

Łukasz ZBYDNIIEWSKI, Andrzej BIEN
 KATEDRA TELEKOMUNIKACJI, (AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA)
 KATEDRA METROLOGII, (AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA)

Modem PLC a jakość energii

Mgr inż. Łukasz ZBYDNIIEWSKI

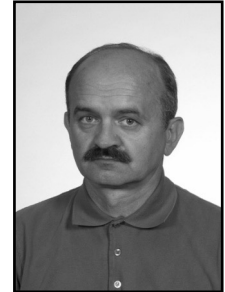
Ukończył Elektrotechnikę na Wydziale EAIIE, specjalności Automatyka i Metrologia, Akademii Górniczo-Hutniczej w 2006 roku. Obecnie jest studentem pierwszego roku studiów doktoranckich w Katedrze Telekomunikacji tejże uczelni. Obszar zainteresowań obejmuje: zastosowanie cyfrowego przetwarzania sygnałów w telekomunikacji.



e-mail: zbydniew@kt.agh.edu.pl

Dr hab. inż. Andrzej BIEN

Urodził się w Warszawie w 1954 roku. Studiował i otrzymał stopień doktora habilitowanego na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Pracuje w Katedrze Metrologii Akademii Górniczo-Hutniczej. Główne zainteresowania zawodowe są związane z pomiarami i systemami pomiarowymi z użyciem szybkich procesorów sygnałowych, w szczególności aplikacje związane z energią elektryczną i jej jakością.



e-mail: abien@agh.edu.pl

Streszczenie

W artykule omówiono obowiązujące aktualnie standardy oraz regulacje prawne w zakresie technologii PLC (ang. Power Line Communications). Scharakteryzowano w skrócie kanał transmisyjny, jaki tworzą zwykłe przewody instalacji elektrycznej. Przedstawiono wyniki pomiarów w sieci energetycznej budynku wielomieszkaniowego dużego polskiego miasta. W pomiarach wykorzystano modemy PLC.

Słowa kluczowe: jakość energii, kanał PLC, transmisja PLC

Modem PLC and Power Quality

Abstract

In this article present Power Line Communications (PLC) technology standards and regulations were examined. Short characterization of PLC channel made from standard power lines was presented. Results of measurements in a multi-apartment building in Poland were presented. In researches were also utilized the HomePlug 1.0 standard PLC mode.

Keywords: Power Quality, PLC channel, PLC transmission

1. Wprowadzenie

Wykorzystanie instalacji elektrycznej do przesyłania oprócz energii elektrycznej, również danych, stało się możliwe dzięki rozwojowi nowoczesnych technik telekomunikacyjnych. Pomysł ten nie jest wcale nowy, bowiem już w latach 20'tych ubiegłego wieku stosowano ten rodzaj transmisji do przesyłania sygnałów sygnalizacyjnych w sieci energetycznej [5]. W latach kolejnych powstało kilka specyfikacji przemysłowych, takich jak dobrze znane standardy: X-10, CEBus czy LonWorks. Wykorzystują one niejednokrotnie instalację elektryczną jako medium transmisyjne. Tego typu komunikację PLC nazywamy wąskopasmową (ang. narrowband), ponieważ zwykle wykorzystuje ona wąskie pasmo częstotliwości, co nie pozwala na uzyskanie również dużych przepływności bitowych. Wraz z rozwojem cyfrowego przetwarzania sygnałów i nowych metod transmisji oraz rosnącymi wymaganiami użytkowników pojawił się pomysł wykorzystania tego medium również do przesyłania dużej ilości danych, odpowiedniej dla transmisji multimedialnych. Na rynku można znaleźć już urządzenia pracujące z przepływnościami rzędu 200 Mb/s. Wprowadzenie do przewodów sieci elektroenergetycznej sygnałów urządzeń PLC związane jest z powstawaniem efektów wzajemnych oddziaływań tych sygnałów i napięcia sieci elektroenergetycznej. Oddziaływania te mogą wpły-

wać na szeroko rozumianą jakość energii elektrycznej. Autorzy chcieli wstępnie sprawdzić czy takie oddziaływania są istotne i czy dokumenty normalizacyjne poświęcają temu zagadnieniu szerszą uwagę. Drugim aspektem tych oddziaływań jest problem jak zaburzenia w sieci energetycznej wpływają na pracę urządzeń PLC. Pogorszona jakość energii elektrycznej zazwyczaj objawia się wahaniami napięcia sieci czyli modulacją amplitudową i fazową składowej podstawowej (50 Hz) oraz znaczną wartością wskaźnika THD (powyżej 8%) czyli dużą zawartością harmonicznych w widmie napięcia sieci. Widmowy obszar zaburzeń dla niskich częstotliwości nie nakłada się na obszar wykorzystywany w transmisji PLC, ale wyskokczęstotliwościowy już tak. Szczególnie niebezpieczne dla transmisji są zaburzenia w sieci elektroenergetycznej o charakterze impulsów – stanów przejściowych. Niestety współczesna sieć zasila szereg nowoczesnych odbiorników wprowadzających takie zaburzenia, np.: energooszczędne źródła światła, zasilacze elektroniczne itp.

W artykule przedstawiono regulacje prawne dotyczące technologii PLC oraz w skrócie dwie specyfikacje przemysłowe. Jedną z nich, należąca do starszej generacji urządzeń PLC, dostępna już na rynku od dłuższego czasu oraz druga, aprobowana na początku 2006 roku, reprezentująca nowe trendy i kierunki w rozwoju tej technologii. Następnie zapoznano się z kanałem PLC widzianym jako medium transmisyjne i przedstawiono jego główne cechy. Na szczególną uwagę zasługuje jego nieprzewidywalność oraz występowanie różnego rodzaju zakłóceń, co sprawia, że jest on trudny w analizie i modelowaniu. Zaprezentowano również wyniki pomiarów składowych napięcia w sieci elektrycznej dużego budynku, specjalnie wykonaną do tego celu sondą. Wykorzystanie modemów PLC pozwoliło na pomiary parametrów szumowych sieci w trakcie ich pracy. Na końcu wysunięto wnioski dotyczące wpływu transmisji PLC na jakość energii.

2. Standardy transmisji PLC

Pomimo międzynarodowych starań, jak dotąd nie istnieje jednolity standard precyzujący wymogi i ograniczenia dla urządzeń przesyłających sygnały transmisyjne w sieci energetycznej. Istotny problem stanowi kompatybilność elektromagnetyczna EMC (ang. Electromagnetic Compatibility), gdzie różnice regulacyjne wciąż mogą obejmować nawet poszczególne kraje. Od roku 1996 w Unii Europejskiej obowiązuje jednak dyrektywa dotycząca EMC – (Dyrektywa Nr 89/336/EEC). Za jej sprawą powstały kryteria pod względem emisji i odporności na zakłócenia na podstawie, których dopuszcza się do użytku urządzenia elektryczne i elektroniczne [8].

2.1. Uregulowania prawne

W Europie, dla transmisji sygnałów w sieci energetycznej z małymi szybkościami, obowiązuje norma PN-EN 50065: „Transmisja sygnałów w sieciach elektrycznych niskiego napięcia w zakresie częstotliwości od 3 kHz do 148,5 kHz”. Precyzuje ona warunki pracy urządzeń elektrycznych i teleinformatycznych. Zakres częstotliwości został podzielony tutaj na pasma: A, B, C oraz D, na które nałożono wymagania odnośnie transmisji, przedstawione w Tabeli 1 [6].

Pasma częstotliwości od 3 do 9 kHz przeznaczone jest wyłącznie dla dostawców energii elektrycznej. Wykorzystuje się je między innymi do zdalnego odczytu liczników energii elektrycznej. Pasma A mogą wykorzystywać zarówno dostawcy energii, jak i użytkownicy licencjonowani. Pasma B i D mogą być użyte przez odbiorców bez nakładania na nich szczególnych wymogów. Dopiero w paśmie C wymagane jest stosowanie protokołu dostępu – CSMA (ang. Carrier Sense Multiple Access). Jego różne warianty stosuje się między innymi w standardzie IEEE 802.11 oraz IEEE 802.15. Trzeba jednak zwrócić uwagę na fakt, że ograniczony zakres częstotliwości nie pozwala na osiąganie dużych przepływności bitowych. Maksymalna jej wartość jest szacowana na 100 kb/s, co jest zdecydowanie za mało na dzisiejsze potrzeby użytkowników obejmujące m. in. takie usługi jak dostęp do Internetu czy multimedia.

Tab. 1. Pasma transmisji danych według normy PN-EN 50065
Tab. 1. Data transmission bands according to the norm PN-EN 50065

Pasma	Zakres częstotliwości	Zastosowanie
—	3 kHz – 9 kHz	Wyłącznie dla dostawców energii;
A	9 kHz – 95 kHz	Dla dostawców energii elektrycznej i właścicieli koncesji;
B	95 kHz – 125 kHz	Dla odbiorców bez ograniczeń;
C	125 kHz – 140 kHz	Dla odbiorców – wymaga protokołu dostępu;
D	140 kHz – 148.5 kHz	Dla odbiorców bez ograniczeń;

Tab. 2. Dopuszczalne poziomy zaburzeń na zaciskach zasilania dla urządzeń klasy A i B ITE według normy PN-EN 55022
Tab. 2. Limits for conducted disturbance at the mains ports of class A and B ITE according to the norm PN-EN 55022

Zakres częstotliwości MHz	Dopuszczalne poziomy dB(μV)	
	Quasi-szczytowe (Klasa A)	Quasi-szczytowe (Klasa B)
od 0.15 do 0.50	79	od 66 do 56
od 0.50 do 5	73	56
od 5 do 30	73	60

Tab. 3. Dopuszczalne poziomy przewodowych zaburzeń wspólnych (asymetrycznych) na przyłączach telekomunikacyjnych według normy PN-EN 55022
Tab. 3. Limits of conducted common mode (asymmetric mode) disturbance at telecommunication ports according to the norm PN-EN 55022

Zakres częstotliwości MHz	Poziomy dopuszczalnych napięć dB(μV)	
	Quasi-szczytowe (Klasa A)	Quasi-szczytowe (Klasa B)
od 0.15 do 0.50	od 97 do 87	od 84 do 74
od 0.50 do 30	87	74

CISPR (ang. The International Special Committee on Radio Interference) jest grupą wywodzącą się z organizacji IEC (ang. International Electrotechnical Commission) zajmującą się opracowywaniem standardów dla ochrony transmisji radiowych przed interferencjami pochodzącymi od między innymi: źródeł zasilania, przemysłu, odborników radiowych i telewizyjnych, a także urządzeń informatycznych (ang. Information Technology Equipment) w skrócie – ITE [10].

Na podstawie dokumentu CISPR 22 opracowana została europejska norma EN-55022. W Polsce obowiązuje jej tłumaczenie pod postacią PN 55022 - „Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) - Urządzenia informatyczne - Charakterystyki zaburzeń radioelektrycznych - Poziomy dopuszczalne i metody pomiaru”. Definiuje ona dopuszczalne poziomy zaburzeń przewodowych oraz zaburzeń wspólnych na zaciskach zasilania dla urządzeń informatycznych i telekomunikacyjnych (Tabele 2 i 3). Ponieważ urządzenia PLC należą do grupy urządzeń telekomunikacyjnych muszą również spełniać zawarte tam ograniczenia, co do poziomu generowanego sygnału [7].

Na obszarze regionów 2 i 3 Międzynarodowego Związku Telekomunikacyjnego (obie Ameryki, Oceania oraz Azja) obowiązuje dokument IEC 61000-3-8 (ang. Electromagnetic Compatibility Part 3 – Limits – Section 8 Signaling on Low-Voltage Electrical Installations – Emission Levels, Frequency Bands and Electromagnetic Disturbance Levels). Obejmuje on tylko urządzenia przeznaczone do prostej sygnalizacji, nadzoru oraz kontroli i precyzuje pasma częstotliwości w zakresie do 525 kHz oraz dopuszczalne poziomy zakłóceń elektromagnetycznych.

W Stanach Zjednoczonych działa również Federalna Komisja do Spraw Komunikacji, FCC (ang. Federal Communications Commission), regulująca zasady wykorzystania częstotliwości radiowych do komunikacji. Ponieważ w zamierzeniach do transmisji PLC planowane jest wykorzystanie pasma wielkich częstotliwości: od 1 MHz do 30 MHz, urządzenia PLC muszą tam spełniać również przepisy zawarte w dokumencie FCC Part 15. Według niego, w zakresie częstotliwości od 5 MHz do 30 MHz, średnia wartość emisji nie powinna przekraczać 50 dB(μV).

2.2. Specyfikacje przemysłowe

Technologia PLC do swobodnego rozwoju wymaga standardów. Obecnie prowadzone są prace standaryzujące przez wiele organizacji takich jak: IEEE, ETSI a także HomePlug Powerline Alliance, Universal Powerline Association oraz Open PLC Europe Research Alliance (OPERA), częściowo finansowany przez Komisję Europejską [9]. Często stowarzyszone są one z firmami branż przede wszystkim informatycznej i telekomunikacyjnej, ale również AGD. W wyniku tych działań zostały aprobowane dwie ważne specyfikacje HomePlug 1.0 oraz ostatnio (2006) specyfikacja projektu OPERA.

Standard HomePlug 1.0 [1]. Specyfikacja HomePlug 1.0 przewiduje możliwość przesyłania danych z szybkością do 14 Mb/s. Określa dwie najniższe warstwy pracy modemu: warstwę fizyczną oraz warstwę łącza danych (MAC).

Specyfikacja warstwy fizycznej wykorzystuje technikę OFDM (ang. Orthogonal Frequency Division Multiplexing) z cyklicznym prefiksem. Technologia ta znana jest m. in. z zastosowania w modemach DSL (ang. Digital Subscriber Line) oraz sieciach bezprzewodowych WLAN (ang. Wireless Local Area Network). Duży nacisk kładzie się na kontrolę błędów transmisji wykorzystując zarówno korekcję Reeda–Solomona jak i tzw. turbo kody. Modem dokonuje estymacji kanału transmisyjnego i na tej podstawie decyduje, które kanały wykorzystać oraz jaki rodzaj modulacji i korekcji zastosować.

Stosowane są trzy warianty modulacji impulsowej PSK (ang. Phase Shift Keying) dla poszczególnych podnośnych: Coherent Binary PSK (BPSK), Differential BPSK (DBPSK) oraz Differential Quadrature PSK (DQPSK).

Transmisja OFDM dokonywana jest w paśmie od 4.49 MHz do 20.7 MHz. Jest ono równo podzielone na 128 podnośnych. Wydzielone zostały cztery podpasma, na których modem nie nadaje. Ich położenie powinno być dopasowane do lokalnych regulacji telekomunikacyjnych. Ma na to pozwolić tzw. Mapa Tonów (ang. Tone Map), która jest pewnego rodzaju maską, zabraniającą transmisji przy określonych częstotliwościach. Chodzi tu przede wszystkim o innych nadawców i ich odbiorców. Pasma częstotliwości w zakresie kilku MHz użytkowane jest często przez radioamatorów, ale również służby użyteczności publicznej.

Specyfikacja projektu OPERA [9]. Pierwsza faza projektu OPERA (ang. Open PLC European Research Alliance) zakończyła się w grudniu 2005 roku. Jej owocem był aprobowanie w lutym 2006 nowej specyfikacji PLC, dotyczącej również warstwy fizycznej oraz warstwy MAC dla transmisji siecią energetyczną.

Od samego początku wyznaczniki projektu były jasno określone. Głównym celem było udostępnienie zalet technologii PLC dla zwykłych obywateli poprzez poprawę istniejących rozwiązań i wprowadzenie nowych [9]. Dodatkowo projekt ten przewiduje również działanie zmierzające do standaryzacji tego coraz bardziej popularnego sposobu transmisji. Jego członkami jest 35 organizacji głównie z państw Europy, ale również z Izraela. Dysponuje budżetem 20 milionów Euro, z czego 9 milionów Euro otrzymano od Komisji Europejskiej.

Nowa specyfikacja przewiduje uzyskiwanie przepływności bitowych rzędu 200 Mb/s, co stanowi sporą różnicę w stosunku do oferowanych poprzednio 14 Mb/s. Podobne jak w standardzie HomePlug 1.0, wykorzystuje się modulację OFDM z tym, że w wersji z oknem (ang. Windowed OFDM) oraz zwiększoną ilością nośnych do 1536. Wprowadza się trzy typy symboli definiowanych przez pasmo częstotliwości, kolejno: 30 MHz, 20 MHz oraz 10 MHz. Dodatkowo wprowadzono kilkanaście innych usprawnień, dzięki czemu udało się osiągnąć znacznie lepsze parametry transmisji. Szczegółowe informacje na temat samego projektu, jaki i pełną specyfikację można znaleźć na jego stronie WWW [9].

3. Kanał PLC

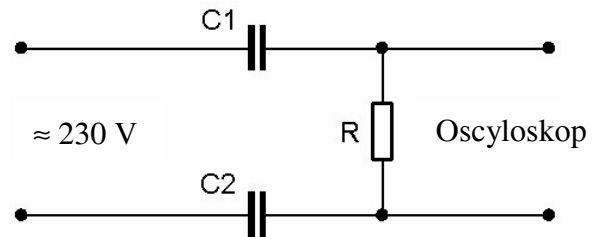
Kanał PLC z pewnością nie stanowi wymarzonego medium transmisyjnego. Składa się na to kilka czynników. Sieci elektryczne zaprojektowane zostały do przesyłu energii elektrycznej z wykorzystaniem napięcia przemiennego o dużej amplitudzie i stosunkowo niskiej częstotliwości. Nie przewidziano możliwości zastosowania tego medium do transmisji w zakresie wielkich częstotliwości. Dodatkowo struktura samej sieci jest zmienna. Włączenie lub wyłączenie dowolnego urządzenia może spowodować istotne zmiany w jej parametrach takich jak impedancja czy poziom zakłóceń. Duża liczba odgałęzień jest przyczyną powstawania wielokrotnych odbić sygnału transmitowanego, który jednocześnie dociera do odbiornika wieloma ścieżkami [4].

Istotnym parametrem każdego kanału transmisyjnego są jego odpowiedzi: impulsowa i częstotliwościowa. Są one nieco inne dla instalacji elektrycznej znajdującej się wewnątrz budynku i instalacji zewnętrznej, rozpraszającej energię do poszczególnych budynków [3]. Odpowiedzi impulsowe kanału PLC wewnątrz budynku są zazwyczaj znacznie krótsze niż te na zewnątrz. Natomiast ich odpowiedzi częstotliwościowe charakteryzują się znaczną ilością wcięć (nagły wzrost tłumienia) wynikającą z wielu odbić.

Kolejnym argumentem przemawiającym na niekorzyść kanału PLC jest występowanie wielu rodzajów zakłóceń. Nie można tu już mówić o obecności jedynie addytywnego szumu Gaussowskiego (AWGN) [4]. Według pracy [3] wyróżnić można przynajmniej cztery rodzaje szumów: kolorowy, wąskopasmowy, impulsowy synchroniczny oraz impulsowy asynchroniczny. Zwłaszcza ten ostatni charakteryzują się dużą szkodliwością [3] dla sygnałów transmisyjnych, dlatego też zasługują

4. Pomiary w sieci energetycznej

Istotną część badań stanowią pomiary na rzeczywistym sygnale obecnym w instalacji elektrycznej budynku wielomieszkanowego. Postanowiono przyrzeć się charakterystykom szumowym kanału energetycznego oraz dokonać obserwacji sygnałów trans-



Rys. 3. Schemat sondy pomiarowej
Fig. 3. Measurement probe schematic

misyjnych modemów PLC. Przedstawiono prostą metodę dokonania takiego pomiaru za pomocą oscyloskopu cyfrowego oraz odpowiedniej sondy. Pomieszczenie, w którym prowadzono badania jest wyposażone w komputery klasy PC i aparaturę dydaktyczną. Instalacja pomieszczenia jest zasilana z transformatora 500 kVA odległego o 300m. Niektóre współpracujące z transformatorem są niespokojne tj. zmieniają znacznie wartości pobieranej energii, nawet rzędu 50 W. Miejsce, w którym wykonywano pomiary wcześniej było monitorowane za pomocą przyrządów do oceny jakości energii elektrycznej. Wybrano porę dnia, w której przeważnie odbiorniki te nie są eksploatowane.

Monitorowano wahanie napięcia i wskaźnik zawartości harmonicznych THD. Wahanie napięcia określone przez wskaźnik P_{ST} nie przekraczało 0,2, a THD było mniejsze od 2%, czyli miejsce badań miało właściwości bardzo dobrego punktu pobierania energii elektrycznej (zgodnie z obowiązującymi aktami normatywnymi [6, 8]).

4.1. Charakterystyki szumowe

W badaniach dokonano szereg pomiarów napięcia sieci. Do tego celu użyto cyfrowego oscyloskopu TS 1002 firmy Tektronix umożliwiającego próbkowanie z częstotliwością 1 GHz, dzięki czemu można było obserwować sygnał w dużym zakresie częstotliwościowym. Szczególną uwagę zwrócono na zakres częstotliwości od 1 MHz do 30 MHz.

W celu dokonania pomiarów zbudowano specjalną sondę, której schemat ideowy przedstawiono na rysunku 3. Układ miał na celu zapewnienie skutecznej separacji galwanicznej przy jednoczesnym wprowadzaniu jak najmniejszej ilości zniekształceń do mierzonego sygnału. Dodatkowym pozytywnym efektem było znaczne tłumienie składowej podstawowej napięcia sieci. Dzięki niemu uzyskano ograniczenie napięcia 230 V do wartości bezpiecznej do dokonywania pomiarów. Kondensatory separujące C1 i C2, każdy po 10 nF wybrano zwracając uwagę na ich parametry zastępcze $\text{tg}(\delta)$. Przy tak dobranych parametrach elementów dzięki górnoprzepustowej charakterystyce układu, osiągnięto obniżenie wartości skutecznej napięcia podstawowej harmonicznej do około 6 V.

Pomiary dokonywane były w laboratorium znajdującym się w dużym, 3-piętrowym budynku. Zebrane dane, po przeniesieniu na komputer PC, poddano analizie widmowej. Wyznaczono gęstość widmową mocy sygnału (PSD) biorąc do analizy 20 powtórzeń pomiaru, każdy po 2048 próbek. Wyniki przedstawiono na rysunku 4.

Gęstość widmowa mocy tła znajduje się na poziomie około minus 105 dB. Ponad ten poziom wyłaniają się pojedyncze prążki widma praktycznie w całym paśmie obserwowanym na rysunku 4. Ich wartość szczytowa waha się w granicach od 5 do 15 dB ponad tło. Pomiary powtórzono i okazało się, że prążki ma wid-

mie umiejscowione są w innych miejscach. Świadczy to o zmiennym charakterze zakłóceń występujących w sieci energetycznej zwłaszcza w zakresie tych częstotliwości.

Przewody energetyczne składają się zwykle z 3 żył w izolacji. Umieszczone w ścianach, nie posiadające żadnego ekranu, mogą być traktowane jak nieefektywne anteny. Odbierają one, znajdujące się w otoczeniu fale elektromagnetyczne pochodzące od radiowych stacji nadawczych lub innych, znajdujących się w pobliżu urządzeń elektrycznych. Z drugiej strony również same mogą stanowić źródło zakłóceń, dlatego konieczne jest ograniczanie mocy nadawanego sygnału poniżej wartości podawanej przez odpowiednie normy. To z kolei sprawia, że sygnały transmitowane stają się wrażliwe na wszelkiego rodzaju zakłócenia.

4.2. Przykład pracy modemu PLC

Przeprowadzone zostały również eksperymenty z dwoma dostępnymi na rynku modemami firmy Develo – MicroLink modele MT 2044, przeznaczonymi do przesyłania danych przez sieć energetyczną. Pracują one w standardzie HomePlug 1.0 opracowanym przez organizację HomePlug Powerline Alliance. Instalacja tych urządzeń jest bardzo prosta i sprowadza się do podłączenia kabla sieciowego (lub USB). Konfiguracja odbywa się automatycznie z wykorzystaniem DHCP. Maksymalna przepływność wynosi 14 Mb/s. Rzeczywista, deklarowana przez producenta, może zmieniać się w zależności od parametrów sieci i waha się w granicach od 6 do 8 Mb/s. Modemy zainstalowano w laboratorium na komputerach klasy PC, które odpowiednio skonfigurowano.

Na rysunku 5 przedstawiono moment transmisji sygnału przez modem PLC. W celu uzyskania wyraźnego obrazu nośnych transmisji wielotonowej, uśredniono estymaty widmowej gęstości mocy. Wyraźnie widać pięć bloków przedzielonych krótkimi przerwami wyłaniające się ponad poziom szumu tła które wynikają z mapy tonów.

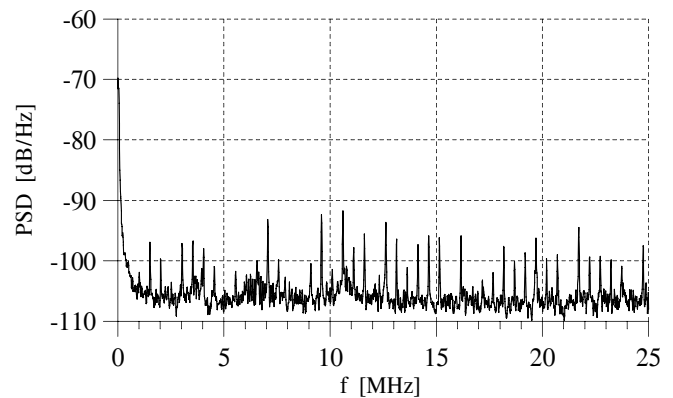
Podczas transmisji ramki danych zaobserwowano również efekt podnoszenia się poziomu szumu o około 20 dB w całym paśmie niższych częstotliwości. W przypadku transmisji wąskopasmowej, pochodzącej przykładowo od urządzeń tzw. inteligentnego budynku, może to powodować utrudnienia w ich komunikacji.

Kolejny problem, jaki zaobserwowano podczas badań z udziałem modemów PLC, był brak komunikacji w przypadku włączenia modemów w różne fazy napięcia zasilającego. Niestety, taka sytuacja często ma miejsce w praktyce.

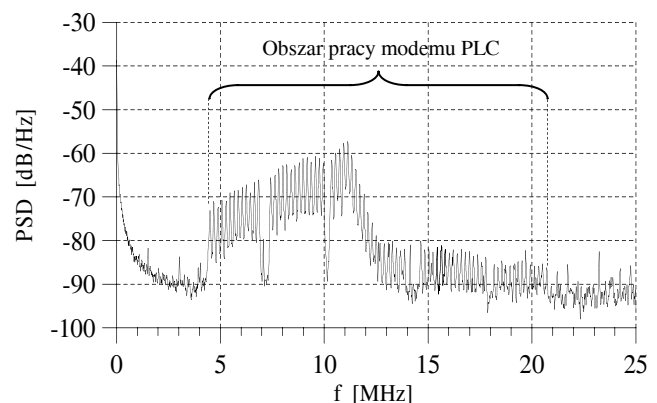
5. Podsumowanie

Sieci energetyczne dostarczają energię elektryczną do użytkowników. Znajdują się praktycznie w każdym budynku, wobec czego stanowią gotowe medium transmisyjne. Zaprojektowane były jednak tylko z myślą o dostarczaniu energii elektrycznej. W czasach, gdy zapotrzebowanie na dostęp do informacji sukcesywnie rośnie, pojawia się problem, w jaki sposób, przy minimalnych kosztach zapewnić użytkownikom dostęp do szybkiego Internet i związanych z nim usług. Od kilku lat prowadzi się badania istniejącej infrastruktury nad wykorzystaniem sieci energetycznej do przesyłania również danych. Takie rozwiązanie ma niewątpliwie wiele zalet. Podstawową jest brak konieczności inwestowania w dodatkowe okablowanie, gdyż ono już istnieje. Należy znaleźć tylko sposób, aby je skutecznie wykorzystać.

W artykule przedstawiono niektóre aspekty transmisji w sieciach elektrycznych niskiego napięcia 230/400 V. Przedstawiono uregulowania prawne obowiązujące aktualnie w kraju i na świecie w tym zakresie. Nowa specyfikacja przewiduje możliwość uzyskiwania przepływności bitowych rzędu 200 Mb/s, co znacząco przewyższa 14 Mb/s oferowane przez standard HomePlug 1.0. Dokonane pomiary parametrów szumowych polskiej sieci oraz obserwacja pracy modemów PLC potwierdzają tę tezę. Praca du-



Rys. 4. Gęstość widmowa mocy sygnału w sieci energetycznej (bez modemu PLC)
Fig. 4. Power spectrum density of a signal in power line (without PLC modem)



Rys. 5. Gęstość widmowa mocy sygnału w sieci energetycznej (z modemem PLC)
Fig. 5. Power spectrum density of a signal in power line (with PLC modem)

żej liczby nieliniowych odbiorników nie wpływa zauważalnie na szybkość transmisji, a także praca modemów nie zakłóciła działania komputerów i aparatury elektronicznej. Wnioski te wyciągnięto dla dobrej sieci elektroenergetycznej prawidłowo eksploatowanej.

6. Literatura

- [1] M.K. Lee, R.E. Newman, H.A. Latchman, S. Katar and L. Yonge: HomePlug 1.0 Powerline Communication LANs – Protocol Description and Performance Results version 5.4, International Journal of Communication Systems, 2000; 00: pp. 1–6.
- [2] M. Zimmermann and K. Dostert: A Multipath Model for the Powerline Channel, IEEE Transactions On Communications No. 4, vol. 50, April 2002, pp. 553-559.
- [3] E. Biglieri: Coding and Modulation for a Horrible Channel, vol. 41, IEEE Communications Magazine, no. 5, May 2003, pp. 92-98.
- [4] M. Götz, M. Rapp, and K. Dostert: Power Line Channel Characteristics and Their Effect on Communication System Design, IEEE Communications Magazine, April 2004.
- [5] J. Suchanek: System pomiarowy z transmisją danych w wydzielonej sieci zasilającej, Poznańskie Warsztaty Telekomunikacyjne, Poznań 9-10 grudnia 2004.
- [6] PN 50065:2002, Transmisja sygnałów w sieciach elektrycznych niskiego napięcia w zakresie częstotliwości od 3 kHz do 148,5 kHz.
- [7] PN 55022:2000, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) - Urządzenia informatyczne - Charakterystyki zaburzeń radioelektrycznych - Poziomy dopuszczalne i metody pomiaru.
- [8] Kompatybilność Elektromagnetyczna (EMC) – dyrektywa 89/336/EEC.
- [9] Strona internetowa <http://www.ist-opera.org>
- [10] Strona internetowa <http://www.iec.ch/zone/emc/>
- [11] T.P. Zieliński: Cyfrowe przetwarzanie sygnałów – Od teorii do zastosowań, WKŁ, Warszawa 2005.