

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ЗАДАЧАХ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

УДК 004.7:004.942

DOI: 10.31471/1993-9981-2019-2(43)-120-127

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЗАЛЕЖНОСТІ ШВИДКОСТІ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ ВІД ДОВЖИНИ СЕГМЕНТУ СПЕЦІАЛІЗОВАНОЇ ЦИФРОВОЇ МЕРЕЖІ G3-PLC

*С. М. Бабчук, Б. С. Незамай**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Івано-Франківськ, Карпатська 15, 76019, e-mail: plumbum@meta.ua*

Системи передавання даних через електромережі (Power Line Communication, PLC) активно розвиваються і стають все більш розповсюдженими в усьому світі. Їх використовують при автоматизації технологічних процесів, організації систем відеоспостереження та для управління “розумним” будинком. G3-PLC забезпечує високошвидкісний і високонадійний зв'язок на великих відстанях по існуючій електромережі. Завдяки тому, що G3-PLC забезпечує можливість передавати дані в тому числі через трансформатори, інфраструктурні витрати знижуються. Крім того, мережа G3-PLC може підтримувати протокол IPv6, що дозволить G3-PLC в майбутньому легко інтегрувати в загальні комунікаційні лінії зв'язку на базі протоколу IPv6. Двосторонні комунікаційні мережі на базі G3-PLC можуть забезпечити операторів електричної мережі інтелектуальними можливостями моніторингу та управління. Оператори отримують можливість контролювати споживання електроенергії по всій мережі в режимі реального часу, застосовувати змінні тарифні графіки та встановлювати обмеження на споживання електроенергії. У свою чергу, споживачі зможуть в режимі реального часу контролювати споживання електроенергії. За допомогою використання змінних тарифів користувачі можуть зменшити споживання електроенергії під час пікового його використання. Спеціалізовану цифрову мережу G3-PLC можна використати в системах автоматизації технологічних процесів, де проведення традиційних каналів передавання даних ускладнене або неможливе. В результаті проведених досліджень знайдено поліноміальну математичну модель, яка найкраще відображає зміну швидкості передавання даних в залежності від довжини сегменту мережі G3-PLC. Також встановлено, що для спрощеного розрахунку можна використовувати лінійну модель визначену під час досліджень. Встановлені математичні моделі залежності швидкості передавання даних від довжини сегменту спеціалізованої цифрової мережі G3-PLC сприятимуть кращому проектуванню мереж на базі G3-PLC.

Ключові слова: математична модель, спеціалізована цифрова мережа, залежність швидкості передавання даних від довжини сегменту, fieldbus, G3-PLC, Power Line Communication.

Системы передачи данных через электросети (Power Line Communication, PLC) активно развиваются и становятся все более распространенными во всем мире. Их используют при автоматизации технологических процессов, организации систем видеонаблюдения и для управления «умным» домом. G3-PLC обеспечивает высокоскоростную и высоконадёжную связь на больших расстояниях по существующей электросети. Благодаря тому, что G3-PLC обеспечивает возможность передавать данные в том числе через трансформаторы, инфраструктурные расходы снижаются. Кроме того, сеть G3-PLC может поддерживать протокол IPv6, что позволит G3-PLC в будущем легко интегрировать в общие коммуникационные линии связи на базе протокола IPv6. Двусторонние коммуникационные сети на базе G3-PLC могут обеспечить операторов электрической сети интеллектуальными возможностями мониторинга и управления. Операторы получают возможность контролировать потребление электроэнергии по всей сети в режиме реального времени, применяют сменные тарифные графики и устанавливать ограничения на потребление электроэнергии. В свою очередь, потребители смогут в режиме реального времени контролировать потребление электроэнергии. С помощью использования переменных тарифов пользователи могут уменьшить потребление электроэнергии во время его пикового использования. Специализированную цифровую сеть G3-PLC можно использовать в

системах автоматизації технологічних процесів, где прокладывание традиционных каналов передачи данных затруднено или невозможно. В результате проведенных исследований найдено полиномиальную математическую модель, которая лучше всего отражает изменение скорости передачи данных в зависимости от длины сегмента сети G3-PLC. Также установлено, что для упрощенного расчета можно использовать линейную модель определенную в ходе исследований. Установленные математические модели зависимости скорости передачи данных от длины сегмента специализированной цифровой сети G3-PLC будут способствовать лучшему проектированию сетей на базе G3-PLC.

Ключевые слова: математическая модель, специализированная цифровая сеть, зависимость скорости передачи данных от длины сегмента, fieldbus, G3-PLC, Power Line Communication.

Power Line Communication (PLC) systems are actively evolving and becoming more and more widespread worldwide. They are used in the automation of technological processes, the organization of video surveillance systems and to control the "smart" home. The G3-PLC provides high-speed and high-reliability long-distance communication over the existing power grid. Due to the fact that G3-PLC provides the ability to transmit data including through transformers, infrastructure costs are reduced. In addition, the G3-PLC network can support IPv6, which will allow the G3-PLC to easily integrate into common IPv6-based communication lines in the future. G3-PLC-based bilateral communications networks can provide grid operators with intelligent monitoring and control capabilities. Operators will be able to monitor electricity consumption across the network in real time, apply variable tariff schedules and set limits on electricity consumption. In turn, consumers will be able to control electricity consumption in real time. By using variable tariffs, users can reduce their electricity consumption during peak use. The G3-PLC dedicated digital network can be used in process automation systems where traditional or traditional data transmission is difficult or impossible. As a result of the research, a polynomial mathematical model was found that best reflects the change in data rate depending on the length of the G3-PLC network segment. It is also found that for the simplified calculation, a linear model determined during the studies can be used. The established mathematical models of data transmission rate dependence on the segment length of the G3-PLC dedicated digital network will contribute to better design of G3-PLC-based networks.

Key words: mathematical model, specialized digital network, dependence of data rate on segment length, fieldbus, G3-PLC, Power Line Communication.

Вступ

Системи передавання даних через електромережі (Power Line Communication, PLC) активно розвиваються і стають все більш розповсюдженими в усьому світі. Їх використовують при автоматизації технологічних процесів, організації систем відеоспостереження та для управління "розумним" будинком [1, 2].

G3-PLC забезпечує високошвидкісний і високонадійний зв'язок на великих відстанях по існуючій електромережі. Завдяки тому, що G3-PLC забезпечує можливість передавати дані в тому числі через трансформатори, інфраструктурні витрати знижуються. Крім того, мережа G3-PLC може підтримувати протокол IPv6, що дозволить G3-PLC в майбутньому легко інтегрувати в загальні комунікаційні лінії зв'язку на базі протоколу IPv6 [3].

Двосторонні комунікаційні мережі на базі G3-PLC можуть забезпечити операторів

електричної мережі інтелектуальними можливостями моніторингу та управління. Оператори отримують можливість контролювати споживання електроенергії по всій мережі в режимі реального часу, застосовувати змінні тарифні графіки та встановлювати обмеження на споживання електроенергії. У свою чергу, споживачі зможуть в режимі реального часу контролювати споживання електроенергії. За допомогою використання змінних тарифів користувачі можуть зменшити споживання електроенергії під час пікового його використання [3].

Спеціалізовану цифрову мережу G3-PLC можна використати в системах автоматизації технологічних процесів, де проведення традиційних каналів передавання даних ускладнене або неможливе.

Метою дослідження є розробка математичної моделі залежності швидкості

передавання даних від довжини сегменту спеціалізованої цифрової мережі G3-PLC.

Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень і публікацій

Спеціалізовані цифрові мережі, які використовують як середовище передавання даних електромережі пройшли великий і довгий шлях еволюційного розвитку [1-10].

В 70-х роках ХХ століття була розроблена і почала використовуватися мережа X10. Проте в неї була дуже низька швидкість передавання даних (20 біт/с) та одностороння комунікація для простого управління пристроями та приладами.

В 80-х роках ХХ століття було подолано ряд обмежень мережі X10 і забезпечено можливість створення більш великих мереж.

В 90-х роках ХХ століття технологія FSK PLC стала популярною і забезпечила швидкість передавання даних 2,4 кбіт/с та двосторонню комунікацію для більш зручного управління.

В 2000-х роках були розроблені системи передавання даних через електромережі на швидкості до 2 Мбіт/с для мультимедійних програм споживачів (в основному для доступу до мережі Internet).

2010-х роках спеціально для Smart Grid було розроблено високонадійну, швидку, безпечну, двосторонню комунікаційну цифрову мережу, яка використовує як середовище передавання даних звичайні електромережі.

В даний час системи контролю та автоматизації на базі спеціалізованої цифрової мережі G3-PLC розроблені і використовуються в США, Франції,

Німеччині, Португалії, Мексиці, Японії, КНР, Тайвані.

Математична модель залежності швидкості передавання даних в спеціалізованій цифровій мережі G3-PLC сприяла б кращому проектуванню мереж на базі G3-PLC, адже швидкість передавання даних зменшується із збільшенням довжини сегменту мережі (особливо в мережах де середовищем передавання даних є електромережа). Проте, на даний час такі моделі не розроблені.

Розробка математичної моделі залежності швидкості передавання даних від довжини сегменту спеціалізованої цифрової мережі G3-PLC

Jean Vigneron і Kaveh Razazian в своїй праці "Powerline Communication Standard for Today's Smart Grid" проводять огляд результатів досліджень роботи реальних ділянок мереж на базі G3-PLC [10]. Зокрема, вказано, що на одній ділянці на відстані 800 метрів було визначено швидкість передавання даних 54 кбіт/с, а на відстані 1800 метрів було визначено швидкість передавання даних 48 кбіт/с. На іншій ділянці на відстані 6400 метрів було визначено швидкість передавання даних 6 кбіт/с.

З метою проведення аналізу вищевказаних даних було відзначено дані результати на площині, де вісь абсцис відображає відстань в метрах, а вісь ординат відображає швидкість передавання даних в кбіт/с (рис.1).

Спочатку було здійснено пошук математичної моделі, як експонентної функції (рис.2).



Рисунок 1 – Експериментально отримані дані про швидкість передавання даних в мережі G3-PLC на її ділянках різної довжини.

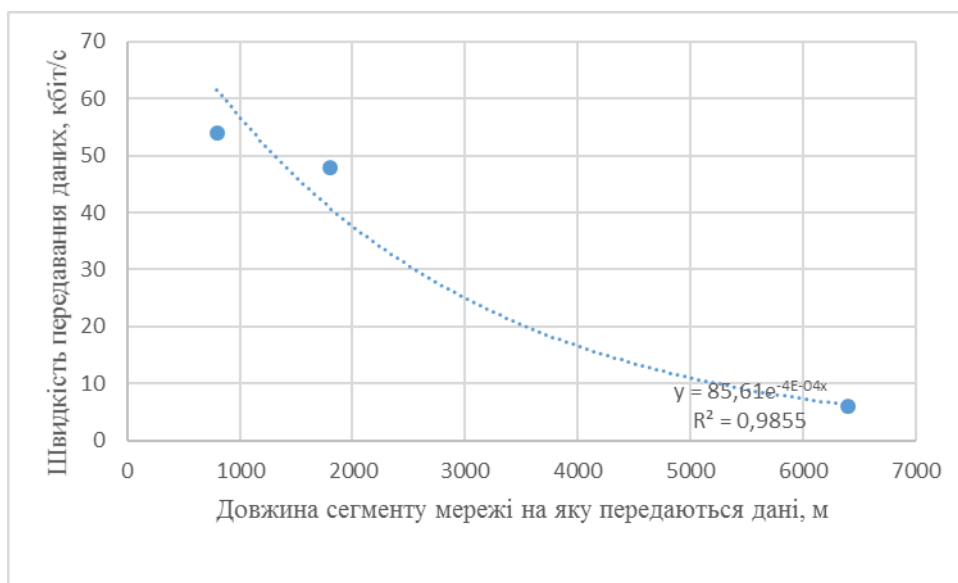


Рисунок 2 – Експонентна модель залежності швидкості передавання даних від довжини сегменту мережі G3-PLC.

З рисунка 2 видно, що відображений на ньому графік експонентної моделі не належним чином відображає швидкість передавання даних в порівнянні з даними, що отримані експериментальним способом та описані в роботі Jean Vigneron і Kaveh

Razazian “Powerline Communication Standard for Today’s Smart Grid” для ділянок довжиною 800 м і 1800 м.

Потім було здійснено пошук математичної моделі, як степеневої функції (рис.3).

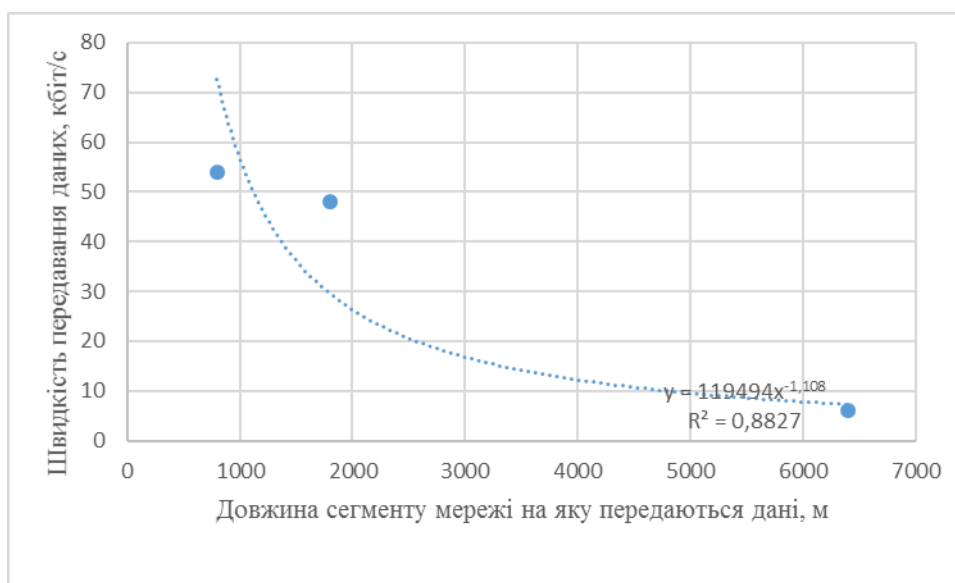


Рисунок 3 – Степенева модель залежності швидкості передавання даних від довжини сегменту мережі G3-PLC.

З рисунка 3 видно, що відображений на ньому графік степеневій моделі не належним чином відображає швидкість передавання даних в порівнянні з даними, що отримані експериментальним способом та які описані в роботі Jean Vigneron і Kaveh

Razazian “Powerline Communication Standard for Today’s Smart Grid” для ділянок довжиною 800 м і 1800 м.

Потім було здійснено пошук математичної моделі, як логарифмічної функції (рис.4).

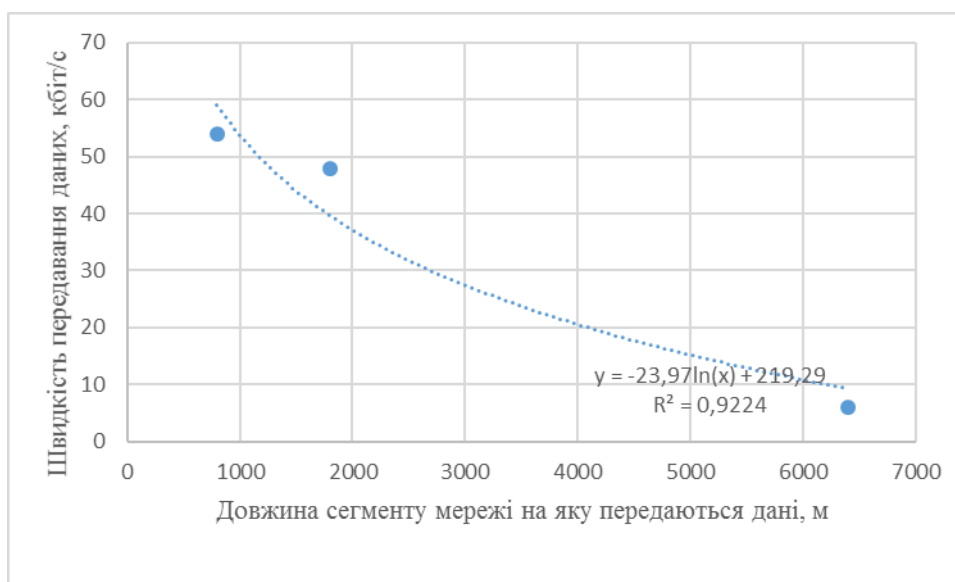
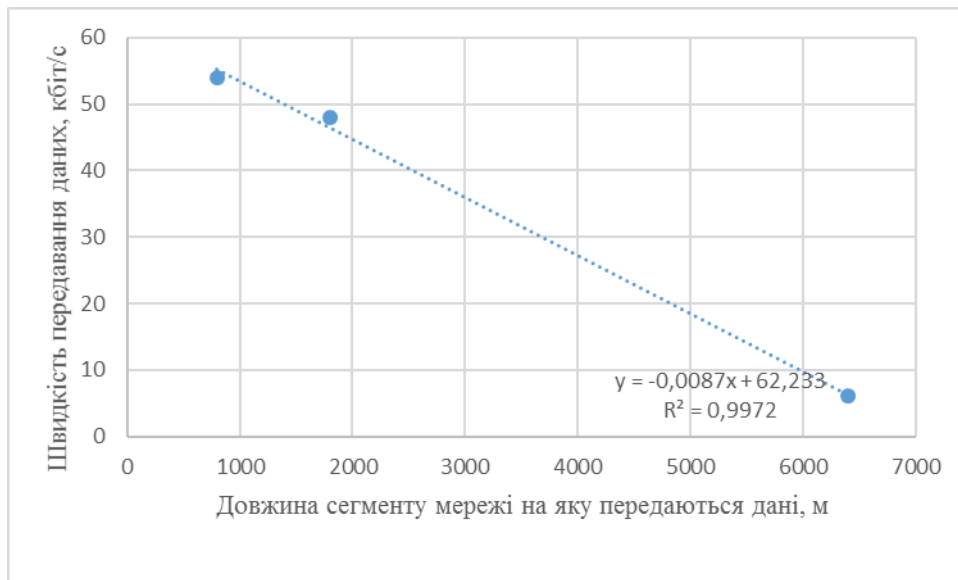


Рисунок 4 – Логарифмічна модель залежності швидкості передавання даних від довжини сегменту мережі G3-PLC.

З рисунка 4 видно, що відображений на ньому графік логарифмічної моделі не належним чином відображає швидкість передавання даних в порівнянні з даними, що отримані експериментальним способом та які описані в роботі Jean Vigneron і Kaveh Razazian “Powerline Communication Standard

for Today’s Smart Grid” для всіх трьох ділянок довжиною 800 м, 1800 м і 6400 м.

Потім було здійснено пошук математичної моделі, як лінійної функції (рис.5).



Рисунк 5 – Лінійна модель залежності швидкості передавання даних від довжини сегменту мережі G3-PLC.

З рисунка 5 видно, що відображений на ньому графік лінійної моделі близький до хорошого відображення швидкості передавання даних в порівнянні з даними, що отримані експериментальним способом та які описані в роботі Jean Vigneron і Kaveh Razazian “Powerline Communication Standard for Today’s Smart Grid” (є невеликі відхилення для двох ділянок довжиною 800 м і 1800 м).

Потім було здійснено пошук математичної моделі, як поліноміальної функції (рис.6).

З рисунка 6 видно, що відображений на ньому графік поліноміальної моделі відображає зміну швидкості передавання даних в залежності від довжини сегменту мережі G3-PLC і значення швидкості передавання даних отримані експериментальним способом, що описані в роботі Jean Vigneron і Kaveh Razazian “Powerline Communication Standard for Today’s Smart Grid” для ділянок мережі довжиною 800 м, 1800 м і 6400 м їм відповідають.

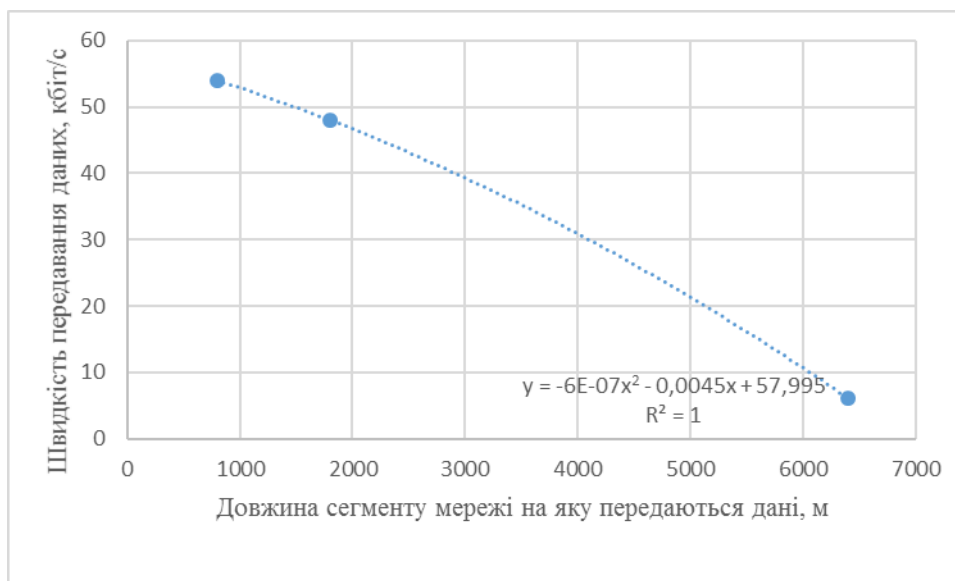


Рисунок 6 – Поліноміальна модель залежності швидкості передавання даних від довжини сегменту мережі G3-PLC.

Висновки

В результаті проведених досліджень знайдено поліноміальну математичну модель, яка найкраще відображає зміну швидкості передавання даних в залежності від довжини сегменту мережі G3-PLC. Також встановлено, що для спрощеного розрахунку можна використовувати лінійну модель визначену під час досліджень.

Список використаних джерел

1. Чернюк А. Связь по электросети: кому и зачем это нужно. QTECH. – 2015.
2. Никифоров А. В. Технология PLC – телекоммуникации по сетям электропитания. Сети и системы связи. №5. – 2002.
3. G3-PLC Overview: <http://www.g3-plc.com/what-is-g3-plc/g3-plc-overview/>
4. Thierry Lys. First Feedback on the G3-PLC roll-out in France. ERDF. – 2016. – 15 p.
5. Koch M. G3-PLC 500 kHz for Smart Metering. Devolo. – 2015. – 18 p.
6. Bouchez J., Durieux O., Grandjean H. Smart metering pilot: testing G3-PLC technology. ORES. – 2015. – 15 p.

7. IEEE G3-PLC Research – G3-PLC on Galvanized SWER

8. Kikkert J. Effect of couplers and line branches on PLC communication channel response. 2011 IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm). - Brussels. - 2011.

9. Razazian X., M. Umari, A. Kamalizad, V. Loginov, M. Navid "G3-PLC Specification for Powerline Communication: Overview, System Simulation and Field Trial Results.", 2010 IEEE International Symposium on Power Line Communications and its Applications, Rio de Janeiro, Brazil, pp 313-318, 28-31 March 2010.

10. Jean Vigneron, Kaveh Razazian. G3-PLC Powerline Communication Standard for Today's Smart Grid. – 2012. – 28 p.

References

1. Chernyuk A. Svyaz po elektroseti: кому i zachem eto nuzhno. QTECH. 2015.
2. Nikiforov A. V. Tekhnologiya PLC – telekommunikaczii po setyam elektropitaniya. Seti i sistemy svyazi. 2002. No 5.
3. G3-PLC Overview: <http://www.g3-plc.com/what-is-g3-plc/g3-plc-overview/>
4. Thierry Lys. First Feedback on the G3-PLC roll-out in France. ERDF. 2016. 15 p.
5. Koch M. G3-PLC 500 kHz for Smart Metering. Devolo. 2015. 18 p.

6. Bouchez J., Durieux O., Grandjean H. Smart metering pilot: testing G3-PLC technology. ORES. 2015. 15 p.

7. IEEE G3-PLC Research – G3-PLC on Galvanized SWER

8. Kikkert J. Effect of couplers and line branches on PLC communication channel response. 2011 IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm). - Brussels. - 2011.

9. Razazian X., M. Umari, A. Kamalizad, V. Loginov, M. Navid "G3-PLC Specification for

Powerline Communication: Overview, System Simulation and Field Trial Results.", 2010 IEEE International Symposium on Power Line Communications and its Applications, Rio de Janeiro, Brazil, , 28-31 March 2010. P/ 313-318

10. Jean Vigneron, Kaveh Razazian. G3-PLC Powerline Communication Standard for Today's Smart Grid. 2012. 28 p.