№1

Показати, що функції

$$f_k(t) = \frac{\sin\left[2\pi W\left(t - \frac{k}{2W}\right)\right]}{2\pi W\left(t - \frac{k}{2W}\right)}$$

є ортогональними на інтервалі $(-\infty, +\infty)$.

У якому просторі ці функції утворюють повний базис?

№9

Означення ортогональності:

$$I = \int_{\mathbb{R}} f_k(t) f_m(t)\, dt = \delta_{km} \cdot A, \text{ где}$$

Властивість ортогональності має зберігатись і при перетворенні Фур'є від інтегранда: $\mathcal{F}\{f_k(t) f_m(t)\}[0] =$

$$= \left\{\mathrm{rect}\left(\frac{f}{W}\right) e^{+j\cdot 2\pi W k t} * \mathrm{rect}\left(\frac{f}{W}\right) e^{-j\cdot 2\pi W m t}\right\}(0) =$$

$$= \int_{-\frac{1}{2}}^{\frac{1}{2}} e^{+j2\pi(k-m)t}\, dW = \delta_{km}$$

Простір Гільбертовий!

№2

Нехай $s_m(t)$ – ортогональні сигнали, $m=1, 2, \ldots, M$; $0 \le t \le T$. Нехай всі сигнали мають однакову енергію E. Новий набір M сигналів утворено наступним чином:

$$s'_m(t) = s_m(t) - \frac{1}{M}\sum_{k=1}^{M} s_k(t), \qquad m = 1,2,\ldots,M, \qquad 0 \le t \le T$$

а) Визначити енергію сигналів $s'_m(t)$.

б) Визначити, чи будуть сигнали $s'_m(t)$ ортогональними?

в) Визначити відстань між сигналами $|s_m - s_n|$ та $|s'_m - s'_n|$. Дати геометричну інтерпретацію отриманого результату.

№10.

$s_m(t),\ m=\overline{1,M},\quad t\in[0,T]$

$$(s_m, s_n) = E\,\delta_{m,n}$$

$$s'_m = s_m(t) - \frac{1}{M}\sum_{k=1}^{M} s_k(t)$$

а)

$$E = (s'_m, s'_m) = \int s'^*_m s_m\,dt =$$

$$= \int\left(s_m^* - \frac{1}{M}\sum_{k=1}^{M} s_k^*(t)\right)\left(s_m - \frac{1}{M}\sum_{k=1}^{M} s_k\right)dt =$$

$$= \int s_m^* s_m\,dt - \frac{1}{M}\int s_m^* \sum_{k=1}^{M} s_k\,dt - \frac{1}{M}\int s_m \sum_k s_k^*\,dt +$$

$$+ \frac{1}{M^2}\int \sum_k s_k^* \sum_k s_k\,dt = E - \frac{2}{M}E + \frac{1}{M^2}\cdot ME =$$

$$= E - \frac{E}{M} = E\left(1 - \frac{1}{M}\right)$$

б) Ортогональність

$$(s'_m, s'_n) = \int\left(s_m^* - \frac{1}{M}\sum_k s_k^*\right)\left(s_n - \frac{1}{M}\sum_\ell s_\ell\right)dt =$$

$$= \int s_m^* s_n\,dt - \frac{1}{M}\int s_m^* \sum_\ell s_\ell\,dt - \frac{1}{M}\int s_n \sum_k s_k^*\,dt +$$

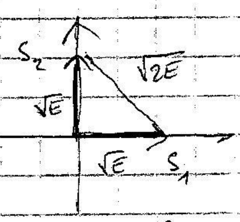
$$+ \frac{1}{M^2}\int\left(\sum_k s_k^*\right)\left(\sum_\ell s_\ell\right)dt = E\,\delta_{m,n} - \frac{E}{M} - \frac{E}{M} +$$

$$+ \frac{1}{M^2}\cdot ME = E\left(\delta_{m,n} - \frac{1}{M}\right) \text{ — не ортогональні.}$$

в) $|s_m - s_n|^2 = \int (s_m^* - s_n^*)(s_m - s_n)\,dt =$

$$= \int s_m^* s_m\,dt + \int s_n^* s_n\,dt = 2E.$$

Геом. інтерпритація: різні сигнали ~~не~~ спрямовані по ортогональним вісям М-вимірного простору.



$$|s_m' - s_n'|^2 = \int \left(s_m^* - s_n^* \cancel{-\frac{1}{M}\sum_k s_k^*} - \right)(s_m^* - s_n)\,dt =$$

$$= 2E.$$

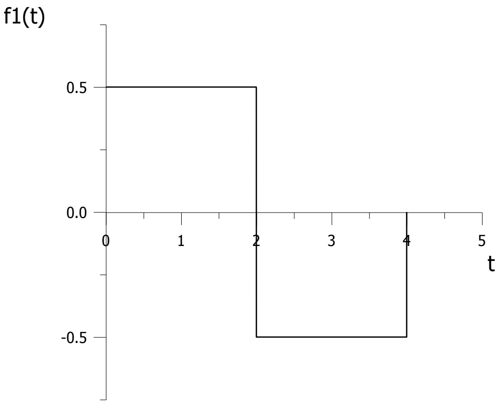
Геом. інт-я: всі сигнали було зсунуто паралельним переносом.

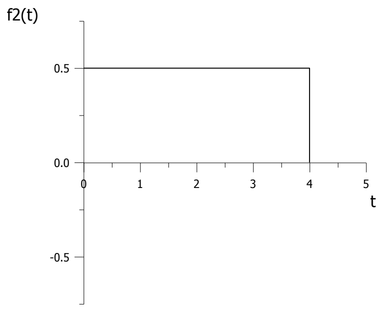
№3

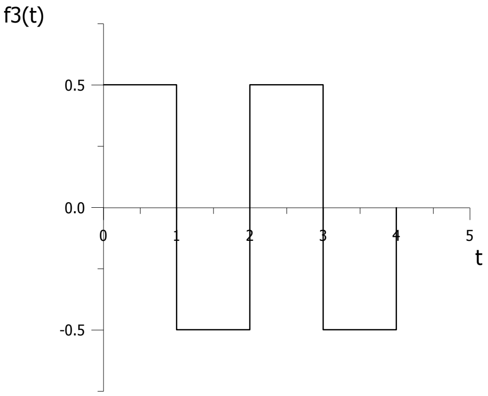
Розгляньте три сигнали $f_n(t)$, що зображені на малюнку.

а) Покажіть, що сигнали ортогональні.

б) Виразіть сигнал $x(t)$ як лінійну комбінацію сигналів $f_n(t)$.





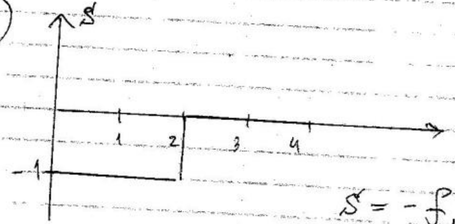


$$x(t) = \begin{cases} -1, & 0 \le t < 2 \\ 0, & 2 \le t < 4 \end{cases}$$

№11.

а) Очевидно, площа добутку ∀ пари сигналів $= 0$.

б)



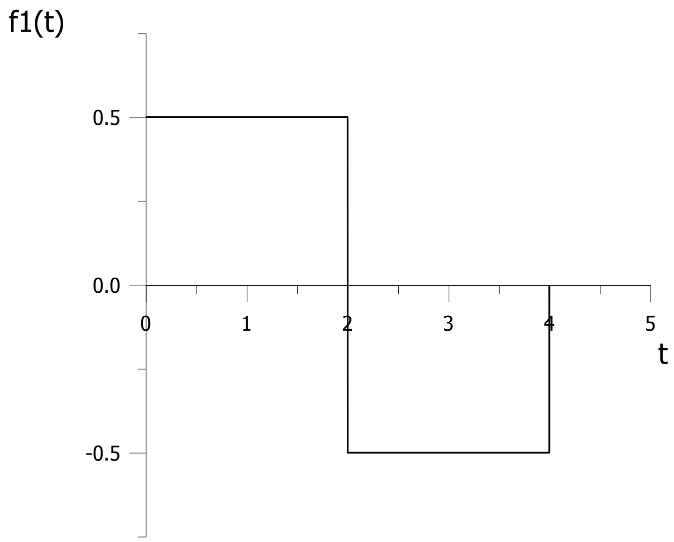
$$S = -f_1 - f_2$$

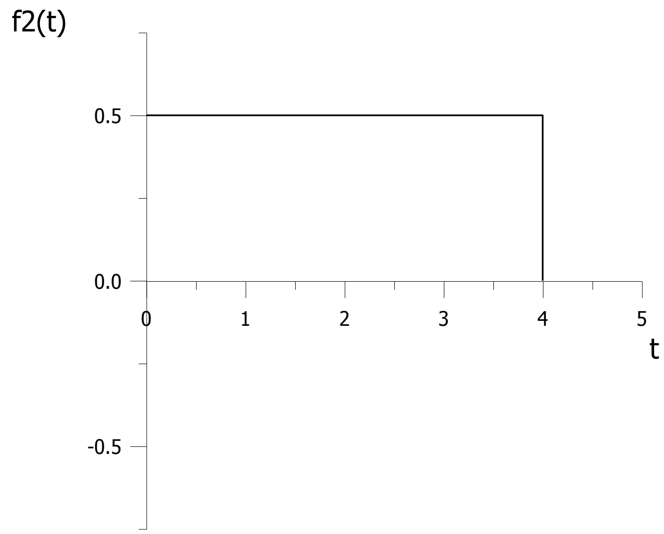
№4

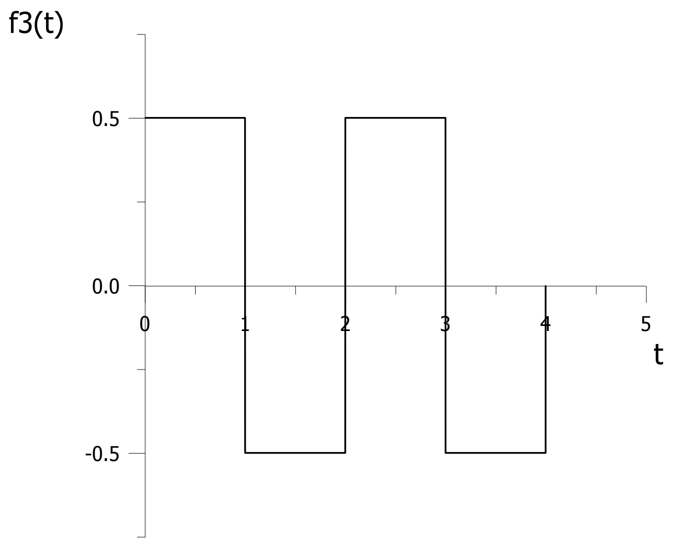
Розгляньте три сигнали $f_n(t)$, що зображені на малюнку.

а) Покажіть, що сигнали ортогональні.

б) Виразіть сигнал $x(t)$ як лінійну комбінацію сигналів $f_n(t)$.







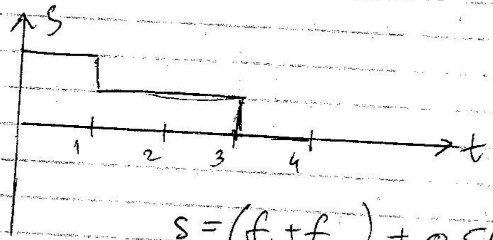
$$x(t) = \begin{cases} 1, & 0 \le t < 1 \\ 0.5, & 1 \le t < 3 \\ 0, & 3 \le t < 4 \end{cases}$$

$s_1 - s_2$

№12

а) —//—

б)



$s = (f_1 + f_2) + 0,5(f_3 - f_1) =$

$= 0,5 f_1 + f_2 + 0,5 f_3$

Метод доведення п. а): $(f_1, f_2) = \int f_1(t) f_2(t) dt =$

$= \frac{1}{2}\cdot\frac{1}{2} - \frac{1}{2}\cdot\frac{1}{2} - \frac{1}{2}\cdot\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\cdot\frac{1}{2} = 0.$

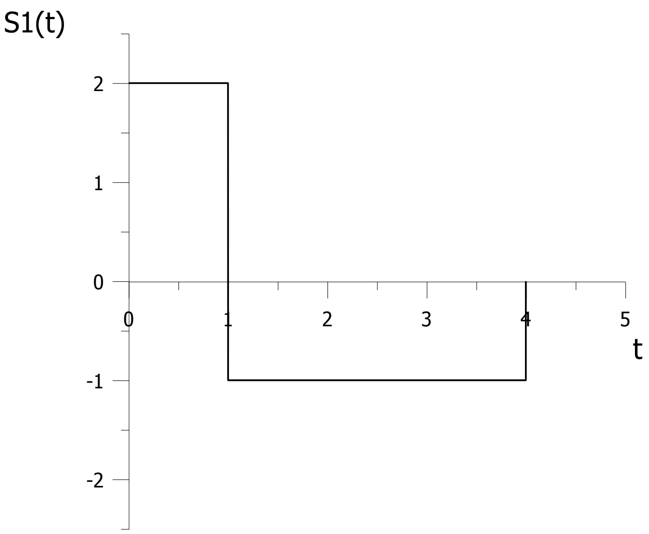
№5

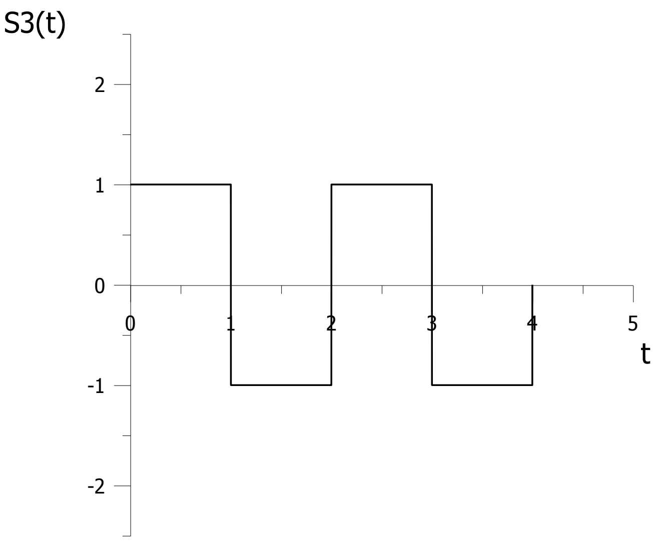
Розгляньте 4 сигнали, що представлені на малюнку.

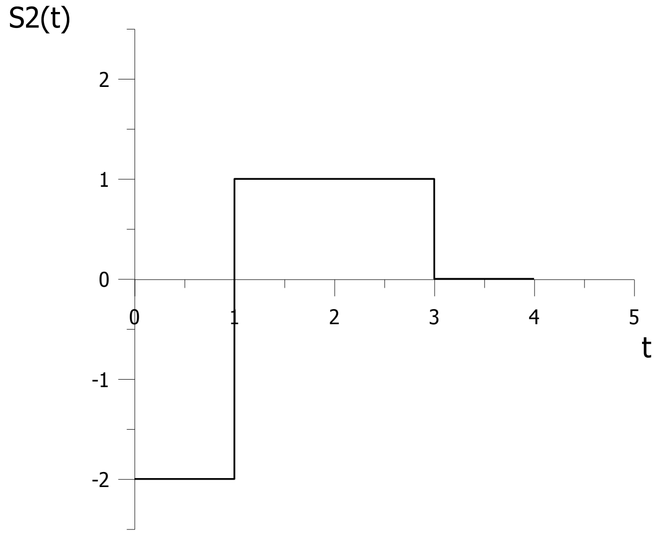
а) Побудуйте ортонормальний базис у просторі, якому належать сигнали. Яка розмірність простору сигналів?

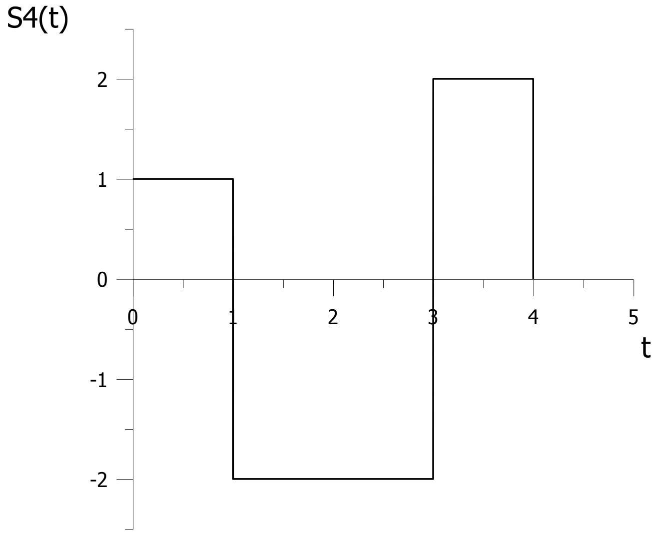
б) Використайте побудований базис для подання сигналів у вигляді векторів $\vec{s}_1, \vec{s}_2, \vec{s}_3, \vec{s}_4$.

в) Визначте мінімальну відстань між парами цих векторів.

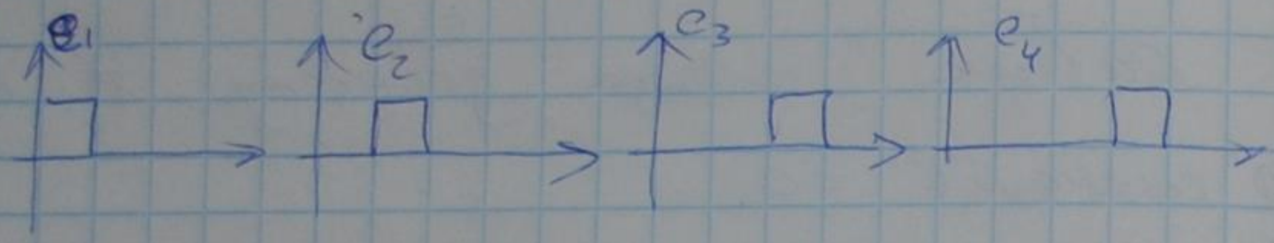





S2(t)
2
1
0
-1
-2
0
1
2
3
4
5
t


S4(t)
2
1
0
-1
-2
0
1
2
3
4
5
t

№13

а) 

б) $s_1 = 2e_1 - (e_2 + e_3 + e_4)$

$s_2 = -2e_1 + e_2 + e_3$

$s_3 = e_1 - e_2 + e_3 - e_4$

$s_4 = e_1 - 2(e_2 + e_3) + 2e_4$

в)

$\cancel{\|s_1 - s_2\|^2 = 4 + 2 + 2 + 1 = 9}$

$\cancel{\|s_1 - s_3\| = 1 +}$

$\|s_1 - s_2\|^2 = 16 + 4 + 4 + 1 = 25$

$\|s_1 - s_3\|^2 = 1 + 4 = 5$ ✓

$\|s_1 - s_4\|^2 = 1 + 1 + 1 + 9 = 12$

$\|s_2 - s_3\|^2 = 9 + 4 + 1 = 14$

$\|s_2 - s_4\|^2 = 9 + 9 + 9 + 4 = 31$

$\|s_3 - s_4\|^2 = 1 + 9 + 9 = 19$

№6

Нехай імпульс має форму

$$s(t)=\begin{cases} t, & 0\le t\le T_0 \\ 0, & \text{в інших випадках}\end{cases}$$

1) Який вигляд має імпульсний відгук узгодженого фільтру?

2) Побудувати сигнал на виході узгодженого фільтру.

By Sasha:

№14

$$s(t)=\begin{cases} t, & 0\le t\le T \\ 0 \end{cases}$$

1) Імпульсний відгук ~~оптим~~ узгодженого фільтру?

Узгоджений фільтр має КЧХ

$$K(\omega)=C\,S^*(\omega)\,e^{-i\omega t_0}$$

$$S(\omega)=\int_0^T t e^{-i\omega t}\,dt=\left|\begin{matrix} u=t & u'=1 \\ v'=e^{-i\omega t} & \\ v=\frac{i}{\omega}e^{-i\omega t} & \end{matrix}\right|=\frac{i t e^{-i\omega t}}{\omega}\Big|_0^T-$$

$$-\frac{i}{\omega}\int_0^T e^{-i\omega t}\,dt=\frac{iTe^{-i\omega T}}{\omega}+\frac{1}{\omega^2}e^{-i\omega t}\Big|_0^T=$$

$$=\frac{i\omega T e^{-i\omega T}}{\omega^2}+\frac{e^{-i\omega T}-1}{\omega^2}=\frac{e^{-i\omega T}(1+i\omega T)-1}{\omega^2}$$

Тоді,

$$h(t)=\frac{1}{2\pi}\int_{\mathbb{R}} S^*(\omega)\,e^{i\omega(t-t_0)}\,d\omega=\begin{cases} -t; & t\in[-T,0] \\ 0; & t\notin[-T,0]\end{cases}$$

~~2) Сигнал на виході узгодж. фільтру.~~

~~$$S_{вих}(t)=\frac{1}{2\pi}\int|S(\omega)|^2 e^{i\omega t}\,d\omega$$~~

h(t) має бути обернено за

знаком часу по відношенню до $s(t)$: $h(t) = T-(t-t_0)$, $t \in [t_0, t_0+T]$, де t_0 — час початку спостереження, який можна покласти рівним 0.

б)

$$\cancel{s_{вих} = \int_0^{\infty} s(\tau) h(t-\tau) d\tau} =$$

~~1. $t<T$~~:

$= \int$

$$s_{вих} = \int_0^{\infty} \underbrace{s(\tau)}_{\neq 0 \text{ при } \tau \in [0,T)} \underbrace{h(t-\tau)}_{\neq 0 \text{ при } 0<t-\tau<T} d\tau$$

$-t < -\tau < T-t$

$t-T < \tau < t$

1. $t<T$:

$0 < \tau < t$

$$\cancel{s_{вих} = \int_0^t \tau(t-\tau)d\tau = \int_0^t (t\tau-\tau^2)d\tau =}$$

$$=\left(\frac{t\tau^2}{2}-\frac{\tau^3}{3}\right)\Big|_0^t=\frac{t^3}{2}-\frac{t^3}{3}=\frac{t^2}{6}$$

$$2T<t<2T=$$

$$t-T<\tau<t.$$

$$S_{вих}=\int_{t-T}^{t}(t\tau-\tau^2)dt=\left(\frac{t\tau^2}{2}-\frac{\tau^3}{3}\right)\Big|_{t-T}^{t}=$$

$$=\frac{t^3}{2}-\frac{t^3}{3}-\frac{t(t-T)^2}{2}+\frac{(t-T)^3}{3}=$$

$$=\frac{\cancel{t^3}}{\cancel{6}}-\frac{\cancel{t^3}-2\cancel{t^2}T+tT^2}{2}+\frac{\cancel{(t-T)}\,\cancel{t^3}-T^3-3t^2T+3tT^2}{3}=$$

$$=tT^2-\cancel{2t^2T}+\cancel{t^2T}-\frac{tT^2}{2}-\frac{T^3}{3}$$

$$S_{вих}=\int_0^t\tau(T-t+\tau)d\tau=\int_0^t(T\tau+\tau^2-t\tau)dt$$

$$=\left(T\frac{\tau^2}{2}+\frac{\tau^3}{3}-t\frac{\tau^2}{2}\right)\Big|_0^t=\left(\frac{(T-t)\tau^2}{2}+\frac{\tau^3}{3}\right)\Big|_0^t=$$

$$=\frac{(T-t)t^2}{2}+\frac{t^3}{3}$$

By Lena:

№14

1) Імпульсний відгук

$$h(t) = s\left(t - \frac{T_0}{2}\right)$$

2) $$S_{вих.}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t-\tau)\, s(\tau)\, d\tau =$$

$$= \int_{-}^{t} s\left(t - \frac{T_0}{2} - \tau\right) s(\tau)\, d\tau =$$

$$= t \cdot tri\left(t - \frac{T_0}{2}\right),\ де$$

$$tri(x) = \begin{cases} 1 - |x|, & |x| < T_0/2 \\ 0, & |x| > T_0/2 \end{cases}$$

№7

Нехай імпульс має форму

$$s(t) = \begin{cases} 1, & 0 \le t \le T_0 \\ 0, & \text{в інших випадках} \end{cases}$$

Побудувати сигнал на виході фільтру, імпульсний відгук якого має форму прямокутного імпульсу, довжина якого T_1 відмінна від T_0.

№15

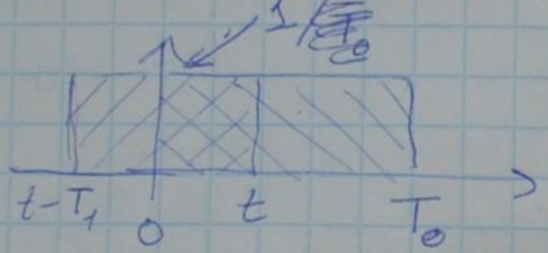
$$s_{вых} = \int_0^\infty s(\tau)\, h(t-\tau)\, d\tau =$$

$$= \int_0^\infty \mathrm{rect}\left(\frac{\tau}{T_0}\right) \mathrm{rect}\left(\frac{t-\tau}{T_1}\right) d\tau,$$

$$\mathrm{rect} = \begin{cases} 1, & x \in [0,1] \\ 0, & x \notin [0,1]. \end{cases}$$

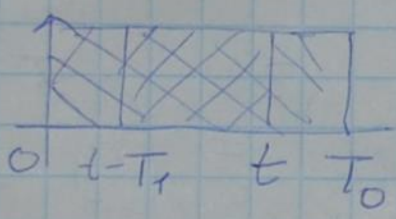
1. $T_1 < T_0$

а) $t < T_1$:



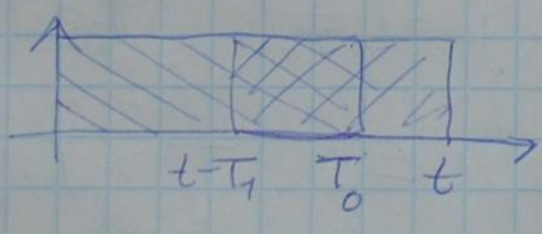
$$s_{вых} = t/T_1$$

б) $T_1 < t < T_0$



$$s_{вых} = 1$$

в) $T_0 < t < T_0 + T_1$



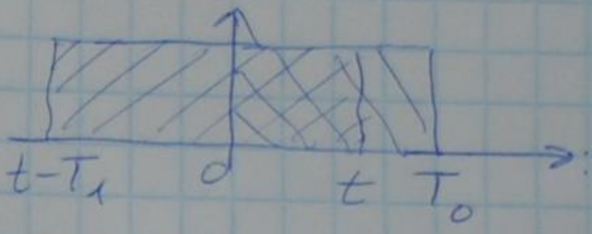
$$\cancel{s_{вых} = 1 - \frac{t}{T_0+T_1}}$$

$$s_{вых} = \frac{T_0 - (t-T_1)}{T_1} = \frac{T_0 + T_1 - t}{T_1} = T_0 + 1 - \frac{t}{T_1}$$

г) $t > T_0 + T_1$: $s_{вых} = 0.$

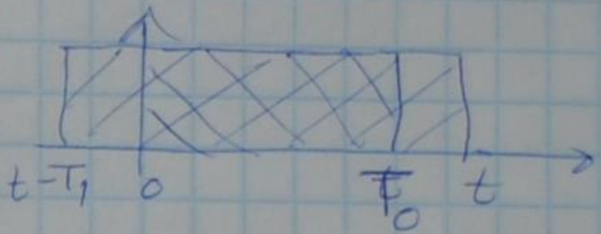
2) $T_1 > T_0$

а) $t < T_0$



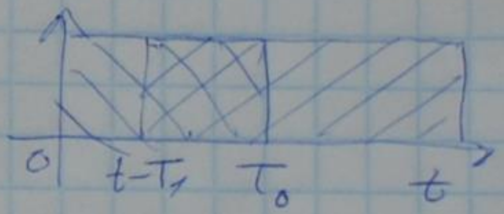
$s_{вых} = t/T_0$

б) $T_0 < t < T_1$



$s_{вых} = 1$

в) $T_1 < t < T_0 + T_1$



$$s_{вых} = \frac{T_0 - (t - T_1)}{T_0} =$$

$$= \frac{T_0 + T_1 - t}{T_0} = 1 + \frac{T_1}{T_0} - \frac{t}{T_0}$$

г) $t > T_0 + T_1$

$s_{вых} = 0.$

№ 8

Цифрова система зв'язку використовує двохпозиційну амплітудну модуляцію та цифрові імпульси із гаусівською формою огинаючої $x(t) = exp(-\pi a^2 t^2)$. Щоб зменшити рівень міжсимвольної інтерференції накладемо умову $x(T) = 0.01x(0)$, де T - символьний інтервал. Смуга W визначається з умови $X(W) = 0.01X(0)$, де $X(f)$ - Фур'є спектр $x(t)$. Знайти відношення R/W, якщо $T = 10^{-4}$ сек. (R- швидкість передачі).

№17

$x(t) = e^{-\pi a^2 t^2}$; $x(T) = 0{,}01\, x(0)$,

$X(W) = 0{,}01\, X(0)$.

$T = 10^{-4}$ c; $\frac{R}{W}$?

$R = \frac{1}{T}$ — очевидно. $R = 10^4 \frac{біт}{сек}$

Знайдемо W.

$$e^{-\pi a^2 T^2} = 0{,}01\,;$$

$$\pi a^2 T^2 = -\ln 0{,}01 \Rightarrow a = \frac{1}{T}\sqrt{-\frac{\ln 0{,}01}{\pi}}\ \cancel{\approx}$$

$$\cancel{\approx 1{,}211\cdot 10^{4}\ \text{сек}^{-1}}$$

$$X(W) = \int_R e^{-\pi a^2 t^2} e^{-2\pi j W t}\, dt =$$

$$= \int e^{-\pi a^2\left(t^2 + 2j\frac{W}{a^2}t\right)} dt = e^{\left(j\frac{W}{a}\right)^2\cdot \pi a^2} \times$$

$$\times \int_R e^{-\pi a^2\left(t + j\frac{W}{a^2}\right)^2} dt = e^{-\pi\frac{W^2}{a^2}} \int_R e^{-\pi a^2 t^2} dt = \sqrt{\pi}\,\frac{e^{-\pi W^2/a^2}}{\sqrt{\pi a^2}} =$$

$$= \frac{1}{a} e^{-\pi W^2/a^2}.$$

$$\cancel{\frac{1}{a}} e^{-\pi W^2/a^2} = \cancel{\frac{1}{a}}\cdot 0{,}01$$

$$\pi W^2/a^2 = -\ln 0{,}01$$

$$W = a\sqrt{-\frac{\ln 0{,}01}{\pi}} = \frac{1}{T}\,\frac{|\ln 0{,}01|}{\pi}.$$

$$\frac{R}{W} = \frac{\pi}{|\ln 0{,}01|} \approx 0{,}682$$

№ 9

Цифрова система зв'язку використовує двохпозиційну амплітудну модуляцію та цифрові імпульси із лоренцівською формою огинаючої $x(t) = 1/(1 + a^2 t^2)$. Щоб зменшити рівень міжсимвольної інтерференції накладемо умову $x(T) = 0.01x(0)$, де T - символьний інтервал. Смуга W визначається з умови $X(W) = 0.01X(0)$, де $X(f)$ - Фур'є спектр $x(t)$. Знайти відношення R/W, якщо $T = 10^{-4}$ сек. (R- швидкість передачі).

№18

$$x(t)=\frac{1}{1+a^2t^2} \qquad x(T)=0{,}01\,x(0)$$

$$X(W)=0{,}01\,X(0).$$

$T=10^{-4}$ сек.

$\frac{R}{W}$?

$R=\frac{1}{T}=10^{4}\,\frac{біт}{сек}$ Шукаємо смугу

$$\frac{1}{1+a^2T^2}=0{,}01$$

$$0{,}99=0{,}01\,a^2T^2$$

$$a=\frac{1}{T}\sqrt{99}\approx\frac{9{,}95}{T},$$

$$X(W)=\int_{R}\frac{e^{-2i\pi Wt}}{1+a^2t^2}dt=\frac{\pi}{a}e^{-2\pi|W|/a}$$

$$\cancel{\frac{\pi}{a}}e^{-2\pi|W|/a}=0{,}01\cancel{\frac{\pi}{a}}$$

$$2\pi W/a=-\ln 0{,}01$$

$$W=-a\frac{\ln 0{,}01}{2\pi}$$

$$\frac{R}{W}=-\frac{2\pi}{\sqrt{99}\ln 0{,}01}=0{,}137$$

№10

Сигнал $r(t)$ має вигляд $r(t)=f(t)+n(t)$, де

$$f(t)=\begin{cases}\frac{\sqrt{E}}{T}, & 0\le t\le T\\ 0, & \text{в інших випадках}\end{cases}$$

а $n(t)$ - білий нормальний шум із спектральною густиною потужності $S_n(\nu)=\frac{N_0}{2}$.

Детектування сигналу здійснюється шляхом його інтегрування на інтервалі часу T_i. Визначити, як залежить відношення сигнал/шум від часу інтегрування. Під відношенням сигнал/шум слід розуміти величину

$$C/Ш = \left(\int_0^{T_i} f(t)dt\right)^2 \Big/ \left\langle \left(\int_0^{T_i} n(t)dt\right)^2 \right\rangle$$

№ 21

$$\left\langle\left(\int_0^{T_i} n(t)dt\right)^2\right\rangle = \left\langle \int_0^{T_i} n(t)dt \int_0^{T_i} n(t)dt \right\rangle =$$

$$= \int_0^{T_i}\int_0^{T_i} \underbrace{\langle n(t)n(t')\rangle}_{=\,G(t-t') \,=\, \frac{N_0}{2}\delta(t-t')} dt\,dt' =$$

$G(t-t')$ — кореляц. ф-я

$\frac{N_0}{2}\delta(t-t')$ — для білого шуму.

$$= \frac{N_0 T_i}{2}.$$

$$\left(\int_0^{T_i} f(t)dt\right)^2 = \left(\int_0^{T_i}\frac{\sqrt{E}}{T}dt\right)^2 = \begin{cases} E\left(\frac{T_i}{T}\right)^2, & T_i\le T\\ E, & T_i > T\end{cases}$$

$$\Rightarrow \frac{C}{Ш} = \begin{cases}\frac{2ET_i}{N_0T^2}, & T_i\le T \\ \frac{2E}{N_0T_i}, & T_i>T\end{cases}$$

21. Дискретне джерело без пам'яті генерує символи $a_1 \ldots a_n$ із ймовірностями $p_1 \ldots p_n$. Показати, що ентропія джерела максимальна, якщо всі символи рівноймовірні. (Примітка: доцільно скористатись нерівністю $\ln x \le x - 1$)

За означенням ентропія: $H(x) = \sum_{i=1}^{n} p_i \log_2 \frac{1}{p_i}$, тоді

$$H(x) = \sum_{i=1}^{n} p_i \log_2 \frac{1}{p_i} \to \max \Rightarrow \sum_{i=1}^{n} p_i \log_2 p_i = \sum_{i=1}^{n} p_i \frac{\ln p_i}{\ln 2} \to \min$$

Скористаємось нерівністю $\ln x \le x - 1 \Rightarrow \ln p_i \le p_i - 1$:

$$\sum_{i=1}^{n} p_i \ln p_i \le \sum_{i=1}^{n} p_i (p_i - 1) \ln 2 \to \min$$

Звідки $\sum_{i=1}^{n} p_i (1 - p_i) \ln 2 \to \max$

$$\sum_{i=1}^{n} p_i (p_i - 1) \ln 2 = \ln 2 \left(\sum_{i=1}^{n} p_i - \sum_{i=1}^{n} p_i^2 \right) = \ln 2 - \ln 2 \sum_{i=1}^{n} p_i^2$$

Звідси $\sum_{i=1}^{n} p_i^2 \to \min$, а це можливо лише коли $p_i = \frac{1}{n}$

22. Цифрова система зв'язку передає повідомлення через канал з адитивним шумом із спектральною густиною потужності $N_0 / 2 = 10^{-6}\,Вт / Гц$ за допомогою сигналів із бінарною амплітудною модуляцією. Необхідно забезпечити ймовірність успішної передачі повідомлення 0,95 при довжині повідомлення 10^6 біт. Оцінити необхідну енергію цифрового імпульсу. (Таблиця Q(x) додається).

№ 22

~~Покр~~ Середня імовірність помилки

$$P_б = Q\left(\sqrt{\frac{2E_б}{N_0}}\right)$$

Тоді при довжині повідомлення 10^6 біт:

$$P = 10^6 Q\left(\sqrt{\frac{2E_б}{N_0}}\right)$$

$$0{,}05 = 10^6 Q\left(\sqrt{\frac{2E_б}{N_0}}\right)$$

$$5 \cdot 10^{-8} = Q\left(\sqrt{\frac{2E}{N_0}}\right) \Rightarrow \sqrt{\frac{2E}{N_0}} \simeq 5{,}3 \Rightarrow E = \frac{5{,}3^2 \cdot N_0}{2} = 28{,}09 \cdot 10^{-6}$$

23. Цифрова система зв'язку передає повідомлення через канал з адитивним шумом із спектральною густиною потужності $N_0/2 = 10^{-6}\, Вт/Гц$ за допомогою сигналів із чотирьохпозиційною амплітудною модуляцією. Необхідно забезпечити ймовірність успішної передачі повідомлення 0,95 при довжині повідомлення 10^6 біт. Оцінити необхідну середню енергію, що витрачається на передачу одного біта. (Таблиця Q(x) додається).

23

$$P_M = \frac{2(M-1)}{M} Q\left(\sqrt{\frac{6 \cdot \log_2 M}{(M^2-1)N_0} \mathcal{E}_{бср}}\right)$$

$M = 4$, Для забезпечення передачі з ім. 0,95 потрібно, щоб сумарна похибка з 10^6 біт $\Sigma P_M = 0{,}05$, отже $P_m = 0.5 \cdot 10^{-7} \Rightarrow$

$$\Rightarrow 0.5 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{M}{2(M-1)} = 0.33 \cdot 10^{-7} = Q\left(\sqrt{\frac{6 \log_2 M}{(M^2-1)N_0} \mathcal{E}_{бср}}\right)$$

З таблиці $Q(x) \approx 0.33 \cdot 10^{-7}$, при $x = 5.400$

$$5.4^2 = \frac{6 \cdot \log_2 M}{(M^2-1)N_0} \mathcal{E}_{бср} = \frac{0.4}{10^{-6}} \cdot \mathcal{E}_{бср} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \mathcal{E}_{бср} = 5.4^2 \cdot 10^{-6} / 0.4 = 72{,}9 \cdot 10^{-6}$$

24. Цифрова система зв'язку передає повідомлення через канал з адитивним шумом із спектральною густиною потужності $N_0/2 = 10^{-6}\, Вт/Гц$ за допомогою сигналів із чотирьохпозиційною амплітудною модуляцією. Необхідно забезпечити ймовірність успішної передачі повідомлення 0,95 при довжині повідомлення 10^6 біт. Оцінити необхідну максимальну енергію цифрового імпульсу. (Таблиця Q(x) додається).

(не зрозуміла умова задача, на екзамені розв'яжим бо печальна, а на даний момент вона така ж як 23!!!!;)