

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

## **ВІДНОШЕННЯ СИГНАЛ / ШУМ. КОЕФІЦІЄНТ ШУМУ**

**Методичні рекомендації**  
**до виконання лабораторної роботи ТЕЗ-5**  
з дисципліни «Теорія електричного зв'язку»  
для студентів спеціальності  
172 Телекомунікації та радіотехніка

Дніпро  
2020



Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»



**ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**  
**Кафедра безпеки інформації та телекомунікацій**

**ВІДНОШЕННЯ СИГНАЛ / ШУМ. КОЕФІЦІЄНТ ШУМУ**

**Методичні рекомендації**  
**до виконання лабораторної роботи ТЕЗ-5**  
з дисципліни «Теорія електричного зв'язку»  
для студентів спеціальності  
172 Телекомунікації та радіотехніка

Дніпро  
НТУ «ДП»  
2020

**Відношення сигнал / шум. Коефіцієнт шуму. Методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи ТЕЗ-5 з дисципліни «Теорія електричного зв'язку» для студентів спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка / В.І. Корнієнко, О.Ю. Гусєв, О.І. Нікольська, І.Г. Олішевський ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2020. – 16 с.**

Автори:

В.І. Корнієнко, д-р техн. наук, проф.,  
О.Ю. Гусєв, канд. фіз.-мат. наук, проф.,  
О.І. Нікольська, ст. викл.,  
І.Г. Олішевський, асист.

Затверджено методичною комісією за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка (протокол № 1 від 15.10.2020) за поданням кафедри безпеки інформації та телекомунікацій (протокол № 3 від 13.10.2020).

Методичні рекомендації призначено для виконання лабораторних робіт з дисципліни «Теорія електричного зв'язку» студентами спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка.

Орієнтовано на активізацію навчальної діяльності бакалаврів та закріплення практичних знань з даної дисципліни.

Відповідальний за випуск завідувач кафедри безпеки інформації та телекомунікацій В.І. Корнієнко, д-р техн. наук, проф.

## Зміст

Мета та програма роботи.....	4
1 Визначення відношення сигнал/шум.....	4
2 Розрахунок відношення сигнал/шум.....	5
3 Визначення коефіцієнта шуму.....	7
4 Розрахунок коефіцієнта шуму системи зв'язку.....	11
Вимоги до оформлення звіту.....	13
Контрольні питання.....	14
Список літератури.....	14
Додаток. Зразок титульного аркуша для лабораторних робіт.....	15

## Мета та програма роботи

Мета – навчитися розраховувати відношення сигнал/шум і коефіцієнт шуму для різних структур побудови систем зв'язку.

### Програма роботи

1. Визначення відношення сигнал/шум.
2. Розрахунок відношення сигнал/шум.
3. Визначення коефіцієнта шуму.
4. Розрахунок коефіцієнта шуму системи зв'язку.

### 1 Визначення відношення сигнал/шум

У більшості випадків абсолютний рівень потужності шуму рідко є тим параметром, за яким користувач може оцінити якість системи. Як правило, для цієї мети більш привабливим у користуванні є відношення потужностей сигналу і шуму. Відношення потужності сигналу до потужності шуму чи *відношення сигнал/шум (C/Ш) (signal to noise ratio – SNR чи S/N)* на виході системи є параметром першорядної важливості та визначається як

$$C/Ш = SNR = S/N = \text{Потужність сигналу} / \text{Потужність шуму}.$$

Реальні системи працюють у дуже великому динамічному діапазоні, що простягається на два чи три порядки величин, при цьому доводиться мати справу як з дуже малими, так і з дуже великими значеннями відношення сигнал/шум. З цієї причини величину C/Ш часто більш зручно виражати в логарифмічній формі, використовуючи величину, що називається *децибел (дБ) (decibel— dB)*:

$$C/Ш \text{ [дБ]} = 10 \lg C/Ш.$$

Для того щоб сигнал на виході приймача можна було відповідним чином обробити, необхідно, щоб потужність сигналу перевищувала потужність шуму на деяку величину. Як просту, наочну аналогію можна навести приклад, коли два чоловіки розмовляють поблизу від місця проведення дорожніх робіт, де працює пневматичний відбійний молоток. Корисним сигналом у даному випадку є мова, а шумом – звук працюючого молотка. Поки співрозмовники

знаходяться на досить великій відстані від молотка, вони можуть говорити нормально, адже перешкоди ще не занадто великі. Але коли вони підійдуть ближче до ділянки робіт, шуми помітно збільшаться, і людям прийдеться підвищувати голос, щоб перекричати їх. Нарешті, коли вони підійдуть упритул до молотка, шуми стануть настільки значними, що співрозмовники вже не зможуть навіть чути один одного. Ясно, що для нормальної бесіди рівень сигналу повинний перевищувати рівень шумів з деяким запасом. Якщо ж вони будуть порівняні чи, більш того, шуми перевищать потужність сигналу, то зв'язок буде неможливим.

Отже, саме відношення потужностей сигналу і шуму, а не їхні абсолютні значення, є визначальним параметром якості системи. Величина запасу завадостійкості, необхідного для забезпечення нормальної роботи пристрою, залежить від типу системи і звичайно визначається для кожного окремого випадку. Типові значення прийнятого відношення сигнал/шум (с/ш) складають близько 50–60 дБ для високоякісного радіомовлення музичних програм, 16 дБ – для передачі мови з низькою якістю, до 30 дБ – для комерційних телефонних систем; нарешті, 60 дБ – для телевізійного віщання з гарною якістю.

Ще однією перевагою вираження відношення С/Ш в децибелах є те, що загальне відношення сигнал/шум при з'єднанні декількох окремих електричних кіл визначається як сума окремих відношень С/Ш усіх кіл, а не їхній добуток.

## **2 Розрахунок відношення сигнал/шум**

Визначить відношення С/Ш на виході системи, показаної на рис. 1, і запишіть його спочатку у вигляді числа, а потім виразить в децибелах. Потужність вхідного сигналу дорівнює  $P_{c\text{ вх.}}$ , а рівень шумів на вході та виході системи  $P_{c\text{ вх}} = P_{c\text{ вих}}$ . Передбачається, що ланки схеми не вносять власних шумів.

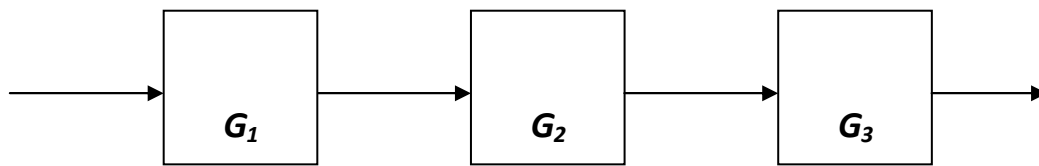


Рис. 1. Вихідна система

### Розв'язок

Визначимо відношення С/Ш на вході системи:

$$(C/Ш)_{вх} = P_{с\ вх} / P_{ш}.$$

Визначимо відношення С/Ш на виході системи:

$$(C/Ш)_{вих} = G_1 \dots G_N (C/Ш)_{вх},$$

де  $N$  – кількість ланок у системі;  $G$  – коефіцієнт підсилення відповідної ланки системи.

Відношення С/Ш на виході системи в децибелах дорівнює сумі величин  $(C/Ш)_{вх}$  і коефіцієнтів підсилення всіх проміжних кіл схеми, виражених також у децибелах:

$$(C/Ш)_{вх} [\text{дБ}] = 10 \lg (P_{с\ вх} / P_{ш}).$$

Виразимо в децибелах коефіцієнти підсилення кожної ланки схеми:

$$G_i [\text{дБ}] = 10 \lg G_i.$$

Сумарний коефіцієнт підсилення системи знайдемо так:

$$G_{\Sigma} [\text{дБ}] = G_i [\text{дБ}] + \dots + G_N [\text{дБ}].$$

Тоді відношення С/Ш на виході системи:

$$(C/Ш)_{вих} [\text{дБ}] = (C/Ш)_{вх} [\text{дБ}] + G_{\Sigma} [\text{дБ}].$$



### 3 Визначення коефіцієнта шуму

На вході будь-якої системи чи підсистеми завжди присутні сигнал і зв'язаний з ним шум; таким чином, якість вхідного сигналу можна оцінити за допомогою відношення сигнал/шум, чи  $(C/Ш)_{вх}$ . І сигнал, і шум проходять через систему, тому вони однаково підсилюються або послаблюються кожним каскадом. Логічно було б очікувати, що відношення сигнал/шум на виході системи –  $(C/Ш)_{вих}$ , буде точно таким же, як і значення на вході –  $(C/Ш)_{вх}$ . Однак кожен каскад системи звичайно вносить власні шуми, тому відношення  $(C/Ш)_{вх}$  поступово погіршується при проходженні сигналу від входу до виходу.

Шум, привнесений самою системою чи її підсистемами, можна охарактеризувати кількісно, використовуючи параметр: *коефіцієнт шуму (noise figure) F*. За умови, що система цілком погоджена, можна записати вираз для її коефіцієнта шуму:

$$F = [(C/Ш)_{вх}] / [(C/Ш)_{вих}], \quad F [\text{дБ}] = (C/Ш)_{вх} [\text{дБ}] - (C/Ш)_{вих} [\text{дБ}], \quad (1)$$

де відношення С/Ш може бути виражене в числах або в децибелах. Отже, і коефіцієнт шуму можна записати у вигляді безрозмірного числа чи виразити в децибелах, якщо відношення сигнал/шум на вході та виході системи також виражені в децибелах.

Якщо відношення С/Ш на вході системи дорівнює відношенню С/Ш на виході, то це значить, що система не має власних шумів, а її коефіцієнт шуму дорівнює 1 (або 0 дБ). Якщо ж система привносить шум у міру проходження через неї сигналу, то відношення С/Ш на її вході буде більшим, ніж на виході, а значення коефіцієнта шуму перевищить 1. Таким чином, уведений параметр явно свідчить про шумові властивості системи чи підсистеми ланки.

*Коефіцієнт шуму F* (або шум-фактор) (*noise figure*) пов'язує значення параметра SNR на вході мережі зі значенням на виході. Таким чином, шум-фактор вимірює погіршення SNR, викликане проходженням через мережу. Приклад наведено на рис. 2.

На рис. 2, а показано значення параметра SNR на вході підсилювача (позначено як  $(SNR)_{in}$ ) залежно від частоти. Максимальне значення на 40 дБ

перевищує мінімальний рівень шуму. На рис. 2, б значення параметра SNR показано на виході підсилювача (позначено як  $(SNR)_{out}$ ). За рахунок підсилення потужність сигналу зросла на 20 дБ, але при цьому підсилювач додав до сигналу власний шум. Максимальне значення сигналу на виході всього на 30 дБ перевищує мінімальний рівень шуму. Отримуємо, що погіршення SNR на шляху від входу до виходу становить 10 дБ; це рівносильно твердженню, що коефіцієнт шуму підсилювача дорівнює 10 дБ. *Коефіцієнт шуму* – це параметр, що виражає шумові властивості двопортової мережі або деякого пристрою, такого як підсилювач, відносно еталонного джерела шуму у вхідному порту. Записати формулу шуму-фактора можна так:

$$F = \frac{(SNR)_{in}}{(SNR)_{out}} = \frac{S_i / N_i}{GS_i / G(N_i + N_{ai})} \quad (2)$$

де  $S_j$  – потужність сигналу в вхідному порту підсилювача;

$N_i$  – потужність шуму в вхідному порту підсилювача;

$N_{ai}$  – шум підсилювача відносно вхідного порту;

$G$  – коефіцієнт підсилення підсилювача.

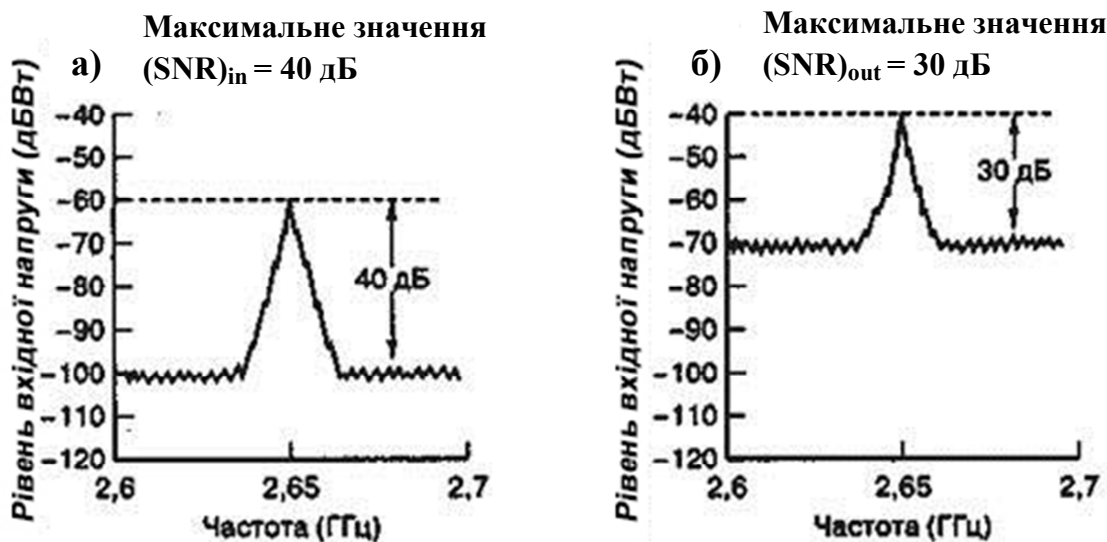


Рис. 2. Рівень шуму і сигналу підсилювача як функція частоти: а, б – вхід та вихід підсилювача відповідно

Ілюстрація рівняння (2) наведена на рис. 3.

На рис. 3, а зображено схему *реального* підсилювача з коефіцієнтом підсилення  $G = 100$  і потужністю внутрішнього шуму  $N_a = 10$  мкВт. Потужність зовнішнього джерела шуму  $N_i = 1$  мкВт. На рис. 3, б подано схему *ідеального* підсилювача, тут ми приписали шумові властивості реального підсилювача, зображеного на рис. 3, а, зовнішньому джерелу  $N_{ai}$ , послідовно сполученому з вихідним джерелом  $N_i$ . Значення  $N_{ai}$  отримуємо шляхом зменшення  $N_a$  на величину, що дорівнює коефіцієнту підсилення підсилювача. Як показано на рис. 3, б, рівняння (2) співвідносить усі шуми із входом підсилювача, незалежно від того, де насправді присутній шум – на вході пристрою або поза ним. Як видно з рис. 3, потужність шуму на виході реального підсилювача ідентична тому, що дає еквівалентна модель.

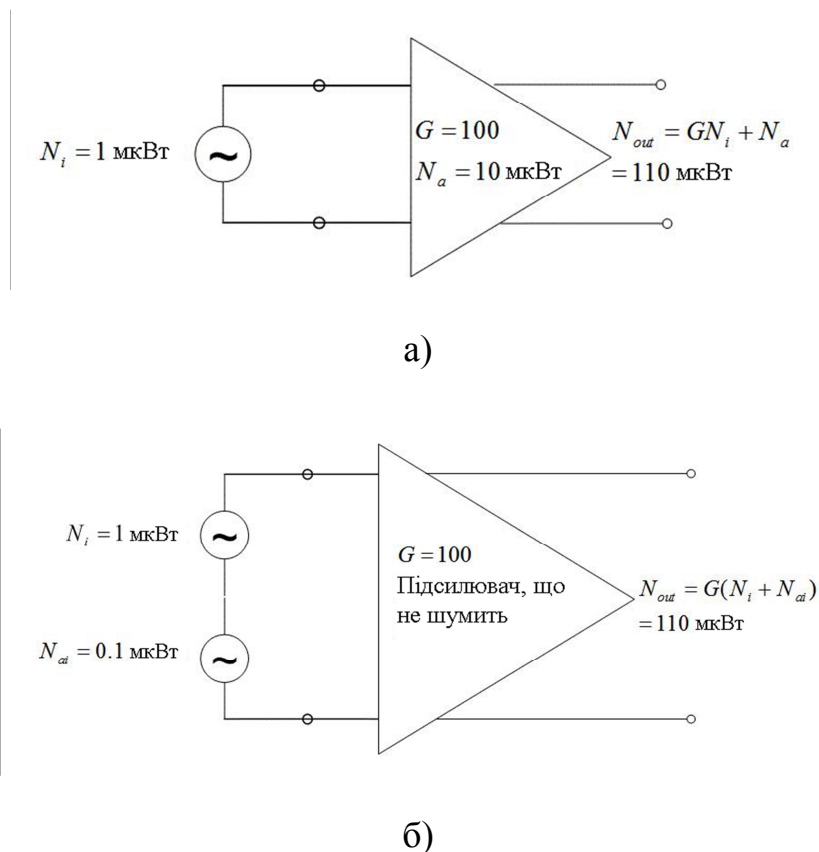


Рис. 3. Приклади схем реального (а) та ідеального (б) підсилювачів

Після спрощення рівняння (2) отримуємо таке рівняння

$$F = \frac{N_i + N_{ai}}{N_i} = 1 + \frac{N_{ai}}{N_i} . \quad (3)$$

З отриманого рівняння бачимо, що коефіцієнт шуму визначає шумові властивості мережі відносно вхідного джерела шуму; коефіцієнт шуму – це не абсолютна міра шуму. Від ідеального підсилювача або ідеальної мережі не виникає шум ( $N_{ai} = 0$ ), тобто вони мають шум-фактор, що дорівнює одиниці (0 дБ).

Для практичного використання поняття шум-фактор ми повинні навчитися робити об'єктивні порівняння пристроїв на основі рівняння (3). Отже, як еталонне ми повинні вибрати значення  $N_i$ . Шум-фактор будь-якого пристрою буде являти собою міру того, наскільки більш гучним (порівняно з еталонним) є пристрій, що розглядається. У 1944 році Фріїс (Friis) [6] запропонував, щоб шум-фактор визначався для джерела шуму при еталонній температурі  $T_0^{\circ} = 290$  К. Таким чином, для завдання максимальної доступної спектральної густини потужності шуму з будь-якого джерела досить задати температуру цього джерела. Значення 290 К було обрано як еталонне, оскільки саме воно є розумною наближеною оцінкою температури джерела більшості каналів зв'язку. Крім того, якщо вибрати  $T_0^{\circ} = 290$  К, то обчислення спектральної густини шуму  $N_0$  при цій температурі дає естетично красиве значення.

$$N_0 = kT_0^0 = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 290 = 4,00 \cdot 10^{-21} \text{ Вт / Гц}$$

або (в децибелах)

$$N_0 = -204 \text{ дБВт / Гц.}$$

Тепер, коли ми визначили шум-фактор  $F$  відносно джерела шуму з температурою 290 К, важливо відзначити, що співвідношення (2) і (3) справедливі строго, тільки якщо  $N_i$  – це джерело шуму з температурою 290 К.

При інших  $N_i$  потрібно перейменувати коефіцієнт  $F$  у рівняннях (2) і (3) і використовувати термін «експлуатаційний коефіцієнт шуму  $F_{op}$ ».

Розглянемо схему на рис. 4, що складається з декількох каскадів, кожний з яких має коефіцієнт підсилення  $G$  (чи втрати  $L = 1/G$ ) і коефіцієнт шуму  $F$ . Визначення загального коефіцієнта шуму згідно з (1) вимагає, щоб були відомі відношення С/Ш кожного каскаду. Однак можна знайти той же параметр за допомогою *формули де Фріїса* для схеми з  $n$  каскадами:

$$F = F_1 + (F_2 - 1) / G_1 + (F_3 - 1) / (G_1 G_2) + \dots + (F_n - 1) / (G_1 G_2 \dots G_{n-1}),$$

де  $G_i, F_i$  – коефіцієнти підсилення і шуму відповідного каскаду системи, які виражені в числах (не децибелах).

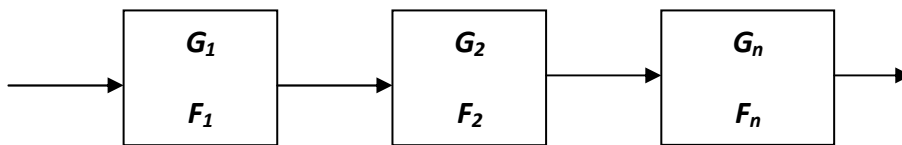


Рис. 4. Схема, що складається з декількох каскадів

З формули де Фріїса випливає, що величина загального коефіцієнта шуму  $F$  системи над усе залежить від характеристик першого каскаду.

Розповсюдженою задачею, з якою зіштовхується будь-який інженер, є проблема вибору, де в приймальній системі розташувати підсилювач.

#### 4 Розрахунок коефіцієнта шуму системи зв'язку

Антенa підключена до приймача за допомогою кабелю (фідера) із втратами  $L_{фід} = 1/G_{фід}$  і коефіцієнтом шуму  $F_{фід}$ . Необхідно встановити перед приймачем підсилювач потужності з коефіцієнтом підсилення  $G_{III}$  і коефіцієнтом шуму  $F_{III}$ . Припускаючи, що система погоджена, порівняйте вплив розташування підсилювача на рівень шумів системи:

- а) підсилювач розташований між антеною і фідерним трактом;  
 б) підсилювач розташований між фідерним трактом і приймачем.

### Розв'язок

Перш ніж визначати коефіцієнт шуму системи за допомогою рівняння де Фрїса, необхідно виразити коефіцієнти підсилення і шуму в вигляді чисел, а не в децибелах.

Коефіцієнт шуму для схеми з двох каскадів розраховується за формулою (2). У випадку, коли підсилювач розташований перед фідерним трактом, формула здобуває такого вигляду:

$$F_{\text{ПП}+\text{фід}} = F_1 + (F_2 - 1) / G_1 = F_{\text{ПП}} + (F_{\text{фід}} - 1) / G_{\text{ПП}}$$

У випадку ж, коли підсилювач розташований після фідерного тракту, формула здобуває такого вигляду:

$$F_{\text{фід}+\text{ПП}} = F_1 + (F_2 - 1) / G_1 = F_{\text{фід}} + (F_{\text{ПП}} - 1) L_{\text{фід}}$$

Кращим є той варіант системи, у якому коефіцієнт шуму менше.

Таблиця 1

Вихідні дані для етапу 2

Варіант	$P_{\text{с вх}}$ [мВт]	$P_{\text{ш вх}}$ [мкВт]	$G_1$	$G_2$	$G_3$
1	2,7	1	20	3	2
2	3,4	1,5	30	9	1
3	4,5	1,2	10	8	3
4	2,0	2	14	11	2
5	3,5	3	16	4	13
6	4,0	2,3	24	8	3
7	1,8	2,6	27	9	3
8	1,5	1,9	18	14	5
9	2,5	1,5	15	11	8
10	2,0	1,3	3	16	1

## Вихідні дані для етапу 8

<i>Варіант</i>	$L_{\text{фид}}$ [дБ]	$F_{\text{фид}}$ [дБ]	$G_{\text{ум}}$ [дБ]	$F_{\text{ум}}$ [дБ]
1	2,7	0,1	20	1
2	3,4	0,15	30	0,5
3	4,5	0,12	10	0,8
4	2,0	0,20	14	0,6
5	3,5	0,30	16	1,2
6	4,0	0,12	24	0,85
7	2,8	0,16	27	0,96
8	2,5	0,19	18	0,75
9	3,5	0,15	15	0,60
10	3,2	0,13	30	0,82

**Вимоги до оформлення звіту**

Кожен студент повинен отримати допуск до захисту роботи. Для цього він виконує наведені далі завдання.

1. Подати викладачеві роздрукований звіт, що складається з титульного аркуша (див. додаток), **виконаних завдань** та **висновків**. Звіт має бути оформлений у текстовому редакторі MS Word. Текст потрібно набирати шрифтом Times New Roman, 14 pt, вирівнювати по ширині, формат сторінки А4, книжка, абзацний відступ 10 мм, поля 20 мм з кожного боку. Формули додавати за допомогою Microsoft Equation або редактора формул. Усі таблиці та рисунки мають бути підписані.

2. Відкрити на комп'ютері файл з виконаним завданням для перевірки.

3. Відповісти на всі питання стосовно виконаної роботи.

Звіт повинен містити:

1. Назву та мету роботи.
2. Розрахунок відношення сигнал/шум.
3. Розрахунок коефіцієнта шуму системи зв'язку.

### Контрольні питання

1. Чому відношення потужності сигналу і шуму, а не їх абсолютні значення, є визначальним параметром якості системи?
2. Які переваги відношення сигнал/шум у децибелах?
3. Що можна сказати про шумові характеристики системи, якщо її коефіцієнт шуму дорівнює 0 дБ?
4. Від параметрів якої ланки системи над усе залежить його загальний коефіцієнт шуму?

### Список літератури

1. Теорія електричного зв'язку: навч. посіб. / О.Ю. Гусев, Г.Ф. Конахович, В.І Корнієнко, Г.В. Кузнєцов, О.Ю. Пузиренко. – Львів: Магнолія, 2006, 2010. – 364 с.
2. Gusev O.Yu. Theory of adaptive filtration: tutorial / O.Yu. Gusev, V.M. Gorev, V.I. Kornienko; Ministry of Education and Science of Ukrain, National Technical University “Dnipro Polytechnic”. – Dnipro: NTU “DP”, 2019. – 156 p.
3. Рид Р. Основы теории передачи информации / Р. Рид. – Москва: Вильямс, 2005. – 320 с.
4. Бендат Дж. Применение корреляционного и спектрального анализа / Дж. Бендат, А. Пирсол. – Москва: Мир, 1983. – 312 с.
5. Дьяконов В. МАТЛАБ 6. Учебный курс / В. Дьяконов. – Санкт-Петербург: Питер, 2001. – 592 с.
6. Friis H. T. Noise Figure of Radio Receivers / H.T. Friis // Prdc. IRE. – July. – 1994. – P. 419–422.



**Зразок титульного аркуша для лабораторних робіт**

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Факультет інформаційних технологій  
Кафедра безпеки інформації та телекомунікацій

Лабораторна робота ТЕЗ-5  
**«Відношення сигнал/шум. Коефіцієнт шуму»**  
Варіант № 1

Виконав: ст. гр. 172-20-1  
Петров Іван Петрович  
Перевірив: професор Гусєв О.Ю.

Дніпро  
НТУ «ДП»  
2021

**Корнієнко Валерій Іванович**  
**Гусєв Олександр Юрійович**  
**Нікольська Олена Ігорівна**  
**Олішевський Ілля Геннадійович**

## **ВІДНОШЕННЯ СИГНАЛ / ШУМ. КОЕФІЦІЄНТ ШУМУ**

**Методичні рекомендації**  
**до виконання лабораторної роботи ТЕЗ-5**  
з дисципліни «Теорія електричного зв'язку»  
для студентів спеціальності  
172 Телекомунікації та радіотехніка

Редактор Ю.В. Рачковська

Підписано до друку 11.11.2020. Формат 30x42/4.  
Папір офсетний. Ризографія. Ум. друк. арк. 0,8.  
Обл.-вид. арк. 0,8. Тираж 8 пр. Зам. №

НТУ «Дніпровська політехніка»  
49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19.