

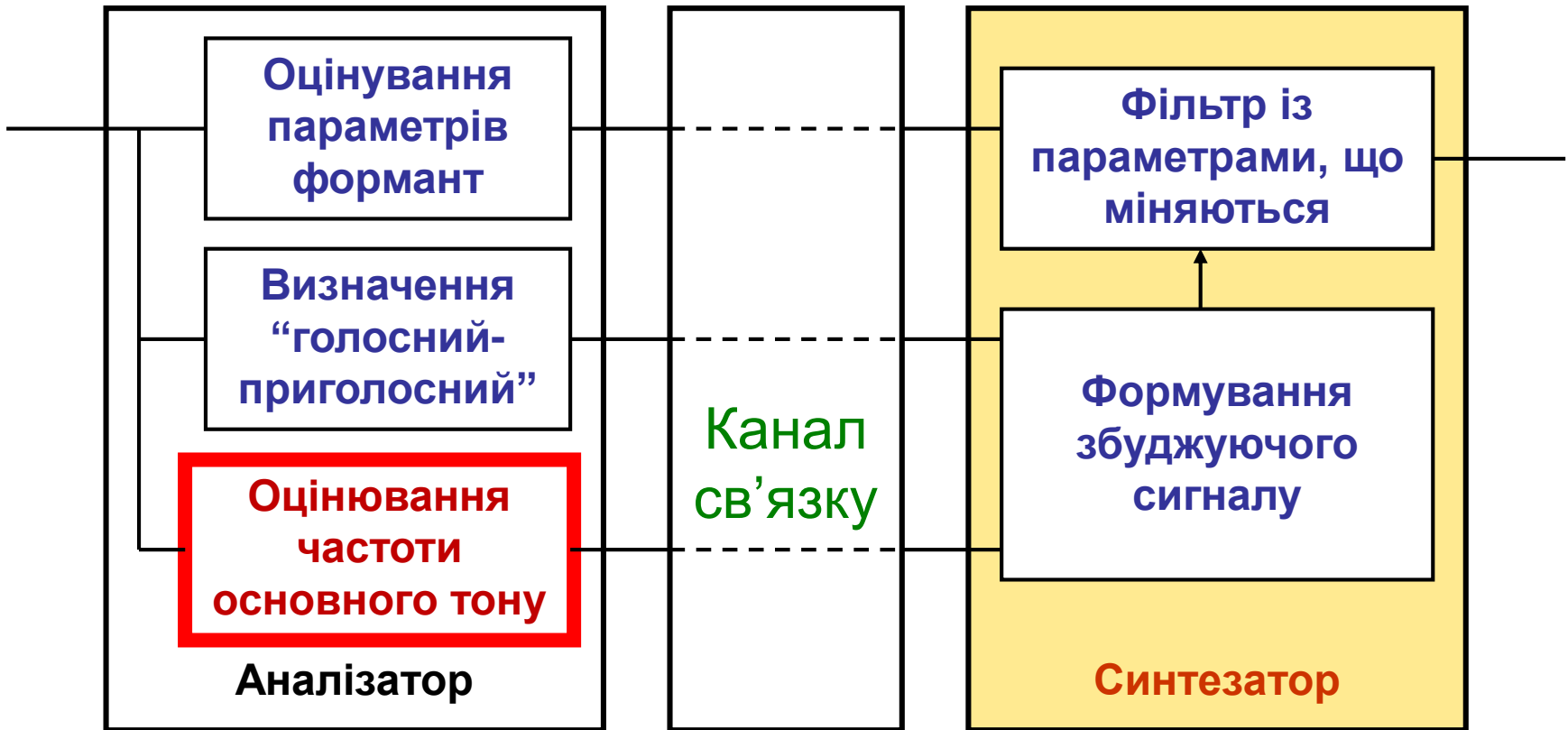
Оцінювання частоти основного тону

- Для голосу
- для струни або стрижня

Література

1. **Скляр Б. Цифровая связь.** – М., Вильямс, 2003. – 1099с.
2. **Продеус А.Н. Цифровое кодирование речи: моделирование вокодеров в среде Matlab.** - Электроника и связь, тематический выпуск "Проблемы электроники", ч.1, 2006, с.56-64.
3. **Дідковський В.С., Дідковська М.В., Продеус А.М. Комп'ютерна обробка акустичних сигналів.** Навчальний посібник. – К., «Імекс-ЛТД», 2010. – 420 с.

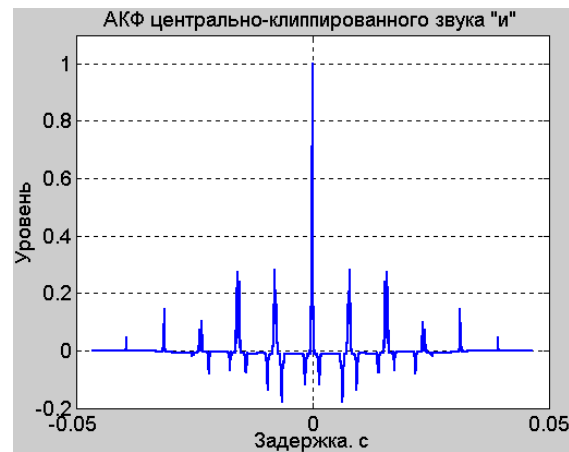
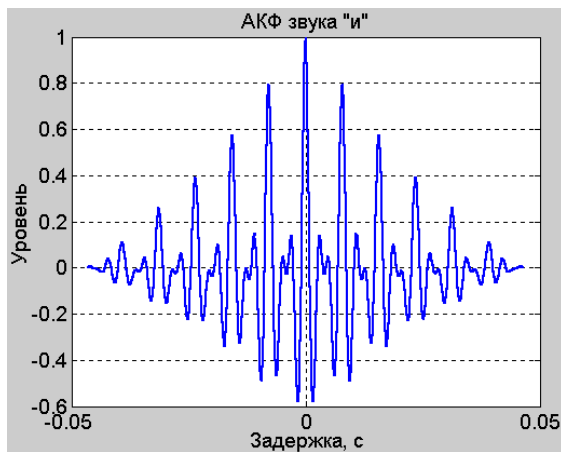
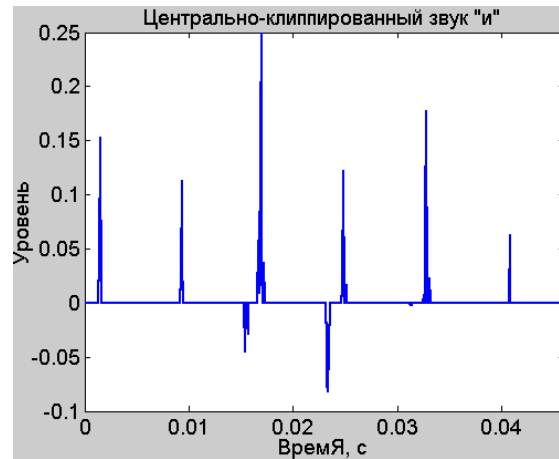
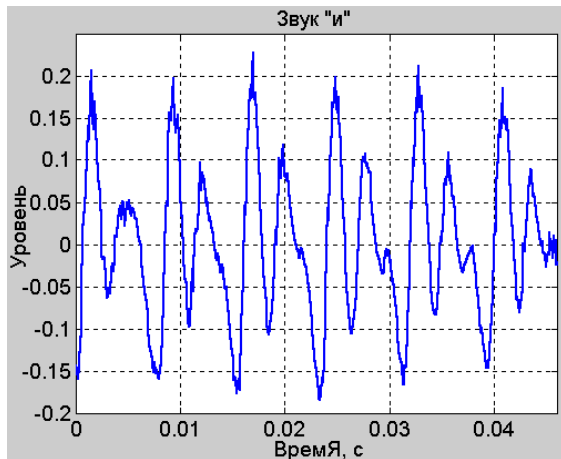
Структура вокодера



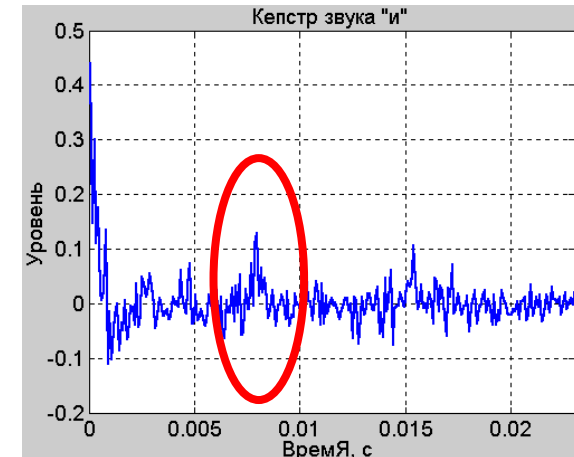
Окремі алгоритми оцінювання частоти основного тону

Кореляційний метод

Звичайний сигнал Центральне кліпування

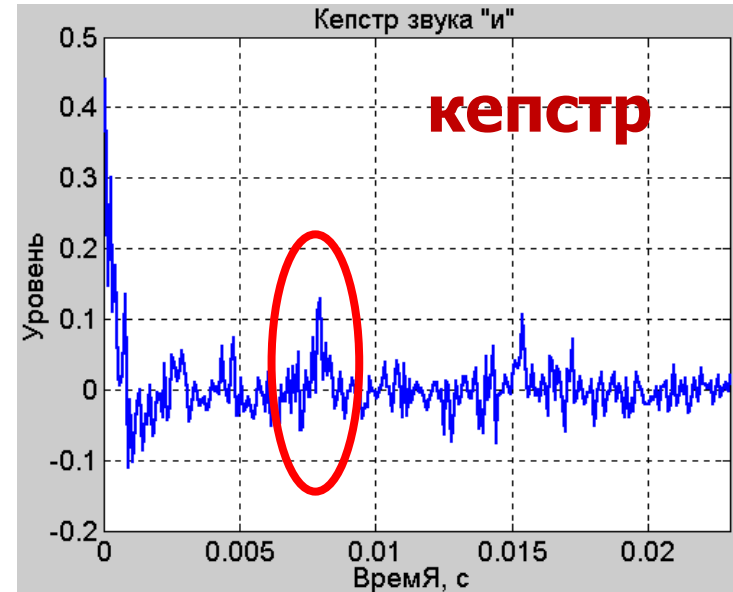
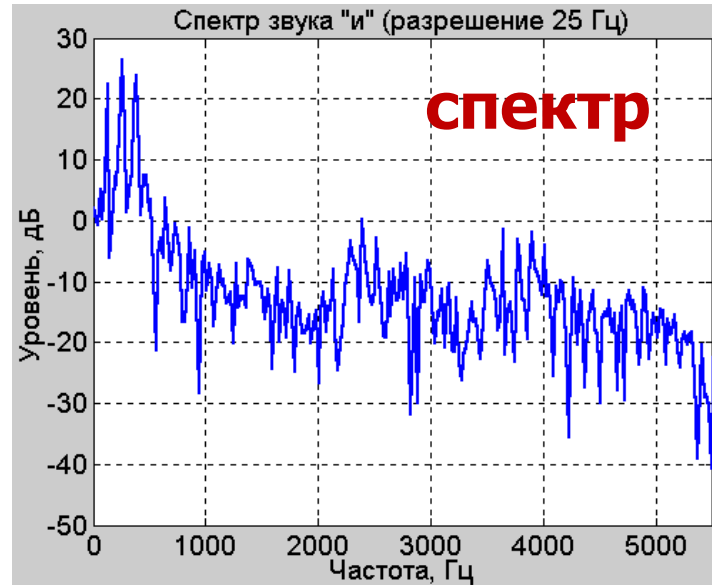


Кепстральный метод



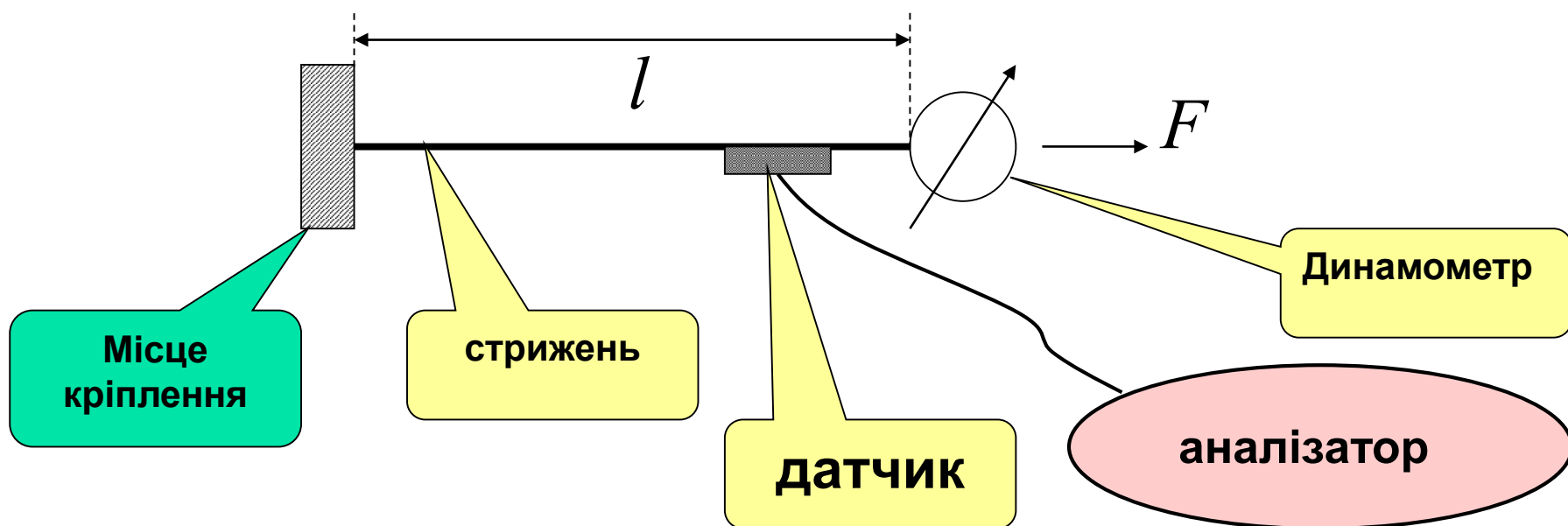
Гомоморфний вокодер

$T_{fr} = 46.4$ мс; $T_{per} = 23,2$ мс; $dF1 = 25$ Гц; $\tau = 11,2$ мс; $dF2 = 100$ Гц



Задача про коливання стрижня

Оцінити силу F натягіння металевого стрижня



Математична модель

1) Співвідношення:

$$u(t) = A_1 \cos(\omega_1 t + \varphi_1) + A_2 \cos(\omega_2 t + \varphi_2) + A_3 \cos(\omega_3 t + \varphi_3) + \dots$$

$$\omega_2 = 2\omega_1; \quad \omega_3 = 3\omega_1;$$

$$\omega_n = \frac{n\pi\sqrt{F/\rho}}{l}$$

2) Рішення:

$$F = a_n f_n^2$$

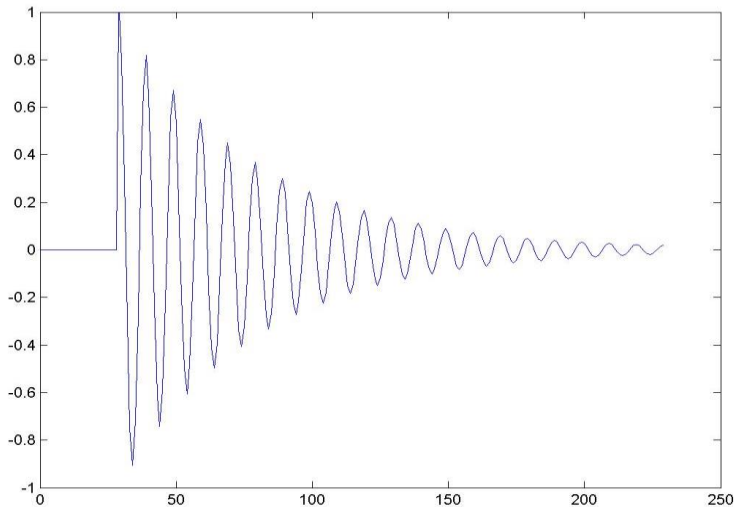
$$a_n = \frac{4\rho l^2}{n^2}$$

Математичний та інженерний підходи – схожість та різниця

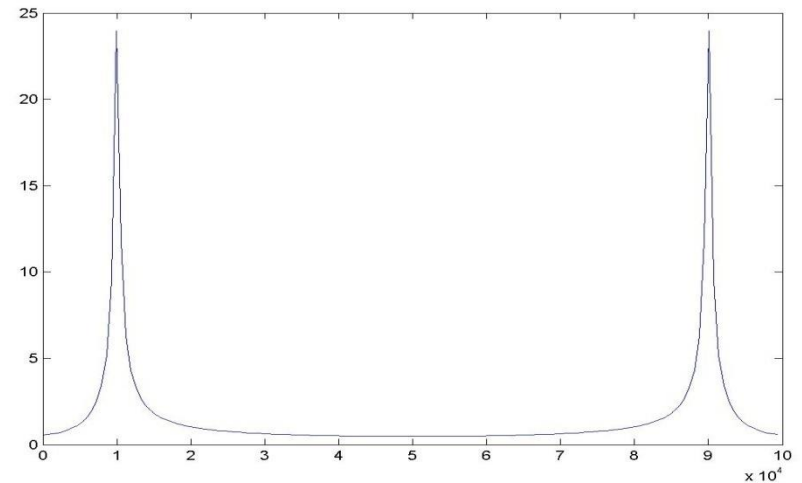
Математичне моделювання

$$X(t) = A_1 e^{-\alpha_1 t} \cos 2\pi f_1 t, \quad t \geq 0$$

Часова область



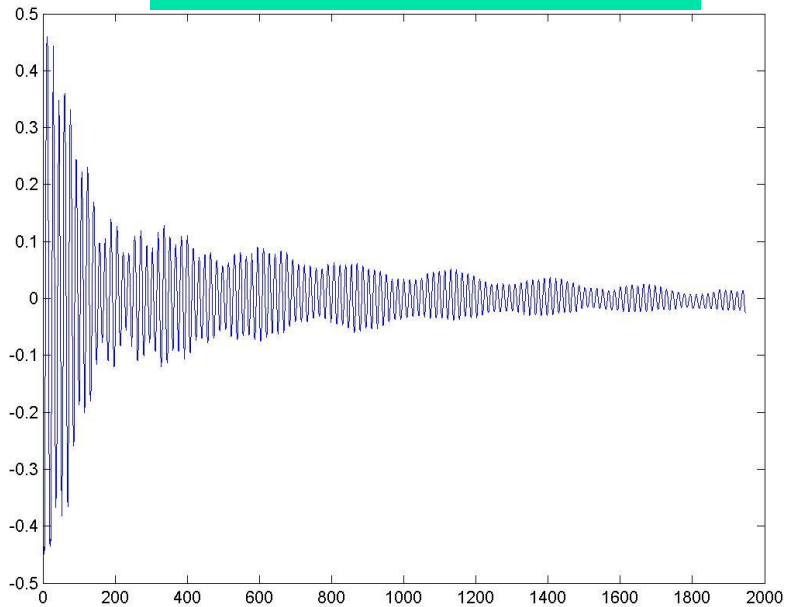
Спектральна область



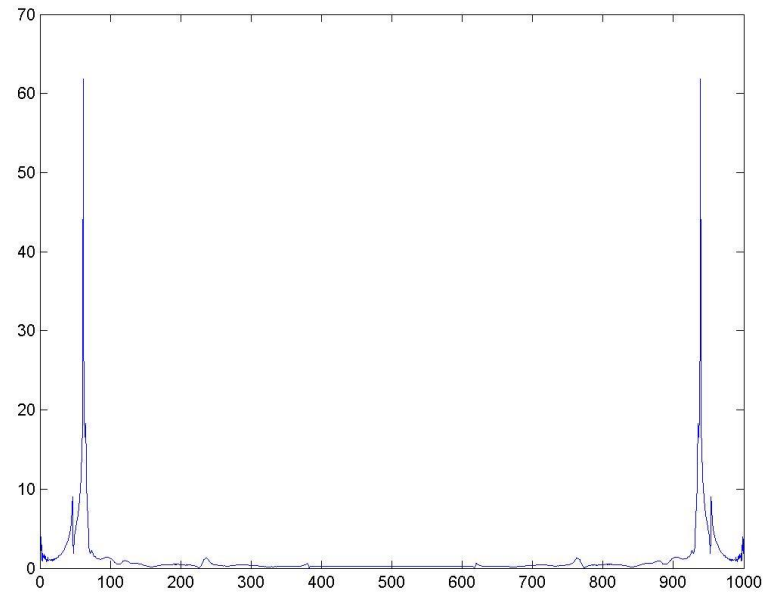
Математичний та інженерний підходи – схожість та різниця

Фізичне моделювання

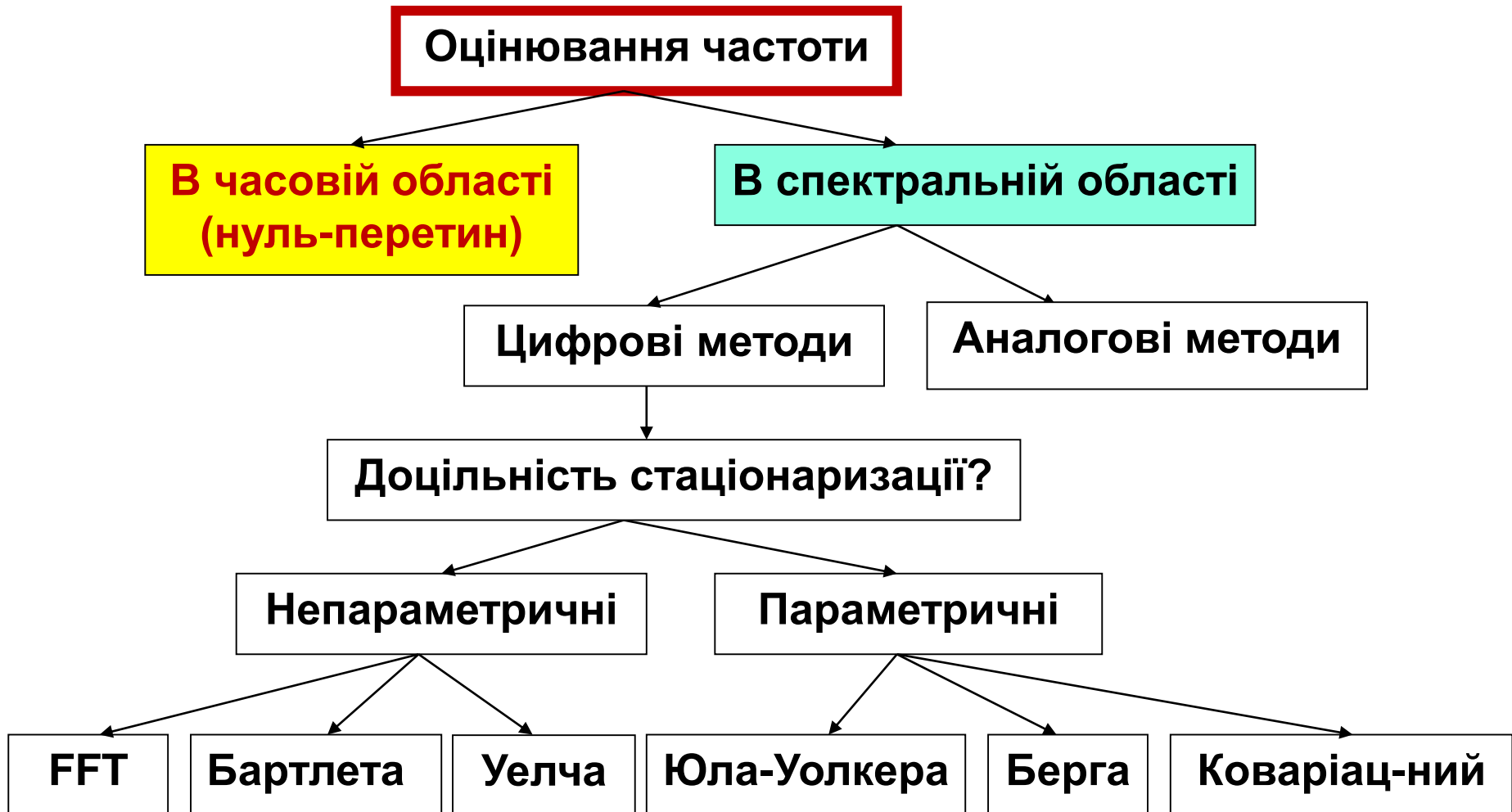
Часова область



Спектральна область



Як виміряти частоту коливань стижня або струни?



Математичний та інженерний підходи – схожість та різниця

Інженерна задача: етапи розв'язання

Побудова математичої моделі (НДР)

Пошук раціонального методу оцінювання частоти (НДР)

Створення апаратно-програмної системи та відповідної документації (ДКР)

Інженерна задача (НДДКР)

Математична модель - детально

$$X(t) = A_1 e^{-\alpha_1 t} \cos 2\pi f_1 t, \quad t \geq 0$$

$$e^{-\alpha_1 T} = e^{-2} \quad \longrightarrow \quad \alpha_1 = \frac{2}{T}$$

$$T = bT_1 = \frac{b}{f_1} \quad \longrightarrow \quad \alpha_1 = \frac{2}{T} = 2 \frac{f_1}{b}$$

$$X(t) = A_1 e^{-\alpha_1 t} \cos 2\pi f_1 t = A_1 e^{-\frac{2f_1 t}{b}} \cos 2\pi f_1 t, \quad 0 \leq t \leq c \frac{b}{f_1}$$

Для дискретного часу:

$$t = n\Delta t = n/F_{\partial}$$

$$X_n = X(n\Delta t) = A_1 e^{-\frac{2f_1 n}{bF_{\partial}}} \cos 2\pi \frac{f_1}{F_{\partial}} n, \quad 0 \leq n \leq c \frac{F_{\partial} b}{f_1}$$

Якщо сигнал починається в момент $t_0 \neq 0$

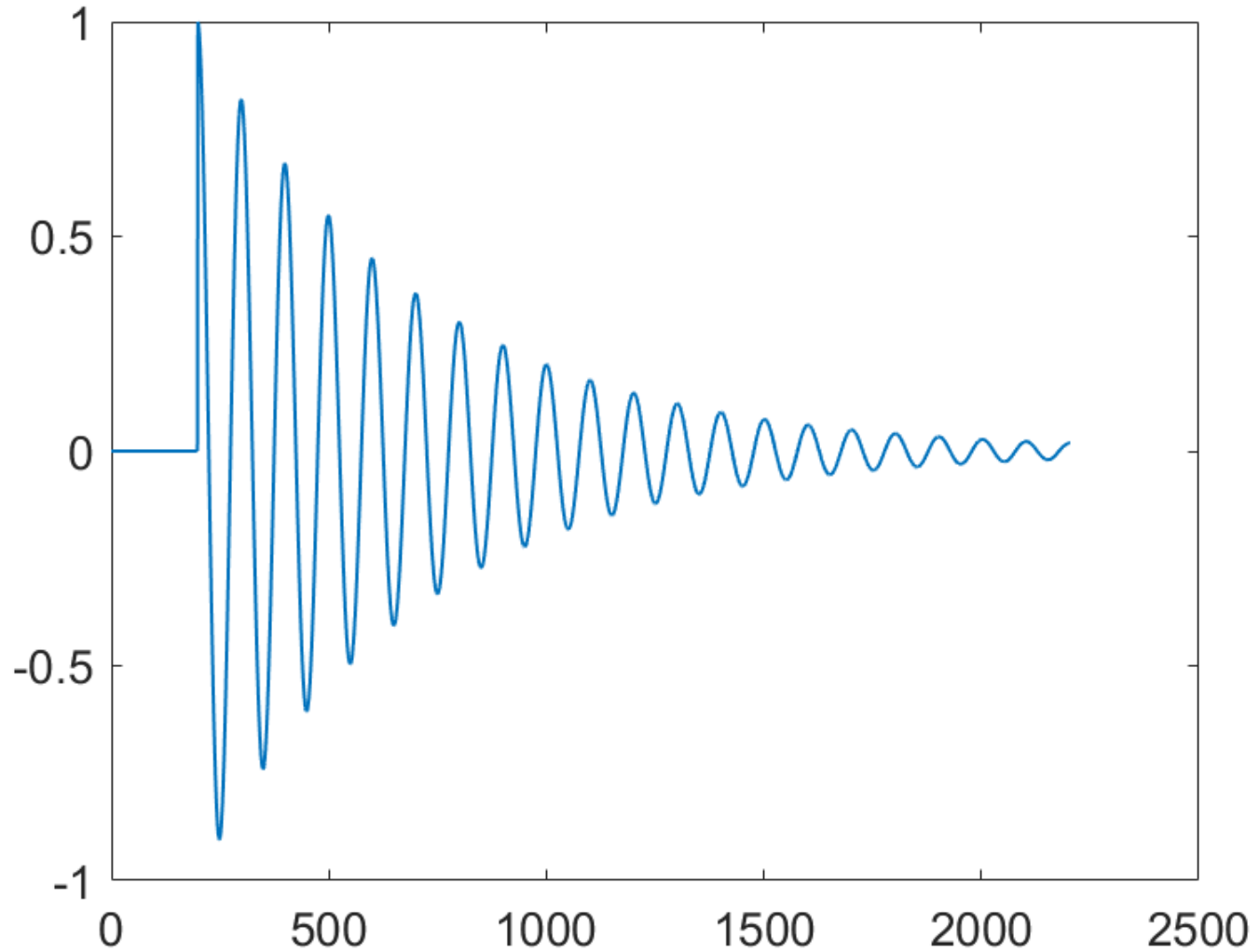
$$t_0 = \Delta t \cdot n_0$$

$$X'_n = \begin{cases} 0, & 0 \leq n < n_0; \\ A_1 e^{-\frac{2f_1(n-n_0)}{bF_{\partial}}} \cos 2\pi \frac{f_1}{F_{\partial}} (n - n_0), & n_0 \leq n \leq n_0 + c \frac{F_{\partial} b}{f_1} \end{cases}$$

Побудова моделі сигналу

```
A1=1;           % амплитуда сигналу
f1=440;        % частота сигналу в Гц
Fd=44100;     % частота дискретизації сигналу в Гц
b=10;         % кол-во періодів на інтервал затух в e2 раз
c=2;          % кол-во інтервалів затухан в e2 раз
N=round(c*Fd*b/f1); % кол-во ненулевих відліків сигналу
n0=200; % кол-во нулевих відліків перед початком сигналу
x=zeros(1, n0+N); % нульові відліки перед сигналом
for n=n0:n0+N,           % ненульові відліки сигналу
    x(n)=A1*exp(-2*f1*(n-n0)/(b*Fd))*cos(2*pi*f1*(n-n0)/Fd);
end;
    % побудова графіка
n=0:n0+N-1;
figure; plot(n,x)
```

Графік моделі сигналу



Вирізаємо інформативну частину

Виділяємо ділянку пороговим методом:

Поріг виявлення початку сигналу:

$$p_1 = a \cdot \max_n (X_n)$$

Поріг визначення кінця сигналу:

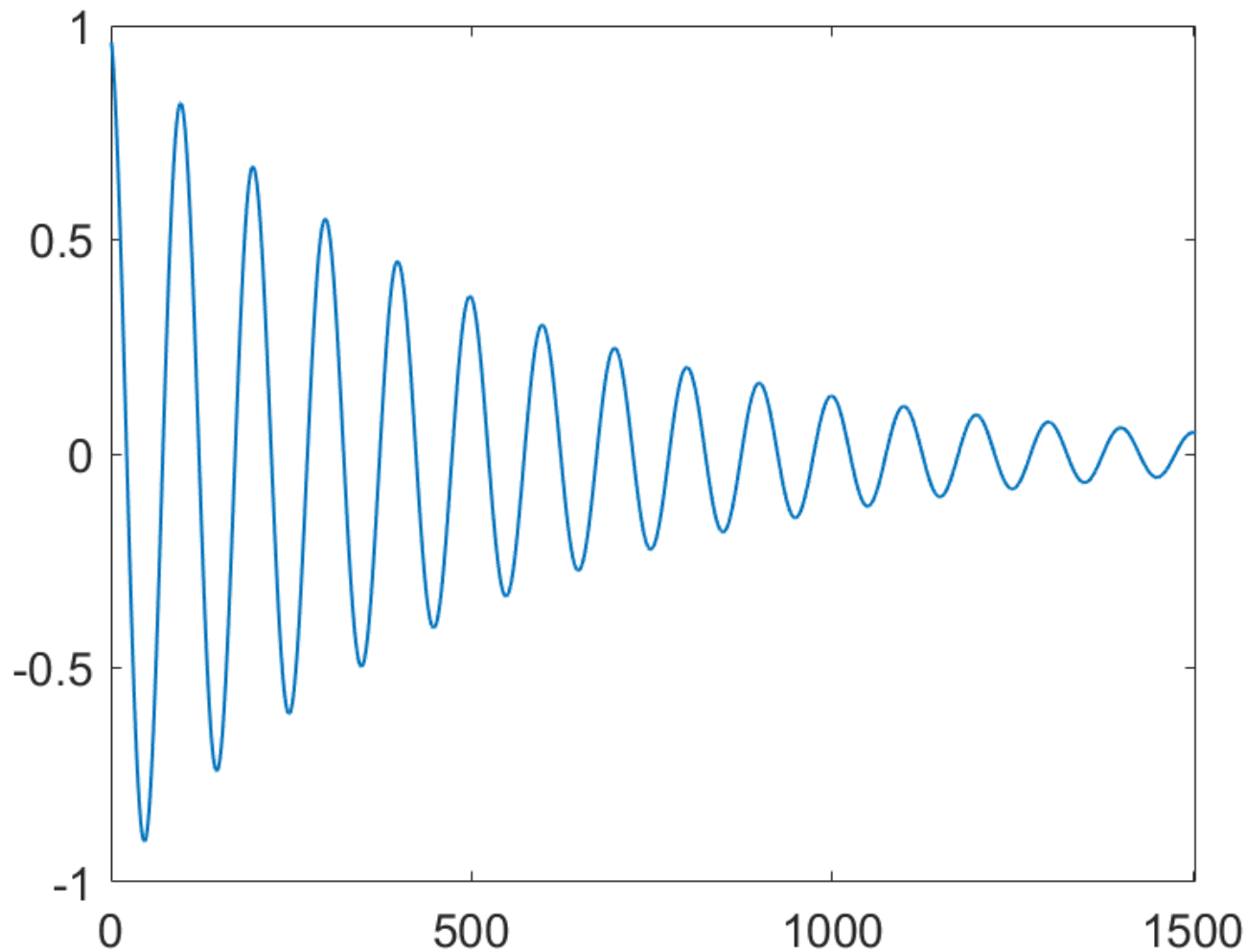
$$p_2 = a_1 \cdot p_1$$


```

% програма виділення інформативної ділянки сигналу
a=0.95;           % коефіцієнт для високого порога
a1=0.05;         % коефіцієнт для низкого порога
p1=a*max(abs(x)); % рівень високого порога
p2=a1*p1;        % рівень низкого порога
k=length(x);
while abs(x(k))<=p1, % пошук початку сигналу
    k=k-1;
end;
n1=k;            % початковий відлік сигналу
k=length(x);
while abs(x(k))<=p2, % пошук кінця сигналу
    k=k-1;
end;
n2=k;            % кінцевий відлік сигналу
% виділення сигналу
N1=n2-n1+1;      % кількість відліків усеченого сигналу
for m=1:N1,
    x1(m)=x(m+n1-1);
end;
% побудова графіка усеченого сигналу
m1=1:N1;
figure; plot(m1,x1)

```

Інформативна частина сигналу



Обчислення частоти сигналу в часовій області

$$\tilde{f}_1 = \frac{1}{\tilde{T}_1} = \frac{1}{T/z} = \frac{z}{\Delta t \cdot N} = \frac{zF_d}{N}$$

z – половина кількості нуль-перетинів

% обчислення по нуль-перетинам

```
y=sign(x1); % двосторонній підсилювач-обмежувач  
y1=0.5*abs(diff(y)); % дифер., лін. детект., підсилення  
z=0.5*sum(y1); % лічильник періодів (інтегратор)  
f1o = z*Fd/length(y) % обчислення частоти
```

Результат: f1o = 439.8271

Відносна похибка: 0,04%

Обчислення частоти сигналу в частотній області

% обчислення частоти спектральним способом

```
L=length(x1);
```

```
df=Fd/L;
```

```
F=abs(fft(x1));
```

```
[Fmax,fmax]=max(F);
```

```
f2o=df*(fmax(1)-1)
```

```
f=0:df:Fd-1;
```

```
figure; plot(f,F)
```

% шаг по частоте

% амплитудный спектр

% макс. знач. и соотв. номер отсчета

% вычисление частоты

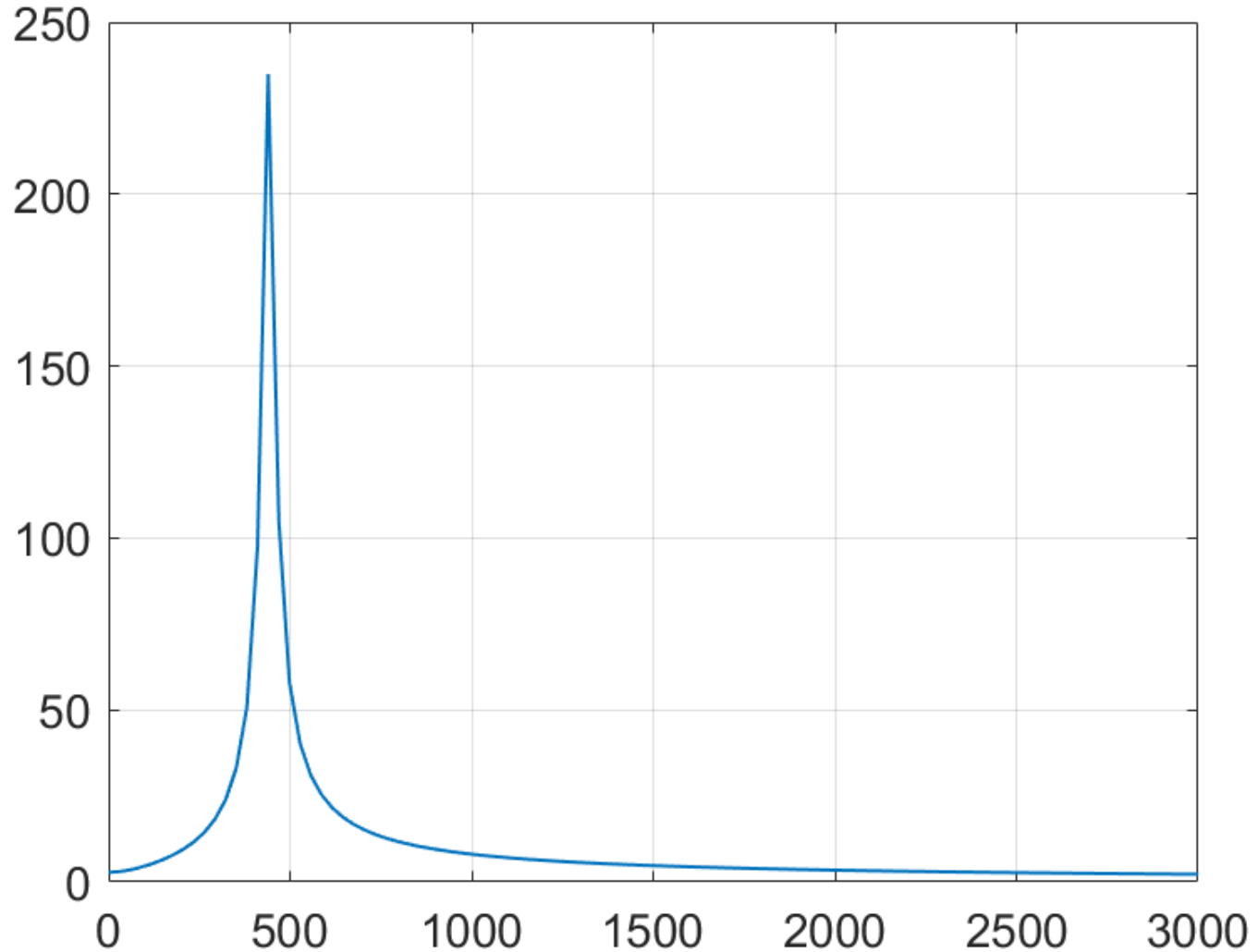
% построение графика спектра

Результат: $f_{2o} = 439.8271$

Відносна похибка: 0,04%

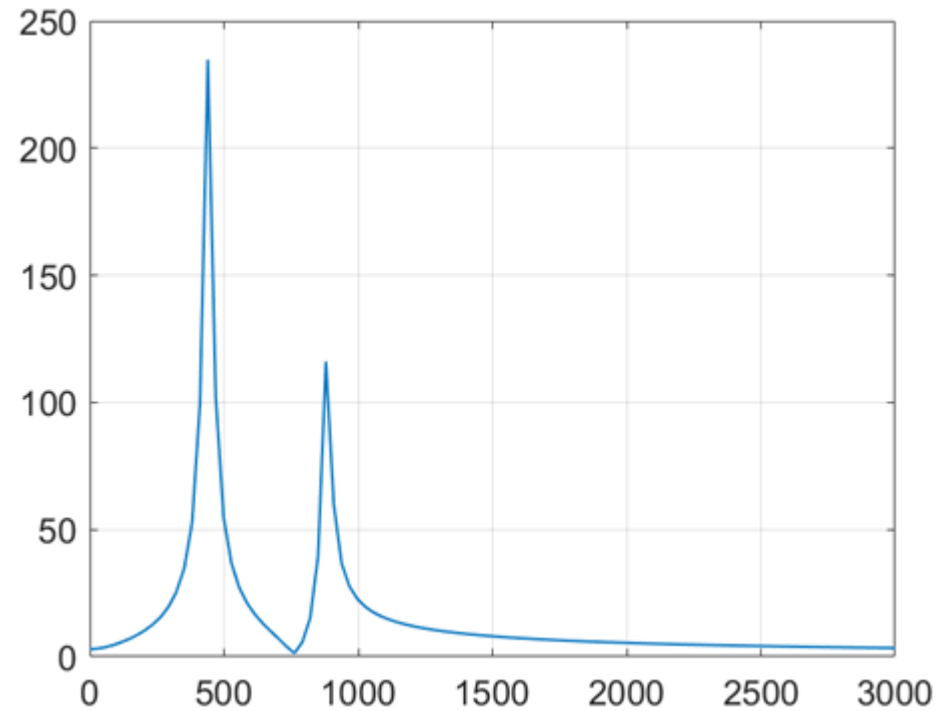
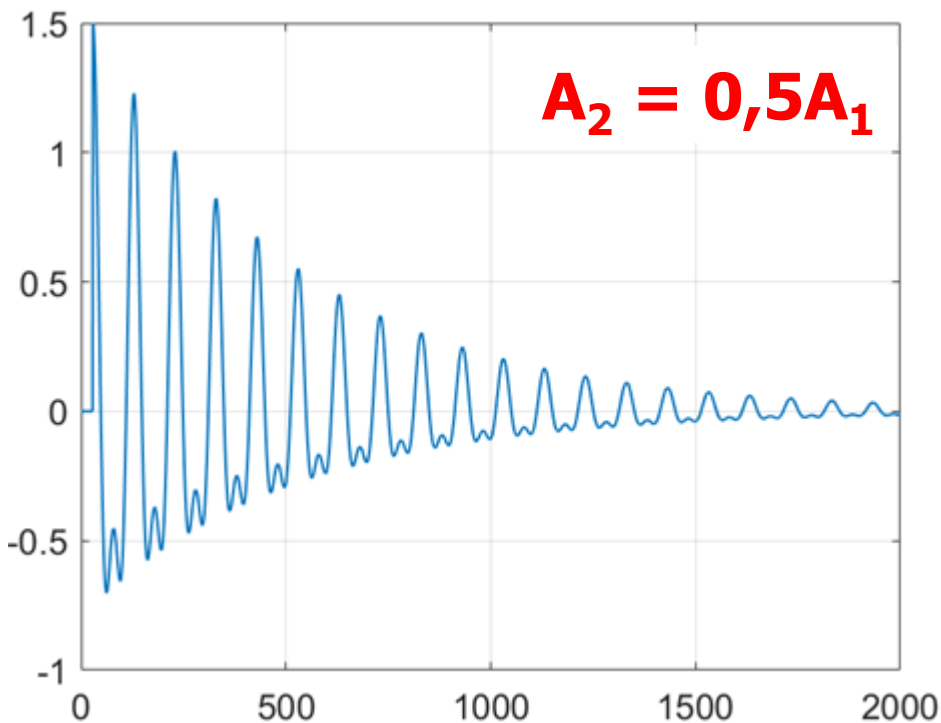
Висновок: методи працездатні, точність однакова

Оцінка спектру сигналу

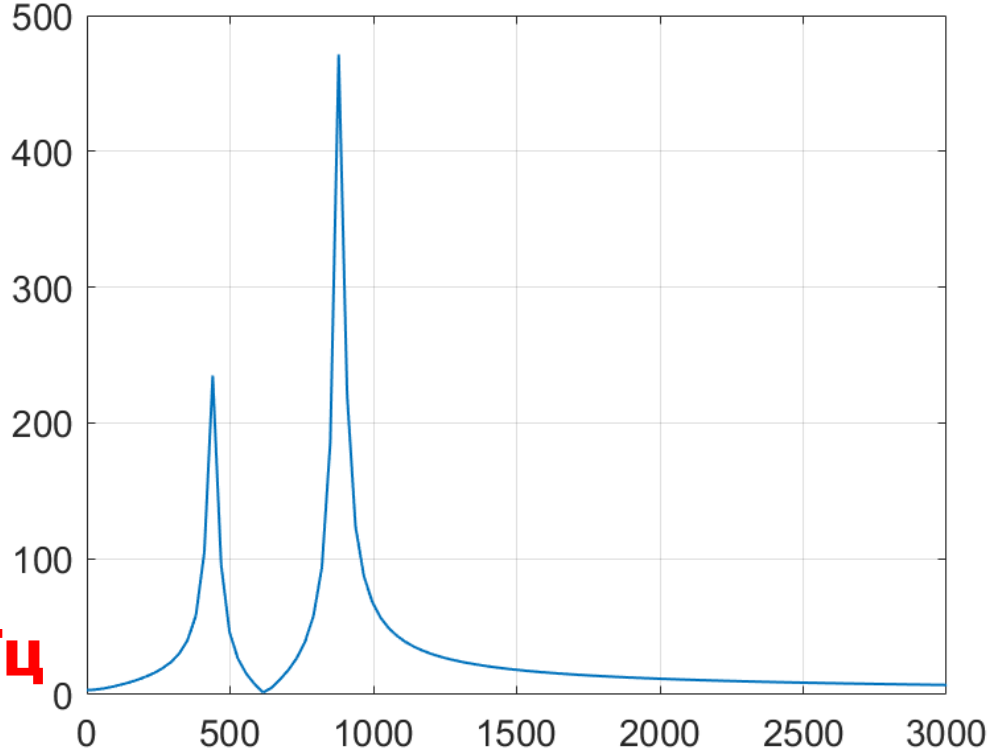
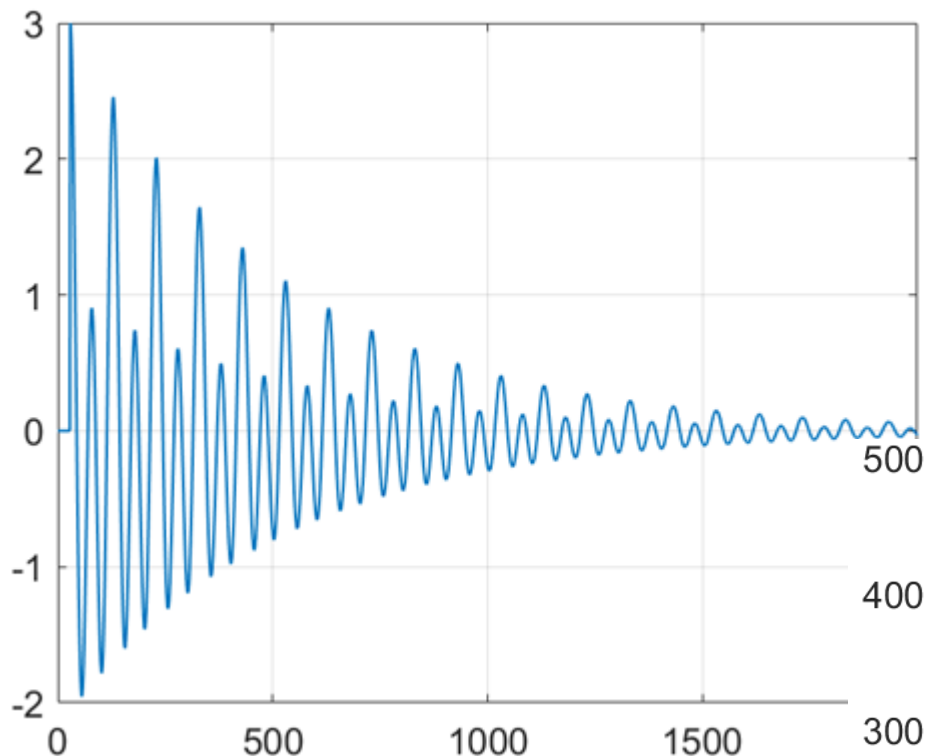


Ускладнена модель: 2 гармоніки

$$X'_n = \begin{cases} 0, & 0 \leq n < n_0; \\ e^{-\frac{2f_1(n-n_0)}{bF_\delta}} \left(\begin{aligned} &A_1 \cos 2\pi \frac{f_1}{F_\delta} (n-n_0) + \\ &+ A_2 \cos 2\pi \frac{2f_1}{F_\delta} (n-n_0) \end{aligned} \right), & n_0 \leq n \leq n_0 + c \frac{F_\delta b}{f_1} \end{cases}$$



Амплітуда 2-ї гармоніки вища в 2 рази



Оцінка: $f_{2o} = 879.0698$ Гц

Реальный звук струни

