

Артефакты в SDR-приемнике HackRF & PortaPack

В приемниках с частотным преобразованием возможно возникновение ложных, искусственных сигналов - т.н. Свистов или Birds – *Птички*, на частотах или гармониках их внутренних гетеродинов.

В SDR приемнике HackRF One используется схема двойного преобразования частоты –
Рис.1.

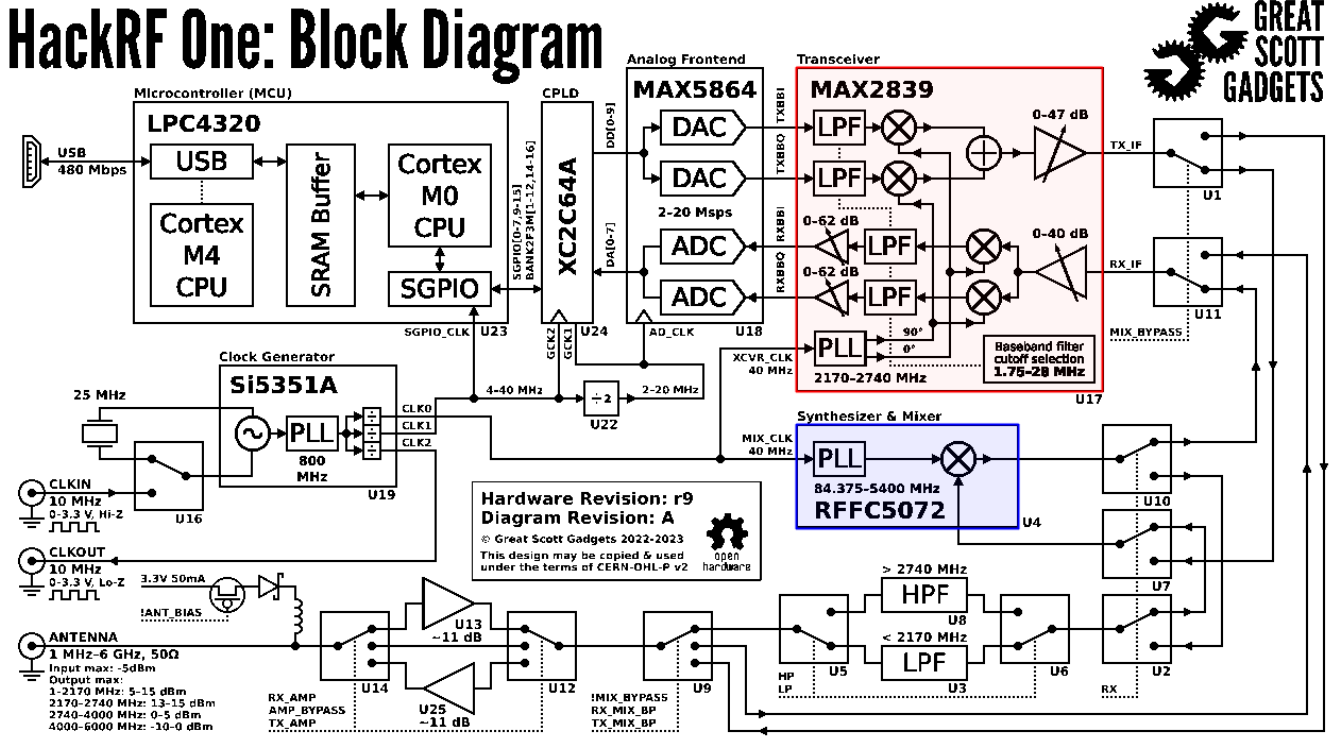


Рис.1. Блок схема HackRF One. <https://hackrf.readthedocs.io/en/latest/images/block-diagram-r9.png>

Главный чип Max2839 разработан для обработки сигналов WiFi диапазона 2170 - 2740MHz. С помощью встроенного гетеродина, частота сигнала - f_x , преобразуется в низкочастотный диапазон - $f_{IF} = f_x - f_G$. Низкочастотный сигнал - f_{IF} , может быть оцифрован с частотой дискретизации до 20MHz. Таким образом, можно получить спектр сигнала в полосе до 10MHz. Для соответствующего преобразования, частота гетеродина - f_G , должна быть близка к частоте гетеродина - $f_x - f_G \approx 0$. Эту ситуацию иллюстрирует Рис.2.

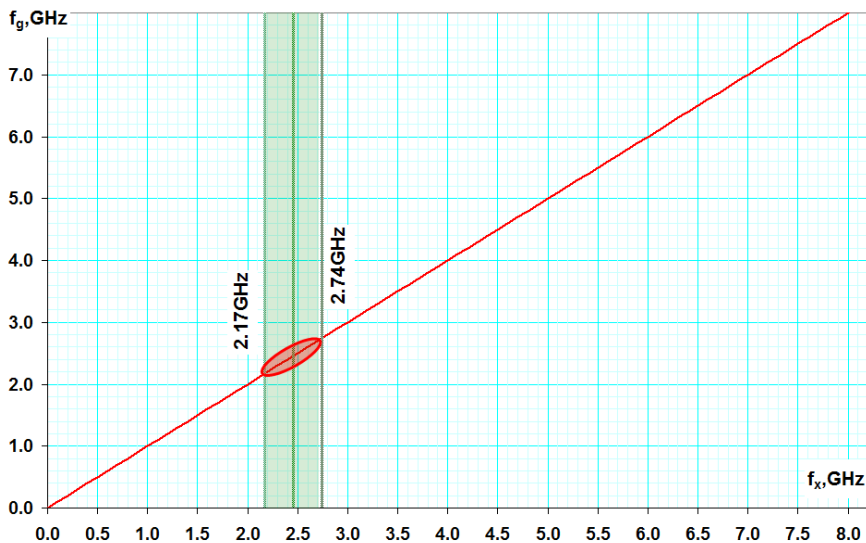


Рис.2. Входной диапазон и преобразование частоты в Max2839.

Для расширения диапазона рабочих частот, входной сигнал подвергается дополнительному преобразованию в чипе RFCC5072. Этот чип имеет гетеродин с частотами 84MHz – 5.4GHz. На выходе чипа получается суммарная и разностная частота - $f_{IF1} = f_x - \pm f_{G1}$. Частоты ниже

диапазона WiFi преобразуются вверх, а те, что выше, преобразуются вниз. Требуемая частота (Высокая – *High*, или Низкая – *Low*) выделяется соответствующим фильтром (HPF или LPF).

Частота этого (первого) гетеродина определяется соотношением - $f_x - \pm f_{G1} \approx f_{G2}$. Здесь f_{G1} частота гетеродина чипа RFCC5072, а f_{G2} частота гетеродина Max2839. Соответствующее преобразование иллюстрируется на Рис.3.

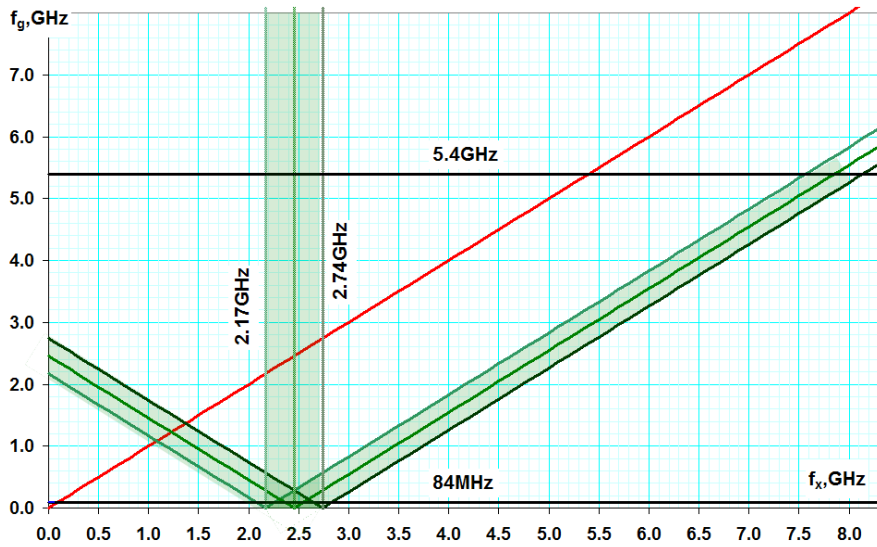


Рис.3. Частота гетеродина для разных частот входного сигнала.

Благодаря тому, что частота второго гетеродина - f_{G2} , может перестраиваться, диапазон возможных частот первого гетеродина - f_{G1} , размывается в полосу вблизи центральной частоты.

Таким образом, весь диапазон приемника HackRF One подразделяется на три поддиапазона: ниже диапазона WiFi; диапазон WiFi; выше диапазона WiFi. Прием в диапазоне WiFi возможен как без использования, так и с использованием преобразования первого гетеродина. Для анализа того, как это реализовано в системе HackRF & PortaPack, необходимо изучать алгоритмы спектральной обработки в программном обеспечении PortaPack.

Оценка возможных частот Артефактов

Следствием использования цифровых сигналов прямоугольной формы является наличие мощных нечетных гармоник (3, 5, 7, ...) в спектре излучения гетеродина. Кроме того, если длительности 1 и 0 в цифровом сигнале различны, могут возникнуть и четные гармоники (2, 4, ...).

Рис. 4 демонстрирует возможные области появления артефактов гармоник второго гетеродина.

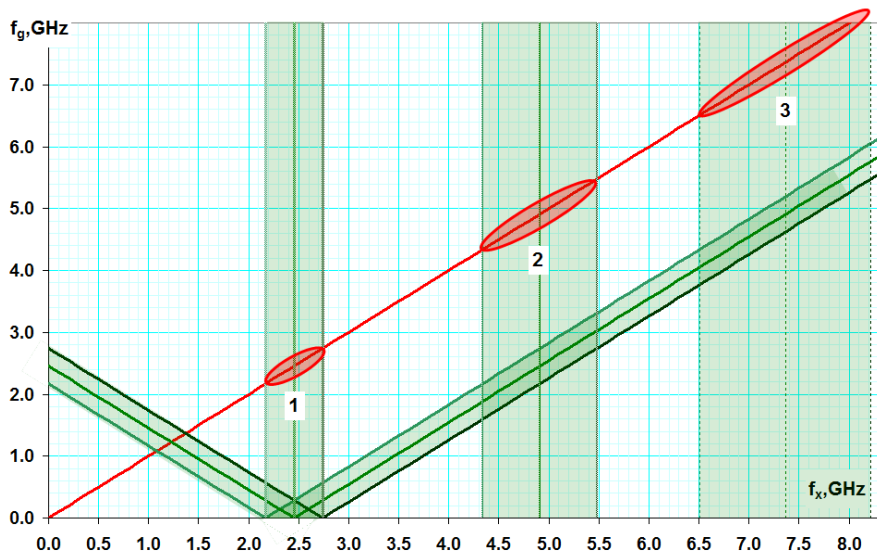


Рис.4. Возможные области Артефактов гармоник гетеродина Max2839.

Можно предположить, что рабочий диапазон приемника ограничивается сверху частотами третьей гармоники гетеродина Max2839.

Первый гетеродин чипа RFCC5072 имеет свои собственные гармоники, которые могут породить Артефакты. Эту ситуацию иллюстрирует Рис.5.

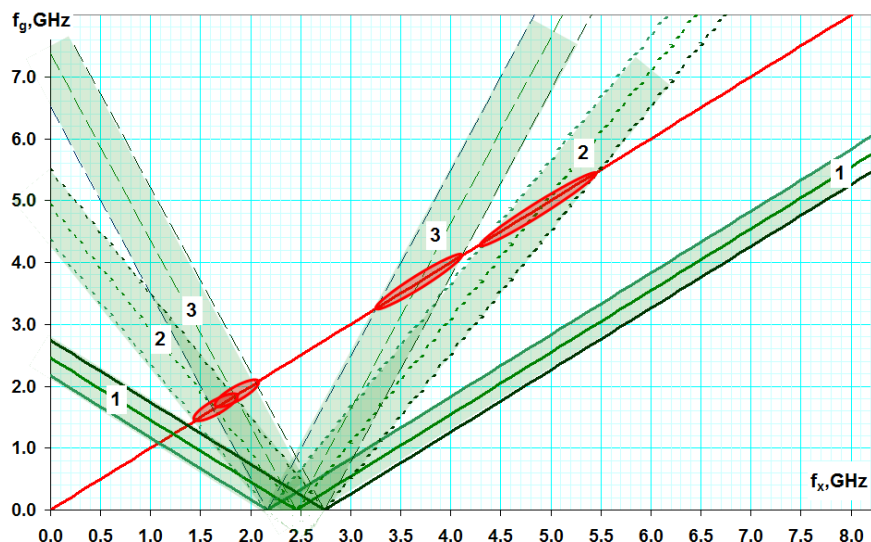
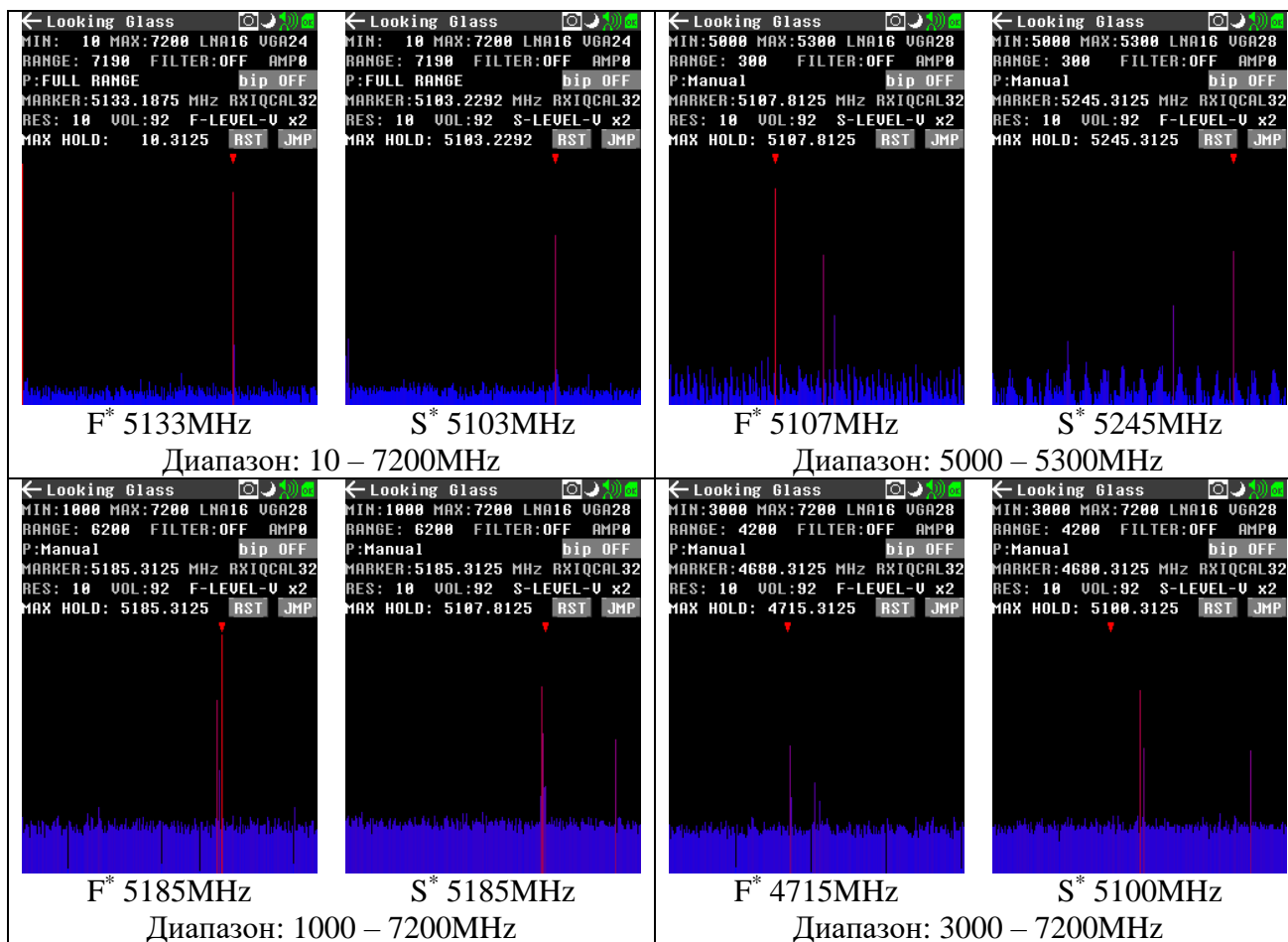


Рис.5 Возможные области Артефактов гармоник гетеродина RFCC5072.

Таким образом, следует быть готовым к появлению искусственных сигналов в спектрах принятых сигналов. Конкретные значения частот таких Артефактов зависят соотношения частот первого и второго гетеродина, и методов подавления Артефактов в алгоритмах спектральной обработки.

Рис.6 демонстрирует примеры возникновения Артефактов в приемнике HackRF One без антенны. Эти спектры получены с помощью утилиты Looking_Glass в PortaPack Mayhem v2.1.0.



* F – Fast - Быстрая обработка; S – Slow – Медленная обработка.

Рис.6. Примеры Артефактов утилиты Looking_Glass.

Особенностью Артефактов является то, что их частота изменяется, в зависимости от диапазона и метода обработки. Это, часто, и позволяет отличать реальные сигналы от Артефактов.