



АНАЛИЗ АППАРАТНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ВЫХОДНОЙ СТРУКТУРЫ ТИПА OPEN-DRAIN ДЛЯ ПРОТОКОЛА ONE-WIRE И РАЗРАБОТКА ИНТЕРФЕЙСА ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛА НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

Каххоров Акрамжон Абдурахмон угли
Ташкентский государственный технический
университет имени Ислама Каримова

магистр

qahhorovakramjon2@mail.com

Аннотация: В статье рассматривается протокол One-Wire, позволяющий организовать цифровую передачу данных по одной линии связи. Показано, что выходные каскады устройств используют структуру типа open-drain, где высокий уровень формируется внешним подтягивающим резистором, а низкий — стягиванием шины на землю. Проанализирован принцип взаимодействия нескольких устройств на общей линии и предложена транзисторная схема согласования для подключения микроконтроллеров семейства AVR. Полученные результаты подтверждают, что протокол One-Wire пригоден для разработки энергоэффективных и компактных многоточечных сенсорных систем.

Ключевые слова: протокол One-Wire, выход типа open-drain, подтягивающий резистор, микроконтроллерный интерфейс, сенсорная сеть, цифровая коммуникация.

Abstract. This paper examines the One-Wire protocol, which enables digital data transmission over a single communication line. The output stages of One-Wire devices utilize an open-drain structure, where the logical high level is provided by an external pull-up resistor and the low level is formed by pulling the line to ground. The principles of multi-device bus operation are analyzed, and a transistor-based interface circuit for AVR microcontrollers is proposed. The results confirm that One-Wire is suitable for designing energy-efficient, compact, and multi-point sensor systems.

Keywords: *One-Wire protocol, open-drain output, pull-up resistor, microcontroller interface, digital communication bus, sensor network.*

Введение

В современных встраиваемых системах и интеллектуальных сенсорных сетях наблюдается возрастающая потребность в малопроводных, энергоэффективных и надежных интерфейсах связи. Особенно в распределённых системах мониторинга и управления важное значение имеют упрощение межприборных соединений, сокращение количества кабелей и обеспечение стабильности обмена данными. Протокол One-Wire является технологией, способной удовлетворить эти требования, поскольку для передачи данных он использует всего одну линию связи и общий провод (землю). Благодаря простой аппаратной реализации, низкому энергопотреблению и возможностям масштабирования, протокол One-Wire получил широкое распространение в системах «умного дома», IoT-устройствах, системах экологического мониторинга, интеллектуальных счетчиках и средствах промышленной автоматизации.

Одной из ключевых особенностей шины One-Wire является использование выходной структуры типа open-drain (открытый коллектор). В данной архитектуре логический уровень «1» на линии формируется с помощью внешнего подтягивающего резистора (pull-up), тогда как логический уровень «0» обеспечивается путем принудительного стягивания линии на землю самим устройством. Такой подход позволяет безопасно подключать несколько устройств к одной общей шине, поскольку ни одно из них не формирует высокий уровень активно, и, следовательно, исключается конфликт сигналов (bus contention). Кроме того, все устройства One-Wire обладают уникальным 64-битным идентификационным кодом, что позволяет адресовать большое количество датчиков, подключенных к одной линии. Однако при практическом применении протокола One-Wire необходимо

учитывать ряд аппаратных особенностей. В частности, многие GPIO-выводы микроконтроллеров не поддерживают режим open-drain непосредственно, из-за чего требуется использование транзисторных согласующих схем. Также выбор сопротивления подтягивающего резистора, длина шины и тип топологии подключения оказывают прямое влияние на качество передачи сигнала. В данной статье проведен анализ принципов работы выходной структуры open-drain в устройствах One-Wire, рассмотрены механизмы объединения нескольких устройств в общую шину, а также предложена схема транзисторного согласования для реализации интерфейса One-Wire с микроконтроллерами. Полученные результаты подтверждают возможность эффективного применения технологии One-Wire при проектировании энергоэффективных, компактных и многоточечных сенсорных систем.

Методология исследования

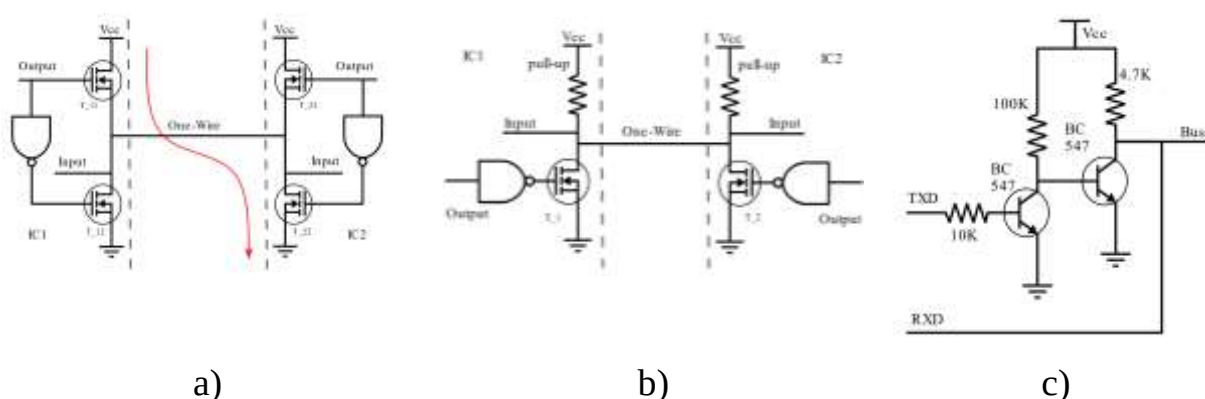
Данное исследование было выполнено на основе анализа принципов работы протокола One-Wire на аппаратном уровне, изучения структуры выходного каскада типа open-drain и механизмов взаимодействия с микроконтроллером. На первом этапе были рассмотрены теоретические источники, временные диаграммы шины One-Wire, уровни сигналов и процессы адресации, а также изучены datasheet и техническая документация, предоставленные компанией Analog Devices (Maxim Integrated). Далее схема выходного каскада open-drain была смоделирована в программной среде SPICE/Proteus на основе рис. 1, что позволило сравнить стабильность сигнала при различных значениях подтягивающего резистора (pull-up). На следующем этапе была экспериментально исследована топология подключения нескольких устройств к общей линии передачи данных. В ходе испытаний отслеживались изменения устойчивости сигнала и величины задержек при увеличении длины шины и ее нагрузки. Кроме того, для реализации интерфейса One-Wire с микроконтроллером ATmega328P была собрана

транзисторная согласующая схема, представленная на рис. 3, обеспечивающая формирование эквивалентного режима open-drain. В процессе эксперимента амплитудные параметры сигнала, фронты переключения и устойчивость к шумовым воздействиям оценивались с использованием осциллографа. На основании полученных результатов были определены оптимальные сочетания сопротивления подтягивающего резистора, длины линии и варианта топологии подключения. Сформулированы практические рекомендации по применению протокола One-Wire при проектировании энергоэффективных и многоточечных сенсорных систем.

Результаты и их анализ

Результаты проведенного исследования были сформированы на основе углубленного анализа принципов работы протокола One-Wire на аппаратном уровне. В процессе экспериментов последовательно изучены архитектура выходного каскада типа open-drain, механизм обмена данными между несколькими устройствами по общей шине, а также практическая реализация интерфейса One-Wire с использованием микроконтроллера. На первом этапе исследования было подтверждено, что выходной каскад устройств, работающих по протоколу One-Wire, основан на транзисторной структуре с открытым коллектором (open-drain). На рис. 1(а) представлена данная архитектура, согласно которой высокий логический уровень на линии формируется не самим устройством, а обеспечивается внешним подтягивающим резистором (pull-up). Устройство активно формирует только низкий уровень, стягивая линию на землю. Такой подход исключает возникновение конфликта источников сигнала при наличии на шине нескольких устройств: если одно устройство переводит линию в низкий уровень, остальные не препятствуют этому процессу. Таким образом, протокол One-Wire обеспечивает безопасную и гибкую передачу данных в многоточечных сенсорных сетях.

На втором этапе исследования была проведена оценка электрической устойчивости шины One-Wire при подключении нескольких устройств. Как показано на рис. 1(б), целостность сигнала и скорость передачи данных напрямую зависят от значения подтягивающего резистора. Экспериментальные измерения продемонстрировали, что при использовании резистора 4,7 кΩ логический уровень «1» на шине восстанавливается быстро и стабильно, что позволяет сохранять четкие фронты сигнала даже при повышенной скорости обмена. При увеличении сопротивления резистора до 10 кΩ наблюдалось замедление фронтов нарастания, что связано с увеличением RC-задержки при возрастании длины кабеля, в результате чего форма сигнала начинает искажаться. Таким образом, при проектировании сенсорных сетей на базе One-Wire выбор параметров подтягивающего резистора должен осуществляться с учетом длины линии и уровня нагрузки, что является ключевым техническим критерием обеспечения надежной связи. Более того, эксперименты показали, что при длине линии от 15 до 25 метров и более наблюдается ощутимое ухудшение качества сигнала, что указывает на необходимость использования экранированных кабелей в промышленных условиях.



3-рasm: One-Wire protokolining apparat darajadagi chiqish va ulanish topologiyasi.

a) *One-Wire qurilmalaridagi ichki open-drain chiqish tranzistor kaskadi; b)*

Pull-up rezistori yordamida umumiy shina orqali ikki qurilmaning o'zaro

bog'lanishi; c) ATmega mikrokontrolleri bilan One-Wire interfeysini tranzistorli moslashtirish sxemasi.

На третьем этапе исследования был рассмотрен процесс аппаратной интеграции протокола One-Wire с микроконтроллером. С использованием транзисторной согласующей схемы, представленной на рис. 1(с), была осуществлена адаптация выходной структуры типа push-pull микроконтроллера ATmega328P к режиму работы, приближенному к open-drain, необходимому для корректного функционирования шины One-Wire. В ходе экспериментальных испытаний с применением осциллографа были измерены амплитудная стабильность сигнала, крутизна фронтов переключения, устойчивость линии к шумовым воздействиям, а также поведение сигнала при увеличении нагрузки на шину.

Полученные результаты показали, что использование транзисторного согласования не приводит к искажению формы сигнала на линии и обеспечивает корректное согласование уровней между стандартным выходом GPIO микроконтроллера и электрическими требованиями протокола One-Wire. Таким образом, была подтверждена возможность реализации интерфейса One-Wire без применения специализированных драйверных микросхем, исключительно на базе типового микроконтроллера и простых дискретных компонентов. Данное решение является практически целесообразным при разработке недорогих, компактных и энергоэффективных устройств, где важны минимизация аппаратных ресурсов и снижение энергопотребления.

Заключение

Проведённое исследование подтвердило, что протокол One-Wire является эффективным решением для построения малопроводных многоточечных

сенсорных систем. Использование выходной структуры типа open-drain обеспечивает надёжный обмен данными между несколькими устройствами на общей шине без конфликтов сигналов. Установлено, что выбор оптимального подтягивающего резистора существенно влияет на форму сигнала, скорость передачи и максимально допустимую длину линии. Применение транзисторной согласующей схемы позволяет легко интегрировать интерфейс One-Wire с микроконтроллерами без использования специализированных драйверов. Экспериментальные измерения подтвердили стабильность сигнала и устойчивость к помехам, что делает данное решение практичным для энергоэффективных встроенных систем.

Список использованных источников

- [1] Maxim Integrated, «1-Wire Communication Through Software», Техническое руководство / Application Note 126, 2019.
- [2] Maxim Integrated, «Рекомендации по созданию надежных длинных сетей 1-Wire», Техническое руководство / Application Note 148, 2018.
- [3] Maxim Integrated, «Интерфейс микроконтроллеров с устройствами 1-Wire», Техническое руководство / Application Note 4206, 2020.
- [4] Maxim Integrated, «DS18B20: Программируемый цифровой термометр с интерфейсом 1-Wire», Паспорт изделия / Datasheet, 2019.
- [5] Maxim Integrated, «DS2438: Смарт-датчик контроля питания и температуры», Паспорт изделия / Datasheet, 2017.