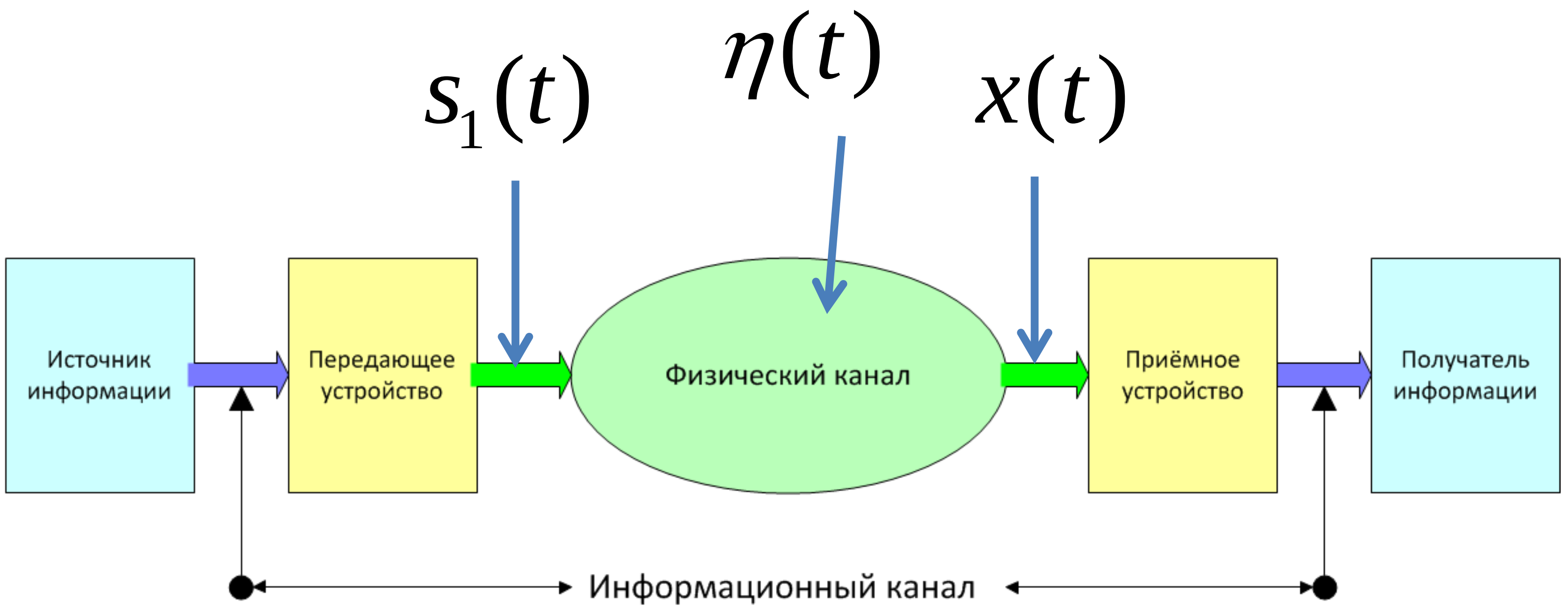
СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

Основы инфокоммуникационных систем

2016 г.

Технические характеристики информационного канала

Основные понятия



$$x(t) = s_2(t) + \eta(t)$$

Показатели информационного канала

1. ***Доступность*** информационного канала к передаче сообщения – вероятность передачи сообщения в заданный момент времени.

2. ***Время передачи*** сообщения – время передачи сообщения от источника до потребителя информации

3. ***Скорость передачи*** сообщения – отношение объёма сообщения к времени его передачи (бит/с).

4. ***Достоверность*** передачи сообщения – вероятность наличия в полученной потребителем информации ошибки.

Скорость передачи сообщений в канале

Скорость передачи сообщения – отношение объёма сообщения к времени его передачи (бит/с).

Пропускная способность канала связи - теоретически наибольшая скорость передачи сообщений с заданной энергией (мощностью) сигнала ***s(t)*** по каналу связи с помехой известной мощности $\boldsymbol{\eta}$ ***(t)*** без ошибок ($\boldsymbol{P_{ош}=0}$).

Теорема Шеннона:

$$C = F_k \cdot \log_2\left(1+\frac{P_s}{P_\eta}\right) \qquad \frac{бит}{c}$$

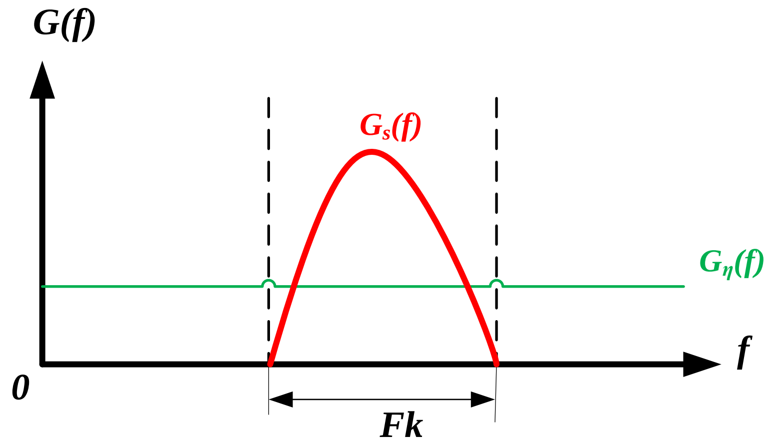
C – пропускная способность. $\boldsymbol{F_k}$ - полоса пропускания канала связи.
$\boldsymbol{P_s}$ - средняя мощность сигнала. $\boldsymbol{P_\eta}$ - средняя мощность помехи.

Условия применимости теоремы : помеха имеет нормальное распределение мгновенных значений, Энергетический спектр помехи в полосе частот канала - $\boldsymbol{F_k}$ определяется средним значением $\boldsymbol{G_\eta(f) = G_o}$.

Скорость передачи сообщений в канале

$$C = F_k \cdot \log_2(1 + \frac{P_s}{P_\eta}) \quad \frac{бит}{c}$$

Условия применимости теоремы: помеха имеет нормальное распределение мгновенных значений. Энергетический спектр помехи в полосе частот канала - $\boldsymbol{F_k}$ определяется средним значением $\boldsymbol{G_\eta(f) = G_o}$.



$$P_\eta = F_k \cdot G_0 \quad Вт.$$

$$P_s = \frac{1}{T_s} \int_{F_1}^{F_2} G_s(f) \cdot df = \frac{W_s}{T_s} \quad Вт.$$

W_s - *энергия сигнала*

$$W_s = \int_{F_1}^{F_2} G_s(f) \cdot df \quad Дж.$$

База сигнала: $BS = F_k \cdot T_s \geq 1$

$$C = F_k \cdot \log_2(1 + \frac{W_s}{T_s \cdot F_k \cdot G_0}) = F_k \cdot \log_2(1 + \frac{W_s}{BS \cdot G_0}) \quad \frac{бит}{c}$$

Спектральное представление непериодических колебаний

$$W = \int_{-\infty}^{\infty} u^2(t) \cdot dt < \infty;$$

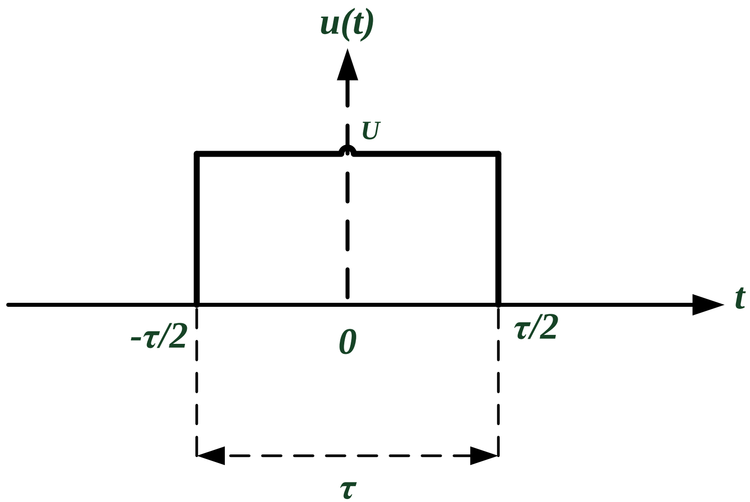
$u(t) \;\rightarrow\; \underline{U}(\omega);$ Прямое преобразование Фурье

$$\underline{U}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t) \cdot e^{-j\cdot\omega\cdot t} \cdot dt;$$

$\underline{U}(\omega) \;\rightarrow\; u(t);$ Обратное преобразование Фурье

$$u(t) = \frac{1}{2\cdot\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \underline{U}(\omega) \cdot e^{j\cdot\omega\cdot t} \cdot d\omega;$$

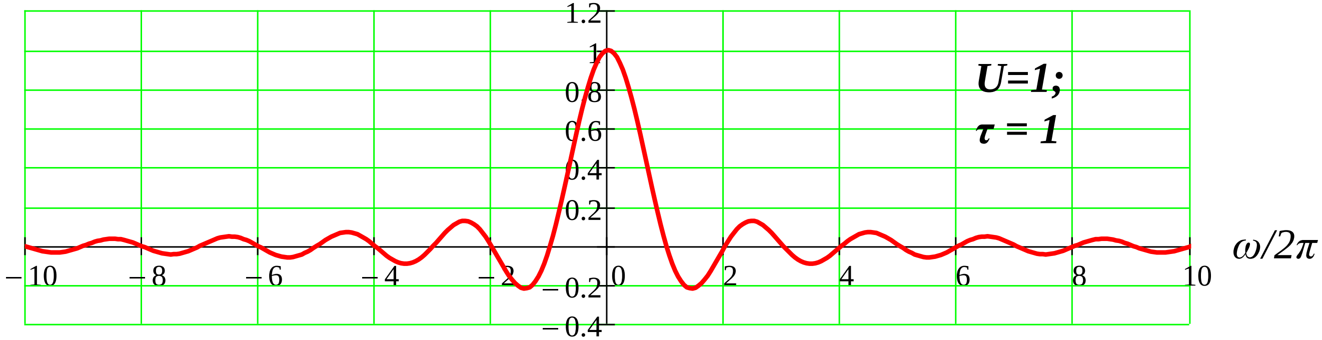
Прямое преобразование Фурье $u(t) \rightarrow \underline{U}(\omega);$



$$\underline{U}(\omega) = \int_{-\frac{\tau}{2}}^{\frac{\tau}{2}} u(t) \cdot e^{-j \cdot \omega \cdot t} \cdot dt;$$

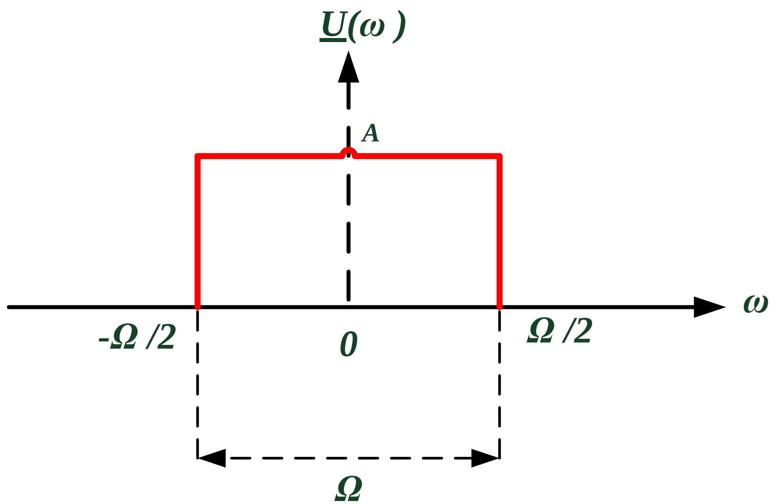
$$\underline{U}(\omega) = U \cdot \tau \cdot \frac{Sin(\frac{\omega \cdot \tau}{2})}{\frac{\omega \cdot \tau}{2}};$$

Re[U(ω)]



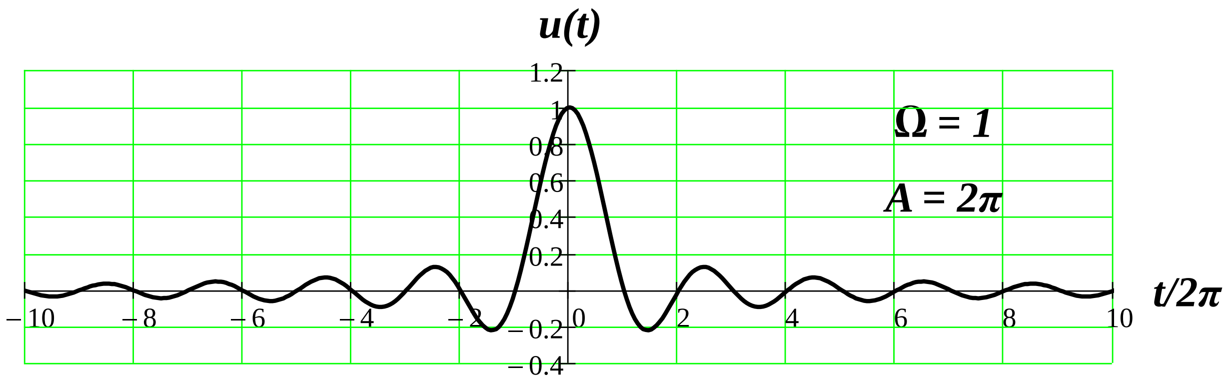
Обратное преобразование Фурье

$$\underline{U}(\omega) \rightarrow u(t);$$

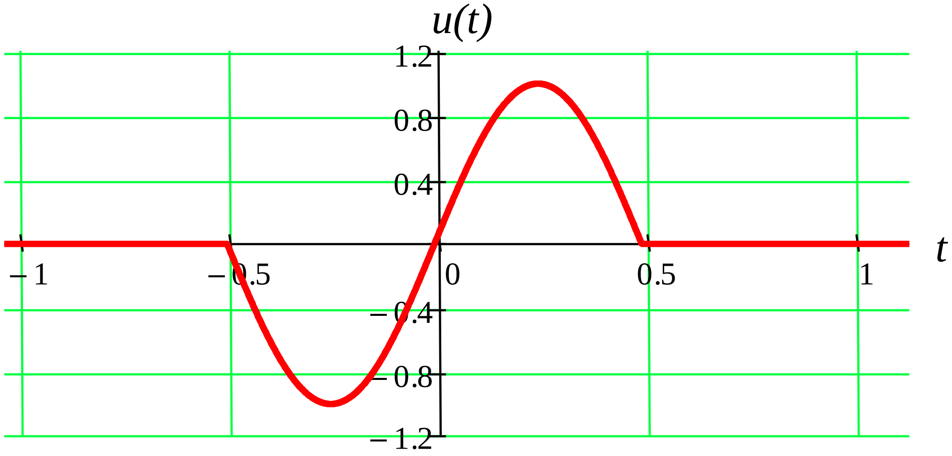


$$u(t) = \frac{1}{2\cdot\pi}\int_{-\frac{\Omega}{2}}^{\frac{\Omega}{2}} \underline{U}(\omega)\cdot e^{j\cdot\omega\cdot t}\cdot d\omega;$$

$$u(t) = \frac{A\cdot\Omega}{2\cdot\pi}\cdot\frac{Sin\left(\frac{\Omega\cdot t}{2}\right)}{\frac{\Omega\cdot t}{2}};$$



Спектральная плотность непериодического колебания



Необходимое условие:

$$W = \int_{-\infty}^{\infty} u^2(t) \cdot dt < \infty;$$

$$\underline{U}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t) \cdot e^{-j\cdot\omega\cdot t} \cdot dt = j \cdot 4 \cdot \pi \cdot \frac{\sin(\frac{\omega}{2})}{\omega^2 - 4 \cdot \pi^2} \quad \langle B \cdot c \rangle;$$

$$\underline{U}(\omega) = \left|\underline{U}(\omega)\right| \cdot e^{j\cdot\varphi(\omega)};$$

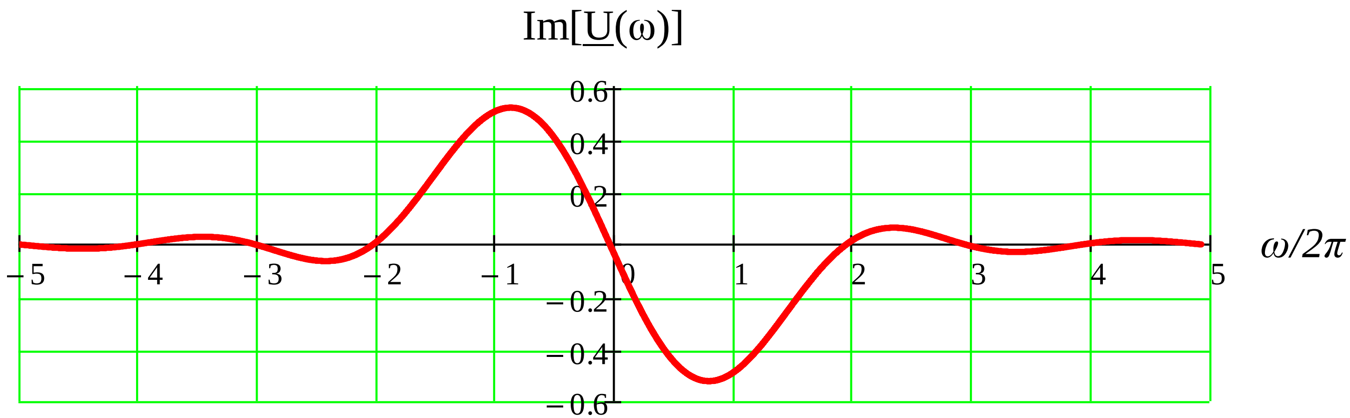
$\left|\underline{U}(\omega)\right| = U(\omega) \quad \rightarrow$ амплитудно-частотная характеристка колебания (АЧХ);

$\varphi(\omega) \quad \rightarrow$ фазо-частотная характеристка колебания (ФЧХ);

Спектральная плотность непериодического колебания

$$\underline{U}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t) \cdot e^{-j \cdot \omega \cdot t} \cdot dt = j \cdot 4 \cdot \pi \cdot \frac{\sin(\frac{\omega}{2})}{\omega^2 - 4 \cdot \pi^2} \quad \langle B \cdot c \rangle;$$

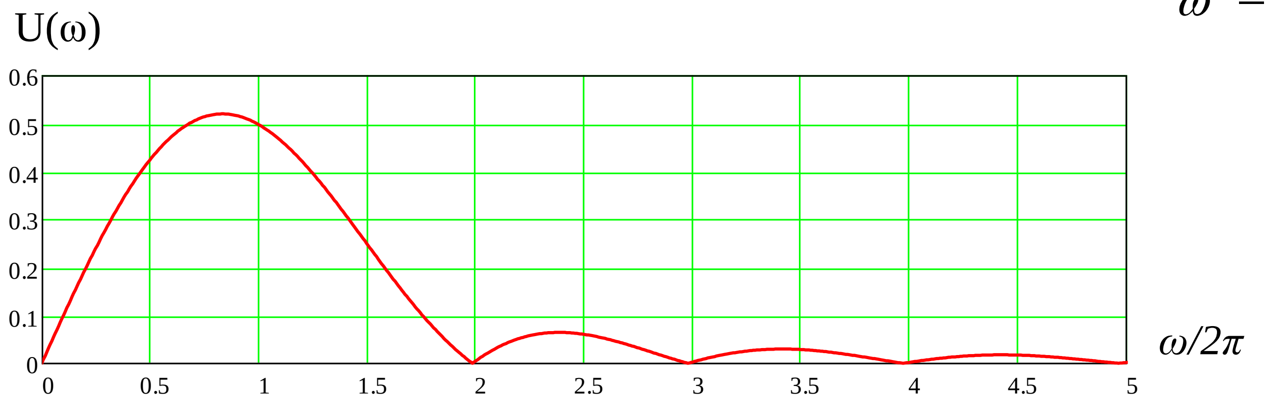
$$\mathrm{Re}\left[\underline{U}(\omega)\right] = 0; \quad \underline{U}(\omega) = j \cdot \mathrm{Im}\left[\underline{U}(\omega)\right];$$



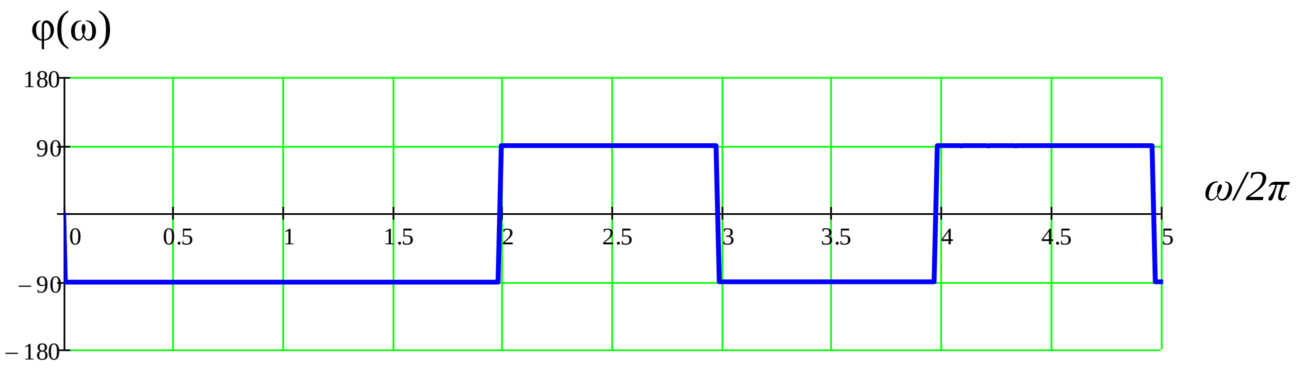
Спектральная плотность непериодического колебания

$|\underline{U}(\omega)| = U(\omega) \rightarrow$ АЧХ

$$\underline{U}(\omega) = j \cdot 4 \cdot \pi \cdot \frac{\sin(\frac{\omega}{2})}{\omega^2 - 4 \cdot \pi^2} \;;$$

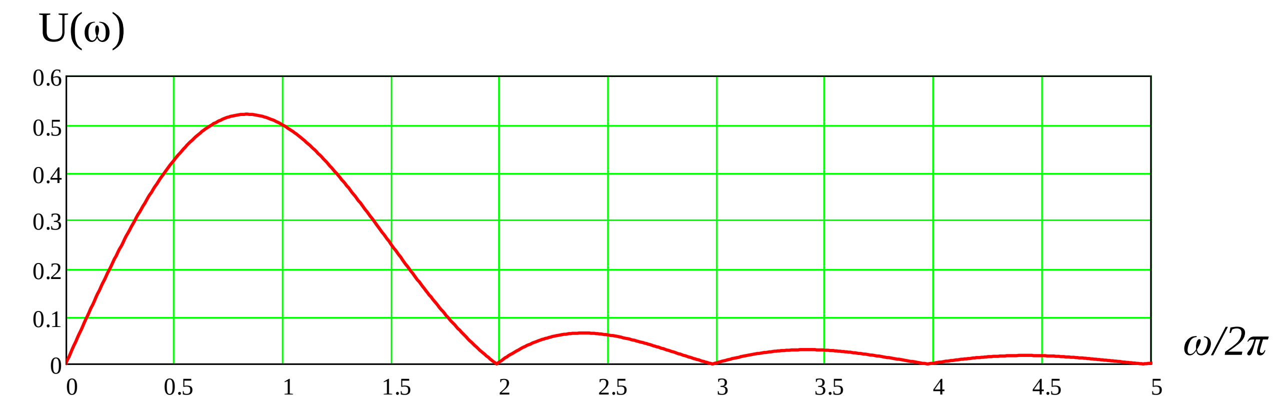


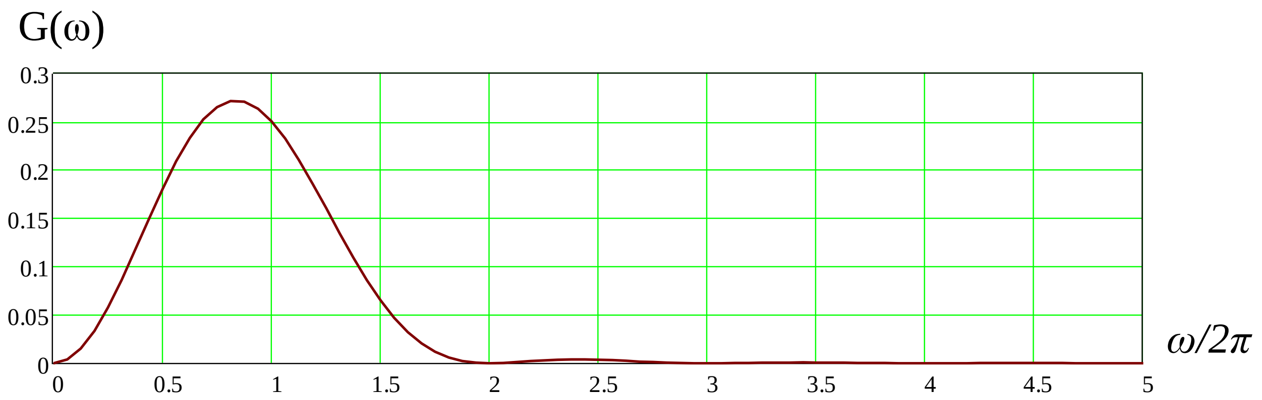
$\varphi(\omega) = \arg[\underline{U}(\omega)] \rightarrow$ ФЧХ



Энергетический спектр непериодического колебания

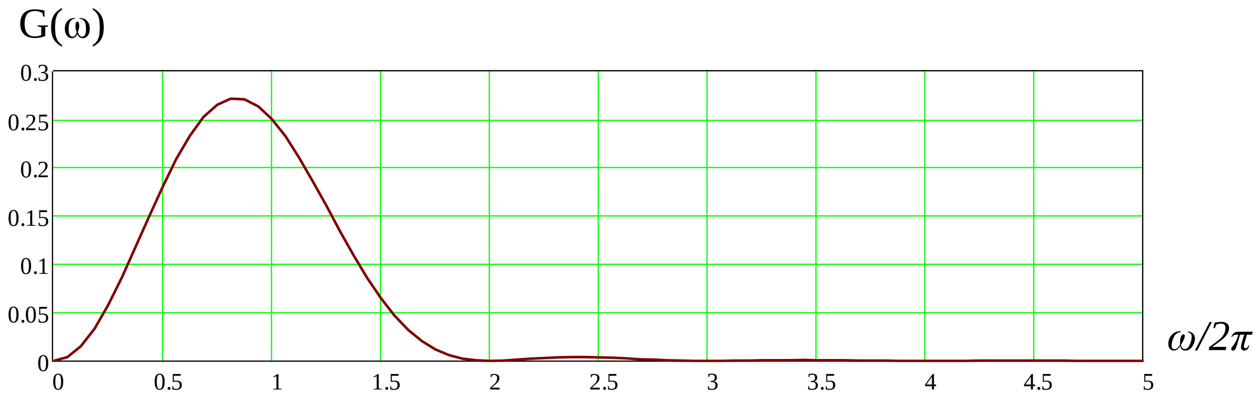
$$G(\omega) = U^2(\omega) \quad \langle Дж \cdot c \rangle \rightarrow \quad \textit{энергетический спектр}$$





Энергетический спектр непериодического колебания

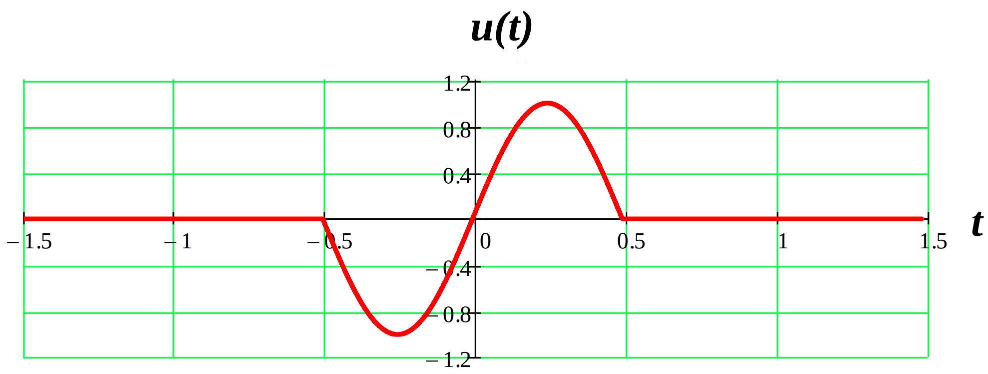
$$G(\omega) = U^2(\omega) \quad \langle Дж \cdot с \rangle \rightarrow \ \textit{энергетический спектр}$$



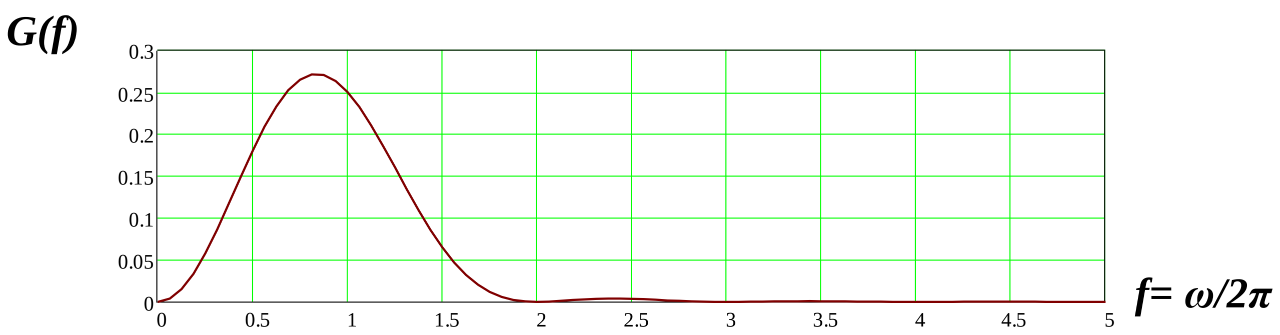
$$W = \int_{-\infty}^{\infty} u^2(t) \cdot dt = 0,5 \ < \infty \quad \rightarrow \ \textit{энергия колебания;}$$

$$W = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} G(\omega) \cdot d\omega = \frac{1}{\pi} \cdot \int_{0}^{\infty} G(\omega) \cdot d\omega = 0,5 \ < \infty$$

Ширина энергетического спектра

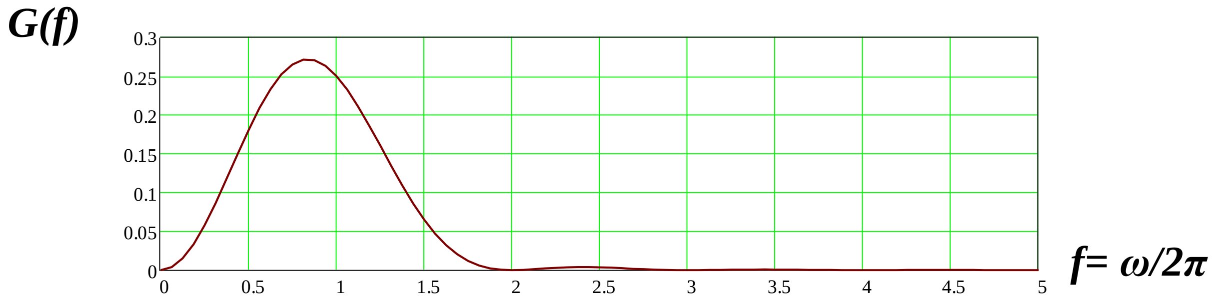


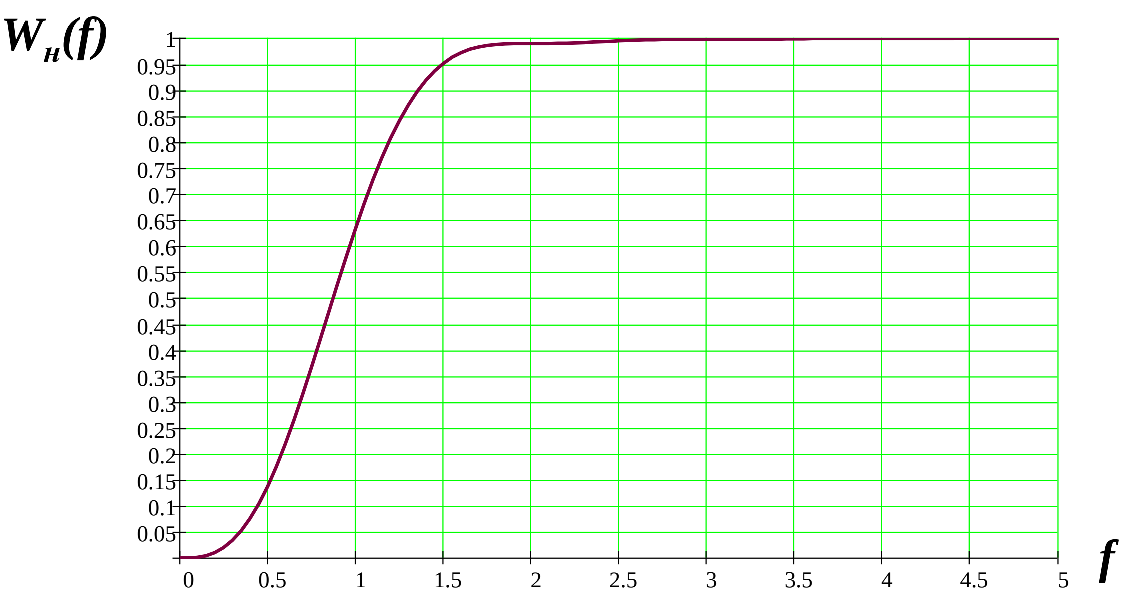
Длительность колебания во времени - τ_s = 1,0



Ширина энергетического спектра по частоте - F_s = ?

Ширина энергетического спектра





$$W(f) = \int_0^f G(f)\cdot df$$

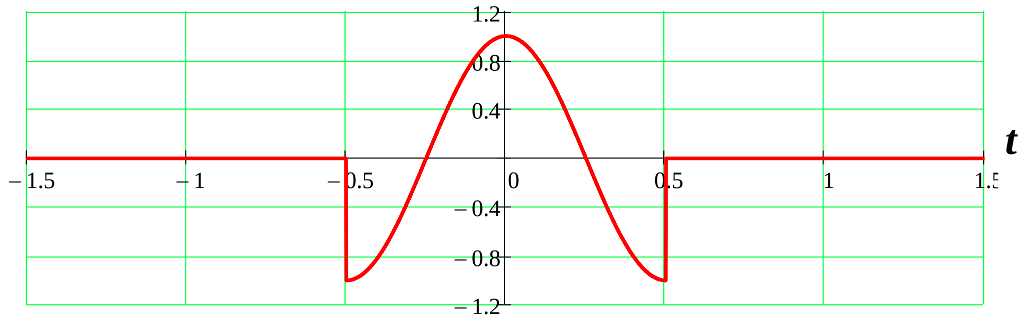
$$W_н(f) = \frac{W(f)}{W(\infty)};$$

$$W(\infty) = \int_0^\infty G(f)\cdot df = W_S;$$

90% энергии сосредоточено в полосе частот 0,3 …1,5; ***F_S(0,9)= 1,2***

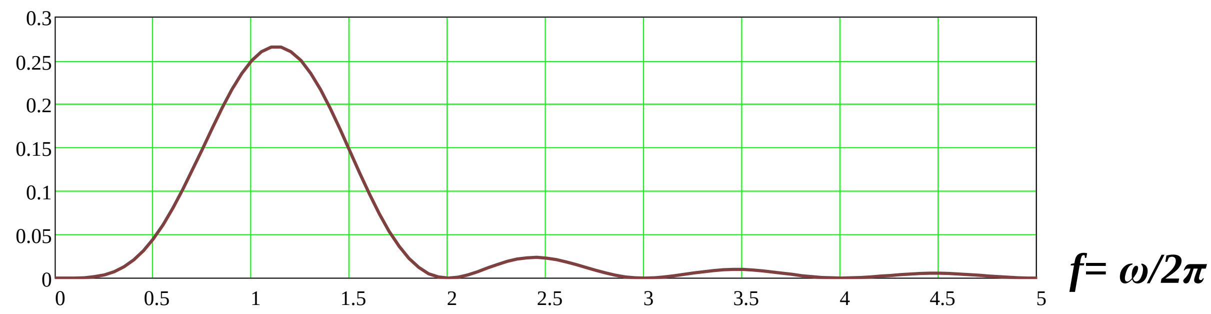
Ширина энергетического спектра

u(t)



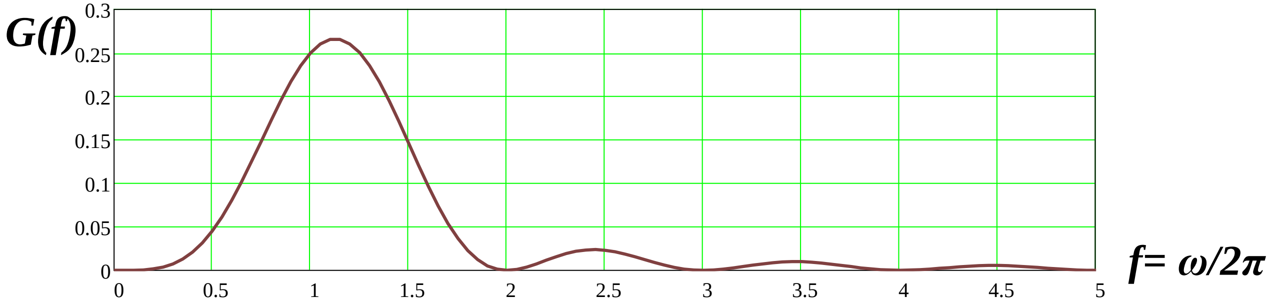
Длительность колебания во времени - τ_S = 1,0

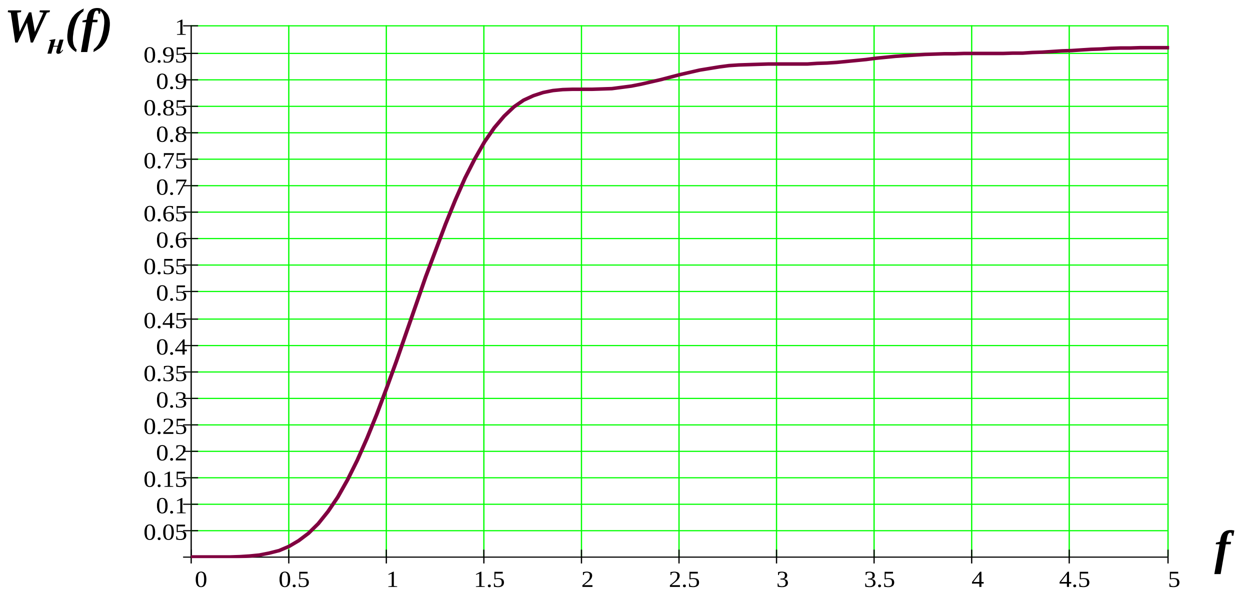
G(f)



Ширина энергетического спектра по частоте - F_S = ?

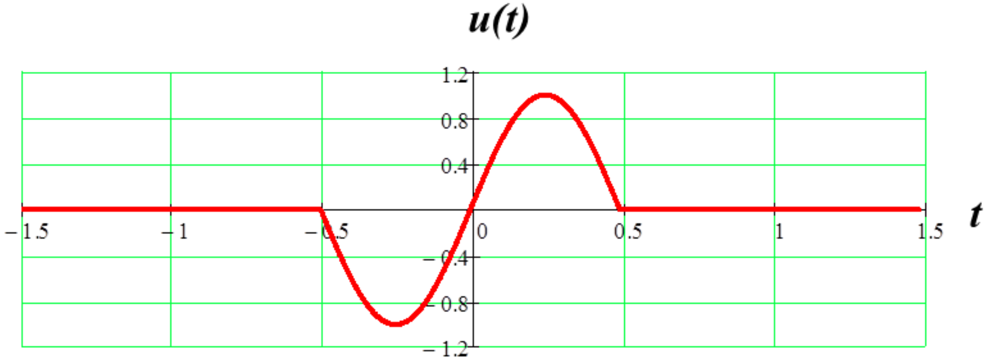
Ширина энергетического спектра



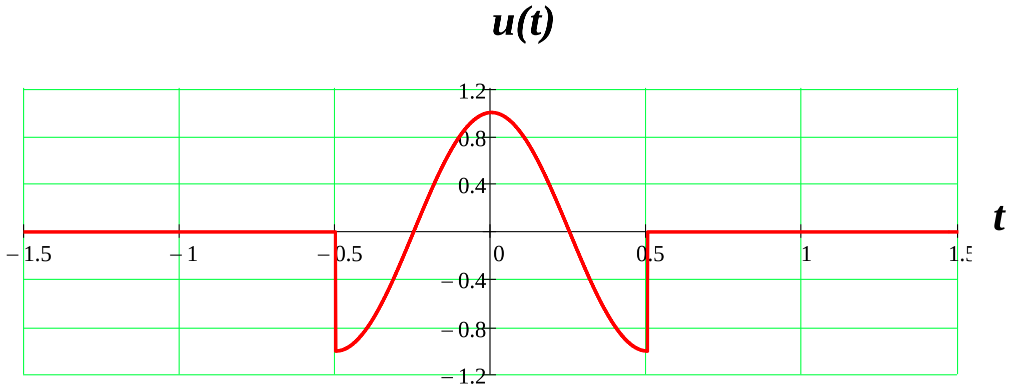


90% энергии сосредоточено в полосе частот 0,6 …3,6; ***F_S(0,9)= 3,0***

Ширина энергетического спектра

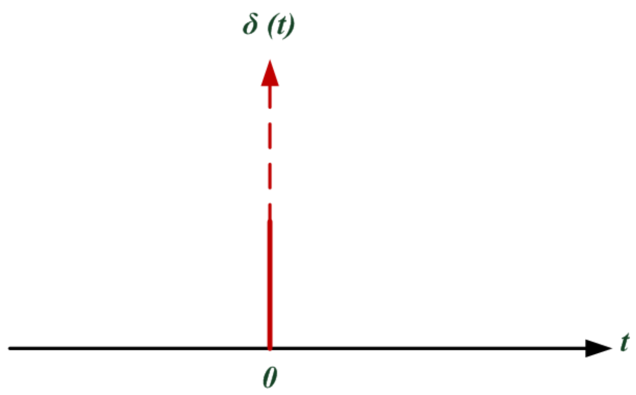


Ширина энергетического спектра F_S(0,9)= 1,2



Ширина энергетического спектра F_S(0,9)= 3,0

Непериодические колебания $W \rightarrow \infty$

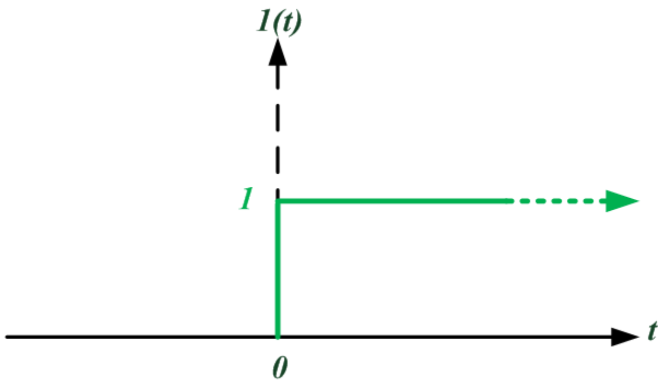


$$\tau \to 0; \quad U \to \infty; \quad W \to \infty;$$

δ(t) – δ - функция (функция Дирака)

$$W_\delta \to \infty;$$

1(t) – единичная функция



$$1(\mathrm{t}) = \int_{-\infty}^{t} \delta(t) \cdot \partial t \quad ;$$

$$\delta(t) = \frac{\partial 1(\mathrm{t})}{\partial t};$$

$$W_1 \to \infty;$$

Операторное представление непериодических колебаний

$u(t) \rightarrow U(p);$ ***Прямое преобразование Лапласа***

$$U(p) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t) \cdot e^{-p \cdot t} \cdot dt;$$ ***Операторное изображение***

$$p = \alpha + j \cdot \omega;$$

$U(p) \rightarrow u(t);$ ***Обратное преобразование Лапласа***

$$u(t) = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot j} \int_{\alpha - j \cdot \infty}^{\alpha + j \cdot \infty} U(p) \cdot e^{p \cdot t} \cdot dp;$$

Операторное изображение и спектральная плотность непериодических колебаний

Прямое преобразование Лапласа

$$u(t) \to U(p);$$

$$U(p) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t) \cdot e^{-p \cdot t} \cdot dt;$$

$$p = \alpha + j \cdot \omega = j \cdot \omega \;; \qquad \alpha = 0;$$

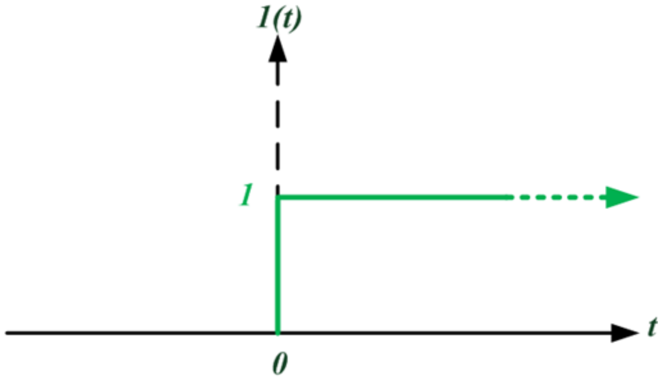
Прямое преобразование Фурье

$$U(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t) \cdot e^{-j \cdot \omega \cdot t} \cdot dt;$$

Преобразование операторного изображения в спектральную плотность

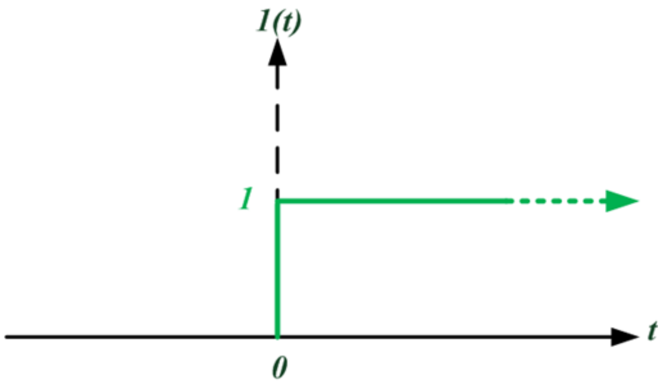
$$U(p) \quad \to \quad p = j \cdot \omega \quad \to \quad \underline{U}(\omega);$$

Операторное изображение и спектральная плотность 1(t) – единичной функции

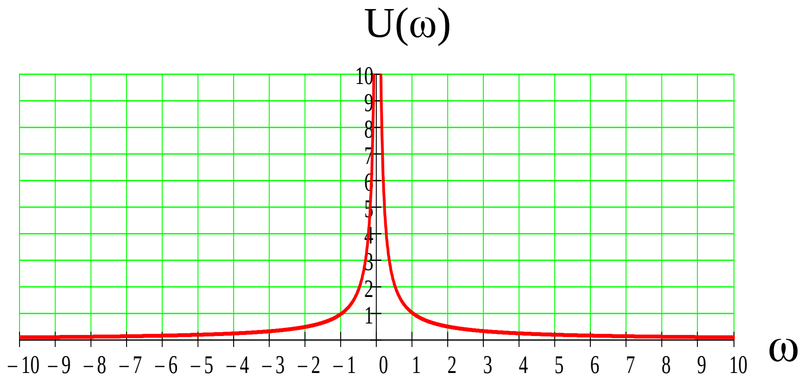


$$1(p) = \frac{1}{p} \quad \to \quad p = j \cdot \omega \quad \to \quad \underline{1}(\omega) = \frac{1}{j \cdot \omega} \; ;$$

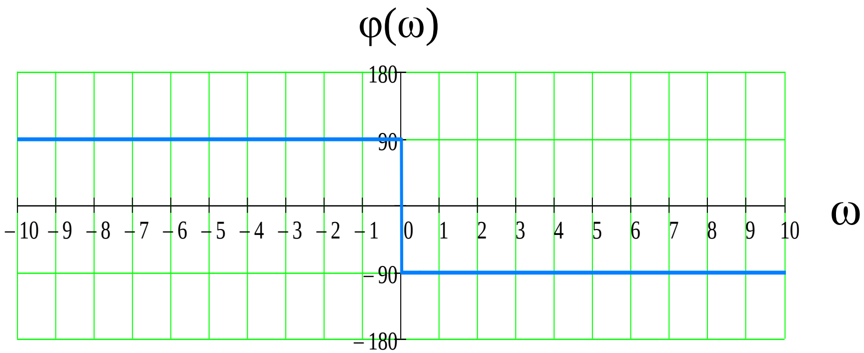
Спектральная плотность 1- функции



$$\underline{1}(\omega) = \frac{1}{j \cdot \omega};$$

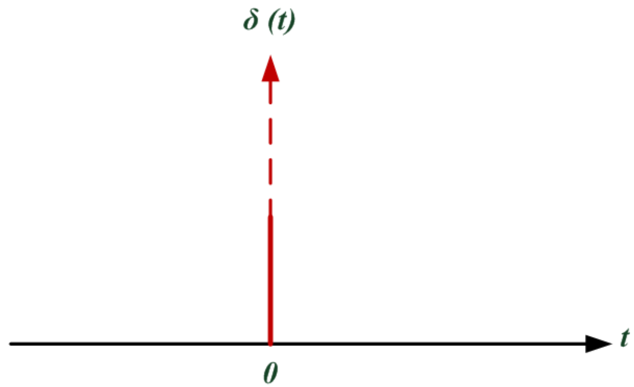


АЧХ



ФЧХ

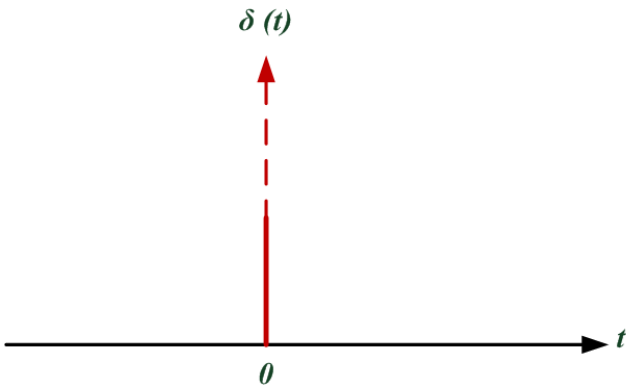
Операторное представление δ - функции

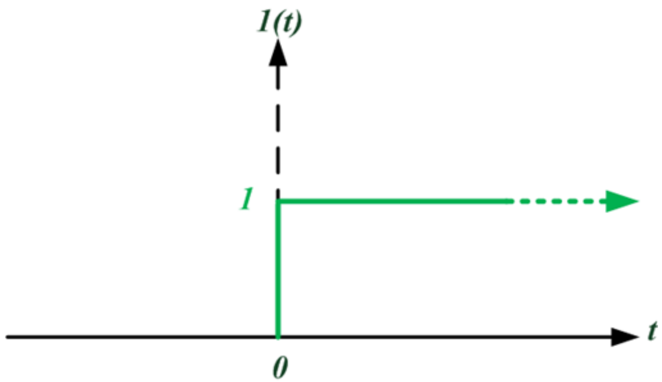


$$\delta(t) \;\rightarrow\; \delta(p);$$

$$\delta(p) = \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) \cdot e^{-p \cdot t} \cdot dt = e^{-p \cdot 0} = 1;$$

Взаимосвязь изображений и спектров δ и 1 функций





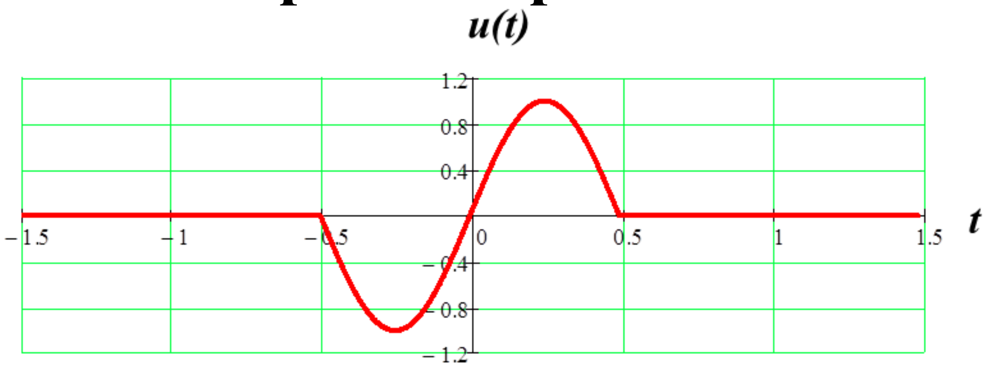
$$\delta(t) = \frac{\partial 1(\mathrm{t})}{dt}; \quad \to \quad \delta(p) = p \cdot 1(p) = 1;$$

$$1(t) = \int_{-\infty}^{t} \delta(t) \cdot \partial t; \quad \to \quad 1(p) = \frac{\delta(p)}{p};$$

$$\underline{\delta}(\omega) = 1;$$

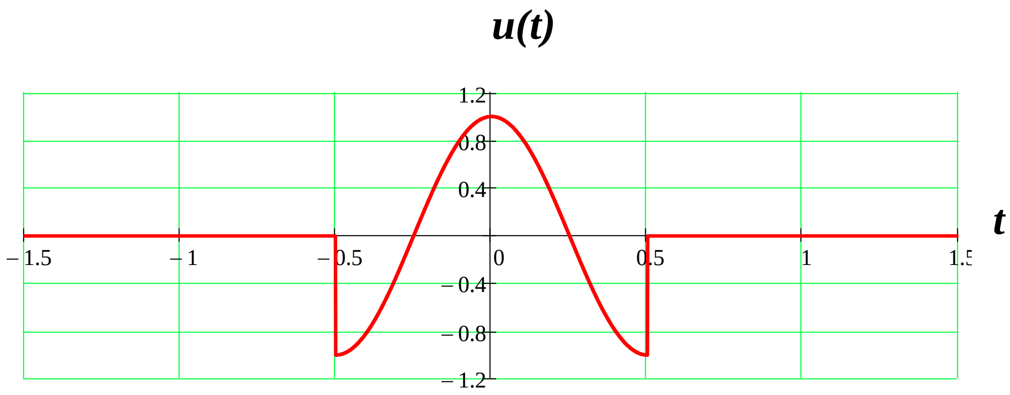
$$\underline{1}(\omega) = \frac{1}{j \cdot \omega} \;;$$

Ширина энергетического спектра



τ_S = 1,0

Ширина энергетического спектра F_S*(0,9)= 1,2*



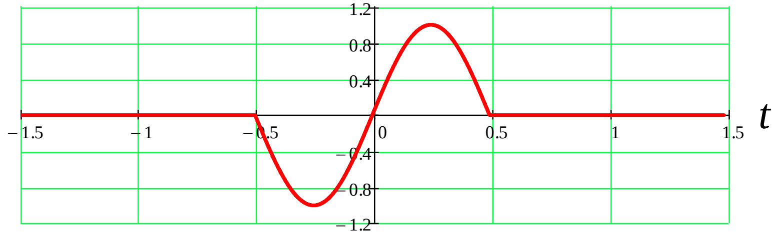
τ_S = 1,0

Ширина энергетического спектра F_S*(0,9)= 3,0*

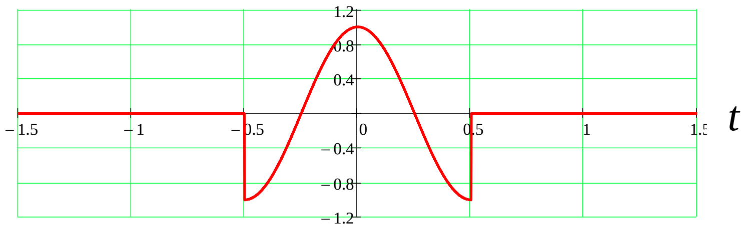
Корреляционные функции

Энергетическое расстояние

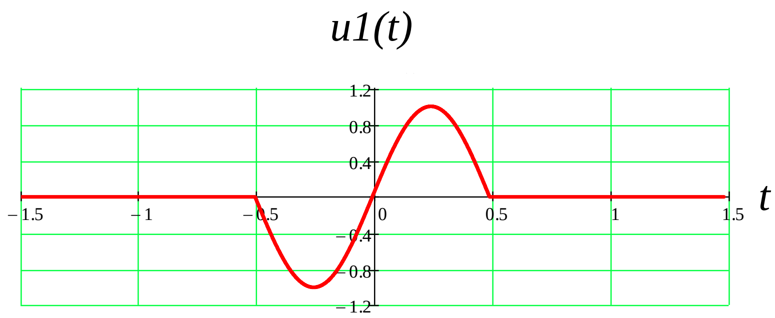
u1(t)

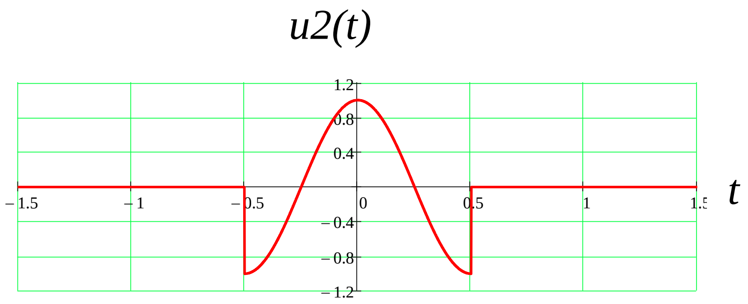


u2(t)



Энергетическое расстояние

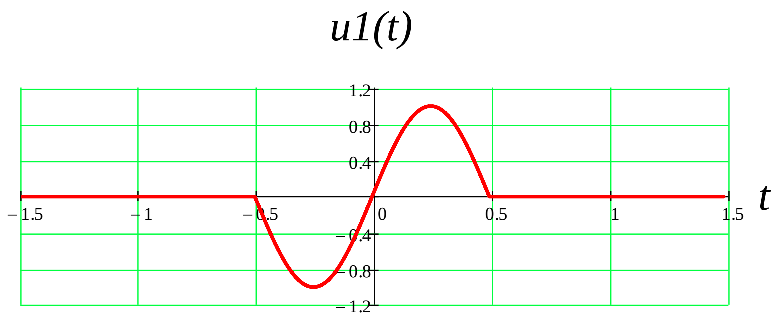


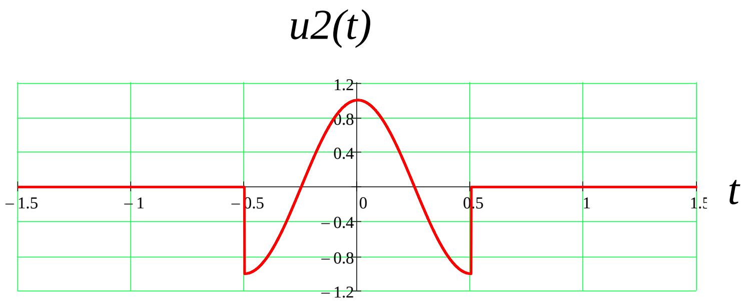


Энергетическое расстояние:

$$\Delta W_{21} = \int_{-\infty}^{\infty} [u_2(t) - u_1(t)]^2 \cdot dt \quad \langle Дж \rangle;$$

Энергетическое расстояние



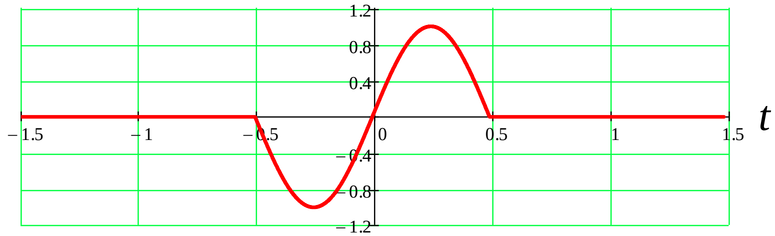


Энергетическое расстояние: $\Delta W_{21} = \int_{-\infty}^{\infty} [u_2(t) - u_1(t)]^2 \cdot dt \quad \langle Дж \rangle;$

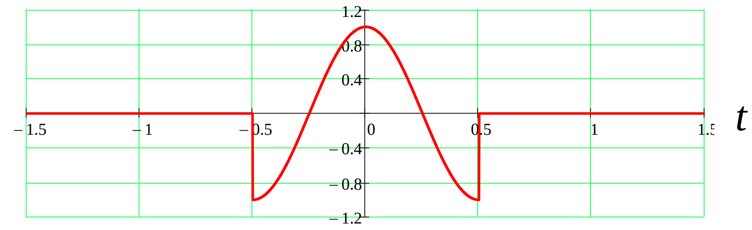
$$\Delta W_{21} = \int_{-\infty}^{\infty} [u_2(t) - u_1(t)]^2 \cdot dt = \int_{-\infty}^{\infty} u_2^2(t) \cdot dt + \int_{-\infty}^{\infty} u_2^2(t) \cdot dt - 2 \cdot \int_{-\infty}^{\infty} u_2(t) \cdot u_1(t) \cdot dt$$

Энергетическое расстояние

u1(t)



u2(t)



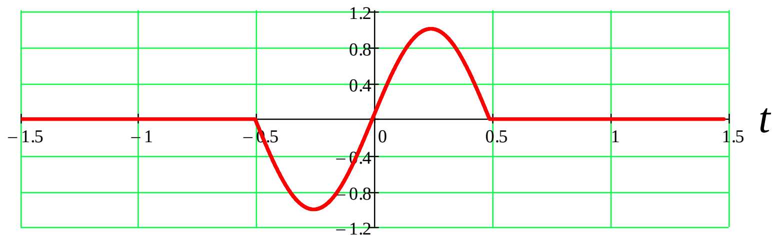
Энергетическое расстояние: $\Delta W_{21} = \int\limits_{-\infty}^{\infty} [u_2(t) - u_1(t)]^2 \cdot dt \quad \langle Дж \rangle;$

$$\Delta W_{21} = \int\limits_{-\infty}^{\infty} [u_2(t) - u_1(t)]^2 \cdot dt = \int\limits_{-\infty}^{\infty} u_2^2(t) \cdot dt + \int\limits_{-\infty}^{\infty} u_2^2(t) \cdot dt - 2 \cdot \int\limits_{-\infty}^{\infty} u_2(t) \cdot u_1(t) \cdot dt$$

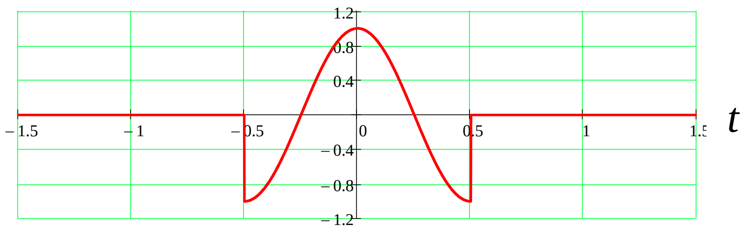
$$\Delta W_{21} = \int\limits_{-\infty}^{\infty} [u_2(t) - u_1(t)]^2 \cdot dt = W_1 + W_2 - 2 \cdot \int\limits_{-\infty}^{\infty} u_2(t) \cdot u_1(t) \cdot dt$$

Энергетическое расстояние

u1(t)



u2(t)



Энергетическое расстояние: $\Delta W_{21} = \int\limits_{-\infty}^{\infty} [u_2(t) - u_1(t)]^2 \cdot dt \quad \langle Дж \rangle;$

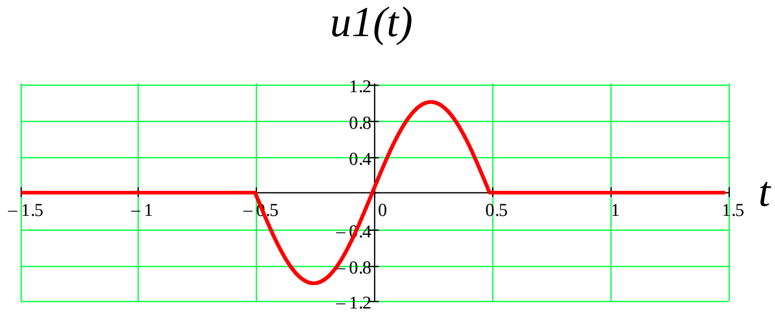
$$\Delta W_{21} = \int\limits_{-\infty}^{\infty} [u_2(t) - u_1(t)]^2 \cdot dt = \int\limits_{-\infty}^{\infty} u_2^2(t) \cdot dt + \int\limits_{-\infty}^{\infty} u_2^2(t) \cdot dt - 2 \cdot \int\limits_{-\infty}^{\infty} u_2(t) \cdot u_1(t) \cdot dt$$

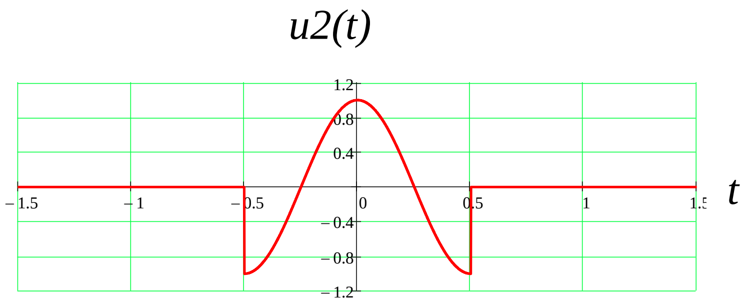
$$\Delta W_{21} = \int\limits_{-\infty}^{\infty} [u_2(t) - u_1(t)]^2 \cdot dt = W_1 + W_2 - 2 \cdot \int\limits_{-\infty}^{\infty} u_2(t) \cdot u_1(t) \cdot dt$$

$$\boxed{\int\limits_{-\infty}^{\infty} u_2(t) \cdot u_1(t) \cdot dt = B_{21}}$$

Энергетическая корреляция

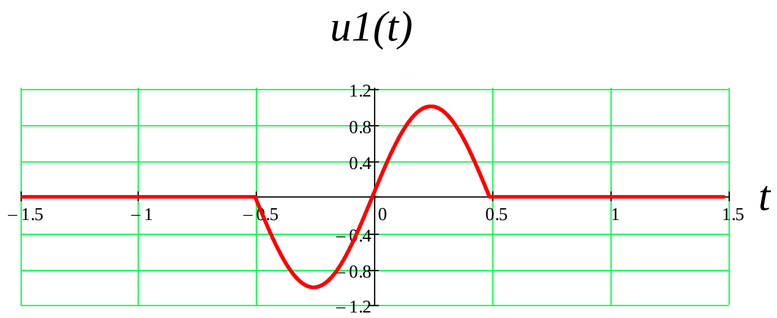
Энергетическое расстояние

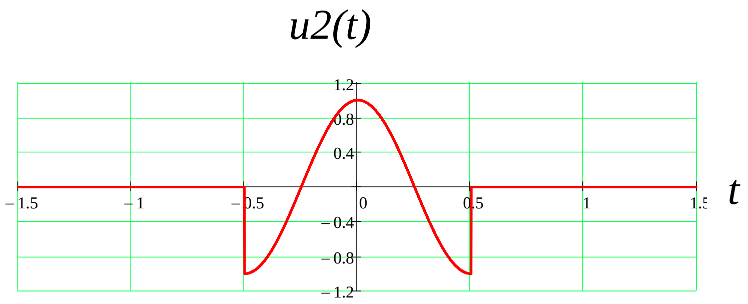




$$\int_{-\infty}^{\infty} u_2(t)\cdot u_1(t)\cdot dt = B_{21} = 0;$$

Энергетическое расстояние

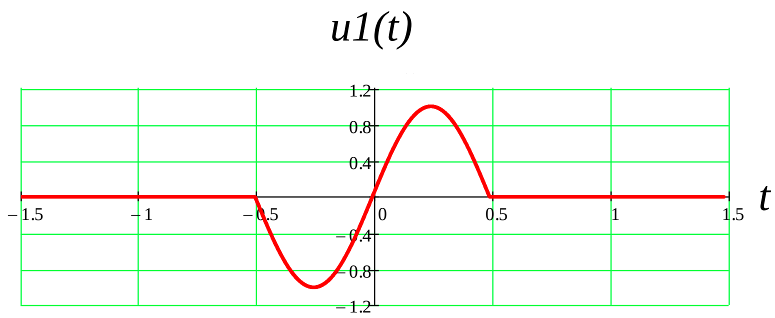


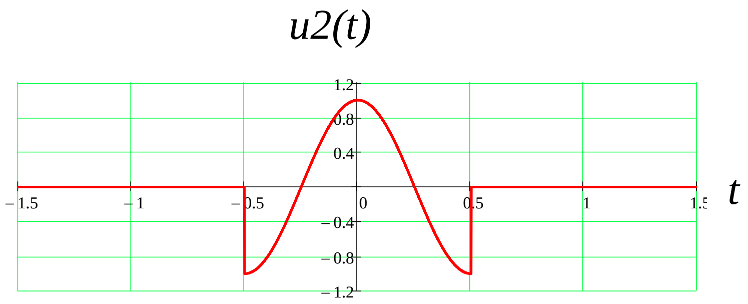


$$\int_{-\infty}^{\infty} u_2(t) \cdot u_1(t) \cdot dt = B_{21} = 0;$$

$$\Delta W_{21} = W_2 + W_1;$$

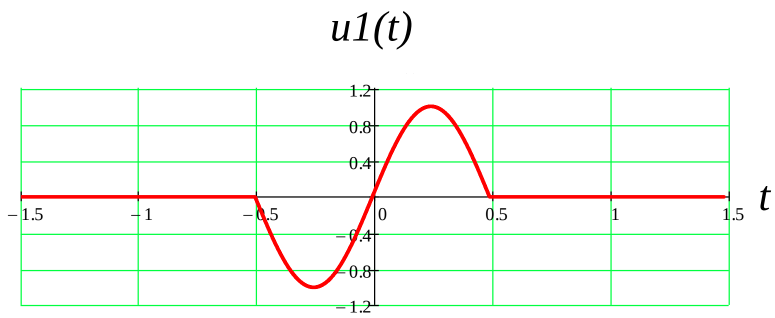
Энергетическое расстояние

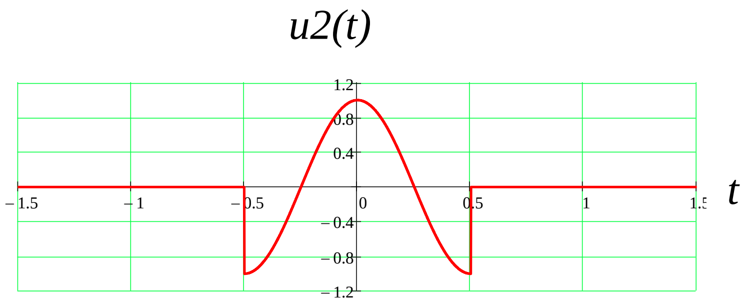




$$\int_{-\infty}^{\infty} u_2(t)\cdot u_1(t)\cdot dt = B_{21} = 0; \qquad \Delta W_{21} = W_2 + W_1; \qquad W_2 = W_1 = 0{,}5\ ;$$

Энергетическое расстояние





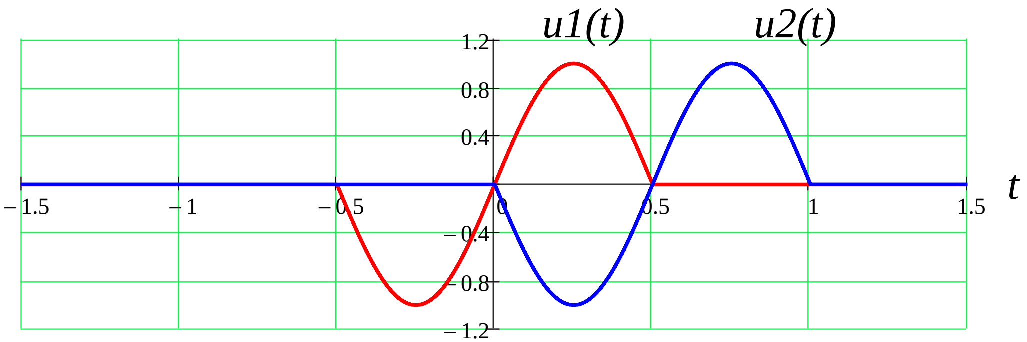
$$\int_{-\infty}^{\infty} u_2(t)\cdot u_1(t)\cdot dt = B_{21} = 0;$$

$$\Delta W_{21} = W_2 + W_1;$$

$$W_2 = W_1 = 0,5\ ;$$

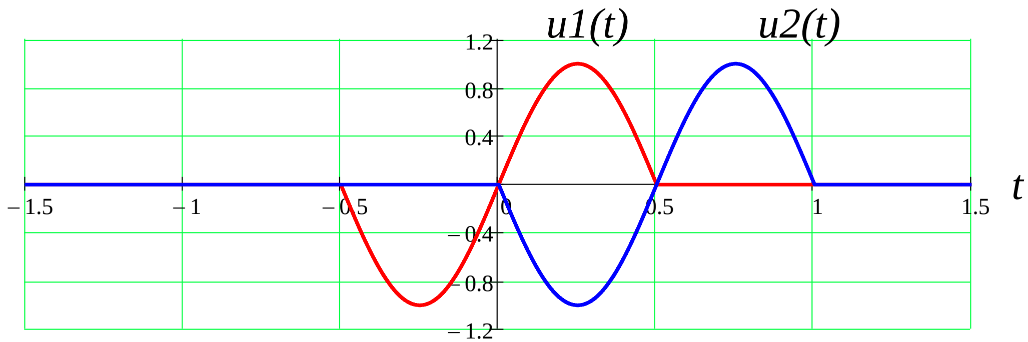
$$\Delta W_{21} = 1;$$

Автокорреляционная функция непериодического колебания



$$u_2(t) = u_1(t - \tau):$$

Автокорреляционная функция непериодического колебания

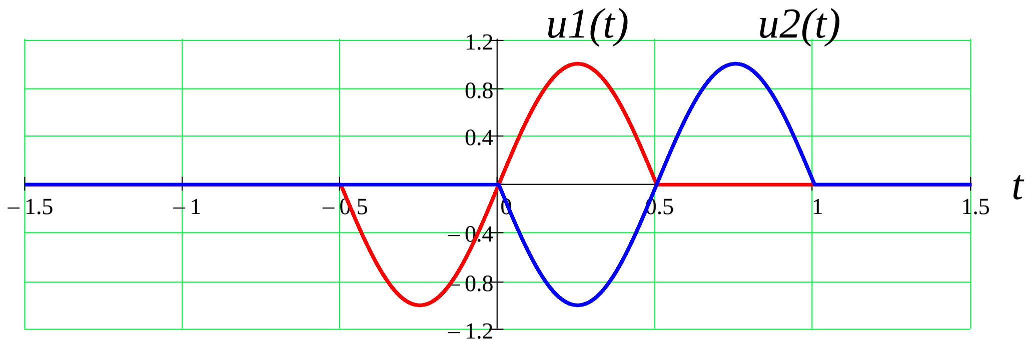


$$u_2(t) = u_1(t - \tau):$$

Автокорреляционная функция

$$B(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t) \cdot u(t - \tau) \cdot dt;$$

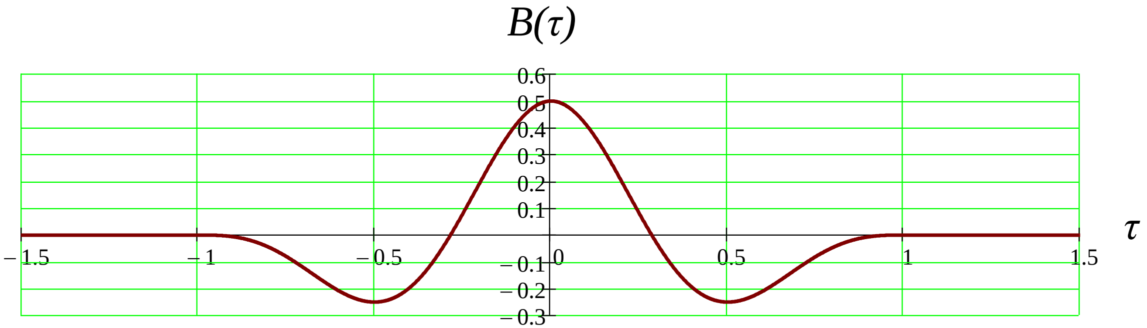
Автокорреляционная функция непериодического колебания



$$u_2(t) = u_1(t - \tau):$$

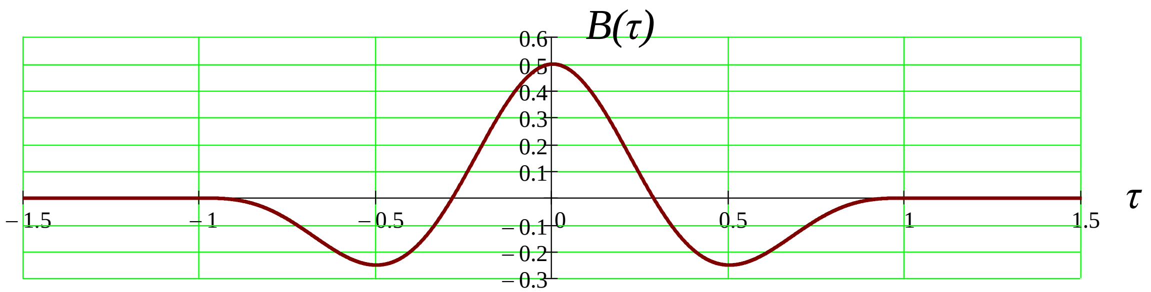
Автокорреляционная функция

$$B(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t) \cdot u(t - \tau) \cdot dt;$$



Автокорреляционная функция непериодического колебания

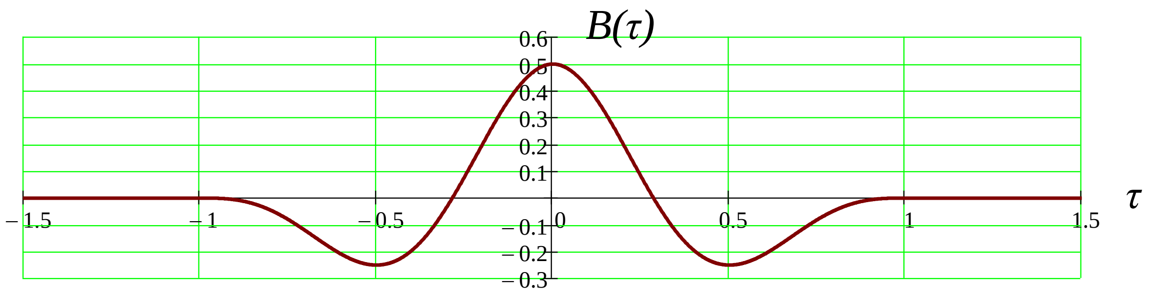
$$B(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t) \cdot u(t-\tau) \cdot dt;$$



$$B(0) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t) \cdot u(t) \cdot dt = W \quad \langle Дж \rangle;$$

Автокорреляционная функция непериодического колебания

$$B(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t) \cdot u(t-\tau) \cdot dt;$$

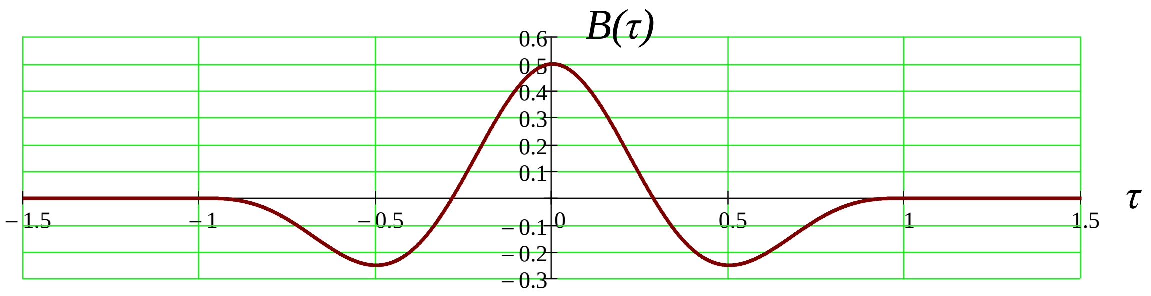


$$B(0) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t) \cdot u(t) \cdot dt = W \quad \langle Дж \rangle;$$

$B(\tau) = B(-\tau);$ *симметрия относительно* $t = 0;$

Автокорреляционная функция непериодического колебания

$$B(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t) \cdot u(t-\tau) \cdot dt;$$

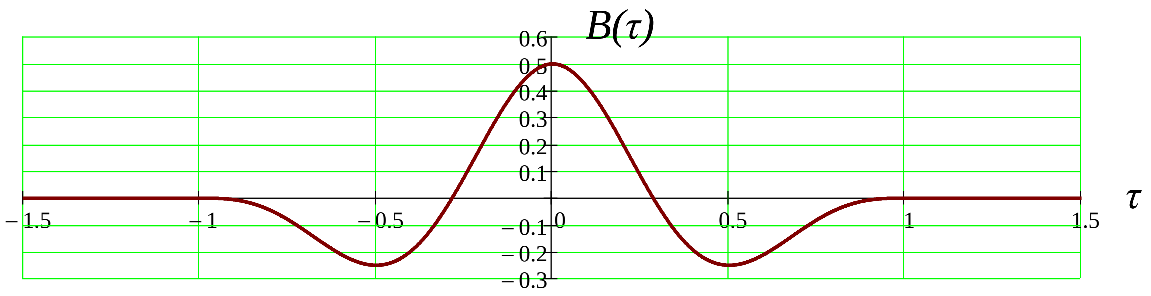


$$B(0) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t) \cdot u(t) \cdot dt = W \quad \langle Дж \rangle; \qquad B(\tau) = B(-\tau); \quad симметрия\ относительно\ t = 0;$$

$$\underline{B}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} B(\tau) \cdot e^{-j\cdot\omega\cdot\tau} \cdot d\tau = G(\omega); \qquad G(\omega) \quad \rightarrow \quad энергетический\ спектр$$

Автокорреляционная функция непериодического колебания

$$B(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t) \cdot u(t-\tau) \cdot dt;$$



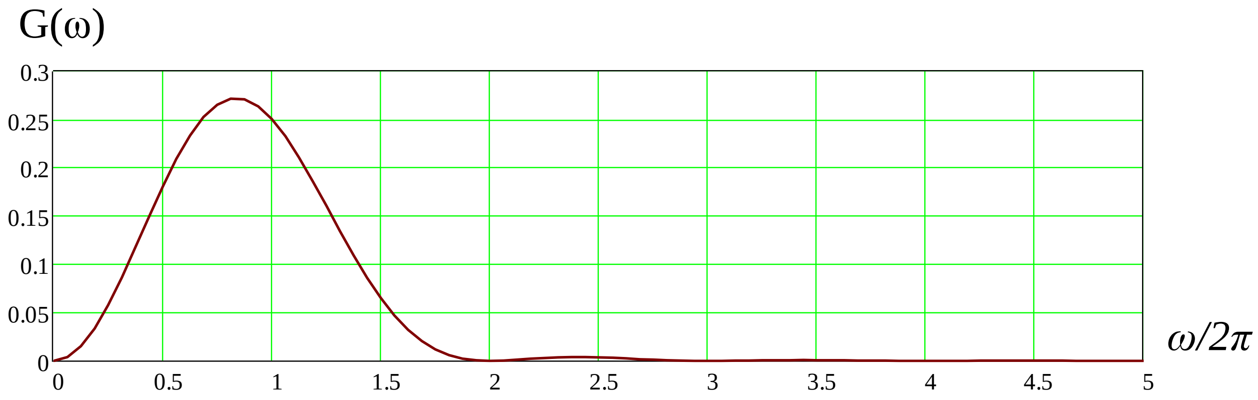
$$B(0) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t) \cdot u(t) \cdot dt = W \quad \langle Дж \rangle; \qquad B(\tau) = B(-\tau); \quad \textit{симметрия относительно } t = 0;$$

$$\underline{B}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} B(\tau) \cdot e^{-j \cdot \omega \cdot \tau} \cdot d\tau = G(\omega); \qquad G(\omega) \quad \rightarrow \quad \textit{энергетический спектр}$$

$$B(\tau) = \frac{1}{\pi} \cdot \int_{0}^{\infty} G(\omega) \cdot e^{j \cdot \omega \cdot \tau} \cdot d\omega;$$

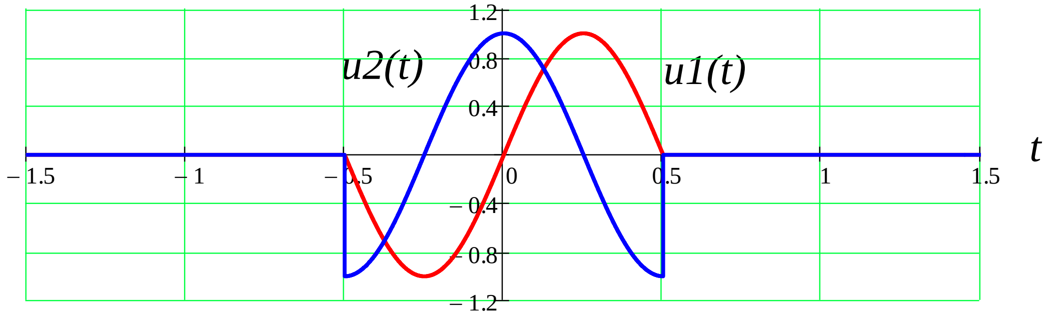
Энергетический спектр непериодического колебания

$$G(\omega) = U^2(\omega) \quad \langle Дж \cdot с \rangle \rightarrow \textit{ энергетический спектр}$$

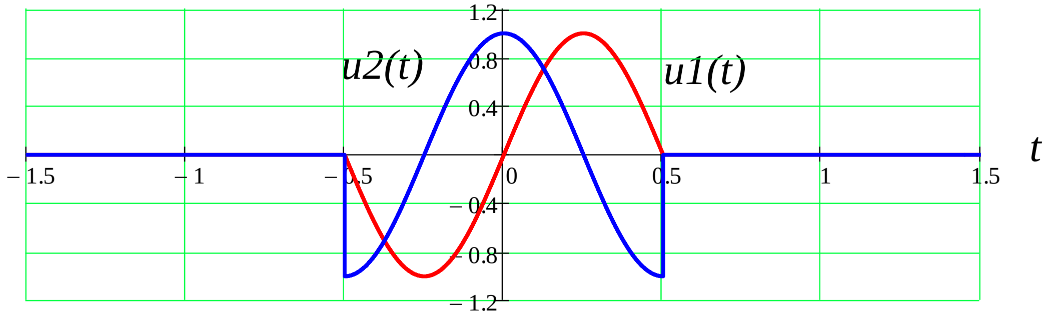


$$W = \int_{-\infty}^{\infty} u^2(t) \cdot dt = 0{,}5 < \infty \quad \rightarrow \textit{ энергия колебания;}$$

Корреляционная функция непериодических колебаний

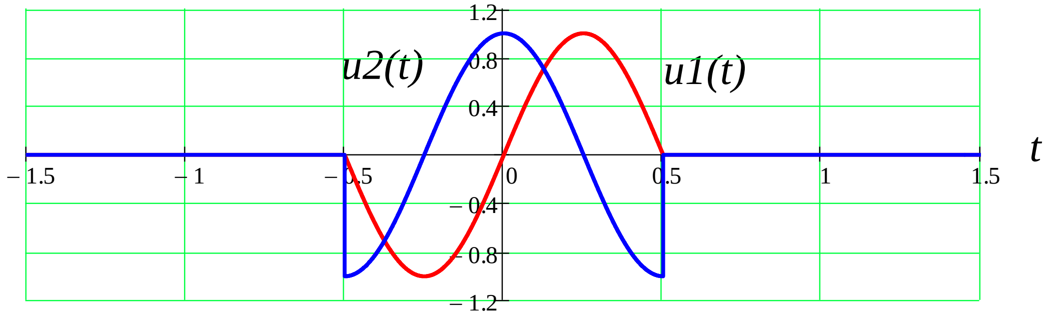


Корреляционная функция непериодических колебаний

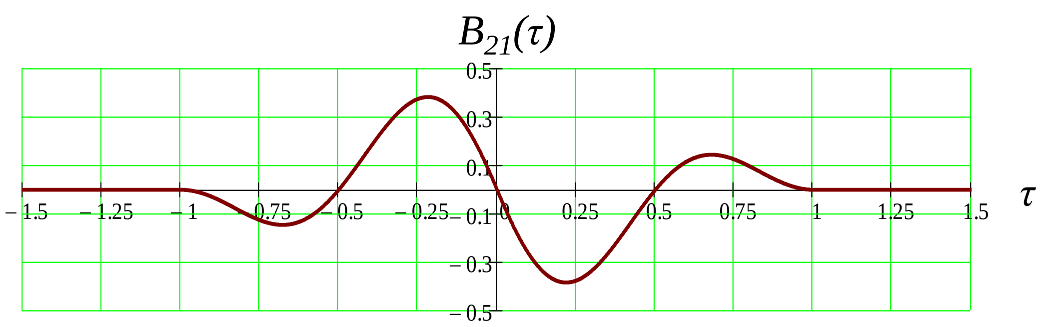


$$B_{21}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} u_2(t) \cdot u_1(t-\tau) \cdot dt;$$

Корреляционная функция непериодических колебаний



$$B_{21}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} u_2(t) \cdot u_1(t-\tau) \cdot dt;$$



Спасибо за внимание.