

## ВЧ-связь по ЛЭП (PLC)

### Обзор исполнений физического уровня в доступных протоколах

Luis F. Montoya, IEEE Member  
University of Florida  
Gainesville, Florida

#### Реферат

ВЧ-связь по ЛЭП (PLC) в значительной степени изучена как среда для передачи ВЧ сигналов, для использования в коммуникациях. Разработка нескольких протоколов PLC (X-10, SEBus и LonWorks) в недавнем прошлом возобновила интерес к этому вопросу.

Эта работа дает краткую характеристику спектрального поведения физического уровня этих протоколов, анализирует данные, полученные в предыдущих исследованиях по ЛЭП, и используются их выводы для характеристики протоколов. Предложен метод проверки этого поведения.

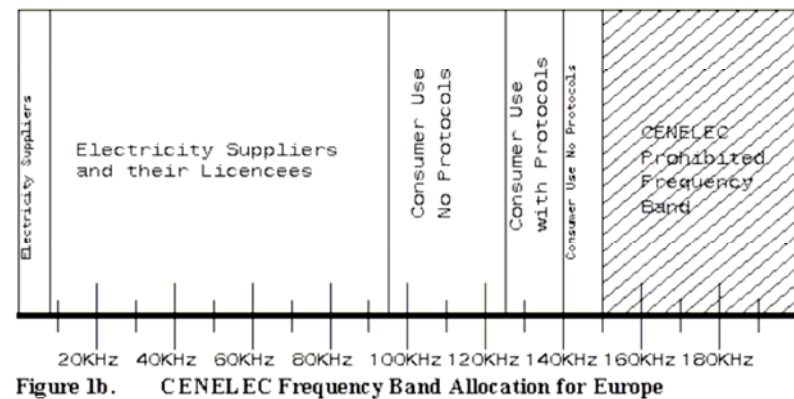
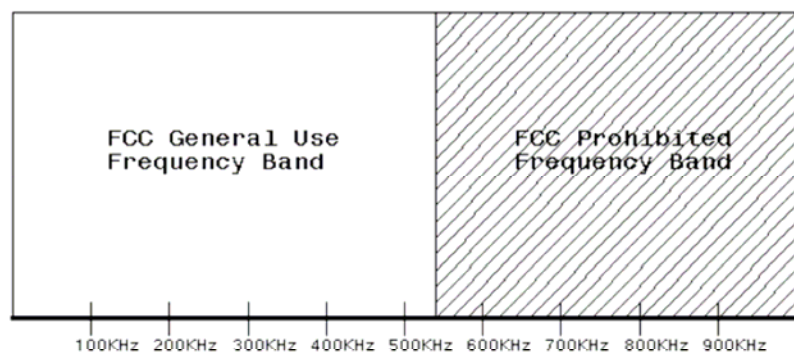
#### 1 Вступление

До последнего времени, большая часть домашней и бытовой автоматизации было сделано с использованием собственных систем, которые требовали специальных каналов связи, таких как витая пара, коаксиальный кабель и оптоволокна. Последние технологические разработки сделали возможным появление устройств, которые используют ЛЭП для передачи и приема управляющих сигналов с некоторой степенью достоверности. Тем не менее есть особенности при использовании этого способа, так как ЛЭП были разработаны для передачи энергии при частоте 50-60 Гц и по большей части 400 Гц. Хуже всего то, что ЛЭП - наиболее электрически загрязненная среда и ослабление сигнала на интересующих частотах довольно велико, что делает заманчивым получение надежных результатов.

Главное достоинство PLC то, что физическая сеть уже установлена, делает ее очень заманчивой альтернативой. Физические недостатки сети – необходимость установки ретрансляторов некоторого вида, если расстояние значительно и мостов через распределительные трансформаторы если будет необходимость перейти через эту границу [1].

Другой аспект, который надо принять во внимание, различие в стандартах, соответствующее части мира, где технология будет установлена. Наиболее важные параметры обусловленные различными стандартами – максимальная передаваемая мощность и разрешенная полоса частот. Ограничения накладываются на помехи другим телекоммуникационным службам и могут быть мерой, чтобы избежать дальнейшей спектральной засоренности. Рисунок 1 показывает частотные спектральные ограничения накладываемые органами государственного регулирования в двух важнейших рынках: Северной Америке и Европе.

Важно отметить строгие ограничения, введенные Европейским CENELEC EN 50065-1 [1] и узкую полосу, разрешенную для PLC. Это может препятствовать использованию какого-нибудь стандарта, как будет показано позже. В результате работа PLC в Европе ограничена частотным диапазоном от 85 до 150 кГц, тогда как в Северной Америке спектр шире (540 кГц).



Исходя из найденных ссылок по теме, будут исследоваться такие аспекты: характеристическое сопротивление ЛЭП на ВЧ, источники шума и их влияние на PLC сигнал, передаваемый по ЛЭП и как существующие протоколы работают при изучаемых параметрах.

## 2. Протоколы

Так как цель этой работы – проанализировать эксплуатационные качества протоколов с описанием характеристик, кратко обсудим физические аспекты интерфейсов коммуникационных сигналов и ЛЭП.

### 2.1 X-10

Технология X-10, один из старейших PLC протоколов, использует разновидность АМ (ASK-модуляцию) для передачи информации. Несмотря на то, что он изначально был однонаправленным (контроллер к управляемым модулям), последние разработки показали, что некоторые двунаправленные устройства могут быть выполнены. Контроллеры X-10 посылают сигналы

через ЛЭП к простым приемникам, которые используются главным образом для управления освещением и другими приборами. Некоторые контроллеры, доступные сегодня выполняют какой-то вид ворот между ЛЭП и другими способами, такими как RF и инфракрасный.

120 кГц АМ несущая, 0.5 Вт сигнал накладывается на ЛЭП при пересечении нуля, для минимизации шумовых помех. Информация кодируется всплесками этого ВЧ сигнала. Для повышения надежности связи, каждый информационный бит посылается дважды и требует целый период линии, что ограничивает пропускную способность 60 бит/с (в 60 Гц линии). Стандартная команда X-10 состоит из двух пакетов с интервалом в 3 периода между ними. Как упоминалось, каждый пакет содержит два одинаковых сообщения из 11 бит каждое, что растягивает 48-периодную команду на 0.8 с. Это показывает плохую пропускную способность, тогда как надежность передачи - жесткий компромисс с окружающим шумом. Это главная причина, ограничивающая применение данной технологии.

## **2.2 CEBus**

CEBus протокол использует равноправную коммуникационную модель так, что любой узел сети имеет доступ к линии в любое момент. Чтобы избежать коллизий, используется многократный контроль несущей, определяющий доступ/конфликт и протокол разрешения коллизий (CSMA/CD/CR). По существу это протокол, управляющий доступом к линии (MAC) приказывающий узлу сети ждать пока линия не освободится, это значит, что никакие другие пакеты не будут передаваться, пока он будет посылать свой собственный. Цель CSMA/CD/CR – оптимизировать канальный доступ, позволяя использовать линию стольким узлам, сколько возможно без взаимных помех. Пакеты данных посылаются передатчиком около 10Кбит/с, используя запатентованную широкополосную технологию.

Физический уровень CEBus протокола связи основан на технологии расширения спектра, запатентованной Intellon Corp. of Ocala, FL. В отличие от традиционной широкополосной техники (скачки частоты или прямое последовательное расширение), в CEBus легко преодолевается диапазон частот при передаче.

Формы сигнала синтезированы из таблицы 360 квантованных значений, отобранных по критерию. В соответствии с патентом, «точки выбираются так, чтоб максимизировать энергию внутри полосы, сохраняя объем внеполосных гармоник на минимальном уровне». Частота сигнала начинается при 200 кГц и простирается до 400 кГц, скачет до 100 кГц и затем снова тянется до 200 кГц. Полная 200-400/100-200 кГц развертка по частоте (называемая щебетом) занимает 25 периодов за 100 мкс. Рисунок 2 показывает реальные отсчеты этого щебетания.

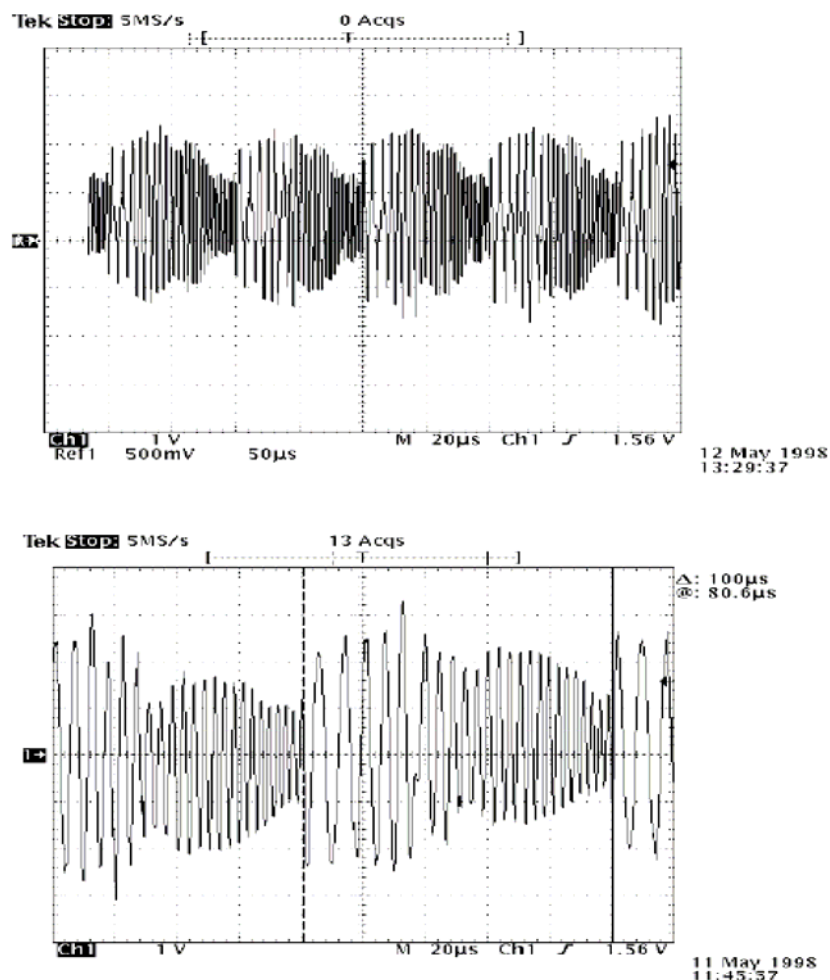


Figure 2 Chirp waveform

Щебет является самосинхронизирующейся, последовательностью битов данных, принимаемую всеми узлами сети, чтоб сделать возможным разрешение состязаний и обнаружения конфликтов необходимо поддерживать этот контроль несущей в основе сетевого протокола. Способность отвергать высокие уровни мешающих сигналов – одно из главных преимуществ широкополосной связи.

Как упоминалось, пакеты данных передаются с использованием широкополосного щебетания. Первая последовательность щебета формирует преамбулу для разрешения конфликтов, которую передатчики используют для разрешения конфликтов при доступе к линии связи. Это вступление следует за последовательностью щебетов, которая формирует начало символического пакета используемое для отметки начала данных внутри пакета. Для отделения вступления от данных, щебет передается с другой длительностью (114 вместо 110 мкс). Приемники имеют коррелятор или подобранный фильтр, который выдает импульс, когда фиксируется щебет, производящий точную самосинхронизацию. Полное рассмотрение этого вопроса может быть найдено в [3] и [4]. Другие детали протокола малоинтересны для главной цели этой работы и не рассматриваются здесь. Для более детальной информации смотри ссылку [10]. В итоге, этот протокол использует предварительно расширенную несущую, сохраненную в ПЗУ, и

передачу сигналов с использованием полосы значительно большей, чем минимально необходимая для посылание информации. Этот метод вносит усиление около 15дБ (улучшение отношения сигнал/шум) при 10 кБит/с.

### 2.3 LonWorks

Технология LonWorks разработана Echelon Corporation и обеспечивает равноправный коммуникационный протокол, обеспечивающий доступ с многократным контролем несущей (CSMA). В отличие от CEBus, LonWorks узкополосная схема модуляции (125-140 кГц, BPSK), которая использует многоразрядную корреляцию для сохранения данных в присутствии помех [12], с запатентованным импульсным обнулением шума. Так как эта технология использует более узкую полосу, то передача сигналов допускается при значительно меньшем уровне искажений, чем широкополосная.

Использование техники цифровой обработки сигналов для приемника позволяет добиться вышеуказанных результатов также легко, как при цифровой фильтрации внеполосного шума и большего динамического диапазона (требуется до 80 дБ). Передатчики, рекомендованные для этих применений, как например, PLT-21, возможности которого встроенный усилитель, который повышает выходной сигнал до 7 В. Его 1 Омное выходное сопротивление и 1 А токовая мощность позволяет передатчику управлять высокими выходными уровнями в низкоомных схемах. Рисунок 3 показывает блок-схему этого передатчика и его использование в PLC узле.

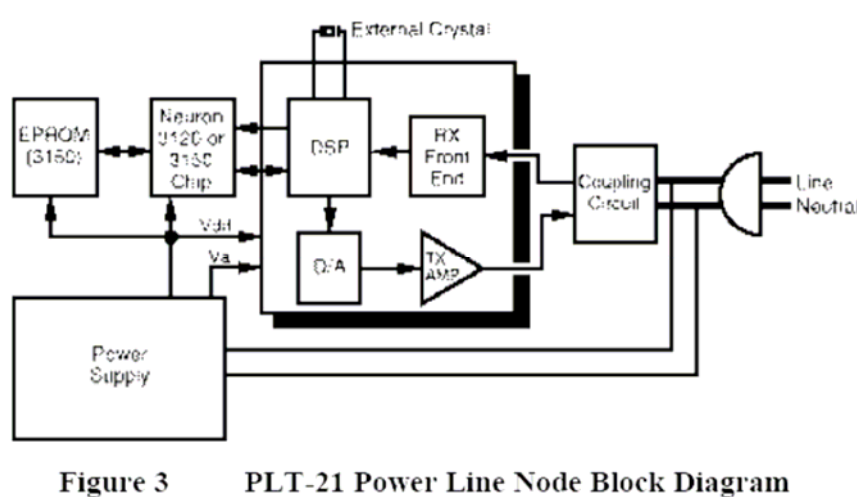


Figure 3 PLT-21 Power Line Node Block Diagram

Преимущество узкой полосы, используемой в LonWorks является возможность использования практически по всему миру, в отличие от CEBus, которая имеет ограниченное применение в Европе, так как полоса выходит за спектр разрешенный CENELEC, как показано на рисунке 1.б. Передатчик PLT-21 обеспечивает CENELEC протокол доступа, который может быть разрешен или запрещен пользователем, исключая необходимость разработки комплекса временных и алгоритмов и алгоритмов доступа,

предоставленных CENELEC 50065-1 [13]. Его главный недостаток – уменьшение скорости передачи до 5.5 кБит/с, что соответствует пропускной способности сети 4 кБит/с, после учета избыточности для исправления ошибок.

### 3. Характеристики силовой линии

Вторичная обмотка распределительного трансформатора, подводящий кабель внутренняя проводка и нагрузка определяют полное сопротивление. Характеристика этого импеданса важна для разработки PLC систем. Для них это сопротивление является отправной точкой, на которую работает передатчик и, из которой выделяет сигнал приемник.

Одно из ранних исследований характеристик импеданса ЛЭП проведенное Nicholson и Malack [2] дает график частотной характеристики силовой линии, приведенный на рис. 4. Несмотря на то, что та работа, была направлена на утверждение предложенных характеристик стабилизации входного сопротивления сети, использовалась для измерения наведенных радиопомех, приведенные результаты применимы в рамках данной работы.

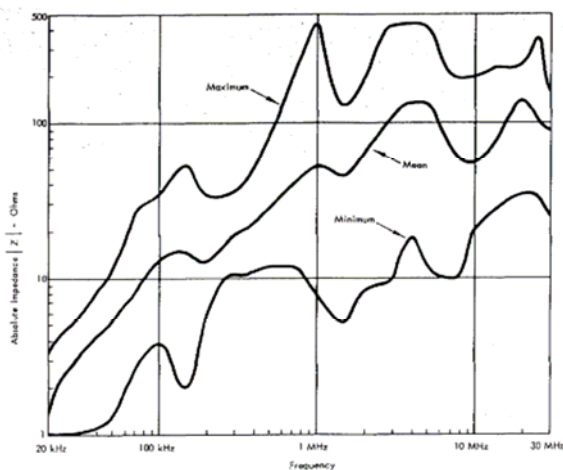


Figure 4 Power Line Impedance Measurements by Nicholson and Malak [2].

Метод измерения сопротивления ЛЭП, представленный Vines [6], который частично подтверждает результаты полученные Nicholson и Malack (он покрывает только частоты выше 20 кГц), состоит в форсировании напряжения сигнала на интересующих частотах (через фильтр) и измерения напряжения и тока в фильтре. Важный пункт доклада – вывод о возможности проведения измерений без наличия силового сигнала частотой 60 Гц, что упрощает тестовую установку. Наличие 60 Гц сигнала не влияет на кГц частотах. Это и некоторые другие исследования доказали, что бытовая ЛЭП может быть смоделирована распределенным сопротивлением с характеристическим значением (1),

$$Z_c := \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (1)$$

где  $L$  в мГн/фут и  $C$  в мкФ/фут. Vines сообщает о характеристическом импедансе меняющемся от 70 до 100 Ом для разных типов проводки. Сопротивление 120 и 240 В бытовой ЛЭП растет с частотой, показывая таким образом чисто индуктивное поведение как ожидалось. Из рис. 3 видно, что диапазон импедансов ЛЭП от 5 до 32 Ом при 100 кГц. Одна интересная находка, сообщенная Tanaka [7] показывает резкое увеличение во индуктивности всей линии благодаря окончанию розеткой (общеизвестной как J-box). Каждое окончание J-box увеличивает индуктивность линии на, примерно, 1.5 мкГн, вместе с тем индуктивность растет при увеличении длины окончания. Это ухудшает общую производительность сети, и для минимизации этой проблемы, рекомендованы методы тщательного терминирования.

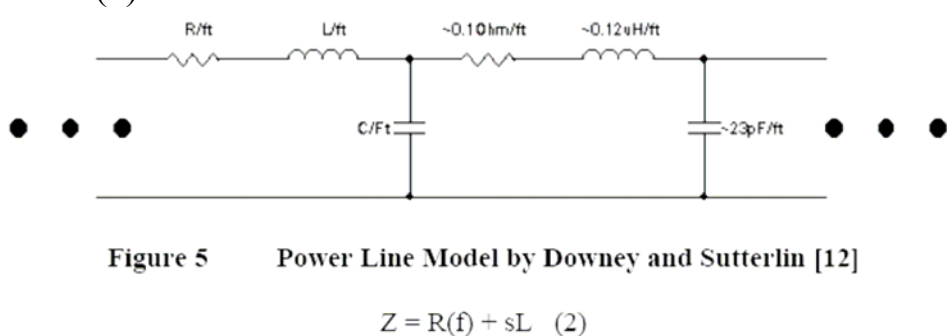
Одна из проблем – учитывание изменения импеданса ЛЭП, от бытовой нагрузки на общее сопротивление. Vines сообщает, что импеданс большинства электрических нагрузок вокруг дома сравнительно высокий (за исключением больших активных нагрузок), чем импеданс ненагруженной ЛЭП. Тем не менее существуют некоторые нагрузки, которые могут привести к резонансу (последовательному или параллельному) вместе с импедансом силовой линии на частотах выше 40 кГц. Это основание для беспокойства, так как интересующие нас протоколы работают на частотах свыше 100 кГц. В частности, импульсные потребители мощности, слегка трудны из-за их фильтров электромагнитных помех. Емкости, используемые для исполнения этих фильтров, шунтируют сигнал связи и пользователь должен избегать подключения PLC узлов к таким сетям.

В исследованиях, проведенных Dostert [8] сообщается об ослаблении в 15 дБ в обычном одиночном доме для частот ниже 150 кГц, тогда как ослабление сигнала во внешней силовой линии (уровень распространения) около 50 дБ на кабеле до 0.7 миль длиной. Благодаря ограничению уровня несущей в отдельных случаях помехи превышают передаваемый сигнал делая связь ненадежной. Итог исследования – узкополосная техника модуляции составляет плохой выбор для PLC, потому что она приводит к ненадежной передаче данных. Была предложена технология связи со скачкообразным изменением частоты с расширенным спектром (FHSS), подобная использованной в CEBus. Недостаток некоторых из этих FHSS методов то, что джиттер, возникающий из-за изменения частоты может привести к проблемам синхронизации, с последующими проблемами надежности связи. Результаты тестов в работе показывают, что этот тип ошибок является удовлетворительным.

### 3.1 Эквивалентная схема силовой линии

Некоторые исследования, основанные на физических характеристиках ЛЭП, показывают, что она может быть представлена как R-L-C цепь. Тем не менее, так как значение емкости незначительно, некоторые авторы пренебрегают им. Forti [14] делает вывод, что ЛЭП может быть представлена,

как частотно-зависимое сопротивление последовательно с постоянной индуктивностью: (2)



Более удобное приближение дано Downey and Sutterlin [12], где ЛЭП моделируется как распределенная R-L-C цепь, см. рисунок 5. Используя приведенную выше модель для 30 футового кабеля 12-2 ВХ, получены следующие значения: последовательная индуктивность 3.6 мГн, шунтирующая емкость 690 пФ, и последовательное сопротивление 0.3 Ом. По этим значениям используя выражение (1),  $Z_c=745$  Ом.

Смысл этой информации в том, что силовая линия будет показывать разные характеристики, в зависимости от типа сопротивления (нагрузки), которым она оканчивается: оно будет иметь индуктивный характер при низком сопротивлении окончания и емкостный – при высоком. Так же видно, что ЛЭП действует, как делитель напряжения (ослабляя коммуникационный сигнал) вместе с разными нагрузками, подключенными к сети, с ростом ослабления с частотой для частот свыше 100 кГц (сообщается об увеличении 0.25 дБ/кГц)[1]. Мощность сигнала на приемной стороне максимальна, когда импедансы передатчика, приемника и силовой линии совпадают. Таким образом важно тщательно изучить механизм сопряжения сигнала, для оптимизации передачи информации.

Принимая во внимание все уже высказанные факты, практически невозможно решить, какое значение импеданса ЛЭП наилучшее для применения при разработке схемы сопряжения, так как это значение зависит от типа проводки, длины кабеля и типа нагрузки, подключенной к нему. Тем не менее, область значений представленная Nicholson и Malack [2] является хорошей стартовой точкой.

### 3.2 Помехи в силовой линии

Помехи, ухудшающие связь по ЛЭП вносятся в основном регуляторами освещения, универсальными электродвигателями и некоторыми модулями связи по силовой линии. Новейшие разработки аудио и видео передатчиков, использующих ЛЭП, как среду передачи данных ухудшают дело. Было обнаружено, что регуляторы генерируют помехи более мощные и вредные, чем производимые двигателями. Кроме того, регуляторы генерируют и четные и нечетные гармоники 60 Гц, которые могут сильно ухудшить работу PLC, если не будут, как следует, отфильтрованы, несмотря на доводы



некоторых производителей о том, что эти помехи ослабляется очень быстро с ростом частоты, и становится безвредным на интересующих частотах. Практические эксперименты демонстрируют полную противоположность. Джиттер может быть рассмотрен, как другой источник шума, как упоминалось ранее.

Телевизионные приемники и компьютерные мониторы – другая причина для беспокойства, так как они производят значительное количество различных помех в линии с частотой горизонтальной развертки. Таким образом, частоты передачи, подобные этим должны избегаться при реализации сети. Низкая стоимость подавителей выбросов в силовой сети, используемые сегодня, как временные силовые полосы, являются причиной ухудшения сети, так как они созданы для фильтрации тех же частот, которые большинство PLC протоколов используют для связи.

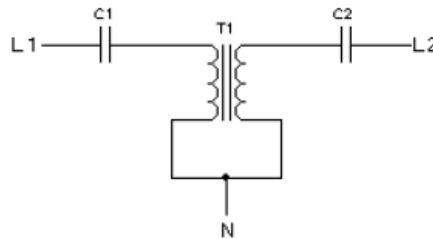
Помехи, которые по характеру аperiodические, такие как импульсные помехи от термостатов или освещения могут быть преодолены, используя соответствующие коды коррекции ошибок. Важная деталь: все эти общие источники помех должны быть проанализированы и разрешены, когда будут реализовываться PLC сеть, иначе сеть не будет работать надежно. Vines [5], [6] и O'Neal [9] произвели отличное исследование устройств, генерирующих помехи и их влияния на PLC сеть.

### 3.3 Методы сопряжения с ЛЭП

Существует два метода сопряжения сигнала с ЛЭП: дифференциальный или линия-нейтраль [1], [12], в котором пара линия-нейтраль используется для ввода сигнала. Этот метод может быть использован только если нейтральная линия доступна (не всегда случается в бытовом применении). Общий или метод линия-земля использует провод земли, как второй вывод. Этот второй метод имеет меньшее ослабление и меньшие помехи (нейтраль – обратный провод для всех помех находящихся в ЛЭП), но может быть потенциально опасным и не всегда разрешен органами безопасности. Большинство производителей используют первый метод сопряжения по этим причинам.

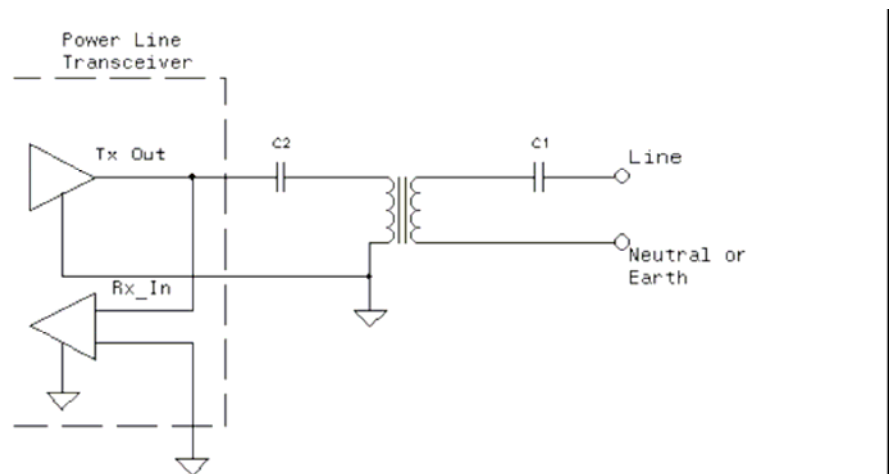
Другой аспект для обсуждения – передача сигнала между двумя фазами. Так как межпроводная емкость незначительна, и распределительный трансформатор не рассчитан для использования на высоких частотах, должны применяться другие способы передачи сигнала. Достаточная нагрузка, подключенная между линиями Л1 и Л2 (240 В) обычно становится причиной увеличения передачи сигнала, но бытовая сеть не может зависеть от наличия таких нагрузок, так как они могут не быть постоянно включенными, побуждая использование других механизмов. Емкости нужного размера для интересующих частот будет достаточно. Этот метод не рекомендуется при наличии коммуникационных узлов, работающих между двумя линиями (240 В в бытовой цепи), так как емкость будет шунтировать сигнал, получаемый или посылаемый этим узлом. Схема, преодолевающая

эту проблему и дающая низкое ослабление (3 дБ) для сигнала между фазами показана на рисунке 6.



**Figure 6 Recommended Phase Coupling Circuit**

Введение коммуникационного сигнала, использующего уже описанные частоты, обычно осуществляют емкостным сопряжением выхода передатчика и силовой линии. Из соображений безопасности трансформатор присутствует практически всегда. Некоторые производители используют неизолированные схемы всякий раз, когда возможно минимизировать потери передачи. Индуктивность трансформатора должна быть рассчитана так, чтоб L-C схема формировала фильтр высоких частот для входного сигнала. Также для минимизации ослабления из-за различных нагрузок подключенных к ЛЭП, особенно тех, которые имеют фильтры радиопомех, такие как импульсные блоки питания (находятся в ПК) необходимая некоторая изоляция. Индуктивность проводов ЛЭП обычно достаточна, так как их импеданс около 10 Ом на 100 футов на интересующих частотах. Следовательно, перемещение узла на несколько футов от неприятной нагрузки часто решает проблему. Следующий рисунок иллюстрирует некоторые схемы, используемые для сопряжения коммуникационной цепи и силовой линии.



**Figure 7 Transformer Isolated Coupling Circuit for Power Line Communications**

Различные протоколы используют разные схемы, показанные на рисунке 7. В случае X-10 трансформатор – IF трансформатор, центрированный на 120 кГц и обеспечивающий полосу по уровню 3 дБ приблизительно 10 кГц. Так как X-10 использует обнаружение пересечения нуля, включена дополнительная схема, исполняющая эту функцию. Схема

сопряжения, находящаяся в большинстве устройств X-10 показана на рисунке 8. Типичные значения компонентов приведены в [15].

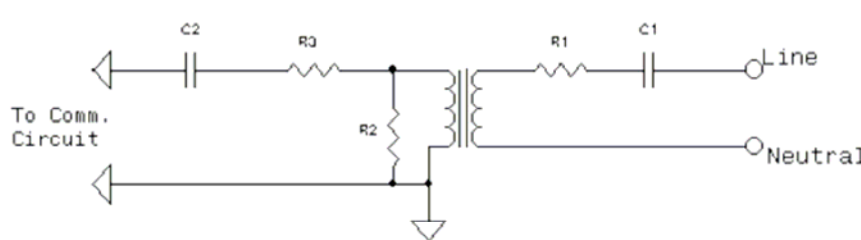


Figure 8 Power Line Coupling Circuit found in X-10 Devices

Intellon – один из производителей CEBus передатчиков, рекомендует использование мощных усилителей для повышения напряжения широкополосного сигнала перед сопряжением с ЛЭП [16]. Этот усилитель работает в классе АВ и дает 6 В на 10-ти омной нагрузке, для улучшения характеристик при нахождении линии в низкоомном состоянии. Так как CEBus использует весь частотный спектр от 100 до 400 кГц, схема сопряжения должна включать полосовой фильтр для этого частотного диапазона. Теоретически, такое широкое окно делает этот протокол более восприимчивым к влиянию помех, делая требования к фильтру противоречивыми. Тем не менее, использование технологии с расширенным спектром делает приемник невосприимчивым к широкому диапазону повреждений, благодаря тому факту, что только часть сигнала необходима для детектирования. Рисунок 9 содержит типичные схемы сопряжения с ЛЭП, предложенные Intellon.

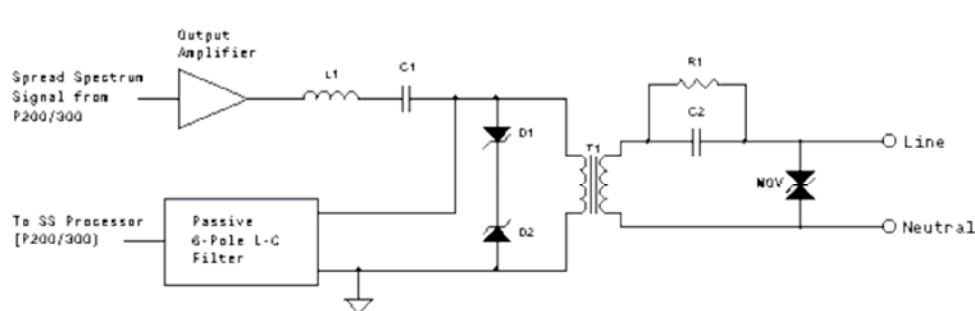


Figure 9 Power Line Coupling for CEBus Devices suggested by Intellon Corp.

Трансформатор T1 обеспечивает линейную функцию для 100-400 кГц несущих расширенного спектра; емкость C2 блокирует 60 Гц сигнал, для предотвращения насыщения трансформатора. MOV обеспечивает защиту от переходных процессов в линии, а стабилитроны D1 и D2 для фиксирования уровня напряжения приложенного ко входу микросхемы SS процессора. Пассивный 6-ти полюсный фильтр рассчитан для обеспечения точки -3 дБ на частоте 100 и 400 кГц с ослаблением 30 дБ при 40 кГц и 1000 мГц соответственно. Цепь образованная L1-C1 используется для уменьшения наведенных электромагнитных помех внутри FCC регулятора. Более детальная информация представлена в [16].

Передачики по силовой линии для сети LonWorks работают в узкой полосе частот, и требования к фильтрам отличаются от тех, что используются в SEBus. Схема на рисунке 10 показывает основные компоненты сопряжения с ЛЭП используемые в трансивере PLT-21 Echelon [13]. Наиболее важная деталь этой схемы – требования к значениям емкостей C1 и C2, которые должны иметь низкое сопротивление на частоте передачи (125-140 кГц). Выходное сопротивление передатчика составляет порядка 1 Ома. Импеданс емкостей C1 и C2 предполагается того же порядка на этих частотах, для того чтобы минимизировать суммарный выходной импеданс схемы передатчика. Это условие требует больших значений емкости, и конденсатор C1, подключенный к силовой линии может стать дорогим для массового производства. Для уменьшения этого сопротивления некоторую помощь оказывает индуктивность изолирующего трансформатора. Эта индуктивность образует последовательный резонансный контур вместе с емкостями C1 и C2, который будет настроен на частоту связи передатчика. R-L-C сеть включающая R2-L4-C4 рекомендована, когда узел содержит SRC, симмисторы или работает при напряжении ниже 12 В. Диод D3 в соединении с конденсатором C3 используется для защиты входов трансивера от больших переходных процессов. C3 также интегрирует чрезвычайные отклонения, которые могут возникать при переходных процессах.

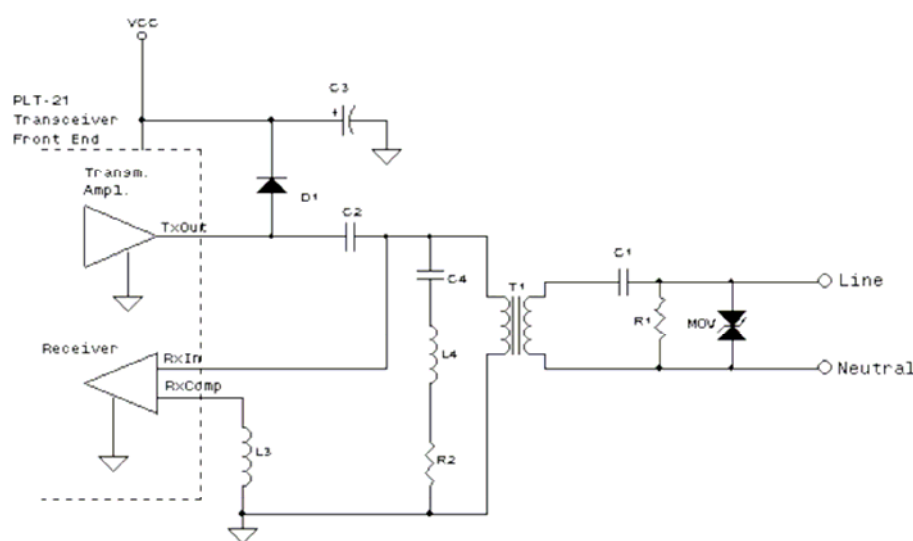


Figure 10 Coupling Circuit for LonWorks PLT-21 Transceiver

#### 4. Тестирование характеристик силовой линии

При разработке PIC системы, необходимо четко понимать представленные ограничения и проблемы. Предыдущие разделы охарактеризовали наиболее важные аспекты этого типа сетей. Тестирование этих характеристик должно быть выполнено в некотором смысле позволяя оборудованию симулировать состояния, происходящие в реальном мире. Некоторые производители разработали методы тестирования, намеренные показать преимущества их собственных протоколов [13], [17]. Ссылка [17]

предоставляет полезные схемы, которые симулируют некоторые из повреждений описанных в этой работе.

Метод представленный в [18] использует цифровой прибор сетевого анализа, который побуждает силовую линию, для измерения ее характеристики сопротивления от частоты. Преимущества этого метода в том, что измерения производятся в энергетической системе, в состоянии реальной нагрузки. Несмотря на изучение пределов интересующих частот ниже 24 кГц, кажется возможным расширение диапазона частот до 500 кГц и покрытие протоколов, описанных в этой статье. Оборудование, используемое здесь, позволяет применять цифровые сигнальные процессоры для выполнения одиночного дискретного преобразования Фурье для нахождения действительной и мнимой части сигналов напряжения и тока на той же частоте, что и введенный тестовый сигнал. Импеданс рассчитывается по току действительно введенному в систему и подведенному напряжению. Приборы характеризуют линию как функцию частоты, повторяя измерения при последовательности значений для желаемого диапазона частот. Авторы утверждают, что эта техника измерений не зависит от гармонических искажений или помех, вносимых нагрузками подключенными к тестовой линии. Дальнейшие исследования этого метода тестирования необходимы перед тем, как рекомендовать его для приложений очерченных в этой работе. Тем не менее, некоторые из описанных процедур и результатов показывают соответствие с предыдущими исследованиями.

## 5. Вывод

Связь по силовой линии – жизнеспособная технология, что продемонстрировано несколькими коммерческими продуктами, доступными сегодня. Достижения в обработке сигналов и производстве полупроводников делают эту концепцию реальной. Технологии описанные в этой работе добиваются скорости передачи данных до 10 Кбит/с, некоторые другие объявляют скорость свыше 100 Кбит/с. Общие представления, очерченные здесь имеют целью создать базовые понятия о некоторых технологиях, используемых для этих приложений и предельные точки и недостатки некоторых из них. Здесь нет явного лидера, их сосуществование в очень недоброжелательном окружении наиболее разумный подход. Необходимость связей между этими протоколами есть настойчивое требование для сходных причин, и обзор, показанный здесь, формирует базу для их разработки.