

### **11.3. Лабораторна робота № 3. ВИПАДКОВІ СИГНАЛИ ТА ЇХ ХАРАКТЕРИСТИКИ. ПСЕВДОВИПАДКОВІ СИГНАЛИ**

**Мета:** Набуття практичних навичок імітаційного моделювання різних видів випадкових і псевдовипадкових сигналів. Практичне вивчення основних характеристик випадкових сигналів, у тому числі: густина ймовірності та функція спектральної густини потужності.

#### **11.3.1. Завдання та порядок виконання роботи**

Для успішного виконання роботи необхідно:

1. Провести імітаційне моделювання і побудувати графік псевдовипадкового сигналу, що визначається законом

$$x(nT_d) = A_0 \sin(2\pi f n T_d + \varphi)$$

на часовому інтервалі  $t \in [t_{\min}; t_{\max}]$ , причому деякі з параметрів сигналу: частота  $f$ , амплітуда  $A$ , рівень постійної складової  $A_0$  або початкова фаза  $\varphi$  мають бути випадковими величинами із заданими ймовірнісними характеристиками. Частота дискретизації має бути обраною відповідно до вимог теореми Найквіста - Котельникова, а саме  $f_d > 2 f_{\max}$ .

2. Побудувати графіки часової реалізації випадкових величин.

3. Експериментально побудувати гістограми статистичного розподілу та порівняти з функцією щільності ймовірності заданого ймовірнісного розподілу відповідної величини.

4. Побудувати функцію спектральної щільності потужності псевдовипадкового сигналу. Оскільки спектральні характеристики дійсного сигналу симетричні відносно нульової частоти, то рекомендується при виконанні роботи на графіках зображати тільки позитивні частоти, подвоюючи значення характеристики в області позитивних частот за рахунок прихованих на графіку відповідних від'ємних частот. Такий вигляд зображення є більш інтуїтивно зрозумілим, оскільки у фізичних процесах негативні частоти відсутні.

Після виконання експериментальної частини необхідно відповісти на запропоновані контрольні запитання для закріплення пройденого матеріалу і встановлення взаємозв'язку між отриманими результатами практичних робіт і теоретичними знаннями.

#### **11.3.2. Вимоги до звіту**

Результати роботи рекомендується оформити у вигляді звіту, в якому має бути така інформація: мета роботи; розв'язані у процесі її досягнення завдання; основні математичні вирази, використані під час вирішення

завдань; текст програми чи схема моделювання, результати моделювання у вигляді графіків і висновок, що дозволяє зробити висновок про сумісність результатів практичної роботи з теоретичними відомостями.

Звіт повинен містити наступні розділи:

1. Титульний аркуш;
2. Цілі роботи;
3. Опис сигналів, коди програм, візуальне представлення сигналу.

### 11.3.3. Варіанти завдань для індивідуальної роботи

Таблиця 11.4. Параметри сигналу: НР – нормальний розподіл, РР – рівномірний розподіл, ТР – трикутний розподіл.

| № | $t_{\min}$ , с | $t_{\max}$ , с |                                                                                                                                                         |
|---|----------------|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | 16             | 30             | $A = 3$ В; $A_0 = 6$ В;<br>Тип: НР; $m(f) = 3$ Гц; $\sigma(f) = 13$ Гц;<br>Тип: ТР; $\varphi: a = \frac{\pi}{20}; b = \frac{\pi}{2}; c = \frac{\pi}{2}$ |
| 2 | 20             | 27             | Тип: РР; $A = 5 \pm 25$ В;<br>$A_0 = 15$ В; $f = 5$ Гц;<br>Тип: ТР; $\varphi: a = \frac{\pi}{16}; b = \frac{\pi}{12}; c = \frac{\pi}{3}$                |
| 3 | 11             | 21             | Тип: НР; $m(A) = 5$ В; $\sigma(A) = 26$ В;<br>$A_0 = 20$ В;<br>Тип: ТР; $f: a = 10$ Гц; $b = 12$ Гц; $c = 13$ Гц;<br>$\varphi = \frac{\pi}{14}$         |
| 4 | 3              | 18             | Тип: РР; $A = 9 \pm 24$ В;<br>Тип: РР; $A_0 = 7 \pm 30$ В;<br>$f = 8$ Гц; $\varphi = \frac{\pi}{15}$                                                    |
| 5 | 7              | 22             | Тип: РР; $A = 4 \pm 28$ В;<br>Тип: РР; $A_0 = 10 \pm 21$ В;<br>$f = 4$ Гц; $\varphi = \frac{\pi}{6}$                                                    |
| 6 | 19             | 32             | $A = 3$ В;<br>Тип: РР; $A_0 = 7 \pm 29$ В;<br>$f = 6$ Гц;<br>Тип: НР; $m(\varphi) = \frac{\pi}{27}; \sigma(\varphi) = \frac{\pi}{2}$                    |

|    |    |    |                                                                                                                                                                                            |
|----|----|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 7  | 6  | 27 | $A = 6 \text{ В};$<br>Тип: НР; $m(A_0) = 9 \text{ В}; \sigma(A_0) = 26 \text{ В};$<br>$f = 3 \text{ Гц};$<br>Тип: ТР; $\varphi: a = \frac{\pi}{21}; b = \frac{\pi}{16}; c = \frac{\pi}{5}$ |
| 8  | 7  | 22 | Тип: НР; $m(A) = 5 \text{ В}; \sigma(A) = 18 \text{ В};$<br>$A_0 = 14 \text{ В};$<br>Тип: ТР; $f: a = 8 \text{ Гц}; b = 8 \text{ Гц}; c = 10 \text{ Гц};$<br>$\varphi = \frac{\pi}{22}$    |
| 9  | 19 | 43 | $A = 10 \text{ В};$<br>Тип: НР; $m(A_0) = 7 \text{ В}; \sigma(A_0) = 14 \text{ В};$<br>$f = 11 \text{ Гц};$<br>Тип: РР; $\varphi = \frac{\pi}{27} \pm \frac{\pi}{4}$                       |
| 10 | 16 | 39 | Тип: НР; $m(A) = 10 \text{ В}; \sigma(A) = 14 \text{ В};$<br>Тип: НР; $m(A_0) = 6 \text{ В}; \sigma(A_0) = 19 \text{ В};$<br>$f = 11 \text{ Гц}; \varphi = \frac{\pi}{17}$                 |
| 11 | 12 | 20 | $A = 22 \text{ В}; A_0 = 24 \text{ В};$<br>Тип: ТР; $f: a = 7 \text{ Гц}; b = 12 \text{ Гц}; c = 18 \text{ Гц};$<br>Тип: РР; $\varphi = \frac{\pi}{25} \pm \frac{\pi}{3}$                  |
| 12 | 8  | 32 | Тип: НР; $m(A) = 10 \text{ В}; \sigma(A) = 17 \text{ В};$<br>$A_0 = 5 \text{ В}; f = 7 \text{ Гц};$<br>Тип: РР; $\varphi = \frac{\pi}{14} \pm \frac{\pi}{4}$                               |
| 13 | 11 | 20 | $A = 23 \text{ В};$<br>Тип: РР; $A_0 = 5 \pm 19 \text{ В};$<br>$f = 24 \text{ Гц};$<br>Тип: НР; $m(\varphi) = \frac{\pi}{26}; \sigma(\varphi) = \frac{\pi}{4}$                             |
| 14 | 10 | 40 | $A = 5 \text{ В}; A_0 = 6 \text{ В};$<br>Тип: НР; $m(f) = 9 \text{ Гц}; \sigma(f) = 10 \text{ Гц};$<br>Тип: ТР; $\varphi: a = \frac{\pi}{14}; b = \frac{\pi}{9}; c = \frac{\pi}{5}$        |

|    |    |    |                                                                                                                                                                                               |
|----|----|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 15 | 11 | 28 | $A = 3 \text{ В};$<br>Тип: НР; $m(A_0) = 10 \text{ В}; \sigma(A_0) = 10 \text{ В};$<br>$f = 21 \text{ Гц};$<br>Тип: РР; $\varphi = \frac{\pi}{25} \pm \frac{\pi}{3}$                          |
| 16 | 19 | 37 | $A = 3 \text{ В};$<br>Тип: ТР; $A_0: a = 8 \text{ В}; b = 16 \text{ В}; c = 25 \text{ В};$<br>$f = 13 \text{ Гц};$<br>Тип: НР; $m(\varphi) = \frac{\pi}{22}; \sigma(\varphi) = \frac{\pi}{3}$ |
| 17 | 18 | 37 | Тип: НР; $m(A) = 4 \text{ В}; \sigma(A) = 14 \text{ В};$<br>$A_0 = 10 \text{ В}; f = 23 \text{ Гц};$<br>Тип: НР; $m(\varphi) = \frac{\pi}{26}; \sigma(\varphi) = \frac{\pi}{2}$               |
| 18 | 20 | 27 | Тип: НР; $m(A) = 4 \text{ В}; \sigma(A) = 30 \text{ В};$<br>$A_0 = 17 \text{ В}; f = 15 \text{ Гц};$<br>Тип: НР; $m(\varphi) = \frac{\pi}{25}; \sigma(\varphi) = \frac{\pi}{5}$               |
| 19 | 20 | 47 | Тип: НР; $m(A) = 6 \text{ В}; \sigma(A) = 20 \text{ В};$<br>Тип: НР; $m(A_0) = 4 \text{ В}; \sigma(A_0) = 19 \text{ В};$<br>$f = 7 \text{ Гц}; \varphi = \frac{\pi}{23}$                      |
| 20 | 14 | 31 | Тип: НР; $m(A) = 8 \text{ В}; \sigma(A) = 22 \text{ В};$<br>$A_0 = 25 \text{ В}; f = 14 \text{ Гц};$<br>Тип: НР; $m(\varphi) = \frac{\pi}{22}; \sigma(\varphi) = \frac{\pi}{5}$               |
| 21 | 18 | 44 | $A = 19 \text{ В};$<br>Тип: НР; $m(A_0) = 8 \text{ В}; \sigma(A_0) = 18 \text{ В};$<br>$f = 18 \text{ Гц};$<br>Тип: НР; $m(\varphi) = \frac{\pi}{25}; \sigma(\varphi) = \frac{\pi}{3}$        |
| 22 | 13 | 22 | $A = 8 \text{ В};$<br>Тип: НР; $m(A_0) = 10 \text{ В}; \sigma(A_0) = 20 \text{ В};$<br>$f = 17 \text{ Гц};$<br>Тип: НР; $m(\varphi) = \frac{\pi}{19}; \sigma(\varphi) = \frac{\pi}{2}$        |

|    |    |    |                                                                                                                                                                   |
|----|----|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 23 | 13 | 32 | Тип: РР; $A=10 \pm 15$ В;<br>$A_0 = 4$ В;<br>Тип: ТР; $f : a = 4$ Гц; $b = 6$ Гц; $c = 15$ Гц;<br>$\varphi = \frac{\pi}{19}$                                      |
| 24 | 6  | 26 | $A = 7$ В; $A_0 = 14$ В;<br>Тип: НР; $m(f) = 3$ Гц; $\sigma(f) = 11$ Гц;<br>Тип: РР; $\varphi = \frac{\pi}{23} \pm \frac{\pi}{3}$                                 |
| 25 | 14 | 30 | $A = 7$ В; $A_0 = 14$ В;<br>Тип: ТР; $f : a = 10$ Гц; $b = 13$ Гц; $c = 20$ Гц;<br>Тип: РР; $\varphi = \frac{\pi}{28} \pm \frac{\pi}{2}$                          |
| 26 | 20 | 49 | $A = 4$ В; $A_0 = 13$ В;<br>Тип: НР; $m(f) = 10$ Гц; $\sigma(f) = 15$ Гц;<br>Тип: ТР; $\varphi : a = \frac{\pi}{19}$ ; $b = \frac{\pi}{10}$ ; $c = \frac{\pi}{5}$ |
| 27 | 14 | 35 | $A = 10$ В; $A_0 = 4$ В;<br>Тип: ТР; $f : a = 6$ Гц; $b = 10$ Гц; $c = 13$ Гц;<br>Тип: РР; $\varphi = \frac{\pi}{12} \pm \frac{\pi}{3}$                           |
| 28 | 13 | 39 | Тип: ТР; $A : a = 9$ В; $b = 10$ В; $c = 10$ В;<br>$A_0 = 13$ В;<br>Тип: НР; $m(f) = 8$ Гц; $\sigma(f) = 12$ Гц;<br>$\varphi = \frac{\pi}{20}$                    |
| 29 | 17 | 29 | $A = 19$ В;<br>Тип: ТР; $A_0 : a = 9$ В; $b = 13$ В; $c = 13$ В;<br>$f = 10$ Гц;<br>Тип: РР; $\varphi = \frac{\pi}{21} \pm \frac{\pi}{3}$                         |
| 30 | 10 | 32 | Тип: РР; $A=4 \pm 18$ В;<br>$A_0 = 16$ В;<br>$f = 15$ Гц;<br>Тип: НР; $m(\varphi) = \frac{\pi}{23}$ ; $\sigma(\varphi) = \frac{\pi}{4}$                           |

#### **11.3.4. Контрольні питання**

1. На інтервал якої довжини припадає понад 99% значень випадкової величини, розподіленої за нормальним законом?
2. Поясніть, у яких випадках який розподіл (рівномірний, нормальний, трикутний) випадкової величини слід застосовувати.
3. Чим відрізняється псевдовипадковий сигнал від детермінованого і випадкового?
4. У якій ділянці (часовій чи частотній) простіше відрізнити псевдовипадковий сигнал, отриманий у цій роботі, від шуму? Чому?
5. Які сигнали частіше зустрічаються на практиці: детерміновані чи псевдовипадкові?