

# Лекція 14.

## Тема. Канали передачі та прийому інформації.

### Розділ. Спеціалізовані інтерфейси ІВС.

#### План лекції:

14.1. CAN інтерфейс.

14.2. LIN інтерфейс.

#### 14.1. CAN інтерфейс.

CAN (англ. Controller Area Network - мережа контролерів) - стандарт промислової мережі, орієнтований передусім на об'єднання в єдину мережу різних виконавчих пристроїв і датчиків. Режим передачі - послідовний, ширококомовний, пакетний.

CAN розроблений компанією Robert Bosch GmbH в середині 1980-х і в даний час широко поширений в промисловій автоматизації, технологіях «розумного будинку», автомобільній промисловості і багатьох інших областях. Стандарт для автомобільної автоматики.

#### Опис стандарту.

Безпосередньо стандарт CAN від Bosch визначає передачу у відриві від фізичного рівня - він може бути яким завгодно, наприклад, радіоканалом або оптоволоконном. Але на практиці під CAN-мережею зазвичай мається на увазі мережу топології «шина» з фізичним рівнем у вигляді диференційної пари, визначеної в стандарті ISO 11898. Передача ведеться кадрами, які приймаються усіма вузлами мережі. Для доступу до шини, випускаються спеціалізовані мікросхеми - драйвери CAN шини.

CAN використовує синхронну шину з типом доступу Collision Resolution (CR), яка на відміну від Collision Detect (CD - мережа Ethernet) пріоритетно забезпечує доступ на передачу повідомлення, що особливо цінно для промислових мереж управління. Передача ведеться кадрами. Корисна інформація в кадрі складається з ідентифікатора довжиною 11 біт (стандартний формат) або 29 біт (розширений формат, розширення попереднього) і поля даних довжиною від 0 до 8 байт. Ідентифікатор говорить про вміст пакету і служить для визначення пріоритету при спробі одночасної передачі кількома мережевими вузлами.

Для абстрагування від фізичного середовища передачі специфікація CAN не використовує двійкові значення як «0» і «1». Замість цього застосовуються терміни «рецесивний» і «домінантний», при цьому мається на увазі, що при передачі одним вузлом мережі рецесивного біта, а іншим доміантного, прийнятий буде доміантний біт. Наприклад, при реалізації фізичного рівня на радіоканалі відсутність сигналу означає рецесивний біт, а наявність – доміантний. Стандарт мережі вимагає від «фізичного рівня», фактично, єдиної умови: щоб доміантний біт міг домінувати над рецесивним, але не навпаки. Наприклад, в оптичному волокні доміантному

біту повинно відповідати «світло», а рецесивному - «темрява». В електричному дроті рецесивний стан - висока напруга на лінії (від джерела з великим внутрішнім опором), домінантний - низька напруга (всі вузли мережі «підтягують» лінію до землі). Якщо лінія знаходиться в рецесивному стані, перевести її в домінантний стан може будь-який вузол мережі (вмикнувши світло в оптоволоконні або закорочуючи високу напругу на землю).

#### **Види кадрів.**

Кадр даних (data frame) - передає дані.

Кадр віддаленого запиту (remote frame) - служить для запиту на передачу кадру даних з тим же ідентифікатором.

Кадр перевантаження (overload frame) - забезпечує проміжок між кадрами даних або запиту.

Кадр помилки (error frame) - передається вузлом, що виявив в мережі помилку.

Кадри даних і запиту відокремлюються від попередніх кадрів міжкадрових проміжком.

#### **Формат кадру.**

##### **Базовий формат кадру даних.**

Поле • Довжина (в бітах) • Опис

Початок кадру • 1 • Сигналізує початок передачі кадру

Ідентифікатор • 11 Унікальний ідентифікатор

Запит на передачу (RTR) • 1 • Повинен бути домінантним

Біт розширення ідентифікатора (IDE) • 1 • Повинен бути домінантним

Зарезервований біт (r0) • 1 • Резерв

Довжина даних (DLC) • 4 • Довжина поля даних в байтах (0-8)

Поле даних • 0-8 байт • Передані дані (довжина в поле DLC)

Контрольна сума (CRC) • 15 • Контрольна сума всього кадру

Розмежувач контрольної суми • 1 • Повинен бути рецесивним

Проміжок підтвердження (ACK) • 1 • Передавач шле рецесивний, приймач вставляє домінанту

Розмежувач підтвердження • 1 • Повинен бути рецесивним

Кінець кадру (EOF) • 7 • Повинен бути рецесивним

**Перші 7 біт ідентифікатора не повинні бути всі рецесивними.**

##### **Розширений формат кадру даних.**

Поле • Довжина (в бітах) • Опис

Початок кадру • 1 • Сигналізує початок передачі кадру

Ідентифікатор А • 11 • Перша частина ідентифікатора

Підміна запиту на передачу (SRR) • 1 • Повинен бути рецесивним

Біт розширення ідентифікатора (IDE) • 1 • Повинен бути рецесивним

Ідентифікатор В • 18 • Друга частина ідентифікатора

Запит на передачу (RTR) • 1 • Повинен бути домінантним

Зарезервовані біти (r1 і r0) • 2 • Резерв

Довжина даних (DLC) • 4 • Довжина поля даних в байтах (0-8)

Поле даних • 0-8 байт • Передані дані (довжина в поле DLC)  
Контрольна сума (CRC) • 15 • Контрольна сума всього кадру  
Розмежувач контрольної суми • 1 • Повинен бути рецесивним  
Проміжок підтвердження (ACK) • 1 • Передавач шле рецесивний,  
приймач вставляє домінанту  
Розмежувач підтвердження • 1 • Повинен бути рецесивним  
Кінець кадру (EOF) • 7 • Повинен бути рецесивним  
**Ідентифікатор виходить об'єднанням частин А і В.**

### **Формат кадру віддаленого запиту.**

Збігається з кадрами даних стандартного або розширеного формату за двома винятками:

У полі RTR рецесія замість домінанти.

Відсутнє поле даних.

Арбітраж доступу.

При вільній шині будь-який вузол може починати передачу в будь-який момент. У разі одночасної передачі кадрів двома і більше вузлами виконується арбітраж доступу: передаючи адресу джерела, вузол одночасно перевіряє стан шини. Якщо при передачі рецесивного біта приймається домінантний - вважається, що інший вузол передає повідомлення з більшим пріоритетом і передача відкладається до звільнення шини. Таким чином, на відміну, наприклад, від Ethernet в CAN не відбувається непродуктивної втрати пропускну здатності каналу при колізіях. Ціна цього рішення - ймовірність того, що повідомлення з низьким пріоритетом ніколи не будуть передані.

### **Контроль помилок.**

CAN має декілька механізмів контролю та запобігання помилок:

**Контроль передачі:** при передачі бітові рівні в мережі порівнюються з бітами для передачі.

**Доповнювальні біти (bit stuffing):** після передачі п'яти однакових бітів поспіль автоматично передається біт протилежного значення. Таким чином кодуються всі поля кадрів даних або запиту, крім розмежувачів контрольної суми, проміжку підтвердження і EOF.

**Контрольна сума:** передавач обчислює її і додає в передаваний кадр, приймач підраховує контрольну суму прийнятого кадру в реальному часі (одночасно з передавачем), порівнює її із сумою в самому кадрі і в разі збігу передає домінантний біт в проміжку підтвердження.

### **Контроль значень полів при прийомі.**

Розробники оцінюють ймовірність невиявлення помилки передачі як  $4,7 \times 10^{-11}$ .

### **Швидкість передачі й довжина мережі.**

Діапазон швидкостей.

Всі вузли в мережі повинні працювати з однією швидкістю. Стандарт CAN не визначає швидкостей роботи, але більшість як окремих, так і вбудованих в мікроконтролери адаптерів дозволяють плавно змінювати

швидкість в діапазоні принаймні від 20 кілобіт на секунду до 1 мегабіта на секунду. Існують рішення, що виходять далеко за рамки даного діапазону.

### **Гранична довжина мережі.**

Наведені вище методи контролю помилок вимагають, щоб зміна біта при передачі встигала поширитися по всій мережі до моменту заміру значення. Це ставить максимальну довжину мережі в зворотну залежність від швидкості передачі: чим більше швидкість, тим менше довжина. Наприклад, для мережі стандарту ISO 11898 граничні довжини складають приблизно:

1 Мбіт / с 40 м

500 Кбіт / с 100 м

125 Кбіт / с 500 м

10 Кбіт / с 5000 м

Використання оптопар для захисту пристроїв від високовольтних перешкод в мережі ще більше скорочує граничну довжину. Сильно розгалужені мережі (павутина) також знижують швидкість через безліч відображень сигналу і більшу електричну ємність шини.

### **Протоколи високого рівня.**

Базовій специфікації CAN бракує багатьох можливостей, необхідних у реальних системах: передачі даних довше 8 байт, автоматичного розподілу ідентифікаторів між вузлами, одностайного управління пристроями різних типів і виробників. Тому після появи CAN на ринку почали розроблятися протоколи високого рівня для нього. У число найпоширеніших на даний момент протоколів входять:

CANopen

DeviceNet

CAN Kingdom

J1939

SDS

NMEA-2000 (морський транспорт)

### **Застосування CAN в машинобудуванні.**

У всіх високотехнологічних системах сучасного автомобіля застосовується CAN-протокол для зв'язку електронного блока управління з додатковими пристроями і контролерами виконавчих механізмів і різних систем безпеки. У деяких автомобілях CAN пов'язує імобілайзер, приладові панелі, блоки безпеки і т.д.

Також протокол CAN ISO 15765-4 увійшов до складу стандарту OBD-II (Бортова діагностика).

### **Переваги.**

Можливість роботи в режимі жорсткого реального часу.

Простота реалізації і мінімальні витрати на використання.

Висока стійкість до перешкод.

Арбітраж доступу до мережі без втрат пропускнуої спроможності.

Надійний контроль помилок передачі і прийому.

Широкий діапазон швидкостей роботи.  
Велике поширення технології, наявність широкого асортименту продуктів від різних постачальників.

#### **Недоліки.**

Невелика кількість даних, яке можна передати в одному пакеті (до 8 байт).

Великий розмір службових даних в пакеті (по відношенню до корисних даних).

Відсутність єдиного загальноприйнятого стандарту на протокол високого рівня. Проте стандарт мережі надає широкі можливості для практично безпомилкової передачі даних між вузлами, залишаючи розробникові можливість вкласти в цей стандарт все, що туди зможе поміститися. У цьому відношенні CAN подібний простому електричному дроту. Ним можна передати будь-який потік інформації, який зможе витримати пропускну здатність шини. Відомі приклади передачі звуку і зображення по шині CAN (Росія). Відомий випадок створення системи аварійного зв'язку вздовж автодороги довжиною кілька десятків кілометрів (Німеччина). (У першому випадку потрібна була велика швидкість передачі і невелика довжина лінії, у другому випадку - навпаки). Виготовлювачі, як правило, не афішують, як саме вони використовують корисні байти в пакеті.

#### **14.2. LIN інтерфейс.**

У сучасному автомобілі електроніка виконує безліч функцій. Їх можна умовно розділити на дві частини: перша - це забезпечення надійного функціонування основних вузлів автомобіля (наприклад, електронне управління двигуном) і забезпечення безпеки (АБС, подушки безпеки і так далі). До другої частини можна віднести різні електронні системи управління, що забезпечують комфорт пасажирів. У першому випадку потрібен високонадійний, достатньо швидкісний канал зв'язку, у другому - простий і дешевий. Крім того, обидва ці протоколи повинні бути стандартними, що спростить виробникам автомобільної електроніки створення уніфікованих модулів, придатних для використання в автомобілях різних виробників. В якості першого де-факто виступає швидкісний промисловий високонадійний протокол CAN. Він спроектований таким чином, щоб забезпечити надійну передачу даних від одного вузла іншому при будь-яких обставинах. Для низькошвидкісної електроніки донедавна ніяких стандартів не було і кожен виробник був змушений придумувати свої власні системи. Затверджений стандарт LIN об'єднує можливості виробників.

**Технічні вимоги протоколу LIN (Local Interconnection Network)** розроблені консорціумом європейських автовиробників та інших відомих компаній, включаючи Audi AG, BMW AG, Daimler Chrysler AG, Motorola Inc., Volcano Communications Technologies AB, Volkswagen AG і VolvoCar Corporation. Протокол LIN призначений для створення дешевих локальних

мереж обміну даними на коротких відстанях. Він служить для передачі вхідних впливів, станів перемикачів на панелях управління і так далі, а також відповідних дій різних пристроїв, з'єднаних в одну систему через LIN, що відбуваються в так званому "людському" часовому діапазоні (порядку сотень мілісекунд). Основні завдання, покладені на LIN консорціумом європейських автомобільних виробників - об'єднання автомобільних підсистем і вузлів (таких як дверні замки, склоочисники, склопідйомники, управління магнітолою і клімат-контролем, електролюк і так далі) в єдину електронну систему.

LIN-протокол затверджений Європейським Автомобільним Консорціумом як дешеве доповнення до наднадійних протоколу CAN. LIN і CAN доповнюють один одного і дозволяють об'єднати всі електронні автомобільні прилади в єдину багатофункціональну бортову мережу. Причому область застосування CAN - ділянки, де потрібна наднадійність і швидкість, а LIN - об'єднання дешевих вузлів, що працюють з малими швидкостями передачі інформації на коротких дистанціях і зберігають при цьому універсальність, багатофункціональність, а також простоту розробки та налагодження. Стандарт LIN включає технічні вимоги на протокол і на середовище передачі даних, як послідовний протокол зв'язку. LIN ефективно підтримує управління електронними вузлами в автомобільних системах з шиною класу "А" (двонаправлений напівдуплексний), що має на увазі наявність в системі одного головного (master) і декількох підлеглих (slave) вузлів.

#### **Технічні характеристики.**

В основу LIN покладена концепція "single-master/multi-slave".

Топологія "Спільна шина".

Реалізується за допомогою простого послідовного інтерфейсу UART / SCI.

Передача даних по одному дроту.

Швидкість до 20 Кбіт / с.

Довжина шини до 40 м.

Напруга на шині у пасивному стані 9 ... 18 В (підключені до шини вузли повинні витримувати підвищення напруги до 40 В).

Табл. 14.1. ІМС, що реалізують протоколи CAN і LIN

ІМС	Тип корпусу	Категорія	Конфігурація	Тип передавача	Напруга живлення [мін] (В)	Напруга живлення [макс] (В)
PCA82C250T	<a href="#">SO8</a>	Передавач	HS-CAN Передавач	Високошвидкісний CAN	4.75	5.25
PCA82C251T	SO8	Передавач	HS-CAN Передавач	Високошвидкісний CAN	4.75	5.25
TJA1020T	SO8	Передавач	LIN1.3 Передавач	LIN1.3 Передавач	5	27
TJA1020U	Bare die	Передавач	LIN1.3 Передавач	LIN1.3 Передавач	5	27
TJA1021T	SO8	Передавач	LIN2.1 / SAE J2602 Передавач	LIN2.1 Передавач	5.5	27
TJA1021TK	HVSON8	Передавач	LIN2.1 / SAE J2602 Передавач	LIN2.1 Передавач	5.5	27
TJA1040T	SO8	Передавач	HS-CAN Передавач	Високошвидкісний CAN	4.75	5.25
TJA1041AT	SO14	Передавач	HS-CAN Передавач	Високошвидкісний CAN	4.75	5.25
TJA1041AU	bare die	Передавач	HS-CAN Передавач	Високошвидкісний CAN	4.75	5.25
TJA1041T	SO14	Передавач	HS-CAN Передавач	Високошвидкісний CAN	4.75	5.25
TJA1042T	SO8	Передавач	HS-CAN Передавач	Високошвидкісний CAN	4.5	5.5
TJA1043T	SO14	Передавач	HS-CAN Передавач	Високошвидкісний CAN	4.5	5.5

TJA1050T	SO8	Передавач	HS-CAN Передавач	Високошвидкісний CAN	4.75	5.25
TJA1050U	bare die	Передавач	HS-CAN Передавач	Високошвидкісний CAN	4.75	5.25
TJA1051T	SO8	Передавач	HS-CAN Передавач	Високошвидкісний CAN	4.5	5.5
TJA1054AT	SO14	Передавач	FT-CAN	Стійкий до відмов CAN Передавач	5	27
TJA1054T	SO14	Передавач	FT-CAN	Стійкий до відмов CAN Передавач	5	27
TJA1055T	SO14	Передавач	FT-CAN	Стійкий до відмов CAN Передавач	5	40
TJA1080ATS	SSOP20	Передавач	FlexRay Передавач сумісний с архітектурою вузлів та «зірка» версії EPL2.1.	FlexRay сумісний с архітектурою вузлів та «зірка» Передавач (clamp 30)	6.5	60