

**Данилов Денис Владимирович**

магистрант

**Емельев Константин Сергеевич**

магистрант

ФГБОУ ВО «Московский технологический университет»

г. Москва

## **О ПОВЫШЕНИИ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ФИЗИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕЙСА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА**

***Аннотация:** в рамках данной статьи обращено внимание на существующую проблему реализации надежности протоколов и способов, реализующих передачу информации между блоками беспилотного летательного аппарата (БПЛА), рассматриваются наиболее распространённые интерфейсы, такие как SPI, I2C, 1-wire и RS-485. Сделан вывод, что при проектировании БПЛА целесообразно соединять модули посредством интерфейса RS-485. Однако, при работе двигателей БПЛА на линиях данных возникают помехи ввиду того, что все блоки соединены общими цепями питания. Для повышения помехоустойчивости физического интерфейса и минимизации взаимного влияния сигналов данных и питания предложено использовать гальванически развязанный интерфейс RS-485 и дополнительно схему защиты на базе микросхемы TBU и TVS-диодов.*

***Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, БПЛА, интерфейс, схема защиты, помехи.*

Современные беспилотные летательные аппараты (БПЛА) позволяют решать широкий спектр задач благодаря большому числу различных модулей. Например, в состав любого БПЛА входят двигатели, блоки управления двигателями, блок ориентации, навигации и множество других блоков. Немаловажным является и выбор самих модулей при проектировании. Например, в любом городе, вне зависимости от степени застройки, есть здания различной этажности, улицы, лесопарковые зоны и возможное непостоянство форм рельефа местности. При этом принимаемые и передаваемые радиосигналы с БПЛА отражаются от

различных объектов, их поверхностей, т.е. претерпевают затухание [1]. Поэтому в условиях плотной городской застройки совместно с радиомодулем целесообразно дополнительно использовать GPS модуль, который позволит с большей точностью ориентировать аппарат при использовании функции автопилотирования.

В связи с этим можно сделать вывод о том, что структура БПЛА базируется на постоянной передаче информации между блоками. Надежность протоколов и способов, реализуемых при этом, возложена на интерфейсы передачи данных.

Основным элементом БПЛА являются двигатели, которые в процессе работы формируют помехи для окружающих блоков, так как они подключены к общим цепям питания. Таким образом, одной из основных задач повышения помехоустойчивости физического интерфейса является минимизация помех в цепях питания.

Решением данной задачи является правильный выбор цифрового интерфейса при проектировании БПЛА. Наиболее часто используемыми интерфейсами являются SPI, I<sup>2</sup>C, 1-wire и RS-485, поэтому следует рассмотреть их особенности.

*Интерфейс SPI* (англ. *Serial Peripheral Interface, SPI bus* – последовательный периферийный интерфейс, шина SPI) – последовательный синхронный интерфейс передачи данных в режиме полного дуплекса, предназначенный для обеспечения простого и недорогого высокоскоростного сопряжения микроконтроллеров и периферии.

В SPI любая передача синхронизирована с общим тактовым сигналом, генерируемым ведущим устройством (процессором). Принимающая (ведомая) периферия синхронизирует получение битовой последовательности с тактовым сигналом. К одному последовательному периферийному интерфейсу ведущего устройства-микросхемы может присоединяться несколько микросхем. Ведущее устройство выбирает ведомое для передачи, активируя сигнал «выбор кристалла» (англ. *chip select*) на ведомой микросхеме [2].

*Интерфейс I<sup>2</sup>C* с физической точки зрения представляет собой двухпроводную шину, к которой может быть подключено до 128 устройств. Выводы SDA и SCL должны иметь выход с открытым коллектором для выполнения условия «монтажного И», поэтому для формирования сигнала высокого уровня на линиях применяется подтягивающий резистор к напряжению питания. Каждое устройство обладает своим уникальным адресом [3]. Если ведущее собирается начать передачу, то сначала отправляется адрес устройства, с которым будет происходить передача, и все устройства должны проверить данный адрес, чтобы определить к кому из них идет обращение.

*Интерфейс 1-Wire* включает в себя управляющий контроллер (мастер или ведущий) и одного или нескольких ведомых устройств, подключенных к общей шине. Устройства подключаются к шине по схеме с открытым стоком и подтягивающим резистором. Уровень сигналов в шине лежит в диапазоне напряжений от 3 до 5 В. В пассивном состоянии на линии сохраняется высокий уровень напряжения [4]. Все сигналы формируются с помощью замыкания сигнальной шины на землю (низкий уровень напряжения). Главной свойство шины 1-Wire заключается в том, что она использует только два провода, один – сигнальный, второй – для заземления устройств. По сигнальному проводу допускается и электропитание устройств 1-Wire – так называемое паразитное питание.

*Интерфейс RS-485* обеспечивает обмен данными по одной двухпроводной линии связи в полудуплексном режиме. В качестве среды передачи данных обычно применяется витая пара проводников. Максимальная дальность зависит от скорости передачи: при скорости 10 Мбит/с максимальная длина кабеля составляет 120 метров. Интерфейс RS-485 может управлять 32 единичными нагрузками, однако для некоторых приемников входное сопротивление является более высоким – 48 кОм (1/4 единичной нагрузки) или даже 96 кОм (1/8 единичной нагрузки) – и, соответственно, к одной шине могут быть подключены сразу 128 или 256 таких приемников.

Высокая помехоустойчивость данного интерфейса обеспечивается благодаря симметрии витой пары, так как помехи, которые наводятся на каждый из

проводов, одинаковы и не изменяют дифференциальной составляющей напряжения. Также для усиления защиты от помех можно осуществить дополнительное экранирование витой пары.

В последние годы появились буферы, со встроенной гальванической развязкой, для которых не требуется подводить два отдельных питания. В борьбе за хорошую помехоустойчивость нельзя рассчитывать только на встроенную защиту буфера. Для подавления импульсных помех и статического электричества целесообразно реализовать трехступенчатую схему защиты. Она необходима для предотвращения повреждений и аварий, возникающих из-за перепадов напряжения в линиях связи, амплитуда которых превышает установленное стандартное значение. Оптимальная защита сочетает в себе защитное устройство TBU совместно с газовым разрядником и TVS-диодами. Использование многоступенчатой вторичной защиты снижает риск серьезного повреждения оборудования многократно или вовсе предотвращает аварии.

Газовый разрядник функционирует как электронный ключ, который срабатывает, когда разность потенциалов между его электродами превысит некоторое заданное значение. Главным недостатком является низкая скорость срабатывания [5].

Принцип работы TVS-диодов заключается в том, что диод закрыт до момента воздействия помехи. Другими словами, через него не протекают рабочие токи. Импульс перенапряжения вызывает лавинный пробой в структуре TVS-диода, через него протекает ток помехи, при этом напряжение на диоде ограничивается в соответствие с его внутренней структурой [6]. В результате защищаемый участок схемы не подвергается воздействию высокого напряжения, энергия помехи рассеивается. Принцип работы TVS-диода представлен на рисунке 1.

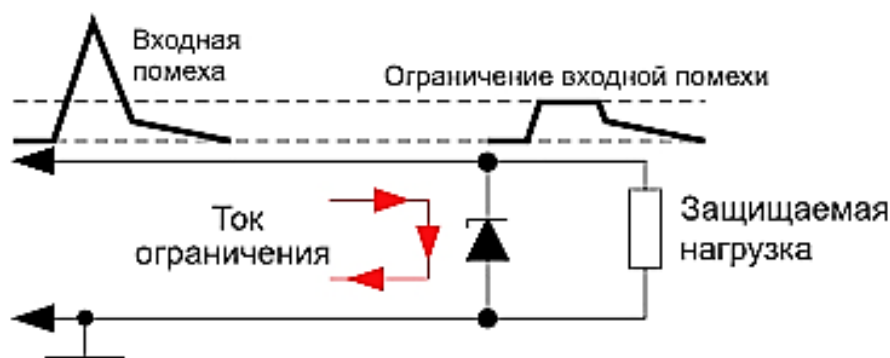


Рис. 1. Принцип работы TVS-диода

Самый распространённый протокол, который реализуется в сетях RS-485 это Modbus-RTU. Шина Modbus-RTU должна состоять из одного магистрального кабеля. Кабель должен содержать три проводника в общем экране, два из которых витая пара, а третий соединяет все общие земляные выводы (дренажный провод). Общий провод и экран должны быть заземлены в одной точке, желательно около ведущего устройства. Устройство подключается к кабелю через пассивный разветвитель (тройник), непосредственно к магистральному кабелю через активный разветвитель (содержащий и развязывающий повторитель). Установка согласующих резисторов на концах магистрали обязательна. Устройство Modbus обязательно должно поддерживать скорость обмена 9600 и 19200 (скорость по умолчанию) бит/с. Допускаются скорости обмена из ряда RS-232 (1200–115200 бит/с). Modbus предполагает наличие одного ведущего устройства и до 247 ведомых (модулей ввода-вывода). Обмен данными всегда инициируется ведущим. Ведомые устройства не начинают передачу пока не получают запрос от ведущего. Ведомые устройства не могут обмениваться данными друг с другом. Адреса с 1 по 247 являются адресами устройств в сети. Адреса 248–255 зарезервированы, а 0 – это широковещательный адрес. В протоколе Modbus сообщение начинает восприниматься как новое после паузы (тишины) на шине длительностью не менее 3,5 символов (14 бит), то есть величина паузы зависит от скорости передачи.

Исходя из проведенного обзора различных типов интерфейсов используемых для передачи данных и сигналов управления, следует, что блоки БПЛА при

проектировании целесообразно соединять посредством гальванически развязанного RS-485. Только в этом случае сигналы данных и питания будут оказывать друг на друга минимальное влияние.

*Выводы.* При передаче данных и сигналов управления между блоками БПЛА возникают значительные помехи, поэтому целесообразно использовать помехоустойчивый интерфейс RS-485. Интерфейс RS-485 должен быть гальванически развязан и дополнительно иметь трехступенчатую схему защиты от бросков токов и напряжений.

### ***Список литературы***

1. Куликов Г.В. Оценка качества связи с БПЛА в условиях городской застройки / Г.В. Куликов, С.С. Тамбовский // Российский технологический журнал. – 2015. – №1 (6). – С. 1.
2. Иванов Ю.И. Интерфейсы средств автоматизации: Учебное пособие / Ю.И. Иванов, В.Я. Югай. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005. – 252 с.
3. Каршов Р.С. Интерфейсная шина I2C // Научный журнал. – 2017. – №6 (19). – С. 5.
4. Авдеев В.А. Периферийные устройства: интерфейсы, схемотехника, программирование. – М.: ДМК Пресс, 2016. – 848 с.
5. Огнев Р.Д. Подразделение защиты: TVS-диоды от Bourns // Новости электроники. – 2015. – №1. – С. 46–49.
6. Колосов В. Устранение недопустимых воздействий на электронную аппаратуру из сетей электропитания. СТА, №2/2001.2 ГОСТ Р 51317.4.2–2010 (МЭК 61000–4-2:2008) / В. Колосов, В. Мухтарулин.