

## AN228 – рассмотрение физического уровня CAN

<b>Введение .....</b>	<b>1</b>
<b>Краткий обзор ISO11898-2 .....</b>	<b>2</b>
Уровни шины .....	2
Разъёмы и провода .....	3
Помехоустойчивость .....	4
Длина шины .....	4
<i>Задержка распространения.....</i>	<i>4</i>
<b>MCP2551 - приёмопередатчик CAN.....</b>	<b>5</b>
Основная работа MCP2551 .....	6
<i>Передача.....</i>	<i>6</i>
<i>Приём.....</i>	<i>6</i>
<i>Рецессивное состояние.....</i>	<i>6</i>
<i>Доминантное состояние .....</i>	<i>6</i>
Режимы работы.....	6
<i>Высокоскоростной режим.....</i>	<i>6</i>
<i>Режим наклонной регулировки усиления.....</i>	<i>6</i>
<i>Режим ожидания.....</i>	<i>7</i>
Обнаружение постоянного доминанта на передатчике .....	7
Сброс при включении питания и защита от кратковременного снижения питания .....	7
<i>Сброс при включении питания (POR).....</i>	<i>7</i>
<i>Обнаружение кратковременного снижения напряжения питания (BOD).....</i>	<i>7</i>
Смещения земли .....	8
<b>Оконечная нагрузка шины .....</b>	<b>10</b>
Стандартная оконечная нагрузка .....	10
Разделённая оконечная нагрузка.....	10
Смещённая разделённая оконечная нагрузка .....	10

### Введение

Многие сетевые протоколы описываются с помощью семиуровневой модели взаимодействия открытых систем OSI (*Open System Interconnection*), как показано на **Рис. 1**. Протокол CAN (*Controller Area Network – контроллерная локальная сеть*) определяет канальный уровень (*Data Link Layer*) и часть физического уровня (*Physical Layer*). Оставшаяся часть физического уровня и все остальные вышележащие уровни не входят в спецификацию CAN и могут либо определяться разработчиком системы, либо реализовываться с помощью существующих высокоуровневых протоколов (*Higher Layer Protocols - HLPs*) и физических уровней.

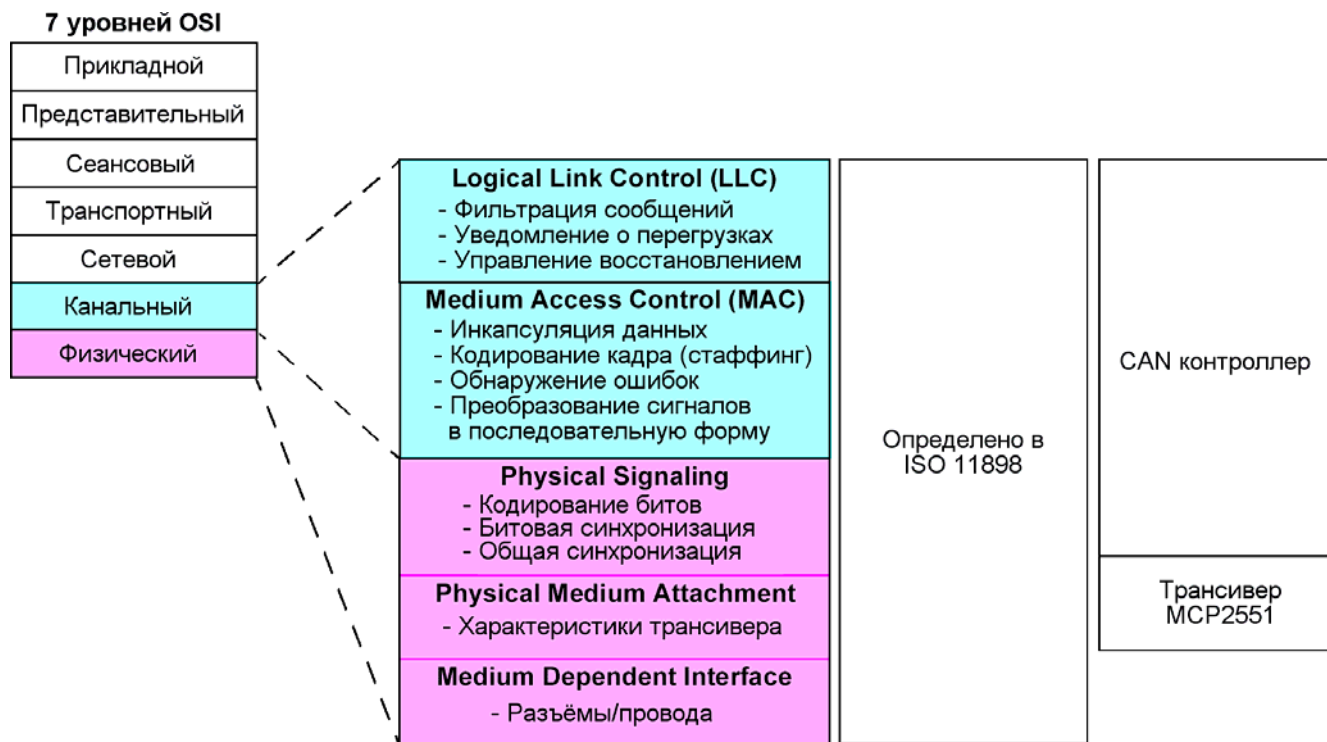
Как сказано выше, канальный уровень определяется спецификацией CAN. Подуровень управления логической связью (*Logical Link Control - LLC*) обеспечивает управление перегрузкой и уведомление о ней, фильтрацию сообщений и функции управления восстановлением. Подуровень управления доступом к среде (*Medium Access Control - MAC*) выполняет инкапсуляцию/декапсуляцию (расформирование) данных, обнаружение ошибок и защиту от них, битстаффинг/дестаффинг (битовое наполнение/удаление наполняющего бита), функции преобразования в последовательную форму и обратно.

Подуровни соединения с физической средой (*Physical Medium Attachment - PMA*) и среда-зависимого интерфейса (*Medium Dependent Interface - MDI*) – две части физического уровня, не определённые в CAN. Подуровень физической сигнализации (*Physical Signaling - PS*), наоборот, определён в спецификации CAN. Разработчик может выбрать любой драйвер/приёмник и среду передачи, если они соответствуют требованиям PS-подуровня.

Международная организация по стандартизации (*International Standards Organization - ISO*) определила стандарт, который включает спецификацию CAN в качестве физического уровня. Стандарт

ISO-11898 изначально был создан для высокоскоростной связи в транспортных средствах, использующей CAN. ISO-11898 определяет физический уровень для обеспечения совместимости между приёмопередатчиками CAN.

Контроллер CAN обычно реализует всю спецификацию CAN аппаратно, как показано на **Рис. 1**. РМА-подуровень не определяется CAN, однако, он определён в ISO-11898. Данный пример применения рассматривает приёмопередатчик CAN MCP2551 и то, насколько он удовлетворяет требованиям спецификации ISO-11898.



**Рис. 1.** CAN и модель OSI

## Краткий обзор ISO11898-2

ISO11898 – международный стандарт для высокоскоростной связи CAN, применяемой в транспортных средствах. ISO-11898-2 определяет PMA и MDI подуровни физического уровня. Общее представление узлов и шины CAN, описанное в ISO-11898 приведено на **Рис. 3**.

## Уровни шины

CAN определяет два логических состояния: рецессивное (*recessive*) и доминантное (*dominant*). ISO-11898 определяет дифференциальное напряжение для представления рецессивного и доминантного состояний (или битов), как показано на **Рис. 2**.

В рецессивном состоянии (то есть логическая "1" на входе TXD MCP2551) дифференциальное напряжение на CANH и CANL меньше минимального порог (<0.5 В на входе приёмника или <1.5 В выходе передатчика) (см. **Рис. 4**).

В доминантном состоянии (то есть логический "0" на входе TXD MCP2551) дифференциальное напряжение на CANH и CANL больше минимального порога. Доминантный бит перекрывает рецессивный бит на шине для достижения неразрушающего поразрядного арбитража.

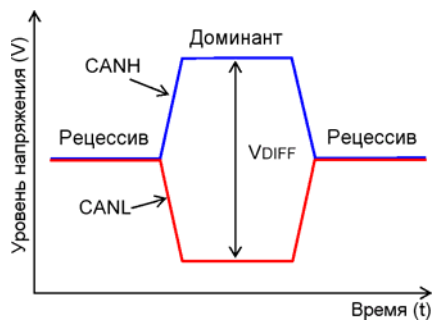


Рис. 2. Дифференциальная шина

### Разъёмы и провода

В ISO-11898-2 не определены механические провода и разъёмы. Однако спецификация требует, чтобы провода и разъёмы соответствовали электротехническим требованиям.

Спецификация также требует наличие резисторов-терминаторов номиналом 120 Ом на каждом конце шины. На Рис. 3 показан пример шины CAN, основанной на ISO-11898.

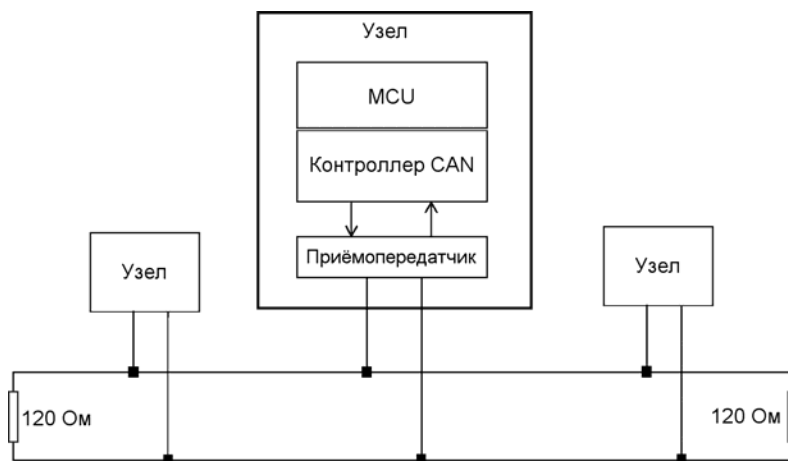


Рис. 3. Шина CAN

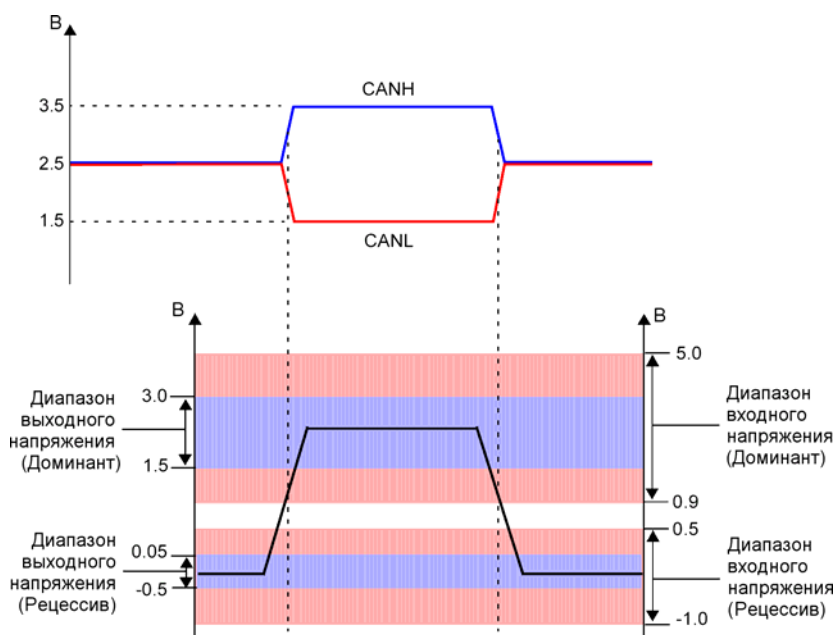


Рис. 4. Номинальные уровни шины по ISO-11898

## Помехоустойчивость

Спецификация ISO11898-2 требует, чтобы приёмопередатчик, соответствующий спецификации или совместимый с ней, соответствовал ряду электротехнических требований. Некоторые из этих требований предусмотрены, чтобы гарантировать, что приёмопередатчик сможет выдержать жёсткие электрические условия, таким образом защищая связь узла CAN. Приёмопередатчик должен выдерживать короткое замыкание на входах шины CAN от  $-3\text{ В}$  до  $+32\text{ В}$  и кратковременные напряжения от  $-150\text{ В}$  до  $+100\text{ В}$ . **Таблица 1** показывает главные электрические требования ISO11898-2 в сравнении со спецификацией MCP2551.

**Таблица 1.** Сравнение спецификаций MCP2551 и ISO11898-2.

Параметр	ISO-11898-4		MCP2551		Единица измерения	Комментарии
	минимум	максимум	минимум	максимум		
Постоянное напряжение на CANH и CANL	-3	+32	-40	+40	В	Превышает ISO-11898
Кратковременное напряжение на CANH и CANL	-150	+100	-250	+250	В	Превышает ISO-11898
Напряжение синфазного сигнала шины	-2.0	+7.0	-12	+12	В	Превышает ISO-11898
Выходное напряжение шины рецессивного состояния	+2.0	+3.0	+2.0	+3.0	В	Соответствует ISO-11898
Дифференциальное выходное напряжения рецессивного состояния	-500	+50	-500	+50	мВ	Соответствует ISO-11898
Внутреннее сопротивление	10	100	20	100	кОм	Соответствует ISO-11898
Входное сопротивление	5.0	50	5.0	50	кОм	Соответствует ISO-11898
Дифференциальное выходное напряжения доминантного состояния	+1.5	+3.0	+1.5	+3.0	В	Соответствует ISO-11898
Выходное напряжение доминантного состояния (CANH)	+2.75	+4.50	+2.75	+4.50	В	Соответствует ISO-11898
Выходное напряжение доминантного состояния (CANL)	+0.50	+2.25	+0.50	+2.25	В	Соответствует ISO-11898
Обнаружение постоянного доминанта (драйвер)	Не требуется		1.25	—	мс	
Сброс при включении питания (POR) и обнаружение кратковременного падения напряжения (BOD)	Не требуется		Да		—	

## Длина шины

ISO11898 определяет, что приёмопередатчик должен быть способен управлять шиной длиной 40 м на скорости 1 Мбит/с. Большая длина шины достигается при уменьшении скорости передачи данных. Самое большое ограничение на длину шины накладывает задержка распространения приёмопередатчика.

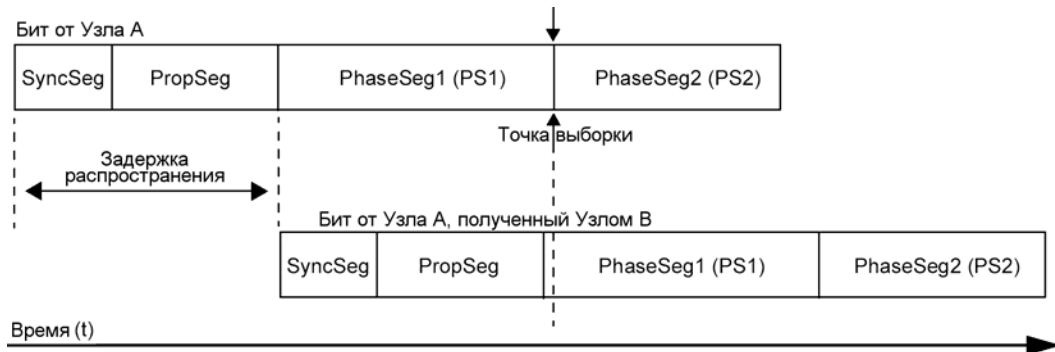
### Задержка распространения

Протокол CAN определяет рецессивное (логическая "1") и доминантное (логический "0") состояния для реализации схемы поразрядного неразрушающего арбитража. Именно на эту методологию арбитража больше всего воздействуют задержки распространения. Каждый узел, вовлечённый в арбитраж, должен быть способен осуществлять выборку уровня каждого бита в пределах одного и того же времени передачи бита. Например, если два узла на противоположных концах шины начали

передавать сообщения в одно и то же время, они должны выполнить арбитраж для захвата управления шиной. Арбитраж будет эффективен, только если оба узла способны сделать выборку в течение одного и того же времени передачи бита. На **Рис. 5** показана односторонняя задержка распространения между двумя узлами. Чрезмерные задержки распространения (вне точки выборки) приведут к ошибочному арбитражу. Это означает, что длина шины ограничена для заданной скорости передачи данных.

Задержка распространения в системе CAN вычисляется как удвоенная сумма времени прохождения сигнала по физической шине туда и обратно ( $t_{bus}$ ), выходной задержки драйвера ( $t_{drv}$ ) и входной задержки компаратора ( $t_{cmp}$ ). Приняв, что все узлы в системе имеют одинаковые задержки компонентов, получим задержку распространения:

$$t_{prop} = 2 \cdot (t_{bus} + t_{cmp} + t_{drv}).$$

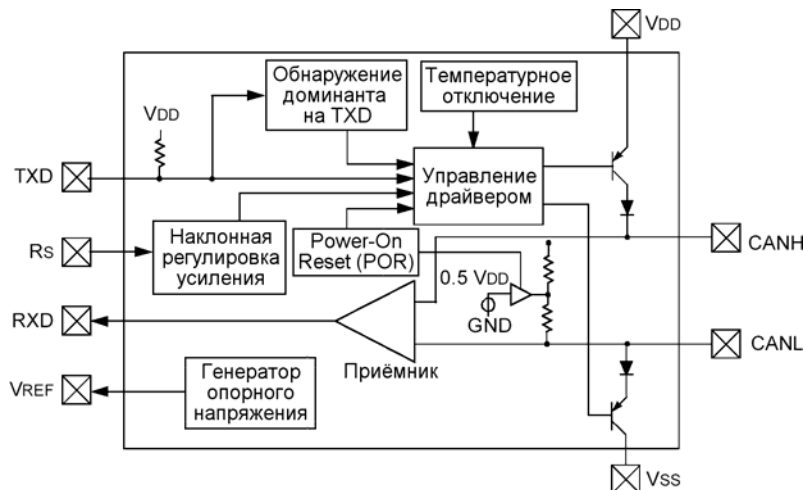


**Рис. 5.** Односторонняя задержка распространения

### MCP2551 - приёмопередатчик CAN

Микросхема MCP2551 – приёмопередатчик CAN, который реализует физический уровень, описанный в спецификации ISO-11898-2. Он поддерживает скорость передачи данных до 1 Мбит/с и подходит для систем с напряжениями питания 12 В и 24 В. MCP2551 обеспечивает защиту от короткого замыкания до  $\pm 40$  В и защиту от кратковременных напряжений до  $\pm 250$  В.

Дополнительно, будучи совместим с ISO-11898-2, MCP2551 обеспечивает сброс при включении питания (*power-on reset - POR*) и защиту от кратковременного падения напряжения (*brown-out protection*), а также обнаружение постоянного доминанта (*permanent dominant detection*), чтобы гарантировать, что обесточенный или неисправный узел не будет мешать работе шины. Устройство реализует настраиваемую наклонную регулировку усиления (*slope control*) на выводах шины для уменьшения излучения радиопомех (*RFI*). На **Рис. 6** представлена блок-схема MCP2551.



**Рис. 6.** Блок-схема MCP2551

## Основная работа MCP2551

### *Передача*

Контроллер протокола CAN выдаёт поток последовательных данных на логический вход TXD MCP2551. Соответствующее рецессивное или доминантное состояние выдаётся на выводы CANH и CANL.

### *Приём*

MCP2551 принимает доминантное или рецессивное состояния на те же выводы CANH и CANL, с которых осуществляется передача. Эти состояния выдаются в виде соответствующих логических уровней на вывод RXD, чтобы контроллер протокола CAN принял кадр CAN.

### *Рецессивное состояние*

Логическая "1" на входе TXD отключает драйверы от вводов CANH и CANL, и выводы "подтягиваются" к номиналу 2.5 В через резисторы смещения.

### *Доминантное состояние*

Логический "0" на входе TXD включает драйверы выводов CANH и CANL. На CANH подаётся на ~1 В больше, чем номинал рецессивного состояния 2.5 В, таким образом увеличивая напряжение до ~3.5 В. На CANL подаётся на ~1 В меньше, чем номинал рецессивного состояния, таким образом уменьшая напряжение до ~1.5 В.

## Режимы работы

Существует три режима работы, которые управляются извне через вывод RS:

1. Высокоскоростной режим.
2. Режим наклонной регулировки усиления.
3. Режим ожидания (*Standby*)

### *Высокоскоростной режим*

Высокоскоростной режим выбирается подключением вывода RS к Vss. В этом режиме выходные драйверы имеют быстрое время нарастания и спада, что поддерживает наивысшие скорости передачи до 1 Мбита/с и/или максимальную длину шины, обеспечивая минимальные циклические задержки приёмопередатчика.

### *Режим наклонной регулировки усиления*

Если требуется уменьшить электромагнитные помехи, MCP2551 можно установить в режим наклонной регулировки усиления подключением резистора ( $R_{ext}$ ) от вывода RS на общий минус. В режиме наклонной регулировки усиления скорость нарастания выходного напряжения на одном проводе (на CANH или CANL) в основном пропорциональна выходному току на выводе RS. Ток должен быть в диапазоне от  $10 \text{ мкА} < I_{RS} < 200 \text{ мкА}$ , который соответствует напряжению на выводе в диапазоне  $0.4 \cdot V_{DD} < V_{RS} < 0.6 \cdot V_{DD}$  соответственно (или обычно  $0.5 \cdot V_{DD}$ ).

Уменьшение скорости нарастания выходного напряжения приводит к уменьшению скорости передачи данных CAN при заданной длине шины, либо к сокращению длины шины при заданной скорости передачи данных.

## Режим ожидания

Режим ожидания (или спящий режим (*sleep*)) устанавливается подключением вывода RS к  $V_{DD}$ . В спящем режиме передатчик отключен, а приёмник работает в режиме пониженного энергопотребления. Принимающий вывод (RXD) по-прежнему функционирует, но на более низкой скорости.

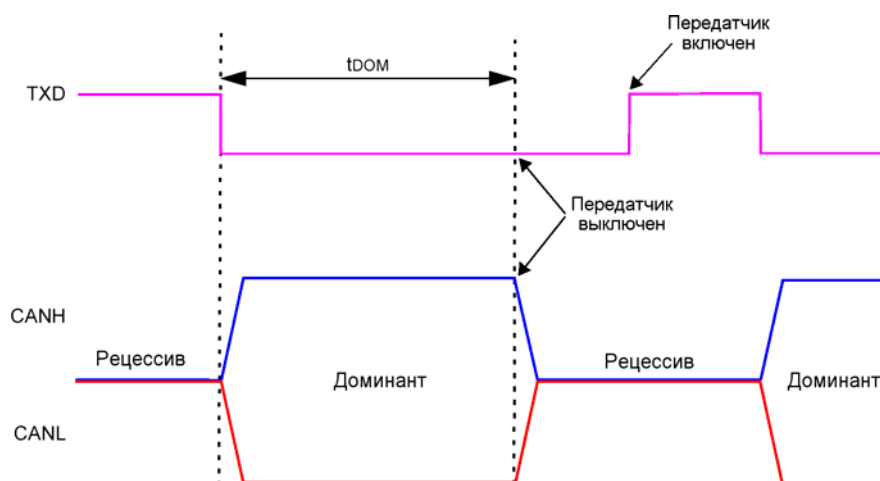
Режим ожидания можно использовать для установки устройства в режим низкого энергопотребления и выключения передатчика в случае, если контроллер CAN неисправен и выдаёт на шину непредсказуемые данные.

## Обнаружение постоянного доминанта на передатчике

Если на передатчике обнаруживается состояние постоянного доминанта, MCP2551 отключает передатчик от CANH и CANL. Эта возможность предотвращает постоянное разрушение шины CAN неисправным узлом (контроллером CAN или самим MCP2551).

Драйверы отключаются, если низкий уровень присутствует на TXD в течение более чем  $\sim 1.25$  мс (минимум) (см. **Рис. 7**).

Драйверы остаются отключенными всё время, пока на TXD остаётся низкий уровень. Появление нарастающего фронта на TXD сбросит логику таймера и включит драйвер.



**Рис. 7.** Обнаружение постоянного доминанта на TXD

## Сброс при включении питания и защита от кратковременного снижения питания

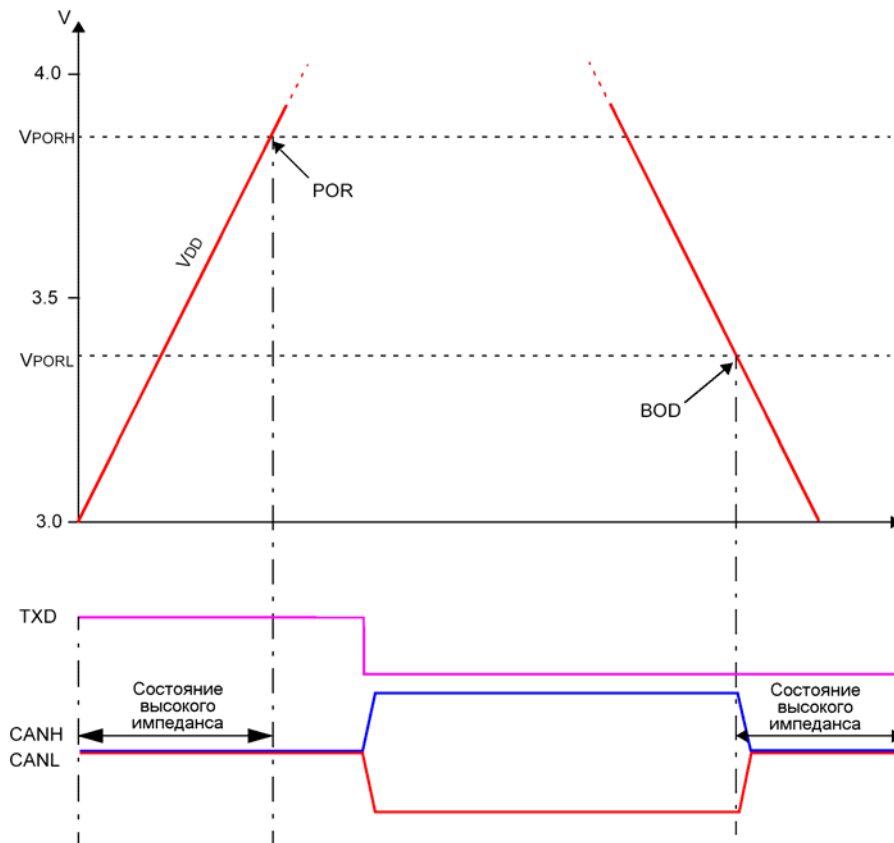
MCP2551 имеет способность сброса при включении питания (*Power-On Reset - POR*) и обнаружения кратковременного снижения напряжения питания (*Brown-Out Detection - BOD*) (см. **Рис. 8**).

### Сброс при включении питания (*POR*)

Когда на MCP2551 подаётся питание, выводы CANH и CANL остаются в высокоимпедансном состоянии до тех пор, пока  $V_{DD}$  не достигнет высокого напряжения POR (*POR high voltage - VPORH*). Кроме того, если при включении питания на выводе TXD низкий уровень, выводы CANH и CANL остаются в высокоимпедансном состоянии до тех пор, пока на TXD не установится высокий уровень. После чего драйвер будет функционировать нормально.

### Обнаружение кратковременного снижения напряжения питания (*BOD*)

BOD происходит, когда  $V_{DD}$  опускается ниже низкого напряжения сброса при включении питания (*power-on reset low voltage - VPORL*). В этой точке выводы CANH и CANL входят в высокоимпедансное состояние и остаются в нем, пока не будет достигнуто напряжение VPORH.



**Рис. 8.** Сброс при включении питания и обнаружение кратковременного снижения напряжения питания

### Смещения земли

Поскольку не требуется обеспечивать общую землю между узлами, то возможно возникновение смещений земли между ними. То есть каждый узел может наблюдать разные однопроводные напряжения шины (напряжения синфазного сигнала шины), в то же время поддерживая одинаковое дифференциальное напряжение. В то время как MCP2551 предусмотрен для управления смещениями земли от  $-12$  В до  $+12$  В, спецификация ISO-11898 требует только от  $-2$  В до  $+7$  В. На **Рис. 9** и **10** показано, как между узлами возникают смещения земли.

**Рис. 9** показывает передающий узел с положительным смещением земли относительно принимающего узла. Приёмник MCP2551 может работать с  $CANH = +12$  В. Максимальное выходное напряжение доминанта CAN ( $V_{O(CANH)}$ ) от передающего узла составляет 4.5 В. Вычитание этого максимума даёт смещение земли (относительно принимающего узла) в 7.5 В для передающего узла. В рецессивном состоянии каждый узел пытается притянуть выводы CANH и CANL к их основным уровням (обычно 2.5 В). Однако результирующее напряжение синфазного сигнала в рецессивном состоянии принимает значение 6.25 В для принимающего узла и  $-1.25$  В для передающего.

**Рис. 10** показывает передающий узел с отрицательным смещением земли относительно принимающего узла. Приёмник MCP2551 может работать с  $CANL = -12$  В. Минимальное выходное напряжение доминанта CAN ( $V_{O(CANL)}$ ) из передающего узла составляет 0.5 В. Вычитание этого минимума даёт фактическое смещение земли относительно принимающего узла в  $-12.5$  В. Напряжение синфазного сигнала для рецессивного состояния составляет  $-6.25$  В для принимающего узла и 6.25 В для передающего.

Поскольку все узлы работают как передатчики для части каждого сообщения (то есть каждый приёмник должен подтверждать (АСК) правильные сообщения в течение временного интервала АСК), наибольшее смещение земли, допускаемое между узлами составляет 7.5 В, как показано на **Рис. 9**.

Работа системы CAN с большим смещением земли может привести к увеличению электромагнитных излучений. Если система чувствительна к излучениям, нужно предпринять меры для устранения смещений земли.



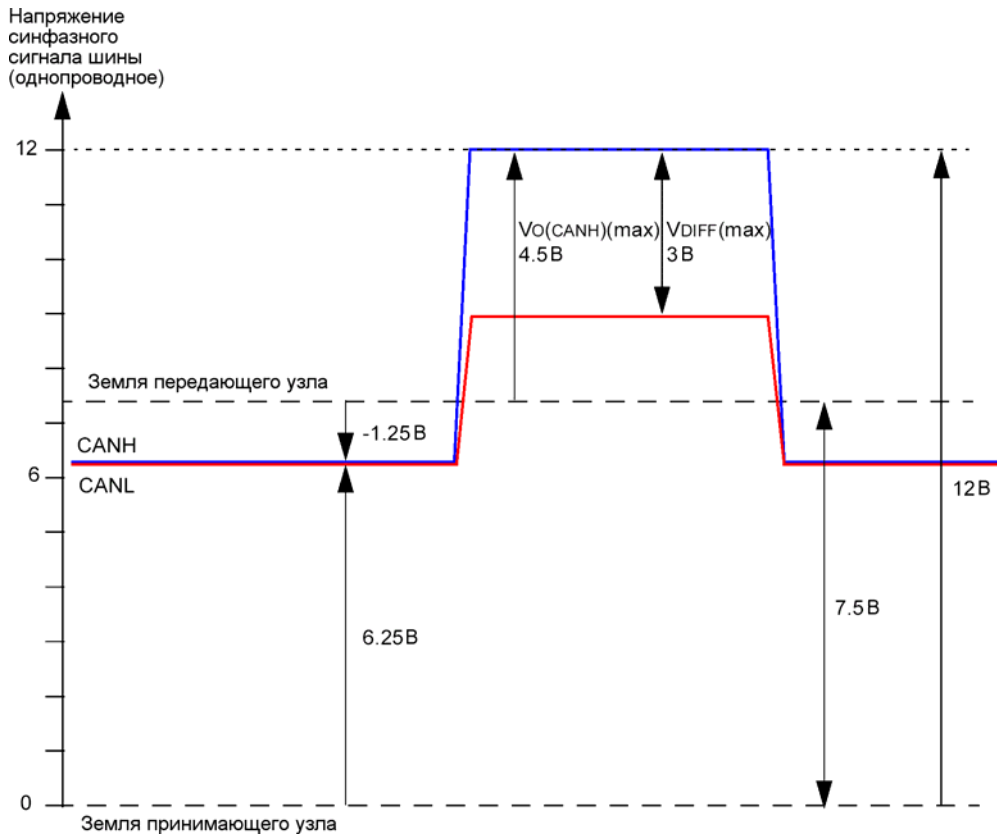


Рис. 9. Земля принимающего узла ниже земли передающего

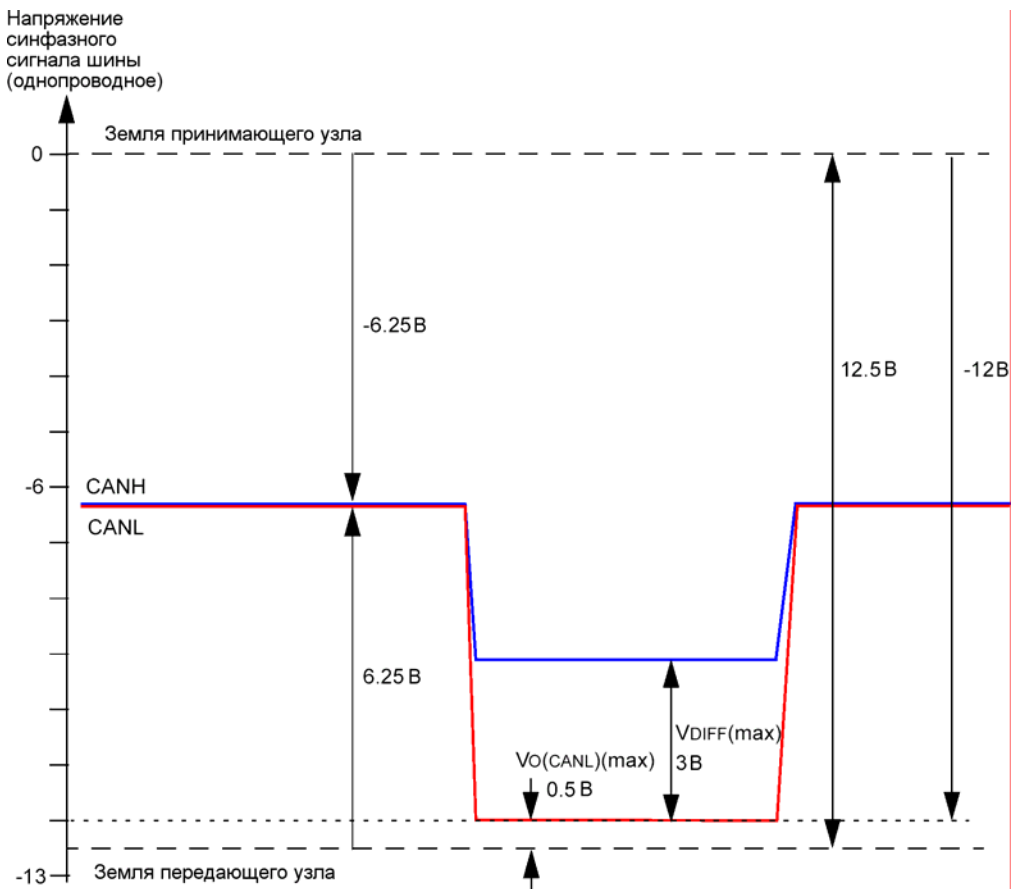


Рис. 10. Земля принимающего узла выше земли передающего

## **Оконечная нагрузка шины**

Оконечная нагрузка шины (*bus termination*) используется для минимизации отражение сигнала в шине. ISO-11898 требует, чтобы шина CAN имела номинальную характеристику входного полного сопротивления линии передачи в 120 Ом. Поэтому обычное значение согласующего резистора для каждого конца шины составляет 120 Ом. Есть несколько различных способов реализации оконечной нагрузки, используемых для увеличения электромагнитной совместимости (EMC) (см. **Рис. 11**):

1. Стандартная оконечная нагрузка.
2. Разделённая оконечная нагрузка.
3. Смещённая разделённая оконечная нагрузка.

*Примечание:* производительность EMC определяется не только передатчиком и методом оконечной нагрузки, но также и тщательным анализом всех компонентов и топологии системы.

### **Стандартная оконечная нагрузка**

Как подразумевает название, эта оконечная нагрузка состоит из одинарных резисторов номиналом в 120 Ом на каждом конце шины. Этот метод приемлем во многих системах CAN.

### **Разделённая оконечная нагрузка**

Разделённая оконечная нагрузка приобретает всё большую популярность, так как позволяет легко добиваться снижения излучения. Разделённая оконечная нагрузка - модификация стандартной оконечной нагрузки, в которой один резистор номиналом 120 Ом на каждом конце шины разделяется на два резистора по 60 Ом с развязывающим конденсатором, присоединенным между резисторами и подключенным к земле. Номиналы этих резисторов должны как можно меньше отличаться друг от друга.

### **Смещённая разделённая оконечная нагрузка**

Этот метод оконечной нагрузки используется для поддержания синфазного напряжения рецессивного сигнала на постоянном значении, таким образом увеличивая производительность EMC. Эта схема аналогична схеме разделённой оконечной нагрузки, но добавлена дополнительная схема делителя напряжения для достижения напряжения  $V_{DD}/2$  между двумя резисторами по 60 Ом (см. **Рис. 11**).

*Примечание:* Номиналы резисторов смещения на **Рис. 11**, также как и резисторов разделённой оконечной нагрузки, должны как можно меньше отличаться друг от друга.

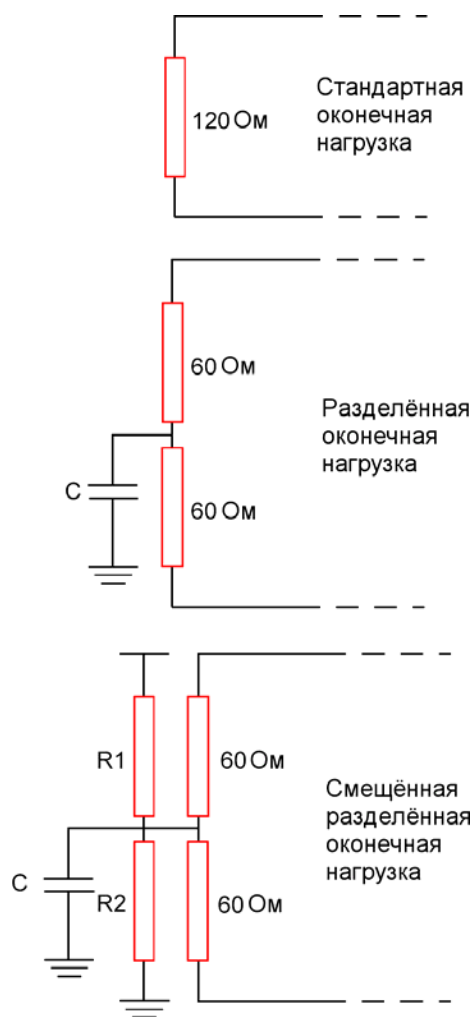


Рис. 11. Схемы оконечной нагрузки