УДК 612.85

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ СЛУХОВИХ АПАРАТІВ НА ІНТЕГРАЛЬНІЙ ЕЛЕМЕНТНІЙ БАЗІ

С. П. Новосядлий, Л. В. Мельник

Прикарпатський національний університет ім. Василя Стефаника;
76018, м. Івано-Франківськ, вул. Шевченка, 57;
тел. (0342) 71-48-48; e-mail: kre@pu.if.ua

Основне призначення слухового апарату (СА) полягає в перетворенні сигналу, який отримується джерелом звукової інформації, таким чином, щоб цей сигнал міг сприйнятися людиною з поганим слухом із достатньо високим ступенем слухового відчуття. Більша частина людей використовують СА для прослуховування мовних сигналів. В ряді випадків СА знаходить своє застосування як засіб послаблення поганих відчуттів від вушного шуму. Перетворення акустичного сигналу, що здійснюється СА, можуть мати різний характер. В найпростішому випадку – це підсилення звуків. В багатьох практичних випадках підсилення може супроводжуватись низько- або високочастотною фільтрацією, заданим обмеженням динамічного діапазону підсилювального сигналу. Існують СА з нелінійним перетворенням амплітудно-частотного спектру вхідного сигналу, антишумовою обробкою суміші сигнал-шум, паралельною обробкою сигналу в декількох частотних діапазонах. Для якісного СА важливими є стабільність частотного спектру, величина і стабільність напруги живлення (потужності споживання) та мінімальні габарити. Ці питання лежать в основі даної статті, що присвячена особливостям конструкторсько-схемотехнічного проектування СА на інтегральній елементній базі.

Ключові слова: *звукова інформація, акустичний сигнал, амплітудно-частотна характеристика, спектр, слуховий апарат.*

Вступ

Узагальнена структурна схема слухового апарату (СА) наведена на рис.1. Вхідний сигнал може бути акустичним або електромагнітним. У відповідності з такою схемою перетворювачі вхідного сигналу – це мікрофон або котушка індуктивності. Крім цього, СА часто має ще електричний вхід, через який вхідний сигнал (для приладу, з виходу підсилювача звукової частоти телевізора або іншої побутової техніки) може через кабельний перехідний пристрій подаватись безпосередньо на блок обробки сигналів. Як вхідний перетворювач використовується телефон або кістковий вібратор. Це залежить від того, для якого виду звукопроведення (повітряного чи кісткового) призначений СА. Звуковий сигнал, який формується телефоном, вводиться певним способом у вухо люди-

ни. Механічні коливання, що спотворюються кістковим вібратором, через сосковий перехідник передаються в область середнього і внутрішнього вуха, де і створюються слухові відчуття.

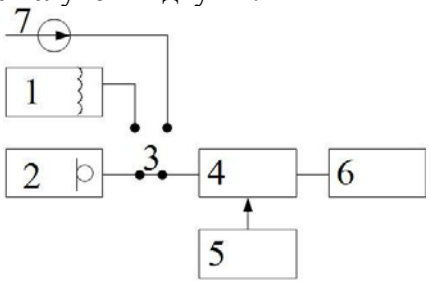


Рис.1. Функціональна структурна схема слухового апарату (СА): 1,2 – перетворювачі вхідного сигналу; 3 – перемикач; 4 – блок обробки сигналу; 5 – блок живлення; 6 – вихідний перетворювач сигналу; 7 – електричний вхід

Режими роботи СА від мікрофона є, як правило, основним і дозволяє безпосередньо сприймати голос співрозмовника та навколишні звуки, важливі для користувача СА. Можливість перемикання у режим від індуктивної котушки дає змогу людині зі слабким слухом вести телефонні перемовини, слухати без завад звуковий супровід під час перегляду фільмів у кінотеатрах чи телевізійних передач. Крім цього, режим роботи СА від індукційної котушки широко використовується під час занять на лекціях, чи в класах. Тут принцип передачі сигналів базується на індуктивному зв’язку між джерелом сигналу та індуктивною котушкою.

Під час проектування сучасних СА конструктор повинен вирішити такі завдання:

1) розробити оптимальну механічну конструкцію апарату і його складових частин з акустичними елементами для електроакустичних перетворювань, які за мінімальних розмірів апарата забезпечують стабільну роботу та високі естетично-ергономічні показники;

2) розробити стабільну, низькошумову і економічну електричну шину апарату з мінімальним числом радіоелементів;

3) розробити мініатюрні електроакустичні перетворювачі. Це досить складне завдання, бо сьогодні в світі виробництво високоякісних електричних мікрофонів і електромагнітних телефонів для СА зосереджено в декількох фірмах США, Німеччини та Франції.

СА поділяються на чотири основних види, які відрізняються за конструктивним виконанням, а, отже, місцем розташування на тілі хворого: завушні, внутрівушні, кишенькові та слухові апарати в окулярній оправі. Номенклатура СА, що сьогодні випускаються у світі, за станом виробництва розподіляється наступним чином: завушні – 70-80%, внутрівушні – 15-20%, кишенькові – 5-10% і в окулярній оправі – 1-2%.

Специфічною особливістю СА є тісний взаємозв'язок між електроакустичними параметрами апаратів, елементами конструкторсько-технологічними аспектами, пов'язаними з їх розробкою та серійним виробництвом. Це зумовлено тим, що СА відносяться до мініатюрних електроакустичних пристроїв, які характеризуються значним діапазоном підсилення звуку, частковою стабілізацією, мінімальними габаритами. Крім цього, частотні характеристики СА залежить не тільки від форми ЧХ мікрофону і телефону, електричних компонентів схеми підсилення, але і від конструкторського рішення СА з мінімальними допусками та від розміщення елементів.

Найбільш поширене використання отримав завушний СА – конструкція дугоподібної форми, яка розміщується за вушною раковиною (рис.1). Конструкції даних завушних СА передбачають можливість підключення відносно мікрофона, який з'єднується з апаратом кабелю довжиною 1-1,5 м, що закінчується спеціальним рознімачем. Це дозволяє значно підвищити співвідношення сигнал/шум. Як джерело живлення в завушних СА застосовують дешеві акумулятори, срібло-цинкові, ртутно-цинкові елементи. Нами планувались літієві джерела живлення-акумулятори. Мінімізація подання звуку від телефону в мікрофон досягаються такими технічними прийомами :

1) Мікрофон (М) і телефон (Т) закріплюються безпосередньо до корпуса СА через гумові амортизатори;

2) М і Т разом з амортизаторами розміщують в спеціальні відсіки, які називають камерами;

3) Введення підсилених звуків в слуховий прохід здійснюється закупорюванням останнього за допомогою вушного вкладиша. Одна із таких камер Т і М зображена на рис.3.

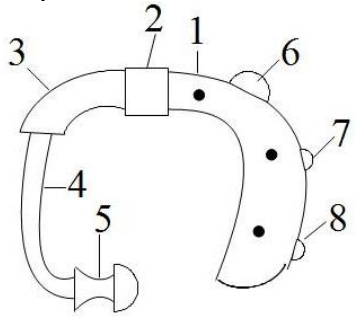


Рис.2. Конструкція звукового СА. 1 – корпус; 2 – мікрофонний вхід; 3 – жорсткий звукопровід; 4 – гнучкий звукопровід; 5 – вушний вкладиш; 6 – регулятор підсилення; 7 – перемикач режиму роботи; 8 – обойма джерела живлення

Внаслідок великої відстані між мікрофоном і телефоном (до десяти см) і відсутності між ними механічного контакту акустичний зворотний зв'язок в кишеньковому СА може бути зроблений достатньо малим, а віброакустичний – зведений до мінімуму, що полегшує отримання в

ньому стабільного і дуже високого звукопідсилення. Виносний телефон вставляється у вушний слуховий прохід (раковину) за допомогою вушного вкладиша. Кишенькові СА, що застосовуються з кістковим вібратором, мають в своєму комплексі пружне кріплення вібратора до голови.

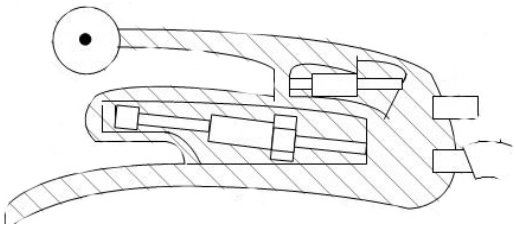


Рис.3. Фрагмент корпуса завушного СА з мікрофонною і телефонною камерами: 1 – корпус СА; 2 – мікрофонна камера; 3 – мікрофон; 4 – амортизатор; 5 – телефонна камера; 6 – телефон; 7 – амортизатор; 8 – регулятор підсилення; 9 – акустичний вхід; 10 – фрагмент жорсткого звукопроводу

Внутрішньовушні СА внаслідок своїх конструктивних і акустичних особливостей помітно виділяються на фоні СА інших видів, і є сьогодні найбільш поширеними. Перш за все, – це СА, в яких всі складові частини сконцентровані в невеликому об’ємі всередині корпуса, який є наймініатюрнішим із всіх корпусів СА. Комплексність корпусу і відсутність вихідного звукопроводу, під’єднаного шнура, що мають інші конструкції СА, диктують необхідність розміщення СА в зовнішньому вусі людини. Оскільки відстань між мікрофоном і телефоном в такому СА не перевищує 1 см, то неможливо отримати велике звукопідсилення. Тому застосування таких СА є досить обмеженим: їх використовують як “вушні пробки” або “вушні вставки”.

1. Електроакустичні параметри СА

Електроакустичні параметри СА викликають неабиякий практичний інтерес, оскільки ними доводиться оперувати у найрізноманітніших сферах, пов’язаних із СА, починаючи з їх розробки, випробувань, експлуатації та конструювання.

Всі параметри і характеристики СА поділяються на три групи. Перша група складається з показників, які використовують при порівнянні техніко-експлуатаційних характеристик і технічного рівня СА. Друга група поєднує параметри, які є необхідними при контролі якості продукції і процесі виробництва. До третьої групи відносяться параметри, які необхідні для СА при слухопротезуванні.

Розглянемо основні електроакустичні параметри СА при повітряному звукопроведенні. Тут можна виділити електроакустичні параметри СА, які характеризуються особливостями передачі різних рівнів вхідного сигналу на фіксованій частоті. До таких параметрів відносяться: акустичне підсилення по тиску (ПЗТ), яке знаходиться в межах від 30-50 до 80-85 дБ, що може змінюватись регулятором. Другий параметр – це аку-

стичне підсилення, що є різницею між ПЗТ акустичного сигналу біля барабанної перетинки, що створюється СА і ПЗТ за відсутності СА (табл.1). Величина акустичного підсилення може змінюватися за рахунок електричного підсилювача на 30-40 дБ, замість телефону до 20 дБ.

Інший параметр вхідного підсилення звукового тиску характеризує можливість СА зі створення звукової потужності підсилюваного акустичного сигналу. Він напряму пов'язаний з підсиленням тиску на акустичному вході СА і його акустичним підсиленням: при відкритості в тракті помітних нелінійних спотворень сигналу вихідне підсилення звукового тиску рівне сумі вхідного та акустичного підсилень.

Таблиця 1.

№, п/п	Назва параметру	Спосіб вимірювання параметру
1.	Акустичне (підсилення по тиску)	Різниця ПЗТ на вході СА і ПЗТ на його виході
2.	Акустичне підсилення, що вноситься	Різниця між ПЗТ акустичного сигналу біля барабанної перетинки і ПЗТ біля неї без СА
3.	Функціональне підсилення СА	Різниця порогів слуху чистого тону при використанні СА і без нього
4.	Максимальне акустичне підсилення (f>1000Гц)	Акустичне підсилення, виміряне при положенні регулятора, що відповідає максимальному підсиленню
5.	Усереднене акустичне підсилення	Середньоарифметичне значення на частотах 500, 1000 і 2000 Гц
6.	Усереднене високочастотне підсилення	Середньоарифметичне значення на частотах 1000, 1600 і 2500 Гц
7.	Максимальне (пікове) акустичне підсилення	Акустичне підсилення, що визначається на частоті максимального підсилення СА

Рівень насичення показує максимальне вихідне підсилення звукового тиску, яке створює СА, і характеризує його максимальну потужність. В багатьох моделях СА наявні засоби для регулювання в межах 10-25 дБ рівня насичення.

Власні шуми в СА пов'язані з наявністю в складі СА електронного підсилювача, а у випадку застосування неелектромагнітного електричного мікрофону – і додаванням шумів капсули мікрофона і вмонтованого в нього узгоджуючого підсилювача. Тут можна виділити два параметри СА, що характеризує шумові властивості СА: вихідний рівень власних шумів і приведений до входу рівень власних шумів. В сучасних СА вхідний рівень власних шумів не перевищує 55-70 дБ, а приведений до входу – 17-30 дБ.

Коефіцієнт гармонік вказує, наскільки чисто відтворюється неспотворений вхідний акустичний сигнал. Він визначається за формулою:

$$K_Г = \sqrt{\sum_{i=2}^{\infty} P_i^2 / P_1}\,, \qquad (1)$$

де P_i і P_1 – звукові частинки сигналу основної гармоніки та і-тої гармоніки на виході СА. Коефіцієнт гармонік не повинен перевищувати 3-4% і визначають його на частотах 500, 800, 1000 і 1600 Гц.

Амплітудна характеристика вказує на залежність між вихідним і вхідним підсиленням звукового тиску на певній частоті (1000 Гц) і зводиться за різних положень регулятора акустичного підсилення.

Характеристика спрямованості – це відносна залежність вихідного підсилення звукового тиску на виході від напряму на джерело зв'язку.

2. Вимірювання основних електроакустичних параметрів СА і їх функціональні можливості

Об'єктивна перевірка електроакустичних параметрів СА здійснюється за допомогою комплексу електроакустичної вимірювальної апаратури у відповідності з держстандартом на СА. Для проведення вимірювань до складу комплексу повинні входити: джерело акустичного сигналу з регульованою частотою і величиною засоби для підтримання постійним його вихідного рівня звуку, реєстратори вихідного акустичного сигналу, імітатори механічного навантаження СА. Акустичним навантаженням слугує камера зв'язку об'ємом 2 см^3 з прилаштованим до неї вимірювальним мікрофоном, а імітатором навантаження СА для кісткового звукопроведення – штучний мастоїд (як у ТА штучне вухо чи рука), який не тільки є моделлю реального механічного навантаження для кісткового вібратора, але і забезпечує вимірювання рівня змінної сили.

Найбільш поширеним сьогодні для вимірювання параметрів СА є спеціально призначений для цього комплект електроакустичної апаратури данської фірми Bric&Kjar, який в одиничному екземплярі був наявний на ВАТ «Родон». Він обслуговував акустичні параметри ТА. Цей комп'ютерний комплекс включає в себе малогабаритну заглушену акустичну безехову (безшумну) камеру, необхідну для проведення вимірювань в умовах близьких до умов вільного звукового поля, що, в свою чергу, відповідає точності вимірювань на повторність результатів. Такий комп'ютерний агрегат-комплекс може працювати разом із вимірювальним манекеном (штучне вухо), в якому зроблений імітатор слухового проходу (як у людини), що є удосконаленим аналогом камери зв'язку та імітатором вушної раковини.

Для вимірювання електроакустичних параметрів СА найбільш часто використовують "метод тиску". У відповідності з ним СА розміщується поблизу джерела звуку; вимірювальний мікрофон, що контролює підсилення звукового тиску від джерела акустичного сигналу, розміщується на відстані 5-10 см від акустичного входу СА. В точці заміру підсилення звукового тиску підтримують постійним за допомогою вимірю-

вального мікрофона, що відградуйований на тиск. Вся апаратура повинна забезпечувати достатньо низький рівень власних шумів та вібрацій. Глуха (тиха) камера для вимірювання електроакустичних характеристик СА забезпечує умови вільного звукового поля в частотному діапазоні 150-8000 Гц, а джерело звуку разом із вимірювальним мікрофоном та вимірювальною апаратурою створюють в точці заміру підсилення звукового тиску в межах 50-90 дБ з похибкою 1÷2,5 дБ.

Різними підприємствами виготовляється багато моделей та різних модифікацій СА чотирьох основних видів, розглянутих нами вище. Цей величезний парк (табл.1) моделей характеризується великою кількістю функцій, значень електроакустичних та експлуатаційних параметрів та широкими можливостями для їх регулювання при підгонці до клієнта і його переналаштування для конкретної акустичної ситуації.

У відповідності з медичними рекомендаціями СА доцільно класифікувати на основі тільки одного показника – максимального рівня насичення. Цей параметр є одним із важливих для повітряного звукопроведення і відіграє вагому роль при підгонці СА для людей з порушеним слухом. Цим параметром СА поділяють на 5 категорій:

Категорія СА	Рівень насичення, дБ
А-надмале вихідне підсилення звукового тиску	<105
В-мале	105-114
С-середнє	115-124
D-велике	125-134
Е-надвелике	>135

Аналіз свідчить, що СА із повітряним звукопроведенням, які на сьогодні випускаються, за своїм призначенням і технічним характеристикам можуть бути поділені на 4 основні групи: 1 – прості; 2 – помірно-складні; 3 – функціонально-насичені; 4 – надпотужні.

В таблиці 1 наведено перелік функцій і параметрів СА виробництва різних фірм і країн, які є характерними для кожної з груп. При реалізації ЧХ різних видів в різних моделях застосовуються плавне або ступінчасте їх регулювання. ЧХ акустичного підсилення, які реалізовані в СА, далеко не у всіх випадках відповідають вимогам затвердженим стандартом, розрахованим і встановленим експериментально. Пояснюється, це перш за все, обмеженнями на синтез ЧХ заданої форми, особливо у випадку завушних та внутрішньовушних СА, як це показано на рис.4.

Корекція ЧХ у СА може здійснюватись як незалежно (за нижніми і верхніми частотами), так і суміжним способом, коли при ослабленні нижніх частот одночасно підсилюються верхні. Такими різними способами (плавно чи ступінчасто) в різних модифікаціях СА регулюються параметри АРП (автоматичного регулювання підсилення).

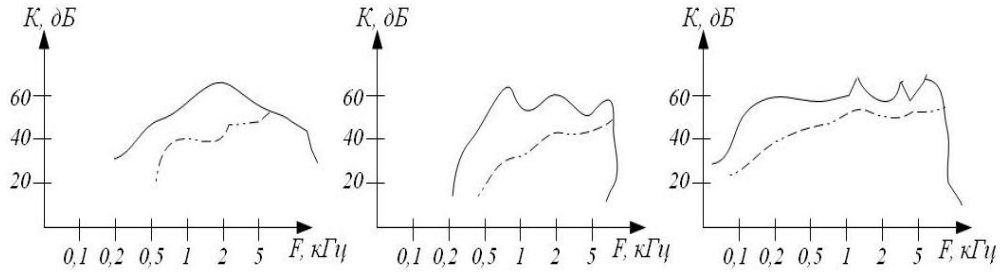


Рис.4. Приклади ЧХ акустичного підсилення завушних і внутрішньовушних СА: а) Selectra PP-6(Швейцарія), б) AD 434(Нідерланди), в) Siemens AMI (Німеччина)

Одним із найбільш ефективних способів регулювання ЧХ кишенькових СА є заміна телефону. Широко використовуються також регулятори ЧХ електронного підсилювач, який впливає на ЧХ СА загалом.

Основними способами регулювання ЧХ внутрішньовушних СА є зміна ЧХ підсилювача звукової частоти, а також застосування вушних вкладок із зовнішніми отворами. В завушних СА, крім цього, здійснюється ступінчасте регулювання ЧХ за рахунок заміни жорстких звукопроводів еластичними і за рахунок фільтра-втулки, що може переміщуватись всередині такого гнучкого звукопроводу.

До оригінальних корисних функціональних властивостей кращих сучасних СА відносяться:

- введення в СА багатоступінчастого перемикача ЧХ. Таке регулювання закладене, наприклад, в моделях швейцарської фірми Phonak (СА LC8/BPO5);

- можливість регулювання часу приглушення АРП, що знижує рівень шуму (забезпечується шумозаглушувачами), наприклад фірма Philips змінює час приглушення АРП в межах 50-340 мс;

- автоматичне пониження підсилення СА на верхніх частотах у міру наближення до максимального підсилення. Це покращує антигенераційну стійкість СА (наприклад, як це робить данська фірма Oticon в завушних моделях E30P, E40);

- застосування виносного телефону в завушних СА, що покращує відтворення нижніх частот за менших нелінійних спотворень, наприклад СА фірми Maico (США), модель S235;

- вмонтовування індикаторів стану джерела живлення, що контролює ступінь зношування елемента живлення в завушних (модель E30P, данська фірма Oticon). Тут індикаторна лампочка попереджує про необхідність заміни джерела живлення;

- забезпечення постійного високого значення акустичного підсилення (Oticon, Phonar).

-

3. Схемотехнічні та акустично-механічні особливості СА

Побудова і вибір схем СА обумовлена особливостями їх роботи і забезпечення вимог до параметрів, що задаються стандартами європейських країн: низьковольтне живлення (≤1,2-1,5 В); висока сталість підсилення при підвищенні чи пониженні напруги живлення; невелика напруга вхідного шуму підсилювача (1-2 мкВ), тобто зниження теплового і дробового та фланер-шумів в елементах схеми; досить високий коефіцієнт підсилення підсилювача (10000-20000) та малі нелінійні спотворення. Це вимагає введення до схеми підсилення глибокого від'ємного оберненого зв'язку, низькошумові транзистори на вході, транзистори з малою залишковою напругою на виході (Uкн); стабільні коефіцієнти підсилення транзисторів у заданому частотному діапазоні.

Саме необхідність забезпечення заданих функціональних можливостей накладає свій відбиток і на схемотехніку СА: наявність АРП та регулюючих фільтрів для забезпечення АЧХ та динамічного діапазону з частотною корекцією спектра. З іншого боку кількість елементів повинна бути мінімальною, щоб зменшити потужність споживання. Одна із таких схем СА для завушних і внутрішньовушних моделей наведена на рис.5.

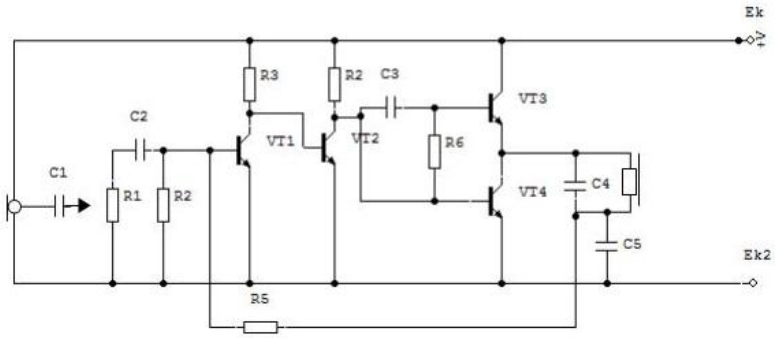


Рис.5. Електрична схема завушних та внутрішньовушних СА з мінімальною кількістю елементів

У ній підсилювач даного СА побудований на біполярних транзисторах n-p-n–типу, із яких VT1 і VT2 утворюють попередній каскад підсилення. Вихідний каскад зібраний на комплементарній парі (p-n-p і n-p-n–транзисторах) VT3 і VT4. Режим роботи транзисторів відповідає класу А або АВ і залежності від опору R6, який, по суті, регулює величину нелінійних спотворень. Навантаження підсилювача відносно високоомне, бо на частоті 1 кГц опір телефону складає 1 кОм. Споживаний струм СА тут не перевищує 0,15 мА. Всі опори низькоомні, щоб забезпечити мінімальний шум. Як розділяючі конденсатори використовуються варикапи з лінійною кулон-вольтною характеристикою.

Сучасна мікроелектроніка, без сумніву, стимулює розвиток різних технічних модифікацій схем СА і, перш за все, зі зменшеним струмос-

поживанням, зменшеною ємністю і резисторами. У зв'язку з цим на увагу заслуговує робота підсилювача в класі Д, де в схемі підсилювача СА вже використовується к-МОН–технологія формування транзисторів, а надмініатюрна котушка індуктивності в LC-фільтрі нижніх частот на виході підсилювача замінена гідратором (для фільтрації частоти генератора f=40 кГц). При роботі на телефон вже з опором 600 Ом (на f=1 кГц) струм споживання склав ≤50 мкА, коефіцієнт гармонік ≤0,5 % на частоті 500 Гц при вихідному підсиленні звукового тиску на рівні 110 дБ.

Враховуючи шлях мініатюризації СА, у розробників нових моделей виникають труднощі з використанням мініатюрних органів управління, і перш за все, регулятором гучності, тож постало питання введення сенсорного регулювання.

Одна із таких схем подана на рис.6. В схемі як регулювальний елемент використовується польовий транзистор VT на основі n-МОН структури, який включений в коло управління коефіцієнтом підсилення підсилювача звукової частоти, величина якого є пропорційною опору переходу витік-стік. Крім цього, цей опір каналу транзистора VT залежить від напруги на конденсаторі С1, який включений між затвором і витоком транзистора VT. Заряд і, відповідно, напруга на конденсаторі можуть змінюватись утворенням кола його зарядження і розрядження від дотику пальцем руки відповідно до контактів К1 або К2. Опір кожного контакту пальця складала φ-5 мОм. Такі контакти формуються із алюмінієвого сплаву *АКГо-1-1* або золота осадженим із золотохлористоводневої кислоти ($Au(HCl_4)$). Як конденсатор Сі, так і транзистор VT повинні мати мінімальний струм втрат.

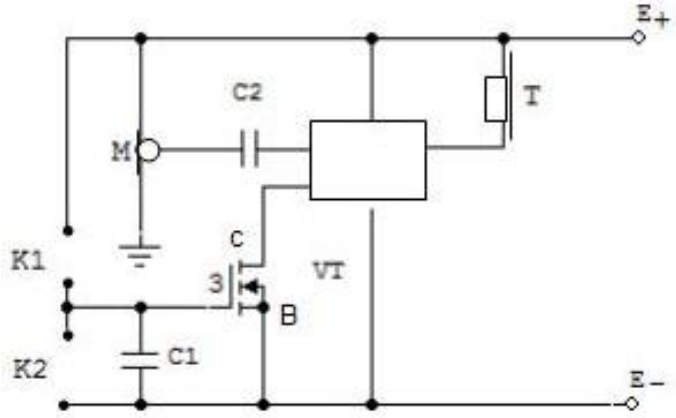
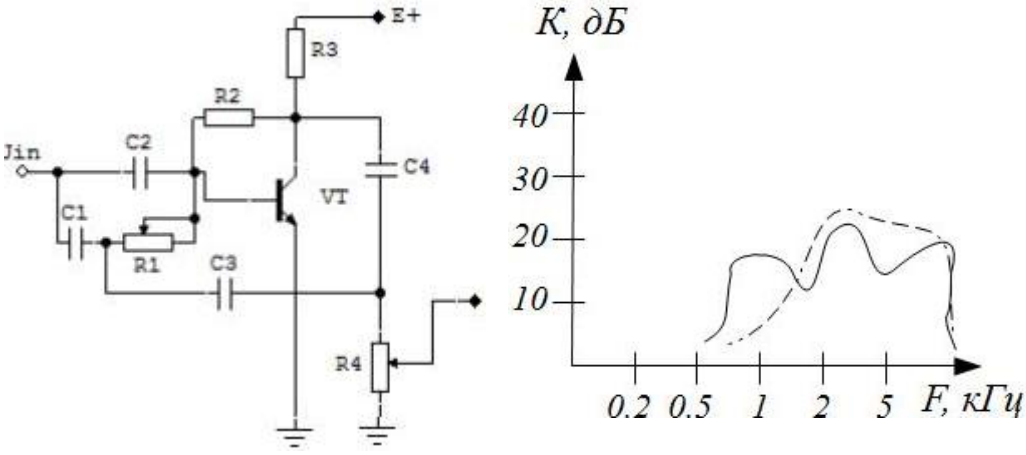


Рис.6. Схема внутрішньовушного СА із сенсорним регулюванням гучності і витоком транзистора VT

На сьогодні вже накопичено значну кількість технічних рішень щодо СА з регулюванням ЧХ акустичного підсилення. Одна із таких

можливих схем регулювання ЧХ СА завушного типу подана на рис.7. Тут активний RC-фільтр виконаний на транзисторі VT із складним частотно-залежним від'ємним оберненим зв'язком, який реалізований шляхом подачі сигналу із колектора транзистора VT у вхідну базову область через елементи R4, C3, C4 і кола із елементів C1 C2 R1. Особливістю регулювання ЧХ підсилювача звукового тракту є зміна їх нахилу за допомогою резистора R1. Це проходить тому, що зміна опору R1 призводить до зміни коефіцієнта передачі для сигналу в колі бази і сигналу, який надходить через конденсатор C5 колом оберненого зв'язку. В результаті зміни коефіцієнта передачі в області НЧ коефіцієнт передач збільшується в області верхніх частот, що передається по колу оберненого зв'язку і навпаки (рис.7б). Як бачимо, майже в 20 дБ можна змінювати ЧХ за допомогою основного RC-фільтра. Більш прийнятною електричною схемою активного RC-фільтра є схема СА, в якій організовані два незалежних частотних тракти проходження сигналу через фільтри ФНЧ і ФВЧ з незалежним регулюванням за допомогою резисторів R3 і R7 (рис.8). Чітке регулювання ЧХ підсилювача звукового тракту здійснюється опором R3, за допомогою якого одночасно (як і в попередній схемі) підвищуються високі частоти і знижуються нижні.



а) б)

Рис.7. Електрична схема RC-фільтра ВЧ для регулювання ЧХ СА завушного типу а) і його ЧХ б)

На сьогодні всі розробники СА завушних та внутрішньовушного типів стараються уніфікувати електричну схему СА з використанням повністю інтегральної схеми, яку б слід використовувати у без корпусному виконанні (на павучках). Але яку елементну базу при цьому використати: біполярні транзистори, польові транзистори чи комбінований варіант? Сьогодні це питання ще не вирішене, бо схемотехнічні рішення визначаються суперечливими параметрами: потужністю споживання, коефіцієнтом підсилення і т.ін.

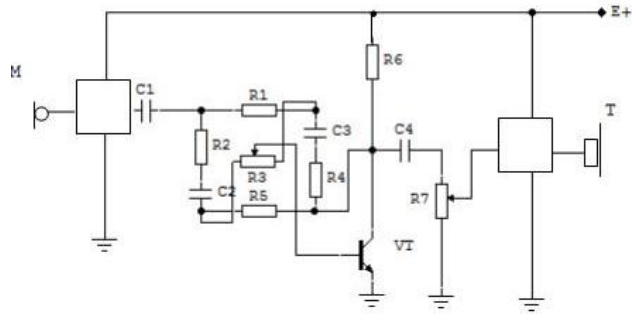


Рис.8. Електрична схема СА завушного типу з регулюванням активним RC-фільтром у вигляді RC-моста

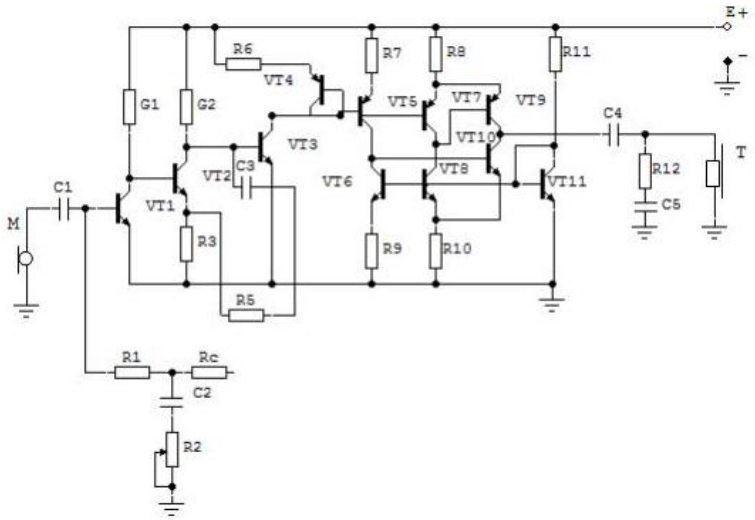


Рис.9. Електрична схема СА завушного типу у вигляді біполярної інтегральної схеми

Звичайно, зараз нас цікавить підсилювач СА в інтегральному виконанні. Дану схему (рис.9) використовують в більшості СА заданого типу. На транзисторах VT1, VT2 і VT3 виконано каскад попереднього підсилення, в який включені генератори струму G1і G2. Транзистори VT1 і VT2 працюють при струмах емітера 20-30 мкА (в мікрорежимі), що забезпечує чудове узгодження з електричним мікрофоном М із мінімальним шумом та високу економічність за споживаною потужністю. Транзистор VT3 разом з транзистором VT4 забезпечують конвертацію напруги в струм і споживають струм в межах 30-50 мкА, знімаючи з попередньої ступені струм 1 мкА. Конденсатор С3 призначений для частотної корекції підсилювача і є ємнісним навантаженням. Вихідний каскад побудований на комплементарних транзисторах VT9, VT10 (різного типу провідності). Входи цього вихідного каскаду потужності підключені до відповідної шини джерела живлення через струмозадаючі ланки. Одна з них виконана на транзисторі VT6 та резисторах R8, R1 і транзисторі

VT11 в діодному включенні, а друга – на транзисторі VT4 у діодному включенні, резисторі R4, транзисторі VT7 і резисторі R9. Вказані ланки і додаткові транзистори VT5 і VT8 забезпечують необхідний базовий струм для комплементарної пари вихідного каскаду на рівні 100 мкА.

Для зниження нелінійних спотворень підсилювач звукового тракту охоплений місцевим від'ємним оберненим зв'язком (резистори R3, R5) та загальним оберненим зв'язком (R1, R2, R6, C2), що забезпечує температурну стабілізацію підсилювача та коефіцієнт підсилення на рівні 3520-10000, що може регулюватись резистором R2. Мікрорежими транзисторів забезпечуються гетерною технологією із $Si_xO_yN_z$, що формується після базової імплантації.

4. Аналіз елементної бази СА і технологій їх формування.

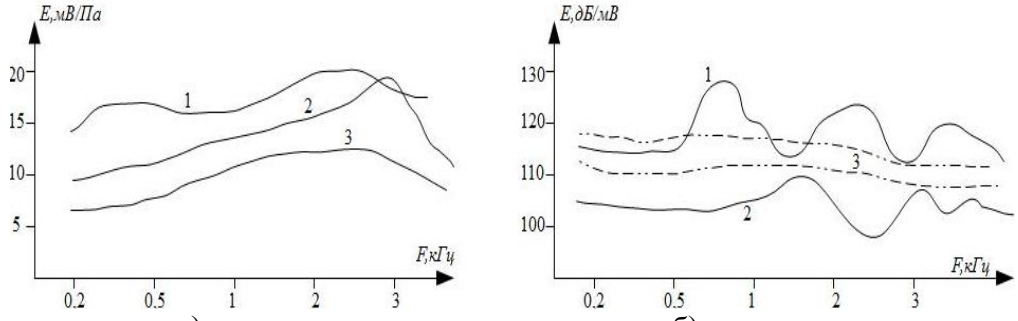
Розглянуті вище вимоги до сучасних СА, їх схемотехнічні та конструктивні особливості взаємопов'язані із електрорадіоелементами (ЕРЕ), електроакустичними перетворювачами, джерелами живлення, що використовуються в СА Тут для всієї елементної бази важливим є мініатюрність, що часто лякає виготовлювачів, за винятком підприємств мікроелектроніки. Всі елементи повинні працювати за низької напруги живлення <1,5 В, а комутаційні елементи повинні бути розраховані на малі струми (до 50-100 мА), мікрофон і телефон повинні мати підвищену чутливість, конденсатори та резистори повинні бути тонкоплівковими з дуже малими ТКО і ТКЕ та малим значенням номіналів. Тут, звичайно, свої напрацювання мало наше підприємство ВАТ «Родон», яке впровадило у виробництво телефонні апарати як аналогового, так і цифрового сигналу, радіотелефони. Зупинимось на особливостях елементної бази: 1) електроакустичних перетворювачів; 2) інтегральних схем як мікрошумових, так і мікропотужних та малогабаритних; 3) тонкоплівкових пасивних R, C – елементів та безкорпусних транзисторів; 4) малогабаритних корпусних деталей та звукопроводів. До цих всіх питань треба віднести важливе питання – сучасний дизайн СА, який міг би вийти на світовий ринок і перемогти в конкурентній боротьбі за електроакустичними параметрами і надійністю.

На сучасному етапі розвитку СА все більше застосування як електроакустичні перетворювачі знаходять електричні мікрофони та електромагнітні телефони. Розглянемо їх частотні характеристики.

Електричні мікрофони мають такі переваги перед електромагнітними: широкий діапазон частот, велику чутливість, невеликі габарити, можливість спряження (узгодження) з інтегральними схемами. До недоліків електричних мікрофонів слід віднести: наявність шумів, високу вартість, додаткові витрати потужності і наявність фільтра в колі мікрофона.

Найбільше поширення сьогодні в СА знайшли електричні мікрофони фірм Knowles Electronics (Англія), Microtel (Нідерланди) завдяки

їх високій чутливості, яка знаходиться в межах 10-30 мВ/ Па. Частотні характеристики чутливості електричних мікрофонів для СА подано на рис.10а. Об'єм мікрофона, всередині якого монтується узгоджуючий підсилювач, складає 30 мм^3.



а) б)

Рис.10. Частотні характеристики : а) електричного мікрофона (1 – модель 1751 (Англія), 2 – модель 32 (Нідерланди) 3 – модель МС (СРСР)); б) електромагнітного телефону (1 – модель 1878 (Нідерланди), 2 – модель ТЕМ-1956 (СРСР) 3 – модель ВТУ-5 (СРСР))

Частотні характеристики віддачі телефонів для СА подані на рис.10б.

Опір таких телефонів може бути в межах 200-1000 Ом на частоті 1000 Гц. За їх допомогою забезпечується підсилення звукового тракту на рівні 100-12- дБ. Саме на ВАТ «Газотрон» (м. Рівне) розпочалось освоєння електретних мікрофонів-телефонів, як для телефонних апаратів, так і для СА. Відповідно були проведені перемовини на виготовлення дослідних взірців та їх серійне освоєння.

Зупинимось на особливостях структур інтегральних схем як підсилювачів звукової частоти СА. Такі мікросхеми можуть виконуватись за напівпровідниковою або гібридною тонкоплівковою технологією. Кожна із цих технологій заслуговує на увагу щодо забезпечення прецизійності електричних параметрів.

В останні роки у завушних чи внутрішньовушних СА уже використовуються безкорпусні напівпровідникові схеми, зібрані на павучках. Таке виконання дуже добре узгоджується із суміщеною напівпровідниковою та гібридною технологіями виготовлення підсилювачів звукового тракту: ІС кріпиться на системній платі, на якій вже сформовані пасивні елементи (резистори та ємності) та відповідна розводка.

В таблиці 2 наведено параметри і характеристики напівпровідникових ІС для СА, що були розроблені у нас і за кордоном.

Схема LC505, яка побудована на основі низьковольтного операційного підсилювача, вирізняється малим числом елементів та споживаною потужністю. В їх число входить і RC-ланка для регулювання коефіцієнта підсилення (вивід 4) і резистор для підлаштування режиму ви-

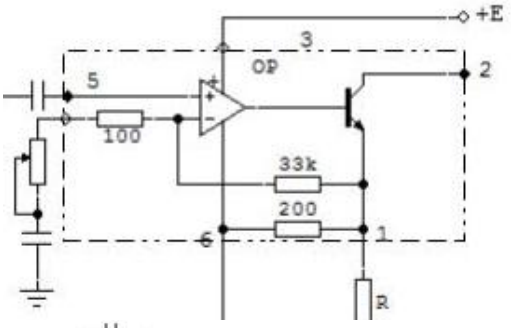
хідного транзистора (вивід 1). Ця схема забезпечує дуже високу термостабільність за рахунок ОП (0,3-0,4 дБ на 0,1 В). Габаритні розміри підсилювача 3,5×3,5×1,5 мм.

Таблиця 2. Параметри і характеристики ІС для СА.

№, п/п	Типи інтегральної схеми	Напруга живлення, В	Коефіцієнт підсилення за напругою, дБ	Вихідна потужність, мВт	Номінальний опір, Ом	Максимальний струм	Наявність АРП
1	К538 УН-2	1,2±10%	63	0,2	1000	1,2	немає
2	К548 УН-2	1,2±10%	68	0,2	1000	1,2	є
3	К548 УН-3	1,3±10%	80	2	100	1,2	немає
4	LC505	0,9-1,8	68-76	0,5	1000	0,5	немає
5	WC501G	1,1-1,8	56-62	0,5	600	0,5	є
6	LC549	0,8-1,8	38-42	7	400	0,6	є
7	LC506	1,0-1,8	38-42	0,01	1000	0,9	немає
8	WC535G	1,0-1,6	67-84	6	400	0,9	є

На рис.11. наведено структурні схеми деяких ІС для СА: тип LC505, WC501G.

а)



б)

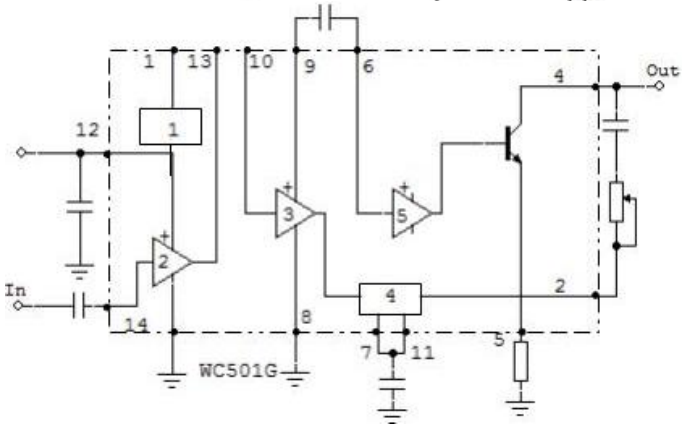


Рис.11. Структурні схеми підсилювачів звукового тракту для СА завушного типу. а) LC505 б) WC501G

Інша мікросхема WC501G також розрахована на застосування в СА середньої потужності, але вже із збільшеними функціональними можливостями: АРП, попередній підсилювач 2 для індуктивної котушки, самостійні каскади попереднього 3 і вихідного каскаду 5 підсилення, що забезпечує гнучкість в регулюванні тембру та шумоподавлення. Габарити 6×3,4×1,5 мм. Величина АРП підбирається конденсатором, підключеним до виводів 7 і 11 випрямляча 4, а регулятор напруги 1 забезпечує високу стабілізацію *Ки*.

Мікросхема WC501G відноситься до числа мікропотужних схем СА. Набір реалізуючих функцій є невеликим, проте її можна використовувати для СА певних категорій глухих. Мікросхема має два ідентичні підсилювачі, які працюють в режимі АВ. Дані підсилювачі попереднього підсилення забезпечують високу температурну стабільність *Ки*.

На основі приведених аналізу та досліджень інвестиційного проекту «Слухові апарати» можна зробити наступні висновки:

1. Даний інвестиційний проект СА можна реалізувати на ВАТ «Родон» (м. Івано-Франківськ).

2. Для реалізації проекту необхідно розробити повний комплект конструктивної та технологічної документації.

3. Потрібно спроектувати повний комплект технологічного оснащення для виготовлення корпусних деталей та комплекту пакування.

4. Потрібно провести макетування і моделювання електричної схеми з визначенням параметрів і характеристик СА.

5. Потрібно виготовити установочну партію з проведенням усіх необхідних випробувань.

6. Потрібно провести маркетингові дослідження ринків збуту як внутрішніх, так і зовнішніх.

Стаття надійшла до редакційної колегії 26.12.2012 р.
Рекомендовано до друку д.т.н., професором ***Мельником П.І.****,*
д.ф.-м.н., професором ***Стасюком З.В.*** *(м. Львів)*

FEATURES OF PLANNING OF HEARING DEVICES ON AN INTEGRAL ELEMENT BASE

S. P. Novosyadliy, L. V. Melnyk
PreCarpathian National University by Vasyl Stefanic;
76000, Ivano-Frankivs'k, Shevchenko str., 57;
ph. +380 (342) 71-48-48, e-mail: kre@pu.if.ua

The basic setting of hearing device (HD) consists in transformation of signal which turns out a sound information generator thus, that this signal could be perceived by a man with the defective hearing, with enough high level auditory feeling. Greater part of people use HD for listening of linguis-

tic signals. In the row of cases HD finds the application in a role of mean of reduce of the bad feelings from a ear noise. Transformations of acoustic signal, that HD is carried out can carry a different character. There is this strengthening of sounds in simplest case. In many practical case of strengthening can be accompanied by low or high-frequency filtration, set limitation of dynamic range of amplifying signal. Exist HD with nonlinear transformation of amplitude frequency spectrum of entrance signal by antinoise treatment of mixture signal-noise, by the simultaneous signal processing in a few frequency ranges. For high-quality HD stability of frequency spectrum, size and stability of tension of feed (powers of consumption) and minimum sizes is important. Given questions and lie in the basis of the given article, the features of the construct scheme planning of HD on an integral element base are examined in which.

Key words: *sound information, acoustic signal, amplitude frequency description, spectrum, hearing device.*