

Лекція 12.

Тема. Канали передачі та прийому інформації.

Розділ. Універсальні інтерфейси ІВС провідного зв'язку загального призначення.

План лекції:

12.1. Загальна характеристика.

12.2. Інтерфейси типу «Точка-Точка».

12.2.1. ІРПР, ІРПС інтерфейси.

12.2.2. RS-232, SpaceWire інтерфейси.

12.3. Багатоточкові інтерфейси.

12.3.1. RS-422, RS-423, RS-485 (EIA-485), GPIB, CAN інтерфейси.

12.3.2. SMBus (I^2C), SPI інтерфейси.

12.1. Загальна характеристика.

В таблиці 12.1. наведені базові інтерфейси, що використовуються в сучасних ІВС.

Таблиця 12.1.

Класифікаційна ознака	Назва	Швидкість кбит/с	Дальність, м	Область використання
Точка-Точка	ІРПР	До 115,2	До 15	Принтер, дисплей, плотер і т.п.
	ІРПС	До 33,6	До 500	Телетайп, принтер і т.п.
	RS-232	До 115,2	До 20	Модем, контролер і т.п.
	SpaceWire	До 400000,0	До 10	Космічні апарати
Багатоточкові	RS-422	До 10000	До 12	Автоматика
	RS-423	До 100	До 1200	Автоматика
	RS-485	До 5000	До 1200	Автоматика
	CAN	До 10/1000	До 5000/25	Автомобілі, автоматика
	GPIB	До 500/8000	До 20/1,0	Вимірювальні прилади
	SMBus	До 3400	Обмежується ємністю лінії 400 пФ	Мікроконтролерні пристрої.
	SPI	До 10000	Обмежується ємністю ліній зв'язку	Мікроконтролерні пристрої.

На різних етапах створення приладів ІВС та інших пристроїв автоматизації виконання вимірювальних, експериментальних, керувальних процесів розроблялись інтерфейси для задоволення їх потреб. Напрямами вдосконалення інтерфейсів крім надійності та завадозахищеності були швидкість обміну, дальність зв'язку, можливість керування більшою кількістю пристроїв, зменшення ліній зв'язку та енергоспоживання. Серед існуючих перспективних інтерфейсів провідного (такого, який здійснюється через металеві провідники) зв'язку можна виділити сукупність інтерфейсів, які здійснюють зв'язок типу «Точка-Точка» і багатоточкові інтерфейси.

Інтерфейси типу «Точка-Точка» здійснюють зв'язок в кожний момент часу тільки між двома сторонами – Передавачем та Приймачем, хоча ролі сторін можуть змінюватись. До таких інтерфейсів належать інтерфейси ІРПР, ІРПС, RS-232, SpaceWire.

Багатоточкові інтерфейси можуть встановлювати зв'язок одночасно з багатьма Передавачами та Приймачами. Природньо, при цьому можуть виникати конфлікти (колізії) в лініях зв'язку. Інтерфейси побудовані так, щоб колізії можна було виправити протоколом на канальному рівні (модель OSI). В свою чергу багатоточкові інтерфейси поділяються на такі, що працюють в режимі «Один передавач – декілька Приймачів» та такі, що з'єднують одразу декілька Передавачів і декілька Приймачів. До перших відносяться інтерфейси RS-422 та RS-423, до других - RS-485, CAN, GPIB, SMBus, SPI. Інтерфейси з часом вдосконалюються, деякі відмирають, тому існує чимала кількість модифікацій вказаних інтерфейсів, проте принципово вони схожі на ті, які вказані в таблиці 12.1.

12.2. Інтерфейси типу «Точка-Точка».

12.2.1. ІРПР, ІРПС інтерфейси.

Інтерфейс для радіального підключення пристроїв з паралельною передачею інформації (**ІРПР**) призначений для реалізації з'єднання пристроїв загального призначення до комп'ютера. Інтерфейс ІРПР забезпечує єдині способи обміну інформації для різних пристроїв при безпосередньому їх з'єднанні, віддалених один від одного на відстань до 15м. При передачі даних немає обмежень щодо комбінації сигналів на лініях даних. У пристроях може бути використане 8 розрядів або менше. Існуючі контрольні розряди є необов'язковими і визначаються для кожного конкретного пристрою. Обмін даними здійснюється в жорстко обумовленому режимі "Запит-відповідь". Всі сигнали визначаються на стороні Передавача.

Фізична реалізація.

Електричні сигнали: сигнали на лініях ТТЛ-рівня.

Логіка негативна.

Передавач - інтегральна мікросхема з відкритим колектором з допустимим струмом навантаження не менше 40 мА.

Приймач - ІМС з вхідним струмом не більше 1,6 мА.

Лінії зв'язку - односпрямовані з хвильовим опором кабелю (110 ± 20) Ом. Узгодження з хвильовим опором кабелю забезпечується на вході приймача.

Конструктивні характеристики: з'єднувач і кабель зв'язку є приналежністю контролера або системи, тип з'єднувача для виходу на лінії зв'язку і призначення контактів з'єднувача не регламентуються.

Інтерфейс для передачі інформації між пристроями з радіально-послідовном зв'язком (ІРПС) також призначений для реалізації з'єднання пристроїв загального призначення до комп'ютера. Інтерфейс забезпечує асинхронну передачу постійним струмом (Струмова петля) по 4-проводному дуплексного зв'язку. З'єднані кінцеві пристрої мають гальванічне розділення, здійснене з боку ланки взаємозв'язку, яка не живиться струмом. Номінальне значення ізоляційної напруги гальванічного поділу - 500В. Максимальна довжина фронтів сигналів в кінці лінії, навантаженої на характеристичний опір, не перевищує 50 мкс. Лінії взаємозв'язку забезпечують передачу сигналів зі швидкістю 9600 біт / с на відстань від 0 до 500 м. При передачі на великі відстані пропорційно знижується швидкість передачі. Крутизна фронтів сигналу, замірених на вихідних затискачах передавача, навантаженого опором 100 Ом, повинна бути не більше 1 мкс. Схема джерела сигнального струму виконується так, щоб відключення навантаження або коротке замикання обох вихідних затискачів або одного з них на землю не приводили до її пошкодження. Будь-яке вмикання на приймальній стороні виконується так, щоб при тривалому навантаженні максимально допустимим струмом воно не призводило до пошкодження приймача.

Фізична реалізація.

Падіння напруги, що вимірюється на вхідних затисках приймача, в стані "1" на лінії зв'язку – не більше 5 В.

Вхідна ємність - менше 10 пф.

Приймач працює незалежно від крутизни фронтів у діапазоні до 50 мкс.

Поле використання інтерфейсів ІРПР та ІРПС останнім часом значно звужене. Це викликано зменшенням кількості існуючих пристроїв, для яких вони були створені.

12.2.2. RS-232, SpaceWire інтерфейси.

Інтерфейс RS-232 поки що є одним із найбільш вживаних інтерфейсів для синхронного і асинхронного зв'язку кінцевого обладнання даних (ОДД) з модемами або апаратурою передачі даних (АПД) при двоточкових з'єднань в напівдуплексному і повнодуплексному режимах обміну.

Фізична реалізація.

Швидкість передачі даних - від 50 до 115200 біт / с.

Довжина передавальної лінії становить приблизно 17м.

Рівні сигналів $\pm 12В$.

Інтерфейс SpaceWire є інтерфейсом типу “Точка-Точка” і використовується для обробки даних бортовими пристроями космічної техніки. Специфікація SpaceWire визначає фізичні, електричні і протокольні вимоги інтерфейсу. SpaceWire працює від 2 Мбіт/с до 400 Мбіт/с в режимі повного дуплексу послідовного зв’язку на відстані до 10 метрів. SpaceWire використовує схему струмової петлі (LVDS) з значеннями напруги, що навантажує лінію зв’язку від $\pm 247\text{mV}$ до $\pm 454\text{mV}$. SpaceWire використовує стробування (Data-Strobe Encoding) з мінімальною швидкістю передачі даних 2 Мбіт. Звичайна швидкість передачі даних після "запуску" є 100 Мбіт або 200 Мбіт. Модулі починають працювати на швидкості 10 Мбіт після скидання. На рис. 12.1. приведена блок сема побудови Передавача / Приймача інтерфейсу SpaceWire.

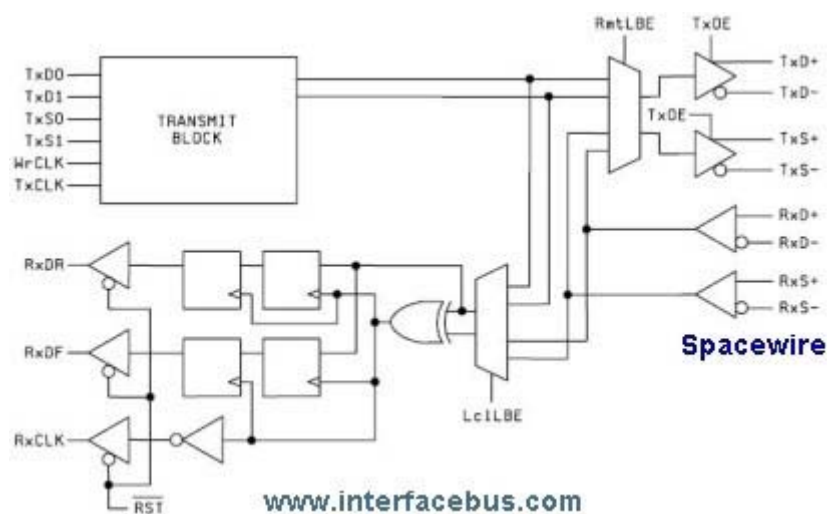


Рис. 12.1. Блок схема Передавача / Приймача інтерфейсу SpaceWire.

Формат даних SpaceWire утворений з біту парності (доповнює до непарності), біту Data-Control Flag і 8 бітів даних {LSB в MSB}. Біт Data-Control Flag в низькому стані вказує, що по лінії передається слово даних. SpaceWire використовує алгоритм Data-Strobe (DS) Encoding. В цьому алгоритмі інформація передається двома лініями Data і Strobe. Сигнал на лінії Strobe змінюється тільки тоді, коли в двох сусідніх тактах сигнал на лінії Data не змінюється. Дані на приймальній стороні відновлюються операцією XOR сигналів на лініях Data і Strobe в кожному такті. На рис. 12.2. показана часова діаграма роботи інтерфейсу SpaceWire. Інтерфейс використовує керуючі слова. Керуючі слова складаються тільки з 3 біт, яким передуює біт парності.

Flow Control Token; FCT: P100

Normal End of Packet; EOP: P101

Error End of Packet; EEP: P110

Escape; ESC: P111

Null; P1110100, {ESC / FCT} посилається, щоб уникнути роз’єднання зв’язку.

Таймаут у 850 нсек означає розрив зв’язку.

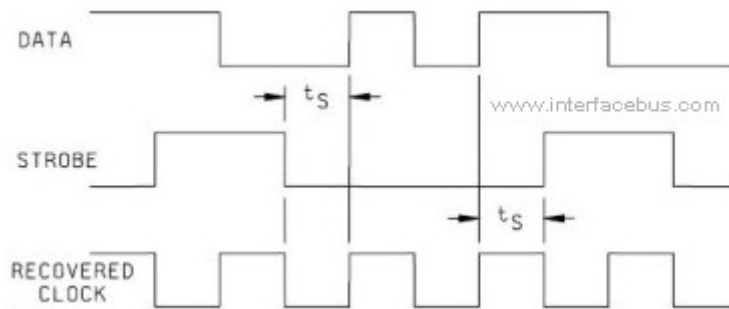
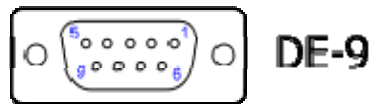


Рисунок 12.2. Часова діаграма роботи інтерфейсу SpaceWire.

Фізична реалізація.

Кабель, який використовується з SpaceWire складається з 4 екранованих скручених пар (STP) з диференційним опором 100 Ом. Кабель закінчується 9-контактним роз'ємом Dsub. Комплект проводів 40AWG. Провідники з покриттям із срібла. Кожна пара диференційного сигналу повинна мати схил фронту не більше 0.1 нсек / м.



DB-9 Connector Pin Out		
Pin	Signal Name	Description
1	DIN+	Data In
2	SIN+	Strobe In
3	Inner Shield	Ground
4	SOUT-	Strobe Out
5	DOUT-	Data Out
6	DIN-	Data In
7	SIN-	Strobe In
8	SOUT+	Strobe Out
9	DOUT+	Data Out

Рисунок 12.3. Роз'єм та контакти інтерфейсу SpaceWire.

12.3. Багатоточкові інтерфейси.

12.3.1. RS-422, RS-423, RS-485 (EIA-485), GPIB, CAN інтерфейси.

Інтерфейс RS-422 використовує балансовану або диференційну односпрямовану передачу даних по термінованих або нетермінованих лініях з можливістю з'єднання «точка-точка» або для багатоабонентської доставки повідомлень.

Інтерфейс RS-423 використовує балансовану односпрямовану передачу даних і використовує спільну землю.

Інтерфейс RS-485 використовує для передачі і прийому даних одну скручену пару проводів, яка може супроводжуватись екраним обплетенням чи «земляним» проводом. Передача даних здійснюється за допомогою диференційних сигналів. Різниця напруг між провідниками однієї полярності означає логічну одиницю, різниця іншої полярності - нуль. Стандарт RS-485 обумовлює тільки електричні і часові характеристики інтерфейсу.

Стандарт RS-485 не обумовлює:

- параметри якості сигналу (допустимий рівень спотворень, відбиття в довгих лініях);
- типи з'єднувачів і кабелів;
- гальванічну розв'язку лінії зв'язку;
- протокол обміну.

Електричні і часові характеристики інтерфейсу RS-485:

- до 32 прийомопередавачів в одному сегменті мережі;
- максимальна довжина одного сегмента мережі: 1200 метрів;
- тільки один передавач активний;
- максимальна кількість вузлів в мережі - 256 з урахуванням магістральних підсилювачів.

Швидкість обміну / довжина лінії зв'язку (залежність експоненційна):

- 62,5 кбіт / с 1200 м (одна скручена пара)
- 375 кбіт / с 300 м (одна скручена пара)
- 500 кбіт / с
- 1000 кбіт / с
- 2400 кбіт / с 100 м (дві скручених пари)
- 10000 кбіт / с 10 м

Швидкості обміну 62,5 кбіт / с, 375 кбіт / с, 2400 кбіт / с обумовлені стандартом RS-485. На швидкостях обміну понад 500 кбіт / с рекомендується використовувати екрановані скручені пари.

Тип прийомопередавачів - диференційний, потенційний. Зміна вхідних і вихідних напруг на лініях А і В: $U_a (U_b)$ від -7В до +12В (+7В).

Вимоги, що пред'являються до вихідного каскаду:

- вихідний каскад являє собою джерело напруги з малим вихідним опором, $U_{\text{вих}} = 1,5 \dots 5,0\text{В}$ (не менше 1,5В і не більше 6,0В);
 - стан логічної «1»: U_a більше U_b (гістерезис 200мВ) - MARK, OFF;
 - стан логічного «0»: U_a менше U_b (гістерезис 200мВ) - SPACE, ON
- (виробники мікросхем - драйверів, часто вибирають набагато менші значення, гістерезис від 10 мВ);

вихідний каскад повинен витримувати режим короткого замикання, мати максимальний вихідний струм 250мА, швидкість наростання вихідного сигналу 1,2 В / мкс і схему обмеження вихідної потужності.

Вимоги, що пред'являються до вхідного каскаду:

- вхідний каскад являє собою диференційний вхід з високим вхідним опором і пороговою характеристикою від -200мВ до +200мВ;
- допустимий діапазон вхідних напруг U_{AG} (U_{VG}) відносно землі (GND) від -7В до +12 В;
- вхідний сигнал, представлений диференційною напругою ($U_i + 0,2$ В) і більше.

Передача даних відбувається по двох лініях, А і В.

Логічна одиниця: $(B - A) > +200$ мВ.

Логічний нуль: $(B - A) < -200$ мВ.

В момент відсутності активного передавача на шині, рівень сигналу в лініях не визначений. Для запобігання ситуації, коли різниця між входами А і В менше 200мВ (невизначений стан), іноді застосовується потенційний зсув за допомогою резисторів або спеціальної схеми. Якщо стан ліній невизначено, то приймачі можуть приймати сигнал перешкоди. Деякі протоколи передбачають передачу службових послідовностей для стабілізації приймачів і впевненого початку прийому. Інтерфейс є напівдуплексним: вузол не може одночасно і приймати, і передавати дані.

Узгодження.

При великій довжині лінії зв'язку виникають ефекти довгих ліній. Причина цьому - розподілені індуктивні та ємнісні властивості кабелю. Як наслідок, сигнал, переданий в лінію одним з вузлів, починає спотворюватися в міру поширення по лінії, виникають складні резонансні явища. Оскільки на практиці кабель на всій довжині має однакову конструкцію і однакові розподілені параметри погонної ємності й індуктивності, то цю властивість кабелю характеризують спеціальним параметром - хвильовим опором. На приймальному кінці кабелю вмикають резистор з опором, рівним хвильовому опору кабеля. Для мереж RS-485 вони ставляться на кожному краї довгої лінії (оскільки обидві сторони можуть бути прийомними). Хвильовий опір найбільш поширених скручених пар CAT5 складає 100 Ом. Інші скручені пари можуть мати хвильовий опір 150 Ом і вище. Плоскі «стрічкові» кабелі - до 300 Ом. На практиці номінал цього резистора може вибиратися і більшого значення ніж хвильовий опір кабелю, оскільки омичний опір того ж кабелю може виявитися настільки великим, що амплітуда сигналу на приймальній стороні виявиться занадто малою для стійкого прийому. У цьому разі шукають компроміс між резонансними і амплітудними спотвореннями сигналу, зменшуючи швидкість передачі і збільшуючи номінал кінцевого резистора (термінатора). На швидкостях 9600 біт / с і нижче резонансні явища в масштабах, здатних погіршити якість зв'язку, практично не виявляються і необхідність узгодження лінії не виникає. Так на швидкості 9600 біт / с кожен біт інформації представлений імпульсом в 104 мкс ($1 \text{ с} / 9600 \text{ біт} / \text{с}$), електричний сигнал в скрученій парі за цей час пройде близько 31 кілометра. При довжині кабелю менше 1 кілометра частково відбитий сигнал від неузгоджених кінців кабелю може дещо спотворити фронт сигналу (перші 7 мкс імпульсу), але не його основну форму в цілому.

Ще одне джерело спотворення форми сигналів через скручену пару - різна швидкість поширення високочастотного і низькочастотного сигналу (високочастотна складова поширюється по витій парі трохи швидше), що призводить до спотворення форми сигналу на високих швидкостях передачі. Перешкоди в лінії зв'язку залежать не тільки від довжини, термінаторів і якості самої скрученої пари. Важливо щоб лінія зв'язку послідовно обходила всі прийомопередавачі (топология спільної шини). Скручена пара не повинна мати довгих відводів - відрізків кабелю для з'єднання з черговим вузлом.

Фізична реалізація.

Роз'єм складається з двох або трьох контактів:

В або '+' (TxD+ / RxD+), не інвертований;

А або '-' (TxD- / RxD-), інвертований.

Додатковий «земляний» провід. З'єднання спільних шин пристроїв не обов'язково, але покращує стійкість роботи інтерфейсу.

Інтерфейс програмованих приладів GPIB.

Загальна характеристика.

З метою стандартизації приладами фірма Hewlett-Packard розробила систему взаємозв'язку і управління (Hewlett-Packard Interface Bus). На базі цієї системи був створений стандарт GPIB (General Purpose Instrumentation Bus) або IEEE-488. Потім ця система була дороблена як міжнародний стандарт МЕК 625-1 відомий як КСК (канал спільного користування).

Інтерфейс в основному призначений для з'єднання програмованих і непрограмованих електронних пристроїв, застосовуваних у лабораторних або цехових умовах, в яких використовується біт-паралельний, байт-послідовний асинхронний спосіб обміну інформацією, і встановлює основні вимоги до обміну цифровою інформацією.

З'єднання пристроїв здійснюється через многопровідний магістральний КСК. Загальна довжина КСК не перевищує 20 м. Число під'єднаних до КСК пристроїв - не більше 15. При цьому не менше половини всіх пристроїв повинно знаходитися в стані "Живлення включено".

Загальне число адрес джерел і приймачів інформації в системі не повинно перевищувати 31 при однобайтовій і 961 при двобайтовій адресації.

Інтерфейс забезпечує роботу пристроїв:

- На відстані до 20 м при максимальних швидкостях 250 кбайт / с і 500 кбайт / с при використанні відповідно передавачів з відкритим колектором і на три стани з втікаючим струмом не менше 48 мА;

- На відстані до 1 м при максимальній швидкості 1000 кбайт / с при використанні передавачів на три стани з втікаючим струмом не менше 48 мА.

Особливістю інтерфейсу є відсутність обмежень на конструктивну реалізацію і способи побудови пристроїв, а також на способи об'єднання їх в систему. У стандарті визначається тільки

пасивна магістраль, по якій відбувається обмін інформацією, синхронізація та управління. Всі активні ланцюги, по яких видають керуючу інформацію і здійснюють прийом і передачу інформації, розміщуються на друкованих платах пристроїв.

Поєднання активних ланок і магістралі виконується зазвичай у вигляді кабелю того чи іншого типу, на кожному кінці якого є двосторонній роз'єм з гвинтовими зажимами, що утворює власну магістраль. Конструкція роз'єму забезпечує установку одного роз'єму на інший, що дозволяє збирати системи довільної конфігурації: однолінійної, у вигляді зірки і т. д.

За характером взаємодії з магістраллю в стандарті виділяються чотири групи функціональних пристроїв: Controler, Talker, Listener, Talker-Listener.

Логічна організація КСК.

Таблиця 12.2.

Найменування	Позначення	Призначення
Data input/output bit	DI01 ... DI08	Передача інформації
End-or-identify	EOI	Використовується Talker для ідентифікації кінця повідомлення або Controler для паралельного опитування.
Data valid	DAV	Дані виставлені на DIO
Not ready for data	NRFD	Listener не готовий до прийому (монтажне АБО)
Not data accepted	NDAC	Дані не прийняті
Interface clear	IFC	Ініціалізація інтерфейсу
Service request	SRQ	Запит на обслуговування
Attention	ATN	Повідомлення, що на шині команда, а не дані
Shield	SHIELD	Екран для ATN (скрутка)
Remote enable	REN	Активізація дистанційного керування
wire twisted with DAV	GND (DAV)	Спільний провід, скручений з проводом DAV
wire twisted with NRFD	GND (NRFD)	Спільний провід, скручений з проводом NRFD
wire twisted with NDAC	GND (NDAC)	Спільний провід, скручений з проводом NDAC
wire twisted with IFC	GND (IFC)	Спільний провід, скручений з проводом IFC
wire twisted with SRQ	GND (SRQ)	Спільний провід, скручений з проводом SRQ
wire twisted with ATN	GND (ATN)	Спільний провід, скручений з проводом ATN
Logic ground	GND	Логічна земля

До складу шини КСК входять 24 лінії, причому 6 ліній утворюють кручені пари з сигнальними шинами для підвищення завадостійкості. Табл. 12.2. показує склад ліній інтерфейсу.

CAN інтерфейс.

12.3.2. SMBus (I^2C), SPI інтерфейси.