

## ОСОБЛИВОСТІ РАДІОЛОКАЦІЙНОГО ВИЯВЛЕННЯ ЦІЛЕЙ, ЩО РОБЛЯТЬ ЗВОРотно-ПОСТУПАЛЬНИЙ РУХ

(Представлено д.т.н., проф. Манойловим В.П.)

Стаття присвячена побудові медичних радарів, що призначені для одержання траєкторії механічного руху грудної клітини людини. Розглянуто особливості радіолокаційного виявлення цілей, що роблять зворотно-поступальний рух. Розглянуто проблеми, пов'язані з одержанням та обробкою даних та досліджені методи відновлення вихідної траєкторії руху об'єкта.

**Вступ. Постановка проблеми.** У наш час все більшого застосування отримують системи радіолокації, призначені для спостереження за живими організмами, так звана біорадіолокація. Особливість біорадіолокації полягає у тому, що спостережувані об'єкти, як правило, роблять не прямолінійний, а зворотно-поступальний рух (серце та грудна клітка людини). Одержання правильних результатів спостереження ускладнюється ще тим, що спостереження виконуються на тлі відбиття радіолокаційного сигналу від нерухомих об'єктів, що ускладнюють моніторинг органів людини. У статті розглядається обробка сигналів, відбитих від живих, рухомих та нерухомих об'єктів, на тлі великої кількості віддзеркалень, що заважають.

Нерухоме людське тіло містить два джерела незалежних, що змінюються у часі, зворотно-поступальних рухів: грудна клітка та серце. Спостереження за тілом зводиться до визначення характеристик цих рухів: амплітуди, частоти, а також одержання траєкторії руху поверхні тіла у часі.

Радіолокаційну інформацію від біологічного об'єкта можна одержати за допомогою добре відомого методу фазового детектування, що дозволяє виділяти сигнали, відбиті від об'єкта, що рухається, на тлі сигналів, відбитих від нерухомих об'єктів, за доплеровским збільшенням частоти сигналу.

Метод базується на використанні фазового детектора (ФД), вихідна напруга якого залежить від різниці фаз прийнятого та опорного сигналів. Щоб уникнути неоднозначності, використовують два квадратурних виходи, опорні сигнали яких мають зсув на  $90^\circ$ . Для виявлення руху тіла, досить однієї квадратури. Однак для визначення характеристик руху або відновлення траєкторії руху об'єкта, необхідне використання двох квадратур через нелінійність детекторної характеристики ФД.

### Викладення основного матеріалу.

#### 1. Особливості руху спостережуваного об'єкта

У роботах [1, 2] було показано можливість реєстрації руху поверхні живих організмів, у тому числі й органів людини. Характер руху грудної клітки людини, що перебуває у спокої, можна описати квазіперіодичною функцією (рис. 1).

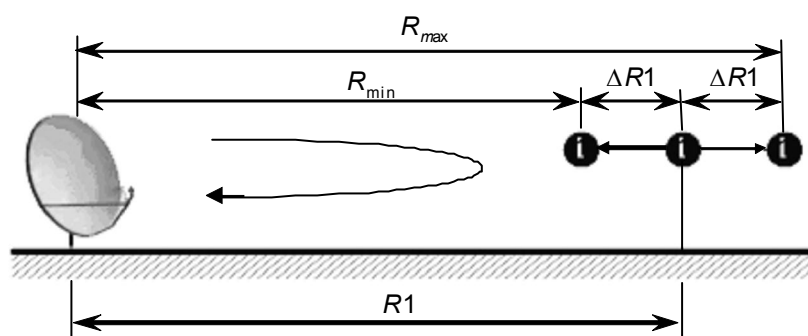


Рис. 1. Точечна ціль,

що поступально рухається з амплітудою  $\Delta R1$  та частотою  $F$

Ціль, що перебуває на відстані  $R1$  від радара, робить зворотно-поступальні рухи у напрямку нормалі до радара. Ціль наближається до радара на мінімальну відстань  $R_{\min}$  і віддаляється на максимальну відстань  $R_{\max}$  (рис. 2). Для простоти розглядається випадок періодичного руху в одній площині з постійною частотою.

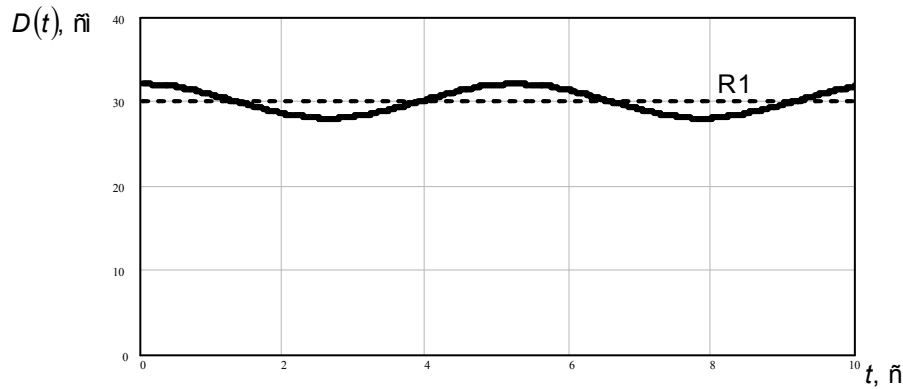


Рис. 2. Зміни відстані між радаром та ціллю

За методом фазового детектування, параметром сигналу, що характеризує положення цілі у просторі, є фаза. Так як передавальна характеристика ФД, що описує залежність напруги виходу від різниці фаз прийнятого та опорного сигналів, є функція косинуса, то відбитий від цілі сигнал описується такою формулою [3]:

$$u(t) = \frac{E_0 E_1}{2} n T_0 \cos \left[ 2\omega_0 \left( \frac{R1 + \Delta R1 \sin(\Omega_1 t + \theta)}{c} \right) \right], \quad (1)$$

де  $T_0$  – період коливань зондувального сигналу;  $n$  – ціле число періодів коливань, що беруть участь у процесі інтегрування;  $\omega_0 = 2\pi f_0$  – кругова частота випромінюваного сигналу;  $\Delta R1 = \frac{|R_{\max} - R_{\min}|}{2}$  – амплітуда руху цілі;  $\Omega_1 = 2\pi F_1$  – кругова частота руху цілі;  $\theta$  – початкова фаза руху цілі;  $E_0, E_1$  – амплітуди прийнятого та опорного сигналів;  $R1$  – відстань до цілі;  $c$  – швидкість світла;  $u$  – напруга на виході ФД.

Вираз (1) показує залежність напруги на виході корелятора від відстані до спостережуваного об’єкта. Модель, побудована за формулою (1), дозволяє розглянути вихідний сигнал корелятора при різних параметрах руху. На рисунках 3, 4 наведено вихідний сигнал ФД сигналу для різних випадків відносини довжини хвилі  $\lambda_0$  до амплітуди зворотно-поступального руху мети  $\Delta R1$  із частотою 3 Гц.

З рисунків 3 та 4 видно, що при збільшенні амплітуди руху форма вихідного сигналу починає змінюватися. У його складі з’являються додаткові гармоніки із кратними частотами. Цей факт ускладнює прямий вимір частоти руху цілі при певних значеннях амплітуд руху.

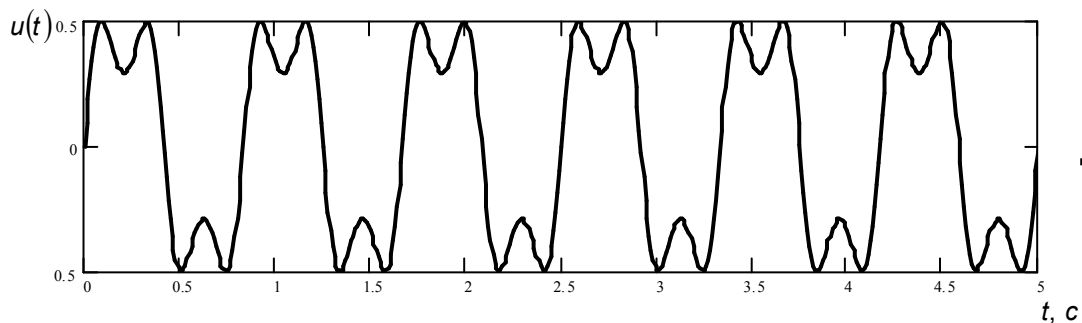


Рис. 3. Часова діаграма вихідного сигналу корелятора під час спостереження за ціллю, що коливається на відстані  $\frac{n\lambda_0}{4}$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ )

$$\text{від радара, } \frac{\Delta R1}{\lambda_0} = \frac{1}{2}$$

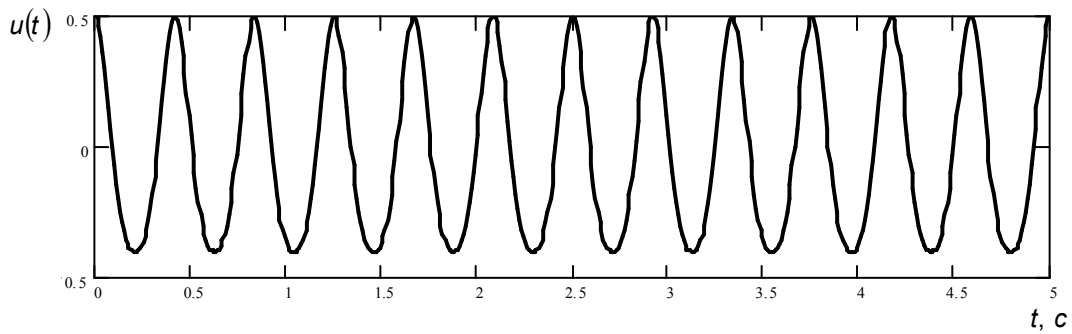


Рис. 4. Часова діаграма вихідного сигналу корелятора під час спостереження за ціллю, що коливається на відстані  $\frac{n\lambda_0}{8}$  ( $n = 1, 3, 5, \dots$ )

$$\text{від радара, } \frac{\Delta R1}{\lambda_0} = \frac{1}{5}$$

Можна показати, що зміна сигналу відбувається на відстанях до цілі, що задовольняють умові  $R1 = \frac{n\lambda_0}{8}$  ( $n = 1, 3, 5, \dots$ ). У цьому випадку сигнал отримує постійну складову.

Якщо радар використовується за наявності безлічі місцевих об'єктів (завдання біорадіолокації [4, 5, 6]), то в приймач попадають відбиття і від них. Оскільки сигнали, відбиті від декількох об'єктів, інтерферують, то положення цих об'єктів не ідентифікується (рис. 5, 6).

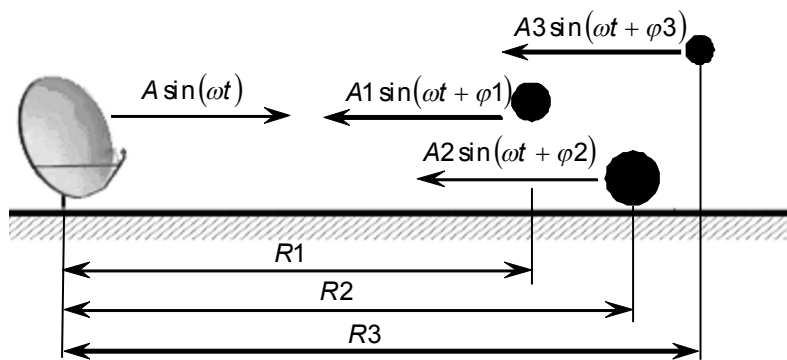


Рис. 5. Відбиття монохроматичної хвилі від декількох цілей

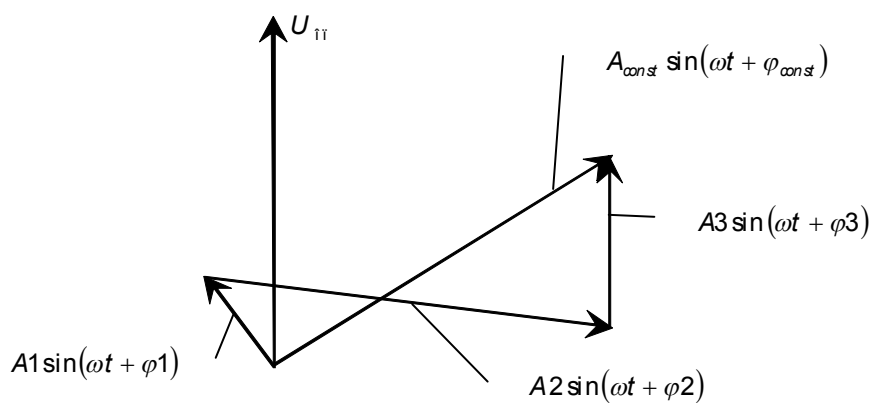


Рис. 6. Додавання відбиттів від місцевих об'єктів

Сигнал, викликаний відбиттями від декількох цілей, викликає в приймачі напругу, що змінюється за синусоїдальним законом із частотою зондувального сигналу, фаза та амплітуда якого залежать від відстаней до цілей та їх ЕПР.

На основі розглянутої моделі можна зробити такі висновки:

- 1) Лінійна залежність зміни вихідної напруги приймача від зсуву грудної клітки існує тільки поблизу  $R1 = \frac{n\lambda_0}{4}$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ) за умови, що зсув  $\Delta R1$  є малим, порівняно з довжиною хвилі  $\lambda_0$ .
- 2) Вихідна напруга приймача здобуває додаткові гармоніки із кратними частотами у випадку, коли  $\Delta R1 \geq \lambda_0$ .
- 3) Крім частотних змін сигналу, відбувається поява постійної складової ("корисна ПС"), коли відстань до об'єкта відхиляється від оптимального.
- 4) Наявність відбиттів від МО призводить до появи в сигналі великої постійної складової, відрізнити яку від корисної ПС неможливо.

## 2. Експериментальні дослідження

На рисунку 7 наведено загальний вигляд пристрою для реєстрації серцевої та дихальної діяльності.



Рис. 7. Пристрій для реєстрації серцевої та дихальної діяльності

На рисунках 8 та 9 наведено загальну картину реєстрації серцевої та дихальної діяльності.

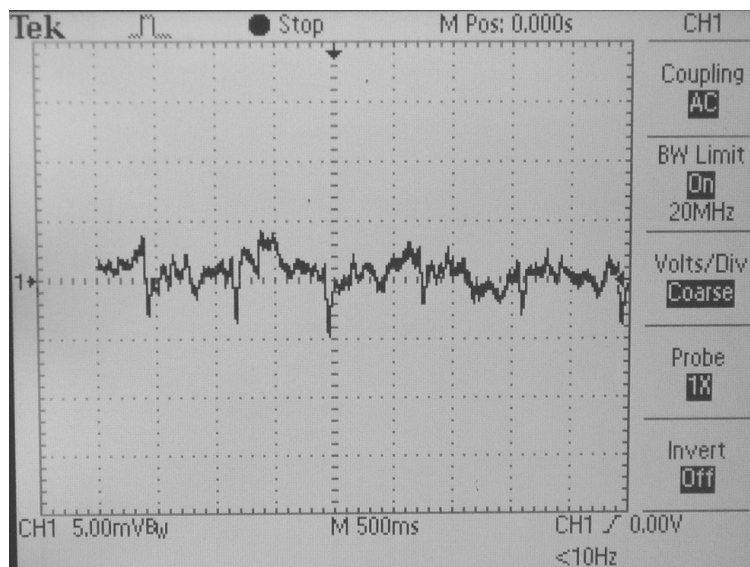


Рис. 8. Реєстрація серцевої діяльності

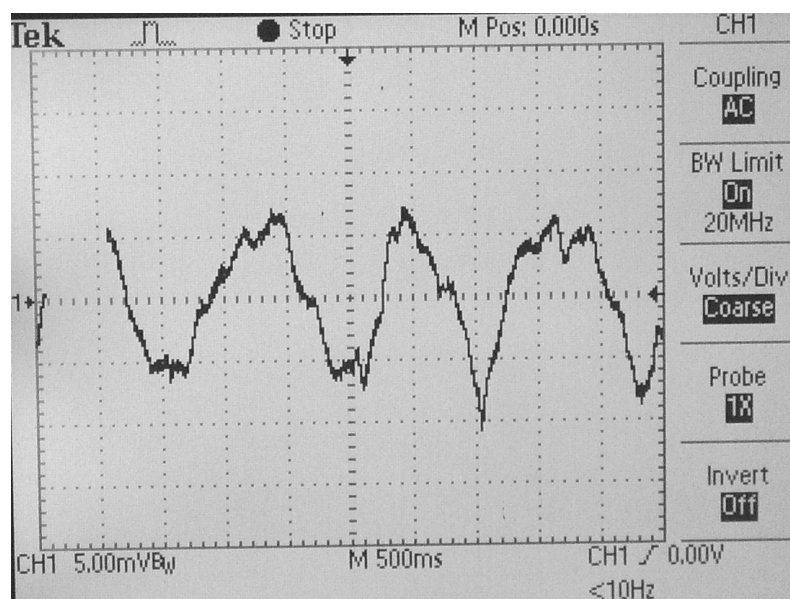


Рис. 9. Загальна реєстрація  
серцевої та дихальної діяльності

Як бачимо з отриманих результатів, використання методу, який описано у пункті 1, не дозволяє відокремити картину серцевої діяльності від зворотно-поступального руху грудної клітки, амплітуда якого значно перевищує амплітуду серцебиття. Тому в подальшому необхідно розробити методики, що дозволять відокремити результати дослідження при їх одночасному реєструванні.

**Висновки.** Радари, що використовують одну квадратуру та призначені для спостереження за серцевою та дихальною активністю людини і засновані на методі фазового детектування, володіють рядом функціональних обмежень, до яких відносяться чутливість до положення цілі та спотворення сигналу, що залежить від амплітуди руху цілі.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. *Greneker E.F.* Radar Sensing of Heartbeat and Respiration at a Distance with Application at the Technology / *E.F. Greneker* // IEE Conference RADAR-97, 14-16 October 1997, Conf. Publication Number 449. – Pp. 150–154.
2. Microwave Life-Detection System for Searching Human Subjects Under Earthquake Rubble or Behind Barrier / *Kun-Mu Chen, Yong Huang, Jianping Zhang, A.Norman* // IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol. 27, No 1, January 2000. – Pp. 105–114.
3. *Immoriev, S. Ivashov.* Remote monitoring of human cardio-respiratory system parameters by radar and its applications / *Immoriev, S. Ivashov* // Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals, Sevastopol, Ukraine, 15–19 September, 2008.
4. *Immoriev I.J., Samkov S.V.*, Ultra Wideband (UWB) Radar for the Remote Measuring of Main Parameters of Patient's Vital Activity, Radio Physics and Radio Astronomy (Ukraine), 2002. – V. 7, No. 4. – Pp. 404–407.
5. *Immoriev I.J., Fedotov D.V.* Detection of ultra wideband radar signals scattered from complex targets / *I.J. Immoriev, D.V. Fedotov* // Radio Physics and Radio Astronomy (Ukraine), 2002. – Vol. 7, No. 4. – Pp. 408–412.
6. Обнаружение и дистанционная диагностика людей за препятствиями с помощью РЛС / *А.С. Бугаёв, И.А. Васильев, С.И. Ивашов и др.* // Радиотехника. – 2003. – № 7. – С. 42–47.
7. Olga Boric-Lubecke “Arctangent Demodulation With DC Offset Compensation in Quadrature Doppler Radar Receiver Systems”, Ieee transactions on microwave theory and techniques. – Vol. 55, No. 5. – may 2007.
8. *Immoriev I.* Short – Distance Ultra-Wideband Radars. Theory and Designing / *I.Immoriev, S.Samkov, Teh-Ho Tao* // International Conference on Radar Systems (RADAR 2004). 18–23 October 2004. – Toulouse, France.
9. *Immoriev I.* Short – Distance Ultrawideband Radars / *I.Immoriev, S.Samkov, Teh-Ho Tao* // IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine. – Vol. 20, № 6. – 2005. – Pp. 9–14.

10. *Immoriev I.* UWB Radar for Patient Monitoring / *I.Immoreev, Teh-Ho Tao* // IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine. – 2008. – Vol. 23, № 11. – Pp. 11–18.
11. *Иммореев И.Я.* Сверхширокополосные радары. Особенности и возможности / *И.Я. Иммореев* // Радиотехника и электроника. – 2009. – Т. 54, № 1. – С. 5–31.

ХОМЕНКО Жанна Миколаївна – асистент кафедри радіотехніки та телекомунікацій Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- системи біорадіолокації.

Подано 30.06.2011

