

Т.В. Бикова, О.П. Потильчак, Г.О. Черепащук

СУЧАСНІ ІНТЕРФЕЙСИ ДЛЯ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

2009

004
Б 60

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Т.В. Бикова, О.П. Потильчак, Г.О. Черепашук

СУЧАСНІ ІНТЕРФЕЙСИ ДЛЯ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Навчальний посібник до курсового та дипломного проектування

Научно-техническая
библиотека
"ХАИ"



mt0202085

**НАУКОВО-ТЕХНІЧНА
БІБЛІОТЕКА**
Національного аерокосмічного
університету ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Харків «ХАІ» 2009

004.451.84;689.2(075.8)

УДК 004.3: 004.7: 681.2

Бикова Т.В. Сучасні інтерфейси для вимірювальної техніки / Т.В. Бикова, О.П. Потильчак, Г.О. Черепашук: навч. посіб. до курс. та дипл. проектування. – Х.: Нац. аерокосм. ун-т «Харк. авіац. ін-т», 2009. – 107 с.

Подано основні відомості про сучасні стандартні інтерфейси, які застосовуються у вимірювальній техніці. Розглянуто особливості побудови інтерфейсів, протоколи обміну даними. Наведено приклади практичної реалізації інтерфейсів.

Для студентів спеціальностей «Метрологія, стандартизація, сертифікація», «Метрологія та інформаційно-вимірювальні технології» при виконанні курсового проектування з дисциплін «Автоматизація вимірювань», «Інтелектуальні засоби вимірювальної техніки», а також дипломного проектування.

Іл. 60. Табл. 19. Бібліогр.: 6 назв

Рецензенти: д-р техн. наук, проф. І.П. Захаров,
канд. фіз.-мат. наук, доц. А.М. Цимбал

© Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут», 2009 р.

ВСТУП

Однією з особливостей інтелектуальних засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) є можливість їх інтеграції в інформаційно-вимірювальні системи (ІВС) різного рівня складності. Завдяки широкому застосуванню обчислювальної техніки в усіх галузях людської діяльності найбільш поширеним є варіант реалізації ІВС на базі стандартного персонального комп'ютера (ПК), до якого під'єднано один або декілька ЗВТ, що можуть вирішувати різноманітні вимірювальні задачі. Реалізація будь-якого варіанту побудови ІВС неможлива без детального опрацювання питань зв'язку між складовими частинами системи. Зараз застосовується велика кількість стандартних інтерфейсів, призначених як для під'єднання до ПК периферійних пристроїв, так і для формування вимірювальних систем і мереж збору та обробки вимірювальної інформації.

У даному посібнику узагальнено інформацію, яка міститься в різних періодичних виданнях і публікаціях. Автори сподіваються, що наведені в ньому довідкові дані про найбільш поширені сучасні інтерфейси, інформація про їх побудову, принцип дії, протоколи обміну даними, а також приклади схемотехнічних рішень значно спростять реалізацію як учбових, так і реальних проектів інтелектуальних ЗВТ.

1. ПОНЯТТЯ ІНТЕРФЕЙСУ, ХАРАКТЕРИСТИКИ, КЛАСИФІКАЦІЯ

Під стандартним інтерфейсом розуміють сукупність уніфікованих правил і засобів (апаратних, програмних і конструктивних), що встановлюють і реалізують взаємодію компонентів автоматичних систем збору й обробки інформації за умов, регламентованих стандартом і спрямованих на забезпечення інформаційної, електричної та конструктивної сумісності зазначених елементів (ГОСТ 15971-84). За наявності стандартної системи сполучень будь-яка автоматична вимірювальна система, будь-який вимірювально-обчислювальний комплекс можуть бути подані як сукупність пристроїв, що передають інформацію (пристроїв-джерел) в інші прилади та блоки (пристрої-приймачі), які сприймають інформацію, що надходить від пристроїв-джерел, а також пристроїв-контролерів, які керують обміном інформацією. Конкретний блок системи може виконувати або окремі, або всі перелічені функції. Блоки та прилади з'єднуються між собою лініями зв'язку. Група ліній зв'язку, призначених для виконання однієї з операцій у програмно-керованому процесі, називається шиною інтерфейсу.

По лініях інтерфейсу передають інформаційні, адресні, командні сигнали, сигнали ідентифікації, керування, а також додаткові сигнали. Відповідні найменування присвоюють і шинам інтерфейсу. Стандартні правила взаємодії елементів системи встановлюються протоколом обміну інформацією. Використовують симплексний, півдуплексний, дуплексний і мультиплексний режими обміну інформацією. У симплексному режимі лише один з двох абонентів може ініціювати в будь-який момент передачу інформації з інтерфейсу. У півдуплексному режимі будь-який абонент може розпочати передачу, якщо лінія зв'язку інтерфейсу вільна, у дуплексному – у довільний момент часу. У мультиплексному режимі зв'язок може здійснюватися між двома (з декількох) абонентами, у будь-якому, але єдиному напрямку від одного з абонентів до іншого. Інформація з ліній інтерфейсу може передаватися паралельно (байтами або словами), послідовно (бітами) або комбінованим способом.

Дискретна інформація між пристроями передається трьома способами:

- синхронним, при якому передавальний пристрій встановлює на своїх вихідних лініях дискретний сигнал (0 або 1) і підтримує його протягом заздалегідь визначеного проміжку часу. Після закінчення цього проміжку стан сигналу на передавальній стороні змінюється;
- асинхронним, при якому передавальний пристрій повідомляє

приймальному про наявність сигналу на інформаційних лініях. Приймальний пристрій після фіксації інформації підтверджує це, посилаючи в передавальний пристрій сигнали підтвердження по іншій лінії інтерфейсу. Після їх одержання передавальний пристрій знімає прийнятий сигнал. У відповідь на це приймальний пристрій знімає сигнал підтвердження (квитанцію). Цей спосіб передачі швидший і простіший за перший;

- асинхронно-синхронним, при якому передавальний пристрій повідомляє приймальному про те, що через певні (заздалегідь визначені) періоди часу надійдуть сигнали коду.

Залежності від характеру розташування шин у системі розрізняють три структури інтерфейсу: магістральну, радіальну і ланцюжкову.

Ланцюжкова (петельна) структура з'єднання (рис. 1.1) є ефективною при обміні інформацією віддалених один від одного блоків (просторово розподілена система); вона легко нарощується додатковими блоками. Однак у цій структурі можливий обмін лише з малою швидкістю: повідомлення, адресоване блоку, розташованому в кінці петлі, має пройти від контролера всі проміжні блоки, і кожний з них повинен перевірити, чи не йому адресоване це повідомлення, видати "квитанцію" у знак того, що він пропустив повідомлення – усе це знижує швидкодію. Така структура відрізняється мінімальною розмірністю ліній каналу зв'язку блоків.

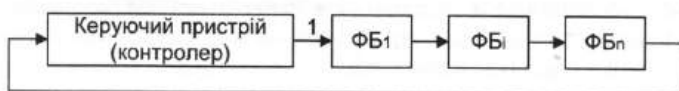


Рис. 1.1. Ланцюжкова структура:

1 – дані, адреси, команди, статусна інформація;

ФБ₁, ФБ_i, ФБ_n – функціональні блоки

Радіальна структура (рис. 1.2) на практиці набуває вигляду з'єднання зіркою, де в центрі розміщується контролер. Ця структура має підвищену швидкодію; радіуси можуть бути досить віддалені від центра, однак можливості нарощування системи обмежені: максимально можлива кількість пристроїв, які підмикають до контролера, заздалегідь зумовлена його конфігурацією. У радіальній структурі відсутня необхідність адресації блоків – керуюча програма звертається до певного порту вводу-виводу і тим самим однозначно вибирає блок. При роботі з блоками, що мають розвинену внутрішню організацію, може виникнути необхідність адресації функціональних вузлів блоку – тоді повинні формуватися сигнали субадресації.

У радіальній структурі неможливий безпосередній обмін між блоками – обмін можливий тільки через центральний керуючий пристрій.



Рис. 1.2. Радіальна структура:
1 – дані, команди, статусна інформація, адреси;
ФБ₁, ФБ_i, ФБ_n – функціональні блоки

Магістральна структура з'єднання (рис. 1.3) – максимально гнучка, можливість її нарощування визначається ємністю адресного поля в пам'яті контролера, усі блоки однаково доступні для обміну інформацією з магістраллю. Це найпоширеніша в наш час структура передачі даних. Однак магістраль має обмежену довжину (наприклад, паралельна магістраль – до 15...20 м) і може обслуговувати тільки зосереджені системи, необхідні потужні схеми передавачів повідомлень. Розмірність ліній каналу зв'язку велика, оскільки для реалізації найвищої швидкодії потрібна передача адрес, даних і команд паралельним кодом. Необхідно вживати заходи щодо подолання чутливості магістралі: при виході з ладу будь-якого блоку може вийти з ладу вся магістраль.

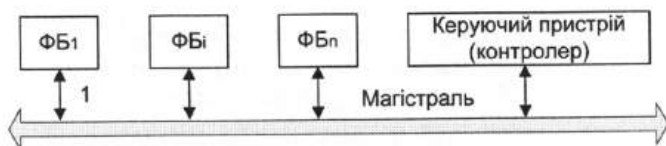


Рис. 1.3. Магістральна структура:
1 – дані, адреси, команди, статусна інформація;
ФБ₁, ФБ_i, ФБ_n – функціональні блоки

На практиці в інтерфейсах рідко застосовують наведені структури в "чистому" вигляді, частіше використовують змішані, що поєднують переваги різних структур. Найпоширеніші серед змішаних структур деревоподібна й радіально-магістральна.

У деревоподібній структурі (рис. 1.4) повідомлення керуючого та інформаційного потоків передаються послідовно по гілках (по

ланцюжку), а до центрального керуючого пристрою приєднується певна кількість ланцюжків. Така структура поєднує переваги радіальної структури з можливістю нарощування системи.

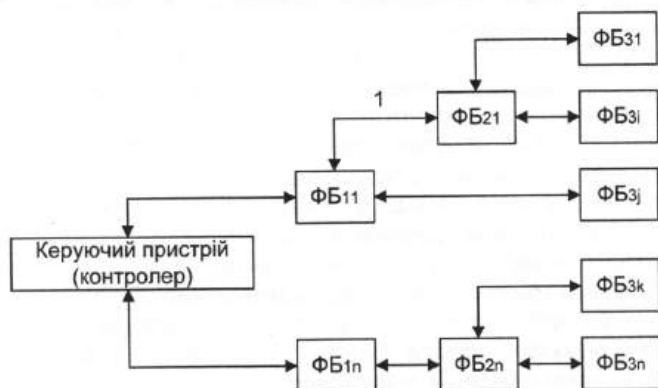


Рис. 1.4. Деревоподібна структура:

1 – дані, команди, адреси, статусна інформація; $\Phi Б_{11}$, $\Phi Б_{21}$, $\Phi Б_{1n}$, $\Phi Б_{2n}$, $\Phi Б_{31}$, $\Phi Б_{3i}$, $\Phi Б_{3j}$, $\Phi Б_{3k}$, $\Phi Б_{3n}$ – функціональні блоки

У радіально-магістральній структурі (рис. 1.5) обмін даними здійснюється по магістралі, а адресні сигнали й команди, як правило, передаються по радіальних лініях. Це забезпечує високу швидкодію обміну та зниження розмірності ліній каналу зв'язку.

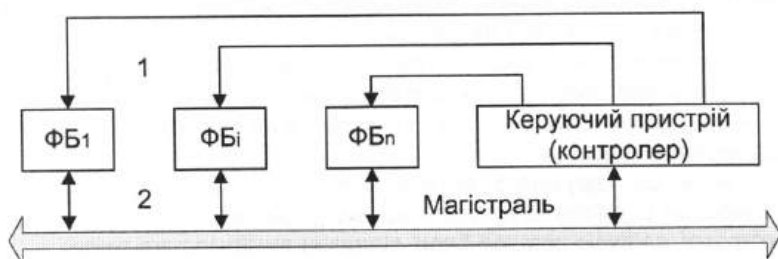


Рис. 1.5. Радіально-магістральна структура:

1 – адреси, команди; 2 – дані, статусна інформація;
 $\Phi Б_1$, $\Phi Б_i$, $\Phi Б_n$ – функціональні блоки

У процесі збору, обробки й подання даних вони можуть передаватися як у вигляді окремих ізольованих повідомлень, так і у

вигляді потоків. В останньому випадку границі окремих повідомлень, що утворюють потік, звичайно розрізняються або спеціальними сигналами супроводження, які видаються по окремих шинах і не входять до складу переданого повідомлення, або спеціальними маркерами, що входять до складу інформаційного повідомлення. Функціональні блоки повинні видавати повідомлення тільки після одержання відповідних команд, що визначають порядок проходження повідомлень у загальному потоці.

Інформаційний потік крім повідомлень про вимірювані параметри звичайно містить також повідомлення про калібрувальні сигнали, результати тестування блоків, а також інші допоміжні повідомлення, що застосовуються при оцінюванні значень вимірюваних параметрів, їх адресації, прив'язці в часі, а також при оцінюванні стану вимірювального тракту й вірогідності одержуваної інформації.

Керуючий потік звичайно містить усі команди, потрібні для задавання режимів роботи блоків і виконання ними необхідних операцій у певній часовій послідовності, а також програми роботи блоків. Команди звичайно передаються у вигляді кодових повідомлень, хоча в окремих випадках, наприклад у радіальних структурах, командне слово може являти собою одиночний імпульс або потенціальний сигнал, переданий по окремій шині.

Набір сигналів взаємодії містить перелік сигналів інформаційного потоку, потоку керування, сигналів супроводу й допоміжних сигналів.

До інформаційного потоку можуть належати сигнали вимірюваного параметра, діапазону вимірювання, рівня каліброваного сигналу, виду контрольного тесту, стану блока (статусна інформація), адреси (номер увімкненого каналу, вимірюваного параметра, типу об'єкта).

До керуючого потоку належать:

- команди, що визначають вид виконуваної операції: запуск, читання даних, запис даних, калібрування, перевірка стану тощо;
- адреса команди, що служить для вибору блока, якому спрямована команда.

Також до керуючого потоку належать дані, що конкретизують параметри й умови виконання команди (режим роботи блока, номер програми, за якою працює блок, діапазон вимірювання тощо).

До сигналів супроводу належать сигнали, що забезпечують передачу однієї (прийнятої для обміну) кількісної одиниці даних – сигнали синхронізації обміну. Їхній конкретний набір залежить від способу та режиму обміну.

Під допоміжними розуміють такі сигнали: тактування, запити обслуговування блоків, контролю живлення та ін.

Інтерфейси також можна класифікувати за форматом передавання даних і функціональним призначенням. За форматом даних розрізняють паралельні, послідовні та паралельно-послідовні інтерфейси. За функціональним призначенням інтерфейси поділяють на такі класи:

- машинні (системні) інтерфейси;
- інтерфейси периферійного обладнання;
- інтерфейси багатопроцесорних систем;
- інтерфейси розподілених обчислювальних мереж.

2. ІНТЕРФЕЙСИ МІКРОПРОЦЕСОРНИХ СИСТЕМ

2.1. Послідовні шини на базі інтерфейсу I²C

2.1.1. Призначення та режими роботи інтерфейсу I²C

Інтерфейс послідовної шини I²C (Inter IC Bus – шина з'єднання мікросхем), введена фірмою Philips як простий і дешевий засіб сполучення мікросхем побутової електроніки, став фактичним промисловим стандартом для пристроїв різного призначення. Він дуже зручний для обміну невеликими об'ємами даних, наприклад для конфігурації різних пристроїв. Шина I²C широко застосовується для зв'язку між собою однокристальних мікроконтролерів, рідинно-кристалічних індикаторів, портів вводу-виводу, мікросхем пам'яті (особливо енергонезалежної), аналого-цифрових і цифроаналогових перетворювачів, ланцюгів цифрового настроювання, DTMF-кодерів і декодерів, годинників реального часу та ін. Специфікація шини I²C визначає протокол двосторонньої передачі даних по двох сигнальних лініях. Застосування цього протоколу можуть бути найрізноманітнішими, інформаційна «начинка» залежить від конкретних застосувань. На основі інтерфейсу I²C побудовані шини ACCESS.bus і SMBus.

I²C – синхронна послідовна шина, що забезпечує двосторонню передачу даних між підімкненими пристроями. Шина орієнтована на 8-бітні передачі. Передача даних може бути як одноадресною (до вибраного пристрою), так і багатоадресною. Рівні сигналів – стандартні, сумісні з широко поширеною логікою ТТЛ, КМОП, N-МОП як з традиційною напругою живлення 5 В, так і з низьковольтною (3,3 В і нижче). Мікросхеми з інтерфейсом I²C, як правило, мають апаратну підтримку протокольних функцій. Протокол дозволяє взаємодіяти на одній шині пристроям з різною швидкістю інтерфейсу. Вимоги до часових параметрів сигналів досить вільні, так що на комп'ютерах і мікроконтролерах, що не мають апаратної підтримки шини I²C, її протокол може бути реалізований навіть чисто програмно.

Залежно від швидкості передачі даних розрізняють такі режими роботи шини I²C:

- стандартний режим – Standard Mode (S) зі швидкістю до 100 Кбіт/с;
- швидкий режим – Fast Mode (F) зі швидкістю до 400 Кбіт/с;
- високошвидкісний режим – High speed (Hs), у якому швидкість передачі може досягати 3,4 Мбіт/с.

Для двох перших режимів роботи використовується узагальнене позначення F/S.

2.1.2. Обмін даними по шині I²C

Інтерфейс I²C використовує дві сигнальні лінії: даних SDA (Serial Data) і синхронізації SCL (Serial Clock). В обмінах даними беруть участь два пристрої – головний (master) і підпорядкований (slave). Головний та підпорядкований пристрої можуть виступати в ролі передавача і приймача даних (рис. 2.1). Протокол допускає наявність на шині декількох головних пристроїв і має простий механізм арбітражу (розв'язання колізій).



Рис. 2.1. Функціональна схема шини I²C

Протокол обміну даними для звичайних пристроїв F/S ілюструє рис. 2.2. Обидві сигнальні лінії мають навантажувальні резистори, що «підтягують» рівень напруги на лінії до напруги живлення. На пристрої до кожної лінії підімкнені приймач і передавач типу «відкритий колектор» («відкритий стік»). У підпорядкованому пристрої наявність передавача на лінії SCL не обов'язкова. Усі однойменні передавачі з'єднуються за схемою «Монтажне І»: рівень на лінії буде високим, якщо всі передавачі пасивні, і низьким, якщо хоч в одного передавача вихідний транзистор відкритий. У спокої (Idle – початковий стан шини) усі передавачі пасивні. Синхронізацію задає головний пристрій, але підпорядкований пристрій, якщо він не має достатньої швидкодії, може сповільнювати обмін даними.

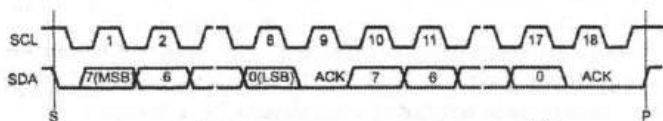


Рис. 2.2. Протокол передачі даних I²C

Початок будь-якої передачі (умова Start) ініціюється головним пристроєм, що переконався в тому, що шина вільна (високий рівень сигналів SCL і SDA). Умова Start (на діаграмах позначається як S) –

перехід сигналу SDA з високого рівня в низький при високому рівні SCL. Завершується операція переходом сигналу SDA з низького рівня у високий при високому рівні SCL (умова Stop, позначається як P), що також вводиться головним пристроєм. При передачі даних стан лінії SDA може змінюватися тільки при низькому рівні SCL, біти даних вважаються дійсними при високому рівні SCL. Головний пристрій може почати чергову передачу слідом за поточною, не вводячи умову Stop, так званий repeated Start (повторний старт, що позначається Sr). У протоколі умови S і Sr майже рівнозначні. Кожна посилка даних складається з 8 бітів даних, сформованих передавачем (старший біт (MSB) передається першим), після чого передавач на один такт звільняє лінію даних для одержання підтвердження. Приймач під час дев'ятого такту формує біт підтвердження ACK, за яким передавач переконується, що його «почули».

Після передачі біта підтвердження підпорядкований пристрій може затримати відправлення наступного пакета даних, утримуючи лінію SCL на низькому рівні. Підпорядкований пристрій у режимах F/S може сповільнити передачу по шині також на рівні прийому кожного біта, утримуючи SCL на низькому рівні після його спаду, сформованого передавачем. Тому головний пристрій повинен генерувати сигнал SCL не «наосліп», а аналізуючи стан лінії SCL: знявши цей сигнал, він має право вводити новий імпульс (відкриття ключа передавача), лише переконавшись, що сигнал SCL повернувся в пасивний стан (високий рівень). У протилежному випадку синхронізація буде втрачена. Сигнал SCL може також бути розтягнутий іншим пристроєм, що намагається захопити шину в цей же час. Тактовий сигнал SCL не обов'язково буде рівномірним: час його знаходження на низькому рівні буде визначатися максимальним часом, на який його захоче утримати найповільніший з пристроїв, що беруть участь у даному обміні; час знаходження на високому рівні буде визначатися найшвидшим з конфлікуючих головних пристроїв.

Колізія (конфлікт) на шині може виникнути, коли два (або більше) пристрої, переконавшись у спокої шини, одночасно (або майже одночасно) ініціюють обмін даними. Усі вони керують лініями SCL і SDA і спостерігають за ними. Якщо пристрій, що передає одиницю (високий рівень), у даному такті на лінії SDA бачить нуль (низький рівень), він повинен визнати свій програш у конфлікті та звільнити лінії SCL і SDA (при цьому йому дозволено керувати лінією SCL до кінця передачі поточного байта). Пристрій, який переміг у конфлікті, навіть не помітить конкурентів, що програли, і продовжить роботу. Арбітраж може закінчитися в будь-якому місці посилки, що формується головним пристроєм. Перекручування інформації, переданої пристроєм, що

переміг, не відбувається. Якщо головний пристрій, що має функції підпорядкованого пристрою, за визнанням програшу у конфлікті повинен перейти в режим підпорядкованого, оскільки конфлікт міг бути викликаний і спробою звертання до нього головного пристрою, який переміг.

Біт підтвердження ACK, що вводиться в кінці кожного байта пристроєм-приймачем, виконує кілька функцій. Коли передавачем є головний пристрій, приймач (підпорядкований пристрій) повинен вводити нульовий біт ACK, що свідчить про нормальне одержання чергового байта. Одиначний біт ACK (немає підтвердження) у відповідь на посилку адреси свідчить про відсутність адресованого підпорядкованого пристрою на шині або його зайнятість внутрішніми процесами. Не отримавши біта підтвердження, головний пристрій повинен сформувати умову Stop, щоб звільнити шину. Коли головний пристрій є приймачем, він має формувати нульовий біт ACK після кожного прийнятого байта, крім останнього. Одиначний біт ACK у цьому випадку є вказівкою підпорядкованому пристрою на закінчення передачі – він повинен звільнити лінії SDA і SCL для того, щоб головний пристрій зміг сформувати умову P або Sr.

2.1.3. Адресація в інтерфейсі I²C

На описаній фізичній основі будується протокол обміну даними по I²C. Кожний підпорядкований пристрій має свою адресу, унікальну на шині. На початку будь-якої передачі головний пристрій після умови S або Sr посилає адресу підпорядкованого пристрою або спеціальну адресу (табл. 2.1). Підпорядкований пристрій, що розпізнав свою адресу після умови Start, стає вибраним; він має обов'язково відповісти підтвердженням на адресу й наступні сигнали з боку головного пристрою, до одержання умови P або Sr. У першому варіанті інтерфейсу розрядність адреси пристрою становила 7 бітів, згодом був введений і режим 10-бітної адресації, сумісний з 7-бітною. На одній шині можуть бути присутні пристрої як з 7-бітною, так і 10-бітною адресацією.

При 7-бітній адресації в першому байті після умови S (Sr) головний пристрій передає 7 бітів адреси (A[6:0] у бітах [7:1]) і ознаку операції RW (у біті 0 RW=1 – читання, RW=0 – запис). Адреси підпорядкованих пристроїв не повинні потрапляти в області, зазначені в таблиці. Діапазони адрес пристроїв різних типів централізовано видаються виготовлювачам мікросхем фірмою Philips. Для мікросхем пам'яті, наприклад, 7-бітна адреса містить дві частини: старші 4 біти A[6:3] несуть інформацію про тип пристрою (наприклад, пам'ять EEPROM – 1010), а молодші 3 біти

A[2:0] визначають номер пристрою даного типу на шині. Мікросхеми з інтерфейсом I²C мають три адресних входи, комутацією яких на логічні рівні 1 і 0 задається номер пристрою, на який він «відгукнеться», а тип пристрою «защитий» у ньому самому його виготовлювачем.

Коли головний пристрій є передавачем даних, він у першому байті передає адресу підпорядкованого пристрою, при цьому RW=0. Вибраний підпорядкований пристрій відгукується підтвердженням (ACK=0), після чого головний пристрій посилає один або декілька байт даних, на кожний з яких підпорядкований пристрій повинен відповісти підтвердженням.

Коли головний пристрій є приймачем даних, він у першому байті передає адресу підпорядкованого пристрою з RW=1. Вибраний підпорядкований пристрій також відгукується підтвердженням (ACK=0), після чого відбувається зміна напрямку передачі й дані вже передає підпорядкований пристрій. Головний пристрій підтверджує кожний прийнятий байт, крім останнього.

Ці передачі можуть завершуватися умовою P, що вводиться головним пристроєм, після якого шину може захопити будь-який головний пристрій. Можливі також комбіновані передачі, коли головний пристрій після закінчення чергового обміну не віддає шину, а формує повторний старт (Sr), після чого звертається до того ж або іншого пристрою.

Таблиця 2.1

Спеціальні адреси I²C

Біти [7:1]	Біт 0 (RW)	Призначення
0000 000	0	General call address – адреса загального виклику
0000 000	1	Start – початок активного обміну
0000 001	X	Адреса пристрою шини CBUS (для сумісності)
0000 010	X	Адреса для пристроїв інших шин
0000 011	X	Зарезервовано
0000 1XX	X	Код головного пристрою режиму Hs
1111 1XX	X	Зарезервовано
1111 0XX	X	Ознака 10-бітної адресації

Спеціальні коди, наведені в табл. 2.1, трактуються в такий спосіб:

- Загальний виклик є багатоадресним, на нього повинні відповідати лише пристрої, що підтримують відповідні функції.

- Байт Start призначений для полегшення програмної реалізації протоколу I²C (для функцій підпорядкованих пристроїв, що не мають повної апаратної реалізації протоколу). На байт Start не повинен відповідати жодний пристрій. Сигнал SDA (рис. 2.3) може бути використаний як запит апаратного переривання, по якому процесор починає обробку сигналів I²C. До одержання цього байта процесор (мікроконтролер) може не відслідковувати сигнали інтерфейсу.

- На адреси шини CBUS (аналог шини I²C) і адреси інших шин пристрої I²C відповідати не повинні.

- При використанні 10-бітної адресації у бітах [2:1] записана старша частина адреси.

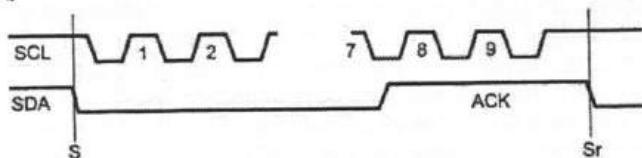


Рис. 2.3. Часова діаграма байта Start

Посилка загального виклику використовується для однієї з двох цілей, зумовлених другим байтом, молодший біт якого називається В. При В=0 пристрої, що прийняли загальний виклик, повинні зчитати частину своєї апаратної адреси, що програмується. При В=1 загальний виклик використовується для багатоадресної передачі даних. У цьому випадку головний пристрій у старших 7 бітах другого байта повідомляє свою адресу (ту ж, на яку він дає відгук у ролі підпорядкованого), а далі посилає необхідну кількість байтів даних, які він бажає донести до невідомого йому приймача. Приймач (як правило, це інтелектуальний пристрій) повинен відповідати підтвердженням на кожний прийнятий байт, починаючи з першого (загальний виклик), потім на адресу головного пристрою та наступні байти даних.

Багатоадресна передача може використовуватися, наприклад, апаратним контролером клавіатури, який не знає, на яку адресу посилати свої повідомлення, що виникають асинхронно. Замість цього можлива й інша схема: після увімкнення цей пристрій стає підпорядкованим приймачем, якому головний пристрій (системний контролер) повідомить адресу споживача інформації для подальших «взузькоспрямованих» передач, у яких цей пристрій буде вже головним.

Високошвидкісний режим (Hs) дозволяє обмінюватися даними зі швидкістю до 3,4 Мбіт/с, причому забезпечується зворотна сумісність пристроїв Hs зі швидкими F і стандартними S пристроями. Для забезпечення можливості обміну на такій високій швидкості вихідні та входні буфери мікросхем повинні перемикатися в спеціальний режим роботи, що відрізняється параметрами сформованих і прийнятих імпульсів. Сигнали високошвидкісних пристроїв позначаються як SDAH і SCLH; у змішаних системах для роботи в режимі Hs вони повинні відділятися від ліній SDA і SCL звичайних пристроїв спеціальними мостами (поведінка пристроїв F/S на таких частотах непередбачена). У режимі Hs уже не йдеться про розв'язання конфліктів – арбітраж виконується на швидкостях F/S; також тут немає можливості синхронізації по кожному біту (уповільнення передачі підпорядкованим пристроєм), а головним пристроєм встановлюються жорсткі співвідношення тривалості низького і високого рівнів сигналу SCLH (2:1). Підпорядкований пристрій може пригальмовувати обмін тільки після видачі бітів підтвердження. Для переходу в режим Hs головний пристрій у першому байті (після S) використовує зарезервоване значення 0000 1xxx, у якому xxx несе код головного пристрою. Під час передачі цього байта (на швидкостях F/S) виконується арбітраж – якщо обмін одночасно намагаються почати кілька пристроїв, продовжувати його може тільки головний пристрій, що переміг. Код головного пристрою у режимі Hs призначається при конфігуруванні, а всі головні пристрої на шині в режимі Hs повинні мати різні коди (код 000 зарезервований), чим і забезпечується завершення арбітражу протягом передачі першого байта. Головний пристрій може перемкнутися у режим Hs, тільки якщо він переміг у арбітражі й одержав одиничний біт підтвердження. У цьому випадку він перебудовує свої вихідні та входні буфери на параметри Hs і формує повторний старт (Sr). Далі обмін логічно виконується так само, як і в режимі F/S, але вже на високій швидкості. Режим Hs може поширюватися на кілька наступних передач, розділених умовами Sr, і завершиться робота у режимі Hs за умови P, за якою буферні схеми знову повернуться до параметрів F/S.

2.1.4. Особливості застосування і приклади реалізації шини I²C

Мікросхеми з шиною I²C у КМОП-виконанні є особливо привабливими для переносного устаткування та пристроїв з аварійним автономним живленням, особливо в сполученні з системами керування з низьким споживанням енергії, наприклад на базі мікроконтролерів фірми Microchip, тому що багато з них мають:

- надзвичайно низьке споживання електроенергії;
- високу завадостійкість;
- широкий діапазон напруги живлення;
- широкий робочий діапазон температури.

Для виробників мікросхем шина I²C приваблива тим, що:

- простий двопровідний послідовний інтерфейс мінімізує з'єднання, внаслідок чого зменшується кількість виводів;
- повністю інтегрований протокол шини I²C усуває потребу в дешифраторах адреси;
- можливість дистанційного контролю та налаштування через зовнішні з'єднання на комп'ютері складального конвеєра;
- можливість виконання в будь-якому типі корпусу – SO (small outline), VSO (very small outline), DIL (dual in line), що дозволяє зменшити масу й габарити.

Простота реалізації шини I²C ілюструється таким прикладом. На рис. 2.4 зображено два варіанти схеми реалізації шини I²C на базі послідовного й паралельного портів.

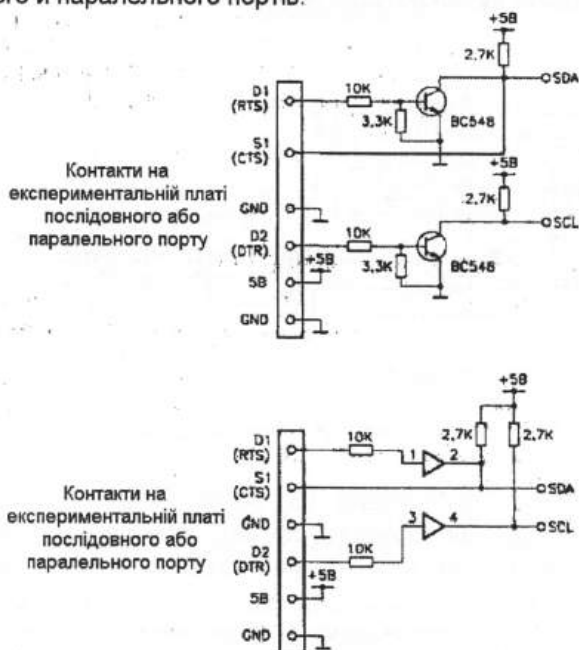


Рис. 2.4. Реалізація шини I²C на базі паралельного і послідовного портів

Дана схема працює за стандартом I²C, при цьому комп'ютер виступає як головний пристрій. Як формуючі пристрої можна використовувати або n-p-n транзистори з граничною частотою від 100 кГц (перший варіант), або повторювачі з відкритим колектором (другий варіант). Лінією SCL керують через контакт D2 на експериментальній платі паралельного порту (біт 1 реєстра даних). Лінією SDA керують через контакт D1 (біт 0 реєстра даних), а її стан зчитується комп'ютером через контакт S1 на експериментальній платі (біт 3 реєстра стану). У випадку реалізації шини на базі послідовного порту лініями SCL і SDA керують відповідно контакти DTR і RTS. Стан лінії SDA зчитується комп'ютером через контакт CTS.

При використанні інтерфейсу I²C може виникнути необхідність у його узгодженні з іншим інтерфейсом. На рис. 2.5 наведено схему перетворювача сигналів I²C у сигнали UART (Universal Asynchronous Receiver and Transmitter) – інтерфейсу, який широко використовується в інтелектуальній вимірвальній техніці.

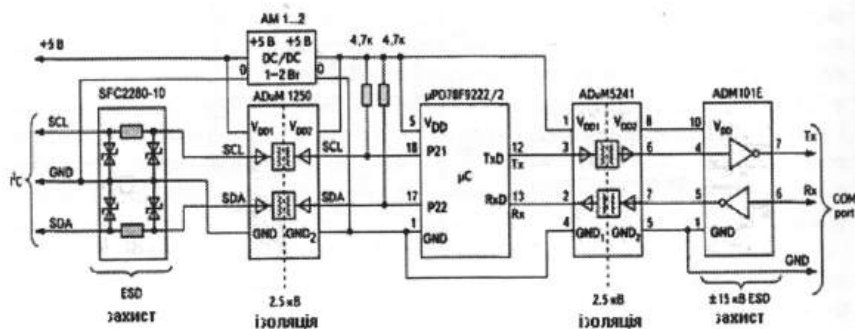


Рис. 2.5. Приклад реалізації перетворювача I²C – UART

Перетворювач побудовано на основі мікроконтролера фірми NEC µPD78F9222, що належить до сім'ї 78K0S/KA1+. Також схема містить елементи гальванічної розв'язки та захисту від високої напруги.

На рис. 2.6 зображено схему підімкнення I²C-пристрою (у цьому випадку – мікросхеми послідовної енергонезалежної пам'яті 24C16) до LPT-порту.

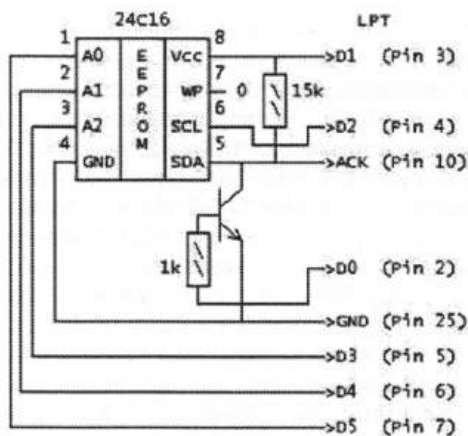


Рис. 2.6. Підімкнення I²C-пристрою до LPT-порту

2.2. Інтерфейс SPI

Інтерфейс SPI (*Serial Peripheral Interface*), він же *Microwire*, трипровідний синхронний з окремими лініями вхідних і вихідних даних, застосовується для зв'язку мікроконтролерів з периферійними мікросхемами та мікросхемами пам'яті. За його допомогою програмується багато мікросхем (наприклад FPGA фірми Altera), що застосовуються в різних вузлах персональних комп'ютерів і периферійного обладнання. Порівняно з I²C інтерфейс SPI забезпечує більш високу швидкість передачі даних. Частота синхронізації може досягати 5 МГц (залежно від пристроїв, що підмикаються); при цьому за кожний такт синхронізації одночасно може і передаватися, і прийматися черговий біт даних. В основному варіанті використання передбачається, що інтерфейс з'єднує один головний пристрій з одним або декількома підпорядкованими пристроями. Інтерфейс може застосовуватися також для обміну між кількома мікроконтролерами, допускаючи наявність на шині кількох головних пристроїв, однак протокол надання доступу не стандартизований. Нижче розглядається робота інтерфейсу з одним головним пристроєм.

В інтерфейсі використовуються три сигнальні лінії:

- SCK (*Serial Clock*) – лінія синхросигналу, за допомогою якого головний пристрій стробує кожний біт даних;
- MOSI (*Master Output Slave Input*) – лінія вихідних даних

- головного пристрою і вхідних даних підпорядкованого пристрою;
- MISO (*Master Input Slave Output*) – лінія вхідних даних головного пристрою і вихідних даних підпорядкованого пристрою.

Крім того, може використовуватися сигнал вибору підпорядкованого пристрою SS# (*Slave Select*, або CS# – *Chip Select*): підпорядкований пристрій має реагувати на сигнали інтерфейсу та генерувати вихідні дані на лінії MISO тільки при низькому рівні цього сигналу; при високому рівні вихід MISO повинен переводитися у високоімпедансний стан. За допомогою сигналів SS#, що формуються головним пристроєм окремо для кожного з підпорядкованих пристроїв, головний пристрій може вибирати для обміну даними один з підпорядкованих. При цьому має місце змішана радіально-магістральна топологія з'єднань: по сигналах SCK, MOSI і MISO – топологія магістральна, по сигналах SS# – радіальна (центр – головний пристрій).

Можливий ще й інший спосіб обміну головного пристрою з декількома підпорядкованими пристроями з чисто шинною топологією. У цьому випадку сигнал SS# для вибору пристроїв не використовується, але підпорядковані пристрої увесь час «слухають» шину, очікуючи спеціальної адресної послідовності на початку транзакції. Розпізнавши свою адресу, пристрій відпрацьовує подальші протокольні послідовності, і після цього йому дозволяється виводити дані на лінію MISO до кінця поточної транзакції. Однак цей варіант потребує досить складної логіки поведінки підпорядкованого пристрою.

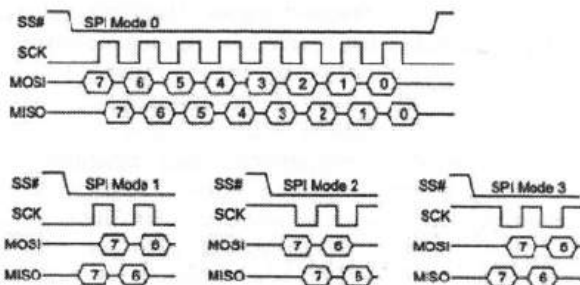


Рис. 2.7. Формати передачі даних по інтерфейсу SPI

Дані передаються, починаючи зі старшого біта. Пристрої різних виробників можуть використовувати один з кількох режимів обміну (SPI Mode 0 – SPI Mode 3), що відрізняються фазою і полярністю

синхросигналів. Рис. 2.7 ілюструє передачу й прийом байта в різних режимах. Слід зазначити, що в будь-якому режимі вхідні та вихідні дані стробуються за різними перепадами синхроімпульсів. Крім того, існує два варіанти використання сигналу SS#. У першому варіанті (його показано на рис. 2.7) для підпорядкованого пристрою ознакою початку транзакції є спад сигналу SS#, а ознакою завершення – його фронт. У другому варіанті початок транзакції визначається за першим фронтом (спадом) сигналу SCK, а сигнал SS# може мати низький рівень постійно. Другому варіанту іноді надають перевагу для найпростішого двоточкового інтерфейсу з єдиним головним і єдиним підпорядкованим пристроями, коли немає загрози втратити синхронізацію. Мікроконтролери з апаратним портом SPI, як правило, мають можливість програмного вибору режиму. Формати транзакції залежать від пристроїв, але загальна ідея така: головний пристрій по лінії MOSI посилає код операції й адресну інформацію для пристрою; потім передаються дані. В операції запису вони передаються головним пристроєм по тій же лінії, в операції читання пристрій посилає їх по лінії MISO. На час всієї транзакції головний пристрій зберігає активний стан лінії SS#, кількість необхідних синхроімпульсів залежить від формату команди.

2.3. Асинхронний послідовний порт UART

Розглянуті вище синхронні послідовні інтерфейси I²C і SPI дозволяють досягти більших швидкостей передачі даних, але провід, по якому передається синхросигнал, практично не несе інформації. Такий сигнал можна було б сформувати і на приймальному кінці лінії передачі за умови заздалегідь погодженої швидкості передачі. Єдина складність полягає у неможливості побудови двох абсолютно однакових генераторів. Для синхронізації внутрішніх генераторів використовується особлива умова початку асинхронної передачі – старт. Увесь час, поки не передається інформація, на лінії присутній стоп-сигнал одиничного рівня. Перед початком передачі кожного байта передається старт-біт, що сигналізує приймачу про початок послідовності даних, за яким ідуть інформаційні біти. Стартовий біт завжди передається нульовим рівнем з тривалістю, що дорівнює тривалості інформаційних бітів. У деяких випадках після передачі інформаційних бітів може передаватися біт паритету (парності). Завершується передача даних стоп-сигналом. Мінімальна тривалість стопового сигналу має бути у півтора раза більшою тривалості інформаційних бітів, але, як правило, використовується пауза між сусідніми пакетами

даних, що дорівнює подвійній тривалості інформаційного біта. Часову діаграму сигналів при асинхронній передачі наведено на рис. 2.8.

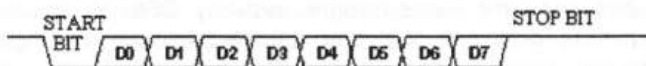


Рис. 2.8. Часова діаграма сигналів при асинхронній передачі

Тривалість стопового біта не обмежена, що дозволяє регулювати швидкість передачі залежно від швидкості надходження інформації. Асинхронні послідовні порти широко застосовуються в сучасній вимірально-інформаційній техніці.

2.4. Шина USB

2.4.1. Організація шини USB

USB (Universal Serial Bus – універсальна послідовна шина) є промисловим стандартом розширення архітектури ПК, що був спочатку орієнтованим на інтеграцію з телефонією і пристроями побутової електроніки. У версіях 1.0 і 1.1 шина забезпечувала дві швидкості передачі інформації: повна швидкість FS (full speed) – 12 Мбіт/с і низька швидкість LS (Low Speed) – 1,5 Мбіт/с. У версії 2.0 визначена також висока швидкість HS (High Speed) – 480 Мбіт/с, що дозволяє істотно розширити коло пристроїв, що підмикаються до шини. В одній і тій же системі можуть бути присутні та одночасно працювати пристрої з усіма трьома швидкостями. Шина з використанням проміжних хабів дозволяє з'єднувати пристрої, віддалені від комп'ютера на відстань до 25 м.

USB забезпечує обмін даними між хост-комп'ютером (головним пристроєм) і безліччю периферійних пристроїв (ПП). Відповідно до специфікації USB пристрої можуть бути хабами, функціями або їхньою комбінацією. Пристрій-хаб забезпечує додаткові точки підмікнення пристроїв до шини. Пристрій-функція надає системі додаткові функціональні можливості. Комбінований пристрій, що містить декілька функцій, подається як хаб з підмікненими до нього декількома пристроями. Роботою усієї системи USB керує хост-контролер, що є програмно-апаратною підсистемою хост-комп'ютера. Шина дозволяє підмикати, конфігурувати, використовувати і відмикати пристрої під час роботи хоста і самих пристроїв.

Шина USB є хост-центричною: єдиним головним пристроєм, що керує обміном, є хост-комп'ютер, а всі приєднані до неї периферійні

пристрої – винятково підпорядковані. На відміну від шин розширення (ISA, PCI, PC Card), де програма взаємодіє із пристроями за допомогою звертань за фізичними адресами комірок пам'яті та портів вводу-виводу, перериваннями і каналами DMA (прямого доступу до пам'яті). Взаємодія застосунків із пристроями USB виконується тільки через програмний інтерфейс. Цей інтерфейс, що забезпечує незалежність звертань до пристроїв, надається системним програмним забезпеченням контролера USB.

На рис. 2.9 зображено зовнішній вигляд і нумерацію контактів різних варіантів з'єднувачів USB, призначення виводів наведено в табл. 2.2.

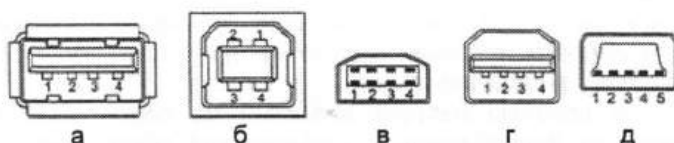


Рис. 2.9. Гнізда USB: а – типу А, б – типу В (стандартне), в, г, д – типу В (мініатюрні)

Таблиця 2.2

Призначення контактів з'єднувачів USB

Контакт (рис. 2.9, а – г)	Контакт (рис. 2.9, д)	Ланцюг
1	1	Vbus(+5 В)
2	2	D–
3	3	D+
4	5	GND

У шині USB використовується диференціальний спосіб передачі сигналів D+ і D– по двох проводах. Швидкість пристрою, підімкненого до конкретного порту, визначається хабом за рівнями сигналів на лініях D+ і D–, що зміщуються навантажувальними резисторами приймачів-передавачів: пристрої з низькою швидкістю «підтягують» до високого рівня лінію D–, а пристрої з повною швидкістю – D+. Підімкнення пристрою HS визначається на етапі обміну конфігураційною інформацією – фізично на якийсь час пристрій HS повинен підмикатися як FS. Передача по двох проводах у USB не обмежується диференціальними сигналами. Крім диференціального приймача, кожний пристрій має лінійні приймачі сигналів D+ і D–, а керування передавачами цих ліній здійснюється індивідуально. Це

дозволяє розрізнати більше двох станів лінії, що використовуються для організації апаратного інтерфейсу.

Введення високої швидкості (480 Мбіт/с) потребує ретельного узгодження приймачів-передавачів і лінії зв'язку. На цій швидкості може працювати тільки кабель з екранованою витю парою для сигнальних ліній. Для високої швидкості апаратура USB повинна мати додаткові спеціальні приймачі-передавачі. На відміну від формувачів потенціалу для режимів FS і LS передавачі HS є джерелами струму, орієнтованими на наявність резисторів-термінаторів на обох сигнальних лініях.

Хаб є ключовим елементом архітектури USB і виконує безліч функцій:

- забезпечує фізичне під'єднання пристроїв, формуючи та сприймаючи сигнали відповідно до специфікації шини на кожному зі своїх портів;
- керує подачею напруги живлення на порти нижчого рівня, причому передбачається установлення обмеження на струм, споживаний кожним портом;
- відслідковує стан під'єднаних до нього пристроїв, повідомляючи хосту про зміни у цьому стані;
- виявляє помилки на шині, виконує процедури відновлення й ізолює непрацездатні сегменти шини;
- забезпечує зв'язок сегментів шини, що працюють на різних швидкостях.

2.4.2. Передача даних по шині USB

Кожний пристрій на шині USB (їх може бути до 127) при під'єднанні автоматично одержує свою унікальну адресу. Логічно пристрій являє собою набір незалежних кінцевих точок, з якими хост-контролер (і клієнтське програмне забезпечення) обмінюється інформацією. Кожна кінцева точка має свій номер і описується такими параметрами:

- необхідна частота доступу до шини та припустимі затримки обслуговування;
- необхідна смуга пропускання каналу;
- вимоги щодо обробки помилок;
- максимальні розміри переданих і прийнятих пакетів;
- тип передачі;
- напрямок передачі (для передач масивів і синхронного обміну).

Усі обміни (транзакції) із пристроями USB складаються із двох-трьох пакетів. Кожна транзакція планується і починається з ініціативи

контролера, що посилає пакет-маркер. Він описує тип і напрямок передачі, адресу пристрою USB і номер кінцевої точки. У кожній транзакції можливий обмін тільки між пристроєм, що адресується (його кінцевою точкою), і хостом. Пристрій, що адресується маркером, розпізнає свою адресу і готується до обміну. Джерело даних (визначене маркером) передає пакет даних (або повідомлення про відсутність даних, призначених для передачі). Після успішного прийому пакета приймач даних посилає пакет квітуння. Послідовність пакетів у транзакціях ілюструє рис. 2.10.

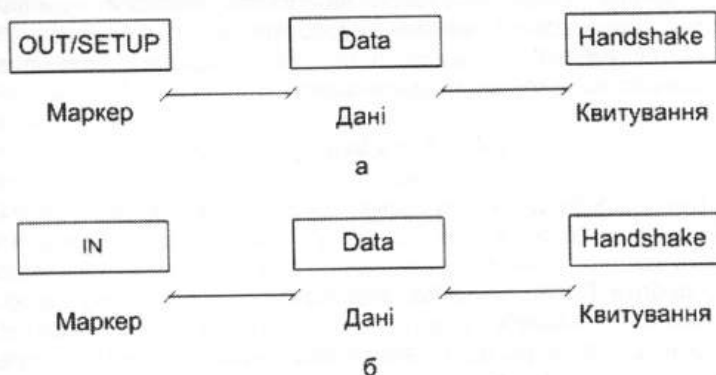


Рис. 2.10. Послідовності пакетів під час вводу (а) і виводу (б) даних

Хост-контролер організовує обміни з пристроями відповідно до свого плану розподілу ресурсів. Контролер циклічно (з періодом 1 мс) формує кадри, у які вкладаються всі заплановані транзакції (рис. 2.11).

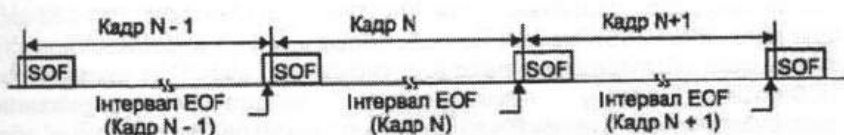


Рис. 2.11. Потік кадрів USB

Кожний кадр починається з посилки маркера SOF (Start Of Frame), що є синхронізуючим сигналом для всіх пристроїв, включаючи хаби. У кінці кожного кадру виділяється інтервал часу EOF (End Of Frame), протягом якого хаби забороняють передачу в напрямку до

контролера. У режимі HS пакети SOF передаються на початку кожного мікрокадру (період 125 мкс). Хост планує завантаження кадрів так, щоб у них завжди було місце для транзакцій керування й переривань. Вільний час у кадрах може заповнюватися передачами масивів. У кожному (мікро)кадрі може бути виконано декілька транзакцій, їх припустима кількість залежить від довжини поля даних кожної з них.

Для виявлення помилок передачі кожний пакет має контрольні поля CRC-кодів, що дозволяють виявляти всі одиночні та подвійні бітові помилки. Апаратні засоби виявляють помилки передачі, а контролер автоматично здійснює трикратну спробу передачі. Якщо повтори безуспішні, повідомлення про помилку передається клієнтському програмному забезпеченню.

2.4.3. Типи передач даних

Архітектура USB допускає чотири базових типи передачі даних.

1. Керуючі посилки використовуються для конфігурування пристроїв під час їхнього підімкнення і для керування пристроями в процесі роботи. Протокол забезпечує гарантовану доставку даних.

2. Передачі масивів даних – це передачі без яких-небудь зобов'язань щодо затримки доставки та швидкості передачі. Передачі масивів можуть займати всю смугу пропускання шини, вільну від передач інших типів. Пріоритет цих передач найнижчий, вони можуть припинятися при великому завантаженні шини. Доставка гарантована, тому що при випадковій помилці виконується повтор. Передачі масивів мають місце під час обміну даними із принтерами, сканерами, пристроями зберігання тощо.

3. Переривання – короткі передачі, які мають спонтанний характер і повинні обслуговуватися не повільніше, ніж того потребує пристрій. Межа часу обслуговування встановлюється в діапазоні 10...255 мс для низької і 1...255 мс для повної швидкостей, на високій швидкості межа часу обслуговування може досягати 125 мкс. При випадкових помилках обміну виконується повтор. Переривання використовуються, наприклад, при вводі символів з клавіатури або для передачі повідомлення про пересування миші.

4. Синхронні передачі – безперервні передачі в реальному часі, що займають попередньо погоджену частину пропускну здатності шини з гарантованим часом затримки доставки. Дозволяється на повній швидкості організувати канал зі смугою 1,023 Мбайт/с (або два по 0,5 Мбайт/с), зайнявши 70% доступної смуги (залишок можна

заповнити і менш ємними каналами). На високій швидкості кінцева точка може одержати канал до 24 Мбайт/с (192 Мбіт/с). У випадку виявлення помилки синхронні дані не повторюються – недійсні пакети ігноруються. Синхронні передачі застосовуються при роботі з потоковими пристроями: відеокамерами, цифровими аудіопристроями (колонки USB, мікрофон), пристроями відтворення й запису аудіо- і відеоданих (CD і DVD). Відеопотік (без компресії) шина USB здатна передавати тільки на високій швидкості.

Смуга пропускання шини ділиться між усіма встановленими каналами. Виділена смуга закріплюється за каналом, і, якщо встановлення нового каналу потребує такої смуги, що не вписується у вже існуючий розподіл, запит на виділення каналу відкидається.

Архітектура USB передбачає внутрішню буферизацію усіх пристроїв, причому, чим більшої смуги пропускання потребує пристрій, тим більше повинен бути його буфер. Шина USB має забезпечувати обмін з такою швидкістю, щоб затримка даних у пристрої, викликана буферизацією, не перевищувала декількох мілісекунд.

2.5. Шина IEEE 1394 – FireWire

2.5.1. Організація шини FireWire

Стандарт для високопродуктивної послідовної шини (High Performance Serial Bus), що одержав офіційну назву IEEE 1394 і оснований на шині FireWire, було прийнято з метою створення шини, що не поступається швидкістю паралельним шинам при істотному здешевленні та підвищенні зручності підімкнення (за рахунок переходу на послідовний інтерфейс). Стандарт 1394 визначає три можливі частоти передачі сигналів по кабелях: 100, 200 і 400 Мбіт/с. Частоти в стандарті позначаються як S100, S200 і S400 відповідно. У новій версії стандарту IEEE 1394b введені ще більші частоти передачі: 800, 1600 і 3200 Мбіт/с. Основні властивості шини FireWire перелічені нижче.

1. Багатофункціональність. Шина забезпечує цифровий зв'язок до 63 пристроїв без застосування додаткової апаратури (хабів). Пристрої побутової електроніки – цифрові камкордери (записуючі відеокамери), камери для відеоконференцій, фотокамери, приймачі кабельного та супутникового телебачення, цифрові відеоплеєри (CD і DVD), акустичні системи, цифрові музичні інструменти, а також периферійні пристрої комп'ютерів (принтери, сканери, пристрої дискової пам'яті) і

самі комп'ютери можуть поєднуватися в єдину мережу.

2. Висока швидкість обміну та синхронні передачі. Шина дозволяє навіть на початковому рівні (S100) передавати одночасно два канали відео (30 кадрів у секунду) широкомовної якості та стерео-аудіосигнал з якістю CD.

3. Низька ціна компонентів і кабелю.

4. Легкість встановлення та використання. Шина FireWire дозволяє здійснювати динамічне («гаряче») підімкнення й відімкнення пристроїв, які розпізнаються й конфігуруються автоматично. Живлення від шини (струм до 1,5 А) дозволяє підімкненим пристроям обмінюватися даними з системою навіть при відімкненні їхнього живлення. Керувати шиною та іншими пристроями можуть не тільки ПК, але й інші «інтелектуальні» пристрої, зокрема, засоби вимірювальної техніки.

Кабельна мережа 1394 збирається за простими правилами – усі пристрої з'єднуються один з одним кабелями за будь-якою топологією. Кожний «повнорозмірний» пристрій (вузол мережі) звичайно має три рівноправних з'єднувачі. Деякі малогабаритні пристрої можуть мати тільки один з'єднувач, що обмежує можливі варіанти місця їхнього розташування. Стандарт допускає також до 27 з'єднувачів на одному пристрої, що буде відігравати роль кабельного концентратора. Допускається безліч варіантів підімкнення пристроїв, але з такими обмеженнями:

- між будь-якою парою вузлів може бути не більше 16 кабельних сегментів;
- довжина сегмента стандартного кабелю не повинна перевищувати 4,5 м;
- сумарна довжина кабелю не має перевищувати 72 м (застосування більш якісного кабелю дозволяє послабити вплив цього обмеження);
- топологія не повинна мати петель, хоча в наступних ревізіях передбачається автоматичне виключення петель в «патологічних» конфігураціях.

Стандартний кабель 1394 містить шість проводів, укладених у загальний екран, і має однотипні шестиконтактні з'єднувачі на кінцях (рис. 2.12, а). Дві виті пари використовуються для передачі сигналів (TPA і TPB) роздільно для приймача й передавача, два проводи задіяні для живлення пристроїв (напруга 8...40 В, струм до 1,5 А). У стандарті передбачена гальванічна розв'язка пристроїв, для чого використовуються трансформатори (напруга ізоляції розв'язки до

500 В) або конденсатори (у дешевих пристроях з напругою розв'язки до 60 В відносно загального проводу). Деякі пристрої мають тільки один чотириконтактний з'єднувач меншого розміру (рис. 2.12, б), у якому реалізовані тільки сигнальні ланцюги. Ці пристрої підмикаються до шини через спеціальний перехідний кабель тільки як кінцеві (хоча можливо застосування спеціальних адаптерів). У кабелях FireWire сигнальні пари з'єднуються перехресно (табл. 2.3), оскільки всі порти рівнозначні.

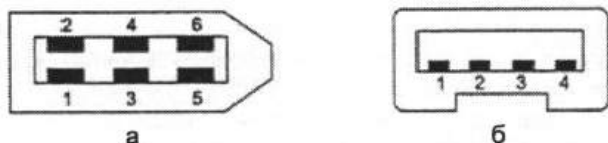


Рис. 2.12. З'єднувачі FireWire: а –шестиконтактне гніздо, б – чотириконтактне гніздо

Таблиця 2.3

З'єднувальні кабелі FireWire

З'єднувач А			Провід	З'єднувач Б		
4-кон- тактний	6-кон- тактний	Ланцюг		Ланцюг	6-кон- тактний	4-кон- тактний
–	1	Power	Білий	Power	1	–
–	2	GND	Чорний	GND	2	–
1	3	TPB–	Червоний	TPA–	5	3
2	4	TPB+	Зелений	TPA+	6	4
3	5	TPA–	Помаранчевий	TPB–	3	1
4	6	TPA+	Синій	TPB+	4	2
Екран	Екран	Екран	Екран	Екран	Екран	Екран

2.5.2. Протокол IEEE 1394

Протокол IEEE 1394 реалізується на трьох рівнях (рис. 2.13).

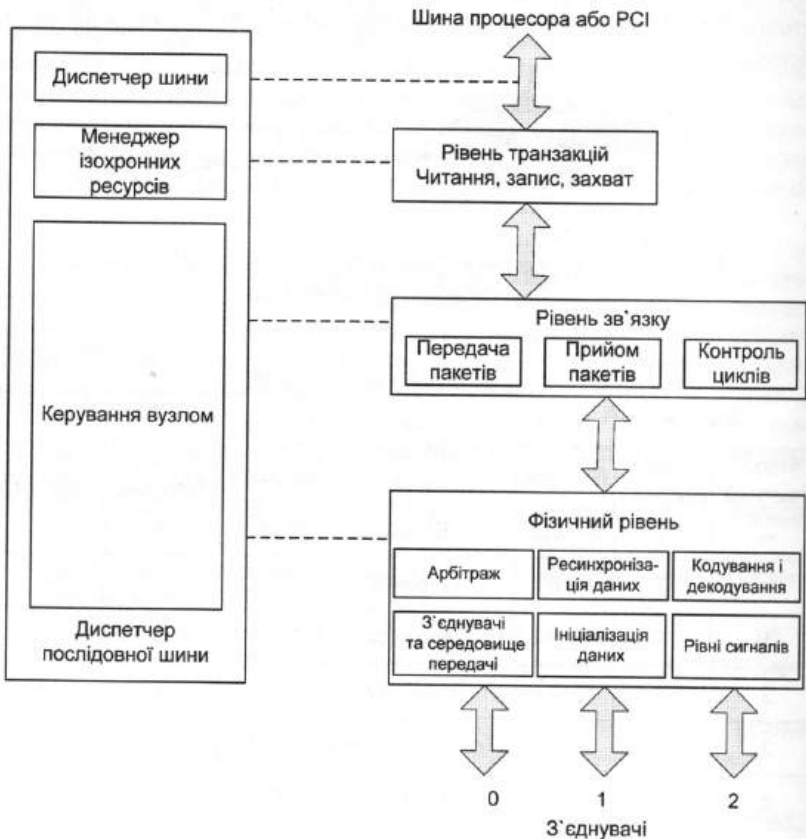


Рис. 2.13. Тривінева структура FireWire

- Рівень транзакцій перетворює пакети в дані, що надаються застосункам, і навпаки. Він реалізує протокол запитів-відповідей, що відповідає стандарту архітектури регістрів керування й стану CSR (Control and Status Register) для мікрокомп'ютерних шин

(читання, запис, блокування). Це полегшує зв'язок шини 1394 зі стандартними паралельними шинами.

- Рівень зв'язку з даних фізичного рівня формує пакети й виконує зворотні перетворення. Він забезпечує обмін вузлів датаграмами з підтвердженнями. Рівень відповідає за передачу пакетів і керування синхронними передачами.
- Фізичний рівень виробляє і приймає сигнали шини. Він забезпечує ініціалізацію й арбітраж за припущення, що в будь-який момент часу працює тільки один передавач. Рівень передає потоки даних і рівні сигналів послідовної шини більш високому рівню. Між цими рівнями можлива гальванічна розв'язка, при якій мікросхеми фізичного рівня живляться від шини. Гальванічна розв'язка необхідна для запобігання виникненню паразитних контурів загального проводу, які можуть з'явитися через проводи захисного заземлення блоків живлення.

Апаратна частина FireWire звичайно складається з двох спеціалізованих мікросхем – трансиверів фізичного рівня PHY Transceiver і моста зв'язку з шиною LINK Chip. Мікросхеми рівня зв'язку виконують усі функції свого рівня й частину функцій рівня транзакцій; інша частина функцій рівня транзакцій виконується програмно.

Для передачі асинхронних повідомлень використовується 64-бітна адресація регістрів пристроїв стандарту 1394. В адресі виділяється 16 бітів для адресації вузлів мережі: шестибітне поле ідентифікатора вузла допускає до 63 пристроїв у кожній шині; десятибітне поле ідентифікатора шини допускає використання в системі до 1023 шин різного типу (включаючи внутрішні), з'єднаних мостами. Протокол шини дозволяє звертатися до пам'яті (регістрів) пристроїв у режимі DMA (прямого доступу до пам'яті). В адресному просторі кожного пристрою є конфігураційні регістри, у яких утримується вся інформація, необхідна для взаємодії з ним інших пристроїв. Дані передаються пакетами, на початку кожного пакета передаються біти стану арбітражу. Пристрій може передавати дані тільки після успішного проходження арбітражу. Існує два основних типи передач даних – синхронний, заради якого й будувалася шина, і асинхронний. Синхронні передачі забезпечують гарантовану смугу пропускання та час затримки, асинхронні передачі – гарантовану доставку.

Асинхронні повідомлення передаються між двома пристроями. Ініціатор надсилає запит необхідному пристрою, на який він відразу (через короткий інтервал часу, упродовж якого шина перебуває у спокої) відповідає підтвердженням прийому, позитивним (ACK) або

негативним (NACK), якщо виявлено помилку даних. Змістова відповідь на запит (якщо потрібно) буде передана в зворотному напрямку аналогічним способом (одержувач має послати підтвердження). Якщо підтвердження ACK не отримане, передачі будуть повторюватися кілька разів до досягнення успіху або фіксації помилки.

Синхронні передачі ведуться широкорядно. У мережі може бути організовано до 64 синхронних каналів, і кожний пакет синхронної передачі, крім власне даних, несе номер каналу. Цілісність даних контролюється CRC-кодом. Синхронні передачі всіх каналів «чують» усі пристрої шини, але з усіх пакетів приймають тільки дані каналів, які їх цікавлять. Пристрій-джерело синхронних даних на етапі конфігурування одержує номер і параметри виділеного йому каналу.

2.5.3. Особливості застосування шини IEEE 1394

Принциповою перевагою шини 1394 є відсутність необхідності в контролері. Будь-який передавальний пристрій може одержати смугу синхронного трафіку й починати передачу за сигналом автономного або дистанційного керування. За наявності контролера відповідне програмне забезпечення може керувати роботою різних пристроїв. В області вимірювальної техніки для шини 1394 найбільш приваблива можливість з'єднання інтелектуальних ЗВТ у мережу, причому як з використанням ПК, так і без його використання. При цьому стандартні однотипні кабелі та з'єднувачі інтерфейсу 1394 замінюють безліч різномірних з'єднань ЗВТ з ПК. Різномірні цифрові сигнали мультиплекуються в одну шину. Застосування комп'ютера з адаптером інтерфейсу 1394 і відповідного програмного забезпечення значно розширює можливості такої мережі. Адаптер FireWire, наприклад АНА-8940 фірми Adaptec, може встановлюватися в будь-який ПК, що має вільний слот PCI.

3. СИСТЕМНІ ІНТЕРФЕЙСИ ПЕРСОНАЛЬНИХ І ПРОМИСЛОВИХ КОМП'ЮТЕРІВ ДЛЯ ПІДІМКНЕННЯ ВИМІРЮВАЛЬНИХ МОДУЛІВ

3.1. Шини розширення ISA, EISA і PC/104

3.1.1. Організація шин ISA, EISA і PC/104

Шини розширення є засобами підімкнення системного рівня, що дозволяють адаптерам і контролерам безпосередньо використовувати системні ресурси ПК: простори пам'яті та вводу-виводу, переривання, канали прямого доступу до пам'яті. Пристрої, підімкнені до шин розширення, можуть і самі управляти цими шинами, одержуючи доступ до інших ресурсів комп'ютера (звичайно до комірок пам'яті). Таке пряме керування дозволяє розвантажувати центральний процесор і домагатися високих швидкостей обміну даними. Шини розширення механічно реалізуються у вигляді слотів (щілинних з'єднувачів) або штиркових з'єднувачів; для них характерна мала довжина провідників, що дозволяє досягати високих частот роботи. Ці шини можуть і не виводитися на з'єднувачі, але використовуватися для підімкнення пристроїв в інтегрованих системних платах.

ISA Bus (Industry Standard Architecture) – шина розширення, що застосовувалася ще в перших моделях ПК і стала промисловим стандартом. У комп'ютерах сім'ї XT використовувалася шина з розрядністю даних 8 бітів і адреси – 20 бітів (ISA-8). У комп'ютерах AT вона була розширена до 16 бітів даних і 24 бітів адреси (ISA-16). Конструктивно (рис. 3.1) шина виконана у вигляді двох щілинних з'єднувачів з інтервалом виводів 2,54 мм (0,1 дюйма). В ISA-8 використовується тільки 62-контактний слот (ряди А, В), в ISA-16 – додатковий 36-контактний слот (ряди С, D). Шина PC/104, розроблена для вбудовуваних контролерів на базі ПК, відрізняється від звичайної ISA тільки конструктивно. У шині EISA – 32-розрядному розширенні ISA – використовується «двоповерховий» слот, що дозволяє встановлювати і звичайні карти ISA.

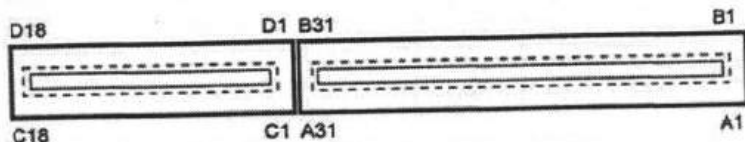


Рис. 3.1. Слот ISA

Призначення контактів слотів шин ISA і EISA наведено в табл. 3.1 і 3.2.

Таблиця 3.1
Основний з'єднувач шин
ISA-8, ISA-16 і EISA

Ряд В	№ ^п / _п	Ряд А
GND	1	IOCHK#
Reset	2	SD7
+5 В	3	SD6
IRQ2/9	4	SD5
-5 В	5	SD4
DRQ2	6	SD3
-12 В	7	SD2
OWS#	8	SD1
+12 В	9	SD0
GND	10	IOCHDRY
SMEMW#	11	AEN
SMEMR#	12	SA19
IOWR#	13	SA18
IORD#	14	SA17
DACK3#	15	SA16
DRQ3	16	SA15
DACK1#	17	SA14
DRQ1	18	SA13
REFRESH*	19	SA12
BCLK	20	SA11
IR07	21	SA10
IRQ6	22	SA9
IRQ5	23	SA8
IRQ4	24	SA7
IRQ3	25	SA6
DACK2*	26	SA5
TC	27	SA4
BALE	28	SA3
+5 В	29	SA2
Osc	30	SA1
GND	31	SA0

Таблиця 3.2
Додатковий з'єднувач
шин ISA-16 і EISA

Ряд D	№ ^п / _п	Ряд С
MEMCS16#	1	SBHE#
IOCS16#	2	LA23
IRQ10	3	LA22
IRQ11	4	LA21
IRQ12	5	LA20
IRQ15	6	LA19
IRQ14	7	LA18
DACK0#	8	LA17
DRQ0	9	MEMR#
DACK5*	10	MEMW#
DRQ5	11	SD8
DACK6#	12	SD9
DRQ6	13	SD10
DACK7#	14	SD11
DRQ7	15	SD12
+5 В	16	SD13
MASTER*	17	SD14
GND	18	SD15

Сигнали шини ISA-8 можна розділити на такі групи:

1. Сигнали, що забезпечують програмне звертання до комірок пам'яті та простору вводу-виводу:

- SD[7:0] – шина даних.
- SA[19:0] – шина адреси.
- AEN – дозвіл адресації портів (забороняє помилкове дешифрування адреси в циклі DMA (прямий доступ до пам'яті)).
- IOW# (IOWC#, IOWR#) – запис у порт.
- IOR# (IORC#, IORD#) – читання порту.
- SMEMW# (SMEMWR#, SMWTC#) – запис у системну пам'ять (у діапазоні адрес 0 – FFFFFh).
- SMEMR# (SMEMRD#, SMRDC#) – читання системної пам'яті (у діапазоні адрес 0 – FFFFFh).

2. Сигнали, що відносяться до запитів переривання та каналів прямого доступу до пам'яті:

- IRQ2/9, IRQ[3:7] – запити переривань. Позитивний перепад сигналу викликає запит апаратного переривання. Для ідентифікації джерела високий рівень повинен зберігатися до підтвердження переривання процесором, що робить важчим розподіл (спільне використання) переривань. Лінія IRQ2/9 у шинах XT викликає апаратне переривання з номером 2, а в AT – з номером 9.
- DRQ[1:3] – запити восьмибітних каналів DMA (позитивним перепадом).
- DACK[1:3]# – підтвердження запитів 8-бітних каналів DMA.
- TC - ознака завершення роботи лічильника циклів DMA.

3. Службові сигнали синхронізації, скидання й регенерації пам'яті, установлені на адаптерах.

- IOCHRDY (CHRDY, IOCHRDY) – готовність пристрою, низький рівень подовжує поточний цикл (не більше 15 мкс).
- BALE (ALE) – дозвіл фіксації адреси. Після його спаду в кожному циклі процесора лінії SA[0:19] гарантовано містять дійсну адресу.
- REFRESH* (REF#) – цикл регенерації пам'яті (у XT називається DACK0#). Сигнал з'являється кожні 15 мкс, при цьому шина адреси вказує на черговий регенований рядок пам'яті.
- IOCHK# – контроль каналу, низький рівень викликає NMI CPU (дозвіл та індикація в системних портах 061h, 062h).
- RESET (RESDRV, RESETDRV) – сигнал апаратного скидання (активний рівень - високий).

- BCLK (CLK) – синхронізація шини з частотою близько 8 МГц. Периферійні пристрої можуть не використовувати цей сигнал, працюючи тільки за керуючими сигналами запису та читання.
- OSC – несинхронізована з шиною частота 14,431818 МГц (використовувалася старими дисплейними адаптерами).

Крім того шина ISA-8 має контакти для розведення живлення +5, -5, +12 і -12 В.

Додатковий з'єднувач, що розширює шину до 16-бітної, містить:

1. Лінії даних, адреси, запитів переривань і каналів прямого доступу до пам'яті:

- SD[15:8] – шина даних.
- SBHE# – ознака наявності даних на лініях SD[15:8].
- LA[23:17] – нефіксовані сигнали адреси, що потребують фіксації за спадом сигналу BALE. Такий спосіб подачі адреси дозволяє скоротити затримку. Крім того, схеми дешифратора адреси пам'яті плат розширення починають декодування трохи раніше спаду BALE.
- IRQ[10:12], IRQ[14:15] – додаткові запити переривань.
- DRQ[5:7] – запити 16-бітних каналів DMA (позитивним перепадом).
- DACK[5:7]# – підтвердження запитів 16-бітних каналів DMA.
- DRQ0 і DACK0# – запит і підтвердження 8-бітного каналу DMA, що звільнився від регенерації пам'яті.

2. Сигнали, пов'язані з перемиканням розрядності даних:

- MEMCS16* (M16#) – адресований пристрій підтримує 16-бітні звертання до пам'яті.
- IOCS16* (IOCS16#, IO16#) – адресований пристрій підтримує 16-бітні звертання до портів.

3. Керуючі сигнали:

- MEMW# (MWTCS#) – запис у пам'ять у будь-якій області до 16 Мбайт інформації.
- MEMR# (MRDC#) – читання пам'яті в будь-якій області до 16 Мбайт інформації.
- OWS# (SRDY#, NOWS#, ENDXFR) – скорочення поточного циклу з ініціативи адресованого пристрою.
- MASTER# (MASTER16#) – запит від пристрою, що використовує 16-бітний канал DMA на керування шиною. При одержанні підтвердження DACK [5:7] пристрій може «захопити» шину.

У шині EISA на додаткових контактах слотів (недоступних картам ISA) розташовуються розширення шин даних і адреси до

32 бітів, а також набір сигналів, що забезпечують передачу даних у синхронному режимі з можливістю пакетних циклів.

3.1.2. Передача даних по шині ISA

Для передачі даних від виконавця до задавача призначені цикли читання комірки пам'яті або порту вводу-виводу, для передачі даних від задавача до виконавця - цикли запису комірки пам'яті або порту вводу-виводу. У кожному циклі поточний (на час даного циклу) задавач формує адресу звертання та керуючі сигнали, а в циклах запису ще й дані на шині. Адресований пристрій-виконавець відповідно до отриманих керуючих сигналів приймає (у циклі запису) або формує (у циклі читання) дані. Також він може (при необхідності) управляти тривалістю циклу та розрядністю передачі. Узагальнені часові діаграми циклів читання або запису пам'яті або вводу-виводу наведено на рис. 3.2.

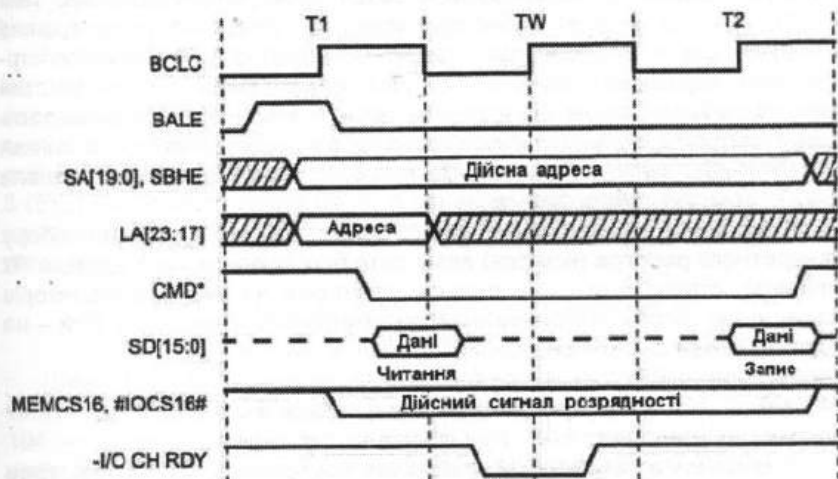


Рис. 3.2. Часові діаграми циклів читання або запису на шині ISA

Умовний сигнал CMD* на рис. 3.2 зображує один з таких сигналів:

- SMEMR#, MEMR# – у циклі читання пам'яті;
- SMEMW#, MEMW# – у циклі запису пам'яті;
- IOR# – у циклі читання порту вводу-виводу;
- IOW# – у циклі запису порту вводу-виводу.

У кожному з розглянутих циклів активними (з низьким рівнем) можуть бути сигнали лише з одного рядка даного списку, і під час усього циклу сигнал AEN має низький рівень. Сигнали SMEMR# і SMEMV# виробляються із сигналів MEMR# і MEMW# відповідно, коли адреса належить діапазону 0-FFFFFh. Тому сигнали SMEMR# і SMEMV# затримані відносно MEMR# і MEMW# на 5...10 нс.

На початку кожного циклу контролер шини встановлює адреси звертання: на лініях SA[19:0] і SBHE# дійсна адреса зберігається на час усього поточного циклу; на лініях LA[23:17] адреса дійсна тільки на початку циклу, тому потрібна її фіксація. Кожний пристрій має дешифратор адреси – комбінаційну схему, що спрацьовує тільки тоді, коли на шині з'являється адреса, що відноситься до даного пристрою. У фазі адресації ще не визначено, до якого з просторів (пам'яті або вводу-виводу) відноситься виставлена адреса. Але дешифратори адрес уже спрацьовують, і коли в наступній фазі шина керування повідомляє тип операції, адресований пристрій готовий до її виконання. Якщо пристрій використовує лінії LA[23:17] (вони потрібні лише для звертань до пам'яті вище границі FFFFh), то вони на дешифратор адреси повинні проходити через регістр-фіксатор, «прозорий» під час дії сигналу BALE і такий, що фіксує стан виходів за його спадом. Це дозволяє дешифратору, що завжди вносить деяку затримку, починати роботу раніше, ніж надійде керуючий сигнал читання або запису. При звертанні до портів вводу-виводу сигнали LA[23:17] не використовуються.

Якщо пристрій має більше одного регістра (комірки), то для вибору конкретного регістра (комірки) йому потрібно декілька ліній адреси. Як правило, старші біти шини адреси надходять на вхід дешифраторів адреси, що формують сигнали вибірки пристроїв, а молодші біти – на адресні входи самих пристроїв.

3.1.3. Організація переривань у шині ISA

У шині ISA є лінії запитів апаратних переривань, що можуть бути маскованими і немаскованими. Лінії запитів маскованих переривань IRQ2 – IRQ7 надходять на входи первинного контролера переривань, IRQ9 – IRQ15 – на входи вторинного. Контакт B4 (IRQ2/9) виробляв запит IRQ2 тільки в машинах PX/XT. На всіх сучасних машинах (класу AT) він відповідає за запит IRQ9, хоча на багатьох адаптерах (всіх 8-бітних) він позначається як IRQ2. Пріоритети запитів зменшуються в порядку IRQ9 – IRQ15 і далі – IRQ3 – IRQ7. Запити від конкретних ліній можуть бути замасковані записом у реєстри контролера, загальна заборона/дозвіл здійснюється маніпулюванням прапором

дозволу переривань процесора. Пристрій може використовувати одну або декілька ліній запиту переривання. На лінії запиту, що використовується, пристрій у спокої має формувати низький рівень сигналу, а при виникненні умови переривання встановлювати на ньому високий рівень запиту. Лінії, що не використовуються, повинні бути електрично відімкнені від шини або ж їхні вихідні формувачі мають переводитися в третій стан. Перехід з низького рівня у високий є сигналом для контролера переривань на формування запиту переривання до процесора. Пристрій має утримувати високий рівень запиту доти, поки до нього не звернется програма-оброблювач переривання, що буде означати не тільки виявлення, але й правильну ідентифікацію джерела запиту переривання. Якщо запит зняти передчасно, ідентифікація буде некоректною.

Спосіб подачі сигналу переривання, прийнятий в ISA (чутливість до рівня, причому до високого), має меншу перешкодозахищеність, ніж спрацьовування за негативним перепадом, що призводить до неможливості спільного використання ліній запитів.

Лінія IOCHK# дозволяє викликати немасковане переривання (NMI), на яке процесор реагує незалежно від будь-яких прапорів. Це переривання прийнято використовувати для повідомлення про серйозні помилки, що потребує реакції системи, а не для регулярної роботи. Виклик NMI від даної лінії дозволяється установленням біту 3 (EIC) системного порту 061h, а ознакою того, що переривання NMI викликане сигналом IOCHK#, є одиничне значення біту 6 (IOCHK) того ж порту.

3.1.4. Особливості шини PC/104

Шина PC/104, призначена для побудови порівняно нескладних контролерів, що вбудовуються, логічно еквівалентна ISA. У її назві 104 – кількість контактів конектора, на який виводяться сигнали шини ISA. Від ISA шина PC/104 відрізняється тільки типом конектора і навантажувальними характеристиками ліній: оскільки довжина ліній значно скорочена, сигнальні ланцюги можуть бути слабкострумовими. Формувачі сигналів MEMCS16#, IOCS16#, MASTER# і OWS# повинні забезпечувати струм до 20 мА, для інших сигналів достатньо 4 мА.

Плата комп'ютера з шиною PC/104 має з'єднувачі-розетки. Плата розширення має вилку PC/104, що вставляється в плату контролера. Крім вилки на платі розширення може знаходитися і розетка PC/104 (конектор двосторонній), завдяки чому можна зібрати стопку з декількох плат (рис. 3.3, а). Для запобігання неправильного з'єднання

в розетках у позиціях B10 і C19 немає ні контактів, ні отворів; у вилок у цих позиціях штир відсутній. Якщо плат більше трьох, то зверху стопки встановлюють термінатор. Слід зазначити особливості конекторів (рис. 3.3, б): J1 – конектор шини ISA-8, J2 – його розширення до ISA-16.

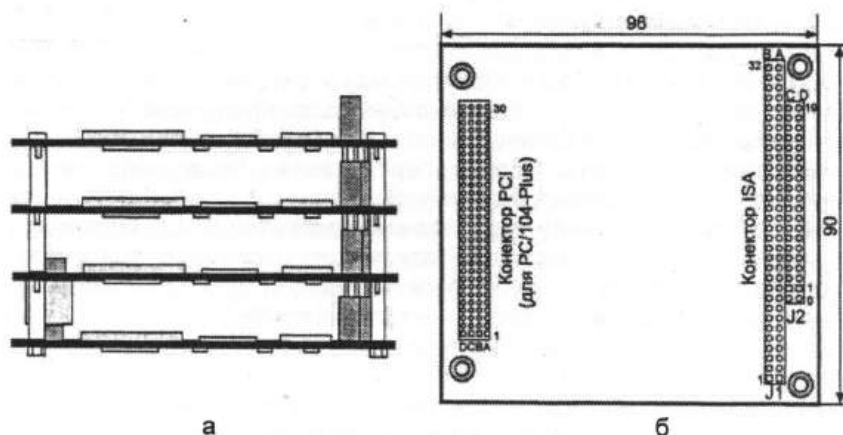


Рис. 3.3. Комп'ютер з шиною PC/104: а – стопка плат, б – розташування системних конекторів

3.2. Шина PCI

3.2.1. Основні характеристики шини PCI

PCI (Peripheral Component Interconnect) local bus – шина з'єднання периферійних компонентів є основною шиною розширення сучасних комп'ютерів. Спочатку шина PCI вводилася як прибудова (mezzanine bus) до систем з основною шиною ISA, ставши пізніше центральною шиною: вона з'єднується із системною шиною процесора за допомогою високопродуктивного моста, що входить до складу чипсета системної плати.

Шина є синхронною – фіксація усіх сигналів виконується за позитивним перепадом (фронтом) сигналу CLK. Номінальною частотою синхронізації вважається 33 МГц, при необхідності частота може бути знижена. Починаючи з версії PCI 2.1 допускається підвищення частоти до 66 МГц за умови підтримки цієї частоти усіма пристроями на шині.

Номинальна розрядність шини даних – 32 біти, специфікація визначає також розширення розрядності до 64 біт. При частоті шини 33 МГц теоретична пропускна здатність досягає 132 Мбайт/с для 32-бітної шини і 264 Мбайт/с для 64-бітної; при частоті синхронізації 66 МГц – 264 і 528 Мбайт/с відповідно. Однак ці пікові значення досягаються лише під час передачі пакету, а через протокольні витрати часу реальна середня сумарна (для всіх задатчиків) пропускна здатність шини виявляється нижчою.

Для роботи на шині PCI використовуються мікросхеми КМОП (CMOS), причому є дві специфікації: з напругами живлення інтерфейсних схем 5 і 3,3 В. Для них мають місце параметри сигналів на постійному струмі, наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3
Параметри інтерфейсних сигналів на постійному струмі

Параметр	5 В	3,3 В
Вхідна напруга низького рівня, В	$-0,5 < U_{IL} < 0,8$	$-0,5 < U_{IL} < 0,3 \times U_{CC}$
Вхідна напруга високого рівня, В	$2 < U_{IH} < U_{CC} + 0,5$	$V_{CC}/2 < U_{IH} < U_{CC} + 0,5$
Вихідна напруга низького рівня, В	$U_{OL} < 0,55$	$U_{OL} < 0,1 U_{CC}$
Вихідна напруга високого рівня, В	$U_{OH} > 0,8$	$U_{OH} > 0,9 U_{CC}$
Напруга живлення, В	$4,75 < U_{CC} < 5,25$	$3,3 < U_{CC} < 3,6$

3.2.2. Адресація пристроїв PCI

Для шини PCI прийнята ієрархія понять адресації: шина, пристрій, функція. Ці поняття фігурують тільки при звертанні до регістрів конфігураційного простору, до яких звертаються на етапі конфігурування – переобліку виявлених пристроїв, виділення їм окремих ресурсів (областей пам'яті та простору вводу-виводу) і призначення номерів апаратних переривань. При подальшій регулярній роботі пристрої будуть відповідати на звертання за призначеними їм адресами пам'яті та вводу-виводу. Ці адреси приймаються з шини AD на початку кожної транзакції. Для доступу до конфігураційного простору використовуються окремі лінії IDSEL.

Пристроєм PCI називається мікросхема або карта розширення, яка підімкнена до однієї із шин PCI та використовує для ідентифікації

виділену їй лінію IDSEL, що належить цій шині. Пристрій може бути багатофункціональним, тобто складатися з кількох (від 1 до 8) так званих функцій. Кожній функції виділяється конфігураційний простір розміром 256 байтів. Багатофункціональні пристрої повинні відгукуватися тільки на конфігураційні цикли з номерами функцій, для яких існує конфігураційний простір. При цьому функція з номером 0 є обов'язковою, номери інших функцій призначаються розробником пристрою довільно (у діапазоні 1 – 7). Прості (однофункціональні) пристрої залежно від реалізації можуть відгукуватись або на будь-який номер функції, або тільки на номер функції 0.

Шина PCI – набір сигнальних ліній, що безпосередньо з'єднують інтерфейсні виводи групи пристроїв (слотів, мікросхем на системній платі). У системі можуть бути присутніми кілька шин PCI, з'єднаних мостами. Мости електрично відокремлюють інтерфейсні сигнали однієї шини від іншої, з'єднуючи їх логічно; головний міст з'єднує головну шину з ядром системи (процесором і пам'яттю). Кожна шина має свій номер (PCI bus number). Шини нумеруються послідовно; головна шина має нульовий номер.

У контексті конфігурування мінімальною одиницею цієї ієрархії, що адресується, є функція; її повна адреса складається з трьох частин: номера шини, номера пристрою і номера функції. Коротка форма ідентифікації вигляду PCI0:1:2 (наприклад у повідомленнях ОС Unix) означає функцію 2 пристрою 1, підімкненого до головної (0) шини PCI.

У шині PCI прийнята географічна адресація – номер пристрою визначається місцем його підімкнення. Номер пристрою (device number або dev) зумовлюється тією лінією шини AD, до якої підімкнено лінію сигналу IDSEL даного слоту. У сусідніх слотах PCI, як правило, задіюються сусідні номери пристроїв; їхня нумерація визначається розроблювачем системної плати (або пасивної крос-плати в промислових комп'ютерах). Часто для слотів використовуються номери пристроїв, що зменшуються, починаючи з 20. Групи сусідніх слотів можуть підмкнутися до різних шин; на кожній шині PCI нумерація пристроїв незалежна (можуть існувати пристрої, у яких номери dev збігаються, а номери шин різні). Пристрої PCI, інтегровані в системну плату, використовують ту ж систему адресації. Їхні номери «запаяні намертво», у той час як адреси карт розширення можна змінювати перестановкою їх у різні слоти.

Одна карта PCI може містити тільки один пристрій шини, до якої вона підмкнається, оскільки їй у слоті виділяється тільки одна лінія IDSEL. Якщо на карті розміщують кілька пристроїв (наприклад, 4-портова карта Ethernet), то на ній доводиться встановлювати міст –

також пристрій PCI, до якого й звертаються по лінії IDSEL, виділеній даній карті. Цей міст організовує на карті додаткову шину PCI, до якої можна підімкнути декілька пристроїв.

У контексті звертання до просторів пам'яті та вводу-виводу, географічна адреса (номер шини й пристрою) не має значення (не беручи до уваги різницю в продуктивності, пов'язану з підімкненням пристроїв до різних шин PCI). Однак номер пристрою визначає номер лінії запиту переривання, якою може користуватися пристрій. Можливість розвести їх по різних лініях переривання може з'явитися лише тоді, коли вони перебувають на різних шинах (це залежить від системної плати).

3.2.3. Протокол шини PCI

У кожній транзакції (обміну по шині) беруть участь два пристрої – ініціатор (initiator) обміну, він же головний (master) пристрій, і цільовий (target) пристрій (ЦП), він же підпорядкований (slave). Шина PCI всі транзакції трактує як пакетні: кожна транзакція починається фазою адреси, за якою може йти одна або декілька фаз даних. Склад і призначення інтерфейсних сигналів шини наведено в табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Сигнали шини PCI

Сигнал	Призначення
AD[31:0]	Address/Data – мультиплексована шина адреси/даних. На початку транзакції передається адреса, у наступних тактах – дані
C/BE[3:0]#	Command/Byte Enable – команда/дозвіл звертання до байтів. Команда визначає тип чергового циклу шини, задається чотирибітним кодом у фазі адреси
FRAME#	Кадр. Введенням сигналу позначається початок транзакції (фаза адреси), зняття сигналу вказує на те, що наступний цикл передачі даних є останнім у транзакції
DEVSEL#	Device Select – пристрій обраний (відповідь ЦП на адресовану до нього транзакцію)
IRDY#	Initiator Ready – готовність головного пристрою до обміну даними
TRDY#	Target Ready – готовність ЦП до обміну даними

Продовження табл. 3.4

Сигнал	Призначення
STOP*	Запит ЦП до головного пристрою на зупинку поточної транзакції
LOCK#	Сигнал захвату шини для забезпечення цілісного виконання операції. Використовується мостом, якому для виконання однієї операції потрібно виконати кілька транзакцій PCI
REQ#	Request – запит від головного пристрою на захват шини
GNT#	Grant – надання головному пристрою керування шиною
PAR	Parity – загальний біт паритету для ліній AD[31:0] і C/BE[3:0]#
PERR#	Parity Error – сигнал про помилку паритету (для всіх циклів, крім спеціальних). Генерується будь-яким пристроєм, що виявив помилку
PME#	Power Management Event – сигнал про події, що викликають зміну режиму живлення (додатковий сигнал, введений в PCI 2.2)
CLKRUN#	Clock running – шина працює на номінальній частоті синхронізації. Зняття сигналу означає сповільнення або зупинку синхронізації з метою зниження живлення (для мобільних застосувань)
PRSNT[1,2]#	Present – індикатори присутності плати, що кодують запит споживаної потужності. На карті розширення одна або дві лінії індикаторів з'єднуються з шиною GND, що сприймається системою платою
RST#	Reset – скидання всіх регістрів у початковий стан
IDSEL	Initialization Device Select – вибір пристрою у циклах конфігураційного зчитування й запису
SERR#	System Error – системна помилка. Помилка паритету адреси даних у спеціальному циклі або іншій критичній помилці, виявлена пристроєм. Активується будь-яким пристроєм PCI і викликає NMI

Продовження табл. 3.4

Сигнал	Призначення
REQ64#	Request 64 bit – запит на 64-бітний обмін. Сигнал вводиться 64-бітним ініціатором, у часі він збігається з сигналом FRAME#. Під час закінчення скидання (сигналом RST#) ініціатор сигналізує 64-бітному пристрою про те, що він підімкнений до 64-бітної шини. Якщо 64-бітний пристрій не виявить цього сигналу, він повинен переконфігуруватися на 32-бітний режим, відімкнувши буферні схеми старших байтів
ACK64#	Підтвердження 64-бітного обміну. Сигнал вводиться 64-бітним ЦП, що розпізнав свою адресу, одночасно з сигналом DEVSEL#. Відсутність цього підтвердження змусить ініціатор виконувати обмін з 32-бітною розрядністю
INTA#, INTB#, INTC#, INTD#	Interrupt A, B, C, D – лінії запитів переривання, чутливість до рівня, активний рівень є низьким, що допускає розподіл (спільне використання) ліній
CLK	Clock – тактова частота шини. Повинна лежати в межах 20...33 МГц, у PCI 2.1 – до 66 МГц
M66EN	66MHz Enable – дозвіл підвищення частоти синхронізації до 66 МГц
SDONE	Snoop Done – сигнал завершення циклу стеження для поточної транзакції. Низький рівень вказує на незавершеність циклу стеження за когерентністю пам'яті та кешу. Необов'язковий сигнал, використовується тільки пристроями шини з пам'яттю, що може бути кешована
SBO#	Snoop Backoff – попадання поточного звертання до пам'яті абонента шини в модифікований рядок кеша. Необов'язковий сигнал, використовується тільки абонентами шини з пам'яттю, що може бути кешована, при алгоритмі зворотного запису

Сигнал	Призначення
TCLK	Test Clock – синхронізація тестового інтерфейсу JTAG
TDI	Test Data Input – вхідні дані тестового інтерфейсу JTAG
TDO	Test Data Output – вихідні дані тестового інтерфейсу JTAG
TMS	Test Mode Select – вибір режиму для тестового інтерфейсу JTAG
TRST	Test Logic Reset – скидання тестової логіки

У кожний момент часу шиною може керувати тільки один головний пристрій, що одержав на це право від арбітра. Кожний головний пристрій має пари сигналів – REQ# для запиту на керування шиною і GNT# для підтвердження дозволу керування шиною. Пристрій може починати транзакцію (встановлювати сигнал FRAME#) тільки при активному отриманому сигналі GNT#. Зняття сигналу GNT# не дозволяє пристрою почати наступну транзакцію, а за певних умов змушує припинити почату транзакцію. Арбітражем запитів на використання шини займається спеціальний вузол-арбітр, що входить у чипсет системної плати. Схема пріоритетів (фіксований, циклічний, комбінований) визначається програмуванням арбітра.

Для адреси й даних використовуються загальні мультиплексовані лінії AD. Чотири мультиплексовані лінії C/BE[3:0] забезпечують кодування команд у фазі адреси і дозволу байтів у фазі даних. На початку транзакції головний пристрій активізує сигнал FRAME#, по шині AD передає цільову адресу, а по лініях C/BE# – інформацію про тип транзакції (команди). Адресований ЦП відгукується сигналом DEVSEL#. Головний пристрій вказує на свою готовність до обміну даними сигналом IRDY#, ця готовність може бути виставлена і раніше одержання сигналу DEVSEL#. Коли ЦП готовий до обміну даними, він встановлює сигнал TRDY#. Дані по шині AD передаються тільки при одночасній наявності сигналів IRDY# і TRDY#. За допомогою цих сигналів головний пристрій і ЦП узгоджують свої швидкості, вводячи такти очікування. На рис. 3.4 показано часову діаграму обміну, у якій і головний пристрій, і ЦП вводять такти очікування. Якби вони обидва ввели сигнали готовності у кінці фази адреси і не знімали їх до кінця обміну, то в кожному такті після фази адреси передавалися б по

32 біти даних, що забезпечило б вихід на граничну продуктивність обміну.

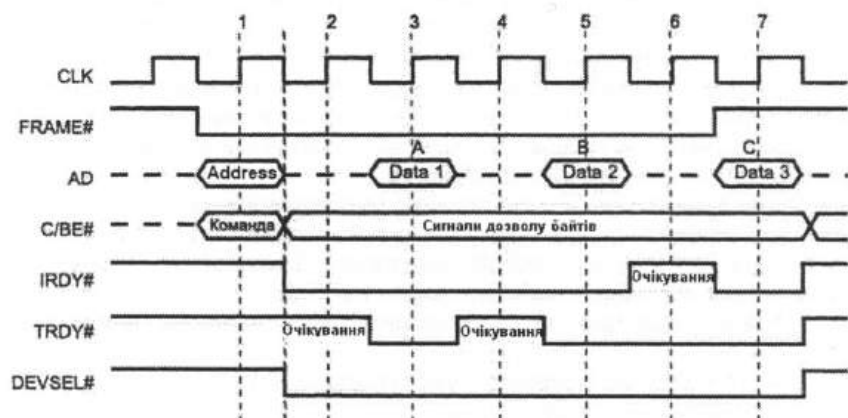


Рис. 3.4. Цикл обміну по шині PCI

Кількість фаз даних у пакеті явно не вказується, але перед останньою фазою даних головний пристрій при введеному сигналі IRDY# знімає сигнал FRAME#. В одиночних транзакціях сигнал FRAME# активний лише один такт. Якщо пристрій не підтримує пакетні транзакції у підпорядкованому режимі, то він повинен вимагати припинення пакетної транзакції під час першої фази даних (ввівши сигнал STOP# одночасно з TRDY#). У відповідь на це головний пристрій завершить дану транзакцію і продовжить обмін наступною транзакцією з новим значенням адреси. Після останньої фази даних головний пристрій знімає сигнал IRDY#, і шина переходить у стан спокою (PCIIdle) – обидва сигнали FRAME# і IRDY# перебувають у пасивному стані. Ініціатор може почати наступну транзакцію і без такту спокою, увівши FRAME# одночасно зі зняттям IRDY#. Такі швидкі суміжні транзакції (Fast Back-to-Back) можуть бути звернені як до одного, так і до різних ЦП. Перший тип підтримується всіма пристроями PCI, що виступають у ролі ЦП. На підтримку другого типу (вона необов'язкова) вказує біт 7 регістра стану.

Протокол квітуння забезпечує надійність обміну – головний пристрій завжди одержує інформацію про відпрацьовування транзакції ЦП. Засобами підвищення надійності (вірогідності) є застосування контролю паритету: лінії AD[31:0] і C/BE[3:0]# і у фазі

адреси, і у фазі даних захищені бітом паритету PAR (кількість одиничних бітів цих ліній, включаючи PAR, має бути парною). Дійсне значення PAR з'являється на шині із затримкою в один такт відносно ліній AD і C/BE#. При виявленні помилки ЦП генерується сигнал PERR# (зі зсувом на такт після визначення дійсності біту паритету). При підрахунку паритету під час передачі даних враховуються всі байти, включаючи й недійсні (позначені високим рівнем сигналу C/Vex#). Стан бітів навіть і в недійсних байтах даних під час фази даних повинен залишатися стабільним.

Кожна транзакція на шині повинна бути завершена планово або її має бути припинено. При цьому шина повинна перейти в стан спокою (сигнали FRAME# і IRDY# пасивні). Завершення транзакції виконується або з ініціативи головного пристрою, або з ініціативи ЦП.

Головний пристрій може завершити транзакцію одним з таких способів:

- Нормальне завершення (Completion) виконується по закінченні обміну даними.
- Завершення по тайм-ауту (Time-out) відбувається, коли під час транзакції у головного пристрою забирають право на керування шиною (зняттям сигналу GNT#) і минає час, зазначений в його таймері Latency Timer. Це може трапитися, якщо адресований ЦП виявився непередбачено повільним або заплановано занадто довгу транзакцію. Короткі транзакції (з однією-двома фазами даних) навіть у випадку зняття сигналу GNT# і спрацьовування таймера завершуються нормально.
- Транзакція відкидається (Master-Abort), коли протягом заданого часу головний пристрій не одержує відповіді ЦП (DEVSEL#).

Транзакція може бути припинена з ініціативи ЦП; для цього він може ввести сигнал STOP#. Можливі три типи припинення:

- Повтор (Retry) – сигнал STOP# вводиться при пасивному сигналі TRDY# до першої фази даних. Ця ситуація виникає, коли ЦП через внутрішню зайнятість не встигає видати перші дані в належний термін (16 тактів). Повтор є вказівкою головному пристрою на необхідність нового запуску тієї ж транзакції.
- Відімкнення (Disconnect) – сигнал STOP# вводиться під час першої фази даних (або після неї). Якщо сигнал STOP# введений за активного стану сигналу TRDY# чергової фази даних, то ці дані передаються і на тому транзакція

завершується. Якщо сигнал STOP# введений за пасивного стану TRDY#, то транзакція завершується без передачі даних чергової фази. Відімкнення здійснюється, коли ЦП незручно вчасно видати або прийняти чергову порцію даних пакета.

- Відмова (Target-Abort) – сигнал STOP# вводиться одночасно зі зняттям сигналу DEVSEL# (у попередніх випадках під час появи сигналу STOP# сигнал DEVSEL# був активним). Після цього дані вже не передаються. Відмова вводиться тоді, коли ЦП виявляє фатальну помилку або інші умови, за якими він уже ніяк не зможе обслужити даний запит.

Використання трьох типів припинення зовсім не обов'язкове для всіх ЦП, однак будь-який головний пристрій має бути готовим до завершення транзакції з кожної із цих причин.

3.2.4. Організація переривань у шині PCI

У PC-сумісних комп'ютерах переривання від пристроїв PCI обслуговуються за допомогою традиційного зв'язку пари контролерів 8259A, розташованих на системній платі, до яких звертається команда «підтвердження переривання». Пристрій PCI вводить сигнал переривання низьким рівнем (виходом з відкритим колектором або стоком) на вибрану лінію INTA#, INTB#, INTC# або INTD#. Цей сигнал повинен утримуватися доти, поки програмний драйвер, викликаний за перериванням, не скине запит переривання, звернувшись по шині до даного пристрою. Якщо після цього контролер переривань знову виявляє низький рівень на лінії запиту, це означає, що запит на ту ж лінію ввів інший пристрій, що розділює дану лінію з першим пристроєм, і він теж потребує обслуговування.

Лінії запитів від слотів PCI і PCI-пристроїв системної плати комутуються на входи контролерів переривань відносно вільно. Конфігураційне ПО може визначити й вказати зайняті лінії запитів і номер входу контролера переривань звертанням до конфігураційного простору пристрою. Програмний драйвер, прочитавши конфігураційні регістри, теж може визначити ці параметри для того, щоб установити оброблювач переривань на потрібний вектор і при обслуговуванні скидати запит з необхідної лінії.

Кожна функція пристрою PCI може задіяти свою лінію запиту переривання, але він має бути готовим до її розподілу (спільного використання) з іншими пристроями. Якщо пристрою потрібна тільки одна лінія запиту, то він повинен займати лінію INTA#, якщо дві –

INTA# і INTB#, і так далі. З урахуванням циклічного зсуву ліній запиту це правило дозволяє встановити в чотирьох сусідніх слотах чотири прості пристрої, і кожен з них буде займати окрему лінію запиту переривання. Якщо якійсь карті потрібні дві лінії, то для монопольного використання переривань необхідно залишити сусідній слот вільним. PCI-пристрої системної плати також задіюють переривання з такою ж закономірністю.

Драйвер (або інше ПЗ), що працює із пристроєм PCI, визначає вектор переривання, отриманий пристроєм (точніше, функцією), зчитуванням конфігураційного регістру Interrupt Line. У цьому регістрі вказується номер входу контролера переривання (255 – номер не призначений) і за ним визначається вектор переривання. Номер входу для кожного пристрою визначає тест POST. Для цього він зчитує регістр Interrupt Pin кожної виявленої функції і за адресою пристрою визначає, яка з ліній (PC1_1 – PC1_4) використовується.

На шині PCI є й інший механізм оповіщення про асинхронні події, який базується на передачі повідомлень (PCI Message-Based Interrupts). Для сигналізації запиту переривання пристрій потребує керування шиною й, одержавши його, виконує запис номера переривання за заздалегідь визначеною адресою.

4. ІНТЕРФЕЙСИ ДЛЯ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ НА БАЗІ ПК

4.1. Паралельний інтерфейс – LPT-порт

Порт паралельного інтерфейсу було введено у ПК для під'єднання принтера, звідки й виникла його назва LPT-порт (Line PrinTer – порядковий принтер). Традиційний (він же стандартний) LPT-порт (так званий SPP-порт) орієнтований на вивід даних, хоча з деякими обмеженнями дозволяє також вводити дані. Існують різні модифікації LPT-порту – двоспрямований, EPP, ECP та інші, що розширюють його функціональні можливості, підвищують продуктивність і зменшують навантаження на процесор. Спочатку вони були фірмовими рішеннями окремих виробників, пізніше був прийнятий стандарт IEEE 1284.

Із зовнішньої сторони порт має восьмибітну шину даних, п'ятибітну шину сигналів стану й чотирибітну шину керуючих сигналів, які виведені на з'єднувач-розетку DB-25F. У LPT-порті використовуються логічні рівні TTL, що обмежує припустиму довжину кабелю через невисоку перешкодозахищеність TTL-інтерфейсу. Гальванічна розв'язка відсутня – схемна земля пристрою, що підмикається, з'єднується зі схемною землею комп'ютера.

Традиційний (стандартний) LPT-порт називається стандартним паралельним портом (Standard Parallel Port, SPP), або SPP-портом і є односпрямованим портом, через який програмно реалізується протокол обміну Centronics. Назва й призначення сигналів з'єднувачів порту (табл. 4.1) відповідають інтерфейсу Centronics. У табл. 4.1 перед назвою сигналу зазначений символ n, якщо активним є низький рівень сигналу (наприклад nError). Апаратна інверсія означає, що сигнал інвертований апаратно в контролері паралельного порту.

Таблиця 4.1
Призначення виводів з'єднувачів стандартного LPT-порту

Номер виводу	Сигнал SPP	Напрямок вхід/вихід	Регістр	Апаратна інверсія
1	nStrobe	Вхід/вихід	Керування	Так
2	Дані 0	Вихід	Дані	Ні
3	Дані 1	Вихід	Дані	Ні
4	Дані 2	Вихід	Дані	Ні
5	Дані 3	Вихід	Дані	Ні
6	Дані 4	Вихід	Дані	Ні

Закінчення табл. 4.1

Номер виводу	Сигнал SPP	Напрямок вхід/вихід	Регістр	Апаратна інверсія
7	Дані 5	Вихід	Дані	Ні
8	Дані 6	Вихід	Дані	Ні
9	Дані 7	Вихід	Дані	Ні
10	nAck	Вхід	Стан	Ні
11	Busy	Вхід	Стан	Так
12	Paper-Out/ Paper-End	Вхід	Стан	Ні
13	Select	Вхід	Стан	Ні
14	nAuto- Linefeed	Вхід/вихід	Керування	Так
15	nError/nFault	Вхід	Стан	Ні
16	nInitialize	Вхід/вихід	Керування	Ні
17	nSelect-Printer / nSelect-In	Вхід/вихід	Керування	Так
18 – 25	Земля	Gnd	-	-

Адаптер SPP-порту містить три восьмибітних регістри, розташованих по сусідніх адресах у просторі вводу-виводу.

Data Register (DR) – регістр даних. Дані, записані в цей регістр, виводяться на вихідні лінії Data[7:0].

Status Register (SR) – регістр стану (тільки читання). Регістр відображає 5-бітний порт вводу сигналів стану підімкненого пристрою.

Control Register (CR) – регістр керування, допускає запис і читання. Регістр пов'язаний з чотирибітним портом виводу керуючих сигналів (біти 0 – 3).

Схемотехніка вихідних буферів даних LPT-портів відрізняється більшою різноманітністю. На багатьох моделях адаптерів SPP-порт даних можна використовувати і для організації вводу. Якщо в порт даних записати байт із одиницями у всіх розрядах, а на вихідні лінії інтерфейсу через мікросхеми з виходом типу «відкритий колектор» подати будь-який код (або з'єднати ключами якісь лінії зі схемною землею), то цей код може бути зчитаний з того ж регістра даних.

Стандарт IEEE 1284 визначає такі режими обміну даними через паралельний порт:

- Режим сумісності (Compatibility Mode) – односпрямований (вивід) за протоколом Centronics. Цей режим відповідає SPP-порту.
- Напівбайтний режим (Nibble Mode) – введення байта у два цикли (по 4 біти), використовуючи для прийому лінії стану. Цей

режим обміну підходить для будь-яких адаптерів, оскільки задіює тільки можливості стандартного порту.

- Байтний режим (Byte Mode) – введення байта повністю, використовуючи для прийому лінії даних. Цей режим працює тільки на портах, що допускають читання вихідних даних (Bi-Directional або PS/2 Type 1).
- Режим EPP (EPP Mode) – двоспрямований обмін даними (EPP – Enhanced Parallel Port). Керуючі сигнали інтерфейсу генеруються апаратно під час циклу звертання до порту. Ефективний при роботі із пристроями зовнішньої пам'яті й адаптерами локальних мереж.
- Режим ECP (ECP Mode) – двоспрямований обмін даними з можливістю апаратної компресії даних за методом RLE (Run Length Encoding) і використання FIFO-буферів і DMA (ECP – Extended Capability Port). Керуючі сигнали інтерфейсу генеруються апаратно. Ефективний для принтерів і сканерів (тут може використовуватися компресія) та різних пристроїв блокового обміну.

4.2. Послідовний інтерфейс – COM-порт

4.2.1. Інтерфейс RS-232C

Універсальний зовнішній послідовний інтерфейс – COM-порт (Communications Port – комунікаційний порт) присутній у ПК починаючи з перших моделей і забезпечує асинхронний обмін за стандартом RS-232C. COM-порти реалізуються на мікросхемах універсальних асинхронних приймачів-передавачів (UART), сумісних із сім'єю i8250/i6450/i6550. Характерною рисою інтерфейсу є застосування двополярних сигналів. Гальванічна розв'язка відсутня – схемна земля пристрою, що підмикається, з'єднується зі схемною землею комп'ютера. Швидкість передачі даних може досягати 115...200 кбіт/с. Максимальна відстань, що дозволяє організувати зв'язок, становить 20 м.

Інтерфейс RS-232C призначений для підмікнення апаратури, що передає або приймає дані (КОД – кінцеве обладнання даних або АПД – апаратура передачі даних; DTE – Data Terminal Equipment), до кінцевої апаратури каналів даних (АКД; DCE – Data Communication Equipment). У ролі КОД може виступати комп'ютер або периферійне обладнання, що підмикається до нього (у тому числі й ЗВТ). У ролі АКД звичайно виступає модем. Кінцевою метою підмікнення є

з'єднання двох пристроїв КОД. Повну схему з'єднання наведено на рис. 4.1, інтерфейс дозволяє виключити канал віддаленого зв'язку разом з парою пристроїв АКД, з'єднавши пристрої безпосередньо за допомогою нуль-модемного кабелю (рис. 4.2).

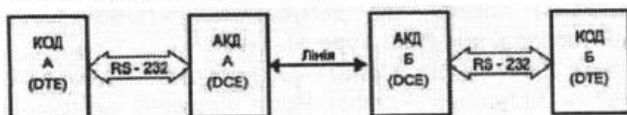


Рис. 4.1. Повна схема з'єднання по RS-232C

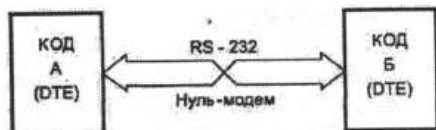


Рис. 4.2. З'єднання по RS-232C нуль-модемним кабелем

Стандарт RS-232C описує керуючі сигнали інтерфейсу, пересилання даних, електричний інтерфейс і типи з'єднувачів. У стандарті передбачені асинхронний і синхронний режими обміну, але COM-порти підтримують тільки асинхронний режим. Стандарт RS-232C описує несиметричні передавачі та приймачі – сигнал передається відносно загального проводу – схемної землі (симетричні диференціальні сигнали використовуються в інших інтерфейсах – наприклад RS-422). Інтерфейс не забезпечує гальванічної розв'язки пристроїв. Логічній одиниці відповідає напруга на вході приймача в діапазоні від -12 до -3 В. Для ліній керуючих сигналів цей стан називається ON («ввімкнено»), для ліній послідовних даних – MARK. Логічному нулю відповідає діапазон від $+3$ до $+12$ В. Для ліній керуючих сигналів стан називається OFF («вимкнено»), а для ліній послідовних даних – SPACE. Діапазон від -3 до $+3$ В – зона нечутливості, що зумовлює гістерезис приймача: стан лінії буде вважатися змінним тільки після перетинання порогу. Рівні сигналів на виходах передавачів повинні бути в діапазонах від -12 до -5 В і від $+5$ до $+12$ В для подання одиниці та нуля відповідно. Різниця потенціалів між схемними землями (SG) пристроїв, що з'єднуються, має бути менше 2 В, при більш високій різниці потенціалів можливе неправильне сприйняття сигналів.

Інтерфейс припускає наявність захисного заземлення для пристроїв, що з'єднуються, якщо вони обидва живляться від мережі змінного струму і мають мережні фільтри.

Стандарт RS-232C регламентує типи застосовуваних з'єднувачів. На апаратурі КОД (у тому числі на СОМ-портах) прийнято встановлювати вилки DB-25P або більш компактний варіант – DB-9P. Дев'ятиштиркові з'єднувачі не мають контактів для додаткових сигналів, необхідних для синхронного режиму (у більшості 25-штиркових з'єднувачів ці контакти не використовуються). На апаратурі АКД (модемах) установлюють розетки DB-25S або DB-9S.

Якщо апаратура АПД з'єднується без модемів, то з'єднувачі пристроїв (вилки) з'єднуються між собою нуль-модемним кабелем (Zero-modem, або Z-modem), що має на обох кінцях розетки, контакти яких з'єднуються перехресно за однією зі схем, зображених на рис. 4.3.

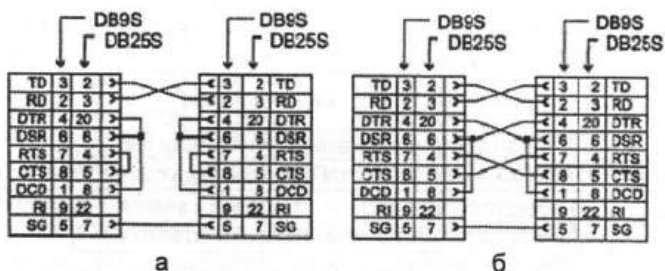


Рис. 4.3. Нуль-модемний кабель: а – мінімальний, б – повний

У табл. 4.2 наведено призначення контактів з'єднувачів СОМ-портів (і будь-якої іншої апаратури передачі даних АПД).

Таблиця 4.2
З'єднувачі та сигнали інтерфейсу RS-232C

Позначення ланцюга		Контакт з'єднувача		Напрямок
СОМ-порт	RS-232	DB-25P	DB-9P	
PG	AA	1	5	–
SG	AB	7	5	–
TD	BA	2	3	О
RD	BB	3	2	І
RTS	CA	4	7	О
CTS	CB	5	8	І

Закінчення табл. 4.2

Позначення ланцюга		Контакт з'єднувача		Напрямок
COM-порт	RS-232	DB-25P	DB-9P	I/O
DSR	CC	6	6	I
DTR	CD	20	4	O
DCD	CF	8	1	I
RI	CE	22	9	I

Призначення сигналів інтерфейсу наведено в табл. 4.3. Нормальну послідовність керуючих сигналів для випадку підімкнення модему до COM-порту ілюструє рис. 4.4.

Таблиця 4.3

Призначення сигналів інтерфейсу RS-232C

Сигнал	Призначення
PG	Protected Ground – захисна земля, з'єднується з корпусом пристрою й екраном кабелю
SG	Signal Ground – сигнальна (схемна) земля, відносно якої вимірюються рівні сигналів
TD	Transmit Data – послідовні дані – вихід передавача
RD	Receive Data – послідовні дані – вхід приймача
RTS	Request To Send – вихід запиту передачі даних: стан «ввімкнено» повідомляє модем про наявність у терміналу даних для передачі. У півдуплексному режимі використовується для керування напрямком – стан «ввімкнено» служить сигналом модему на перемикання в режим передачі
CTS	Clear To Send – вхід дозволу передачі даних терміналом. Стан «ввімкнено» забороняє передачу даних. Сигнал використовується для апаратного керування потоками даних
DSR	Data Set Ready – вхід сигналу готовності від апаратури передачі даних (модем у робочому режимі підімкнений до каналу і закінчив узгодження з апаратурою на протилежному кінці каналу)

Сигнал	Призначення
DTR	Data Terminal Ready – вихід сигналу готовності терміналу до обміну даними. Стан «зв'язано» підтримує канал, що комутується, у стані з'єднання
DCD	Data Carrier Detected – вхід сигналу виявлення несучої частоти віддаленого модему
RI	Ring Indicator – вхід індикатора виклику (дзвінка). У каналі, що комутується, цим сигналом модем сигналізує про прийняття виклику

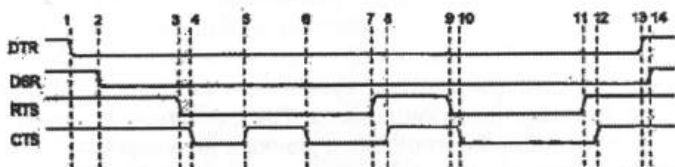


Рис. 4.4. Послідовність керуючих сигналів інтерфейсу RS-232C

На рис. 4.4 позначено такі сигнали інтерфейсу RS-232C:

1. Установкою DTR комп'ютер вказує на бажання використовувати модем.
2. Установкою DSR модем сигналізує про свою готовність і встановлення з'єднання.
3. Сигналом RTS комп'ютер запитує дозвіл на передачу даних і заявляє про свою готовність приймати дані від модему.
4. Сигналом CTS модем повідомляє про свою готовність до прийому даних від комп'ютера й передачі їх у лінію.
5. Скиданням CTS модем сигналізує про неможливість подальшого прийому (наприклад буфер заповнений) – комп'ютер повинен призупинити передачу даних.
6. Сигналом CTS модем дозволяє комп'ютеру продовжити передачу (у буфері з'явилося місце).
7. Скидання RTS може означати як заповнення буфера комп'ютера (модем повинен призупинити передачу даних у комп'ютер), так і відсутність даних для передачі в модем. Звичайно в цьому випадку модем припиняє передачу даних у комп'ютер.
8. Модем підтверджує скидання RTS скиданням CTS.
9. Комп'ютер повторно встановлює RTS для поновлення передачі.
10. Модем підтверджує готовність до цих дій.

11. Комп'ютер вказує на завершення обміну.
12. Модем відповідає підтвердженням.
13. Комп'ютер знімає DTR, що звичайно є сигналом на розрив з'єднання.
14. Модем скиданням DSR сигналізує про розрив з'єднання.

Розглядаючи цю послідовність, стають зрозумілими з'єднання DTR-DSR і RTS-CTS у нуль-модемних кабелях.

4.2.2. Перетворювачі рівнів RS-232C/ТТЛ

У послідовному інтерфейсі далеко не завжди використовуються двополярні сигнали RS-232C – це незручно хоча б через необхідність використання двополярного живлення приймачів-передавачів. Мікросхеми описаних вище приймачів-передавачів UART працюють з сигналами логіки TTL або КМОП; такі ж сигнали використовуються, наприклад, і в сервісних портах вінчестерів та інших пристроїв. Багато пристроїв (у тому числі кишенькові ПК і мобільні телефони) мають зовнішній послідовний інтерфейс з рівнями низьковольтної логіки.

Найбільш просто перетворити рівні напруги RS-232C у рівні TTL за допомогою напівпровідникових стабілітронів (рис. 4.5, а). Коли на вході наведеної схеми високий рівень напруги, то на її виході – +5 В, у протилежному випадку –0,6 В. Вихідний сигнал схеми може керувати мікросхемами з логікою TTL або КМОП. Більш складну схему перетворювача RS-232C/TTL, що дозволяє здійснювати перетворення рівнів в обох напрямках, зображено на рис. 4.5, б.

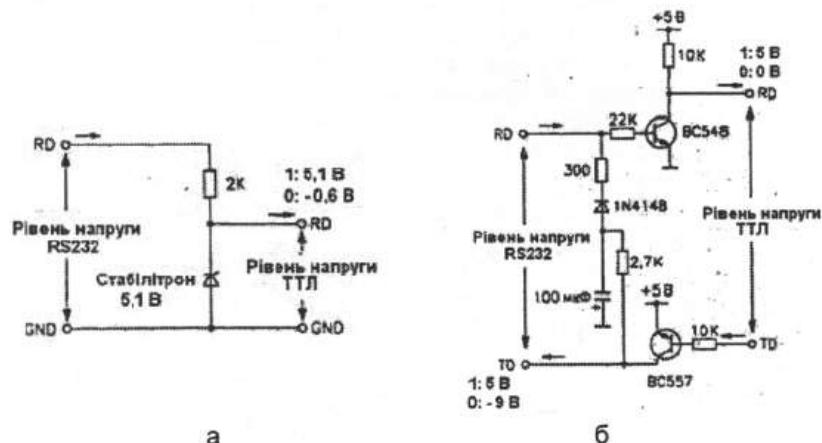


Рис. 4.5. Найпростіші перетворювачі рівнів RS-232C/TTL

Також досить широко застосовуються інтегральні схеми перетворювачів ТТЛ/RS232, наприклад MAX232 і MAX238. Для роботи обох мікросхем необхідне джерело живлення +5 В. Мікросхема MAX232, внутрішню блок-схему якої зображено на рис. 4.6, має вбудовані перетворювачі напруги, два перетворювачі RS232/ТТЛ і два перетворювачі ТТЛ/RS232. Перетворювач напруги ТТЛ/RS232 формує з напруги живлення +5 В напруги +10 і -10 В. Входи перетворювачів витримують напругу до 25 В. Максимальна швидкість передачі даних – 120 кбіт/с. Струм споживання мікросхеми MAX232 у режимі холостого ходу – 4 мА. Характеристики MAX238 аналогічні характеристикам MAX232, але ця мікросхема має по чотири перетворювачі RS232/ТТЛ і ТТЛ/RS232.

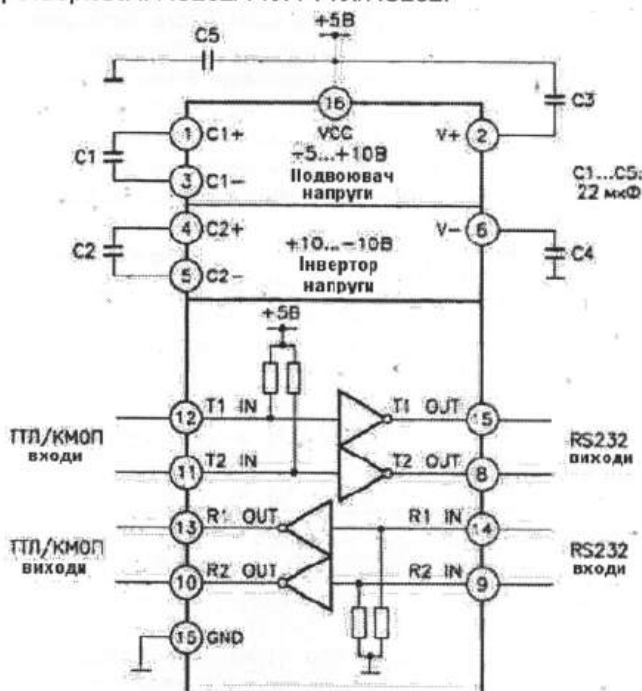


Рис. 4.6. Внутрішня блок-схема перетворювача MAX232

Фірма Analog Devices випускає приймачі-передавачі для інтерфейсу RS-232 ADM101E, ADM3311E і ADM2209E. Вони призначені для використання в портативних пристроях з автономним живленням і портативними вимірювальними приладами.

ADM101E – одноканальний приймач-передавач інтерфейсу RS-232, напруга живлення +5 В. Економічний ємнісний перетворювач формує напругу –5 В, що дозволяє не використовувати додаткове джерело живлення з негативною напругою для забезпечення роботи інтерфейсу RS-232. Величина ємності конденсатора в складі формувача негативною напруги – не більше 0,1 мкФ.

ADM3311E містить триканальний передавач і п'ятиканальний приймач інтерфейсу RS-232, формує негативну напругу і має потроєний напруги живлення (мінімальне значення якої для ADM3311E становить 2,7 В).

ADM2209E складається з двох послідовних портів. Напруга живлення – 3, 5 або 15 В. Мікросхема містить DC/DC перетворювач для формування напруги –12 В. Маючи шість передавачів і десять приймачів, ADM2209E споживає не більше 200 мкА в режимі спокою.

При організації зв'язку мікроконтролера ЗВТ з ПК через COM-порт часті випадки виходу COM-порту з ладу. Для захисту COM-порту застосовуються перетворювачі рівнів з гальванічною розв'язкою. Показаний на рис. 4.7 перетворювач виконано на оптопарах H11L1, що випускаються корпораціями Fairchild і Freescale (Motorola).



Рис. 4.7. Перетворювач рівнів RS-232C/ТТЛ з гальванічною розв'язкою

Передача даних від комп'ютера здійснюється через оптопару DA1. Живлення оптопар та мікроконтролера реалізується від одного джерела живлення напругою +5 В. Пристрій працює стійко і за напруги живлення +3 В.

Надходження позитивної напруги по лінії TxD COM-порту на анод світлодіода оптопар викликає увімкнення світлодіода й появу низького рівня напруги на виході оптопар і підімкненої до нього лінії

RxDmC. За негативної напруги на лінії TxD світлодіод оптопарі DA1 вимкнений, на лінії RxDmC – високий рівень напруги.

Аналогічно працює і перетворювач на оптопарі DA2, але світлодіодом керує мікроконтролер по лінії TxDmC. Щоб забезпечити гальванічну розв'язку комп'ютера й мікроконтроллера, вихідний вузол оптопарі DA2 повинен живитися напругою, що подається від комп'ютера. Можна використовувати позитивну напругу, наприклад, з лінії RTS або DTR COM-порту комп'ютера. Для цього необхідно не тільки підімкнути до однієї із зазначених ліній, але й програмно встановити позитивну напругу на ній.

Фірма Analog Devices також випускає повністю ізольований приймач-передавач для інтерфейсу RS-232, виконаний на одному кристалі. ІМС ADM3251E забезпечує гальванічну розв'язку як сигнальних ланцюгів, так і ланцюгів живлення. Функціональну схему ІМС приймача-передавача ADM3251E зображено на рис. 4.8. Завдяки високому рівню захисту від електростатичних розрядів (при безпосередньому контакті – до ± 8 кВ, а через повітряний проміжок – до ± 15 кВ) ці ІМС можуть використовуватися в промислових інформаційно-вимірювальних системах. В ADM3251E вбудований DC/DC-перетворювач з подвоєнням вихідної напруги. На вхід VCC подається напруга 4,5...5,5 В або 3,0...3,7 В. Розмах напруги на виході передавача T_{out} становить від ± 5 до ± 10 В. ІМС ADM3251E підтримує швидкість передачі даних до 460 кбіт/с, виконана у корпусі 20-SOIC, діапазон її робочих температур –40...+85°C. ІМС ADM3251E призначена для застосування у промислового обладнанні, телекомунікаційній апаратурі й медичних приладах.

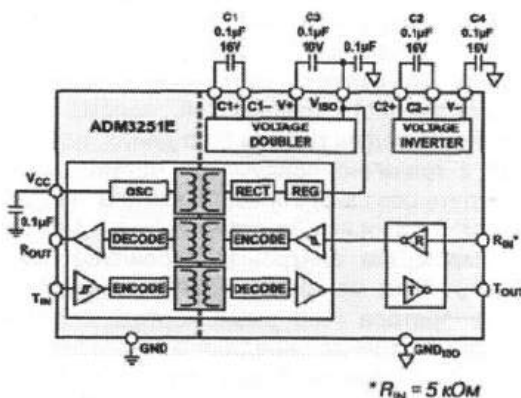


Рис. 4.8. Функціональна схема приймача-передавача ADM3251E

4.2.3. Асинхронна передача даних по інтерфейсу RS-232C

Асинхронний режим передачі є байт-орієнтованим (символьно-орієнтованим): мінімальна одиниця інформації, яка пересилається – один байт (один символ). Формат посилки байта ілюструє рис. 4.9.



Рис. 4.9. Формат асинхронної передачі RS-232C

Передача кожного байта починається зі старт-біта, що сигналізує приймачеві про початок посилки, за яким ідуть біти даних і, можливо, біт паритету (парності). Завершує посилку стоп-біт, що гарантує паузу між посилками. Старт-біт наступного байта посилається в будь-який момент після стоп-біта, тобто між передачами можливі паузи довільної тривалості. Старт-біт, що має завжди строго певне значення (логічний 0), забезпечує простий механізм синхронізації приймача за сигналом від передавача. Мається на увазі, що приймач і передавач працюють на одній швидкості обміну. Внутрішній генератор синхронізації приймача використовує лічильник-діляник опорної частоти, що обнуляється у момент прийому початку старт-біта. Цей лічильник генерує внутрішні строби, за якими приймач фіксує наступні прийняті біти. В ідеальному випадку строби розташовуються в середині бітових інтервалів, що дозволяє приймати дані й при незначній неузгодженості швидкостей приймача та передавача. Очевидно, що при передачі восьми бітів даних, одного контрольного й одного стоп-біта гранично припустима неузгодженість швидкостей, при якій дані будуть розпізнані правильно, не може перевищувати 5%. З урахуванням фазових спотворень і дискретності роботи внутрішнього лічильника синхронізації реально припустиме менше відхилення частот. Чим менше коефіцієнт розподілу опорної частоти внутрішнього генератора (чим вище частота передачі), тим більше похибка прив'язки стробів до середини бітового інтервалу, і вимоги до узгодженості частот стають більш строгими. Чим вище частота передачі, тим більше вплив спотворень фронтів на фазу прийнятого

сигналу. Взаємодія цих факторів призводить до підвищення вимог до узгодженості частот приймача та передавача з ростом частоти обміну.

Формат асинхронної посилки дозволяє виявляти можливі помилки передачі.

- Якщо прийнято перепад, що сигналізує про початок посилки, а по стробу старт-біта зафіксований рівень логічної одиниці, старт-біт вважається помилковим і приймач знову переходить у стан очікування. Про цю помилку приймач може не повідомляти.
- Якщо під час, відведений під стоп-біт, виявлений рівень логічного нуля, фіксується помилка стоп-біта.
- Якщо застосовується контроль парності, то після посилки біта даних передається контрольний біт. Він доповнює кількість одиничних бітів даних до парного або непарного залежно від прийнятої угоди. Прийом байта з неправильним значенням контрольного біта приводить до фіксації помилки.
- Контроль формату дозволяє виявляти обрив лінії: як правило, при обриві приймач «бачить» логічний нуль, що спочатку трактується як старт-біт і нульові біти даних, але потім спрацьовує контроль стоп-біта.

Для асинхронного режиму прийнято ряд стандартних швидкостей обміну: 50, 75, 110, 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600 і 115200 біт/с.

5. МЕРЕЖНІ ТЕХНОЛОГІЇ

5.1. Інтерфейси RS-422 і RS-485

Інтерфейси EIA-RS-422 і EIA-RS-485 використовують симетричну передачу сигналу й допускають як двочкову, так і шинну топологію з'єднань. У них інформативною є різниця потенціалів між провідниками А і В. Якщо на вході приймача $(U_A - U_B) > 0,2 \text{ В}$, стан «вимкнено», а якщо $(U_A - U_B) < -0,2 \text{ В}$ – стан «увімкнено». Діапазон $|U_A - U_B| < 0,2 \text{ В}$ є зоною нечутливості (гістерезису), що захищає від впливу перешкод. На виходах передавача сигнали U_A і U_B звичайно перемикаються між рівнями 0 і +5 В (КМОП) або +1 і +4 В (ТТЛ), диференціальна вихідна напруга має лежати в діапазоні 1,5...5 В. Вихідний опір передавачів – 100 Ом. Інтерфейси електрично сумісні між собою, хоча й мають деякі розходження в обмеженнях. Принципова відмінність передавачів RS-485 – можливість перемикавання в третій стан. Основні параметри інтерфейсів наведено в табл. 5.1, топологію з'єднань ілюструє рис. 5.1.

Щоб збільшити кількість вузлів, можна підвищити вхідний опір приймачів, але при цьому знижується припустима швидкість або максимально можлива дальність передачі. Максимальна швидкість передачі на коротких відстанях (до 10 м) обмежується швидкодією передавачів (можна досягти частоти 25 МГц). На середніх відстанях обмеження визначається ємністю кабелю (1200 біт/с – 25 пФ, 9600 біт/с – 30 пФ, 115 кбіт/с – 250 пФ). Максимальна дальність 1200 м обмежена опором петлі постійному струму.

Таблиця 5.1

Параметри інтерфейсів RS-422 і RS-485

Параметр	RS-422	RS-485
Поріг спрацьовування, В	0,2	0,2
Допустима напруга синфазної перешкоди, В ¹	-6,8...+6,8	-6,8...+11,8
Допустима напруга на входах, В ¹	-7...+7	-7...+12
Вхідний опір приймача, кОм	4	12
Мінімальний опір навантаження передавача, Ом	100	60
Максимальна кількість вузлів	1 передавач і 10 приймачів	32 (передавачів, приймачів або їхніх комбінацій)

Параметр	RS-422	RS-485
Максимальна довжина, м	1200 (100 кбіт/с) 12 (10 Мбіт/с)	1200 (100 кбіт/с) 12 (10 Мбіт/с)
Термінатори, R=100 Ом	На дальньому кінці від передавача	На обох кінцях
Струм короткого замикання, мА	<150 на шину GND	<250 на шину з потенціалом -7...+12 В або між проводами А і В

¹ Напруга вимірюється відносно схемної землі вузла.

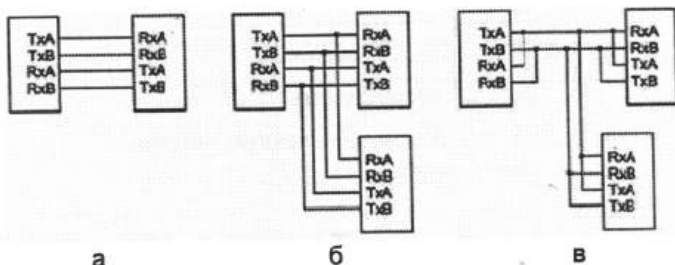


Рис. 5.1. Топологія інтерфейсів: а – RS-422, б – RS-485 чотирипровідний, в – RS-485 двопровідний

Існує дві версії інтерфейсу RS-485: двопровідна і чотирипровідна. Чотирипровідна версія (рис. 5.1, б) виділяє задавальний вузол (master), передавач якого працює на приймачі всіх інших. Передавач задавального вузла завжди активний – перехід у третій стан для нього необов'язковий. Передавачі інших підпорядкованих (slave) вузлів повинні мати тристабільні виходи, вони об'єднуються на загальній шині з приймачем головного вузла. У двопровідній версії (рис. 5.1, в) усі вузли рівноправні. У спрощеному випадку (при двоточковому з'єднанні) інтерфейси RS-485 і RS-422 еквівалентні, і третій стан не використовується.

Для визначеності стану спокою шини RS-485, коли немає активних передавачів, на лінію встановлюють активні термінатори, що

«розтягують» потенціали проводів. У спокої провід В повинен мати більш позитивний потенціал, ніж провід А.

При багатоточковому з'єднанні необхідно організувати метод доступу до середовища передачі. Найчастіше використовують полінг (polling) – опитування готовності до передачі, виконуваний головним пристроєм, або передачу права доступу відповідно до певного (встановленого) регламенту. Іноді використовують і методи випадкового доступу (аналогічно Ethernet).

Диференціальний вхід інтерфейсів запобігає дії завад, але при цьому має здійснюватися з'єднання схемних земель пристроїв між собою і з шиною заземлення. Для з'єднання пристроїв між собою використовують третій провід інтерфейсу (або екран). Для того щоб по третьому проводу не протікав великий струм, що вирівнює земляні потенціали, у його ланцюг вмикають резистори (рис. 5.2).

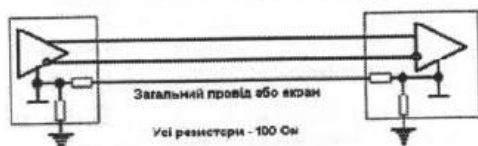


Рис. 5.2. З'єднання схемних земель для інтерфейсів RS-422 і RS-485

Наведена на лінію синфазна напруга може перевищувати припустиме значення, дане в табл. 5.1, тому найбільш ефективний захист від електромагнітних наведень на лінію – гальванічна розв'язка, але вона не забезпечує захист системи і не обмежує напругу, наведену на лінію передачі або загальний провід приймачів-передавачів. Захистити мікросхеми в цьому випадку можна за допомогою зовнішніх стабілітронів (рис. 5.3).

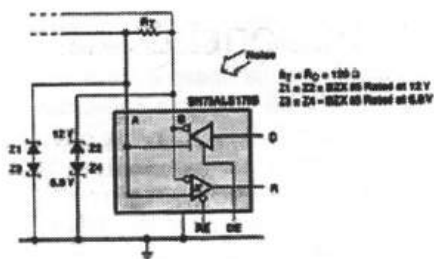


Рис. 5.3. Схема захисту входів приймача RS-485

У табл. 5.2 наведено перелік мікросхем приймачів-передавачів для інтерфейсу RS-485. Функціональні схеми приймача SN75LBC173 і передавача SN75LBC174 зображено на рис. 5.4.

Таблиця 5.2
Мікросхеми приймачів-передавачів для RS-485

Кількість передавачів/приймачів в одному корпусі	Час затримки передавача/приймача, нс	Струм споживання, мА	Тип
0/4	35	70	SN75173
	30	11	SN75LBC173
	27	27	SN75ALS175
	35	70	SN75175
	30	11	SN75LBC175
4/0	22	55	SN75ALS172A
	65	60	SN75172
	20	7	SN75LBC172
	22	55	SN75ALS174A
	65	60	SN75174
	20	7	SN75LBC174
1/1	24/45	5.4	SN75LBC176
	10/10.5	30	SN75ALS172B
	22/35	55	SN75176B
	18/30	4.2	SN75LBC179
	13/19	55	SN75ALS180
	18/30	4	SN75LBC180
	12/30	-	ADM485
9/9	19/33	45	SN75LBC976
	26/30	45	SN75LBC978

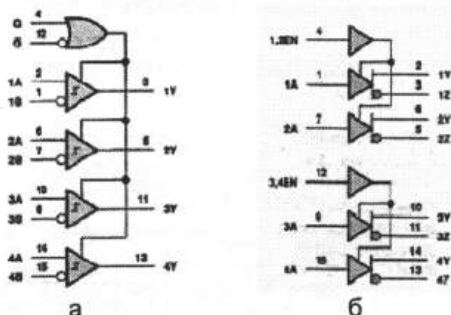


Рис. 5.4. Функціональні схеми приймача SN75LBC173 (а) і передавача SN75LBC174 (б)

Крім описаних вище існують приймачі-передавачі RS-485/RS-422 з трансформаторною розв'язкою типу iCoupler, що випускаються фірмою Analog Devices. Ізолятор iCoupler забезпечує міцність ізоляції

до 2,5 кВ. Основним елементом такого ізолятора є двообмотковий мікротрансформатор без магнітного сердечника. Дві плоскі обмотки розташовано паралельно. Первинна обмотка – дротяна, позолочена, вторинна обмотка виконана за напівпровідниковою технологією. Основні характеристики приймачів-передавачів з трансформаторною розв'язкою типу iCoupler дано в табл. 5.3.

Таблиця 5.3

Приймачі-передавачі RS-485/RS-422
з вбудованим ізолятором типу iCoupler

Тип ІМС	Вбудований трансформаторний драйвер	Швидкість передачі даних, Мбіт/с	Піддуплексний / дуплексний	Напруга живлення логічних вузлів, В	Напруга живлення ізолювальних вузлів, В	Максимальна кількість вузлів	Драйвери / приймачі	Захист від обриву / КЗ	Тип корпусу
ADM2483	-	0.5	+/-	3 або 5	5	256	+	+/+	16-SOIC
ADM2486	-	20	+/-	3 або 5	5	50	+	+/-	16-SOIC
ADM2490E	-	16	-/+	3 або 5	5	32	-	+/-	16-SOIC
ADM2485	+	16	+/-	3 або 5	5	50	+	+/-	16-SOIC

На рис. 5.5 зображено схему підключення півдуплексного приймача-передавача ADM2485, який має вбудований драйвер для сполучення з зовнішнім трансформатором, до стандартного інтерфейсу UART. Даний приймач-передавач сумісний з шиною PROFIBUS і стійкий до імпульсних завад загального вигляду, рівень яких становить до 25 кВ/мкс. Як видно з рис. 5.5, для живлення двох ізольованих частин ADM2485 використовується одне джерело, гальванічна розв'язка кіл живлення ізольованих частин здійснюється за допомогою зовнішнього трансформатора, яким керує вбудований драйвер.

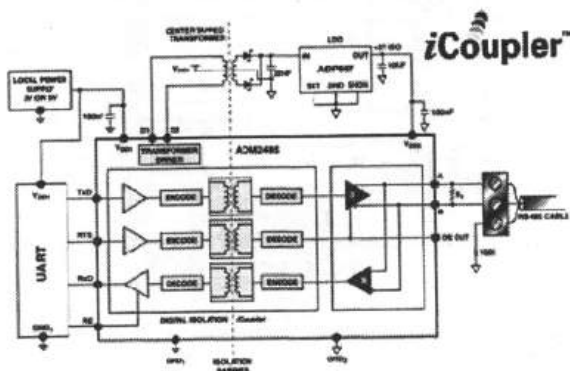


Рис. 5.5. Схема увімкнення приймача-передавача ADM2485

На рис. 5.6 зображено схему увімкнення дуплексного приймача-передавача ADM2490E, який на відміну від ADM2485 дозволяє одночасно передавати дані в обох напрямках. Проте ADM2490E не має вбудованого драйвера для сполучення з зовнішнім трансформатором, тому живлення ізольованих частин схеми необхідно здійснювати з використанням двох незалежних джерел. До переваг ADM2490E можна віднести наявність захисту від статичної напруги до 8 кВ.

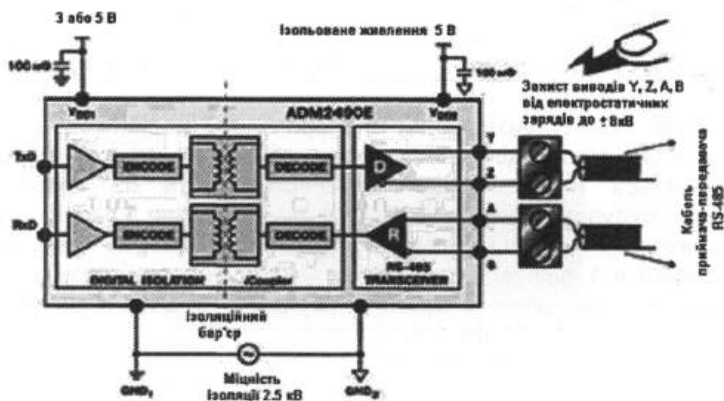


Рис. 5.6. Схема увімкнення приймача-передавача ADM2490E

5.2. Інтерфейс CAN

CAN (Control Area Network) – послідовна магістраль, що забезпечує ув'язування в мережу «інтелектуальних» пристроїв вводу/виводу, датчиків і виконавчих пристроїв деякого механізму або навіть підприємства. Характеризується протоколом, що надає можливість знаходження на магістралі декількох головних пристроїв, які забезпечують передачу даних у реальному масштабі часу й корекцію помилок. Крім того інтерфейс CAN має високу заводостійкість. Система CAN забезпечена великою кількістю мікросхем, що підтримують роботу підімкнених до магістралі пристроїв, розроблення яких починала фірма BOSCH для застосування в автомобілях. Зараз ці мікросхеми широко

використовуються для автоматизації промисловості. У табл. 5.4 наведено основні технічні характеристики інтерфейсу CAN.

Таблиця 5.4

Основні характеристики інтерфейсу CAN

Швидкість передачі	1 Мбіт/с (максимум)
Відстань передачі	1000 м (максимум)
Характер сигналу, лінія передачі	диференціальна напруга, вита пара
Кількість драйверів	64
Кількість приймачів	64
Схема з'єднання	півдуплекс, багатоточкова

Інтерфейс CAN призначений для організації надійних недорогих каналів зв'язку в розподілених системах керування. Інтерфейс широко застосовується в промисловості, енергетиці та на транспорті. Дозволяє будувати як дешеві мультиплексовані канали, так і високошвидкісні мережі. Швидкість передачі задається програмно і може досягати 1 Мбіт/с. Значення швидкості передачі визначається користувачем, виходячи з відстані передачі, кількості абонентів і ємності лінії передачі (табл. 5.5).

Таблиця 5.5

Залежність швидкості передачі даних по інтерфейсу CAN від відстані

Відстань, м	25	50	100	250	500	1000	2500	5000
Швидкість, кбіт/с	1000	800	500	250	125	50	20	10

Максимальна кількість абонентів, підімкнених до даного інтерфейсу, фактично визначається навантажувальною здатністю приймачів-передавачів, що використовуються. Наприклад, при використанні трансивера фірми PHILIPS PCA82C250 вона дорівнює 110.

Фізичний рівень шини CAN являє собою двопровідний послідовний інтерфейс (рис. 5.7), напруга живлення якого може становити 3 або 5 В. Цоколювку з'єднувача інтерфейсу CAN наведено на рис. 5.8.

На шині CAN допускаються лише два логічних рівні: логічної "1" (або рецесивний (recessive) рівень) і логічного "0" (або домінантний (dominant) рівень). Величини напруг домінантного й рецесивного

рівнів наведено на рис. 5.9. Якщо передача даних по шині CAN відсутня, рівень напруги відповідає рецесивному рівню. Диференціальні приймачі сприймають стан шини як рецесивний, якщо $U_{CAN_H} - U_{CAN_L} < 0,5 \text{ В}$, і як домінуючий, якщо $U_{CAN_H} - U_{CAN_L} > 0,9 \text{ В}$.

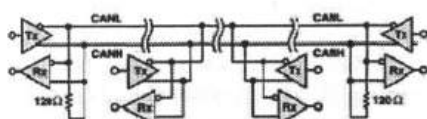


Рис. 5.7. Структура шини CAN

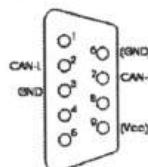


Рис. 5.8. З'єднувач інтерфейсу CAN

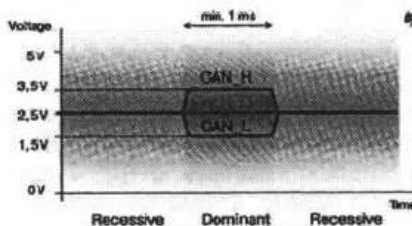


Рис. 5.9. Рівні напруг на лініях шини CAN

Протокол CAN використовує оригінальну систему адресації повідомлень. До кожного повідомлення додається ідентифікатор, що визначає призначення даних, але не адресу приймача. Будь-який приймач може реагувати як на один ідентифікатор, так і на декілька. На один ідентифікатор можуть реагувати кілька приймачів. Протокол CAN має розвинену систему виявлення та сигналізації помилок. Для цього використовуються порозрядний контроль, пряме заповнення бітового потоку, перевірка пакета повідомлення CRC-поліномом, контроль форми пакета повідомлень, підтвердження правильного прийому пакета даних. Загальна ймовірність невиявленої помилки становить $4,7 \cdot 10^{-11}$.

Система арбітражу протоколу CAN виключає втрату інформації та часу при "зіткненнях" на шині. Інтерфейс із застосуванням протоколу CAN легко адаптується до фізичного середовища передачі інформації. Елементна база, що підтримує CAN, широко випускається в індустріальному виконанні.

Як приклад застосування інтерфейсу CAN в інформаційно-вимірювальній техніці розглянемо підключення до мережі CAN мікроконвертерів ADuC8xx, які випускаються фірмою Analog Devices. Мікроконвертер є мініатюрною системою збору й обробки даних, виконану на кристалі однієї мікросхеми. Він має унікальні можливості високоточного аналогового вводу/виводу даних, контролер для попередньої обробки даних, низьку споживану потужність, а також сумісний зі стандартом IEEE 1451.2. Усе це визначає основні сфери застосування мікроконвертерів: мережі збору інформації датчиків, вимірювальні портативні прилади з автономним живленням, системи управління технологічними процесами, засоби телекомунікацій та інші пристрої, в яких необхідно забезпечити високоточний аналоговий ввід і попередню обробку даних.

Оскільки мікроконвертери ADuC8xx фірми Analog Devices не мають у своєму складі вбудованого CAN-контролера, згідно з рекомендованою структурною схемою CAN-вузла (рис. 5.10) для реалізації CAN-протоколу необхідний автономний CAN-контролер.

Класичним автономним CAN-контролером є ІМС SJA1000 фірми Philips, яка повністю відповідає вимогам логічного протоколу специфікації CAN. Автономний CAN-контролер SJA1000 працює від одного джерела живлення напругою 5 В і підтримує максимальну швидкість передачі 1 Мбіт/с. Струм споживання в робочому режимі становить 15 мА (за тактової частоти 24 МГц), у "сплячому" (sleep) режимі роботи струм споживання – 40 мкА. Максимально допустима електростатична напруга на виводах мікросхеми становить 1500 В.

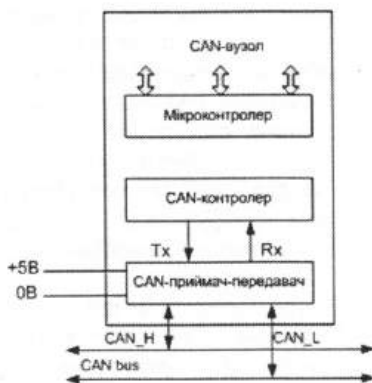


Рис. 5.10. Структурна схема CAN-вузла

Схему з'єднання мікроконвертера ADuC824 і SJA1000 зображено на рис. 5.11. У даній схемі обмін даними виконується в паралельному форматі по шині адреси/даних, що мультиплексується.

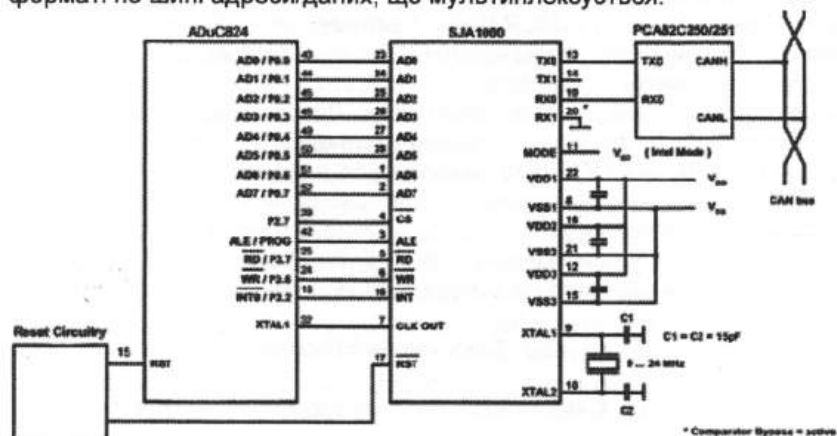


Рис. 5.11. Схема з'єднання мікроконвертера ADuC824 і CAN-контролера SJA 1000

У зображеній схемі присутній також приймач-передавач PCA82C250, який перетворює рівні сигналів CAN-контролера в рівні сигналів шини CAN і, крім того, має інші функціональні можливості:

- забезпечує регулювання швидкості наростання вихідного сигналу за рахунок зміни вхідного струму одного з входів мікросхеми;
- має вбудовану схему обмеження вихідного струму, що захищає мікросхему від пошкодження при замиканні ланцюгів CAN_H і CAN_L з ланцюгами живлення;
- у мікросхемі передбачено захист від перегріву корпусу, за допомогою якого відбувається обмеження вихідного струму приймача, якщо температура корпусу перевищує 160 °C;
- у мікросхемі реалізовано режим зниженого енергоспоживання, у якому приймач у разі появи інформаційних сигналів на шині сигналізує про це CAN-контролеру, який перемикає PCA82C250 у нормальний режим роботи.

У зв'язку з тим, що приймач-передавач PCA82C250 має здатність регулювати швидкість наростання вихідного сигналу, він є універсальним приймачем-передавачем і може використовуватися як у швидкісній мережі CAN із швидкістю передачі 1 Мбіт/с, так і при низьких швидкостях передачі даних у випадку, якщо потрібно понизити побічне електромагнітне випромінювання.

Крім автономного CAN-контролера SJA1000, слід відзначити CAN-контролер MCP2510 фірми Microchip, у якому обмін даними з мікроконтролером реалізується через послідовний порт (інтерфейс SPI). У MCP2510 реалізовано CAN-протокол, що відповідає вимогам специфікації CAN. Максимальна швидкість передачі даних становить 1 Мбіт/с. Швидкість передачі встановлюється на програмному рівні. Високошвидкісний SPI-порт підтримує обмін даними з мікроконтролером з частотою 5 МГц. Напруга живлення MCP2510 знаходиться в діапазоні від 3 до 5,5 В. Струм споживання в активному режимі становить 5 мА (типове значення), у "сплячому" – 10 мкА. Максимальна тактова частота – 25 МГц за напруги живлення 4,5...5,5 В. Максимально допустима електростатична напруга на виводах мікросхеми – 4 кВ.

5.3. Технологія Ethernet

5.3.1. Стандарти та інтерфейси Ethernet

Технологія Ethernet дозволяє використовувати різні середовища передачі, для кожного з яких є стандартна назва вигляду XBaseY, де X – швидкість передачі, Мбіт/с (10, 100, 1000...); Base – ключове слово (позначає немодульовану передачу); Y – умовна позначка середовища передачі та дальності зв'язку. Усі сучасні версії Ethernet використовують кабель типу вита пара (або оптоволоконний) і зіркоподібну топологію. Центральним пристроєм зірки може бути повторювач (hub) або комутатор (switch). Можливе і двоточкове з'єднання двох вузлів. Для старих версій, що використовували коаксіальний кабель, була характерна шинна топологія, головним недоліком якої є низька надійність усієї мережі. Іноді в мережах застосовуються конвертери середовища передачі (media converter), що перетворюють типи інтерфейсів. Найчастіше використовуються конвертери виті пари в оптоволокно, також застосовують і конвертери одномодового оптоволокна в багатомодове.

1. Для мереж Ethernet зі швидкістю 10 Мбіт/с існують такі стандарти:

- 10Base5 – мережа на товстому коаксіальному кабелі RG-8 (50 Ом) з шинною топологією, максимальна довжина кабельного сегмента – 500 м. Для підімкнення мережний адаптер повинен мати інтерфейс AUI (інтерфейс мережних пристроїв, що підмикаються), який підмикається кабелем-спуском (чотири екрановані виті пари) до трансивера, встановленого на кабелі. Даний стандарт для нових

мереж не застосовується через свою дорожнечу, громіздкість і низьку ефективність.

- 10Base2 – мережа на тонкому коаксіальному кабелі RG-58 (50 Ом) з шинною топологією, максимальна довжина кабельного сегмента – 185 м. Для підімкнення мережний адаптер повинен мати інтерфейсний з'єднувач BNC для коаксіального кабелю (або AUI з трансивером). Це найдешевший (щодо устаткування) варіант мережі, але перспективи його розвитку відсутні.

- WBaseT – мережа на витій парі категорії 3 і вище (дві пари проводів), довжина «променю» – до 100 м (на кабелі категорії 5 можна досягати дальності і 200 м, але це не рекомендується). Для підімкнення мережний адаптер повинен мати інтерфейсний з'єднувач RJ-45 (або AUI з трансивером). Це ефективний варіант мережі початкового рівня, він дозволяє розширювати смугу пропускання заміною концентраторів-повторювачів на комутатори. При кабельній проводці категорії 5 і вище дозволяє переходити на швидкості 100 і навіть 1000 Мбіт/с (із заміною карт і концентраторів).

- WBaseF і FOIRL (Fiber-Optic InterRepeater Link) – мережа на оптоволоконному кабелі (одна пара волокон). Для підімкнення адаптер повинен мати інтерфейс AUI, на який встановлюється оптичний трансивер. Використовуються дешеві багатомодові трансивери (довжина хвилі – 850 нм) з дальністю передачі до 1 км. Для далеких дистанцій (десятки кілометрів) використовуються одномодові трансивери (довжина хвилі – 1310 нм).

2. Для мереж Fast Ethernet зі швидкістю 100 Мбіт/с існують такі стандарти:

- 100BaseTX – мережа на витій парі категорії 5 і вище (дві пари проводів), довжина променя – до 100 м. Мережний адаптер підмикається через з'єднувач RJ-45. Це популярний і оптимальний (за співвідношенням ціна/продуктивність) варіант підімкнення вузлів до мережі. При якісній кабельній проводці дозволяє переходити на швидкість 1000 Мбіт/с (із заміною карт і концентраторів).

- 100BaseT4 – мережа на витій парі категорії 3 і вище (чотири пари проводів), довжина променя – до 100 м. Мережний адаптер підмикається через з'єднувач RJ-45. Даний стандарт мало поширений.

- 100BaseFX – мережа на оптоволоконному кабелі (одна пара волокон). Використовуються одномодові трансивери (1310 нм), які можуть працювати і з багатомодовим волокном (до 2 км). Дальність у повнодуплексному режимі – десятки кілометрів.

- 100BaseSX – мережа на оптоволоконному кабелі з дешевими

багатомодовими трансиверами (850 нм), дальність – до 300 м, сумісна з 10BaseF, підтримується автоузгодження режиму та швидкості (10/100).

3. Для мереж Gigabit Ethernet зі швидкістю 1000 Мбіт/с існують такі стандарти:

- 1000BaseCX – з'єднання активного устаткування коротким (до 25 м) кабелем STP (екранована вита пара) або двовісним кабелем.
- 1000BaseT – з'єднання витю парою категорії 5 і вище (4 пари) на відстань до 100 м. Підімкнення через з'єднувач RJ-45.
- 1000BaseSX – з'єднання парою багатомодових волокон, дальність – 200...500 м (залежно від параметрів волокна).
- 1000BaseLX – з'єднання парою одномодових волокон, дальність – до 50 км (залежно від параметрів трансиверів).

Вище були наведені обмеження на довжину кожного фізичного з'єднання в мережі, однак для працездатності (надійної роботи протоколу розв'язання колізій) мають виконуватися і додаткові умови. Для 10-мегабітних мереж Ethernet повинні виконуватися перелічені нижче умови:

- для коаксіального кабелю – правило «5-4-3»: не більше п'яти сегментів можуть з'єднувати не більше чотирьох повторювачів, станцій (адаптери) можна підмикати не більш ніж в трьох сегментах.
- для витю пари і оптоволока – між будь-якою парою вузлів може бути не більше чотирьох повторювачів (хабів).
- для будь-яких мереж: діаметр домену колізій («електрична» довжина кабелів між парою вузлів) не повинен перевищувати 5 км.
- кількість вузлів у домені колізій – не більше 1024 (реально їх не повинно бути більше 30 – 50).

На мережі Fast Ethernet накладаються більш жорсткі обмеження:

- діаметр домену колізій – не більше 205 м.
- кількість повторювачів у домені колізій – не більше двох класу II, не більше одного класу I.

У Gigabit Ethernet застосовуються тільки комутатори, тому обмеження накладаються лише на довжину з'єднань.

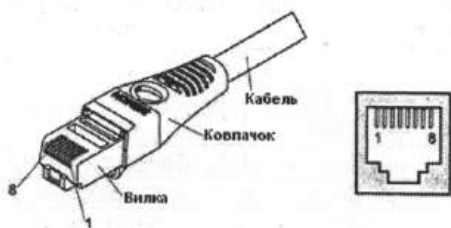
У мережах, що реалізуються з використанням кабелю типу вита пара, застосовують з'єднувачі RJ-45 (рис. 5.12), призначення контактів з'єднувачів мережного адаптера (порт MDI) наведено в табл. 5.6. Порти концентраторів 10BaseT, 100BaseTX і 100BaseT4 мають порт MDIX, у якого сигнали Tx і Rx поміняні місцями. Для підімкнення кінцевих вузлів до портів активного устаткування (з'єднання портів MDI-MDIX, рис. 5.13, а) використовується «прямий» кабель (рис. 5.14, а), для безпосереднього з'єднання адаптерів

(MDI-MDI, рис. 5.13, б) або з'єднання двох комунікаційних пристроїв (MDIX-MDIX) застосовують «перехресний» кабель (рис. 5.14, б). У комунікаційних пристроях, як правило, на одному з портів встановлюють перемикач MDI-MDIX або додатковий з'єднувач.

Таблиця 5.6

З'єднувач RJ-45 адаптера Ethernet

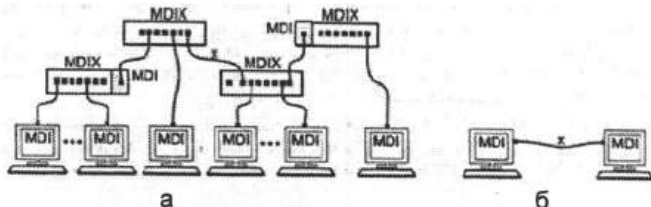
Контакт	10BaseT/ 100BaseTX	100BaseT4	1000BaseTX
1	Tx+	Tx_D1 +	BI_D1 +
2	Tx-	Tx_D1-	BI_D1-
3	Rx+	Rx_D2+	BI_D2+
4	Не підімкнений	BI_D3+	BI_D3+
5	Не підімкнений	BI_D3-	BI_D3-
6	Rx-	Rx_D2-	BI_D2-
7	Не підімкнений	BI_D4+	BI_D4+
8	Не підімкнений	BI_D4-	BI_D4-



а

б

Рис. 5.12. З'єднувач RJ-45: а – вилка; б – розетка



а

б

Рис. 5.13. Мережа 10BaseT/100BaseTX: а – зірка;
б – двоточкове з'єднання

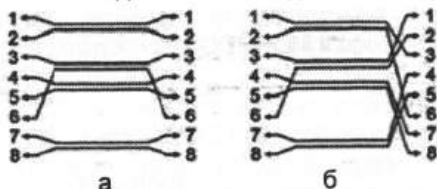


Рис. 5.14. Інтерфейсні кабелі Ethernet: а – прямий;
б – перехресний

У локальних мережах звичайно використовується кабельна проводка, що складається зі стаціонарних кабелів, що закінчуються розетками, і комутаційних шнурів. Стаціонарну проводку виконують так, що вона забезпечує пряме з'єднання контактів своїх інтерфейсних з'єднувачів. Комутаційні шнури можуть бути як прямими, так і перехресними.

У стандарті Ethernet (10 Мбіт/с) визначено інтерфейс AUI, за допомогою якого до адаптера можна підмикати трансивер (приймач-передавач) для будь-якого середовища передачі. У трансивері розташовуються кінцеві ланцюги передавача, приймача, а також детектор колізій. Призначення контактів інтерфейсу AUI наведено в табл. 5.7, тут використовується з'єднувач DB-15 (розетка на адаптері, вилка на трансивері).

Таблиця 5.7
З'єднувачі AUI інтерфейсу Ethernet

Контакт	Сигнал
1	Collision (екран)
2	Collision +
3	Transmit +
4	Receive (екран)
5	Receive +
6	DC Power GND
7	Не підімкнений
8	Не підімкнений
9	Collision –
10	Transmit –
11	Transmit (екран)
12	Receive –
13	DC Power (+12 В)

14	DC Power (екран)
15	Не підімкнений

У стандарті Fast Ethernet фігурує інтерфейс MII (Media Independent Interface – інтерфейс, що не залежить від середовища передачі). У MII дані для приймача й передавача передаються в некодованому вигляді по чотирибітних паралельних шинах (із частотою синхронізації 2,5 і 25 МГц для швидкостей 10 і 100 Мбіт/с відповідно) або в послідовному коді (для 10 Мбіт/с). У інтерфейсі є сигнали синхронізації та керування приймачем і передавачем, сигнали стану лінії, а також послідовний інтерфейс керування SMI, по якому можна спілкуватися з керуючими регістрами трансивера.

5.3.2. *Технологія Power over Ethernet*

Технологія передачі електроенергії по локальній мережі (Power over Ethernet – PoE) покликана сприяти подоланню труднощів, пов'язаних з організацією електричного живлення віддалених компонентів мережі, у тому числі й різноманітних датчиків в інформаційно-вимірювальних системах. Дана технологія дозволяє здійснювати інтегровану передачу даних і напруги живлення по мережі з використанням стандартного кабелю Ethernet. Перевагами такого підходу є підвищення надійності роботи підімкнених компонентів, а також зниження витрат на експлуатацію інфраструктури.

Стандарт 802.3af передбачає установлення двох типів пристроїв, що використовуються для подачі напруги живлення (Power Sourcing Equipment – PSE): функціонально закінчених (End-Span) і допоміжних (Mid-Span). Пристроями End-Span є комутатори Ethernet з інтегрованою технологією подачі напруги живлення через локальну мережу. Під пристроями Mid-Span розуміють, в основному, концентратори Power-over-Ethernet з кількістю портів від 6 до 24. Вони встановлюються між комутатором Ethernet і кінцевими пристроями. Кожний канал передачі допоміжного пристрою має один порт для прийому даних і комбінований з'єднувач RJ-45 для передачі даних і напруги живлення.

Номінальне значення постійної напруги, що подається по мережі, становить 48 В. Сила струму, яка споживається кожним вузлом мережі, обмежена величиною 350 мА. Загальна споживана потужність досягає приблизно 13 Вт.

Виробники Ethernet-комутаторів пропонують два методи передачі напруги живлення через виту пару: з використанням сигнальних

проводів "передачі" (TX, 1 і 2) і "прийому" (RX, 3 і 6) або додаткових проводів (4, 5 і 7, 8).

Перевага віддається сигнальним проводам RX/TX, тому що ці пари проводів захищені ізолюючим трансформатором. Використання додаткових ліній небажане також і тому, що при цьому обмежується можливість удосконалення системи при переході від режиму 10/100Base-TX до режиму 1000Base-T (Gigabit). У концентраторах і маршрутизаторах, що працюють на гігабітових швидкостях, для передачі/прийому даних одночасно використовуються сигнальні та додаткові лінії UTP-кабелю. Таким чином, для живлення кінцевих пристроїв доцільніше з самого початку використовувати сигнальні лінії, щоб потім спростити перехід на Gigabit-підімкнення.

Для живлення пристроїв, що не мають вбудованої функції PoE, використовуються проміжні термінальні пристрої-розгалужувачі PoE (PoE Splitter).

Існує два основних типи розгалужувачів:

- пасивний розгалужувач, наприклад, трансформаторний вузол H2005A виробництва Pulse Engineering, через який напруга живлення з UTP-кабелю подається до навантаження (PD);
- регулюючий розгалужувач, який перетворює напругу UTP-кабелю в іншу (звичайно в 12 або 24 В), що дозволяє живити через виту пару кінцеві пристрої, що не підтримують функцію PoE.

На рис. 5.15 зображено функціональну схему системи PoE, побудованої з використанням пасивних розгалужувачів H2005A.

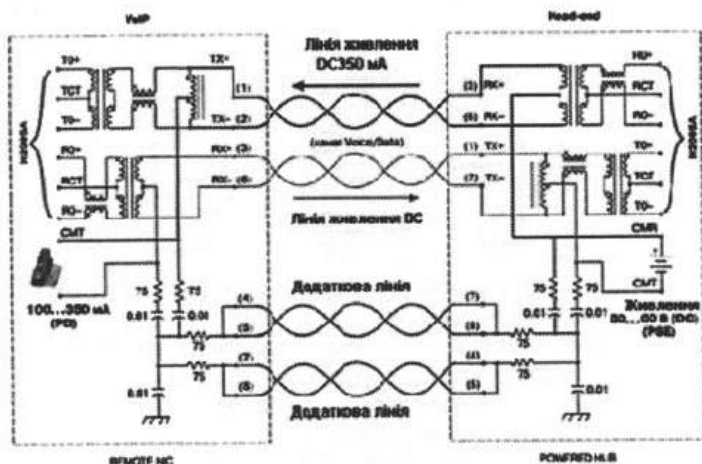


Рис. 5.15. Функціональна схема системи PoE 5.4. Стандарт IEEE 1451.2

Зараз для реалізації мереж збору інформації від інтелектуальних датчиків використовуються такі мережні стандарти: Ethernet, Foundation Fieldbus, LonWorks, Profibus, Interbus-S, Universal Serial Bus (USB), CAN-bus, DeviceNet, WorldDFIP, P-NET, HART, ASI. У деяких перелічених стандартах передбачається інтерфейс (безпосередній або непрямий) з інтелектуальними датчиками. Наприклад, це CAN-bus, ASI-bus, HART та інші, у яких передбачено окремі ланцюги живлення датчиків. Кожен з перелічених стандартів має свої переваги й недоліки, а також специфічні апаратні рішення, які призводять до несумісності інтелектуальних датчиків при підключенні до мереж з різними протоколами. Виготовлення ж інтелектуальних датчиків, які б задовольняли вимоги різних мережних протоколів, виявляється недоцільним внаслідок їхньої високої вартості. Тому в 1993 р. вперше було запропоновано проект стандартів IEEE 1451, основна мета яких – усунути несумісність інтелектуальних датчиків при підключенні до різних мереж і реалізувати технологію Plug&Play. На рис. 5.16 наведено основні елементи мережі, реалізованої в стандарті IEEE 1451.2.

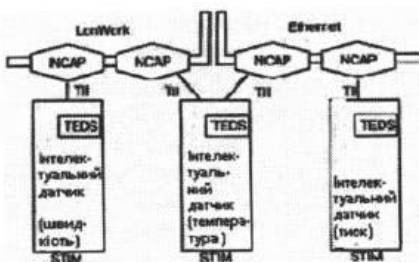


Рис. 5.16. Мережа збору даних у стандарті IEEE 1451.2

NCAP (Network Capable Application Processor) – процесор зв'язку, що здійснює перетворення мережного протоколу до протоколу TII.

TII (Transducer Independent Interface) – десятипровідний послідовний інтерфейс синхронного обміну даними між NCAP та інтелектуальним датчиком (STIM). Протокол послідовної передачі даних базується на порядку обміну даними, прийнятому в інтерфейсі SPI. Крім того, у TII введені додаткові сигнали спеціального призначення й окремі ланцюги живлення. У табл. 5.7 дано перелік сигналів інтерфейсу TII.

STIM (Smart Transducer Interface Module) – власне інтелектуальний датчик (рис. 5.17), що може мати до 255 каналів перетворення. Передача даних і команд керування між модулем STIM і процесором NCAP виконується в цифровому вигляді.

TEDS (Transducer Electronic Data Sheet) – це за своєю суттю пам'ять, у якій зберігаються дані, що описують модуль STIM і параметри каналів перетворення. Формат подання даних регламентується стандартом IEEE 1451.2.

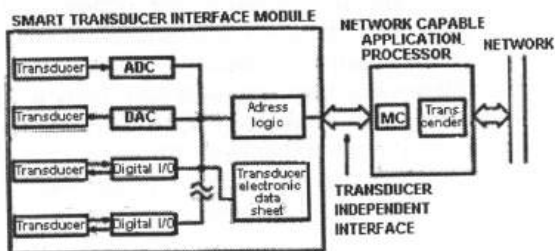


Рис. 5.17. Структурна схема інтелектуального датчика

Таблиця 5.7

Сигнали інтерфейсу TII

Назва	Позначення	Призначення
Data out	DOUT	Передача даних від STIM до NCAP
Data in	DIN	Передача адреси й даних від NCAP до STIM
Data clock	DCLK	Тактовий сигнал. За зростаючим фронтом DCLK здійснюється запис даних DOUT і DIN
N IO enable	NIOE	Сигналізує про активний стан лінії передачі даних
N trigger	NTRIG	Використовується STIM для опитування стану NCAP
Power	POWER	+ 5 В
Common	COMMON	Загальний провід живлення й сигналів
N acknowledge	NACK	Використовується NCAP для опитування стану STIM
N stim detect	NSDET	Використовується NCAP як сигнал, що підтверджує наявність STIM
N IO interrupt	NINT	Сигнал переривання від STIM до NCAP

На базі стандартів IEEE 1451 можна створювати відкриті розподілені системи збору даних, у яких просто здійснюються ідентифікація підімкнених датчиків, зміна параметрів для калібрування датчиків і конфігурації системи, виконання технічного обслуговування, нарощування кількості датчиків, реалізація технології Plug&Play. Виникнення стандартів IEEE 1451 сприяло тому, що багато провідних виробників освоїли випуск пристроїв, сумісних зі стандартом IEEE 1451.2.

Як приклад реалізації підімкнення за стандартом IEEE 1451.2 на рис. 5.18 зображено схему підімкнення мікроконвертера AduC824 фірми Analog Devices до Ethernet-контролера.

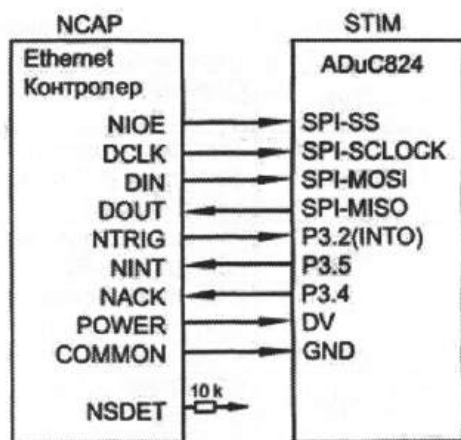


Рис. 5.18. Схема з'єднання AduC824 і NCAP

5.5. Інтерфейс підімкнення датчиків і виконавчих пристроїв AS

Інтерфейс підімкнення датчиків і виконавчих механізмів (Actuator Sensor Interface, далі – AS-інтерфейс) здійснює комунікацію між датчиками (виконавчими механізмами) і системою керування та спрощує монтаж керованої установки. Технічні принципи побудови AS-інтерфейсів забезпечують можливість їхнього гнучкого використання також і в зонах з підвищеною електричною й електромагнітною зашумленістю. Область застосування інтерфейсів AS – це найнижчий рівень ієрархії промислового автоматизованого комплексу – рівень керованого процесу.

Технологія AS-інтерфейсів надає розробникам такі переваги:

- економія кабельної продукції при підімкненні датчиків і виконавчих механізмів до системи керування;
- економія модулів входів/виходів;
- можливість простого й швидкого монтажу навіть силами некваліфікованого персоналу;
- високий рівень електричної та механічної стандартизації;
- здійснення електроживлення датчиків і виконавчих механізмів через комунікаційні лінії;

- високий клас захисту (IP 67), можливість використання безпосередньо у виробничому середовищі;
- висока завадозахищеність завдяки використанню автоматичного контролю правильності передавання інформації;
- простота сервісного обслуговування;
- можливість вбудовування адаптера інтерфейсу AS в існуючі датчики та виконавчі механізми;
- можливість реалізації функцій самотестування й параметрування датчиків і виконавчих механізмів.

AS-інтерфейс є системою з одним головним пристроєм, що керує обміном даними. Цей пристрій по черзі опитує усі підпорядковані пристрої, очікуючи від кожного відповідь. Адреса підпорядкованого пристрою є його ідентифікатором. Установити адресу можна або за допомогою спеціального модуля задавання мережних адрес, або за допомогою головного пристрою. Адреса постійно зберігається у підпорядкованому пристрої. При виготовленні в пристрій завжди записується адреса "0". Система адресації інтерфейсу дозволяє підмикати 62 підпорядкованих пристроїв до одного головного.

Істотною відмінною ознакою інтерфейсу AS є використання того ж самого двопровідного кабелю як для передавання інформації, так і для електроживлення. У цьому випадку використовується принцип послідовної передачі на базовій частоті з модуляцією струму, який ґарантує високу експлуатаційну надійність.

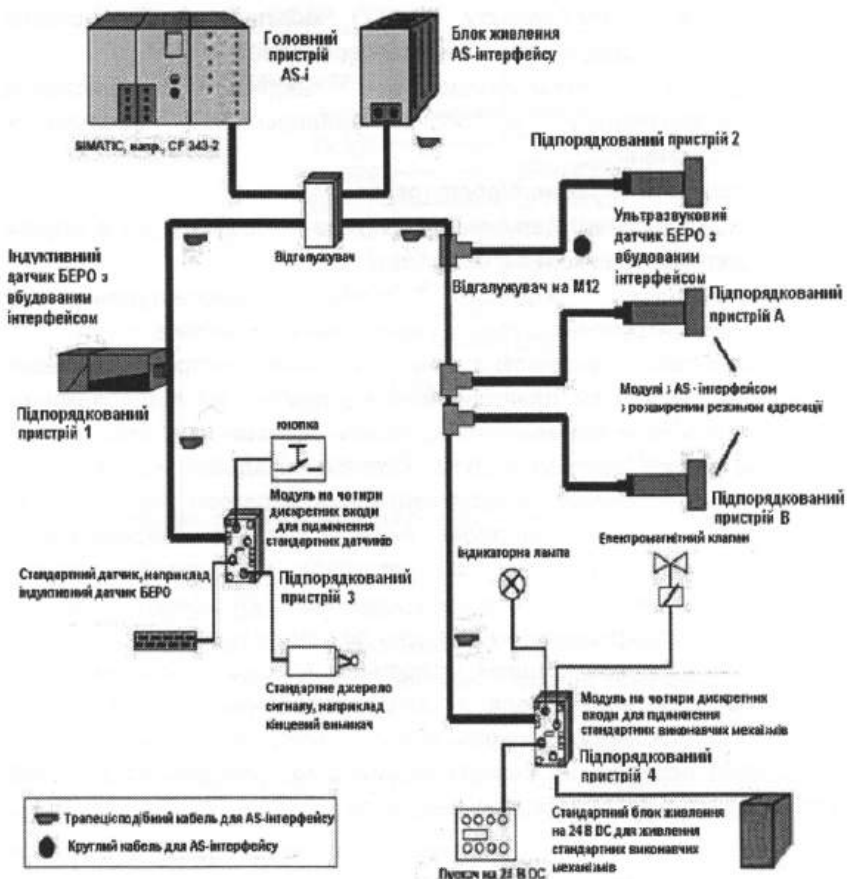


Рис. 5.19. Приклад реалізації AS-інтерфейсу

6. БЕЗПРОВІДНІ ІНТЕРФЕЙСИ

Безпроводні системи зв'язку дуже легко встановлюються й експлуатуються на різних об'єктах. Вони особливо вигідні для роботи у важкодоступних місцях або там, де прокладення кабелю буде дорогою та тривалою задачею. Наприклад, у виробничих цехах або місцях з великим скупченням людей. На базі невеликих пристроїв створюються безпроводні мережі, які дозволяють збирати інформацію й обмінюватися нею, а також організовувати вихід в Інтернет. Далі буде розглянуто декілька стандартів організації безпроводних мереж, кожен з яких має свою специфіку та сферу застосування.

6.1. Інфрачервоний інтерфейс IrDA

Застосування випромінювачів і приймачів інфрачервоного (ІЧ) діапазону дозволяє здійснювати безпроводний зв'язок між парою пристроїв, віддалених на відстань до декількох метрів. Інфрачервоний зв'язок – IR (Infra Red) Connection – безпечний для здоров'я, не створює перешкод у радіочастотному діапазоні та забезпечує конфіденційність передачі. ІЧ-промені не проходять крізь стіни, тому зона прийому обмежується невеликим, легко контрольованим простором. Інфрачервона технологія приваблива для зв'язку портативних комп'ютерів зі стаціонарними комп'ютерами або док-станціями. Інфрачервоний інтерфейс мають деякі моделі принтерів, ним оснащують багато сучасних малогабаритних пристроїв: кишенькові комп'ютери (PDA), мобільні телефони, цифрові фотокамери тощо.

Розрізняють інфрачервоні системи низької (до 115,2 кбіт/с), середньої (1,152 Мбіт/с) і високої (4 Мбіт/с) швидкості. Низькошвидкісні системи служать для обміну короткими повідомленнями, високошвидкісні – для обміну файлами між комп'ютерами, підімкнення до комп'ютерної мережі, виводу на принтер, проекційний апарат та ін.

Випромінювачем для ІЧ-зв'язку є світлодіод, що має пік спектральної характеристики потужності на довжині хвилі 880 нм; світлодіод дає конус ефективного випромінювання з кутом близько 30°. Як приймач використовують PIN-діоди, що ефективно приймають ІЧ-промені в конусі 15°. Специфікація IrDA ставить вимоги до потужності передавача й чутливості приймача, причому для приймача задається як мінімальна, так і максимальна потужність ІЧ-променів. Імпульси занадто малої потужності приймач не «побачить», а занадто велика потужність «засліплює» приймач – прийняті імпульси зіллються в нерозрізнений

сигнал. Крім корисного сигналу на приймач впливають такі завади: засвічування сонячним освітленням і лампами накаливання, що дає постійну складову оптичної потужності, і засвічування від люмінесцентних ламп, що дають змінну (але низькочастотну) складову. Ці завади необхідно фільтрувати. Оскільки передавач майже неминуче викликає засвічування свого ж приймача, вводячи його в насичення, доводиться задіювати півдуплексний зв'язок з фіксованими часовими зазорами при зміні напрямку обміну. Для передачі сигналів використовують двійкову модуляцію (є світло – немає світла) і різні схеми кодування.

Специфікація IrDA визначає багаторівневу систему протоколів. Нижче перелічені варіанти, можливі на фізичному рівні IrDA.

- IrDA SIR – для швидкостей 2,4...115,2 кбіт/с використовується стандартний асинхронний режим передачі (як у COM-портах): старт-біт (нульовий), 8 бітів даних і стоп-біт (одиничний). Нульове значення біта кодується імпульсом тривалістю 3/16 бітового інтервалу (1,63 мкс на швидкості 115,2 кбіт/с), одиничне – відсутністю імпульсів (режим IrDA SIR-A). Таким чином, у паузі між послілками передавач не світить, а кожна послілка починається з імпульсу старт-біта.

- ASKIR – для швидкостей 9,6...57,6 кбіт/с також використовується асинхронний режим, але кодування інше: нульовий біт кодується послілкою імпульсів з частотою 500 кГц, одиничний – відсутністю імпульсів.

- IrDA HDLC – для швидкостей 0,576 і 1,152 Мбіт/с використовується синхронний режим передачі й кодування (аналогічно протоколу SIR) але з тривалістю імпульсу 1/4 бітового інтервалу. Формат кадру відповідає протоколу HDLC, початок і кінець кадру позначаються прапорами 01111110, всередині кадру ця бітова послідовність виключається шляхом вставки бітів. Для контролю вірогідності кадр містить 16-бітний CRC-код (циклічний надлишковий код).

- IrDA FIR (IrDA4PPM) – для швидкості 4 Мбіт/с також застосовується синхронний режим, але кодування трохи складніше. Тут кожна пара суміжних бітів кодується позиційно-імпульсним кодом: 00 – 1000, 01 – 0100, 10 – 0010, 11 – 0001 (у четвірках символів «1» означає послілку імпульсу у відповідній чверті двобітного інтервалу). Такий спосіб кодування дозволив удвічі знизити частоту увімкнення світлодіода порівняно з попереднім способом. Сталість середньої частоти прийнятих імпульсів полегшує адаптацію до рівня зовнішнього засвічування. Для підвищення вірогідності застосовується 32-бітний CRC-код.

Над фізичним рівнем розташований протокол доступу IrLAP (IrDA Infrared Link Access Protocol) – модифікація протоколу HDLC, що відбиває потреби ІЧ-зв'язку. Цей протокол інкапсулює дані в кадри і запобігає конфліктам пристроїв: за наявності більше двох пристроїв, які бачать один одного, один з них призначається первинним, а інші – вторинними. Режим зв'язку – півдуплексний. IrLAP описує процедуру встановлення, нумерації та закриття з'єднань. З'єднання встановлюється на швидкості 9600 біт/с, після чого узгоджується швидкість обміну за максимумом доступним обом пристроям (9,6, 19,2, 38,4, 57,6 або 115,2 кбіт/с) і встановлюються логічні канали (кожний канал керується одним головним пристроєм).

Над IrLAP розташовується протокол керування з'єднанням IrLMP (IrDA Infrared Link Management Protocol). За його допомогою пристрій повідомляє іншим про свою присутність у зоні досяжності (конфігурація пристроїв IrDA може змінюватися динамічно: для її зміни досить піднести новий пристрій або віднести його подалі). Протокол IrLMP дозволяє виявляти сервіси, що надаються пристроєм, перевіряти потоки даних і виступати в ролі мультиплексора для конфігурацій з безліччю доступних пристроїв. Пристрої за допомогою IrLMP можуть довідатися, чи присутній необхідний їм пристрій у зоні досяжності. Однак гарантованої доставки даних цей протокол не забезпечує.

Транспортний рівень забезпечується протоколом Tiny TP (IrDA Transport Protocols) – тут обслуговуються віртуальні канали між пристроями, оброблюються помилки (загублені пакети, помилки даних та ін.), здійснюються пакування даних у пакети та відновлення вихідних даних з пакетів (протокол нагадує TCP). На транспортному рівні може працювати і протокол IrTP.

Цими протоколами не вичерпується весь список протоколів, що мають відношення до ІЧ-зв'язку. Зазначимо, що для дистанційного керування побутовою технікою (телевізори, відеомагнітофони тощо) використовується той же діапазон 880 нм, але інші частоти і методи фізичного кодування.

Приймач-передавач IrDA може бути підімкнений до комп'ютера різними способами; відносно системного блоку він може бути як внутрішнім (розташованим на лицьовій панелі), так і зовнішнім, розміщеним у довільному місці. Встановлювати приймач-передавач необхідно з урахуванням кута зору (30° у передавача і 15° у приймача) і відстані до необхідного пристрою (до 1 м).

Внутрішні приймачі-передавачі на швидкостях до 115,2 кбіт/с (IrDA SIR, HP-SIR, ASK IR) підмикаються через звичайні мікросхеми UART, сумісні з 16450/16550 через порівняно нескладні схеми модуляторів-

демодуляторів. Існують внутрішні адаптери й у вигляді карт розширення (для шин ISA, PCI, PC Card); для системи вони виглядають як додаткові COM-порти.

На середніх і високих швидкостях обміну застосовуються спеціалізовані мікросхеми контролерів IrDA, орієнтовані на інтенсивний програмно-керований обмін або DMA, з можливістю прямого керування шиною. У цьому випадку звичайний приймач-передавач UART непридатний, оскільки він не підтримує синхронний режим і високу швидкість. Контролер IrDA FIR виконується у вигляді карти розширення або інтегрується в системну плату; як правило, такий контролер підтримує і режими SIR.

Приймач-передавач підмикається до з'єднувача IR-Connector системної плати безпосередньо (якщо він установлюється на лицьову панель комп'ютера) або через проміжний з'єднувач (mini-DIN), розташований на скобі-заглушці задньої стінки корпусу. На жаль, єдиної розкладки ланцюгів на внутрішньому конекторі немає, і для більшої гнучкості приймач-передавач (або проміжний з'єднувач) доповнюють кабелем з окремими контактами з'єднувачів. Зібрати їх у належному порядку доручають користувачеві; варіанти призначення контактів конектора інфрачервоного приймача-передавача наведено в табл. 6.1. Деякі приймачі-передавачі, що підтримують режими FIR і SIR, мають роздільні виходи приймачів – IRRX (для SIR) і FIRRX (для FIR). Якщо контролер підтримує тільки один з режимів, один з контактів залишиться непідімкненим.

Таблиця 6.1
Конектор інфрачервоного приймача-передавача

Ланцюг	Призначення	Контакт/варіант			
		1	2	3	4
IRRX(RX)	Вихід приймача	1	3	3	3
FIRRX (RXH)	Вихід приймача FIR	5	–	–	4
IRTX (TX)	Вхід передавача	3	5	1	1
GND	Загальний	2,7	4	2	2
Vcc (+5B)	Живлення	4,6	1	5	5
NC	Вільний	–	2	4	–

Зовнішні ІЧ-адаптери випускають з інтерфейсом RS-232C для підімкнення до COM-порту або ж із шиною USB. Пропускної здатності

USB достатньо навіть для FIR, COM-порт придатний тільки для SIR. Зовнішній ІЧ-адаптер IrDA SIR для COM-порту не такий простий, як здавалося б: для роботи модулятора-демодулятора потрібен сигнал синхронізації з частотою, що дорівнює 16-кратній частоті передачі даних (цей сигнал надходить на синхровхід мікросхеми UART COM-порту). Такого сигналу на виході COM-порту немає і його доводиться відновлювати з асинхронного бітового потоку. Адаптер ASK IR у цьому плані простіший – передавач повинен передавати високочастотні імпульси увесь час, поки вихід TXD у стані логічної 1; приймач повинен формувати обвідну прийнятих імпульсів.

Для прикладного використання IrDA крім фізичного підімкнення адаптера і трансивера потрібні установлення й налаштування відповідних драйверів. В ОС Windows 9x/ME/2000 контролер IrDA попадає в групу «Мережне оточення». Сконфігуроване ПЗ дозволяє встановлювати з'єднання з локальною мережею (для виходу в Інтернет, використання мережних ресурсів); передавати файли між парою комп'ютерів; виводити дані на друк; синхронізувати дані PDA, мобільного телефону та настільного комп'ютера; завантажувати зняті зображення з фотокамери в комп'ютер і виконувати багато інших корисних дій.

6.2. Радіоінтерфейс Bluetooth

6.2.1. Основні характеристики інтерфейсу Bluetooth

Технологія Bluetooth дозволяє замінити безліч різноманітних кабелів одним універсальним радіоз'єднанням. По суті Bluetooth – це глобальна специфікація безпроводного зв'язку. Частиною будь-якої Bluetooth-системи можуть бути принтери, кишенькові та настільні комп'ютери, факс-машини, клавіатури, джойстики, мобільні телефони, побутова техніка, промислові комп'ютери, засоби вимірювальної техніки та інші пристрої.

Оскільки для зв'язку в радіочастотному діапазоні характерний високий рівень завад, технологія Bluetooth використовує швидкий відгук і стрибкоподібну зміну несучої частоти. Щоб уникнути інтерференції з іншими джерелами сигналів, частота змінюється після кожного прийому або передачі одного пакету інформації. Завдяки цьому обмежується вплив домашніх і професійних мікрохвильових приладів, наприклад СВЧ-печей. Щоб забезпечити завадостійкість на

більш довгій дистанції, у Bluetooth передбачена пряма корекція помилок FEC (Forward Error Correction).

Основний принцип побудови систем Bluetooth – метод розширення спектра при стрибкоподібній зміні частоти (FHSS – Frequency Hop Spread Spectrum). Увесь виділений для Bluetooth-радіозв'язку частотний діапазон 2,402...2,480 ГГц розбитий на N частотних каналів. Смуга кожного каналу – 1 МГц, рознесення каналів – від 140 до 175 кГц. Для кодування пакетної інформації використовується частотна модуляція (рис. 6.1). Максимальна швидкість передачі даних між пристроями досягає 1 Мбіт/с. При повнодуплексному режимі передачі використовується схема поділу часу. Тимчасові інтервали можуть резервуватися і для синхронної передачі. Кожний пакет інформації передається протягом одного часового інтервалу, однак в особливих випадках кількість таких інтервалів може бути збільшена до п'яти.

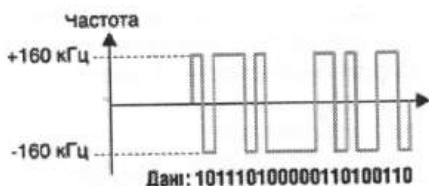


Рис. 6.1. Кодування інформації у Bluetooth

Зміна каналів проводиться за квазівипадковим законом з частотою 1600 Гц. Постійне чергування частот дозволяє радіоінтерфейсу Bluetooth транслювати інформацію з усього виділеного діапазону й уникнути впливу завад з боку пристроїв, що працюють у цьому ж діапазоні.

Модулі Bluetooth працюють тактами (слотами) тривалістю 625 мкс. Кожному модулю у межах кожного такту призначаються відповідний частотний канал і режим передачі або прийому. Таким чином, базова частота може змінюватися, приймаючи одне з 79 значень з інтервалом 1 МГц, починаючи від 2,402 ГГц і закінчуючи 2,480 ГГц. Швидкість переходу з однієї частоти на іншу може досягати 1600 Гц. Номінальний діапазон зв'язку – від 10 см до 10 м, однак при додатковому посиленні сигналів максимальна відстань збільшується до 100 м.

Основний для даної технології протокол керування логічними каналами й адаптацією L2CAP (Logical Link Control and Adaptation

Protocol) передбачає два типи передачі даних. Асинхронний протокол комутації пакетів без встановлення з'єднань ACL (Asynchronous Connectionless Links), оснований на Ethernet, забезпечує асиметричну передачу. Другий тип передачі – по синхронному протоколу комутації каналів із встановленням з'єднань SCO (Circuit-switched Synchronous Connection Oriented links). Специфікація регламентує один асинхронний канал обміну даними або до трьох синхронних каналів передачі голосу. При іншій схемі роботи можлива організація одного асинхронного каналу обміну даними й одного синхронного каналу передачі голосу.

Синхронний зв'язок SCO розрахований на встановлення симетричного з'єднання "точка – точка" і служить переважно для передачі мовних повідомлень. Швидкість передачі інформації SCO дорівнює 64 кбіт/с. Другий вид зв'язку ACL призначений для пакетної передачі даних. Він підтримує симетричні й асиметричні з'єднання типу "точка – багато точок". По асинхронному каналу асиметричний зв'язок здійснюється на швидкості 721 кбіт/с в одному напрямку і на швидкості 57,6 кбіт/с – в іншому. При симетричному обміні швидкість в обох напрямках досягає 432,6 кбіт/с. Пакети даних мають фіксований формат. На початку блока міститься 72-розрядний код доступу. Він може застосовуватися, зокрема, для синхронізації пристроїв. За ним йде 54-розрядний заголовок пакета, який складається з контрольної суми пакета й інформації про його параметри (наприклад, про повторну передачу блоку даних). Замикає пакет область, що безпосередньо містить інформацію, яка пересилається. Розмір цієї області варіюється від 0 до 2745 бітів.

Основні переваги радіоінтерфейсу Bluetooth:

- простота використання;
- малі розміри;
- безпека передавання даних;
- високий рівень стандартизації.

Проте існують і деякі недоліки:

- неможливість побудови мереж складної топології;
- відносно велике споживання енергії.

6.2.2. Мережі Piconet і Scatternet

Різні Bluetooth-пристрої з'єднуються один з одним автоматично, як тільки з'являються в межах досяжності. За способом з'єднання можна виділити мережі Piconet і Scatternet (рис. 6.2).



Рис. 6.2. Мережі Piconet і Scatternet

Bluetooth-пристрої можуть установлювати як з'єднання типу "точка – точка", якщо є тільки два пристрої, так і "точка – багато точок", коли один пристрій одночасно працює з декількома іншими. В останньому випадку пристрій, що обслуговує кілька з'єднань, називається master (головний), а підімкнені пристрої – slave (підпорядковані). Крім пристроїв, які активно обмінюються даними (але є підпорядкованими), є ще безліч неактивних підпорядкованих пристроїв, які не можуть обмінюватися даними з головним, поки зайняті всі канали, але проте залишаються синхронізованими з ним. Така структура називається Piconet.

Іншими словами, Piconet – це мережа, що містить від двох до восьми пристроїв, які обмінюються даними між собою з дотриманням протоколів Bluetooth. За визначенням усі пристрої Bluetooth рівноправні, але при утворенні Piconet одне з них стає головним, а інші – підпорядкованими. Головний пристрій синхронізує частоту і її зміни для всіх інших пристроїв у Piconet. Для розпізнавання будь-якого пристрою у мережі виділяється трирозрядна MAC-адреса. Якщо буде потрібно, будь-який керований пристрій у Piconet може стати головним, помінявшись роллю зі старим "лідером".

Декілька незалежних і несинхронізованих мереж Piconet, між якими можливий обмін інформацією, утворюють розподілену мережу Scatternet. Такі мережі можуть мати топологію типу "точка – точка" і "точка – багато точок".

У Scatternet може поєднуватися стільки Bluetooth-пристроїв, скільки потрібно, логічні зв'язки можуть утворюватися так, як потрібно, і змінюватися як завгодно. Єдина умова: різні мережі Piconet, що входять в одну Scatternet, повинні використовувати різні канали зв'язку, тобто працювати на різних частотах і мати різні канали зміни частот. Усього специфікація передбачає 10 варіантів подібних послідовностей: п'ять з циклом у 79 змін і п'ять – з циклом у 23 зміни.

Такий алгоритм дозволяє ефективно боротися із загасанням радіосигналу й інтерференцією.

6.2.3. Елементна база Bluetooth

Структуру пристрою Bluetooth показано на рис. 6.3. До його складу входять радіомодуль-трансивер, контролер зв'язку (baseband-процесор) і пристрій, що керує зв'язком, який власне й реалізує протоколи Bluetooth верхніх рівнів, а також інтерфейс із термінальним пристроєм. Причому якщо трансивер і контролер зв'язку – це спеціалізовані мікросхеми, то пристрій керування зв'язком реалізують на стандартних мікроконтролерах, сигнальних процесорах або його функції підтримують центральні процесори потужних термінальних пристроїв (наприклад ноутбуків).



Рис. 6.3. Структура пристрою Bluetooth

Крім того, у пристроях Bluetooth застосовують IC, які використовуються в інших стандартах радіозв'язку. Так, однією з перших своє рішення для Bluetooth подала фірма Philips Semiconductors, запропонувавши комплект IC, що містить чотири мікросхеми – синтезатор UMA1022, підсилювач потужності SA2410, схему модуляції SA639 і трансивер SA2420. Однак незабаром Philips запропонувала спеціалізований чипсет, що підтримує специфікацію Bluetooth 1.0. Він містить однокристальний трансивер UAA3558, що базується на оригінальній технології низької проміжної частоти, і baseband-процесор серії VWS2600x. Процесор VWS26002 може працювати і з трансивером компанії Ericsson PBA 313, він містить ядро 32-розрядного RISC-мікроконтролера ARM7 TDMI (компанії ARM), кодек голосу, підтримує інтерфейси UART, USB, PCM і I²C. Виготовляється процесор за 0,25-мкм КМОП-технологією, тому характеризується малою потужністю споживання й низькою напругою: 1,8...2,5 В – для цифрового ядра і 2,5...3,3 В – для портів вводу/виводу.

Фірма Atmel пропонує чипсет, що містить контролер AT76C551 і однокристальний трансивер T2901, структуру якого показано на рис. 6.4. Трансивер T2901 забезпечує радіус дії до 10 м, при

необхідності його збільшення до 100 м рекомендується використання мікросхеми T7024, що містить попередній підсилювач з низькими шумами і 23 дБм підсилювач потужності (рис. 6.5).

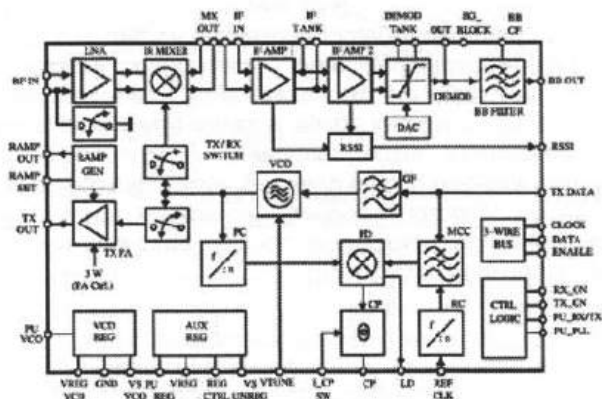


Рис. 6.4. Структура трансивера T2901:

DAC – цифроаналоговий перетворювач;

LNA – підсилювач з низькими шумами;

MCC – головний пульт керування;

RAMP – протокол підтримки віддаленого доступу;

VCO – генератор, керований напругою

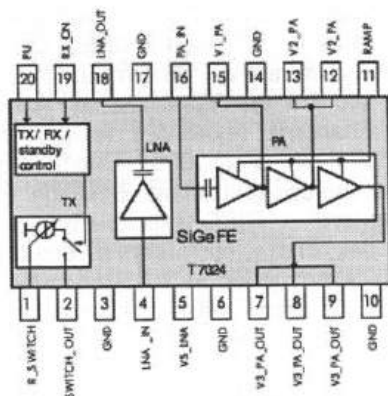


Рис. 6.5. Структура IC T7024

Компанія Lucent Technologies також виробляє чипсет для Bluetooth, що містить однокристальний передавач W7020 з низькою потужністю споживання (напруга живлення – до 2,7 В), і baseband-контролер W7400. Свій комплект IC Odyssey випустила також фірма Silicon Wave. У цей комплект входять радіомодем SiW1501 і контролер зв'язку SiW1601.

Чипсет компанії National Semiconductor складається з трансивера з вбудованим ФАПЧ LMX3162 і контролера зв'язку LMX5001. Як і у випадку чипсета Odyssey, при реалізації Bluetooth-пристроїв на базі цього комплекту схем необхідний процесор, що виконує функції керування. Ним може бути центральний процесор комп'ютера або, наприклад, сигнальний процесор ADSP-218x (Analog Devices) з відповідним програмним забезпеченням.

Крім комплектів мікросхем, ряд фірм, серед яких Philips і Ericsson, виробляють конструктивно закінчені Bluetooth-модулі.

6.3. Безпроводна технологія ZigBee

Технологія ZigBee зайняла нішу радіоінтерфейсів для низькошвидкісних пристроїв з надмалим енергоспоживанням, де використовувалися або технології з більш високими експлуатаційними характеристиками і високим енергоспоживанням, або рішення, що базуються на мікросхемах радіотрансиверів різних виробників, що не належать до жодного з поширених стандартів. Стандарти Bluetooth і WLAN відмінно підходять для передачі великих обсягів інформації (голосу, даних, відео) з високою швидкістю (від 1 до 200 Мбіт/с) і з дальністю передачі від 10 до 100 м. Пристрої на їхній основі здатні працювати в автономному режимі (від батарей та акумуляторів). Все це дозволяє замінити провідні з'єднання в таких системах, як комп'ютерні та розважальні системи, обчислювальні мережі. Однак існує велика кількість систем (різноманітні датчики, системи контролю і збору інформації тощо), що мають особливу специфіку (невеликі об'єми переданої інформації, мале енергоспоживання, простота установлення й обслуговування, велика кількість вузлів мережі та ін.). Очевидно, у таких пристроях неможливо зі стовідсотковою ефективністю використовувати згадані технології. Саме на реалізацію подібних задач націлений стандарт IEEE 802.15.4 (ZigBee) для низькошвидкісних WPAN-мереж.

Технологія ZigBee не призначена для передачі великих об'ємів інформації, як Wi-Fi або Bluetooth. Однак для передачі, наприклад, показів датчиків, об'єм яких рідко перевищує кілька десятків байт, не

потрібно високих швидкостей – у цьому випадку обов'язкові високі показники з енергоспоживання, ціни та надійності. Більшість пристроїв ZigBee буде працювати за таким алгоритмом: пристрій перебуває у "сплячому" стані практично увесь час, забезпечуючи оптимальний режим енергозбереження. При надходженні нової інформації або під час чергового сеансу зв'язку пристрій активізується, швидко передає дані та знову переходить у режим зниженого енергоспоживання. Типові часові затримки при цьому становлять 30 мс для підімкнення нового пристрою до мережі, 15 мс для переходу зі "сплячого" в активний стан, 15 мс для доступу до каналу.

Стандарт 802.15.4 ґрунтується на півдуплексній передачі даних (пристрій може або передавати, або приймати дані). Дальність поширення сигналу звичайно становить 30...50 м, однак при використанні зовнішніх підсилювачів потужності, підсилювачів з низькими шумами й узгодженої антени дальність може досягати 100 м без істотного зниження швидкості. Пропускна здатність прямо залежить від обраної частоти. Максимальна швидкість передачі, яка дорівнює 250 кбіт/с, досягається в діапазоні 2,4 ГГц (16 каналів з кроком 5 МГц). Для частот 868 МГц (1 канал) і 902...928 МГц (10 каналів з кроком 2 МГц) швидкості передачі дорівнюють відповідно 20 кбіт/с і 40 кбіт/с.

Компанія Texas Instruments випускає кілька нових кристалів безпроводної технології ZigBee.

CC2420 – це недорогий трансивер, спеціально створений для малопотужних низьковольтних радіочастотних пристроїв у смузі частот 2,4 ГГц, що не потребує ліцензування. Це перший RF-трансивер, який випускається в промисловому масштабі і відповідає стандарту IEEE 802.15.4. Це також перша радіочастотна інтегральна схема, кваліфікована для використання в продукції, що відповідає стандарту 2.4 GHz ZigBee (рис. 6.6).

Основні характеристики CC2420:

- наявність DSSS-модему з високою швидкістю передачі даних 250 кбіт/с;
- низька напруга живлення, керована внутрішнім регулятором напруги (2,1...3,6 В);
- не потрібний зовнішній RF-перемикач/фільтр;
- можливість програмування вихідної потужності;
- доступність потужних та гнучких інструментів для розробки;
- легкість у використанні програмного забезпечення для оцінки продуктивності.

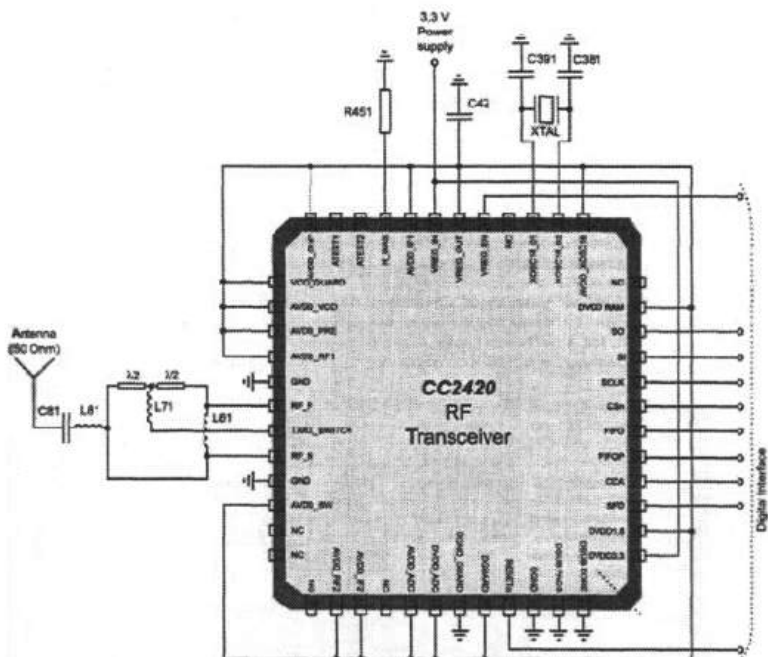


Рис. 6.6. Схема застосування трансивера CC2420

CC2430 – це недорогий трансивер, інтегрований з мікроконтролером 8051 (рис. 6.7). Описаний вище RF-трансивер CC2420 був об'єднаний на одному кристалі зі стандартним ядром мікроконтролера 8051, включаючи 32, 64 або 128 кбайт інтегрованої енергонезалежної Flash-пам'яті – версії CC2430-F32, CC2430-F64, CC2430-F128 відповідно. Усі три версії мають 8 кбайт ОЗУ. Крім того трансивер містить DMA-контролер таймера, восьмиканальний 14-розрядний АЦП, два послідовних порти UART, сторожовий таймер, що програмується, і 21 вивід I/O загального призначення, що конфігурується.

У 2007 році був випущений процесор для мереж ZigBee CC2480, який є першою мікросхемою із запланованої сім'ї процесорів Z-Accel. Процесор CC2480 призначений для систем автоматизації будинків, промислового моніторингу та керування, мереж безпроводних датчиків і електроніки широкого споживання. Він дозволяє значно спростити розробку нових безпроводних пристроїв з низьким енергоспоживанням і додати функцію безпроводного зв'язку в існуючі вироби. Як зовнішній

мікроконтролер може бути використаний будь-який відомий розробнику пристрій, зв'язок з яким здійснюється по інтерфейсу SPI або UART. Таким чином, процесор CC2480 дозволяє розробити ZigBee-пристрій без необхідності детального вивчення специфікацій стандарту IEEE 802.15.4.

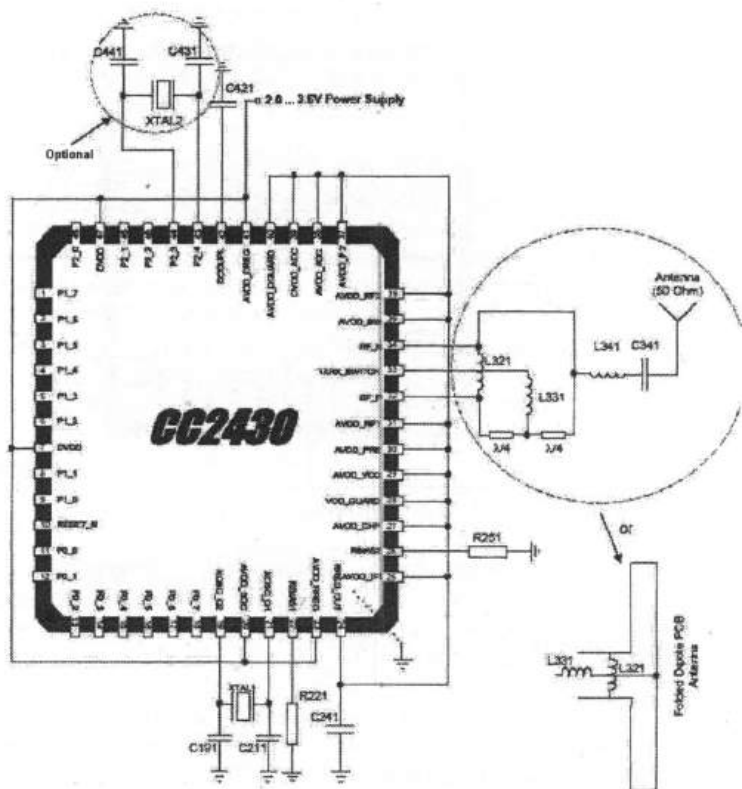


Рис. 6.7. Схема застосування трансивера CC2430

Компанія ATMEЛ випускає ІМС AT86RF230 – приймач-передавач з низьким споживанням енергії, що працює у діапазоні 2,4 ГГц, спеціально розроблений для ZigBee-пристроїв низького цінового діапазону. Усі компоненти RF, за винятком антени і блокувальних конденсаторів, інтегровані в мікросхему. Схему увімкнення AT86RF230 зображено на рис. 6.8.

Основні характеристики AT86RF230:

- інтегрований приймач-передавач на 2,4 ГГц;
- чутливість приймача – 101 дБм;
- низьке споживання;
- струм споживання в режимі очікування – 0,1 мкА;
- напруга живлення 1,8...3,6 В;
- вбудований регулятор напруги;
- моніторинг батарейного живлення;
- SPI-інтерфейс;
- повна сумісність з IEEE 802.15.4;
- вбудований кварцовий генератор 16 МГц;
- незначна кількість зовнішніх компонентів.

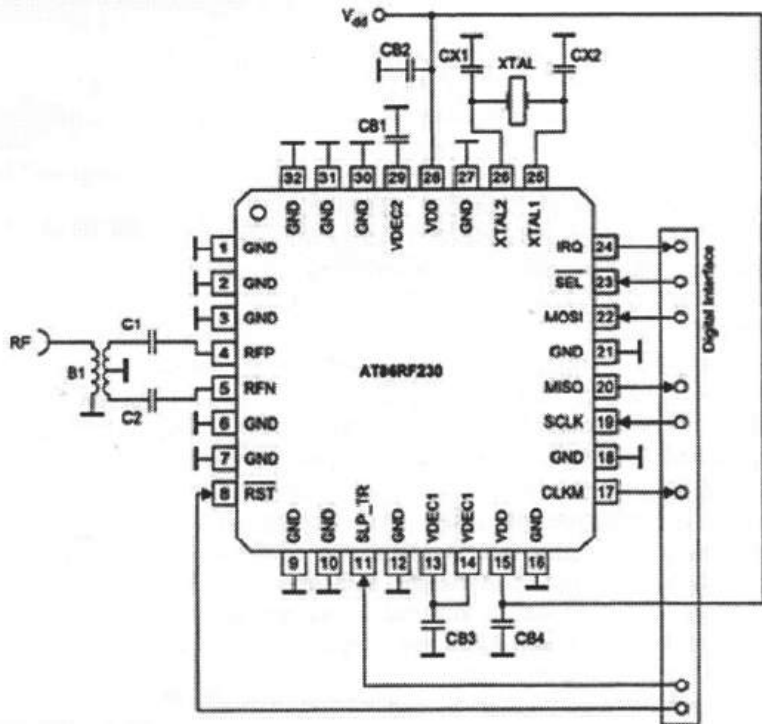


Рис. 6.8. Розташування виводів і схема увімкнення AT86RF230

6.4. Приймачі-передавачі для радіозв'язку в діапазоні частот, що не підлягає ліцензуванню (433/868)

Для безпроводного керування й передавання даних у режимі вільного використання надаються так звані діапазони ISM, що не підлягають ліцензуванню: 433,92 МГц \pm 0,2% і 868...868,2 МГц. Ці частоти доцільно використовувати для організації простих з'єднань типу „точка – точка” або „зірка” з невеликими швидкостями обміну.

Компанія Analog Devices випускає декілька приймачів-передавачів для двостороннього радіозв'язку на малих відстанях. Приймачі-передавачі призначені для застосування в безпарольних системах доступу й для передачі сигналів телекерування, але можуть використовуватися і для передачі інших даних. Параметри приймачів-передавачів дозволяють підтримувати технології надширокопasmового зв'язку, які забезпечують підвищення перешкодозахищеності каналу прийому/передачі.

Мікросхеми ADF7010, ADF7011 і ADF7012 являють собою однокристалні радіопередавачі, призначені для побудови систем збору й передачі на невеликі відстані цифрових даних. Радіопередавачі (крім ADF7012) розраховані на роботу в діапазонах частот ISM (Industrial, Scientific and Medical – діапазонах, відведених для промислових, наукових і медичних радіоприладів), що не підлягають ліцензуванню, і забезпечують швидкість передачі даних до 76,8 кбіт/с (179,2 кбіт/с для ADF7012). IC ADF7010 працює у смузі частот 902...928 МГц, що відведена для цих цілей у Північній Америці, а IC ADF7011 призначена для роботи в Європі у відведених діапазонах частот 868...870 і 433...435 МГц. Передавач ADF7012 працює у широкому діапазоні частот – від 50 МГц до 1 ГГц. Усі мікросхеми забезпечують формування сигналів з амплітудно-імпульсною модуляцією (ASK - amplitude shift keying); частотно-імпульсною модуляцією (FSK – frequency shift keying); частотно-імпульсною модуляцією з гауссівською обвідною (GFSK – Gaussian frequency shift keying); модуляцією вмиканням/вимиканням (OOK – on-off keying). Радіосигнал з кожним з перерахованих видів модуляції формується IC з використанням цифрових методів, що забезпечує мінімізацію кількості зовнішніх компонентів і стабільність характеристик передавача. Функціональну схему ADF7011 зображено на рис. 6.9 (інші IC побудовані за такою самою функціональною схемою).

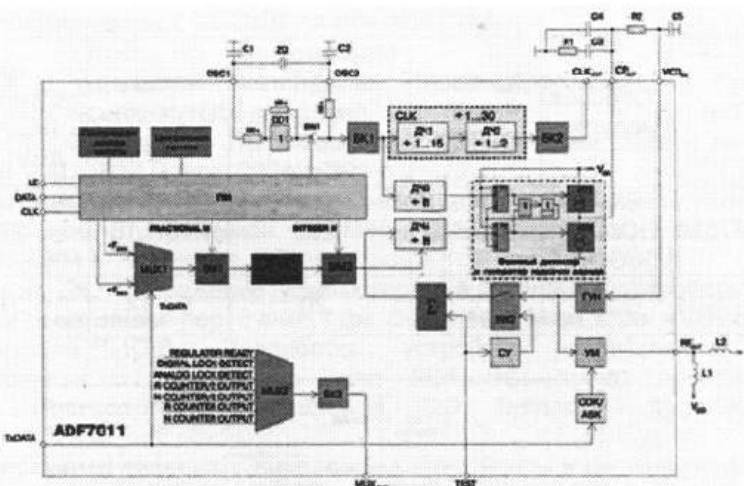


Рис. 6.9. Функціональна схема однокристалного передавача ADF7011

У табл. 6.2 наведено основні технічні характеристики однокристалних радіопередавачів компанії Analog Devices. Усі передавачі мають вбудовані стабілізатори напруги, що дозволяє зберігати їхні технічні характеристики при зміні напруги джерела живлення. На рис. 6.10 показано приклад схеми передавача з вихідною потужністю 10 дБм.

Таблиця 6.2

Основні технічні характеристики однокристалних радіопередавачів

Тип	Способи модуляції	Діапазон частот, МГц	Максимальна швидкість передачі інформації, кбіт/с	Вихідна потужність, дБм	Ток споживання ($P_{\text{вих}}=10$ дБм), мА
ADF7010	FSK/ASK/GFSK	902...928	76	-20...10	30
ADF7011	FSK/ASK/GFSK	433...435/ 866...870	76	-20...10	30
ADF7012	FSK/ASK/GFSK	50...1000	150	-16...13	21

Тип	Способи модуляції	Діапазон частот, МГц	Максимальна швидкість передачі інформації, кбіт/с	Вихідна потужність, дБм	Ток споживання ($P_{\text{вих}}=10$ дБм), мА
ADF7020	FSK/ASK/OOK/GFSK/GOOK	135...650	200	-16...13	27
ADF7901	ASK/GFSK/OOK	369,5...395,9	20	5...14	21

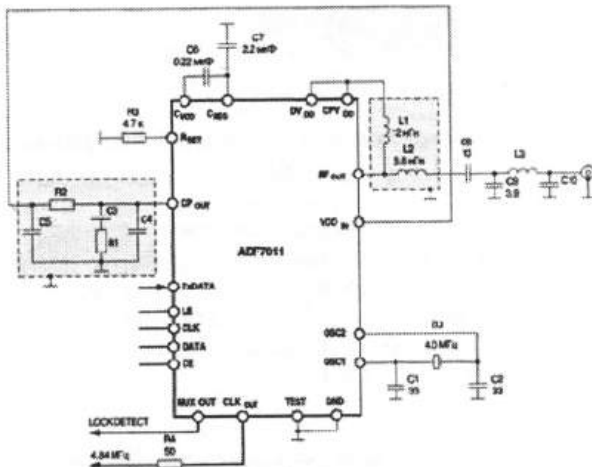


Рис. 6.10. Схема увімкнення ADF7011 (вихідна частота 433 МГц, потужність 10 дБм)

Перевагами безпроводних мереж стандартів 433/868 є:

- відносно великий радіус дії;
- знижені вимоги до точності узгодження з антеною;
- низька ціна.

Недоліки таких мереж полягають у такому:

- невелика швидкість передавання інформації;
- відсутність стандартних протоколів зв'язку та засобів захисту інформації;
- висока завантаженість діапазонів в умовах міста.

БИБЛИОГРАФИЧНИЙ СПИСОК

Гук М. Аппаратные интерфейсы ПК. Энциклопедия / М. Гук. – СПб.: Питер, 2002. – 528 с.

Ан П. Сопряжение ПК с внешними устройствами: пер. с англ. / П. Ан. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 320 с.

Науман Г. Стандартные интерфейсы для измерительной техники: пер. с нем. / Г. Науман, В. Майлинг, А. Щербина. – М.: Мир, 1982. – 304 с.

Смит Дж. Сопряжение компьютеров с внешними устройствами. Уроки реализации: пер. с англ. / Дж. Смит. – М.: Мир, 2000. – 266 с.

Новиков Ю.В. Разработка устройств сопряжения для персонального компьютера типа IBM PC: практ. пособие / Ю.В. Новиков, О.А. Калашников, С.Э. Гуляев. – М.: ЭКОМ, 1998. – 224 с.

Періодичні видання «Электронные компоненты и системы», «CHIP News», «ПикаД», «Радиокомпоненты».

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1. ПОНЯТТЯ ІНТЕРФЕЙСУ, ХАРАКТЕРИСТИКИ, КЛАСИФІКАЦІЯ.....	4
2. ІНТЕРФЕЙСИ МІКРОПРОЦЕСОРНИХ СИСТЕМ	10
2.1. Послідовні шини на базі інтерфейсу I ² C.....	10
2.1.1. Призначення та режими роботи інтерфейсу I ² C.....	10
2.1.2. Обмін даними по шині I ² C.....	11
2.1.3. Адресація в інтерфейсі I ² C.....	13
2.1.4. Особливості застосування і приклади реалізації шини I ² C.....	16
2.2. Інтерфейс SPI.....	19
2.3. Асинхронний послідовний порт UART.....	21
2.4. Шина USB.....	22
2.4.1. Організація шини USB.....	22
2.4.2. Передача даних по шині USB.....	24
2.4.3. Типи передач даних.....	26
2.5. Шина IEEE 1394 – FireWire.....	27
2.5.1. Організація шини FireWire.....	27
2.5.2. Протокол IEEE 1394.....	30
2.5.3. Особливості застосування шини IEEE 1394.....	32
3. СИСТЕМНІ ІНТЕРФЕЙСИ ПЕРСОНАЛЬНИХ І ПРОМИСЛОВИХ КОМП'ЮТЕРІВ ДЛЯ ПІДІМКНЕННЯ ВИМІРЮВАЛЬНИХ МОДУЛІВ.....	33
3.1. Шини розширення ISA, EISA і PC/104.....	33
3.1.1. Організація шин ISA, EISA і PC/104.....	33
3.1.2. Передача даних по шині ISA.....	37
3.1.3. Організація переривань у шині ISA.....	38
3.1.4. Особливості шини PC/104.....	39
3.2. Шина PCI.....	40
3.2.1. Основні характеристики шини PCI.....	40
3.2.2. Адресація пристроїв PCI.....	41
3.2.3. Протокол шини PCI.....	43
3.2.4. Організація переривань у шині PCI.....	49
4. ІНТЕРФЕЙСИ ДЛЯ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ НА БАЗІ ПК.....	51
4.1. Паралельний інтерфейс – LPT-порт.....	51
4.2. Послідовний інтерфейс – COM-порт.....	53
4.2.1. Інтерфейс RS-232C.....	53
4.2.2. Перетворювачі рівнів RS-232C/ТТЛ.....	58
4.2.3. Асинхронна передача даних по інтерфейсу RS-232C.....	62
5. МЕРЕЖНІ ТЕХНОЛОГІЇ.....	64

5.1. Інтерфейси RS-422 і RS-485.....	64
5.2. Інтерфейс CAN.....	69
5.3. Технологія Ethernet.....	74
5.3.1. Стандарти та інтерфейси Ethernet.....	74
5.3.2. Технологія Power over Ethernet.....	79
5.4. Стандарт IEEE 1451.2.....	81
5.5. Інтерфейс підключення датчиків та виконавчих пристроїв AS.....	83
6. БЕЗДРОТОВІ ІНТЕРФЕЙСИ.....	86
6.1. Інфрачервоний інтерфейс IrDA.....	86
6.2. Радіоінтерфейс Bluetooth.....	90
6.2.1. Основні характеристики інтерфейсу Bluetooth.....	90
6.2.2. Мережі Piconet і Scatternet.....	92
6.2.3. Елементна база Bluetooth.....	94
6.3. Бездротова технологія ZigBee.....	96
6.4. Приймачі-передавачі для радіозв'язку в діапазоні частот, що не підлягає ліцензуванню (433/868).....	101
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК.....	104

**Бикова Тетяна Володимирівна
Потильчак Олексій Петрович
Черепашук Григорій Олександрович**

СУЧАСНІ ІНТЕРФЕЙСИ ДЛЯ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Редактор С.П. Гевло

Зв. план, 2009

Підписано до видання 03.06.2009

Ум. друк. арк. 6,0. Обл.-вид. арк. 6,69. Електронне видання

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17
<http://www.khai.edu>
Видавничий центр «ХАІ»
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17
izdat@khai.edu