

Grzegorz DZIWOKI

Politechnika Śląska, Instytut Elektroniki

## TECHNOLOGIE xDSL

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono przegląd technologii cyfrowej pętli abonenckiej xDSL. Omówiono przyczyny złych warunków transmisyjnych oraz wybrane algorytmy cyfrowego przetwarzania sygnałów zastosowane w modemach xDSL.

## xDSL TECHNOLOGIES

**Summary.** This paper presents a review of xDSL technologies. Constraints of transmission and some DSP's algorithms using in digital modems are considered additionally.

### 1. Wstęp

Od wielu lat miedziane tory kablowe operatorów telefonii analogowej przesyłają sygnały w paśmie od 300 Hz do 3400 Hz. Zapewnia to wystarczającą jakość transmisji sygnału mowy, podstawowej usługi świadczonej przez publiczną sieć komutowaną oraz prostotę konstrukcji systemów zwielokrotniania czasowego. Obecnie przeciętny posiadacz komputera klasy PC oraz łącza abonenckiego staje przed możliwością dostępu do szerokiej gamy dodatkowych, multimedialnych usług telekomunikacyjnych, takich jak dostęp do Internetu, wideokonferencje itp. Noszą one miano usług szerokopasmowych, a infrastruktura zapewniająca dostarczenie ich użytkownikowi nazywa się siecią dostępową. Jednakże efektywna realizacja tych usług wymaga prędkości transmisji pomiędzy 0,5 Mb/s, a 6 Mb/s [1]. Wobec takiego wymagania, tradycyjnie wykorzystywana pętla abonencka musi ustąpić miejsca takim technikom dostępowym, jak szerokopasmowy dostęp radiowy czy światłowodowe sieci dostępowe. Dlaczego? Transmisja w paśmie podstawowym stanowi „wąskie gardło” abonenckich sieci

dostępowych. Współczesne modemy pracując z prędkościami 33,6 kb/s (V.34+) lub 56 kb/s (V.90<sup>1</sup>) osiągają granicę przepustowości, którą można określić korzystając z II tw. Shannona

$$c = B \times \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) \quad (1)$$

gdzie:

$c$  – maksymalna przepustowość wyrażoną w b/s,

$B$  – pasmo częstotliwości przydzielone do transmisji,

$\frac{S}{N}$  - stosunek mocy sygnał do mocy szumu,

Zbliżenie się do granicy przepustowości stało się możliwe, dzięki powszechnemu wykorzystaniu w urządzeniach cyfrowego przetwarzania sygnałów. Implementacja algorytmów zabezpieczania przed błędami oraz zaawansowanych technik kodowania liniowego (modulacja wielowartościowa), pozwoliły uzyskać wydajność spektralną rzędu 15 b/s/Hz.



Rys. 1. Architektura systemów xDSL

Fig. 1. Architecture of xDSL systems

Ale czy jest to kres możliwości skrętki miedzianej zastosowanej w łączach abonenckich? Oczywiście, że nie. Zastosowane tory kablowe mają ogromne, niewykorzystane przez tradycyjne usługi, zasoby. Eliminując sztuczne ograniczenie pasma przesyłanych sygnałów, które wprowadzane jest przez urządzenia publicznej sieci komutowanej, oddaje się do dyspozycji usług szerokopasmowych zakres częstotliwości sięgający powyżej 10 MHz. Pociąga to za

<sup>1</sup> Modemy standardu V.90 dedykowane są do połączeń z Internetem i tylko w tym wypadku zapewniają transmisję z prędkością 56 kb/s dla kierunku do użytkownika przy zachowaniu dobrej jakości połączenia.

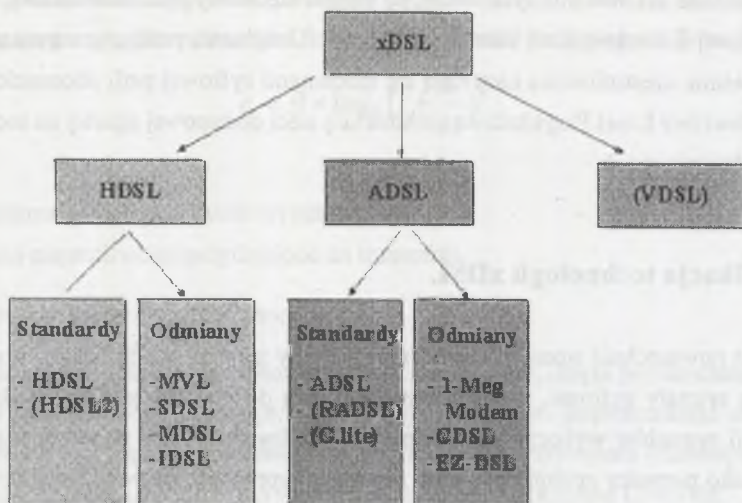
sobą konieczność skierowania tych usług, po stronie sieciowej pętli abonenckiej, bezpośrednio do wyspecjalizowanej sieci szerokopasmowej<sup>1</sup>. Urządzenia realizujące transmisję w tak szerokim paśmie częstotliwości nazywają się modemami cyfrowej pętli abonenckiej – xDSL (Digital Subscriber Line) Przykładową architekturę sieci dostepowej opartej na technologiach xDSL przedstawia rys. 1.

## 2. Klasyfikacja technologii xDSL

Chociaż powszechnie stosowane modemy mogłyby zaliczać się do urządzeń xDSL, gdyż transmitują sygnały cyfrowe, to tak naprawdę należą do nich dopiero te urządzenia, które w transmisji sygnałów wykorzystują również częstotliwości leżące powyżej pasma podstawowego. Jako pierwszy spełnił powyższe założenie, wprowadzony w połowie lat 80. system ISDN [2] (Integrated Service Digital Network). Stał się on niejako prekursorem współczesnych technik cyfrowej pętli abonenckiej. Odróżnia go od współczesnych systemów xDSL możliwość komutowania transmitowanych przezeń sygnałów w cyfrowych centralach sieci publicznej. W dostępie pierwotnym ISDN, abonent otrzymuje dwa kanały 64 kb/s przeznaczone do transmisji zarówno dźwięku, jak i danych oraz jeden kanał 16 kb/s dla celów sygnalizacji. Przepustowość systemu po uwzględnieniu narzutu dla celów synchronizacyjno-utrzymawczych wynosi 192 kb/s. Po zastosowaniu w pętli abonenckiej modulacji czterwartościowej 2B1Q (2-binary 1-quatenary) o wydajności spektralnej 2 b/s/Hz, wymagane do realizacji transmisji pasmo częstotliwości wynosi ok. 100 kHz, a maksymalna długość toru kablowego ok. 6 km.

Pod koniec lat 80. rozpoczęły kształtować się typowe, w dzisiejszym rozumieniu, technologie xDSL, których klasyfikację począwszy od tamtego momentu do dzisiaj przedstawia rys. 2 [3]. Różnią się one pomiędzy sobą przepustowością, zasięgiem dostępności usługi oraz technikami kształtowania sygnału. Te ostatnie w najmłodszych systemach DSL są nader wyrafinowane, co jest rzeczą zrozumiałą, jeżeli przyjrzymy się współczesnej dynamice rozwoju techniki. Wszelkie modyfikacje wprowadzane w istniejących systemach czy pojawianie się nowych odmian mają wspólny mianownik, którym jest maksymalnie możliwe dla dostępnych zasobów zwiększenie prędkości transmisji, przy istniejących ograniczeniach, jakie wnosi do transmisji linia abonencka.

<sup>1</sup> Np. firma specjalizująca się w świadczeniu usług dostępu do Internetu,



Rys. 2. Klasyfikacja technologii xDSL  
Fig. 2. Classification of xDSL technologies

## 2.1. Technologia HDSL

Wśród technologii xDSL do najstarszej grupy zaliczamy systemy HDSL (High rate Digital Subscriber Line). Podstawowa wersja tego systemu, dla której na początku lat 90. zostały opracowane standardy, obsługuje transfer z prędkością 2 Mb/s w obu kierunkach na dwóch lub trzech parach pętli abonenckiej. W oficjalnej wersji nie zakłada wspólnego wykorzystywania pętli z usługą telefonii, co nie świadczy o tym, że takie systemy nie istnieją. Za przykład niech posłuży rozwiązanie wprowadzone przez firmę Paradyne o nazwie Multiple Virtual Line (MVL). Sygnały przesyłane w linii transmisyjnej kształtowane są z pomocą modulacji 2B1Q lub 64 albo 128 wartościowej modulacji CAP (Carrierless Amplitude/Phase). Pasmo częstotliwości wykorzystywane przez owe systemy wynosi ok. 500 kHz, przy zasięgu podobnym jak dla ISDN, wynoszącym ok. 6 km.

Do omawianej rodziny zaliczany jest także dość specyficzny na jej tle system IDSL, nazywany „DSL jak ISDN” lub „DSL przez ISDN”. Dostępna prędkość transmisji wynosi zaledwie 128 kb/s i powstaje tak jak w ISDN z połączenia dwóch kanałów o przepływności 64 kb/s.

Obecnie w fazie standaryzacji znajduje się system drugiej generacji HDSL2. Zakłada on transmisję z szybkością 2 Mb/s przy użyciu jednej pary przewodów, z zastosowaniem modulacji OPTIS opracowanej przez firmę PairGain Technologies.

## 2.2. Technologia ADSL

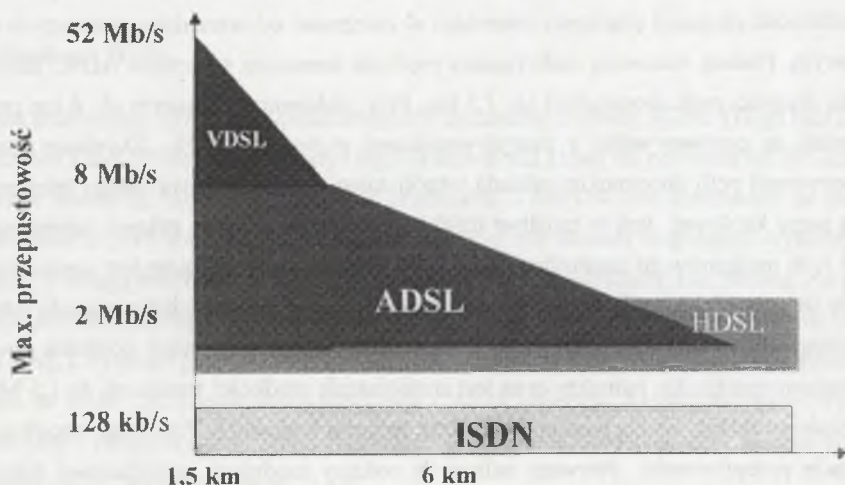
Systemy HDSL doskonale nadają się do obsługi użytkowników generujących ruch w przybliżeniu ilościowo identyczny w obu kierunkach (np. połączenia pomiędzy sieciami LAN). Nie stanowi to tak ważnego kryterium dla pojedynczego użytkownika, dla którego istotne jest, aby przede wszystkim transfer od sieci miał możliwie dużą prędkość. Odpowiedzią na tę potrzebę są techniki asymetrycznej cyfrowej pętli abonenckiej – ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) [4]. Ich koncepcja została opracowana na początku lat 90., a pierwsza wersja standardu pojawiła się w 1995 roku. Pierwotnie miały one zostać wykorzystane do realizacji usługi „wideo na żądanie”, gdzie wymagana prędkość transmisji w kierunku do użytkownika wynosiła co najmniej 1,5 Mb/s (transmisja skompresowanego dźwięku i obrazu wideo), przy znikomej przepływności w kierunku do usługodawcy (interakcje użytkownika). Szybko przekonano się, że systemy asymetryczne kryją w sobie o wiele większe możliwości. Docelowo przyjęto, że maksymalna prędkość transmisji do użytkownika wynosi 8 Mb/s, a w stronę przeciwną jest około dziesięciokrotnie mniejsza. Zważywszy na duże tłumienie sygnału w pętli abonenckiej, zajmującego pasmo częstotliwości do około 1 MHz, dla zachowania elastyczności pracy systemu przy różnych odległościach użytkownika od węzła sieci, ma on możliwość adaptacji prędkości transmisji w zależności od warunków panujących w torze kablowym. Podana wcześniej maksymalna prędkość transmisji systemów ADSL uzyskiwana jest dla długości pętli abonenckiej ok. 1,5 km. Przy oddaleniu sięgającym ok. 6 km prędkości transmisji są porównywalne z przepływnościami systemów HDSL. Działanie modemów asymetrycznej pętli abonenckiej zakłada współistnienie z standardową usługą telefonii na tej samej parze kablowej. Jest to możliwe dzięki przesunięciu dolnego zakresu pasma częstotliwości tych modemów do częstotliwości 20 kHz. Jedynym wymaganiem jest umieszczenie po stronie abonenckiej rozgałęźnika, czyli filtrów dokonujących wydzielenia sygnału odpowiedniej usługi. W trakcie opracowywania jest standard G.lite eliminujący potrzebę stosowania takowego rozgałęźnika, jednakże ceną jest zmniejszenie prędkości transmisji do 1,5 Mb/s.

Modemy ADSL wykorzystują dwie różne techniki kodowania liniowego zapewniającego adaptację przepływności. Pierwsza należy do rodziny modulacji amplitudowo fazowych – CAP (Carrierless Amplitude/Phase Modulation), druga jest odmianą modulacji wielotonowych – DMT (Discret MultiTone Modulation) [5]. Ta ostatnia, mimo że została zaadaptowana na potrzeby modemów transmisji danych dopiero na początku lat 90., uzyskała uznanie organizacji standaryzacyjnych i jest przyjęta jako obowiązujący standard. Bliższa charakterystyka niniejszych modulacji zostanie zaprezentowana w dalszej części artykułu.

### 2.3. Technologia VDSL

Obecnie prowadzone są prace nad standardem systemów VDSL (Very high rate Digital Subscriber Line). Dla torów kablowych o maksymalnej długości 300 m prędkość transmisji do użytkownika w tym systemie wynosi 52 Mb/s. Maleje ona stopniowo wraz ze zwiększaniem zasięgu do wartości 8 Mb/s dla 1,5 km pętli abonenckiej. Systemy te realizują transmisję w paśmie częstotliwości sięgającym nawet do 30 MHz, umożliwiając jednocześnie zastosowanie transmisji w paśmie podstawowym lub systemów ISDN. Gwarantuje to 300 kHz dolna częstotliwość pasma systemów VDSL. Nie jest jeszcze ostatecznie rozwiązana kwestia techniki modulacji, ale rozważane są propozycje przyjęcia metody kombinowanej; modulacja CAP dla transmisji do sieci, dyskretna modulacja wielotonowa z transformacją falkową w kierunku przeciwnym. Choć kwestia standardu pozostaje ciągle otwarta, modemy VDSL znajdują się już w sprzedaży. Jednak nie gwarantuje się kompatybilności pomiędzy rozwiązaniami poszczególnych producentów.

Porównanie prędkości transmisji dla poszczególnych technologii xDSL w stosunku do maksymalnej długości pętli abonenckiej zostało przedstawione na rys. 3.

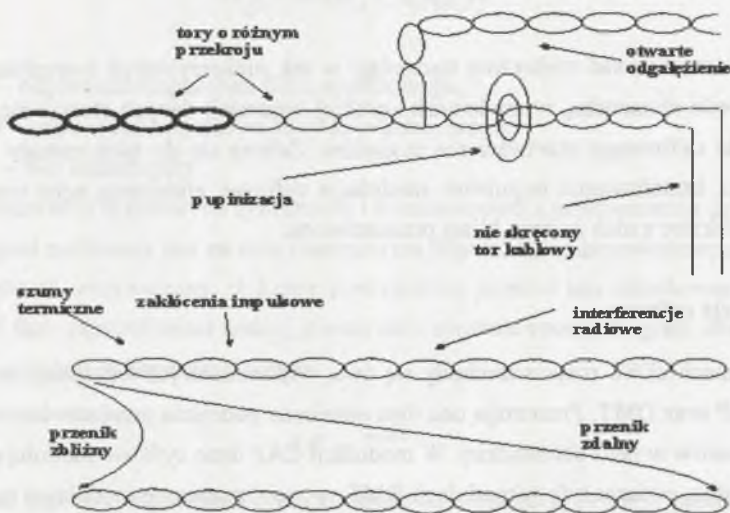


Rys. 3. Wpływ długości łącza na prędkość transmisji

Fig. 3. Transmission rate vs. length of line

### 3. Problematyka transmisji w pętli abonenckiej

Rozważane systemy szybkiej transmisji danych wykorzystują miedziane tory kablowe stosowane wcześniej jedynie do transmisji w paśmie podstawowym i specyfikowane pod tym właśnie kątem. Systemy xDSL zajmując wyższe zakresy częstotliwości narażone są na szereg niedogodności w znaczący sposób mogących pogorszyć jakość transmisji. W sposób poglądowy zostały one przedstawione na rys. 4 [6]. Ograniczenia narzucane przez pętlę abonencką



Rys. 4. Przyczyny spadku jakości transmisji w torze kablowym

Fig. 4. The reason for quality decrease of transmission over copper line

mają dwojaki charakter: elektryczny i mechaniczny. W pierwszej grupie największe znaczenie ma duże tłumienie toru kablowego dla wysokich częstotliwości. Jest ono głównym powodem ograniczonej długości pętli abonenckiej. Zaś w przypadku torów pupinizowanych wprowadzenie technologii xDSL jest praktycznie niemożliwe. Kolejny czynnik to przenik, przede wszystkim zbliżny<sup>1</sup>. W ramach jednego systemu jego wpływ ogranicza się, dokonując częstotliwościowego rozdziału kanałów dla obu kierunków transmisji. Dla systemów bardzo szybkiej transmisji danych (VDSL) szczególnie niebezpieczne są interferencje radiowe z racji wielkości pasma zajmowanego przez te systemy. Wśród ograniczeń natury mechanicznej poza wspomnianą wcześniej pupinizacją, szczególnie niebezpieczne są nie zakończone impedancją falową otwarte odgańlenia toru. Są one przyczyną powstawania lokalnych (w dziedzinie częstotliwości) maksimum tłumienia. Wynika to z transformacji rozwarcia pętli do

<sup>1</sup> Zjawisko przenikania energii z toru macierzystego do sąsiedniego, nadajnik i element zakłócany znajdują się po tej samej stronie toru.

impedancji bliskich zeru dla częstotliwości, których nieparzysta wielokrotność ćwiartki długości fali równa jest długości odgałęzienia. Nie należy również pomijać, wydawałoby się tak trywialnych, problemów, jak połączenia kabli o różnych średnicach czy nie skręcone pary kablowe. Są one źródłem w przekazie szerokopasmowym odpowiednio, odbić sygnałów i dodatkowych przeników.

## 4. Sposoby realizacji transmisji szerokopasmowej

Aby móc zrealizować efektywną transmisję w tak niekorzystnych warunkach narzuconych przez pętle abonencką, w modemach szybkiej transmisji danych stosuje się zaawansowane techniki cyfrowego przetwarzania sygnałów. Zalicza się do nich metody kodowania korekcyjnego, kształtowanie impulsów, modulacje cyfrowe, eliminacją echa oraz korekcją kanałową. Niektóre z nich zostaną bliżej przedstawione.

### 4.1. Modulacje cyfrowe

W modemach xDSL rozpowszechniły się dwa, wspomniane już wcześniej, sposoby modulacji – CAP oraz DMT. Prezentują one dwa odmienne podejścia przedstawiania transmitowanych sygnałów w pętli abonenckiej. W modulacji CAP dane cyfrowe modulują jedną częstotliwość nośną, podczas gdy w modulacji DMT są one rozproszone modulując pewien zbiór częstotliwości nośnych. Podstawową zaletą obu modulacji jest możliwość adaptacji prędkości w miarę zmieniających się warunków transmisji.

#### 4.1.1. Modulacja amplitudowo-fazowa – CAP

Koncepcja modulacji CAP (amplitudowo-fazowej bez fali nośnej) jest taka sama, jak powszechnie stosowanej w modemach pasma podstawowego modulacji kwadraturowej QAM. W obu podawany na wejście modulatorów strumień bitowy grupowany jest w koderze stanów w bloki o długości  $n$ . Koder stanów pełni rolę modulatora kratowego. Jego zasada działania polega na wypracowaniu na podstawie  $n$ -bitowego bloku informacji bloku  $(n+k)$ . Dobór odpowiedniego algorytmu realizacji tej operacji zapewnia zwiększenie odporności układu modulator-demodulator na zakłócenia pojawiające się podczas transmisji. Więcej informacji o modulacji kratowej (TCM – Trellis Code Modulation) można odnaleźć w [12]. Na wyjściu kodera stanów otrzymuje się dwa symbole informacyjne odpowiadające bezpośrednio zakodowanej postaci  $n$ -bitowego ciągu informacyjnego. W dalszym etapie przetwarzania symbole zostają „dopasowane”<sup>1</sup> do pasma częstotliwości kanału, a następnie modulują dwa sygnały

<sup>1</sup> Dopasowanie to polega na kształtowaniu impulsów przesyłanych w linii transmisyjnej w celu minimalizacji interferencji międzysymbolowych.



nośne –  $\cos\omega_c t$  i  $\sin\omega_c t$ , tworząc odpowiednio składową synfazową i kwadraturową [7]. Dzięki zastosowaniu cyfrowego przetwarzania sygnałów, procedura ta jest realizowana w modulatorach CAP za pomocą pary filtrów Hilberta o skończonej odpowiedzi impulsowej. Charakterystyki amplitudowe tych filtrów są identyczne, natomiast fazowe są przesunięte względem siebie o 90 stopni. Odpowiedzi impulsowe filtrów przedstawiają poniższe zależności

$$\begin{aligned} I(t) &= k(t) \times \cos(\omega_c t) \\ Q(t) &= k(t) \times \sin(\omega_c t) \end{aligned} \quad (2)$$

gdzie:

- $I(t)$  – odpowiedź impulsowa filtru synfazowego,
- $Q(t)$  – odpowiedź impulsowa filtru kwadraturowego,
- $k(t)$  – filtr kształtujący

Po zsumowaniu składowych synfazowej i kwadraturowej i przetworzeniu cyfrowo analogowym sygnał podawany jest na linię transmisyjną poprzez filtr pasmowoprzepustowy.

W rezultacie otrzymujemy, iż każdy  $(n+k)$ -bitowy symbol jest zakodowany za pomocą amplitudy i fazy częstotliwości nośnej, a wszystkie symbole tworzą diagram zwany konstelacją. Liczba symboli w konstelacji wynosi

$$M = 2^{n+k} \quad (3)$$

Schemat blokowy modulatora oraz przykładową konstelację symboli przedstawia rys. 5. Adaptacja prędkości realizowana w modulatorach CAP, polega na zmniejszaniu liczby symboli w konstelacji przy pogarszających się warunkach transmisyjnych.

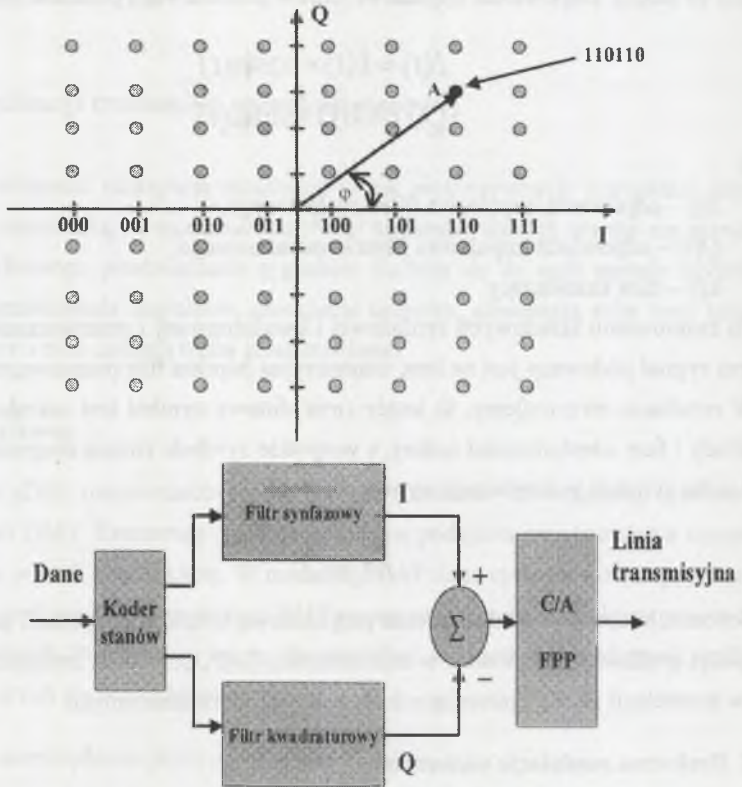
#### 4.1.2. Dyskretna modulacja wielotonowa - DMT

Koncepcja modulacji DMT [8, 9] wywodzi się od dobrze znanych sposobów częstotliwościowego zwielokrotniania kanałów. Dostępne pasmo częstotliwości dzielone jest na szereg niezależnych podkanałów. Każdy z nich przenosi określoną część całkowitej informacji. Sposób realizacji omawianej modulacji opiera się na wykorzystaniu szybkiej transformacji Fouriera.

Wejściowy ciąg bitowy modulatora DMT dzielony jest na  $N$  bloków. Każdy z  $N$  bloków skojarzony jest z odpowiednim podkanałem częstotliwościowym. Poszczególne bloki zawierają  $n_i$  bitów. Indeks „ $i$ ” jest numerem kolejnego bloku. Liczba bitów przypadająca na jeden symbol modulacji DMT wynosi

$$M = \sum_{i=1}^N n_i \quad (4)$$

Każdy  $n_i$  - bitowy ciąg w wyniku modulacji QAM zamieniany jest w symbol zespolony.



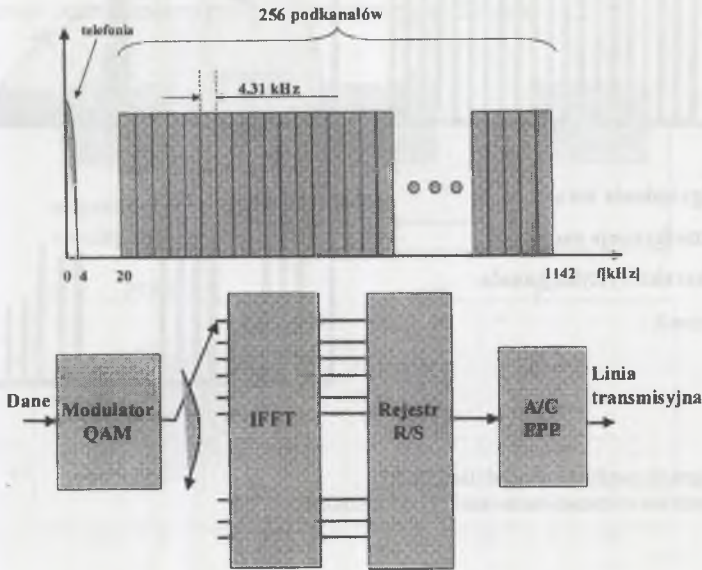
Rys. 5. Modulacja CAP

Fig. 5. CAP modulation

Wszystkie symbole pochodzące od  $N$  bloków uzupełnione o sprzężone do nich odpowiedniki, podawane są  $2N$  wymiarowej odwrotnej transformacji Fouriera. Dodanie symboli sprzężonych zapewnia uzyskanie  $2N$  rzeczywistych próbek w dziedzinie czasu (symbol DMT), które po konwersji równoległo-szeregową podawane są na przetwornik C/A.

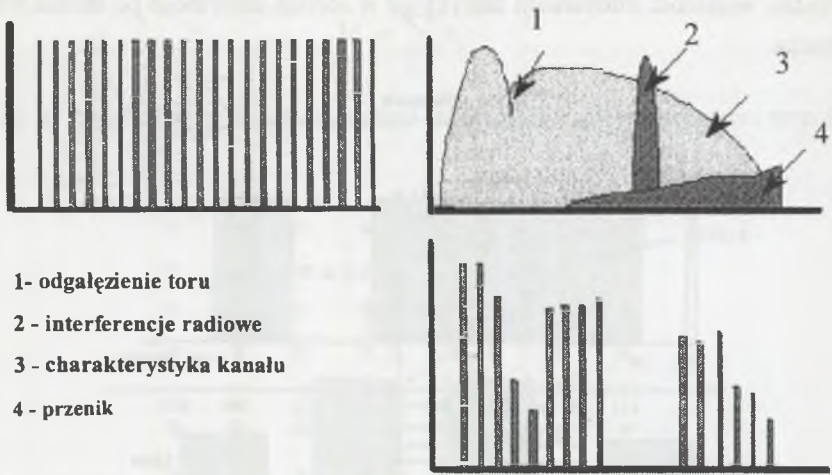
Powyższy opis działania modulatora zawiera jedynie istotne, z punktu widzenia idei tej modulacji, etapy przetwarzania. Sposób podziału pasma na kanały oraz budowa modulatora są przedstawione na rys. 6. W praktycznej realizacji, ze względu na to, iż każdy podkanał nie ma idealnie płaskiej charakterystyki częstotliwościowej, stosuje się zabezpieczenie przed wystąpieniem interferencji pomiędzy poszczególnymi symbolami DMT. Na początek każdego symbolu dodaje się tzw. cykliczny przedrostek (ang. cyclic prefix). Jego długość wynosi  $k$  próbek i jest wyznaczana na podstawie odpowiedzi czasowej kanału transmisyjnego. Dzięki

tej metodzie większość interferencji zamyka się w obrębie usuwanego po stronie odbiorczej przedrostka.



Rys. 6. Dyskretna modulacja wielotonowa  
Fig. 6. Discrete multitone modulation

Dyskretna modulacja wielotonowa charakteryzuje się większymi możliwościami adaptacji prędkości transmisji oraz lepszą odpornością na zakłócenia wąskopasmowe niż modulacja amplitudowo-fazowa. W modulacji CAP całkowita prędkość transmisji jest skojarzona z całym pasmem częstotliwości. Wystąpienie zakłócenia w dowolnym przedziale częstotliwości rzutuje na prędkość w całym paśmie. W przypadku modulacji DMT całkowita przepływność transmisji jest sumą prędkości skojarzonych z poszczególnymi kanałami. Zakłócenie wąskopasmowe wpływa jedynie na prędkość tych podkanałów DMT, które znajdują się w jego obrębie. Zostało to zaprezentowane na rys. 7 [10].



- 1 - odgałężenie toru
- 2 - interferencje radiowe
- 3 - charakterystyka kanału
- 4 - przenik

Rys. 7. Adaptacja prędkości w modulacji DMT

Fig. 7. Adaptation of transmission rate in DMT modulation

#### 4.2. Korekcja kanałowa

Celem zastosowania korekcji kanałowej jest wyeliminowanie zniekształceń liniowych transmitowanych sygnałów, czyli inaczej mówiąc, otrzymanie w odbiorniku sygnału takiego, jaki był wysyłany w linię transmisyjną po stronie nadawczej [12]. Sprowadza się to do utworzenia w odbiorniku odwrotnej charakterystyki kanału transmisyjnego tak, aby spełniona była zależność:

$$H(j\omega) \times k(j\omega) = e^{-j\omega\tau} \quad (5)$$

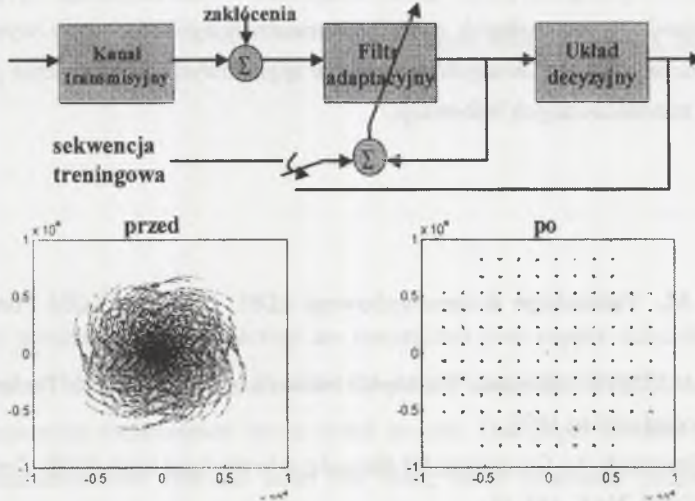
gdzie:

- $H(j\omega)$  – charakterystyka częstotliwościowa kanału,
- $k(j\omega)$  – charakterystyka częstotliwościowa korektora,
- $\tau$  - opóźnienie transmisji,

Praktyczne systemy zakładają dopuszczalny błąd takiego odwzorowania. Urządzenie realizujące to zadanie nosi nazwę korektora (ang. equaliser). Na rys. 8. podano przykład bezpośredniego korektora. Zasadniczym jego elementem jest układ filtru adaptacyjnego, odtwarzający nadawany sygnał. Proces korekcji składa się z dwóch etapów:

1) korekcja wstępna za pomocą sekwencji treningowej – odbiornik zna strukturę sygnału wysyłanego przez nadajnik,

2) korekcja dokładna – warunkiem poprawności jej działania są wolne zmiany charakterystyki kanału. Sygnał błędny modyfikujący współczynniki filtra adaptacyjnego wypracowany jest na podstawie porównania sygnału z filtru z przyjętą decyzją.



Rys. 8. Korekcja kanałowa  
Fig. 8. Channel equalization

Najnowsze metody korekcji eliminują stosowanie sekwencji treningowych, w miejsce której wprowadza się tzw. procedurę ślepej korekcji kanałowej [13] (ang. blind equalization) opartej na własnościach statystycznych odbieranego sygnału. Zaletą tej metody jest zwiększenie elastyczności pracy urządzeń. Nadajnika nie trzeba wyposażać w algorytmy obsługi retransmisji sekwencji treningowych, ponieważ odbiornik odtwarza wstępnie charakterystykę kanału na podstawie aktualnie przesyłanych informacji.

## 5. Podsumowanie

Zaprezentowane systemy transmisji szerokopasmowej w pętli abonenckiej wychodzą naprzeciwko zapotrzebowaniu na duże prędkości transmisji przy stosunkowo niskich kosztach modernizacji infrastruktury sieci dostępowej. Stały się one konkurencyjne, szczególnie z punktu widzenia indywidualnego użytkownika, wobec innych realizacji dostępu szerokopasmowego np. za pomocą światłowodu czy linii radiowej. Specyficzną własnością systemów xDSL jest korzystanie z usług innego systemu, który z założenia nie jest przystosowany do zapewniania wysokiej jakości usługom szerokopasmowym (dotyczy to pętli abonenckiej publicznej sieci komutowanej). Wydłuża to czas i ilość przeprowadzanych testów przed wdro-

żeniem systemów xDSL do powszechnego użytku. Ponadto specyfika struktury sieci w różnych krajach zmusza do przeprowadzania niezależnych badań. Eksperymentalnie uruchamiane sieci stają się źródłem istotnych informacji, dotyczących zwłaszcza wzajemnych zakłóceń generowanych przez poszczególne urządzenia w ramach jednego systemu czy pomiędzy systemami. W tak trudnych warunkach transmisyjnych, na straży wysokiej jakości stoją moce obliczeniowe stosowanych procesorów sygnałowych, niestrudzenie przetwarzających strumień transmitowanych informacji.

## Literatura

1. Bromirski M.: Technologie dostępu cyfrowego xDSL (1). TELEKOM Forum, wrzesień 1999.
2. Griffiths J.M.: ISDN Explained, Worldwide Network and Applications Technology. Wiley & Sons, second edition 1992.
3. Papir Z., Simmonds A.: Competing for throughput in the local loop. IEEE Communications Magazine, 1999, No 5, s.61-66.
4. Chen W.: The development and standardization of asymmetrical digital subscriber line. IEEE Communications Magazine, 1999, No 5, s.68-72.
5. Discrete Multitone (DMT) vs. Carrierless Amplitude/Phase (CAP) line codes. Aware whitepaper, <http://www.aware.com/technology/whitepapers/dmt.html>.
6. Cook J.: The noise and crosstalk environment for ADSL and VDSL systems. IEEE Communications Magazine, 1999, No 5, s.73-78.
7. Shalash A., Parhi K.: Comparison of discrete multitone and carrierless AM/PM techniques for line equalization. IEEE, 1996, s.560-563.
8. Bingham J.A.C.: Multicarrier modulation for data transmission: An idea whose time has come. IEEE Communications Magazine, 1999, No 5, s.5-14.
9. Chow P., Cioffi J.M., Bingham J.A.C.: DMT-based ADSL: concept, architecture, and performance, IEE, 1994.
10. Texas Instruments: DSP solutions for voiceband and ADSL modems. Application Report SPAA005, 1998.
11. Texas Instruments: Universal DSL Deployment of G.Lite, Issues and Solutions, Application Report SPAA007A, September 1998.

12. Glover I.A., Grant P.M.: *Digital Communications*. Prentice Hall Europe 1998.
13. Werner J.J., Yang J., Harman D.D, Dumont G.A.: *Blind Equalization for Broadband Access*, Bell Laboratories and The University of British Columbia.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Janusz Walczak

### Abstract

Signals in standard telephone service are transmitted over copper subscriber line using frequencies below 3400 Hz. As a result of the frequency limit induced by filters in telephony exchanges, maximum transmission rate is about 56 kb/s. This paper presents method of increasing transmission rate over the same line using wider accessible frequency channel. Technologies realizing this concept are named xDSL – Digital Subscriber Line. Development of the technologies from ISDN (Integrated Services Digital Network) to VDSL (Very high rate Digital Subscriber Line) is shown. Considered systems can transmit information from 128 kbit/s to about 50 Mbit/s respectively. Maximum range of transmission is 6 km, and may be reached for lower bit rate. Constraints, which influence quality of transmission are briefly described. Crosstalk, impulse and radio interference, physical loop condition are the most important. Using advanced algorithms of digital signal processing ensure reliable transmission over hostile environment of copper loop. The paper presents basic informations on two types of digital modulation schemes – Carrierless Amplitude/Phase modulation (CAP) and Discrete Multitone Modulation (DMT). CAP scheme is similar to QAM. Two orthogonal signature waveforms are used to modulate the digital information instead of carrier signals. DMT modulation divides the transmission channel into a number of parallel subchannels. Each subchannel is modulated separately generating a set of complex QAM symbols. Concept of channel equalization is considered at the end of this paper.