

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

**Методичні вказівки  
до лабораторних робіт з дисципліни  
«Системи передавання інформації»  
для студентів напряму підготовки  
«Управління інформаційною безпекою»**

Вінниця  
ВНТУ  
2017

Затверджено Методичною радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України як «Методичні вказівки. Електронне видання» та рекомендовано до використання в навчальному процесі (протокол № 8 від 20.04.2017 р.)

Рецензенти:

**В. В. Карпінець**, кандидат технічних наук, доцент

**О. В. Осадчук**, доктор технічних наук, професор

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Системи передавання інформації» для студентів напряму підготовки «Управління інформаційною безпекою» / Уклад. Ю. Є. Яремчук, В. С. Катаєв, О. В. Салієва, І. О. Дьогтева, – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 45 с.

У даних методичних вказівках до лабораторних робіт наводяться основні рекомендації до вивчення, підготовки та проведення лабораторних робіт з дисципліни «Системи передавання інформації» та організації самостійної роботи студентів.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1</b> .....	6
ВИВЧЕННЯ ОСНОВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ІНФОРМАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЖЕРЕЛ ТА КАНАЛІВ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ ..	6
1.1 Теоретичні відомості.....	6
1.1.1 Ентропія джерела дискретних повідомлень.....	6
1.1.2 Ентропія неперервних повідомлень.....	7
1.1.3 Ентропія складних повідомлень, надмірність джерела .....	8
1.2 Завдання до лабораторної роботи .....	9
1.3 Контрольні запитання .....	10
<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2</b> .....	11
ВИВЧЕННЯ ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОДНОСТОРОННЬОГО КАНАЛУ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ.....	11
2.1 Теоретичні відомості.....	11
2.1.1 Лінії зв'язку і канали передачі даних.....	11
2.1.2 Рівні передачі, їх розмірність .....	12
2.1.3 Основні характеристики каналів тональної частоти.....	13
2.2 Опис лабораторного обладнання .....	14
2.3 Завдання до лабораторної роботи .....	15
2.4 Контрольні запитання .....	15
<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3</b> .....	16
ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РС-ФІЛЬТРІВ НИЖНІХ ТА ВЕРХНІХ ЧАСТОТ .....	16
3.1 Теоретичні відомості.....	16
3.1.1 Основні характеристики фільтра нижніх частот .....	16
3.1.2 Фільтр верхніх частот. Частота зрізу.....	19
3.2 Опис лабораторного обладнання .....	20
3.3 Завдання до лабораторної роботи .....	22
3.4 Вказівки до звіту.....	22
3.5 Контрольні запитання .....	22
<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4</b> .....	24
ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ З ЧАСОВИМ РОЗДІЛЕННЯМ КАНАЛІВ .....	24
4.1 Теоретичні відомості.....	24
4.1.1 Формування сигналів в системі з часовим розділенням каналів .....	24
4.1.2 Система передачі інформації з часовим розділенням каналів .....	25
4.2 Опис лабораторного дослідження.....	26
4.3 Завдання до лабораторної роботи .....	26
4.4 Контрольні запитання .....	27
<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5</b> .....	28
ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ З ЧАСТОТНИМ РОЗДІЛЕННЯМ КАНАЛІВ .....	28
5.1 Теоретичні відомості.....	28

5.1.1	Метод частотного розділення каналів .....	28
5.1.2	Багатоканальні системи зв'язку з частотним розділенням каналів ...	29
5.2	Опис лабораторного дослідження.....	30
5.3	Завдання до лабораторної роботи .....	32
5.4	Контрольні запитання .....	33
	<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6</b> .....	34
	<b>ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ</b> .....	34
6.1	Теоретичні відомості.....	34
6.1.1	Склад систем стільникового зв'язку.....	34
6.1.2	Основні параметри кластерів систем мобільного зв'язку .....	34
6.2	Завдання до лабораторної роботи .....	37
6.3	Контрольні запитання .....	37
	Перелік рекомендованої літератури .....	38
	Додаток А Варіанти завдань до лабораторної роботи № 1 .....	39
	Додаток Б Варіанти завдань до лабораторної роботи № 2.....	41
	Додаток В Варіанти завдань до лабораторної роботи № 3.....	42
	Додаток Г Варіанти завдань до лабораторної роботи № 5.....	43
	Додаток Д Варіанти завдань до лабораторної роботи № 6.....	44

## ВСТУП

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт призначені для підготовки та виконання лабораторних робіт з дисципліни “Системи передавання інформації” для студентів напряму підготовки “Управління інформаційною безпекою”.

Основна мета дисципліни “Системи передавання інформації” полягає у розкритті сучасних концепцій, методів і технологій передавання інформації та формуванні базових знань, необхідних для розуміння широкого кола реальних проблем у сфері багатоканального зв'язку, вивченні загальних принципів побудови багатоканальних систем передачі на базі різноманітних технологій.

У методичних вказівках приведено: необхідні теоретичні відомості з теорії передавання інформації, завдання, які повинен виконати студент, можливі схеми рішень завдань, та основні функції програмного середовища, які потрібні для виконання завдань. Наведено вимоги щодо опрацювання результатів та вимоги до оформлення звіту. Вміщено також перелік контрольних питань.

При підготовці до виконання лабораторної роботи студент повинен вивчити відповідні теоретичні відомості, передбачені навчальною програмою, ознайомитись з описом лабораторної роботи. Після закінчення кожної роботи студенти складають індивідуальні звіти згідно зі своїми варіантами, що містять теоретичні відомості, результати роботи з необхідними графіками, текстами програм і коментарями, висновки по роботі. Під час захисту лабораторних робіт студент повинен показати знання по відповідним розділам курсу, методам розрахунків та досліджень, виконаних у роботі.

# ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

## ВИВЧЕННЯ ОСНОВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ІНФОРМАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЖЕРЕЛ ТА КАНАЛІВ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ

*Мета: засвоєння на практиці основних властивостей ентропії дискретних, неперервних та складних повідомлень.*

### 1.1 Теоретичні відомості

#### 1.1.1 Ентропія джерела дискретних повідомлень

У багатьох випадках, коли потрібно узгодити канал із джерелом повідомлень, недостатньо знати кількість інформації, що міститься в окремих повідомленнях. Виникає потреба у характеристиках, які б давали можливість оцінювати інформаційні властивості джерела повідомлень у цілому. Однією з таких важливих характеристик є середня кількість інформації одного повідомлення.

У найпростішому випадку, коли всі повідомлення рівноймовірні, тобто  $P(a_i) = 1/m$ , середня кількість інформації дорівнює  $\log m$ . Отже, при рівноймовірних незалежних повідомленнях інформаційні властивості джерела залежать тільки від числа повідомлень. Однак у реальних умовах повідомлення, як правило, мають різну ймовірність. Тому додатково потрібно мати відомості про ймовірності кожного повідомлення  $P(a_i)$ ,  $i = 1, m$ .

Оскільки ймовірності повідомлень неоднакові, вони несуть різну кількість інформації. Менш імовірні повідомлення несуть більшу кількість інформації, і навпаки.

Середня кількість інформації одного повідомлення (біт/повідомлення) визначається як математичне сподівання:

$$H(a) = -\sum_{i=1}^m P(a_i) \log P(a_i). \quad (1.1)$$

Величина  $H(a)$  називається ентропією. Вона характеризується невизначеністю ситуації щодо передавання повідомлення, оскільки заздалегідь невідомо, яке саме повідомлення з повідомлень джерела буде передано. Чим більша ентропія, тим сильніша невизначеність, і тим більшу інформацію несе одне повідомлення джерела.

Ентропія як міра невизначеності скінченної системи повідомлень має такі основні властивості:

1. У тому разі, коли повідомлення є рівноймовірними, зі збільшенням числа можливих подій  $m$ , що складають скінченну систему подій (повну групу), невизначеність цієї системи подій збільшується. Коли всі повідомлення рівноймовірні [ $P(a_i) = 1/m$ ], ентропія системи дорівнює:

$$H(a) = -\sum_{i=1}^m P(a_i) \log P(a_i) = -m \frac{1}{m} \log(1/m) = \log m. \quad (1.2)$$

2. Якщо ймовірність якого-небудь повідомлення дорівнює одиниці [ $P(a_i)=1$ ], то ентропія скінченної системи дорівнює нулеві.

3. Невизначеність скінченної системи повідомлень при даному  $m$  максимальна при рівномірних повідомленнях.

4. Ентропія має властивість адитивності, тобто невизначеність сполученої системи подій дорівнює сумі ентропій незалежних скінченних систем подій, що складають сполучену систему.

Джерела незалежних повідомлень є найпростішим типом джерел. У реальних умовах все значно ускладнюється через наявність статистичних зв'язків між повідомленнями.

Статистичний зв'язок очікуваного повідомлення з попереднім повідомленням кількісно оцінюється спільною  $P(a_i, a_k)$  або умовною ймовірністю  $P(a_i / a_k)$ .

Кількість інформації, що міститься в повідомленні  $a_i$  за умови, що попереднє повідомлення  $a_k$  відоме,

$$I(a_i / a_k) = -\log P(a_i / a_k). \quad (1.3)$$

Середня кількість інформації визначається умовною ентропією, яка обчислюється як математичне сподівання:

$$H_2(a) = H(a_i / a_k) = -\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m P(a_i, a_k) \log P(a_i / a_k). \quad (1.4)$$

У загальному випадку для  $n$  залежних повідомлень:

$$H(a) = H(a_i / a_k, \dots, a_l) = -\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m \dots \sum_{l=1}^m P(a_i, a_k, \dots, a_l) \log P(a_i / a_k, \dots, a_l). \quad (1.5)$$

### 1.1.2 Ентропія неперервних повідомлень

Неперервні повідомлення (наприклад, телефонні, телевізійні) успішно передаються каналами зв'язку з завадами та записуються завдяки тому, що на практиці ніколи не ставиться вимога точного відтворення переданого чи записаного повідомлення. А для передавання навіть з дуже високою, але обмеженою точністю, потрібна скінченна кількість інформації, як і для передавання дискретних повідомлень. Зрозуміло, ця кількість інформації тим більша, чим вища точність, з якою треба передати (відтворити) неперервне повідомлення. Нехай допустима точність вимірюється деяким параметром  $\epsilon$ . Ту мінімальну кількість інформації, яку необхідно передати каналом зв'язку для відтворення неперервного повідомлення з неточністю, не більшою за допустиму, академік А. М. Колмогоров запропонував називати  $\epsilon$ -ентропією (епсилон-ентропією).

При передаванні неперервних повідомлень передані сигнали  $s(t)$  є функціями часу, які належать до деякої множини, а отримані сигнали  $x(t)$  будуть їх реалізаціями.

Всі дійсні сигнали мають спектри, загальна енергія яких зосереджена в обмеженій смузі частот  $F$ . Згідно з теоремою В. О. Котельникова такі сигнали визначаються своїми значеннями в точках відліку, які вибирають через інтервали  $\Delta t = 1/2F$ .

У каналі на сигнал накладаються завади, внаслідок чого кількість різних рівнів сигналу в точках відліку буде скінченною. Отже, сукупність значень неперервного сигналу еквівалентна деякій дискретній скінченній сукупності. Це дає змогу визначити необхідну кількість інформації та пропускну здатність при передаванні неперервних повідомлень, що базуються на результатах, отриманих для дискретних повідомлень.

Визначимо середню кількість інформації, яка міститься в одному відліку сигналу  $x$  відносно переданого сигналу  $s$ :

$$\left. \begin{aligned} \overline{I(s, x)} &= H(s) - H(s/x), \\ \overline{I(s, x)} &= H(x) - H(x/s) \end{aligned} \right\} \quad (1.6)$$

де  $H(s) = -\int p(s) \log p(s) ds$  – диференціальна ентропія сигналу  $s$ ;

$H(x) = -\int p(x) \log p(x) dx$  – диференціальна ентропія сигналу  $x$ ;

$H(s/x) = -\iint p(x, s) \log p(s/x) ds dx$  – умовна диференціальна ентропія сигналу  $s$ ;

$H(x/s) = -\iint p(s, x) \log p(x/s) ds dx$  – умовна диференціальна ентропія сигналу або ентропія шуму.

Величина  $H(s)$  характеризує інформаційні властивості сигналів, за формою записів вона аналогічна ентропії дискретних повідомлень.

Багато властивостей ентропії неперервного розподілу аналогічні властивостям ентропії дискретного сигналу.

Якщо неперервний сигнал  $s$  має рівномірний розподіл:

$$p(s) = 1/(s_2 - s_1)$$

та обмежений інтервалом  $s_1 \leq s \leq s_2$ , то ентропія  $H(s)$  максимальна і дорівнює  $\log(s_2 - s_1)$ .

Диференціальна ентропія (на відміну від ентропії дискретних сигналів) залежить від розмірності неперервного сигналу, завдяки чому вона не є мірою кількості інформації, хоч і характеризує ступінь невизначеності, яка властива джерелу. Тільки різниця ентропій кількісно визначає середню кількість інформації.

### 1.1.3 Ентропія складних повідомлень, надмірність джерела

При передачі та зберіганні даних часто мають справу з кількома джерелами, що формують статистично пов'язані один з одним повідомлення. Повідомлення, що виробляються такими джерелами, називаються складними повідомленнями, а самі джерела — джерелами з пам'яттю.

Очевидно, що при визначенні ентропії і кількості інформації в повідомленнях, елементи яких статистично пов'язані, не можна обмежуватися тільки безумовними ймовірностями — необхідно обов'язково враховувати також умовні ймовірності появи окремих повідомлень.

Спільна ентропія  $H(x, y)$  визначиться як:



$$H(x, y) = H(x) + \sum_{i=1}^k P(x_i) \cdot H(y/x_i), \quad (1.7)$$

де  $H(y/x_i)$  — так звана приватна умовна ентропія, що відображає ентропію повідомлення  $y$  за умови, що мало місце повідомлення  $x_i$ .

Другий доданок представляє собою усереднення  $H(y/x_i)$  по всім повідомленням  $x_i$  і називається середньою умовною ентропією джерела  $y$ , за умови передачі повідомлення  $x$ .

І остаточно:

$$H(x, y) = H(x) + H(y/x). \quad (1.8)$$

Таким чином, спільна ентропія двох повідомлень дорівнює сумі безумовної ентропії одного з них і умовної ентропії другого.

Можна відзначити наступні основні властивості ентропії складних повідомлень:

1. При статистично незалежних повідомленнях  $x$  і  $y$  спільна ентропія дорівнює сумі ентропій кожного з джерел.

2. При повній статистичній залежності повідомлень  $x$  і  $y$  спільна ентропія дорівнює безумовній ентропії одного з повідомлень. Друге повідомлення при цьому інформації не додає.

3. Умовна ентропія змінюється в межах  $0 < H(y/x) < H(y)$ .

4. Для спільної ентропії двох джерел завжди справедливе співвідношення:  $H(x, y) \leq H(x) + H(y)$ . При цьому умова рівності виконується тільки для незалежних джерел повідомлень.

Отже, за наявності зв'язку між елементарними повідомленнями ентропія джерела знижується.

## 1.2 Завдання до лабораторної роботи

Використовуючи математичний пакет MathCad, виконайте завдання 1–5 за номерами варіантів. Розв'язок завдань з відповідними висновками відобразити у звіті.

1. Розрахуйте ентропію системи, що описується дискретною випадковою величиною  $x$  із наступним рядом розподілу, що наведені по варіантам табл. А.1 (додаток А).

2. Розрахуйте ентропію повідомлення із 5-ти букв, якщо загальна кількість букв в алфавіті дорівнює 32 і всі повідомлення рівноймовірні.

3. Розрахуйте диференціальну ентропію неперервного повідомлення, що розподілено за одним із законів, що наведені відповідно до варіантів табл. А.2 (додаток А).

4. Ймовірності появи повідомлень від першого джерела  $x$  ( $x_1, x_2, x_3, x_4$ ) дорівнюють  $p(x_1)=0,1$ ;  $p(x_2)=0,025$ ;  $p(x_3)=0,25$ ;  $p(x_4)=0,125$ , а від другого джерела  $y$  ( $y_1, y_2, y_3, y_4$ ) —  $p(y_1)=0,2$ ;  $p(y_2)=0,15$ ;  $p(y_3)=0,025$ ;  $p(y_4)=0,15$ , також відомі умовні ймовірності повідомлень табл. А.3 (додаток А). Розрахуйте об'єднану ймовірність появи повідомлень  $x$  та  $y$  і об'єднану ентропію сукупності повідомлень  $X$  та  $Y$ .

5. Ймовірності появи повідомлень від першого джерела  $x$  ( $x_1, x_2, x_3, x_4$ ) дорівнюють  $p(x_1)=0,1$ ;  $p(x_2)=0,025$ ;  $p(x_3)=0,25$ ;  $p(x_4)=0,125$ , а від другого джерела  $y$  ( $y_1, y_2, y_3, y_4$ ) —  $p(y_1)=0,2$ ;  $p(y_2)=0,15$ ;  $p(y_3)=0,025$ ;  $p(y_4)=0,15$ . Між повідомленнями існує кореляційний зв'язок табл.А.4 (додаток А). Розрахуйте умовну ймовірність появи повідомлень і умовну ентропію сукупності повідомлень  $x$  та  $y$ .

### 1.3 Контрольні запитання

1. Що таке ентропія?
2. Що таке кількість інформації та як вона розраховується?
3. Назвіть основні властивості ентропії дискретних повідомлень.
4. Що таке диференціальна ентропія та для яких повідомлень вона застосовується?
5. Що таке об'єднана ентропія? Наведіть формулу для визначення об'єднаної ентропії сукупності повідомлень.
6. Назвіть основні властивості ентропії складних повідомлень.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

# ВИВЧЕННЯ ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОДНОСТОРОННЬОГО КАНАЛУ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

*Мета: вивчити основні параметри та характеристики односторонніх каналів і взаємозв'язок між ними, а також вивчення методів експериментального та теоретичного дослідження каналів.*

*Обладнання:*

1. Лабораторний макет;
2. Вольтметр ВЗ-38А;
3. Генератор ГЗ-33.

## 2.1 Теоретичні відомості

### 2.1.1 Лінії зв'язку і канали передачі даних

Для того щоб передавати різну інформацію, спочатку повинна бути створено середовище її поширення, яка представляє собою сукупність ліній, або ж каналів передачі даних зі спеціалізованим приймально-передавальним устаткуванням. Лінії, або ж канали зв'язку, є сполучною ланкою в будь-якій сучасній системі передачі даних, і з точки зору організації поділяються на два основних типи — це лінії і канали.

Каналом зв'язку називається сукупність лінійних і станційних пристроїв і споруд, за допомогою яких сигнали передаються від джерела до споживача інформації.

Одностороннім каналом називається чотириполюсник, що складається з вузлів апаратури та відрізків ліній, які використовуються для передачі сигналів певного виду зв'язку в одному напрямку.

Каналами тональної частоти називаються канали, що працюють в діапазоні частот від 0,3 до 3,4 кГц.

Існують різні типи каналів, які можна класифікувати за різними ознаками:

1. За типом ліній зв'язку: дротяні; кабельні; оптико-волоконні; лінії електропередачі; радіоканали і т. д.

2. За характером сигналів: безперервні; дискретні; дискретно-безперервні (сигнали на вході системи дискретні, а на виході безперервні, і навпаки).

3. За завадозахищеністю: канали без завад; з завадами.

Канали зв'язку характеризуються:

- ємністю каналу;
- швидкістю передачі інформації, тобто середньою кількістю інформації, що передається за одиницю часу;
- пропускною здатністю каналу зв'язку — найбільшою теоретично досяжною швидкістю передачі інформації за умови, що похибка не перевершує заданої величини.
- надмірністю, що забезпечує достовірність переданої інформації.

Перед передачею сигнал, як правило, обробляється з метою оптимізації його властивостей і узгодження цих властивостей з властивостями самого каналу зв'язку. Сукупність правил такої обробки прийнято називати протоколом. Природно, що на приймальному кінці, для відновлення сигналу в його попередньому вигляді, необхідно знати зазначену сукупність правил, тобто протокол. Тільки в цьому випадку можлива передача інформації без спотворень. Обробку сигналу до необхідного рівня неможливо здійснити без застосування мікропроцесорних засобів і відповідних програм, виконаних на основі певних алгоритмів, часто дуже високого рівня складності.

### 2.1.2 Рівні передачі, їх розмірність

Кількісне співвідношення між потужностями, напругами або струмами в каналах зв'язку часто подаються у відносних логарифмічних одиницях — децибелах або непсах, що називаються рівнями передачі.

Рівні передачі можуть визначатися:

- за потужністю:

$$p_n = 10 \lg\left(\frac{P_x}{P_o}\right), \text{ дБ} \quad (2.1)$$

- за напругою:

$$p_u = 20 \lg\left(\frac{U_x}{U_o}\right), \text{ дБ} \quad (2.2)$$

- за струмом:

$$p_c = 20 \lg\left(\frac{I_x}{I_o}\right), \text{ дБ} \quad (2.3)$$

У формулах 2.1-2.3,  $P_x$ ,  $U_x$ ,  $I_x$  – величини потужності, напруги і струму, які діють в точці каналу, що розглядається.  $P_o$ ,  $U_o$ ,  $I_o$  – відповідно величини потужності, напруги і струму, прийняті за еталонні для визначення рівня передачі.

Із формул 2.1-2.3 випливає, що рівень передачі буде додатний, якщо величини з індексом  $x$  будуть більші величини з індексом  $o$ .

Рівні передачі діляться на абсолютні, відносні та вимірювальні. Рівень передачі називається абсолютним, якщо за еталон прийняти потужність  $P_o=1\text{мВт}$ . Еталонні величини напруги і струму для визначення абсолютних рівнів обчислюються виходячи з того, що еталонна потужність  $P_o$  (1 мВт) виділяється на деякому опорі  $R_o$ .

$R_o$  в каналах зв'язку може приймати дискретний ряд значень – 600, 150, 135, 75 Ом, відповідні значення  $U_o$  та  $I_o$  знаходять застосовуючи закон Ома.

Відносний рівень передачі визначається при умові, що еталонні величини вибираються у відповідності до режиму, встановленого на початку тракту. Відносний рівень показує різницю абсолютних рівнів в точці, що розглядається і на початку тракту.

Якщо відносний рівень за потужністю визначається за формулою:

$$p_n = 10 \lg\left(\frac{P_x}{P_1}\right), \quad (2.4)$$

де  $P_x$  - потужність на початку тракту, то після ділення чисельника і знаменника на  $P_0 = 1$  мВт і логарифмування одержимо:

$$p_n = 10 \lg\left(\frac{P_x/P_0}{P_1/P_0}\right) = P_{nx} - P_{n_1}, \quad (2.5)$$

де  $P_{nx} = 10 \lg(P_x/P_1)$  - абсолютний рівень за потужністю в точці тракту, що розглядається;

$P_{n_1} = 10 \lg(P_1/P_0)$  - абсолютний рівень за потужністю на початку тракту.

Між рівнями передачі, визначеними за потужністю, напругою або струмом легко встановлюється взаємозалежність, якщо відомі опори  $Z_x$ ,  $Z_0$ , на яких виділяється відповідна потужність  $P_x$  або  $P_0$ . В цьому випадку:

$$P_n = 10 \lg\left(\frac{U_x^2}{|Z_x|} \cdot \frac{Z_0}{U_0^2}\right) = 20 \lg\left(\frac{U_x}{U_0}\right) - 10 \lg\left(\frac{Z_x}{Z_0}\right) = P_U - 10 \lg\left(\frac{Z_x}{Z_0}\right), \quad (2.6)$$

або

$$P_n = 10 \lg\left(\frac{I_x^2}{I_0^2} \cdot \frac{Z_0}{|Z_x|}\right) = 20 \lg\left(\frac{I_x}{I_0}\right) - 10 \lg\left(\frac{Z_x}{Z_0}\right) = P_I - 10 \lg\left(\frac{Z_x}{Z_0}\right). \quad (2.7)$$

Вимірювальним рівнем називається абсолютний рівень в точці тракту, що розглядається, при умові, що на його початку включений генератор синусоїдальних коливань з частотою 800 Гц, внутрішнім опором 600 Ом і е.р.с. рівною 1,55 В.

Застосування рівнів передачі дозволяє замінити більш трудомісткі операції множення та ділення коефіцієнтів передачі пристроїв каналу простими операціями додавання — віднімання рівнів, що зручніше на практиці. При цьому Міжнародний Союз електрозв'язку рекомендує застосовувати десяткові логарифмічні одиниці — децибели.

### 2.1.3 Основні характеристики каналів тональної частоти

Основними характеристиками та параметрами каналів тональної частоти є: частотна характеристика коефіцієнта передачі, діаграма рівнів передачі, залишкове загасання та динамічний діапазон каналу.

Діаграма рівнів є графіком зміни відносного рівня вимірюваного гармонічного сигналу по довжині каналу. Вона будується при проектуванні каналу і періодично контролюється під час експлуатації. Приклад діаграми рівнів для телефонного каналу зображений на рисунку 2.1, а. Діаграма рівнів передачі для одностороннього напрямку передачі зображена на рисунку 2.1, б.

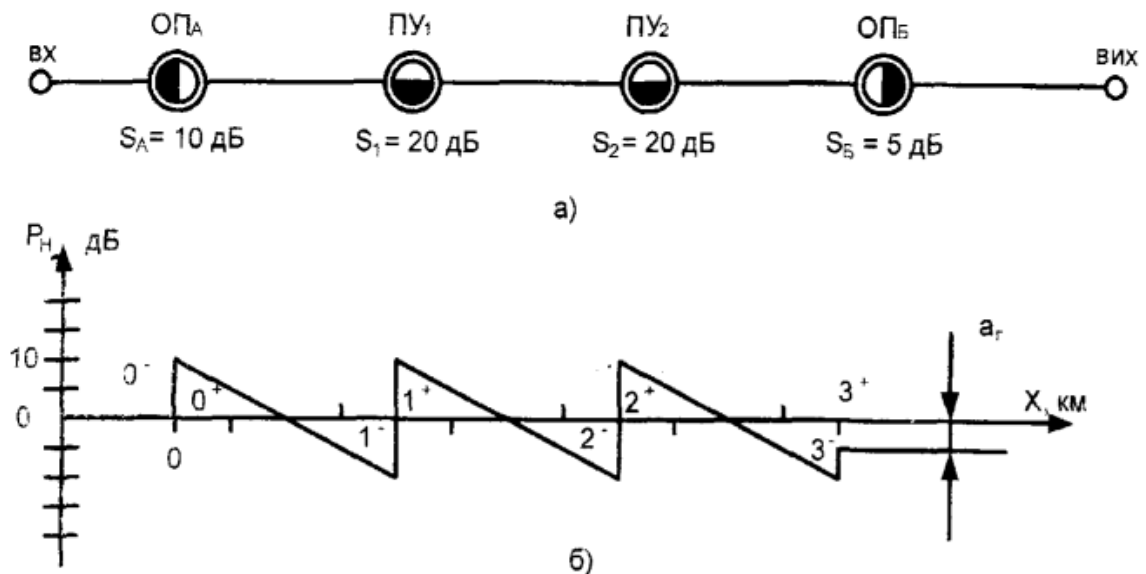


Рисунок 2.1 – Діаграма рівнів телефонного каналу

Під терміном „залишкове загасання” —  $a_{\text{зал}}$  робоче загасання каналу при підключенні до нього навантаження, що дорівнює номінальним входним опорам. Математично залишкове загасання визначається, як різниця між сумою всіх згасань і сумою всіх підсилень в каналі:

$$a_{\text{зає}} = \sum_p a_p - \sum_i S_i, \quad (2.8)$$

де  $p$  — кількість загасань,  $i$  — кількість підсилень каналу.  $Z_{\text{вх}}$  і  $Z_{\text{вих}}$  каналу є рівними величинами, тому  $a_{\text{зал}}$  можна визначити за формулою:

$$a_{\text{зал}} = P_{\text{вх}} - P_{\text{вих}}, \quad (2.9)$$

де  $P_{\text{вх}}$ ,  $P_{\text{вих}}$  - рівні передачі на вході і виході каналу.

Для телефонного зв'язку номінальне значення залишкового загасання при  $f = 800$  Гц встановлено рівним 7 дБ. Необхідність такого залишкового загасання визначається умовами стійкості каналу, допустимими спотвореннями від зворотного зв'язку та дією струмів електричного відлуння.

## 2.2 Опис лабораторного обладнання

Для експериментальних досліджень використовують лабораторний макет, генератор синусоїдальної напруги та вольтметр. Лабораторний макет для вивчення характеристик каналу тональної частоти складається із з'єднаних між собою моделей ліній зв'язку: 2 резистора по 50 Ом, конденсатор 0,047 мкФ - входна ланка, 2 резистора по 100 Ом, конденсатор 0,047 мкФ - еквівалент лінії довжиною 1 км з дроту діаметром 0,6 мм, на виході ланка з 2\*50 Ом, як це зображено на рисунку 2.2. При експериментальних дослідженнях на вхід макета каналу включають генератор і встановлюють напругу з частотою 800 Гц та амплітудою 1,55 В. Для знімання діаграми рівнів підключають вольтметр в різні точки макета, які імітують відповідні точки лінії.

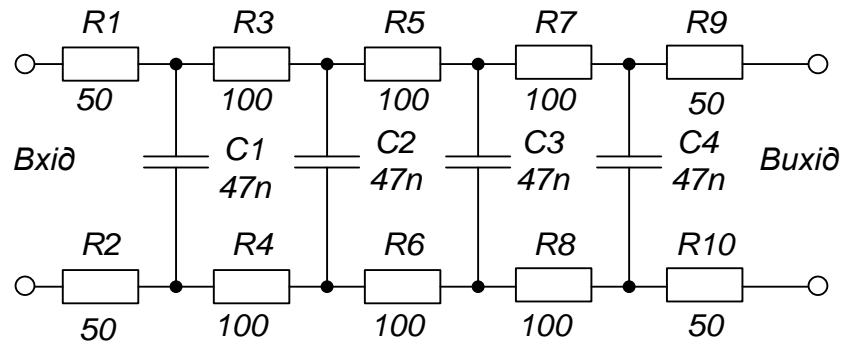


Рисунок 2.2 – Еквівалентна схема телефонної лінії довжиною 3 км

Відрізки лінії передачі модулюються виразом:  $U(x) = U_0 \cdot \exp(-\alpha x)$ ,

де  $U(x)$  – напруга в точці відрізка лінії віддаленого від її початку на відстань  $x$ ,  $U_0$  – напруга на початку відрізка лінії,  $\alpha$  – дійсна частина постійної розповсюдження.

### 2.3 Завдання до лабораторної роботи

1. Обчислити значення еталонних напруг і струмів для визначення абсолютних рівнів передачі при різних входніх опорах лінії табл. Б.1 (додаток Б)

2. Включити лабораторний макет, генератор ГЗ-33, вольтметр. Подати на вхід досліджуваної лінії напругу з частотою – 0,8 кГц і амплітудою – 1,55 В. Виміряти за допомогою вольтметра напругу в усіх доступних для вимірювання точках макета лінії. За цими результатами визначити відповідні абсолютні ( $P_{ox}$ ) та відносні ( $P_x$ ) рівні передачі сигналу. Результати вимірювань і розрахунків звести в таблиці Б.2 (додаток Б).

3. За результатами, отриманими в п.2, розрахувати рівні передачі сигналу між вказаними точками. Результати занести в таблицю Б.3 (додаток Б).

4. За результатами експериментів і розрахунків побудувати діаграму рівнів каналу і визначити його залишкове загасання.

### 2.4 Контрольні запитання

1. Що таке односторонній канал?
2. Перерахувати та дати означення основних характеристик і параметрів каналу зв'язку, що розглядались в роботі.
3. Дати означення рівнів передачі і написати вирази для їх визначення.
4. Яка розмірність рівнів передачі?
5. Як визначити еталонні величини, необхідні для розрахунків абсолютних рівнів передачі?

# ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

## ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ RC-ФІЛЬТРІВ НИЖНІХ ТА ВЕРХНІХ ЧАСТОТ

*Мета: засвоєння на практиці основних властивостей RC-фільтрів нижніх і верхніх частот та дослідження їх принципів роботи.*

### 3.1 Теоретичні відомості

#### 3.1.1 Основні характеристики фільтра нижніх частот

Фільтри – це пристрої, які по-різному впливають на сигнали з різними частотами. Фільтри є найпоширенішими конструкціями в колах змінного струму. До назви фільтрів часто додають види елементів, що використовуються для їх побудови, зокрема RC-фільтри складаються лише з резисторів та конденсаторів.

За характером впливу на сигнали фільтри поділяють на:

- фільтри низьких частот (ФНЧ);
- фільтри високих частот (ФВЧ);
- смугові фільтри, які пропускають сигнали з частотами певного діапазону;
- режекторні фільтри, які пропускають сигнали з частотами, що не належать певному діапазону.

Якщо фільтр налагоджується на одну частоту його називають вузькосмуговим або фільтром-пробкою.

Властивості RC-фільтрів обумовлені залежністю від частоти ємнісного опору конденсаторів. Вони характеризуються простотою конструкції, малою вартістю, нечутливістю до магнітних полів, можливістю побудови малогабаритних схем для найнижчих частот тільки за рахунок збільшення номіналів резисторів.

Фільтр нижніх частот (ФНЧ) є схемою, яка без змін передає сигнали нижніх частот, а на верхніх частотах забезпечує затухання сигналів і запізнення їх за фазою відносно вхідних сигналів. На рис. 3.1 наведена схема простого RC-фільтра нижніх частот.

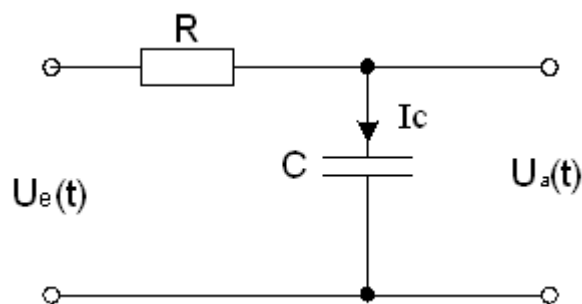


Рисунок 3.1 – Простий ФНЧ



Для розрахунку частотної характеристики схеми використаємо формулу відношення напруг, представлених в комплексній формі:

$$\underline{A}(j\omega) = \frac{U_a}{U_e} = \frac{1/(j\omega C)}{R + 1/(j\omega C)} = \frac{1}{1 + j\omega RC}. \quad (3.1)$$

З виразу (3.1), враховуючи, що  $\underline{A} = |\underline{A}|e^{j\varphi}$ , отримаємо

$$|\underline{A}| = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 R^2 C^2}}; \quad \varphi = -\arctg(\omega RC). \quad (3.2)$$

Залежності, що описуються формулою (3.2) представлені на рис. 3.2.

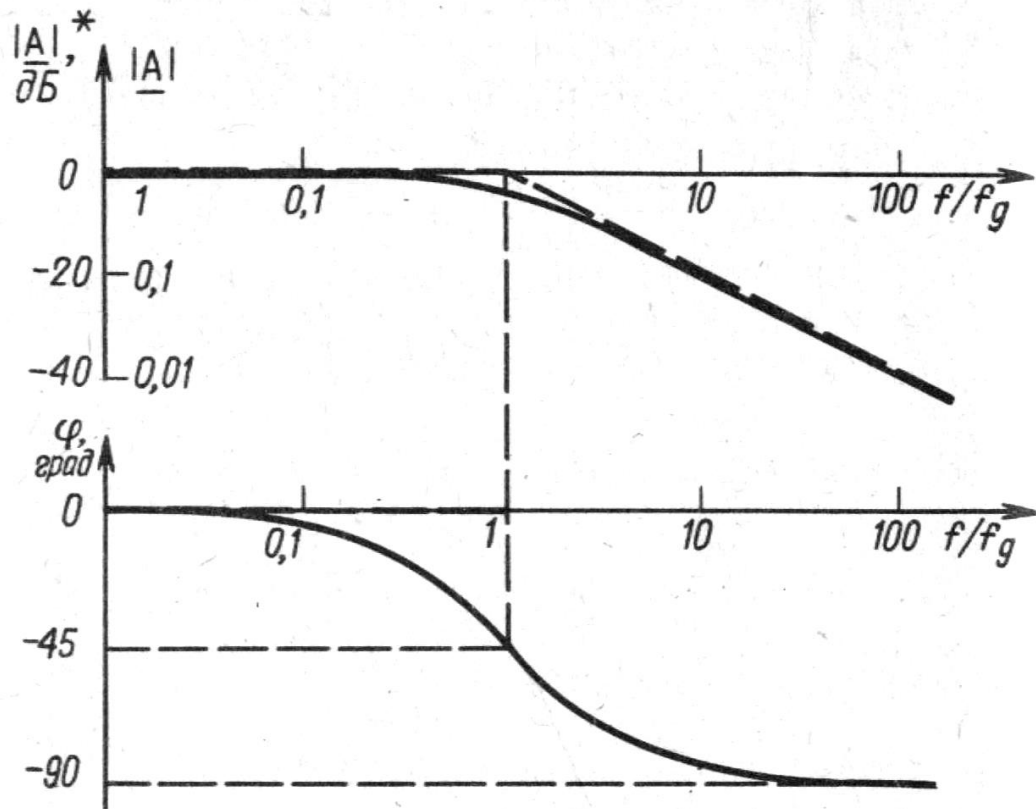


Рисунок 3.2 – Діаграма Боде для ФНЧ

Підставивши  $|\underline{A}| = \frac{1}{\sqrt{2}}$ , отримаємо вираз для визначення частоти зрізу

$$f_g = \omega_g \frac{1}{2\pi} = \frac{1}{2\pi RC}. \quad (3.3)$$

Фазовий зсув  $\varphi$  на такій частоті, відповідно до формули (3.2), складає  $-45^\circ$ .

Як видно з рис. 3.2, амплітудно-частотну характеристику  $|\underline{A}| = \hat{U}_a / \hat{U}_e$  найпростіше скласти з двох асимптот:

- 1)  $|\underline{A}| = 1 \hat{=} 0\text{дБ}$  на нижніх частотах  $f \ll f_g$ ;
- 2) на високих частотах  $f \gg f_g$ , відповідно до формули (3.2),  $|\underline{A}| \approx 1/(\omega RC)$ , тобто коефіцієнт підсилення обернено пропорційний частоті.

При збільшенні частоти в 10 раз коефіцієнт підсилення зменшується в 10 раз (зменшується на 20 дБ на декаду або на 6 дБ на октаву);

$$3) |A| = 1/\sqrt{2} \hat{=} -3\text{дБ при } f = f_g.$$

Для аналізу схеми в часовій області на вхід схеми (рис. 3.1) подається імпульс напруги (рис 3.3).

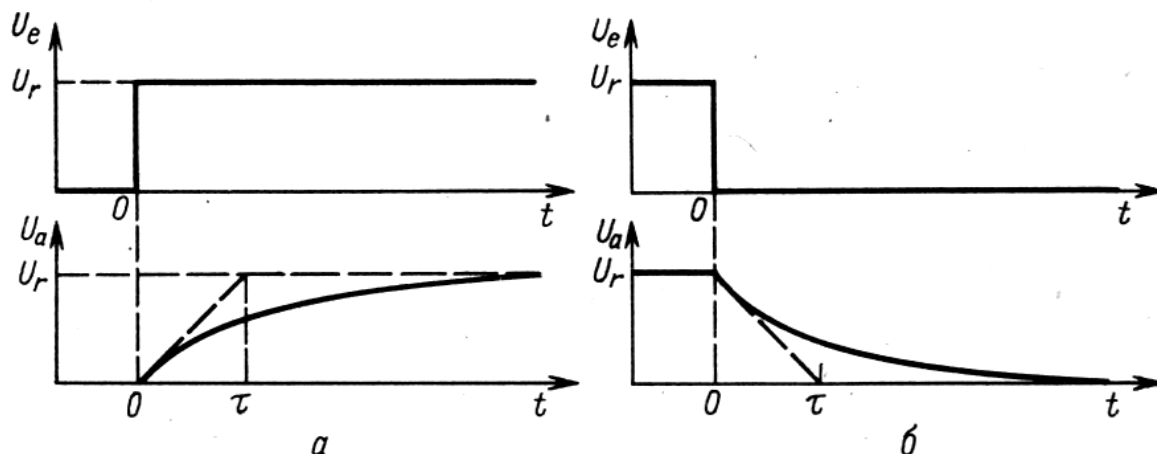


Рисунок 3.3 – Реакція ФНЧ на скачок напруги

Щоб розрахувати вхідну напругу, використовується правило вузлів до ненавантаженого виходу. Тоді для схеми, що зображена на рис 3.1, запишемо:

$$\frac{U_e - U_a}{R} - I_c = 0. \quad (3.4)$$

Враховуючи, що  $I_c = C \frac{dU_a}{dt}$  отримаємо диференціальне рівняння:

$$RC\dot{U}_a + U_a = U_e = \begin{cases} U_r, \text{ при } t > 0, (\text{рис.3.3, а}) \\ 0, \text{ при } t > 0, (\text{рис.3.3, б}) \end{cases} \quad (3.5)$$

Диференціальне рівняння (3.5) має такий розв'язок:

– для рис. 3.3, а:

$$U_a(t) = U_r \left( 1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right); \quad (3.6)$$

– для рис. 2.3, б:

$$U_a(t) = U_r e^{-\frac{t}{RC}}. \quad (3.7)$$

Відомо, що для встановлених значень  $U_a=U_r$  і  $U_a=0$  криві будуть наближатися асимптотично. Тому в якості міри часу установки вихідної напруги прийнята постійна часу  $\tau$ .

Вона показує інтервал часу, протягом якого процес досягає значення, що відрізняється від встановленого на  $1/e$  (частину величини стрибка напруги на вході). З формул 3.6, 3.7 видно, що постійна часу дорівнює:

$$\tau = RC. \quad (3.8)$$

Іншим параметром, що характеризує ФНЧ, є тривалість інтервалу фронту імпульсу. Цей параметр показує час, на протязі якого вихідна напруга зростає від 10 до 90 % кінцевого значення, якщо на вхід подати імпульс напруги прямокутної форми. Враховуючи властивості експоненціальної функції, з формул 3.6, 3.7 отримаємо:

$$t_a = t_{90\%} - t_{10\%} = \tau(\ln 0,9 - \ln 0,1) = \tau \ln 9 \approx 2,2\tau. \quad (3.9)$$

При  $f_g = 1/(2\pi\tau)$ :

$$t_a \approx \frac{1}{3f_g}. \quad (3.10)$$

Це співвідношення з високим ступенем точності дійсне для ФНЧ.

При послідовному з'єднанні декількох ФНЧ, що забезпечують різні тривалості фронту вихідного імпульсу  $t_{ai}$ , результуюча тривалість фронту імпульсу дорівнює:

$$t_a \approx \sqrt{\sum_{i=1}^n t_{ai}^2}. \quad (3.11)$$

Частота зрізу наближено визначається так:

$$f_g \approx \left( \sum_{i=1}^n \frac{1}{f_{gi}^2} \right)^{-1/2}. \quad (3.12)$$

Для випадку з  $n$  фільтрами із рівними частотами зрізу:

$$f_g \approx \frac{f_{gi}}{\sqrt{n}}. \quad (3.13)$$

### 3.1.2 Фільтр верхніх частот. Частота зрізу.

Фільтр верхніх частот (ФВЧ) – це схема, яка передає без змін сигнали високих частот, а на низьких частотах забезпечує згасання сигналів і випередження їх за фазою відносно вхідних сигналів. Схема простого RC-фільтра верхніх частот наведена на рис. 3.4.

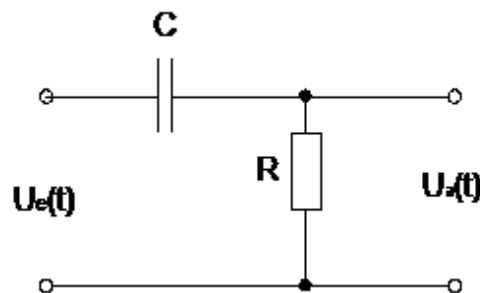


Рисунок 3.4 – Простий RC-фільтр верхніх частот

Амплітудно-частотні і фазочастотні характеристики отримаємо з формули для відношення напруг:

$$\underline{A}(j\omega) = \frac{U_a}{U_e} = \frac{R}{R + 1/(j\omega C)} = \frac{1}{1 + 1/(j\omega RC)}. \quad (3.14)$$

З виразу (3.14) визначається:

$$|A| = \frac{1}{\sqrt{1 + 1/(\omega^2 R^2 C^2)}}; \varphi = -\arctg(1/(\omega RC)). \quad (3.15)$$

Вираз для частоти зрізу співпадає з відповідним виразом для ФНЧ

$$f_g = \frac{1}{2\pi RC}. \quad (3.16)$$

Фазовий зсув на цій частоті складає  $+45^\circ$ . Як і для ФНЧ, найпростіше скласти АЧХ в подвійному логарифмічному масштабі за допомогою асимптот:

1)  $|A| = 1 \hat{=} 0\text{дБ}$  на високих частотах  $f \gg f_g$ ;

2) на низьких частотах  $f \ll f_g$ , відповідно до формули (3.15),  $|A| \approx \omega RC$ , тобто коефіцієнт підсилення пропорційний частоті. Нахил асимптоти дорівнює  $+20$  дБ на декаду або  $+6$  дБ на октаву.

3) При  $f = f_g$ , як і для ФНЧ

$$|A| = 1/\sqrt{2} \hat{=} -3\text{дБ}.$$

В результаті розрахунку реакції на імпульс напруги, постійна часу, як і для ФНЧ, дорівнює  $\tau = RC$ .

При послідовному з'єднанні ФВЧ результуюча частота зрізу визначається з виразу:

$$f_g \approx \sqrt{\sum_{i=1}^n f_{gi}^2}. \quad (3.17)$$

Для випадку з  $n$  фільтрів із рівними частотами зрізу:

$$f_g \approx f_{gi} \sqrt{n}. \quad (3.18)$$

### 3.2 Опис лабораторного обладнання

Для експериментальних досліджень роботи RC-фільтрів використовується програма ElectronicsWorkbench, MicroCap або Proteus при побудові основних схем ввімкнення RC-фільтрів верхніх та нижніх частот. В цих програмних середовищах необхідно промоделювати роботу RC-фільтрів, схеми яких наведено в табл. 3.1.

При моделюванні схем фільтрації на вхід фільтрів необхідно подавати гармонічні сигнали за допомогою генератора напруги з амплітудою  $1,5$  В та несучою частотою для ФНЧ –  $600$  Гц, а для ФВЧ –  $10$  кГц.

Таблиця 3.1 – Схеми фільтрів різних типів

Тип фільтра		Назва	Схема
Ч	ФН	Одно-ланковий	
Ч	ФН	Двох-ланковий	
Ч	ФН	Трьох-ланковий	
Ч	ФВ	Одно-ланковий	
Ч	ФВ	Двох-ланковий	
Ч	ФВ	Трьох-ланковий	

### 3.3 Завдання до лабораторної роботи

Для виконання лабораторної роботи оберіть свій варіант завдання табл. В.1 (додаток В).

1. Виконайте розрахунки елементів опору  $R$  та ємності  $C$  для пропускання заданих частот, враховуючи, що канали зв'язку можуть приймати дискретний ряд значень опорів – 600, 150, 135 та 75 Ом.

2. Дослідити АЧХ та ФЧХ кожної з ланок фільтрів на заданих частотах.

3. Накласти на несучу частоту генератора напруги високочастотну складову на рівні 8 кГц при дослідженні ФНЧ, а при дослідженні ФВЧ на вхідну частоту генератора напруги накласти низькочастотну складову на рівні 800 Гц (амплітудне значення напруги високо- та низькочастотних складових прийняти рівним 0,5 В).

Дослідити роботу кожної з ланок фільтрів при накладанні частот та побудувати характеристики вхідних і вихідних сигналів, а також АЧХ і ФЧХ RC-фільтрів.

4. Розрахувати рівні передачі одно-, двох- і трьох-ланкових фільтрів верхніх та нижніх частот, шляхом вимірювання напруг на вході та виході фільтрів.

За результатами вимірювань та розрахунків зробити висновки, які доводять, що фільтри з більшою кількістю ланок мають кращі характеристики.

Зробіть загальні висновки за результатами досліджень RC-фільтрів нижніх та верхніх частот.

### **3.4 Вказівки до звіту**

Звіт з лабораторної роботи повинен містити:

- розрахунки частот зрізу RC-фільтрів;
- результати досліджень вхідних та вихідних сигналів, а також їх АЧХ і ФЧХ всіх видів RC-фільтрів (табл. 3.1);
- результати досліджень основних характеристик RC-фільтрів при накладанні високо та низько частотних складових частот на вхідні частоти;
- результати розрахунків рівнів передачі фільтрів;
- загальні висновки по роботі.

### **3.5 Контрольні запитання**

1. Що називається фільтром нижніх частот?
2. Що називається фільтром верхніх частот?
3. Назвіть основні характеристики фільтра нижніх та верхніх частот.
4. Що таке частота зрізу та як вона визначається?
5. Як визначити тривалість частоти зрізу та частоту зрізу при послідовному з'єднанні декількох фільтрів нижніх частот?
6. Як визначається частота зрізу при послідовному з'єднанні декількох фільтрів верхніх частот?

7. Як впливає метод апроксимації частотної характеристики фільтра на його параметри та схему?

8. Якими параметрами визначається конструкція фільтра та технологія його використання?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ З ЧАСОВИМ РОЗДІЛЕННЯМ КАНАЛІВ

*Мета: ознайомлення з основами побудови багатоканальних систем з однією лінією зв'язку, з використанням часового розділення каналів. Дослідження даних систем при зміні їх параметрів, вплив параметрів системи на сигнали, що передаються.*

### 4.1 Теоретичні відомості

#### 4.1.1 Формування сигналів в системі з часовим розділенням каналів

У багатоканальних системах з часовим розділенням каналів каналні сигнали не перекриваються в часі, що забезпечує їх ортогональність.

Розглянемо один із способів формування каналних сигналів в системі з часовим розділенням каналів. Повідомлення  $\lambda_k$ , що надходять від джерел, піддаються дискретизації за часом так, щоб відліки одного повідомлення не збігалися з відліками іншого (рис. 4.1).

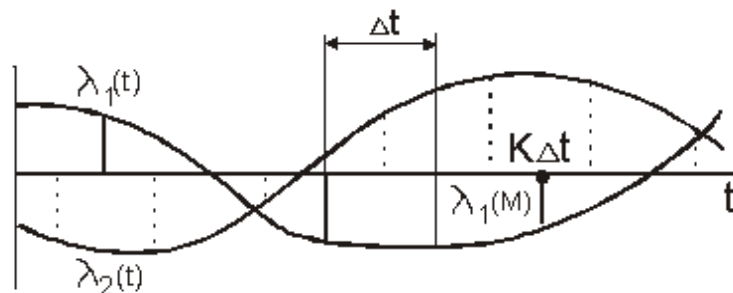


Рисунок 4.1 – Дискретизація вхідного повідомлення за часом

У відповідності з моментами відліку виробляються імпульси, параметри яких змінюються в залежності від значень повідомлень в кожному відліку. Рисунок 4.2 ілюструє систему, в якій пропорційно повідомленню змінюється амплітуда імпульсів. Канальні сигнали, утворені з повідомлення  $\lambda_1$ , не збігаються у часі з каналними сигналами, утвореними з повідомлення  $\lambda_2$ .

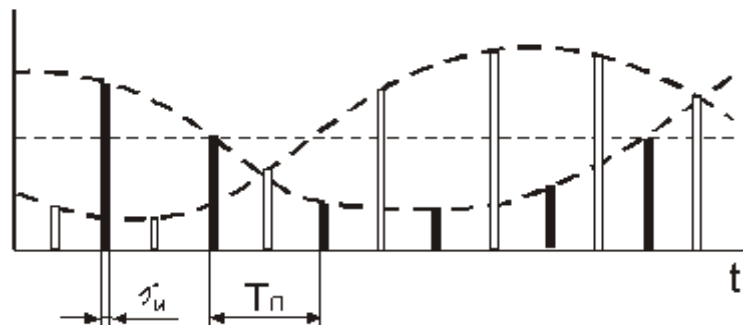


Рисунок 4.2 – Формування каналних сигналів



Таким чином, в системі з часовим розділенням каналів відбувається періодичне підключення кожного джерела до лінії зв'язку. Частота підключення вибирається з умови відновлення безперервного повідомлення по його дискретним вибірках, тобто відповідно до теореми Котельникова. Послідовність імпульсів переносить повідомлення в кожному каналі. Залежно від того, які параметри імпульсної послідовності є інформативними, отримують ті чи інші системи з часовим розділенням каналів.

Генератор каналних імпульсів виробляє періодичні послідовності імпульсів, що переносять повідомлення для каналів. Утворені каналні сигнали не перекриваються в часі.

#### 4.1.2 Система передачі інформації з часовим розділенням каналів

Часове ущільнення каналів базується на дискретизації неперервних повідомлень по часу. Використовують набір імпульсів, що не перекриваються у часі.

Для забезпечення поділу каналів пристрій формування синхроімпульсів виробляє синхроімпульси, параметри яких відрізняються від каналних імпульсів, а період повторення збігається з періодом повторення імпульсів. Синхроімпульси складаються з каналними, і сумарний потік подається на модулятор передавача. Ритм роботи всієї системи забезпечується генератором тактових імпульсів. У передавачі реалізується другий ступінь модуляції, в результаті чого формується радіосигнал.

На приймальній стороні цей радіосигнал демодулюється і на виході демодулятора виділяється імпульсний потік групового сигналу. Селектор синхроімпульсів виділяє з цього потоку синхроімпульсів ті, які забезпечують синхронну роботу генератора селекторних імпульсів. Поділ каналних імпульсних потоків здійснюється часовими селекторами, на які з одного боку подається груповий сигнал, з іншого – селекторні імпульси.

Багатоканальне повідомлення утворюють лінійним об'єднанням (сумуванням) модульованих імпульсів. Ширина спектру багатоканального повідомлення однозначно визначається тривалістю  $\tau$  імпульсів.

Отже, часове ущільнення здійснюють у синхронному режимі. У кожному циклі спочатку передають синхроімпульс тривалістю  $\tau_{cx}$ , а потім почергово імпульси усіх  $N$  каналів.

Для кожного каналу в інтервалі  $T_n$  відводять час:

$$\Delta T_{ki} = \Delta T_i + \Delta T_{zi} = \Delta T_i(1 + \Delta T_{zi} / \Delta T_i) = \gamma_{zi} \Delta T_i, \quad (4.1)$$

де  $\gamma_{zi}$  – захисний коефіцієнт каналного проміжку (вибирають 1,5-2,0);

$\Delta T_i$  – інтервал зайнятий каналом з врахуванням модуляції.

Для збільшення числа каналів необхідно зменшувати тривалість імпульсів, тобто розширювати смугу частот багатоканального повідомлення.

## 4.2 Опис лабораторного дослідження

Для експериментальних досліджень роботи системи передачі інформації з часовим розділенням каналів використовується програма ElectronicsWorkbench, MicroCap або Proteus. В цих програмних середовищах необхідно промоделювати роботу системи передачі з часовим розділенням каналів (див. рис.4.3).

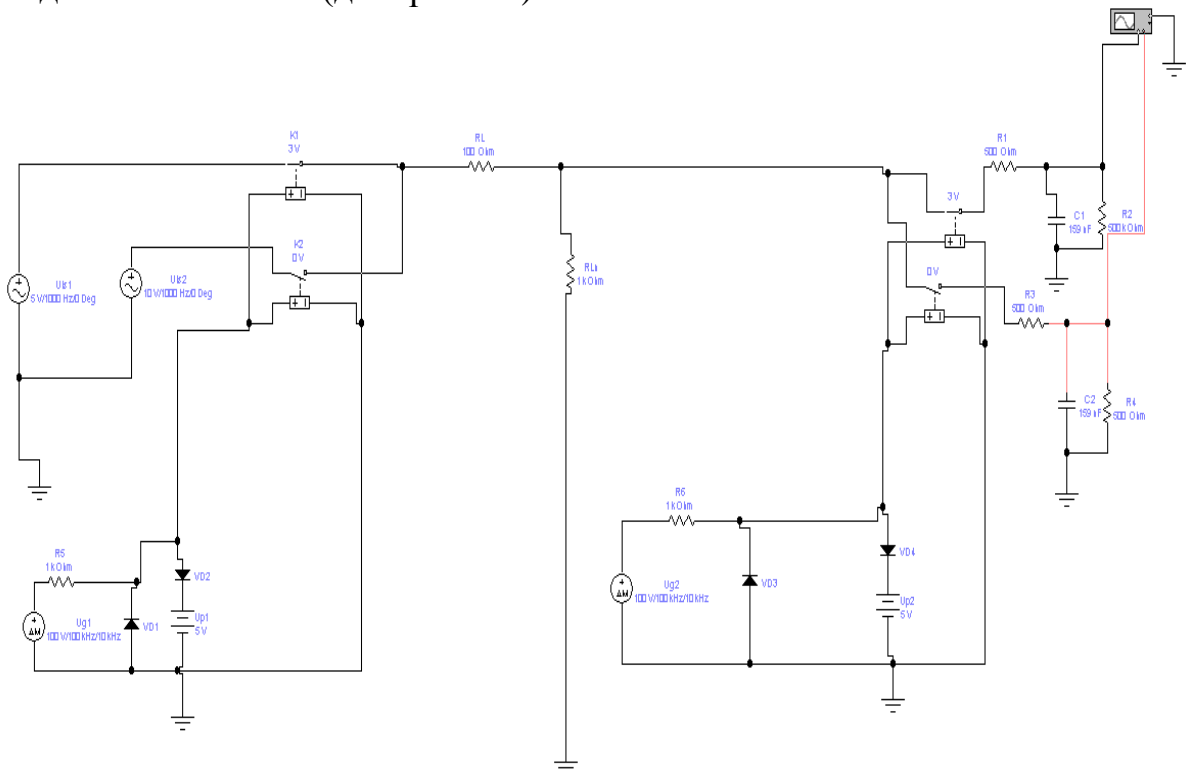


Рисунок 4.3 – Схема системи передачі інформації з часовим розділенням каналів

Склад схеми:

- Uis1, Uis2 – джерела сигналів першого і другого каналів;
- K1...K4 – комутатори;
- R5, Ug1, VD1, VD2, Up1 – генератор сигналу синхронізації першого каналу;
- R6, Ug2, VD3, VD4, Up2 – генератор сигналу синхронізації другого каналу;
- R1, R2, C1, R3, R4, C2 – фільтри нижніх частот першого і другого каналу.

В даній схемі генератори сигналів синхронізації – синхронні, синфазні.

#### 4.3 Завдання до лабораторної роботи

1. В програмному пакеті зібрати схему моделі двоканальної системи з часовим розділенням каналів, яка представлена на рис.4.3. Налаштувати схему згідно з обраним варіантом табл.Г.1 (додаток Г). Частоту сигналів синхронізації обрати самостійно. Зробити розрахунок фільтрів нижніх

частот, виходячи з носійної частоти джерел сигналів першого і другого каналів.

2. Виконати моделювання схеми (рис.4.3). Зняти осцилограми напруги на виході схеми і в лінії зв'язку.

3. Дослідити вплив розсинхронізації генераторів на спотворення передавальних сигналів. Для цього необхідно змінити частоту одного з генераторів на 10%.

Зняти осцилограми напруги на виході і в лінії зв'язку. Які спотворення вносить часове розділення каналів в сигнали на виході при розсинхронізації генераторів?

4. Дослідити вплив зміщення фаз генераторів на спотворення передавальних сигналів. Для цього в початковій схемі змінити фазу одного з генераторів на 20 градусів.

Зняти осцилограми напруги на виході і в лінії зв'язку. Які спотворення вносить часове розділення каналів в сигнали на виході при зміщенні фаз генераторів?

За результатами досліджень зробити висновки по роботі.

#### **4.4 Контрольні запитання**

1. Що таке груповий сигнал?
2. Чим визначається число каналів в системі з часовим розділенням каналів?
3. Від чого залежить тимчасове розташування імпульсів групового сигналу?
4. Як потрібно вибирати частоту повторення синхронізуючих імпульсів?
5. Опишіть принцип часового поділу каналів.
6. Які види імпульсної модуляції можливі при часовому поділі каналів?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ З ЧАСТОТНИМ РОЗДІЛЕННЯМ КАНАЛІВ

*Мета: ознайомлення з основами побудови багатоканальних систем з однією лінією зв'язку. Дослідження даних систем при зміні їх параметрів (вплив параметрів системи на сигнали, що передаються).*

### 5.1 Теоретичні відомості

#### 5.1.1 Метод частотного розділення каналів

При частотному розділенні каналів увесь спектр частотного діапазону, який використовує система передачі, розбивається на деяке число частотних смуг, у яких здійснюється передача вихідних інформаційних сигналів. Окремі смуги частот називаються каналами; апаратура, що здійснює розбивку на смуги частот окремих каналів, - апаратурою каналоутворення (ущільнення), чи мультиплексором. Перенос спектрів сигналів в область частот, відведена для передачі групового сигналу, здійснюється за допомогою модуляції гармонійної несучої. При цьому може використовуватися будь-який вид модуляції аналогових сигналів. На приймальній стороні груповий сигнал розділяється за допомогою частотних смугових фільтрів на окремі спектри, що відповідають індивідуальним каналам, і демодулюється. Канальні демодулятори перетворюють спектри сигналів у спектри повідомлень, призначені для одержувачів.

Частотне розділення каналів полягає у використанні двох діапазонів частот (рис. 5.1). В одному діапазоні конкретний пристрій зв'язку здійснює лише передачу, а в іншому – лише прийом. Між згаданими діапазонами виділяється певний захисний інтервал (частотне рознесення). Очевидно, що збільшення частотного рознесення приводить до послаблення впливу передавача на приймач, які функціонують одночасно. Спектри різних напрямків передачі не повинні перекриватись, а діапазон частотного рознесення може використовуватись іншими системами.



Рисунок 5.1 - Частотне розділення каналу

#### 5.1.2 Багатоканальні системи зв'язку з частотним розділенням каналів

Багатоканальні системи зв'язку з частотним розділенням каналів з'явилися історично першими і застосовуються до теперішнього часу. Вони складаються з перетворювачів-модуляторів, що переносять спектри вхідних сигналів в іншу область (груповий спектр), де збираються в безпосередньому сусідстві (але без "перекриття" спектрів, з урахуванням захисних частотних проміжків).

Функціональна схема системи зв'язку з частотним розділенням каналів приведена на рис. 5.2.

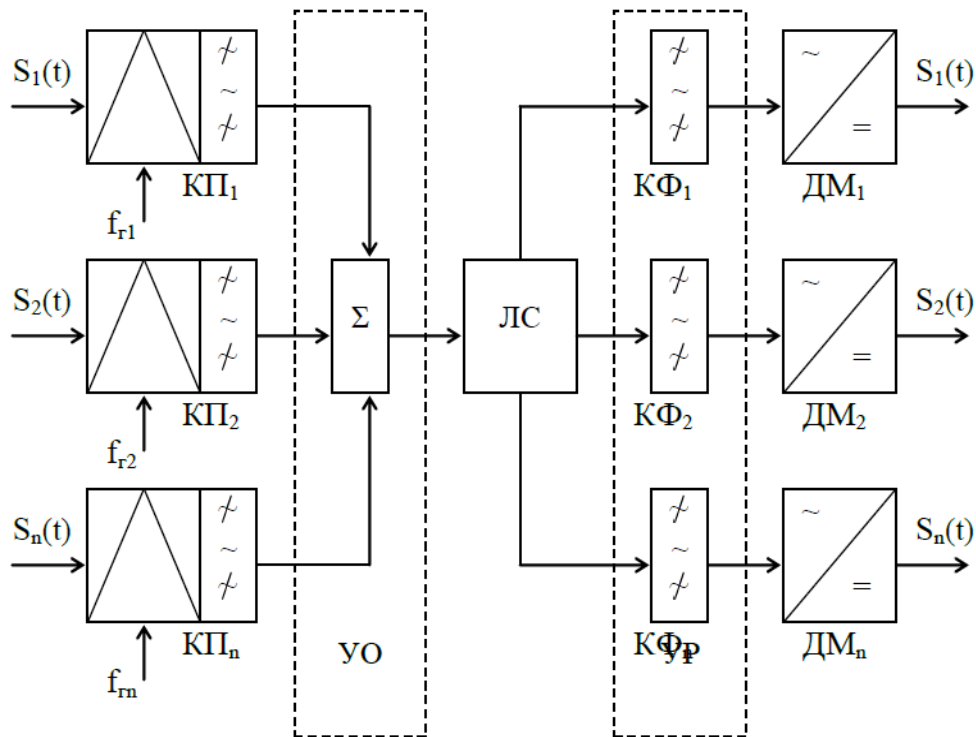


Рисунок 5.2 - Функціональна схема системи зв'язку з частотним розділенням каналів

На вході багатоканальної системи діє  $n$  сигналів  $S_1 \dots S_n$ , що поступають кожний на свій канал, що складається з каналного перетворювача  $КП_i$ , в якому відбувається перетворення частоти сигналу, тобто перенесення спектру вхідного сигналу на ділянку групового спектру в пристрої об'єднання УО (рис. 5.2).

Після передачі групового спектру по лінії зв'язку ЛС в пристрої розділення УР за допомогою каналних фільтрів КФ і демодуляції в  $ДМ_i$  сигнали  $S_1(t) \dots S_n(t)$  поступають споживачам. На рис. 5.3 представлена схема утворення групового спектру на прикладі об'єднання спектрів телефонних каналів (кожний з яких має смугу частот 0,3-3,4 кГц).

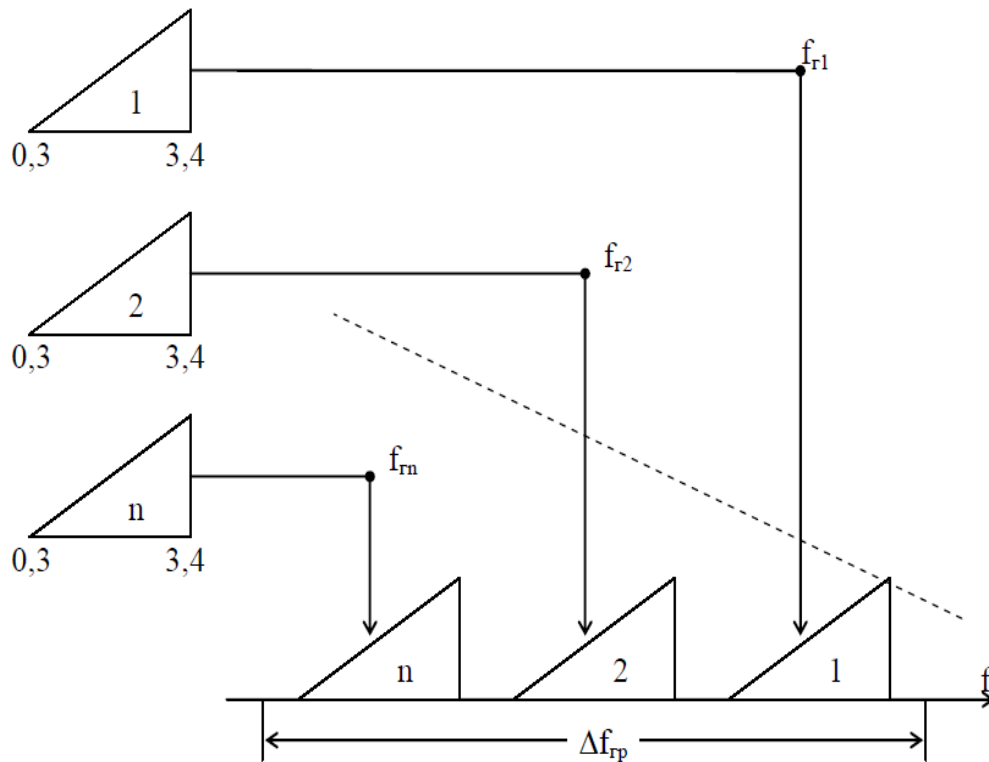


Рисунок 5.3 - Схема утворення групового спектру

Система з частотним розділенням каналів менш залежна від частотних спотворень. На рис. 5.3 приведена пунктиром можлива амплітудно-частотна характеристика групового тракту, яка приведе тільки до деякої зміни рівнів частотних каналів без істотних спотворень в каналах.

Недоліки методу частотного розділення каналів:

1. розширяється смуга частот групового спектру;
2. неповне використання спектру, оскільки доводиться використовувати захисні частотні інтервали для розфільтрування при прийомі;
3. система з частотним розділенням каналів схильна до спотворення за наявності нелінійностей в каналах і лінії передачі. Часто виникають міжканальні перешкоди, що підвищує вимоги до лінійності групового тракту.

## 5.2 Опис лабораторного дослідження

Для експериментальних досліджень роботи системи передачі інформації з частотним розділенням каналів використовується програма ElectronicsWorkbench, MicroCap або Proteus. В цих програмних середовищах необхідно промодельовати роботу системи передачі з частотним розділенням каналів (рис.5.4).

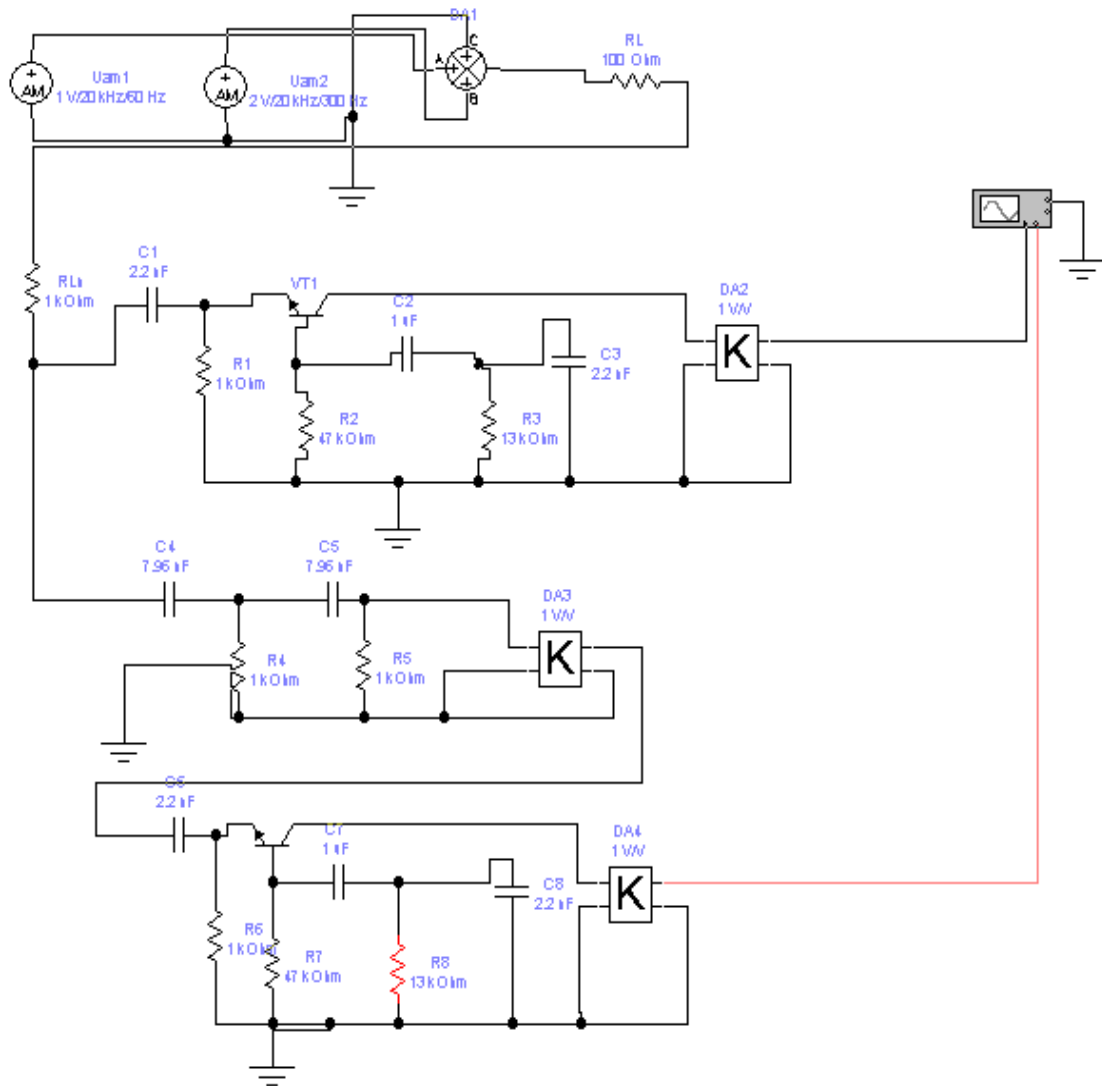


Рисунок 5.4 - Схема системи передачі інформації з частотним розділенням каналів

Склад схеми:

- $U_{am1}$ ,  $U_{am2}$  – джерела сигналів з амплітудною модуляцією;
- $DA1$  – суматор сигналів  $U_{am1}$  і  $U_{am2}$ ;
- $VT1$ ,  $R1...R3$ ,  $C1...C3$  – детектор сигналу першого каналу;
- $C4...C5$ ,  $R4...R5$  – фільтр високих частот для виділення  $U_{am2}$ ;
- $VT2$ ,  $R6...R8$ ,  $C6...C8$  – детектор сигналу другого каналу;
- $DA2...DA4$  – підсилювачі.

Параметри які необхідно вводити в джерела амплітудно-модульованого сигналу, представлені на рис.5.5.

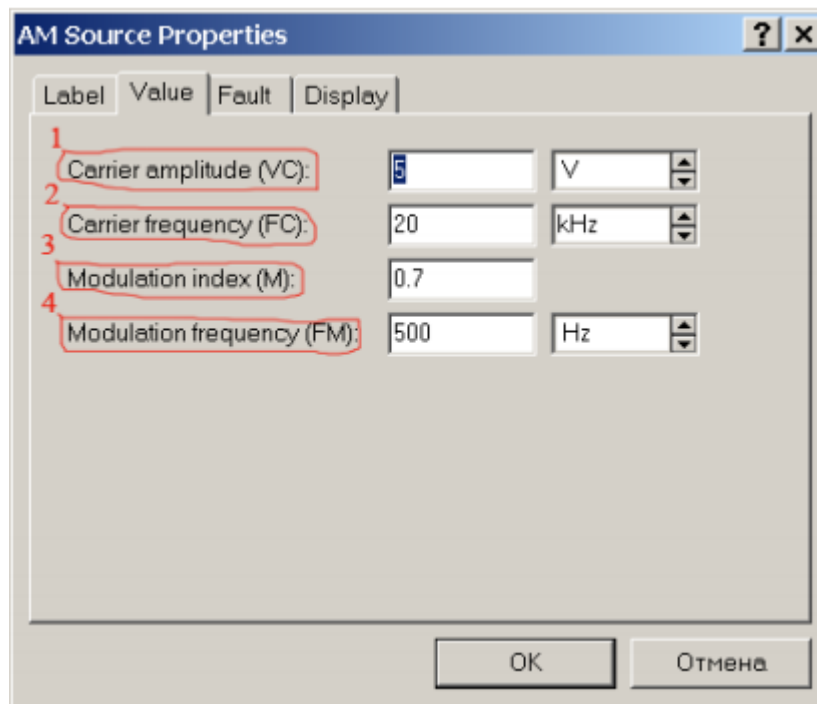


Рисунок 5.5 – Вікно налаштування джерел

На рис.5.5 введені позначення:

- 1 – амплітуда несучої (амплітуда  $U_{am}$ , при нульовому сигналі повідомлення);
- 2 – частота несучої;
- 3 – глибина модуляції;
- 4 – частота сигналу повідомлення.

### 5.3 Завдання до лабораторної роботи

1. В програмному пакеті зібрати схему моделі двоканальної системи з частотним розділенням каналів, яка представлена на рис.5.4.

2. Налаштувати схему рис.5.4 у відповідності з варіантом табл.Г.1 (додаток Г). Частоти несучої і глибину модуляції для  $U_{am1}$  та  $U_{am2}$  обрати самостійно. Розрахувати фільтр високих частот, частоту зрізу встановити на рівні близькому чи рівному частоті несучої  $U_{am2}$ .

3. Провести моделювання схеми. Зняти осцилограми напруги на виході схеми і в лінії зв'язку. При правильній роботі сигнали повинні проходити з мінімальним спотворенням. Які спотворення вносить частотне розділення каналів в сигнали на виході приймача?

4. Дослідити роботу схеми при зміні її параметрів. Перелаштувати фільтр на іншу частоту зрізу. Зняти осцилограми на виході приймача.

5. Розстроїти схеми амплітудних детекторів. Зняти осцилограми на виході приймача. Які спотворення вносить ЧРК в сигнали на виході приймача?

6. Зробити висновки по роботі за результатами досліджень.

### 5.3 Контрольні запитання:



1. Як організують передавання повідомлень при частотному розділенні каналів ?
2. Як впливають лінійні спотворення, що виникають в груповому лінійному тракті, на якість передачі сигналів?
3. Перерахуйте методи розділення каналів, поясніть, на чому заснований кожний з них.
4. Як об'єднуються каналні сигнали в груповий в методі з частотним розділенням каналів?
5. У чому полягає принцип частотного розділення сигналів і як визначається кількість каналів зв'язку у виділеній смузі частот?
6. Чому необхідно вводити захисні інтервали в багатоканальній системі передачі з частотним розділенням каналів?
7. Назвіть переваги і недоліки частотного ущільнення.

## **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6**

### **ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ**

*Мета: ознайомлення з основами побудови системи стільникового зв'язку, практичне визначення параметрів кластерів систем мобільного зв'язку.*

#### **6.1 Теоретичні відомості**

##### *6.1.1 Склад систем стільникового зв'язку*

Впровадження систем стільникового зв'язку дозволило вирішити проблему економічного використання виділеної смуги радіочастот шляхом передачі повідомлень на одних і тих же частотах і збільшити пропускну здатність телекомунікаційних мереж. Свою назву вони отримали відповідно до стільниковим принципом організації зв'язку, відповідно до якого зона обслуговування (територія міста або регіону) ділиться на осередки (соти). Ці системи рухомого зв'язку, що з'явилися порівняно недавно, є принципово новим видом систем зв'язку, тому що вони побудовані відповідно до стільникового: принципом розподілу частот територією обслуговування (територіально-частотне планування) і призначені для забезпечення радіозв'язком значної частини рухливих абонентів з виходом у телефонну мережу загального користування.

Кожна з сот обслуговується базовою станцією. Вона служить своєрідним інтерфейсом між стільниковим телефоном і центром комутації рухомого зв'язку, де роль проводів звичайної телефонної мережі виконують радіохвилі. Число каналів базової станції звичайно кратно 8, наприклад, 8, 16, 32 ... Один з каналів є керуючим (control channel). У деяких ситуаціях він може називатися також каналом виклику (calling channel). На цьому каналі відбувається безпосереднє встановлення з'єднання при виклику рухомого абонента мережі, а сама розмова починається тільки після того, як буде знайдений вільний у даний момент канал і відбудеться перемикання на нього.

Всі базові станції з'єднані з центром комутації рухомого зв'язку (комутатором) по дротяних або радіорелейних каналах зв'язку. Центр комутації MSC - це автоматична телефонна станція системи стільникового зв'язку, яка забезпечує всі функції управління мережею.

##### *6.1.2 Основні параметри кластерів систем мобільного зв'язку*

Основним принципом стільникового зв'язку є повторне використання частот в несуміжних стільниках. Ця ідея полягає в тому, що в сусідніх фрагментах системи використовуються різні смуги частот, а через кілька фрагментів ці смуги повторюються. Це дозволяє при обмеженій загальній смузі частот охопити системою велику зону обслуговування і істотно підвищити ємність системи.

Група сот з різними наборами частот називається кластером. Визначальним його параметром є кількість використовуваних в сусідніх сотах частот. На рис.6.1 розмірність кластера дорівнює трьом.

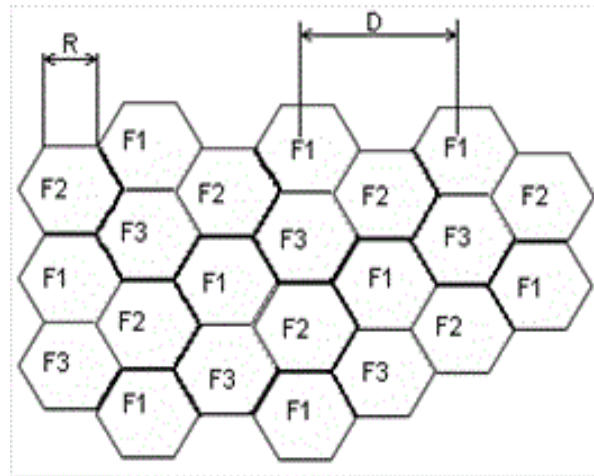


Рисунок 6.1 – Система із кластерів по 3 соти із розподіленими по них частотами F1-F3

При 3-елементному кластері фрагменти з однаковими смугами частот повторюються дуже часто, що погано в сенсі рівня міжканалних перешкод, тобто перешкод від станцій системи, що працюють на тих самих частотних каналах, але в інших фрагментах. В цьому відношенні більш вигідні кластери з великим числом елементів (рис.6.2). На практиці це число може досягати 15.

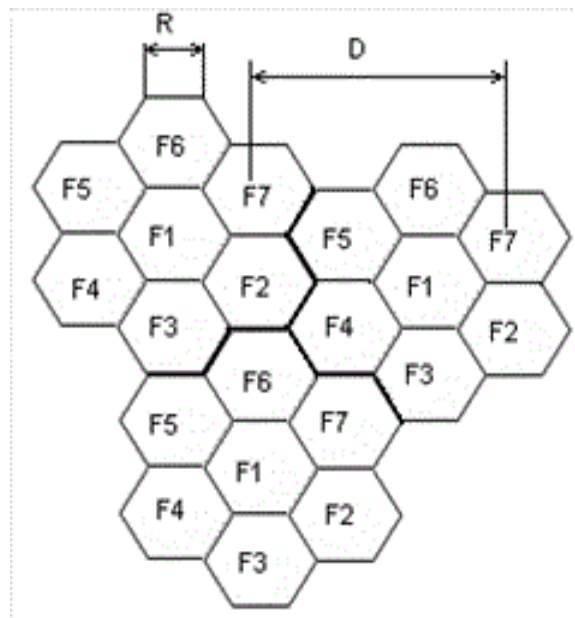


Рисунок 2 – Система із трьох кластерів по 7 сот із розподіленими по них частотами F1-F7

В загальному у гексагональній структурі комірок можна утворити кластер із кількістю сот N:

$$N = i^2 + i \cdot j + j^2, \quad (6.1)$$

де  $i$  та  $j$  – невід’ємні цілі числа.

Загальна смуга частот, що займає одна базова станція визначається за наступною формулою:

$$B_{BC} = B_K \cdot m, \quad (6.2)$$

де  $B_K$  – смуга частот одного каналу,  $m$  – кількість частотних каналів.

У випадку коли необхідно визначити смугу частот одного кластера необхідно скористатись формулою:

$$B_{Kл} = B_K \cdot m \cdot C, \quad (6.3)$$

де  $C$  – кількість базових станцій у кластері

Одним з головних параметрів кластера є кількість розмовних каналів. Для знаходження їх числа перш за все необхідно визначити кількість частотних каналів, які можна розподіляти між сотами кластера. Необхідно прагнути до рівномірного розподілу частотного ресурсу, тому можна вважати, що щільність абонентів в межах кластера - постійна.

В системі GSM для організації каналу доступу і загальних каналів керування використовується виділений частотний канал. Тоді загальна кількість розмовних каналів в  $i$ -й соті може бути знайдена як:

$$N_M = (m-1) \cdot K, \quad (6.4)$$

де  $K$  - кількість мовних каналів для системи на один частотний.

В системі D-AMPS один із сотів частотного каналу може використовуватися для керування. Тоді кількість розмовних каналів в  $i$ -й соті може бути знайдена як:

$$N_M = m \cdot K - 1. \quad (6.5)$$

Показниками, що характеризують якість роботи у межах кластера і у системі в цілому є:

- коефіцієнт повторного використання частот:

$$K = C \cdot G, \quad (6.6)$$

де  $G$  – кількість фрагментів на які розбивається сота при використанні направлених антен.

- коефіцієнт зменшення міжканальних завад:

$$q = \frac{D}{R}, \quad (6.7)$$

де  $D$  - рахисний інтервал для робочих станцій, що працюють на одній частоті.

Причому захисний інтервал для робочих станцій що працюють на одній частоті визначається за формулою:

$$D = R\sqrt{3C}, \quad (6.8)$$

де  $R$  – радіус однієї соти.

## 6.2 Завдання до лабораторної роботи

1. Визначити розміри кластеру відповідно до свого варіанту (табл..Д.1, додаток Д).

2. Визначити кількість доступних частотних каналів на одну соту враховуючи розміри свого кластеру.
3. Розрахувати кількість мовних каналів. Для чого прийняти, що в системах типу GSM кількість мовних каналів на один частотний дорівнює 8, а в системі D-AMPS – 3.
4. Визначити показники якості роботи системи.
5. Побудувати гексагональну структуру своєї системи зв'язку, із трьох кластерів з розподіленими частотами по відповідних сотах, також вказати кількість мовних каналів в кожній соті. Зазначити на ній захисний інтервал.

### **6.3 Контрольні запитання:**

1. Що називається кластером?
2. Опишіть основний принцип стільникового зв'язку.
3. Як впливає коефіцієнт повторного використання частот на ємність мережі?
4. Яке призначення базової станції?
5. Перерахуйте діапазони радіохвиль, які використовуються в стільникових системах зв'язку?
6. Який склад і структура стільникової системи зв'язку?
7. Що таке хендовер?
8. Як відбувається ініціалізація і встановлення зв'язку в стільниковій системі?

## Перелік рекомендованої літератури

1. Азаров О. Д., Марценюк В. П. Аналогові-цифрові інтерфейси ЕОМ. Вінниця: ВДТУ, 2002 р. – 245 с.
2. Андрощук Р.А. Основи теорії передачі інформації. Ч2.-Житомир. ЖВІРЕ, 2006.-168 с.
3. Бевз О. М. Системи та мережі передавання даних: навчальний посібник. Ч. 1 / О. М. Бевз, С. Г. Кривогубенко, А. Я. Кудлик; ВНТУ. – Електрон. Тектові дані. – Вінниця. ВНТУ, 2008.
4. Бевз О. М. Системи та мережі передавання даних: навчальний посібник. Ч. 2 / О. М. Бевз, С. Г. Кривогубенко, А. Я. Кудлик; ВНТУ. – Електрон. Тектові дані. – Вінниця. ВНТУ, 2008.
5. Бертсекас Д. Сети передачи данных / Д. Бертсекас, Р. Галлагер – пер. с англ. - М.: Мир, 2003. – 562 с.
6. Бортник Г. Г., Кичак В. М. Основи теорії передачі інформації. Навчальний посібник. – Вінниця: ВДТУ, 2002. – 128 с.
7. Воробьев Л. В., Давыдов А. В., Щербина Л. П. Системы и сети передачи информации; Академия - Москва, 2009. - 336 с.
8. Гаранин М. В. Системы и сети передачи информации: учеб. пособие. / М. В. Гаранин, В. И. Журавлев, С. В. Кунегин. – М.: Радио и связь, 2001. – 336 с. – 15 экз.
9. Електронні системи / Білінський Й.Й., Огородник К.В., Юкиш М.Й. – Режим доступу: [http://posibnyku.vntu.edu.ua/e\\_s/43.htm](http://posibnyku.vntu.edu.ua/e_s/43.htm).
10. Захарченко М. В. Системи передавання даних. – Т. 1: Ефективність блокового кодування / [захарченко М. В., Кільдішев В. Й., Мартинова О. М., Ільїн Д. Ю., Трінтіна Н. А.]: навч. Посіб. – Одеса: ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2014. – 440 с.
11. Кириллов В.И. Многоканальные системы передачи. Минск. Новое издание, 2003 г.
12. Ломовицкий, В.В. Основы построения систем и сетей передачи информации Текст.: Учебное пособие для вузов / В.В. Ломовицкий, А.И. Михайлов, К.В. Шестак, В.М. Щекотихин // под ред. В.М. Щекотихина М.: Горячая линия - Телеком, 2005 - 382 с.
13. Мацканюк А.А. Основы теории информации и кодирования: учебное пособие для вузов / А.А. Мацканюк. Сочи: РИО СГУТКД, 2010. -165 с., ил.
14. Рудик А. В. Дискретні та цифрові системи радіо автоматики. Навчальний посібник. – Вінниця: ВДТУ, 2003. – 152 с.
15. Тулякова Н.О. Теорія інформації: Навчальний посібник / Н.О. Тулякова. - Суми: Вид-во СумДУ, 2008.- 212 с.
16. Шульгин В.И. Основы теории передачи информации. Ч.1. Экономное кодирование / В.И. Шульгин. – Учеб. Пособие. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2003. – 102с.

## Варіанти завдань до лабораторної роботи №1

Таблиця А.1 – Вихідні дані для виконання завдання 1

№ варіанту	$P(x_1)$	$P(x_2)$	$P(x_3)$	$P(x_4)$	$P(x_5)$
1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,96
2	0,02	0,01	0,02	0,03	0,92
3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
4	0,1	0,03	0,03	0,01	0,929
5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,8
6	0,02	0,02	0,02	0,02	0,92
7	0,88	0,03	0,03	0,03	0,03
8	0,01	0,93	0,03	0,02	0,01
9	0,025	0,025	0,9	0,025	0,025
10	0,015	0,015	0,02	0,935	0,015
11	0,015	0,025	0,035	0,045	0,88
12	0,1	0,035	0,01	0,91	0,035

Таблиця А.2 - Вихідні дані для виконання завдання 3

№ варіант у	Закони розподілу
1	$w(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}\right)$
2	$w(x) = \begin{cases} \frac{1}{a}, & x_0 \leq x \leq x_0 + a \\ 0, & x < x_0 \text{ і } x > x_0 + a \end{cases}$
3	$w(x) = \frac{1}{a\pi \left[1 + \left(\frac{x}{a}\right)^2\right]}$
4	$w(x) = \frac{1}{2} \exp(-x)$
5	$w(x) = \begin{cases} \frac{1}{a^2} (a -  x ), & x_0 \leq x \leq x_0 + a \\ 0, & x < x_0 \text{ і } x > x_0 + a \end{cases}$

Продовження таблиці А.2

№	Закони розподілу
---	------------------

варіант у	
6	$w(x) = \begin{cases} \frac{3}{4a},  x  \leq \frac{a}{3} \\ \frac{9}{8a} \left[ 1 - \frac{ x }{a} \right], \frac{a}{3} <  x  < a \\ 0,  x  > a \end{cases}$

Таблиця А.3 - Вихідні дані для виконання завдання 4

$(x_i, y_j)$	$P(x_i/y_j)$	$(x_i, y_j)$	$P(x_i/y_j)$
$x_1, y_1$	13/16	$x_3, y_1$	0
$x_1, y_2$	3/16	$x_3, y_2$	0
$x_1, y_3$	0	$x_3, y_3$	0
$x_1, y_4$	0	$x_3, y_4$	1
$x_2, y_1$	1/8	$x_4, y_1$	1/2
$x_2, y_2$	1/2	$x_4, y_2$	1/4
$x_2, y_3$	3/8	$x_4, y_3$	1/4
$x_2, y_4$	0	$x_4, y_4$	0



Таблиця А.4 - Вихідні дані для виконання завдання 5

$(x_i, y_j)$	$P(x_i/y_j)$	$(x_i, y_j)$	$P(x_i/y_j)$
$x_1, y_1$	13/32	$x_3, y_1$	0
$x_1, y_2$	3/32	$x_3, y_2$	0
$x_1, y_3$	0	$x_3, y_3$	0
$x_1, y_4$	0	$x_3, y_4$	1/8
$x_2, y_1$	1/32	$x_4, y_1$	1/16
$x_2, y_2$	1/8	$x_4, y_2$	1/32
$x_2, y_3$	3/32	$x_4, y_3$	1/32
$x_2, y_4$	0	$x_4, y_4$	0

**Додаток Б**  
**Варіанти завдань до лабораторної роботи №2**

Таблиця Б.1 – Результати визначення еталонних напруг і струмів

$R_{вх}, \text{Ом}$	$U_0, \text{В}$	$I_0, \text{А}$
600		
150		
135		
75		

Таблиця Б.2 - Результати вимірювань рівнів передачі

$X, \text{км}$	$U_x, \text{В}$	$U_{0x}, \text{В}$	$P_0, \text{дБ}$	$P_x, \text{дБ}$
0				
1				
2				
3				

Таблиця Б.3 - Результати розрахунків рівнів передачі

Точки каналу	0-1	1-2	2-3
$P, \text{дБ}$			



**Додаток В**  
**Варіанти завдань до лабораторної роботи №3**

Таблиця В.1 – Вихідні дані

№ варіанту	Значення опору каналу зв'язку	Тип фільтра (обирається з табл. 3.1)
1	600	1
2	150	2
3	135	3
4	75	4
5	600	5
6	150	6
7	135	1
8	75	2
9	600	3
10	150	4

**Додаток Г**  
**Варіанти завдань до лабораторної роботи №5**

Таблиця Г.1 – Варіанти індивідуальних завдань

№ Варіанту	Передавальний сигнал			
	Діюча напруга, В		Частота, Гц	
	Перший канал	Другий канал	Перший канал	Другий канал
1	1	2	60	300
2	5	6	120	600
3	7	8	50	250
4	10	9	100	500
5	4	3	50	250
6	2	3	30	150
7	1	2	600	3000
8	5	6	1200	6000
9	7	8	1000	5000
10	10	11	500	2500
11	4	5	1000	5000
12	2	3	300	1500

**Додаток Д**  
**Варіанти завдань до лабораторної роботи №6**

Таблиця Д.1 - Варіанти індивідуальних завдань

№ Варіанта	Тип системи	Ширина смуги частот, що виділена на систему зв'язку, кГц	Радіус соти, км	Дані для визначення кластеру		Ширина смуги одного каналу, кГц
				<i>i</i>	<i>j</i>	
1	GSM	12500	5	1	1	25
2	D-AMPS	25000	2	1	2	24
3	GSM	37500	4	2	1	23
4	D-AMPS	50000	3	1	1	22
5	GSM	25000	7	1	2	21
6	D-AMPS	12500	6	2	1	20
7	GSM	37500	5	1	1	19
8	D-AMPS	50000	2	1	2	18
9	GSM	12500	4	2	1	25
10	D-AMPS	25000	3	1	1	24
11	GSM	37500	7	1	2	23
12	D-AMPS	12500	6	2	1	22
13	GSM	50000	5	1	1	21
14	D-AMPS	25000	2	1	2	20
15	GSM	37500	4	2	1	19
16	D-AMPS	50000	3	1	1	30
17	GSM	25000	7	1	2	25
18	D-AMPS	12500	6	2	1	24
19	GSM	37500	5	1	1	23
20	D-AMPS	50000	2	1	2	22
21	GSM	12500	4	2	1	21
22	D-AMPS	12500	3	1	1	20
23	GSM	50000	7	1	2	27
24	D-AMPS	25000	6	2	1	29
25	GSM	37500	5	1	1	25
26	D-AMPS	50000	2	1	2	26
27	GSM	25000	4	2	1	23
28	D-AMPS	60000	3	1	1	22
29	GSM	40000	7	1	2	21
30	D-AMPS	54000	6	2	1	20