

Wskazano podstawowe standardy międzynarodowe (normy ETSI oraz zalecenia ITU-T) i wymagania krajowe dotyczące systemów xDSL. Przedstawiono wybrane wymagania szczegółowe, mające istotny wpływ na poprawność transmisji.

modele odniesienia, techniki xDSL (HDSL, ADSL, VDSL), standaryzacja

Wprowadzenie

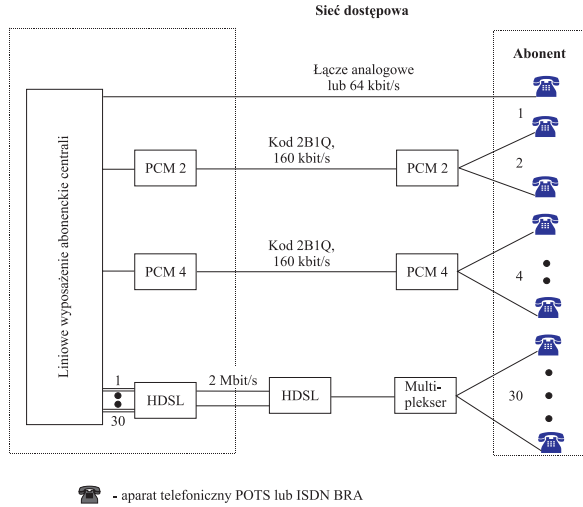
Istotnym czynnikiem kreującym rozwój telekomunikacji jest wzrost zapotrzebowania abonentów na nowe rodzaje usług. Oprócz tradycyjnej transmisji wąskopasmowej pojawiają się nowe techniki transmisji szerokopasmowej. Zapewniają one użytkownikowi tradycyjne analogowe łącze telefoniczne, szerokopasmowy dostęp do Internetu oraz współczesne usługi multimedialne. W ten sposób abonenci mają możliwość skorzystania z telezakupów, zamówienia interaktywnych usług wideo, zdalnego dostępu do edukacji itp.

Rzeczywisty rozwój nowoczesnych technologii sieci dostępowych dynamizuje proces standaryzacji międzynarodowej i krajowej w tej dziedzinie. Przejawia się to w ogromnej liczbie standardów i norm ustanowionych przez międzynarodowe ośrodki normalizacyjne, takie jak: Europejski Instytut Norm Telekomunikacyjnych (ETSI), Międzynarodowa Unia Telekomunikacyjna (ITU-T), Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna ISO czy ATM Forum. Na podstawie standardów międzynarodowych powstały wymagania krajowe oraz Polskie Normy (PN). Standaryzacja urządzeń telekomunikacyjnych jest ważna zarówno z punktu widzenia producentów, jak i użytkowników. Jej zadaniem jest bowiem ujednoczenie zasad przesyłania sygnałów w sieci dostępowej i zapewnienie kompatybilności urządzeń różnych producentów.

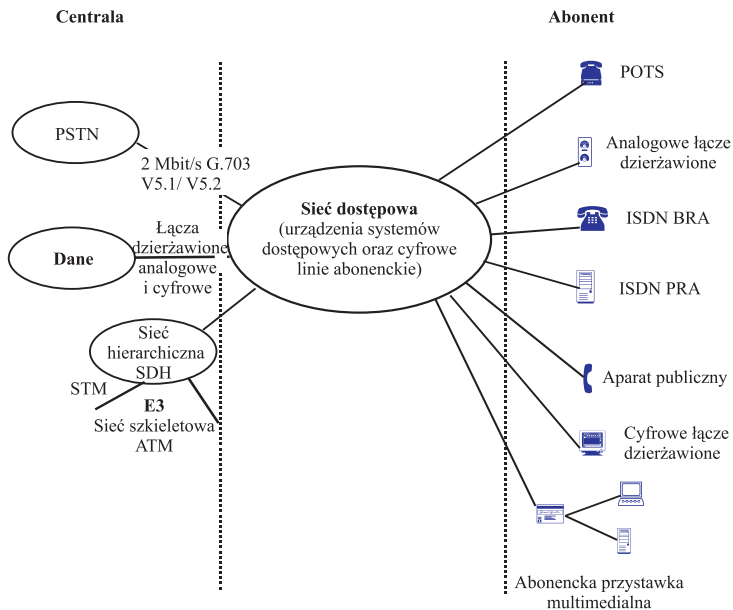
Warto zatem omówić podstawowe standardy oraz najistotniejsze – ze względu na poprawność transmisji – wymagania szczegółowe dotyczące jedynie systemów dostępowych, wykorzystujących jako medium transmisyjne parę przewodów miedzianych.

Modele odniesienia sieci dostępowych

Dzięki szybkiemu rozwojowi technik telekomunikacyjnych abonentom oferuje się coraz to nowsze i bardziej wyszukane usługi telekomunikacyjne. Zmianom ulega także sieć dostępową, będąca jednym ze środków umożliwiających realizację usług. Jest ona bardzo zróżnicowana technicznie, od najprostszej analogowej, poprzez cyfrową z urządzeniami PCM (rys. 1), aż po współczesne sieci dostępowe multimedialne, z wykorzystaniem urządzeń ADSL (rys. 2). Urządzenia nowoczesnej sieci dostępowej umożliwiają tworzenie zarówno łączy analogowych, jak i cyfrowych, co pozwala na przesyłanie danych oraz dołączenie użytkowników korzystających z usług szerokopasmowych.



Rys. 1. Model odniesienia sieci dostępowej (abonenckiej) oparty na urządzeniach zwielokrotniających



Rys. 2. Ogólny model odniesienia nowoczesnej wielosługowej sieci dostępowej
 POTS (Plain Old Telephone Services) – klasyczne usługi telefoniczne, ISDN BRA (Integrated Services Digital Network Base Rate Access) – dostęp podstawowy 2B+D, ISDN PRA (Integrated Services Digital Network Primary Rate Access) – dostęp pierwotny 30B+D

Model odniesienia sieci dostępowej opartej na urządzeniach zwielokrotniających przedstawiono na rys. 1. Systemy abonenckie PCM (PCM 2 ... PCM 10) umożliwiają dołączenie do dowolnego typu centrali od 2 do 10 (w zależności od modelu) abonentów analogowych za pomocą jednej pary przewodów. Znajdują zastosowanie wszędzie tam, gdzie istnieje potrzeba szybkiego dołączenia nowych abonentów przy jednoczesnym niedoborze łączy abonenckich. Koncentratory abonenckie z wykorzystaniem krotnic PCM 30 zwielokrotniają: 30 kanałów analogowych w jeden zbiorczy sygnał cyfrowy o przepływności 2 048 kbit/s lub 31 kanałów cyfrowych (każdy o przepływności 64 kbit/s) w jeden sygnał zbiorczy 2 048 kbit/s. W zależności od potrzeb, w krotnicach PCM 30 może być realizowane zwielokrotnienie mieszane: część kanałów jest analogowa, a część – cyfrowa 64 kbit/s. Transmisja strumienia 2 Mbit/s może odbywać się za pomocą urządzeń HDSL lub PCM 30, zgodnie z zaleceniem ITU-T G.703.

Nowoczesne urządzenia systemów dostępowych łączą w sobie zarówno technikę transmisji analogowej, jak i różne techniki transmisji cyfrowej (ISDN, xDSL). Uproszczony model odniesienia wielosługowej sieci dostępowej pokazano na rys. 2.

Stan normalizacji HDSL i SHDSL

Technika HDSL (*High bit-rate Digital Subscriber Line*) umożliwia transmisję sygnału 2 Mbit/s na liniach abonenckich. Transmisja sygnału może odbywać się na 1, 2 lub 3 parach miedzianych kabli symetrycznych. Każda para kablowa jest połączona z obu stron z indywidualnym nadajnikiem i odbiornikiem HDSL. Każde takie urządzenie pracuje w systemie transmisji dwukierunkowej z kodem 2B1Q^① lub CAP^② z różną przepływnością sygnału zależną od liczby wykorzystywanych par (tabl. 1).

Tabl. 1. Przepływności w systemach HDSL

Typ transmisji	Przepływność [kbit/s]		
	1 para	2 pary	3 pary
Kod 2B1Q	2 320	1 168	784
Kod CAP	2 320	1 168	—

System HDSL szczegółowo omówiono w normie ETSI TS 101 135 V1.4.1 (1998-02), na podstawie której opracowano w 2002 r. w Instytucie Łączności *Wymagania techniczne i eksploatacyjne na systemy HDSL*. W dokumentach tych zawarto ogólne zasady transmisji w łączy HDSL, a także parametry techniczne urządzeń i parametry jakościowe systemu wraz z metodami testowania. Wspomniane dokumenty dotyczą urządzeń zarówno z kodem 2B1Q, jak i CAP.

^① 2B1Q (2 Binary 1 Quaternary) – modulacja wielowartościowa pasma podstawowego (4PAM), która polega na podziale wejściowego strumienia informacyjnego na 2-bitowy (duobity informacji) kodowany za pomocą modulacji amplitudy na czterech poziomach napięciowych.

^② CAP (Carrierless Amplitude Phase Modulation) – 2-wymiarowa modulacja wielowartościowa pasma podstawowego; równocześnie nadaje się 2-ortogonalne symbole kodu liniowego (modulacja amplitudowo-fazowa bez fali nośnej).

Technika SHDSL (*Single pair High-speed Digital Subscriber Line*) umożliwia transmisję sygnału o przepływności od 192 kbit/s do 2 320 kbit/s z kodem TC-PAM^①, wykorzystując jako medium transmisyjne 1, 2 lub 4-parową skrętkę miedzianą. System SHDSL łączy w sobie zarówno właściwości systemów HDSL2 opartych na kodowaniu TC-PAM, jak i systemów MDSL (*Multi bit rate Digital Subscriber Line*) ze zmienną przepływnością. Dokładny opis tych systemów i parametry, które powinny spełniać, zamieszczono w zaleceniu ITU-T G.991.2.

Standardy dotyczące HDSL

- **ETSI TS 101 135 V1.4.1:** *Transmission and Multiplexing (TM); High bit-rate Digital Subscriber Line (HDSL) transmission system on metallic local lines; HDSL core specification and applications for 2 048 kbit/s based access digital sections*

Omówiono technikę transmisyjną HDSL, podając modele odniesienia i architekturę sieci. Opisano funkcje realizowane przez system HDSL. Ponadto zdefiniowano wymagania dotyczące: parametrów elektrycznych urządzeń, metod transmisji, struktury ramki, zarządzania i utrzymania, parametrów technicznych torów przesyłowych oraz parametrów jakościowych systemu.

- *Wymagania techniczne i eksploatacyjne na systemy HDSL* (Instytut Łączności, Warszawa, 1999)
Sprecyzowano ogólne zasady transmisji HDSL, architekturę urządzeń, funkcje realizowane przez urządzenia, metody transmisji, strukturę ramek, parametry techniczne urządzeń oraz parametry techniczne torów przesyłowych. Podano również wymagania dotyczące parametrów jakościowych systemów HDSL oraz zasilania.
- **ITU-T G.991.2:** *Single-Pair High-Speed Digital Subscriber Line (SHDSL) transceivers*
Zaprezentowano ogólne zasady transmisji HDSL, architekturę urządzeń, funkcje realizowane przez urządzenia, metody transmisji i strukturę ramek. Ponadto przedstawiono parametry techniczne urządzeń oraz torów przesyłowych.
- **ETSI TS 101 524 V1.1.3:** *Transmission and Multiplexing (TM); Access transmission system on metallic access cables; Symmetrical single pair high bit rate Digital Subscriber Line (SDSL)*
Opisano technikę transmisyjną SHDSL, podając modele odniesienia i architekturę sieci. Zdefiniowano też system transmisyjny, strukturę fizyczną kabli i ich parametry fizyczne, metody transmisji, przepływność liniową sygnału oraz strukturę ramki dla obu kodów.

Ponadto do urządzeń HDSL odnoszą się następujące zalecenia związane z realizowanymi przez system usługami.

- **ITU-T G.703:** *Physical/electrical characteristics of hierarchical digital interfaces*
- **ITU-T G.704:** *Synchronous frame structures used at 1 544, 6 312, 2 048, 8 488 and 44 736 kbit/s hierarchical levels*
- **ETS 300 246:** *Business Telecommunications (BT); Open Network Provision (ONP) technical requirements; 2 048 kbit/s digital unstructured leased line (2048U); Network interface presentation* (w przypadku transmisji cyfrowej PCM 2 048 kbit/s – tryb nieramkowy)

^① TC-PAM (*Trellis Coded Pulse Amplitude Modulation*) – kombinacja modulacji wielowartościowej 16PAM (16 poziomów napięciowych) z nadmiarowym kodowaniem splotowym metodą Trellis Coding.

- **ETS 300 418:** *Business TeleCommunications (BTC); 2 048 kbit/s digital unstructured and structured leased lines (D1048U and D2048S); Network interface presentation* (w przypadku transmisji cyfrowej PCM 2 048 kbit/s – tryb ramkowy)
- **ITU-T Recommendation V.11, X.21, V.24, V.28, V.35, V.36** (w przypadku transmisji danych o przepływności $n \times 64$ kbit/s, gdzie $n = 1 \div 32$)
- **ETS 300 233:** *Integrated Services Digital Network (ISDN); Access digital section for ISDN primary rate* (w przypadku usług ISDN z dostępem pierwotnogrupowym 2 048 kbit/s (30B+D), dostęp TU 12 lub VC 12 dla styków SDH)

Stan normalizacji ADSL

System ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*) jest dedykowany głównie jako warstwa transmisyjna telekomunikacyjnych systemów multimedialnych, oferujących szerokopasmowe interaktywne usługi medialne. Asymetryczny dostęp abonencki ADSL zapewnia przesyłanie sygnałów cyfrowych za pośrednictwem tradycyjnego kabla miedzianego z różnymi przepływnościami, zależnie od kierunku transmisji – większą w stronę abonenta (do 8 Mbit/s), mniejszą w kierunku odwrotnym (do 640 kbit/s) w przypadku klasycznego systemu ADSL i odpowiednio do 1,5 Mbit/s i 512 kbit/s w przypadku systemu ADSL G.Lite (bez rozgałęźnika).

System transmisyjny ADSL szczegółowo zdefiniowano w projekcie normy ETR 328, w której oparto się na standardzie ANSI T1.413 i zaleceniach ITU-T z serii G.99X. W tych dokumentach sprecyzowano funkcje systemu ADSL, sposoby transmisji, strukturę ramki, metody modulacji, parametry elektryczne, wymagania dotyczące różnych zastosowań, wymagania środowiskowe, zasady zasilania i metody pomiarowe. W standardzie ANSI T1.413, zmodyfikowanym w 1999 r., zdefiniowano też sposoby transmisji systemu ADSL i ISDN-BRA na tej samej parze kablowej. Ponadto przedstawiono model odniesienia systemu ADSL oraz podstawowe moduły i styki dla sieci ADSL. Standaryzacja obejmuje zarówno klasyczny system ADSL, jak i system ADSL – G.Lite (bez rozgałęźnika).

Standardy dotyczące systemu ADSL

- **ANSI T1.413-1995/ANSI T1.413-1998:** *Network and Customer Installation Interface – Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) Metallic Interface*

Opisano interfejsy dla systemu ADSL dla pętli metalowych, interfejsy między siecią a instalacją użytkownika oraz transmisję między modemem po stronie użytkownika (ATU-R) i sieci (ATU-C).

- **ETSI ETR 328:** *Transmission and Multiplexing (TM); Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL); Requirements and performance*

Przedstawiono technikę asymetrycznej cyfrowej transmisji na linii abonenckiej ADSL, umożliwiającą transmisję kanałów cyfrowych na tej samej pojedynczej linii abonenckiej co analogowe usługi telefoniczne. Dokument oparto na wcześniej wymienionych dokumentach ANSI, uzupełniając go wymaganiami specyficznymi dla parametrów sieci stosowanych w Europie (szumy i testy pętli dla transmisji $n \times 2 048$ Mbit/s, gdzie $n = 1, 2, 3$, a także wymagania dla rozgałęźnika POTS). Ponadto określono interfejs między siecią telekomunikacyjną a instalacją abonencką oraz zestawiono jego parametry funkcjonalne i elektryczne.

- **ITU-T G.992.1:** *Asymmetrical digital subscriber line (ADSL) transceivers*

Zdefiniowano transmisję ADSL do szybkości 7 Mbit/s z zastosowaniem filtrów (*splitter*), rozgraniczających sygnały głosu od transmisji danych. Opisano charakterystyki warstwy fizycznej interfejsu liniowego. Określono parametry jednostek transmisyjnych ADSL, zakładając, że system umożliwia uzyskanie minimalnej przepływności 6,144 Mbit/s w kierunku do abonenta i 640 kbit/s do centrali. Omówiono współpracę sieci telekomunikacyjnej z instalacją abonencką. Podano też parametry elektryczne systemu.

- **ITU-T G.992.2:** *Splitterless asymmetric digital subscriber line (ADSL) transceivers*

Omówiono system transmisyjny ADSL – G.Lite, umożliwiający (tak, jak ADSL klasyczny) jednoczesną transmisję pasma akustycznego (włączając POTS i transmisję danych w pasmie akustycznym) oraz kanałów cyfrowych. Dopuszczono maksymalną przepływność w kierunku użytkownika 1 536 kbit/s, a w kierunku sieci (operatora) 512 kbit/s. Zdefiniowano system ADSL – G.Lite o uproszczonej konstrukcji, którego instalacja po stronie użytkownika nie wymaga dodatkowego rozgałęźnika, rozgraniczającego sygnały głosu od sygnałów danych, pracujący z przepływnościami użytkowymi do 1 Mbit/s.

- **ITU-T G.994.1:** *Handshake procedures for digital subscriber line (DSL) transceivers*

Opisano procedury negocjacji stosowane w systemach DSL do wzajemnego ustalania trybów pracy. Zdefiniowano sygnały, komunikaty i procedury komunikowania się współpracujących (na jednej linii) urządzeń ADSL.

- **ITU-T G.995.1:** *Overview of digital subscriber line (DSL) Recommendations*

Wskazano wymagania dla rodziny systemów DSL i ich wzajemne powiązania. Podano ogólne informacje, bez szczegółowego prezentowania zaleceń.

- **ITU-T G.996.1:** *Test procedures for digital subscriber line (DSL) transceivers*

Przedstawiono metodykę testowania systemów ADSL. Omówiono procedury testowania systemów, opisanych w zaleceniach z serii G.99X.

- **ITU-T G.997.1:** *Physical layer management for digital subscriber line (DSL) transceivers*

Zdefiniowano systemy zarządzania urządzeniami ADSL. Omówiono wymagania dotyczące elementów sieci zarządzania i ich zastosowania do konfiguracji oraz pomiarów parametrów i lokalizacji uszkodzeń.

- *Wstępne wymagania techniczne i eksploatacyjne na asymetryczne cyfrowe łącze abonenckie (ADSL)* (Instytut Łączności, Warszawa, 1998)

Opisano interfejs między siecią telekomunikacyjną a instalacją abonencką, a także jego parametry funkcjonalne i elektryczne. Podkreślono, że wymagania te dotyczą pojedynczego asymetrycznego łącza abonenckiego, pracującego na kablach miedzianych. Określono minimalny zestaw wymagań niezbędnych do wprowadzenia, na odcinku między siecią a interfejsem abonenta, jednoczesnej transmisji usługi POTS oraz różnego rodzaju kanałów cyfrowych jednokierunkowych z dużą szybkością transmisji i kanałów dwukierunkowych z małą szybkością transmisji. Sprecyzowano też wymagania dotyczące wszystkich aspektów warstwy fizycznej, niezbędnych do zagwarantowania kompatybilności między urządzeniem sieciowym a urządzeniem na odległym końcu łącza abonenckiego. Wymagania dotyczą systemu ADSL klasycznego. Opracowano je na podstawie norm ETR 328 (11/1996) oraz ANSI T1.413(06/1995).

Stan normalizacji VDSL

Technika VDSL (*Very high speed Digital Subscriber Line*), czyli cyfrowego łącza abonenckiego bardzo dużej szybkości, jest pewnym uzupełnieniem techniki ADSL, umożliwiającym uzyskanie większych szybkości transmisji na skrętce przewodów miedzianych, ale na mniejszych odległościach. Przepływność systemu VDSL w zależności od długości łącza zawiera się w granicach 12,96 Mbit/s (maksymalny zasięg transmisji 1500 m) do 55,20 Mbit/s (maksymalny zasięg 300 m) w stronę abonenta i 2 Mbit/s do 20 Mbit/s w stronę centrali.

Technika VDSL jest jedną z technologii, umożliwiających zastosowanie światłowodów w dostępczej sieci telekomunikacyjnej, np. światłowód doprowadzony do węzła FTTN (*Fiber to the Node*).

Prace nad standaryzacją techniki VDSL prowadzą trzy organizacje standaryzacyjne: Grupa T1E1.4 w ramach organizacji ANSI, ETSI oraz DAVIC (*Digital Audio-Visual Council*). Opracowaniem standardu VDSL zajmują się też organizacje ATM Forum i ADSL Forum. W ramach ANSI powstał standard T1E1.4/98-043R4, definiujący protokoły wymiany informacji oraz podstawowe parametry systemu. Na podstawie dokumentu ANSI opracowano w ETSI standard TS 101 270. Dokument ten oprócz podstawowych definicji oraz parametrów systemu zawiera wymagania VDSL dla aplikacji ATM/SDL.

Standardy dotyczące systemu VDSL

- **ETSI TS 101 270-1 V1.2.1:** *Transmission and Multiplexing (TM); Access transmission systems on metallic access cables; Very high speed Digital Subscriber Line (VDSL); Part 1: Functional requirements*
- **ETSI TS 101 270-2 V1.1.1:** *Transmission and Multiplexing (TM); Access transmission systems on metallic access cables; Very high speed Digital Subscriber Line (VDSL); Part 2: Transceiver specification*

W dokumentach tych opisano techniki VDSL wraz z konfiguracją modelu odniesienia oraz przedstawiono rozkład funkcjonalny interfejsów dla systemów VDSL. Podano wymagania dla układów nadawczo-odbiorczych systemów VDSL i wymagania jakościowe dla systemów VDSL. Omówiono procedury aktywacji i deaktywacji nadajników – odbiorników. Określono wymagania dla rozgałęźnika.

Wybrane wymagania dotyczące parametrów technicznych urządzeń, pracujących na tym samym kablu

Jak wiadomo, aby systemy pracowały poprawnie, muszą spełniać wymagania dotyczące parametrów elektrycznych, transmisyjnych oraz jakościowych. W niniejszym artykule przedstawiono parametry (np. tłumienność niedopasowania oraz gęstość widmowa mocy), które oddziałują na pracę nie tylko urządzeń danego systemu, ale również i innych urządzeń (innego systemu), pracujących na tym samym kablu. Oprócz fizycznej budowy łącza, na jakość transmisji wpływa też wiele czynników, które zakłócają i zniekształcają sygnał właściwy, powodując błędy transmisji. Najważniejsze z nich to:

- odbicia,
- przeniki zdalne i zbliżne.

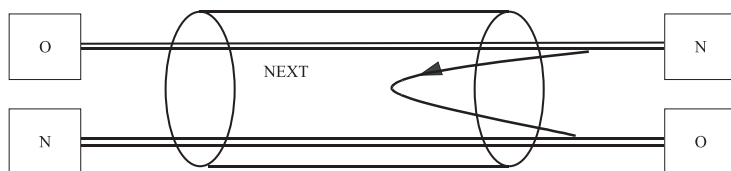
Na skutek niedopasowania urządzeń powstają sygnały odbite, które:

- kierując się w stronę nadajnika, jako echo własne sygnału, powodują straty mocy sygnału (im większe niedopasowanie, tym większe odbicie i tym mniejsza część sygnału dociera do odbiornika); sygnał odbity przenikający do par sąsiednich może zakłócać sygnał w nich transmitowany; czynniki te w istotny sposób ograniczają zasięg łączy xDSL oraz uzyskiwane maksymalne przepływności binarne;
- kierując się w stronę odbiornika, jako echo obce sygnału, powodują zniekształcenia amplitudowe i fazowe odbieranego sygnału.

Sygnały elektryczne przesyłane w liniach abonenckich na skutek występowania sprzężeń elektromagnetycznych między tymi liniami przenikają z jednej linii do drugiej i wzajemnie się zakłócają. Rozróżnia się dwa rodzaje przeników:

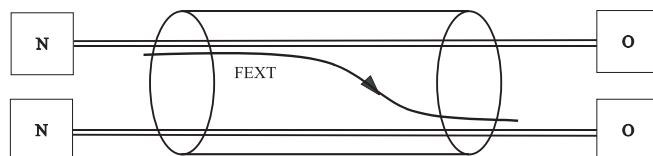
- przenik zbliżny NEXT (*Near End Crosstalk*),
- przenik zdalny FEXT (*Far End Crosstalk*).

Przenik NEXT definiuje się jako przenik między wiązkami nadawczymi i odbiorczymi na końcu kabla. Przesłuchy zbliżne (NEXT) występują tylko wtedy, gdy sygnał nadawany i odbierany są położone w tym samym pasmie (rys. 3).



Rys. 3. Powstawanie przeniku zbliżnego

Przeniki FEXT powstają wtedy, gdy dwa lub więcej sygnałów (o pokrywających się widmach) przesyła się w tym samym kierunku, lecz w różnych torach abonenckich (rys. 4). Na skutek zjawiska indukcji



Rys. 4. Powstawanie przeniku zdalnego

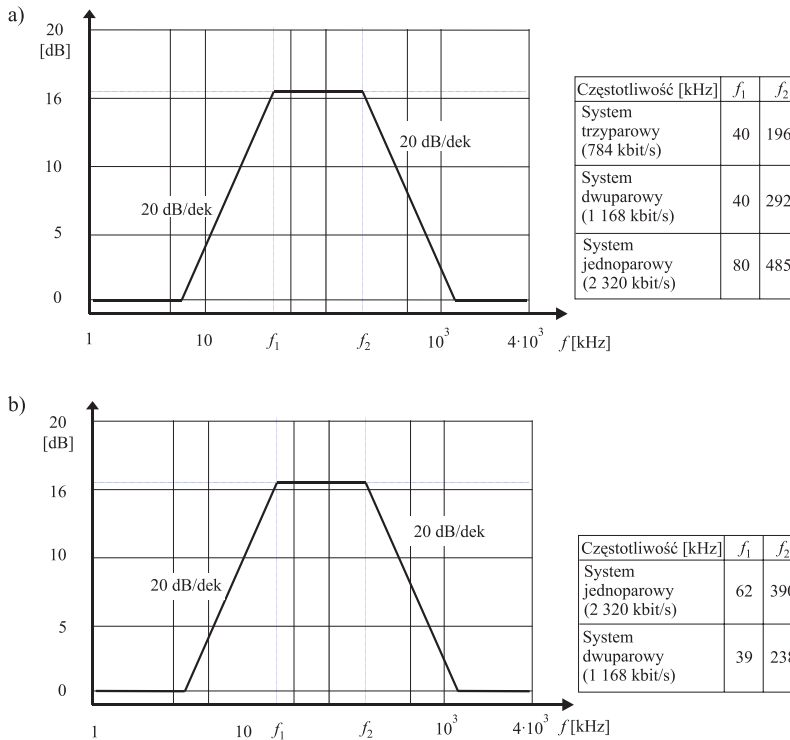
elektromagnetycznej, do odbiornika na drugim końcu toru transmisyjnego mogą docierać wówczas, oprócz sygnału podstawowego, sygnały mające swe źródło w torach sąsiednich.

Przeniki są tym większe, im większa jest moc przesyłanych sygnałów i im szersze jest pasmo częstotliwości wspólne dla obu sygnałów – zakłócanego i zakłócającego.

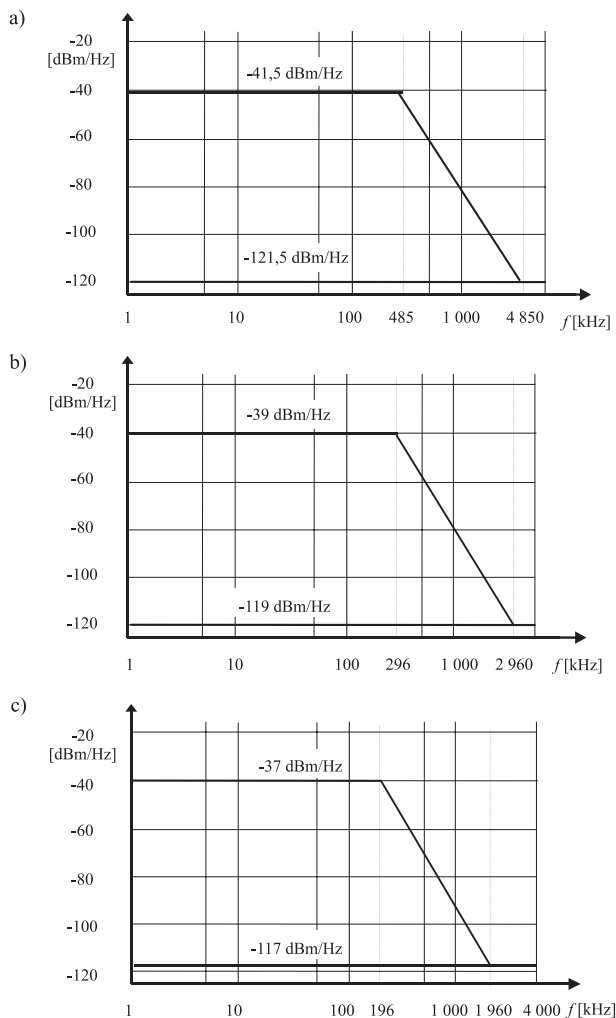
Moc widma sygnału i jego szerokość mają wpływ na przeniki, głównie zbliżne – NEXT, zakłócając sygnał transmitowany. Przeniki te są szczególnie niekorzystne przy dwukierunkowej transmisji sygnałów cyfrowych oraz przy pokrywaniu się widm sygnałów nadawanych i odbieranych.

Wymagania dotyczące interfejsów liniowych HDSL z kodem 2B1Q i CAP

Impedancja nadajnik/odbiornik HDSL w pasmie użytkowym powinna wynosić 135Ω zarówno dla urządzeń z kodem 2B1Q, jak i CAP. Natomiast tłumienność niedopasowania względem 135Ω powinna przebiegać powyżej wartości przedstawionych na rys. 5.



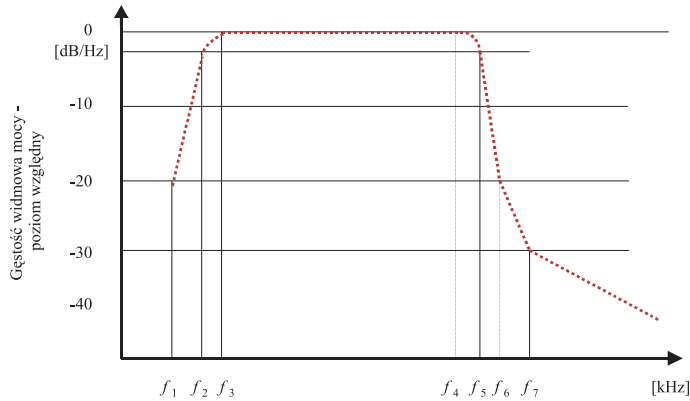
Rys. 5. Tłumienność niedopasowania nadajnika/odbiornika HDSL: a) dla kodu liniowego 2B1Q; b) dla kodu liniowego CAP



Rys. 6. Gęstość widmowa mocy systemu HDSL z kodem liniowym 2B1Q: a) jednoparowego; b) dwuparowego; c) trzyparowego

Gęstość widmowa mocy sygnału wysyłanego przez nadajnik HDSL nie powinna przekraczać wartości:

- $-41,5$ dBm/Hz w pasmie częstotliwości do 485 kHz dla systemu jednoparowego z kodem 2B1Q;
- -39 dBm/Hz w pasmie częstotliwości do 292 kHz dla systemu dwuparowego z kodem 2B1Q;
- -37 dBm/Hz w pasmie częstotliwości do 196 kHz dla systemu trzyparowego z kodem 2B1Q;
- -40 dBm/Hz $\pm 1,5$ dBm/Hz w pasmie częstotliwości od 39,02 kHz do 237,58 dla systemu dwuparowego z kodem CAP (co odpowiada 0 dB/Hz na rys. 7a);
- 40 dBm/Hz $\pm 1,5$ dBm/Hz w pasmie częstotliwości od 62,00 kHz do 390,67 dla systemu jednoparowego z kodem CAP (co odpowiada 0 dB/Hz na rys. 7b).



Częstotliwość [kHz]	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7
System dwuparowy	3,98	21,50	39,02	237,58	255,1	272,62	297,0
System jednoparowy	4,00	33,00	62,00	390,67	419,67	449,67	489,02

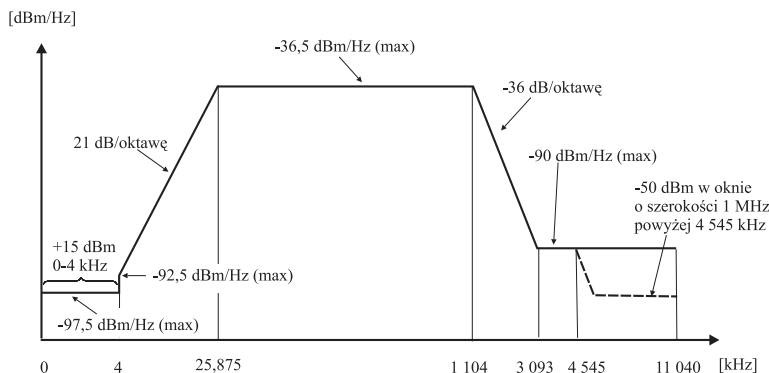
Rys. 7. Gęstość widmowa mocy systemu HDSL z kodem liniowym CAP

W pozostałych zakresach częstotliwości gęstość widmowa mocy powinna przebiegać poniżej wartości podanych na rys. 6 i 7.

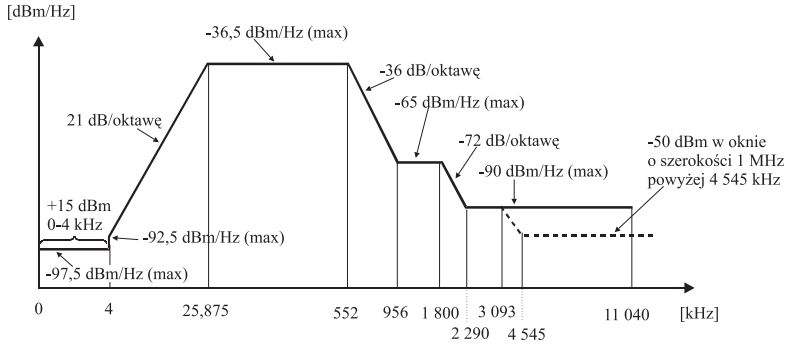
Wymagania dotyczące interfejsów liniowych ADSL

Tłumienność niedopasowania odniesiona do impedancji 100 Ω w zakresie częstotliwości od 30 kHz do 1 100 kHz powinna być ≤ 10 dB.

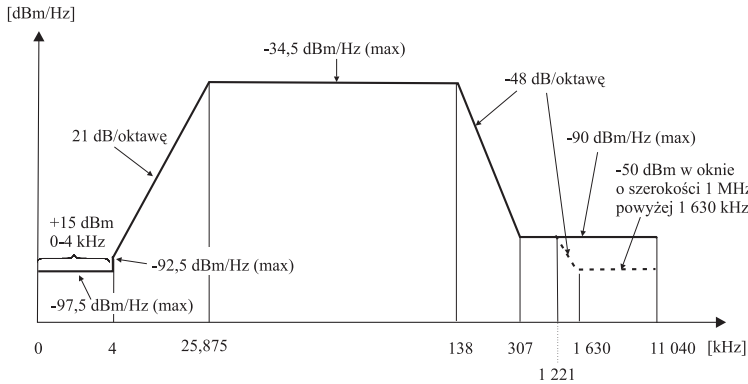
Gęstość widmowa mocy (PSD) – gabaryty charakterystyki widmowej dla sygnałów nadawanych (w zależności od rodzaju sygnałów nadawanych oraz kierunku transmisji) pokazano na rys. 8 ÷ 11.



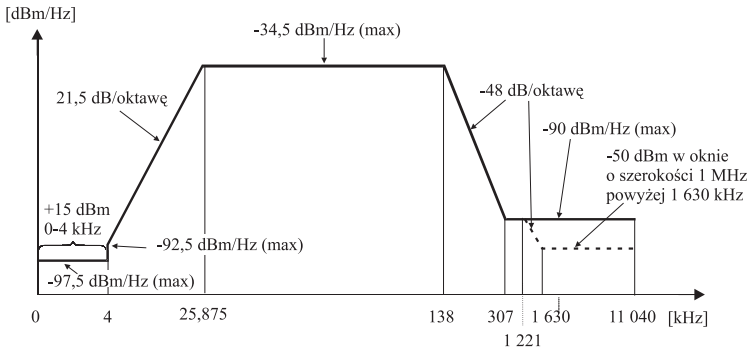
Rys. 8. Gęstość widmowa mocy (PSD) sygnału interfejsu liniowego UC dla systemu ADSL klasycznego



Rys. 9. Gęstość widmowa mocy (PSD) sygnału interfejsu liniowego UC dla systemu ADSL G.Lite



Rys. 10. Gęstość widmowa mocy (PSD) sygnału interfejsu liniowego UR dla systemu ADSL klasycznego



Rys. 11. Gęstość widmowa mocy (PSD) sygnału interfejsu liniowego UR dla systemu ADSL G.Lite

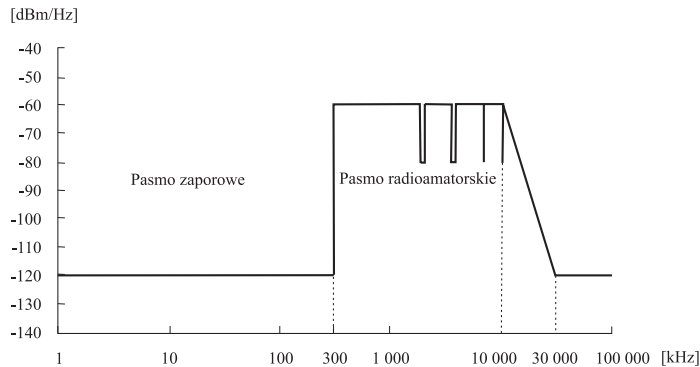
Dolne pasmo widma częstotliwości od 0 do 4 kHz jest pasmem podstawowym telefonii analogowej. Pasma przepustowe (zależne od kierunku transmisji i rodzaju systemu) jest to zakres wykorzystywany przez modem do transmisji ADSL. Pasma leżące powyżej pasma przepustowego jest to górne pasmo zaporowe.

Gęstość widmowa mocy sygnału interfejsu liniowego UC (od strony centrali – w kierunku do abonenta) dla ADSL klasycznego oraz G.Lite powinna spełniać warunki podane na rys. 8 i 9.

Gęstość widmowa mocy sygnału interfejsu liniowego UR (od strony abonenta – w kierunku węzła sieci) dla ADSL klasycznego oraz G.Lite powinna spełniać warunki przedstawione na rys. 10 i 11.

Wymagania dotyczące interfejsów liniowych VDSL

Gęstość widmowa mocy jest sprecyzowana w różnych wymaganiach dotyczących gęstości widmowej mocy – zależnie od liczby systemów, pracujących na tym samym kablu co system VDSL, lecz na sąsiednich parach (patrz norma ANS T1E1. 4/98-043R5). Poniżej podano wymagania określone na podstawie dokumentu ETSI TS 101 270-1 V1.1.2.



Rys. 12. Maksymalna dopuszczalna gęstość widmowa mocy

Maksymalna gęstość widmowa mocy (rys. 12) nie powinna przekraczać wartości:

- -120 dBm/Hz w pasmie $0 \dots 300$ kHz,
- -60 dBm/Hz w pasmie $300 \dots 10$ MHz,
- powyżej 10 MHz moc powinna spadać liniowo zgodnie z $\lg f$ do wartości -120 dBm/Hz przy $f = 30$ MHz.

Przy częstotliwościach odpowiadającym standaryzowanemu pasmu amatorskiemu gęstość widmowa mocy nie powinna przekraczać -80 dBm/Hz.

Uwagi końcowe

Przedstawiony w artykule przegląd norm nie wyczerpuje tematu, ponieważ telekomunikacja jest jednym z najdynamiczniej rozwijających się sektorów i wraz z jej rozwojem zmianom podlega również standaryzacja. System HDSL szczegółowo zdefiniowano w normie ETSI TS 101 135 V1.4.1, a ADSL – w normie ETR 328 oraz zaleceniach ITU-T z serii G.99x. Nadal trwają prace normalizacyjne nad systemami VDSL i SHDSL. Ponadto normy są wciąż aktualizowane w związku z doświadczeniami wyniesionymi z eksploatacji urządzeń. Prace standaryzacyjne prowadzi Komitet 15 ITU-T, ETSI i DSL Forum, często w początkowej fazie prac jako obowiązujące standardy wprowadza się normy fabryczne dużych firm, takich jak Ericsson, Alcatel, Siemens.

Znaczenie standaryzacji wzrasta szczególnie teraz, gdy – po ponad rocznym obowiązywaniu ustawy *Prawo telekomunikacyjne* – nie ma ustaw wykonawczych i jasnego sprecyzowania, które z urządzeń powinny podlegać obowiązującym badaniom. Spełnienia wymagań przez urządzenia muszą przestrzegać zatem nie tylko operatorzy, ale i użytkownicy.

Jak wynika z ogólnego modelu odniesienia sieci dostępowej, po stronie użytkownika mogą być zainstalowane zarówno terminale, jak i urządzenia NT, modemy xDSL, abonenckie urządzenia końcowe oraz urządzenia dostępu szerokopasmowego. Ze względu na położenie ww. urządzeń po stronie użytkownika powinny być one traktowane jak urządzenia końcowe i podlegać obowiązkowym badaniom (co w dotychczasowym prawie nie zostało uwzględnione). Obecnie nie ma w Polsce nie tylko żadnych instytucji kontrolnych, które mogłyby sprawnie nadzorować rynek telekomunikacyjnych urządzeń końcowych, ale również nie zostało zdefiniowane, co jest urządzeniem końcowym. Do tej pory rolę „strażnika” pełnił Instytut Łączności, prowadząc badania homologacyjne w akredytowanych laboratoriach IŁ. Na podstawie wieloletnich doświadczeń, związanych z testowaniem różnych urządzeń (podczas badań homologacyjnych), można stwierdzić, że urządzenia końcowe (w tym szerokim pojęciu) powinny podlegać obowiązkowym badaniom.

Bibliografia

- [1] Dziga J.: *Zagadnienia sygnałowe w transmisji ADSL*. Materiały z konferencji pt. „Cyfrowe łącza abonenckie ADSL/VDSL”, Kraków, Wyd. FPT, 1998
- [2] ETSI ETR 152 (1995-02): *Transmission and Multiplexing (TM); High bit-rate Digital Subscriber Line (HDSL) transmission on metallic local lines*
- [3] ETSI ETS 300 418 ed. 1 (1995-11): *Business TeleCommunications (BTC); 2 048 kbit/s digital unstructured and structured leased lines (D2048U and D2048S); Network interface presentation*
- [4] Gut-Mostowy H.: *Techniki transmisyjne w multimedialnych, abonenckich sieciach dostępowych*. Przegląd Telekomunikacyjny + Wiadomości Telekomunikacyjne, 1998, nr 9, s. 629–638
- [5] Projekt normy ANSI T1E1.4.: *Very-high-speed Digital Subscriber Lines; System Requirements (T1E1.4/98-043R4)*; Draft Technical Document – Revision 16
- [6] Raport ITU-T: *Selectable PSDs for VDSL*. LM Ericsson

- [7] Raport ITU-T: *Summary Comparison of QAM and DMT for VDSL Recommendation*. Broadcom Corporation
- [8] Raport ITU-T: *VDSL Requirements from a System Providers Perspective*. Lucent Technologies

Teresa Dubilis



Inż. Teresa Dubilis (1945) – absolwentka Wydziału Elektroniki i Elektrotechniki Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy (1968); długoletni pracownik Instytutu Łączności w Warszawie (od 1968); autorka kilku publikacji; zainteresowania naukowe: szerokopasmowe sieci dostępne, techniki transmisyjne xDSL.

e-mail: redakcja@itl.waw.pl