

Прямохаотическая относительная передача данных в реальном канале связи

А.С. Дмитриев, Т.И. Мохсени, М.М. Петросян

*Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН
125009, г. Москва, ул. Моховая, д. 11, корп. 7
E-mail: mokhseni@gmail.com*

Представлены результаты экспериментов по передаче и приему данных в реальном канале связи при помощи предложенной авторами в предшествующих работах прямохаотической схемы относительной передачи. На основе результатов проведенного ранее схемотехнического моделирования были подобраны параметры элементов макета экспериментальной установки схемы. Макет схемы функционировал по принципу точка-точка. В эксперименте осуществлялась передача двоичных бит.

Ключевые слова: относительная передача, хаотический импульс, система связи

Direct chaotic differentially coherent data transmission in real communication channel

A.S. Dmitriev, T.I. Mokhseni, M.M. Petrosyan

Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics of RAS.

The document represents the results of experiments on the transmission and reception of data in real communication channel using Direct Chaotic Differentially Coherent scheme (DC²) proposed by the authors in previous works. Based on the results of circuit simulation, that was carried out earlier, the parameters of the layout elements of circuit's experimental setup were selected. The circuit layout functioned on a point-to-point basis. In the experiment, binary bits were transmitted.

Keywords: differentially coherent transmission, chaotic pulse, communication system

Введение

Относительные методы передачи информации с широкополосными аналоговыми шумовыми (шумоподобными) сигналами исследуются, начиная с 50-х годов 20 века [1-3]. Однако долгое время развитию этих методов препятствовали сложности, связанные с формированием самих аналоговых шумовых сигналов. Ситуация стала меняться с появлением и разработкой принципов формирования шумоподобных сигналов радио и СВЧ диапазона на основе динамического хаоса.

В [4-6] была предложена прямохаотическая схема относительной передачи информации. Было проведено математическое моделирование, а также приведены аналитические оценки помехоустойчивости предложенной схемы. Затем на основе полученных результатов в [7] было проведено схемотехническое моделирование схемы относительной передачи. В процессе схемотехнического моделирования были подобраны параметры реальных элементов предложенной схемы относительной передачи. По результатам схемотехнического моделирования было принято решение собрать макет и провести эксперименты по передаче информации в реальном канале связи. Цель данной работы заключается в установлении возможности передачи информации через физический канал связи предложенным и промоделированным методом.

Постановка задачи: осуществление проверки работоспособности прямохаотической схемы относительной передачи данных DC² (Direct Chaotic Differentially Coherent

scheme). Работа схемы DC² заключается в передаче и приеме потока информационных символов «1» и «0» путем модуляции потока хаотических импульсов сигнала источника. Для демонстрации работоспособности схемы DC² были разработаны и собраны экспериментальные макеты передатчика и приемника, и осуществлена цифровая передача информации между ними.

1 Прямохаотическая схема относительной передачи

Передатчик

Передатчик схемы DC² (выделено синим пунктиром слева на рис. 1) состоит из: генератора хаотического сигнала (Источник хаоса), МК, ПЛИС, делителя по мощности пополам (Д1), модулятора (М), временной задержки (З), а также сумматора (С).

Источник генерирует хаотический сигнал. К источнику подключен ПЛИС, управляющий его питанием. ПЛИС включает источник хаоса на время, равное длительности импульса t_n , а затем выключает на время, равное $2t_n$. Таким образом, на выход источника поступает поток хаотических импульсов со скважностью 3. Затем поток импульсов источника попадает на Д1. Сигнал с верхнего выхода Д1 (рис. 1) попадает на М, а сигнал с нижнего попадает на блок З, где осуществляется его задержка на время τ , большее или равное времени автокорреляции сигнала источника.

Схема М (рис. 2) состоит из двухпозиционного ключа (К), сумматора (С0), а также инвертера (И). Входной информационный сигнал поступает на МК, который подключен к ПЛИС, управляющему потоком импульсов, а также подключенному к информационному входу К (инфо вход на рис. 2). МК через SPI интерфейс передает поток входящих символов на ПЛИС. В зависимости от значения информационного символа («1» или «0») из входного потока и в соответствии со временем прихода импульсов на вход К, ПЛИС подает различное напряжение на инфо вход К. В свою очередь в зависимости от уровня напряжения на инфо входе К, он находится либо в верхнем, либо в нижнем положении. В верхнем положении К пропускает сигнал (импульс) через тракт 1, а тракт 2 разомкнут (рис. 2). Соответственно в нижнем положении К пропускает сигнал через тракт 2, а тракт 1 разомкнут (рис. 2). Когда К находится в верхнем положении, импульс проходит через тракт 1 без изменений и поступает на выход М. Это соответствует передаче «1». Когда К находится в нижнем положении, импульс поступает на блок И, где осуществляется его инвертирование. Затем с выхода И сигнал поступает на выход М. Это соответствует передаче «0». С0 на выходе М выполняет роль формирователя выходного потока модулятора (рис. 2). С выхода М сигнал поступает на верхний вход С (рис. 1). Сигнал с выхода З поступает на нижний вход С. Затем сигналы с выхода М и выхода З суммируются и излучаются в канал.

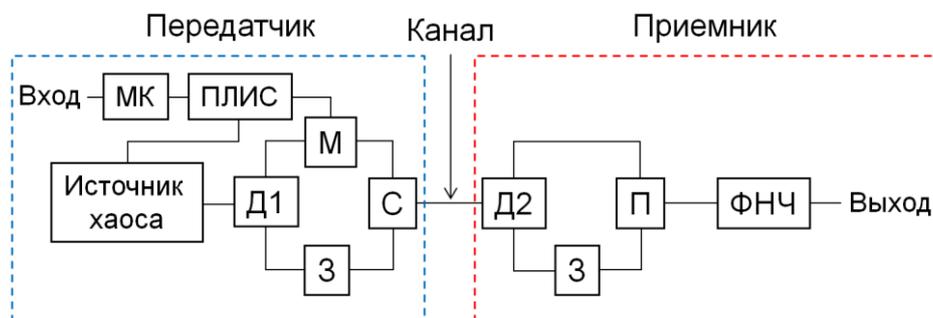


Рис. 1. Прямохаотическая схема относительной передачи.

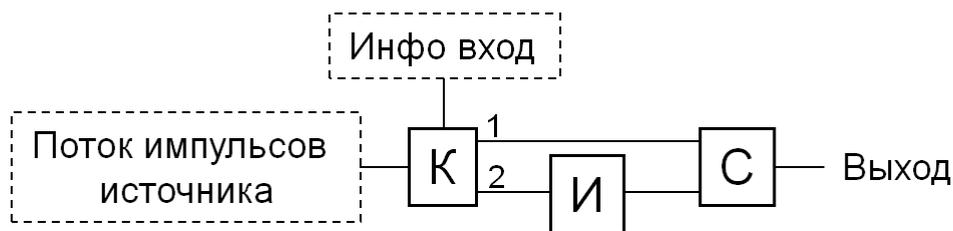


Рис. 2. Модулятор прямохаотической схемы относительной передачи.

Приемник

Приемник схемы DC² (выделено красным пунктиром справа на рис. 1) состоит из: делителя по мощности пополам (Д2), временной задержки (З), перемножителя (П), а также фильтра нижних частот (ФНЧ).

Поток импульсов из канала поступает на Д2. Сигнал с верхнего выхода Д2 без изменений поступает на верхний вход П (рис. 1). Сигнал с нижнего выхода Д2 поступает на вход З, где осуществляется его задержка на время, большее или равное времени автокорреляции сигнала источника τ (идентично З в передатчике). Сигнал с выхода З поступает на нижний вход П (рис. 1). Затем сигналы с верхнего выхода Д2 и выхода З перемножаются. Результат перемножения поступает на вход ФНЧ, выполняющего роль интегратора. Сигнал с выхода ФНЧ сравнивается с нулевым уровнем. Если сигнал на выходе ФНЧ превышает нулевой порог, то детектируется «1». Если же выходной сигнал ниже нулевого порога, то детектируется «0».

Если не учитывать шум в канале связи и остальные внешние искажения, то сигнал на выходе ФНЧ в схеме эксперимента будет выглядеть следующим образом:

$$X_{out}(t) = \frac{1}{16}(\alpha(t)S^2(t-\tau) + S(t-\tau)S(t-2\tau) + S(t)S(t-\tau) + \alpha(t)S(t)S(t-2\tau)), \quad (1)$$

где $S(t)$ – поток импульсов источника, $\alpha(t)$ – поток информационных символов («1» и «0»), τ – время, большее или равное времени автокорреляции сигнала источника. Так как τ – это время, большее или равное времени автокорреляции сигнала источника, то в выражении (1) значение левого слагаемого $\alpha(t)S^2(t-\tau)$ на порядок превышает значения остальных 3: $S(t)S(t-\tau)$, $\alpha(t)S(t)S(t-2\tau)$ и $S(t-\tau)S(t-2\tau)$. Слагаемые $S(t)S(t-\tau)$, $\alpha(t)S(t)S(t-2\tau)$ и $S(t-\tau)S(t-2\tau)$ представляют собой некоторый внутренний шум в системе. Таким образом, значение $X_{out}(t)$ будет всегда иметь знак $\alpha(t)S^2(t-\tau)$, то есть знак $\alpha(t)$. Выставление нулевого порога на выходе фильтра позволяет детектировать поток принятых символов.

2 Экспериментальный макет

Макет передатчика

Генератор (источник) порождал непрерывный хаотический сигнал с полосой частот спектра от 200 до 500 МГц (рис. 3). ПЛИС включал генератор на время $t_n = 2$ мкс, а затем выключал на $t_3 = 4$ мкс. Поток импульсов длительностью 2 мкс и скважностью 3 поступал через sma-разъем на вход Д1. С одного из выходов Д1 (верхний на рис.1) поток импульсов передавался на вход двухпозиционного К (вход М). Одновременно с этим на вход МК поступал входной информационный поток двоичных символов. По SPI интерфейсу этот поток передавался на ПЛИС, выполнявший роль формирователя потока импульсов источника. В момент включения генератора источника ПЛИС подавал напряжение 3 В или 0 В в зависимости от передаваемого в текущий момент информационного символа. Если напряжение на входе К составляло 3 В, то К передавал импульс через тракт 1 (рис. 2) без изменений. При этом тракт 2 был разомкнут. Это соответствовало передаче «1». Если напряжение на входе К составляло 0 В, то К передавал импульс через тракт 2 (тракт 1 разомкнут) на вход И, роль которого

выполнял коаксиальный кабель. В качестве инвертирующего блока была использована задержка на время спада автокорреляционной функции источника до минимума (рис. 4). Минимум автокорреляционной функции хаотических импульсов источника противоположен по знаку максимуму, а по абсолютному значению меньше максимума на 20-30% (рис. 4). Таким образом, сравнение с нулевым порогом значений максимума и минимума автокорреляционной функции будет всегда давать противоположный результат, что соответствует критерию детектирования информационных символов на приемнике схемы DC².

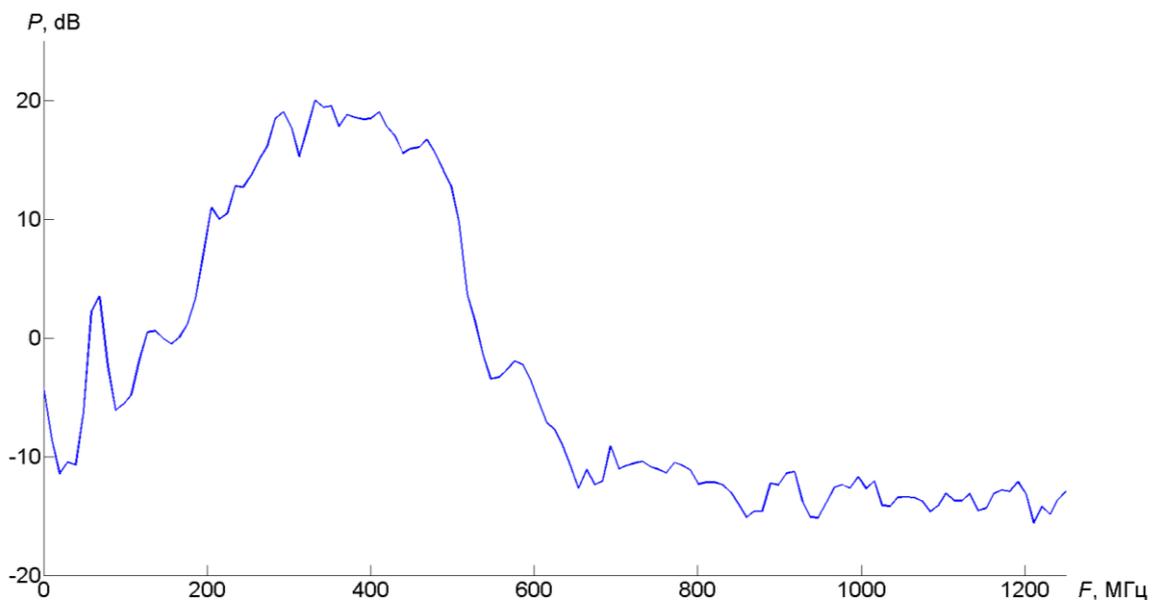


Рис. 3. Спектр мощности импульсов источника.

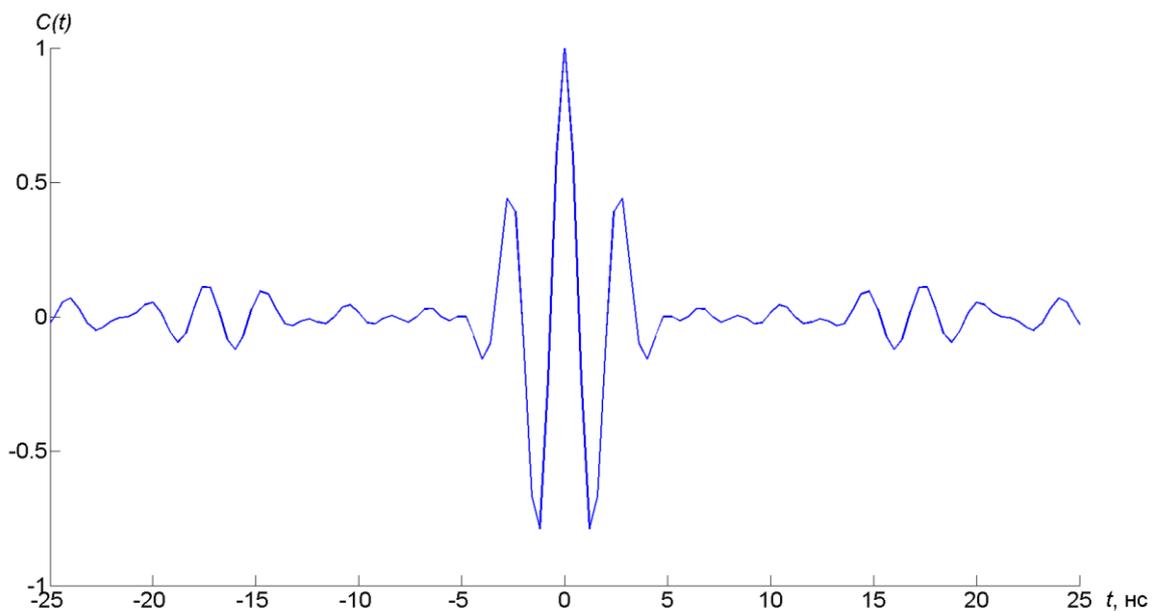


Рис. 4. Автокорреляционная функция импульсов источника.

Согласно графику на рисунке 4 минимум автокорреляционной функции находится на расстоянии приблизительно 1 нс. Это соответствует длине тракта порядка 0.3 метра.

Скорость распространения сигнала в кабеле составляет примерно 70% ($N_{\text{всп}} = 0.7$) от скорости света в вакууме. В качестве инвертирующей задержки был взят кабель длиной 23 см. С учетом параметров кабеля это соответствует длительности задержки $\tau_{\text{инв}} = L/(N_{\text{всп}} * C) = 0.23/(0.7 * 3 * 10^8) \approx 1.1$ нс, что в свою очередь вполне соответствует расстоянию от максимума до минимума автокорреляционной функции импульсов источника из графика на рисунке 4. С выхода И «инвертированный» импульс поступал на выход М. Это соответствовало передаче «0». С выхода М сигнал передавался на один из входов С (верхний на рис. 1). Сигнал со второго выхода Д1 (нижний на рис.1) поступал на вход З, роль которой выполнял метровый коаксиальный кабель. В эксперименте был использован коаксиальный кабель с рабочей полосой частот до 1 ГГц. На рисунке 4 представлена автокорреляционная функция импульсов источника. Из графика видно, что за 4-5 нс автокорреляционная функция спадает примерно на порядок относительно максимума. В качестве задержки был использован кабель длиной 1 м ($N_{\text{всп}} = 0.7$). С учетом этого параметра длительность блока задержки составляет $\tau = L/(N_{\text{всп}} * C) = 1/(0.7 * 3 * 10^8) \approx 4.8$ нс, что вполне соответствует времени автокорреляции импульсов источника. После прохождения задержки сигнал передавался на второй вход С (нижний на рис. 1). После суммирования сигналов с выхода З и выхода М сигнал подавался в кабель, выполнявший роль канала связи, через sma-разъем. Длина кабеля, выполнявшего роль канала, составляла 25 см.

Макет приемника

Сигнал из канала, в качестве которого выступал коаксиальный кабель поступал на Д2. Сигнал с одного из выходов Д2 без изменений подавался на один из входов П. Сигнал с другого выхода Д2 поступал на З (аналогично З в передатчике: коаксиальный кабель длиной 1 м), а затем после задержки на время, большее или равное времени автокорреляции импульсов источника, поступал на второй из входов П. После перемножения результирующий сигнал передавался на осциллограф, откуда его данные сохранялись в цифровом виде (csv-файл). Частота дискретизации осциллографа составляла 1,25 ГГц. Затем в среде Matlab данные с осциллографа прогонялись через цифровой ФНЧ, с пропускной полосой до $F = 1/t_{\text{и}} \approx 0.5$ МГц. Детектирование выходной информационной последовательности производилось путем сравнения сигнала на выходе ФНЧ с нулевым порогом.

3 Результаты эксперимента

Система работала в непрерывном режиме передавая импульсы длиной 2 мкс и скважностью 3 (скорость передачи порядка 167 Кбит). На рисунке 5а изображен фрагмент из 10 импульсов источника из потока. На рисунке 5б изображены 10 импульсов из потока на выходе С передатчика. На рисунке 5в изображены 10 импульсов из потока с выхода П. На рисунке 5г изображены импульсы с рисунка 5в после прохождения через ФНЧ. Из рисунка видно, что путем сравнения с нулевым порогом из этих 10 импульсов может быть продетектирована последовательность символов 1000101100 (положительные и отрицательные огибающие импульсов на рис. 5г).

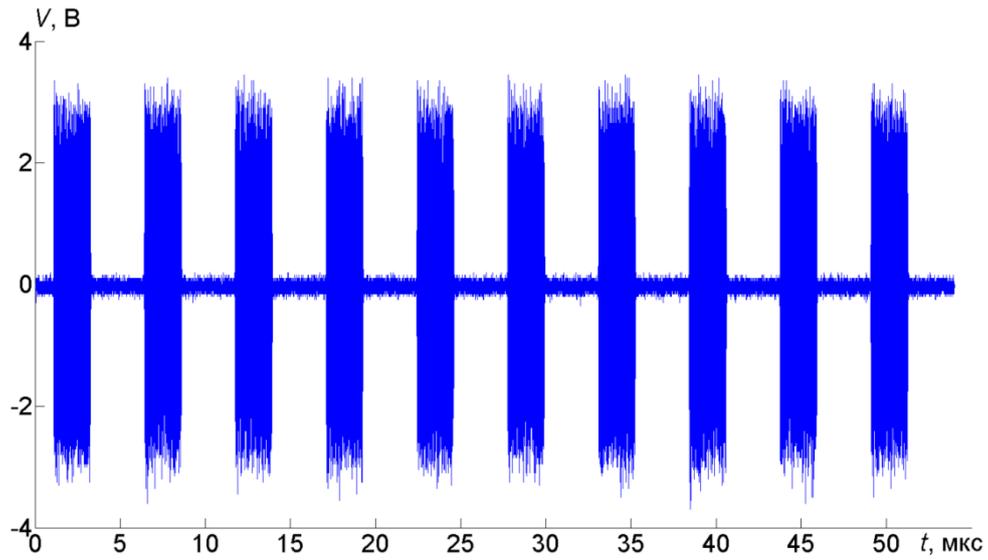


Рис. 5а. 10 импульсов на выходе генератора источника.

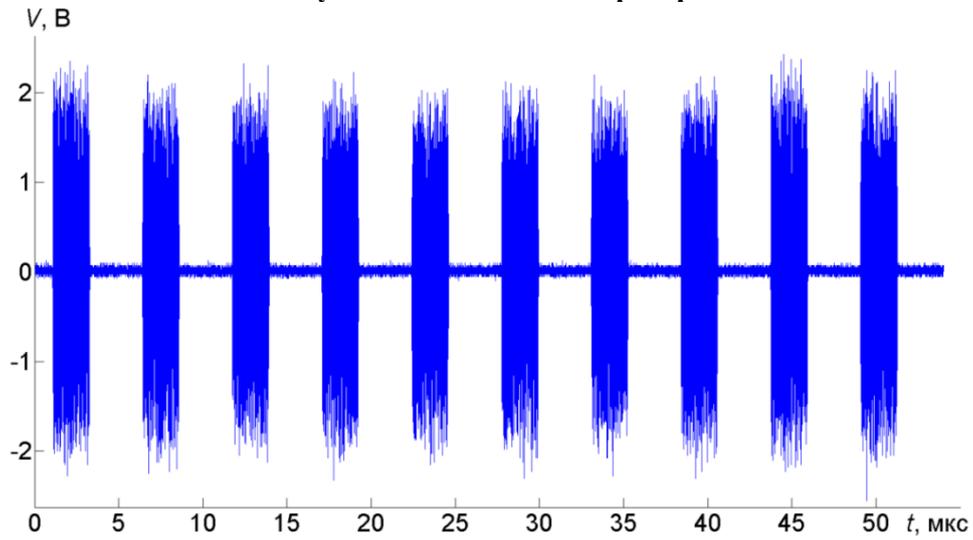


Рис. 5б. 10 импульсов на выходе сумматора передатчика.

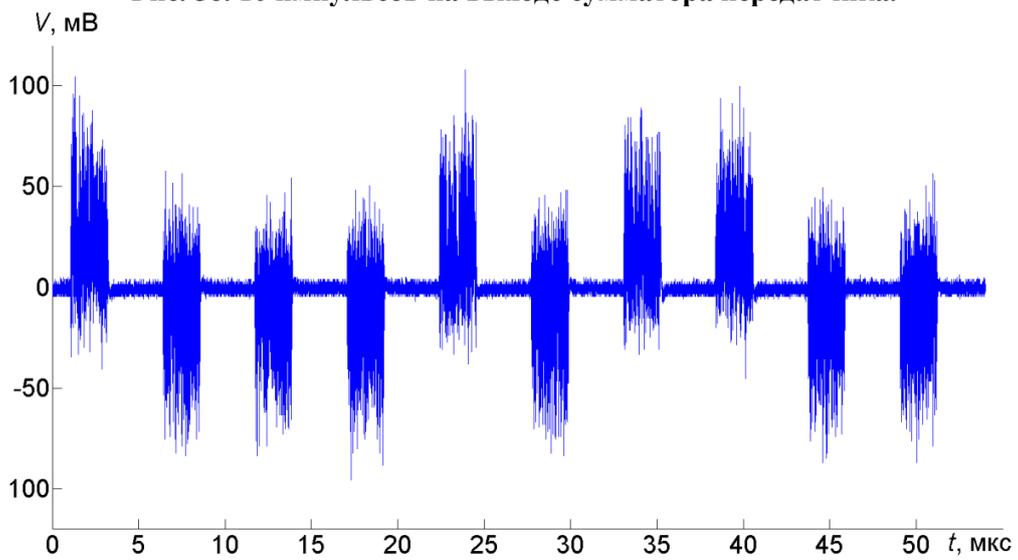


Рис. 5в. 10 импульсов на выходе перемножителя приемника.

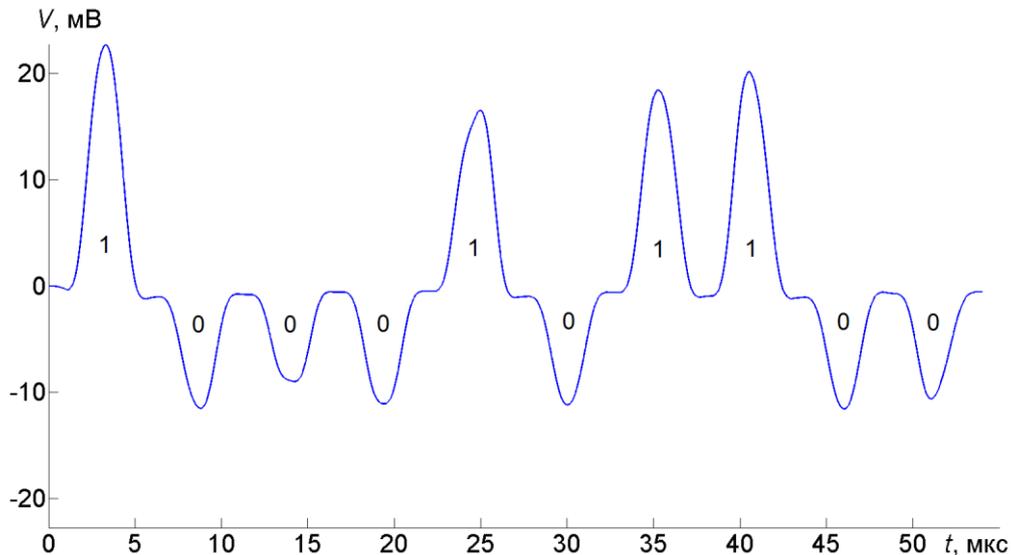


Рис. 5г. 10 импульсов с выхода умножителя, пропущенные через ФНЧ (информационная последовательность 1000101100).

Выводы

В работе экспериментально осуществлена передача двоичной информации в прямохаотической схеме относительной передачи DC^2 . Для этого был разработан и собран макет схемы, состоявший из приемника, передатчика и канала связи между ними и канала связи между ними в виде фрагмента высокочастотного кабеля. Макет функционировал в режиме непрерывной передачи потока информации. Передаваемые в эксперименте данные были успешно получены на приемнике. Полученные результаты соответствуют результатам полученным при компьютерном моделировании [7].

Литература

1. Петрович Н.Т., Размахнин М.К. Системы связи с шумоподобными сигналами – М.: Советское радио, 1969. 232 с.
2. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами – М.: Радио и связь, 1985. 384 с.
3. Петрович Н.Т. Относительные методы передачи информации – М.: Книга-М, 2003. 111 с.
4. Дмитриев А.С., Мохсени Т.И., Сьерра-Теран К.М. Относительная передача информации на основе хаотических радиоимпульсов //Радиотехника и Электроника, 2018, том 63, № 10, с. 1-9.
5. Дмитриев А.С., Мохсени Т.И., Сьерра-Теран К.М. Сверх- и гиперширокополосная относительная передача информации на основе хаотических радиоимпульсов //Прикладная нелинейная динамика, 2018, том 26, № 4, с. 59-74.
6. Dmitriev A.S., Mokhseni T.I., Sierra-Teran K.M. (2018) Differentially coherent communication scheme based on chaotic radio pulses, *Nonlinear phenomena in complex systems*, Vol. 21, No. 3, pp. 237-246.
7. Дмитриев А.С., Мохсени Т.И., Сьерра-Теран К.М. Моделирование системы относительной передачи информации на основе хаотических радиоимпульсов в среде ADS //Прикладная нелинейная динамика, 2019, том 27, № 5, с. 72-86.