

УДК 621.391.833.2:621.391.13

А.Б. МИРМАНОВ, О.В. СТУКАЧ, В.А. КОЧУМЕЕВ

РАДИОИМПУЛЬСНАЯ ПЕРЕДАЧА СИГНАЛА ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ

Представлена новая технология широкополосной импульсной передачи информации при геофизических исследованиях. На основе анализа проблемы передачи информации и способов связи предложены методы повышения эффективности кодирования и передачи поступающей информации при использовании нового радиоимпульсного канала связи. Определены требования к приемно-передающей системе.

Ключевые слова: кодирование, скважина, радиоимпульсный канал связи, широкополосный приемник.

Введение. В связи с переходом от ресурсоемкого способа передачи данных по каротажному кабелю к радиоканалу в процессе контроля бурения скважин требуется эффективное решение проблемы освоения новых технологий связи в неоднородных средах. В отличие от передачи сигнала по кабелю, способ передачи данных по буровой трубе имеет свои сложности, которые связаны, главным образом, с большим затуханием сигнала и изменчивостью напряженности электромагнитного поля в канале передачи [1]. Строение и структура пород изучаются по данным бурения и геофизическими методами каротажа скважин. Однако ни один из методов не может быть использован для получения наиболее надежного способа передачи данных, так как в процессе бурения свойства вмещающей среды непрерывно изменяются.

Альтернативным способом получения информации о состоянии скважин является визуальное зондирование стенок с помощью гибких оптоволоконных эндоскопов. Проблема передачи видеоизображений в этом случае усложняется кратно, так как количество видеoinформации в несколько раз превышает объем обычных измерений.

В то же время способ передачи информации с помощью радиоизмерительной системы обладает неоспоримыми преимуществами, такими как низкое энергопотребление, автономность, возможность проведения оперативного контроля, возможность проведения сплошных измерений или большой объем выборки.

Существующий способ беспроводной связи. В гидроимпульсном канале связи передача информации осуществляется импульсами давления, распространяющимися в буровом растворе [2]. Для создания таких импульсов применяются

специальные клапаны, управляемые источником передаваемых сигналов. Основным недостатком гидроимпульсного канала является низкая надежность клапанов, связанная с наличием абразивных частиц в буровом растворе. Для нормальной работы системы требуется постоянство расхода раствора во времени, что трудно реализуемо на практике. Недостатком является высокое затухание сигнала, что ограничивает дальность передачи и использование метода на большой глубине. Кроме того, метод чрезвычайно энергоемок, так как для управления клапанами требуется мощное электропитание. Само бурение является источником мощных помех, которые могут серьезно затруднить прием и расшифровку информации со скважины.

Основным видом модуляции в гидроимпульсном канале связи является позиционно-импульсная. Технически расшифровка информации происходит так: сигнал с датчика давления поступает на плату сбора данных компьютера наземной станции, где происходит его постобработка, кондиционирование, фильтрация при необходимости и расшифровка. Главный недостаток следует из принципа работы системы: для определения начала передачи данных отправляется так называемая синхропосылка, которую легко пропустить или неправильно распознать из-за многочисленных помех. Вследствие этого часть пакета данных может быть потеряна. Детектирование синхропосылки осуществляется по автокорреляционной функции. Для этого когерентный приемник имеет в своем составе несколько каналов по числу кодируемых байт передаваемой информации, в каждом из которых проводится суммирование отсчетов принимаемого сигнала. Для когерентного приема важно соблюдать условия стабильности несущей частоты, которые невозможно реализовать практически для геофизических работ.

Существуют системы, использующие для кодирования информации циклический избыточный код CRC. Достоверность передачи данных в этом способе передачи несколько выше, но системы с CRC не получили должного распространения из-за повышенной чувствительности к любым изменениям в передаваемых данных.

В действительности создание системы беспроводной связи для передачи телеметрической информации является сложной технической проблемой. Существуют многочисленные ограничения на диапазон длин волн, электропитание, размеры приемопередатчиков. Все это требует объединения усилий специалистов в разных предметных областях – радиоинженеров, связистов, специалистов по управлению и обработке сигнала.

Радиоимпульсный способ беспроводной связи. Этот способ обладает большой помехоустойчивостью и низким энергопотреблением. Техническая реализация радиоимпульсного способа связана с проектированием мощных

передатчиков, чувствительных приемников, способа модуляции и расшифровки информационного сигнала [1]. Сильное затухание было главным препятствием для разработки телекоммуникационных систем в прошлом, поскольку не существовало миниатюрных мощных передатчиков. В настоящее время разработаны мощные модули на диодах Ганна в диапазоне $1...15$ ГГц, которые позволяют вновь вернуться к вопросу о проектировании системы передачи данных на новой элементной и технологической базе. Принцип работы передающих модулей основан на ударном возбуждении диода Ганна на отрицательном участке вольт-амперной характеристики. В результате начинается генерация шума, преобразуемого в резонансной камере в сверхвысокочастотный радиоимпульс частоты и скважности, на которую рассчитаны резонансная камера, период и скважность запускающих импульсов. Радиоимпульс является наиболее подходящим для передачи телеметрической информации в неоднородной среде, так как целостность видеоимпульсного сигнала неизбежно будет нарушена в процессе передачи.

Структурная схема передающего модуля со схемой кодирования информационного сигнала приведена на рис. 1. Передаваемый код содержит четыре бита. К нему добавляются три дополнительных бита для коррекции ошибок. На практике требуются поиск и исправление однократной ошибки. Для обнаружения и исправления ошибки необходимо, чтобы она создала запрещенную комбинацию в одном разряде.

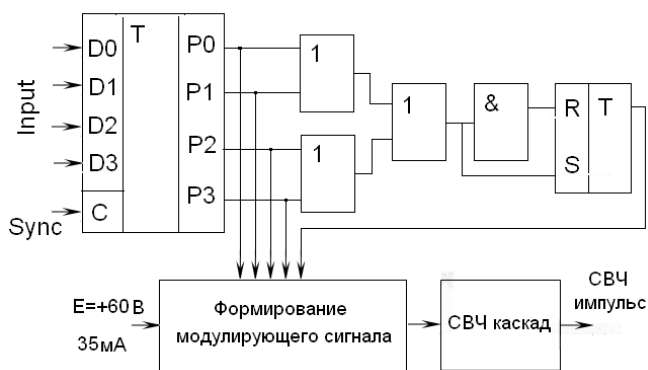


Рис. 1. Структурная схема передающего модуля

Для определения позиции, где произошла ошибка, воспользуемся кодом Хэмминга. В двоичной системе инверсия ошибочного разряда обеспечивает исправление ошибки. Кодирование основывается на проверке четности. Информационный поток делят на m групп. В каждой группе имеется контрольный разряд P четности. Контрольные разряды образуют m -значное число

$P_m P_{m-1} P_{m-2} \dots P_1$. Для определения P_1 участвуют разряды с единицей в младшем разряде: $P_1 = p_1 \otimes p_3 \otimes p_5 \otimes \dots$; для определения P_2 - разряды с единицей во втором разряде $P_2 = p_2 \otimes p_3 \otimes p_6 \otimes \dots$, это 010, 110, 111...; для определения P_3 - разряды с единицей в третьем разряде $P_3 = p_4 \otimes p_5 \otimes p_6 \otimes \dots$; для определения P_4 - разряды с единицей в четвертом разряде $P_4 = p_8 \otimes p_9 \otimes p_{10} \otimes \dots$. При декодировании восстанавливается m -разрядный код с номером ошибочной позиции. Дополнительно формируется бит проверки на четность, равный сумме по модулю два всех разрядов.

Код принимается приемником и проверяется на истинность. Приемник также формирует проверочный бит проверки на четность и сравнивает его с переданным. При соответствии сообщение считается истинным, и оно передается на устройство формирования кода исправления однократной ошибки (рис. 2). Устройство формирует три дополнительных бита для восстановления кода в случае однократной ошибки. Первый разряд C_1 формируется сложением по модулю два 1, 2 и 4 разрядов сообщения; второй C_2 - сложением 1, 3 и 4 разрядов; третий C_3 - сложением 2, 3 и 4 разрядов. Окончательный результат будет равен $P_1 = p_4 p_3 p_2 C_3 p_1 C_2 C_1$,

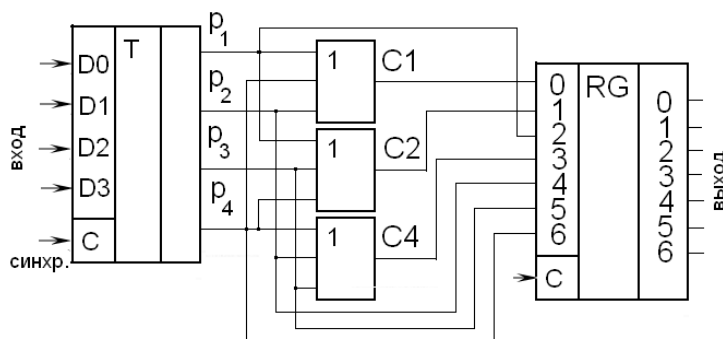


Рис. 2. Формирование помехоустойчивого кода

Декодер формирует свертки, указывающие на неверные разряды в сообщении. C_1 формируется сложением по модулю два 1, 3, 5 и 7 разрядов сообщения, C_2 - сложением 2, 3, 6 и 7 разрядов, C_3 - соответственно 4, 5, 6 и 7 разрядов. Таким образом, номер разряда с ошибкой равен $C_3 C_2 C_1$ (рис. 3).

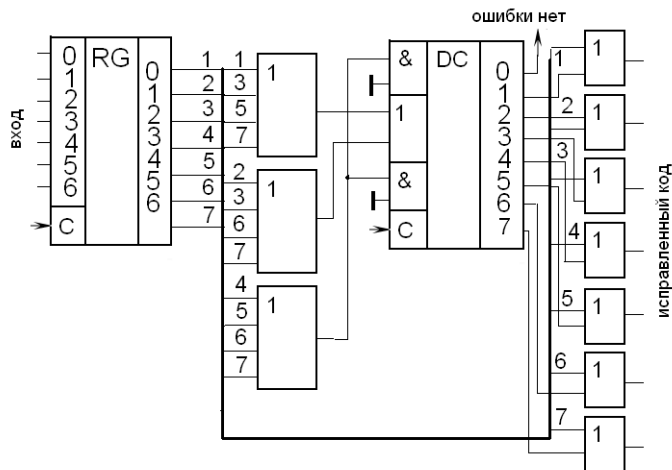


Рис. 3. Декодирование сообщения

Если все C_i равны нулю, ошибки нет. Если в сообщении есть однократная ошибка, декодер формирует логическую единицу в том разряде, который поступает на его вход в виде $C_3C_2C_1$. Этот разряд инвертируется, и ошибка будет исправлена.

Тем не менее, вопрос об оптимальном кодировании и приеме информации далек от своего решения. Авторы предлагают использовать сверхширокополосный приемник с полосой пропускания в несколько гигагерц с непосредственной цифровой обработкой принимаемого сигнала. И хотя полоса пропускания аналоговых приемников может быть потенциально выше, преобразование радиоимпульса в видеосигнал может быть связано с большой потерей информации. Кроме того, полностью аналоговый приемник потребует сложных цепей управления и стабилизации. Поэтому эта архитектура приемника сложна и негибка. По сравнению с аналоговым приемником, цифровой приемник более устойчив в работе. Оцифровка в самых первых каскадах тракта приема сохраняет всю информацию. В некотором смысле цифровой приемник приводит к лучшим результатам, чем аналоговый. Широкополосный цифровой приемник обычно содержит быстродействующий аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Частота дискретизации АЦП не очень критична для рассматриваемых приемников, поскольку скорость передачи телеметрических данных невысока.

Аналоговый сигнал в неоднородной среде претерпевает существенное изменение формы. Для простого когерентного приема необходимо сравнение принятого сигнала с образцовой выборкой, генерируемой передатчиком. Сравнение может быть сделано в компараторе, причем если в процессе приема

произошла однократная ошибка, ее можно обнаружить и исправить с помощью простейшего кода с исправлением ошибки.

Структурная схема широкополосного приемника приведена на рис. 4. Схема состоит из входного малошумящего усилителя (МШУ), компаратора, цифроаналогового преобразователя АЦП, линии задержки и программируемой логической схемы ПЛИС с выходом на универсальный последовательный интерфейс USB. Радиосигнал сначала усиливается МШУ, а затем сравнивается с выходным сигналом ЦАП. Результат сравнения оцифровывается в ПЛИС.

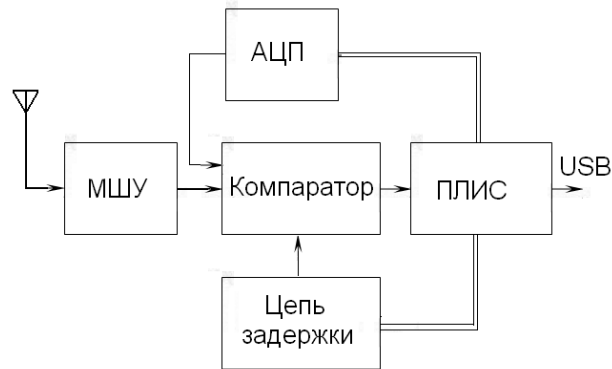


Рис. 4. Структурная схема приемника

Цепь регулируемой задержки позволяет учесть запаздывание информационного сигнала в среде. Компаратор является ключевым элементом приемника: он должен быть быстродействующим с малым временем установления импульса, широкополосным и иметь широкий динамический диапазон амплитуд входных сигналов. Характеристики немногих компараторов удовлетворяют этому требованию. АЦП же может быть практически любым с диапазоном квантования до $1 В$. Это вполне достаточно для создания $8...10$ уровней квантования сигнала около $0,1 В$ и работы ПЛИС. Кроме того, применяя цифровое усреднение сигнала, можно существенно уменьшить шумы квантования в ПЛИС.

Заключение. Рассмотрены структурные схемы приемника и передатчика телеметрической информации при геофизических исследованиях. Определены требования к структуре приемника. Рассмотрено устройство исправления однократных ошибок и кодирования информации в системе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Мирманов А.Б.** Разработка перспективной геофизической информационно-измерительной системы // Материалы 50-й Международной научной студенческой конференции "Студент и научно-технический прогресс": Физика твердого тела и электроника / Новосиб. гос. ун-т. - Новосибирск, 2012. - С. 85. - ISBN 978-5-4437-0045-8.
2. **Молчанов А.А., Абрамов Г.С.** Бескабельные измерительные системы для исследований нефтегазовых скважин (теория и практика). - М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2004.

Материал поступил в редакцию 07.02.2013.

Ա.Բ. ՄԻՐՄԱՆՈՎ, Օ.Վ. ՍՏՈՒԿԱՉ, Վ.Ա. ԿՈՉՈՒՄԵԵՎ

ԿԱՊԻ ԵՐԿՐԱՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԱԶԴԱՆՇԱՆԻ ՌԱԴԻՈԻՄՊՈՒՆԱՅԻՆ ՀԱՂՈՐԴՈՒՄԸ

Ներկայացված է երկրաֆիզիկական հետազոտությունների դեպքում ինֆորմացիայի լայնաշերտ իմպուլսային հաղորդման նոր տեխնոլոգիա: Տեղեկության հաղորդման և կապի եղանակների հիմնախնդրի վերլուծության հիման վրա առաջարկված են ինֆորմացիայի կոդավորման և հաղորդման արդյունավետության բարձրացման մեթոդներ՝ նոր կապի ռադիոիմպուլսային փողակի օգտագործման դեպքում: Որոշված են ընդունող-հաղորդող համակարգին ներկայացվող պահանջները:

Առանցքային բաներ. կոդավորում, հորատանցք, կապի ռադիոիմպուլսային փողակ, լայնաշերտ ընդունիչ:

A.B. MIRMANOV, O.V. STUKACH, V.A. KOCHUMEEV

RADIOPULSE TRANSFER OF GEOPHYSICAL COMMUNICATION SYSTEM SIGNAL

A new technology of the wideband pulse transfer of information at geophysical researches is presented. Methods for increasing the efficiency of coding and transfer of information are proposed in case of at using a new radio pulse communication channel based on analysis of information transfer problem and communication means. Requirements to the transmitter-receiver system are defined.

Keywords: coding, borehole, radio pulse communication channel, wideband receiver.