

Міністерство транспорту та зв'язку України
Державний департамент з питань зв'язку та інформатизації
Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова
Кафедра комутаційних систем

СИСТЕМИ КОМУТАЦІЇ ЕЛЕКТРОЗВ'ЯЗКУ
Модуль 1 “Термінальне обладнання та комутаційні прилади”
ОСНОВИ ТЕЛЕФОННОЇ АКУСТИКИ
ТА ЕЛЕКТРОАКУСТИЧНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ
Напрямок бакалаврської підготовки “Телекомунікації”

Одеса 2007

УДК 621.396.93

План НМВ 2006 р.

Методичний посібник розробив **В. І. Дузь**

Методичний посібник розглянуто й ухвалено на засіданні кафедри КС.
Протокол № 5 від “10” “листопада” 2006 р.

Зав. кафедрою КС



А. Г. Ложковський

Методичний посібник розглянуто й схвалено методичною радою факультету інформаційних мереж.

Протокол № “5” від “16” “листопада” 2006 р.

Декан факультету ІМ



І. В. Стрелковська

Редактор

Л. А. Кодрул

Комп'ютерне
макетування

Є. С. Корнійчук

ПЕРЕДМОВА

Посібник призначений для допомоги студентам у вивченні основних положень розділу “Абонентські термінали” модуля 1 дисципліни “Системи комутації електрозв’язку”, та присвячений основам електроакустики й електроакустичним перетворювачам, де розглядаються питання розповсюдження звуку, його параметри, властивості слуху, принцип роботи електроакустичних перетворювачів та їхні параметри.

Посібник призначений для студентів, які вивчають дисципліну “Системи комутації електрозв’язку” у плані бакалаврської підготовки за напрямом “Телекомунікації”.

Дисципліна “Системи комутації в електрозв’язку” складається з шести модулів:

1. “Термінальне обладнання та комутаційні прилади”;
2. “Телекомунікаційні мережі та вузли комутації”;
3. “Комутаційні технології”;
4. “Цифрові системи комутації”;
5. “Проектування телекомунікаційних мереж”.
6. “Обладнання мереж наступного покоління *NGN*”;

Для вивчення модуля 1 виділено 65 годин (1.81 кредити): 16 – лекцій, 8 – практичних занять, 16 – лабораторних занять та 25 – самостійного вивчення.

Структура залікового модуля 1

Змістовий модуль		Лекції (годин)	Заняття		Самостійна робота (у тому числі ІНДЗ)
			Практичні	Лабораторні	
№	Модуль 1. Термінальне обладнання та комутаційні прилади				
1	Абонентські термінали	2	2	2	2
2	Комутаційні прилади	2		2	2
3	Комутаційні блоки	2	2	2	3
4	Керувальні пристрої комутаційних блоків	2		2	2

5	Взаємодія АТ з керувальними пристроями телекомунікаційних систем	2	2	2	2
6	Абонентська сигналізація	2		2	2
7	Організація мережі абонентського доступу	2	2	2	2
8	Структура комутаційних полів	2		2	2
9	Самостійне вивчення: Телефонні апарати. Багатокаскадні комутаційні блоки.				8
Разом 1 модуль, год.		16	8	16	25

Зміст змістових модулів (лекційних годин)

- 1.1 **Абонентські термінали (АТ) телекомунікаційних систем.** Загальна структура АТ для окремих служб. Багатофункціональність АТ. Місцеве і дистанційне електроживлення ФБ терміналів.
- 1.2 **Комутаційні прилади** – електромагнітні (реле, координатний з'єднувач, тощо), електронні (транзисторний ключ, мультиплексор, тощо) та оптичні. Принцип дії, комутаційні параметри та характеристики.
- 1.3 **Комутаційні блоки** абонентського пошуку, реєстрового пошуку, групового пошуку. Способи підвищення використання блока та його пропускної спроможності (однокаскадні та багатокаскадні схеми).
- 1.4 **Керувальні пристрої комутаційних блоків** абонентського пошуку, реєстрового пошуку, групового пошуку.
- 1.5 **Взаємодія АТ з керуючими пристроями телекомунікаційних систем.** Керуючі пристрої прийому абонентського номера та встановлення з'єднання, їх структурні схеми. Способи кодування сигналів взаємодії керуючих пристроїв.
- 1.6 **Абонентська сигналізація між АТ та телекомунікаційною системою.** Акустичні та керуючі сигнали, їх параметри. Призначення і типи сигналізації, абонентська сигналізація, зміст сигналізації. Взаємодія АТ та приймачів адресної інформації.
- 1.7 **Організація мережі абонентського доступу** за проводовою й безпроводовою технологіями. Абонентсько-мережні інтерфейси. Ідентифікація і характеристики абонентсько-мережних інтерфейсів (АМІ): призначення, базисні можливості, структура, протоколи доступу, базисні конфігурації, атрибути. Служби і пропускна спроможність інформаційних і сигнальних каналів.
- 1.8 **Структури комутаційних полів систем комутації.** Основні параметри та характеристики.
- 1.9 **Додатковий матеріал самостійного вивчення. Телефонні апарати** – спрощена схема, мовні та визивні прилади, принцип дії мікрофона та електромагнітного телефону, номеронабирач. Способи видачі адресної інформації (ДКШІ та DTMF) та часові параметри. **Багатокаскадні**

комутаційні блоки – методика розрахунків двохкаскадних комутаційних блоків типу ВП-ВП.

Перелік знань і вмінь, які повинен здобути студент при вивченні попередніх дисциплін для засвоєння змісту модуля 1

Перелік знань:

1. Звукове поле та його характеристики. Дисципліна “Фізика”, модуль № 3.
2. Електричні кола постійного струму. Дисципліна “Теорія електричних кіл”, модуль № 1.
3. Магнітні кола постійного магнітного потоку. Дисципліна “Теорія електричних кіл”, модуль №2.
4. Кола змінного струму з феромагнітними елементами. Дисципліна “Теорія електричних кіл”, модуль №2.
5. Конструкцію та принцип роботи електронних схем в тому числі й мікросхем. Дисципліна “Основи схемотехніки”, модуль №1.

Перелік вмінь:

1. Проводити аналіз звуку, що виробляється під час розмови.
2. Розраховувати електричні кола постійного струму.
3. Аналізувати магнітні поля.
4. Аналізувати кола змінного струму.
5. Аналізувати електронні схеми, побудовані на навісних електронних елементах та мікросхемах.

Тематичний план лекцій модуля 1

1. **Абонентські термінали (АТ)** телекомунікаційних систем. Загальна структура АТ для окремих служб. Багатофункціональність АТ. Місцеве і дистанційне електроживлення ФБ терміналів [1, 3, 5].

2. **Комутаційні прилади** – електромагнітні (реле, координатний з'єднувач, тощо), електронні (транзисторний ключ, мультиплексор, тощо) та оптичні. Принцип дії, комутаційні параметри та характеристики [2, 3, 4, 5].

3. **Комутаційні блоки** – абонентського пошуку, реєстрового пошуку, групового пошуку. Способи підвищення використання блока та його пропускної спроможності (однокаскадні та багатокаскадні схеми) [2, 3, 4, 5].

4. **Керувальні пристрої комутаційних блоків:** абонентського пошуку, реєстрового пошуку, групового пошуку [2, 3, 4, 5].

5. **Взаємодія АТ з керуючими пристроями** телекомунікаційних систем. Керуючі пристрої прийому абонентського номера та встановлення з'єднання, їх структурні схеми. Способи кодування сигналів взаємодії керуючих пристроїв [2, 3, 4, 5].

6. **Абонентська сигналізація** між АТ та телекомунікаційною системою. Акустичні та керуючі сигнали, їх параметри. Призначення і типи сигналізації,

абонентська сигналізація, зміст сигналізації. Взаємодія АТ та приймачів адресної інформації [3, 4, 5].

7. **Організація мережі абонентського доступу** за проводовою й безпроводовою технологіями. Абонентсько-мережні інтерфейси. Ідентифікація і характеристики абонентсько-мережних інтерфейсів (АМІ): призначення, атрибути, базисні можливості, структура, протоколи доступу, базисні конфігурації, атрибути. Служби і пропускна спроможність інформаційних і сигнальних каналів [1, 4, 5].

8. **Структури комутаційних полів систем комутації.** Основні параметри та характеристики [3, 5].

Література

1. Терминальное оборудование цифровых сетей электросвязи с интеграцией служб. В. И. Борщ, А. В. Вивчарюк, В. А. Донец, В. В. Коваль, И. П. Лесовой, Н. П. Орленко. – К: Наукова думка, 1999.

2. Станционное оборудование сельской телефонной связи: Учебник для рабочих/Ю. Н. Корнышев, А. Я. Маркович, М. Н. Пискер, В. М. Романцов; Под ред. Ю. Н. Корнышева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1990.

3. Збірник схем до курсу СКЕЗ-1/Укладачі Г. В. Стовбун, В. М. Романцов. – Одеса, 2003.

4. Станционные сооружения городских телефонных сетей: Учебник для рабочих связи; Под ред. Ю. Н. Корнышева. – М.: Радио и связь, 1987.

5. Автоматические системы коммутации: Учебник для вузов; Под ред. О. Н. Ивановой. – М.: Связь, 1978.

Рекомендації щодо самостійної роботи студентів

Самостійна робота студентів складається з вивчення лекційного матеріалу, підготовки до лабораторних та практичних занять, виконання комплексного завдання та вивчення додаткового матеріалу. Для підготовки до практичних занять та лабораторних робіт слід використовувати методичні посібники та вказівки до відповідних робіт, а також матеріали лекцій. Література для цього вказується у відповідних посібниках та зазначена вище. Для виконання комплексного завдання слід використовувати літературу [4 та 5] а також посібники, в яких викладена методика виконання цього завдання.

Теми практичних занять модуля 1

№ п.п	Тема	Годин
1	П-1 Термінальне обладнання систем комунікації	2
2	П-2. Комутаційні прилади АТС	2
3	П-3 Однокаскадні комутаційні поля систем комутації	2
4	П-4. Багато каскадні комутаційні поля	2

Перелік лабораторних робіт модуля 1

№	Тема	Годин
1	№1 Основи телефонної електроакустики	2
2	№ 11 Телефонні апарати	2
3	№ 12 Електромагнітні реле сучасних АТС	2
4	№ 13 Абонентський термінал ЦСІО	2
5	№ 14 БКЗ та однокаскадні комутаційні поля	2
6	№ 15 Сучасний таксофон	2
7	№ 17 Координатна АТС малої ємності	2
8	№ 18 Квazіелектронна АТС малої ємності	2

Перелік знань і вмінь, які повинен набути студент при вивченні матеріалу модуля 1

Студент повинен знати:

1. Звукове поле та його характеристики, побудову електроакустичних перетворювачів, основи побудови схем телефонних апаратів, кола розмовного струму в схемах телефонних апаратів та схеми електроживлення телефонних апаратів.
2. Електричні кола постійного струму в схемах АТС.
3. Магнітні кола для постійного магнітного потоку, які виникають в електромагнітних елементах АТС.
4. Побудову комутаційних приладів, які використовуються в системах АТС.
5. Побудову комутаційних блоків та комутаційних полів АТС.
6. Конструкцію та принцип роботи електронних схем в тому числі й мікросхем.
7. Побудову керувальних пристроїв комутаційних систем.
8. Організацію абонентського та лінійного доступу в системах комутації.
9. Системи абонентської сигналізації в системах комутації.

Студент повинен вміти:

1. Проводити аналіз звуку, що виробляється під час розмови та його перетворення електроакустичними перетворювачами телефонних апаратів.
2. Розраховувати електричні кола постійного струму в телефонних апаратах та колах живлення автоматичних телефонних станцій (АТС).
3. Аналізувати магнітні поля, які виникають в магнітних колах електромагнітних реле та інших електромагнітних елементах АТС.
4. Аналізувати кола проходження розмовного струму в колах телефонних апаратів та колах живлення приладів АТС.
5. Аналізувати електричні та конструктивні схеми телефонних апаратів та інші схеми, що використовуються в схемах передавання мови.
6. Аналізувати конструкцію та роботу комутаційних приладів систем комутації.
7. Аналізувати та розраховувати структуру комутаційних блоків та комутаційних полів систем комутації.

8. Аналізувати побудову та роботу керувальних пристроїв систем комутації.

9. Обирати систему абонентського доступу для конкретних потреб користувачів.

10. Визначати необхідний тип сигналізації у відповідності з обраною системою абонентського доступу.

1. Звук та його характеристики

1.1. Мовна інформація

“Уся діяльність природи, у відповідності до нашого твердження, не безплідна: проте одна тільки людина зі всіх живих істот наділена мовою. Голос, яким можна виразити смуток і радість, властивий й іншим тваринам, тому що їх природні властивості розвинуті все ж до такого ступеня, щоб відчувати один одного. Але мова має властивість виражати й те, що є корисним, а що шкідливим, рівно як й те, що справедливе, а що несправедливе. Ця властивість людей, яка відрізняє їх від інших живих істот, веде до того, що тільки людина здатна до чуттєвого сприйняття таких понять, як добро й зло, справедливість й несправедливість та інше. А сукупність всього цього й створює основу сім'ї й держави.”

АРИСТОТЕЛЬ, “ПОЛІТИКА”

Мова є найважливішим засобом зв'язку між людьми. За своєю здатністю передавати інформацію голосом людина є єдиною в своєму роді. Серед безмежної множини живих істот, котрі населяють нашу планету, тільки людина виявилась здатною розвинути голосовий апарат, який знаходився в рудиментарному стані, для кодування й передавання інформації. Заслуга людини стає значнішою й тому, що вона пристосувала для цієї мети органи, котрі призначені для виконання інших, життєво більш важливих функцій.

Знаходячись в атмосфері, людина навчилась передавати повідомлення, використовуючи взаємодію молекул повітря. З точки зору акустики мовні сигнали складаються із швидких коливань повітряного тиску. Ці звукові коливання збуджуються й випромінюються голосовим апаратом. Мовна інформація у закодованому вигляді утримується в сигналах нервової системи, які керують голосовим трактом й приводять у рух відповідні м'язи. Звуки мови, які випромінюються у повітряне середовище, сприймаються вухом. Механічні коливання середнього та внутрішнього вуха перетворюються в електричні імпульси, які проходять слуховим нервом і потім осмислюються мозком.

Акустичне передавання й приймання мови надійне, але лише на обмеженій відстані, тому що на частотах, які використовуються для передавання мови, акустична енергія швидко розсіюється в просторі й згасає. Крім того чутливість вуха обмежена акустичними шумами навколишнього середовища та фізіологічними шумами в тілі людини. Тому акустичні хвилі не можуть слугувати добрим засобом передавання мови на великі відстані.

На протязі багатьох віків люди намагались здійснити зв'язок на великі відстані. Ці намагання розпочинались з використання сигнальних вогнів, бою барабанів та інше. Незважаючи на бажання людей усі намагання не давали бажаного результату до появи акустико-електричних та електроакустичних перетворювачів, тобто появи телефонії. З появою можливості генерування, підсилення й модулювання електричних сигналів стало можливим передавання мовної інформації на значні відстані.

Минуло трохи більше ста років як інженером Олександром Грехемом Белом був запатентований телефонний зв'язок (1876 р.). Тепер людство не може уявити своє життя без якісного та надійного зв'язку між будь-якими абонентами земної кулі з використанням різних мереж зв'язку – від телефонних до комп'ютерних.

1.2. Звукове поле

Процес розповсюдження коливань молекул пружного середовища з частотами діапазону, який сприймається слухом, зветься **звуковою хвилею**. Коли джерело звуку випромінює звукові хвилі, наприклад, при розмові, то навкруги нього створюється **звукове поле**. Коливальний рух молекул призводить до періодичної зміни тиску у кожній точці середовища. Якщо зміна звукового тиску підпорядковується гармонічному закону, то середня квадратична величина його носить назву **звукового тиску**.

Якщо звукові хвилі можуть без перешкод розповсюджуватись в усіх напрямках, то акустичне поле має досить просту структуру: від джерела звуку до кожної точки поля приходить тільки одна пряма звукова хвиля. Ідеальні звукові поля можуть створюватись в просторі з повним поглинанням звукових хвиль, наприклад, у полі із свіжим сніговим покриттям. Насправді такі поля зустрічаються досить рідко, тому що біля джерела звуку є багато предметів, які відбивають звукові хвилі. В такому випадку до кожної точки поля надходять крім прямої звукової хвилі й звукові хвилі, відбиті від різних предметів. Усі хвилі інтерферують одна з одною. В залежності від фаз ці хвилі підсилюють чи послаблюють одна одну. Фазові співвідношення прямої та відбитої хвиль в акустичному полі змінюються від точки до точки, змінюються також місця, в яких підсилюються та послаблюються хвилі. Так створюються стоячі хвилі. Стоячі хвилі створюються лише у випадку, коли джерелом звуку є гучномовець, який живиться синхронно від одного й того ж пристрою.

Ідеальні звукові поля можуть бути двох видів – плоскі та сферичні. У плоских звукових полях звукові хвилі розповсюджуються в одному напрямку від джерела звуку, а у сферичному – в усіх напрямках. У сферичних полях та в усіх реальних полях звуковий тиск є функцією місця. В той час як у плоскому тиск зберігається однаковим в усіх точках. Тому плоске поле є ідеальним для усіх досліджень в області акустики. Хоча реально створити плоске поле вдається тільки для частот більш ніж декілька сотень Герц.

Оскільки звуковий тиск є змінним, то він є функцією часу $p(t)$. Функція $p(t)$ дає уявлення про те, як змінюється тиск повітря в даній точці простору. Результируючий тиск в даній точці звукового поля складає

$$p = p_{\text{ат}} + p(t), \quad (1.1)$$

де $p_{\text{ат}}$ – атмосферний тиск.

Для гармонічного звукового тиску частотою ω

$$p(t) = P_m \sin \omega t, \quad (1.2)$$

де P_m – амплітуда зміни звукового тиску.

Звуковий тиск вимірюється тими ж одиницями, що й тиск повітря. Зазвичай – це Паскаль (Па), який дорівнює силі в один Ньютон, що діє на один квадратний метр (Н/м^2).

Необхідно відрізнити миттєве $p(t)$ й ефективне значення звукового тиску. Для гармонічного звукового тиску

$$p_{\text{ефф}} = P_m / \sqrt{2} \quad (1.3)$$

Іншою характеристикою звукового поля є *інтенсивність звуку* – питома потужність, яка переноситься звуковою хвилею. Інтенсивність звуку J вимірюється в ватах на квадратний метр (Вт/м^2)

Звуковий тиск p , швидкість коливань часток повітря v , щільність повітря ρ та швидкість розповсюдження звукових хвиль c у плоскому звуковому полі пов'язані співвідношенням

$$p_{\text{ефф}} / v_{\text{ефф}} = \rho c. \quad (1.4)$$

Добуток ρc називається акустичним хвильовим опором повітря та позначається Z_0 .

$$Z_0 = \rho c. \quad (1.5)$$

За нормального атмосферного тиску 760 мм рт. ст.

$\rho = 1,025 \text{ кг/м}^3$ та $c = 343 \text{ м/с}$.

За таких умов отримаємо

$$Z_0 = 413,3 \text{ кг/(м}^2 \text{ с)}.$$

Оскільки $Z_0 = p_{\text{ефф}} / v_{\text{ефф}}$, а $J = p_{\text{ефф}} v_{\text{ефф}}$, отримаємо

$$J = (p_{\text{ефф}})^2 / Z_0 = (p_{\text{ефф}})^2 / 413,3 \text{ Вт/м}^2. \quad (1.6)$$

Мінімальний звуковий тиск, на який реагує вухо людини, складає приблизно $p_{\text{ефф}} = 2 \times 10^{-5} \text{ Па}$, а мінімальна інтенсивність звуку при цьому становить приблизно $2 \times 10^{-12} \text{ Вт/м}^2$. Максимальний звуковий тиск, який сприймається без відчуття болю, дорівнює приблизно 63,2 Па, а інтенсивність звуку – 10 Вт/м^2 . Проте ці граничні величини залежать від частоти звуку. Для зображення на графіку такого великого діапазону краще використовувати логарифмічну шкалу. Отже логарифми можна отримати тільки від безрозмірних чисел. Окрім того, зміна інтенсивності звуку вухо людини відчуває як зміну його гучності. Відчуття приросту гучності звуку із збільшенням його інтенсивності підкоряється психофізіологічному закону Вебера-Фехнера, за яким приріст відчуття пропорційний логарифму відношення подразників. Тому кожне значення звукового тиску p шляхом ділення на деякий вихідний звуковий тиск p_0 перетворюється в число, логарифм якого позначається як рівень звукового тиску.

$$N = 2 \lg (p_{\text{ефф}}/p_0) \text{ Бел (Б)}. \quad (1.7)$$

Для зручності числовому значенню рівня звукового тиску приписується одиниця вимірювання Бел (Б), чим підкреслюється, що мається на увазі десятковий логарифм відношення звукових тисків.

Бел як логарифмічна міра відношення двох величин був вперше введений, як міра відношення потужностей P , і, звичайно, визначається як

$$N = \lg (P_1 / P_0). \quad (1.8)$$

Потужність є величиною квадратичною, тобто вона пропорційнальна квадрату таких лінійних величин, як струм, напруга та інше. Тому, оцінюючи відношення лінійних величин, необхідно писати:

$$L = \lg (P_1 / P_0) = \lg (Kp_1^2 / Kp_0^2), \quad (1.9)$$

де K – коефіцієнт пропорційності між відповідними квадратичною (P) та лінійною (p) величинами.

Таким чином,

$$N (P_1 / P_0)^2 = 2 \lg (p_1 / p_0). \quad (1.10)$$

Звідки й виникає множник 2.

Для того, щоб оперувати цілими числами, в акустиці зазвичай користуються десятими долями Бела – децибелами (дБ) й вираз (1.7) для рівня звукового тиску записується у вигляді

$$N = 20 \lg (p_{\text{ефф}} / p_0) \text{ дБ}. \quad (1.11)$$

З урахуванням (1.6)

$$N = 10 \lg (J / J_0) \text{ дБ}. \quad (1.12)$$

В якості вихідного порогового звукового тиску вибрана величина $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па та інтенсивності звуку $J_0 = 10^{-12}$ Вт/м².

1.3. Розповсюдження звуку в просторі навколо голови

Аналізуючи мовний тракт зазвичай визначають величину коливального повітряного потоку, який надходить на навантаження випромінювання біля губ чи ніздрів. В таких точках звукова енергія випромінюється в навикишнє середовище. Дальше звукові коливання сприймаються вухом або мікрофоном у деякій фіксованій точці простору. Тому бажано визначати характер розповсюдження звуку між губами й заданою точкою в просторі.

Не виключена можливість того, що зміна форми відбиваючого екрана біля джерела викличе великі зміни в характері розподілу звуку в просторі й поряд із цим порівняно мало вплине на навантаження випромінювання.

Варто очікувати, що на частотах, для яких довжина хвилі велика в порівнянні з діаметром голови, вплив голови на поле випромінювання не буде занадто великим. Структура простору випромінювання звуку повинна бути

дуже близька до простору випромінювання простого сферичного джерела з інтенсивністю, що відповідає потужності коливань біля губ. На високих частотах, однак, варто очікувати, що дифракція навколо голови вплине на поле випромінювання.

Сферичне джерело із синусоїдною пульсацією створює на відстані r від свого центра швидкість часток і звуковий тиск, що відповідно дорівнюють:

$$u(r) = (au_0 / r) [jka / (1 - jka)] [(1 + jkr) / jkr] e^{-jk(r-a)}$$

$$p(r) = (\rho cau_0 / r) [jka / (1 + jka)] e^{-jk(r-a)}, \quad (1.13)$$

де a – радіус,
 u_0 – величина швидкості поверхні,
 $k = \omega/c$.

(Третій множник у виразі для $u(r)$ дає підйом низьких частот, що досягається, коли говорять у мікрофон, розташований близько до губ – (улюблений прийом співаків). Якщо $ka \ll 1$, джерело називається гіпотетичним (точковим) і звуковий тиск дорівнює

$$p(r) = (j\omega\rho U_0 / 4\pi r) e^{-jkr} \quad (1.14)$$

де $U_0 = 4\pi a^2 u_0$ – інтенсивність джерела чи сила звукового потоку. Отже, гіпотетичне джерело виробляє звуковий тиск, який має сферичну симетрію й амплітуду, пропорційну $1/r$ та ω .

Дослідник Морз П. М. (США) знайшов розподіл тиску в далекому полі малого вібруючого поршня, поміщеного в сферичний екран. Вважаючи, що рот і голова мають приблизно таку ж конфігурацію з радіусом сфери порядку 9 см, можна діаграму випромінювання системи визначити щодо діаграми випромінювання гіпотетичного випромінювача рівної інтенсивності, розміщеного в тій же точці. При цьому можна одержати графік, зображений на рис. 1.1.

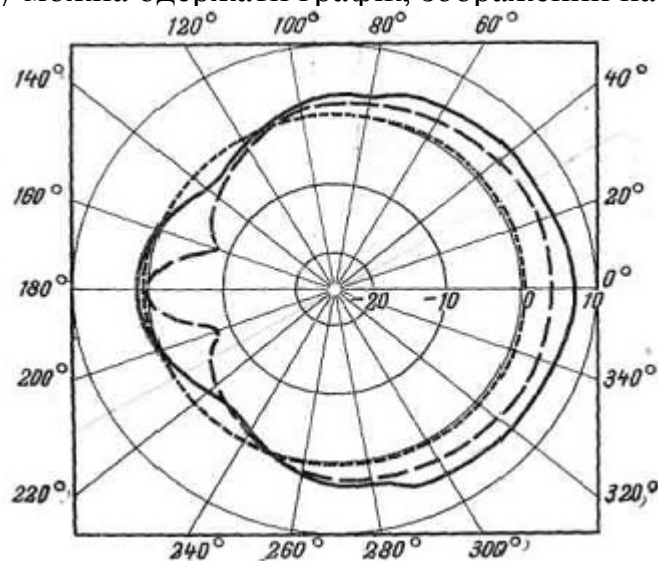


Рисунок 1.1 – Просторовий розподіл звукового тиску для малого поршня у сфері з радіусом 9 см. Тиск виражено в дБ відносно тиску, який створюється простим сферичним джерелом рівної інтенсивності.

Якщо поле тиску не буде відрізнятися від поля тиску гіпотетичного випромінювача, то усі криві збіжаться з колом, що відповідає нульовому тиску в дБ, на площині полярних координат. Криві на рис. 1.1 симетричні щодо осі рота (поршня), що збігається з нулем градусів. Як видно з рисунка, на осі рота підйом високих частот трохи більше, ніж $+6$ дБ на октаву, що характерно для гіпотетичного джерела (на частотах вище 300 Гц цей додатковий підйом складає приблизно $+2$ дБ на октаву).

Крім цього, утворюються пелюстки випромінювання, особливо з тильної сторони голови. Виникає питання про ступінь придатності сферичної апроксимації форми голови. Щоб одержати хоча б часткову відповідь на це питання й оцінити розподіл звукового тиску навколо голови середніх розмірів, був проведений (можливо єдиний) експеримент (Фланаган – Flanagan, 1960). У голову манекена дорослої людини (рис. 1.2) був поміщений гучномовець, прокалібрований таким чином, щоб можна було одержати біля губ манекена звукові коливання заданої сили, а амплітуду зовнішнього поля тиску виміряти за допомогою мікрофона.

Результати виміру амплітуд щодо рівнів, які були отримані за допомогою розташованого біля рота гіпотетичного джерела такої ж інтенсивності для горизонтальної і вертикальної січних площин, що проходять через рот, показані на рис. 1.3.

Можна помітити, що на частотах до 4000 Гц, величина тиску в межах вертикального і горизонтального кутів порядку $\pm 60^\circ$, відкладених щодо осі рота, відрізняється від рівнів гіпотетичного джерела не більше ніж на ± 3 дБ. Одночасні виконання виміру фаз показали, що в межах того ж просторового кута фаза відхиляється приблизно на 30° у порівнянні з фазою гіпотетичного джерела. У зазначених межах функція, що зв'язує силу звукового потоку через ротовий отвір зі звуковим тиском біля рота, може бути апроксимована характеристикою гіпотетичного випромінювача, представленої рівнянням (1.14). Необхідно відзначити, що $p(r)/U_0$ залежить від w і характеристика має спектральний нуль на нульовій частоті.

Наведені результати досліджень розподілу звукового тиску навколо голови мають важливе значення для розробників слухавок, та розміщення мікрофонів у них. Як видно з рис. 1.3, мікрофон можна розміщувати в межах до 90 градусів відносно губ. Ця можливість використовується розробниками радіотелефонів та мобільних телефонних апаратів при зменшенні їх розмірів.



Рисунок 1.2 – Манекен ростом людини для вимірювання відношення між звуковим потоком біля губ та звуковим тиском у точці зовнішнього поля. Звукоперетворювач вмонтовано в голову манекена.

1.4. Параметри мови

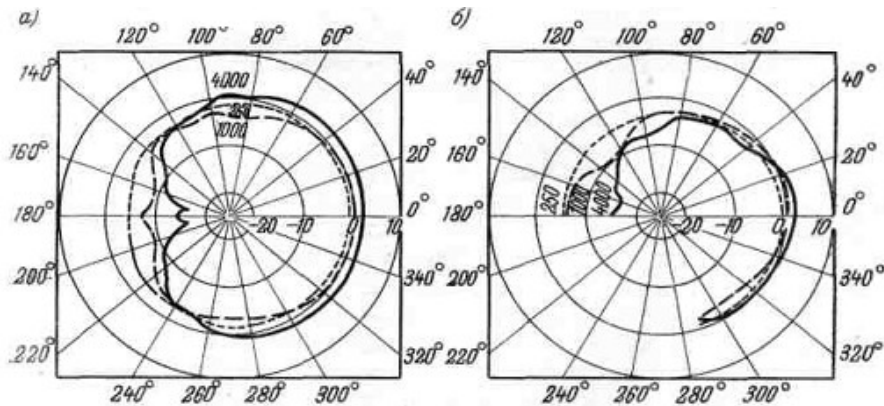


Рисунок 1.3 – Розподіл звукового тиску навкруг голови манекена відносно розподілу гіпотетичного джерела: а) горизонтальний розподіл; б) вертикальний розподіл

Звуки мови формуються голосовим апаратом людини. Під дією безупинного потоку повітря, що надходить з легень до голосових зв'язок, останні періодично розходяться і стуляються. Голосовими зв'язками в гортані утворюються імпульси звукового тиску (рис. 1.4, а), що мають частотний спектр (рис. 1.4, б) від 80 до 12 000 Гц. Частота проходження імпульсів визначає частоту основного тону голосу f_1 (рис. 1.4, б), що характеризує тип голосу: бас, баритон і ін. При розмові ця частота для різних голосів знаходиться в межах від 80 до 300 Гц а при співі – досягає 1200 Гц.

Різні положення губ, зубів, властиві того чи іншого звуку, утворюють різні резонансні об'єми в гортані, порожнині рота і носоглотці. Звукові коливання проходять через цю систему резонаторів, унаслідок чого коливання деяких частот підсилюються, а деяких – придушуються. Спектрально-амплітудний склад звуку біля рота, що говорить має, таким чином, посилення області частот (рис. 1.4, в). Максимальна кількість посилених областей частот досягає шести.

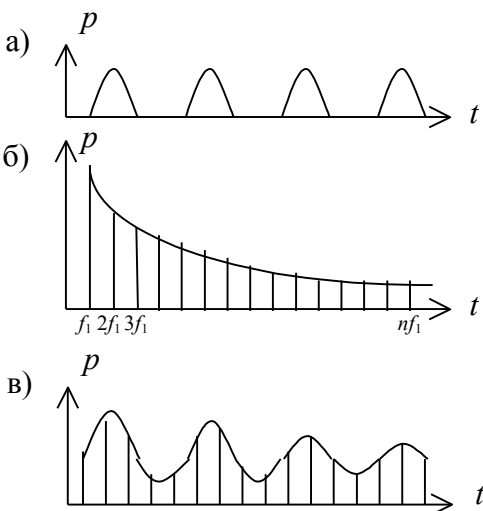


Рисунок 1.4 Формування звуків мови: а) імпульси звукового тиску у гортані; б) частотний спектр звукового тиску в гортані; спектрально-амплітудний склад звуків мови.

Аналіз розташування цих областей на частотній шкалі, їхньої кількості й амплітудного складу проводиться за допомогою електромеханічних аналогій.

Дослідження складу звуків російської (української) мови показали, що для розпізнавання мови того чи іншого звуку найбільше значення мають перша чи перші дві посилені області частот, що називаються

формантними областями, чи **формантами**. Будь-який звук мови визначається станом органів мовного апарату, що говорить, і практично не залежить від частоти основного тону. Ця обставина лежить в основі розрахунку розбірливості мови. Форманти майже всіх звуків російської мови (крім звуку ф) розташовані в спектрі від 200 до 8600 Гц. Форманти деяких звуків наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1. – Форманти звуків російської (української) мови

Звуки	Формантная область, Гц	
	Перша	Друга
а	1100...1400	-
о	400...800	-
и (і)	200...600	1500...2300
е (є)	600...1000	1600...2500
ж	200...600	1350...6300
л	200...500	700...1100
с	4200...8600	-
ф	7000...12000	

Форманти звуків розташовані нерівномірно за частотним спектром. На рис. 1.5 зображені криві щодо розташування формант за спектром російської (крива 1) і англійської (крива 2) мови. По вертикальній осі графіка рис. 1.5 відкладене відносне число формант (А, %), що містяться в смузі розмовного спектра шириною 100 Гц. Із кривих на рис. 1.5 видно, що:

– розташування формант за частотним спектром для різних мов по-різному;

– високочастотна ділянка спектра для російської мови більш важлива, ніж для англійської;

– велика частина формант знаходиться в області частот від 300 до 3400 Гц.

Зазначений спектр частот, що забезпечує достатню розбірливість мови, рекомендований міжнародним союзом електрозв'язку (МСЕ) для передачі лініями зв'язку.

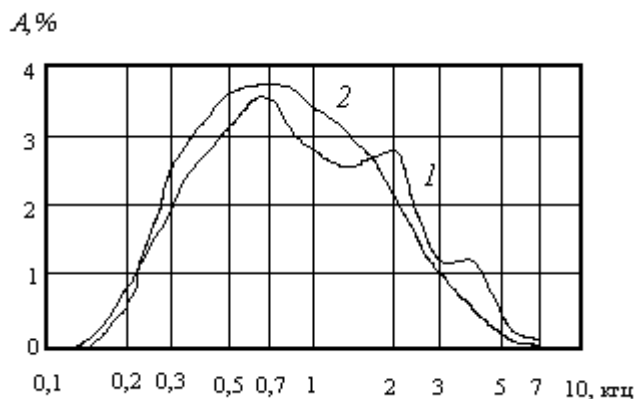


Рисунок 1.5 – Відносне розміщення формант по частотному спектру

1.5. Часові та енергетичні параметри

Для передачі мовлення істотне значення мають його часові й енергетичні параметри.

До часових параметрів відносяться середня тривалість різних звуків мови і пауз. Середня тривалість різних звуків мови знаходиться в межах від 20 до 260 мс, причому приголосні по тривалості менше голосних. В окремих

випадках тривалість голосних може досягати 350 мс. Тривалість пауз у безупинному мовленні складає близько 350 мс. Тривалість пауз у безупинному мовленні складає 16% загального часу розмови.

Тепер розглянемо основні енергетичні параметри мови. При нормальній телефонній розмові звуковий тиск у точці розташування мікрофона складає приблизно $1,5 \text{ н/м}^2$, що відповідає інтегральному (сумарному) рівню 97,5 дБ. Інтегральний рівень мовлення визначається сумарною потужністю, що припадає на весь діапазон частот мовлення. Цей рівень біля рота, що говорить, змінюється в межах від $N_1 \approx 60 \text{ дБ}$ при шепоті до $N_2 \approx 115 \text{ дБ}$ під час крику.

Різницю $N_2 - N_1 = D$ називають динамічним діапазоном мовлення. Лініями телефонного зв'язку забезпечується передача більш вузького динамічного діапазону мовлення, що складає 25...30 дБ.

Енергія мовлення розподіляється нерівномірно за спектром. Близько 60% всієї енергії зосереджено у спектрі частот до 500 Гц і тільки приблизно 12% – у спектрі частот до 1500 Гц. Найбільшу кількість енергії містять голосні звуки.

У ряді розрахунків, крім інтегрального рівня мови, потрібно знати рівні мови в різних частотних смугах. Рівень енергії, зосереджений у смузі шириною 1 Гц, називають спектральним рівнем. Залежність спектрального рівня мови від частоти $N_p = \varphi(f)$ називається спектром мовлення. Ця залежність при звуковому тиску $p = 1,5 \text{ н/м}^2$ для російської мови наведена на рис. 1.6.

Якщо необхідно мати спектр мови в точці простору, де звуковий тиск складає, наприклад, $p = 1 \text{ н/м}^2$, то всі ординати кривої на рис. 1.6 необхідно зменшити на величину:

$$\Delta N = 20 \lg (1,5/1) = 3,5 \text{ дБ} \quad (1.15)$$

Розбірливість мови визначається не рівнем енергії мови, а рівнем енергії формант і їхнім спектром. Спектром формант називають залежність найвірогіднішого спектрального рівня формант від частоти, тобто $N_{\text{ф}} = \varphi(f)$ (рис. 1.6).

Рівень мовлення більше рівня формант, тому що мова містить не тільки форманти, але і неформантні складові.

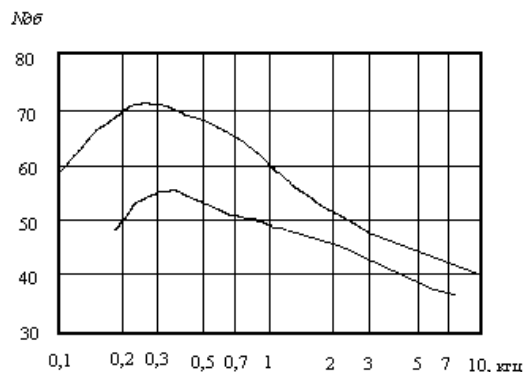


Рисунок 1.6 – Спектр мови – верхня крива й формант – нижня крива

1.6. Властивості слуху та оцінка слухового відчуття

1.6.1. Орган слуху

Вухо людини складається з трьох частин, що різняться між собою за характером виконуваних ними функцій, а саме: зовнішнє вухо, середнє вухо або барабанна перетинка і внутрішнє вухо.

1.6.2. Зовнішнє вухо

Звичайно терміном “вухо” позначають вушну раковину, що оточує вхід у слуховий прохід. Головне призначення вушної раковини людини складається в захисті слухового проходу, хоча її характеристики спрямованості на високих частотах слухового діапазону, імовірно, також полегшують і локалізацію джерел звуку (у деяких тварин акустичні властивості спрямованості вушної раковини використовуються більш повно).

Слуховий прохід людини має довжину близько 2,7 см, діаметр – близько 0,7 см, обсяг – близько 1 см³; форма поперечного перерізу не постійна і змінюється від овальної до круглої з площею від 0,3 до 0,5 см². Слуховий прохід закінчується тонкою мембраною, названою барабанною перетинкою. Ця мембрана являє собою відносно твердий конус, спрямований усередину, з кутом біля вершини близько 135°. Поверхня мембрани – близько 0,8 см². При грубій апроксимації слуховий прохід можна представити як однорідну трубу – відкриту на одному кінці і закриту на другому. На резонансних частотах уздовж труби укладається непарне число чвертей довжини хвилі. Перший резонанс знаходиться на частоті близько 3000 гц.

1.6.3. Середнє вухо

За барабанною перетинкою знаходиться заповнена повітрям порожнина середнього вуха, що містить слухові кісточки: молоточок, ковадлу, стремінець. Основне призначення слухових кісточок полягає в перетворенні імпедансу кола, що починається в повітряному середовищі зовнішнього вуха і закінчується в рідкому середовищі внутрішнього вуха. До барабанної перетинки прикріплений молоточок. Молоточок стикається з ковадлом, що, у свою чергу, за допомогою маленького зв'язування з'єднується зі стремінцем. Підніжна пластинка стремінця розташована в отворі, названому овальним вікном, у якому вона утримується за допомогою кругового зв'язування. Овальне вікно служить входом у внутрішнє вухо.

Звукова хвиля проходить через зовнішнє вухо і слуховий прохід, викликаючи коливання барабанної перетинки. Це коливання через три слухові кісточки передається у внутрішнє вухо. Акустико-механічний імпеданс внутрішнього вуха набагато перевищує імпеданс повітря, тому для ефективної передачі енергії звуку потрібно перетворення (підвищення) імпедансу. Цю задачу виконують слухові кісточки за рахунок важеля, що забезпечує збільшення сили при передачі від молоточка до стремінця в 1,3 рази, а також за рахунок співвідношення ефективної поверхні барабанної перетинки і стремінця. Коефіцієнт трансформації приблизно дорівнює 15:1.

Середнє вухо виконує ще одну важливу функцію, а саме – захищає від голосних звуків більш ніжне внутрішнє вухо. Функцію захисту виконують два м'язи, зв'язані з барабанною перетинкою. Передбачається, що рефлекторні скорочення м'язів послаблюють амплітуду коливань барабанної перетинки.

Однією з важливих характеристик середнього вуха є частотна характеристика, тобто залежність величини зсуву основи стремінця від частоти звукового тиску на барабанну перетинку. Результати досліджень виявилися дуже різними, оскільки частотна характеристика залежить не тільки від життєвого тону людини, але й істотно змінюється від одного індивідуума до іншого. У деяких випадках критична частота, на якій починається спад характеристики складає 800 Гц, а в деяких випадках – 3000 Гц. Збігається тільки загальний висновок про те, що передавальна функція середнього вуха має характер фільтра нижніх частот.

1.6.4. Внутрішнє вухо

Внутрішнє вухо складається з равлика, згорнутого в плоску спіраль із двома з половиною оборотами і нагадує раковину равлика, вестибулярного апарата і закінчень слухового нерва. У равлику відбувається перетворення механічних процесів у нервові. Компоненти вестибулярного апарата (напівокружні канали, мішечок і маточка) служать для орієнтації в просторі і, очевидно, не використовуються при аналізі слухових коливань. Порожнина равлика заповнена безбарвною рідиною (перилімфою), в'язкість якої приблизно в два рази більше в'язкості води, а питома вага приблизно дорівнює 1,03. Довжина каналу в спіральній раковині складає приблизно 35 мм. Площа поперечного перерізу стремінця складає приблизно 4 мм², вона зменшується приблизно до 1 мм² протилежного тонкого кінця. Порожнина равлика, заповнена перилімфою, розділяється по всій довжині на дві рівні частини, причому границею між ними слугує частина кістяної перегородки, частина ж – основна мембрана. Завдяки тому що перегородка не доходить до кінця лабіринту равлика, то рідина, що знаходиться в обох половинах останнього, з'єднується. Коливання перетинки овального вікна збуджують коливання часток рідини равлика, унаслідок чого збуджується та чи інша частина основної мембрани, у залежності від частоти коливань. По всій мембрані розташовані близько 30 000 чуттєвих клітин до яких підходять закінчення слухового нерва. Чуттєві клітини перетворюють звукові коливання у відповідні нервові імпульси, які через нервові закінчення і слуховий нерв передаються в слухові центри мозку, що і сприймають це відчуття як звук.

1.7. Властивості органу слуху

Межі чутності людського вуха знаходяться у діапазоні частот від 16 Гц до 20 кГц. Звуки з частотами нижче 16 Гц сприймаються вухом як окремі поштовхи, а не як звук. До звуків з частотами вище 15 000 Гц чутливість вуха різко знижується.

Для того щоб вухо могло сприймати якийсь тон, звукові коливання цього тону повинні відбуватися при інтенсивності звуку не нижче визначеної для даного тону мінімальної величини. Найбільш сприйнятливим вухо до тонів середніх частот у межах 1000...4000 Гц. Низькі ж і більш високі тони для сприйняття їх вухом повинні мати значні величини інтенсивності звуків. Мінімальна величина інтенсивності звуку, яка сприймається вухом та виражена у Вт/м^2 , називається порогом чутності. Для кожного тону є свій поріг чутності.

Величина, що зворотна порогові чутності, зветься чутливістю слуху. Отже, чутливість слуху так само, як і поріг чутності, різна для різних тонів.

На рис. 1.7 для визначення рівнів інтенсивності і звукового тиску на будь-якій частоті прийнята інтенсивність нульового рівня $j_0 = 10^{-12} \text{ Вт/м}^2$ і звуковий тиск нульового рівня $P_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ Па}$.

Поріг чутності неоднаковий для різних людей і певною мірою залежить від віку. Однак для нормальних здорових людей відхилення величини порога чутності від середнього значення практично невелике. На рис. 1.7 нижня суцільна крива визначає собою поріг чутності в залежності від звукових частот і є, отже, тією границею, нижче якої коливання не сприймаються вухом. В міру збільшення звукового тиску, а отже, і інтенсивності звуку, гучність його поступово зростає, поки, нарешті, у вусі не виникає відчуття тиску, після чого при подальшому посиленні звуку з'являється почуття болю.

На рис. 1.7 верхня крива являє собою вищу межу сприйняття людиною коливань у формі звуку, і, таким чином, є порогом больового відчуття, що є також функцією частоти, від висоти тону. Зазначеними кривими обмежується область сприйняття звуку слуховим органом людини.

У такий спосіб область звукового сприйняття, грубо говорячи, знаходиться в межах від 0 до 130 дБ. При цьому область музичних звуків знаходиться в межах від 30 Гц до 10 000 Гц, а мовлення в межах від 180 Гц до 5 000 Гц.

Існує термін «різницевий чи диференційний поріг чутності» під яким розуміють найменшу відносну зміну частоти чи тону інтенсивності звуку, сприйману слухом.

Завдяки тому, що вухо неоднаково сприймає зазначені відносні зміни, не слід змішувати два різних поняття, а саме: поріг розрізнення зміни висоти тонів і поріг розрізнення зміни інтенсивності звуків. Перший із зазначених порогів характеризується відношенням $\Delta f / f$, другий – відношенням $\Delta j / j$.

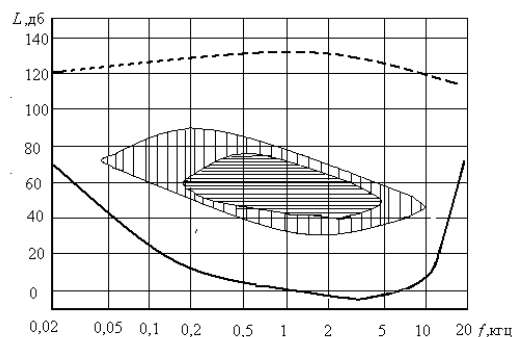


Рисунок 1.7 – Область слухового сприйняття: суцільна лінія – поріг слухового сприйняття; штрихова лінія – больовий поріг; вертикальна штриховка – область музикальних звуків; горизонтальна штриховка – область мовних звуків.

Експериментальні дослідження показують, що величина $\Delta f / f$ залежить від частоти та підвищується на низьких тонах. Іншими словами, вухо менш чутливе до змін низьких тонів (400 Гц і нижче), ніж до змін підвищених (400...3200 Гц).

Що стосується порога розрізнення зміни інтенсивності звуків, то чутливість вуха залежить лише від висоти тону. Таким чином, при значній інтенсивності звуку вухо найбільш чутливе до його змін.

Стомлюваність (адаптація) слуху знижує його чутливість після більш-менш тривалого впливу на вухо звукових хвиль, з припиненням яких чутливість слуху поступово відновлюється протягом 3...5 секунд. У діапазоні частот від 300 до 8 000 Гц стомлюваність слуху мало залежить від висоти тону і позначається в зниженні чутливості не тільки при частоті стомлюючого тону, але і при сусідніх частотах.

Іншою властивістю, що здійснює вплив на поріг чутливості, є маскування звуку. Маскуванням звуку називають зменшення рівня відчуття звуку однієї чи декількох частот при наявності звуку інших чи декількох інших частот, що діють на орган слуху одночасно. Звуки з більшою інтенсивністю маскують звуки з меншою інтенсивністю.

Кількісно маскування M оцінюється підвищенням порога чутливості, причому це підвищення максимальне на частотах, близьких до частоти, що маскує. Поріг чутливості підвищується також на частотах більш високих, ніж частота звуку, що маскує. У більшості розрахунків враховують маскування в критичній смузі слуху, що містить маскуючу частоту. При наявності шуму рівномірного спектра маскування визначається наступною формулою:

$$M = S + 10 \lg(1 + 10^{-0,1S}), \quad (1.16)$$

$$S = N_1 + k - N_c,$$

де N_1 – спектральний рівень інтенсивності звуку частотою f_1 ;
 k – логарифмічна ширина критичної смуги слуху для частоти f_1 ;
 N_c – рівень інтенсивності звуку частотою f_1 на порозі чутливості.

У якості N_1 приймають спектральний рівень інтенсивності шуму.

Знаючи величину маскування M при наявності заважаючого шуму, визначають поріг чутливості за наступною формулою:

$$N_m = N_c + M.$$

Користуючись цією формулою можна розрахувати частотну характеристику порога чутливості за наявності заважаючого шуму, для різних частот.

Явище адаптації і маскування необхідно враховувати при розробці схем телефонних апаратів. Схему телефонного апарата доцільно конструювати так, щоб у процесі телефонної передачі рівень гучності голосу абонента, що говорить перед мікрофоном, по можливості був знижений у телефоні його апарата. У протилежному випадку стомлене вухо з меншим ефектом сприймає передачу від співрозмовника.

Прослуховування особистого голосу, який проходить через схему телефонного апарата, у своєму телефоні носить назву **місцевого ефекту**. Телефонні апарати, у яких власний голос приглушений, називаються протимісцевими на відміну від апаратів з місцевим ефектом, у яких той хто говорить перед мікрофоном чує власний голос у телефоні.

Нарешті, необхідно відзначити ще одну особливість органа слуху, яка полягає в тому, що зв'язок між інтенсивністю звуку, що діє на слуховий орган, і амплітудою коливальної системи цього органу виражається нелінійною залежністю, і пояснюється тим, що коливальна система вуха не підкоряється цілком закону Гука. Унаслідок цього при звучанні тону з великою інтенсивністю звуку, що викликає значні амплітуди коливання, вухо сприймає його не в чистому вигляді, а в супроводі цілого ряду так званих суб'єктивних обертонів. Виникаючі в такий спосіб додаткові частоти спотворюють основну форму коливань і обумовлюють наявність нелінійних спотворень, що є однією з причин нерозбірливості прийнятої мови у телефоні при дуже голосній передачі перед мікрофоном на передавальному кінці.

Відношення середньої квадратичної амплітуди другої і вище гармонік до амплітуди першої (основної) гармоніки слугує мірою нелінійності системи і називається коефіцієнтом нелінійності. Коефіцієнт нелінійності, виражений у відсотках, визначається за співвідношенням

$$K_f\% = 100 \left(\sqrt{A_{m2}^2 + A_{m3}^2 + A_{m4}^2 + \dots} \right) / A_{m1}, \quad (1.17)$$

де $A_{m1}^2, A_{m2}^2, A_{m3}^2 \dots$ – амплітуди першої, другої, третьої і т.д. гармонік.

1.8. Рівні відчуття

Відчуття вухом різних звуків кількісно оцінюється рівнем відчуття. Рівнем відчуття S називають різницю рівня інтенсивності і рівня порога чутності для звуку даної частоти.

$$S = N - N_c. \quad (1.18)$$

Рівень відчуття можна виразити через інтенсивність звуку. Підставляючи у формулу (1.18) значення N і N_c з формули (1.12) маємо:

$$S = 10 \lg (j / j_0) - 10 \lg (j_{\min} / j_0) = 10 \lg (j / j_{\min}). \quad (1.19)$$

Кількісною характеристикою слухового відчуття є гучність, що залежить від інтенсивності, спектрального складу, умов відчуття і тривалості впливу звуку. Подібно інтенсивності гучність оцінюють методом порівняння, користуючись поняттям рівня гучності. **Рівнем гучності** звуку чи шуму L називають рівень інтенсивності тону частотою 1000 Гц, що відчувається з однаковою гучністю, як і даний звук чи шум. Вимірюють рівень гучності в фонах:

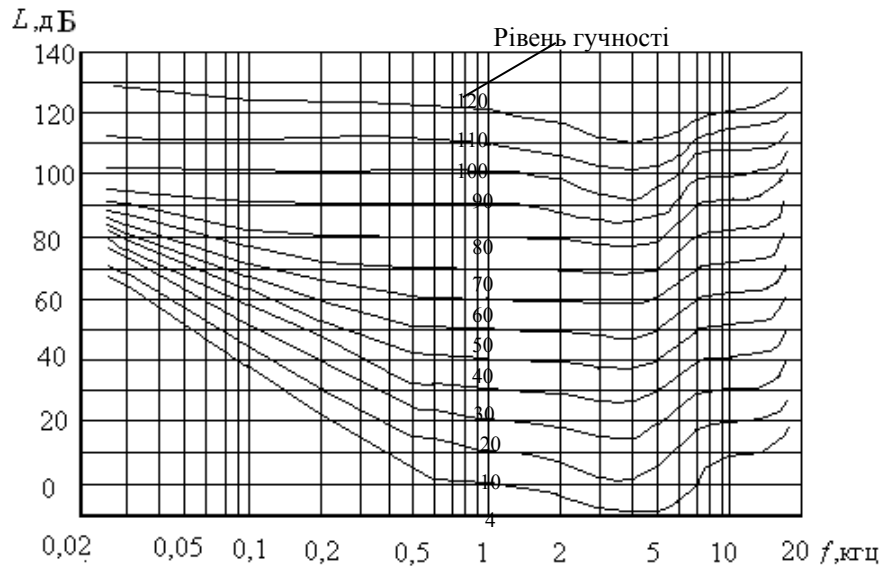


Рисунок 1.8 – Криві рівної гучності

$$L = 10 \lg (j_{1000} / j_0), \text{ фон}, \quad (1.20)$$

де j_{1000} – інтенсивність тону частотою 1000 Гц, рівногучного з вимірюваним звуком;

$j_0 = 10^{-12}$ Вт/м² – інтенсивність, що відповідає нульовому рівню.

Рівень гучності визначають за допомогою експериментально побудованої діаграми частотних характеристик рівної гучності (рис. 1.8). На кожній характеристиці зазначений рівень гучності, який буде при визначеній частоті й інтенсивності звуку, отриманих проектуванням будь-якої точки характеристики рівної гучності на осі координат. Частотна характеристика порога чутності відповідає рівню гучності 4 дБ.

В даний час для виміру гучності простих і складних звуків, а також шумів, користуються об'єктивними методами. Звукові коливання й акустичні шуми вимірюють за допомогою шумоміра. Шуми електричного походження вимірюють псофометром. Частотні характеристики шумоміра і псофометра подібні частотним характеристикам звуків рівної гучності.

При впливі на вухо звукових коливань суцільного спектра, а не однієї частоти, збільшується порушення ділянок основної мембрани внутрішнього вуха і, отже, змінюється відчуття звуку.

Результуюче відчуття приводять до деякої середньої частоти спектра, що впливає. Відчуття, викликуване цією середньою частотою, збільшується від підсумовування збуджень, викликуваних деякою обмеженою смугою частот, що характеризує інтегруючу здатність слуху і називається критичною смугою слуху Δf_k . Ширина критичної смуги слуху залежить від середньої частоти спектра, що впливає.

Оскільки сприйняття звукових коливань деякого спектра більше відчуття звукових коливань однієї частоти, то цей приріст відчуття характеризують логарифмічною шириною критичної смуги слуху:

$$k = 10 \lg \Delta f_k \text{ дБ.} \quad (1.21)$$

Рівень відчуття звуку суцільного спектра для частоти f_1 визначається наступною формулою:

$$S = N_1 + k - N_c, \quad (1.22)$$

де N_1 – спектральний рівень інтенсивності звуку частотою f_1 ;
 k – логарифмічна ширина критичної смуги слуху для частоти f_1 ;
 N_c – рівень інтенсивності звуку частотою f_1 на порозі чутливості.

Величина S , що отримана за формулою (1.22), називається ефективним рівнем відчуття звуку.

Суттєвий вплив на якість телефонного зв'язку чинять акустичні шуми в місцях розташування телефонних апаратів. Відповідно до досліджень Хота середня величина інтегрального рівня шуму в приміщеннях, де розташовані телефонні апарати, складає 60 дБ. Спектральний розподіл цього шуму приведений на рис. 1.9.

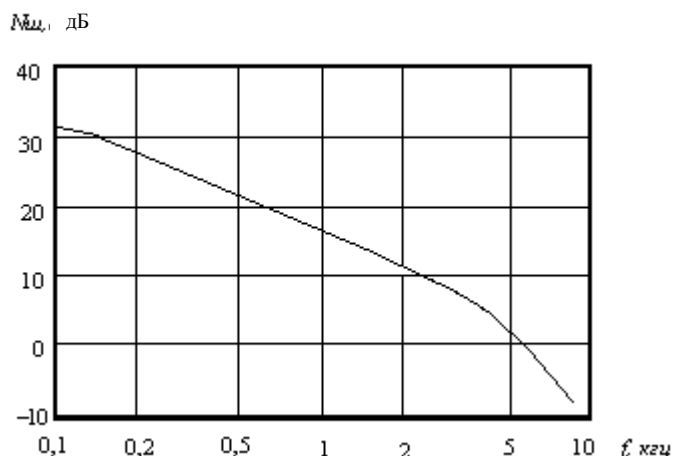


Рисунок 1.9 – Спектральна характеристика кімнатного шуму

Міжнародний Союз електрозв'язку рекомендує спектральний розподіл шуму, отриманий Хотом, використовувати для оцінки якості систем телефонної передачі. Якщо інтегральний рівень шуму відмінний від 60 дБ, то криву, зображену на рис. 1.9, рекомендується перемістити паралельно самій собі нагору чи вниз.

2. Електроакустичні перетворювачі

Пристрої, що перетворюють електричну енергію в звукову (акустичну) чи звукову в електричну, називаються електроакустичними перетворювачами.

У телефонному зв'язку для передавання мови застосовуються електроакустичні перетворювачі різних систем і типів, що класифікуються за принципом дії і призначенням.

За принципом дії перетворювачі поділяються на електромагнітні, електродинамічні, електростатичні (конденсаторні), електретні, п'єзоелектричні, вугільні, транзисторні. Перераховані системи перетворювачів, крім вугільних, електретних і транзисторних, можуть працювати в якості мікрофонів та телефонів, тому вони називаються зворотними перетворювачами. Вугільний, електретний і транзисторний перетворювачі потребують для своєї роботи джерело електроживлення і тому називаються активними.

За призначенням перетворювачі поділяються на передаючі – мікрофони і ларингофони і приймаючі – телефони та гучномовці.

2.1. Телефон

Телефон – перетворювач електричних коливань у звукові, призначений для роботи в умовах навантаження на вухо людини. Принцип дії електромагнітного телефону заснований на взаємодії магнітних потоків, створюваних постійним магнітом і електромагнітом телефону. Результатом такої взаємодії є зміна сили, що діє на феромагнітні мембрану чи якір, жорстко зв'язаний з мембраною.

Електромагнітні телефони випускаються з простою і диференційною магнітними системами. Побудова капсульного електромагнітного телефону з простою електромагнітною системою показана на рис. 2.1. Усі деталі розміщено в пластмасовому корпусі, закритому кришкою з отворами. Мембрана утримується силою постійного магніту і додатково притискається краєм кришки.

У залежності від напрямку струму в обмотці змінний магнітний потік збільшує початкову силу притягання мембрани або зменшує її. Сила, що змінюється, викликає коливання мембрани з амплітудою A_m , що супроводжується випромінюванням звукових хвиль. Оскільки сила притягання прямо пропорційна квадрату магнітного потоку, що діє на мембрану, то для синусоїдального струму, що протікає обмоткою телефону, сила визначається як:

$$F = k_{\pi} (\Phi_{\sim} + \Phi_{\sim} \sin \omega t)^2, \quad (2.1)$$

де $k_{\pi} = 1/(4\pi S)$ – коефіцієнт пропорційності; S – площа еквівалентного поперечного перерізу магнітного потоку між кінцем полюсної надставки і мембраною; $\Phi_{\sim}$ – магнітний потік, створюваний постійним магнітом телефону; $\Phi_{\sim}$ – амплітуда змінного магнітного потоку, створюваного синусоїдальним струмом, що протікає обмоткою.

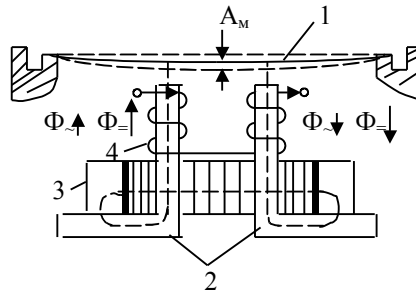


Рисунок 2.1 – Побудова електромагнітного телефону з простою електромагнітною системою:
1 – мембрана; 2 – полюсні надставки; 3 – постійний магніт;
4 – обмотка.

Розкриваючи вираз (2.1), одержуємо

$$F = k_{\pi} \Phi_{\pm}^2 + 2 k_{\pi} \Phi_{\pm} \Phi_{\sim} \sin \omega t + 0,5 k_{\pi} \Phi_{\sim}^2 - 0,5 k_{\pi} \Phi_{\sim}^2 \cos 2\omega t. \quad (2.2)$$

Вираз (2.2) указує на те, що сила F являє собою суму трьох сил:

$F_1 = 2 k_{\pi} \Phi_{\pm} \Phi_{\sim} \sin \omega t$ впливає на мембрану телефону з кутовою частотою ω , що збігається з частотою струму, який протікає обмоткою телефону;

$F_2 = 0,5 k_{\pi} \Phi_{\sim}^2 \cos 2\omega t$ призводить до нелінійних спотворень, тому що надає мембрані коливання з подвоєною частотою;

$F_3 = 0,5 k_{\pi} \Phi_{\pm}^2 + k_{\pi} \Phi_{\pm}^2$ – постійна сила, яка забезпечує прогин мембрани убік постійних магнітів.

Якщо $\Phi_{\pm} = 0$, то $F = 0,5 k_{\pi} \Phi_{\sim}^2 - 0,5 k_{\pi} \Phi_{\sim}^2 \cos 2\omega t$, тобто телефон без постійного магніту збуджує коливання з подвоєною частотою. Отже, постійний магніт у телефоні необхідний для забезпечення перетворення електричної енергії в звукову з частотою, яка відповідає частоті струму, що протікає обмоткою телефону при мінімальних припустимих нелінійних спотвореннях (2...3%) і одержання максимального акустичного ефекту, тобто максимальної чутливості телефону. Для зниження нелінійних спотворень необхідно відношення амплітуд сил F_1 та F_2 зробити як можна більшим за рахунок збільшення магнітного потоку постійного магніту $\Phi_{\pm}$. Однак збільшення $\Phi_{\pm}$ можливе тільки до оптимального його значення $\Phi_{\pm \text{опт}}$, при якому добуток магнітних потоків у мембрані телефону $\Phi_{\pm \text{м}} \Phi_{\sim \text{м}}$ є максимальним (рис. 2.2), отже, є максимальна сила F_1 і інтенсивність збуджуваного звукового поля.

Тому в телефоні застосовується постійний магніт із твердого магнітного матеріалу (альні) з високим ступенем насичення, а для забезпечення значення $\Phi_{\pm \text{опт}}$ до полюсів постійного магніту на певній відстані від мембрани прикріплюються полюсні надставки з магнітом'якого матеріалу (пермалою) певного перетину.

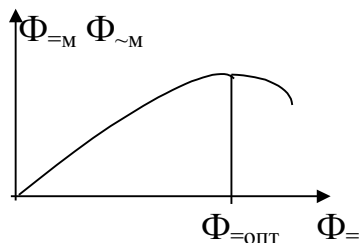


Рисунок 2.2 – Залежність добутку магнітних потоків у мембрані телефона від постійного потоку в ній

Подальше збільшення $\Phi_{\pm \text{м}}$ призводить до насичення мембрани, тобто зменшення магнітної проникності, а отже, збільшення

опору магнітного кола для змінного магнітного потоку. Добуток $\Phi_{\sim}\Phi_{\sim M}$ залежить і від властивостей матеріалу мембрани (трансформаторна сталь, перміндіур) і її товщини. Застосування полюсних надставок дозволяє одержати оптимальний магнітний потік у мембрані, підвищити акустичний ефект телефону, знизити нелінійні спотворення і втрати на гістерезис.

На рис. 2.3 показаний ескіз електромагнітного телефону з диференціальною магнітною системою. У процесі перетворення енергії яркір зазнає впливу двох сил:

$$F_1 = k_{\pi} (\Phi_{\sim} + \Phi_{\sim} \sin \omega t)^2, \quad (2.3)$$

$$F_2 = k_{\pi} (\Phi_{\sim} - \Phi_{\sim} \sin \omega t)^2. \quad (2.4)$$

Отже, сила, що діє на яркір і призводить до коливання мембрани, буде різницею цих сил:

$$F = F_1 - F_2 = 4 k_{\pi} \Phi_{\sim} \sin \omega t. \quad (2.5)$$

З отриманого виразу випливає, що в телефоні з диференціальною електромагнітною системою сила, що приводить до коливання яркір з частотою струму, що протікає обмоткою телефону, більша аналогічної сили, що діє на мембрану телефону з простою електромагнітною системою. Окрім того, відсутня сила, що викликає нелінійні спотворення.

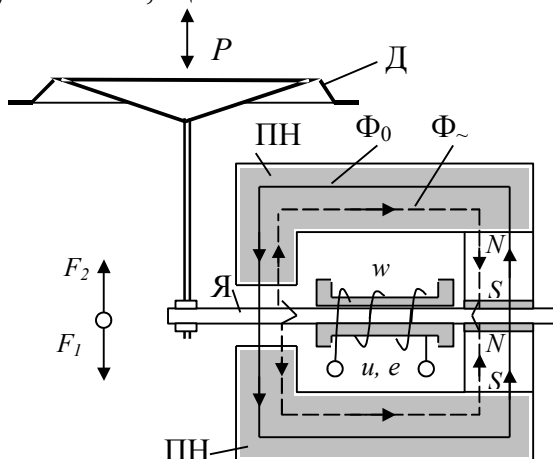


Рисунок 2.3 – Принцип побудови електромагнітного телефону з диференціальною електромагнітною системою.

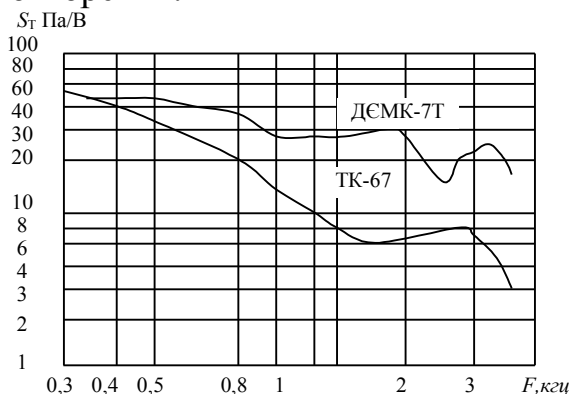


Рисунок 2.4 – Частотні характеристики чутливості телефону

Чутливістю телефону називається відношення звукового тиску P_T , що розвивається телефоном у камері штучного вуха, до величини діючого значення змінної напруги U_T , прикладеної до його затискачів, вимірюваного в Паскалях на вольт (Па/В)

$$S_T = P/U_T. \quad (2.6)$$

Штучне вуха – прилад, що імітує середнє акустичне навантаження на телефон, створюване вухом людини. Залежність чутливості телефону від частоти при постійній величині діючого значення змінної напруги на його затискачах називається частотною характеристикою чутливості телефону. Частотна характеристика резонансних телефонів відрізняється значною

нерівномірністю в області частот перетворених коливань. Частотні характеристики нерезонансних телефонів рівномірні в широкій смузі частот.

На рис. 2.4 показані частотні характеристики телефонів з диференціальною магнітною системою ДЭМК-7Т та простою магнітною системою ТК-67. Нерівномірність характеристик обумовлена резонансом мембрани телефону, тому що частота її власних коливань знаходиться в діапазоні 700...1000 Гц, і резонансом мас повітря в акустичних резонаторах акустичної системи телефону.

Нерівномірність частотної характеристики чутливості телефону оцінюється коефіцієнтом нерівномірності, дБ:

$$\Delta S_T = 20 \lg (S_{T \max} / S_{T \min}), \quad (2.7)$$

де $S_{T \max}$ і $S_{T \min}$ – максимальна і мінімальна чутливість для заданого діапазону частот f .

Середня чутливість телефону $S_{T \text{ серед.}}$ використовується для оцінки якості перетворювача в заданому діапазоні частот:

$$S_{T \text{ серед.}} = (1/n) \left(\sum_{i=1}^n S_{Ti} \right), \quad (2.8)$$

де n – кількість частот, на яких проводилися виміри S_T .

Приведена чутливість $S_{\text{пр}}$ використовується для порівняння перетворювачів з різним внутрішніми опорами.

Приведена чутливість телефону – це чутливість, що мав би телефон, якби модуль його вхідного опору дорівнював 600 Ом при тій же споживаній потужності. Отже $U_{\text{пр}}^2/600 = U_T^2/|Z_T|$. Тому що $U_{\text{пр}} = P/S_{T \text{ пр}}$ і $U_T = P/S_T$, то $P^2/S_{T \text{ пр}}^2 600 = P^2/S_T^2 |Z_T|$, звідкіля

$$S_{T \text{ пр}} = S_T \sqrt{(|Z_T| / 600)},$$

$$S_{T \text{ пр серед.}} = (1/n) \left(\sum_{i=1}^n S_{T \text{ пр} i} \right). \quad (2.9)$$

Для вирівнювання частотної характеристики чутливості телефону ТК-67 в його механіко-акустичну систему вводять акустичну перегородку, що поділяє на дві частини обсяг повітря під мембраною. В перегородці є отвори, які з'єднують обидві частини об'єму. Ці отвори затягнуті шовком. Перегородка виготовляється з пластмаси і кладеться в спеціальний паз корпусу телефону таким чином, щоб полюсні надставки небагато виступали над нею. Завдяки застосуванню цієї перегородки чутливість телефону на частоті власних коливань мембрани різко знижується, а чутливість в області низьких і високих частот трохи зростає, що призводить до вирівнювання частотної характеристики, тобто зменшується ΔS_T . Це відбувається тому, що обсяг повітря між мембраною й акустичною перегородкою разом з повітрям, що коливається в отворах акустичної перегородки, демпфірує коливання мембрани на резонансній частоті.

Акустичне коректування знижує величину $S_{T \text{ серед.}}$, тому акустична корекція застосовується в телефонах з високою середньою чутливістю, яку

можна одержати при виготовленні телефону з більш якісних матеріалів. Це, у свою чергу, збільшує вартість телефону. У табл. 2.1 наведені параметри телефонів, застосовуваних у даний час в електромеханічних телефонних апаратах.

Таблиця 2.1 – Параметри телефонів

Тип	Середня чутливість $S_{T \text{ серед}}$, Па/В	Нерівномірність ΔS_T , дБ
ТА-4	6	14
ТК-67	15	20
ДЕМК-7Т	22	8

2.2 Мікрофон

Пристрій, що призначений для перетворення звукових коливань мови в електричні сигнали, називають мікрофоном. Мікрофони можуть бути вугільними, конденсаторними, електретними, транзисторними, електромагнітними, електродинамічними і п'єзоелектричними.

Найбільше поширення в електромеханічних телефонних апаратах загального користування одержали вугільні мікрофони. Вугільні мікрофони виконуються у виді капсулів, що вставляються в слухавку. До 1970 року вироблялися капсульні мікрофони типу МК-10, що знаходяться в експлуатації дотепер. З 1969 року випускалися тільки мікрофонні капсулі з поліпшеними характеристиками типу МК-16. Устрій вугільного мікрофона і включення його

в електричне коло представлено на рис. 2.5.

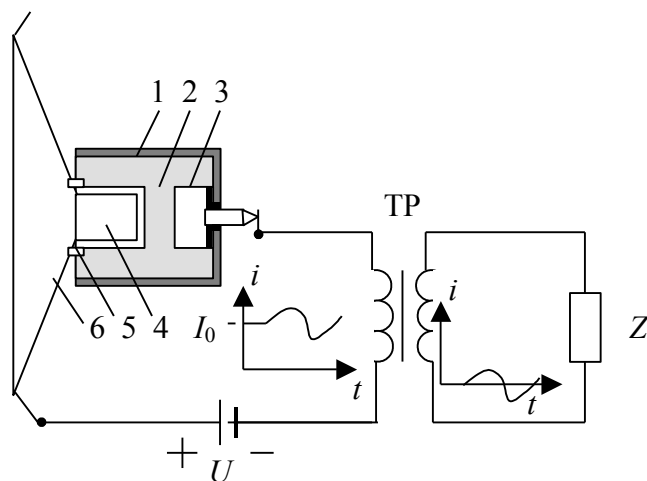


Рисунок 2.5 – Побудова вугільного мікрофона:

1 – корпус вугільної комірки; 2 – вугільний порошок; 3 – нерухомий електрод; 4 – рухомий електрод; 5 – полістиролове кільце; 6 – мембрана.

Вугільний мікрофон – незворотний активний перетворювач звукових коливань в електричні. Принцип його дії заснований на властивості вугільного порошку змінювати свій опір електричному струму в залежності від величини тиску на порошок, який викликає його ущільнення і розпушення.

За відсутності звукових коливань мембрана мікрофона знаходиться в стані спокою, а в колі мікрофона під впливом напруги U протікає постійний струм живлення мікрофона I_0 . При розмові перед мембраною мікрофона утвориться звукове поле, змінний звуковий тиск якого діє на мембрану мікрофона. При збільшенні

тиску на мембрану остання прогинається убік вугільного порошку, внаслідок чого струм у колі мікрофона зростає. При зменшенні тиску на мембрану відбувається розпушення вугільного порошку, збільшення опору мікрофона і зменшення струму в його колі. Таким чином, внаслідок коливань мембрани мікрофона в первинній обмотці трансформатора протікає струм, який змінюється за величиною і постійний за напрямком, що називається пульсуючим. Змінна складова цього струму у вторинній обмотці трансформатора наводить змінну електрорушійну силу (ЕРС) звукової частоти, наявність якої призводить до появи струму в колі навантажувального опору Z . Вугільний мікрофон може перетворювати звукові коливання в електричні тільки за умови електроживлення його від джерела постійної ЕРС. Опір вугільного мікрофона залежить від його стану (статичного при відсутності звукового тиску чи динамічного при його наявності), величини струму електроживлення мікрофона, положення мікрофона в просторі, конструкції вугільної комірки мікрофона, сорту вугільного порошку і відстані між електродами.

У найпростішому випадку, при впливі на мікрофон гармонійного звукового коливання в умовах лінійної залежності опору вугільного порошку від зміни звукового тиску, опір мікрофона в динамічному режимі визначається за формулою:

$$R_M = R_D \pm r_M \sin \omega t,$$

де r_M – амплітуда змінної складової опору мікрофона; R_D – середнє значення опору мікрофона в динамічному режимі.

Зміна опору мікрофона під дією звукового тиску представлена на рис. 2.6. У статичному стані мікрофона опір його практично не є постійним, а зазнає нерегулярних змін, викликаних безупинною зміною контактних «містків» між вугільними зернами порошку. Це призводить до утворення ЕРС власного шуму мікрофона величиною 0,05...0,5 мВ. Електрорушійна сила власного шуму мікрофона зростає зі збільшенням статичного опору R_C і струму електроживлення мікрофона.

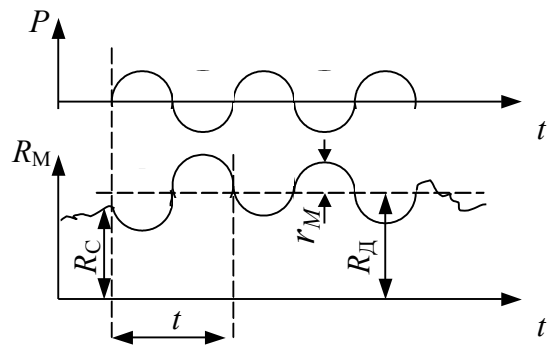


Рисунок 2.6 – Опір мікрофона в статичному та динамічному режимах

Статичне R_C і динамічне R_D опору мікрофона зі збільшенням струму електроживлення зменшується, тому що вугілля має негативний температурний коефіцієнт, а нагрівання вугільних зерен призводить до створення стійких контактних містків зі зниженим опором. При великих струмах електроживлення відбудеться спікання зерен і мікрофон вийде з ладу.

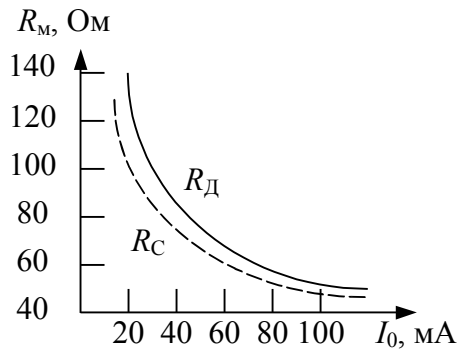


Рисунок 2.7 – Залежність опорів R_C і R_D середньоомного мікрофона від струму електроживлення

Залежність опору мікрофона від положення в просторі оцінюється коефіцієнтом положення.

$$K_{\Pi} = R_{M \alpha = 0}^{\text{пол}} / R_{M \alpha = 90}^{\text{пол}}, \quad (2.10)$$

де $R_{M \alpha = 0}^{\text{пол}}$ – опір мікрофона в горизонтальному положенні; $R_{M \alpha = 90}^{\text{пол}}$ – те ж у вертикальному. Для мікрофона МК-10 $K_{\Pi} \leq 5$, для МК-16 $K_{\Pi} \leq 1,5$. Коефіцієнт положення знижується шляхом втоплювання рухливого електрода в комірку з вугільним порошком.

Сорт вугільного порошку також впливає на величину опору мікрофона, який, у свою чергу, визначає його маркірування. Застосовуються вугільний порошок двох сортів з діаметром зерен 0,2 і 0,35 мм. Чим крупніші зерна, тим менше опір мікрофона. Опір низькоомних мікрофонів (НО) складає 30...65 Ом, струм електроживлення 20...80 мА. А високоомних (ВО) відповідно 145...300 Ом, 12...25 мА. Мікрофони НО встановлюються в апаратах МБ, а ВО – в апаратах ЦБ.

Нижня межа I_0 визначається мінімально припустимими чутливістю і ЕРС мікрофона, верхня – максимально припустимим рівнем власного шуму мікрофона. Власний шум вугільного мікрофона майже не робить впливу на якість передачі при напрузі на одне зерно вугільного порошку в колі між електродами $U_1 \leq 1$ В. Електричне коло мікрофона можна представити у вигляді рис. 2.8.

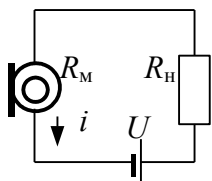


Рисунок 2.8 – Схема вмикання мікрофона на активне навантаження

Мікрофон працює на навантаження R_H і знаходиться під дією синусоїдального звукового тиску, що змінюється, $p = P_M \sin \omega t$. Струм у мікрофонному колі такий:

$$I = U / (R_H + R_M) = U / (R_H + R_D - r_m \sin \omega t) \quad (2.11)$$

Якщо позначити $R = R_H + R_D$ і $m = r_m / R$, то

$$i = U / R (1 - m \sin \omega t) \quad (2.12)$$

Величина m називається коефіцієнтом модуляції, що залежить від чутливості мікрофона і від інтенсивності звуку, що діє на його мембрану. Розкладаючи вираз (2.12) у ступеневий ряд, одержуємо

$$i = U (1 + m \sin \omega t + m^2 \sin^2 \omega t + m^3 \sin^3 \omega t + \dots) / R \quad (2.13)$$

Звідси видно, що мікрофон у процесі перетворення енергії вносить у тракт передачі нелінійні спотворення (15...20%). Для їхнього зниження необхідно, щоб r_m було малим в порівнянні з величиною $R = R_H + R_D$, тобто $m < 1$. Голосна розмова збільшує коефіцієнт модуляції, але знижує розбірливість мовлення. Для сучасних мікрофонів $m \approx 0,2$, тому

$$i = U (1 + m \sin \omega t) / R = U / R + U (m \sin \omega t) / R = I_0 + (I_0 r_m \sin \omega t) / R = I_0 + I_0 m \sin \omega t = I_0 + i_{\sim} \quad (2.14)$$

Другий доданок у виразі (2.14) є змінною складовою струму мікрофонного кола і дозволяє визначити ЕРС мікрофона.

Електрорушійна сила мікрофона

$$e_m = (R I_0 r_M \sin \omega t) / R = I_0 r_M \sin \omega t. \quad (2.15)$$

З виразу (2.15) видно, що величина e_m пропорційна току електроживлення I_0 і амплітуді змінної складової опору мікрофона r_M , що у свою чергу залежить від звукового тиску (рис. 2.9, а і б).

При невеликих звукових тисках ЕРС мікрофона змінюється незначно внаслідок невеликої зміни опору r_M вугільного порошку. Величина звукового тиску $P_1 = 0,003$ Па, при якому ЕРС починає зростати прямо пропорційно звуковому тиску, називається порогом чутливості мікрофона. Верхня межа звукового тиску $P_2 = 10$ Па, при якій ЕРС мікрофона практично перестає рости, характеризує перевантаження мікрофона.

Мікрофон не тільки перетворює енергію, але і є підсилювачем потужності з коефіцієнтом підсилення, що дорівнює відношенню $W_{\sim E} / W_{\sim B}$, де $W_{\sim E}$ – середня потужність, що віддається мікрофоном у погоджене навантаження, рівна $1 \text{ мВт} = 10^{-3} \text{ Вт}$;

$W_{\sim B}$ – середня потужність звукових коливань, що діють на мембрану мікрофона, рівна $1 \text{ мкВт} = 10^{-6} \text{ Вт}$.

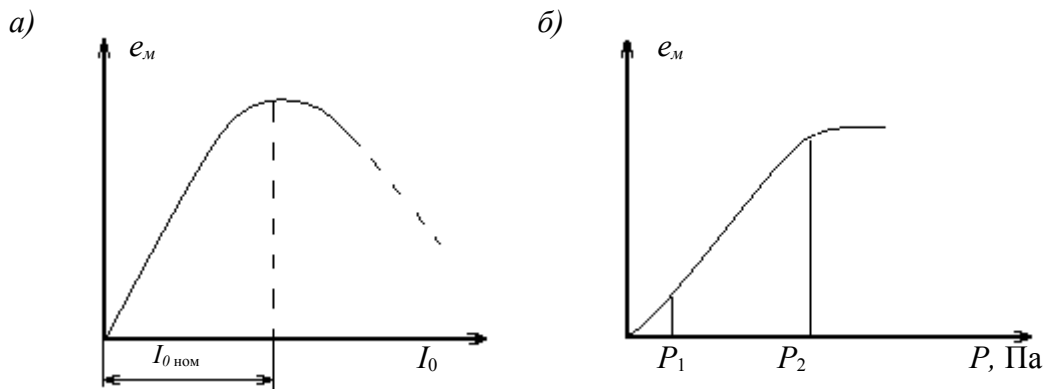


Рисунок 2.9 – Залежність ЕРС мікрофона від струму електроживлення (а) і звукового тиску (б)

Потужність $W_{\sim E}$ розраховується у відповідності до схеми рис. 2.8 при $R_H = R_d$ і $i_{\sim} = I_0 m \sin \omega t$ за формулою

$$W_{\sim E} = I_0^2 m^2 R_d / 2 = 0,5 W_0 m^2, \quad (2.16)$$

де $W_0 = I_0^2 R_d$ – потужність, споживана мікрофоном від джерела електроживлення. Отриманий вираз є справедливим і при роботі мікрофона на неузгоджене навантаження, тобто за умови $R_H \neq R_d$. У сучасних телефонних апаратах при середній гучності розмови мікрофоном розвивається потужність $0,5 \dots 2 \text{ мВт}$.

Чутливістю мікрофона називається відношення діючого значення ЕРС E_M , що розвивається мікрофоном, до звукового тиску P , що діє на його мембрану й обмірюваному в тій точці поля, у якій поміщений мікрофон.

$$S_M = E_M / P. \text{ (В/Па).} \quad (2.17)$$

Залежність чутливості мікрофона від частоти при постійній величині звукового тиску називається частотною характеристикою чутливості мікрофона (рис. 2.10).

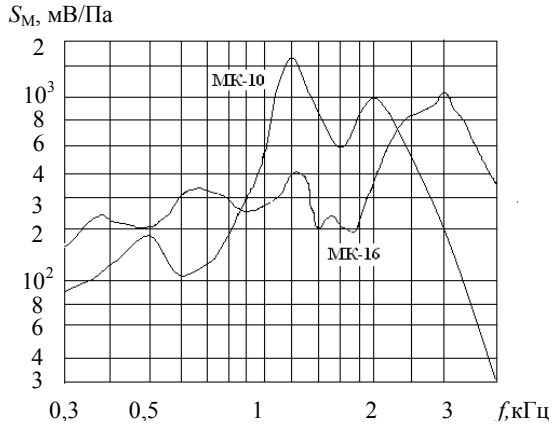


Рисунок 2.10 – Частотні характеристики чутливості мікрофонів

Частотні характеристики мікрофонів мають нерівномірний характер, що обумовлений резонансними властивостями окремих елементів мікрофона. Максимальна чутливість на частотах 1200...1600 Гц виникає внаслідок збігу частоти звукових коливань із власною частотою коливання мембрани. Для забезпечення ж рівномірного перетворення частот розмовного спектра мікрофони і телефони конструюють таким чином, щоб у діапазоні переданих частот мінімальним значенням чутливості телефону відповідали б максимальні значення чутливості мікрофона. Коефіцієнт нерівномірності частотної характеристики чутливості мікрофона, дБ:

$$\Delta S_M = 20 \lg(S_{M \max} / S_{M \min}), \quad (2.18)$$

де $S_{M \max}$ і $S_{M \min}$ – відповідно максимальна і мінімальна чутливості мікрофона в заданому діапазоні частот. Мікрофони характеризуються середньою чутливістю в заданому діапазоні частот.

$$S_{M \text{ серед.}} = 1/n \sum_{i=1}^n S_{Mi} \quad (2.19)$$

Приведена чутливість – це чутливість, яку мав би мікрофон при внутрішньому опорі 1 Ом і збереженні потужності, що віддається.

З урахуванням сказаного можна записати:

$$E_M^2 / R_D = E_{M.пр}^2 / 1. \quad (2.20)$$

Оскільки $E_M = S_M P$, а при $P = 1$ $E_M = S_M$,

$$S_M^2 / R_D = S_{M.пр}^2, \quad (2.21)$$

звідкіля

$$S_{M.пр} = S_M \sqrt{R_D} \quad (2.22)$$

У табл. 2.2 наводяться параметри мікрофонів деяких типів.

Таблиця 2.2 Параметри вугільних мікрофонів

Тип	Середня чутливість, мВ/Па	Нерівномірність, дБ
МК-10	25...30	34.5
МК-16	45...55	12...15

Якість вугільного мікрофона можна поліпшити зниженням нестабільності його параметрів у часі і залежності опору мікрофона R_M від положення його в просторі, герметизацією вугільного порошку, зменшенням

амплітудно-частотних і нелінійних спотворень. Це досягається поліпшенням якості вугільного порошку, підбором розмірів і форми електродів і комірки, удосконалюванням акустичної системи мікрофона. Частотна характеристика чутливості мікрофона вирівнюється шляхом поліпшення акустичної системи мікрофона. Для посилення звукових коливань у тій чи іншій області частот мікрофон забезпечується рупором. Перелічені вище методи поліпшення якості мікрофона реалізовано в конструкції мікрофона МК-16. Вугільний мікрофон широко застосовується для телефонної передачі мовлення, тому що має порівняно низьку вартість, просту побудову і здатність підсилювати коливання. Однак, поряд з цими цінними властивостями, вугільний мікрофон має недоліки: нестабільність характеристик у часі, значні нелінійні спотворення, що вносяться мікрофоном у тракт передачі, залежність параметрів мікрофона від його положення в просторі, спікання й гігроскопічність зерен вугільного порошку.

Електретні мікрофони МКЭЗ, МКЭ7 позбавлені деяких недоліків вугільних мікрофонів. Вони мають більш рівномірну частотну характеристику при меншій чутливості. Електрет є поляризованим діелектриком, що має незникаючий поверхневий заряд σ (Кул/м²) і виготовляється з карнаубського воску, різних полімерів (полівінілхлорид і ін.), неорганічних діелектриків (тетанію, магнію, цинку, кальцію, барію й ін). Електретна поляризована плівка з металевим шаром на одній з її поверхонь, нанесеним напилюванням чи випалюванням, виконує функції мембрани і рухомого електрода. На цій поверхні індукується заряд з поверхневою щільністю $\sigma_{\text{інд}}$ і знаком, протилежним знаку заряду, що є на поверхні електрета, а на нерухомому металевому електроді накопичується заряд, рівний за величиною, але зворотний за знаком $\sigma_{\text{інд}}$. Електроди з'єднуються між собою через великий опір R , тому мікрофонне коло для змінного струму можна вважати розімкнутим. При коливаннях рухомого електрода (мембрани) на резисторі з опором R створюється змінна ЕРС. Електретний мікрофон із транзисторним підсилювачем монтується в капсулі стандартної конструкції для можливості заміни вугільного мікрофона в слухавці телефонного апарата.

В останні роки поряд з електретними мікрофонами використовують й динамічні та конденсаторні мікрофони. Такі мікрофони, особливо конденсаторний, мають низьку чутливість при малому коефіцієнті нерівномірності частотної характеристики. Для підвищення чутливості названих мікрофонів використовуються підсилювачі, які побудовані на транзисторах чи мікросхемах, рис. 2.11. Оскільки конденсаторний мікрофон має значний внутрішній опір, то перший каскад підсилювача виконано на польовому транзисторі $VT1$. На транзисторах $VT2$ та $VT3$ виконано вихідний каскад підсилювача. Живлення підсилювача здійснюється зі входів $M1$ і $M2$, які є одночасно виходами підсилювача і вмикаються через міст із діодів $VD1...VD2$. Міст із діодів забезпечує ввімкнення підсилювача в схему телефонного апарата незалежно від полярності живлення. Підсилювач разом з мікрофоном може виконуватись у вигляді капсуля й вставлятись у слухавку замість вугільного мікрофона.

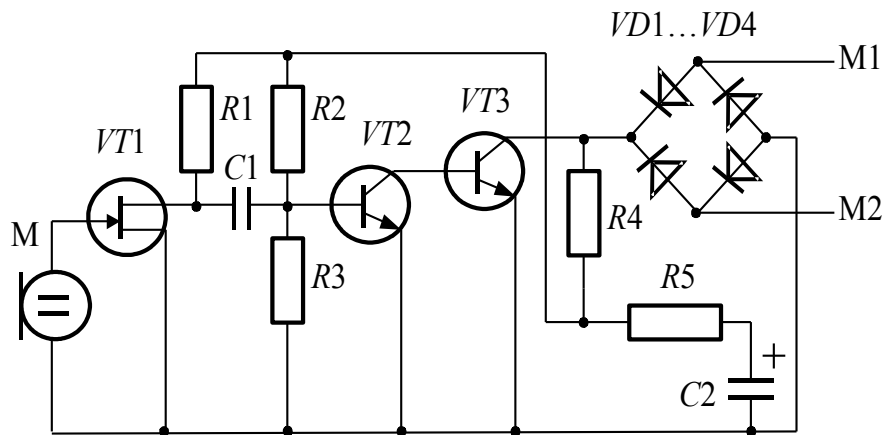


Рисунок 2.11 – Підсилювач конденсаторного мікрофону

3 Ключові запитання

1. Як створюються звуки мови та як вони сприймаються людиною?
2. Що таке звукова хвиля?
3. Що таке звукове поле?
4. Що таке звуковий тиск та які є види звукових тисків?
5. Якими одиницями вимірюється звуковий тиск?
6. Що таке інтенсивність звуку та які одиниці вимірювання інтенсивності?
7. На які мінімальну та максимальну інтенсивності звуку реагує вухо людини?
8. Як розповсюджується звуковий тиск навколо голови людини, яка веде розмову?
9. Що таке форманти звуку?
10. На основі чого визначено спектр стандартного каналу тональної частоти?
11. Який склад органу слуху людини?
12. Який діапазон слухового сприйняття?
13. Що таке маскування звуку та як воно впливає на сприйняття мовлення?
14. Якими одиницями вимірюється гучність звуку?
15. Що таке адаптація слуху та як вона впливає на сприйняття мовлення?
16. Які є типи мікрофонів, що використовуються в телефонних апаратах та який принцип їх роботи?
17. Який принцип роботи телефонів з простою магнітною системою та з диференціальною магнітною системою?
18. Які характеристики мікрофонів та телефонів, як електроакустичних перетворювачів?
19. Для чого в електромагнітних телефонах використовується постійний магніт?

Тест для перевірки вивчення програми модуля 1

1. Якою частотою надсилається “Сигнал станції”?
 - 1.1. 25 Гц.
 - 1.2. 325 Гц.
 - 1.3. 425 Гц.
 - 1.4. 825 Гц.
2. Якою напругою надсилається “Сигнал станції”?
 - 2.1. 1 В.
 - 2.2. 5 В.
 - 2.3. 50 В.
 - 2.4. 100 В.
3. Якою частотою надсилається сигнал “Зайнято”?
 - 3.1. 25 Гц.
 - 3.2. 325 Гц.
 - 3.3. 425 Гц.
 - 3.4. 825 Гц.
4. З якою періодичністю надсилається сигнал Зайнято?
 - 4.1. 0,1 с.
 - 4.2. 0,3 с.
 - 4.3. 1 с.
 - 4.4. 4 с.
5. Якою напругою надсилається “Сигнал виклику”?
 - 5.1. 1 В.
 - 5.2. 5 В.
 - 5.3. 50 В.
 - 5.4. 100 В.
6. З якою періодичністю надсилаються “Сигнал виклику” (НВ) та “Сигнал контролю виклику” (КНВ)?
 - 6.1. 0,5 с НВ та 0 с перерва.
 - 6.2. 1с НВ та 1 с перерва.
 - 6.3. 4 с НВ та 1 с перерва.
 - 6.4. 1 с НВ та 4 с перерва.
7. З якою частотою передаються імпульси номера декадно-шлейфовим кодом?
 - 7.1. 1 Гц.
 - 7.2. 10 Гц.
 - 7.3. 25 Гц.
 - 7.4. 425 Гц.
8. Який імпульсний коефіцієнт декадно-шлейфового коду (ДКШ)?
 - 8.1. 1.
 - 8.2. 1,5.
 - 8.3. 2.
 - 8.4. 2,5.
9. Яке значення мінімального міжсерійного інтервалу для ДКШ?
 - 9.1. 100 мс.

- 9.2. 300 мс.
 - 9.3. 600 мс.
 - 9.4. 900 мс.
10. Скільки частот використовується для передавання номера кодом *DTMF*?
- 10.1. 2.
 - 10.2. 4.
 - 10.3. 6.
 - 10.4. 8.
11. Скільки частот використовується для передавання однієї цифри кодом *DTMF*?
- 11.1. 1.
 - 11.2. 2.
 - 11.3. 3.
 - 11.4. 4.
12. Який час передавання однієї цифри кодом *DTMF*?
- 12.1. 10 мс.
 - 12.2. 50 мс.
 - 12.3. 100 мс.
 - 12.4. 500 мс.
13. Яке визначення комутаційного елемента вірне?
- 13.1. Пристрій, що забезпечує замикання, розмикання чи перемикавання електричних кіл, що ввімкнені до його входів, при надходженні в пристрій керувального сигналу.
 - 13.2. Пристрій, що забезпечує ізолювання електричних кіл, що ввімкнені до його входів, при надходженні в пристрій керувального сигналу.
 - 13.3. Пристрій, що забезпечує керування струмом в колах, які ввімкнені на входи й виходи.
 - 13.4. Пристрій, що забезпечує захист електричних кіл, які ввімкнені до входів та виходів.
14. Які структурні параметри комутаційних приладів?
- 14.1. n, m, l, D .
 - 14.2. R_3, R_0, K, α .
 - 14.3. $U_{ж}, I_{п}, P, R_{обм}$, МРС.
 - 14.4. $t_{пер}, t_{служ}$.
15. Які електричні параметри комутаційних приладів?
- 15.1. n, m, l, D .
 - 15.2. $R_3; R_0; K; \alpha; U_{ж}; I_{п}; P; R_{обм}$; МРС.
 - 15.3. $N; M; L$.
 - 15.4. $t_{пер}; t_{служ}$.
16. Які елементи входять до складу електромагнітних реле?
- 16.1. Електромагніти піднімання та кручення, ламелі та щітки.
 - 16.2. Електромагніти обирання, утримання та перемикавання.
 - 16.3. Обмотки, якорі, контактні пружини.
 - 16.4. Електромагніти піднімання та кручення, контактне поле та щітки.
17. Які типи електромагнітних реле використовуються в АТС?
- 17.1. РЕН, РЕС-10, РЕС-15.

- 17.2. РПН, РЕС-9, РЕС-14.
- 17.3. РЕС-49, РЕС-50, РЕС-55.
- 17.4. ТРМ, РПС-4, РП-5.

18. Яку кількість незалежних обмоток можна розмістити у реле типу РПН?

- 18.1. 1.
- 18.2. 2.
- 18.3. 3.
- 18.4. 4.

19. Яку кількість незалежних обмоток можна розмістити у реле типу РЕС-14?

- 19.1. 1.
- 19.2. 2.
- 19.3. 3.
- 19.4. 4.

20. Яка максимальна кількість контактних пружин у реле типу РПН?

- 20.1. 6.
- 20.2. 12.
- 20.3. 18.
- 20.4. 24.

21. Яка максимальна кількість контактних пружин у реле типу РЕС-14?

- 21.1. 6.
- 21.2. 12.
- 21.3. 18.
- 21.4. 24.

22. Яку магнітну властивість мають осердя та якір електромагнітних реле РПН та РЕС-14?

- 22.1. Магнітом'який матеріал з петлею гістерезису, що проходить через нуль.
- 22.2. Магнітний матеріал з прямокутною петлею гістерезису.
- 22.3. Магнітонейтральний матеріал з малим опором електричному струму.
- 22.4. Магнітонейтральний матеріал з великим опором електричному струму.

23. Які властивості має матеріал контактних пружин електромагнітних реле?

- 23.1. Магнітний матеріал з прямокутною петлею гістерезису та великим опором електричному струму.
- 23.2. Магнітонейтральний матеріал з малим опором електричному струму.
- 23.3. Магнітом'який матеріал з петлею гістерезису, що проходить через нуль та з малим опором електричному струму.
- 23.4. Магнітонейтральний матеріал з великим опором електричному струму.

24. Які властивості мають контактні пружини герконових реле?

- 24.1. Магнітний матеріал з прямокутною петлею гістерезису та великим опором електричному струму.
- 24.2. Магнітонейтральний матеріал з малим опором електричному струму.
- 24.3. Магнітом'який матеріал з петлею гістерезису, що проходить через нуль та з малим опором електричному струму.
- 24.4. Магнітонейтральний матеріал з великим опором електричному струму.

25. Яким газом наповнений балон геркона?

- 25.1. Киснем.
- 25.2. Воднем

- 25.3. Вуглекислим.
- 25.4. Аргоном.
- 26. Які шукачі є кроковими?
 - 26.1. ШК-11, ШК-17.
 - 26.2. ДКШ-100.
 - 26.3. ШК-50.
 - 26.4. ДТС-100.
- 27. Які шукачі є декадно-крокові?
 - 27.1. ШК-11, ШК-17.
 - 27.2. ДКШ-100.
 - 27.3. ШК-50.
 - 27.4. ДТС-100.
- 28. Яка ємність у поля декадно-крокового шукача (ДКШ)?
 - 28.1. 50.
 - 28.2. 100.
 - 28.3. 200.
 - 28.4. 500.
- 29. Які електромагніти є у двопозиційного багатократного координатного з'єднувача (БКЗ)?
 - 29.1. ЕО, ЕУ.
 - 29.2. ЕО, ЕУ, ЕП.
 - 29.3. ЕК, ЕП.
 - 29.4. ЕК, ЕУ.
- 30. Які електромагніти є у трипозиційного БКЗ?
 - 30.1. ЕО, ЕУ.
 - 30.2. ЕО, ЕУ, ЕП.
 - 30.3. ЕК, ЕП.
 - 30.4. ЕК, ЕУ.
- 31. Яка ємність вертикалі у двопозиційного БКЗ з 5 обираючими рейками?
 - 31.1. 5.
 - 31.2. 10.
 - 31.3. 15.
 - 31.4. 20.
- 32. Яка ємність вертикалі у трипозиційного БКЗ з 5 обираючими рейками та однією перемикаючою рейкою?
 - 32.1. 5.
 - 32.2. 10.
 - 32.3. 15.
 - 32.4. 20.
- 33. Який шукач можна використовувати для побудови АТС ємністю 10 номерів.
 - 33.1. ШК-11.
 - 33.2. ШК-17.
 - 33.3. ШК-25.
 - 33.4. ДКШ -100

34. У які прилади надходять імпульси набирання номера в АТС з безпосереднім керуванням.
- 34.1. У шукачі попереднього пошуку.
 - 34.2. У шукачі групового та лінійного пошуку.
 - 34.3. У реєстри.
 - 34.4. У маркери.
35. Які шукачі необхідно використати для АТС ємністю 100 номерів?
- 35.1. ШК-11.
 - 35.2. ШК-17.
 - 35.3. ШК-25.
 - 35.4. ДКШ -100.
36. Для чого використовується ступінь групового пошуку?
- 36.1. Для організації груп абонентів.
 - 36.2. Для збільшення ємності станції.
 - 36.3. Для здійснення вільного пошуку.
 - 36.4. Для лінійного пошуку абонентських ліній.
37. Які види пошуку використовуються на ступені попереднього пошуку?
- 37.1. Вільний.
 - 37.2. Примусовий.
 - 37.3. Примусовий та вільний.
 - 37.4. Обумовлений.
38. Які види пошуку використовуються на ступені групового пошуку?
- 38.1. Вільний.
 - 38.2. Примусовий.
 - 38.3. Примусовий та вільний.
 - 38.4. Обумовлений.
39. Які види пошуку використовуються на ступені лінійного пошуку?
- 39.1. Вільний.
 - 39.2. Примусовий
 - 39.3. Примусовий та вільний.
 - 39.4. Обумовлений.
40. У який пристрій поступають імпульси набирання номера в АТС з реєстровим керуванням?
- 40.1. У маркери.
 - 40.2. У керувальний пристрій шукача.
 - 40.3. У реєстри.
 - 40.4. У шнуровий комплект.
41. Для чого використовуються реєстри в АТС з реєстровим керуванням.?
- 41.1. Для прийняття адресної інформації.
 - 41.2. Для керування з'єднаннями.
 - 41.3. Для прискорення процесу встановлення з'єднання.
 - 41.4. Для централізації керування з'єднаннями.
42. Який перший керувальний сигнал передає маркер групового пошуку реєстру?
- 42.1. Розпочати видавання адресної інформації.
 - 42.2. Видати першу цифру декадними імпульсами.

- 42.3. Видати першу цифру кодом.
- 42.4. Видати першу й наступні цифри декадними імпульсами.
- 43. Який керувальний сигнал передає маркер реєстру по завершенні повного встановлення з'єднання?
 - 43.1. Звільнити реєстр.
 - 43.2. Абонент зайнятий.
 - 43.3. Абонент вільний.
 - 43.4. Закінчити видавання адресної інформації.
- 44. У якому пристрої відображується стан усіх ліній та комплектів в системах комутації з централізованим керуванням?
 - 44.1. У блоці абонентських ліній.
 - 44.2. У боці з'єднувальних ліній.
 - 44.3. У ПНН.
 - 44.4. У пам'яті ЦКП.
- 45. Із якого пристрою отримує абонент "Сигнал станції" в системах комутації з централізованим керуванням?
 - 45.1. Із АК.
 - 45.2. Із БАЛ.
 - 45.3. Із ВШК.
 - 45.4. Із ПНН.
- 46. У який спосіб номер, що набирається абонентом ДКШ, передається від ПНН до ЦКП?
 - 46.1. Методом опитування точки сканування в ПНН.
 - 46.2. Кодованим методом.
 - 46.3. Трансляванням декадних імпульсів із ПНН.
 - 46.4. Батарейними імпульсами.
- 47. Яке визначення комутаційного блока вірне?
 - 47.1. Сукупність комутаційних приладів, які мають усі чи частину спільних входів та виходів.
 - 47.2. Схема побудована на комутаційних приладах.
 - 47.3. Комутаційний прилад, який має один вхід та кілька виходів.
 - 47.4. Комутаційний прилад, який має кілька входів та кілька виходів.
- 48. Яке визначення комутатора вірне?
 - 48.1. Пристрій, який забезпечує з'єднання абонентських ліній.
 - 48.2. Однокаскадна повнодоступна схема з N входами та M виходами.
 - 48.3. Багатократний координатний з'єднувач з N вертикалей ємністю M .
 - 48.4. Двокаскадна комутаційна схема на БКЗ.
- 49. Яку максимальну кількість комутаторів можна побудувати на БКЗ $10 \times 10 \times 12$?
 - 49.1. 1.
 - 49.2. 2.
 - 49.3. 3.
 - 49.4. 5.
- 50. Через скільки точок комутації встановлюється з'єднання в двокаскадних комутаційних блоках?
 - 50.1. 1.

- 50.2. 2.
- 50.3. 3.
- 50.4. 4.
51. Скільки типів двокаскадних комутаційних блоків можна побудувати на БКЗ?
- 51.1. 1.
- 51.2. 2.
- 51.3. 3.
- 51.4. 4.
52. Які комутаційні параметри двокаскадних комутаційних блоків?
- 52.1. n_a, m_a, k_a .
- 52.2. n_b, m_b, k_b .
- 52.3. N, V_{AB}, M .
- 52.4. $n_a, m_a, k_a, n_b, m_b, k_b, f$.
53. Які структурні параметри двокаскадних комутаційних блоків?
- 53.1. n_a, m_a, k_a .
- 53.2. n_b, m_b, k_b .
- 53.3. N, V_{AB}, M .
- 53.4. $n_a, m_a, k_a, n_b, m_b, k_b, f$.
54. За якою формулою обчислюється зв'язність двокаскадної схеми?
- 54.1. $f = n_a \times m_a$.
- 54.2. $f = m_a \times n_b$.
- 54.3. $f = m_a / k_b$.
- 54.4. $f = k_a \times n_b$.
55. Який параметр БКЗ є вихідним для розрахунку структурних параметрів каскаду А блока типу ПВ-ПВ?
- 55.1. Кількість виходів з комутатора m_a дорівнює кількості вертикалей БКЗ.
- 55.2. Кількість виходів з комутатора m_a дорівнює ємності вертикалі БКЗ.
- 55.3. Кількість входів в комутатор n_a дорівнює ємності вертикалі БКЗ.
- 55.4. Кількість входів в комутатор n_a дорівнює кількості вертикалей БКЗ.
56. Який параметр БКЗ є вихідним для розрахунку структурних параметрів каскаду А блока типу ВП-ВП?
- 56.1. Кількість виходів з комутатора m_a дорівнює кількості вертикалей БКЗ.
- 56.2. Кількість виходів з комутатора m_a дорівнює ємності вертикалі БКЗ.
- 56.3. Кількість входів в комутатор n_a дорівнює ємності вертикалі БКЗ.
- 56.4. Кількість входів в комутатор n_a дорівнює кількості вертикалей БКЗ.
57. Як зображується вертикаль символічним способом?
- 57.1. Кружком з рискою, яка направлена в сторону поля.
- 57.2. Кружком без риски.
- 57.3. Трикутником з рискою, яка направлена в сторону поля.
- 57.4. Трикутником без риски.
58. Як зображується поле вертикалі символічним способом?
- 58.1. Кружком з рискою, яка направлена в сторону вертикалі.
- 58.2. Кружком без риски.
- 58.3. Трикутником з рискою, яка направлена в сторону вертикалі.
- 58.4. Трикутником без риски.

59. Яке зображення комутатора символічним способом?

59.1.    ... 

59.2.   ...  

59.3.   ...  

59.4.   ...  

60. Що записується всередині кружка вертикалі?

60.1. Номер вертикалі БКЗ

60.2. Номер проміжної лінії.

60.3. Номер входу в блок.

60.4. Номер виходу з блока.

61. За рахунок чого в двокаскадній схемі виникають внутрішні блокування?

61.1. За рахунок займання проміжних ліній між каскадами.

61.2. За рахунок займання виходів блока.

61.3. За рахунок займання входів блока.

61.4. За рахунок займання входів в комутатор каскаду A .

62. Яка мінімальна доступність в двокаскадному комутаційному блоці, якщо на каскаді A $\sigma_a = V_{AB} / N < 1$?

62.1. $D = 0$.

62.2. $D = 1$.

62.3. $D = m_b$.

62.4. $D = m_b \times k_b$.

63. Яка мінімальна доступність в двокаскадному комутаційному блоці, якщо на каскаді A $\sigma_a = V_{AB} / N = 1$?

63.1. $D = 0$.

63.2. $D = 1$.

63.3. $D = m_b$.

63.4. $D = m_b \times k_b$.

64. Як змінюється мінімальна доступність двокаскадної схеми при збільшенні σ_a ?

64.1. Збільшується.

64.2. Не змінюється.

64.3. Зменшується.

64.4. Не залежить від σ_a .

65. Як змінюється середнє значення доступності в двокаскадній схемі при збільшенні зв'язності f_{AB} ?

65.1. Збільшується.

65.2. Не змінюється.

65.3. Зменшується.

65.4. Не залежить від f_{AB} .

66. Як визначається необхідна кількість БКЗ для побудови двокаскадного комутаційного блока?

66.1. За ємністю вертикалі.

66.2. За провідністю ліній, що комутуються.

66.3. За кількістю необхідних вертикалей.

66.4. За кількістю каскадів.

67. Якими одиницями вимірюється звуковий тиск?
- 67.1. Паскаль.
 - 67.2. Ньютон.
 - 67.3. Ерланг.
 - 67.4. Ват.
68. Якими одиницями вимірюється інтенсивність звуку?
- 68.1. Па/м^2 .
 - 68.2. Н/м^2 .
 - 68.3. Ерл./м^2 .
 - 68.4. Вт/м^2 .
69. Яка швидкість розповсюдження звуку в повітрі за нормальних умов?
- 69.1. 128 м/с.
 - 69.2. 343 м/с.
 - 69.3. 686 м/с.
 - 69.4. 1024 м/с.
70. Який діапазон частот сприймається вухом людини та називається звуковим діапазоном?
- 70.1. 300...3400 Гц.
 - 70.2. 50...12000 Гц.
 - 70.3. 20...20000 Гц.
 - 70.4. 16...160000 Гц.
71. Який динамічний діапазон нормального слухового сприйняття?
- 71.1. 10 дБ.
 - 71.2. 60 дБ.
 - 71.3. 120 дБ.
 - 71.4. 256 дБ.
72. Що таке маскування звуку?
- 72.1. Звуки частоти більшого рівня гучності маскують звуки меншого рівня гучності.
 - 72.2. Звуки вищої частоти маскують звуки нижчої частоти.
 - 72.3. Звуки нижчої частоти маскують звуки вищої частоти.
 - 72.4. Звуки з широким спектром маскують звук однієї частоти.
73. Що таке адаптація слуху?
- 73.1. Пристосування слуху до частоти звуку.
 - 73.2. Пристосування слуху до рівня гучності звуку.
 - 73.3. Пристосування слуху до швидкості розповсюдження звуку.
 - 73.4. Пристосування слуху до напрямку розповсюдження звуку.
74. Як визначається чутливість мікрофона?
- 74.1. Як відношення струму живлення мікрофона до опору мікрофона.
 - 74.2. Як відношення звукового тиску, який діє на мембрану мікрофона, до електрорушійної сили, що розвивається мікрофоном.
 - 74.3. Як відношення електрорушійної сили, що розвивається мікрофоном до звукового тиску, який діє на мембрану мікрофона.
 - 74.4. Як відношення електрорушійної сили, що розвивається мікрофоном до струму живлення мікрофона
75. Як визначається чутливість телефону?

- 75.1. Як відношення струму в телефоні до звукового тиску, що розвивається телефоном в камері штучного вуха під дією цього струму.
 - 75.2. Як відношення напруги звукової частоти, що підводиться до затискачів обмотки телефону, до звукового тиску, який розвивається телефоном в камері штучного вуха під дією цієї напруги.
 - 75.3. Як відношення звукового тиску, що розвивається телефоном в камері штучного вуха під дією струму звукової частоти, який протікає в обмотках телефону.
 - 75.4. Як відношення звукового тиску, що розвивається телефоном в камері штучного вуха до напруги звукової частоти, яка підводиться до затискачів обмотки телефону.
76. Для чого в телефоні використовується постійний магніт?
- 76.1. Для підвищення чутливості телефону та зменшення нелінійних спотворень звуку, який створюється телефоном.
 - 76.2. Для зменшення розмовного струму в обмотках телефону.
 - 76.3. Для зменшення нерівномірності частотної характеристики телефону.
 - 76.4. Для зменшення габаритів телефону.

Література

1. Н. Б. Покровский. Телефония. Теория и техника передачи речи. – Л.: ВАС, 1970.
2. Китаев Е. В. Телефония. Основы телефонии и телефонные станции ручного обслуживания. М.: Связьиздат, 1958.
3. Автоматическая коммутация: Учебник для вузов/ О. Н. Иванова, М. Ф. Копп, З. С. Коханова, Г. Б. Метельский; Под ред. О. Н. Ивановой. – М.: Радио и связь, 1988.
4. Автоматическая коммутация и телефония. Ч.1. Основы телефонии и автоматической коммутации/ Е. К. Кузнецов., В. Н. Рогинский, Е. В. Мархай, Е. А. Самойленко, Г. Б. Метельский, В. А. Ушаков; Под ред. Г. Б. Метельского. – М.: «Связь», 1968.
5. Автоматические системы коммутации: Учебник для вузов/ Иванова О. Н., Копп М. Ф., Коханова З. С., Метельский Г. Б.; Под ред. О. Н. Ивановой – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Связь, 1978.
6. Вемян Г. В. Качество телефонной передачи и его оценка. – М.: «Связь» 1970.
7. Иофе В. К. Электроакустика. – М.: Государственное издательство литературы по вопросам связи и радио, 1954.
8. Ушаков В. А. Основы электроакустики. Учебн. пособие для студентов 4 и 6 курсов факультета АМЭС.– М.: ВЗЭИС 1967.
9. Цвикер Э., Фельдкеллер Р. Ухо как приемник информации. Перевод с немецкого под редакцией Б. Г. Белкина. М.: «Связь», 1971.
10. Фалаган Д. Л. Анализ, синтез и восприятие речи. Перевод с английского под редакцией А. А. Пирогова. М.: «Связь», 1968.

ЗМІСТ

Передмова.....	3
Структура залікового модуля 1.....	3
Перелік знань і вмінь, які повинен здобути студент при вивченні попередніх дисциплін для засвоєння змісту модуля 1.....	4
Тематичний план лекцій модуля 1.....	5
Література	6
Рекомендації щодо самостійної роботи студента.....	6
Теми практичних занять модуля 1.....	6
Перелік лабораторних робіт модуля 1.....	6
Перелік знань і вмінь, які повинен набути студент при вивченні матеріалу модуля 1.....	7
1 Звук та його характеристики.....	8
1.1 Мовна інформація.....	8
1.2 Звукове поле.....	9
1.3 Розповсюдження звуку в просторі навколо голови.....	11
1.4 Параметри мови.....	14
1.5 Часові та енергетичні параметри.....	15
1.6 Властивості слуху та оцінка слухового відчуття.....	16
1.6.1 Орган слуху.....	16
1.6.2 Зовнішнє вухо.....	17
1.6.3 Середнє вухо.....	17
1.6.4 Внутрішнє вухо.....	18
1.7 Властивості органа слуху.....	18
1.8 Рівні відчуття.....	21
2 Електроакустичні перетворювачі.....	23
2.1 Телефон.....	24
2.2 Мікрофон.....	28
3 Ключові запитання.....	34
Тести для перевірки вивчення програми модуля 1.....	35
Література.....	45