

УДК 004.032.22

С.С. Качула, М.В. Делявський

Луцький національний технічний університет

## ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ШИН ACCESS, I2C ТА ІНТЕРФЕЙСУ RS-232C

*У роботі проведено дослідження характеристик передачі даних у шинах ACCESS, I2C та інтерфейсу RS-232C.*

### Постановка проблеми

Для розробників перевагою шини I2C є її проста двохпровідна структура і здатність програмної адресації, що робить її ідеальною платформою для шини ACCESS. Це дешева альтернатива інтерфейсу RS-232 для з'єднання периферійних пристроїв з комп'ютером через простий 4-піновий коннектор.

### Вступ

RS-232 - це легендарний стандарт, який з'явився у 60-х роках 20 століття, і став основою для всіх наступних інтерфейсів послідовного обміну даними.

Стандарт RS-232 (Recommended Standard 232) описує інтерфейс для послідовної двонаправленої передачі даних між терміналом (DTE, Data Terminal Equipment) та кінцевим пристроєм (DCE, Data Circuit-Terminating Equipment).

Інтерфейс RS-232C був застосований в перших персональних комп'ютерах фірми IBM і до сьогоднішнього дня входить в структуру будь-якого персонального комп'ютера в апаратному або програмному вигляді.

Рішення, які закладені в цей стандарт, використовуються практично повсюди. Неможливо вважати себе промисловим програмістом не знаючи цього стандарту. Інтерфейс RS-232 повністю апаратно реалізований на персональних комп'ютерах у вигляді мікросхем та роз'ємів.

У РС його називають СОМ-портом (Communication port). Апаратна реалізація означає те, що він працює завжди, не залежно, яка операційна система встановлена на РС (він працює і без ОС). Програми можуть взаємодіяти з СОМ-портами усіма доступними засобами: прямим кодом мікропроцесора, апаратними перериваннями, функціями BIOS, засобами ОС, компонентами мов високого рівня. СОМ порт реалізований за стандартом RS-232-універсальний. Він забезпечував роботу РС з периферійними пристроями (чим зараз зайнятий USB), взаємодія з локальною мережею через модем (Ethernet), обмін даними між РС і промисловим обладнанням (ModBus та ін), щоб розбиратися як працюють ці протоколи необхідно розуміти яку функцію СОМ порту вони взяли на себе.

RS-232 - інтерфейс передачі інформації між двома пристроями на відстані до 15 метрів. Інформація передається по проводах з рівнями сигналів, що відрізняються від стандартних 5 В, для забезпечення більшої стійкості до перешкод. Асинхронна передача даних здійснюється зі встановленою швидкістю при синхронізації рівнем сигналу стартового імпульсу.

Для 8-бітних додатків цифрового контролю, що використовують мікроконтролери, пред'являються наступні вимоги:

1. Готова система зазвичай складається з принаймні одного мікроконтролера і кількох периферійних пристроїв (пам'яті, введення-виведення і т.д.).
2. Вартість підключення до системи нових пристроїв повинна бути мінімальна.
3. Система, що виконує контролюючі функції, не повинна вимагати високошвидкісної передачі даних.
4. Загальна ефективність залежить від обраних пристроїв і з'єднує їх шини.

Для того, щоб задовольнити всім цим вимогам, потрібна послідовна шина. Хоча послідовні шини і не володіють пропускнуою здатністю паралельних шин, зате при їх використанні витрачається менше проводів і голок на ІС. Однак, шина і простий дріт - це не одне і те ж: вона включає в себе всі формати і відповідає за зв'язок всередині всієї системи.

Пристрої, що з'єднуються за допомогою послідовної шини, повинні мати певний протокол, який би дозволяв уникнути втрати, псування і блокування інформації. Швидкі пристрої повинні мати можливість зв'язуватися з більш повільними. Система не повинна бути

залежна від того, які пристрої до неї підключені, у противному випадку модернізація і модифікація будуть неможливі. Також треба визначитися, коли і який пристрій буде контролювати шину. І, якщо до шини приєднуються пристрої з різними тактовими частотами, то вона повинна володіти власним джерелом тактової частоти. Всі ці вимоги враховані в стандарті шини I2C.

### Рішення питань

Шина I2C використовується для з'єднання низькошвидкісних периферійних компонентів з материнською платою, що вбудовують системами та мобільними телефонами. Назва є аббревіатурою слів Inter-Integrated Circuit.

**Принципи роботи шини I2C** підтримує всі можливі види IC (NMOS, CMOS, bipolar). Два дроти (лінії), SDA (Serial DATA line) і SCL (Serial Clock Line), переносять інформацію між пристроями, підключеними до шини. Кожен пристрій має унікальну адресу, будь то мікроконтроллер, драйвер ЖК дисплея, пам'ять або інтерфейс клавіатури. У залежності від призначення пристрою, він може бути приймачем та/або передавачем. Очевидно, драйвер ЖК дисплея може бути лише приймачем, в той час, як пам'ять може бути і приймачем, і передавачем. У доповнення, крім поділу на приймачі та передавачі, пристрої при передачі даних можуть бути майстрами або slave'ами. Майстер - це пристрій, що ініціює передачу даних і генерує тактові сигнали. У цей момент будь-який адресований пристрій вважається slave'ом.

### Загальні характеристики

Обидві лінії, і SDA, і SCL, є двонаправленими, з'єднаними з позитивним полюсом джерела напруги через pull-up резистор (Рис. 1). Коли шина вільна, обидві лінії перебувають у стані HIGH. Вихідні частини пристроїв, під'єднаних до шини, повинні мати відкритий колектор або відкритий стік, щоб виконувати функцію wired-AND. Дані по шині I2C можуть передаватися зі швидкостями до 100 Кб/с в стандартному режимі і 400 Кб/с у швидкому режимі. Кількість інтерфейсів залежить тільки від граничної ємності шини 400пФ.

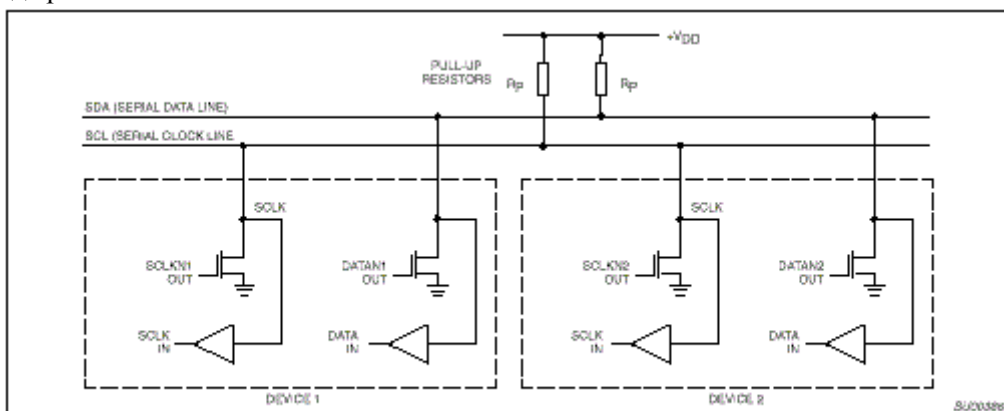


Рис. 1 Підключення пристроїв до шини

### Передача біта.

У зв'язку з відмінностями між пристроями, які можна підключити до шини I2C (CMOS, NMOS, bipolar), рівні логічних "0" (LOW) і "1" (HIGH) не фіксуються, а залежать від прикладеної напруги Vdd. Один такт тактового генератора відбувається при передачі кожного біта.

### Стани START і STOP.

При роботі шини I2C існує дві особливі стани, які називаються START і STOP. Переключення лінії SDA з HIGH в LOW, коли SCL знаходиться в стані HIGH, називається станом START.

Переключення лінії SDA з LOW в HIGH, коли SCL знаходиться в стані HIGH, називається станом STOP. Ці стани завжди генерує майстер. Після появи стану START, шина вважається зайнятою. Шина вважається вільною через певний час після виникнення стану STOP. При наявності необхідного апаратного інтерфейсного забезпечення пристрою, підключені до шини I2C, легко розпізнають стани START і STOP. Однак, мікроконтролери, що не мають таких інтерфейсів, повинні принаймні двічі за один такт перевіряти лінію SDA, щоб зафіксувати зміну.

### Передача даних.

Кожен байт, записаний на лінію SDA, має бути 8 біт у довжину. Кількість байтів, що передаються за один раз, не обмежується. За кожним переданим байтом повинен слідувати біт-підтвердження. Дані передаються в порядку MSB (Most significant Bit). Якщо приймач не в змозі

отримати наступний повний байт інформації з тієї причини, що він, наприклад, зайнятий обробкою внутрішнього переривання, він може утримувати SCL в стані LOW, щоб змусити передавач перейти в стан очікування. Передача даних відбувається, коли приймач готовий до чергового байту даних і відпускає лінію SCL.

У деяких випадках дозволяється використовувати формат відмінний від формату I2C. Відправка, що починається з такої адреси, може бути перервана генерацією стану STOP навіть під час передачі байта. У цьому випадку підтвердження не відбувається.

Підтвердження при передачі даних обов'язково. Тактовий сигнал, необхідний для підтвердження, генерується майстром. Передавач відпускає лінію SDA (HIGH) під час тактового сигналу при підтвердженні.

Приймач повинен опустити лінію SDA під час підтверджує тактового сигналу так, що вона залишається в стабільному стані LOW, коли такт - у стані HIGH (Мал. 8). Звичайно, час set-up і hold повинні бути враховані.

Зазвичай адресований приймач повинен генерувати підтвердження після кожного отриманого байту за винятком ситуації, коли повідомлення починається з адреси CBUS.

Коли slave-приймач не підтверджує адресу slave (наприклад, він не готовий до отримання з причини виконання деякої real-time функції), slave повинен тримати лінію даних у стані HIGH. У цьому випадку майстер може припинити передачу даних, створивши стан STOP.

Якщо slave-приймач не підтверджує адресу slave, а через якийсь час втрачає можливість отримання подальших байтів даних, майстер повинен перервати передачу. Для цього slave генерує сигнал "не підтвердження" для першого наступного байта. Slave залишає лінію даних HIGH, а майстер створює стан STOP.

Якщо в процесі передачі бере участь майстер-приймач, він повинен сигналізувати кінець даних slave-передавача, не генеруючи підтвердження у відповідь на останній байт, посланий slave'ом. Slave-передавач повинен відпустити лінію даних, щоб у майстра була можливість створити стан STOP або повторити стан START.

#### Синхронізація.

Всі майстер-пристрої генерують свої тактові сигнали на лінії SCL при передачі повідомлень по шині I2C. Дані дійсні тільки тоді, коли тактовий сигнал знаходиться в стані HIGH. Певні тактові сигнали потрібні для побайтного розділення пріоритетів.

Синхронізація тактових сигналів здійснюється за допомогою послідовного з'єднання проводами інтерфейсів I2C з лінією SCL. Це означає, що перемикання лінії SCL зі стану HIGH в LOW буде знаком для відповідних пристроїв почати відлік їх власного періоду LOW, і, раз такти пристроїв перебувають у стані LOW, лінія SCL буде утримуватися в цьому стані до тих пір, поки такт не досягне стану HIGH. Однак, перемикання цих тактів з LOW в HIGH може не викликати зміни стану на лінії SCL, якщо інші тактові сигнали все ще знаходяться в стані LOW. Таким чином, лінія SCL буде утримуватися в стані LOW пристроєм з найдовшим періодом LOW. Пристрої з більш короткими періодами LOW переходять в цей час у стан очікування HIGH.

Коли всі зацікавлені пристрої відрахують свій період LOW, лінія SCL буде відпущена і перейде в стан HIGH. У цей момент різниці між станами тактових сигналів пристроїв і лінією SCL вже не буде. Перший пристрій, що завершивши свій період HIGH, знову переведе лінію SCL в LOW.

Таким чином генеруються синхронізовані тактові сигнали SCL, причому, період LOW визначається пристроєм з найдовшим періодом LOW, а період HIGH визначається пристроєм з самим коротким періодом HIGH.

#### Електричні характеристики пристроїв шини I2C

Пристрої I2C з фіксованими вхідними рівнями 1.5V і 3V можуть мати кожен своє напруження виходу. Перемикаючі резистори повинні бути приєднані до виходу на 5V +10%. Пристрої шини I2C з вхідними рівнями відносяться до Vdd повинні мати один загальний висновок, до якого також підключений перемикаючий резистор (рис. 2).

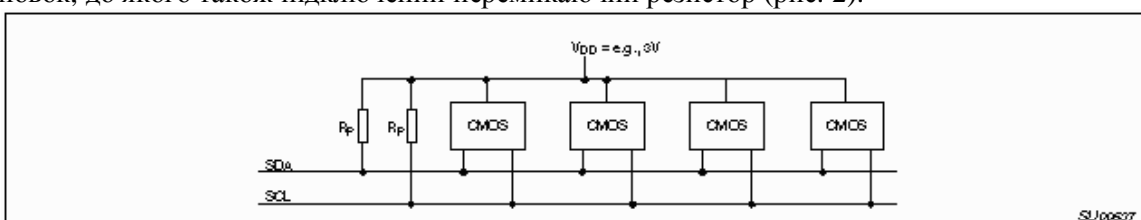


Рис. 2. Пристрої з широким діапазоном вихідного рівня, підключені до шини I2C.

Коли пристрої з фіксованим входним рівнем використовуються разом з пристроями з входними рівнями відносяться до Vdd, останні можуть бути підключені до одного спільного виходу на 5V +10% і повинні мати перемикаючі резистори приєднані до їх виходів на SDA і SCL, як показано на рис. 3.

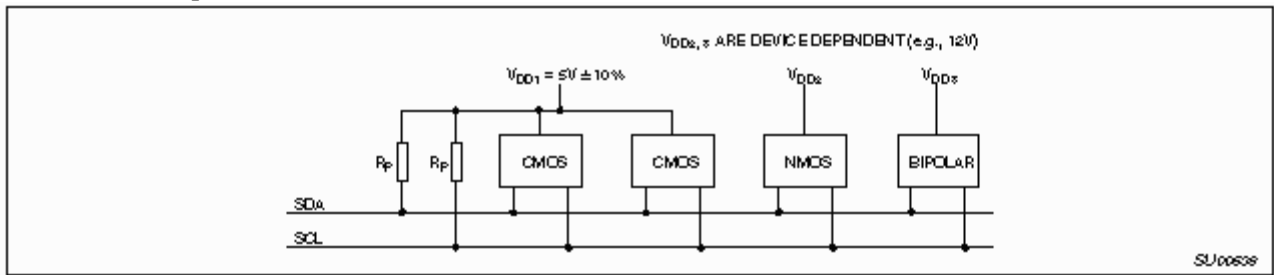


Рис. 3. Пристрої з входним рівнем відносним до Vdd (виходу Vdd1) разом з пристроями з фіксованим входним рівнем (вихід Vdd2.3) на шині I2C.

Вхідні рівні визначені наступним чином.

- Рівень шуму на низькому рівні - 0.1 Vdd.
- Рівень шуму на високому рівні - 0.2 Vdd.

• Як показано на рисунку 4, послідовні резистори (R3) на, наприклад, 200Ом можуть використовуватися для захисту від високовольтних сплесків на лініях SDA і SCL (наприклад, через спалах кінескопа).

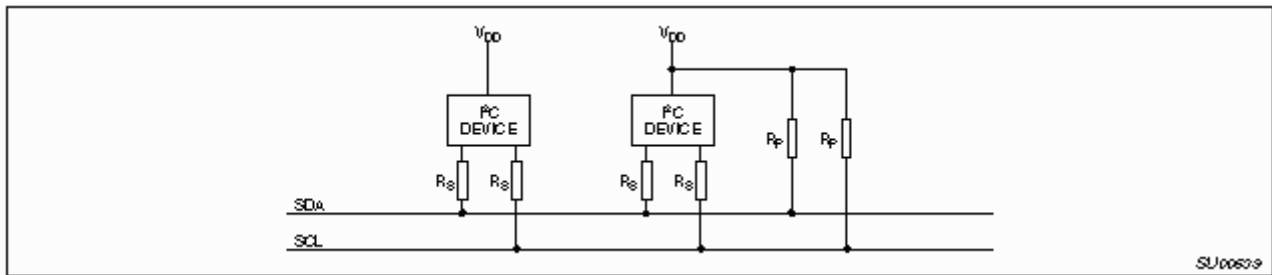


Рис. 4. Послідовні резистори для захисту від сплесків високої напруги.

#### Застосування шини I2C в системі з шиною ACCESS

Шина ACCESS.bus (шина для приєднання допоміжних (ACCESSory) пристроїв до системи) - це відкритий стандарт заснований на шині I2C послідовної сполучної системи, спільно розроблений фірмами Philips і Digital Equipment Corporation. Це більш дешева альтернатива RS-232C інтерфейсу, що дозволяє приєднувати до 14 входів / виходів від периферійного обладнання до настільного комп'ютера або робочої станції на відстані до восьми метрів. Периферійним обладнанням можуть бути відносно повільні пристрої, такі як клавіатури, ручні сканери, курсоровказівники (миші), штрих-код сканери, дигітайзери, карт-reader'и або модеми.

Все, що потрібно для реалізації шини ACCESS - це мікроконтроллер сімейства 8051 з I2C інтерфейсом і 4-хпровідний кабель, що несе SDA, SCL, землю та живлення 12 В (500 мА max.).

Важливими властивостями шини ACCESS є: швидкість передачі лише приблизно на 20% менша від максимальної швидкості I2C-шини, і периферійні пристрої не потребують окремих драйверів. Також, протокол дозволяє змінювати периферійні пристрої "на льоту" без перезавантаження системи.

Протокол шини ACCESS включає три рівні: I2C-протокол, базовий протокол і прикладний протокол.

Базовий протокол однаковий для всіх пристроїв шини ACCESS і визначає формат повідомлення ACCESS.bus. На відміну від шини I2C, він припускає, що майстри тільки посилають, а slave'и - тільки отримують дані. Один пункт доданої інформації - контрольна сума для підвищення надійності. Базовий протокол визначає також сім типів повідомлень управління і статусу, які використовуються при конфігуруванні системи, яка призначає унікальні адреси всім периферійним пристроям, тому відпадає потреба установки джамперів і перемикачів на самих пристроях.

Прикладний протокол визначає семантику повідомлень, специфічних для трьох категорій периферійних пристроїв (клавіатури, позиціонери курсору і текстові пристрої, які генерують потоки символів, наприклад, карт-reader'и), які найбільш поширені на сьогоднішній день.

Philips пропонує технічну підтримку виробникам комп'ютерного периферійного обладнання, широкий діапазон I2C-пристроїв і засоби розробки для шини ACCESS.

### Характеристики сигналів RS-232C

На рис.5 показана еквівалентна електрична схема при обміні послідовними даними за стандартом RS-232C. Ця еквівалентна схема незалежна від того, де розташований генератор в DTE або DCE.

Характеристики сигналу обміну даними по стандарту RS-232C включені в міжнародний стандарт ITU-T v.28.

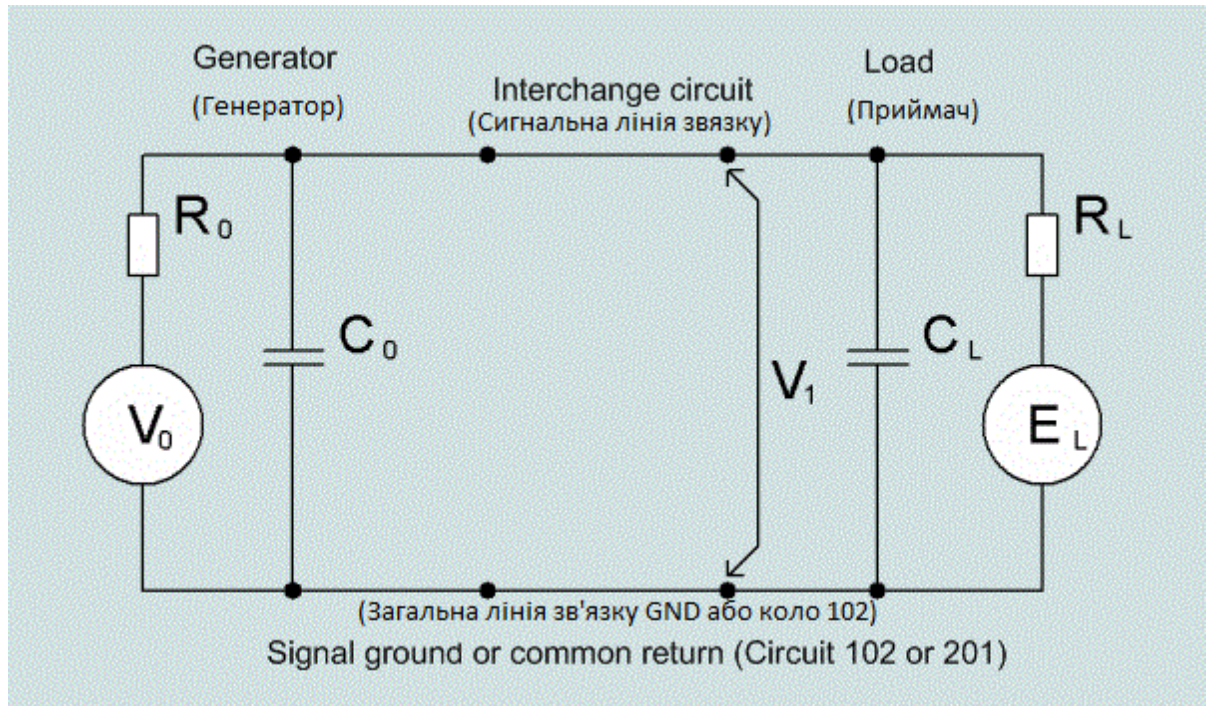


Рис.5 Еквівалентна електрична схема RS-232C

- $V_0$ -напруга генератора при розімкнутому схемою
- $R_0$ -загальний опір генератора
- $C_0$ -загальна ємність генератора
- $V_1$ -напруга між сигнальною лінією і загальним проводом в місці стику.
- $C_L$ -загальна ємність приймача
- $R_L$ -загальний опір приймача
- $E_L$ -ЕРС приймача при розімкнутому схемою

Електричні характеристики приймача сигналів.

- $R_L$ -загальний опір приймача має знаходитися в межах 3000 ... 7000 Ом.
- $V_1$ -напруга на вході приймача має бути в межах  $\pm 3 \dots \pm 15$  В.
- $E_L$ -ЕРС приймача при розімкнутому схемою має бути не більше  $\pm 2$  В.
- $C_L$ -загальна ємність ланцюгів приймача повинна бути не більше 2500 пФ.
- Вхідний імпеданс приймача не повинен бути індуктивним.

Рівні сигналів для стандарту RS-232C.

- Логічною "1" вважається інформаційний сигнал з напругою  $V_1$  менш -3 В.
- Логічним "0" вважається інформаційний сигнал з напругою  $V_1$  більше 3 В.
- Сервісний або синхронізуючий сигнал вважається включеним "ON" ("MARK") якщо  $V_1$  більше 3 В.
- Сервісний або синхронізуючий сигнал вважається вимкненим "OFF" ("SPACE") якщо  $V_1$  менш -3 В.
- Напруга в діапазоні  $V_1 = -3 \text{ В.} \dots 3 \text{ В}$  вважається перехідною областю.

### Порівняння шин I2C, ACCESS та інтерфейсу RS-232C

Характеристики	I2C	ACCESS	RS-232C
Напруга сигналу	3,3-5В	5-12В	3-15В
Швидкість з'єднання	10-400кбіт/с	10-100кбіт/с	50біт/с-1500кбіт/с

Формат адресацій	7-8-10	7-8	5-6-7-8
Використовування протоколів	Повністю інтегрований протокол, логічний	I2C-протокол, базовий протокол і прикладний протокол.	Апаратний, програмний, комунікаційний(HART®)
Максимальна ємність лінії	400пФ	1000пФ	2500пФ
Частота	0-400КГц	0-400КГц	1,8-24МГц
Характер сигналу	Залежать від прикладеної напруги Vdd	Залежать від прикладеної напруги Vdd	несиметричний по напрузі
Довжина лінії зв'язку	1м	8м	15м
Топологія	Напівдуплекс, багатоточкова		Дуплекс, крапка-крапка
Роз'єм для підключення	4-pin	4-pin	9-pin, 25pin

### Висновки

Інтерфейс RS-232C використовувався для підключення ЕОМ і терміналів до системи зв'язку через модеми, а також для безпосереднього підключення терміналів до машин. Оскільки на даному етапі розвитку є багато інших інтерфейсів з простішою апаратною та програмною реалізацією RS-232C являється застарілим. Для периферійних пристроїв використовується шина ACCESS, яка дозволяє підключати до 14 входів/виходів до настільного комп'ютера або робочої станції. Але головним недоліком являються протоколи, які визначені лише передачею даних ведучим пристроєм, а в інших шинах ведучий пристрій може і приймати дані. Зручності застосування шини I2C очевидні - мала кількість сполучних ліній і висока швидкість обміну, простота апаратної реалізації лінії зв'язку.

1. Белов А.В. Конструирование устройств на микроконтроллерах. – СПб.: Наука и Техника, 2005 г.
2. Белов А.В. «Самоучитель по микропроцессорной технике». – Наука и Техника СПб. 2003г.
3. Яшкардин В.Л. [RS-232. Рекомендованный стандарт для последовательной передачи данных](http://www.softelectro.ru/rs232.html). <http://www.softelectro.ru/rs232.html> (2009).
4. <http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/interface/rs232/>
5. <http://cxem.net/comp/comp47.php>
6. [http://www.nxp.com/acrobat\\_download2/literature/9398/39340011.pdf](http://www.nxp.com/acrobat_download2/literature/9398/39340011.pdf)
7. [http://www.interfacebus.com/Design\\_Connector\\_I2C.html](http://www.interfacebus.com/Design_Connector_I2C.html)