Телекоммуникационные технологии

Аналоговая демодуляция

Богач Н.В.

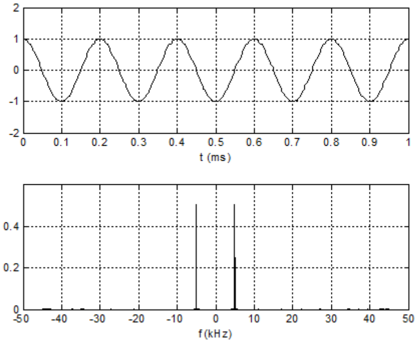
СПбГПУ ИИТУ

9 апреля 2018 г.

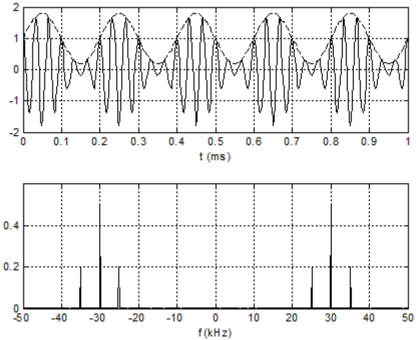
Однотональная АМ

$$U(t) = U_m(1 + s(t))\cos\omega_0 t$$

$$s(t) = A_s \cos\Omega t$$



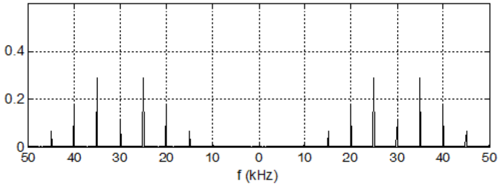
Однотональная АМ



$$U(t) = U_m(1 + A_s \cos \Omega t) \cos \omega_0 t$$
$$U(t) = U_m \cos \omega_0 t + \frac{U_m A_s}{2} \cos(\omega_0 - \Omega)t + \frac{U_m A_s}{2} \cos(\omega_0 - \Omega)t$$

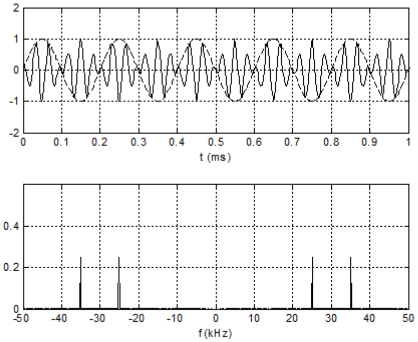
Многотональная АМ

$$U(t) = U_m(1 + A_s \sum_{i=0}^{N-1} \cos \Omega_i t) \cos \omega_0 t \;\; U(t) = U_m \cos \omega_0 t + \ldots + \frac{U_m A_s}{2} \cos(\omega_0 + \Omega_i)t + \frac{U_m A_s}{2} \cos(\omega_0 - \Omega_i)t + \ldots$$



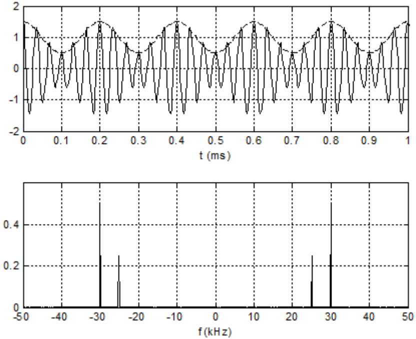
Балансная АМ

M-глубина модуляции, $M = \frac{A_s}{U_m}$,



$$U(t) = U_m A_s \cos \Omega t \cos \omega_0 t$$
$$U(t) = \frac{U_m A_s}{2} \cos(\omega_0 - \Omega)t + \frac{U_m A_s}{2} \cos(\omega_0 - \Omega)t$$

Однополосная АМ

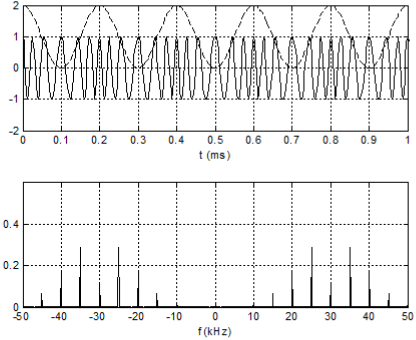


$$U(t) = U_m \cos \omega_0 t + \frac{U_m A_s}{2} \cos(\omega_0 \pm \Omega) t$$

Однотональная фазовая модуляция

$$u(t) = U\cos\left(\omega_0 t + s(t)\right)$$

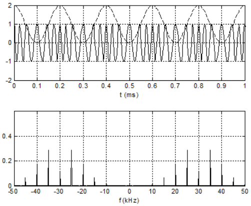
полная фаза меняется по закону $\psi(t) = \omega_0 t + s(t)$



Однотональная фазовая модуляция

мгновенная частота - производная полной фазы по времени $\omega = \frac{d}{dt}\psi(t) = \omega_0 + \frac{d}{dt}s(t)$

Частотная модуляция



$$u(t) = U_m(\cos\omega_0 t + k\int_0^t s(t)dt + \phi_0)$$

$$\beta = \frac{\omega_d}{\Omega}$$

ЧМ: $\omega_d = const$ ФМ: $\beta = const$

Синхронное детектирование АМ-сигналов

$$U(t) = U_m(1 + A_s \cos \Omega t) \cos \omega_0 t \cos \omega_0 t =$$

$$U_m + U_m \cos 2\omega_0 t + \frac{U_m A_s}{2} \cos 2(\omega_0 - \Omega)t + \frac{U_m A_s}{2} \cos 2(\omega_0 + \Omega)t$$

Аналитический сигнал

Пусть

$$s(t) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{0} S(\omega)e^{j\omega t}d\omega + \frac{1}{2\pi}\int_{0}^{\infty} S(\omega)e^{j\omega t}d\omega$$

Обозначим:

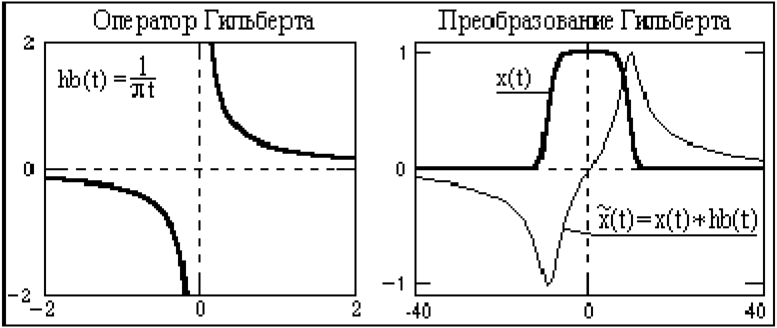
$$z_s(t) = \frac{1}{\pi}\int_{0}^{\infty} S(\omega)e^{j\omega t}d\omega = Re\{z(t)\} + j\,Im\{z(t)\}$$

$$\overset{*}{z_s}(t) = \frac{1}{\pi}\int_{-\infty}^{0} S(\omega)e^{j\omega t}d\omega = Re\{z(t)\} - j\,Im\{z(t)\}$$

Тогда,

$$s(t) = \frac{z_s(t) + \overset{*}{z_s}(t)}{2} = Re\{z(t)\}$$

Оператор Гильберта



$$z_s(t) = s(t) + j\,\mathbb{H}\{s(t)\}$$

$$\mathbb{H}\{s(t)\} = \frac{1}{\pi}\int_{-\infty}^{\infty} \frac{s(t')}{t-t'}dt$$

Демодуляция ФМ и ЧМ сигналов

При демодуляции цифровых сигналов используется метод формирования **аналитического сигнала** с помощью преобразования Гильберта. Преобразование Гильберта для произвольного сигнала представляет собой идеальный широкополосный фазовращатель, который осуществляет поворот начальных фаз всех частотных составляющих сигнала на угол 90^o (сдвиг на $\frac{\pi}{2}$) полная фаза - $\psi(t) = arg(u_a(t))$

ФМ-демодуляция: $\psi(t) = arg(u_a(t)) - \omega_0 t$

ЧМ-демодуляция:$\phi(t) = \frac{d}{dt}\psi(t) - \omega_0$

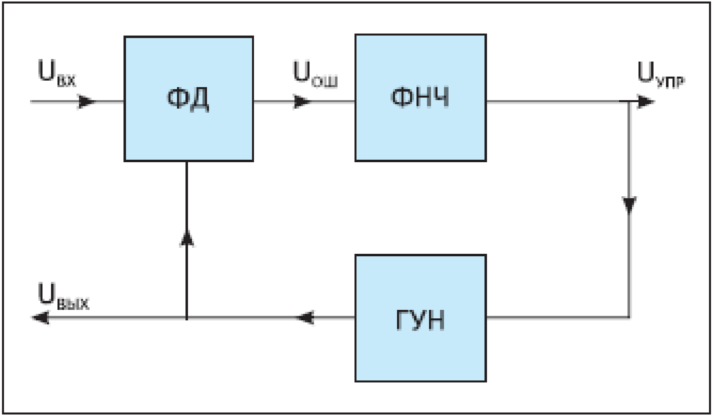
Получение аналитического сигнала в реальном масштабе времени:

$$u_1(t) = u(t)\cos\omega_0 t = \frac{U_m}{2}\cos\phi(t) + \frac{U_m}{2}\cos 2\omega_0 t$$

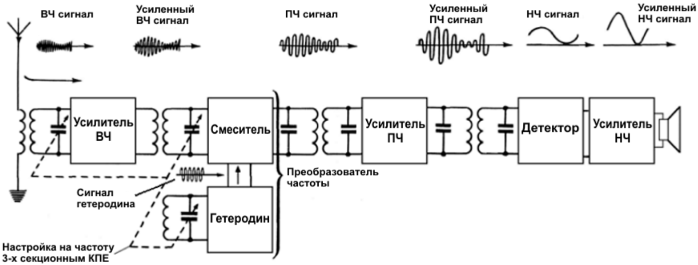
$$u_2(t) = u(t)\sin\omega_0 t = \frac{U_m}{2}\sin\phi(t) + \frac{U_m}{2}\sin 2\omega_0 t$$

$$u_a(t) = \frac{U_m}{2}\cos\phi(t) - j\frac{U_m}{2}\sin\phi(t)$$

Фазовая автоподстройка частоты



Гетеродинный приемник



Супергетеродинный приемник

Квадратурная модуляция

$$s(t) = x(t)\cos(\omega_0 t + \varphi(t)) + y(t) sin(\omega_0 t + \varphi(t))$$