

## Практичні заняття 7

### Вимірювання імпульсної характеристики приміщення, часу реверберації та залежності часу реверберації від частоти

#### План:

1. Запис імпульсної характеристики приміщення.
2. Вимірювання часу реверберації
3. Вимірювання часу реверберації як функції частоти
4. Використання mls-послідовності для вимірювання ІХ приміщення.

#### 1. Запис імпульсної характеристики приміщення.

**Завдання 1.** Ввести в комп'ютер звук плеску в долоні. Частота дискретизації  $F_s = 22050$  Гц. Прослухати введений сигнал. Переглянути графік сигналу. Переглянути спектр сигналу. Записати сигнал на диск.

#### Рішення завдання 1

Оскільки час реверберації в приміщенні - величина порядку 1 с, при введенні сигналу в комп'ютер доцільно запланувати паузу приблизно 1 с перед плеском в долоні, і приблизно 3 секунди - після плеску. Разом - 4 с.

```
Fs = 22050; T = 4;  
n = T*Fs;  
h = wavrecord(n,Fs);
```

Прослухати введений мовний сигнал:

```
soundsc(x,Fs);
```

Проглянути графік сигналу (рис. 1,а):

```
t = 0:1/Fs:(length(h)-1)/Fs;  
figure; plot(t,h);  
xlabel('Время, с'); ylabel('Уровень');  
grid on;
```

Перед записом сигналу на диск доцільно «відкусити» лишні частини (рис. 1,б):

```
habs = abs(h); % модуль ІХ  
maxhabs = max(habs); % максимум модуля ІХ  
hpor05 = sign(h - 0.5*maxhabs)+1; % знак(максимум модуля мінус порог 0,5)+1  
n0 = find(hpor05,1,'first'); % находим первый ненулевой элемент n0  
hc = h(n0:n0+Fs-1); % вырезаем 1 с, начиная с n0  
tc = 0:1/Fs:(length(hc)-1)/Fs; % массив моментов времени  
figure; plot(tc,hc); % график  
xlabel('Время, с'); ylabel('Уровень');  
grid on;
```

Записуємо ІХ на диск:

```
wavwrite(hc, Fs, 'hc');
```

Читаємо (та прослуховуємо) сигнал з диска:

```
[h1, Fs1] = wavread('hc');  
soundsc(h1,Fs1);
```

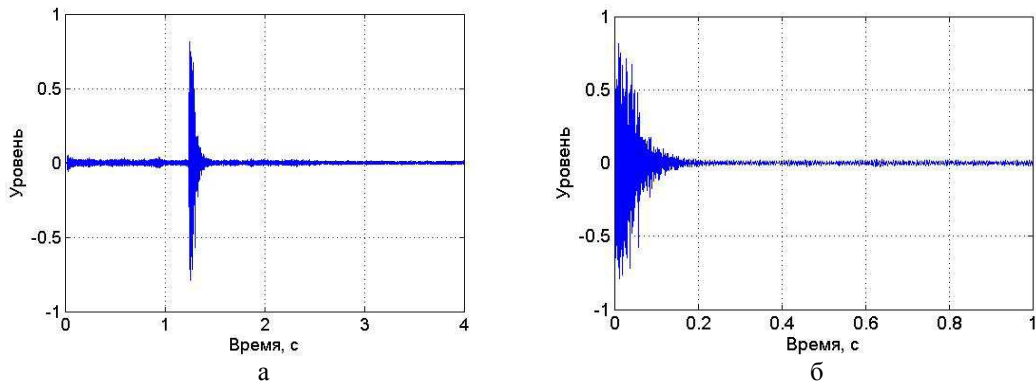


Рис. 1. Графік ІХ приміщення до (а) та після (б) «відкусування» зайвих частин

## 2. Вимірювання часу реверберації приміщення

### Рішення заавдання 2

```
% === t60_shroeder_2.m === время реверберации по Шредеру - способ 2===
% данный способ отличается от первого способа
% использованием фильтра-интегратора
[h,Fs]=wavread('hc.wav'); % чтение ИХ
len_h = length(h); % длина ИХ
% === Часть 1: построение огибающей реверберационного процесса ===
% === квадрат ИХ ===
t1=1/Fs:1/Fs:len_h/Fs;
h2=h.^2;h2=h2/max(h2);
figure; plot(t1,10*log10(abs(h2))); grid on; hold on
% === огибающая ИХ по Шредеру ===
tic; % начало отсчета времени вычислений
R=flipud(filter(1/Fs,[1 -1],flipud(h2))); % интегрирование
R = 10*log10(R/max(R));
plot(t1,R,'r','LineWidth',2);
toc; % конец отсчета времени вычислений
% === Часть 2: вычисление времени реверберации ===
% === задание значений порогов ===
por1=-1; por11=-11; por5=-5; por35=-35; por25=-25; por15=-15;
% === пересечение порога на минус 1 дБ ===
T1 = find(diff(sign(R-por1)))/Fs;
% === пересечение порога на минус 11 дБ ===
T11 = find(diff(sign(R-por11)))/Fs;
% === пересечение порога на минус 5 дБ ===
T5 = find(diff(sign(R-por5)))/Fs;
% === пересечение порога на минус 35 дБ ===
T35 = find(diff(sign(R-por35)))/Fs;
% === пересечение порога на минус 25 дБ ===
T25 = find(diff(sign(R-por25)))/Fs;
% === пересечение порога на минус 15 дБ ===
T15 = find(diff(sign(R-por15)))/Fs;
% === вычисление T60 ===
T30 = (T35-T5)*2; T20 = (T25-T5)*3; T10 = (T15-T5)*6; EDT = (T11-T1)*6;
title(['T_3_0 = ' num2str(T30) ',T_2_0 = ' num2str(T20) ',T_1_0 = ' num2str(T10) ',EDT = '
num2str(EDT)],'FontSize',14);
xlabel('Время, с','FontSize',14); ylabel('Уровень, дБ','FontSize',14);
```

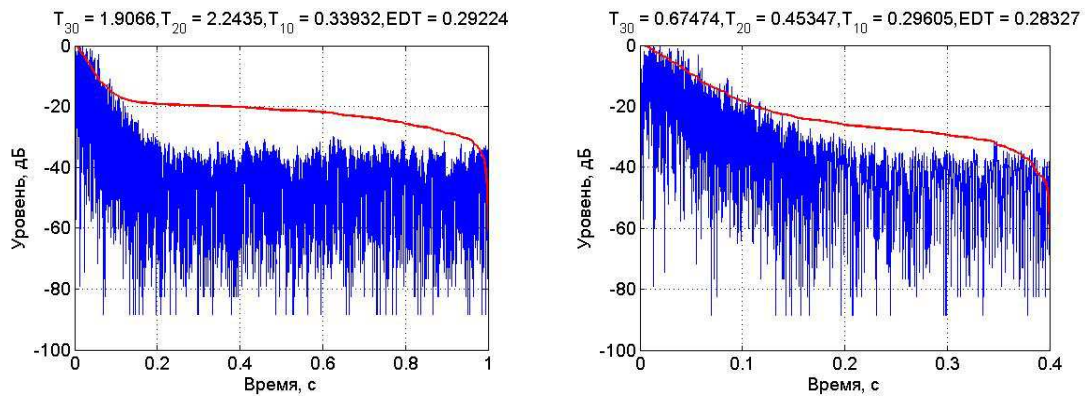


Рис. 2. Оцінки часу реверберації

На рис. 2 показані результати вимірювань. Видно, що через інтенсивну шумову заваду правдоподібними є лише оцінки EDT та T10. Один із способів боротьби із завадою – повторити вимірювання, додатково відкусивши «хвіст», що містить шумову заваду.

Відкусимо 0,5 с та повторимо вимірювання. Результат показаний на рис. 2,б. Як бачимо, справа дещо поліпшилася, проте результати поки що є далекими від ідеальних.

Розглянутий приклад свідчить про складність проблеми вимірювання часу реверберації в умовах сильної шумової завади.

### 3. Вимірювання часу реверберації як функції частоти

#### Рішення задачі 3

##### План рішення:

- 1) обчислити коефіцієнти 3-х смугових октавних фільтрів\* Кайзера с граничними частотами, вказаними в таблиці (частота дискретизації 22050 Гц):

	$f_0 = 500$ Гц	$f_0 = 2000$ Гц	$f_0 = 4000$ Гц
$f_{s1}$	310	1200	2400
$f_{p1}$	360	1400	2800
$f_{p2}$	720	2800	5600
$f_{s2}$	770	3000	6000

- 2) фільтрувати ІХ отриманими фільтрами та поміряти час реверберації для результатів фільтрації;
- 3) побудувати графік залежності часу реверберації від частоти  $f_0$  та зробити висновки.

**\*Примітка 1:** всі фільтри повинні забезпечити нерівномірність АЧХ в смузі пропускання 0,001; рівень АЧХ в смузі затримання також 0,001.

**Приклад синтезу першого фільтра:**

```
fcuts = [310 360 720 770]; mags = [0 1 0];
devs = [0.001 0.001 0.001];
Fs = 22050;
[p,Wn,alfa,ftype] = kaiserord(fcuts,mags,devs,Fs);
a1 = fir1(p,Wn,ftype,kaiser(p+1,alfa),'noscale');
freqz(a1, 1, 512, Fs)
```

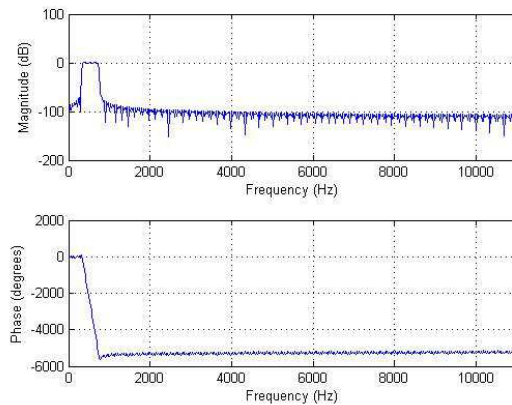


Рис. 3. АЧХ и ФЧХ синтезированного фильтра

Фільтрація IX:

```
>> [hcc,Fs] = wavread('hcc');
>> h1 = filter(a1,1,hcc);
>> wavwrite(h1,Fs,'h1');
```

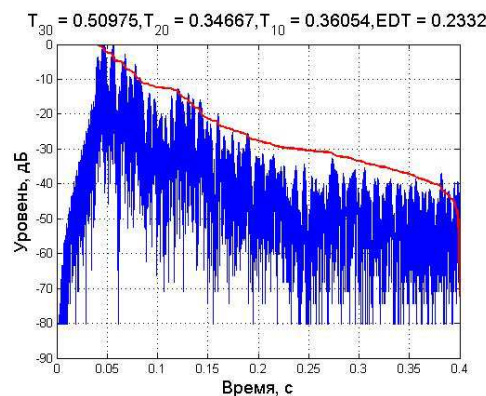


Рис. 4. Оцінки T60 для 1-го фильтра

Далі синтезуємо 2-й та 3-й фільтри:

```
fcuts = [1200 1400 2800 3000]; mags = [0 1 0];
devs = [0.001 0.001 0.001];
Fs = 22050;
[p,Wn,alfa,ftype] = kaiserord(fcuts,mags,devs,Fs);
a2 = fir1(p,Wn,ftype,kaiser(p+1,alfa),'noscale');
freqz(a2, 1, 512, Fs)
```

```
fcuts = [2400 2800 5600 6000]; mags = [0 1 0];
devs = [0.001 0.001 0.001];
Fs = 22050;
[p,Wn,alfa,ftype] = kaiserord(fcuts,mags,devs,Fs);
a3 = fir1(p,Wn,ftype,kaiser(p+1,alfa),'noscale');
freqz(a3, 1, 512, Fs)
```

Фільтрація 2-м та 3-м фільтрами:

```
h2 = filter(a2,1,hcc);
wavwrite(h2,Fs,'h2');
```

```
h3 = filter(a3,1,hcc);
wavwrite(h3,Fs,'h3');
```

Далі міряємо T60 (рис. 5).

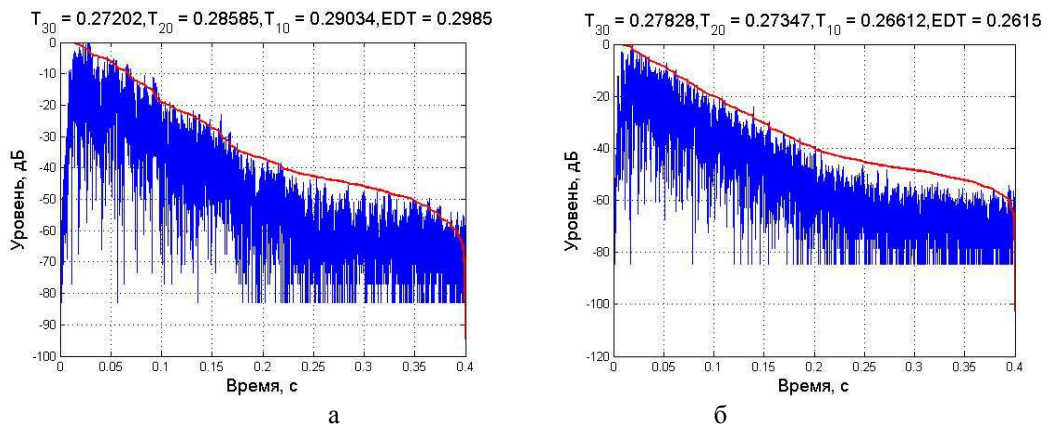


Рис. 5. T10 для h2 (а) и h3 (б)

Будуємо залежність T10(f0):

```
f0 = [500 2000 4000];
T60 = [0.36 0.29 0.27];
figure; plot(f0, T60)
grid on
```

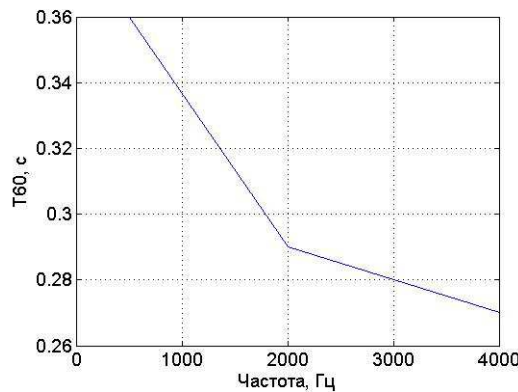


Рис. 5. Зависимость T10(f0)

Аналогічно будуються оцінки залежностей інших оцінок T60 (EDT, T20, T30).

#### 4. mls-послідовності та їх використання для вимірювання часу реверберації

**Крок 1.** Запускаємо програму [mls.m](#) (Додаток 1), за допомогою якої генерується послідовність **out**, що складається із 65536 (тобто  $2^{16}$ ) відліків у вигляді «+1» та «-1».

**Крок 2.** Будуємо графік фрагменту mls-послідовності (рис. 6):

```
figure; stem(out(0:100), '-o', 'LineWidth', 2);
xlabel('Номери вибірок m-послідовності'); ylabel('Рівень вибірок');
```

**Крок 3.** Будуємо графік коефіцієнту автокореляції mls-послідовності (рис. 7):

```
>> [c_ww, lags] = xcorr(out, 1000, 'coeff'); plot(lags, c_ww);
```

Фрагмент значень коефіцієнту автокореляції наведено в табл.1:

**Крок 4.** Записуємо згенеровану mls-послідовність у вигляді wav-файлів із різними частотами дискретизації:

```
>> audiowrite('mls_out_65536_8kHz.wav', out, 8000);
>> audiowrite('mls_out_65536_22050Hz.wav', out, 22050);
>> audiowrite('mls_out_65536_44100Hz.wav', out, 44100);
```

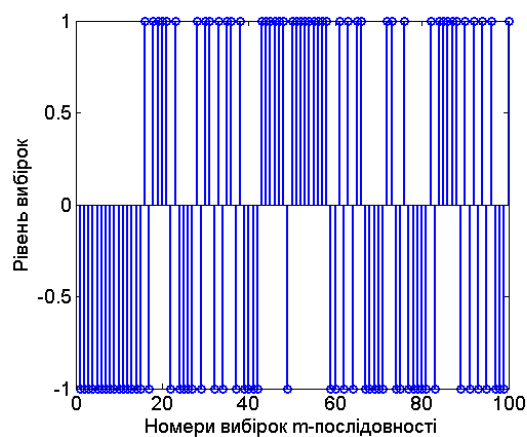


Рис. 6. Графік фрагменту mls-послідовності

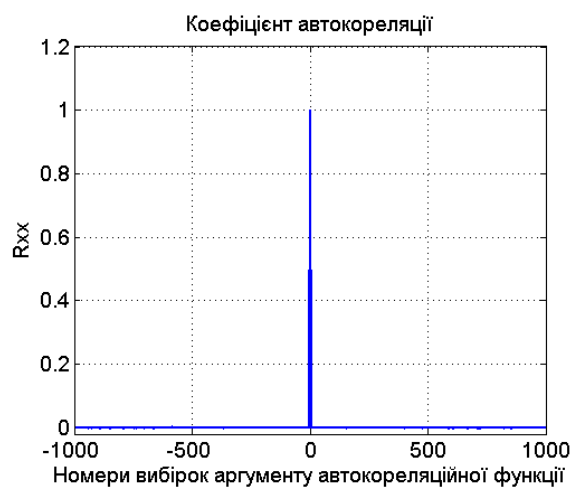


Рис. 7. Графік коефіцієнту автокореляції mls-послідовності

Таблиця 1

Номери вибірок	Значення Rxx
996	-4,5776-05
997	-3,0517e-05
998	-1,5258e-05
999	-6,5052e-19
1000	-1,5258e-05
1001	1
1002	-1,5258e-05
1003	-5,9631e-19
1004	-1,5258e-05
1005	-3,0517e-05
1006	-4,5776e-05

Отримані записи можна використовувати для оцінювання ІХ кімнати шляхом взаємнокореляційної обробки (Додаток 2).

Програма генерування m-послідовності із  $2^{16}$  вибірок

```
% === mls.m ===
% script for mls generation in matlab
% setup for 2^16 at present
% warning - this is very slow
x = 1:16;
a = zeros(size(x));
a(1) = 1;
for i = 1:2^16
    a(17)=xor(a(1),a(12));
    a(17)=xor(a(17),a(14));
    a(17)=xor(a(17),a(15));
    a(x)=a(x+1);
    out(i)=a(1);
    if out(i)==0
        out(i)=-1;
    end
end
```

## Спосіб оцінювання ІХ лінійної системи

Із співвідношення

$$Y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(v) X(t-v) dv$$

отримуємо співвідношення:

$$K_{XY}(\tau) = \langle X(t)Y(t+\tau) \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} h(v) \langle X(t)X(t+\tau-v) \rangle dv = \int_{-\infty}^{\infty} h(v) K_X(\tau-v) dv, \quad (1)$$

тобто взаємно-кореляційна функція впливу й відгуку дорівнює згортці ІХ системи з автокореляційною функцією впливу.

Для випадку, коли вплив є білий шум із автокореляційною функцією

$$K_X(\tau) = D_X \cdot \delta(\tau),$$

із (1) отримуємо:

$$K_{XY}(\tau) = D_X \int_{-\infty}^{\infty} h(v) \delta(\tau-v) dv = D_X \cdot h(\tau),$$

тобто взаємно-кореляційна функція впливу й відгуку є імпульсною характеристикою лінійної системи (із коефіцієнтом пропорційності  $D_X$ ).

## 5. Самостійна робота:

1. Виміряйте ІХ та час реверберації вашого житлового приміщення, використовуючи запис плескання в долоні.
2. Виміряйте ІХ та час реверберації власного житлового приміщення, використовуючи запис mls-послідовності.
3. Порівняйте між собою отримані результати та зробіть відповідні висновки.
4. Побудуйте залежність часу реверберації від частоти, використовуючи отримані оцінки ІХ вашого житлового приміщення.