

УДК 620.91

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ ПО ЦЕПЯМ ПИТАНИЯ

Указ Б.С., студент, керівники Дубовик В.Г., старший преподаватель, Лебедев Л.Н., доцент

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

Институт энергосбережения и энергоменеджмента

г. Киев

Украина

Останнім часом спостерігається сплеск інтересу до засобів передачі даних по лініях електроживлення. Це обумовлено, перш за все, повсюдно зростаючою потребою в засобах телекомунікацій як в глобальному, так і в локальному масштабах. Системи управління і моніторингу в промисловості і на транспорті, в медицині, енергетиці, системах екологічної безпеки та інших областях людської діяльності стають все більш інтелектуальними і розподіленими.

В последнее время наблюдается всплеск интереса к средствам передачи данных по линиям электропитания. Это обусловлено, прежде всего, повсеместно возрастающей потребностью в средствах телекоммуникаций как в глобальном, так и в локальном масштабах. Системы управления и мониторинга в промышленности и на транспорте, в медицине, энергетике, системах экологической безопасности и других областях человеческой деятельности становятся все более интеллектуальными и распределенными.

Recently there has been a surge of interest to the means of data transmission over power lines. This is due, above all, throughout the growing demand for telecommunications facilities in both globally and locally. Control and monitoring systems in industry and transport, medicine, energy, environmental systems, security and other human activities are becoming more intelligent and distributed.

Проблема передачи информации по силовым кабелям изучается около 30 лет в рамках десятков специальных проектов в научно-исследовательских лабораториях по всему миру.

В наше время существует два вида передачи информации по силовым проводникам: передача точка-точка по высоковольтным линиям напряжения (ВЛ) и широкополосная общесетевая передача данных, (BPL –Broadband Power Line), в сетях среднего и низкого напряжения (0,4-35 кВ). Каждый из этих видов имеет свои особенности.

Высоковольтные линии электропередач (ЛЭП) уже давно используются в энергосистемах для передачи информации на высоких частотах (ВЧ). ВЧ-связь постоянно развивается и остаётся наиболее надёжным средством управления удалёнными объектами электроэнергетических систем и экономически выгодным видом связи при передаче малых объёмов информации на большие расстояния .

Привлекательность этой технологии для операторов сетей электроснабжения состоит в том, что для передачи информационных сигналов используется собственная инфраструктура электросети. Таким образом технология является не только очень экономичной – отсутствуют текущие расходы на содержание каналов связи, но и позволяет

предприятиям энергоснабжения быть независимыми от провайдеров услуг связи, что особенно важно в аварийных случаях, и даже предписывается на законодательном уровне многих стран. ВЧ связь является универсальным технологическим решением как для предприятий занимающиеся передачей и распределением электроэнергии, так и компаний ориентированных на предоставлении услуг населению.

В современных цифровых ВЧ системах плотность информации при использовании быстрых сигнальных процессоров и цифровых способов модуляции может быть увеличена по сравнению с аналоговыми системами с 0,3 до 8 бит/сек. Таким образом, для полосы частот 8 кГц в каждом направлении (прием и передача) может быть достигнута скорость 64 кбит/с, в то время как у PowerLink данный показатель составляет 76,8 кбит в секунду, занимая полосу 8 кГц (PowerLink – первая система ВЧ связи позволяющая передавать сигнал видеонаблюдения).

Аппаратура ВЧ-связи по линиям электропередач — это, как правило, двухполосная аналоговая система передачи (АСП), в которой дополнительно установлен высоковольтный блок подключения к ЛЭП, а также имеются специфические окончания для решения задач управления, передачи сигналов телемеханики и межмашинного обмена в энергосетях.

Основными особенностями ВЛ, которые необходимо учитывать при анализе параметров ВЧ трактов являются:

- достаточно большие расстояния между проводами ВЛ 35 кВ и выше (для линий различных классов напряжения эти расстояния изменяются от 3,5 до 25 м), соизмеримые с расстояниями между проводами ЛЭП и землей.
- невозможно обеспечить распространение сигналов по ЛЭП без отражений, что вызывает появление стоячих волн, ухудшающих условия распространения сигналов. Это обуславливается как наличием на ЛЭП неустранимых неоднородностей в виде ответвлений от ЛЭП к промежуточным подстанциям (ПС), так и практической невозможностью обеспечить согласование нагрузки на концах ЛЭП с ее волновым сопротивлением;
- на проводах ЛЭП высокого напряжения имеют место коронирование проводов и частичные разряды в изоляции оборудования. Корона и частичные разряды в изоляции являются причиной появления в ВЧ каналах по ЛЭП постоянно действующих помех специфического вида с относительно высоким уровнем. Кроме того, в ВЧ каналах имеют место кратковременные помехи, обусловленные переходными процессами в ЛЭП при коротких замыканиях (КЗ) проводов и при переключениях (коммутациях) высоковольтного оборудования.

Любой канал связи можно условно разделить на две части - приемопередающую аппаратуру уплотнения и линию связи между этой аппаратурой. Роль линии связи в ВЧ каналах по ЛЭП выполняет ВЧ тракт по фазным проводам или грозозащитным тросам ЛЭП, связывающих подстанции, на которых устанавливается аппаратура уплотнения.

Основные особенности, отличающие ВЧ тракты от обычных проводных линий связи, определяются особенностями ЛЭП как среды передачи сигналов. Эти особенности обусловлены тем, что ЛЭП конструируется для передачи электроэнергии на промышленной частоте и лишь в той или иной мере может приспособиваться для передачи по ней ВЧ сигналов.

Высокочастотным трактом называется составной четырехполосник, заключенный между входом и выходом оконечной или промежуточной аппаратуры уплотнения АУ, который включает в себя:

- Многополосники — многопроводные ЛЭП (воздушные или кабельные), ответвления от них; ПС с установленным на них высоковольтным оборудованием;
- четыреполосники — устройства присоединения УП, состоящие из фильтров

присоединения (ФП) с конденсаторами связи (КС), ВЧ кабели, разделительные фильтры и т.д.;

двухполюсники— высокочастотные заградители ВЧЗ, разделительные контуры, являющиеся частным случаем разделительных фильтров.

Так как именно ЛЭП определяет условия передачи сигнала по ВЧ тракту, в общей схеме ВЧ тракта удобно выделить линейный тракт, который начинается и заканчивается в точках подключения устройств присоединения к проводам ЛЭП, как это показано на рис.1.

Как и для любого четырехполюсника, условия передачи сигнала по ВЧ тракту достаточно полно описываются системой рабочих параметров, в которую входят рабочее затухание и входное сопротивление1.

Рабочее затухание ВЧ тракта определяет степень ослабления синусоидального сигнала при передаче его от передатчика к приемнику.

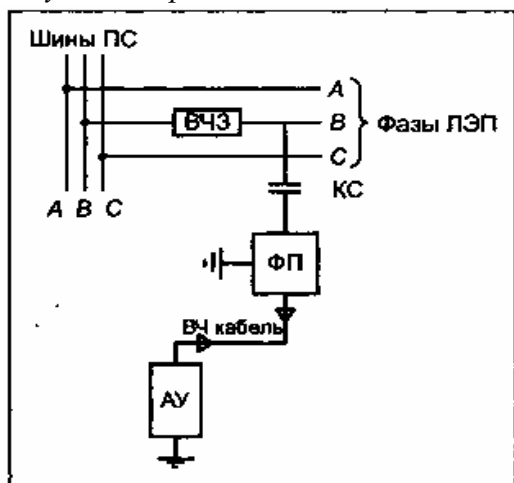
Все схемы присоединения к проводам (фазам или грозозащитным тросам) ЛЭП можно разделить на две группы:

присоединение между проводами и землей. Это, как правило, схемы фаза-земля, трос-земля и два троса- земля;

присоединение между проводами. Это, как правило, схемы фаза-фаза, трос-трос, внутрифазное или внутритросовое присоединение соответственно к изолированным проводам расщепленной фазы или троса.

Наиболее распространенными являются схемы присоединения фаза-земля (рис. 1) и фаза-фаза (рис. 2).

Рисунок 1. Присоединение к линии по схеме фаза В- земля



На рис. 2 показаны два варианта соединения АУ с ФП при схеме присоединения фаза-фаза - с помощью двух коаксиальных ВЧ кабелей (обычно используемая схема) и одного коаксиального ВЧ кабеля.

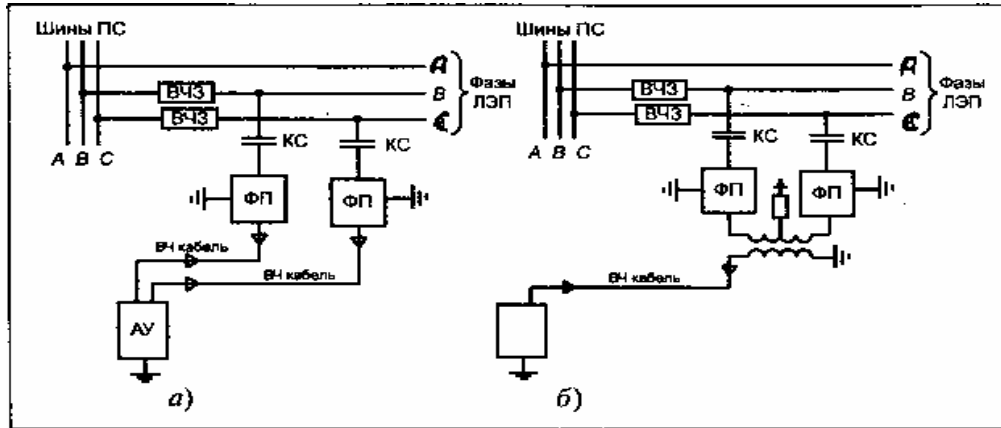


Рисунок 2. Присоединение к линии по схеме фаза В- фаза С с двумя вариантами использования ВЧ кабелей

В последнем случае необходим дифференциальный трансформатор, который должен быть составной частью ФП. Внутрифазное присоединение осуществляется, как правило, на линиях 330 кВ, у которых фаза расщеплена на два провода (две составляющие).

При осуществлении такого присоединения все дистанционные распорки, устанавливаемые на фазах линии и удерживающие провода расщепленной фазы на определенном расстоянии один от другого (обычно 40 см.), делаются не проводящими, а из изолирующего материала. При этом составляющие расщепленной фазы образуют двухпроводную линию, по которой организуется внутрифазный ВЧ тракт. На рис. 3 представлено внутрифазное присоединение к фазе линии с фазами, расщепленными на две составляющие.

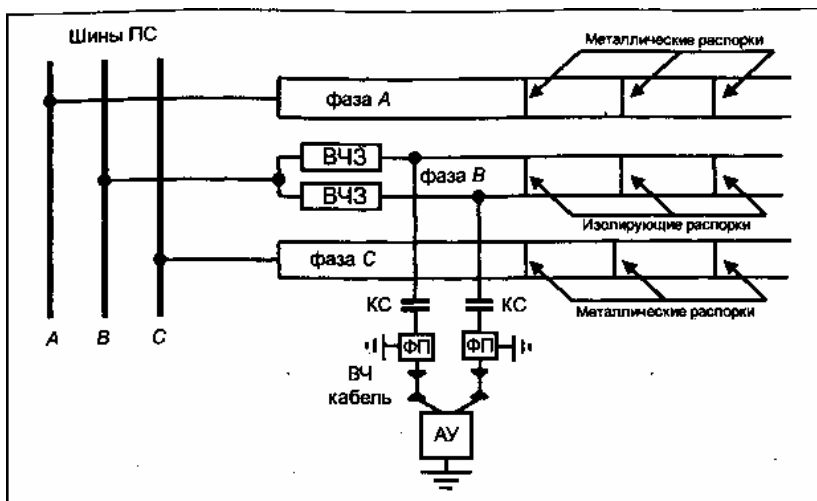


Рисунок 3. Внутрифазное присоединение к фазе В линии с фазами, расщепленными на две составляющие.

Как уже отмечалось выше, отличие ВЧ трактов по ВЛ от трактов по обычным проводным линиям связи заключается в том, что сама ВЛ является источником электрических помех. Эти помехи появляются из-за наличия на проводах ВЛ высокого напряжения промышленной частоты, и воздействуют на приемники каналов связи наряду с обычными видами помех (от грозных разрядов, радиостанций и других каналов передачи информации).

Помехи можно разделить на помехи, генерируемые ЛЭП при нормальном режиме, и дополнительные виды помех, возникающие при коммутационных операциях выключателями

и разъединителями и аварийных ситуациях.

PLC — это сравнительно недавно появившаяся технология в области передачи информации по электрическим сетям низкого напряжения, которая обеспечивает работу в частотном диапазоне от 1 до 30 МГц.

Прототипом PowerLine является технология PowerPacket фирмы Intellon, положенная в основу создания единого стандарта HomePlug1.0 specification (принятого альянсом HomePlug в 2001 г.), в котором определена скорость передачи данных до 14 Мбит/с.

Однако эта технология сталкивается с некоторыми значительными трудностями, связанными с ее характеристиками, особенно в том, что касается соответствию стандарту EMC. Одна из самых критичных проблем — это испускание ЭМ-полей, которое может нарушить радиотрансляцию в том же частотном диапазоне.

Четыре прикладных области могут быть покрыты с помощью PLC-технологии:

— внешняя, то есть в общественной сети обеспечения: автоматизация, мониторинг, функции удаленного снятия измерений, оперативная телефонная служба. Это может быть произведено с помощью существующих распределительных сетей, без проведения дополнительных линий.

— внутренняя, то есть внутри здания потребителя: контроль и мониторинг, включая функции сигнализации, внутренняя система коммуникации (так называемая, «домашняя»), легкое объединение в сеть оборудования, обрабатывающего данные. Все это реализуется с использованием существующей у потребителя проводки и не требует прокладки дополнительных линий или использования радиооборудования.

— граничная, то есть соединяющая внутреннюю и внешнюю PLC-области: например, службы для потребителя находятся рядом с энергообеспечением.

— мониторинг работы систем с обеспечением соответствующей реакции удаленный контроль оборудования (такого как электрические нагреватели или кипятильники).

— Обеспечение общественных телекоммуникационных служб, путем связи внешней PLC-системы с телекоммуникационной основой: например, высокоскоростного интернет-доступа, общественной телефонии, при необходимости видео.

Архитектура информационного взаимодействия на основе электросетей имеет эталонную семиуровневую модель OSI. Даже в рамках одной прикладной области конкретные ее реализации отличаются методами надежной доставки данных на различных уровнях иерархии. Повышение надежности передачи на физическом уровне связано с выбором способа модуляции и частотного диапазона, с использованием методов цифровой обработки сигналов и адаптивного управления. Здесь в первую очередь следует отметить перспективность алгоритмов широкополосной (Spread Spectrum) модуляции, существенно повышающей помехоустойчивость передачи. При использовании SS-модуляции мощность сигнала распределяется в широкой полосе частот, и сигнал становится незаметным на фоне помех. На принимающей стороне значимая информация выделяется из шумоподобного сигнала с использованием уникальной для данного сигнала псевдослучайной кодовой последовательности. С помощью различных кодов можно осуществлять передачу сразу нескольких сообщений в одной широкой полосе частот.

Основные способы повышения надежности передачи на канальном уровне следующие:

- разбиение пакетов данных на кадры небольшой длины;
- использование корректирующих кодов для выявления и исправления ошибок;
- применение низкоуровневых протоколов надежной передачи на основе подтверждений приема коротких кадров;

— использование эффективных методов управления доступом к среде передачи данных.

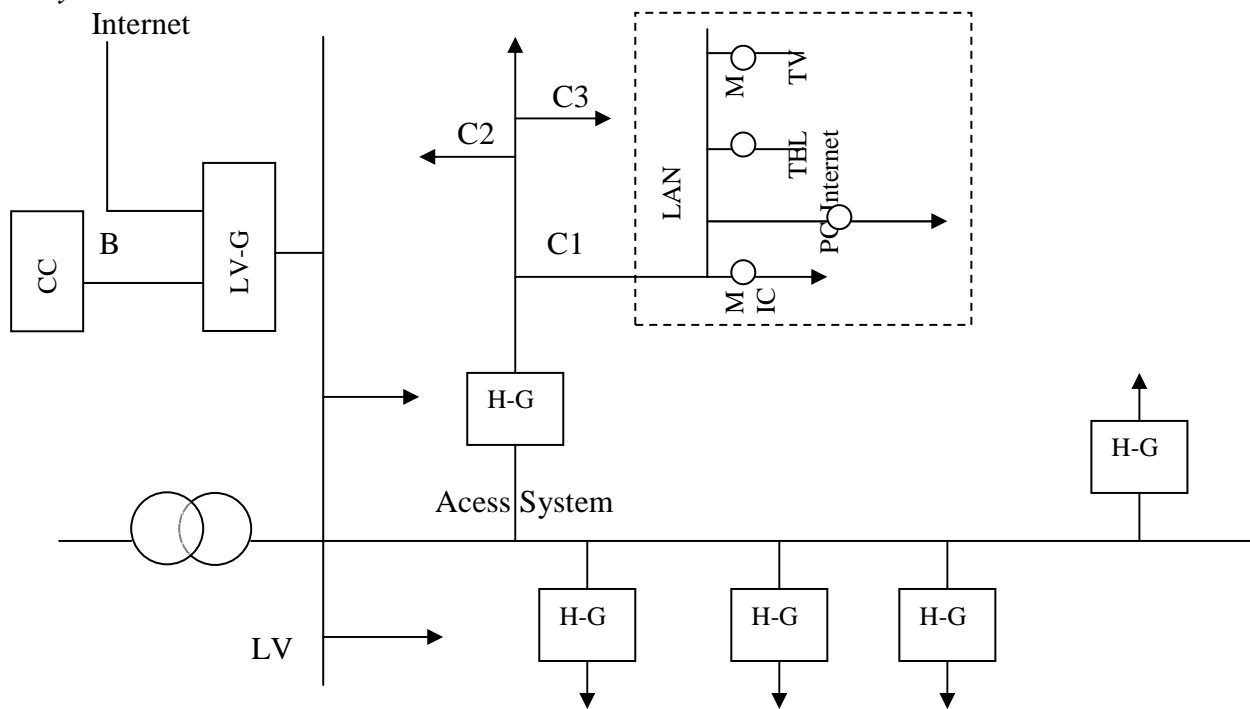
Рассмотрим более подробно технологию построения данной системы. С одной стороны, высокие частоты предоставляют широкий частотный диапазон, необходимый для высокоскоростных приложений; с другой стороны, на этих частотах происходит сильное ослабление сигнала в линии. Это делает передачу сигнала с удовлетворительным качеством возможным в основном только в сетях с низким напряжением. Следует рассмотреть две системы

- внешнюю, на силовых линиях: «Систему доступа» для коммунальных целей
- находящуюся внутри дома: «Домашнюю систему» для частных целей (следует заметить, что Коммунальная система тоже может выполнять свои функции внутри здания)

Рисунок 4 представляет классическую европейскую сеть с топологией «звезда». Основной трансформатор поддерживает несколько домов (или одно большое производственное здание). Внешние линии представляют собой 3ф кабели в городах или надземные линии в сельской местности. Проводка внутри зданий сделана на основе 2ф или 3ф +N проводников (Американские и Японские сети имеют абсолютно другую структуру). Практически работать в сетях с низким напряжением в мегагерцовом диапазоне очень сложно: существует множество абсолютно различных конфигураций, постоянно меняется загруженность сети, и большинство PLC-характеристик должны учитываться статистически. Высокая частота приводит к возникновению резонансных эффектов.

«Хребет» на рисунке 4 — это классический широкополосный канал: контрольный кабель коммунальной системы, радио связь, телевизионный кабель и т.д. В случае если длина линии низкого напряжения превышает радиус распространения сигнала, необходимо устанавливать повторители и шлюзы.

Рисунок 4



LV- сеть низкого напряжения
 CC- контрольный центр коммунальной сети
 B – «хребет»
 LV-G – шлюз системы низкого напряжения
 H-G – «домашний» шлюз

Cn - потребитель
 LAN – локальная сеть
 IC – внутренний контроллер
 M - модем

R - повторитель

Системы PLC предлагают новый сервис в использовании силовых линий, который не был возможен ранее. Учредители PLC предполагают несколько возможных применений технологии. Они требуют высокой надежности коммуникационной системы, что должно быть отражено и в электромагнитных требованиях.

Большинство из них — это двунаправленные службы, работающие от центральной контрольной точки до приложения или от приложения к центральной точке. Сложность заключается в том, что несколько приложений могут работать одновременно.

Магистральная передача в целом, а PLC-системы в частности — это крайне сложные системы, разработка и поддержка работы которых требует учитывать многочисленные аспекты. В данной главе рассмотрим те аспекты, которые связаны с электромагнитными проблемами, как то: эффекты проводимости в сетях и эффекты излучения. В них входят:

- определение частотной полосы и соответствующих частот
- трансмиссионные характеристики и затухание сигнала в линиях
- ограниченный уровень шума внешних источников
- исключение возможности порчи сетевых устройств передаваемыми сигналами.
- исключение возможности порчи в связи с излучаемыми полями
- исключение взаимного влияния между системами
- уровень отклика от устройств-приемников
- допустимость и ограничение уровня сигнала
- модуляция и кодирование сигнала

PLC-системы нуждаются в достаточно широкой полосе частот, чтобы выполнять высокоскоростные функции. Эта полоса располагается в пределах 1-30 МГц.

Существуют три проблемы:

- данный диапазон частот занят коротковолновыми радиослужбами: широковещательной, службой безопасности, любительским радио. Поэтому эти частоты должны быть исключены
- необходимо избегать интерференции между адресными и внутренними системами; решение — выделять отдельную полосу частот для каждого приложения
- испускаемые электромагнитные поля могут нарушать прием широковещательных радиотрансляций или других служб в том же частотном диапазоне.

Большое разнообразие сетей и условий нагрузки делает очень сложным подсчет уровня напряжения сигнала на радиочастоте в 50/60-герцовых системах.

Когда невозможно достичь необходимого уровня отклика, требуется установка повторителей. Могут также потребоваться шлюзы между линиями обеспечения и внутренними линиями.

Методы модуляции сигналов и кодирование команд, в общем, не рассматриваются как проблемы, но, так как они тесно связаны с нарушениями работы сети, мы коротко рассмотрим их.

Что касается метода модуляции, в связи с передачей различных сигналов и иммунитету к импульсным помехам рассматриваются только широкополосные методы с частотным мультиплексированием. OFDM-модуляция (Orthogonal Frequency Division Multiplexing — Мультиплексирование с разделением по ортогональным частотам), похоже, пользуется наибольшим предпочтением. Она состоит в разделении доступного спектра на большое

число подканалов и передаче данных по N из этих каналов с частотами f_1, f_2, \dots, f_N . Преимущество этого метода состоит в том, что он позволяет избегать каналов, соответствующих запрещенным частотам и, в связи с этим, повысить уровень передаваемого сигнала. Подробнее мы остановимся на OFDM-модуляции, являющейся основой технологии PLC, немного позднее.

Метод кодирования должен выбираться в соответствии с конкретными выполняемыми функциями. Важный пункт, который надо учитывать — это одновременный запуск различных приложений, например, команд и Интернет или телефона. Каждому приложению при этом выделяется определенное количество каналов.

Література

1. G. Goldberg. “EMC PROBLEMS OF POWER LINE COMMUNICATION (PLC) SYSTEMS”. 2001
2. Гуртовцев А. Правила приборного учета электроэнергии. Глобальный проект белорусских энергетиков // Новости ЭлектроТехники. – 2004. – № 6(30).
3. Тубинис В.В. Создание автоматизированной системы учета и управления потреблением электроэнергии в Италии // Электро. – 2004. – № 4.
4. Дузкенова Ж.А., Кадомская К.П. Передача информации по силовым кабелям высокого напряжения – Электричество, 1996, №8
5. Кадомская К.П., Карпова Ж.А. Характеристики линейных трактов передачи информации по силовым кабелям распределительных сетей 10 кВ -Электричество, 1998, №3
6. Даффи Д. ВРЛ набирает силу. Сети, 2005 г., № 14, С. 24.
7. Павловский А. Соломасов С. PLC в России. Специфика, проблемы, решения, проекты. ИнформКурьерСвязь, 2003 г., № 8, С. 29-33.