

М.О. БАЖУРА, О.С. ПИВОВАР

Хмельницький національний університет

О.В. ЦИРА

Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова

ОГЛЯД СТАНДАРТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕДАЧІ СИГНАЛІВ МЕРЕЖЕЮ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

Технологія PLC передачі інформації силовими лініями розвивається з початку 20 століття. Починаючи з розв'язку простих задач передачі інформації від датчиків, сучасна PLC є конгломератом ряду технологій. Стандарти, що описують технологію PLC: HomePlug 1.0, HomePlug AV, HomePlug C&C. Технологія передачі в загальному визначається застосуванням OFDM модуляції. Сучасний підхід базується на формуванні спектру сигналу із застосуванням FFT та Wavelet способів. Кількість частот несучих досягає 4096, а швидкість передачі даних – до 2 Гбіт/с. Проте, одною з проблем OFDM модуляції для PLC є задача швидкої ідентифікації завад на певних частотах та ідентифікація несучих частот в прийнятому сигналі.

Ключові слова: силова лінія, передача даних, перетворення Фур'є.

М.О. BAJURA, O.S. PIVOVAR

Khmelnytskyi National University, Ukraine

O. TSYRA

Odessa National Academy of Communication named by O. Popov

OVERVIEW OF STANDARDS OF TRANSMISSION TECHNOLOGY OF SIGNALS THROUGH POWER SUPPLY NETWORK

PLC technology, the transmission of information about power lines, has been evolving since the early 20th century. Starting with the simple tasks of transmitting information from sensors, modern PLC is a conglomeration of a number of technologies.

Compared to the OFDM modulation method, which uses fast Fourier transform (FFT), Wavelet-type OFDM modulation has the best filtering characteristics and provides greater in-depth projection of room signals. This, in turn, makes it easier to adapt to changing transmission conditions and provides extremely high resistance to premises and search signals caused by multi-beam interference, as well as other causes. The ability to program the spectrum of signals generated in the line allows not only to get rid of interference caused in the lines, but also prevents unwanted side electromagnetic interference by line conductors, for example, in the short frequency range of amateur radio broadcasting.

Standards describing PLC technology: HomePlug 1.0, HomePlug AV, HomePlug C&C. Transmission technology will generally determine the application of OFDM modulation. The modern approach is based on the formation of the signal spectrum using FFT and Wavelet methods. The number of carrier frequencies reaches 4096, and data rates - up to 2 Gbps. However, along with the problem of OFDM modulation for PLC, there is the task of rapid identification of interference at certain frequencies and identification of carrier frequencies in the received signals. The ability to program the range of signals generated in the line allows not only to get rid of interference caused in the lines, but also prevents unwanted side electromagnetic interference by line conductors, for example, in the short frequency range of amateur radio broadcasting.

Keywords: power line, data transmission, Fourier transform.

Вступ

Спочатку перші застосування, що використовують передачу лініями електропередач, були зроблені для управління, захисту ліній електропередач, обслуговування та зарядки [1]. Пізніше кілька факторів, таких як дерегуляція ринку телекомунікацій у США, Європі та Азії, а також зародження та вибуховий ріст Інтернету, який супроводжувався більшим попитом на послуги цифрового зв'язку, зробили PLC технологією, що дозволяла закрити необхідність в термінових задачах забезпечення зв'язку для багатьох інших застосувань.

Перші патенти в цій галузі датуються початком 1900-х років [2]. У 1913 році були виготовлені автоматичні електромеханічні ретранслятори лічильників, а в 1922 році розпочався вузькосмуговий пристрій, коли перші несучі частотні системи почали працювати по лініях високої напруги в діапазоні частот від 15 до 500 кГц для телеметричних систем обробки даних.

Перші системи передачі даних електричними мережами з'явилися ще в 1930-х роках, в основному вони використовувалися для сигналізації в енергосистемах і на залізницях, характеризуючись дуже низькою пропускнуною спроможністю [1]. У кінці 1990-х років ряд компаній здійснили перші великі проекти в цій області, проте в процесі експлуатації були виявлені серйозні проблеми, основною з яких була слабка завадозахищеність.

Дослідження в напрямку розвитку PLC систем активізувались і набули більшої популярності за останні два десятиліття, оскільки були запропоновані нові методи модулювання та кодування контролю помилок, а також нові стандарти галузевих альянсів та органів стандартизації. Сьогодні нові технології PLC стають перспективними як для споживачів, так і для постачальників енергії. Тому інтерес до PLC охоплює декілька важливих програм, таких як широкосмуговий доступ до Інтернету, програми Smart Grid (вдосконалене вимірювання та контроль, ціноутворення енергії в режимі реального часу, пікове гоління, моніторинг електромережі, розподілене виробництво енергії тощо), внутрішні дротові локальні Районні мережі (ЛВС) для житлових та ділових приміщень, передачі даних у транспортному засобі, літаків,

управління світлофорами та вуличного освітлення

Технологія передачі даних по електромережах отримала належне комерційне застосування тільки на початку поточного століття, а її впровадження і широке поширення обумовлене появою відповідної елементної бази, у тому числі високопродуктивних контролерів і швидких DSP-процесорів, що дозволяють реалізувати складні методи модуляції сигналу і сучасні алгоритми шифрування даних. Це забезпечило не лише високий рівень достовірності при передачі інформації, але і її захист від несанкціонованого доступу. Також важливе значення мало вирішення проблеми стандартизації різних аспектів технології.

Нині основними організаціями і співтовариствами, що регламентують вимоги до PLC пристроями є IEEE, ETSI, CENELEC, OPERA, UPA і HomePlug Powerline Alliance. Остання з них є міжнародним альянсом, що об'єднує близько 80 відомих на ринку телекомунікацій компаній, серед яких Siemens, Motorola, Samsung і Philips. Діяльність альянсу, організованого в 2000 році, спрямована на проведення наукових досліджень і практичних випробувань сумісності облаштувань різних виробників, що використовують цю технологію, а також на підтримку і просування єдиного стандарту під назвою HomePlug.

Технологія PLC, яка використовує електричну мережу як середовище передачі, є телекомунікаційною технологією з довгою історією виникнення, широким спектром застосувань та реалізацій. До теперішнього часу більше уваги приділяється збільшенню швидкості передачі даних у ПЛК, тоді як енергоефективність досі не вивчалася дуже сильно.

Завдяки швидкому розвитку технології PLC, енергетична ефективність, безсумнівно, є пріоритетом для проектування майбутніх систем PLC.

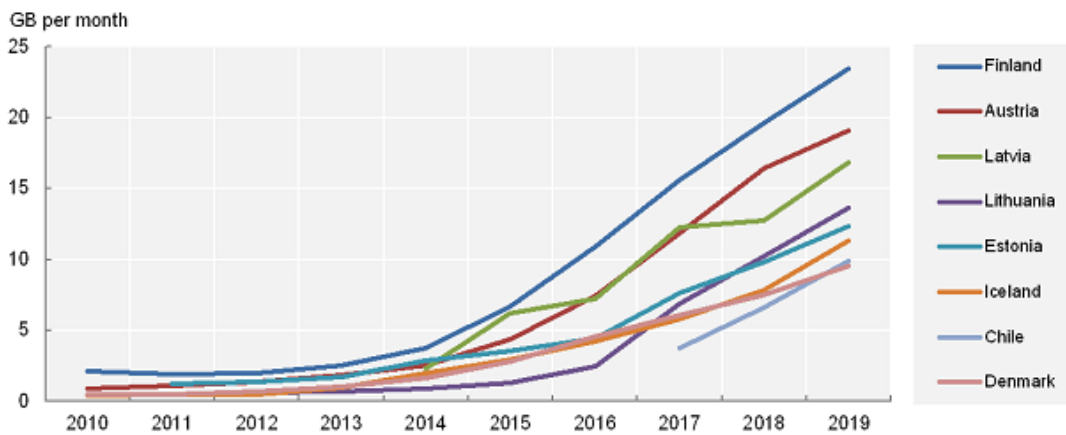


Рис. 1. Фактичне проникнення широкомугового доступу 2010-2019 роках

Як видно на рисунку 1, в світі (2003–2008 роки та 2010–2019 роки) має місце стрімке насичення ринку послугами широкомугового доступу. Причому є країни, як Корея, Тайвань, де зростання вже наблизилося до свого максимуму з насичення. Є країни, які тільки почали входити в процес насичення телекомунікаційними мережами – Чілі, Ісландія, Естонія.

Застосування PLC технології

Усе існуючі PLC-системи прийнято розділяти на широкомугові (BPL – Broadband over Power Lines) і вузькомугові (NPL – Narrowband over Power Lines). Спектр вирішуваних з їх допомогою завдань дуже широкий, а вибір необхідного методу заснований на характеристиках і об'ємі переданої інформації. Широкомугові пристрої (зі швидкістю від 1 до 200 Мбіт/с) орієнтовані на системи доступу до Інтернету, на створення домашніх комп'ютерних мереж, а також на додатки, що вимагають високошвидкісного обміну даними: потокове відео, системи відеоконференцзв'язку, цифрової телефонії і т. д.

Найбільший інтерес для розробників апаратури представляють вузькомугові PLC-модеми у зв'язку з їх відносною дешевизною і поліпшеними характеристиками, що дозволяють працювати не лише в звичайних мережах, але і в мережах з підвищеним рівнем перешкод. Мікросхеми і модулі для вузькомугових модемів (з пропускною спроможністю каналу від 0,1 до 100 кбіт/с) широко застосовуються у складі різних виробів побутового і промислового призначення, при створенні розподілених систем автоматизованого контролю і управління в цехах і системах життєзабезпечення будівель (ліфтах, облаштуваннях кондиціонування і вентиляції), засобах обліку споживання електроенергії, води, газу, тепла, приладах охоронної і пожежної сигналізації.

PLC технології застосовуються для створення мобільних високошвидкісних локальних мереж в офісах, будівлях і реалізації нових концепцій розумних будинків і т. п. Інші перспективні сфери застосування PLC технології [3, 4]:

- системи безпеки;
- системи управління вуличним освітленням;
- системи автоматизації;
- диспетчерські системи;

- системи сигналізації;
- системи збору інформації датчиків витрат;
- промислові системи моніторингу і управління.

Важливою є можливість спільного використання PLC технології з іншими широкосмуговими технологіями передачі даних, наприклад PLC + WiMAX, PLC + WLAN кт. п.

Стандартизація передачі даних по електромережах

Єдиного уніфікованого стандарту передачі даних по електромережах досі не існує. Проте, зацікавлені сторони, в першу чергу, виробники електронного устаткування, створили організації, покликані врегулювати і упорядкувати ситуацію на ринку PLC устаткування.

Існує кілька міжнародних стандартів, що регулюють PLC. Домінуючими стандартами PLC на ринку є IEEE1901 [5] та ITU-T G.hn [6, 7].

З одного боку, готові до продажу продукти, що відповідають IEEE 1901, були сертифіковані або HomePlug Powerline Alliance, в США та Європі, або альянсом HD-PLC, переважно в Японії. З іншого боку, готові до продажу продукти, що відповідають ITU-T G.hn, були сертифіковані альянсом HomeGrid Forum.

Стандарти групи IEEE 1901 розроблено робочою групою IEEE P1901 і визначає технологію високошвидкісного зв'язку ліній електропередач. Стандарти визначають методи як для домашньої мережі, так і для мереж доступу – Інтернет.

Аналіз параметрів технологій PLC

Стандарт IEEE 1901.2010 використовує частоти передачі нижче 100 МГц і забезпечує високі швидкості передачі даних до 500 Мбіт/с на фізичному рівні. Він включає два різні фізичні рівні, один заснований на модуляції ортогонального мультиплексування з частотним поділом для швидкого перетворення Фур'є (OFDM). Це головним чином використовується у США та Європі. А другий – на основі модуляції Wavelet OFDM (обмежений для Японії). Стандарт також відповідає обмеженням електромагнітної сумісності, встановленим національними та міжнародними регуляторними органами, щоб забезпечити успішне співіснування з бездротовими та іншими телекомунікаційними системами.

Основними на сьогодні являються стандарти, створені міжнародним альянсом HomePlug Powerline Alliance, відкритим європейським альянсом OPERA, європейською асоціацією UP A, а також альянсом HD-PLC. Організація HomePlug Powerline Alliance (засновники і учасники: Cisco, Intel, Inellon, Motorola, Texas Instruments, Enikia та ін.) на сьогодні розробила три стандарти:

- HomePlug 1.0 (2001 рік);
- HomePlug AV (2005 рік);
- HomePlug C&C (2007 рік).

HomePlug GP і HomePlug AV2 повністю сумісні з HomePlug AV та IEEE P1901, хоча кожна надає окремий набір можливостей, зосереджених на різних аспектах та питаннях, пов'язаних з різними програмами та робочими середовищами. Порівняльний огляд основних відмінностей між HomePlug AV, HomePlug AV2 та HomePlug GP наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Порівняння HomePlug, HomePlug AV2 та HomePlug GP

Стандарт	HomePlug AV	HomePlug AV2	HomePlug GP
Властивості			
Головне застосування	Мультимедіа	Мультимедіа для мереж наступного покоління	Домашні мережі SMARTGRID
Фізична швидкість	200 Mbps	2 Gbps	10 Mbps
Частотний діапазон (МГц)	2-30	1.8-86	2-30
Кількість піднесучих	1155	4096	1155
Тип модуляцій на піднесучих	BPSK, QPSK, 16 QAM, 64 QAM, 256 QAM, 1024 QAM	BPSK, QPSK, 16 QAM, 64 QAM, 256 QAM, 1024 QAM, 4096 QAM	QPSK only
Код корегування помилок, відношення	1/2, 16/21	1/2, 16/21, 16/18	1/2

Продукти сімейства HomePlug є найбільш поширеними на ринку. Характеристики, доступні через альянс для широкосмугових PLC, є [8]: HomePlug 1.0, HomePlug AV, HomePlug AV2 та HomePlug Green PHY (GP). Далі ми докладно опишемо основні стандарти та технічні характеристики PLC.

Особливості технології формування несучих частот

Для передачі інформації використовуються ряд частот. Для покращення ідентифікації, зменшення міжчастотного впливу використовується OFDM-модуляція – частотне розділення із застосуванням ортогональної модуляції несучих частот. В цьому методі частоти обираються так, щоб сусідні частоти знаходились в вузлах мінімального впливу від певної несучої частоти.

Порівняно з методом OFDM-модуляції, де використовується швидке перетворення Фур'є (FFT), OFDM-модуляція типу Wavelet відрізняється найкращими характеристиками фільтрації та забезпечує

більшу глибоку режекцію сигналів приміщень. Це, у свою чергу, дозволяє легше пристосуватися до змінних умов передачі та забезпечує надзвичайно високу стійкість до приміщень та пошукових сигналів, викликаних багатолучовою інтерференцією, а також іншими причинами. Можливість програмувати спектр генерованих в лінії сигналів дозволяє не лише позбавитись від завад, що наводяться в лініях, але і попереджує небажані побічні електромагнітні завади провідниками ліній, наприклад, у короткочастотному діапазоні радіолюбительського мовлення.

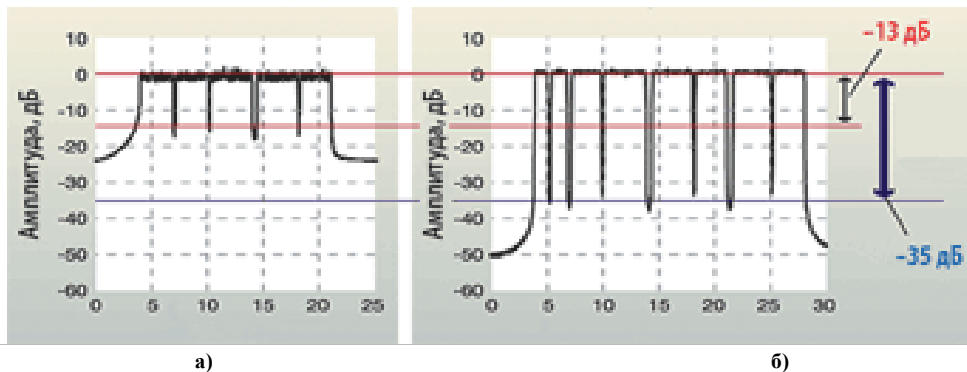


Рис. 3. Спектри OFDM-сигнала з використанням FFT-перетворення (а) та Wavelet-перетворення (б)

Запропоновані алгоритми адаптації в PLC стандартах до умов поширення сигналів в електромережі, а також наявність наявних приміщень, що дозволяють знаходитись із співвідношення сигналів / приміщень, вибирають оптимальну швидкість передачі, щоб забезпечити найбільшу достовірність прийнятих даних. На рис. 3 представлені спектри OFDM-сигналів, отримані в результаті ШПФ- та Wavelet-перетворення [5, 6, 7]. Як видно з наведеного рисунка, при модуляції типу Wavelet OFDM, за порівнянням з FFT OFDM, забезпечується більша глибока частотна частота.

Висновок

1. Технологія передачі інформації по лініях електроживлення виникла на початку 20 століття і були направлені на задоволення потреб у віддаленому зборі інформації від датчиків та передачі її по існуючих провідних лініях.
2. Поточний розвиток PLC-технології багато в чому пов'язаний з появою загальноприйнятих регламентуючих стандартів і вдосконаленням відповідної елементної бази, що дозволяють створювати стійкий і завадозахищений канал зв'язку при його досить високій пропускній спроможності.
3. Існує широкий набір стандартів передачі інформації, що є наступниками один одного та розширеннями, це HomePlug 1.0, HomePlug AV, HomePlug C&C, а також 1.4.5 HomePlug GP.
4. Технологія PLC має широке розповсюдження, проте використання сигналів FFT та Wavelet OFDM.

References

1. Yousuf M. S. and El-Shafei M. Power Line Communications: An Overview - Part I. 4th International Conference on Innovations in Information Technology (IIT), pages 218–222, November 2007.
2. Pavlidou N., Han Vinck A. J., Yazdani J., and Honary B. Power Line Communications: state of the art and future trends. IEEE Communications Magazine, 41(4): 34–40, April 2003.
3. White Paper: Comparison of Access Technologies. OPERA Consortium, 2009. www.ist-opera.org.
4. Gagliardo P. Take advantage of powerline communications in nextgen home networking & IPTV designs. CommsDesign, 2009.
5. IEEE Standard 1901- 2010 - IEEE Standard for Broadband over Power Line Networks: Medium Access Control and Physical Layer Specifications, 2010. IEEE. URL: www.standards.ieee.org/findstds/standard/1901-2010.html, (20/08/2015).
6. G.9960 : Unified high-speed wireline-based home networking transceivers - System architecture and physical layer specification, 2010. ITU-T. URL: www.itu.int/rec/T-REC-G.9960-200910-T/en, (20/08/2015).
7. Oksman V. and Galli S. G.hn: The new ITU-T home networking standard. IEEE Communications Magazine, 47(10): 138–145, October 2009
8. <http://grouper.ieee.org/groups/1901>
9. Horiaschenko K.L., Voitiuk O.P., Kushniruk S.L., Shevchuk O.V. Implementation of PLC technologies. Khmelnytskyi. Herald of Khmelnytsky National University. Technical sciences. 2017. Issue 2. P. 250–253.

Надійшла / Paper received : 11.11.2020 р. Надрукована/Printed : 27.11.2020 р.