

2.3. Комуникационен протокол CAN (Controller Area Network)

Протоколът CAN е ISO стандарт (ISO-11898) за серийна комуникация в индустриална среда. Комуникационната технология CAN е разработена от Robert Bosch GmbH през 1986 г. за автомобилното производство. Първоначалното предназначение на тази мрежова спецификация е за замяна на скъпите кабелни системи в автомобилите с нискостойностна кабелна мрежа. В резултат протоколът CAN притежава възможности за бързо и надеждно реагиране, необходими за управление на ABS системите, защитните въздушни възглавници и други системи в автомобилите. CAN е отворена технология, която поддържа множество приложения и използва широка гама от апаратни средства (интегрални схеми) с различни характеристики и от различни производители (Intel, Motorola, Philips, NEC, Hitachi, Siemens). Спецификацията на физическия слой осигурява надеждност за индустриални приложения при критични стойности на температурата, сътресения, вибрации, силно зашумена среда и пр.

Каналният слой на CAN предлага само разпространяването на определени съобщения (комуникационни обекти). Последните са определени от техни идентификатори. Данните не се изпращат само до отделни приложения (възли) в мрежата. Всяка станция/приложение самостоятелно решава дали ще приеме данните, които се съдържат в съобщението. Това е т. нар. "ориентиран към съобщението" начин на предаване.

От гледна точка на комуникационните механизми CAN е серийна мрежова система с multi-master способности, т.е. всички станции могат да предават информация и няколко станции могат да изпращат заявки едновременно. Серийните мрежови системи с възможности за работа в реално време са предмет на международния стандарт ISO 11898 и покриват най-долните два слоя на ISO/OSI модела. В CAN мрежите няма адресиране на абонатите или станциите в общоприетия смисъл (source/destination). Съобщенията се предават с прикрепено към тях описание на пренасяния тип данни. Предавателят излъчва съобщението до всички CAN станции. Всяка станция решава на основата на получения идентификатор дали да приеме/обработи съобщението или не. Чрез идентификатора се определя и приоритетът за достъп на устройството до мрежата. CAN мрежите се характеризират със статични приоритети за достъп до средата.

Отличителна черта на CAN протокола е сравнително високата сигурност на предаване. Комуникационният процесор (т. нар. CAN-контролер) регистрира грешките при предаване/приемане и ги оценява статистически, за да се вземат необходимите мерки. Това може да означава и изключване на устройството, работещо неправилно.

Всяко CAN съобщение може да предава от 0 до 8 байта информация. Може да бъде предавано и по-голямо количество информация, използвайки фрагментиране. Максималната скорост е 1Mbit/s за мрежи с обща дължина до 30m. За по-големи разстояния скоростта следва да бъде намалена (50Kbit/s за 1000m).

Спецификацията CAN се разделя на две части (слоя), отговарящи на изискванията на OSI модела:

Канален слой с два подслоя:

Подслой за управление на логическия канал (Logical Link Control - LLC) - Функциите на подслоя за управление на логическия канал са свързани с услугите за пренос и заявка за данни, както и определяне кои от предаваните по канала съобщения следва да бъдат приети в съответствие с механизма producer/consumer;

Подслой за управление на достъпа до съобщителната среда (Medium Access Control - MAC) - функцията на MAC подслоя е свързана основно с протокола за тран-

сфер. Тук се контролират кадрите, прави се проверка за грешки и се получават съобщенията за неправилно приети данни.

Физически слой:

Физическият слой дефинира серийното предаване на потока от битове, вкл. кодирането, синхронизацията и времевите интервали. Не се предвижда дефиниране на апаратните средства и на мрежовата среда (усукани двойки, оптичен кабел и пр.), което е оставено на потребителя. Спецификацията не ограничава и броя на устройствата в една мрежа CAN. Теоретично той е безкрайно голям и зависи от реализацията (например в спецификацията DeviceNet, която е базирана на CAN протокола, броят станции е max 64 и физическият канал е усукана двойка проводници).

Физическите сигнали в CAN са диференциални електрически (вж. т. 1.6). Двете сигнални линии се означават като CAN_L(ow) и CAN_H(igh). Логическият сигнал CAN_H>CAN_L се означава като dominant бит. Логическият сигнал CAN_L>CAN_H се означава като recessive бит. В повечето системи се използва жично-AND свързване на апаратната част, при което dominant бит е 0, а recessive бит е 1. Едновременно предаване на dominant и recessive бит има за резултат dominant бит на шината. Използването на диференциални сигнали за предаване на информацията по линията значително повишава шумоустойчивостта, което е съществено предимство за индустриалните приложения. Всяко устройство може да доведе шината до активно състояние. Шината може да бъде в неактивно състояние (свободно), когато нито един предавател не е активен.

Основна единица за предаване на данни е кадърът (frame). CAN дефинира няколко типа кадри:

- Кадри с данни – за пренос на данни от предаващо към приемащо (приемачи) устройство.
- Отдалечени (remote) кадри – използват се за поискване на определен кадър с данни, който има указан идентификатор.
- Кадри за грешки – сигнализируют, че възел е открил грешка по шината.
- Кадри за претоварване (overload) кадри – осигуряват закъснение между предаването на кадри с цел контрол на потока данни.

Отделните кадри се разделят от междукadroво пространство, състоящо се най-малко от 3 бита.

Съществуват два различни формата на кадъра, предаващ съобщенията, които се различават по полето на идентификатора. Единият вид е кадър с идентификатор, съдържащ 11 бита (CAN 2.0A), и той се нарича *стандартен кадър*. Кадрите с 29-битов идентификатор се наричат *разширени* (Спецификация CAN 2.0B).

DATA и REMOTE кадрите могат да се използват както в стандартен така и в разширен формат.

DATA кадрите са съставени от седем различни полета. Това са поле за начало на кадъра, арбитражно поле, контролно поле, поле за данни, CRC поле, ACK поле и поле за край на кадъра. Полето за данни може да бъде с дължина нула.

Полето за начало на кадъра (стандартен и разширен формат) означава началото на DATA и REMOTE кадрите и съдържа един бит. Устройството може да започне да предава само ако мрежата е свободна. Всички станции трябва да са синхронизирани с началото на кадъра, изпращан от предаващото в момента устройство.

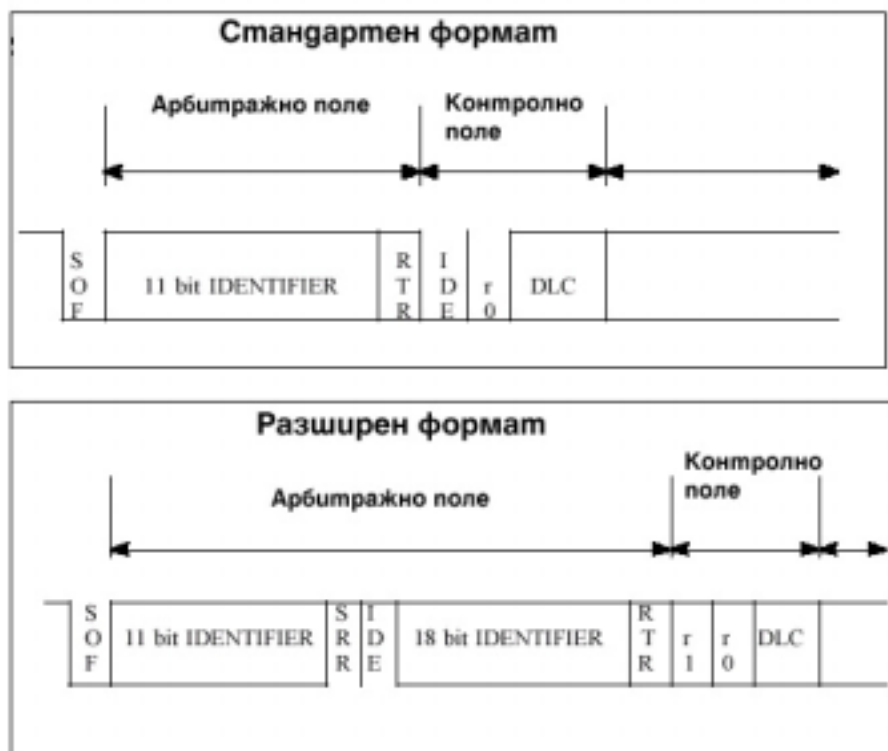
Форматът на *арбитражното поле* е различен за стандартния и разширения формат на кадрите. При стандартен формат арбитражното поле съдържа 11 битов Идентификатор и RTR-бит. При разширения формат на кадъра арбитражното поле съдържа 29-битов идентификатор, SRR-бит, IDE-бит и RTR-бит. Битовете на идентификатора се означават с ID-28...ID-0 (фиг. 2.3.1.).

RTR-бит (*Remote Transmission Request bit*). В DATA кадъра този бит трябва да бъде 1, а в REMOTE кадъра - 0.

SRR-бит (*Substitute Remote Request bit*).

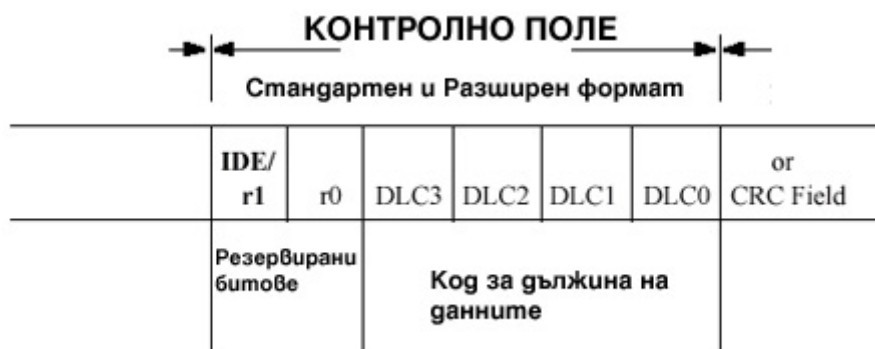
IDE-бит (*Identifier Extension bit*). В стандартния формат е 1, а в разширения - 0.

Контролното поле съдържа 6 бита. Видът на това поле е различен за стандартен и разширен формат на кадъра. В стандартния формат се съдържат кодът за дължина на данните (DLC), IDE бит, който е 1, и резервираният бит r0. Кадър с разширен формат съдържа код за дължина на данните и два резервирани бита - r1 и r0 (фиг. 2.3.2). Резервираните битове трябва да бъдат изпращани като “единици”, но приемниците позволяват те да бъдат “единици” или “нули” във всички комбинации.



Фиг. 2.3.1. Формати на кадрите в CAN

SOF – Начало на кадър, LEN – Код за дължината на данните, CRC – Код за проверка на грешката (CRC 16), ACK – Потвърждение, EOF – Край на кадър

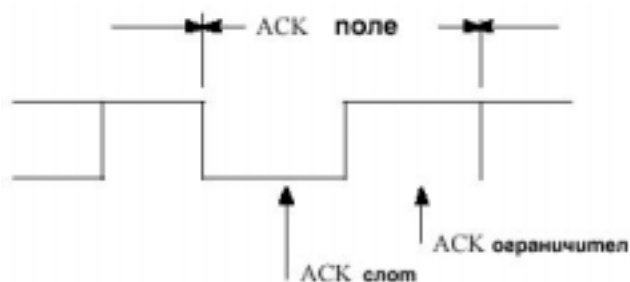


Фиг. 2.3.2. Формат на контролното поле

Броят на байтовете в *полето за данни* се указват от *кода за дължина* на данните. Той съдържа 4 бита, които се предават в контролното поле на кадъра. Допустимата дължина на данните в *полето за данни* е от 0 до 8 байта.

Полето CRC е 15-битова дума, която контролерите на станциите в CAN мрежата използват за откриване на грешки в данните. Тя се образува от битовете преди нея съгласно правилата за Cyclic Redundancy Checksum (вж. т. 1.4). CRC ограничителят следва CRC последователността и съдържа един бит със стойност 0.

ACK полето (фиг. 2.3.3) е с дължина два бита и съдържа ACK слот и ACK ограничител. В това поле предаващите станции записват две единици. Станцията-получател отговаря на предаващата за правилно получено съобщение чрез записването на 0 в ACK слота.



Фиг. 2.3.3. *Формат на ACK поле*

Всеки DATA или REMOTE кадър е ограничен от флаг, съдържащ последователност от седем бита със стойност 0, който се нарича *поле за край на кадъра*.

Всяка станция, действаща като ползвател на данни, може да заяви на станцията-източник тези данни чрез изпращането на REMOTE-кадър. Той се състои от шест полета: поле за начало на кадъра, арбитражно поле, контролно поле, CRC поле, ACK поле и поле за край на кадъра. За разлика от DATA-кадъра полето за данни и RTR бита в REMOTE-кадъра са със стойност 0. Стойността на RTR бита показва на приемащото устройство дали това е DATA- или REMOTE-кадър.

Кадрите за грешки (ERROR кадри) съдържат две полета. В първото се съдържа суперпозицията на флаговете за грешка, внесени от различни станции. Следващото поле е ограничител.

Флагът за грешки има две форми – *активен* флаг за грешки и *пасивен* флаг за грешки. Активният съдържа шест последователни бита със стойност 1. Пасивният съдържа шест последователни бита със стойност 0, освен ако не е променен от останалите устройства.

Активна (error-active) станция, открила грешка, сигнализира за това, изпращайки Активен флаг за грешка. Форматът на флага за грешка нарушава правилото за bit stuffing, което се прилага за всички полета. Последствието от това е, че всички останали станции откриват грешка и започват също да изпращат флаг за грешка.

Пасивна (error-passive) станция, открила грешка, сигнализира за това, изпращайки пасивен флаг за грешка. Пасивната станция изчаква шест последователни бита с една и съща стойност, започвайки от началото на флага за пасивна грешка.

Ограничителят съдържа осем бита със стойност 0. След изпращането на флаг за грешка всяка станция прослушва мрежата, докато открие бит=0, след което изпраща нови седем бита 0.

Кадрите за претоварване (OVERLOAD) съдържат две полета - *флаг на претоварването* и *ограничител на претоварването*. В следните случаи се изпраща флаг за претоварване:

1. Вътрешното състояние на приемащата станция изисква забавяне на следващия за получаване DATA- или REMOTE-кадър.
2. Получаване на единица като първи или втори бит на паузата.
3. Ако CAN-устройство получи единица като последен бит в ограничителя на грешката.

Началото на кадър за претоварване по условие 1 може да започне по време на първия бит на очаквана пауза, а при условия 2 и 3 предаването на кадъра започва един бит след получаване на 1. Флагът за претоварване съдържа шест бита със стойност 1. Това разрушава фиксираната форма на паузата. Като резултат всички останали станции също регистрират състояние на претоварване и също започват предаване на флаг за претоварване. В случай че е регистрирана 1 като стойност на третия бит на паузата, това се интерпретира като начало на кадър.

Ограничителят на претоварване съдържа осем бита със стойност 0. Има същата форма както и ограничителя на грешка. След изпращането на флаг за препълване станцията наблюдава мрежата, докато не регистрира преход от 1 в 0. В този случай всяка станция в мрежата е завършила изпращането на флаг за претоварване и всички станции започват предаването на седем бита 0 последователно.

Междукадровото пространство съдържа полетата за пауза и за свободна мрежа. Полето за пауза съдържа три бита със стойност 0. През паузата единствено то възможно предаване е при състояние на претоварване. През това време, предаване на DATA- или REMOTE-кадър не е разрешено. Полето за свободна мрежа може да бъде с произволна дължина. Мрежата се счита за незаета и всяка станция може да получи достъп за предаване.

Информацията се предава по мрежата във фиксиран формат от различни, но ограничени по дължина съобщения. Когато мрежата е свободна за достъп всяко от устройствата може да започне да предава ново съобщение. Както беше посочено, съдържанието на съобщенията се описва с *идентификатор*, който не показва устройство, получаващо данните, а описва типа на информацията, така че всички устройства в мрежата могат чрез филтриране на съобщенията да решават дали да приемат данните или не. В резултат от концепцията за филтриране на съобщенията произволен брой устройства могат да приемат едновременно едно и също съобщение (multicast).

Идентификаторът определя статичен приоритет на съобщението в мрежата. Изпращайки REMOTE-кадър (кадър-заявка), всяко устройство може да направи заявка към друго устройство за изпращане на кадър с данни. Всеки DATA-кадър, заявен от даден REMOTE-кадър, е озаглавен със същия идентификатор.

Ако два или повече възела се опитат едновременно да получат достъп до мрежата, *побитов (bit-wise) безразрушителен арбитражен механизъм* разрешава възможния конфликт без загуба на данни или нарушаване на комуникационния капацитет на канала, при което не се губи време. Всички приемници в CAN мрежата обявяват преминаването си от неактивно в активно състояние чрез 1 бит за начало на кадър. Идентификаторът и RTR бита заедно формират арбитражното поле, което се използва за управление на достъпа до средата. Когато устройството предава информация, то същевременно следи текущите данни по шината, за да се увери, че са еднакви с тези, които предава. Това позволява засичане на едновременно предаване. Ако предаващ възел засече текущо активен бит по шината докато изпраща битовите на арбитражното поле, то този възел прекратява предаването. Преимущество при последващото арбитражиране между два едновременно предаващи възела има този с *по-малък номер* на идентификатора. (За сравнение мрежите от тип Ethernet използват само детектори на колизия/конфликт, в резултат на което се губи инфор-

мацията, нарушава се капацитетът на канала, тъй като и двата участващи възела трябва да изчакат и след това отново да препратят данните си.) На фиг. 2.3.4 е показан пример за арбитражиране на достъпа до средата в CAN мрежа.



Фиг. 2.3.4. Арбитражиране на достъпа до средата в CAN мрежа

За да се осигури висока степен на сигурност, протоколът CAN прилага няколко метода за откриване, сигнализация и самопроверка на грешките:

- мониторинг (предавателите сравняват данните, които трябва да предават с тези, които отчитат по мрежата);
- цикличен код за проверка (CRC);
- вмъкване на битове (bit stuffing);
- проверка на валидността на кадрите.

Спецификацията CAN предвижда механизми за откриване на няколко вида грешки:

- **Грешки в битове** – появяват се, когато предавател сравни битовете в шината с тези, които е предал, и те не съвпадат;
- **Грешки при потвърждение** – възникват, когато предавателят определи съобщението като неприето (NAK). В кадъра съществува слот за потвърждение, в който всички приемачи възли, независимо от това дали съобщението е било предназначено за тях, трябва да потвърдят получаването му;
- **Грешка в запълващия бит** – когато възел регистрира шест последователни бита с една и съща стойност. При нормална работа предавателите, откривайки повече от пет последователни еднакви бита, вмъкват един бит с обратна стойност (bit stuffing);
- **CRC грешка** – появява се, когато стойността на CRC не отговаря на стойността, генерирана от предавателя. Всеки кадър съдържа 16 битово CRC поле, формирано от предаващия възел;
- **Грешка на формата** – проверява за неограничени кадри или за други нарушения на формата на получения кадър.

Остатъчната вероятност за пропускане на грешно съобщение в мрежа CAN е $4,7 \cdot 10^{-11}$.