

ПЕРЕДАЧА ДАНИХ ПО МЕРЕЖАХ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

І.І. Слюсар, Ю.В. Уткін, І.П. Півень
(Полтавський військовий інститут зв'язку)

Проведений аналіз напрямків розвитку застосування мереж електроживлення для передачі інформації. Розглянуті основні характеристики та устрій засобів, що реалізують зазначені технології. Визначені можливі напрямки подальшого розвитку даних систем передачі.

передача даних, мережі електроживлення, модуляція,

Постановка задачі. Початково, використання мереж електроживлення для передачі інформації (Power Line Communications, PLC) ускладнювалося непередбачуваністю коливань коефіцієнта передачі. Як наслідок, швидкість передачі даних була низькою. Істотний прорив ця технологія одержала тільки за останні 5 – 6 років, про що свідчить поява достатньо вдалих схемотехнічних рішень, які дозволяють придушувати шуми і завади в мережах електроживлення.

Донедавна, в основному використовувався стандарт X 10 [1], який регламентує передачу сигналів по мережі електроживлення 110/220 В. Він передбачає видачу в лінію радіоімпульсів з частотою заповнення 120 кГц. Радіоімпульси передаються в момент проходження напруги мережі через нуль. X 10 може використовуватися спільно з системами керування будинками, а також зі спеціальними трансиверами для зв'язку по мережі електроживлення в рамках побудови мереж LonWorks.

Інший варіант передачі інформації по мережі електроживлення базується на реалізації частотної модуляції (FSK). Так, у північноамериканських мережах на основі стандарту Passport фірми Intelogis використовуються 2 частоти: одна для передачі одиниць, інша - нулів. Використані частоти знаходяться у вузькому діапазоні ледве вище звичайного шуму. Однак будь-яка завада на даних частотах перериває потік даних, що призводить до необхідності повторної передачі. Все це впливає на швидкість роботи мережі. До того ж мережі Intelogis призначені тільки для 110 В. Тому, можна зробити висновок про те, що ця технологія навройд чи залишить межі Північної Америки.

У японському стандарті передачі даних по мережах електроживлення (Energy Conservation & Homecare Network, Echonet) також не вдалося

домогтися достатньої швидкості передачі. Вона не перевищує 9,6 кбіт/с, а використовуваний частотний діапазон не вище 450 кГц.

Аналіз останніх досліджень. Сьогодні технологія PLC виходить на вже досить щільний ринок, де присутні як традиційні рішення “останньої милі” [2] у вигляді xDSL і кабельних мереж, так й безпроводових Wi-Fi- і WiMax-рішення. В цілому, PLC виявилася ефективною тільки для так званої “останньої милі”, та її основне призначення зводиться до керування технологічними процесами в енергосистемі, підключенню користувачів до Internet, IP-телефонії, а також рішенням задач супутникового зв'язку. Основними конкурентами PLC є технологія HomePNA, що використовує телефонні проводи як середовище поширення, і стандарт безпроводового доступу 802.11b. У рамках технології PLC найбільшим комерційним успіхом володіють рішення широкосмужової передачі даних по мережі електроживлення (Broadband over Power Lines, BPL). BPL досить приваблива з точки зору того, що мережі електроживлення вже прокладені, і залишається лише раціонально організувати їхнє використання на вторинній основі.

Мета статті. Таким чином, метою статті є аналіз технічних аспектів впровадження технологій PLC, BPL і обладнання для їхньої реалізації.

Аналіз перспектив розвитку технологій передачі даних по мережах електроживлення. В інтересах регламентації передачі даних по мережах електроживлення необхідно виділити кілька стандартів/протоколів, що одержали найбільше поширення. До таких відносяться розробки альянсу HomePlug Powerline Alliance по специфікації домашніх комп'ютерних мереж з передачею даних по мережі електроживлення. Починаючи з 2000 р., в цю групу ввійшло більш 80 компаній.

Спираючи на технологію PowerPacket американської компанії Intel?on, у тому ж році альянс розробив PLC-стандарт HomePlug 1.0. Він забезпечує максимальну швидкість передачі даних 14 Мбіт/с, а також використовує 56-бітне DES-шифрування для захисту інформації. Застосування ортогональної частотної дискретної модуляції (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) забезпечує розподіл високошвидкісного потоку даних на кілька низькошвидкісних з різними частотами. Для підвищення вірогідності передачі використовується надлишкове кодування. Спочатку формується спектр (комплексний) OFDM-символу, потім за допомогою зворотного швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) формується його часова реалізація. Для модуляції несучих застосовується квадратурна фазова модуляція (QPSK). Між OFDM-символами вставляється спеціальний захисний інтервал для запобігання міжсимвольної інтерференції, яка виникає через мінливість характеристик каналу за частотою. Для розшиф-

ровки повідомлення, на приймальній стороні використовується відповідно пряме ШПФ. На виході з мережі електроживлення низькошвидкісні потоки за допомогою адаптера перетворюються назад у високошвидкісний. Для передачі даних виділена смуга частот у діапазоні частот 4,3 – 20,9 МГц. Протокол доступу до середовища (MAC) заснований на базі методу колективного доступу з виявленням несучої і запобіганням колізій (CSMA/CA), – аналогічно прийнятому в Ethernet.

В цілому, PLC володіє низкою переваг: використовуються вже прокладені лінії комунікацій, низька ціна підключення, захищеність на рівні традиційних проводових мереж і непогана швидкість, а доступ у Internet по мережі електроживлення дозволяє легко вбудовувати web-функції в усі електроприлади. Крім того, PLC-мережа здатна виконувати функції не тільки локальної обчислювальної мережі, але й невеликої офісної АТС (у випадку організації телефонного зв'язку на основі VoIP). Подібне рішення повинне бути затребуване в тих ситуаціях, коли потрібна часта зміна конфігурації внутрішньої комунікаційної системи.

Сучасні пристрої HomePlug можуть сканувати мережа електроживлення на наявність доступних частот, а також припиняти передачу даних при стрибках напруги й інших завадах, що є цілком прийнятним захистом від втрат.

Однак, на шляху впровадження PLC-мереж виникли серйозні труднощі. По-перше, реальна швидкість HomePlug складає всього 6 – 7 Мбіт/с, що більше, ніж у Wi-Fi (5 – 6 Мбіт/с), але менше HomePNA 2.0 (7 – 8 Мбіт/с).

По-друге, основна перевага (передача даних по мережі електроживлення) обернулася для PLC завадами від інших електроприладів і втраченою даних при використанні неякісних електропроводів. Слід зазначити хоча б те, що використання алюмінію замість міді в мережі електроживлення, вже істотно знижує ефективність PLC-обладнання.

В третіх, передача даних по мережі електроживлення призводить до появи завад у частотному діапазоні від 1,8 до 80 МГц на території, що прилягає до ліній електропередач. Від цього можуть постраждати не тільки радіоаматори, але й рятувальні служби, правоохоронні органи, що використовують радіозасоби у даному діапазоні. Тому, енергетичним компаніям необхідно вирішувати цю задачу – наприклад, проведенням екранування кабелів [3].

В четвертих, виникає необхідність розподілу PLC-мережі на практично незалежні системи: зовнішню (Outdoor), і функціонуючу всередині будинку (Indoor). Outdoor реалізується на ділянках електричних мереж від трансформаторів до точок входу в будинок, а другі – від точок входу в будинок до електричних розеток у кожному приміщенні. Такий

розподіл забезпечує більш високу пропускну спроможність, оскільки, наприклад, для зв'язку в одному будинку між комп'ютерами і принтером немає необхідності завантажувати зовнішню систему PLC [4]. Крім того, кожна система оптимізується під характеристики передавального середовища (в зовнішніх і внутрішніх електричних кабелів вони різні). Таким чином, на трансформаторній підстанції проводиться стикування PLC-мережі з зовнішніми телекомунікаційними мережами: Internet, телефонною мережею загального користування і т. ін. Для зв'язку між зовнішніми і внутрішніми системами PLC-мережі застосовуються спеціальні адаптери/шлюзи, наприклад: APG-45 В фірми Ascom PLC [5]. Запропоновані цією же фірмою рішення [4], дозволяють створити системи Outdoor, що працюють у частотному діапазоні 0,8 – 2,4 МГц на відстань від 100 – 250 м, і Indoor, що задіяли більш високі частоти, у районі 20 МГц, але на меншу відстань – 70 – 100 м. При цьому дальність дії PLC-систем залежить від типу електричного кабелю і може бути збільшена за допомогою спеціальних повторювачів.

З метою збільшення швидкості передачі HomePlug, у травні 2003 р. альянсом була анонсована наступна специфікація – HomePlug AV, що призначена для високошвидкісної передачі мультимедійної інформації. Нова технологія дозволяє здійснювати передачу даних на швидкості 70 – 100 Мбіт/с, що достатньо для потокової трансляції відео й аудіо з високою якістю. Теоретична межа при цьому складає 200 Мбіт/с. У підтвердження цього, у 2004 р. компанія Matsushita Electric Industrial представила адаптер HD-PLC (High Speed PLC), що дозволяє передавати інформацію зі швидкістю до 190 Мбіт/с. У майбутньому очікується поява можливості транслювати навіть відеосигнал високої чіткості (High Definition TV) і використовувати всі можливості IP-телефонії. HomePlug AV підтримує шифрування по AES-алгоритму з використанням 128-бітних ключів. Крім мереж електроживлення нова специфікація дозволяє використовувати коаксіальний кабель, а також мідну пару. Серійне виробництво адаптерів з повною підтримкою HomePlug AV може початися вже навесні наступного року. У HomePlug AV якісний стрибок (200 Мбіт/с) досягається на основі використання технології передачі даних по коаксіальному кабелю (MOCA), що дозволяє досягти швидкості 270 Мбіт/с. З метою корегування подальших спільних дій в області високошвидкісної передачі даних по мережах електроживлення в межах будинку, на початку січня 2005 р. компанії Matsushita, Mitsubishi і Sony об'єдналися в альянс, що одержав назву CERCA.

У США вже почалося надання комерційних послуг BPL, а в тестовій експлуатації знаходиться кілька десятків мереж. Згідно [2], IEEE почала

роботу над розробкою остаточного стандарту для організації BPL. Точніше, мова йде про уточнення специфікацій цілої серії стандартів, що охоплюють усі сфери застосування BPL від “першої” до “останньої милі” і безпосереднього підключення до робочої станції домашнього користувача. Новий стандарт буде називатися Standard For Broadband Over Power Line Networks: Medium Access Control and Physical Layer Specifications (IEEE P1901), а його створення повинне бути завершене в 2007 р. Розроблювачі заявляють, що поява IEEE P1901 не просто дасть новий поштовх у розвитку BPL, але й відкриє зовсім нові можливості в тотальному забезпеченні кожного домашнього пристрою доступом до загальних інформаційних потоків. Стандарт буде гарантувати безконфліктну взаємодію будь-яких пристроїв з BPL-доступом. Однак, дотепер неясно: чи буде стандарт IEEE якимось пов’язаний із вже наявними рекомендаціями від різних груп, що підтримують BPL, в тому числі від HomePlug Power Alliance?

Що ж стосується обладнання, то сьогодні парк PLC-пристроїв стрімко розвивається (табл. 1). Цьому сприяє відродження комерційного інтересу до технологій PLC і BPL. Так, на недавно компанія Eplika представила технологію передачі даних по мережі електроживлення зі швидкістю 10 Мбіт/с. Крім того, ця фірма оголосила про висновок ліцензійної угоди з виробником обладнання телефонного зв’язку компанією Phonex Broadband (США), що поставляє свою продукцію корпораціям RCA, General Electric і Radio Shack. Дана компанія планує використовувати технологію Intellon для створення телефонів, що працюють по лініях електропередачі.

Ще до 2002 р. компанія Phonex Broadband випустила відразу кілька PLC-пристроїв. Серед них варто виділити Never Wire 14 з максимальною швидкістю передачі даних 14 Мбіт/с, що працює у мережі змінного струму з напругою 95 – 264 В. До однієї фази мережі електроживлення можна підключити одночасно до 16 пристроїв Never Wire 14. Для захисту переданих даних використовується алгоритм шифрування DES 56 біт. Другий пристрій EASY JACK являє собою адаптер, здатний передавати телефонний сигнал через мережу електроживлення будинку. Крім того, пропонується пристрій NeverWire Combo, що здатний з’єднувати через мережу електроживлення будь-які пристрої, обладнані Ethernet- або USB-інтерфейсом. Для більш тісної інтеграції з мережею використовується комунікаційний чіп ReadyWire, на базі якого можна створювати цілі системи комунікацій, підключивши одночасно до 3750 пристроїв і використовуючи для зв’язку між пристроями всю ту ж звичайну мережу електроживлення. У ReadyWire дані шифруються 3DES алгоритмом з 168-бітним ключем.

Характеристики PLC-обладнання

Пристрій	Протокол/ Стандарт	Діапазон частот, МГц	Швидкість переда- чі, не більш Мбіт/с	Відстань, не більш км	Модуляції
Адаптер Never Wire 14	Homeplug 1.0 14 Mbps, X 10, Echelon	2,1 – 3,4	14	0,5	OFDM
Адаптер HomePlug PLC/WiFi	Homeplug 1.0 14 Mbps, IEEE 802.11b 11 Mbps	4,3 – 20,9/2400	8	1	OFDM/ DSSS
Адаптер HomePlug PLC/Ethernet	IEEE 802.3 10 Mbps, IEEE 802.3u 100 Mbps AutoMDI/MDIx 10/100 Mbps, Homeplug 1.0 14 Mbps	4,3 – 20,9	8	0,5	OFDM
PLC-модем 2 Мбіт		А: 0,05 – 0,15 Б: 0,05 – 0,5	А: 0,155 Б: 2,5	10	OFDM
PLC-модем 200 Мбіт	TCP/IP, HTTP, TFTP, STP, UDP, VoIP DHCP, SNMP, VPN, 8Qo, 802.1Q VLAN & OVLAN VoIP: Codec G.711, G.729a/b, G.723.1, H323 v4, RTP/RTCP	1–34 (6 під- діапазонів)	200	0,5 для 220 В, 2 для 10 кВ, 10 з по- вторюва- чами)	OFDM

Структуру PLC-пристрою можна розглянути на прикладі Never Wire 14 фірми Phonex Broadband (рис. 1). Для передачі інформації з мережі електроживлення застосовується OFDM. При цьому використовується 15 несучих з QPSK і одна для передачі пілота-сигналу. При цьому можливі варіанти інтерфейсу SPI, I²C, GPIO, USB 1.1, 2xUART.

У Росії дуже помітною є PLC-продукція фірми TelLink (м. Санкт-Петербург) [6]. Тут варто виділити 2-мегабітний PLC-модем дальнього радіуса дії, що призначений для передачі даних по низько- і середньовольтовим лініях електропередач. Він не залежить від конфігурації електромережі, типу кабелю електроживлення, стану навколишнього середовища і придатний як для внутрішнього, так й для зовнішнього застосування. Випускається в 2 модифікаціях А і Б для роботи в 2 різних діапазонах ча-

стот CENELEC і FCC і з різною продуктивністю. Модем максимально адаптований до застосування з різними як ємнісними, так й індуктивними пристроями підключення до високовольтної частини мережі. З погляду співвідношення продуктивність-дальність він є найбільш оптимальним.

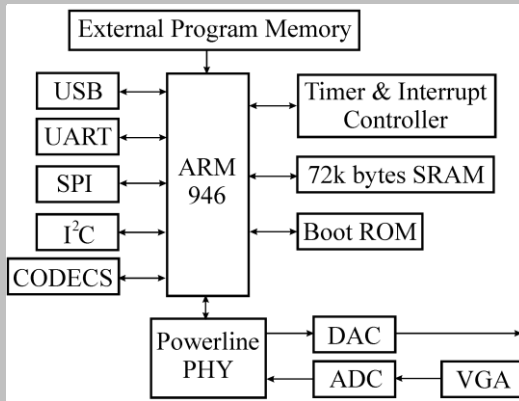


Рис. 1. Структура пристрою Never Wire 14 фірми Phonex Broadband

Для високошвидкісної передачі даних через низько- і середньовольтові лінії електропередач пропонується 200-мегабітний PLC-модем з максимальною швидкістю 200 Мбіт/с. До його переваг варто віднести вбудовану операційну систему керування модемом, автоконфігурацію, наявність режимів повторювача сигналу (часовий, частотний), master-, slave-модем, автоматичне регулювання підсилення з можливістю ручної попередньої установки, можливість резервування смуги як для користувача, так і для додатка, вибіркового моніторингу і керування, а також авторизацію й ідентифікацію користувача. Він може застосовуватися як для організації внутрішніх локальних мереж з доступом в Інтернет (CPE-200), так і для побудови мереж міського масштабу (HE-200). Крім того, для інтерфейсу з комп'ютером пропонуються адаптери HomePlug PLC-Ethernet і HomePlug PLC-WiFi. Останній забезпечує підключення до мережі на відстані до 1 км.

На українському ринку в основному представлені PLC-пристрої закордонного виробництва. Наприклад, продукцію фірми Dynamix [7] пропонує НПО "Вектор-Київ" [8]. В арсеналі Dynamix є адаптери PL-E (Ethernet) і PL-U (USB), ціна яких не перевищує 440 грн. Крім того, на ринку PLC-рішень недавно з'явився модем/маршрутизатор UM-A4/PL-ADSL з 4 портами 10/100Mbps Fast Ethernet і підтримкою Powerline. Наявність 4-портового Ethernet комутатора дозволяє групі користувачів підключитися до ADSL-сервісу, через одні WAN портів UM-A4/PL. Підтримка PLC-технології дозво-

ляє підключати до ADSL-сервісу користувачів офісів, резиденцій, будинків і все це з використанням мережі електроживлення (рис. 2).

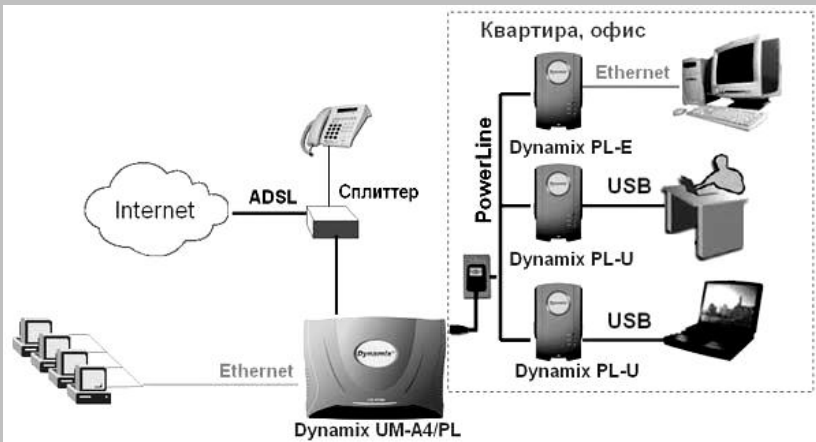


Рис. 2. Використання PLC-пристроїв фірми Dynamix

UM-A4/PL забезпечує швидкість до 8 Мбіт/с (Downstream) і 1 Мбіт/с (Upstream) при роботі з ADSL і до 14 Мбіт/с по PLC-мережі і має гарантовану надійність обладнання промислового класу. З пристроєм поставляються засоби забезпечення безпеки мережі, що дозволяють провести конфігурацію домашньої або офісної мережі так, щоб ізолювати її від зовнішнього несанкціонованого втручання.

Висновок. Подальший розвиток PLC та VPL технологій слід очікувати в напрямку використання методів модуляції, які у порівнянні з OFDM на основі перетворення Фур'є, мають більшу спектральну ефективність.

ЛІТЕРАТУРА

1. [Електр. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.x10.com>.
2. [Електр. ресурс]. – Режим доступу: <http://news.nag.ru/3985>.
3. [Електр. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.osp.ru/lan/2004/11/040.htm>.
4. [Електр. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ccc.ru>.
5. [Електр. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ascom.com/powerline>.
6. [Електр. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.tellink.ru>.
7. [Електр. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.dynamix.ua>.
8. [Електр. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.vectorkiev.com>.

Надійшла 26.10.2005

Рецензент: доктор технічних наук, професор В.С. Харченко,
Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «ХАІ».