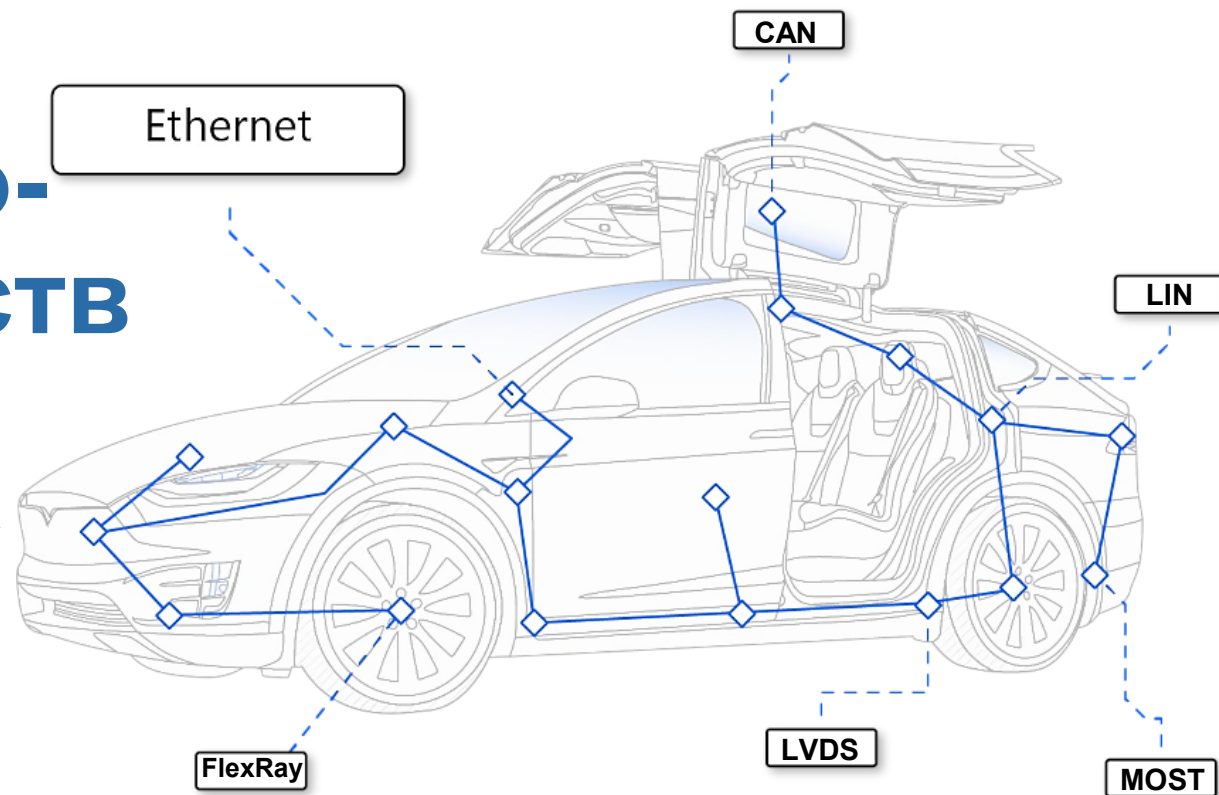


Электронные системы наземных транспортно- технологических средств

Лекция 6 Системы передачи данных

Автор:

Пузаков Андрей Владимирович, канд. техн. наук,
доцент кафедры технической эксплуатации и
ремонта автомобилей



План лекции:

1. Топология сети
2. Адресация сообщений
3. Слои шины передачи данных
4. CAN - шина передачи данных
5. LIN – шина передачи данных
6. MOST – шина передачи данных
7. Шина FlexRay
8. Автомобильный Ethernet
9. Заключение
10. Вопросы для самоконтроля
11. Литература

Цель лекции: изучение принципов построения систем передачи данных; топологии сетевых соединений; принципы адресации сообщений и способы обращения к шине; структура слоев шин передачи данных.

В результате изучения лекции обучающийся должен:

знать:

- принципы построения систем передачи данных;
- принципы адресации сообщений и способы обращения к шине;
- структуру слоев шин передачи данных;
- характеристики CAN, LIN, MOST, FlexRay шин передачи данных;
- особенности применения автомобильных сетей Ethernet.

уметь:

- различать шины данных по используемым проводникам.

Предпосылки появления шин передачи данных

Электронное оснащение автомобиля, включает в себя отдельные системы, например, система зажигания, приготовления горючей смеси, антиблокировочная система и т.п. Каждый блок управления имеет свои собственные датчики (температуры, скорости, давления и т.п.), на основании информации которых управляется или регулируется соответствующая система.

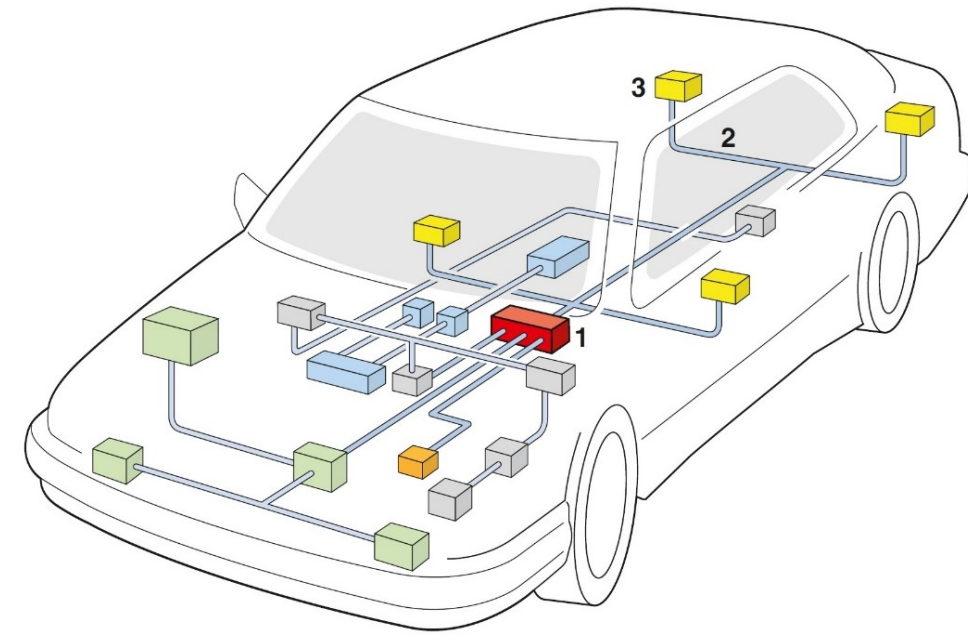
Если блоку управления для обработки требуется информация, например, температура двигателя со второго блока управления, то соответствующий датчик нужно соединить со вторым блоком управления. Недостаток: необходимо прокладывать второй провод.

Передача разной информации посредством проводов ограничена. Через водительскую дверь автомобиля высшего класса проходит почти 50 проводов. Общая длина проводов достигает почти 3 км, половина из них служит для передачи информации между блоками управления.

В современных автомобилях различные компоненты, такие как датчики, исполнительные органы и компьютеры образуют сеть для обмена данными.

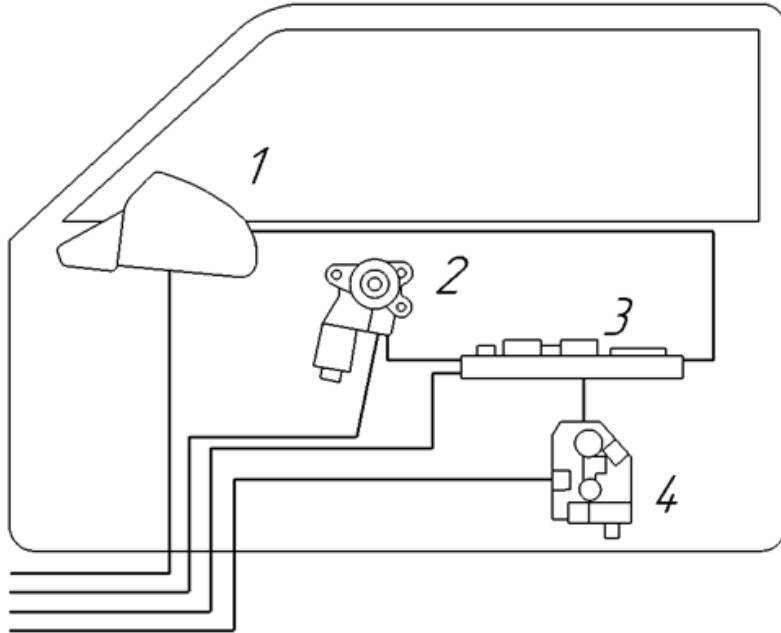
Начиная с 1991 года были разработаны разные шинные системы.

Основные требования к шине заключаются в объеме передаваемой информации, в скорости передачи, соблюдении приоритетов данных или блоков управления и в мерах, которые должны приниматься для защищенности данных и обнаружения неисправностей.

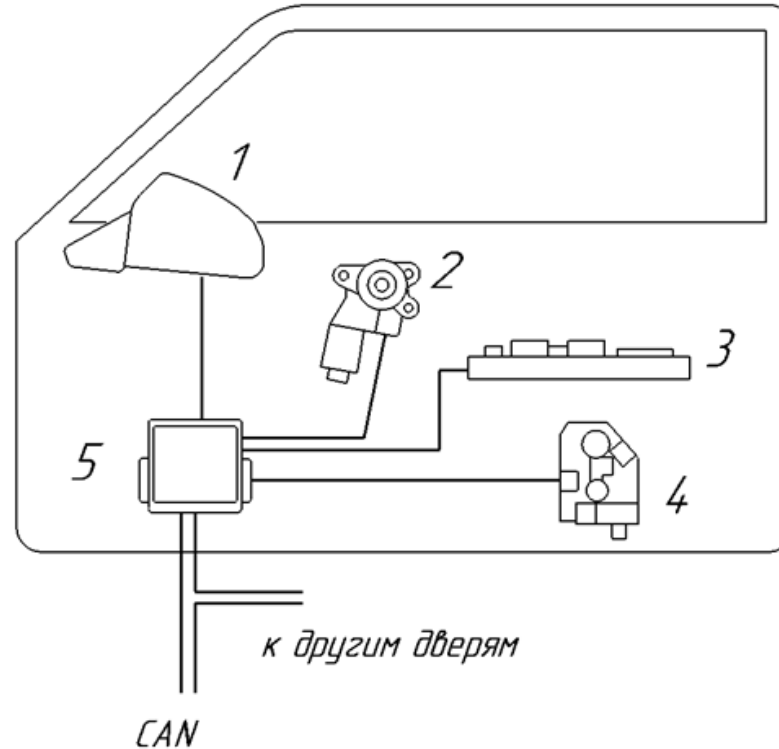


Тенденция централизации управления элементами

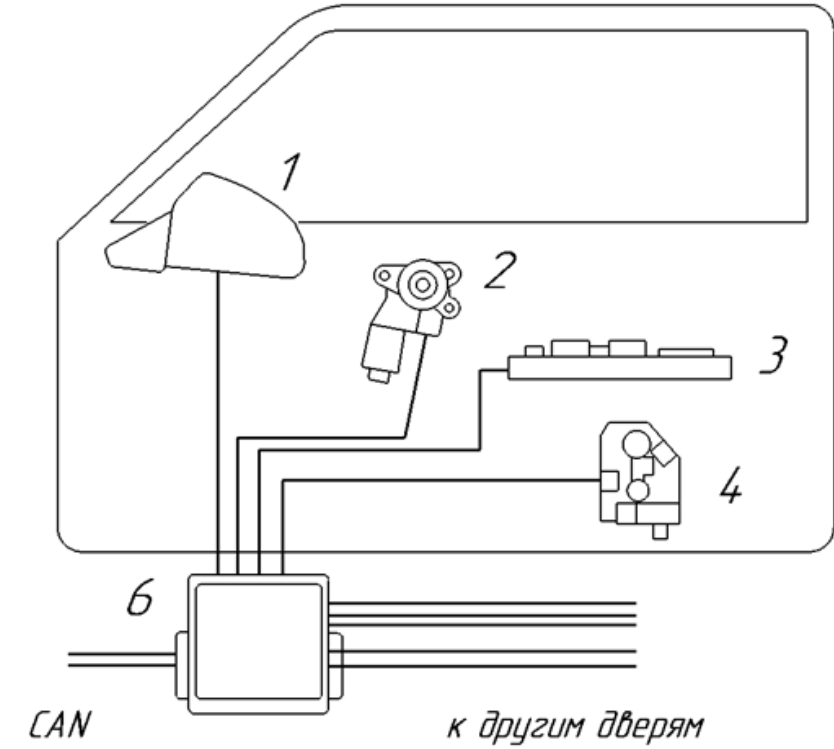
Непосредственное управление



Децентрализованное управление



Централизованное управление



1 – зеркало; 2 – стеклоподъёмник; 3 – элемент управления; 4 – запирающий элемент;
5 – блок управления двери; 6 – центральный блок кузовной электроники

Под **сетью** понимают систему, в которой группа элементов обменивается информацией через *транспортную среду*. Если представить элементы в виде *узлов (станций)*, а связи в виде линий, то получим **топологию сети**.

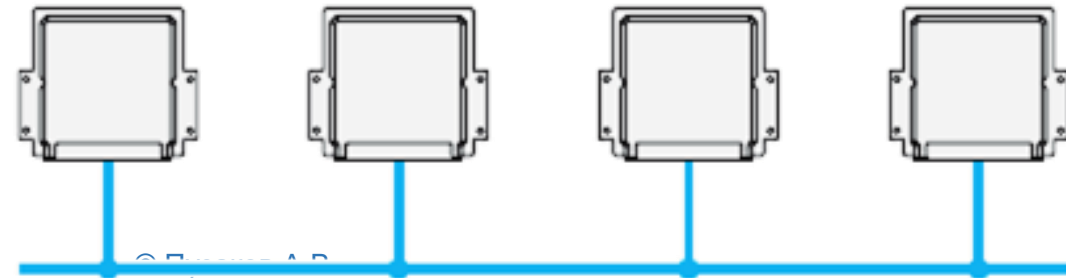
Транспортная среда, через которую реализуется связь, называется **шиной**.

Линейная (магистральная) топология

Ключевым элементом является единый кабель, к которому подключаются все узлы через короткие соединительные кабели. В этой топологии очень легко расширить сеть дополнительными пользователями.

Сообщения отправляются отдельными пользователями шины и распределяются по всей шине. При отказе одного из узлов, ожидаемые от него данные не предоставляются другим узлам в сети, но остальные узлы могут продолжать обмениваться сообщениями.

Однако сеть с линейной топологией полностью перестанет работать, если будет неисправен центральный кабель (например, в случае обрыва провода).



Звездная топология состоит из центрального узла (концентратора), к которому все остальные узлы подключаются через индивидуальные соединения. Поэтому сеть с такой топологией можно легко расширить, если в центральном элементе имеются свободные точки подключения.

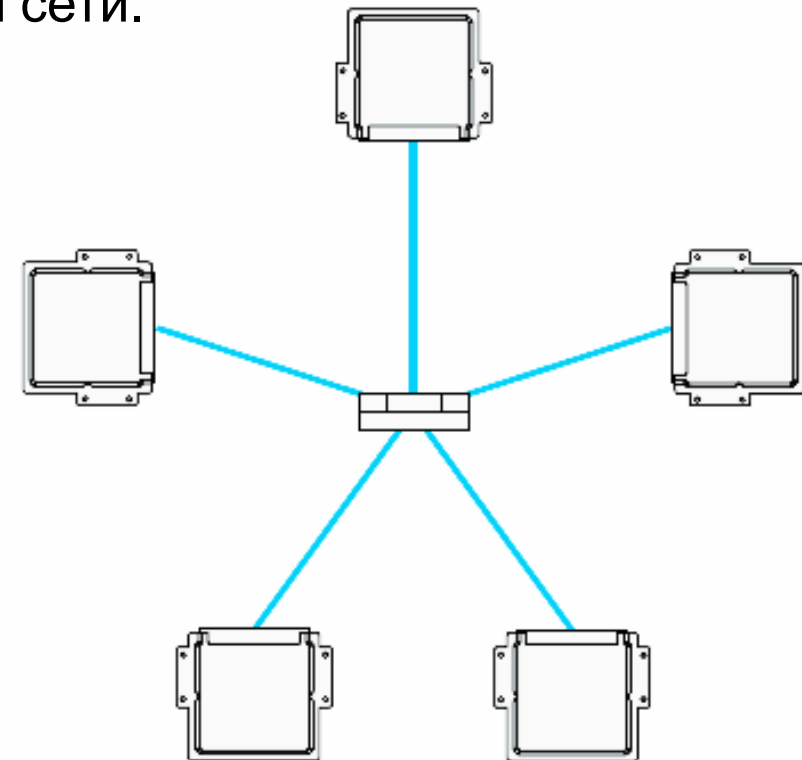
Обмен данными осуществляется через индивидуальные соединения узлов с центральной звездой, при этом различают активные и пассивные звезды.

Активная звезда содержит компьютер, обрабатывающий и перенаправляющий данные.

Пассивная звезда лишь соединяет шинные линии пользователей сети.

При сбое у одного из пользователей или неисправности соединительного кабеля, идущего к центральному узлу, остальная сеть продолжает работать.

Если же будет неисправен центральный узел, то не будет работать вся сеть.



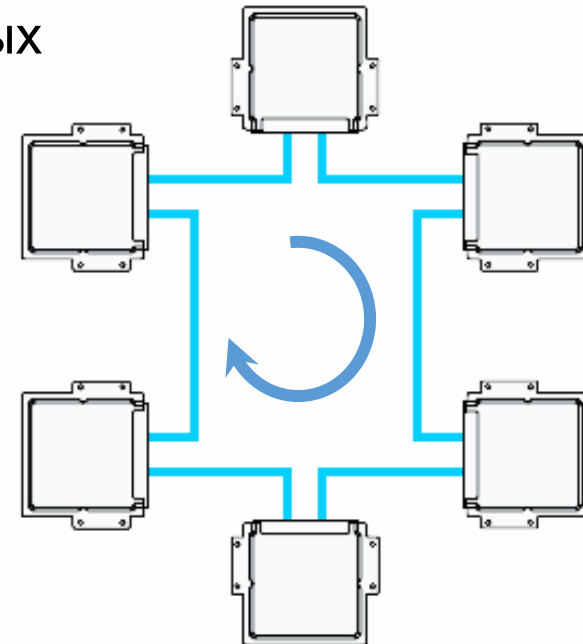
В **кольцевой топологии** каждый узел соединен с двумя соседними. В результате получается замкнутое кольцо. В кольце данные передаются только в одном направлении от одной станции к следующей. В каждом случае проверяется получение данных.

Если они не предназначены для данной станции, то они обновляются (функция повторителя), усиливаются и отправляются на следующую станцию. Передаваемые данные направляются в кольцо, т.е. от одной станции к следующей, пока не дойдут до получателя или не вернуться в исходную точку.

Когда сообщение пройдет через все кольцо, прием подтверждается всеми узлами. Когда происходит сбой какой-либо станции в кольце, передача данных прерывается и вся сеть оказывается неработоспособной.

Кольца могут также иметь форму **двойного кольца**, в котором данные передаются в обоих направлениях.

В этой топологии сбой одной станции или соединения между двумя станциями не является проблемой, поскольку все данные продолжают передаваться на все работающие станции в кольце.



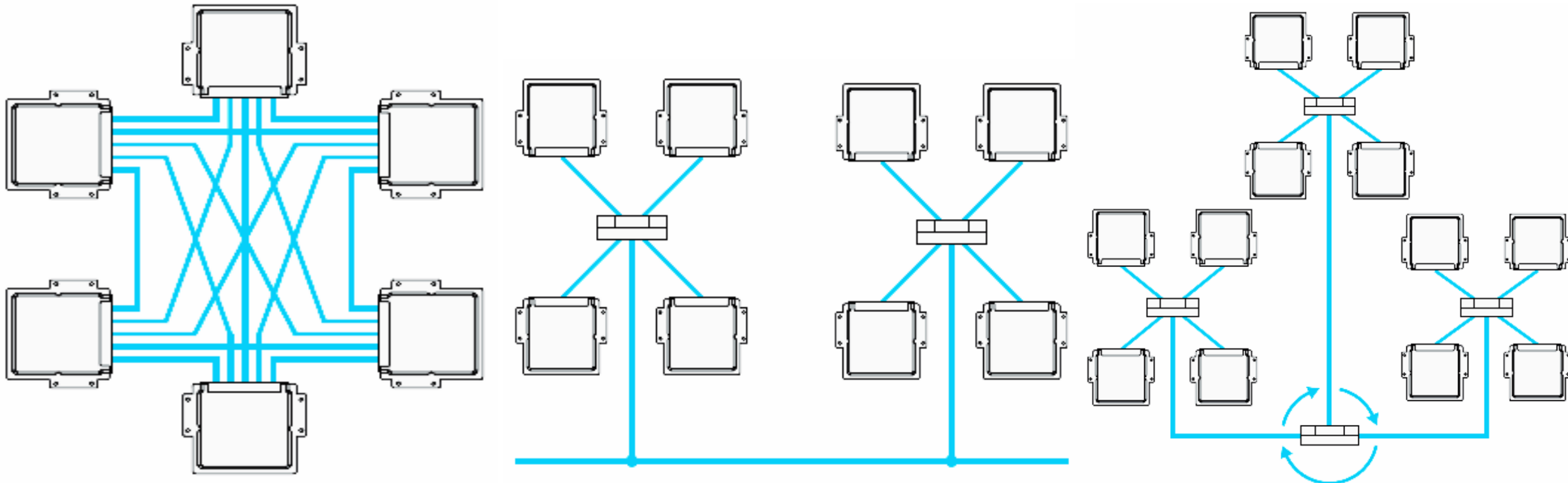
Топология сети

При **сетевой (решетчатой) топологии** каждый узел соединяется с одним или несколькими другими.

При сбое одного узла или соединения имеются каналы переадресации, по которым можно маршрутизировать данные.

Поэтому сеть характеризуется большой устойчивостью к отказам.

Однако стоимость организации сети и транспортировки сообщений высока.



Чтобы сообщения передавались по сети, а их содержание можно было анализировать, они, помимо пользовательских данных (полезной нагрузки), содержат информацию о передаче данных. Она может быть явной либо неявной. Адресация требуется для того, чтобы сообщение доставлялось нужному получателю.

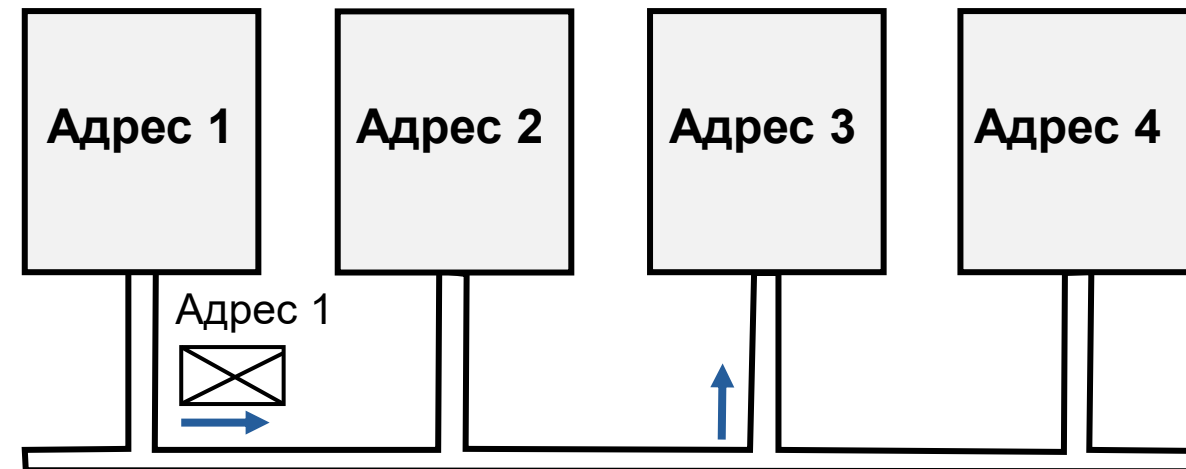
Ориентация на пользователя

Здесь обмен данными осуществляется на основе адресов узлов.

В передаваемом отправителем сообщении, помимо основных данных, содержится адрес пункта назначения.

Все получатели сравнивают передаваемый адрес получателя с собственным, и лишь получатели с нужным адресом анализируют сообщение.

Сообщения могут отправляться отдельным получателям, группам или всем узлам в сети.



Ориентация на сообщение

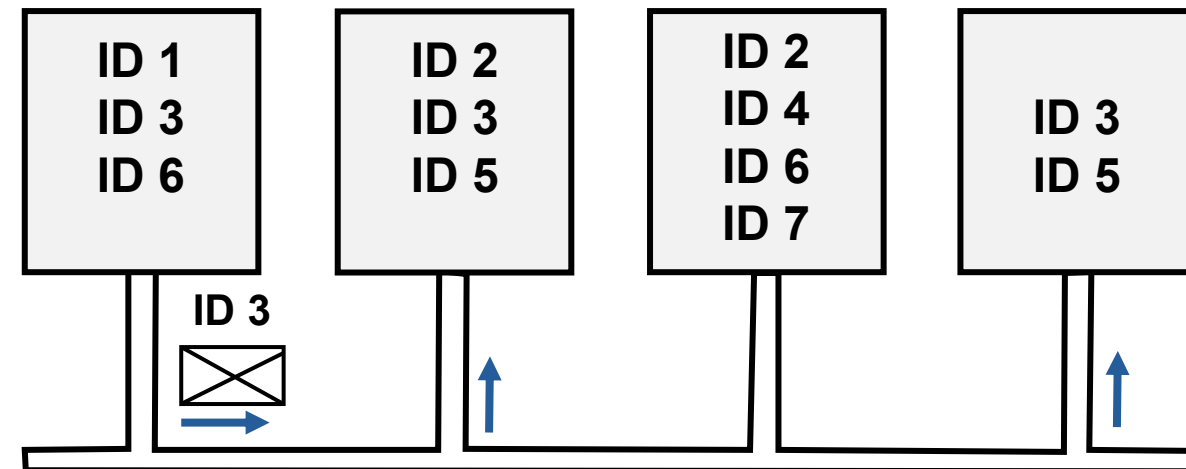
Здесь адресуются не узлы-получатели, а сами сообщения. Сообщение идентифицируется по его содержанию идентификатором сообщений, заранее установленным для данного типа информации.

При этом методе адресации отправителю не нужно знать получателя сообщения, поскольку каждый получатель сам решает, обрабатывать сообщение или нет.

Сообщение может быть также принято и оценено несколькими узлами.

Ориентация на процесс передачи

Если сообщение отсылается в пределах определенного временного периода, то его можно идентифицировать на основании этого времени.



Способы обращения к шине

Предсказуемый процесс, при котором обращение к шине происходит в зависимости от времени. Тем самым гарантируется, что в каждый момент времени шину занимает только один из участников. Исключены конфликты доступа.

Случайный процесс, при котором каждый узел может попытаться передать данные, когда шина оказывается не занятой. При таком способе существует опасность конфликтов, которые нужно разрешать. Это может происходить путем повторной отправки сообщения (*Ethernet*), путем разного кодирования передач (CDMA), путем управления связью через главную станцию или путем определения приоритетов типов сообщений или передатчиков.

Управление временем

Циклически работающие шины (управление временем), обеспечивают бесконфликтный доступ, если для каждого узла статически определяется его доля в длительности цикла и обеспечивается синхронность тактов в узлах.

Строгая периодичность гарантирует, что во всех режимах работы длительность пересылки сообщения будет известна.

Это свойство требуется в таких системах, как электроусилитель рулевого управления, где слишком позднее выполнение действия недопустимо.

Способы обращения к шине

Ведущий-ведомый

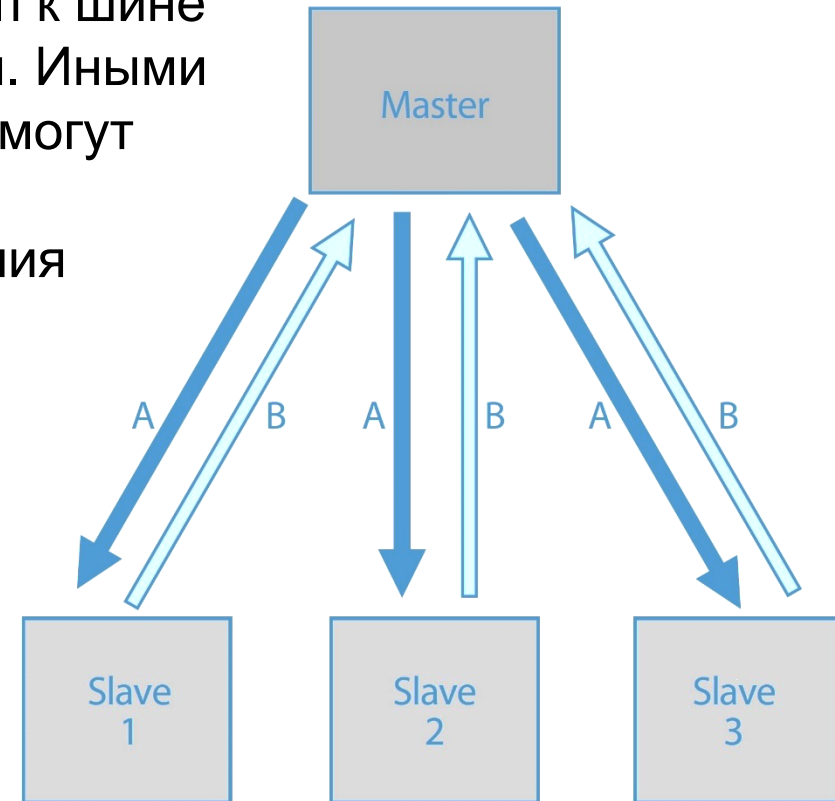
Определенный узел (ведущий) предоставляет другим узлам (ведомым) ограниченный доступ. Таким образом, он определяет частоту связи путем опроса подчиненных узлов. Ведомый узел отвечает только тогда, когда он опрашивается ведущим узлом.

Многоабонентская шина

В многоабонентской шине различные узлы могут получать доступ к шине автоматически и отправлять сообщение, когда шина освобождается. Иными словами, каждый узел может выполнять роль ведущего, и все узлы могут инициировать отправку сообщения.

Однако это означает необходимость наличия методов определения доступа и разрешения конфликтов. Управление приоритетами предотвращает конфликты на шине при попытке одновременного доступа нескольких узлов.

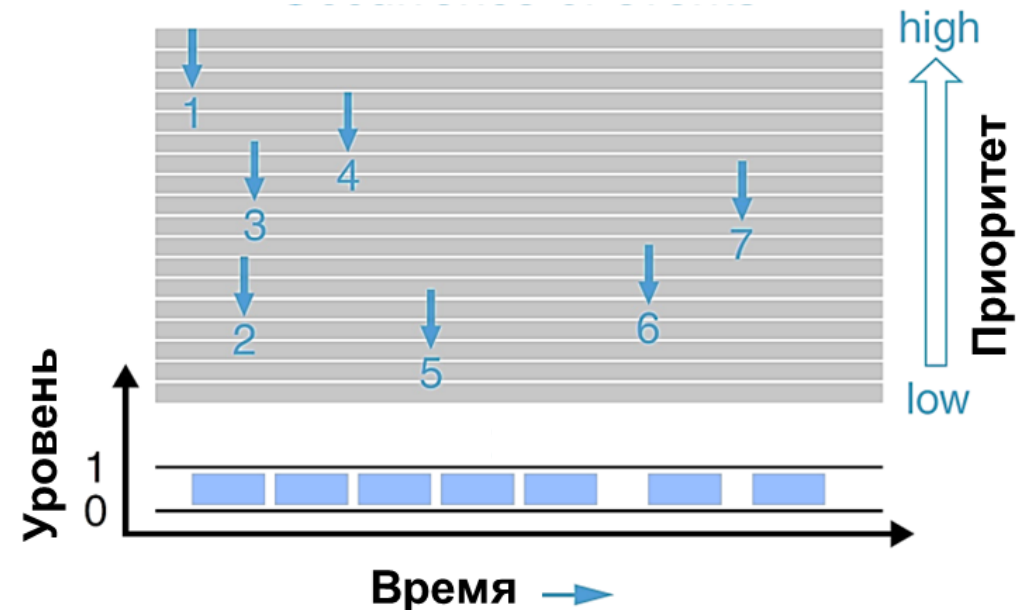
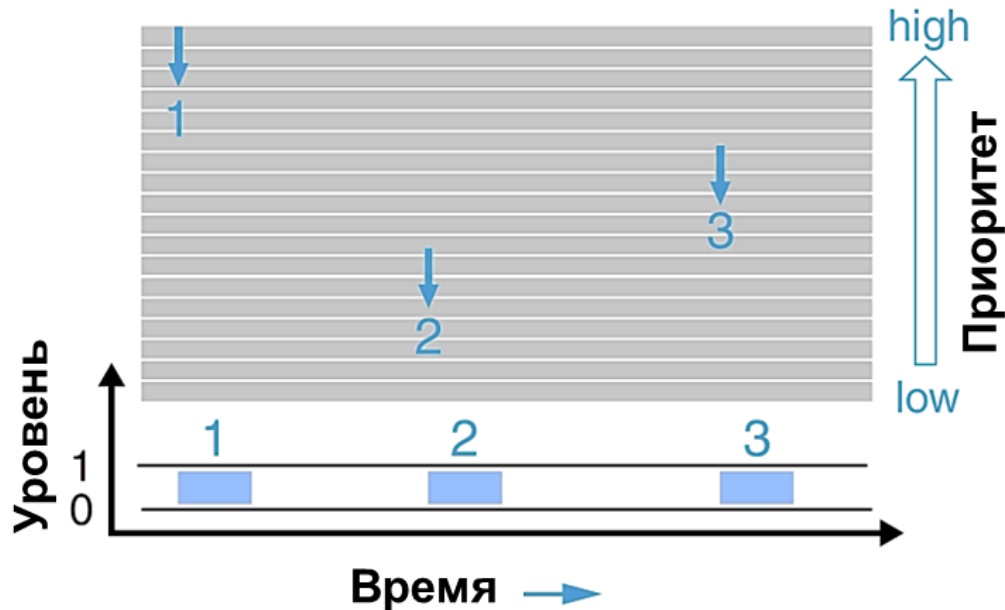
Узел сети, имеющий высокий приоритет или пытающийся передать высокоприоритетное сообщение, первым отправляет свое сообщение. Когда линия снова освобождается, все узлы, пытающиеся отправить сообщения, особенно те что находятся в ожидании, повторяют попытку отправки.



Данные обычно передаются в виде пакетов с фиксированной структурой (*фреймов*), которые, наряду с фактическим содержанием, имеют метаданные об источнике, пункте назначения, приоритете и контрольные биты для защиты от повреждения.

Центральной функцией сети, к которой имеют доступ одновременно несколько пользователей, является распределение доступа, во избежание конфликтов. Применительно к шинам это называется **арбитражем**.

Каждая станция может начать передачу сообщения только после освобождения шины. Когда несколько станций начинают передавать сообщения одновременно, для разрешения создаваемых конфликтов доступа к шине используется арбитраж. Сообщению с высшим *приоритетом* (наименьшим двоичным значением идентификатора) присваивается право первого доступа, без задержек и потерь битов.



Слои шины передачи данных

Определяются семь слоев, но верхние слои в эталонной модели **OSI** (слой приложения, слой представления и слой сеанса) не обслуживаются автомобильными шинами.

Физический слой

Физический слой определяет физические свойства передающей среды (например, уровень напряжения или форму штекеров). В автомобилях используются электромагнитные сигналы в диапазоне от нескольких кГц до нескольких МГц с особыми проводами и оптоволоком.

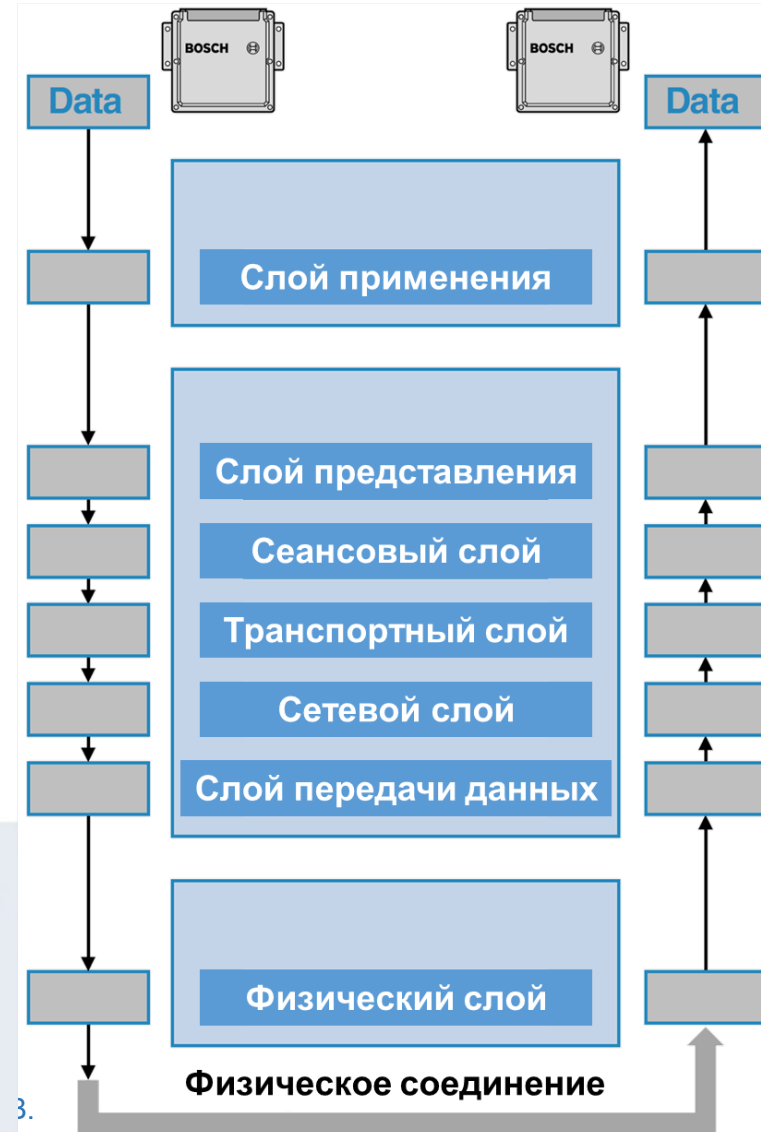
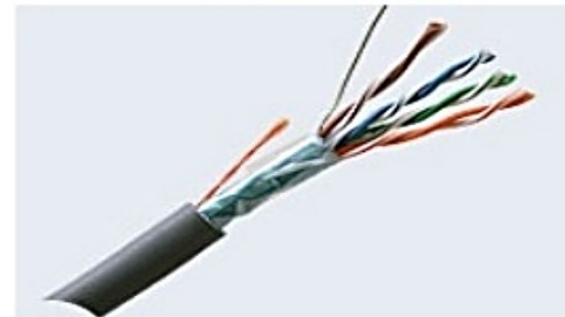
Наиболее широко распространенным методом является передача по проводам: по **витой паре** с разностью напряжений, или по **одножильным проводам** с опорным напряжением на массу.

Там, где требуется высокая скорость передачи данных, используются оптоволоконные линии из пластмассы или стекловолокна (для инфракрасной части спектра). Они нечувствительны к электромагнитному излучению, но их прокладка стоит дорого.

Коаксиальный кабель

Оптоволоконный кабель

Витая пара



Слои шины передачи данных

Физические возможности среды также ограничивают типы шифрования. В оптической среде существуют два состояния - «**свет**» и «**нет света**», и шифрование здесь **амплитудное** (яркость).

Высокочастотные сигналы напряжения, передаваемые по проводу дают разные возможности для представления битов. Самый простой и распространенный способ, используемый в автомобильных шинах – это шифрование, при котором каждому биту присваивается определенное значение напряжения (**амплитудная модуляция**), применяемое ко всей длительности бита (NRZ, без возврата на ноль).

Если кодирование позволяет, чтобы уровень одного сигнала перекрывал другой, то перекрывающий уровень называется **доминантным**, а перекрываемый –

Слой передачи данных осуществляет обмен данными между соседними узлами. Биты данных группируются в пакеты (**фреймы**). Добавляя дополнительные биты, такие как контрольные суммы и числовые коды, можно выявлять и даже исправлять ошибки, возникающие при передаче. Ошибку можно также исправить путем запроса новой передачи.

Сетевой слой

Если не каждый пользователь сети напрямую соединен со всеми остальными, то необходимо найти маршрут для данных, проходящих через промежуточные станции. Эту задачу выполняет сетевой слой.

Транспортный слой

К функциям транспортного слоя относятся разборка крупных пакетов данных и их сборка у получателя, к которому отдельные части потенциально приходят по разным маршрутам в разное время или при возникновении ошибок передачи, обеспечивает повторную передачу пакета.

Передача сигнала по шине данных

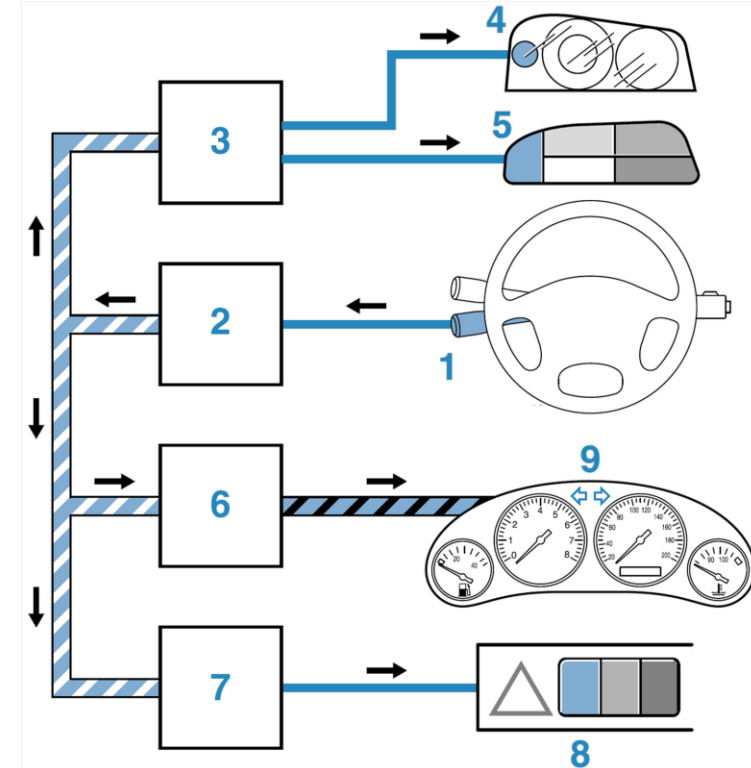
Водитель управляет рычагом указателя поворота **1**. Сигнал передается на блок управления рулевой колонки по дискретной линии **2** в зависимости от того, включен поворот направо или налево. Это может быть сигнал, закодированный по сопротивлению.

Блок управления анализирует сигнал и определяет, что водитель указывает левый поворот. Информация передается в блок управления бортовой сети **3**. Направление индикации определяется на основании полученной информации (нормальная частота мигания, повышенная частота мигания при выходе из строя лампочки).

Затем по дискретным проводам **4**, **5** активируются передний левый и задний левый указатели поворота. Блок управления бортовой сетью также передает информацию о «левом повороте» в комбинацию приборов **6**.

После этого на комбинации приборов **9** мигает контрольная лампа. Если автомобиль оснащен прицепным устройством, информация поступает в блок управления распознавания прицепа **7**.

При этом через кабели включается указатель поворота на прицепе **8**.



- 1** – рычаг указателей поворота;
- 2** – блок управления рулевой колонки;
- 3** – блок управления электросистемой;
- 4, 5** – указатели поворота; **6** – шлюз;
- 7** – блок управления распознавания прицепа; **8** – указатель поворота на прицепе; **9** – комбинация приборов

Характеристика шин передачи данных

	CAN-C (High-speed CAN)	CAN-B (Low-speed CAN)	LIN
Название	Controlled Area Network (локальная сеть контроллеров)		Local Interconnect Network (местная сеть связи)
Вид шины	Обычная шина		
Домен	Трансмиссия	Комфорт	
Применение	Система управления двигателем, коробкой передач, ABS/ESP	Кузовная электроника, система обеспечения комфорта	Экономичное расширение шины CAN для простых случаев использования
Топология	Линейная (магистральная) шина		
Скорость передачи данных	10 кбит/с – 1 Мбит/с	Макс. 125 кбит/с	Макс. 20 кбит/с
Максимальное число узлов	10	24	16
Канал связи	Медные провода (витая пара)		Медный провод
Использование	Во всех автомобилях		
Норма	ISO 1198	ISO 11519-2	Консорциум LIN
Классификация SAE	Класс C	Класс B	Класс A

Характеристика шин передачи данных

	MOST	Bluetooth	Flexray
Название	Media Oriented Systems Transport (транспортировка систем мультимедиа)	Свободно выбранное название	
Вид шины	Оптическая шина	Беспроводная	Обычная шина
Домен	Мультимедиа, информация, развлечения	Мультимедиа, информация, развлечения	Использование между разными доменами
Применение	Передача данных управления, аудио- и видеоданных	Передача данных на самые малые расстояния	Сеть важная для безопасности
Топология	Кольцевая шина	Сетевая технология	Звезда
Скорость передачи данных	Макс. 150 Мбит/с	Макс. 3 Мбит/с	Макс. 20 Мбит/с
Максимальное число узлов	64	8 активных 256 пассивных	22
Канал связи	Световод	Радиоволны	Медные провода (витая пара)
Использование	Автомобили высшего класса	Во всех автомобилях	Автомобили высшего класса
Норма	Кооперация MOST	Bluetooth SIG	Консорциум Flexray
Классификация SAE	Класс D	-	Класс C+

Преимущества шин передачи данных

В целом, сетевое соединение электронных систем при помощи одной или нескольких шинных систем предлагает следующие преимущества:

- **уменьшение количества кабелей и проводов** и в результате
 - уменьшение веса,
 - повышение отказоустойчивости благодаря уменьшению количества штекеров и точек соединения (например, мест спаек),
 - упрощение конструктивной прокладки проводов,
 - снижение затрат,
 - уменьшение проблемы ЭМС;
- **НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОЕДИНЕНИЯ СИСТЕМ** благодаря
 - комбинированному использованию датчиков и, как результат либо сокращение их количества, либо взаимный контроль,
 - гибкому изменению за счет нового программного обеспечения без изменения аппаратных средств,
 - отсутствию микроблоков управления и их интеграции в существующие системы;
- **улучшение возможностей диагностики** благодаря
 - взаимному контролю систем,
 - более высокой интеграции систем,
 - обнаружению ошибок при неисправностях в обработке данных.

CAN - шина передачи данных



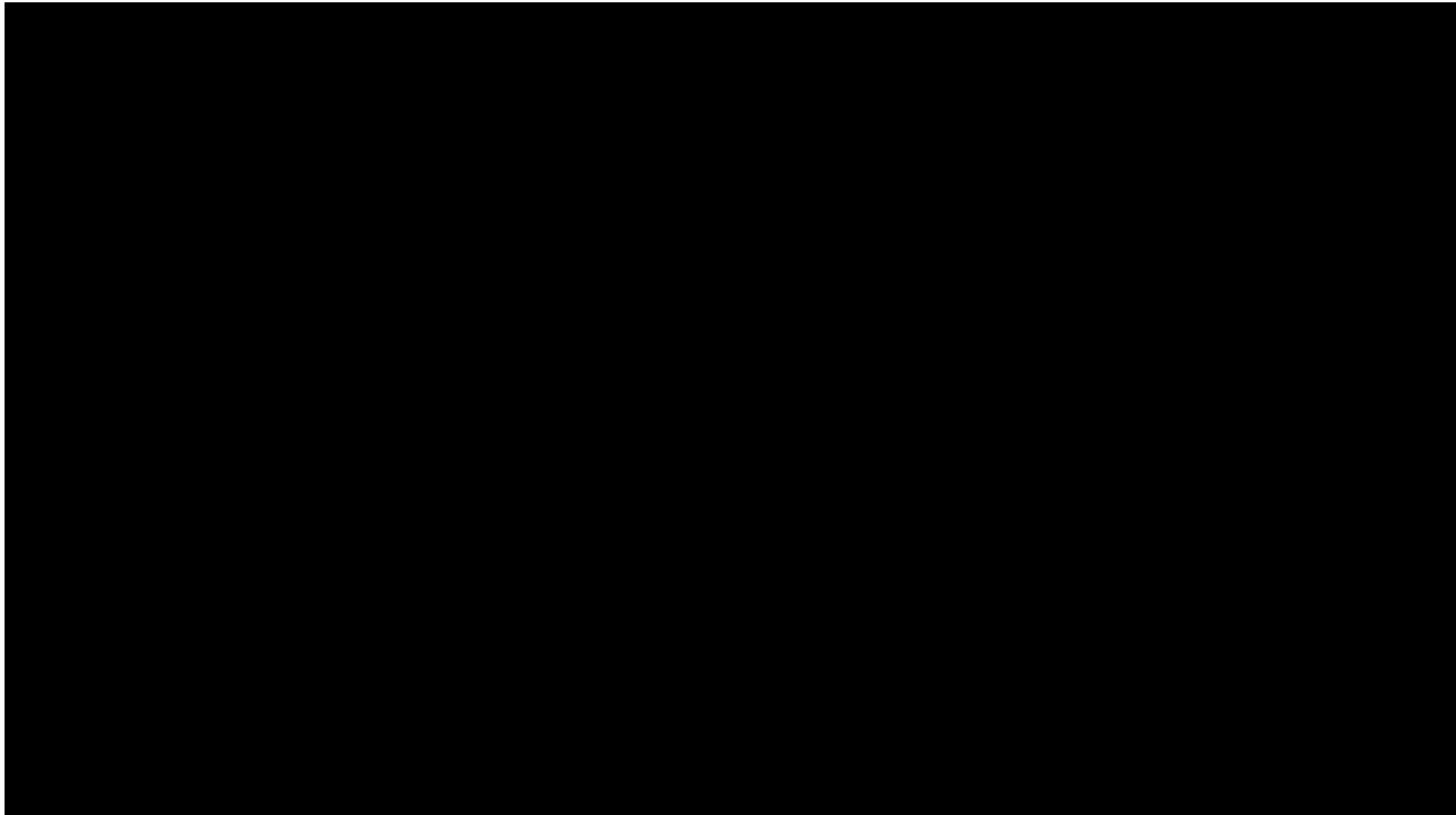
CAN (англ. Controller Area Network – локальная сеть контроллеров) была разработана в 1987 году фирмой BOSCH. Шина CAN представляет собой два сигнальных провода и объединяет в одну сеть отдельные электронные системы управления автомобиля для обмена между собой информацией.

CAN – это шина с архитектурой Multi-Master, то есть с возможностью подключения сразу нескольких задающих устройств. Это означает, что все ее абоненты (модули управления и проверки) могут как передавать, так и запрашивать данные.

В системе связи на базе шины CAN отсутствует адресация отдельных абонентов. Вместо этого здесь пересылаемым пакетам данных присваивается **Identifier** (идентификатор). Любой из абонентов может послать свои данные по шине, т.е. сделать их доступными для всех остальных. Каждый из остальных абонентов по идентификатору сам решает, нужны ли ему эти данные, следует ли ему их получать и обрабатывать.

Отличием шины CAN является высокая надежность передачи. Контроллеры CAN, имеющиеся у каждого из абонентов, регистрируют ошибки в передаче данных. В сети связи ведется статистика и анализ этих ошибок с целью принятия соответствующих мер, вплоть до отключения от системы связи того абонента, который выдает ошибки.

CAN - шина передачи данных



CAN - шина передачи данных

Шина данных CAN состоит из следующих компонентов:

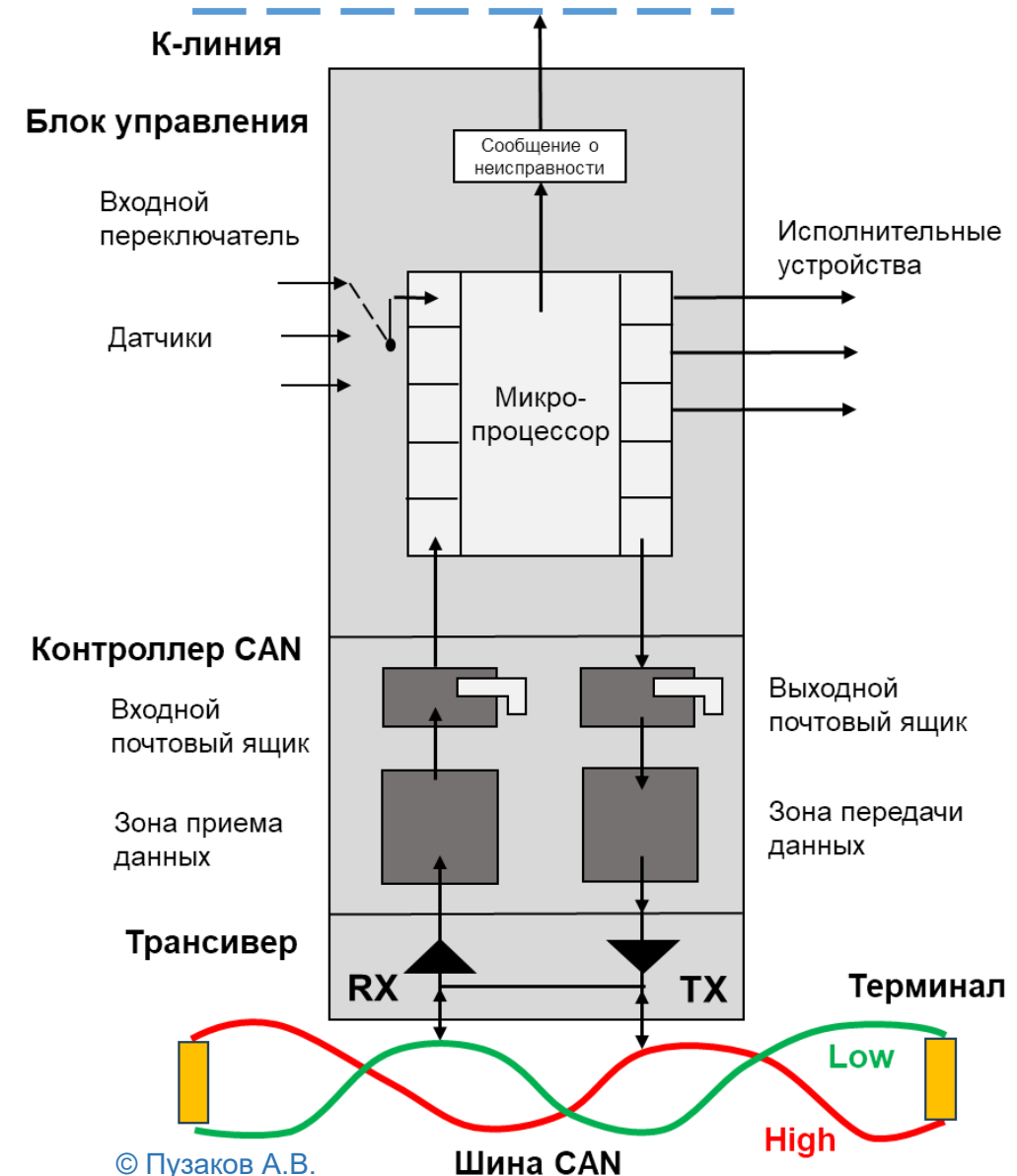
- контроллер;
- трансивер;
- два терминала шины данных;
- два провода шины данных (*High* и *Low*).

Терминал шины данных – это резистор. Он предотвращает обратную передачу данных от концов проводов шины, что может привести к фальсификации последующих данных.

Контроллер CAN получает данные от микропроцессора блока управления. Он обрабатывает их и передает трансиверу.

Трансивер – это приемник и передатчик, объединенные в одно устройство.

Он служит для преобразования данных от контроллера CAN в электрические сигналы и передачи их по проводам.



Высокоскоростная шина CAN

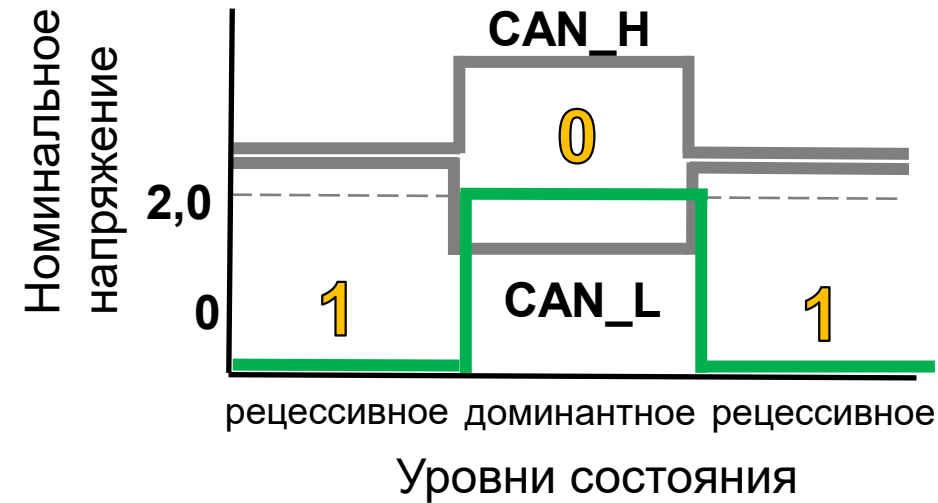
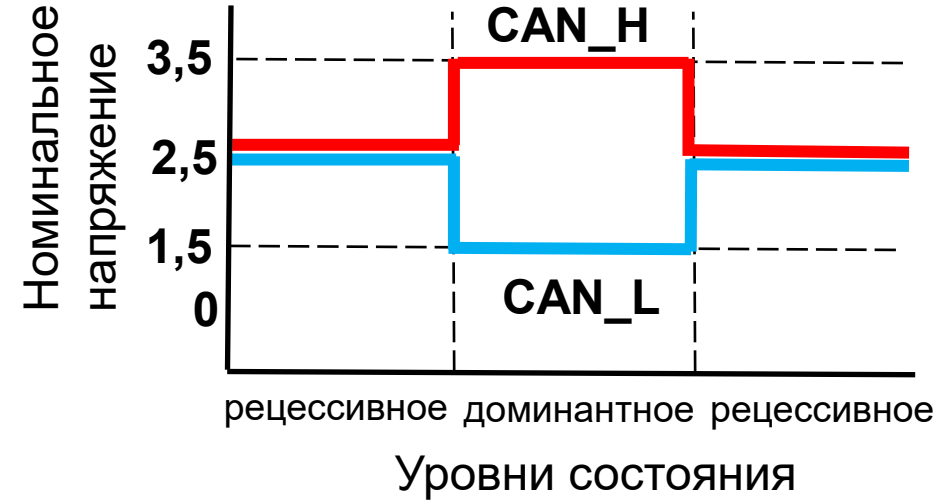
Чтобы повысить надежность передачи данных, в шинах CAN применяется способ дифференциальной передачи сигналов по двум проводам (*Twisted Pair*). Образующие эту пару провода называются CAN-High и CAN-Low.

В исходном состоянии шины на обоих проводах поддерживается постоянное напряжение на определенном базовом уровне. У высокоскоростной шины CAN это напряжение равно 2.5 В.

При нахождении напряжения на базовом уровне говорят о рецессивном состоянии, так как оно может быть изменено любым подключенным к ней блоком управления.

При переходе в доминантное состояние напряжение на проводе **High** повышается до величины 3.5 В. При этом напряжение на проводе **Low** снижается до 1.5 В.

При нахождении шины CAN в **рецессивном состоянии** разность напряжений на ее проводах равно нулю, а при ее нахождении в **доминантном состоянии** разность напряжений на проводах шины составляет не менее 2 В.



Низкоскоростная шина CAN

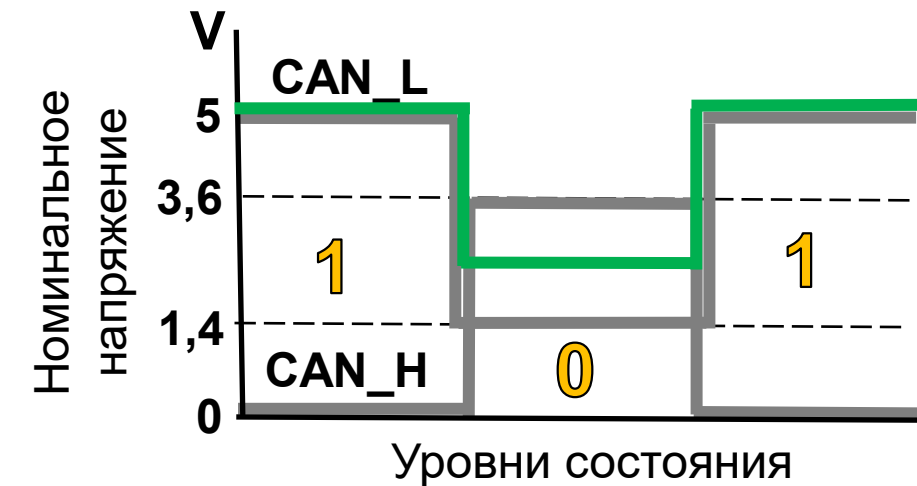
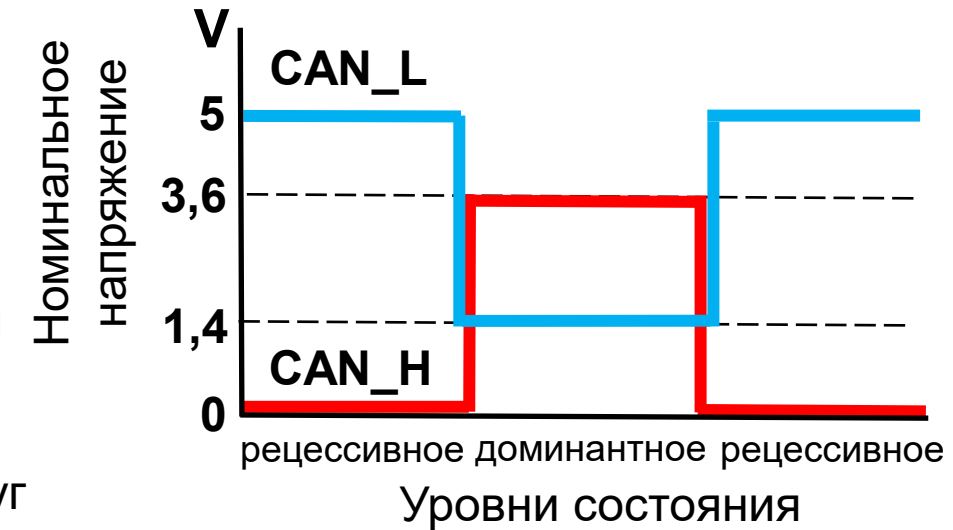
Чтобы обеспечить высокую помехоустойчивость низкоскоростной шины CAN при повышении ее надежности и сниженном потреблении энергии, в конструкцию шины были введены некоторые элементы, которые отсутствуют у высокоскоростной шины CAN.

Сначала было необходимо ликвидировать взаимозависимость распространяемых сигналов, применив для них отдельные усилители мощности. Далее была устранена электрическая связь проводов шины CAN через терминалы, как у высокоскоростной шины CAN.

В результате провода High и Low шины больше не могут влиять друг на друга и работают как независимые проводники тока.

При этом отказались от общего базового напряжения. Напряжение на проводе **High** при рецессивном состоянии шины равно нулю, а в доминантном состоянии оно увеличивается не менее чем до 3.6 В.

Переход шины CAN на так называемый однопроводный режим передачи данных производится при обрыве, коротком замыкании или замыкании на "плюс" одного из ее проводов. В этом режиме обрабатываются только сигналы, передаваемые по исправному проводу. Таким образом шина CAN сохраняет свою работоспособность.



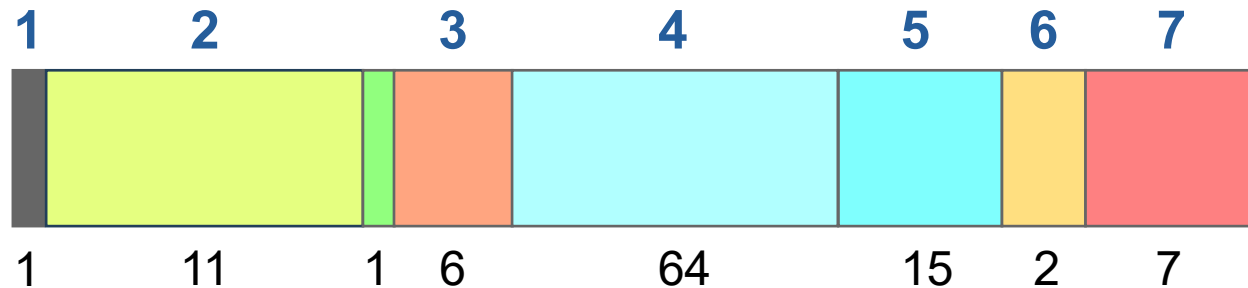
Структура протокола CAN – шины

Протокол передачи данных

Протокол состоит из последовательности бит информации, передающихся друг за другом. Число бит в протоколе передачи данных зависит от размера поля данных.

На рисунке схематически изображена структура протокола передачи данных. Структура протокола передачи данных всегда соответствуют стандартным фреймам. Фрейм состоит из **семи** последовательно расположенных **полей данных**.

Start of frame (SOF)	Arbitration (ID)	Control bits	Data length code (DLC)	Data bytes	Cyclic redundancy check (CRC)	Acknowledge (ACK)	End of frame (EOF)
----------------------	------------------	--------------	------------------------	------------	-------------------------------	-------------------	--------------------



Порядковый номер поля

Количество бит

1. стартовое поле (состоит из одного доминантного бита),
2. поле состояния (11 битов),
3. контрольное поле (6 битов),
4. поле данных (до 64 битов = 8 байт),
5. поле резервного контроля (15 битов),
6. поле подтверждения (несколько рецессивных битов и один ограничительный бит),
7. стоповое поле (7 рецессивных битов).

Структура протокола CAN – шины

Стартовый бит:

Стартовый бит сигнализирует всем абонентам CAN о том, что начинается передача данных.

Стартовый бит всегда доминантен и призывает всех абонентов CAN к восприятию сообщения.

Поле состояния:

За стартовым битом следует поле состояния. Информация, подлежащая пересылке по шине CAN, должна быть сначала помечена. Если передается, например, значение температуры, то оно должно быть снабжено определенной меткой. Метка температуры может выглядеть, например, как 0815. Тогда каждому абоненту известно, что 0815 обозначает температуру. Кроме того, поле состояния содержит информацию о приоритетности протокола.

Контрольное поле:

Далее абонентам необходимо сообщить, сколько значений температуры будет передано. Количество передаваемых значений температуры записывается в контрольном поле.

Поле данных:

Это поле содержит собственно данные (например – о температуре). Любой абонент может считать эти данные, если они ему необходимы.

Поле резервного контроля:

После того как данные получены абонентом, они проверяются на полноту. Контрольные данные содержатся в поле резервного контроля.

Поле подтверждения:

Если вся информация дошла в правильном виде, абоненты сообщают об этом в поле подтверждения.

Стоповое поле:

Стоповое поле сигнализирует абонентам об окончании протокола.

Структура протокола CAN – шины

Пример на рисунке показывает, что первые три бита состояния отведены для определения приоритетности.

Протокол высокой приоритетности автоматически получает преимущество перед протоколом с более низкой приоритетностью.

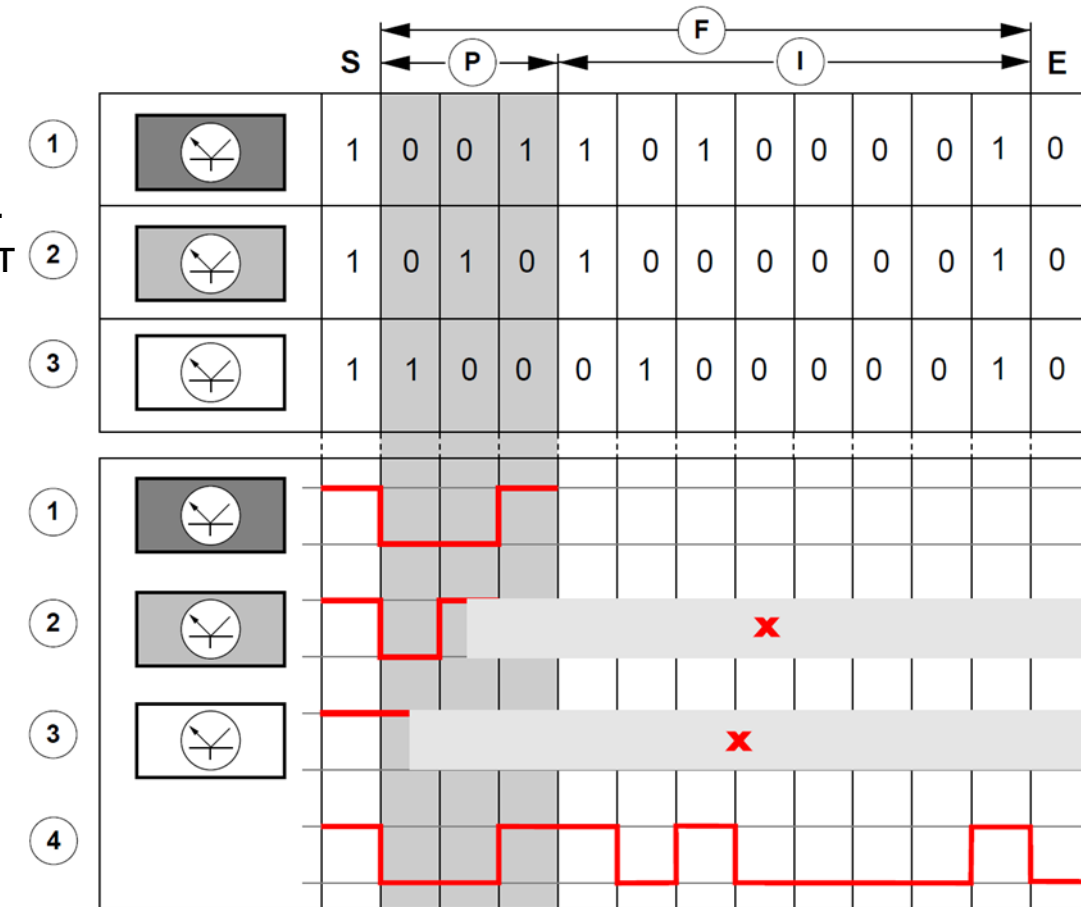
Когда блок управления начинает передачу, он одновременно бит за битом отслеживает, что происходит на шине.

Если ЭБУ посылает в поле идентификации доминантный бит (логическую "1"), но обнаруживает на шине рецессивный бит (логический "0"), то он понимает, что его сообщение уступает по важности другому сообщению, и прерывает передачу.

Если один из передающих модулей обнаруживает неисправность, он прерывает текущую передачу и передает сообщение об ошибке.

Такое сообщение состоит из последовательности **шести** доминантных битов и по приоритетности превосходит все остальные протоколы.

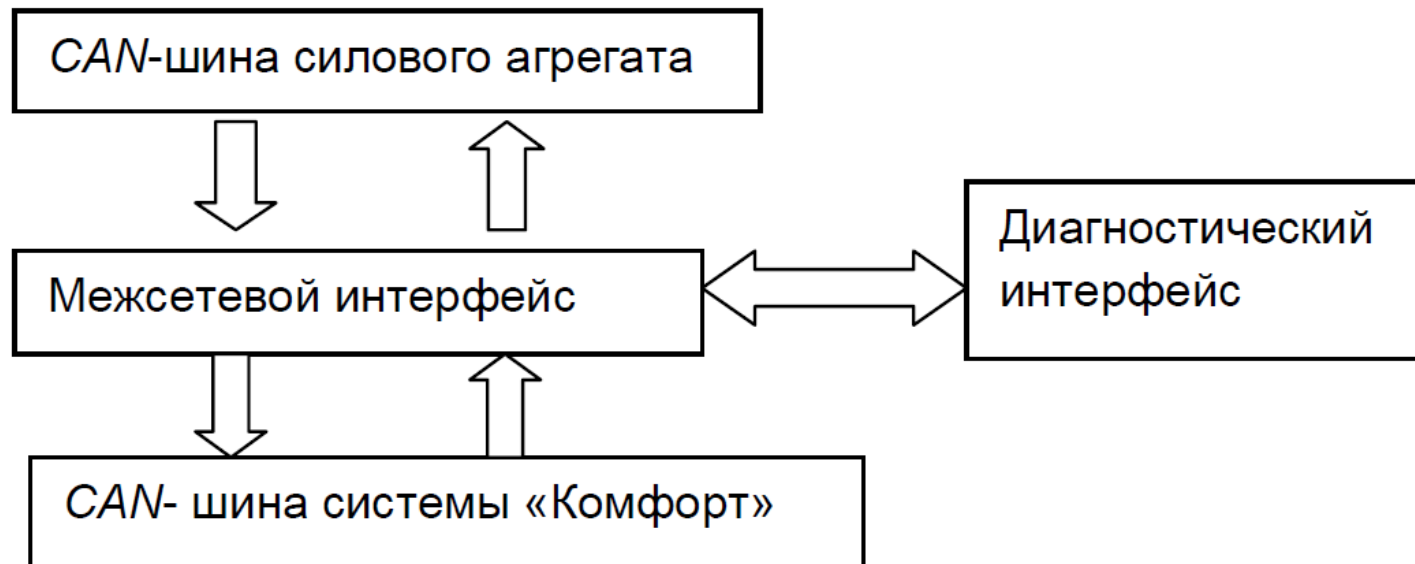
У каждого абонента CAN имеется встроенный **счетчик ошибок**. Его задача заключается в том, чтобы не допустить блокирования линии неисправным абонентом. Превышение максимально допустимого количества ошибок ведет к блокированию связи и записи кода неисправности (DTC).



В автомобиле есть несколько шин CAN. Часто информация от блока управления одной шины необходима блоку, подключенному к другой шине. Непосредственно соединить между собой шины невозможно из-за разных уровней напряжения, соответствующих логическим уровням, и разной скорости передачи данных. Поэтому необходимо устройство, объединяющее эти шины. Им является межсетевой интерфейс (Gateway) или центральный шлюз системы.

Межсетевой интерфейс – это отдельный блок управления, с помощью которого осуществляется обмен данными между различными шинами CAN. Это контроллер самой шины CAN, который постоянно опрашивает ЭБУ всех узлов автомобиля и по результатам опроса обнаруживает их присутствие на шине.

Так как на этот интерфейс поступает информация от всех блоков управления автомобиля, то его используют также для вывода диагностической информации.



В 2012 году компания Bosch выпустила **CAN FD**, или CAN с гибкой скоростью передачи данных. В этой спецификации используется другой формат кадра, который позволяет передавать данные различной длины, а также при необходимости переключаться на более высокую скорость передачи данных после принятия решения об арбитраже. CAN FD совместим с существующими сетями CAN 2.0, поэтому новые устройства CAN FD могут сосуществовать в одной сети с существующими устройствами CAN. С 2018 года компания Bosch активно занимается расширением стандартов – **CAN XL**.

Протокол CAN FD (CAN Data Flexible) имеет следующие свойства:

CAN-FD работает одновременно на двух скоростях, например, заголовок кадра - 500 кбит\с, а поле данных может достигать значение до 12 Мбит\с.

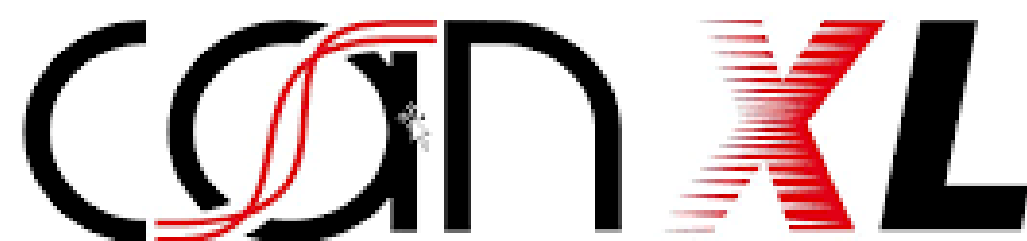
CAN-FD может передать до 64 байт данных в одном пакете (классический CAN - максимум 8 байт).

CAN-FD контроллер способен принимать CAN пакеты, а CAN контроллер не способен принимать пакеты CAN-FD.

CAN XL обеспечивает превосходные решения для скоростей обмена до 10 Мбит/с, поддерживая такие преимущества протокола CAN, как разрешение конфликтов неразрушающим арбитражем. Большие кадры данных до 2048 байт позволяют использовать протоколы более высокого уровня, такие как IP (интернет-протокол), и даже туннелировать полные кадры Ethernet.



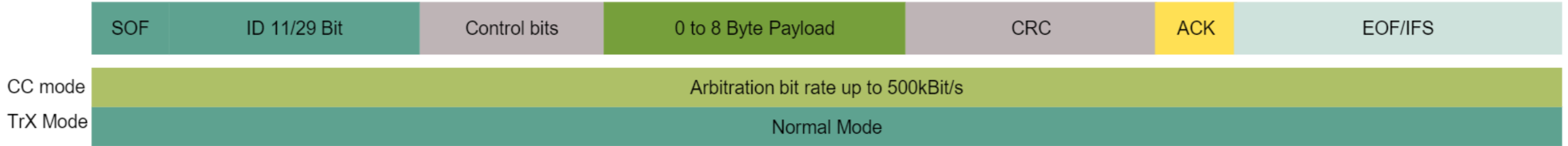
CAN FD



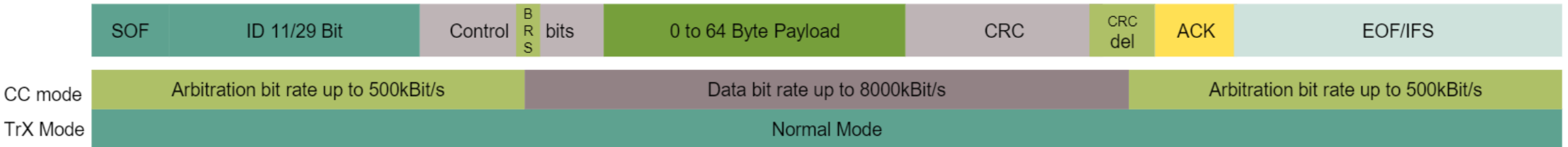
CAN XL

Расширения шины CAN

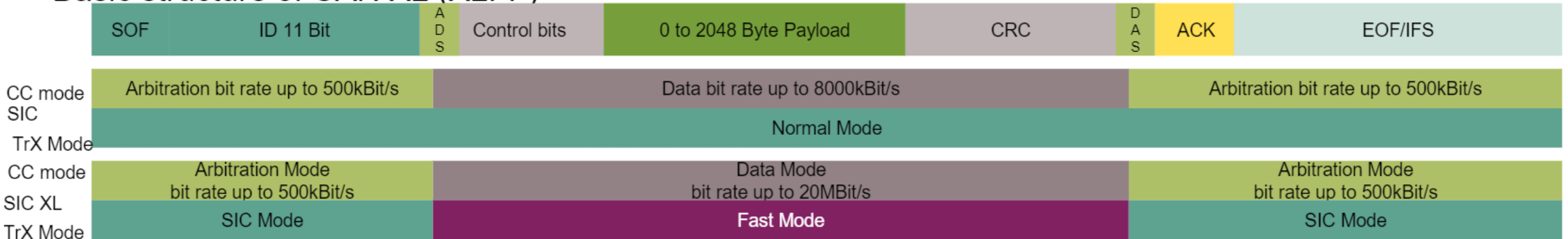
Basic structure of CAN protocol (CBFF & CEFF)



Basic structure of CAN FD (FBFF & FEFF)



Basic structure of CAN XL (XLFF)



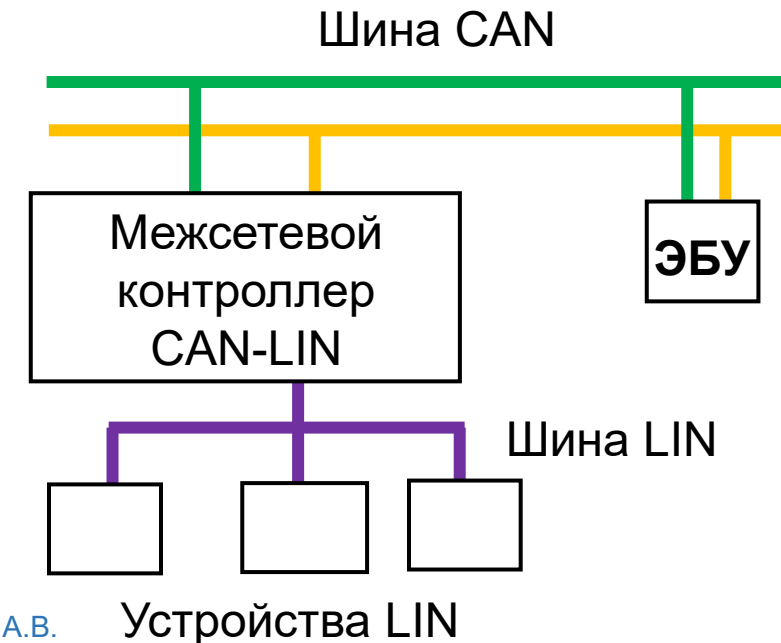
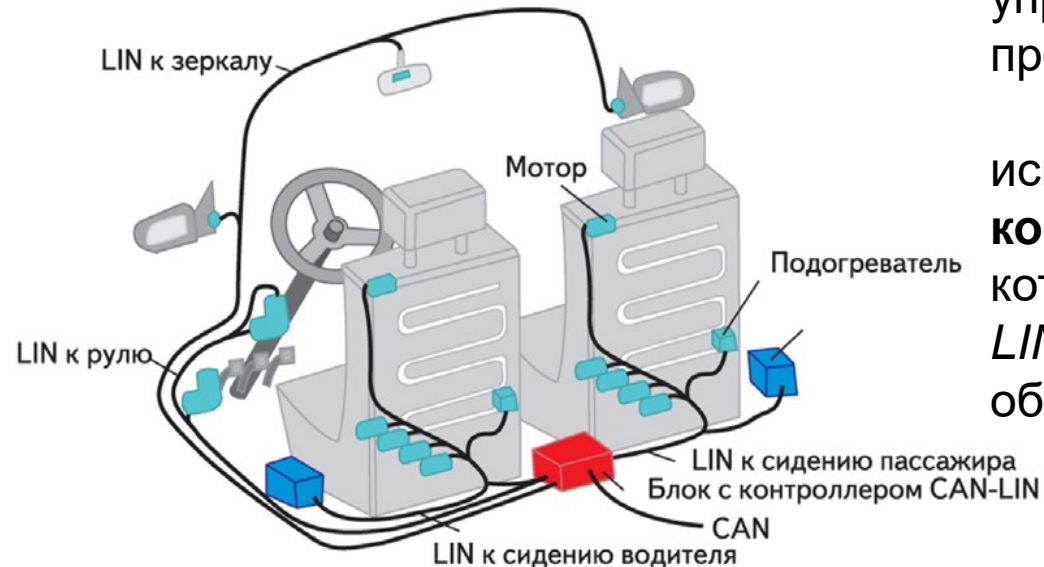
LIN – шина передачи данных

Шина LIN (Local Interconnect Network англ. – локальная коммутируемая сеть) обеспечивает коммуникацию устройств, реализующих управление в рамках какой-либо подсистемы, например, управление стеклоподъёмниками дверей, управления положением сидений, управления светом фар, системы отопления и кондиционирования автомобиля.

Шина соединяет ЭБУ подсистемы (**Master**) и так называемые периферийные устройства – «умные» датчики и исполнительные органы (**Slaves**). Система связи на базе шины LIN состоит из одного LIN-Master (задающего устройства), одного или нескольких LIN-Slave (подчиненных устройств) и кабеля шины. Согласующие сопротивления в шине LIN отсутствуют.

Обмен данными между узлами системы *LIN* и другими блоками управления автомобиля происходит по шине *CAN*.

Для связи сетей *CAN* и *LIN* используется **межсетевой контроллер (шлюз) CAN-LIN**, который позволяет передавать *LIN* – сообщения в *CAN* – сеть и обратно.



LIN – шина передачи данных

Сигнал – рецессивный

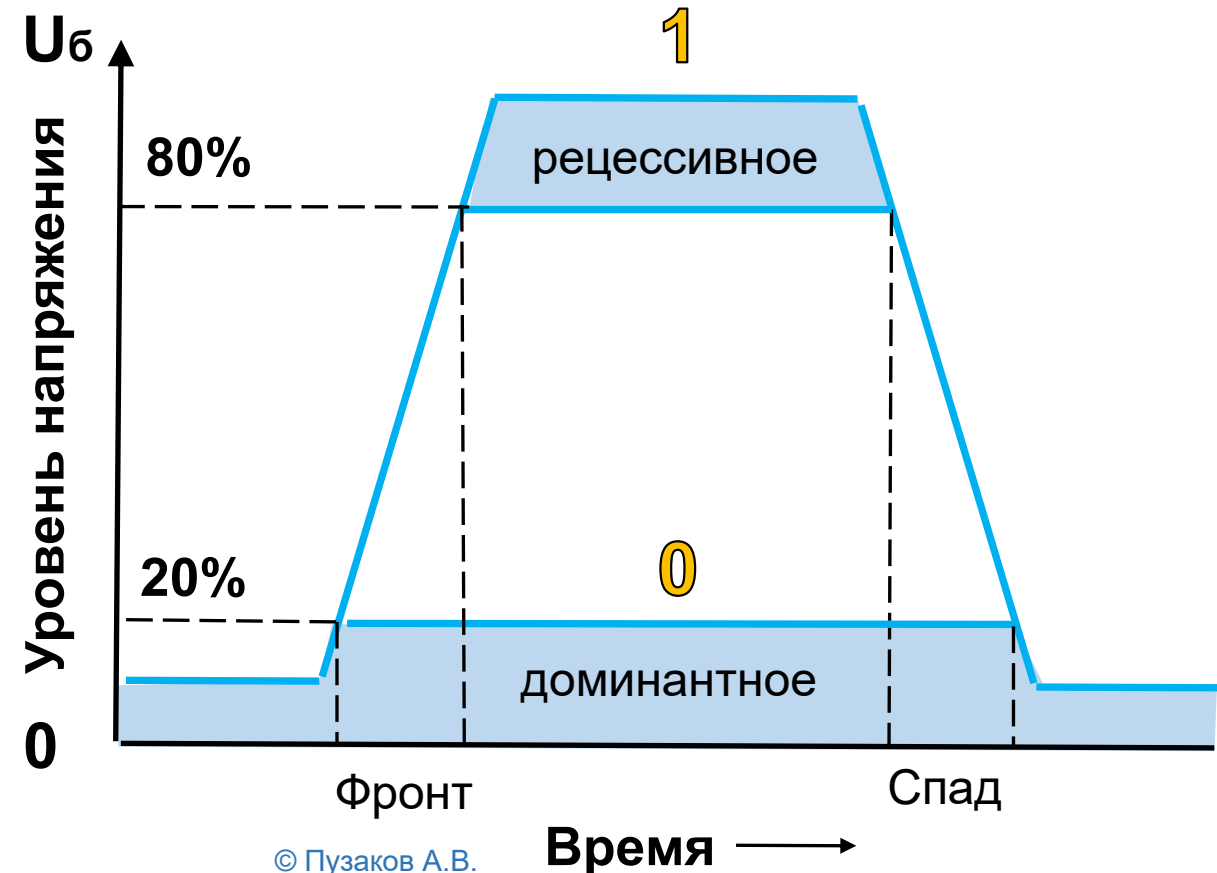
При передаче протокола (сообщения) или рецессивного бита по шине LIN на ее проводе присутствует напряжение, примерно равное напряжению АКБ.

Сигнал – доминантный

Для передачи доминантного бита по шине LIN, электронная схема передающего узла подает через трансивер на провод шины массу.

Во время обмена сообщениями между ведущим и ведомым устройством возможны следующие взаимосвязи:

- сообщение с ответом ведомого: ведущее устройство передает сообщение одному или нескольким ведомым устройствам и запрашивает данные (например, состояния измеренных значений);
- сообщение с инструкцией ведущего: ведущее устройство передает инструкции ведомому устройству (например, включение сервопривода);
- сообщение для использования: ведущее устройство инициирует связь между двумя ведомыми устройствами.



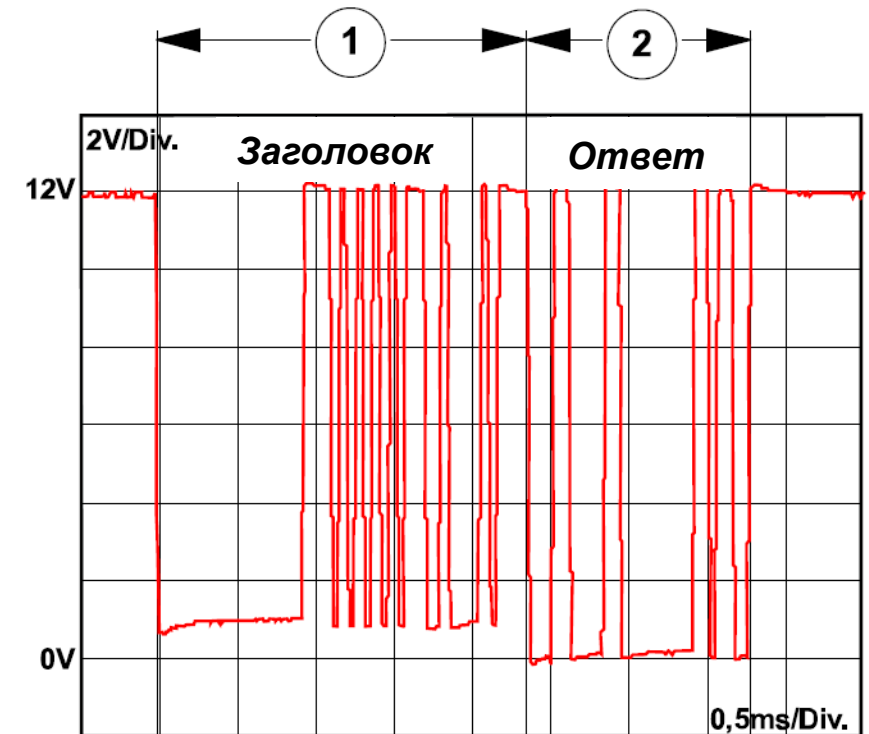
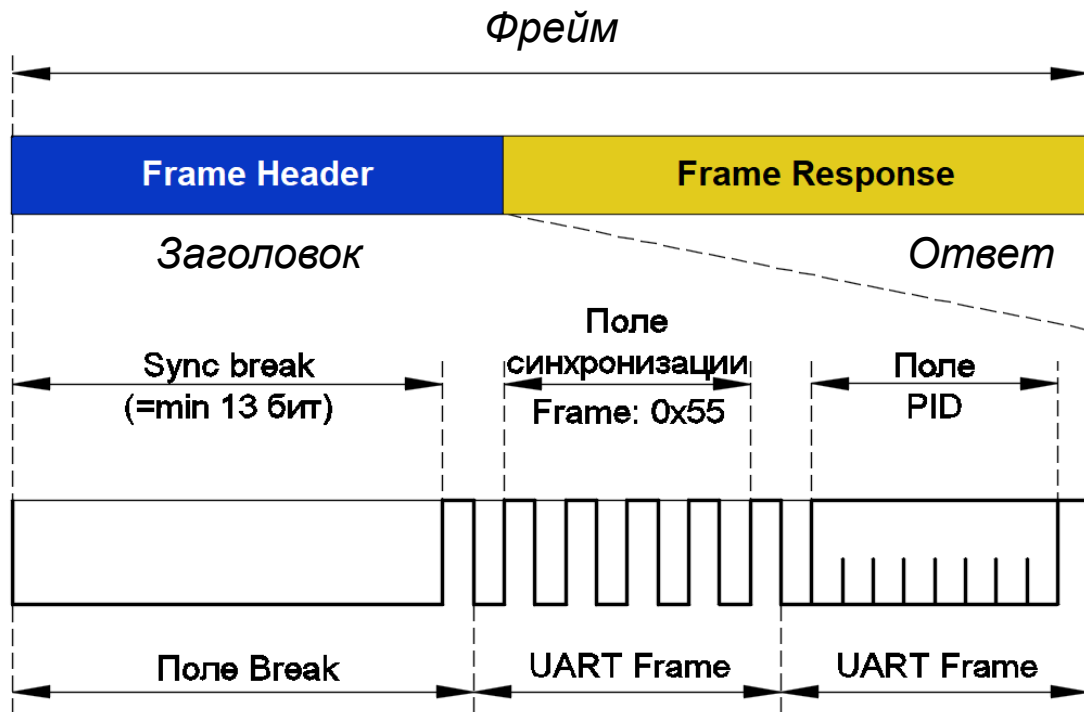
Структура фрейма LIN – шины

Информация на шине LIN встраивается в определенный фрейм данных. Инициированное ведущим устройством сообщение начинается с заголовка.

В поле сообщения (ответ) содержится различная информация, зависящая от типа сообщения.

Если ведущее устройство передает инструкции ведомому устройству, то оно описывает поле сообщения данными, которые должно использовать ведомое устройство.

В случае запроса данных адресуемое ведомое устройство описывает поле сообщения данными, запрошенными ведущим устройством.



Структура фрейма LIN – шины

Заголовок протокола посылается задающим устройством LIN циклически. В заголовке можно выделить четыре поля:

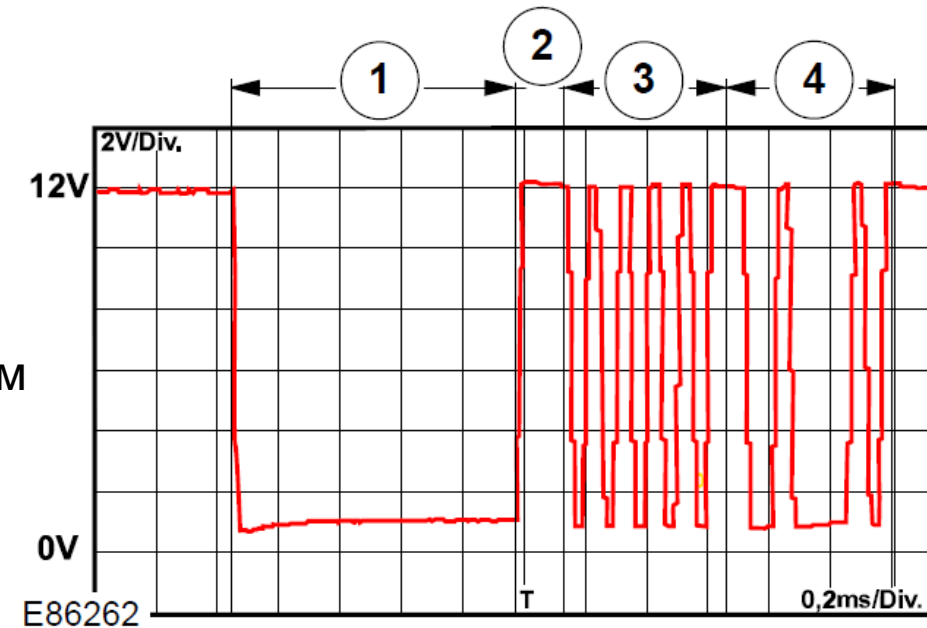
- синхронизационная пауза,
- синхронизационная граница,
- синхронизационное поле,
- поле идентификатора

Синхронизационная пауза имеет длину не менее 13 битов, причем – доминантных. Такая длина (13 битов) необходима для того, чтобы дать всем подсоединенным к LIN подчиненным устройствам однозначный сигнал о начале протокола.

Синхронизационная граница содержит не менее 1 бита (рецессивного).

Синхронизационное поле состоит из последовательности битов 01010101. Эта последовательность призывает все подсоединенные подчиненные устройства LIN настроиться на тактовую частоту задающего устройства LIN (синхронизация).

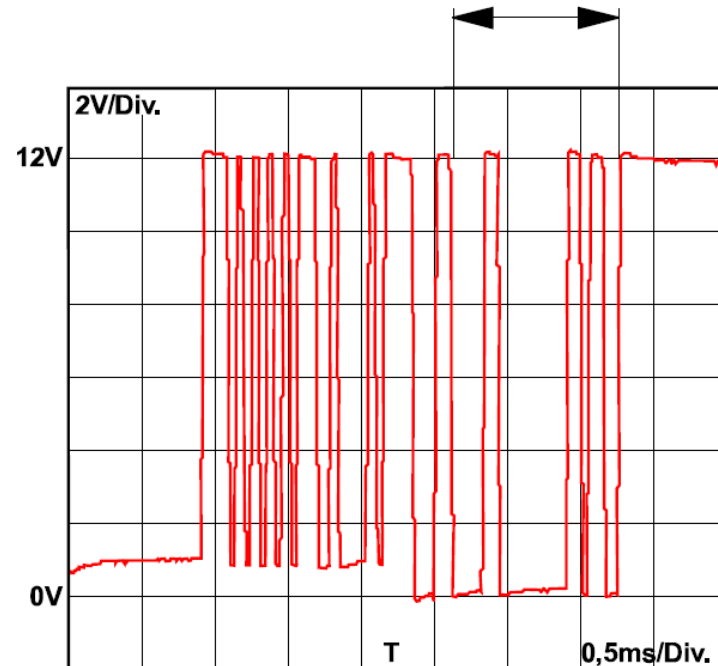
Поле идентификатора состоит из 8 битов. Первые 6 битов сообщения содержат идентификационную метку протокола и информацию о количестве полей данных. Два последних бита содержат контрольную сумму первых шести битов для обнаружения ошибок при передаче.



- 1 Синхронизационная пауза
- 2 Синхронизационная граница
- 3 Синхронизационное поле
- 4 Поле идентификатора

Структура фрейма LIN – шины

Ответ состоит из от 1 до 8 полей данных. Одно поле данных состоит, в свою очередь, из 10 бит. В состав каждого поля данных входит один доминирующий **стартовый бит**, один **информационный байт** и один рецессивный **стоповый бит**. Стартовый и стоповый биты предназначены для последующей синхронизации и для избежания ошибок в передаче данных.



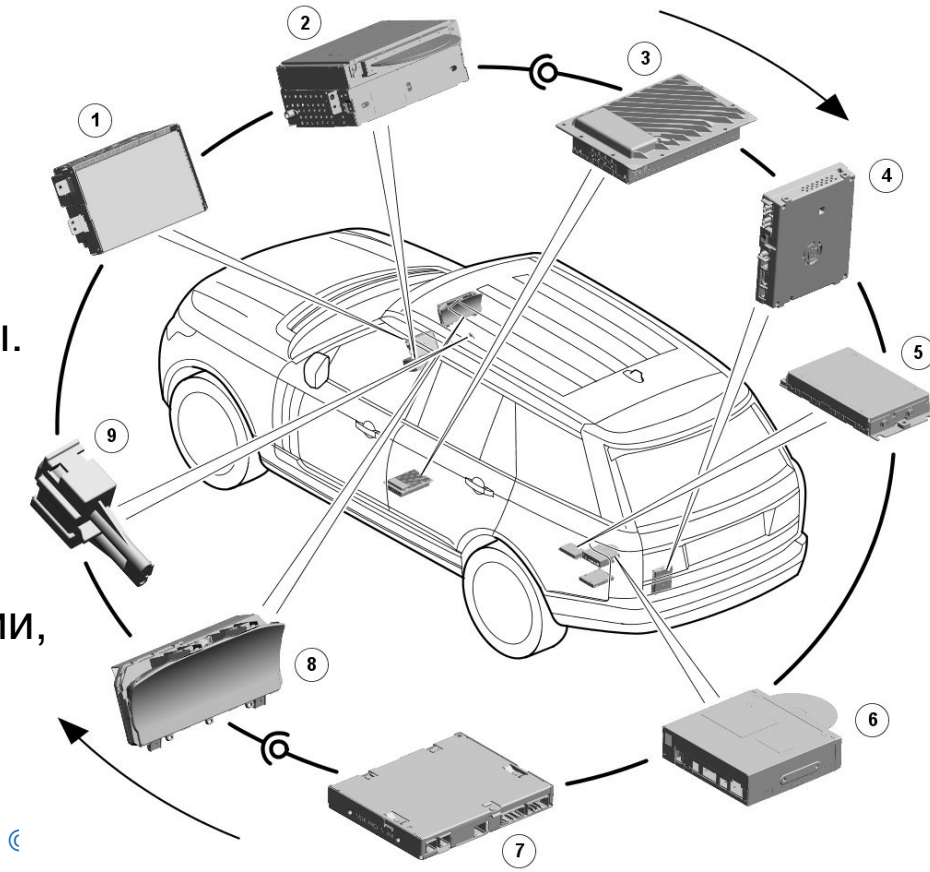
Автомобиль 21го века укомплектован мультимедийными устройствами, требующими высокой пропускной способности коммуникационных каналов связи. Управление работой и обмен данными между такими устройствами выполняет шина **MOST** (Media Oriented Systems Transport).

В шине MOST используется **оптоволоконный кабель**, обеспечивающий не только высокоскоростную передачу данных – 21,2 Мбит/с (существуют шины MOST со скоростью передачи 150 Мбит/с), но и высокую помехозащищенность при использовании в автомобиле, где присутствуют сильные электромагнитные помехи.

Другим достоинством шины является то, что она обеспечивает стандартизованную систему передачи звука, изображения и команд управления в мультимедиа системах. Применение данной технологии позволяет отказаться от множества проводов, необходимых для передачи аналоговых сигналов, и значительно уменьшить вес системы.

Технической особенностью шины MOST является тот факт, что в протоколе передачи данных используется адресная передача конкретному устройству, являющемуся получателем.

Основным признаком шины MOST является ее **кольцевая структура**. Блоки управления посылают данные в одном направлении, по оптоволоконному кабелю от блока управления к следующему блоку управления по кольцу. В случае выхода из строя хотя бы одного блока кольцевой шины, вся шина может выйти из строя.



Оптический штекер. При помощи этого штекерного соединения световые сигналы попадают в блок управления, в том числе выработанные световые сигналы направляются к следующему устройству, включенному в шину MOST.

Электрический разъем. Обеспечивает подачу питания, диагностику цепи на наличие разрыва, а также входные и выходные сигналы.

Приемопередатчик – волоконно-оптический трансмиттер (FOT) состоит из одного светодиода и одного фотодиода. Поступающие световые сигналы преобразовываются фотодиодом в сигнал по напряжению, который далее направляется на трансивер MOST.

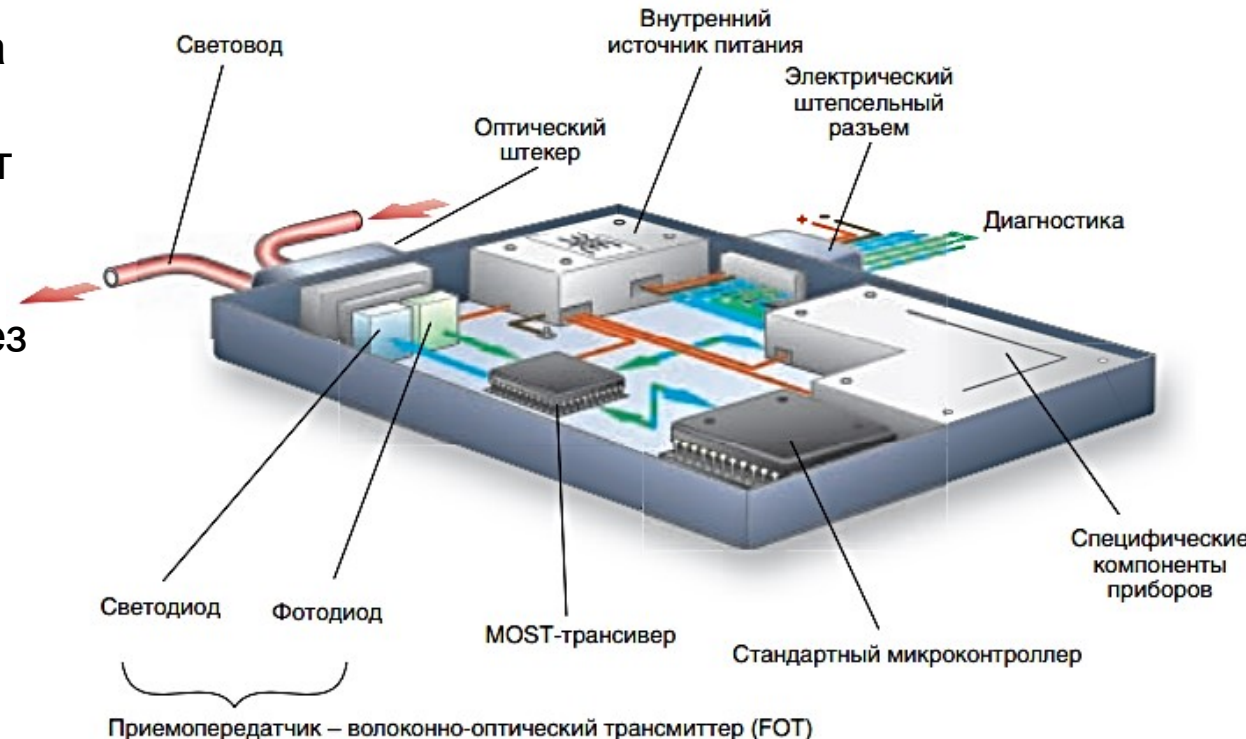
Светодиод предназначен для преобразования сигнала по напряжению от трансивера MOST в световой сигнал.

Длина волны выработанных световых волн составляет от 650 nm и их видно как красный свет.

Данные передаются за счет модуляции световых волн.

В итоге, этот модулированный свет направляется через световод к следующему блоку управления.

MOST-трансивер состоит из двух компонентов – трансмиттера и ресивера.



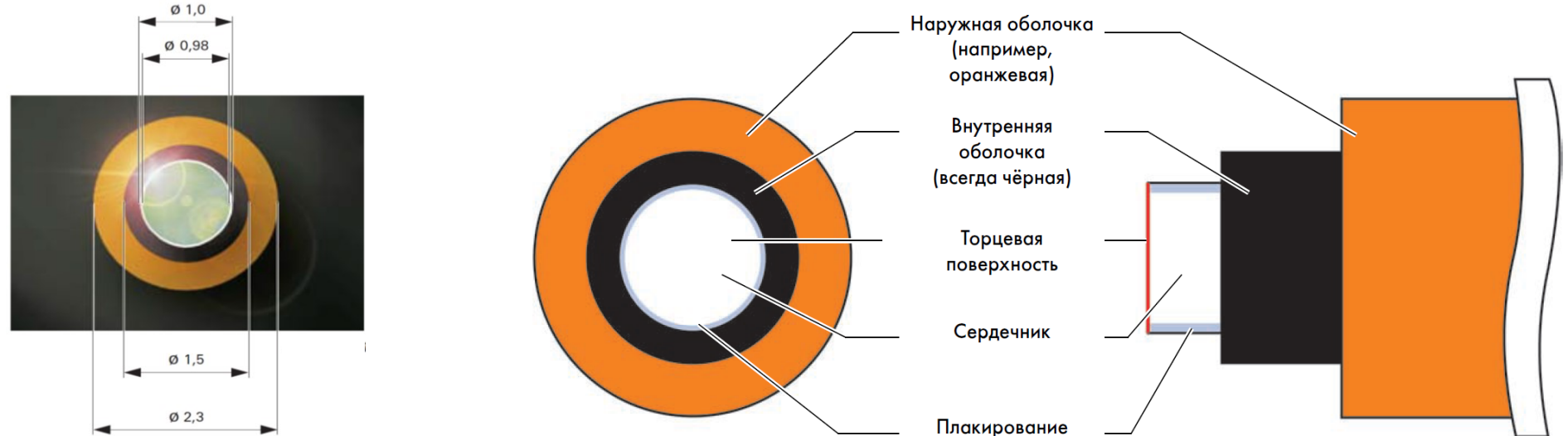
Световод предназначен для отправки световых волн, вырабатываемых в передатчике одного блока управления, на приемник другого блока управления. Оптический кабель (световод) состоит из нескольких слоёв:

Сердечник состоит из *полиметил-метакрилата* и является собственно световодом. По нему свет проходит по принципу полного отражения без потерь.

Плакирование (полимерный фторид) представляет собой слой материала с меньшим коэффициентом преломления вокруг сердечника. Эта оптическая оболочка имеет толщину в несколько микрон и обеспечивает отражение передаваемого по сердечнику светового луча от граничной области к центру сердечника.

Черная оболочка из полиамида, предохраняет сердечник от внешнего света.

Цветная оболочка предназначена для маркировки, защиты от механических повреждений и воздействия температуры.



Прямой световод

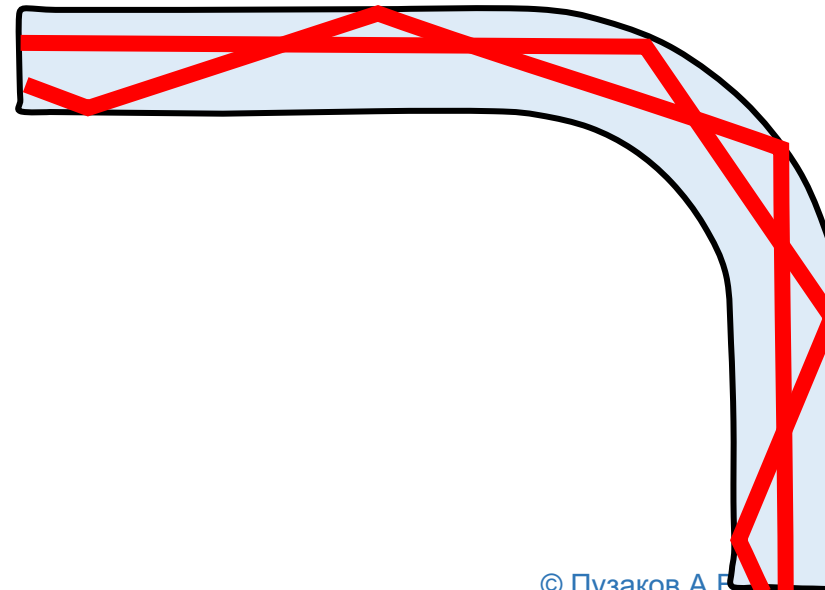
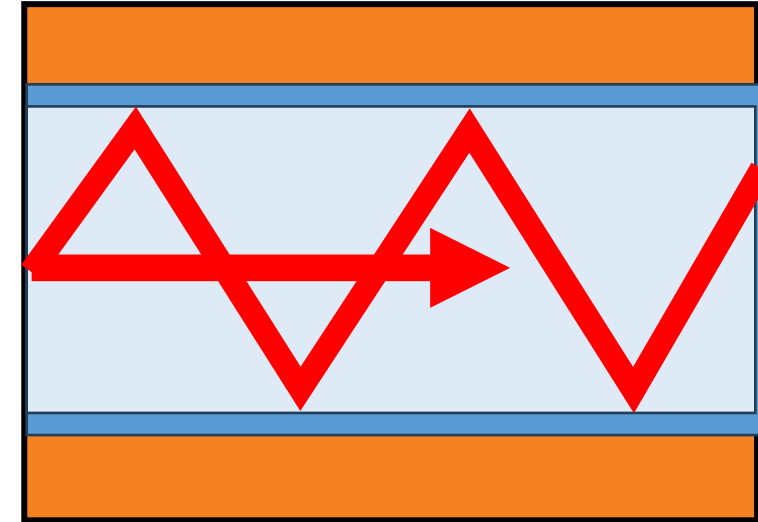
Световод проводит часть световых волн прямо через ядро. Большую часть световых волн световод направляет по принципу полного отражения от поверхности ядра в виде зигзагообразной линии.

Согнутый световод

Световые волны отражаются по принципу полного отражения от граничащей поверхности покрытия ядра и таким образом проходят через изгиб.

Если угол слишком острый, то световые волны проходят сквозь ядро, что приводит к большим потерям.

Это происходит в том случае, если световод слишком сильно согнут или перегнут.

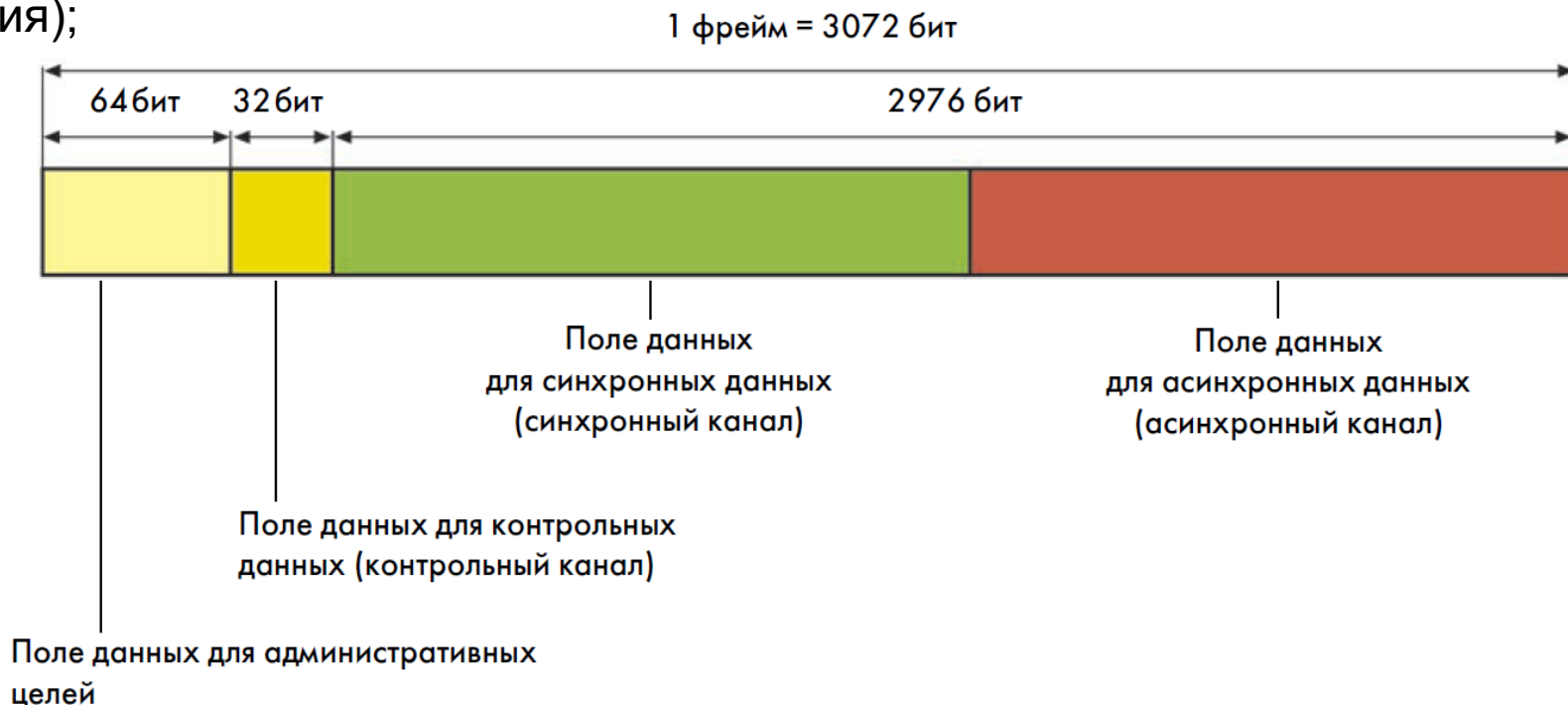


Передаваемые данные разбиваются на пакеты данных (фреймы). Каждый фрейм в шине данных MOST150 имеет длину 3072 бит (MOST25 = 512 бит). Длина полезных данных составляет 3040 бит (MOST25 = 480 бит). Это означает, что по шине MOST150 в каждом пакете данных передаётся значительно больше информации.

Общая длина фрейма складывается из следующих элементов: **поля данных для административных целей; поля данных для контрольных данных; двух полей информационных данных.**

Данные передаются по трём каналам (контрольный, синхронный и асинхронный):

- по контрольному каналу для данных управления;
- по синхронному каналу для передачи аудио и видеоданных (синхронная передача в режиме реального времени без промежуточного сохранения);
- по асинхронному каналу для данных большего объёма (асинхронная, управляемая событиями передача данных, возможно промежуточное сохранение).



Структура фрейма MOST – шины

Начальное поле (преамбула) обозначает начало фрейма. У каждого фрейма блока есть свое собственное начальное поле.

Поле ограничения предназначено для четкого разграничения начального поля и следующих за ним полей данных.

Оба **контрольных байта** передают информацию, такую как адрес приемопередатчика (идентификатора), команды управления на приемник (напр., громче/тише для усилителя).

Поле состояния фрейма содержит информацию для получателя об отправке фрейма.

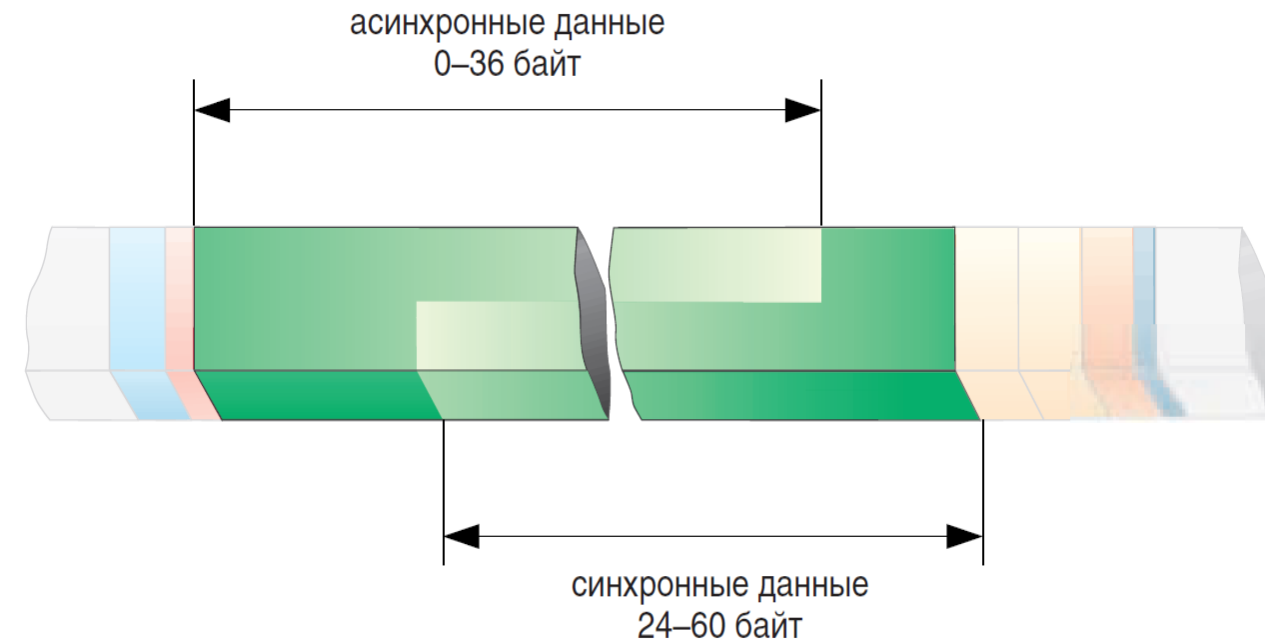
При помощи **поля четности** фрейм в последний раз проверяется на полноту данных. В содержании этого поля указывается, будут ли данные отправлены повторно.

В **поле данных** шина MOST передает до 60 байт используемых данных на блоки управления.

Различаются два типа данных:

- Звук и видео в качестве синхронных данных
- Изображения, информация для расчетов, а также тексты в качестве асинхронных данных.

Сектор для синхронных данных в поле данных составляет от 24 до 60 байт. Передача синхронных данных имеет **преимущество**.



FlexRay (ФлексРэй) – высокоскоростной сетевой протокол для автомобилей. Пропускная способность протокола достигает 10 Мбит/с. Первые спецификации были опубликованы в 2004 году.

Поддерживаются топологии звезда (активная звезда, двойная звезда) и шина, возможно использование двух независимых физических каналов передачи данных для повышения надежности.

Шина FlexRay работает во временном цикле из двух сегментов: статического и динамического.

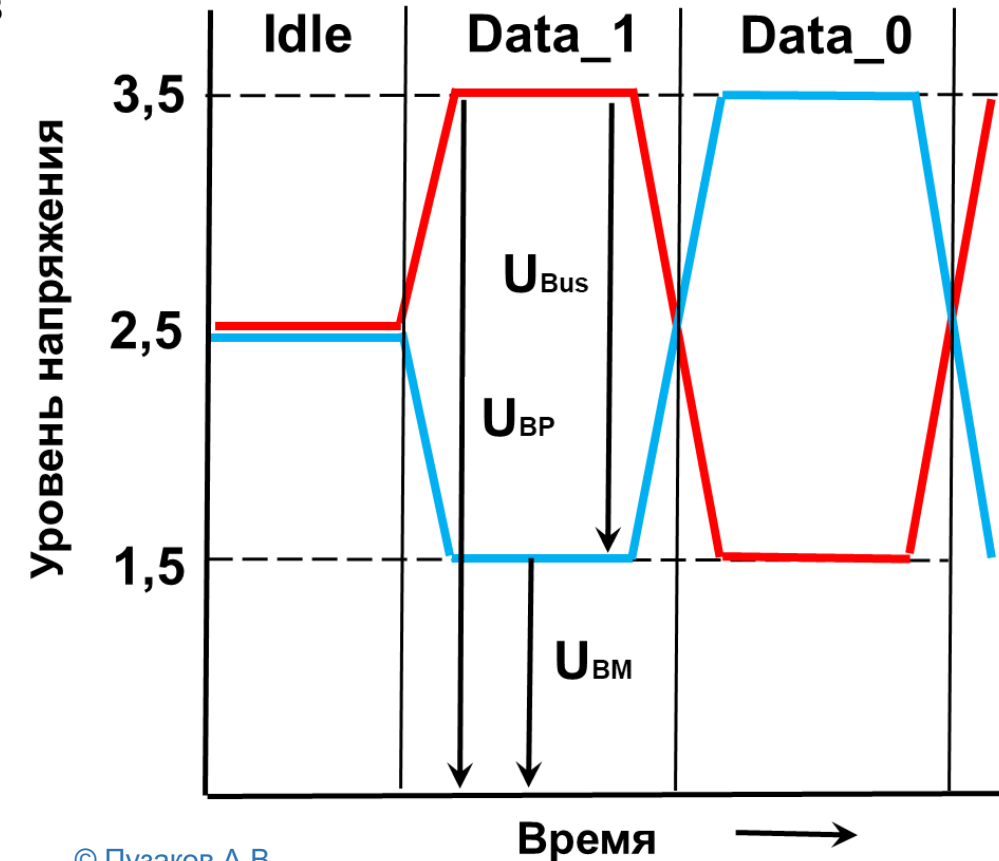
Статический сегмент разделен на участки для отдельных типов обменов, предоставляя гарантии реального времени.

Динамический сегмент работает по аналогии с шиной CAN, где участники обмена могут захватывать контроль над шиной при её доступности.

Среда передачи, используемая в системе FlexRay – двухпроводной кабель с витой парой.

Каждый канал FlexRay состоит из двух ветвей, **шина-плюс** (BP) и **шина-минус** (BM).

Состояние шины определяется путем измерения разности напряжения между BP и BM.



Протокол FlexRay

В шине FlexRay сообщения передаются с помощью **коммуникационных циклов** (англ. *communication cycles*). Коммуникационный цикл бесконечно повторяется, т. е. как только завершается один цикл, вслед за ним сразу же начинается следующий. Один коммуникационный цикл длится 5 миллисекунд.

Цикл состоит из:

- статического сегмента,
- динамического сегмента,
- времени ожидания (*network idle time*).

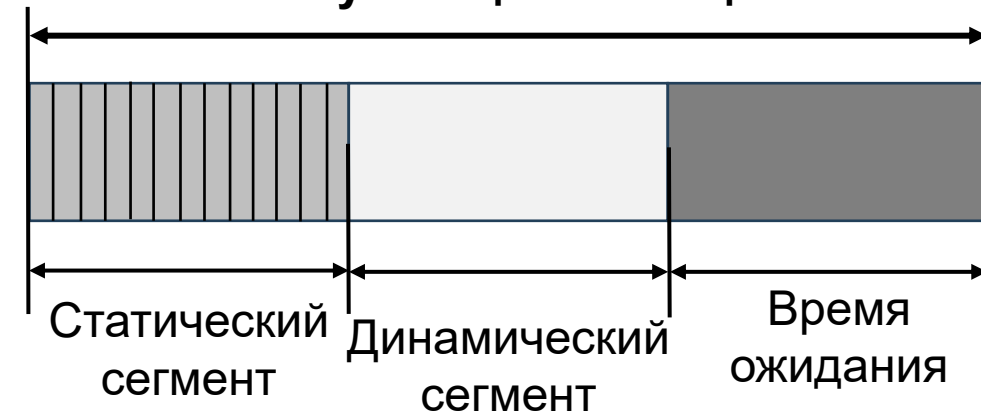
Статический сегмент

Статический сегмент служит для передачи данных между устройствами – компонентами шины. Он разделён на 62 постоянных временных интервала для передачи данных, так называемых «слота». Во время слота передавать данные может только одно, определённое устройство шины.

Однако все участники могут принимать все данные, передаваемые в статических слотах, т. е. также и не предназначенные им данные. Все статические слоты имеют в точности одинаковую длину 42 байта.

Последовательность слотов жёстко задана. Последовательно используя свой статический временной интервал в каждом из следующих друг за другом коммуникационных циклов, устройство шины может передавать другим устройствам различные данные. Принципиальной чертой протокола является то, что вся структура слотов в каждом цикле всегда воспроизводится полностью, независимо от того, «вставлены» в отдельные слоты пользовательские данные или нет.

Коммуникационный цикл



Протокол FlexRay

Динамический сегмент

Динамический сегмент цикла также подразделяется на **МИНИСЛОТЫ** и может приниматься всеми устройствами шины. Динамический сегмент представляет собой часть коммуникационного цикла, зарезервированную для того, чтобы иметь возможность при необходимости передавать событийные данные.

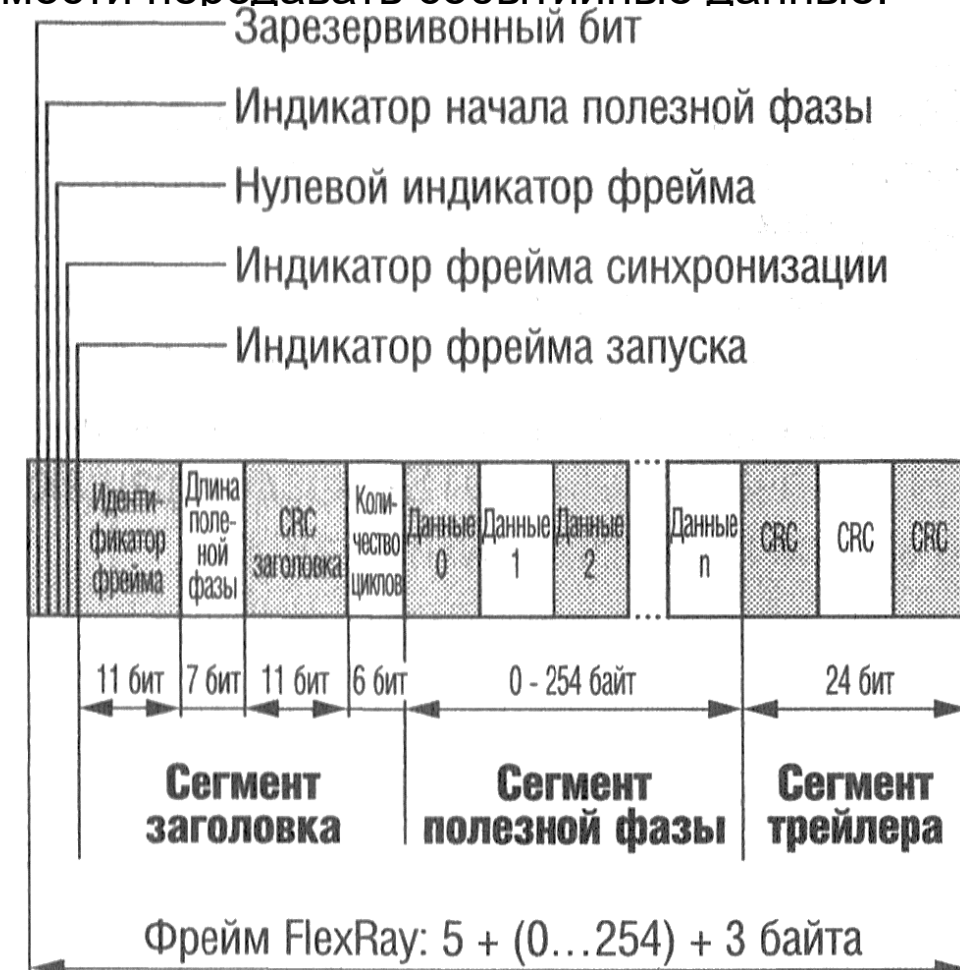
Время ожидания (network idle time)

Время ожидания – это период, в течение которого по шине FlexRay не передаются никакие сообщения.

FlexRay и в динамическом, и в статическом сегментах использует одинаковый формат, который может быть поделен на три раздела: **заголовок**, **полезная фаза** и **трейлер**.

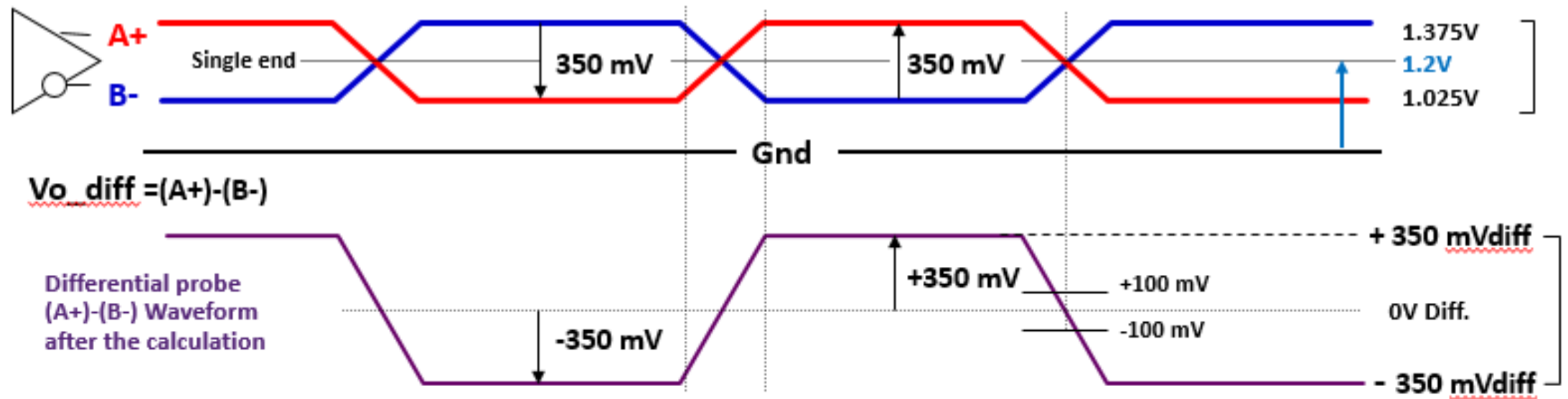
Идентификатор кадра определяет слот, в который должен быть передан кадр в соответствии с приоритетом данных в динамическом сегменте. **Длина полезной нагрузки** содержит количество слов, которые передаются в кадре. **CRC заголовка** используется для обнаружения ошибок во время передачи. **Счетчик циклов** содержит значение счетчика, которое постепенно увеличивается при каждом запуске цикла связи.

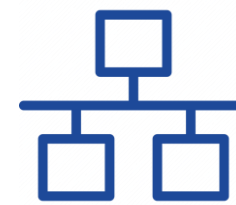
Полезная нагрузка содержит фактические данные, передаваемые кадром. Длина полезной нагрузки FlexRay составляет 254 байта, что более чем в 30 раз больше по сравнению с CAN.



Обмен видео-, аудио- и текстовыми/числовыми данными между соответствующими блоками управления осуществляется по кабелю LVDS. Термином LVDS (от англ. Low Voltage Differential Signaling – низковольтная дифференциальная передача сигналов) называют стандарт интерфейса для высокоскоростной передачи данных. Аналогично передаче данных по высокоскоростным шинам CAN у сигнала оценивается разброс напряжений. При LVDS он составляет около 0,3 В.

Характерным примером применения LVDS является активация жидкокристаллических дисплеев. Аналогично проводам FlexRay провода LVDS снабжены оплёткой. Но в отличие от FlexRay оплётка проводов LVDS служит не только для защиты от механических нагрузок и влаги, но и в качестве экрана, защищающего от электромагнитных помех.



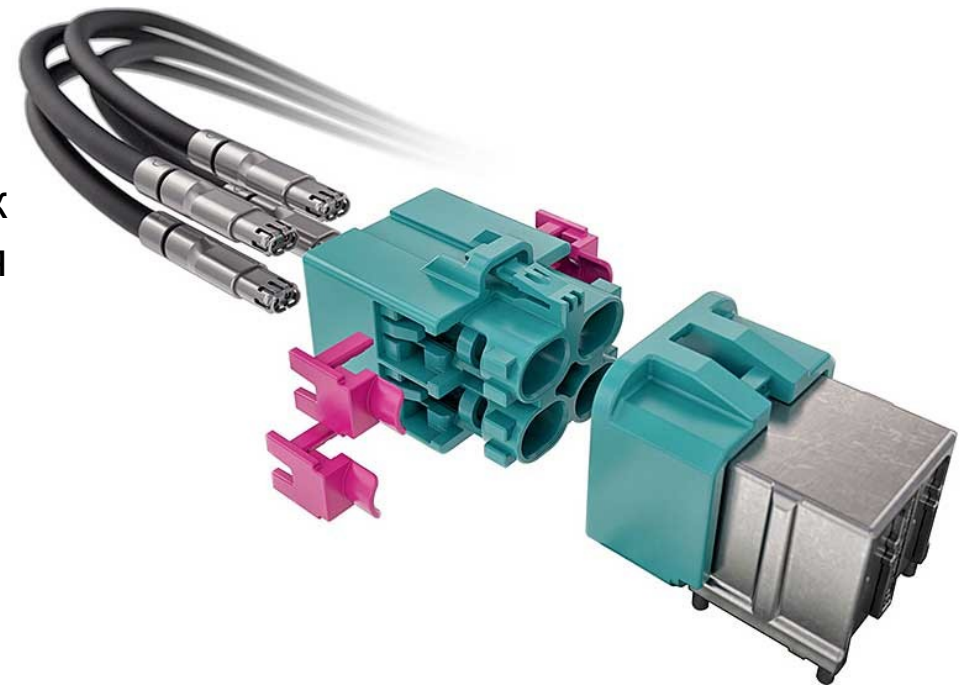


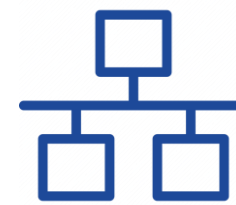
Автомобильный Ethernet – специализированная форма сети Ethernet, адаптированная для транспортных средств, обеспечивающая высокоскоростную передачу данных между различными компонентами автомобиля. Он разработан с учетом специфических автомобильных требований, таких как электромагнитная совместимость, и использует современные приемопередатчики PHY для снижения затрат на кабель.

Эта система обеспечивает более высокую скорость передачи данных по сравнению с традиционными автомобильными сетями и облегчает интеграцию технологий Интернет-протокола (IP), повышая функциональную безопасность и кибербезопасность.

В автомобильной промышленности автомобильный Ethernet соответствует важнейшим стандартам электрического излучения, чувствительности и управления сетью, включая пропускную способность и задержку. Поскольку подключенные автомобили требуют все более быстрой передачи данных, автомобильный Ethernet быстро развивается, чтобы удовлетворить эти потребности.

Он работает в сочетании с традиционными шинами, такими как CAN, CAN-FD, LIN и другими, объединяя их сильные стороны для удовлетворения меняющихся требований к производительности.



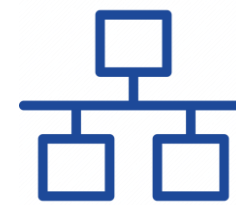


Протокол автомобильного Ethernet произвел революцию в возможностях автомобильной сети благодаря разнообразным вариантам полосы пропускания, удовлетворяющим различные потребности в передаче данных в современных транспортных средствах.

Первоначально BroadR-Reach от Broadcom, который позже превратился в **100Base-T1**, ознаменовал появление протокола со скоростью передачи данных 100 Мбит/с. Эта скорость значительно повысила эффективность автомобильной сети, обеспечивая более быструю передачу данных, необходимую для современных автомобильных систем.

Возможности пропускной способности протокола еще больше расширились с появлением **1000Base-T1**, что позволило существенно увеличить скорость до 1 Гбит/с. Это обновление автомобильного протокола Ethernet позволило беспрепятственно интегрировать в транспортные средства более ресурсоемкие приложения, такие как потоковое видео высокой четкости и сложные технологии помощи водителю.

В дополнение к этим высокоскоростным опциям протокол также включает **10Base-T1S**, разработанный как экономичная альтернатива со скоростью 10 Мбит/с. Этот вариант автомобильного протокола Ethernet необходим для систем, которые не требуют высокоскоростной передачи данных, но при этом извлекают выгоду из надежности и простоты интеграции технологии Ethernet, что делает его отличной альтернативой FlexRay и высокоскоростной шине CAN.



Стандартные системы Ethernet характеризуются использованием восходящих и нисходящих линий, передаваемых по разным парам проводов для формирования полного канала. Автомобильные системы Ethernet обычно работают в полнодуплексном режиме по одному кабелю T1, что позволяет уменьшить количество требуемого кабеля, а вместе с ним и вес и стоимость, одновременно увеличивая скорость за счет устранения задержек.

Топологии сети «точка-точка»

Стандартные системы Ethernet адресуют пакеты различным узлам сети. Автомобильные системы Ethernet чаще всего используют топологию «точка-точка», при которой два узла напрямую соединяются одним кабелем T1. Один узел назначается «Главным», который будет отправлять команды и запросы «Подчиненному», единственная задача которого – отвечать Мастеру по тому же кабелю и выполнять приказы.

Системы 10Base-T1S могут дополнительно использовать многоточечную топологию, похожую на шину CAN, где несколько узлов по очереди обмениваются данными, хотя они все равно должны поддерживать топологию «точка-точка». Многоточечная связь по своей природе является полудуплексной (и более медленной), поскольку одновременно может передавать данные только одно устройство.

100Base-TX (Standard Ethernet)

Upstream and downstream use two different pairs to form a full-duplex link



100Base-T1 (Automotive Ethernet)

Full-duplex operation over a single twisted pair



1000Base-T (Standard Ethernet)

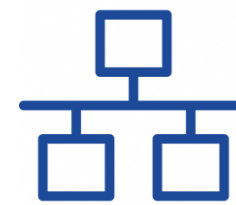
Full-duplex operation over 4 twisted pair of wires



1000Base-T1 (Automotive Ethernet)

Full-duplex operation over a single twisted pair





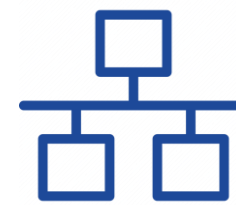
Все более высокоскоростные варианты автомобильного Ethernet используют тип многоуровневой импульсно-амплитудной модуляции (PAM) для кодирования данных.

100Base-T1 и 1000Base-T1 используют многоуровневую сигнализацию **PAM3**. В любой момент времени сигнал PAM3 находится в одном из трех состояний, обозначенных как -1, 0 или +1. Уровни обнаруживаются, когда сигнал пересекает пороговые значения напряжения. Значимые комбинации -1, 0 и +1 известны как троичные символы.

PAM3 передает 1,5 бита за такт и увеличивает пропускную способность при той же скорости передачи данных, что и двухуровневые сигналы. Это сокращает время перехода сигнала, что снижает электромагнитные помехи, что является еще одним плюсом для автомобильных приложений.

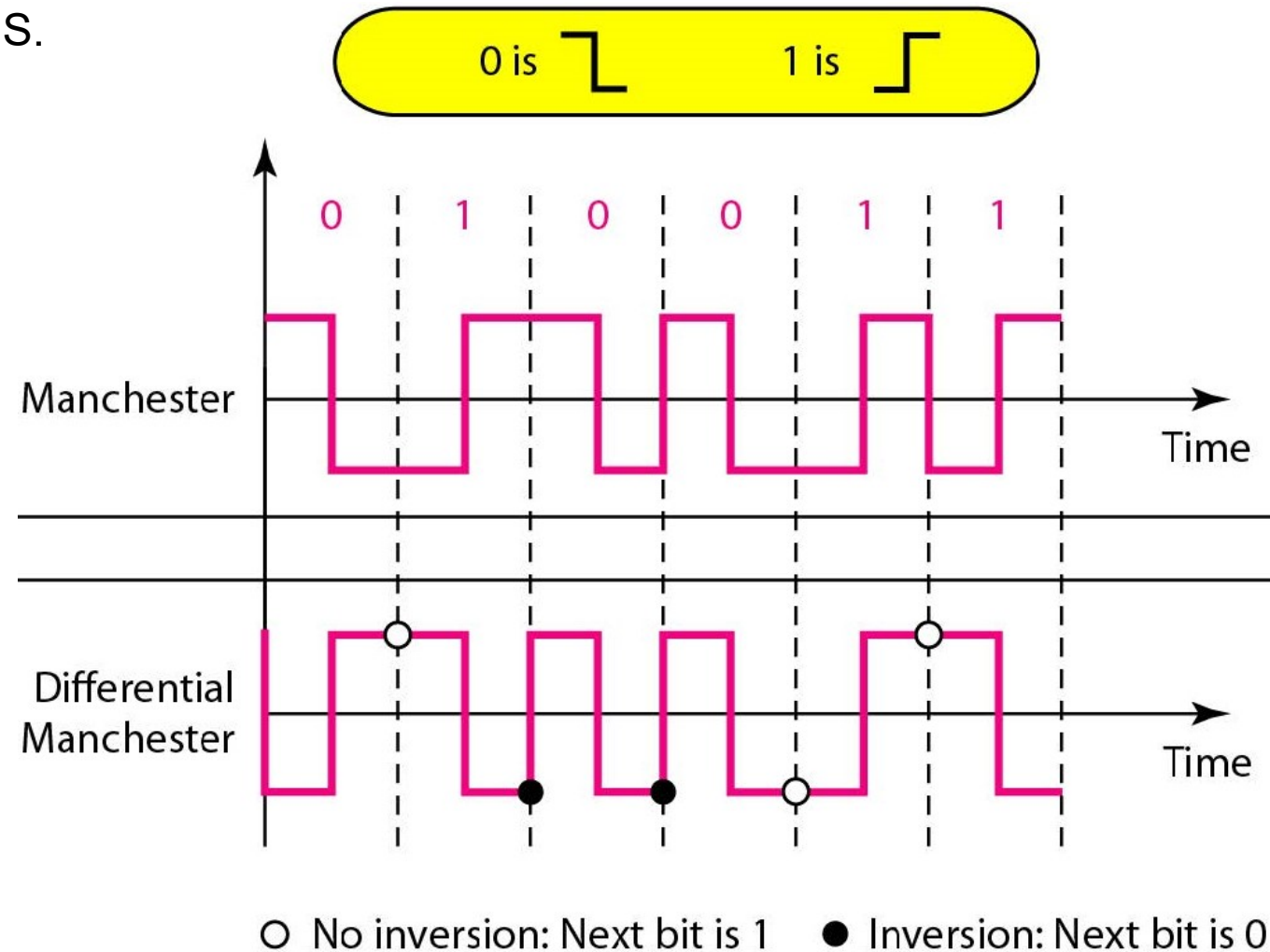
MultiGBase-T1 использует сигнализацию **PAM4** с четырьмя логическими уровнями, что еще больше увеличивает пропускную способность, но снижает помехоустойчивость.

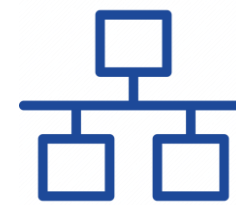




Дифференциальное манчестерское кодирование используется для более низкой скорости 10Base-T1S.

Переход от низкого к высокому соответствует **логическому 0**, а переход от высокого к низкому соответствует **логической 1**.



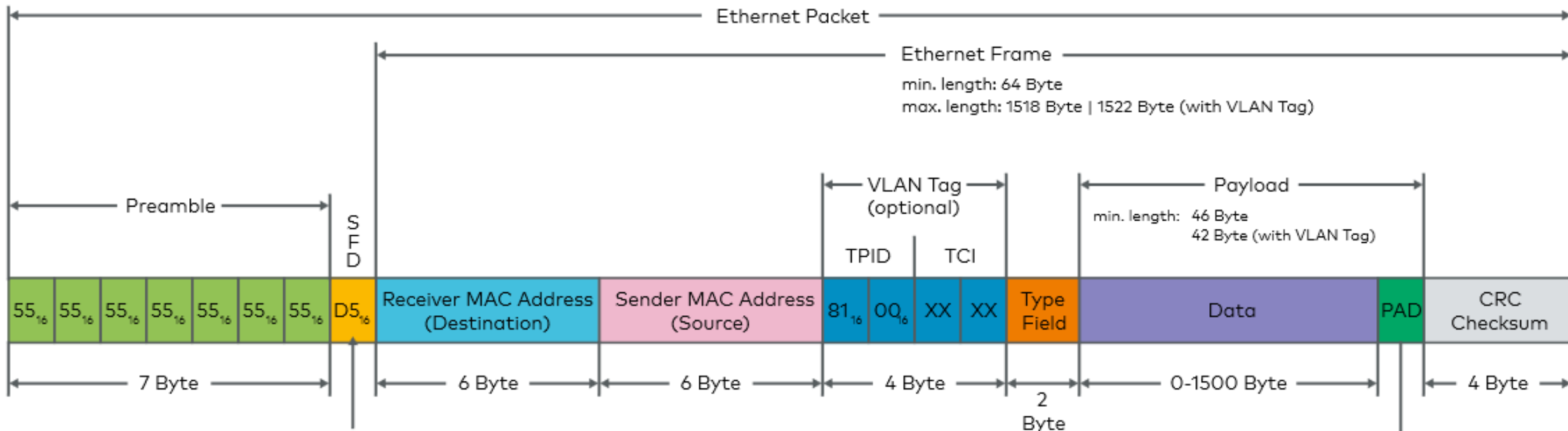


Автомобильный Ethernet

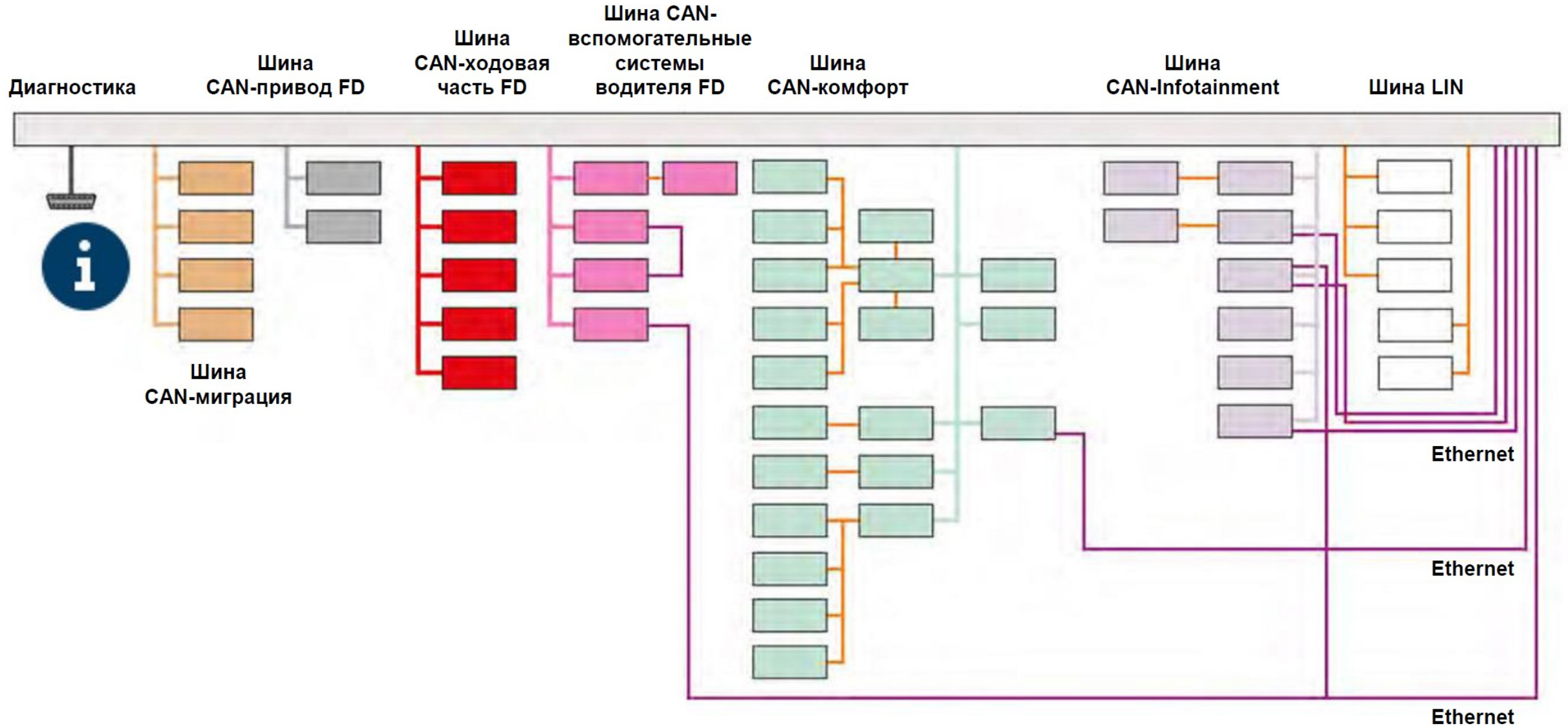
В протоколе Ethernet фрейм состоит из трех составных частей: **преамбула** (7+1 = 8 байт = 64 бита); **пакет кадра** (адрес, длина, переменные размеры данных); **трейлер** – завершающий контрольный элемент (4 байт = 32 бита). Пакет кадра состоит из заголовка и данных. Заголовок включает три поля: адрес получателя, адрес отправителя, длина/тип сообщения.

Адрес получателя указывает узел, которому предназначены данные. Обычно все остальные узлы отбрасывают пакеты, адрес получателя которых не совпадает с их собственным.

Исключения: если все биты адреса равны 1 – **стандартный широковещательный адрес**, **многоадресная рассылка**.



Пример организации передачи данных современного автомобиля



Шины передачи данных появились в результате роста количества датчиков и блоков управления в современных автомобилях, связь между которыми по проводам существенно увеличила их общую длину.

Шины данных могут образовывать магистральные, звездные, кольцевые, решетчатые и комбинированные топологии. Шины данных различаются по каналу связи, скорости передачи и областью применения.

CAN – шина передачи данных имеет наиболее широкое применение на автомобилях. Блок управления шины состоит из микропроцессора, контроллера и трансивера. При передаче данных по шине используется арбитраж. Фрейм передачи данных состоит из восьми полей.

LIN – шина является экономичным расширением шины CAN для нетребовательных к скорости и помехозащищенности устройств. Управление работой устройств осуществляется по схеме «ведущий-ведомый».

Шина MOST служит для высокоскоростной передачи данных медиа-ориентированных устройств. Данные передаются по кольцевой топологии по стекловолокну.

Шина FlexRay является наиболее современной, в работе которой используется статический и динамический сегменты.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите причины применения шин передачи данных на автомобилях.
2. Что называют топологией сети?
3. Охарактеризуйте магистральную топологию.
4. Охарактеризуйте звёздную топологию.
5. Охарактеризуйте кольцевую топологию.
6. Охарактеризуйте решетчатую топологию.
7. Для чего необходима точная адресация сообщений?
8. Опишите работу адресации, ориентированной на пользователя.
9. Опишите работу адресации, ориентированной на сообщение.
10. Какие методы доступа Вы знаете?
11. Опишите метод доступа с управлением временем.
12. Опишите метод доступа «ведущий – ведомый».
13. Опишите метод доступа в многоабонентской шине.
14. Из какие слои состоит передача данных?
15. Охарактеризуйте физический слой передачи данных.
16. Какие каналы связи используются в автомобильных шинах передачи данных?
17. Назовите функции транспортного слоя передачи данных.
18. Для чего служит сетевой слой передачи данных.
19. Приведите классификацию шин передачи данных по скорости, каналу связи и области применения.
20. Охарактеризуйте беспроводную шину Bluetooth с точки зрения использования в автомобилях.
21. Назовите преимущества использования шин передачи данных.
22. Что входит в состав шины CAN?

Вопросы для самоконтроля

23. Для чего необходим терминал?
24. Опишите устройство блока управления CAN - шины.
25. Что такое трансивер? Для чего он предназначен?
26. Что такое протокол передачи данных?
27. В чем разница в уровне состояний низкоскоростной и высокоскоростной шины CAN?
28. Опишите работу арбитража при разрешении конфликтов доступа.
29. Какие поля входят во фрейм шины CAN?
30. Для чего используется поле статуса? Поле контроля? Поле подтверждения?
31. Каково назначение защитного поля?
32. Опишите процесс отправления послания по шине CAN.
33. Что вызвало разработку и применение шины LIN?
34. Опишите уровни состояния шины LIN.
35. Как происходит обмен сообщениями в шине LIN?
36. Какие поля входят во фрейм шины LIN?
37. Каково основное назначение шины MOST?
38. Перечислите компоненты шины MOST. Устройство и принцип работы световода.
39. Какие поля входят во фрейм шины MOST?
40. Области применения шины FlexRay.
41. Опишите уровни состояния шины MOST.
42. Какие поля входят во фрейм шины MOST?

1. **Автомобильная техника: введение в специальность:** учебник / Пер. с немецкого. – Астана: Фолиант, 2017. – 720 с.
2. **Автомобильный справочник.** Пер. с англ. ООО «СтарСПб» - 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ООО «Книжное издательство «За рулем», 2012. – 1280 с.
3. **Палагута, К.А.** Сетевые и диагностические протоколы современного автомобиля [Электронный ресурс]: — Электрон. дан.— М.: МГИУ (Московский государственный индустриальный университет), 2009. — 170 с.
4. **Смирнов Ю.А., Муханов В.В.** Электронные и микропроцессорные системы управления автомобилей: учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2012. – 624 с.
5. **Соснин Д.А.** Электрическое, электронное и автотронное оборудование легковых автомобилей (Автотроника-4): учебник для вузов /Д.А. Соснин. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2015. – 416 с.
6. **Техническая эксплуатация, диагностирование и ремонт двигателей внутреннего сгорания:** учебник (с электронными приложениями / А.В Александров, С.В. Алексахин, И.А. Долгов, В.А. Тармин, М.Г. Шатров . – М.: РИОР, 2020. – 448 с.
7. **Рыбаков В.К.,** Исмоилов М.И. Шины передачи данных в электронных системах современных автомобилей. Под ред. проф. А. Б. Николаева: учебное пособие. М.: МАДИ(ГТУ), 2008. – 50 с.