

PLC-приёмопередатчик на базе микросхемы K1446XK1

Алексей Маляров, Александр Нестеров,
Юрий Троицкий (г. Смоленск)

Рассматриваются вопросы согласования и тестирования одной из распространённых микросхем PLC (Power Line Communication) приёмопередатчиков типа KР1446XK1. Результаты исследований показывают высокую надёжность передачи информации в низкоскоростных приложениях. Предлагается вариант построения аппаратно-программных средств тестирования данных микросхем.

Интерес к использованию силовых линий электропередачи в качестве коммуникационных сетей PLC (Power Line Communication) возрастает по мере увеличивающейся потребности в расширении информационных сетей для обеспечения задач телеуправления и телеизмерения в системах автоматизации технологических процессов. В последнее время этот интерес обусловлен широким внедрением систем домашней автоматизации для управления бытовыми приборами и реализации концепции «Умный дом».

Скорость передачи информации по PLC-сетям достигает 200... 300 Мбит/с при использовании так называемой широкополосной (BPL – Broadband over Power Lines) технологии с частотой несущей 2...30 МГц, и 0,05...50 Кбит/с при использовании узкополосной (NPL – Narrowband over Power Lines) технологии с частотой несущей от 1 до 450 кГц.

Технология BPL может быть использована для широкополосного интернет-доступа через силовую сеть, подключения к сети видео- и звуковой техники, создания локальной сети в небольших офисах с ограничением дальности передачи без ретрансляторов до 200...300 м.

Технология NPL используется в системах автоматического управления и учёта на производственных территориях, в системах жизнеобеспечения зданий (лифты, кондиционеры, вентиляция), в системах учёта энергопотребления, системах охранной и пожарной сигнализации в дачных поселках, гаражных кооперативах и т.д. Всё большее распространение она получает в транспортных системах управления и информационного

обеспечения. Дальность передачи в этих системах достигает нескольких километров.

В качестве аппаратной реализации этих технологий многие ведущие мировые фирмы, такие как NXP Semiconductors (Philips), ST Microelectronics (SGS Thomson), Intellon, Echelon и др. выпускают микросхемы приёмопередатчиков, отличающиеся, прежде всего, способом модуляции несущей.

На российском рынке PLC-приёмопередатчиков наибольшее распространение получила микросхема типа KР1446XK1, выпускаемая ОАО «Ангстрем» [1]. В этом приборе применяется частотная модуляция (FSK) с программно перестраиваемой центральной частотой несущей (F_0), которая при использовании генератора 8 МГц принимает значения 66,66, 100 и 133,33 кГц; лог. 1 передаётся с частотой $F_0 + \Delta F$, а лог. 0 – с частотой $F_0 - \Delta F$. Значение ΔF в данной микросхеме составляет примерно 4,8 кГц.

Скорость передачи также может изменяться программно: 124, 248, 496 или 992 бит/с. Расстояние передачи – до 1,2 км без ретрансляторов.

При создании модуля приёмопередатчика на базе выбранной микросхемы на физическом уровне следует решить две основные задачи: обеспечить согласование с линией связи, в данном случае – с силовой линией, и согласование с локальным источником/приёмником информации.

Характеристика силовой сети является основой для расчёта параметров выходного каскада передатчика PLC. При электрических расчётах линию электропередачи (ЛЭП) рассматривают как длинную линию с распределёнными параметрами: $L'(f)$ (индук-

тивность единицы длины ЛЭП), $C'(f)$ (ёмкость единицы длины ЛЭП) и $R'(f)$ (активное сопротивление единицы длины ЛЭП) [2, 3], т.е.

$$Z_L' = R'(f) + Z_s,$$

где Z_s – характеристическое сопротивление согласованной линии $Z_s' = \sqrt{\frac{L'}{C'}}$.

Как известно, для согласования с распределённой нагрузкой выходное сопротивление источника сигнала и входное сопротивление приёмника должны быть равны характеристическому сопротивлению линии Z_s .

Естественно, что это сопротивление зависит от исполнения каждой конкретной электрической сети. Более того, оно может значительно изменяться во времени в зависимости от типа и мощности нагрузок на ЛЭП. Тем не менее, в результате исследований получены некоторые усреднённые нагрузочные характеристики ЛЭП, которые позволили сформировать требования к выходному и входному сопротивлению каскадов PLC-приёмопередатчиков. В частности, эти требования закреплены в стандарте EN50065-7, в соответствии с которым на частотах 95...148,5 кГц выходное сопротивление должно быть приблизительно равным 3 Ом, а входное – 5 Ом.

Поскольку выходные каскады микросхемы (выводы OUT1 и OUT2) маломощные ($I_{OH} = 2$ мА, $I_{OL} = 20$ мА), для согласования с сетевой нагрузкой необходимо использовать отдельный усилитель Amp (см. рис. 1), который должен удовлетворять вышеизложенным требованиям. В качестве такого усилителя можно использовать специальные усилители, разработанные для PLC-приложений, например, микросхему SSSCP111 фирмы ST Microelectronics [4]. Выходное сопротивление этого усилителя лежит в пределах 5...6 Ом.

Однако высокая стоимость этой микросхемы (около 10 долл. США), значи-

тельно превышающая стоимость самого приёмопередатчика, снижает интерес к её применению и возвращает нас к простейшей схеме, рекомендованной в [1] (см. рис. 2). Схема представляет собой усилитель мощности, работающий в режиме АВ с выходом на трансформатор Т1. Для повышения допустимой токовой нагрузки Т1 выполнен понижающим, с коэффициентом трансформации 1 : 3,5. Выходное сопротивление такого усилителя составляет примерно 6 Ом, что достаточно близко к требуемому значению. Трансформатор Т1 также обеспечивает гальваническую развязку силовой цепи и низковольтной информационной цепи. Поэтому к нему, в соответствии со стандартами EN50065-4-2 CENELEC и ГОСТ 60950-2002, предъявляются требования обеспечения допустимого напряжения между обмотками 4 кВ. Для минимизации потерь омическое сопротивление обмоток Т1 не должно превышать 0,5 Ом, индуктивность обмотки – 1 мГн.

Разделительный конденсатор С5 0,47 мкФ, 630 В (см. рис. 1) предназначен для отделения входной цепи приёмника от частоты промышленной сети 50 Гц. Вход приёмника IN подключается к силовой цепи через обмотку 4-3

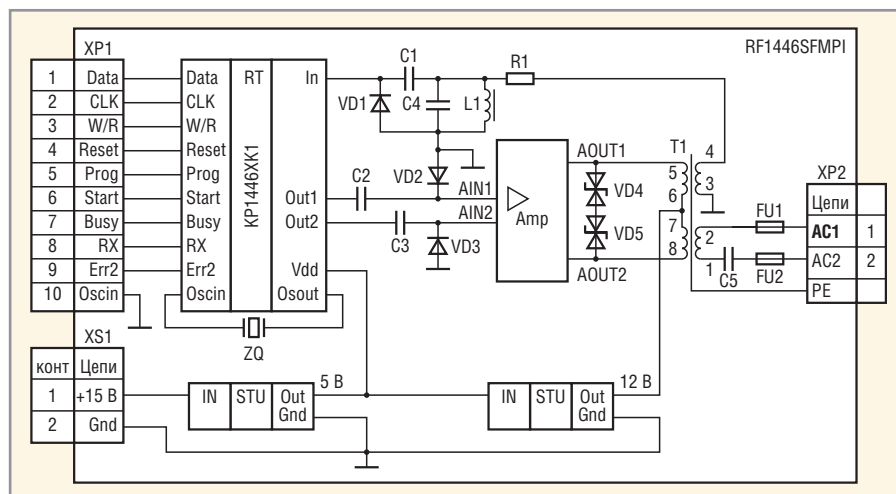


Рис. 1. Структурная схема модуля приёмопередатчика

Т1, связанную с обмоткой 1-2 коэффициентом трансформации 1 : 1. Для выделения несущей частоты используется полосовой резонансный LC-фильтр с амплитудно-частотной характеристикой, показанной на рисунке 3.

Увеличение мощности выходного каскада приёмопередатчика, безусловно, увеличивает дальность уверенной передачи данных, однако эта мощность ограничивается допусти-

мой амплитудой сигнала передатчика и допустимым уровнем напряжённости электромагнитного поля, наводимого передаваемым сигналом. В соответствии с требованиями стандарта CENELEC, для частотного сигнала в полосе 9...95 кГц допустимая амплитуда сигнала не должна превышать 10 В, а для диапазона 95...125 кГц – 1,2 В. Следовательно, с этой точки зрения выгоднее работать на центральной частоте 66 кГц из

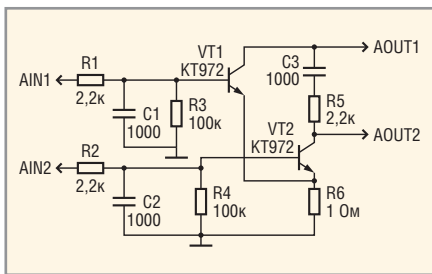


Рис. 2. Схема согласующего усилителя

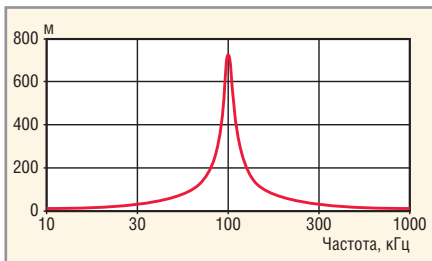


Рис. 3. АЧХ полосового фильтра
($L = 450 \text{ мкГн}$, $C = 56 \text{ нФ}$)

трёх возможных частотных диапазонов работы микросхемы КР1446ХК1.

Связь приёмопередатчика с хост-контроллером осуществляется через последовательный синхронный полудуплексный интерфейс с использованием входа синхросигналов CLK и двунаправленного вывода DATA (см. рис. 1). Направление передачи задаётся сигналом на выводе W/R, а выбор режима программирования приёмопередатчика – сигналом на выводе PROG. Готовность передатчика к приёму очередного кадра проверяется по наличию сигнала BUSY. После загрузки пакета информации для передачи хост-контроллер формирует высокий уровень на входе Start для запуска передачи пакета в силовую сеть. Передаваемый пакет содержит преамбулу AAh, однобайтный адрес, два байта информации и контрольную сумму.

Для повышения надёжности в приёмопередатчике формируется самокорректирующийся код, обеспечивающий исправление однократной ошибки в любом разряде и определение двукратной ошибки, что требует введения избыточной информации в передаваемый пакет. На стороне приёма при распознавании преамбулы проверяется следующий байт как адрес, и при его совпадении с присвоенным значением принимается два последующих информационных байта вместе со служебными битами самокорректирующегося кода. На аппаратном уровне производится исправление обнаруженной однократной ошибки и выставляется сигнал Err2 при обнаружении двойной ошибки. При получении приёмопередатчиком информации из сети, он сигнализирует об этом событии микроконтроллеру путём установки в активное состояние вывода RX (приняты данные). По этому сигналу контроллер инициализирует приём информации из приёмопередатчика по последовательному каналу.

Для задания режима работы приёмопередатчика контроллер выставляет сигнал PROG, а затем по последовательному интерфейсу задаёт адрес приёмопередатчика, а также информацию о скорости передачи данных и частоте несущей.

Для тестирования приёмопередатчика был разработан и изготовлен оценочный модуль с соответствующим программным обеспечением. В оценочный модуль, помимо модуля приёмопередатчика, вошёл модуль хост-контроллера на базе микроконтроллера ATmega16L фирмы Atmel с возможностью внутрисистемного программирования и связью с персо-

нальным компьютером через последовательный порт RS-232. В качестве такого модуля удобно использовать отладочный модуль типа STK500.

Программа тестирования обеспечивает:

- проверку работоспособности приёмопередатчика как в режиме приёма, так и в режиме передачи;
- определение процента ошибок при передаче заданного количества передаваемых пакетов данных;
- определение реальной скорости передачи информации при заданном режиме работы.

При проверке связи программа может работать в двух режимах: режим приёмника («Приём информации») и режим передатчика («Передача информации») (см. рис. 4).

В режиме приёмника программа находится в ожидании входящих пакетов и при их обнаружении отправляет полученные данные по адресу, введённому в поле «Адрес передающего устройства». Таким образом, программа работает в режиме echo-сервера, зеркально отражая все принятые данные.

В режиме передатчика необходимо указать адрес приёмника сообщений, данные для передачи и количество сообщений для отправки. Также задаётся время между отсылкой пакетов и время ожидания ответа от приёмника.

Проверка связи осуществляется следующим образом: передатчик отсылает по адресу приёмника данные и переходит в режим ожидания ответа на время, заданное в поле «Время ожидания ответа». Если за отведённое время пакет не вернулся, он считается потерянным; тогда время прохождения пакета равно максимальному значению, а число доставленных пакетов остаётся прежним. Если же пакет успевает вернуться за отведённое время и не содержит ошибок, учитывается его время прохождения, а счётчик доставленных пакетов увеличивается на единицу.

Результаты тестирования показали, что на расстоянии до 50 м (на большее расстояние проверка не проводилась по техническим причинам) процент ошибок не превышал 1% по одной фазе и 3% при межфазной связи. К испытываемой сети были подключены 12 компьютеров. Кроме того, проводились испытания при подключении к сети двух мощных (50 кВт) двигателей постоянного то-

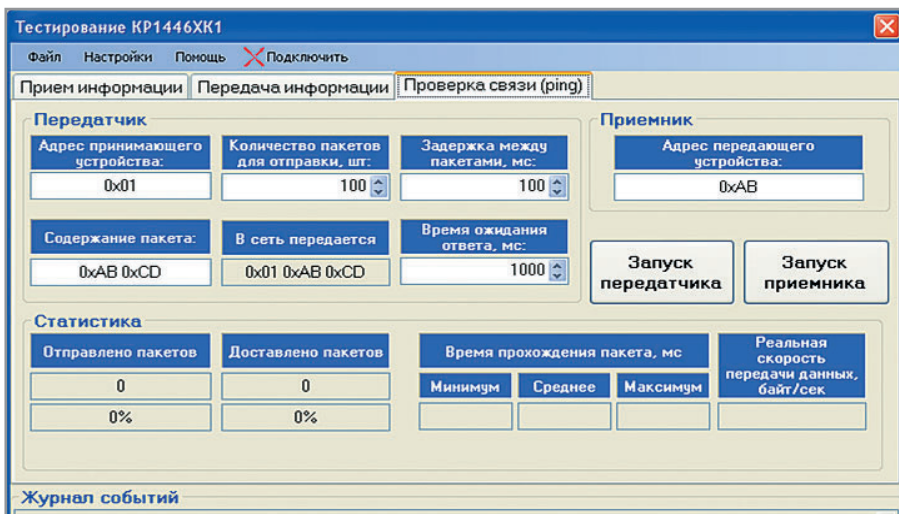


Рис. 4. Главное окно программы тестирования приёмопередатчиков

ка. Для проверки чувствительности проверялась работа приёмопередатчика при пониженном напряжении питания согласующего усилителя (вместо 12 В подавалось 4 В). При этом процент ошибок по одной фазе не возрос, но при межфазном соединении количество ошибок возросло до 6%. Этот процент был снижен до исходного при использовании схемы межфазного моста с трансформатором Т (см. рис. 5): коэффициент трансформации 1 : 1, омическое сопротивление обмоток не более 1 Ом, индуктивность не более 1 мГн, допустимое напряжение между обмотками 4 кВ; конденсаторы С ёмкостью 0,47 мкФ на 630 В.

Проведённые испытания не подтвердили пропуски некоторых кодов, отмеченных исследователями фирмы «Квазар». Следует отметить, что реальная скорость передачи составляет не более 30...35% от физической, объявленной в паспортных данных микросхемы. Это объясняется, прежде всего, большим объёмом служебных бит в передаваемом пакете и дополнительным временем обмена между

приёмопередатчиком и хост-контроллером, а также между хост-контроллером и конечными источниками и приёмниками информации.

Кроме силовых цепей переменного тока 220/380 В, для передачи информации широко используют силовые цепи постоянного тока. Такие задачи встречаются, прежде всего, в транспортных системах. Некоторые фирмы выпускают приёмопередатчики, специально ориентированные на цепи постоянного тока. Примером такого приёмопередатчика может служить микросхема SSCP485PL фирмы ST Microelectronics. Особенностью силовых цепей постоянного тока является ёмкостной характер нагрузки для выходных каскадов передатчика, в отличие от индуктивного характера нагрузки в сетях переменного тока. Однако, при выполнении требований к согласующим усилителям передатчиков, рассмотренных выше, большинство микросхем приёмопередатчиков для сетей переменного тока могут с успехом использоваться и в цепях постоянного тока. Это полностью подтвержда-

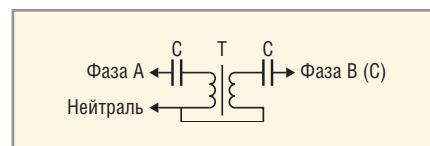


Рис. 5. Схема межфазного моста

ется испытаниями, проведёнными с модулем приёмопередатчика на основе микросхемы KP1446XK1. В силовой цепи постоянного тока на расстоянии 30 м обеспечивалась надёжная передача информации (ошибки менее 1%).

ЛИТЕРАТУРА

1. *KP 1446 XK1*. Приёмопередатчик по сети переменного тока 110–380 В. <http://www.angstrem.ru>.
2. *Montoya L.F.* IEEE Member Univ. of Florida Gainesville, Florida. Power Line Communications.
3. *Hrasnica H., Haidine A., Broadband R.L.* Powerline Communications Networks. Network Design: John Wiley & Sons.
4. Technical Data Sheet SSC P111 PL Media Interface IC. <http://www.intellon.com>.
5. Technical Data Sheet SSC P485 PL Media Interface IC. <http://www.intellon.com>. ©