

Аналоговая амплитудная модуляция

Процесс модуляции заключается в формировании низкочастотной комплексной огибающей

$$G_k = I_k + iQ_k = a(t) \exp(j\varphi(t))$$

после чего производится перенос этой комплексной огибающей на несущую частоту, умножением на комплексную экспоненту $e^{j\omega_0 t}$.
и взятие реальной части

$$\operatorname{Re}\left[(I_k + iQ_k)e^{j\omega_0 t}\right] = I_k \cos(\omega t) - Q_k \sin(\omega t)$$

все виды модуляции различаются только способом формирования комплексной огибающей на основе модулирующего сигнала.

При АМ производится изменение только амплитуды несущего колебания при постоянной начальной фазе:

$$s(t) = a(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

где $a(t)$ – закон изменения амплитуды, а φ_0 – постоянная начальная фаза

$$a(t) = 1 + m \cdot s_m(t)$$

где m -- называется глубиной АМ, а модулирующий сигнал по модулю не превосходит единицы $|s_m(t)| \leq 1$

Радиосигнал имеет вид

$$s(t) = A_0 (1 + m \cdot s_m(t)) \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

Комплексная огибающая

$$G(t) = I(t) + iQ(t) = a(t) \exp(j\varphi(t))$$

Квадратурные составляющие комплексной огибающей

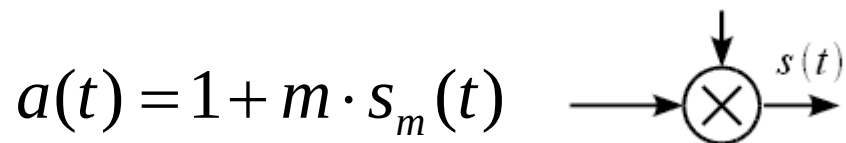
$$I(t) = a(t) \cos(\varphi_0) = (1 + m \cdot s_m(t)) \cos(\varphi_0)$$

$$Q(t) = a(t) \sin(\varphi_0) = (1 + m \cdot s_m(t)) \sin(\varphi_0)$$

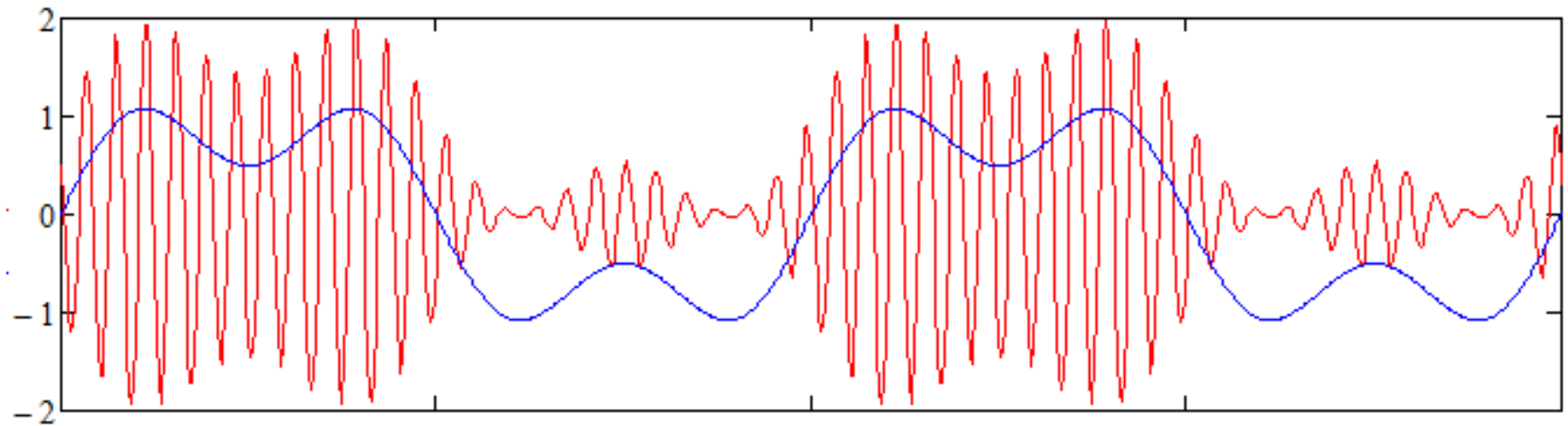
Задавая фазу комплексной огибающей равной нулю, получим

$$I(t) = (1 + m \cdot s_m(t)) \quad Q(t) = 0$$

$$\cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

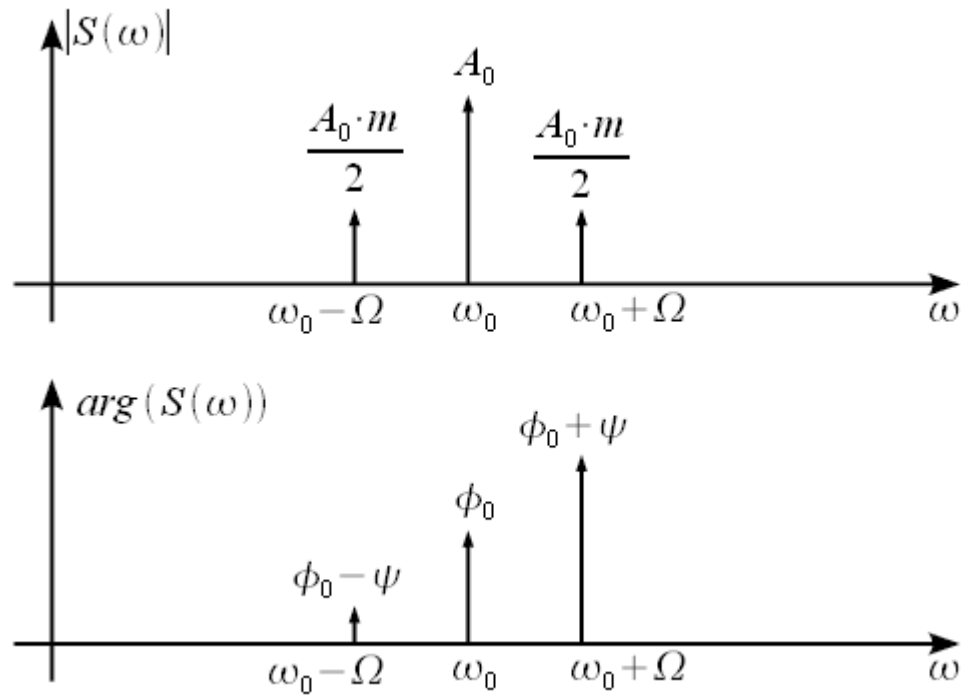


Пример синфазной составляющей и модулированного сигнала



Спектр однотональной АМ

$$\begin{aligned}s(t) &= A_0 \cdot (1 + m \cdot s_m(t)) \cdot \cos(\omega_0 \cdot t + \phi_0) = A_0 \cdot (1 + m \cdot \cos(\Omega \cdot t + \psi)) \cdot \cos(\omega_0 \cdot t + \phi_0) = \dots \\&\dots = A_0 \cdot \cos(\omega_0 \cdot t + \phi_0) + A_0 \cdot m \cdot \cos(\Omega \cdot t + \psi) \cdot \cos(\omega_0 \cdot t + \phi_0) = \dots \\&\dots = A_0 \cdot \cos(\omega_0 \cdot t + \phi_0) + \frac{A_0 \cdot m}{2} \cdot \cos((\omega_0 + \Omega) \cdot t + \phi_0 + \psi) + \frac{A_0 \cdot m}{2} \cdot \cos((\omega_0 - \Omega) \cdot t + \phi_0 - \psi).\end{aligned}$$



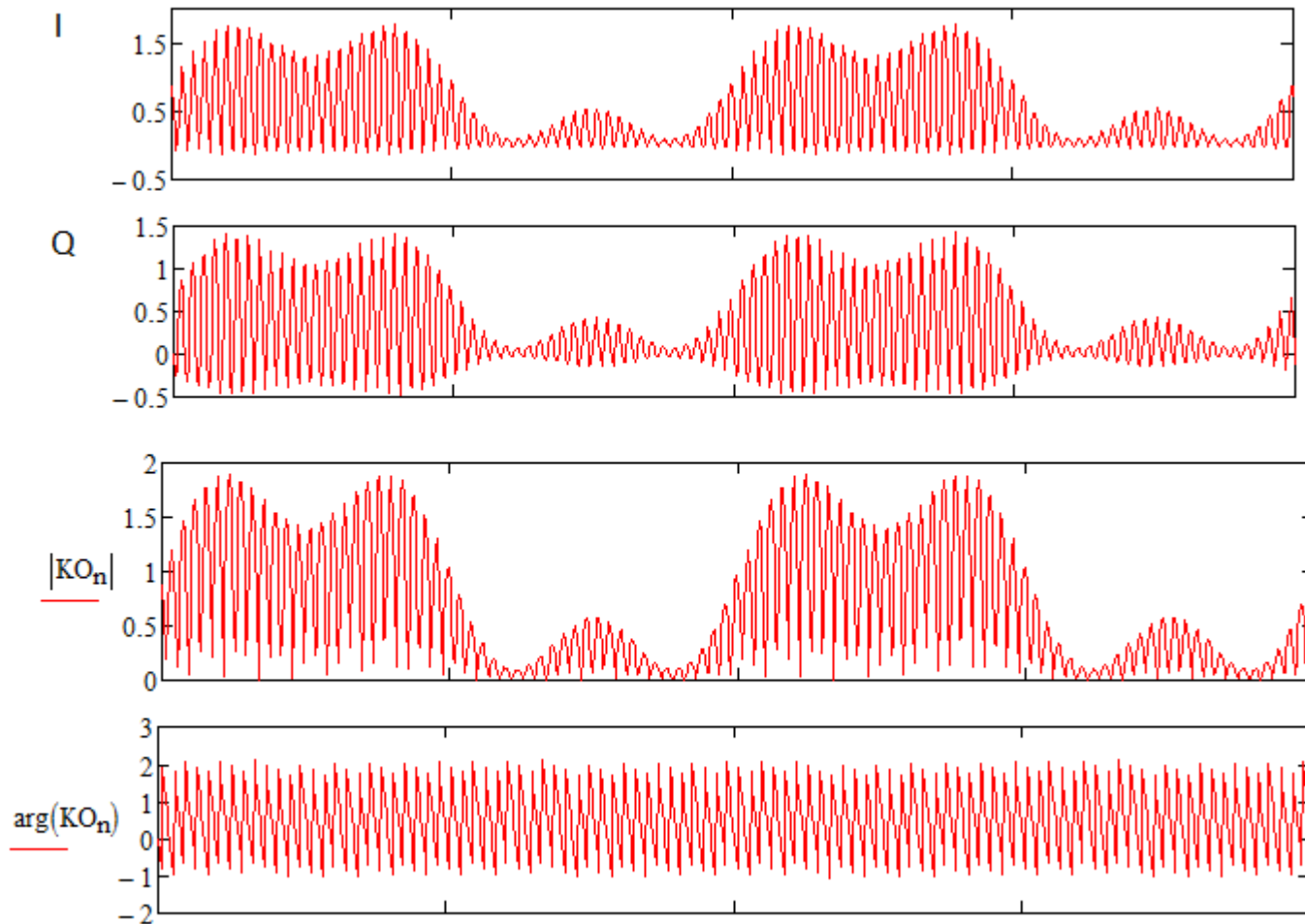
Центральная гармоника не несет никакой информации, однако ее амплитуда максимальна и не зависит от глубины АМ.

Информация заключена в боковых гармониках, при этом их уровень зависит от глубины АМ, чем она выше, тем уровень боковых гармоник больше. Максимальное значение глубины АМ при котором не наблюдается перемодуляции 1, это означает, что максимальный уровень боковых гармоник в 2 раза ниже уровня несущей частоты.

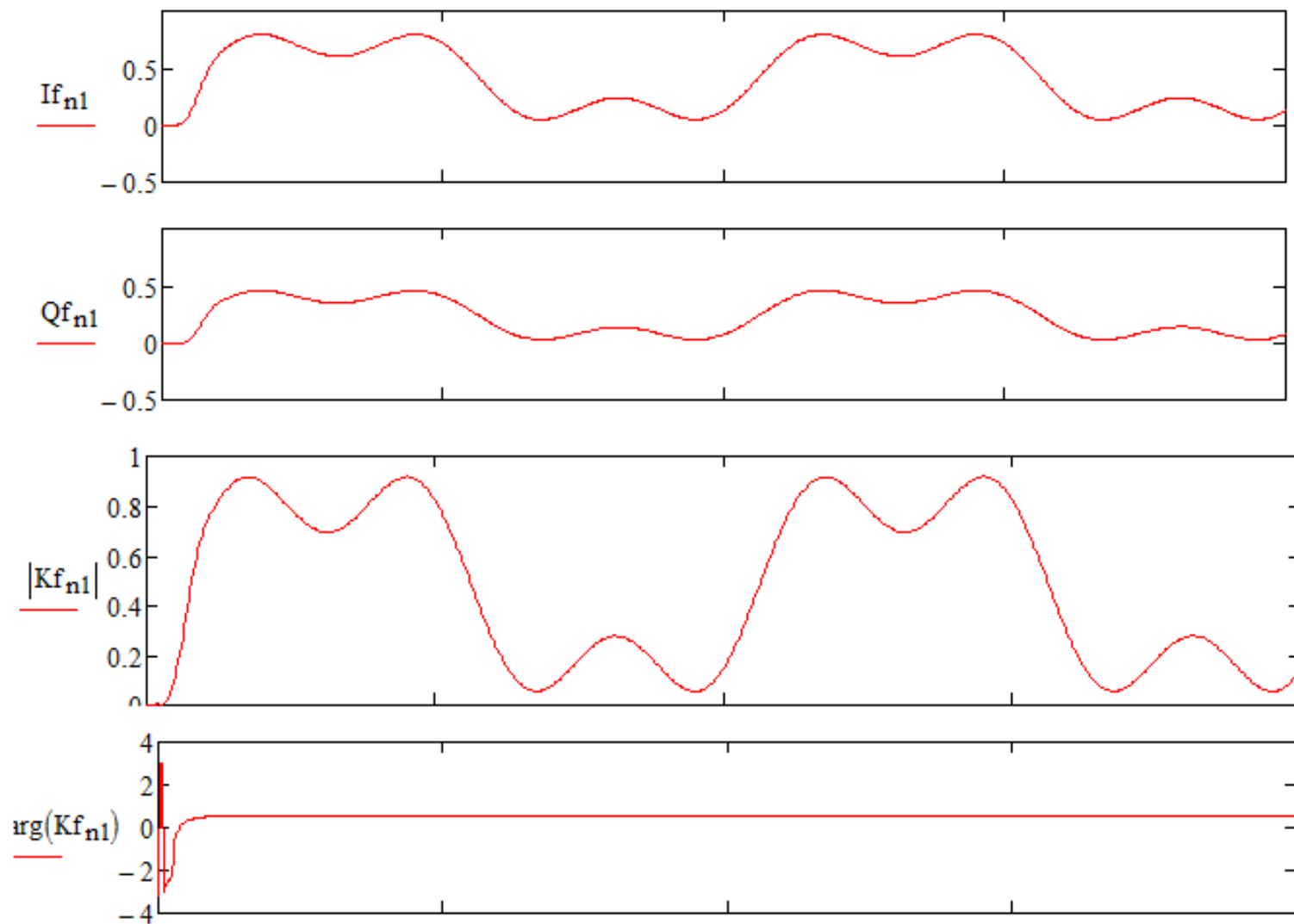
Суммарная мощность информационных гармоник будет в 2 раза ниже мощности несущей частоты, другими словами передатчик большую часть энергии тратит на излучение неинформационной несущей.

При демодуляции умножаем радиосигнал на комплексную экспоненту $e^{-j\omega_0 t}$.

Квадратуры, модуль и фаза содержат составляющие на удвоенной частоте несущей

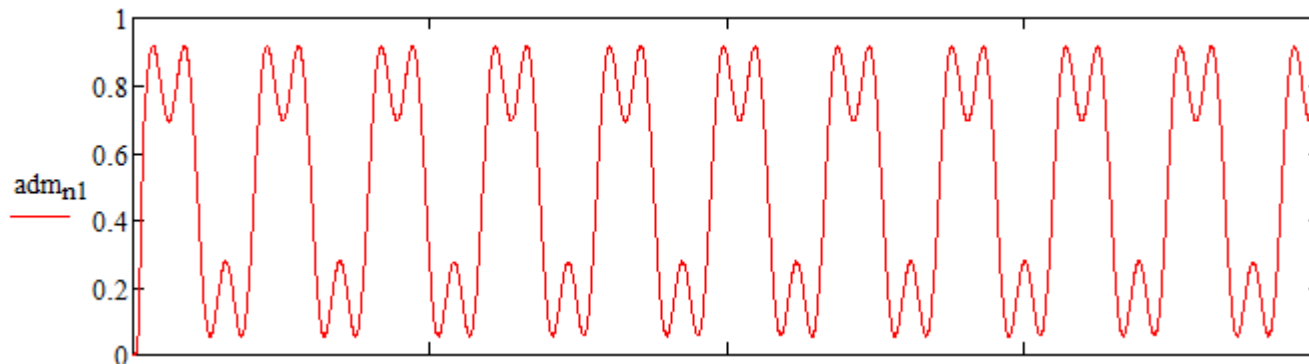


Квадратуры, модуль и комплексная огибающая после фильтрации

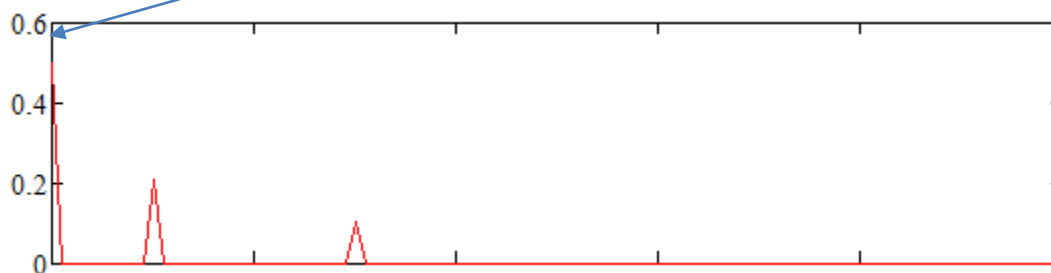


Мгновенное значение амплитуды огибающей

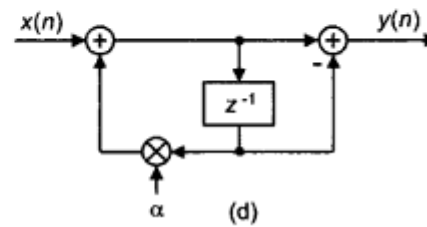
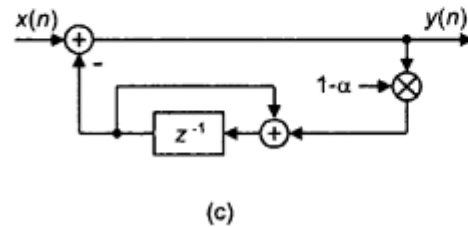
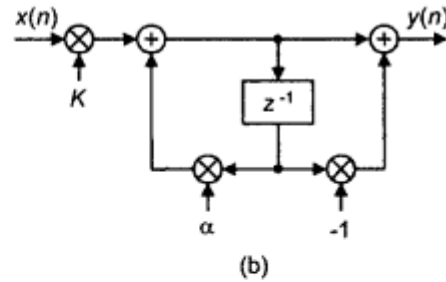
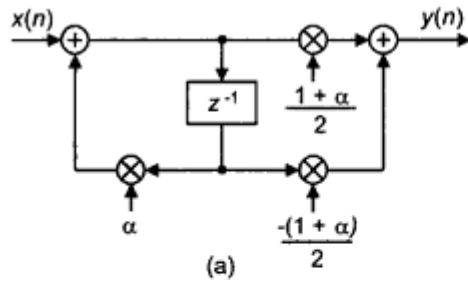
$$M(t) = \sqrt{I^2(t) + Q^2(t)}$$



Как видим в спектре восстановленного сигнала имеется большая постоянная составляющая, которую следует подавить

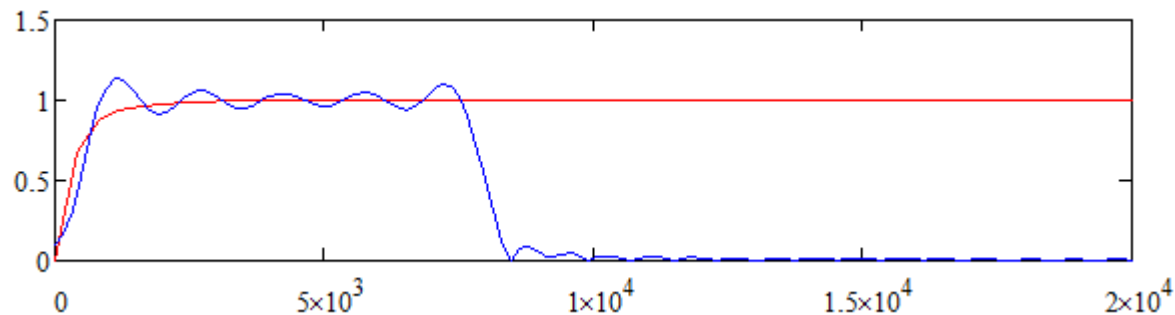


Для подавления можно использовать компенсаторы или полосовые фильтры



$$Y1(X, \alpha) := \begin{cases} B \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 0 \dots \text{last}(X) \\ \quad y_i \leftarrow X_i + (\alpha - 1) \cdot B \\ \quad B \leftarrow X_i + \alpha \cdot B \\ y \end{cases}$$

АЧХ компенсатора и полосового фильтра



Вид передаваемого сигнала и сигнала после устранения
постоянной составляющей на приеме

