

Сигналы с двоичной фазовой манипуляцией (BPSK)

Содержание

[Введение](#)

[Сигналы с двоичной фазовой манипуляцией](#)

[Спектр и векторная диаграмма BPSK сигнала](#)

[Относительная \(дифференциальная\) двоичная фазовая манипуляция \(DBPSK\)](#)

[Выводы](#)

[Список литературы](#)

Обнаружили ошибку? Выделите ее мышью и нажмите  + 

Введение

Ранее мы рассматривали сигналы с [частотной манипуляцией FSK](#) и ее разновидности [CPFSK](#), [MSK](#) и [GMSK](#). Мы говорили о том, что эти сигналы получаются как частный случай частотной модуляции при цифровом модулирующем сигнале в виде последовательности импульсов, соответствующих нулям и единицам бинарного потока. Поскольку импульсы модулирующего сигнала меняют знак при смене информационного бита, то мы получали частотную манипуляцию.

Проводя аналогию, мы можем рассмотреть сигналы с фазовой манипуляцией (phase shift key PSK), если подадим в качестве модулирующего сигнала на [фазовый модулятор](#) цифровой сигнал. В данной статье речь пойдет о двоичной фазовой манипуляции (binary phase shift key BPSK). Данный вид модуляции нашел очень широкое применение ввиду высокой помехоустойчивости и простоты модулятора и демодулятора. В отечественной литературе BPSK модуляцию обозначают как ФМн-2.

Сигналы с двоичной фазовой манипуляцией

Рассмотрим сигнал $b(t)$ в виде последовательности импульсов цифровой информации, как это показано на рисунке 1.

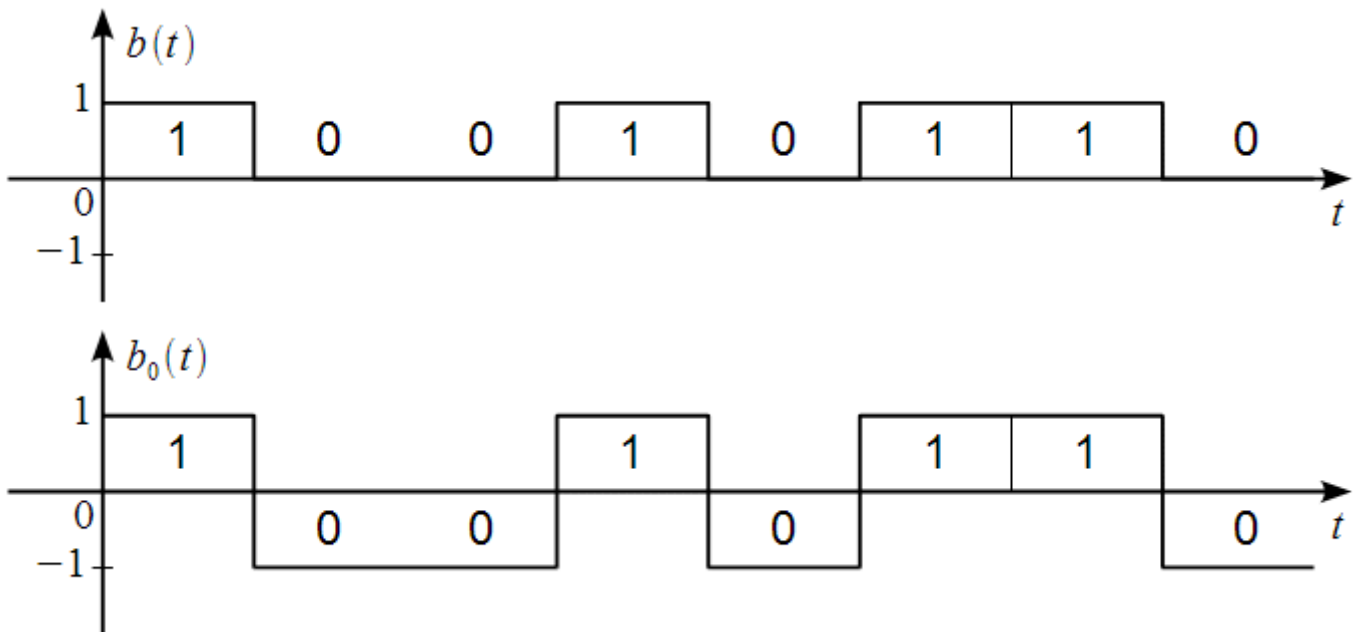


Рисунок 1: Униполярный и биполярный цифровой сигнал

На верхнем графике показан униполярный цифровой сигнал, в котором информационному логическому нулю соответствует $b(t) = 0$, а на нижнем графике биполярный цифровой сигнал $b_0(t)$, в котором информационному логическому нулю соответствует $b_0(t) = -1$.

Подадим цифровой сигнал в качестве модулирующего сигнала $b(t) = s_m(t)$ на фазовый модулятор, как это показано на рисунке 2 с девиацией фазы равной π рад.

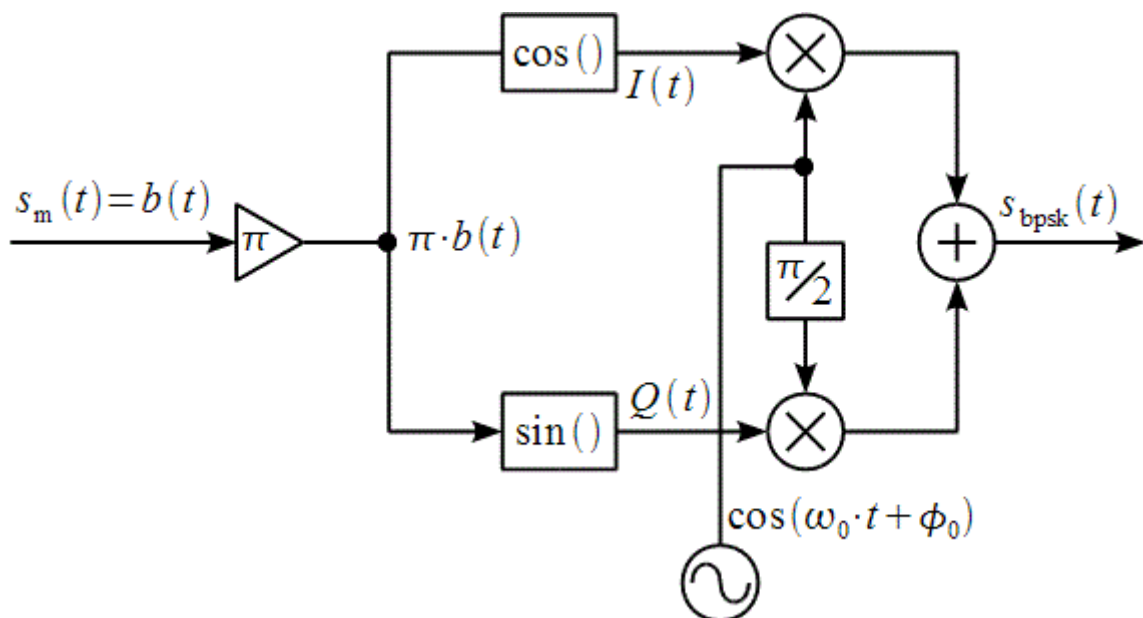


Рисунок 2: Формирование BPSK сигнала на основе фазового модулятора

Поскольку $b_0(t)$ принимает только значения равные 0 и 1, то синфазная $I(t)$ и квадратурная $Q(t)$ компоненты комплексной огибающей $z(t)=I(t)+j\cdot Q(t)$ BPSK сигнала равны:

$$\begin{aligned} I(t) &= \cos(\pi \cdot b(t)) = \mp 1 = b_0(t); \\ Q(t) &= \sin(\pi \cdot b(t)) = 0. \end{aligned} \tag{1}$$

Тогда BPSK сигнал можно записать:

$$\begin{aligned} s_{\text{bpsk}}(t) &= I(t) \cdot \cos(\omega_0 \cdot t + \phi_0) - Q(t) \cdot \sin(\omega_0 \cdot t + \phi_0) = \dots \\ &\dots = b_0(t) \cdot \cos(\omega_0 \cdot t + \phi_0), \end{aligned} \tag{2}$$

а структурную схему модулятора можно упростить, как это показано на рисунке 3.

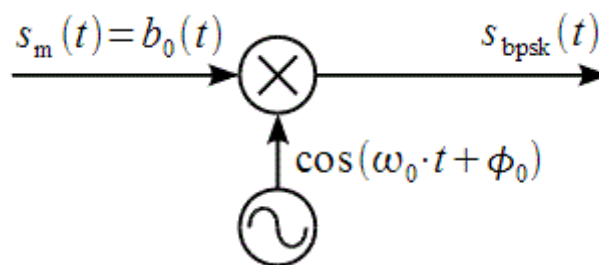


Рисунок 3: Упрощенная структурная схема BPSK модулятора

Внимательный читатель заметит, что эта схема точь в точь совпадает с рассмотренной ранее схемой **АМ с подавлением несущей (DSB)**, при модулирующем сигнале $s_m(t) = b_0(t)$. Поясняющие графики формирователя BPSK показаны на рисунке 4.

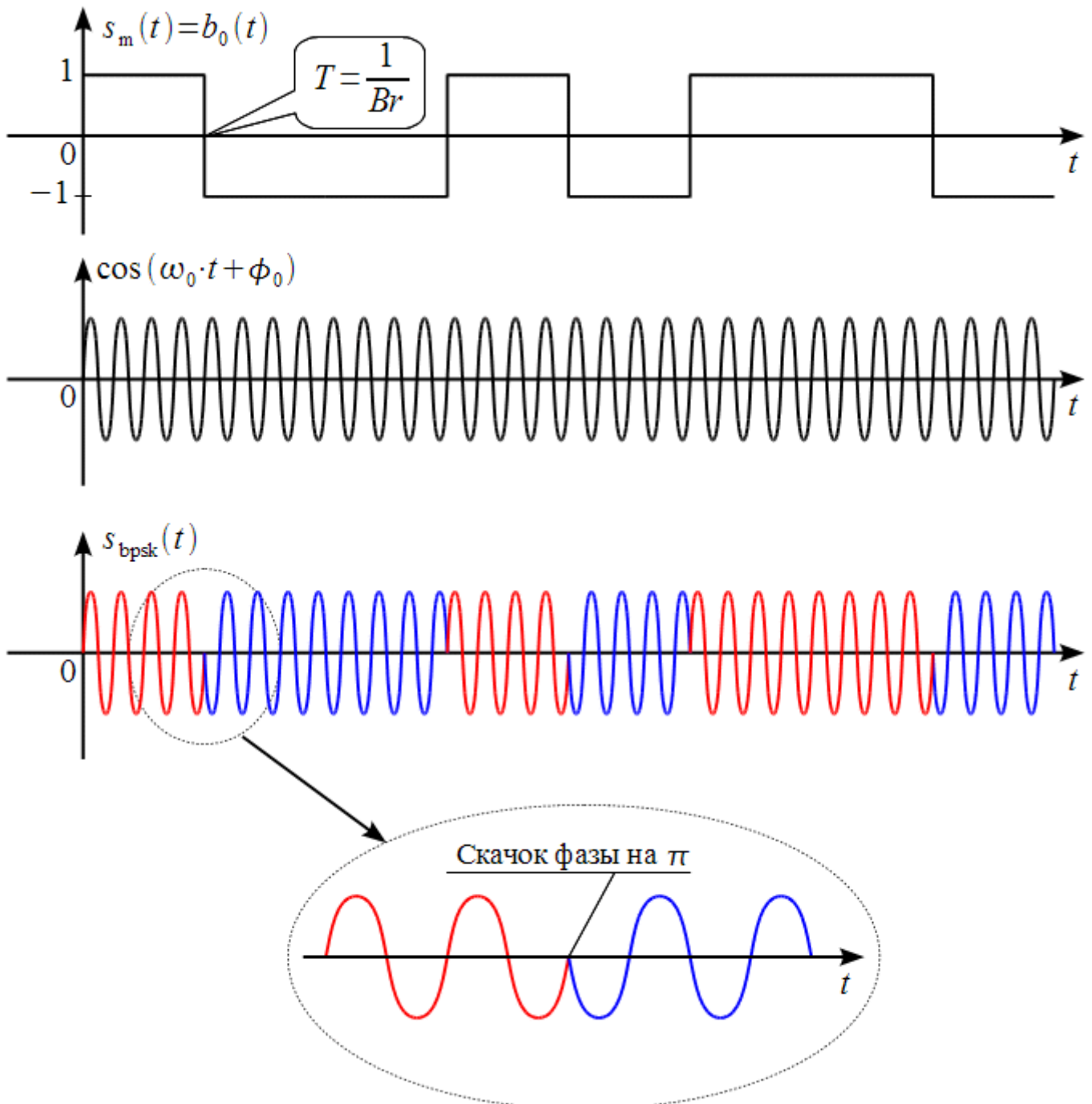


Рисунок 4: Поясняющие графики BPSK модулятора

Информация передается со скоростью Br бит/с, длительность одного импульса цифровой информации равна $T = 1/Br$. Исходный модулирующий сигнал $s_m(t) = b_0(t)$ умножается на несущее колебание ($\cos(\omega_0 \cdot t + \phi_0)$ на рисунке $\phi_0 = -\pi/2$) и получаем фазоманипулированный сигнал со скачком фазы на π рад. Такой же скачок фазы мы наблюдали при формировании DSB сигнала. Таким образом BPSK модуляция – вырожденный тип фазовой манипуляции, который совпадает с балансной амплитудной модуляцией при биполярном цифровом модулирующем сигнале.

Спектр и векторная диаграмма BPSK сигнала

Поскольку BPSK сигнал можно представить как DSB сигнал, то его спектр представляет собой перенесенный на несущую частоту спектр цифрового биполярного модулирующего сигнала $b_0(t)$. На рисунке 5 показан спектр BPSK сигнала при скорости передачи информации $Br = 20$ кбит/с и несущей частоте $f_0 = 250$ кГц. Из рисунка 5 отчетливо видно, что спектр BPSK сигнала имеет основной лепесток и медленно убывающие боковые лепестки. На рисунке 6 показаны основные соотношения спектра BPSK и параметров исходного модулирующего сигнала.

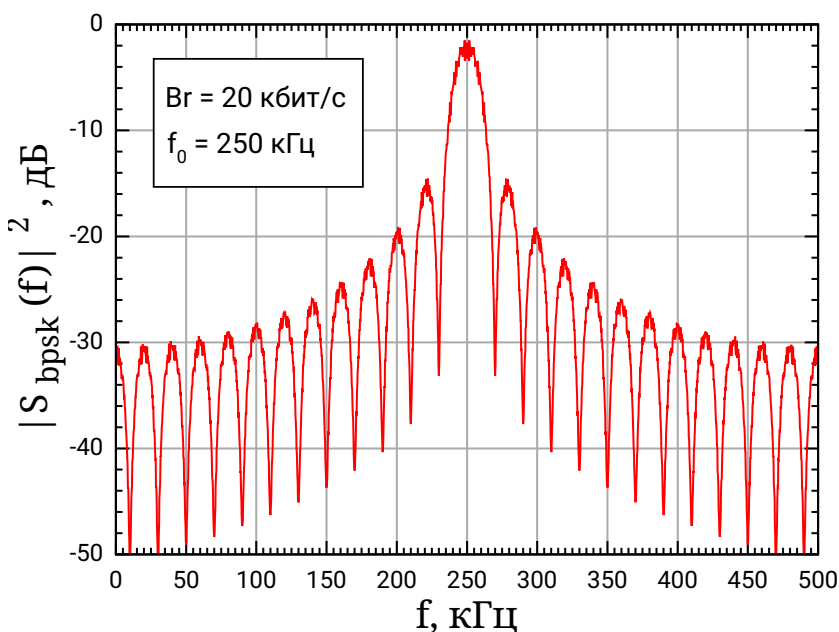


Рисунок 5: Спектр BPSK сигнала

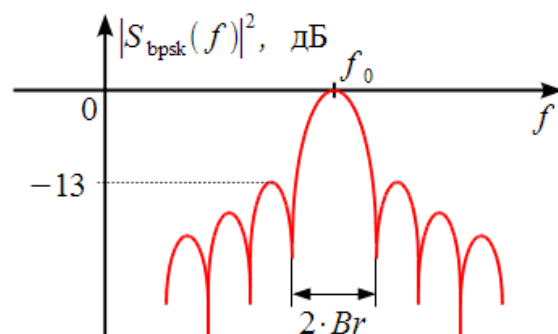


Рисунок 6: Спектральные соотношения параметров BPSK сигнала

Так основной лепесток спектра BPSK имеет ширину равную удвоенной скорости передачи информации $2Br$, симметричен относительно несущей частоты f_0 . Уровень максимального (первого) бокового лепестка спектра равен -13 дБ. Также можно сказать о том, что ширина боковых лепестков равна Br .

Рассмотрим векторную диаграмму BPSK сигнала. Согласно выражению (1) синфазная компонента $I(t)$ комплексной огибающей BPSK сигнала $z(t) = I(t) + j \cdot Q(t)$ равна $b_0(t)$, а квадратурная компонента $Q(t) = 0$. При этом $b_0(t)$ принимает значения ± 1 , тогда векторная диаграмма BPSK сигнала показана на рисунке 7.

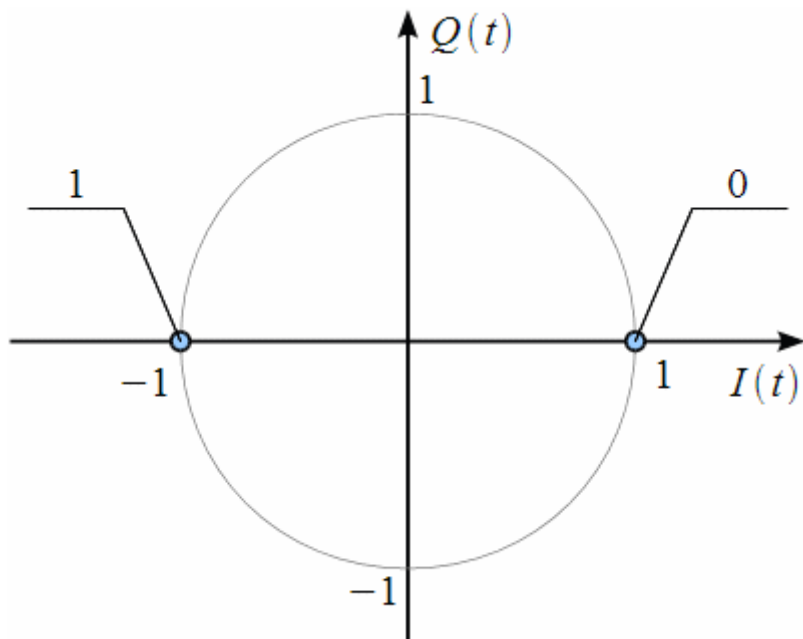


Рисунок 7: Векторная диаграмма BPSK сигнала

Вектор комплексной огибающей может принимать одно из двух значений $I(t) = 1$ (при передаче информационного нуля) и $I(t) = -1$ при передаче информационной единицы.

Относительная (дифференциальная) двоичная фазовая манипуляция (DBPSK)

При передаче информации с использованием BPSK требуется применять следящие системы для демодуляции сигнала. При этом часто применяют некогерентные устройства приема, которые не согласованы по фазе с задающим генератором на передающей стороне, и соответственно не могут отследить случайный поворот фазы в результате распространения, выходящий за интервал $\pm \pi/2$. Например рассмотрим рисунок 8.

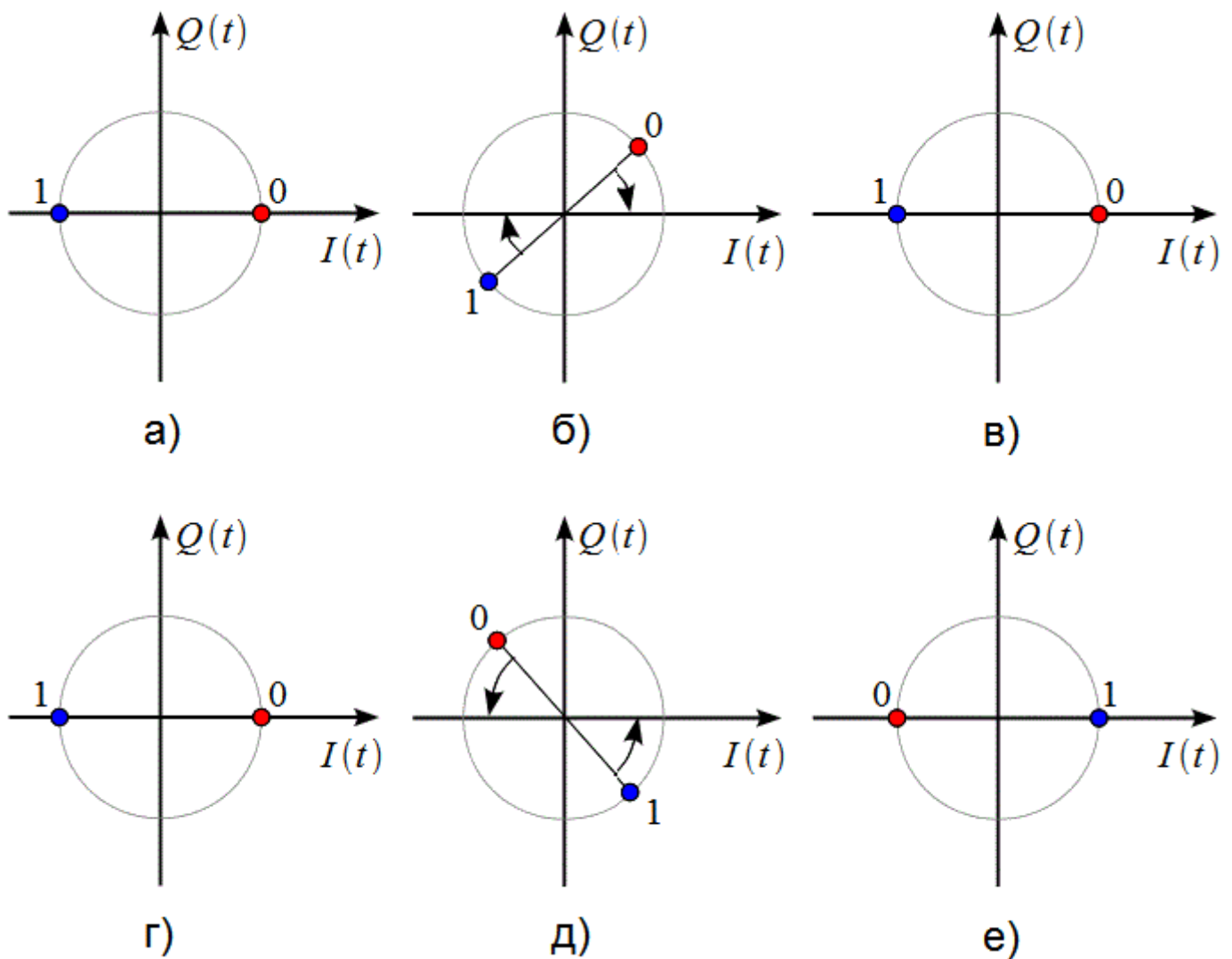


Рисунок 8: Пояснения к некогерентному приему BPSK

Исходная векторная диаграмма BPSK (в случае с PSK сигналами векторную диаграмму часто называют созвездие) показана на рисунке 8а и 8г. Красным обозначено значение соответствующее информационному нулю, а синим единице. В результате распространения сигнал приобретет случайную начальную фазу и созвездие повернется на некоторый угол. На рисунке 8б показан случай когда поворот созвездия лежит в пределах от $-\pi/2$ до $\pi/2$ рад. В этом случае при некогерентном приеме все созвездие будет повернуто как это показано стрелочками на рисунке 8б. Тогда после поворота созвездие займет исходное положение и информация будет демодулирована верно. На рисунке 8д показан случай когда поворот созвездия лежит в пределах от $\pi/2$ до $3\pi/2$ рад. В этом случае, при приеме созвездие также будет повернуто для горизонтального расположения, но как следует из рисунка 8е информационные нули и единицы будут перепутаны.

Для того чтобы устранить перепутывание информационных символов, используют относительную манипуляцию или как ее еще называют дифференциальную BPSK (DBPSK). Суть относительной манипуляции заключается в том, что кодируется не сам бит информации, а его изменение. Структура системы передачи данных с использованием DBPSK показана на рисунке 9.

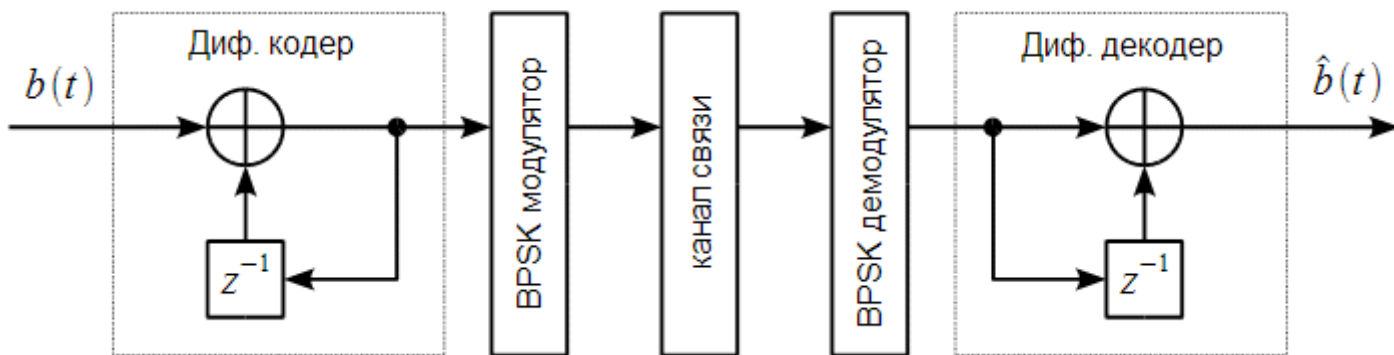


Рисунок 9: Структура системы передачи данных с использованием DBPSK

Исходный битовый поток $b(t)$ проходит дифференциальное кодирование, после чего модулируется BPSK и на приемной стороне демодулируется некогерентным BPSK демодулятором. Демодулированный поток проходит дифференциальный декодер и получаем принятый поток $\hat{b}(t)$.

Рассмотрим дифференциальный кодер, показанный на рисунке 10.

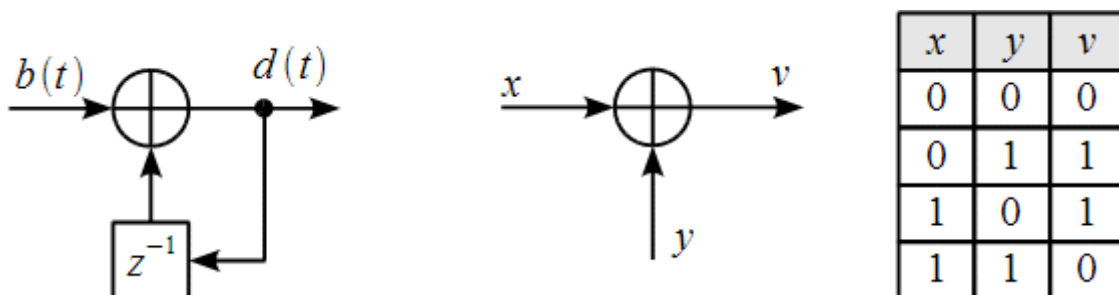


Рисунок 10: Дифференциальный кодер

Суммирование производится по модулю два, что соответствует логическому XOR (исключающее ИЛИ). Обозначение z^{-1} означает задержку на один бит информации.

Пример дифференциального кодирования битового потока приведен на рисунке 11.

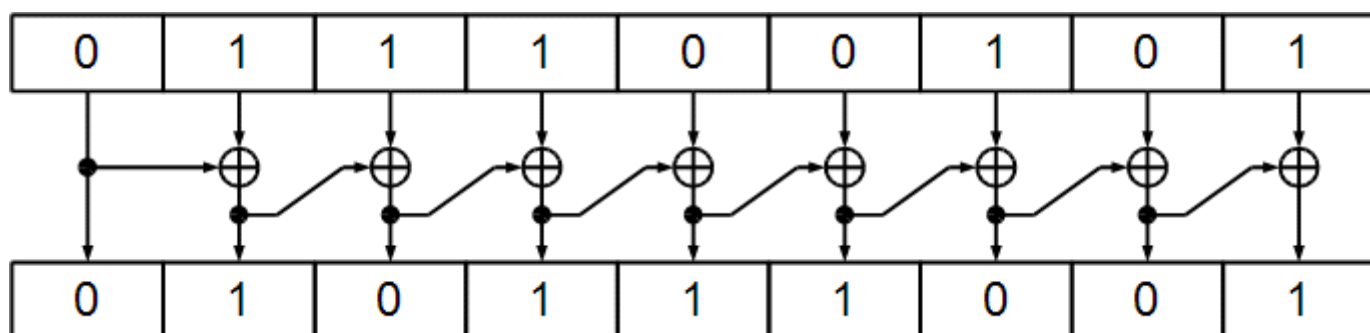


Рисунок 11: Пример дифференциального кодирования битового потока

Исходный битовый поток равен 011100101, на выходе дифференциального кодера мы получили 010111001. Первый бит (в приведенном примере первый 0 не кодируется), затем первый происходит сложение по модулю два предыдущего бита на выходе кодера и текущего бита на входе. Для дифференциального декодирования необходимо сделать обратную процедуру согласно схемы показанной на рисунке 12 (структура дифференциального декодера показана на рисунке 9).

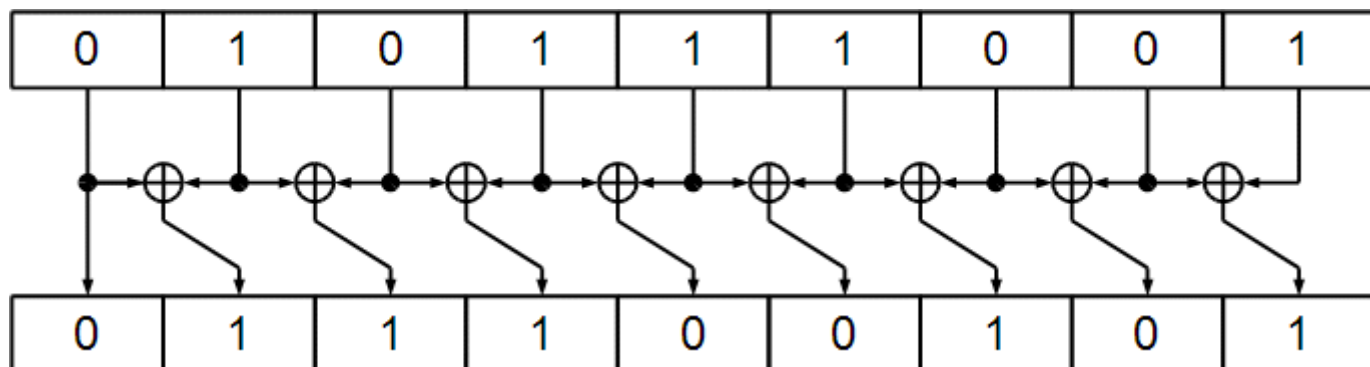


Рисунок 12: Пример дифференциального декодирования битового потока

Как видно из закодированного битового потока 010111001 мы получили исходный 011100101. Теперь рассмотрим дифференциальный декодер, если мы инвертируем на приемной стороне все биты закодированного потока, т.е. вместо 010111001 примем 101000110. Это наглядно показано на рисунке 13.

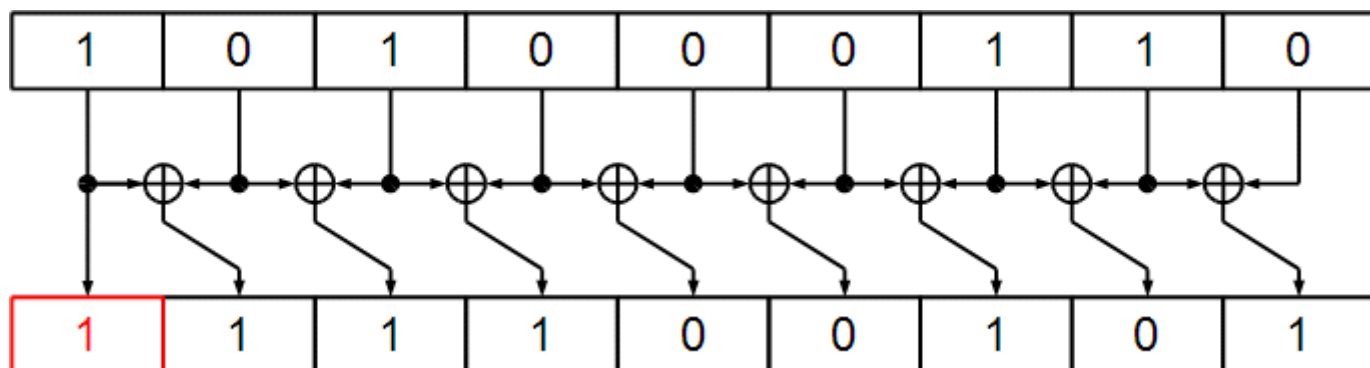


Рисунок 13: Пример дифференциального декодирования при инверсии принятого потока

Из рисунка 13 наглядно следует, что при перепутывании всех бит информации на выходе дифференциального декодера информация не искажается (за исключением первого бита,

показанного красным), и в этом несомненное преимущество DBPSK, которое позволяет существенно упростить передающие и приемные устройства. Но нужно также сказать и о недостатках дифференциального кодирования. Главным недостатком DBPSK по сравнению с BPSK является более низкая помехоустойчивость, поскольку ошибки приема размножаются на этапе декодирования.

Рассмотрим пример. Пусть исходный поток равен 011100101, закодированный поток равен 010111001. Пусть при приеме четвертый бит закодированного потока был принят с ошибкой, тогда на входе декодера будет 010101001. И в результате декодирования целых два бита будут декодированы с ошибкой (смотри рисунок 14).

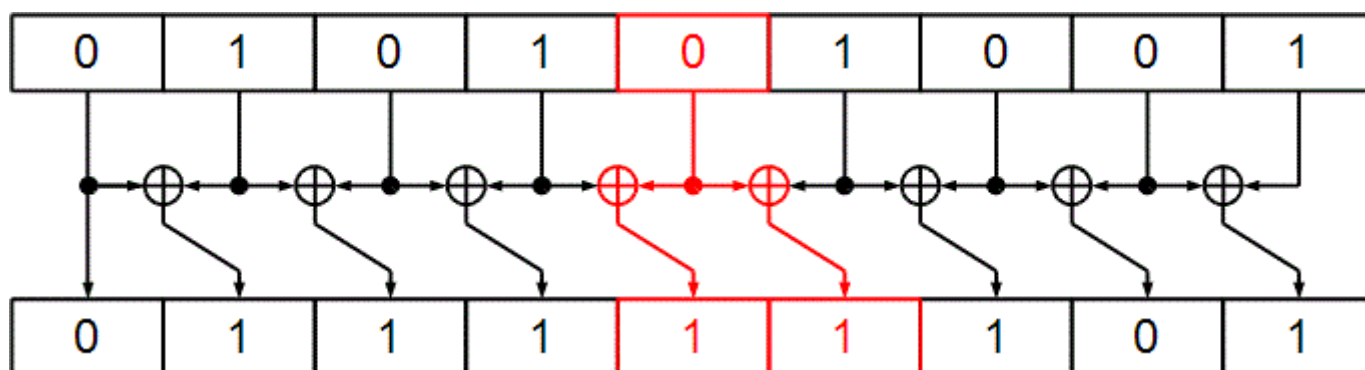


Рисунок 14: Размножение ошибок приема при декодировании DBPSK

Выводы

Таким образом, мы рассмотрели сигналы с двоичной фазовой манипуляцией (BPSK) и показали, что BPSK – частный случай PSK при входном сигнале в виде потока биполярных импульсов, который является вырожденным и сводится к DSB сигналу. Мы рассмотрели спектр BPSK и его спектральные характеристики: ширина главного лепестка, уровень боковых лепестков. Также было введено понятие относительной или дифференциальной двоичной фазовой манипуляции DBPSK, которая позволяет устранить инверсию символов при некогерентном приеме на этапе декодирования, но ухудшает помехоустойчивость DBPSK по сравнению с BPSK ввиду размножения ошибок на этапе декодирования.

Информация была полезна? Поделитесь с друзьями!

Facebook

Twitter

Мой мир

Вконтакте 1

Одноклассники

Список литературы

[1] Баскаков, С.И. **Радиотехнические цепи и сигналы**. Москва, ЛЕНАНД, 2016, 528 с. ISBN 978-5-9710-2464-4

[2] Гоноровский И.С. **Радиотехнические цепи и сигналы** Москва, Советское радио, 1977, 608 с.

[3] Сергиенко А.Б. **Цифровая обработка сигналов** СПб, Питер, 2002.

