

Кафедра теорії електричного зв'язку ім. А.Г. Зюко

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ВИВЧЕННЯ ПЕРШОЇ ЧАСТИНИ ДИСЦИПЛІНИ

“ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ЗВ'ЯЗКУ”

ТА ЗАВДАННЯ НА САМОСТІЙНУ РОБОТУ

для студентів заочної форми навчання

Укладачі – П.В. Іващенко, М.Ф. Іванов

СХВАЛЕНО

на засіданні кафедри ТЕЗ

і рекомендовано до друку.

Протокол № 9

від 11 березня 2010 р.

Загальні вказівки до вивчення першої частини курсу ТЕЗ

Навчальна дисципліна “Теорія електричного зв’язку” (ТЕЗ) відноситься до числа фундаментальних дисциплін підготовки бакалаврів за напрямом “Телекомунікації”. Під час вивчення ТЕЗ студенти оволодівають сучасними методами аналізу і синтезу систем та пристроїв електрозв’язку різного призначення. У дисципліні застосовано єдиний підхід до вивчення перетворень повідомлень і сигналів у системах зв’язку. Курс базується на знаннях, отриманих студентами при вивченні вищої математики і теорії електричних кіл. Курс ТЕЗ поділений на дві частини і вивчається протягом двох семестрів.

На лекціях (8 год. у період установчої сесії і 10 год. у період екзаменаційної сесії) студенти вивчають основні теоретичні положення першої частини ТЕЗ.

У міжсесійний період студенти самостійно детально проробляють першу частину дисципліни за підручниками [1, 2, 3]. При цьому студенти складають конспект відповідно до наведеного нижче переліку тем (табл. 1) та виконують самостійну роботу (завдання наведено нижче), яку здають викладачу на початку сесії на рецензування.

Під час екзаменаційної сесії студенти виконують три лабораторні роботи з метою вивчення й експериментального дослідження методів формування і перетворення сигналів у системах електрозв’язку [4], захищають допущену до захисту самостійну роботу. З теоретичної частини ТЕЗ проводиться екзамен. На екзамені студент подає конспект самостійної роботи над дисципліною, зараховані самостійну роботу і протоколи лабораторних робіт.

Програма першої частини дисципліни ТЕЗ

Таблиця 1 – Перелік розділів і тем

Розділ, тема	Номери підрозділів у підручниках		
	[1]	[2]	[3]
<p>1 Вступ. Сучасні телекомунікаційні системи Загальні поняття про системи електрозв’язку. Інформація, повідомлення, сигнал. Класифікація повідомлень. Узагальнена структурна схема системи передавання повідомлень електричними сигналами. Перетворення повідомлень у сигнали та зворотне перетворення. Канали зв’язку. Створення каналів зв’язку у мережах зв’язку. Системи передавання та системи доступу. Завади та спотворення сигналів у каналах зв’язку. Задачі ТЕЗ.</p>	Вступ	1.1...1.7	1.1...1.7, 9.1
<p>2 Елементи загальної теорії сигналів Класифікація сигналів. Енергетичні та кореляційні характеристики сигналів. Подання сигналів в ортогональних базисах. Приклади ортогональних базисів (тригонометричний, експонентний, функції відліків, Уолша та ін.). Геометричне подання сигналів, простір сигналів. База сигналу. Ряд і перетворення Фур’є. Амплітудний, фазовий, комплексний та енергетичний спектри детермінованих сигналів.</p>	1.1, 1.5, 1.6	2.1...2.4	2.5, 2.6
<p>Дискретизація первинних сигналів електрозв’язку. Спектральний аналіз дискретних сигналів. Теорема й ряд В.О. Котельникова. Передавання неперервних сигналів відліками. Перетворення неперервних сигналів у цифрові: дискретизація, квантування та кодування відліків. Похибка квантування. Відновлення неперервних сигналів. Структурні схеми аналого-цифрового (АЦП) та цифро аналогового (ЦАП) перетворювачів.</p>	1.2, 1.3	2.4 8.9	2.7, 8.1

<p>3 Випадкові сигнали та їх математичний опис Визначення випадкових процесів. Стаціонарні та ергодичні процеси. Функції розподілу ймовірностей та числові характеристики. Функція кореляції випадкового процесу та її властивості. Спектральна густина потужності та її зв'язок з функцією кореляції. Інтервал кореляції та ширина спектра. Статистичні характеристики типових випадкових процесів: білий та квазібілий НЧ шуми, низькочастотний та смуговий гауссів (флуктуаційний) шум, цифровий сигнал. Лінійні та нелінійні перетворення випадкових процесів. Методи розрахунків статистичних характеристик випадкових процесів при лінійних та нелінійних перетвореннях.</p>	3.1...3.6	2.5...2.8	2.1, 2.2 3.2
<p>4. Сигнали аналогових видів модуляції Амплітудна (АМ), балансна (БМ) та односмугова (ОМ) модуляції гармонічного переносника. Часове подання та спектри сигналів. Принципи формування АМ, БМ та ОМ сигналів. Синхронне детектування. Детектор обвідної. Кутова модуляція гармонічного переносника. Сигнали частотної (ЧМ) та фазової (ФМ) модуляції. Часове подання та спектри сигналів кутових модуляцій. Принципи формування та детектування сигналів кутових модуляцій. Поняття про методи модуляції імпульсного переносника.</p>	4.1, 4.2 4.3 4.5	3.1, 3.2, 3.4 3.3 3.6	
<p>5. Сигнали цифрових видів модуляції Методи цифрової модуляції. Проблема мінімальної смуги частот. Міжсимвольна інтерференція. Імпульси Найквіста. Межа Найквіста. <i>M</i>-рівневі амплітудна (АМ-<i>M</i>), частотна (ЧМ-<i>M</i>), фазова (ФМ-<i>M</i>) та квадратурно-амплітудна (КАМ-<i>M</i>) модуляції. Часові подання та спектри, формування сигналів. Шумоподібні сигнали (ШПС). Спектральні та кореляційні властивості ШПС. Модуляція шумоподібного переносника.</p>	4.4 4.8 2.1...2.7	3.5, 4.4.4 9.3	9.3, 9.4
<p>6 Теорія передавання інформації каналами зв'язку Кількісна міра інформації. Інформаційні характеристики джерел дискретних незалежних та залежних повідомлень: ентропія та її властивості, надлишковість, продуктивність. Теорема Шеннона для каналу без завад. Методи ефективного кодування джерел дискретних повідомлень, коди Шеннона-Фано та Хаффмена. Взаємна інформація та її властивості. Швидкість передавання інформації і пропускна здатність каналу зв'язку. Пропускна здатність дискретних каналів. Інформаційні характеристики джерел неперервних повідомлень: диференціальна ентропія, епсилон-ентропія, продуктивність, надлишковість. Формула Шеннона для пропускної здатності неперервного каналу зв'язку з шумами. Теорема Шеннона для каналу з завадами. Інформаційна, енергетична та частотна ефективності систем електров'язку. Гранична ефективність та межа Шеннона.</p>	8.1, 8.3 8.5, 8.6 8.3, 8.4 8.7 8.6, 8.7	6.1, 6.2 6.2, 6.3 6.3 6.2.3	4.1 4.3 4.2, 4.5 4.4, 4.7 4.5, 4.6

Завдання на контрольну роботу

Задача 1

Зобразити узагальнену структурну схему системи електрозв'язку для передавання повідомлення заданого виду (табл. 2). З використанням часових діаграм описати перетворення повідомлень і сигналів в усіх блоках схеми. Пояснити, як визначається кількість інформації, що передається, і якість передавання повідомлення заданого виду.

Таблиця 2 – Вид повідомлення

Остання цифра номера залікової книжки	0; 6	1; 9	2	3	4; 7	5; 8
Вид повідомлення	Розмовне	Звукове мовлення	Телевізійне мовлення	Факсимільне	Телеграфне	Дані

Вказівки. Узагальнена схема системи електричного зв'язку наведена на рис. 1. У найпростішому випадку канал зв'язку – лінія передавання. У разі, коли система електричного зв'язку створюється на основі елементів мережі, канал зв'язку – сукупність систем передавання, комутаційного обладнання тощо.

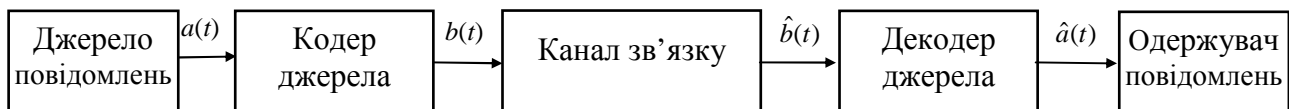


Рисунок 1 – Узагальнена схема системи електричного зв'язку

Для виконання цієї задачі див. [1, с. 3...26; 2, с.10...27; 3, с. 7...26] або будь-яку іншу літературу, де розглядається передавання повідомлень заданого виду. Важливо дати пояснення, що являє собою повідомлення та первинний сигнал, які перетворення мають місце в кодері і декодері джерела, в каналі зв'язку.

Задача 2

Білий гауссів (нормальний) шум $N(t)$ з односторонньою спектральною густиною потужності N_0 подається до входу фільтра нижніх частот (ФНЧ) із заданою шумовою смугою пропускання $F_{ш}$ (максимальне значення АЧХ ФНЧ дорівнює 1).

Необхідно:

- визначити середню потужність шуму $X(t)$ на виході ФНЧ;
- записати густину ймовірності та функцію розподілу ймовірностей шуму $X(t)$;
- визначити ймовірність того, що шум $X(t)$ у довільний момент часу матиме значення у заданому інтервалі (x_1, x_2) .

Числові значення до задачі 2 наведені в табл. 3.

Таблиця 3 – Числові значення до задачі 2

Остання цифра номера залікової книжки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$N_0, 10^{-6} \text{ В}^2/\text{Гц}$	0,1	5	2	1	40	10	200	100	5000	1000
$F_{ш}, 10^5 \text{ Гц}$	100	4	20	40	1	6	0,3	0,8	0,02	0,1
$x_1, \text{ В}$	$-\infty$	-0,5	0	0	1	2	$-\infty$	2	4	0
$x_2, \text{ В}$	1	0,5	∞	3	3	∞	0	4	∞	4

Вказівки. Див. [1, с. 123...145; 2, с. 49...60; 3, с. 27...45]. Рекомендується наступна послідовність виконання.

Середня потужність шуму $X(t)$ визначається як $P_X = N_0 \cdot F_{\text{ш}}$.

Для визначення ймовірності того, що шум $X(t)$ у довільний момент часу матиме значення у заданому інтервалі (x_1, x_2) , необхідно використати співвідношення

$$P\{x_1 < X(t) \leq x_2\} = F(x_2) - F(x_1),$$

де $F(x)$ – функція розподілу ймовірностей шуму $X(t)$.

Якщо на вході лінійного електричного кола діє гауссів процес, то вихідний процес теж має гауссів розподіл ймовірностей. Для гауссових процесів густина ймовірності та функція розподілу ймовірностей записуються:

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_X} \exp\left(-\frac{(x - \overline{X(t)})^2}{2\sigma_X^2}\right), \quad F(x) = 1 - Q\left(\frac{x - \overline{X(t)}}{\sigma_X}\right),$$

де $Q(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_z^{\infty} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt$ – гауссова Q -функція (одна з форм запису інтегралу ймовірності);

$\overline{X(t)}$ – середнє значення шуму $X(t)$ (у нашій задачі $\overline{X(t)} = 0$);

σ_X – середнє квадратичне відхилення шуму $X(t)$, воно визначається як $\sigma_X = \sqrt{D[X(t)]}$;

$D[X(t)]$ – дисперсія шуму $X(t)$; оскільки $\overline{X(t)} = 0$, то $D[X(t)] = P_X$.

При відсутності таблиці функції $Q(z)$ її значення можуть бути визначені за наближеною формулою:

$$Q(z) \cong 0,65 \exp[-0,44(z + 0,75)^2] \quad \text{при } z > 0;$$

$$Q(z) = 1 - Q(|z|) \quad \text{при } z < 0, \quad Q(0) = 0,5, \quad Q(\infty) = 0.$$

Задача 3

Навести структурні схеми аналого-цифрового (АЦП) і цифро-аналогового (ЦАП) перетворювачів, дати опис процесів в схемах, зобразити часові діаграми сигналів, що пояснюють роботу АЦП і ЦАП для довільної форми аналогового сигналу. У табл. 4 задані вихідні числові дані: максимальна частота спектра F_{max} і коефіцієнт амплітуди K_A аналогового сигналу та допустиме відношення сигнал/шум квантування $\rho_{\text{кв доп}}$. Розрахувати інтервал і частоту дискретизації, число рівнів квантування, довжину коду АЦП, тривалість двійкового символу та швидкість цифрового сигналу.

Таблиця 4 – Числові дані до задачі 3

Передостання цифра номера залікової книжки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F_{max} , кГц	12	22	16	2,8	3,4	5,5	6	8,2	18	10
K_A	4,5	3,5	5,5	7	8	5	3	4	8	6
$\rho_{\text{кв доп}}$, дБ	39	42	38	42	34	45	49	40	34	43

Вказівки. Див. [1, с. 453, 460; 2, с.335...341; 3, с. 242...249].

Інтервал дискретизації T_d і частота дискретизації f_d є взаємно обернені величини: $T_d = 1/f_d$ і визначаються на основі теореми Котельникова: $f_d \geq 2F_{\text{max}}$.

Число рівнів квантування $L_{\text{доп}}$ визначають за умови, щоб задовольнити задане відношення сигнал/шум квантування $\rho_{\text{кв доп}}$. Для цього слід скористатись формулою

$$\rho_{\text{кв}} = \frac{3(L-1)^2}{K_A^2}.$$

До проведення розрахунків задане відношення сигнал/шум квантування необхідно подати в разях: $\rho = 10^{0,1\rho[\text{дБ}]}$.

Довжина коду АЦП n визначається як найменше ціле, що відповідає умові $n \geq \log_2 L_{\text{доп}}$. Тривалість двійкового символу на виході АЦП $T_6 = T_d/n$. Швидкість цифрового сигналу $R = 1/T_6$.

Задача 4

Модулюючим сигналом $b(t)$ є неперервний сигнал зі спектральною густиною, рівномірно розподіленою в смузі частот від F_{\min} до F_{\max} . Метод модуляції та значення частот задано в табл. 5. Модульований сигнал передається каналом зв'язку з адитивним білим гауссовим шумом зі спектральною густиною потужності $N_0 = 10^{-5} \text{ В}^2/\text{Гц}$. Смуга пропускання каналу зв'язку F_k дорівнює ширині спектра модульованого сигналу ΔF_s . Середня потужність модульованого сигналу на виході каналу зв'язку $P_s = 0,1 \text{ В}^2$.

Необхідно:

- зобразити структурну схему системи передавання, що відповідає умові задачі, та описати призначення окремих блоків системи;
- розрахувати ширину спектра модульованого сигналу;
- розрахувати пропускну здатність каналу зв'язку.

Таблиця 5 – Числові дані до задачі 4

Остання цифра номера залікової книжки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Метод модуляції	АМ	БМ	ОМ	ЧМ	ФМ	АМ	БМ	ОМ	ЧМ	ФМ
F_{\min} , кГц	0,1	0,08	0,06	0,1	0,05	0,1	0,07	0,06	0,1	0,05
F_{\max} , кГц	5	6,5	5,5	4	7,5	4,5	6	3,5	3	7
Δf_d , кГц	–	–	–	16	–	–	–	–	9	–
$\Delta\phi_d$, рад	–	–	–	–	3,5	–	–	–	–	3
Пояснення: Δf_d – девіація частоти сигналу ЧМ; $\Delta\phi_d$ – девіація фази сигналу ФМ										

Вказівки. Див. [1, с. 149...164, 316...317; 2, с. 88...103, 246...254; 3, с. 114...124].

Задача 5

Модулюючим сигналом $b(t)$ є цифровий сигнал зі швидкістю R . Метод модуляції та значення швидкості задано в табл. 6. Модульований сигнал передається каналом зв'язку з адитивним білим гауссовим шумом зі спектральною густиною потужності $N_0 = 10^{-5} \text{ В}^2/\text{Гц}$. Смуга пропускання каналу зв'язку F_k дорівнює ширині спектра модульованого сигналу ΔF_s . Середня потужність модульованого сигналу на виході каналу зв'язку $P_s = 0,1 \text{ В}^2$.

Необхідно:

- зобразити структурну схему системи передавання, що відповідає умові задачі, та описати призначення окремих блоків системи;
- розрахувати мінімально можливу ширину спектра модульованого сигналу, за якої забезпечується передавання без міжсимвольної інтерференції;
- розрахувати пропускну здатність неперервного каналу зв'язку C_k ;
- вважаючи, що продуктивність джерела повідомлень на вході системи передавання дорівнює R , порівняти R і C_k і відповісти на питання – що стверджує теорема Шеннона для каналу зв'язку з шумами при такому співвідношенні між R і C_k ?

Таблиця 6 – Числові дані до задачі 5

Остання цифра номера залікової книжки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Метод модуляції	ФМ-2	ФМ-4	ФМ-8	КАМ-16	ФМ-16	АМ-2	ЧМ-2	КАМ-32	АМ-4	ФМ-4
R , біт/с	9600	4800	2400	1200	1800	1200	2400	4800	9600	4800

Вказівки. Див. [1, с. 164...168, 316...319; 2, с. 103...112, 246...254; 3, с. 114...124].

Мінімально можлива ширина спектра модульованого сигналу, за якої забезпечується передавання без міжсимвольної інтерференції, визначається:

$$\text{для сигналів АМ-}M, \text{ ФМ-}M, \text{ КАМ-}M \quad \min \Delta F_s = \frac{R}{\log_2 M},$$

де M – число рівнів модульованого сигналу;

для сигналу ЧМ-2 $\min \Delta F_s = 2R$.

Задача 6

Джерело дискретних повідомлень з обсягом алфавіту M_A видає повідомлення, використовуючи знаки a_1, a_2, \dots, a_{M_A} . Знаки статистично незалежні, мають ймовірності $P(a_k)$, а їх тривалості однакові й дорівнюють $T_{\text{зн}}$. Розрахувати інформаційні характеристики джерела: ентропію, коефіцієнт надлишковості та продуктивність. Розробити заданий ефективний код для кодування знаків заданого джерела. Обчислити середню довжину кодових комбінацій отриманого коду й порівняти її з довжиною кодової комбінації при рівномірному кодуванні. Обчислити швидкість цифрового сигналу на виході кодера. Порівняти числові значення ентропії й середньої довжини кодових комбінацій отриманого коду. У якому співвідношенні вони повинні бути? Чим пояснюється відмінність цих числових значень? Обчислити коефіцієнт стискування повідомлення отриманим кодом.

Числові дані до задачі 6 наведені в табл. 7 і 8. При використанні табл. 8 слід вибрати значення $P(a_k)$ для $k = 1, 2, \dots, (M_A - 1)$; значення $P(a_{M_A})$ визначається за умови, що знаки складають повну групу подій.

Таблиця 7 – Числові дані до задачі 6

Передостання цифра номера залікової книжки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
M_A	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6
$T_{\text{зн}}$, мс	10	6	1	1,5	3	6	2	6	20	15
Ефективний код	Хаффмена					Шеннона-Фано				

Таблиця 8 – Числові дані до задачі 6

Остання цифра номера залікової книжки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$P(a_1)$	0,1	0,2	0,7	0,2	0,25	0,1	0,4	0,3	0,05	0,1
$P(a_2)$	0,3	0,4	0,05	0,2	0,15	0,1	0,04	0,1	0,15	0,2
$P(a_3)$	0,4	0,04	0,05	0,2	0,1	0,1	0,04	0,05	0,1	0,05
$P(a_4)$	0,04	0,04	0,1	0,2	0,2	0,1	0,02	0,05	0,5	0,4
$P(a_5)$	0,08	0,16	0,05	0,1	0,05	0,05	0,1	0,1	0,1	0,15

Вказівки. Рекомендується наступна послідовність виконання задачі 6.

1. Розрахувати $P(a_{M_A}) = 1 - \sum_{k=1}^{M_A-1} P(a_k)$.

2. Розрахувати інформаційні характеристики джерела повідомлень [1, с. 284...299; 2, с. 224...227; 3, с. 101...106]: ентропію $H(A)$; максимальну ентропію $H_{\max}(A)$; коефіцієнт надлишковості K_n ; продуктивність R_d . Під час розрахунків значень логарифмів за основою 2 можна скористатись співвідношеннями $\log_2 x = \frac{\ln x}{\ln 2} = \frac{\lg x}{\lg 2}$.

3. Розробити заданий ефективний код для кодування знаків заданого джерела. Побудова коду Шеннона-Фано описана в [1, с. 307...310]. Побудова коду Хаффмена описана нижче.

Наочним поданням алгоритму побудови коду Хаффмена є побудова кодового дерева. Кодове дерево складається з вузлів і віток (рис. 2). Воно будується шляхом виконання послідовності наступних процедур.

1. Упорядковують знаки, що кодуються, шляхом розміщення їх у порядку убутання їхніх імовірностей у вигляді стовпця. Знаки утворюють вихідні вузли кодового дерева. Біля кожного вузла записують його ймовірність.

2. Із двох вузлів з найменшими ймовірностями проводять дві вітки, що сходяться в об'єднаному вузлі. Цим двом гілкам приписують символи "1" і "0", наприклад, верхній гілці – "1". Визначають ймовірність об'єднаного вузла як суму ймовірностей вузлів, з яких вийшли вітки, і записують її біля вузла.

3. Процедури 1 і 2 повторюють із вихідними й об'єднаними вузлами, що залишились, доти, поки не буде отриманий об'єднаний вузол з ймовірністю 1 – корінь дерева. Якщо обсяг алфавіту знаків, що кодуються, невеликий, можна не вдаватись до впорядкування знаків, а вибирати зорозво знаки з мінімальними ймовірностями (рис. 2).

4. Кодова комбінація кожного із знаків, що кодуються, утворюється в результаті запису символів "1" і "0" при проходженні по вітках від кореня кодового дерева до відповідного вихідного вузла.

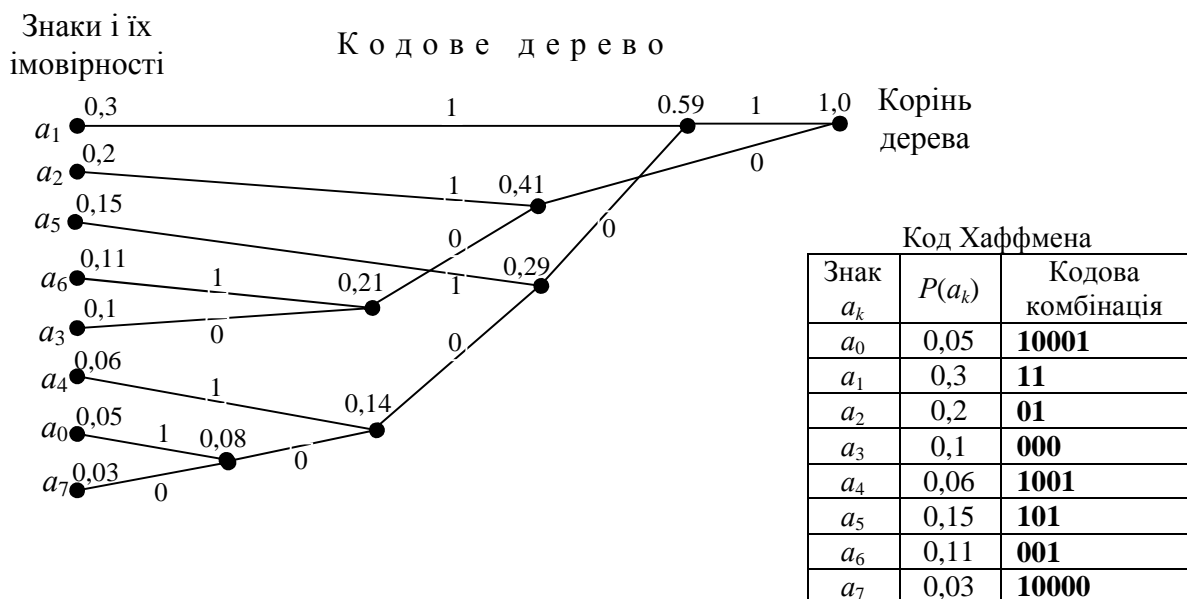


Рисунок 2 – Алгоритм побудови коду Хаффмена

Обчислити середню довжину кодових комбінацій отриманого коду $\bar{n} = \sum_{k=1}^{M_A} P(a_k) n_k$,

де n_k – довжина k -ої комбінації нерівномірного коду; й порівняти її з довжиною кодової комбінації рівномірного коду $n \geq \log_2 M_A$.

Швидкість цифрового сигналу на виході кодера $R = 1/T_6 = \bar{n}/T_{\text{зн}}$. Впевнитись, що $R \geq R_d$. Коефіцієнт стискання повідомлення отриманим кодом $\eta = n/\bar{n}$.

Перелік посилань

1. **Стеглов В.К., Беркман Л.Н.** Теорія електричного зв'язку. Підручник для вузів. К.: Техніка, 2006.
2. **Теория** электрической связи: Учебник для вузов /Д. Д. Кловский и др. – М.: Радио и связь, 1998 (1999). (http://www.knigka.info/2007/10/29/teorija_jelektricheskoi_svjazi.html)
3. **Теория** передачи сигналов: Учебник для вузов / А. Г. Зюко и др. – М.: Радио и связь, 1986.
4. **Методичні вказівки** до виконання лабораторних робіт із дисципліни «Теорія електричного зв'язку» (Частина 1, Частина 2) / П.В. Іващенко й ін. – Одеса: ОНАЗ, 2004.