



ПІДВИЩЕННЯ ЧУТЛИВОСТІ ДОПЛЕРІВСЬКОГО МІКРОХВИЛЬОВОГО СЕНСОРА РУХУ

В. Оборжицький, В. Сторож, Ю. Матієшин, В. Протасевич

Національний університет “Львівська політехніка”, вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Відповідальний за рукопис: Юрій Матієшин (e-mail: yurii.m.matiieshyn@lpnu.ua)

(Подано 21 вересня 2022)

В роботі розглядається метод підвищення чутливості мікрохвильового сенсора руху на ефекті Доплера, заснований на застосуванні амплітудної маніпуляції відбитих від рухомого об'єкта електромагнітних коливань. Описано мікрохвильовий сенсор руху на базі інтегрованої антени-автогенератора, де за рахунок амплітудної маніпуляції відбитих коливань реалізовано амплітудну маніпуляцію інформаційного сигналу з подальшим його обробленням на частоті маніпуляції, що дозволяє зменшити вплив власних шумів сенсора на інформаційний сигнал. Приведено результати експериментального дослідження такого мікрохвильового сенсора, у якому рівень шумів та внутрішніх завад приблизно на 20 дБ нижчий порівняно з традиційним автодинним режимом роботи цього ж сенсора.

Ключові слова: *мікрохвильовий сенсор, антена-автогенератор, амплітудна маніпуляція.*
УДК 621.396

1. Вступ

Мікрохвильовий сенсор (інакше – мікрохвильовий доплерівський радар) формує інформаційний сигнал, якщо в його чутливій зоні з'являється або переміщується досліджуваний об'єкт, електричні параметри якого відрізняються від параметрів навколишнього середовища. Параметри інформаційного сигналу залежать від динаміки переміщення досліджуваного об'єкта, його електричних параметрів та габаритів, а також відстані між ним і сенсором. Мікрохвильові сенсори застосовуються в різних галузях науки і техніки для визначення динамічних та електричних параметрів досліджуваних об'єктів. Зокрема їх використовують при проведенні автогенераторних вимірювань електричних параметрів середовищ, балістичних досліджень та безконтактного біомедичного моніторингу [1, 2, 3].

2. Постановка проблеми і формулювання цілі статті

В представлений роботі розглянуто експериментальний взірець мікрохвильового сенсора руху на основі інтегрованої антени-автогенератора в якому антена, окрім випромінювання електромагнітних коливань, одночасно є елементом його коливальної системи [4]. Проте порівняно з аналогічними пристроями, що побудовані за гетеродинною чи гомодинною схемами, такі сенсори мають нижчу чутливість. Причиною цього є власні шуми нелінійної автоколивальної системи, енергетичний спектр яких приблизно пропорційний $1/f$ [5, 6, 7]. Частота інформаційного сигналу, частота

Доплера, залежить від динамічних властивостей досліджуваного об'єкта, і може займати смугу від часток до одиниць герців, де інтенсивність власних шумів нелінійної автоколивальної системи є найвищою. Окрім внутрішніх шумів наведення від мережі електроживлення також можуть бути причиною зниження чутливості мікрохвильових сенсорів. Названі фактори ускладнюють виявлення рухомих об'єктів і визначення їхніх параметрів.

Ефективним методом боротьби з внутрішніми шумами, окрім застосування малошумних елементів, є метод модуляційного приймання відбитого сигналу. Вперше цей метод був застосований у радіометрії в радіометрі Діке [8]. Модуляція сигналу, що приймався антеною, була забезпечена механічним атенуатором, поглинаюча пластина якого періодично, з частотою модуляції всього лиш 30 Гц, занурювалася у хвилевід. Цього було достатньо, щоб за допомогою синхронного детектора виділити інформаційний сигнал в діапазоні інфранизьких частот, де інтенсивність внутрішніх шумів максимальна. Умовою ефективності цього методу є мінімізація впливу роботи кіл модуляції прийнятого сигналу на режими роботи гетеродину, змішувача та підсилювальних трактів радіометра [8].

Для реалізації аналогічного методу в мікрохвильовому сенсорі на основі антени-автогенератора також потрібно забезпечити амплітудну маніпуляцію (модуляцію) прийнятого сигналу. Однак, на відміну від радіометра, що працює лише на приймання, в мікрохвильовому сенсорі прийнятий сигнал утворюється за рахунок відбиття від досліджуваного об'єкта випромінених ним електромагнітних коливань, що вимагає забезпечення незмінності режиму генерування при амплітудній маніпуляції.

3. Обґрунтування ефективності методу

Ефективність використання методу модуляційного приймання відбитого сигналу в мікрохвильовому сенсорі на основі антени-автогенератора впливає з наведених у [9] міркувань. Процес амплітудної маніпуляції здійснюється шляхом періодичного підключення автогенератора до випромінювача, що передбачає використання електронного ключа. При перемиканні ключа у положення без випромінювача активна частина схеми починає працювати на еквівалентний опір. Автоколивання в схемі не припиняються, проте випромінювання і приймання відбитих від рухомого об'єкта електромагнітних коливань відсутні.

Для успішного виділення інформаційного сигналу частота маніпуляції F_M повинна значно перевищувати частоту інформаційного сигналу (частоту сигналу Доплера F_D) і складових шуму, які знаходяться в низькочастотній області. Водночас, вона має бути значно нижчою за частоту випромінених сенсором НВЧ-коливань.

Миттєве значення сигналу антени-автогенератора з урахуванням шумів зручно записати у вигляді [6, 7]:

$$u(t) = (U_0 + N(t)) \cdot \cos(\omega t + \theta_N(t)), \quad (1)$$

де U_0 – амплітуда коливань; ω – робоча частота; $N(t)$ – флуктуації амплітуди коливань антени-автогенератора; $\theta_N(t)$ – флуктуації фази коливань антени-автогенератора.

НВЧ-коливання, яке описане виразом (1), існує незалежно від стану електронного ключа. За рахунок введення випадкових змінних $N(t)$ та $\theta_N(t)$ враховані внутрішні шуми антени-автогенератора. При цьому максимальне можливе значення амплітуди флуктуацій N_m і його ефективне значення N_{rms} завжди набагато менші від амплітуди надвисокочастотних коливань U_0 автогенератора. На цьому етапі обмежимося лише розглядом впливу амплітудних шумів, що є достатнім для сенсорів, які працюють на малих відстанях.

Відбитий від рухомого об'єкту сигнал має амплітуду $U_D \ll U_0$, і відрізняється від опорного сигналу на частоту Доплера $\Omega_D = 2\pi F_D$. Максимально можливе значення амплітуди флуктуацій N_m також суттєво менше за амплітуду коливань U_0 . Враховуючи це, миттєве значення сигналу, відбитого від рухомого об'єкту або імітатора руху, подамо у вигляді:

$$u_D(t) = U_D \cdot \cos((\omega \pm \Omega_D)t). \quad (2)$$

У результаті взаємодії сигналів, описаних виразами (1) і (2), на виході детекторної секції сенсора виникає сигнал, який, опускаючи проміжні вирази, запишемо так:

$$u_{ON}(t) = U_0 + N(t) + U_D \cdot \cos(\Omega_D t). \quad (3)$$

Сигнал (3) формується лише у випадку, коли електронний ключ переключений на антену, що забезпечує випромінювання і приймання сигналів. Окрім інформаційного сигналу в ньому присутні постійна складова і шуми. При перемиканні ключа на еквівалентний опір, який на практиці дещо відрізняється від опору антени, режим роботи інтегрованої антени-автогенератора змінюється. Для врахування цього впливу введено близький до одиниці коефіцієнт M . У результаті, за відсутності об'єкта сигнал на інформаційному виході буде становити:

$$u_{OF}(t) = (U_0 + N(t)) \cdot M. \quad (4)$$

Оброблення інформаційного сигналу на частоті маніпуляції F_M за допомогою синхронного детектора еквівалентне формуванню різницевого сигналу з двох сигналів, описаних виразами (3) і (4):

$$u_{\Delta}(t) = U_0 \cdot (1 - M) + N(t) \cdot (1 - M) + U_D \cdot \cos(\Omega_D t). \quad (5)$$

Перша складова виразу (5) враховує амплітуду залишкових коливань з частотою F_M . Вона значно перевищує усі інші складові та обмежує можливість підсилення інформаційного сигналу на частоті маніпуляції. Друга складова – це шуми, які потрапляють на вихід. Третя складова – інформаційний сигнал. В ідеальному випадку, коли $M=1$, шуми повністю компенсуються. Однак на практиці M відрізняється від одиниці і, як показали дослідження, може виходити за межі 0,9...1,1. Це означає, що за час одного періоду частоти маніпуляції режим роботи автогенератора мікрохвильового сенсора змінюється, що є причиною проходження шумів на інформаційний вихід.

Тому для ефективного придушення шумів необхідно мінімізувати вплив процесу амплітудної маніпуляції на режим роботи інтегрованої антени-автогенератора, на якій реалізовано сенсор, що значною мірою залежить від методу технічної реалізації вказаного процесу.

4. Способи амплітудної маніпуляції коливань автогенератора

Амплітудну маніпуляцію відбитих від досліджуваного об'єкта електромагнітних коливань в інтегрованій антені-автогенераторі можна реалізувати запропонованими у [8] способами, кожен з яких схематично показаний нижче.

У двох запропонованих варіантах амплітудну маніпуляцію можна здійснювати шляхом використання різних випромінювачів, як це показано на рис. 1. У першому випадку (рис. 1, а) режим амплітудної маніпуляції реалізується шляхом зміни напрямку випромінювання НВЧ-коливань за рахунок перемикання S_w з основної антени сенсора A_1 на ідентичну їй допоміжну антену A_2 , або за рахунок використання багатопроменевих антенних решіток. При цьому зона виявлення буде складатися з двох або більше рівнозначних пелюсток, спрямованих під певним кутом одна до одної, які визначаються антенною системою сенсора.

У другому випадку (рис. 1, б) амплітудна маніпуляція реалізується за рахунок зміни форми діаграми спрямованості шляхом періодичного підключення до основної антени допоміжної. При забезпеченні певних форм парціальних діаграм спрямованості можна суттєво звужити ширину зони виявлення і мінімізувати вплив сторонніх об'єктів збоку та позаду сенсора.

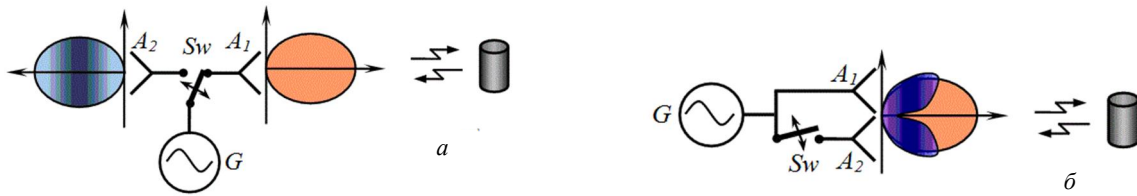


Рис. 1. Способи амплітудної маніпуляції відбитого сигналу з двома випромінювачами

Ці варіанти створюють можливості для формування чутливої зони мікрохвильового сенсора руху, відмінної від форми діаграми спрямованості антени, проте ускладнені застосуванням двох випромінювачів.

Простіші варіанти можуть бути реалізовані з безпосереднім застосуванням сенсора з антени-автогенератора (рис. 2). Найпростіше це реалізувати шляхом періодичного перемикавання електронним ключем Sw з частотою F_M активної частини схеми сенсора G з випромінювача A на його еквівалент з комплексним опором Z_{eq} (рис. 2, а), як це здійснюється в радіометрії [8]. Оскільки антена є елементом розподіленої коливальної системи антени-автогенератора, то необхідно, щоб частотна характеристика еквівалентного опору Z_{eq} співпадала з частотною характеристикою імпедансу Z_A антени. Тоді періодично з частотою F_M на час перемикавання активної частини схеми сенсора на антену відбувається випромінювання і приймання електромагнітних коливань, а на час перемикавання на еквівалентний опір – випромінювання і приймання НВЧ-коливань припиняються, але параметри автоколивань не змінюються. Проте проблемою є досягнення ідентичності характеристик еквівалентного опору та характеристики імпедансу антени.

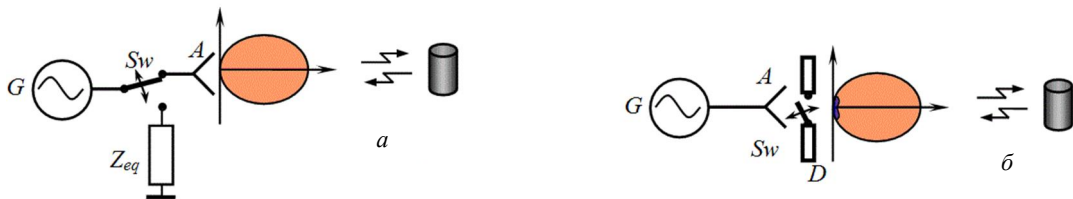


Рис. 2. Способи амплітудної маніпуляції відбитого сигналу з одним випромінювачем

Позбавленим вказаних труднощів є спосіб комутованої діафрагми (рис. 2, б). За такого підходу для забезпечення амплітудної маніпуляції сигналу перед антеною мікрохвильового сенсора запропоновано [9, 10] встановити металеву діафрагму D з резонансною щілиною, яка комутується електронним ключем Sw . Замість діафрагми можна використати електричний вібратор, який встановлюється перед основним випромінювачем. За комутації електричний вібратор буде переключатися з режиму “директор” на режим “рефлектор” відносно антени сенсора, що також забезпечить амплітудну маніпуляцію сигналу.

Завдяки простоті цей спосіб вибрано для технічної реалізації та проведення експериментальних досліджень з метою виявлення і підтвердження ефективності використання методу модуляційного приймання відбитого сигналу в мікрохвильовому сенсорі.

5. Реалізація сенсора і результати експериментальних досліджень

Базовою схемою для розробки сенсора з амплітудною маніпуляцією відбитих від досліджуваного об'єкта електромагнітних коливань використано одну з наведених в [4] схем антени-автогенератора (рис. 3, а). На рис. 3, б показано експериментальний зразок конструкції такого генератора.

В схемі інтегрованої антени-автогенератора розподілену коливальну систему утворюють мікросмужкова антена прямокутної форми, яка увімкнена в коло колектора транзистора, та розімкнені шлейфи W_1 в колі бази і W_2 в колі емітера. Елементи $L_1, L_2, C_1, R_1, R_2, R_3$ та C_2 забезпечують жив-

лення постійним струмом. Для виділення інформаційного сигналу в коливальну систему антени-автогенератора, а саме – у випромінювач мікросмужкової антени, інтегровано детекторну секцію VD, R₄, C₃. Експериментальний взірець мікрохвильового сенсора виконано на підкладці з фторопласту ФАФ 4Д товщиною 1,5 мм з діелектричною проникністю 2,6.

Антена-автогенератор випромінює електромагнітні коливання з лінійною поляризацією поля і з потужністю не більше 5 мВт в неперервному режимі роботи. Ширина діаграми спрямованості, яка визначає форму чутливої зони мікрохвильового сенсора, становить приблизно 70°–90° і задається мікросмужковою антеною [4, 5]. Змінюючи довжини шлейфів W₁ та W₂ в колах бази і емітера транзистора можна змінювати робочу частоту інтегрованої антени-автогенератора в межах 2,4...2,65 ГГц.

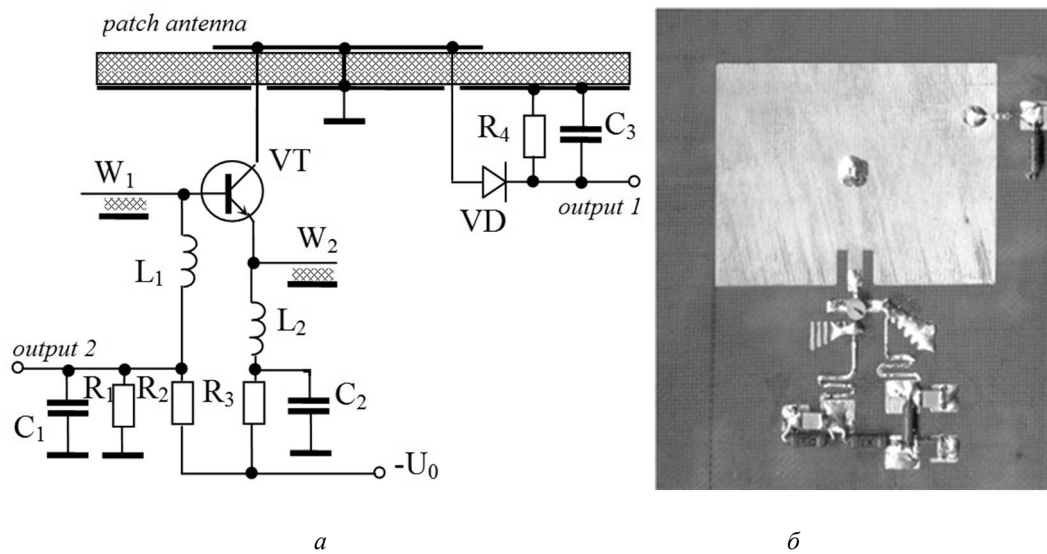


Рис. 3. Принципова схема антени-автогенератора (а) та її конструкція (б)

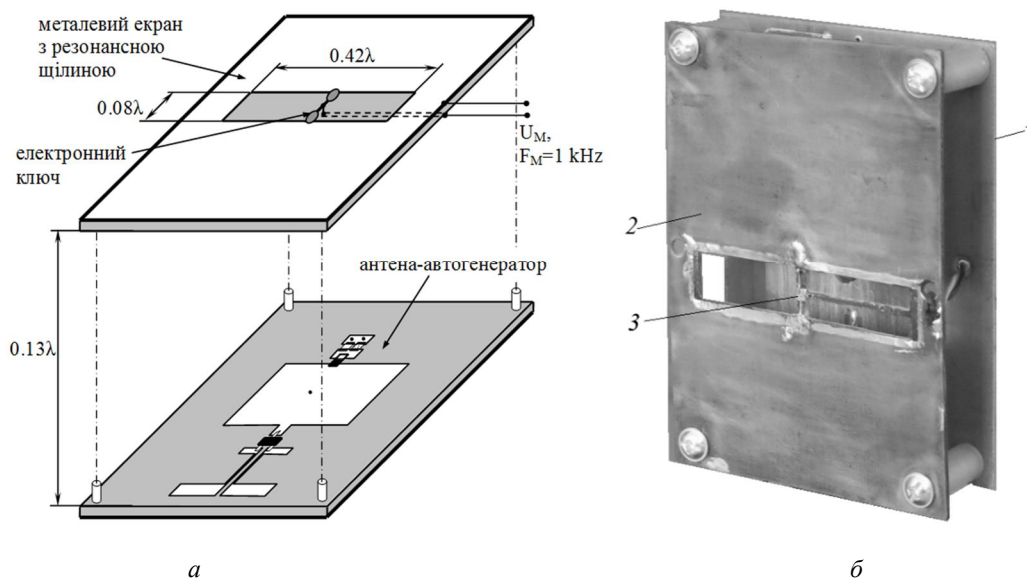


Рис. 4. Схематичне представлення сенсора (а), експериментальний зразок (б)

Така побудова пристрою обумовлює достатню чутливість до змін умов поширення випромінених НВЧ-коливань. Мікрохвильовий сенсор (рис. 3), на основі якого проводились дослідження,

був розрахований на виявлення рухомих об'єктів, швидкість яких знаходиться в межах від 0,1 м/с до 3 м/с, що відповідає діапазону частот Доплера приблизно від 1,6 Гц до 50 Гц, тому частота маніпуляції F_M прийнята рівною 1 кГц.

Експериментальний зразок мікрохвильового сенсора з амплітудною маніпуляцією випромінюваних НВЧ-коливань представлено на рис. 4. В його основі лежить четвертий варіант (рис. 2, б) реалізації способу амплітудної маніпуляції [9, 10]. Зразок складається з таких основних частин: такого ж, як показано на рис. 3, б, мікрохвильового сенсора 1 на основі інтегрованої антени-автогенератора; металевого екрану 2 з резонансною щілиною, яка комутується електронним ключем 3 на двох р-і-п діодах.

В результаті експериментальних досліджень виявлено, що при встановленні екрану з резонансною щілиною над платою інтегрованої антени-автогенератора на висоті $0,13\lambda$ і за ширини резонансної щілини $0,08\lambda$ її оптимальна довжина повинна бути в межах $0,4\lambda - 0,43\lambda$, де λ – довжина хвилі. В цьому випадку критерієм оптимальності була мінімізація амплітуди сигналу з частотою $F_M=1$ кГц на інформаційному виході сенсора за відсутності сторонніх рухомих об'єктів у його чутливій зоні.

Експериментальні дослідження проводилися за допомогою установки, показаної на рис. 5, з використанням механічного імітатора руху. Установка складалася з мікрохвильового сенсора на основі інтегрованої антени-автогенератора, блоку живлення та імітатора руху у вигляді металевієї пластини розміром 90×12 мм, закріпленої на осі електродвигуна з можливістю змінювати швидкість обертання. Для контролю режимів роботи сенсора були використані аналізатор спектру та осцилограф. Для запису інформаційного сигналу на персональний комп'ютер було використано 24-бітний аналогово-цифровий перетворювач.

Напруга живлення становила 8 В, потужність випромінювання інтегрованої антени-автогенератора не перевищувала 5 мВт. При відкритому стані електронного ключа частота генерованих коливань становила 2,445 ГГц, а при закритому – 2,460 ГГц. Залишкова амплітуда коливань на інформаційному виході з частотою маніпуляції 1 кГц становила 50...80 мВ на фоні постійної складової 3,2 В.



Рис. 5. Установка для експериментального дослідження сенсора

Імітатор руху був встановлений на відстані приблизно 1 метр від мікрохвильового сенсора. Частота обертів становила 4–5 обертів за секунду. Аналогово-цифровий перетворювач сумісно з ПК забезпечував перетворення досліджуваного аналогового інформаційного сигналу у цифровий сигнал і його збереження у вигляді текстового файлу. Такі файли можна обробляти, використовуючи готові програмні засоби. У результаті був здійснений запис інформаційного сигналу та сигналу модулятора, який виконує роль опорного, на персональний комп'ютер. Запис складався з двох частин. В першій частині запису імітатор руху був увімкнений для запису інформаційного сигналу. У другій частині – імітатор був вимкнений для можливості фіксації шумів.

Такий підхід дозволив, використовуючи програмні засоби оброблення звукових файлів, отримати відразу два варіанти інформаційного сигналу від того самого рухомого об'єкта в тих самих умовах. Перший варіант – інформаційний сигнал в класичному автодинному режимі роботи мікрохвильового сенсора (рис. 6, а). Другий варіант – в режимі роботи з амплітудною маніпуляцією інформаційного сигналу (рис. 6, б). Весь розмах шкали амплітуд містить 2^{16} відліків аналогово-цифрового перетворювача з 2^{24} можливих.

У другому варіанті застосовано синхронне підсилення і оброблення інформаційного сигналу на частоті маніпуляції, що дозволило суттєво придушити складові шуму. Експериментально встановлено, що в класичному автодинному режимі роботи досліджуваного мікрохвильового сенсора (рис. 4, б) відношення сигнал/шум становить 8,7 дБ (рис. 6, а), а в режимі роботи з амплітудною маніпуляцією – 29,1 дБ (рис. 6, б). Отже, покращення, отримане за рахунок використання амплітудної маніпуляції, становить 20,4 дБ, що підтвердило ефективність режиму з амплітудною маніпуляцією інформаційного сигналу в мікрохвильових сенсорах руху на основі інтегрованих антен-автогенераторів. Для вирішення низки задач таке підвищення відношення сигнал/шум є задовільним. Подальше покращення цього показника можливе шляхом мінімізації впливу перемикачів електронного ключа на режим роботи інтегрованої антени-автогенератора в цілому.

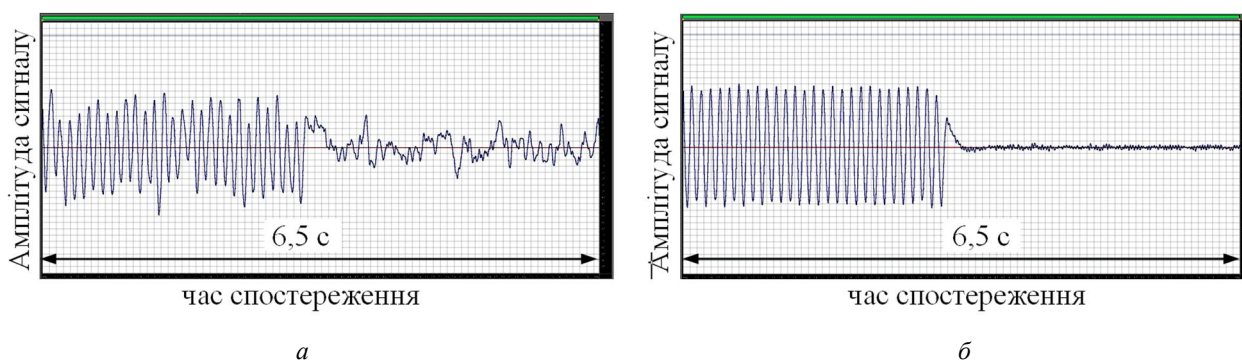


Рис. 6. Інформаційний сигнал в автодинному режимі роботи (а), інформаційний сигнал в режимі роботи з амплітудною маніпуляцією (б)

Нижче, для прикладу, показано один із можливих варіантів використання досліджуваного мікрохвильового сенсора для безконтактного біомедичного моніторингу стану людини шляхом виявлення і реєстрації сигналів, спричинених диханням та серцевою діяльністю. Подібні дослідження активно проводяться останнім часом [1, 2, 11, 12]. Учасник експериментів, один зі співавторів, знаходився в сидячому положенні на відстані приблизно 30 см від мікрохвильового сенсора відразу після незначного фізичного навантаження (рис. 7).



Рис. 7. Процес контролю дихання та серцевої діяльності

Результати дослідження у вигляді фрагментів сигналу представлено на рис. 8. При цьому на рис. 8, а вся шкала амплітуд містить 2^{16} відліків аналогово-цифрового перетворювача з 2^{24} можли-

вих. На рис. 8, б представлено фрагмент сигналу, обведеного на рис. 8, а кружком. Його тривалість становить 5,4 с, а вся шкала амплітуд містить 10000 відліків аналогово-цифрового перетворювача, що еквівалентно підсиленню сигналу.

На початку записаного сигналу, фрагмент якого тривалістю 70 секунд представлено на рис. 8, а, зафіксована спроба короточасної затримки дихання. На фоні сигналів, спричинених диханням, у вигляді імпульсів додатної полярності з періодом від 4,14 до 6,88 с і плавної зміни середнього рівня сигналу, спричиненої мимовільними переміщеннями тіла людини, спостерігається чіткий періодичний сигнал від серцевої діяльності у вигляді пілоподібних імпульсів. На початку запису, при затримці дихання, період серцевих скорочень становив приблизно 0,78 секунд, що відповідає 77 ударам серця за хвилину. До середини запису період скорочень серця збільшився до 0,88 с, що відповідає 68 ударам серця і свідчить про процес заспокоєння "пацієнта". Проте інтервали між сусідніми вдихами змінюються хаотично, що, скоріш за все, можна пояснити попереднім фізичним навантаженням.

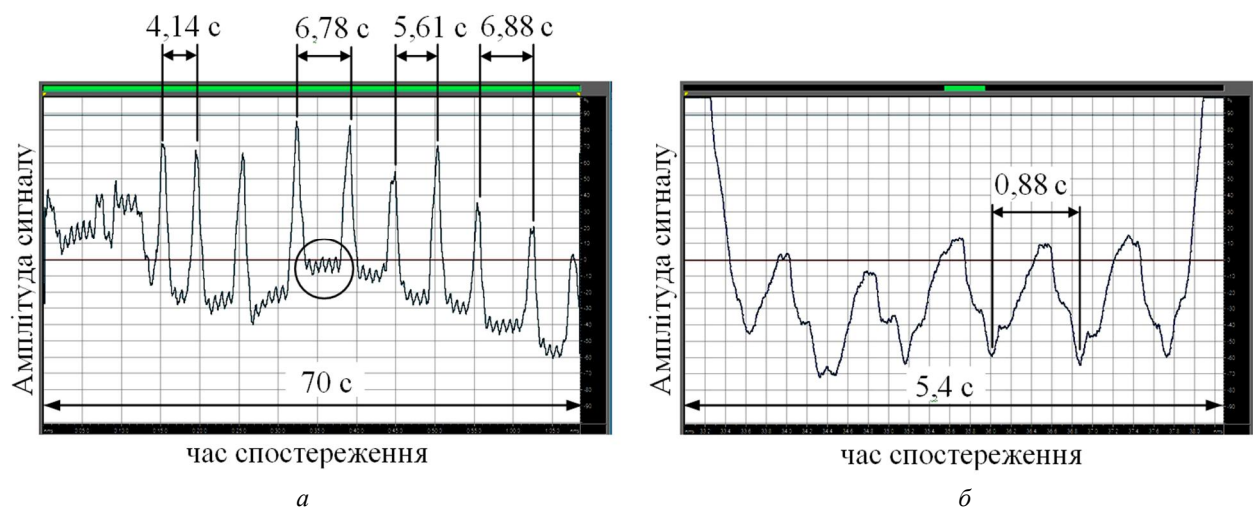


Рис. 8. Результат біомедичного моніторингу (а), фрагмент сигналу від серцевої діяльності (б)

На рис. 8, б показано фрагмент запису сигналу від скорочень серця у період між сусідніми вдихами, який на рис. 8, а обведено кружком. На ньому простежуються певні особливості форми цього сигналу, які повторюються, і на основі яких, очевидно, можна буде робити біомедичні висновки. Проте останнє виходить за межі компетенції авторів цієї статті і потребує окремого дослідження.

Висновки

Застосування амплітудної маніпуляції інформаційного сигналу дозволило знизити рівень шумів та внутрішніх завад на інформаційний сигнал мікрохвильового сенсора на основі інтегрованої антени-автогенератора приблизно на 20 дБ, порівняно з традиційним автодинним режимом роботи цього ж сенсора. Це розширює можливості застосування малопотужних сенсорів. Однак для ефектної роботи методу необхідно мінімізувати вплив амплітудної маніпуляції на режим роботи інтегрованої антени-автогенератора, на основі якої реалізовано сенсор.

Запропоновані в роботі способи технічної реалізації амплітудної маніпуляції відбитого сигналу в мікрохвильовому сенсорі окрім зниження рівня завад і шумів дають можливість формування чутливих зон різної конфігурації.

Низька потужність випромінювання мікрохвильового сенсора дозволяє використовувати його при проведенні безконтактних біомедичних досліджень, а отримані сигнали – дистанційно визначати основні ознаки життєдіяльності людини.

Список використаних джерел

- [1] Avagyan H., Hakhoumian A. and Hayrapetyan H. (2012). *Portable non-contact microwave Doppler radar for respiration and heartbeat sensing. Armenian Journal of Physics*, 5(1). Pp. 8–14.
- [2] Fletcher R. and Jing H. (2009). *Low-cost differential front-end for Doppler radar vital sign monitoring. In: 2009 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, Proceedings of the IEEE International Conference. Boston, USA, 07–12 June 2009. IEEE. Pp. 1325–1328. DOI: 10.1109/MWSYM.2009.5165949.*
- [3] Lin S., Qian Y. and Itoh T. (2001). *A Low Noise Active Integrated Antenna Receiver for Monopulse Radar Applications. In: 2001 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, Proceedings of the IEEE International Conference. Phoenix, USA, 20-24 May 2001. IEEE. Vol. 2. Pp. 1395–1398. DOI: 10.1109/MWSYM.2001.967157.*
- [4] Prudius I. N., Golinsky W. D. and Storozh V. G. (2007). *Tranzistornyye anteny-avtogenatory SVCH diapazona. [Transistor antennas-oscillators of the microwave range]. Tekhnologiya i konstruirovaniye v elektronnoy apparature. [Technology and design in electronic equipment]. Iss. 2. Pp. 13–16 (in Russian).*
- [5] Nefedov E. I., Kozlovsky V. V. and Zgursky A. V. (1990). *Mikropoloskovyye izluchayushchiye i rezonansnyye ustroystva. [Microstrip radiating and resonant devices]. Kiyev: Tekhnika (in Russian).*
- [6] Buckingham M. (1986). *Shumy v elektronnykh priborakh i sistemakh. [Noises in electronic devices and systems]. Translated from English by A. B. Meshcheryakov, V. P. Mitrofanov and G. A. Sidorova. Moskva: Mir (in Russian).*
- [7] Zhalud V. and Kuleshov V. (1977). *Shumy v poluprovodnikovyykh ustroystvakh. [Noises in semiconductor devices]. Moskva: Sovetskoe Radio (in Russian).*
- [8] Harvey A. F. (1965). *Tekhnika sverkhvysokikh chastot. [Microwave Engineering]. Translated from English by Sushkevich. Moskva: Sovetskoe Radio (in Russian).*
- [9] Oborzhytskyy V., Storozh V. and Matiieshyn Y. (2018). *Microwave motion sensor with amplitude-manipulated reflected signal. In: Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering TCSET'2018, Proceedings of the XIVth IEEE International Conference. Lviv –Slavske, Ukraine, 20–24 February 2018. IEEE. Pp. 108–111. DOI: 10.1109/TCSET.2018.8336166.*
- [10] Storozh V. G. Lviv Polytechnic National University, 2018. *Radiokhvylovyi sensor. [Microwave Doppler Radar]. Ukraine Pat. 116041 (in Ukrainian).*
- [11] Tran V. P., Al-Jumaily A. A. and Islam S. M. S. (2019). *Doppler Radar-Based Non-Contact Health Monitoring for Obstructive Sleep Apnea Diagnosis: A Comprehensive Review. Big Data and Cognitive Computing*, 3(1):3.
- [12] Yu Z., Zhao D. and Zhang Z. (2017). *Doppler Radar Vital Signs Detection Method Based on Higher Order Cyclostationary. Sensors*, 18(1):47. DOI: 10.3390/s18010047.

**INCREASING THE SENSITIVITY
OF THE DOPPLER MICROWAVE MOTION SENSOR****V. Oborzhytskyy, V. Storozh, Y. Matiieshyn, V. Protasevych***Lviv Polytechnic National University, 12, S. Bandery Str., Lviv, 79013, Ukraine*

The paper considers a method of increasing the sensitivity of a microwave motion sensor based on the Doppler Effect, based on the application of amplitude manipulation of electromagnetic vibrations reflected from a moving object. A microwave motion sensor based on an integrated antenna-oscillator is described, in which amplitude manipulation of the information signal is implemented due to the amplitude manipulation of the reflected oscillations, followed by signal processing at the frequency of the manipulation, which allows reducing the effect of the sensor's own noise on the information signal. The results of an experimental study of such a microwave sensor are given, in which the level of noise and internal interference is approximately 20 dB lower compared to the traditional autodyne mode of operation of the same sensor.

Keywords: *Microwave sensor, antenna-oscillator, amplitude manipulation.*