

# Выбор коммуникационной основы для умных энергетических систем

КСЕНОФОНТОВ М.А.

*Пути создания умных энергетических систем в значительной степени зависят от того, каким образом будет осуществляться информационный обмен между объектами, составляющими указанную систему, т.е. какова коммуникационная основа системы. Предлагается использование принципа передачи данных PLC (Power Line Communication) по электрическим проводам с использованием двух сред (двух каналов связи, обладающих различающимися физическими свойствами). Технология PLC открывает новые возможности реализации концепции «умного дома», в которой бытовая электроника объединена в единую информационную сеть с возможностью централизованного управления. Электрическая сеть – идеальная среда передачи управляющих сигналов между бытовыми приборами, работающими от сети 110/220 В. Встроенные в различные приборы специализированные микросхемы могут обеспечить возможность приема/передачи данных через электросеть. В настоящее время отечественной промышленностью освоена данная технология и она наиболее широко нашла применение в приборах учета электроэнергии.*

*Ключевые слова: энергетические системы, линии электроснабжения, передача информации, «умный» дом, направляющая структура*

Концепция интеллектуальных энергетических систем «Smart Grid» признана и в различной степени полноты принята к исполнению как в развитых, так и в развивающихся странах мира. Надежды, которые возлагаются на «Smart Grid» в развитии экономики, а также решении проблем энергосбережения и экологии на современном этапе, нашли отражение в том факте, что государство в большинстве стран берет на себя координационные функции и значительную долю финансирования [1].

Одним из важнейших вопросов при создании интеллектуальных энергетических систем является вопрос о коммуникационной основе. Считается, что в конечном итоге энергетическая система должна представлять собой в информационном плане структуру, сходную с сетью «Интернет».

Большое число низовых потребителей и наибольшая протяженность участков, находящихся в условиях «последней мили», определяют при создании сети приоритет экономических требований. Этим требованиям наиболее полно отвечает связь по линиям электропередачи (PLC). Поэтому в XXI в. это направление интенсивно развивалось и были достигнуты очень существенные результаты, позволяющие с успехом применять PLC в интеллектуальных энергетических сетях.

Последние достижения PLC в виде суммы технологий представлены в стандартах IEEE 1901 и IEEE 1901.2 [2]. Эти стандарты учитывают многие особенности передачи информации в сложных условиях линий электроснабжения. Интенсивные исследования были направлены на совершенствование связных технологий и протоколов. На этом пути были достигнуты значительные успехи. На-

пример, для увеличения скорости передачи информации относительно значения, определяемого данной полосой частот, при бинарной манипуляции (1 бит/с на 1 Гц полосы частот) применяется метод Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), позволивший достигнуть скорости передачи до 10 бит/с на 1 Гц полосы частот. Однако в последних стандартах, как и во всех предшествующих, не была затронута основная причина имеющих место недостатков: это – использование одной и той же двухпроводной направляющей структуры для передачи как энергетического, так и информационного потоков. Совместное использование направляющей структуры приводит к сильному влиянию потребителей электроэнергии на параметры информационной линии [3]. Положение можно существенно улучшить, если разнести энергетический и информационный потоки по разным направляющим структурам, существующим в реальных линиях электроснабжения. Наиболее целесообразно энергетический поток оставить в двухпроводной направляющей структуре, а для информационного потока использовать несимметричную структуру: проводка – подстилающая поверхность [4], либо информационный поток передавать одновременно в двух направляющих структурах старой и новой [5]. Рассмотрим этот вопрос более подробно. На рис. 1 и рис. 2 представлены двухпроводная линия электропередачи над подстилающей поверхностью и структура полей в этой линии при симметричном и несимметричном возбуждении.

Сигнал может быть введен в структуру, представленную на рис. 1, симметрично и несимметрично относительно подстилающей поверхности. В

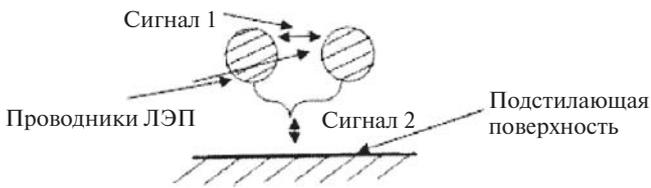


Рис. 1. Сечение двухпроводной линии над подстилающей поверхностью

первом случае имеем возбуждение двухпроводной направляющей структуры, а во втором случае возбуждается несимметричная линия, проводниками которой являются подстилающая поверхность и проводники двухпроводной линии, выступающие в качестве одного проводника.

Следует отметить, что при симметричном возбуждении двухпроводной линии в широком диапазоне частот никаких изменений, существенных для распространения электромагнитной волны, не происходит. В случае несимметричного возбуждения с ростом частоты структура полей сохраняется, при этом наблюдается увеличение локализации полей волны вокруг проводника, которое при некотором значении частоты, зависящем от конструктивных размеров линии, приводит к прекращению взаимодействия полей волны и подстилающей поверхности. Подстилающая поверхность перестает влиять на распространение электромагнитной волны. Линия становится истинно однопроводной, для распространения электромагнитной волны в которой подстилающая поверхность не требуется [6].

Свойства двух рассмотренных направляющих структур существенно отличаются. Например, потребители электроэнергии в двухпроводной направляющей структуре в широкой полосе шунтируют информационную линию. Указанное шунтирование приводит к уменьшению коэффициента передачи, которое особенно заметно в области частот выше 30 МГц. Влияние потребителей электроэнергии на несимметричную линию носит узкополосный резонансный характер и проявляется в сетях электроснабжения зданий на частотах 1-6 МГц. Поскольку влияние потребителей и других действующих факторов на указанные линии различно, целесообразно их одновременное использование.

В этом случае, при одновременном вводе сигнала в две направляющие структуры, образуется параллельное соединение двух каналов связи, обладающих различающимися физическими свойствами. Отличие физических механизмов, порождающих неоднородности амплитудно-частотных характеристик, приводит к их некоррелированности. В итоге результирующая полоса пропускания суммарного канала, определяемая как объединение

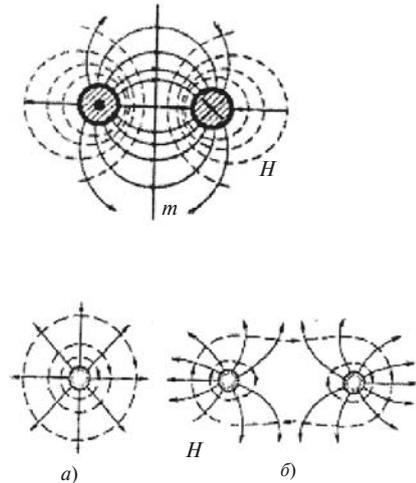


Рис. 2. Структура электрического и магнитного полей при симметричном и несимметричном возбуждении двухпроводной линии

полос каналов, почти не подвержена воздействию на линию внешних факторов. Результатом одновременного использования каналов, основанных на отличающихся физических принципах, является повышение надежности связи и повышение скорости передачи информации [5].

Реализация модифицированной системы связи требует создания специализированных модемов, отличающихся от модемов, предназначенных для двухпроводной линии. Суть этих отличий состоит в необходимости согласования с линией, обладающей большим волновым сопротивлением [7], и реализации устройств ввода – вывода для несимметричной линии, т.е. устройств, преобразующих электрические колебания в структуру электромагнитных полей волны, способной распространяться именно в этой линии [8]. При решении указанных вопросов необходимо учитывать, что диапазон частот, отведенных для PLC, очень широк. «Скоростной» стандарт IEEE1901 использует полосу частот 2–68 МГц, а «дальнобойный» стандарт IEEE1901.2 – полосу 10–500 кГц. Вопрос согласования сопротивлений не представляет серьезных трудностей [10] и требует использования трансформаторов с коэффициентом трансформации примерно 1:4 вместо 1:1 (трансформация по сопротивлению 1:16). Вопрос создания необходимой структуры полей сложнее. Он может решаться методами, разработанными для сверхвысоких частот (рупорные устройства). Устройства, созданные по этим принципам на низких частотах, слишком громоздки. На практике для реализации диапазона стандарта IEEE 1901.2 необходимо кондуктивное соединение с подстилающей поверхностью (заземление) [8].

Результаты сравнения пропускной способности каналов связи с использованием стандартных PLC модемов и модемов, использующих двухпроводную и однопроводную направляющие структуры, приведены в [9]. Эти результаты показывают

большую надежность связи при использовании двух направляющих структур, а также большую скорость передачи информации при большом числе потребителей электроэнергии. Указанные причины позволяют считать целесообразным использование «PLC+» при создании интеллектуальных энергетических систем.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Third Annual Smart Grids & Smart Meters Summit.** Abu Dhabi, U.A.E. from 24 – 25 September 2013: <http://smart.grid.1.org/ieee-smart-grid>
2. **IEEE 1901 Boardband Power Line Standard for 500 Mbps Communications Approved.** IEEE 1901.2 Standard to support low frequency narrowband PLC for smart grid approved: <http://www.ieee.org/standards on line>
3. **Ксенофонтов М.А.** Влияние потребителей электроэнергии на однопроводную линию связи в сети электроснабжения. – Вопросы радиоэлектроники, 2012, вып. 2, с. 142–148.
4. **Патент РФ** на изобретение RU № 2433531. Ксенофонтов М.А. Способ увеличения скорости передачи информации по линии электроснабжения.
5. **Патент РФ** на изобретение RU № 2467478. Ксенофонтов М.А. Способ увеличения скорости передачи информации по линии электроснабжения.
6. **Ксенофонтов М.А.** Концентрация поля электромагнитной волны в однопроводной линии. – Антенны, 2011, № 9, с. 76–78.
7. **Ксенофонтов М.А.** Исследование волнового и входного сопротивлений линий связи, реализованных в сети электроснабжения. – Антенны, 2012, № 2, с. 84–87.
8. **Ксенофонтов М.А.** Сверхширокополосные устройства ввода-вывода сигнала для однопроводной линии декаметрового диапазона. – Вопросы радиоэлектроники, 2013, вып. 2, с. 93–100.
9. **Ксенофонтов М.А.** Пропускная способность каналов связи в сети электроснабжения. – Электросвязь, 2011, № 7, с. 36, 37.
10. **Ред Э.** Справочное пособие по высокочастотной схемотехнике. – М.: Мир, 1990, 256 с.

[04.03.14]

*Автор: Ксенофонтов Михаил Анатольевич окончил радиотехнический факультет Московского энергетического института в 1973 г. В 1995 г. защитил кандидатскую диссертацию. Главный специалист, старший научный сотрудник Научно-исследовательского института вычислительных комплексов.*

*Elektrichestvo (Electricity), 2014, No. 12, pp. 54–56.*

## Selecting the Communication Basis for Smart Power Systems

M.A. KSENOFONTOV

*Ways of creating smart power systems depend to a considerable degree on how information exchange will be carried out between the facilities constituting the system, i.e., on what is the communication basis of the system. It is proposed to use the power line communication (PLC) principle via two media (two communication channels having different physical properties). The use of PLC technology opens new possibilities for implementing the “smart house” concept, in which all domestic electronic devices are united into a single information network with the possibility of carrying out centralized control. An electric network is the ideal medium for transmitting control signals among domestic appliances operating from a 110/220 V network. Dedicated microchips built in various appliances make it possible to organize receiving and transmission of data via the electric network. At present, the domestic industry has brought this technology to the level of commercially available product, and it has found the widest use in electric energy accounting instruments.*

**Key words:** *power systems, power supply lines, data transmission, “smart house,” guiding structure*

#### REFERENCES

1. **Third Annual Smart Grids & Smart Meters Summit.** Abu Dhabi, U.A.E. from 24 – 25 September 2013: <http://smart.grid.1.org/ieee-smart-grid>
2. **IEEE 1901 Boardband Power Line Standard for 500 Mbps Communications Approved.** IEEE 1901.2 Standard to support low frequency narrowband PLC for smart grid approved: <http://www.ieee.org/standards on line>
3. **Ksenofontov M.A.,** *Voprosy radioelektroniki (Problems of the radioelectronics)*, 2012, iss. 2, pp. 142–148.
4. **Patent RF** na izobreteniyе RUnо. 2433531 (*Patent for an Invention*) *Sposob uvelicheniya skorodti peredachi informatsii po linii elektrosnabzheniya* (A method for increasing the data transmission rate via a power supply line).
5. **Patent RF** na izobreteniyе RUnо. 2467478 (*Patent for an Invention*) *Sposob uvelicheniya skorosti peredachi informatsii po linii elektrosnabzheniya* (A method for increasing the data transmission rate via a power supply line).
6. **Ksenofontov M.A.** *Antenny (Aerials)*, 2012, No. 9 pp. 76–78.
7. **Ksenofontov M.A.** *Antenny (Aerials)*, 2012, No. 2, pp. 84–87.
8. **Ksenofontov M.A.** *Voprosy radioelektroniki (Problems of the radioelectronics)*, 2013, iss. 2, pp. 93–100.
9. **Ksenofontov M.A.** *Elektrosvyaz' (Electrocommunication)*, 2011, No. 7, pp. 36–37.
10. **Red E.** *Spravochnoye posobiye po vysokochastotnoi skhemotekhnike* (A Handbook on High-Frequency Circuitry Engineering), Moscow. Publ. «Mir», 1990, 256.

*Autor: Ksenofontov Mikhail Anatol'yevich (Moscow, Russia) – Cand. Techn. Sci. He is Chief specialist, Senior scientific researcher of the Scientific Research Institute of the Calculating Complexes.*

