https://www.reallab.ru/bookasutp/2-promishlennie-seti-i-interfeisi/2-3-interfeisi-rs-485-rs-422-i-rs-232/#2.3.3.

2.3.3. СОГЛАСОВАНИЕ ЛИНИИ С ПЕРЕДАТЧИКОМ И ПРИЕМНИКОМ

Если время распространения электромагнитного поля через кабель становится сравнимо с характерными временами передаваемых сигналов, то кабель нужно рассматривать как длинную линию с распределенными параметрами [[Попов](https://www.reallab.ru/bookasutp/literature/#96)]. Время распространения электромагнитного поля в нем составляет 60...75% от скорости света в вакууме и зависит от диэлектрической и магнитной проницаемости диэлектрика кабеля, сопротивления проводника и его конструктивных особенностей. При скорости света в вакууме 300000 км/с для кабеля длиной 1000 м можно получить **скорость распространения электромагнитной волны** в кабеле 200...225 км/с и время распространения 5,6 мкс.

Электромагнитная волна, достигая конца кабеля, отражается от него и возвращается к источнику сигнала, отражается от источника и опять проходит к концу кабеля. Вследствие потерь на нагрев проводника и диэлектрика амплитуда волны в конце кабеля всегда меньше, чем в начале. Для типовых кабелей можно считать, что только первые 3 цикла прохождения волны существенно влияют на форму передаваемого сигнала [[RS](https://www.reallab.ru/bookasutp/literature/#93)]. Это дает общую длительность паразитных колебаний на фронтах передаваемых импульсов, связанных с отражениями,  около 33,6 мкс при длине кабеля 1 км. Поскольку в приемном узле универсальный трансивер (**UART** Universal Asynchronous Receive Transmit) определяет логическое состояние линии в центре импульса, то минимальная длительность импульса, который еще можно распознать с помощью UART, составляет 33,6 х 2 = 67,2 мкс. Поскольку при **NRZ**кодировании (см. раздел ["CAN"](https://www.reallab.ru/bookasutp/2-promishlennie-seti-i-interfeisi/2-6-can/)) минимальная длительность импульса позволяет закодировать 1 бит информации, то получим максимальную скорость передачи информации, которую еще можно принять несмотря на наличие отражений, равную 1/67,2 мкс = 14,9 кбит/с. Учитывая, что реально условия передачи всегда хуже расчетных, стандартную скорость передачи 9600 бит/с приближенно можно считать границей, на которой еще можно передать сигнал на расстояние 1000 м несмотря на наличие отражений от концов линии.

Рассмотренная ситуация ухудшается c ростом рассогласования между частотой синхронизации передатчика и приемника, вследствие которой момент считывания сигнала оказывается смещенным относительно центра импульса. Следует также учитывать, что на практике не все устройства с интерфейсом RS-485 используют стандартный UART, считывающий значение логического состояний посредине импульса.

При большей скорости передачи, например, 115200 бит/с, ширина передаваемых импульсов составляет 4,3 мкс, и их невозможно отличить от импульсов, вызванных отражениями от концов линии. Используя вышеприведенные рассуждения, можно получить, что при скорости передачи 115200 бит/с максимальная длина кабеля, при которой еще можно не учитывать отражения от концов линии, составляет 60 м.

Для устранения отражений линия должна быть нагружена на сопротивление, равное волновому сопротивлению кабеля

|  |  |
| --- | --- |
| Изображение выглядит как черный, темнота  Автоматически созданное описание, | (2. 1) |

где  - погонные сопротивление, индуктивность, проводимость и емкость кабеля,  - комплексная круговая частота. Как следует из этой формулы, в кабеле без потерь волновое сопротивление не зависит от частоты, при этом прямоугольный импульс распространяется по линии без искажений. В **линии с потерями** фронт импульса "расплывается" по мере увеличения расстояния импульса от начала кабеля.

Отношение амплитуды напряжения отраженного синусоидального сигнала (отраженной волны) от конца линии к амплитуде сигнала, пришедшего к концу линии (падающей волны) называется **коэффициентом отражения по напряжению**  [[Бессонов](https://www.reallab.ru/bookasutp/literature/#98)], который зависит от степени **согласованности волновых сопротивлений** линии и нагрузки:

|  |  |
| --- | --- |
| Изображение выглядит как черный, темнота  Автоматически созданное описание, | (2. 2) |

где  - сопротивлению **согласующего резистора** на конце или в начале линии (кабеля). Случай  соответствует идеальному согласованию линии, при котором отражения отсутствуют ().

|  |
| --- |
| Изображение выглядит как диаграмма, линия, Технический чертеж, План  Автоматически созданное описание |
| Рис. 2.3. Применение терминальных резисторов для согласования линии передачи |

Для**согласования линии** используют **терминальные (концевые) резисторы** ([рис. 2.3](https://www.reallab.ru/bookasutp/2-promishlennie-seti-i-interfeisi/2-3-interfeisi-rs-485-rs-422-i-rs-232/#%D1%80%D0%B8%D1%81.%202.3)). Величину резистора выбирают в зависимости от волнового сопротивления используемого кабеля. Для систем промышленной автоматики используются кабели с волновым сопротивлением от 100 до 150 Ом, однако кабели, спроектированные специально для интерфейса RS-485, имеют волновое сопротивление 120 Ом. На такое же сопротивление обычно рассчитаны микросхемы трансиверов интерфейса RS-485. Поэтому сопротивление терминального резистора выбирается равным 120 Ом, мощность - 0,25 Вт.

Резисторы ставят на двух противоположных концах кабеля. Распространенной ошибкой является установка резистора на входе каждого приемника, подключенного к линии, или на конце каждого отвода от линии, что перегружает стандартный передатчик. Дело в том, что два терминальных резистора в сумме дают 60 Ом и потребляют ток 25 мА при напряжении на выходе передатчика 1,5 В; кроме этого,  32 приемника со стандартным входным током 1 мА потребляют от линии 32 мА, при этом общее потребление тока от передатчика составляет 57 мА. Обычно это значение близко к максимально допустимому току нагрузки стандартного передатчика RS-485. Поэтому нагрузка передатчика дополнительными резисторами может привести к его отключению средствами встроенной автоматической защиты от перегрузки.

Второй причиной, которая запрещает использование резистора в любом месте, кроме концов линии, является **отражение сигнала** от места расположения резистора.

При расчете сопротивления **согласующего резистора** нужно учитывать общее сопротивление всех нагрузок на конце линии. Например, если к концу линии подключен шкаф комплектной автоматики, в котором расположены 30 модулей с портом RS-485, каждый из которых имеет входное сопротивление 12 кОм, то общее сопротивление всех модулей будет равно 12 кОм/30 = 400 Ом. Поэтому для получения сопротивления нагрузки линии 120 Ом сопротивление терминального резистора должно быть равно 171 Ом.

Отметим недостаток применения согласующих резисторов. При длине кабеля 1 км его омическое сопротивление (для типового стандартного кабеля) составит 97 Ом. При наличии согласующего резистора 120 Ом образуется резистивный делитель, который примерно в 2 раза ослабляет сигнал, и ухудшает отношение сигнал/шум на входе приемника. Поэтому при низких скоростях передачи (менее 9600 бит/с) и большом уровне помех терминальный резистор не улучшает, а ухудшает надежность передачи.

В промышленных преобразователях интерфейса RS-232 в RS-485 согласующие  резисторы обычно уже установлены внутри изделия и могут отключаться микропереключателем (джампером). Поэтому перед применением таких устройств необходимо проверить, в какой позиции находится переключатель.