

Основы теории  
цифровой  
модуляции и  
детектирования

# Цифровая амплитудная модуляция

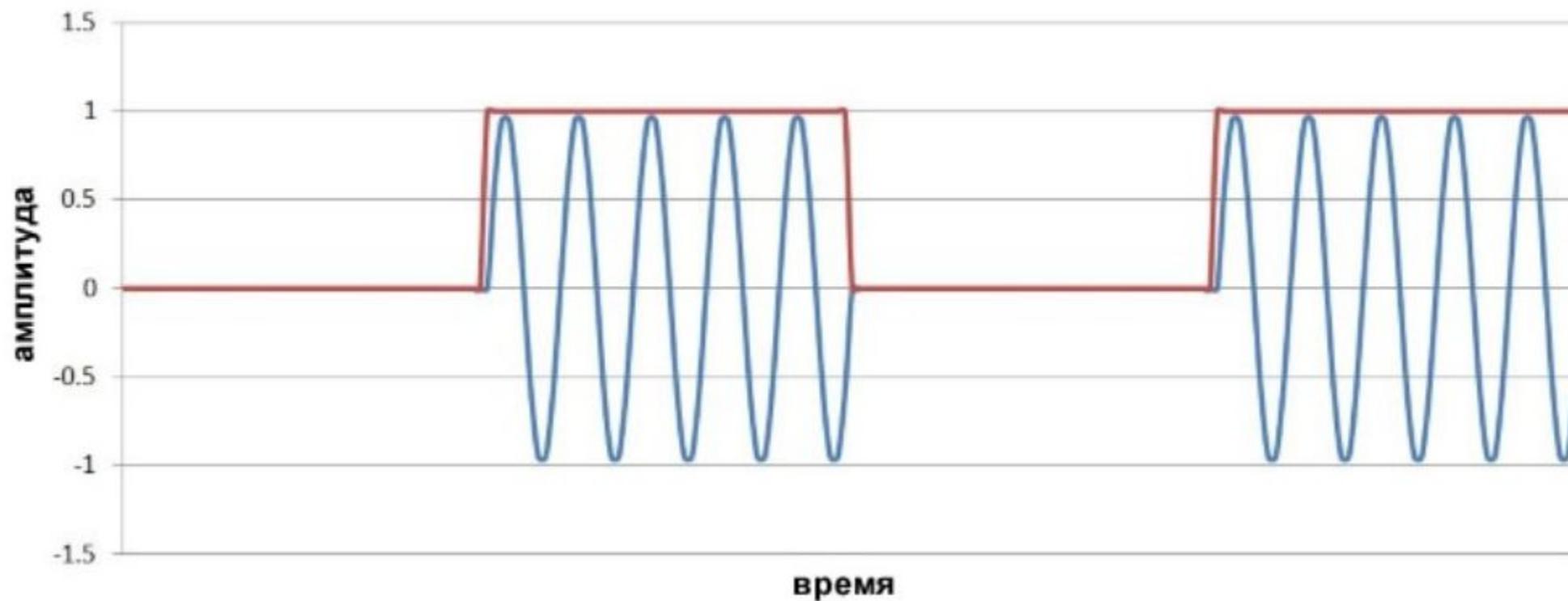
Это тип модуляции называется амплитудной манипуляцией (ASK, amplitude shift keying).

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.

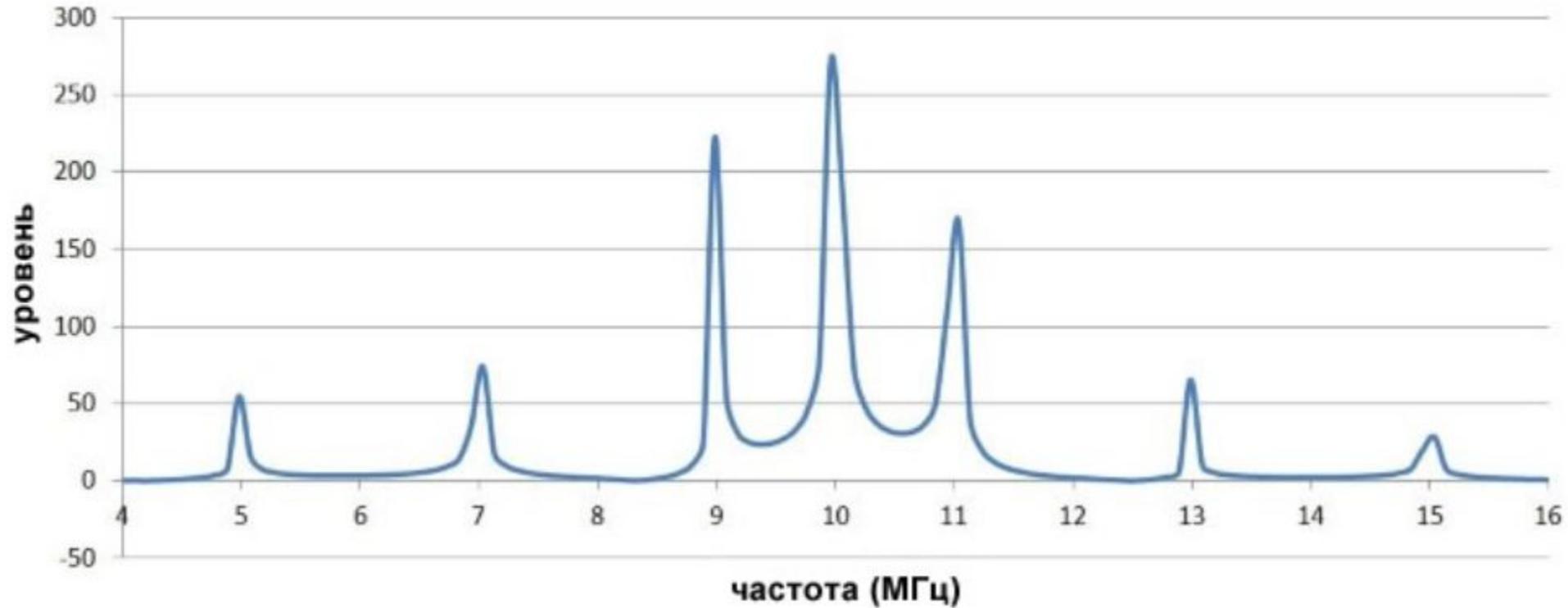
# Временная область



Сигнал с амплитудной манипуляцией во временной области

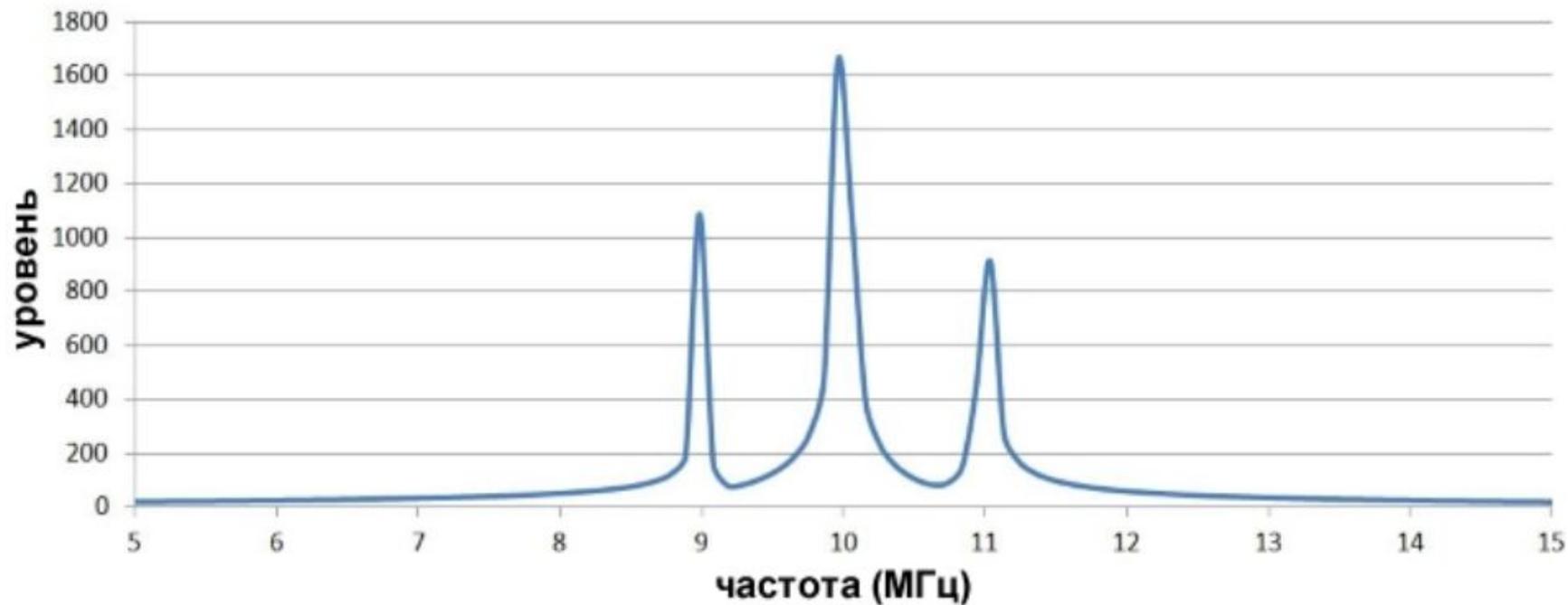
График показывает сигнал амплитудной манипуляции «включено-выключено», сгенерированный с использованием несущей 10 МГц и цифрового тактового сигнала 1 МГц.

# 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 ( $f_{\text{F}}$ ) 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  $f_{\text{F}}$ ,  $f_3$  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.

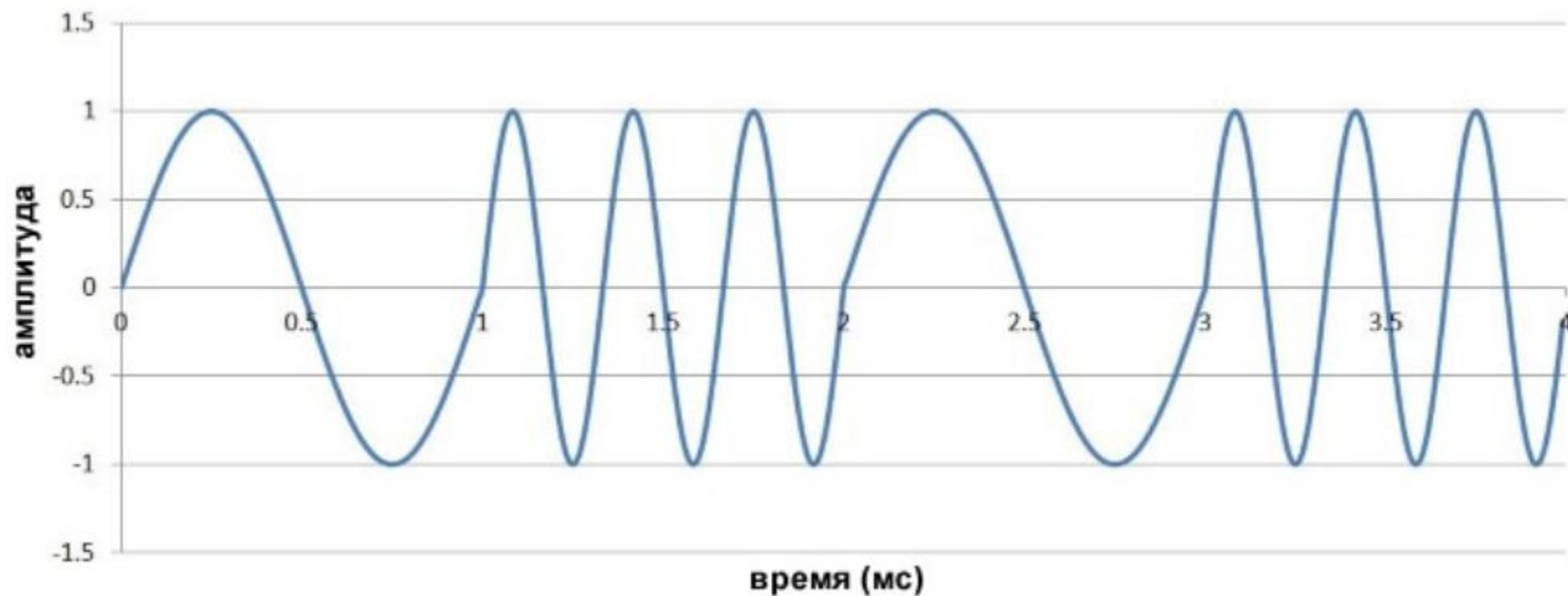
Необходимо помнить об этом, при рассмотрении фактической ширины полосы частот модулированного сигнала и наличие частот, которые могут мешать другим устройствам.

# 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.

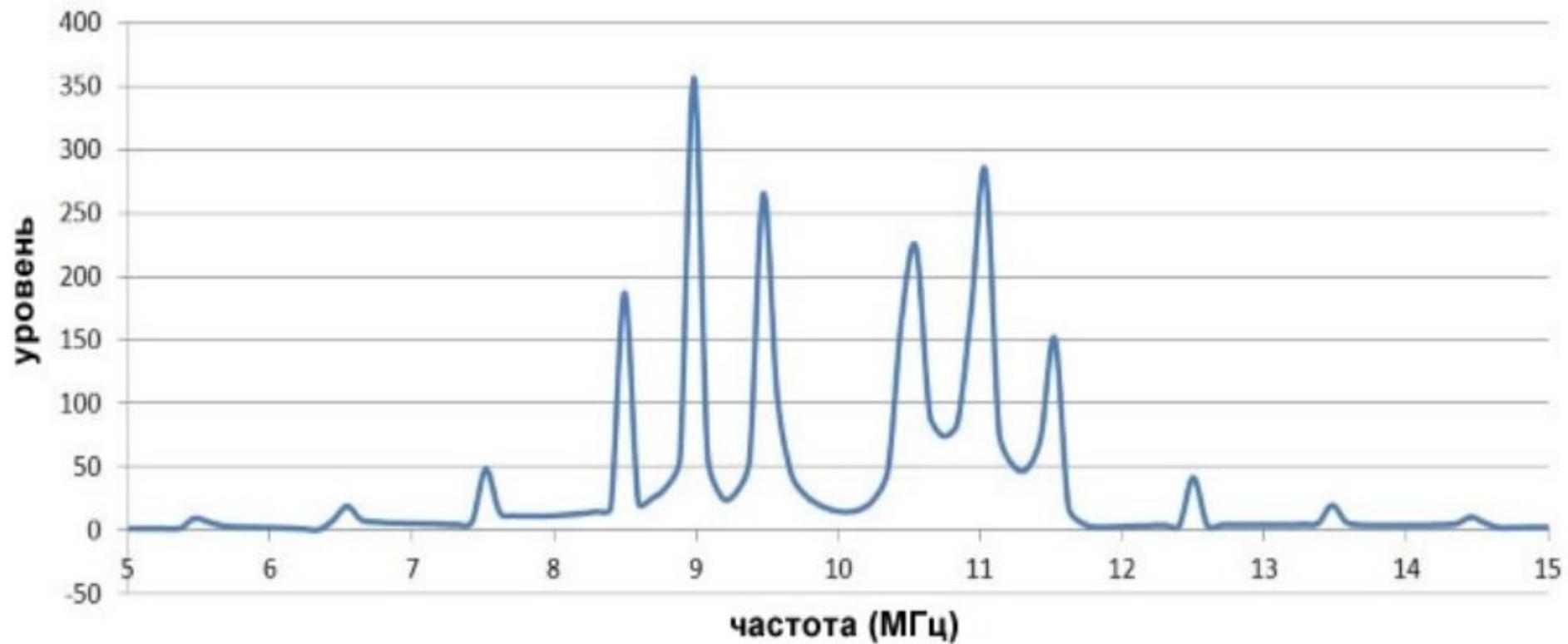
Более простой способ реализации FSK состоит в том, чтобы просто иметь два сигнала несущей с разными частотами ( $f_1$  и  $f_2$ ); и тот или иной сигнал подается на выход в зависимости от логического уровня двоичных данных.

# 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  $\pm 1$  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.