

Анализ сигналов в манчестерском и NRZ-коде с произвольными параметрами при помощи осциллографов серии RTE компании R&S

Часть 2

Николай Лемешко (nlem83@mail.ru),
Павел Струнин (Pavel.Strunin@rohde-schwarz.com)

Во второй части статьи приводятся примеры, демонстрирующие возможности поиска ошибок и других нарушений в пользовательских протоколах при анализе сигналов манчестерского и NRZ-кодирования с произвольными параметрами.

ПРИМЕРЫ ДЕКОДИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ В МАНЧЕСТЕРСКОМ И NRZ-КОДЕ

Характеристика объекта исследований

Для демонстрации возможностей опции R&S RTE-K50 был разработан пользовательский протокол передачи данных, в лексикон которого входят машинные слова (МС) пяти типов. Он может быть использован для получения информации от сети датчиков, например измеряющих температуру или давление в некоторой системе. Протокол допускает передачу информации с 64 датчиков (шестиразрядная адресация), сеть может иметь произвольную структуру.

Структура и состав машинных слов пояснены в таблице. Все машинные слова включают стартовую (*Start*) и завершающую (*Stop*) последовательности, поле адреса датчика (*Adr*), контрольную сумму (*CS*). В поле *CS* должна быть установлена единица, если во всех полях, кроме *Start* и *Stop*, передаётся нечётное количество единиц. Слово *COM* содержит поля ожидания (*PP*) и команды (*Command*), в слове *DATA0* имеется 8-разрядное поле *Data* для передачи измеренного датчиком оцифрованного значения. В словах *DATA*, *ERROR1*, *NODATA*, *UNCOM* имеется поле признака *PR*, которое наряду со стартовой последовательностью слу-

Структура машинных слов пользовательского протокола передачи данных

Машинное слово	Наименование поля	Количество бит	Шаблон поля для NRZ-кода	Шаблон поля для манчестерского кода
COM (запрос передачи информации с датчика; формирует контроллер)	Start	4	1010	HHLH
	Adr	6	—	—
	PP	2	11	00
	Command	4	—	—
	CS	1	—	—
DATA0 (передача данных на контроллер; формирует датчик)	Stop	3	001	LLH
	Start	4	1001	HLLH
	Adr	6	—	—
	PR	2	00	11
	Data	8	—	—
ERROR1 (в слове COM обнаружена ошибка контрольной суммы; формирует датчик)	CS	1	—	—
	Stop	3	001	LLH
	Start	4	1001	HLLH
	Adr	6	—	—
	PR	2	01	10
NODATA (датчик занят / данные не готовы для передачи; формирует датчик)	CS	1	—	—
	Stop	3	001	LLH
	Start	4	1001	HLLH
	Adr	6	—	—
	PR	2	10	01
UNCOM (команда неизвестна; формирует датчик)	CS	1	—	—
	Stop	3	001	LLH
	Start	4	1001	HLLH
	Adr	6	—	—
	PR	2	11	00
	CS	1	—	—
	Stop	3	001	LLH

Примечание: при описании МС в NRZ-коде четверичные символы H и L трактуются как 1 и 0 соответственно.

жит для определения одного из 4 возможных ответов датчика контроллеру. Тип МС и, соответственно, его источник идентифицируются по виду стартовой последовательности и признаку ответа. Битовые последовательности всех полей передаются старшим битом вперёд.

Скорость передачи данных составляет 1 Мбит/с, битовый интервал равен 1 мкс. Для исключения коллизий передача МС датчиками осуществляется строго по запросам контроллера, формируемым по мере необходимости с интервалом не менее 34 мкс, включающим интервалы 10 и 24 мкс на обработку команды датчиком и на передачу машинного слова DATA с наибольшей длительностью (24 бита) вместе со стартовой и завершающей последовательностями. Высокий и низкий уровни сигналов приняты равными +3 и -3 В. В период бездействия сигнал в NRZ-коде имел низкий уровень, а сигнал в манчестерском коде – нулевой уровень.

Измерительная установка

В состав измерительной установки (см. рис. 3) входил осциллограф R&S RTE-1054 с полосой рабочих частот до 500 МГц, 4 каналами и установленной программной опции

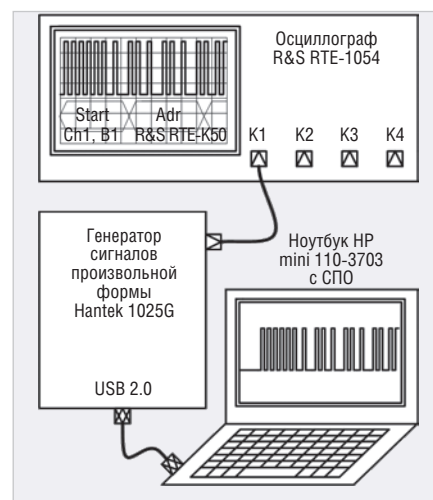


Рис. 3. Схема измерительной установки

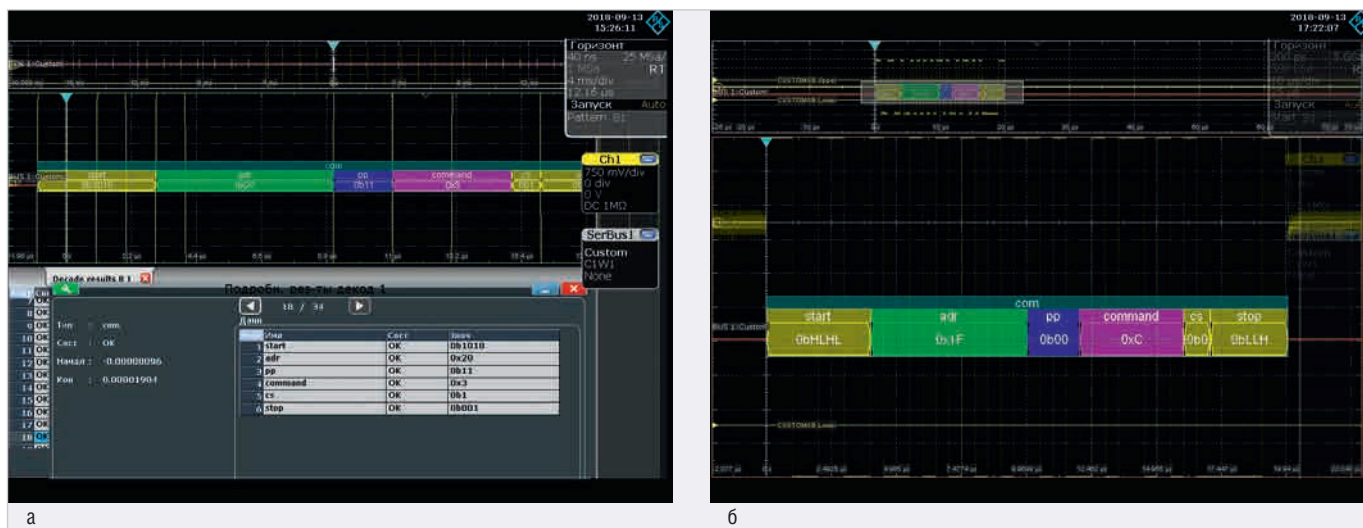


Рис. 5. Результаты декодирования машинного слова **COM**: а) при NRZ-кодировании; б) при манчестерском кодировании

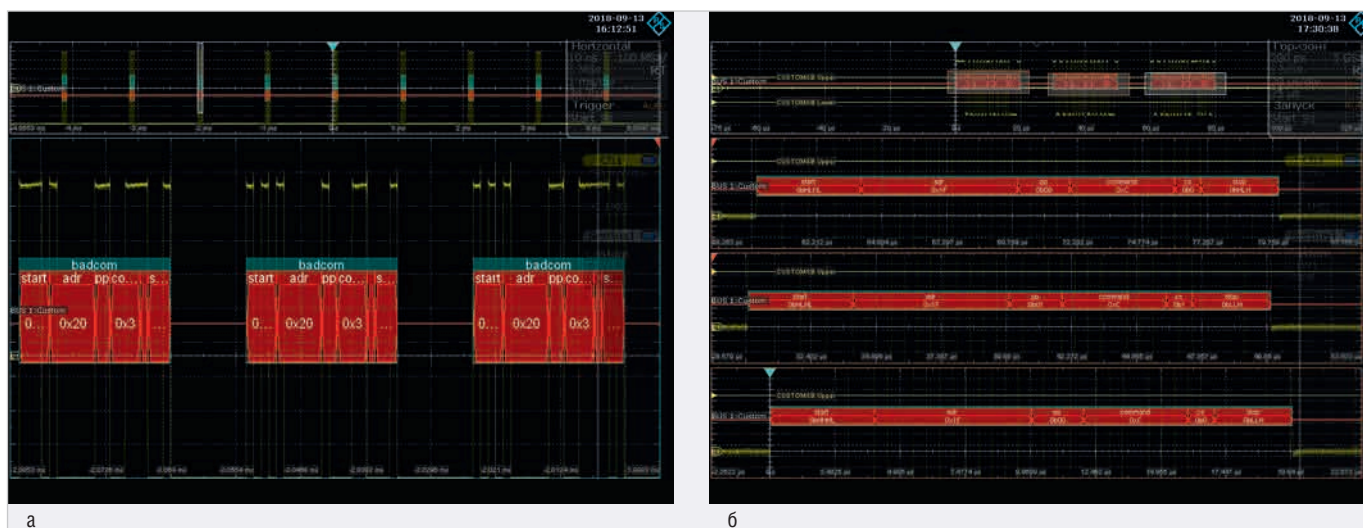


Рис. 6. Результаты декодирования последовательности из трёх MC **COM** с ошибками в полях **Start**, **PP** и **Stop**: а) для NRZ-кодирования; б) для манчестерского кодирования

ку алгоритмов, заложенных в пользовательские протоколы.

На основе результатов измерений поля *Adr* и *Command* в слове *COM* имеют значения 0x20 и 0x3 соответственно в первом случае, и 0xFF и 0xC – во втором. Значения остальных полей указываются последовательностью бит либо четверичными символами.

Декодирование машинных слов COM с ошибками в полях Start, PP и Stop

Как следует из таблицы 1, по содержанию названных полей опция R&S RTE-K50, а также датчик в составе рассматриваемой сети идентифицируют MC типа *COM*. Если хотя бы одно из полей будет содержать ошибку, то в этом случае MC не будет воспринято датчиком, хотя в общем случае это зависит от алгоритма обработки битовых последовательностей. Для поис-

ка таких ошибок созданное описание MC для обоих типов кодирования было дополнено машинным словом *badcom*, которое охватывает все MC, не соответствующие по структуре, но имеющие такую же длину, как *COM*.

Для отработки поиска MC с ошибочными идентификационными полями использовалась последовательность, состоящая из 3 машинных слов *COM*, разделённых интервалом в 10 мкс. В первом MC была допущена ошибка в поле *Start*, во втором – в поле *PP*, в третьем – в поле *Stop*. Результаты декодирования приведены на рисунке 6. В результате анализа установлено, что структура MC соответствует типу *COM*, а содержание идентификационных полей ошибочно, и поэтому эти MC отнесены к типу *badcom*.

На рисунках 6а и 6б показаны различные способы отображения данных о содержащейся в полях информации.

При необходимости детального рассмотрения декодирование каждого MC может быть выполнено на отдельном экране, что обеспечивает читаемость информации во всех полях. Кроме того, удобно использовать табличное отображение результатов декодирования, продемонстрированное на рисунке 5а.

Диалог между контроллером и датчиком

Диалог между контроллером и датчиком включает два типа MC: *COM* и *DATA0*. При выполнении измерений они были разделены интервалом 10 мкс. Результаты декодирования представлены на рисунке 7. В обоих случаях все пакеты декодируются правильно. Для NRZ-кода поля *Adr*, *Command* и *Data* имеют значения 0x20, 0x3, 0xAA соответственно, для манчестерского кодирования – 0x1F, 0xC, 0x55. Интервал бездействия пока-

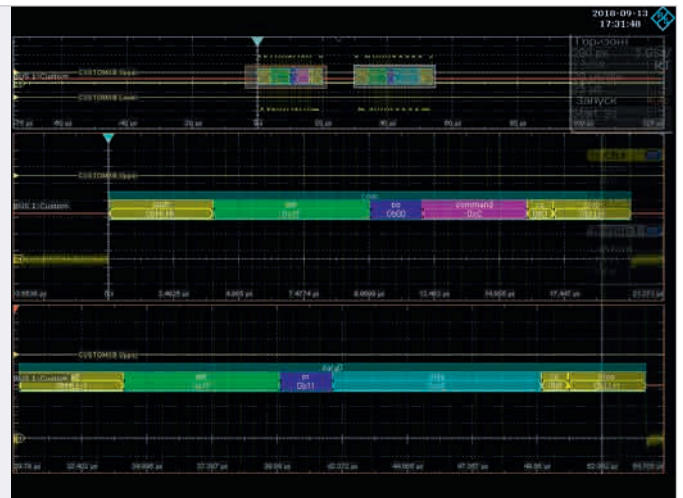


Рис. 7. Результаты декодирования MC запроса **COM** и передачи данных **DATA0**: а) для NRZ-кодирования; б) для манчестерского кодирования

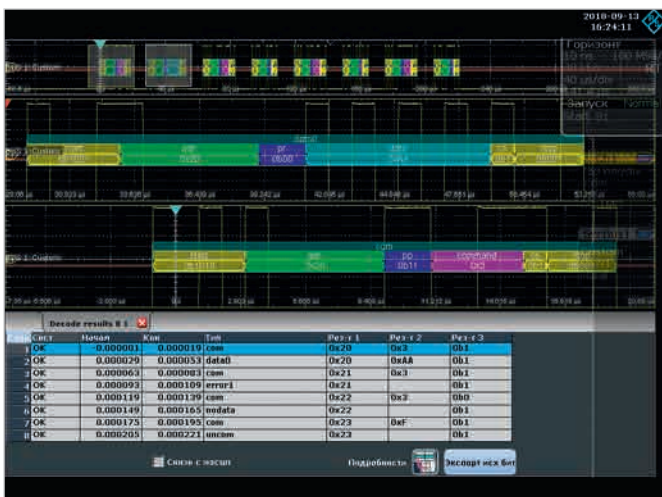


Рис. 8. Результаты декодирования последовательности запросов контроллера и ответов датчиков для пользовательского протокола: а) в NRZ-коде; б) в манчестерском коде

зан как отсутствие передачи битовых последовательностей.

Опрос четырёх датчиков

В реальной сети контроллер опрашивает по адресам все датчики, которые могут отвечать собственными им MC, входящими в лексикон пользовательского протокола. При помощи генератора была сформирована последовательность из 8 MC (**COM – DATA0 – COM – ERROR1 – COM – NODATA – COM – UNCOM**), следующих с интервалом 10 мкс, парных по адресации и имитирующих все возможные ответы датчиков, а также необходимые нарушения в полях MC, например ошибку контрольной суммы.

Результаты декодирования показаны на рисунке 8. Последовательности из MC разного типа удобно анализировать с применением табличного отображения результатов декодирования,

причём у каждого типа MC могут быть указаны разные имена полей, для которых отображается информация. В данном случае для всех типов MC опция определяет содержание полей *Adr* и *CS*, для MC **COM** и **DATA0** – полей *Command* и *Data*. Полученные значения отображены в трёх правых столбцах таблицы, также содержащей информацию о времени начала и окончания MC, что часто необходимо для отладки пользовательских протоколов и реализующего их программного обеспечения.

Поиск и анализ неизвестной битовой последовательности

При отладке пользовательских протоколов часто встречаются ситуации, когда MC имеют ошибки, исключаяющие их декодирование, например если MC не соответствует ни одному из заданных типов по содержанию иден-

тифицирующих полей или по количеству бит.

Если в лексикон опции R&S RTE-K50 не включено некоторое MC, то оно не может быть сопоставлено с заданными MC по количеству бит и содержанию идентификационных полей, но опция выделит неизвестную битовую последовательность при помощи функции *Undescribed Bits*. Это продемонстрировано на рисунке 9. В данном случае один из датчиков отвечает на запрос контроллера MC **DATA0**, в котором утеряны 8 бит поля *Data*. После обнаружения «неучтённых» бит они отображаются в двоичном исчислении для NRZ-кода или в виде четверичных символов для манчестерского кода. Анализируя содержание таких последовательностей, можно определить и причины их появления, а затем – устранить программные ошибки.

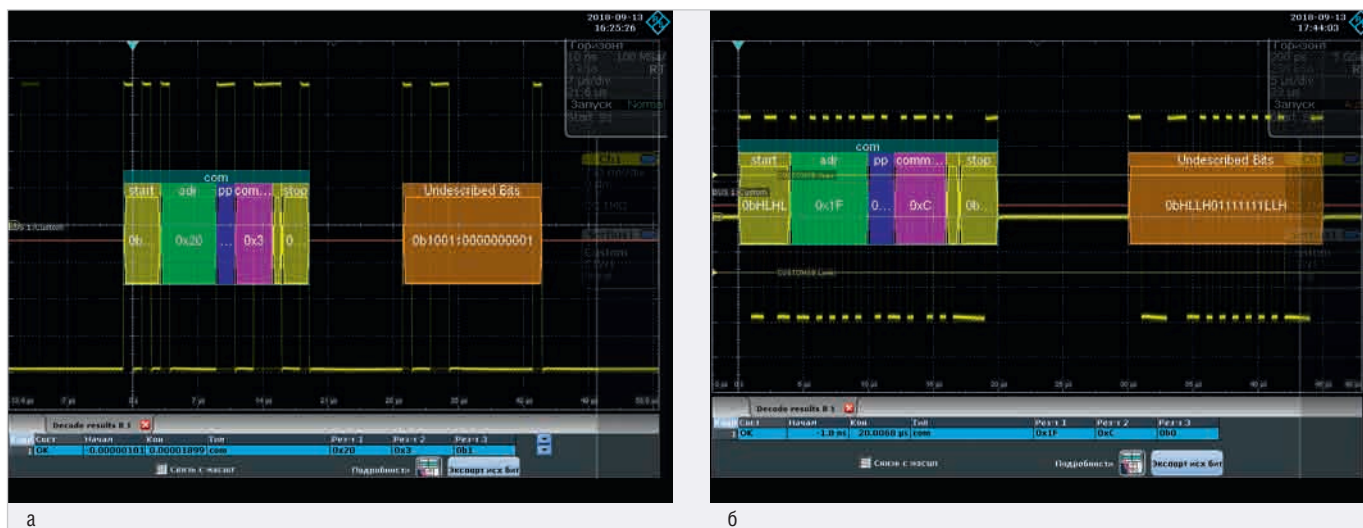


Рис. 9. Результаты декодирования машинного слова *COM* и слова, отсутствующего в лексиконе опции R&S RTE-K50: а) для NRZ-кода; б) для манчестерского кода

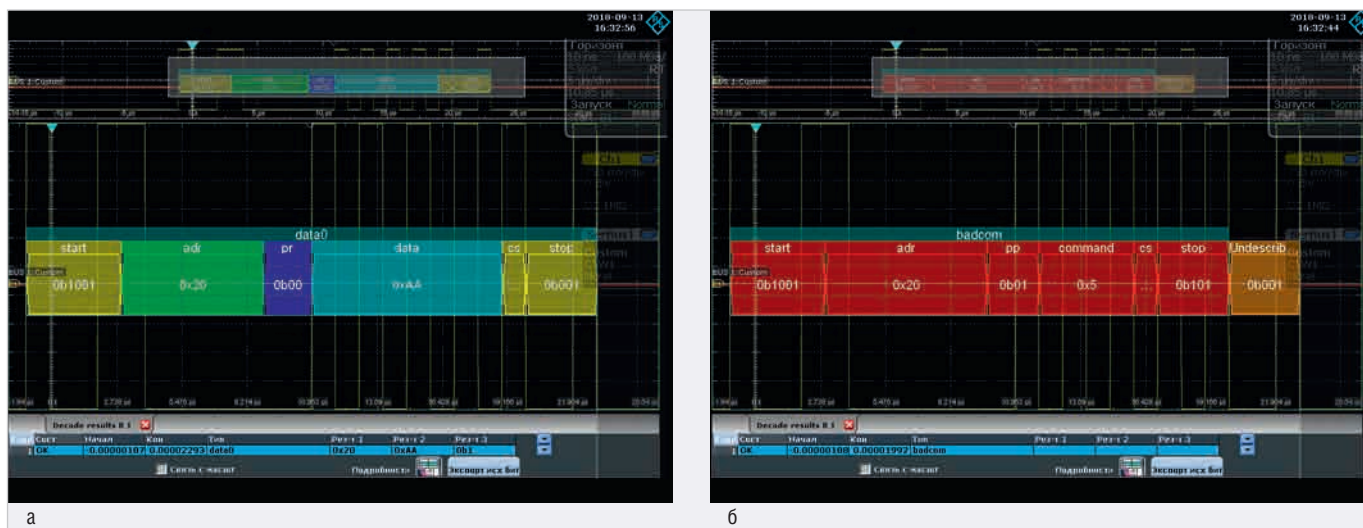


Рис. 10. Результат декодирования *MC DATA0* (1 Мбит/с) в NRZ-коде при заданном значении скорости приёма: а) 929 Кбит/с; б) 928 Кбит/с

Случай несовпадения кодовых скоростей

Во многих практически значимых случаях пакетная передача данных в цифровом виде осуществляется в асинхронном режиме, когда начало передачи не привязано к конкретной временной сетке, а битовая скорость может плавно изменяться даже в пределах одного МС. В пользовательских протоколах такая ситуация вряд ли возможна, поскольку связана со значительным усложнением алгоритма передачи информации. Одной из возможных проблем является несовпадение скоростей передачи и приёма, и её целесообразно рассмотреть подробнее.

Предположим, что передатчик и приёмник цифрового сигнала настроены на разные скорости v_{out} и v_{in} , соответствующие битовым интервалам $\tau_{out} = 1/v_{out}$ и $\tau_{in} = 1/v_{in}$. Будем считать, что после окончания интервала вре-

мени бездействия приёмник синхронизируется в середине временного интервала τ_{in} первого бита с истинной длительностью τ_{out} . Соответственно, смещение точки синхронизации при передаче первого бита составит $0,5|\tau_{in} - \tau_{out}|$. Такие смещения будут наблюдаться при передаче каждого бита. Если пакет достаточно длинный, то по мере смещения точки синхронизации возникнет ситуация, когда в некотором битовом интервале окажутся две точки синхронизации, что приведёт к битовой ошибке. Поскольку точка синхронизации, как ожидается, расположена в середине битового интервала, то предельное количество бит N_{max} , которое может быть передано в машинном слове без возникновения ошибки в отсутствие дополнительных мер по обеспечению синхронизации, определяется выражением:

$$N_{max} = floor\left(\frac{\tau_{out}}{|\tau_{out} - \tau_{in}|}\right) = floor\left(\frac{v_{in}}{|v_{in} - v_{out}|}\right), (1)$$

где функция $floor(*)$ отбрасывает целую часть аргумента и округляет его в меньшую сторону. Формула (1) позволяет рассчитать минимальное число бит, которое будет передано в МС при несовпадении битовых скоростей. Речь идёт именно о минимальном значении, поскольку в алгоритмах работы как средств измерений, так и приёмников цифровых сигналов могут применяться дополнительные меры по правильному определению битовых интервалов.

Опция R&S RTE-K50 позволяет правильно декодировать МС большей длины, чем рассчитанная по формуле (1). Согласно (1), при $v_{out} = 965$ Кбит/с и $v_{in} = 1000$ Кбит/с МС *DATA0* должно декодироваться без ошибок и их появление возможно при меньшей скоро-

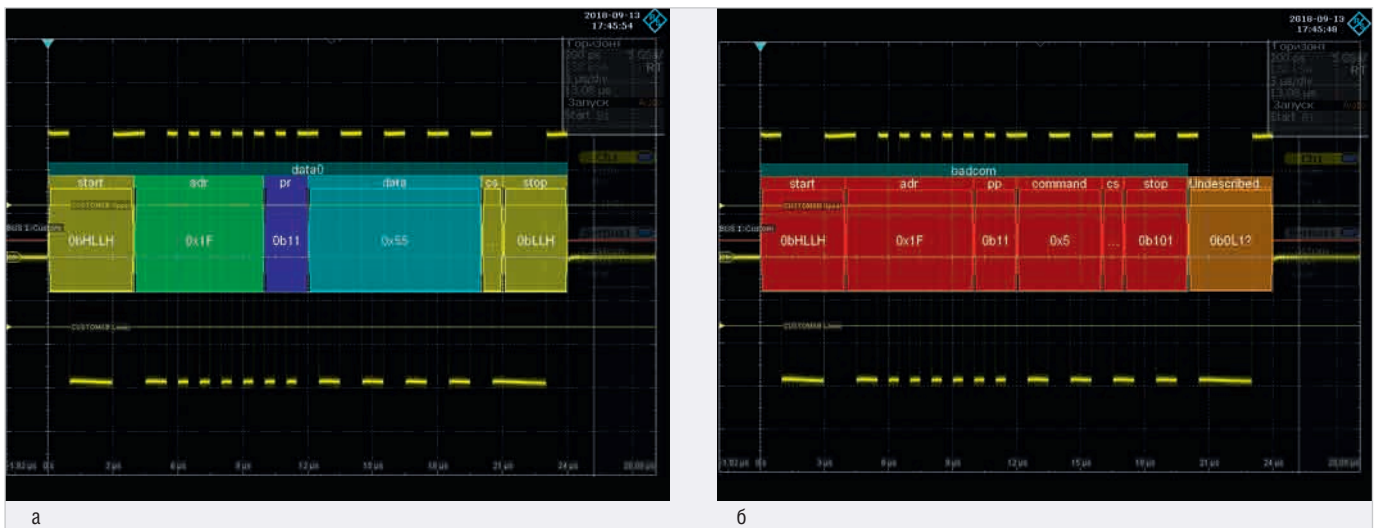


Рис. 11. Результат декодирования MC DATA (1 Мбит/с) в манчестерском коде при заданном значении скорости приёма: а) 901 Кбит/с; б) 900 Кбит/с

сти. Экспериментально были получены существенно бóльшие допустимые значения отклонения битовых скоростей (см. рис. 10 и 11). Для NRZ-кода правильное декодирование осуществляется при битовой скорости приёма до 929 Кбит/с (см. рис. 10а), а при более низкой скорости опция декодирует пакет DATA0 с ошибками, первая из которых появляется в поле PP. Результатом недопустимо большого расхождения в значениях битовых скоростей является неправильная идентификация типа MC с появлением «лишних» бит (см. рис. 10б). Аналогичные результаты были получены и для манчестерского кодирования, но правильное декодирование сохраняется до значения битовой скорости 901 Кбит/с.

Представленные примеры охватывают все важные для практики аспекты отладки пользовательских протоколов. Как видно из полученных результатов, опция R&S RTE-K50 позволяет

проводить анализ MC с высоким уровнем автоматизации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Декодирование цифровых сигналов в манчестерском и NRZ-коде, имеющих пользовательские (нестандартизированные) характеристики, должно осуществляться с использованием программных опций, в значительной степени упрощающих отладку цифровых устройств. Непериодический характер таких сигналов диктует потребность в особых условиях запуска развёртки для захвата и обработки битовых последовательностей, а уникальный лексикон пользовательских протоколов обуславливает необходимость тщательного его описания для поиска MC конкретного типа.

Функциональные возможности опции R&S RTE-K50 охватывают, как было продемонстрировано, типовые задачи, возникающие при отладке цифровых устройств с пользовательскими

протоколами. Однако этим её возможности не ограничиваются. Если протокол сложен и обмен данными идёт между многими устройствами по единой шине, как это было в рассмотренном примере, а лексикон включает десятки типов MC, то такая ситуация усложнит поиск необходимого MC в захваченной их совокупности. Для решения подобных проблем у опции имеются более сложные настройки запуска – по значениям битовых последовательностей в составе MC. Их использование позволяет выделить в потоке необходимое MC автоматически без длительного поиска.

Таким образом, опция R&S RTE-K50 является универсальным инструментом для глубокого анализа цифровых сигналов и имеет высокий потенциал практического применения.

ЛИТЕРАТУРА

1. R&S® RTE Digital Oscilloscope. User Manual. V.13 (FW 3.70).



НОВОСТИ МИРА

VI Международный промышленный форум «Территория NDT 2019»

VI Международный промышленный форум «Территория NDT 2019. Неразрушающий контроль. Испытания. Диагностика» пройдёт 4–6 марта 2019 г. в павильоне 7.2 ЦВК «Экспоцентр» (Москва).

Своё участие в форуме уже подтвердили ведущие разработчики и производители оборудования НК: «Интерюнис-ИТ», НПП «ПРОМ-ПРИБОР», «АЛТА-РУСЬ», НПЦ НК «Кропус», «Хеметалл», «СИНЕРКОН», «Объединённая сварочная компания», RayCraft, «АКС», «Галас НДТ», «ДИАПАК», ИКБ «Гра-

диент», «КОНСТАНТА», «Мелитэк», НИИИИ МНПО «СПЕКТР», НПК «ЛУЧ», НПП «Маш-проект», НУЦ «Качество», «ОЛИМПАС МОСКВА», «Просек Рус», СертиНК ФГАУ НУЦСК при МГТУ им. Н.Э. Баумана и многие другие.

В рамках деловой программы участники круглых столов – руководители и ведущие специалисты ключевых предприятий и корпораций России, профильных институтов и государственных структур – обсудят актуальные проблемы и современные тенденции в области НК и ТД по направлениям:

- средства автоматизированного контроля при производстве и эксплуатации промышленного оборудования;

- новые подходы при решении задач НК композиционных материалов;
 - антенные решётки (АР) в ультразвуковом контроле: современный уровень, проблемы и перспективы;
 - профессиональные квалификации;
 - обучение, аттестация и сертификация в области НК;
 - метрология, стандартизация, цифровизация: вызовы 4-й промышленной революции;
 - неразрушающий контроль в аддитивном производстве;
 - заседание ТК.371.
- Вход для посетителей бесплатный.

www.expo.ronktd.ru