

Інший варіант передбачає одночасно подачу скінченої послідовності тестових УС із множини  $F_{11}, F_{12}, F_{21}, F_{22}, F_{31}, F_{32}, \dots; F_{n1}, F_{n2}$ . При цьому, порядок застосування кожного з УС може бути як жорстко закріпленим, так і адаптивним. Даний підхід дає можливість збільшувати інтенсивність операцій діагностування на ділянках частотної смуги каналу з найгіршою прозорістю для УС. Таким чином, після обробки всієї множини відгуків на тестові впливи формується вислідна оцінка технічного стану широкопasmового каналу зв'язку (рис. 5, б).

**Висновок.** Розглянуті базові принципи лежать в основі побудування перспективних автоматизованих систем діагностування каналів передавання мереж електрозв'язку. Застосування УС як тестових впливів дозволяє виконувати обробку діагностичної інформації у реальному масштабі часу й забезпечити створення оптимальних алгоритмів керування якістю роботи мереж електрозв'язку.

#### Список літератури

1. *Игнатов В.А., Тарасов О.А., Клюков С.Ю., Рожников А.В.* Экспериментальная методика определения собственных согласованных сигналов для диагностируемых каналов сетей связи с подвижными объектами // Проблемы авионики: Сб. науч. тр. / Под ред. А.Я. Белецкого. – К.: КМУГА, 1996. – С. 13–25.
2. *Ignatov V., Tarasov O., Penda J.J.* The comparative analyses of SCS-diagnosing efficiency // Third International Conference on Radiocommunication, Audio and Television Broadcasting. 9–12-th of September 1997. – Odessa. – P. 81–83.
3. *Ignatov V., Tarasov O., Penda J.* Testing of telephone channel by the self coordinated signals // Proceedings of III International Scientific Conference on Telecommunication, Audio and Television Broadcasting. 9 – 12-th September 1997. – Odessa, 1997. – P. 77 – 80.
4. *Ямпольский Э.М.* Вариационные принципы согласования сигналов с каналом связи. – М.: Радио и связь, 1987. – 136 с.

Стаття надійшла до редакції 14.10.02.

УДК 591.185.1:534.88

ББК 3 87 3-58

**Л.А. Тараборкін**, канд. фіз.-мат. наук, старш. наук. співроб.,

**І.М. Ковальова**, канд. біолог. наук, доц.,

**А.П. Поліщук**, д-р фіз.-мат. наук, проф.,

**В.В. Трасковський**, канд. техн. наук, доц.

#### СИСТЕМИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДЕТЕКТУВАННЯ КАЖАНІВ

*Розглянуто чотири різні системи ультразвукового детектування кажанів – єдиного ряду ссавців, які оволоділи активним польотом. Для виробництва в Україні запропоновано комбінований прилад, прийнятний для загальнонаціонального моніторингу кажанів.*

**Вступ.** У 1999 р. Україна, ставши повноправним членом Бернської (1979 р.) конвенції про охорону природного середовища, приєдналась і до Боннської (1991 р.) угоди про збереження кажанів у Європі. Ця угода передбачає, зокрема, виконання кожною країною-учасницею певних заходів і проектів щодо вивчення й охорони рукокрилих. Однією з основних причин виникнення такої угоди є загальне визнання положення про те, що статус популяцій кажанів може служити індикатором стану навколишнього середовища та негативного впливу антропогенного фактора на біоценоз у цілому. Наразі в Україні мешкає лише 26 видів кажанів із загальної світової кількості приблизно 1000 видів, але всі вони є надто чутливими до стану навколишнього середовища.

У багатьох країнах Західної Європи здійснюються або вже реалізовані загальнонаціональні проекти картографування розповсюдження та моніторингу кажанів із дотримання умов зазначених міжнародних договорів. Створення та здійснення аналогічної загальноукраїнської програми стримується через відсутність технічної бази для проведення необхідних досліджень.



Кажани, або рукокрилі (*chiroptera*), утворюють унікальний ряд ссавців, які використовують як основний тип локомоції активний політ, що значно ускладнює їх ідентифікацію та вивчення безпосередньо в природних умовах.

Сучасні засоби оперативного визначення статусу популяції кажанів, їх картографування та ідентифікації базуються на використанні спеціально розроблених приладів – ультразвукових детекторів кажанів (ultrasound bat detectors).

Ультразвукове детектування кажанів є абсолютно нешкідливим для цих тварин, тому що полягає в уловлюванні ультразвукових сигналів, випромінюваних кажанами під час польовань і використуваних ними для ехолокації об'єктів навколишнього середовища [1–4], і наступному переведенні високочастотних сигналів у чутний (звуковий) діапазон із можливим записом на певні електронні носії пам'яті.

Провідні країни-виготовлювачі ультразвукових детекторів – Швеція, Великобританія, Австралія, Сполучені Штати Америки. Залежно від застосованого методу детектування використовуваний пристрій суттєво розрізняється як за можливостями, так і за ціною. Прості прилади напіваматорського гатунку коштують приблизно 200 доларів США. Ціна професійних приладів коливається в діапазоні від 600 до 2000 доларів. Найбільш потужні системи для наукового використання коштують понад 30 000 доларів включаючи вартість цифрових магнітофонів для запису сигналів, комп'ютерів і програмного забезпечення для обробки й аналізу експериментальних даних.

Порівняльне дослідження поширених варіантів будови ультразвукових детекторів покликано привернути увагу українських фахівців у галузі приладобудування інформаційно-діагностичних, екологічних і наукових систем з метою можливої організації виробництва таких пристроїв в Україні.

**Детектор огинаючої.** Найпростіший прилад для ультразвукового детектування кажанів – це детектор огинаючої (an envelope detector), схема якого наведена на рис. 1.

Сигнал із мікрофона підсилюється та проходить через смуговий фільтр, який застосовується при необхідності для звуження частотного діапазону. Амплітудний детектор видає на виході сигнал із частотою значно нижчою, ніж у початкового (із мікрофона), щоб перевести його у звуковий діапазон і уможливити слухання людиною-оператором. Остання функція реалізована в усіх описаних типах детекторів кажанів.

Будучи широкосмуговим, цей детектор має високий рівень шумів, що обмежує мінімальний детектований сигнал. При застосуванні детектора огинаючої втрачається вся частотна інформація, натомість інформація щодо амплітуди, тривалості та швидкості повторення зберігається. Проте, оскільки неперервно відслідковується весь частотний діапазон, то будь-яка активність в ньому буде виявлена, що є суттєвою позитивною рисою описаного пристрою. Тому, зокрема, детектор огинаючої використовується як доповнення до певних типів детекторів ділення частоти.

**Ділення частоти.** Метод ділення частоти (робота лічильника в режимі віднімання;) використовує цифрові лічильники частоти задля скорочення частоти ультразвуку. Застосування коефіцієнта лічильника, який звичайно дорівнює 10, дозволяє стиснути частотний діапазон 10–200 кГц у чутний (звуковий) діапазон 1–20 кГц. Лічильник частоти підраховує періоди прямокутного сигналу, в який перетворюється сигнал із мікрофона, проходячи через тригер Шмітта (рис. 2, неперервні лінії). Штриховою лінією на рис. 2 позначено додаткові елементи, які вдосконалюють конструкцію.

Суттєвий недолік такого приладу полягає у ненадійності вимірювань тривалості імпульсів. Зокрема, сигнали-відлуння, отримані відразу після випроміненого імпульсу, можуть перевищувати граничний рівень лічильника, у результаті чого вихідний імпульс фіксується детектором як більш тривалий, ніж він є насправді.

Фактично описаний детектор ділення частоти зберігає частотну інформацію (включаючи частоту повторення), натомість амплітудна інформація втрачається.

Для подолання зазначеної вади розроблені вдосконалені детектори цього типу, які використовують детектування огинаючої для зберігання амплітудної інформації [2]. У такому приладі перед тригером Шмітта вставляється схема конвертації амплітуди ультразвуку в пропор-



ційну напругу, яка в свою чергу керує додатковим підсилювачем, розміщеним між лічильником та підсилювачем звукової частоти (рис. 2, штрихові лінії). Отже, амплітудна інформація накладається на розділений сигнал, роблячи його більш зручним для аналізу. У цьому випадку тривалість імпульсу визначається цілком точно.

Незважаючи на вдосконалення щодо зберігання амплітудної інформації, метод ділення частоти має істотні обмеження. Через застосування тригера Шмітта, який детектує перетин нульової лінії, сигнали з декількома сильними гармоніками можуть привести до помилкового фіксування приладом надто високої частоти. Крім того, оскільки кожний період чутного вихідного сигналу генерується з багатьох (наприклад, десяти) періодів ультразвукового сигналу, розрізнявальна здатність приладу є скоріше низькою. Це робить неможливим детектування екстремальних частот, які виникають на короткий проміжок часу. Нарешті, будучи ширококутовим методом, він має високе значення мінімуму рівня детектованого сигналу.

**Гетеродинування.** Головною перевагою гетеродинного детектора є його висока чутливість як наслідок застосованої вузькосмугової техніки вимірювань. Він робить чутною лише обмежену область частот, яка вибирається попереднім встановленням центру частоти. Ширина смуги цієї області варіюється в різних детекторах, але звичайно лежить у діапазоні від  $\pm 5$  до  $\pm 20$  kHz від центрального значення частоти.

Гетеродинний детектор має змішувач (множник), в якому підсилений сигнал із мікрофона множить на синусоїдальну хвилю від настроюваного генератора (рис. 3).

Так, якщо генератор установлений на частоті 30 kHz, то сигнал частотою 31 чи 29 kHz перетворюється після змішування на 1 kHz.

На практиці завдяки позитивним схемотехнічним характеристикам переважно виготовляють супергетеродинний варіант детекторів, які не відрізняються з погляду користувача від гетеродинних. У супергетеродинному детекторі частота змінюється у дві стадії: спочатку підвищується до так званої проміжної частоти, наприклад, 455 kHz, а потім знижується до чутної через змішування із сигналом 455 kHz фіксованого генератора. Останній додається до схеми разом із другим змішувачем і ширококутовим фільтром, який вмикається між зазначеними двома змішувачами.

Гетеродинні детектори уможливають виявлення слабших сигналів, ніж при застосуванні ширококугової техніки. Додатковою перевагою є те, що частота ультразвуку може бути визначена безпосередньо в польових умовах. Для сигналу з постійною амплітудою за допомогою такого детектора можна локалізувати частоту, при якій чутний вихід матиме найнижчу можливу частоту, і зафіксувати її значення на шкалі приладу або вивести на цифровий дисплей.

Одним із недоліків гетеродинних детекторів є обмеженість їх частотного діапазону. Якщо детектор настроєний на певну частоту, вся інформація поза межами обраної частотної області ігнорується. Крім того, результати вимірювань амплітуди й тривалості є надійними лише для імпульсів із постійною частотою, тоді як через обмеженість звукового діапазону не можна отримати надійні результати для імпульсів із частотно-модульованою розгорткою.

З метою розширення функціональних можливостей гетеродинних детекторів розроблено скануючу гетеродинну систему, яка може працювати і в режимі звичайного гетеродинного детектування (ручне настроювання на певну частоту), і в режимі автоматичного сканування. В останньому випадку частотний діапазон сканується автоматично в заданих межах, причому, як тільки уловлюється змістовний сигнал (гетеродинний вихід перевищує визначений рівень), сканування припиняється і на дисплей виводиться значення відповідної частоти. Після цього автоматичне сканування продовжується.

Завдяки введенню функції автоматичного сканування, гетеродинний детектор стає «майже ширококутовим», не втрачаючи при цьому високої чутливості, властивої вузькосмуговим методам.

**«Розтягування часу».** Метод «розтягування часу» є унікальним, тому що являє собою таке перетворення вихідного сигналу, яке зберігає практично всі його характеристики [3]. Принципово роз-



глядуваний метод відповідає процедурі записування ультразвуку на магнітну плівку за допомогою магнітофона з наступним відтворенням зробленого запису на зменшеній швидкості.

Наразі при ультразвуковому детектуванні кажанів методом «розтягування часу» як носія інформації замість магнітної стрічки використовують цифрову пам'ять. З метою завантаження сигналу у вигляді набору двійкових слів до цієї пам'яті сигнал конвертують у цифрову форму за допомогою аналого-цифрового перетворювача (рис. 4). Відліки збираються зі швидкістю що найменше удвічі вищою за найвищу частоту сигналу.

Низькочастотний фільтр має суттєво послабляти частоти, вищі за половину частоти вибирання відліків.

Процес вибирання відліків і наступного завантаження їх у пам'ять керується блоком часової логіки, який також відповідає за надходження сигналу до цифро-аналогового перетворювача із цифрової пам'яті при його відтворенні.

Коефіцієнт «розтягування часу» звичайно зручно брати рівним десяти. При вдвічі більшому значенні (тобто 20) легше почути високі частоти, але тоді потрібно більше часу для відтворення збереженої послідовності сигналів. Власне зміна цього коефіцієнта в таких системах є технічно простою справою.

До відносних недоліків детекторів «з розтягуванням часу» можна віднести досить високу вартість їх технічної реалізації, а також те, що вони не є системами «реального часу», тобто оператор-дослідник може почути лише попередньо записаний сигнал, отже, з певним запізненням.

Метод «розтягування часу», зберігаючи всі характеристики ультразвукових сигналів, найбільш пристосований для проведення наступного лабораторного аналізу даних, отриманих у польових умовах, причому записані сигнали тимчасово можна зберігати і на звичайній магнітній стрічці касетного магнітофона. Побудовані на основі цього методу детекторні системи дозволяють вивчати навіть вибрані одиночні імпульси з метою точної ідентифікації видів кажанів із використанням спеціально розробленого програмного забезпечення.

**Вибір оптимальної системи детектування кажанів.** Кожний із наявних методів ультразвукового детектування має свої переваги і недоліки. Насправді, оптимальний вибір побудови відповідної системи залежить від двох основних речей: по-перше, від правильної постановки задачі, яка має бути вирішена за допомогою детектора, по-друге, від фінансового забезпечення виконання поставленої задачі.

Виділимо три основні задачі, розв'язувані за допомогою ультразвукових детекторів [5]:

- пошук і виявлення кажанів взагалі на заданій території, об'єкті без уточнення виду;
- ідентифікація виду кажанів;
- запис сигналів, емітованих кажанами, для наступного детального лабораторного аналізу.

Розглядаючи перші дві задачі треба взяти до уваги, що різні види кажанів емітують сигнали на істотно різних частотах. Так, згідно з попередніми даними, характерні частоти сигналів кажанів, які мешкають на території України, лежать у діапазоні від 15 kHz (*vespertilio murinus* – лилик двоколірний) до 110 kHz (*rhinolophus hipposideros* – підковоніс малий) [6].

Оскільки перша задача полягає у виявленні будь-якої активності кажанів на даній території, то для її розв'язання необхідно використовувати широкосмугову техніку, щоб не пропустити ультразвуки поза занадто вузько заданими межами. Крім того, необхідно мати високу чутливість приладу з метою детектування тварин на великих відстанях. Зазначені вимоги важко задовольнити у приладі, який побудовано на основі лише однієї з описаних методик детектування.

Так, системи частотного ділення є дійсно широкосмуговими, але чутливість їх значно гірша, ніж у гетеродинних систем. Наприклад, кажани, які пролітають на відстані, більшій за декілька метрів, можуть бути не зафіксовані таким приладом. Якість отриманого звуку виявляється не надто високою, що ускладнює визначення характеристик імпульсу з перетворених звуків.

Натомість підвищеною є чутливість детекторів частотного ділення до відносно низьких частот, які можуть продукуватися при звичайному ходінні по лісу. Отже, спостерігач-оператор вимушений мінімізувати свої рухи в процесі дослідження.



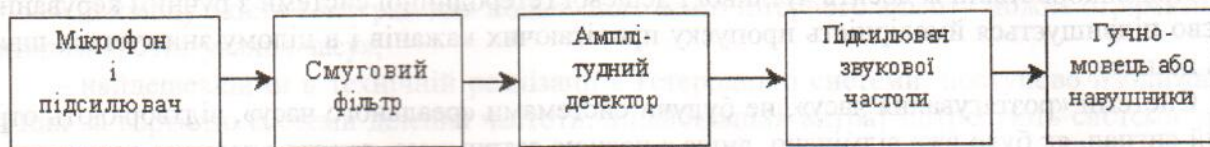


Рис. 1. Схема детектора огибаючої (an envelope detector) для ультразвукового детектування кажанів



Рис. 2. Схема детектора ділення частоти

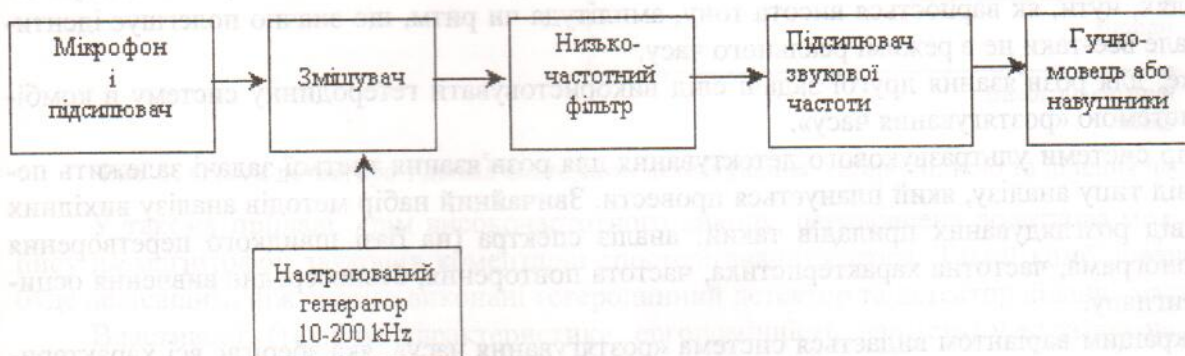


Рис. 3. Схема гетеродинного детектора

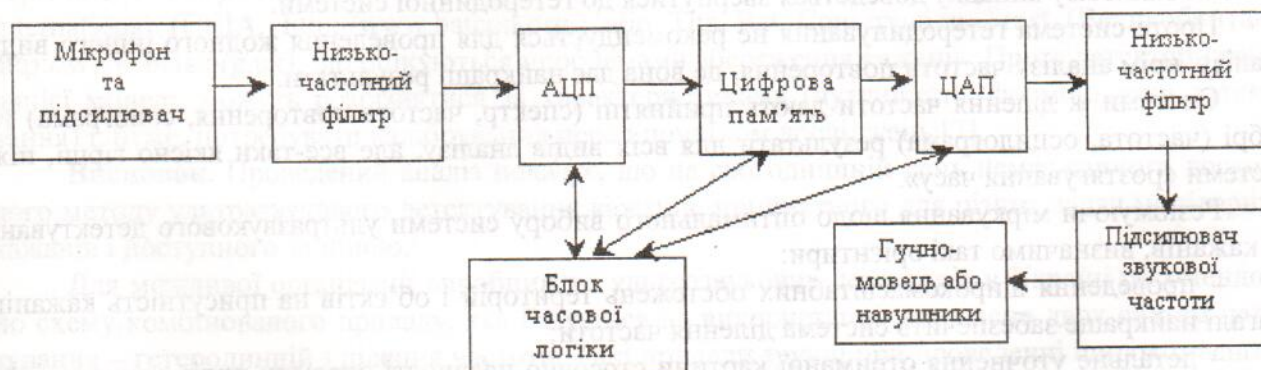


Рис. 4. Блок-схема детектора «з розтягуванням часу»:

АЦП – аналого-цифровий перетворювач;  
ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач



При використанні ж досить чутливої і дешевої гетеродинної системи з ручним керуванням суттєво підвищується ймовірність пропуску пролітаючих кажанів і в цілому знижується швидкість пошуку.

Системи «розтягування часу», не будучи системами «реального часу», відтворюють отриманий сигнал, як було вже відмічено, лише з певною затримкою, так що впевнено детектованіми будуть лише тварини, які знаходяться достатній час прямо перед спостерігачем-оператором. При цьому запис сигналу має здійснюватися в автоматичному режимі, без ручного вмикання процедури запису.

Отже, найбільш прийнятним з погляду повноти виконання задачі пошуку кажанів на даній території є такий пристрій, в якому реалізовані одночасно два методи: скануюче гетеродинування та «розтягування часу» з автоматичним режимом запису. Але вартість такого приладу буде зависокою для більшості науково-екологічних проєктів.

Для другої задачі на перший план виступає вимога стосовно високої якості звуку і сигналів, що дозволить достовірно розрізнити окремі види кажанів.

Оскільки якість звуку в системах ділення частоти не є надто високою, то вони не є найкращим вибором для польових досліджень.

Скануюча гетеродинна система втрачає свої переваги через необхідність додаткового ручного настроювання на конкретну частоту, характерну для ідентифікованого виду.

Натомість ручна гетеродинна система при дуже високій чутливості забезпечує водночас високу розрізняльну здатність для різних типів імпульсів, що необхідно для впевненої ідентифікації.

Нарешті, за допомогою системи «розтягування часу» можна вивчати звуки в найдрібніших деталях, чути, як варіюється висота тону, амплітуда чи ритм, що значно полегшує ідентифікацію, але все-таки не в режимі реального часу.

Отже, для розв'язання другої задачі слід використовувати гетеродинну систему в комбінації із системою «розтягування часу».

Вибір системи ультразвукового детектування для розв'язання третьої задачі залежить переважно від типу аналізу, який планується провести. Звичайний набір методів аналізу вихідних сигналів від розглядуваних приладів такий: аналіз спектра (на базі швидкого перетворення Фур'є), сонограма, частотна характеристика, частота повторення, безпосереднє вивчення осцилограми сигналу.

Найкращим варіантом видається система «розтягування часу», яка зберігає всі характеристики оригінального сигналу. Певний недолік дійсних систем цього типу полягає в обмеженості довжини запису, що, в свою чергу, обмежує можливість аналізу частоти повторення, особливо коли для отримання надійних результатів необхідно мати довгі неперервні послідовності сигналів. В останньому випадку доведеться звернутися до гетеродинної системи.

Проте система гетеродинування не рекомендується для проведення жодного іншого виду аналізу, крім аналізу частоти повторення, де вона дає найкращі результати.

Системи ж ділення частоти дають прийнятні (спектр, частота повторення, сонограма) та добрі (частота, осцилограма) результати для всіх видів аналізу, але все-таки якісно гірші, ніж системи «розтягування часу».

Резюмуючи міркування щодо оптимального вибору системи ультразвукового детектування кажанів, визначимо такі орієнтири:

- проведення широкомасштабних обстежень територій і об'єктів на присутність кажанів взагалі найкраще забезпечить система ділення частоти;
- детальне уточнення отриманої картини стосовно наявності окремих видів кажанів найкраще здійснити за допомогою системи «розтягування часу»;
- безпосередню ідентифікацію кажанів за видами в процесі польових досліджень найкраще забезпечить система гетеродинування;



– найвищу якість сонограм для подальшого комп'ютерного аналізу можна отримати лише методом «розтягування часу»;

– найдешевшими в технічній реалізації є гетеродинні системи, поступово наближаються до них за вартістю системи ділення частоти, а найбільших витрат потребують системи «розтягування часу», але останні дають і найкращі результати.

Наразі не існує єдиного досконалого методу ультразвукового детектування, однаково прийняттого з усіх точок зору, тому професійні пристрої цього класу мають базуватися щонайменше на двох з описаних систем детектування.

На рис. 5 наведено схему недорогого варіанта суміщення двох таких систем: гетеродинної та ділення частоти, що робить побудований прилад зручним для польових досліджень як в задачах виявлення присутності кажанів, так і для їх безпосередньої ідентифікації.

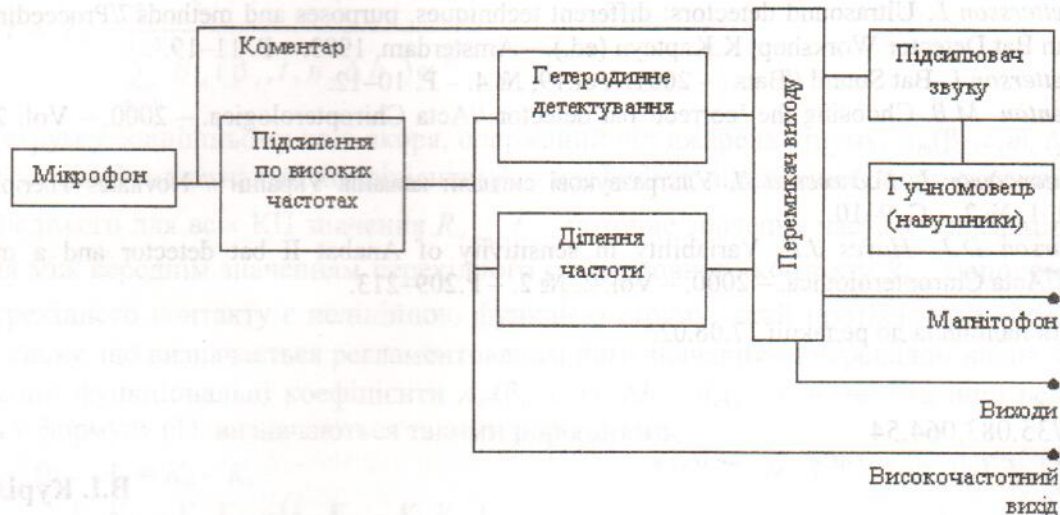


Рис. 5. Схема детектора з двома системами детектування: гетеродинною та ділення частоти

У такому приладі, крім високочастотного виходу, передбачена додаткова можливість запису на магнітофон звукових коментарів спостерігача-оператора. Такий комбінований прилад буде дешевшим, ніж окремо виконані гетеродинний детектор та детектор ділення частоти.

Властивості (технічні характеристики, ергономічність, вартість) ультразвукових детекторів кажанів залежать не тільки від використаних методів детектування під час конструювання приладів, а й від якості застосованих компонентів – мікрофонів, фільтрів, підсилювачів тощо та наявності додаткових пристосувань і зручностей. Детальну інформацію щодо цього можна отримати в Інтернеті наприклад, через сайти благодійних організацій типу Bat Conservation International (США, <http://www.batcon.org>) або The Bat Conservation Trust (Великобританія, <http://www.bats.org.uk>), що опікуються проблемами збереження кажанів. Проте детектори навіть однієї моделі, можуть розрізнятися за характеристиками (чутливістю, формою зони детектування) і, отже, потребувати калібрування перед початком досліджень [7].

**Висновок.** Проведений аналіз показує, що на сьогоднішній день немає єдиного досконалого методу ультразвукового детектування кажанів, прийняттого для різних задач моніторингу кажанів і доступного за ціною.

Для можливої організації виробництва ультразвукових детекторів в Україні рекомендовано схему комбінованого приладу, яка базується на використанні одночасно двох систем детектування – гетеродинній і ділення частоти. Такі прилади зручні при проведенні широкомасштабних польових досліджень, дають відмінні результати при ідентифікації видів «на слух», забезпечують задовільну якість сонограм і, що важливо з урахуванням реалій сьогодення, є порівняно дешевими у виробництві.

Конструювання й виготовлення цих приладів цілком може бути здійснене силами українських фахівців у галузі електроніки, радіотехніки та приладобудування.



Створення ж в Україні більш дорогих систем «розтягування часу», необхідних для проведення детального аналізу сигналів у лабораторних умовах, слід вважати перспективною задачею наступних етапів.

Наявність достатньої кількості ультразвукових детекторів різних типів є необхідною умовою для здійснення загальнонаціональних досліджень статусу й розповсюдження цих унікальних тварин в Україні та виконання державою своїх зобов'язань як відповідального учасника міжнародних природоохоронних угод.

#### Список літератури

1. Айратетьянц Э.Ш., Константинов А.И. Эхолокация в природе. – Л.: Наука. – 1974. – 512 с.
2. Ahlen I., Pettersson L., Svardstrom A. An instrument for detecting bat and insect sounds // Myotis. – 1983. – № 21 – 22. – P. 82–88.
3. Pettersson L. Ultrasound detectors: different techniques, purposes and methods // Proceedings of the 1st European Bat Detector Workshop: K. Kapteyn (ed.). – Amsterdam, 1993. – P. 11–19.
4. Peterson L. Bat Sound // Bats. – 2001. Vol. 19, № 4. – P. 10–12.
5. Fenton M.B. Choosing the 'correct' bat detector // Acta Chiropterologica. – 2000. – Vol. 2, No. 2. – P. 215–224.
6. Загороднюк І., Годлевська Л. Ультразвукові сигнали кажанів України // Novitates Theriologicae. – 2000. – Vol. 1, № 2. – С. 9–10.
7. Larson D.J., Hayes J.P. Variability in sensitivity of Anabat II bat detector and a method of calibration // Acta Chiropterologica. – 2000. – Vol. 2, № 2. – P. 209–213.

Стаття надійшла до редакції 17.06.02.

УДК 629.735.083.064.54

ББК 0 562.2 - 047.2 - 082.051

В.І. Курілов, доц.

### СТАТИСТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАРАМЕТРА КОНТРОЛЮ ЩІТКОВО-КОЛЕКТОРНИХ ВУЗЛІВ

*Розглянуто статистичні характеристики оператора функціональної залежності між вхідними та вихідними діагностичними параметрами пристроїв, що призначені для контролю технічного стану авіаційних машин постійного струму й робота яких ґрунтується на використанні інформативних параметрів процесу комутації.*

Ефективність діагностування машин постійного струму (МПС), у першу чергу, залежить від вірогідності його результатів і можливості застосування їх для прогнозування технічного стану МПС. Вірогідність результатів діагностування авіаційних МПС за допомогою розроблених на кафедрі електротехніки і світлотехніки Національного авіаційного університету і впроваджених в авіаційну промисловість діагностичних пристроїв ПККИО-1, УДМД 80/120 можна оцінити, аналізуючи оператор функціональної залежності підконтрольного об'єкта, який є багатовимірним із взаємно корельованими у загальному випадку входами.

При оцінці мікропрофілю колектора авіаційних перетворювачів серій ПТ, Ма і ПО та магнітоелектричних двигунів із хвиловими обмотками якоря за допомогою пристроїв відповідно ІС-1 та УДМД 80/120 вхідним параметром є перепад висот між колекторними пластинами (КП)  $\Delta h_i$ , який, в основному, визначає надійну роботу щітково-колекторного вузла (ЩКВ), а вихідним – амплітуда сигналу  $u = k \Delta i$  каналу контролю мікропрофілю, ( $k$  – коефіцієнт пропорційності,  $\Delta i$  – різниця струмів в однополярних щітках), який має період повтору, що дорівнює часу одного оберту якоря.

Оператор функціональної залежності об'єкта контролю  $\Lambda_{\phi}(\Delta h, u)$  побудовано на основі нелінійних диференціальних рівнянь комутаційного процесу, що не мають розв'язку в загальному вигляді і не дають можливості одержати повну аналітичну динамічну модель об'єкта.