHS. Jednak niektóre sekwencje ruchomych obrazów (np. relacje sportowe) dają po kompresji strumień danych o większej przepustowości, poza tym użytkownik może wymagać dostępu do więcej niż jednej usługi równocześnie. Wprowadzono więc system ADSL-2. Posiadał on zwiększoną przepustowość (dla 3 km przy długości pętli ok. 3.5 km). Używany dzisiaj termin ADSL jest utożsamiany z systemem ADSL-3. Umożliwia on transmisję sygnałów z przepustowością do ok. 9 Mbit/s w kierunku "w dół" (do abonenta) oraz do ok. 1 Mbit/s w kierunku "w górę" (kanał zwrotny od abonenta).

Przepustowość 8 Mbit/s (simpleks) przeznaczona jest do wykorzystania w Europie i umożliwia transmisję czterech rozgłoszeniowych kanałów wideo o przepustowości 2 Mbit/s. Podane wyżej wartości dotyczą przepustowości danych użytkownika (payload.) Całkowita szybkość transmisji w łączy jest nieco większa i dla sygnału o przepustowości 8,192

Mbit/s wynosi ok. 9 Mbit/s. Należy zaznaczyć, że zastosowanie systemu ADSL nie jest ograniczone do pary miedzianej. Obecnie prowadzone są prace nad możliwością wykorzystania systemu ADSL w sieciach z kablem koncentrycznym oraz bezprzewodowych.

3.2.2 Zarys technologii.

Ogólne informacje na temat ADSL

Modem ADSL można sobie wyobrazić jako zespół wielu klasycznych modemów naraz, równocześnie transmitujących dane. Rozwiązanie takie, w przeciwieństwie do zastosowania jednego szerokopasmowego kanału, daje większą odporność na zakłócenia. W wypadku występowania silnych zakłóceń w określonych pasmach częstotliwości transmisja jest spowalniana (bądź nawet całkowicie wyłączana!) jedynie w kanałach odpowiadających tym częstotliwościom, pozostałe kanały natomiast pracują bez zmian. Sumaryczne spowolnienie transmisji jest zatem o wiele mniejsze, niż gdyby odnosiło się ono do całego pojedynczego kanału. Ponieważ modem ADSL nie używa pasma 0-4 kHz, równocześnie z transmisją danych możliwe jest całkowicie niezależne wykorzystywanie na tej samej linii telefonu (dla zwykłego modemu jest to oczywiście niemożliwe, a w przypadku ISDN wymaga przeznaczenia na transmisję danych tylko jednego z dostępnych użytkownikowi dwu kanałów, czyli ograniczenia się do przepustowości 64 kb/s).

Modem ADSL i telefon przyłączone są do linii za pośrednictwem tzw. splittera prostego filtra rozdzielającego pasmo częstotliwości odbieranego sygnału: sygnały o częstotliwościach poniżej 4 kHz trafiają do telefonu, powyżej do modemu. Analogiczny splitter separuje sygnał na wejściu centrali, kierując niskie częstotliwości do jej części "telefonicznej", wysokie zaś - do przyłączonego na stałe do danej linii modemu ADSL, a następnie do multipleksera (tzw. DSLAM), poprzez który modemy dołączone są do sieci transmisji danych.

Z powyższego opisu wynika, że dla skorzystania z ADSL nie wystarczy modem. Niezbędne są odpowiednie działania ze strony operatora telekomunikacyjnego – doprowadzenie sieci transmisji danych do centrali oraz wyposażenie linii abonenckiej od strony tejże centrali w splitter i modem. Hamuje to w pewnym stopniu możliwości rozpowszechniania się nowej technologii, gdyż najpierw operatorzy telefoniczni muszą poczynić odpowiednie inwestycje. ADSL nie wyprze też całkowicie z użytku normalnych modemów ani ISDN. Nie można bowiem przez ADSL, w przeciwieństwie do zwykłego modemu, połączyć się z dowolnym innym komputerem wyposażonym w analogiczny modem. Można to zrobić jedynie z sieci transmisji danych, do której przyłączona jest

centrala i dostępne w niej serwery. Wystarczy to, rzecz jasna, do zrealizowania dostępu do Internetu jednak abonent ADSL będzie w wyborze providera Internetu dosyć ograniczony - analogicznie zresztą jak użytkownik posiadający dostęp do Internetu poprzez telewizję kablową. Ta ostatnia postrzegana jest zresztą jako główny potencjalny konkurent dla ADSL.

Przy szybkościach transmisji zapewnianych przez ADSL zupełnie realne jest wszak zrealizowanie w tej technologii transmisji obrazu telewizyjnego. Dopiero ADSL daje zatem szansę zrealizowania prawdziwie zintegrowanej sieci telekomunikacyjnej, mieszczącej w sobie transmisję dźwięku, obrazu i danych jest to coś, co obiecywała, lecz czego nie była w stanie do końca zrealizować z uwagi na zbyt małą prędkość transmisji, sieć ISDN.

Przekaz asymetryczny.

Technologia ADSL jest jedną z propozycji cyfrowych technologii DSL umożliwiających szerokopasmowy dostęp abonentów do publicznych sieci telekomunikacyjnych i Internetu. Stanowi etap przejściowy w sytuacjach, gdzie już istnieje tradycyjna abonencka sieć miedziana (skrętka linii telefonicznej), a budowa od podstaw nowoczesnych światłowodowych linii opartych na technologiach FTTL - przy braku sieci hybrydowej HFC (Hybrid Fiber Coax) - nie jest uzasadniona ekonomicznie. Podstawową cechą ADSL jest zróżnicowanie przepływności łącza w zależności od kierunku transmisji. W kierunku dosyłowym do abonenta (downstream) pasmo jest zwykle dziesięciokrotnie szersze niż w przeciwnym kierunku - "w górę" (upstream), w stronę sieci. Jest to spowodowane dominacją usług o charakterze rozsiwczym (telewizja, telewizja interaktywna, wideo) nad stosunkowo niewielkim ruchem generowanym przez abonenta, a związanym z interakcją tych usług.

Szybki postęp w technologiach telekomunikacyjnych doprowadził do powstania wielu wersji sieci ADSL - różniących się zasięgiem i przepływnością informacji - powiększających stopniowo zakres aplikacji dostępnych przez sieci ADSL.

Chronologicznie pierwszą wersją

sieci w tej technologii, nazwaną później ADSL-I, była sieć abonencka o przepływności 1,536 Mb/s (T1) lub 2,048 Mb/s (E1), z kanałem zwrotnym 16 kb/s i działająca w zasięgu 4,8 km. Odmianą tej wersji jest symetryczne łącze SDSL (Symmetric DSL) o dwukierunkowej (duplex) przepływności 384 kb/s, o maksymalnym zasięgu 5,4 km (rys.1), zastępowane coraz częściej sieciami cyfrowymi o większej szybkości. Transmisja cyfrowa w tych sieciach umożliwiała przekaz głosu, dźwięku i obrazów z kompresją uzyskiwaną w standardzie MPEG-1 (filmy, obrazy wideo, przeglądanie, przewijanie, cofanie, stop klatka), o jakości porównywalnej z obrazami uzyskiwanymi z magnetowidu. W 1992 r. pojawiła się technologia drugiej generacji ADSL-2, umożliwiająca przekazy w kierunku abonenta z szybkością 3,072 Mb/s lub 3,096 Mb/s i kanałem zwrotnym 64 kb/s w stronę sieci. Jednak nie wzbudziła ona szerszego zainteresowania abonentów. Rozwinięciem tej wersji jest współczesna jej odmiana, ADSL-3, działająca z maksymalną przepływnością w kierunku dosyłowym 6,144 Mb / s (wersja europejska 8,448 Mb / s) i kanałem powrotnym o szybkości do 576 kb / s. W sieciach ADSL-3 są stosowane zarówno standardy MPEG-1 (1,5 Mb/s), jak też strumienie MPEG-2, umożliwiające uzyskiwanie obrazów o telewizyjnej jakości. Zasięg poprawnego odbioru sygnału w sieci jest ściśle związany z przepływnością uzyskiwaną w poszczególnych odcinkach dwuprzewodowej skrętki miedzianej (przekrój przewodów) i w zależności od producenta urządzeń DSL zawiera się w granicach od 2,5 km do 4,5 km (typowo 3,6 km), przy zmianach przepływności od 1,5 Mb/s do 8 Mb/s.

Organizacja ADSL Forum zapowiada

znaczne poszerzenie przepływności w sieciach cyfrowych DSL przez wprowadzenie kolejnej, asymetrycznej technologii VDSL (Very high speed DSL), umożliwiającej transmisję sygnałów telewizyjnych wysokiej rozdzielczości HDTV (High Density TV). Przewidywane szybkości transmisji VDSL, wynoszące: 12,96 Mb/s, 25,96 Mb/s i 51,84 Mb/s, mają dostarczać usługi multimedialne abonentom znajdującym się w zasięgu 1,5 km od aktywnych punktów dystrybucyjnych sieci. W przeciwnym kierunku, do sieci transportowych SDH/ATM, ma być zapewniona szybkość z zakresu 1,6-26 Mb / s.

3.2.3 Usługa POTS a ADSL.

Zasadniczą cechą technologii ADSL

jest dostawa cyfrowych usług szerokopasmowych przez istniejącą abonencką linię telefoniczną (skrętka miedziana), z zachowaniem ciągłości dotychczasowych analogowych usług telefonicznych klasy POTS. Ta popularna i najstarsza usługa zajmuje naturalne pasmo przenoszenia w kanale o szerokości około 4 kHz (dokładniej pasmo w zakresie częstotliwości 300-3400 Hz), najniższa natomiast częstotliwość cyfrowych przekazów ADSL w paśmie przenoszenia "w górę"

zaczyna się od około 25 kHz. Pasma ochronne o szerokości ponad 20 kHz (rys. 9), rozdzielające usługi analogowe od cyfrowych, stanowi od strony technicznej wystarczającą zaporę przed wzajemną interferencją różnych technologii przenoszenia. Rozdzielanie i łączenie sygnałów analogowych i cyfrowych dokonuje się w sprzęgaczach (splitter) umieszczanych po obydwu stronach łącza ADSL i wyposażonych w aktywne filtry pasmowe o odpowiednich charakterystykach przenoszenia .

Funkcje tego zespołu sprzęgającego są rozbudowane. Dwa urządzenia sprzęgające tworzą inteligentny filtr krzyżowy, który oprócz funkcji separujących umożliwia wyrównywanie poziomów sygnałów, testowanie, rozpraszanie mocy, wzmocnienie odporności na szумы kanałowe i zapobieganie interferencji międzykanałowej. Szczególnie ciężkie warunki pracy sprzęgaczy (przesłuchy do kanału cyfrowego) powstają w czasie dekadowego wybierania numerów i generowania sygnałów dzwonienia - nieraz o znacznej mocy widmowej sygnału transmitowanego w torze analogowym. Dodatkowym utrudnieniem jest rygorystycznie wymagana stabilna praca toru analogowego POTS, nawet w przypadku awaryjnego odłączenia lub uszkodzenia modemu szerokopasmowego, a także w przypadku odcięcia zasilania tych urządzeń.

U abonenta urządzenie sprzęgające jest instalowane alternatywnie: bądź wewnątrz modemu ADSL, bądź - ze względu na bezpieczeństwo i w celu podwyższenia dyspozycyjności toru analogowego - jako wolno stojące. W centrali systemu komutacyjnego z powodu ograniczonej przestrzeni montażowej sprzęgacze są zwykle integrowane z modemem lub multiplekserem ADSL, tworząc jedną strukturę fizyczną obsługującą pojedynczego abonenta lub grupę abonentów.

3.2.4 Prędkość transmisji.

ADSL to skrót od Asymmetric Digital Subscriber Line czyli asymetryczna cyfrowa linia dostępu. W przypadku ADSL mamy do czynienia z dwoma modemami podłączonymi do linii telefonicznej, czyli do pary miedzianych przewodów. Dane przesyłane są asymetrycznie z prędkościami zależnymi od kierunków transmisji: do użytkownika z maksymalną prędkością 9 Mb/s do providera z prędkością do 800 kb/s. W ten sposób informacje transmitowane są prawie 140 razy szybciej niż w sieci ISDN i niemal tak szybko jak w lokalnej sieci Ethernet. Przez bardzo długi okres sieć telefoniczna uznawana była za nieprzystosowaną do komunikacji szerokopasmowej i przesyłania dużych strumieni danych. Nowe modemy 56k transmitują po drucie telefonicznym 56 kilobitów na sekundę (przynajmniej w kierunku do użytkownika), a nie jest to bynajmniej granica możliwości sieci telefonicznej. Kanał telefoniczny przenosi pasmo od 300 do 3300 Hz i tylko taki zakres częstotliwości ma do swojej dyspozycji modem. Całe pasmo leżące powyżej tego zakresu jest niewykorzystywane i zostaje wytłumione. Pasma telefonicznego nie ograniczają zatem cienkie, niedostatecznie ekranowane przewody miedziane, ale urządzenia teletransmisyjne działające w centralach telefonicznych.

Szybkość transmisji ADSL zależy jednak bardzo mocno od odległości pomiędzy modemami. Dla przykładu, jeden pełny kanał telewizji cyfrowej wymaga strumienia danych o przepustowości 6 Mb/s, a najbliższy węzeł sieci nie może być oddalony od mieszkania abonenta o więcej niż 1,5 km. Do realizacji usług typu wideo na żądanie ("video-on-demand") wystarcza już sieć o przepustowości 1,5 megabitów na sekundę. Odległość od najbliższego węzła takiej sieci może wynosić w tym przypadku nawet 5,5 km. Mniejsze znaczenie mają odległości pomiędzy poszczególnymi węzłami sieci, ponieważ łączy między nimi posiadają znacznie większą przepustowość.

Najważniejszym plusem tego rozwiązania jest to iż dwudrutowe linie doprowadzone są do każdego z 700 milionów abonentów telefonicznych na całym świecie. Tak więc ADSL potrafi zmienić dotychczasową sieć dostępu ograniczoną do głosu tekstu i grafiki niskiej rozdzielczości w ścieżkę komunikacyjną dla prawdziwie interaktywnych multimedii. Możliwe zatem staje się podłączenie tych abonentów do wielu nowych usług, takich jak szybki dostęp do internetu, wideo na żądanie, zakupy domowe czy zdalny dostęp LAN, co stanowi wyzwanie dla firm telekomunikacyjnych.

Zgodnie z obowiązującymi normami modem ADSL powinien mieć możliwość pracy z prędkościami wyszczególnionymi w tabeli 2.

Norma amerykańska ANSI

Norma europejska ETSI

Do abonenta (Mb/s)

Od abonenta (kb/s)

Do abonenta (Mb/s)

Od abonenta (kb/s)

6,144

640

8,192

640

4,608

384

6,144

384

3,072

160

4,096

160

1,536

64

2,048

16-176

Tabela 2. Normy przepływności w technologii ADSL.

Jednakże prędkość przesyłania danych nie zależy wyłącznie od możliwości samego modemu. Trzeba bowiem wziąć pod uwagę, że sygnał jest przesyłany po dwużyłowym kablu miedzianym, którego tłumienność dla częstotliwości 300 kHz może dochodzić do 90 dB, co decyduje, że maksymalna przepływność systemu jest determinowana przez rodzaj i stan techniczny kabla. Obrazuje to tabela 3. oraz rysunek 2.

Przepływność (Mb/s)

Średnica przewodów
(mm)

Długość linii (km)

2

0,5

5,5

2

0,4

4,6

6.1

0,5

3,7

6.1

0,4

2,7

8.1

0,5

2,7

Tabela3.
Przepływność w zależności od średnicy i długości kabla.

Rysunek 2.

Najważniejszą cechą modemów ADSL

jest to, że w momencie inicjacji połączenia modem sam rozpoznaje linię i decyduje o optymalnej prędkości transmisji. Duża asymetria prędkości transmisji (od i do abonenta) jest wynikiem budowy i specyfikacji sieci dostępowych. Kabel prowadzony od abonenta zbiega się, w miarę odległości, w coraz większe wiązki przewodów. Sytuacja taka sprzyja sprzężeniom sygnałów, które to zwiększają się w miarę odległości i wzrostu widma częstotliwości przesyłanego sygnału (ADSL wykorzystuje widmo do 1,1 MHz). Sytuację taką próbuje się poprawić przez odpowiednie splecenie par miedzianych, w praktyce jednak przenikanie sygnału pomiędzy kablami zawsze istnieje. Okazuje się, że sprzężenia są dużo mniejsze jeżeli prześlemy sygnały niesymetryczne. W tym przypadku jest to cecha nie przeszkadzająca w istnieniu systemu, który stworzony został w celu dostarczenia usług wymagających dużych przepływności w kierunku abonenta natomiast małych w kierunku odwrotnym. Dotyczy to zarówno usług takich jak wideo na żądanie, zakupy domowe jak i również szybkiego dostępu do Internetu. W każdym z wymienionych przypadków kanałem zwrotnym abonent wprowadza swoje żądania i kontroluje tylko strumień danych płynących w kanale do użytkownika.

3.2.5 Struktura sieci z wykorzystaniem modemów ADSL.

Rysunek 3

Wykorzystanie sieci telefonicznej

do przekazów cyfrowych jest najtańszym sposobem szerokopasmowego dostępu, oznacza jednak tworzenie heterogenicznej sieci telekomunikacyjnej współpracującej z techniką światłowodową w wyższych warstwach systemów transportowych (ATM, SDH/SONET). W żadnym przypadku przepływność tego ostatniego odcinka pętli abonenckiej nie może być niższa niż 2 Mb / s (Europa).

Architektura asymetrycznej sieci

dostępowej ADSL zakłada wykorzystanie istniejącej infrastruktury kablowej (rys. 3) w postaci skrętki miedzianej, w której transmisja przebiega równocześnie w obu kierunkach na jednej parze przewodów. Brak zatwierdzonych standardów europejskich dla szerokopasmowej sieci dostępowej klasy DSL powoduje stosowanie przez producentów wielu niespójnych metod kodowania, multipleksacji i transmisji cyfrowej w przewodowych liniach telefonicznych.

Dla istniejących kabli

miedzianych, w zależności od przekroju przewodu, możliwe jest przesłanie sygnału cyfrowego (DSL) do abonenta oddalonego nawet do 4,8 km z nominalną przepływnością binarną 2 Mb/s (E1). Zwiększanie tej szybkości powoduje prawie liniowe skracanie zasięgu sieci, aż do kilkuset metrów przy maksymalnej przepływności 622 Mb/s, osiąganego w czteroparowej nieekranowanej skrętce miedzianej (okablowanie SISTIMAX SCS - AT&T).

Do działania systemu ADSL

konieczne są dwa modemy na dwóch końcach miedzianej linii dostępowej. Jeden z nich znajduje się u abonenta i podłączony zostaje do niego pojedynczy PC lub lokalna sieć komputerowa. Istnieje również możliwość podłączenia set-top-box'a, który jest urządzeniem pomiędzy siecią, a zwykłym lub cyfrowym odbiornikiem telewizyjnym. Drugi modem znajduje się w stojaku w najbliższej centrali telefonicznej. Na końcach linii abonenckiej znajdują się również POTS Splittery. Są to urządzenia działające na zasadzie filtru, a ich zadaniem jest odseparowanie zwykłej usługi telefonicznej od reszty danych przepływających przez linię. Bardzo ważną bowiem zaletą technologii ADSL jest to, że normalna usługa telefoniczna działa zupełnie niezależnie od reszty systemu, nawet w przypadku uszkodzenia modemów. Modem w centrali poprzez interfejs np. ATM pobiera dane z różnych serwerów (wideo, WWW, itd...) i rozdziela na poszczególnych użytkowników. Oczywiście rozwiązania techniczne poszczególnych elementów są inne dla różnych firm.

3.2.6 Modulacje i sposób przesyłania danych.

ADSL wykorzystuje znacznie

szersze pasmo częstotliwości niż zwykły telefon czy modem. Wymaga to jednak pewnych dodatkowych zabiegów. Linia telefoniczna pozostaje wprawdzie ta sama, jednak na obu jej końcach muszą być zainstalowane modemy ADSL. Różnica pomiędzy tradycyjnym analogowym modemem, a modemem ADSL polega na tym, że tego drugiego nie można podłączyć do dowolnego gniazdka telefonicznego. W centrali telefonicznej musi być jeszcze zainstalowane współpracujące z nim urządzenie. Tak więc ADSL należy rozumieć bardziej jako usługę, a nie rodzaj modemu. Kiedy

łącze ADSL zostanie zainstalowane i uruchomione, możemy jak dawniej rozmawiać przez telefon przesyłając w tym samym czasie dane. Specjalny układ, tzw. splitter, rozdziela sygnał mowy od strumienia bitów. Modem ADSL nie korzysta z zakresu częstotliwości zarezerwowanego dla sygnału mowy. W dolnym, wąskim paśmie telefonicznym niewiele zmieniło się od czasu, gdy Graham Bell opatentował swój wynalazek w roku 1876. Leżące powyżej, szerokie pasmo ADSL pozwala natomiast błyskawicznie poruszać się w ogromnych zasobach światowej pajęczyny.

Modemy ADSL wykorzystują pasmo częstotliwości od 0 Hz do 1.1 MHz. Sygnał telefoniczny transmitowany jest w dotychczasowym paśmie, tzn. do 4 kHz. Dane cyfrowe są natomiast transmitowane w paśmie 26kHz - 1.1 MHz. Górna granica częstotliwości wynika z tłumienia skrętki dla wysokiej częstotliwości, dolna z zapewnienia nie występowania interferencji między obydwojema typami danych.

Zalecenie ANSI T1.413 określa dwie kategorie modemów ADSL, różniące się między sobą, sposobem podziału pasma transmisyjnego:

- nazywana FDM (Frequency Division Multiplexing)
dzieli pasmo 1.1 MHz na trzy odseparowane od siebie części

pasmo telefoniczne: do 4 kHz;

Jest

to pasmo podstawowe wykorzystywane do klasycznej usługi telefonicznej (POTS) - transmisji dźwięku. W przypadku awarii urządzeń ADSL lub gwałtownego spadku jakości połączenia wywołanego np. pogorszeniem parametrów linii, usługa POTS nie jest zakłócona dzięki bezpośredniej jej transmisji i zastosowaniu filtrów biernych chroniących przed zakłóceniami podczas normalnej transmisji danych w pozostałych pasmach częstotliwości.

pasmo transmisyjne “w górę”;: od 20 kHz do 134 kHz, (ang. upstream)

pasmo transmisyjne “w dół”;: od 138 kHz do 1.1 Mhz
(ang. downstream)

- z eliminacją echa EC (Echo Cancellation). Różni się ona od poprzedniej tym, że pasma w górę i w dół zachodzą na siebie. Częstotliwości graniczne pasm są następujące:

pasmo telefoniczne: do 4 kHz,

pasmo transmisyjne w górę: od 26 kHz do 134 kHz, (ang. upstream)

pasmo transmisyjne "w dół": od 26 kHz do 1.1 Mhz (ang. downstream)

Ponieważ pasma "w górę" i "w dół" zachodzą na siebie, konieczne jest stosowanie mechanizmu eliminacji echa w odbiorniku, podobnego do stosowanego w modemach V.34. Jego działanie polega na odejmowaniu od sygnału odebranego przez odbiornik sygnału nadawanego przez nadajnik, w wyniku czego otrzymuje się sygnał przychodzący. Zastosowanie modemu kategorii 2 umożliwia osiągnięcie większych szybkości transmisji w kierunku w dół, zwłaszcza w przypadku linii o dużej długości, kiedy to wyższe częstotliwości są silniej tłumione.

Rysunek 4.

Pasma upstream i downstream podzielone są na podkanały o szerokości 4 kHz. W każdym z nich odbywa się transmisja danych z cyfrową modulacją fali nośnej - osobnej nośnej dla każdego podkanału. Prace nad ADSL rozpoczęła w 1989 roku firma Bellcore. Małe w tym czasie zainteresowanie techniką szerokopasmową oraz rywalizacja dwóch konkurencyjnych metod modulacji - CAP i DMT utrudniły rozpowszechnienie się nowego standardu. Metoda CAP (Carrierless Amplitude and Phase Modulation) zbliżona jest do modulacji kwadraturowej (QAM) powszechnie stosowanej w tradycyjnych modemach. W metodzie tej wykorzystuje się 16 różnych kombinacji wartości amplitudy i przesunięcia fazowego. Każdy z utworzonych w ten sposób 16

sygnałów odpowiada innej kombinacji 4 bitów. Ponieważ występuje dokładnie 16 różnych ciągów złożonych z 4 bitów, cały bajt reprezentowany jest przez 2 sygnały. Każda z tych modulacji jest bardzo zaawansowana technologicznie. Dla przykładu najprostsza cyfrowa modulacja amplitudy pozwala osiągnąć efektywność wykorzystania pasma równą $1\text{bit/s}\cdot\text{Hz}$, zaś QAM (Quadrature Amplitude Modulation) odpowiednio $2\text{bit/s}\cdot\text{Hz}$. Natomiast DMT lub Echo Cancellation teoretycznie pozwalają osiągnąć wydajność kodu rzędu $15\text{bitów/s}\cdot\text{Hz}$ co pozwala uzyskać następujące przepustowości: $1,5\text{ Mb/s}$ w kierunku od abonenta do usługodawcy oraz $14,9\text{ Mb/s}$ w kierunku przeciwnym. Główną zaletą modemów ADSL jest możliwość dopasowania parametrów połączenia do maksymalnych możliwości skrętki miedzianej. Przed rozpoczęciem właściwej transmisji urządzenie u abonenta i centrali dobierają dla każdego podkanału optymalną, możliwie dużą, ale nie powodującą jeszcze zbyt wielu błędów, prędkość transmisji. Dobór ten następuje przez nałożenie na zakładaną rozdzielczość bitową charakterystyki częstotliwościowej wykorzystywanej aktualnie linii miedzianej. Oczywiście im dłuższy jest odcinek miedzianego kabla tym gorsze są jego parametry częstotliwościowe i w związku z tym gorsza przepływność możliwa do uzyskania. Kształtowanie optymalnej charakterystyki przepływności odbywa się nie tylko przed rozpoczęciem transferu danych, ale również podczas pracy, jest to zatem metoda adaptacyjna, reagująca na zmiany parametrów połączenia w czasie. Sens podziału pasma na podkanały jest ściśle związany z tym właśnie zjawiskiem. W przypadku obniżenia się wartości odstępów szum-sygnał, który determinuje maksymalną efektywność wykorzystania pasma, następuje spadek przepływności. Jeśli jest to pasmo nie dzielone, to spadek jest dość znaczny. Natomiast przy paśmie podzielonym na podkanały, przy zakłóceniu w wąskim paśmie, przepływność zostaje zmniejszona tylko w objętych zakłóceniem kanałach, natomiast pozostałe pracują bez zmian. Możliwe jest przeniesienie danych z zakłóconych kanałów do tych, które mają jeszcze rezerwy transmisyjne. W ten sposób straty przepływności są minimalizowane gdyż dotyczą tylko poszczególnych podkanałów, a nie całego pasma. Przy poważnych zakłóceniach możliwe jest nawet całkowite wyłączenie podkanałów objętych zakłóceniem.

W modulacji DMT pasmo downstream podzielone jest na 256 kanałów o szerokości 4 kHz każdy. Pasma upstream podzielone jest podobnie, lecz liczba kanałów wynosi 32. W każdym z kanałów występuje odrębna częstotliwość nośna. Kanał o numerze 64 ($f = 276\text{ kHz}$) jest zarezerwowany na częstotliwość pilotującą. Powinien on zawierać stałe bity o wartości 0 generowane przez modem w centrali (ATU-C). Użycie pilota pozwala na odpowiednie dobranie przez modem abonenta (ATU-R) częstotliwości próbkowania. Dzięki wykorzystaniu podzakresów o szerokości około 4 kHz modem DMT zachowuje się jak kilkanaście zwykłych modemów połączonych równolegle. Zgodnie z tą zasadą pracują ADSL Network Termination Box i Xpress Link D. Wszystko wskazuje na to, że DMT rozstrzygnęło walkę o standard na swoją korzyść.

3.2.7 Kodowanie sygnału w skrętce miedzianej.

Uzyskanie wysokich przepływności bitowych nie jest możliwe za pomocą "zwykłych" metod kodowania sygnału cyfrowego - do tej pory używanych w transmisji danych. Nawet powszechnie stosowane w przekazach cyfrowych HDSL kodowanie 2BIQ (rys. 5), o dobrej skuteczności widmowej $2\text{b/s}\cdot\text{Hz}$, daje przepływność bitową tylko 2 Mb/s , przy szerokości pasma 1 MHz. Ponieważ zwiększanie szerokości pasma w skrętce powyżej 1 MHz nie jest wskazane ze względów technicznych (tłumienie,

rozproszenie, radiacja), jedynym sposobem uzyskania wyższych przepływności jest zastosowanie bardziej efektywnych metod kodowania sygnałów cyfrowych. Obecnie znanych jest kilka wysoko wydajnych technik kodowania cyfrowego: QAM, CAP i DMT, wśród których głównie dwie ostatnie znalazły szersze zastosowanie w asymetrycznej technologii przekazu ADSL.

Rysunek 5

Asymetryczna transmisja z kodowaniem CAP

Podstawowym celem kodowania CAP (Carrierless Amplitude and Phase) - pełniącego funkcje modulacji i konwersji sygnału - jest zmniejszenie wymagań na szerokość pasma kanału, potrzebną do przesłania sygnału o odpowiedniej prędkości bitowej. Charakterystyka widmowa (rys. 6) kanału transmisyjnego (odpowiadająca skrętce miedzianej w technologii ADSL) ma dwa rozdzielone częstotliwościowo pasma: dla usług cyfrowych ADSL/CAP (około 1,1 MHz) oraz tradycyjnych analogowych usług POTS (3,1 kHz) przekazywanych tym samym medium transportowym. Taki rozdział częstotliwości umożliwia całkowicie niezależne korzystanie z szerokopasmowych usług oferowanych w technologii ADSL w stosunku do już istniejących usług analogowych POTS (3,1 kHz) lub cyfrowych ISDN realizowanych za pomocą jednej linii telefonicznej.

Rysunek 6

W paśmie usług cyfrowych z kodowaniem CAP wyróżnia się dwa nie nakładające się podpasma: dla kierunku

"w dół" - w stronę abonenta oraz "w górę" dla multimedialnych interakcji użytkownika, z uwzględnieniem wymaganej asymetrii przepływności bitowych. Kodowanie i odwzorowanie strumienia danych podlegających modulacji CAP (rys. 7) dokonuje się za pomocą dwóch wzajemnie ortogonalnych ciągów (nośnych), które mogą być przedstawione w postaci dwuwymiarowej macierzy. W zależności od wymaganej skuteczności kodowania CAP otrzymuje się różne wielkości zbiorów zespolonych elementów (grup bitów danych) wyznaczanych potęgą liczby 2 przy dwuwymiarowej macierzy.

Rysunek 7

Opracowany w laboratorium

AT&T (Bell Labs) kod liniowy CAP 64, stosowany często przy kodowaniu sygnałów cyfrowych w technologii ADSL, zawiera osiem wartości symboli (poziomów napięcia, fazy, itp.), co odpowiada macierzy o pojemności $8 \times 8 = 64$ różnych znaków. Każdy znak reprezentuje 6 bitów danych transmitowanego ciągu sygnału cyfrowego (rys. 7a) i jest identyfikowany unikatową parą elementów ortogonalnych przy odbiorze sygnału. W nadajniku dane są dodatkowo skramblowane w celu uzyskania równomiernego rozkładu prawdopodobieństwa występowania każdego z 64 punktów należących do konstelacji, umożliwiając poprawną pracę układów odbiorczych. Dobre rozróżnianie punktów konstelacji po stronie odbiorczej wymaga również stosowania cyfrowego adaptacyjnego filtra korekcyjnego, dynamicznie nadążającego za fluktuacjami punktów w konstelacji - spowodowanych niejednorodnością kanału (zmiany z powodu temperatury, odległości między przewodami, nieciągłości impedancji itp.).

Często stosowana w modemach szerokopasmowych adaptacyjna metoda kodowania RADSL (Rate Adaptive DSL), realizowana metodami programowymi, osiąga najlepsze wskaźniki wykorzystania przepływności kanału i oferuje największe szybkości transmisji w konkretnym fizycznym medium transportowym. Programowa zmiana liczby bitów informacyjnych przypadających na jeden zakodowany symbol (od 3 do 8 bitów), w połączeniu ze zmienną szybkością modulacji symboli (360, 656, 952 Bd), umożliwi dostrojenie szybkości transmisji - dyskretnymi krokami co 320 kb/s - do optymalnej przepływności kanału; dla pasma dosyłowego "w dół" w zakresie szybkości od 680 kb/s do maksymalnej 7,615 Mb/s, dla pasma interakcyjnego "w górę" natomiast również krokami w granicach od 136 kb/s do 1,088 Mb/s.

Kodowanie wieloczęstotliwościowe DMT.

Najnowszym sposobem kodowania sygnałów cyfrowych jest technika wieloczęstotliwościowego kodowania informacji w całym dostępnym paśmie kanału transmisyjnego. W odróżnieniu od CAP technika kodowania DMT (Discrete Multitone Technology) dzieli dostępne spektrum transmisyjne (około 1,1 MHz w sieciach ADSL) na 256 podkanałów (rys. 8), każdy o szerokości 4,31 kHz.

Rysunek 8

Przekaz informacji przebiega równocześnie na wszystkich podnośnych z maksymalnym przyporządkowaniem do 16 bitów danych na każdy podkanał informacji. Liczba bitów danych kodowana w kolejnych podkanałach może być zmieniana w zależności od jakości podkanałów, na którą wpływają fizyczne warunki transmisji, takie jak: długość pętli abonenckiej, tłumienie kanałowe, nieciągłość impedancji, zakłócenia interferencyjne, szum tła kanału, a także zakłócenia wnoszone przez system zasilania. W technologii DMT bity informacji są kodowane kwadraturowo (QAM) - podobnie jak w CAP, ale niezależnie dla wielu podnośnych - co umożliwia inwersja FFT, łącząca modulację w dziedzinie częstotliwości z modulacją w dziedzinie czasu.

Rysunek 9

Nakładające się pasma przenoszenia (rys 9) dla obydwu kierunków transmisji w jednym medium transmisyjnym ADSL/DMT wymagają stosowania układów kasowania echa po obydwu stronach łącza cyfrowego. Natomiast zwiększenie wiarygodności przesyłanej informacji dokonuje się dzięki implementacji zaawansowanych kodów korekcyjnych klasy FEC (Forward Error Correction) i Reeda Solomona, w połączeniu z kodowaniem splotowym.

3.2.8 Porównanie kodowania DMT i CAP.

Dwie techniki efektywnego kodowania sygnałów cyfrowych DMT i CAP są stosowane od niedawna w przekazach przez łącza asymetryczne ADSL. Chronologicznie pierwsza jest technika CAP, stosowana w różnych odmianach od około 20 lat w zwykłych modemach wąskopasmowych (do 56 kb/s), jednak technika kodowania DMT już jest oferowana komercyjnie przez producentów komponentów sieciowych (zwłaszcza na terenie amerykańskim). W Europie, gdzie technologia ADSL pozostaje jeszcze w cieniu ciągle rozwijających się usług cyfrowych ISDN, zainteresowanie szerokopasmowym przekazem cyfrowych dopiero się zaczyna. Od strony użytkownika - nie mającego żadnego wpływu na wybór odpowiedniej techniki kodowania w przekazach cyfrowych - jedynymi istotnymi elementami w ofercie usług ADSL są: ich dostępność, cena i koszt eksploatacji.

Technika kodowania DMT wymaga na ogół większych mocy obliczeniowych niż CAP, także większej mocy pobieranej i traconej w specjalizowanych układach scalonych, co wynika z przeprowadzania wielu złożonych obliczeń korekcji FEC, kasowania echa i adaptacji przepływności w poszczególnych podkanałach. Problemy te komplikują sposób zasilania (i chłodzenia), zwłaszcza w systemach komutacji PABX (Private Automated Branch Exchange), w których każda linia abonencka z ofertą usług ADSL wymaga indywidualnych układów konwersji DMT. Ponieważ w technice DMT stosuje się relatywnie wąskie pasma przenoszenia, to korekcja charakterystyki widmowej nie jest tak istotna jak przy kodowaniu CAP - często nawet nie stosowana. Do niewątpliwych zalet DMT należy jednak stosowanie krótszych programowych pętli adaptacyjnych w podpasmach, co usprawnia szybkie podwyższanie przepływności w miarę poprawy parametrów fizycznych łącza. Ta elastyczność objawia się korzystnie również przy dynamicznej (On Line) rekonfiguracji liczby przesyłanych bitów w podpaśmie, przy unikaniu szkodliwych interferencji EMI (Electro-Magnetic Interference) w zakłócanym podkanałach DMT (rys. 8b).

Z drugiej strony proste procedury kodowania stosowane w technice CAP, zwłaszcza adaptacyjnego typu RADSL/CAP (rys. 3), umożliwiają osiąganie najwyższych przepływności wyższych od standardowej oferty dla konkretnego zasięgu sieci ADSL. Wysoka skuteczność kodowania CAP wynika również z kilkunastoletnich doświadczeń eksploatacyjnych prowadzonych w modemach wąskopasmowych, ciągłego wprowadzania ulepszeń w tych modemach, podnoszenia ich wydajności kodowej oraz instalacji specjalizowanych procesorów sygnałowych DSP (Digital Signal Processor) o coraz większych możliwościach przetwarzania (struktury co najmniej 16-bitowe).

3.2.9 Problemy z wdrażaniem ADSL.

ADSL to technologia z 1993 roku, ale upowszechnienie się jej pozostaje nadal sprawą otwartą i jest tematem zaciekłych sporów inżynierów i ekonomistów. Jak zwykle jednak sprawę przesądzą konsumenci, którzy zaakceptują nową technologię lub odrzucają. Oczywiście odpowiednia polityka cenowa firm telekomunikacyjnych i producentów sprzętu może wydatnie przyczynić się do rozpowszechnienia modemów ADSL wśród zwykłych użytkowników. Nie da się ukryć, że podobnie jak każda nowa technologia, również urządzenia ADSL są stosunkowo drogie i należy się tu liczyć z kosztami po stronie abonenta jak i operatora udostępniającego usługę (zakup lub modyfikacja central, zapewnienie kadry specjalistów, zwiększenie przepustowości łączy na skutek zwiększonego ruchu abonenckiego).

Oficjalnie standard ADSL został zatwierdzony przez grupę roboczą ANSI (ANSI Standard T1E1.413), do którego organizacja ETSI dołączyła swój aneks odzwierciedlający europejskie wymagania w tej dziedzinie. Ponieważ technologia ADSL wciąż się rozwija, przyjęty standard jest nieustannie poszerzany, cały czas są tworzone nowe standardy mające przygotować technologię ADSL do szybkiego wejścia na rynek usług multimedialnych. Wśród potencjalnych nabywców technologii ADSL daje się zauważyć oznaki pewnego wyczekiwania, nadal bowiem istnieją kwestie, które nie zostały do końca wyjaśnione i uporządkowane. Jedną z przeszkód w szybkim wdrażaniu technologii ADSL jest kwestia systemu modulacji zastosowanego w modemach. Od samego początku sprawa ta dzieliła, i niestety nadal dzieli, głównych wytwórców sprzętu ADSL na dwa konkurujące ze sobą obozy. Pierwsza grupa preferuje system modulacji CAP stworzony przez naukowców z firm AT&T i PARADYNE który m.in. funkcjonuje w modemach firmy WESTELL. System ten pomimo iż nadal nie posiada swojego standardu, jako pierwszy pojawił się na rynku i zdążył już sobie zyskać szerokie grono zwolenników, w przeciwieństwie do drugiego systemu DMT firmy AMATI , który cieszy się poparciem takich potentatów branży telekomunikacyjnej, jak ALCATEL, MOTOROLA czy ERICSSON. Do tej pory system DMT nie był gotowy do zastosowania na szeroką skalę i z tego względu nie mógł zaistnieć na rynku, mimo że oficjalnie został zatwierdzony przez ANSI jako standard dla modemów ADSL. Obecnie na rynku pojawiają się modemy wykorzystujące modulację DMT. Niestety są one droższe i bardziej złożone niż te z modulacją

CAP. Ich główną zaletą jest jednak możliwość przesyłania danych przy większych prędkościach, niż oferują to modemy z CAP, poza tym modulacja DMT jest bardziej odporna na szumy. Ponadto na bazie tej modulacji jest rozwijana technologia RADSL, która to pozwala na dostosowanie prędkości przesyłania sygnału do warunków w których jest on przesyłany (długość łącza, tłumienność itd.)

3.2.10 Prognozy.

O tym która z technologii (ISDN czy ADSL) zyska większą popularność , zadecydują sami użytkownicy. Nie należy jednak zapominać , że wdrażanie technologii DSL w porównaniu z ISDN jest łatwiejsze w instalacji i daje użytkownikowi wyższe szybkości przekazu - przy równocześnie niższych cenach eksploatacyjnych. Dla porównania , koszt adaptacji centrali komutacyjnej do usług sieci ISDN wynosi jednorazowo około 100 tys. USD , podczas gdy przyłączanie linii w technologii DSL może odbywać się stopniowo, w miarę wzrostu zainteresowanie klientów przekazami o podwyższonej przepływności. Jeśli ADSL rozpowszechni się, popularność usług ISDN i modemów 56k znacznie spadnie. Wiele wskazuje na to, że również modemy telewizji kablowych mogą być z powodzeniem zastąpione przez ADSL:

- Spółki telekomunikacyjne posiadają 760 milionów gniazd telefonicznych na całym świecie. Dzięki wykorzystaniu tych zasobów nie będzie konieczności prowadzenia nowych łączy do każdego gospodarstwa domowego.
- Telewizja kablowa - a tym samym gniazda, do których można podłączyć modemy kablowe - dostępna jest jedynie w 30 milionach gospodarstw domowych. W wielu krajach rozwój sieci kablowych wymagałby bardzo dużych inwestycji ze strony spółek telekomunikacyjnych.
- Abonent ADSL nie dzieli swojej linii z innymi użytkownikami. Wprowadzenie modemów telewizji kablowej zapewniają szybkość transmisji na poziomie 30 Mb/s, jednak im większy ruch panuje w sieci kablowej, tym wolniej informacje docierają do każdego z użytkowników.
- Sieć ADSL może być rozbudowywana zależnie od potrzeb - każdemu abonentowi przydzielane jest osobne łącze. Modemy kablowe wymagają przebudowy starszych sieci kablowych i instalacji wzmacniaczy zdolnych do przeniesienia kanałów zwrotnych.

Pod względem technicznym technologia ADSL jest już przygotowana do wprowadzenia na rynek, zapewniają wszyscy producenci. Początkowo cena modemu wynosić będzie około 2000 złotych, można jednak przypuszczać, że wielu operatorów będzie oferować dzierżawę modemu w ramach opłaty abonamentowej za dostęp do sieci. Na dobre usługi ADSL rozpowszechnią się prawdopodobnie już w przyszłym roku. Obecnie w wielu krajach realizowane są projekty pilotażowe. Na przykład w Norymberdze 100

abonentów podłączonych jest do sieci ADSL za pośrednictwem niemieckiego Telekomu. Poprzez łącze telefoniczne mogą oni oglądać wybrane filmy i dokonywać zakupów (homeshop) nie mają jednak dostępu do Internetu. Jeszcze szerzej zakrojone działania podjęto w Skandynawii: Alcatel wspólnie ze szwedzkim operatorem Telia przygotowuje w Sztokholmie 2000 przyłączy ADSL. Pod koniec tego roku 3Com i Pulsecom chcą wprowadzić do sprzedaży kompletny zestaw do obsługi ADSL; Siemens oferuje ADSL pod nazwą Xpress Link D. Rozwiązanie to zapewnia możliwość współpracy z siecią ISDN, czego nie oferuje jeszcze Network Termination Box produkowany przez Alcatela. Alcatel wyposażył jednak swój modem w złącza Ethernet i ATM (Asynchronous Transfer Mode), podczas gdy urządzenie Siemens posiada jedynie interfejs sieciowy.

Podstawową wadą ADSL jest konieczność posiadania odpowiedniego łącza pracującego w tym standardzie, co prawda okablowanie może zostać wykorzystane, konieczna jest jednak instalacja odpowiednich urządzeń tak po stronie użytkownika, jak i dostawcy usług sieciowych. Problem ten nie występuje w przypadku tradycyjnych modemów, które działają po podłączeniu do dowolnego gniazdka telefonicznego w większości krajów świata.

Modemy ADSL uwypukliły także inny problem - obciążenie serwerów. Już dzisiaj niektóre maszyny mają problemy, gdy wielu użytkowników w tym samym czasie próbuje skorzystać z ich zasobów. Co stanie się jutro, jeśli użytkownicy (w dużej liczbie) korzystający z ADSL zechcą wejść na serwer, aby ściągnąć film? W obu przypadkach sytuacja jest bardzo podobna - wszyscy będą czekać.