

УМЕНЬШЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗЕРКАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ПРИ ЦИФРО-АНАЛОГОВОМ СПОСОБЕ ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ

Учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь»

Маюшенко С.В.

Чугай К.Н. – канд. техн. наук

Излагаются причины возникновения зеркальных составляющих при цифро-аналогом способе формирования и способы уменьшения их влияния.

При цифровом способе формирования сигналов (при помощи цифро-аналоговых преобразователей) на полезную составляющую сигнала оказывает влияние её зеркальная копия. Причины наложения спектров (основного и зеркального) кроются в том, что полная полоса частот у зеркального сигнала перекрывает эффективную полосу полезного сигнала.

Например, при формировании сигнала на частоте F_0 и частоте дискретизации цифро-аналогового преобразователя F_d на выходе будет присутствовать зеркальная составляющая с частотой $F_d - F_0$ (рисунок 1).

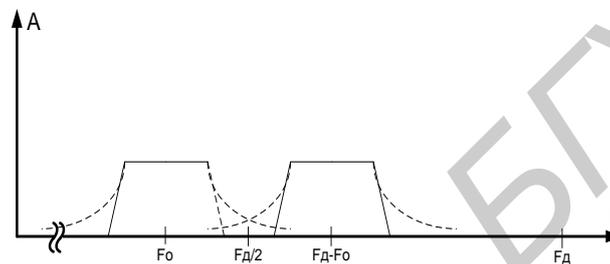


Рис. 1 – Основной и зеркальный спектр при цифровом способе формирования сигналов

На рисунке 1: F_d – частота дискретизации ЦАП; F_0 – частота несущей полезного сигнала; $F_0 - F_d$ – частота несущей зеркального сигнала; сплошной линией обозначена эффективная полоса сигнала; пунктирной линией обозначены боковые спектральные составляющие.

Из рисунка 1 видно, что низкочастотные (слева) боковые спектральные составляющие зеркального сигнала располагаются в эффективной полосе полезного сигнала.

Для наглядной демонстрации влияния зеркальной составляющей рассмотрим сложный квазинепрерывный импульсный (КНИ) сигнал. Хотя КНИ сигнал по своей природе и является простым, но использование коротких импульсов и обработка когерентных пачек сигналов позволяет трактовать его как сложный сигнал длительности, равной длительности пачки. В этой трактовке эффективная ширина спектра сигнала определяется длительностью одиночного импульса, а эффективная длительность – длительностью пачки.

Огибающая КНИ сигнала во временной области представленный на рисунке 2, где обозначены длительность импульса (T_0) и период повторения импульсов (T_n).

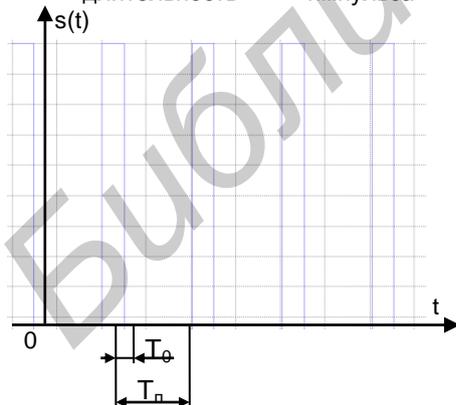


Рис. 2 – Огибающая КНИ сигнала

Спектр пачки импульсов имеет гребенчатую структуру с огибающей, соответствующей спектру одиночного импульса пачки. Внутренняя структура спектра определяется длительностью пачки и соответствует спектру междупериодной огибающей сигнала (в случае постоянной амплитуды сигнала – спектр прямоугольного импульса длительности, равной длительности пачки). Огибающая спектра КНИ сигнала имеет вид, представленный на рисунке 3(а). На рисунке 3(б) представлен вид отдельной составляющей спектра.

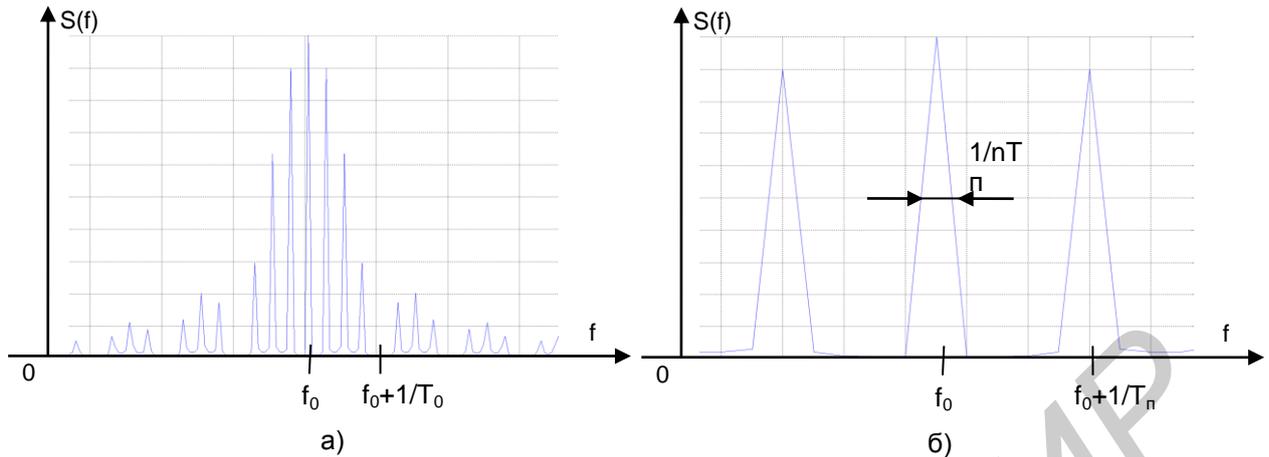


Рис. 3 – Огибающая спектра КНИ сигнала

База сигнала - это произведение эффективной длительности сигнала и эффективной полосы сигнала. Для монохромного КНИ сигнала база равняется количеству импульсов в пачке:

$$B = T_s \cdot \Delta f_s = n \quad (1)$$

Для устранения или уменьшения влияния зеркального канала классическим решением является увеличение частоты дискретизации F_d . При этом основной и зеркальный канал в частотной области располагаются достаточно далеко и не оказывают существенного влияния друг на друга. Но недостатком такого решения является увеличение количества и скорости поступления цифровых отсчетов, а следовательно и повышенные требования к быстродействию вычислительных устройств.

Предлагается два дополнительных способа:

1) Изменение огибающей импульсного сигнала.

Резкий фронт и спад импульса приводит к расширению его спектра. На рисунке 4(а) и 4(б) показано такое расширение. Отношение между основной составляющей спектра и боковым лепестком зеркальной составляющей -60 дБ.

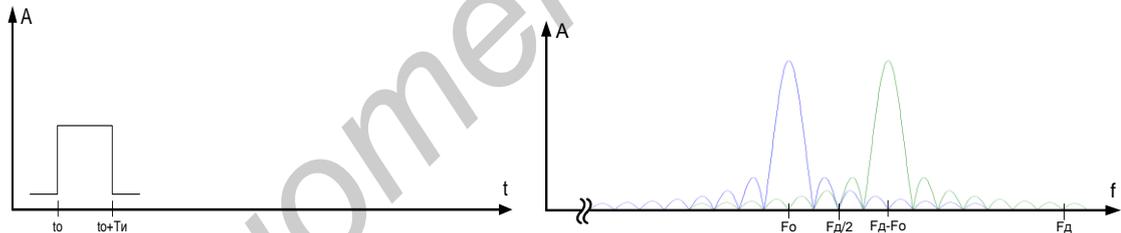


Рис. 4 – Расширение основного и зеркального спектра сигналов
а) временная огибающая, б) спектральная огибающая

Изменение огибающей импульсного сигнала влияет на огибающую спектральных составляющих. Уменьшить крутизну фронтов можно применяя различные оконные функции – аподизация импульсного сигнала. Аподизация - способ пришедший из оптики, где для уменьшения эффекта дифракции и следовательно повышения чёткости изображения использовали специальный экран, уменьшающий количество света, поступающего в оптическое устройство по краям линзы. В спектральном анализе радиосигналов используются различные оконные функции. Например, при решении конкретной задачи подавления боковых лепестков зеркальной спектральной составляющей была применена оконная функция Чебышева с коэффициентом -43 дБ (рисунок 5(а)). В таком случае отношение между основной составляющей спектра и боковым лепестком зеркальной составляющей равнялось -103 дБ (рисунок 5(б)).

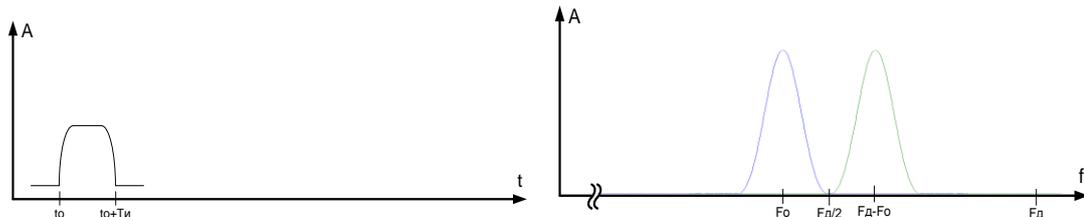


Рис. 5 – Наложение основного и зеркального спектра сигналов с применением оконной функции
а) временная огибающая, б) спектральная огибающая

2) Изменение периода повторения импульсного сигнала.

В некоторых случаях важным является поиск частотных компонент, отличных от частот сформированного импульсного сигнала. Однако наличие зеркальных компонент в диапазоне анализа усложняет задачу поиска (рисунок 6).

Например, при решении конкретной задачи подавления боковых лепестков зеркальной спектральной составляющей были выбраны такие периоды повторения, при которых расположение зеркальных составляющих совпали с основными составляющими (рисунок 7).

Можно вывести формулу для расчета периода повторения таких сигналов:

$$k \cdot T_n = \frac{1}{F_d - 2 \cdot F_n}, \quad (2)$$

где T_n – период повторения импульсов, F_d – частота дискретизации, F_n – центральная частота несущей сигнала, k – кратность (1,2,3...)

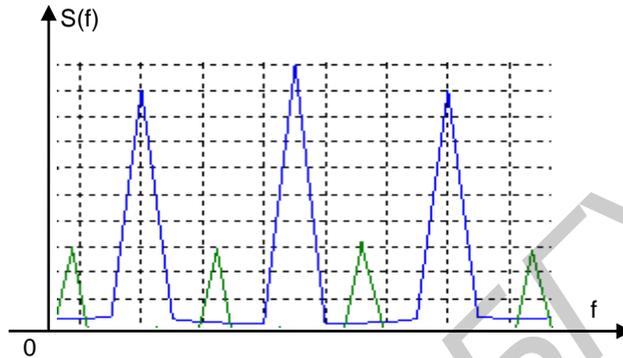


Рис. 6 – Спектральная плотность мощности КНИ сигнала с произвольным периодом повторения

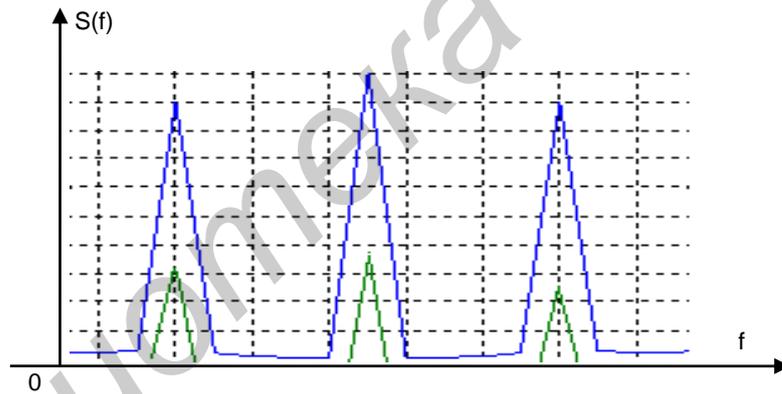


Рис. 7 – Спектральная плотность мощности КНИ сигнала КНИ с расчетным периодом повторения

Проведенный анализ компонент спектра при цифро-аналоговом способе формирования сигнала и соответствующие корректировки позволили на критически важном участке спектра улучшить отношение полезный/зеркальный сигнал с -60дБ до -103дБ, а во втором случае до собственных шумов передатчика.