

Основы теории
цифровой
модуляции и
детектирования

Цифровая амплитудная модуляция

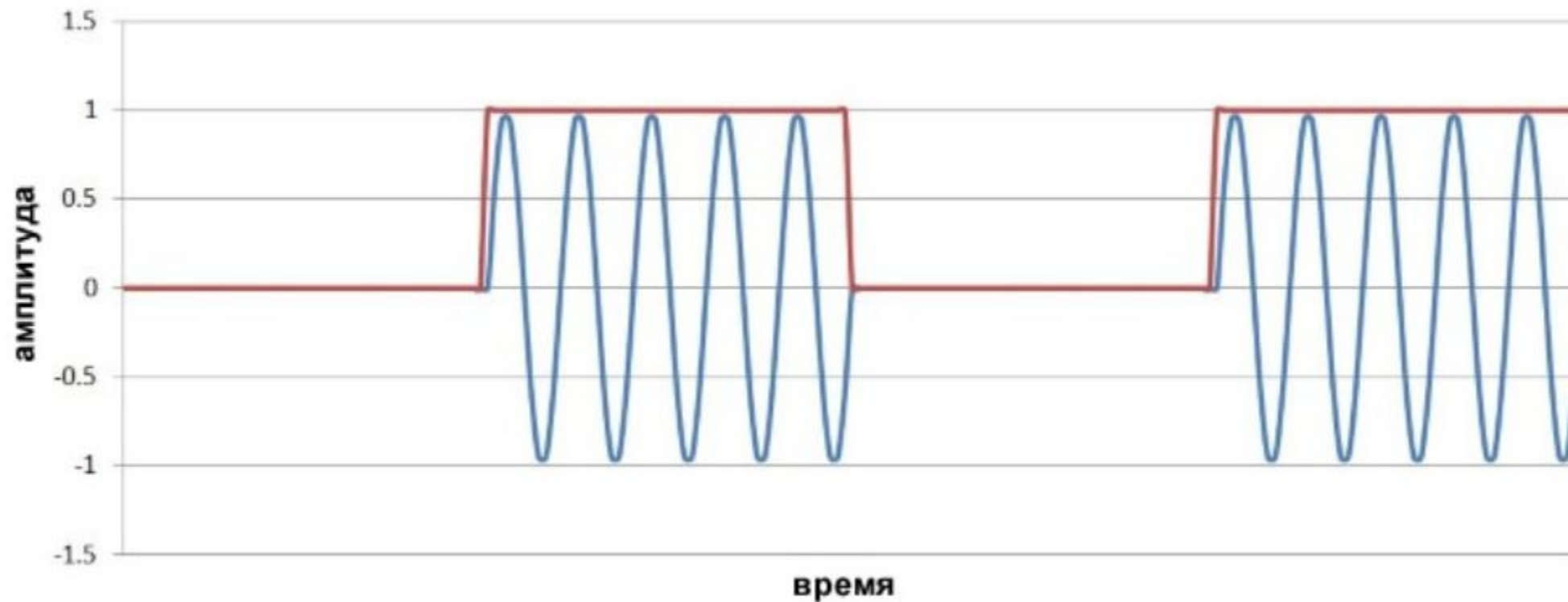
Это тип модуляции называется амплитудной манипуляцией (ASK, amplitude shift keying).

Самый простой случай «включение-выключение» (OOK, on-off keying).

Если использовать цифровой сигнал в качестве низкочастотного модулирующего сигнала, то перемножение модулирующего сигнала и несущей приводит к модулированному сигналу, который идет с нормальным уровнем при высоком логическом уровне и «выключен» при низком логическом уровне.

Амплитуда логической единицы соответствует индексу модуляции.

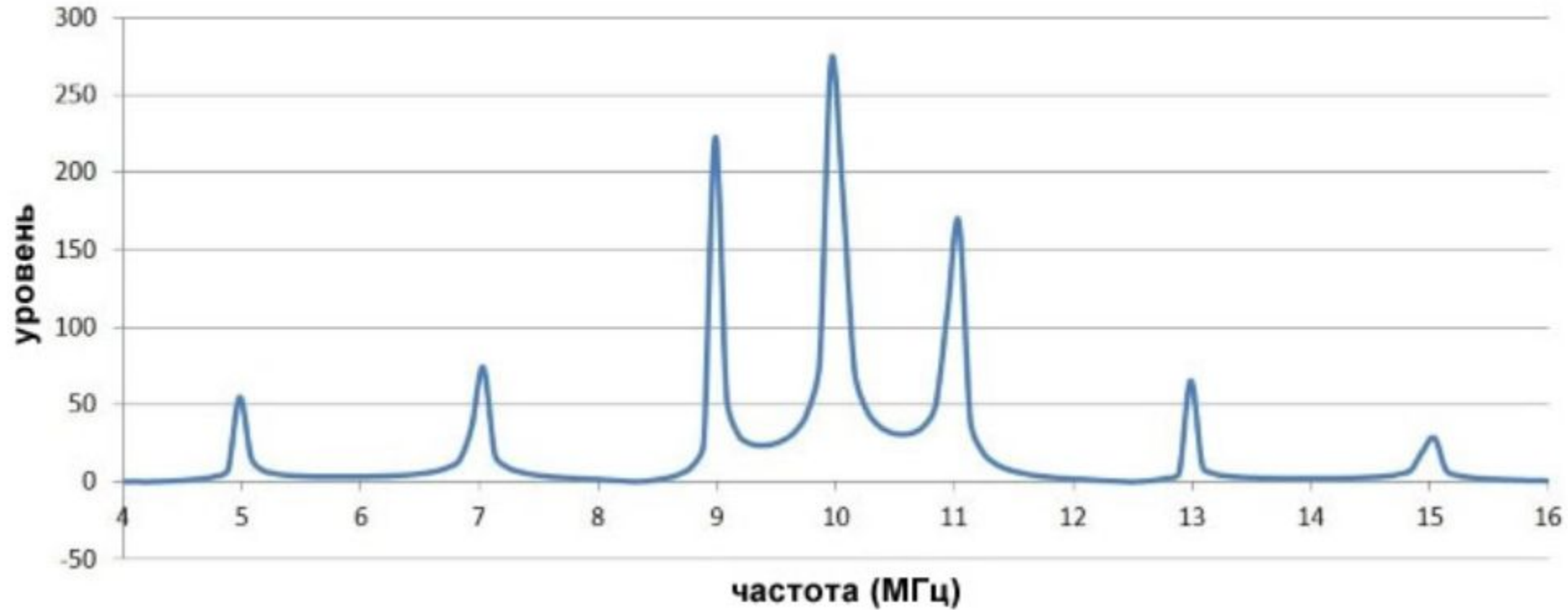
Временная область



Сигнал с амплитудной манипуляцией во временной области

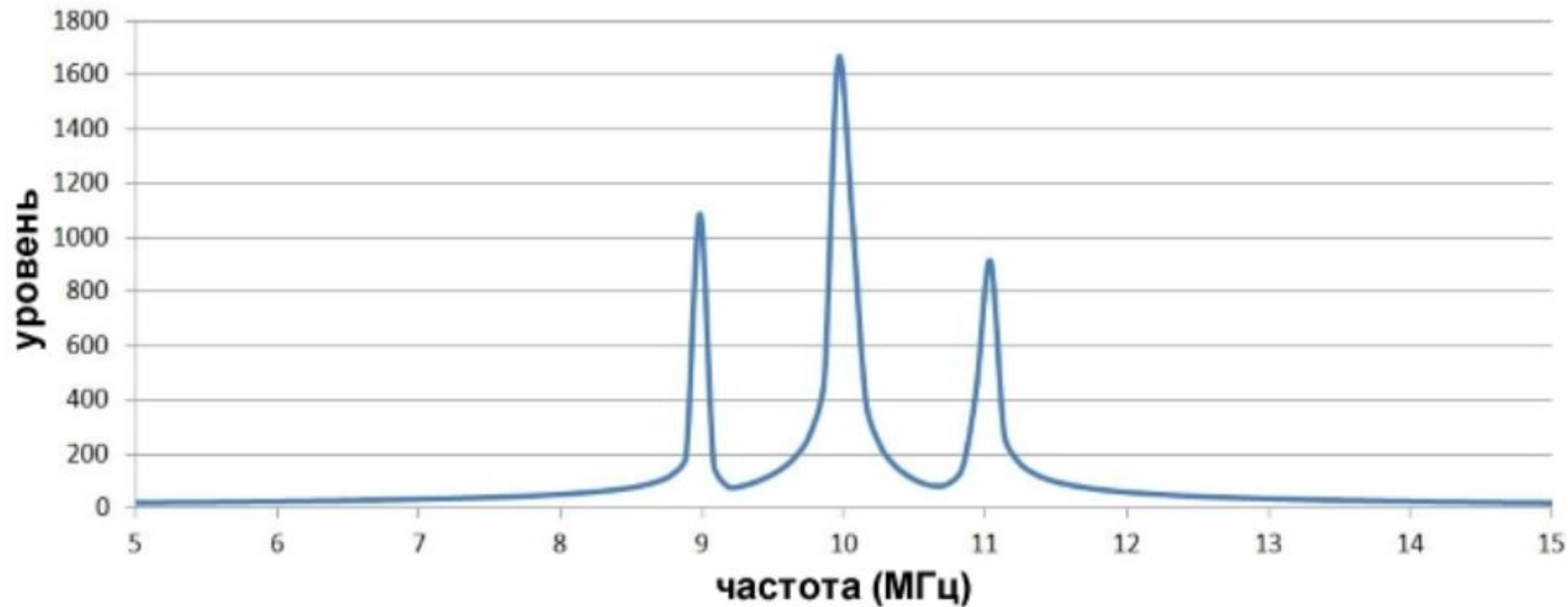
График показывает сигнал амплитудной манипуляции «включено-выключено», сгенерированный с использованием несущей 10 МГц и цифрового тактового сигнала 1 МГц.

Частотная область



Спектр сигнала с амплитудной манипуляцией

Сравните спектр сигнала с амплитудной манипуляцией со спектром сигнала, модулированного по амплитуде с использованием сигнала синусоиды 1 МГц:



Большая часть спектра одинакова: пик на несущей частоте ($f_{\text{нес}}$), пик на $f_{\text{нес}}$ плюс частота модулирующего сигнала и пик на $f_{\text{нес}}$ минус частота модулирующего сигнала.

Однако спектр амплитудной манипуляции имеет меньшие пики, соответствующие 3-й и 5-й гармоникам: основная частота (f_{F}) равна 1 МГц, что означает, что 3-я гармоника (f_3) равна 3 МГц, а 5-я гармоника (f_5) равна 5 МГц.

Таким образом, у нас есть пики при $f_{\text{нес}}$ плюс/минус f_{F} , f_3 и f_5 .

Преобразование Фурье прямоугольного сигнала состоит из синусоидальной волны на основной частоте и нечетных гармоник с понижающимися амплитудами, и эти гармонические составляющие являются тем, что мы видим на спектре, показанном выше.

Этот вывод приводит к важной практической точке: резкие переходы, связанные с цифровыми методами модуляции, создают (нежелательные) высокочастотные составляющие.

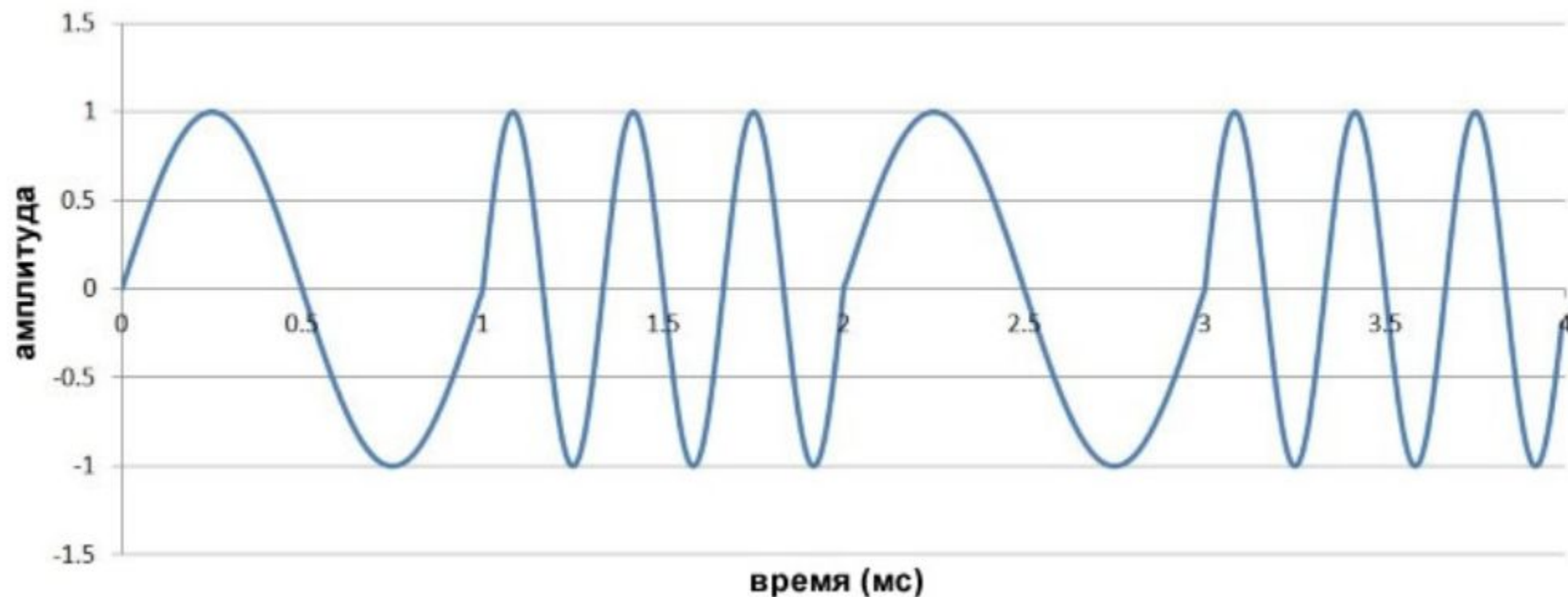
Необходимо помнить об этом, при рассмотрении фактической ширины полосы частот модулированного сигнала и наличие частот, которые могут мешать другим устройствам.

Цифровая частотная модуляция

Этот тип модуляции называется частотной манипуляцией (FSK, frequency shift keying).

Укажем, что частота f_1 – когда модулирующие данные равны логическому 0, и частота f_2 – когда модулирующие данные равны логической 1.

Временная область



Аналоговый низкочастотный FSK сигнал

Одним из способов генерации готового для передачи FSK сигнала является сначала создание аналогового низкочастотного сигнала, который переключается между f_1 и f_2 в соответствии с цифровыми данными.

Ниже приведен пример низкочастотного FSK сигнала с $f_1 = 1$ кГц и $f_2 = 3$ кГц.

Чтобы гарантировать, что символ имеет одинаковую продолжительность и для логического 0, и для логической 1, используем один период для 1 кГц и три периода для 3 кГц.

Затем низкочастотный сигнал сдвигается (используя смеситель) до несущей частоты и передается.

Этот подход особенно удобен в программных радиосистемах: аналоговый модулирующий сигнал является низкочастотным, и поэтому он может быть сгенерирован математически, а затем введен в аналоговую область с помощью ЦАП.

Использование ЦАП для высокочастотного передаваемого сигнала было бы намного сложнее.

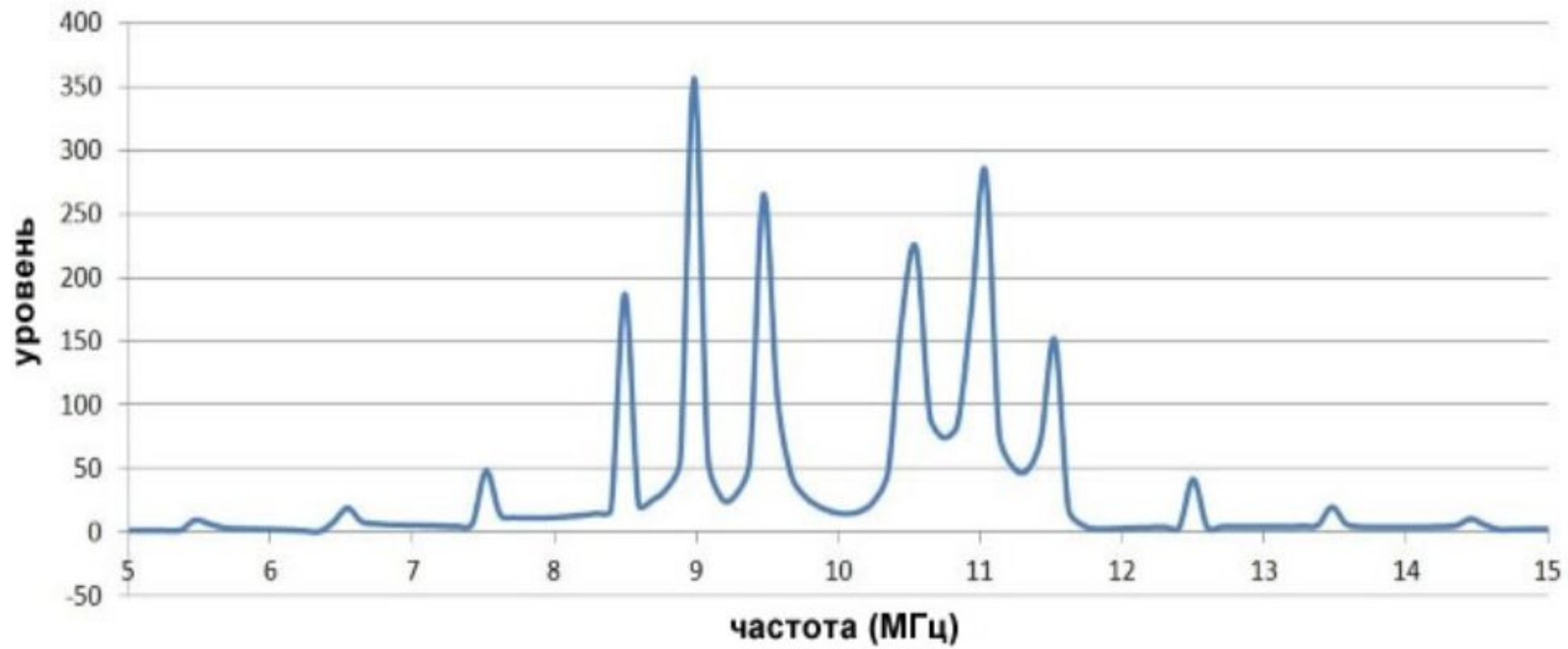
Более простой способ реализации FSK состоит в том, чтобы просто иметь два сигнала несущей с разными частотами (f_1 и f_2); и тот или иной сигнал подается на выход в зависимости от логического уровня двоичных данных.

Частотная область

Рассмотрим результат частотной манипуляции в частотной области.

В этом случае используем ту же несущую частоту 10 МГц (или, в этом случае, среднюю частоту), и будем использовать ± 1 МГц в качестве отклонения (это не реальный пример).

Таким образом, передаваемый сигнал будет 9 МГц для логического 0 и 11 МГц для логической 1. Ниже показан спектр полученного сигнала:



Спектр сигнала с частотной манипуляцией

Обратите внимание, что на «несущей частоте» нет энергии. Это не удивительно, учитывая, что модулированный сигнал никогда не находится на частоте 10 МГц.

Он всегда находится на частоте 10 МГц минус 1 МГц или 10 МГц плюс 1 МГц, и именно там мы видим два доминирующих всплеска: 9 МГц и 11 МГц.