УДК 621.391

Недашківський О. Л. *Державний університет телекомунікацій, Київ*

ТЕХНІЧНІ ТА ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ПОБУДОВИ ІНТЕГРОВАНИХ СИСТЕМ НА БАЗІ РОЗПОДІЛЬЧИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

Розглядається можливість впровадження BPL-технології в телекомунікаційній мережі доступу. Проведено порівняльний аналіз можливих альтернативних технологій. Представлені концепція та схеми побудови мережі з інтеграцією вузькосмугових та широкосмугових PLC-технологій для сумісного використання операторами зв'язку та енергорозподільчими компаніями. Наведено результати розрахунку економічної ефективності впровадження автоматизованих систем комплексного обліку електроенергії (АСКОЕ) на основі єдиної BPL-мережі, який підтверджує технічну можливість та економічну доцільність побудови таких мереж доступу.

***Ключові слова*:** мережі доступу, Інтернет, інтегровані мережі BPL/NPL, вузькосмугові та широкосмугові PLC-технології, АСКОЕ

Nedashkivskyi O. L. Technical and economic aspects of the integrated systems based on electrical distribution networks. The possibility of implementing BPL technology as a technology access networks are considered. A comparative analysis of possible alternative technologies is made. Their advantages and disadvantages are clarified. Requirements for the existing PLC technologies put forward, so it became a carrier-class technology. It is shown that the main obstacle for the implementation of BPL consist from: on the one hand it is the lack of interest utility companies in the provision of telecommunications services, and on the other it is that telecommunication operators wishing to increase broadband coverage, not have their own utility networks. But utility companies of the twenty-first century require more and more telecommunications services from telecom operators, and operators need power. So it is to be an available way to make able getting additional gain in the convergence of electricity and telecommunications networks. On this basis, developed and presented the concept and scheme of the network with the integration of narrowband and broadband PLC technology for sharing carriers and utility companies. Additional studies and the results of calculation of economic efficiency of application of AMR based on a single BPL network that confirms the technical feasibility and economic viability of building access networks are provided.

***Keywords*:** access network, Internet, integrated network BPL/NPL, narrowband and broadband PLC technology, AMR

1. Вступна частина. Відомо, що технологія PLC (Power Line Communication) [1, 2, 3] в домашніх мережах, використовуючи внутрішню електричну проводку квартири для забезпечення зв'язку між електричними розетками, може обслуговувати локальні обчислювальні мережі (ЛОМ) в якості альтернативи звичайній кабельній розводці або безпроводовим технологіям, наприклад WiFi (IEEE 802.11a/b/g/n/ac) [4]. В даний час отримує поширення широкосмугова технологія передачі BPL (Broadband Power Line communication), яка дозволятиме організовувати передачу широкосмугових та низько смугових PLC сигналів по розподільчим електричним мережам низької (~0,4кВ) та середньої напруги (~6/10 кВ).

Слід зазначити, що на сьогоднішній день застосування технології PLC в домашніх умовах добре відпрацьовано, а обладнання широко доступне і виробляється різними компаніями. А от застосуванню широкосмугових PLC в якості технології доступу операторського класу для надання послуг широкосмугового доступу до мережі Інтернет приділено недостатньо уваги.

2. Технічні аспекти побудови інтегрованих PLC мереж. Видається можливим і ефективним застосування технології BPL в якості технології широкосмугового доступу для подолання "останньої милі", як альтернативи технологіям xDSL та HFC (Hybrid Fibre-Coaxial), для доступу до мережі Інтернет [5]. При цьому будучи проводовою, технологія BPL здатна забезпечити передачу сигналів від широкосмугового ядра (волоконно-оптичні мережі) до приміщення користувача (квартира, будинок, офіс), а також і в середині цих приміщень. В першому випадку технологія PLC стає технологією побудови широкосмугових мереж доступу операторського класу, яку далі будемо називати BPL, і яка стає альтернативою технологій xDSL, HFC, PON (Passive Optical Network), WiMAX, MetroEthernet та іншим; а в другому – стає технологією побудови приватних ЛОМ (в межах квартири чи офісу), для якої залишимо назву PLC.

© *Недашківський О. Л., 2017*

Прямим конкурентом BPL є технологія xDSL, яка використовує подібні методи модуляції. Обидві ці технології використовують існуючі кабельні лінії. Використання існуючої електричної проводки значно знижує витрати на розгортання мережі, так як це позбавляє від необхідності прокладання додаткових кабелів. Комерційні пропозиції зразків обладнання BPL та PLC є конкурентоспроможними і дешевшими ніж xDSL та можуть розширити широкосмуговим охопленням ті райони, де xDSL і HFC недоступні.

При цьому досить часто параметри існуючої телефонної розподільчої мережі не дозволяють забезпечити зростаючі вимоги до якості доступу до мережі Інтернет (швидкість передачі, доступність, надійність тощо). Для рішення цієї проблеми оператори фіксованого зв’язку змушені будувати нову інфраструктуру місцевих ліній зв'язку, що, очевидно, вимагає значних витрат. В результаті, бар'єри для розгортання широкосмугового зв'язку з використанням xDSL технологій можуть бути високими.

За допомогою технології PLC в якості основи розгортання ЛОМ користувач може використовувати різноманітні пристрої, такі як адаптери Ethernet-PLC [2, 3], USB-PLC, для з'єднання декількох комп'ютерів, мережевого принтера, та навіть xDSL-модему або кабельного модему HFC.

Застосування технології PLC для розгортання широкосмугових мереж доступу (BPL) на електричних розподільчих мережах низької напруги ~0,4кВ (LV – Low Voltage) здатне забезпечити доступ до різноманітних відкритих мереж, в тому числі і до мережі Інтернет. А досягнення швидкості 500 МБіт/с, описане у стандарті IEEE Std 1901-2010 [6], робить технологію BPL реальним конкурентом найновішим розробкам xDSL, HFC.

При такому підході користувачі отримуватимуть доступ через головний модем (HE – Head-End), встановлений в трансформаторній підстанції 0,4/10 кВ або 0,4/6 кВ, яка забезпечує підключення всіх абонентів елекророзподільчої компанії в околиці. Висхідний потік кожного головного модему може передаватися до місця стику з високошвидкісною опорною телекомунікаційною мережею за допомогою існуючих електричних ліній середньої напруги 6, 10 кВ (MV – Medium Voltage). В цьому випадку досягається додаткове зниження витрат, адже кількість точок стику з високошвидкісною опорною мережею можна значно зменшити, оскільки зменшуються як розмір фізичної складової опорної мережі, так і кількість необхідного обладнання.

Незважаючи на очевидні переваги і доцільність розвитку та впровадження технології BPL, існують численні технічні та нормативні проблеми, які гальмують побудову мереж доступу за технологією PLC в такому розумінні і такому масштабі, як це є для технологій xDSL, HFC. Хоча в якості технології доступу вона може розглядатися як реальна альтернатива іншим технологіям, особливо, на рівні регіональних телекомунікаційних мереж, де повсюдність ліній електропередач не має собі рівних серед гібридних кабельних (HFC) або телефонних мереж.

Сучасна електрична розподільча мережа охоплює 100% населення, тому зв'язок по лініях електропередачі на основі існуючої інфраструктури має потенціал, щоб запропонувати послуги всюдисущого широкосмугового доступу до мережі Інтернет досить швидко і за розумною ціною, значно скоротивши “цифровий розрив”, що характерний, в тому числі, і для України [7].

На нашу думку основною перешкодою для впровадження BPL з одного боку є відсутність зацікавленості елекророзподільчих компаній у наданні телекомунікаційних послуг, а з іншого боку оператори телекомунікацій маючи бажання збільшувати охоплення широкосмуговим доступом, не мають власних елекророзподільчих мереж. При цьому елекророзподільчі компанії двадцять першого століття потребують все більше і більше телекомунікаційних послуг [8] від операторів зв’язку, а оператори потребують електроживлення. Отже повинна бути можливість отримати додатковий виграш при конвергенції електричних та телекомунікаційних мереж. Інші причини, що гальмують впровадження технології BPL, можна знайти в [9].

Для прикладу розглянемо схему мережі, що зображена на рис. 1.

При такій конфігурації стає можливим забезпечити інтеграцію вузькосмугових мереж PLC та широкосмугових мереж BPL в одній фізичній елекророзподільчій мережі низької та середньої напруги. При цьому вузькосмугова мережа PLC забезпечуватиме потреби елекророзподільчих компаній у впровадженні автоматизованих систем комплексного обліку електроенергії (АСКОЕ), а BPL – доступ до мережі Інтернет та інших телекомунікаційних послуг кінцевим користувачам.

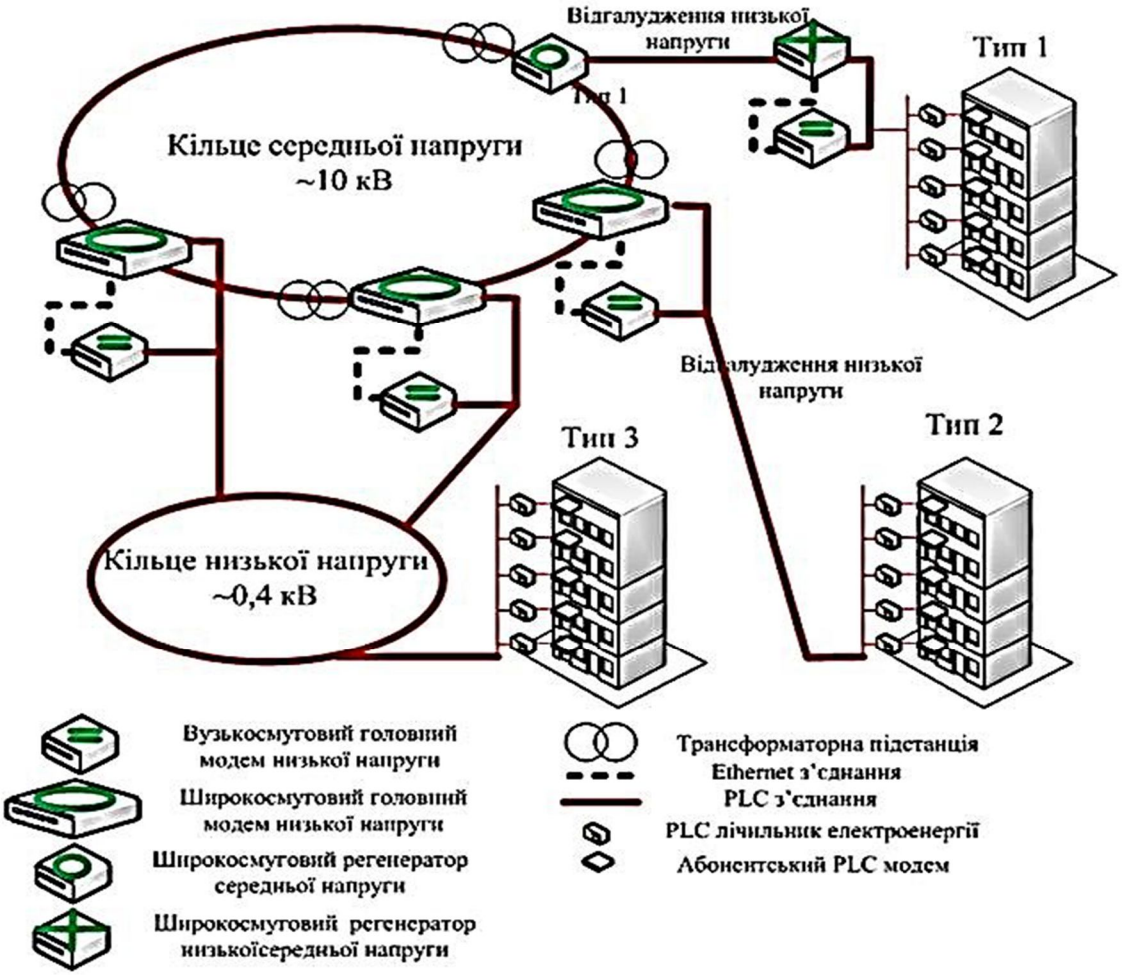

Рис. 1. Концепція побудови мережі з інтеграцією вузькосмугових PLC- та широкосмугових BPL-технологій

Інтеграція може проводитись в трансформаторних підстанціях (тип 2 та тип 3 на рис.1). Тут широкосмуговий головний модем буде виступати в якості транзитного вузла мережі, яка переноситиме дані від трансформаторних підстанцій до магістральної базової мережі оператора телекомунікацій. Це є найкращим рішенням для тих випадків, коли вузькосмугова PLC низької напруги вже працює, а широкосмугова BPL замінюватиме можливі існуючі традиційні телекомунікаційні канали збору інформації для потреб АСКОЕ. Розподіл способів організації підключення на тип 2 і тип 3 (рис. 1) наведено для демонстрації можливості розгортання BPL/PLC як при радіальній, так і при кільцевій фізичній топології мереж низької напруги.

Встановлення широкосмугових головних модемів низької напруги в кожній трансформаторній підстанції не є обов'язковим, особливо якщо відсутній інтерес в наданні широкосмугових телекомунікаційних послуг кінцевим користувачам, які отримують живлення від даної підстанції. Однак, розгортання широкосмугової мережі середньої напруги є обов'язковим, адже забезпечуватиме зв'язність з тими трансформаторними підстанціями, у яких можуть бути клієнти широкосмугового доступу.

Інший спосіб інтеграції (тип 1 на рис. 1) полягає в наступному. На електромережі низької напруги розгортається широкосмугова BPL мережа з встановленням широкосмугових головних модемів у кожному будинку. Вузькосмугова PLC мережа організуються тільки для зняття показників PLC-сумісних електричних лічильників в межах одного багатоквартирного будинку. Це дозволятиме окрім вирішення задач збору даних для АСКОЕ надавати послуги широкосмугового доступу до телекомунікаційних мереж мешканцям цих будинків.

3. Економічні аспекти побудови інтегрованих PLC мереж

Результати оцінки економічної ефективності комплексного впровадження систем АСКОЕ на базі BPL мережі наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Зведений розрахунок економічної ефективності впровадження систем АСКОЕ на основі BPL технології в одному із міст Україні

Найменування статті	**Роки**									
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Кількість PLC- сумісних лічильнів, тис.шт.	***15***	***50***	***70***	***65***	***60***	***50***	***35***	***30***	***20***	***15***
Витрати, тис. ум. од:										
капітальні:										
на проектування	60	30	15	15	30	60	30	15	15	15
обладнання BPL мережі, АСКОЕ та центр управління	553	1 783	2 504	2 335	809	688	509	405	285	120
експлуатаційні:										
обладнання BPL мережі, АСКОЕ та центр управління	14	86	246	427	604	700	737	816	859	848
ВСЬОГО витрати, тис. ум. од	***627***	***1 898***	***2 765***	***2 778***	***1 443***	***1 448***	***1 276***	***1 236***	***1 159***	***983***
Очікуваний виграш, тис. ум. од:										
управління навантаженням (0,01%)	0	4	14	36	693	118	197	257	301	309
зменшення втрат при аваріях (15%)	27	243	532	758	931	1 062	847	771	740	684
мінімізація втрат електроенергії (1%)	6	31	74	119	194	231	258	280	295	302
оптимізація взаєморозрахунків з клієнтами (50%)	300	1 950	4 320	6 800	8 840	10 540	11 730	12 750	13 430	13 770
багато тарифні розрахунки (3%)	18	117	270	400	520	620	690	750	790	810
виявлення та попередження несанкціонованого відбору електроенергії (2%)	94	421	693	723	495	472	394	285	150	154
ВСЬОГО виграш, тис. ум. од	***447***	***2 767***	***5 903***	***8 836***	***11 673***	***13 044***	***14 117***	***15 093***	***15 706***	***16 030***
ПРИБУТОК / ЗБИТОК, тис .ум од	***-180***	***868***	***3 137***	***6 058***	***10 230***	***11 595***	***12 840***	***13 858***	***14 547***	***15 046***

В розрахунку враховувалися капітальні та операційні затрати на мережу BPL, систему АСКОЕ та інсталяцію інтелектуальних PLC-сумісних лічильників (загальним обсягом 410.000 одиниць протягом 10 років). В якості дохідної частини розглядався очікуваний виграш (економія) при впровадженні такої архітектури в порівнянні з традиційною.

З результатів видно, що починаючи з другого року, потік грошових коштів приймає позитивне значення.

4. Висновки. 1) Мережа електроживлення, що використовується у всіх будинках, складає безмежне середовище для побудови телекомунікаційних систем з використанням технології PLC, які можна вважати альтернативними технологіям xDSL, HFC, PON, WiMAX.

2) Створення інтегрованих систем (вузькосмугових та широкосмугових телекомунікаційних систем на основі технології PLC) дозволить використовувати існуючу електромережу та забезпечити високу економічну ефективність для енергорозподільчих і телекомунікаційних компаній.

3) Впровадження широкосмугового BPL доступу в депресивних чи малозаселених регіонах України, може значно зменшити існуючий “цифровий розрив”.

Список використаної літератури

1. HomePlug Alliance_ Home.htm // – Режим доступу: http://www.homeplug.org/.

2. dLAN 650+ Starter Kit Powerline.htm // – Режим доступу: http://www.devolo.de/article/dlan-650-starter-kit-powerline/.

3. Интернет из розетки: общие принципы работы технологии и обзор Powerline-адаптера TP-LINK TL-PA6010 // – Режим доступу: http://www.3dnews.ru/821880/ (14/02/2017).

4. IEEE-SA -IEEE Get 802 Program - 802 Overview & Architecture.htm // – Режим доступу: http://standards.ieee.org/about/get/802/802.html / .

5. Недашківський О. Л. Дослідження місця мереж на основі PLC в структурі існуючих і перспективних рішень для «останньої милі» / О. Л. Недашківський // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв’язку. – 2014. – №2(30). – С. 61-66.

6. IEEE Standard for Broadband over Power Line Networks: Medium Access Control and Physical Layer Specifications // IEEE 1901. – 2010.

7. Oleksiy Nedashkivskyy. Estimation of quality of Internet services in Ukraine / O. Nedashkivskyy // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, Slavske, 23-26 February 2016. – P. 31.

8. MES-2009_presentations_Johnson.pdf // – Режим доступу: http://mwalliance.org/sites/default/files/uploads/meeaconference/MES-2009_ presentations_ Johnson.pdf/ .

9. Недашківський О. Л. Аналіз нормативно-правової бази, що визначає системні вимоги до побудови мереж на основі технології PLC / О. Л. Недашківський // Системи управління, навігації та зв’язку. – 2014. – Випуск 1(29). – С. 115-119.

References

1. HomePlug Alliance _ Home.htm // – http://www.homeplug.org.

2. dLAN 650+ Starter Kit Powerline.htm // – http://www.devolo.de/article/dlan-650-starter-kit-powerline.

3. Internet from the power outlet: the general principles of technology and an overview of the Powerline-Adapter TP-LINK TL-PA6010 // – http://www.3dnews.ru/821880.

4. IEEE-SA - IEEE Get 802 Program - 802 Overview & Architecture.htm» // – http://standards.ieee.org/about/get/802/802.html.

5. Nedashkivskyi O. L. The study of PLC networks places based on the structure of existing and future solutions for «last mile» // Scientific Proceeding of Ukrainian Research Institute of Communication. – 2014. – №2(30). –C.61-66.

6. IEEE Standard for Broadband over Power Line Networks: Medium Access Control and Physical Layer Specifications // IEEE 1901. – 2010.

7. Nedashkivskyi O. Estimation of quality of Internet services in Ukraine // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, Slavske, 23-26 February, 2016. – P. 31.

8. MES-2009_presentations_Johnson // – http://mwalliance.org/sites/default/files/uploads/meeaconference/MES-2009_presentations_Johnson.pdf.

9. Nedashkivskyi O. L. Analysis of the legal framework that defines system requirements to build networks based on PLC technology // Systems of control, navigation and communication. – 2014. – №1(29). – P. 115-119.

Автор статті

Недашківський Олексій Леонідович – кандидат технічних наук, доцент кафедри Інформаційно-комунікаційних технологій, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел.: +380 (67) 506 20 00. E-mail : al_1@ua.fm.

Author of the article

Nedashkivskyi Oleksii Leonidovych – candidate of sciences (technic), associated professor of information and communications technology department, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel.: +380 (67) 506 20 00. E-mail : al_1@ua.fm.

Дата надходження
в редакцію: 15.01.2017 р.

Рецензент:
доктор технічних наук, професор А. І. Семенко
Державний університет телекомунікацій, Київ