УДК 621.396.67

В.Г. Сторож, П.В. Гуменяк, Н.-В.І. Найда
Національний університет “Львівська політехніка”

ЗВУЖЕННЯ ШИРИНИ ЧУТЛИВОЇ ЗОНИ РАДІОХВИЛЬОВИХ ДОПЛЕРІВСЬКИХ СЕНСОРІВ

© Сторож В.Г.,Гуменяк П.В., Найда Н.-В.І., 2014

Описано спосіб звуження ширини чутливої зони радіохвильового доплерівського сенсора.

Ключові слова: радіохвильовий сенсор, інтегрована антена-автогенератор, чутлива зона.

V.G. Storozh, P.V. Gumenyak, N.-V.I. Naida
Lviv Polytechnic National University

NARROWING THE WIDTH OF THE SENSITIVE AREA OF MICROWAVE DOPPLER RADAR

© Storozh V.G., Gumenyak P.V., Naida N.-V.I., 2014

The paper presents a way of narrowing the width of the sensitive area of radio-wave Doppler sensor. This is important when the sensor is used for oscillating measuring or biomedical research to eliminate the influence of extraneous moving objects that are in the process of getting into the lateral region of the antenna radiation and cause false positives or errors in the measurements. As a form of radio-wave Doppler sensitive area of the sensor is determined by the pattern of the antenna, in this paper, for its narrowing decided to use a special antenna system. This antenna system provides formation of two different shape patterns - basic and compensation, followed by the formation of difference signal information in the processing circuit.

To implement antenna system two microstrip radiators rectangular shape are used - basic and additional connected by an electronic switch on p-i-n diodes. When the switch is disconnected, only the main radiator is involved in the radiation. It forms a radiation pattern with maximum normal to the plane of the radiator but with a high level of lateral radiation. This is the basic mode of operation of the sensor.

In the closed state of electronic switch additional radiator is connected to the main. Options of antenna system chosen so that high-frequency energy is distributed about equally between the emitters, but the phase of the emitted waves are opposed. As a result, compensation radiation pattern appears that provides lateral radiation level comparable to the level of radiation the primary side of the radiator. However, in the normal direction is a minimum of energy. By subtracting signals obtained during open-loop and closed states of the electronic switch narrowed sensitive area is formed.

The paper presents the equivalent circuit of the antenna sensor that allows for the simulation of its basic parameters. Modeling of the sensitive areas in different states of the electronic switch was carried out. The causes that affect the distortion of sensitive areas determined.

Experimental model of radiowave sensor with designed antenna system was made. The material used foiled fluoroplastic. Operating frequency is 2.63 GHz. Experimental studies in the laboratory showed a narrowing of the width of the sensitive area. Suppression of the side information signal lines over 10 times, compared to the conventional mode of operation of the sensor. In this case, the amplitude of the information signal from the main direction merely reduced by 40 %.

Key words: Microwave Doppler Radar, Integrated Antenna-Oscillator, Sensitive Area.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Вступ. Радіохвильові доплерівські сенсори використовуються в системах ближньої радіолокації, під час проведення автогенераторних вимірювань та безконтактних біомедичних досліджень [1, 2]. Вони працюють на ефекті Доплера і формують інформаційний сигнал, якщо в чутливій зоні є рухомий об'єкт, електричні параметри якого відрізняються від параметрів навколишнього середовища. Під чутливою зоною розумітимемо обмежену область простору, де амплітуда інформаційного сигналу від рухомого об'єкта перевищує заданий рівень. Параметри чутливої зони визначаються антенною системою сенсора, а також залежать від алгоритму обробки інформаційного сигналу.

Рухомі об'єкти, які в процесі роботи потрапляють в область бокового випромінювання антени сенсора, також викликають інформаційний сигнал, що може стати причиною хибних спрацювань або похибок під час вимірювань. Звуження ширини чутливої зони забезпечить мінімізацію впливу цих об'єктів на роботу сенсора.

Принцип формування чутливої зони радіохвильового сенсора. Оскільки параметри чутливої зони безпосередньо визначаються антеною сенсора, то для її звуження можна застосувати антени з вищою спрямованістю, що призведе до збільшення габаритів усього пристрою. Це може ускладнити застосування таких радіохвильових сенсорів для проведення автогенераторних вимірювань чи біомедичних досліджень.

У цій роботі розв'язано задачу звуження ширини чутливої зони доплерівського сенсора за допомогою спеціальної антенної системи, яка забезпечує формування двох, різних за формою, діаграм спрямованості – основної та компенсаційної, з подальшим формуванням різницевого інформаційного сигналу в схемі обробки. Процес формування чутливої зони доплерівського сенсора для розв'язання поставленої задачі показано на рис. 1.

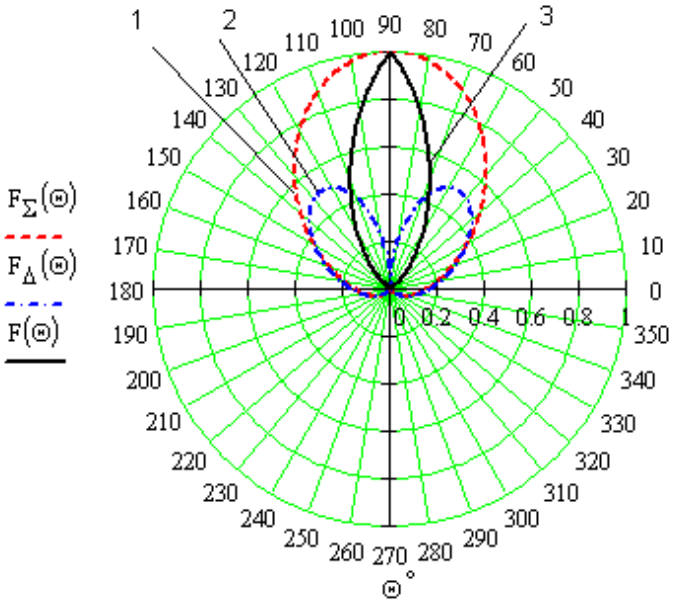

Рис. 1. Формування чутливої зони доплерівського сенсора:
1 – форма основної чутливої зони в звичайному режимі роботи доплерівського сенсора; 2 – форма компенсаційної чутливої зони;
3 – чутлива зона, отримана за допомогою формування різницевого сигналу

У доплерівських сенсорах зазвичай використовують слабкоспрямовані антени на базі вібраторних або мікросмужкових антен. Тому для формування двох, різних за формою, діаграм спрямованості доцільно застосувати режими синфазного і протифазного збудження антенної системи, як це реалізовано в моноімпульсних радарах. Наприклад, у [3] представлена така антенна система на основі вібраторної антени. За синфазного збудження можна формувати основну чутливу

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

зону, а у разі протифазного – компенсаційну. В ідеальному випадку (рис. 1) границі чутливих зон сенсора в бокових і задньому напрямах повинні збігатися. На практиці може спостерігатись деяка відмінність форм чутливих зон у цих напрямках, що усувається роздільним підсиленням інформаційних сигналів, отриманих за синфазного і протифазного збудження.

Розроблення антенної системи сенсора та результати моделювання. У доплерівських сенсорах частіше застосовуються мікросмужкові антени, які виконані на діелектричній підкладці. Це пояснюється їх широкими можливостями щодо реалізації різних режимів випромінювання, а також простотою інтегрування з активною частиною схеми радіохвильового сенсора. Мікросмужкова антена з випромінювачем прямокутної форми показана на рис. 2, а, а схема її заміщення на рис. 2, б.

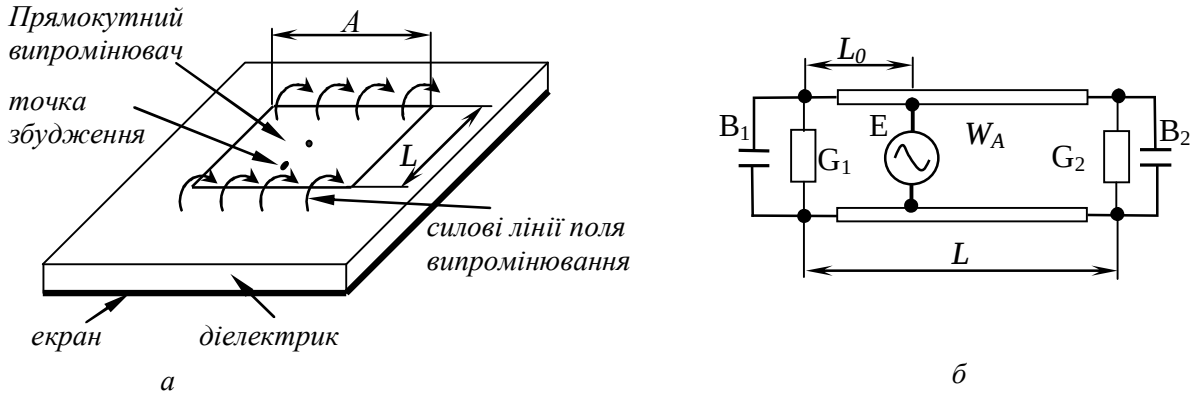

Рис. 2. Мікросмужкова антена (а) та схема її заміщення (б)

Антена містить металевий екран, діелектричну підкладку та прямокутний випромінювач з довжиною L та шириною A. Збудження випромінювача відбувається за допомогою коаксіальної або смужкової лінії в точці збудження, яка розташована ближче до одного з країв випромінювача на відстані L_0 від нього. Цю відстань вибирають з умови забезпечення узгодження. Основну участь у випромінюванні беруть краї прямокутного випромінювача, які ще називають випромінювальними щілинами [4].

Під час аналізу мікросмужкову антену зручно представити схемою заміщення (рис. 2, б), яка містить дві випромінювальні щілини з комплексними провідностями $Y_{1S} = G_1 + jB_1$ та $Y_{2S} = G_2 + jB_2$. Ці провідності з'єднані несиметричною смужковою лінією з низьким хвильовим опором W_A, який визначається шириною випромінювача A та висотою діелектричної підкладки. Як правило, довжина лінії L становить половину довжини хвилі [4]. У результаті високочастотний сигнал, який підведений в точку збудження, на відстані L_0 від одного з країв прямокутного випромінювача, забезпечує синфазне збудження обох випромінювальних щілин Y_{1S} та Y_{2S}. При цьому діаграма спрямованості, яка визначає форму чутливої зони, відповідатиме кривій 1 на рис. 1. В такому режимі збудження антена добре узгоджується з фідерною лінією, а у разі побудови інтегрованих антен – безпосередньо з активними елементами схеми.

Якщо довжина лінії L збільшується до розмірів однієї довжини хвилі, настає протифазне збудження випромінювальних щілин. При цьому діаграма спрямованості відповідатиме кривій 2 на рис. 1, що й дає змогу вирішити поставлене завдання.

Для зміни довжини лінії в процесі роботи пропонується застосувати випромінювальну систему сенсора, яка складається з основного та додаткового випромінювачів і електронного комутатора. Її схему заміщення наведено на рис. 3.

За аналогією зі схемою заміщення, яка наведена на рис. 2, б, основний випромінювач представлено відрізком фідерної лінії завдовжки L. З обох боків цей відрізок навантажено на провідності випромінювання щілин $Y_{1S} = G_1 + jB_1$ та $Y_{2S} = G_2 + jB_2$. До основного випромінювача

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

підключено джерело високочастотного сигналу E на відстані L_0 від першої випромінювальної щілини Y_{1S}. Електронний комутатор представлено відрізком лінії довжиною L_K з хвильовим опором W_K з двома ключами K_1 і K_2. Як ключі в комутаторі використано два p-i-n-діоди 2А517-А. За допомогою електронного комутатора до основного випромінювача під'єднано додатковий випромінювач. На схемі його представлено відрізком фідерної лінії довжиною L_d з хвильовим опором W_A і з провідностями випромінювання щілин $Y_{3S} = G_3 + jB_3$ та $Y_{4S} = G_4 + jB_4$. Величини провідностей випромінювання щілин визначено на основі [4]. Для формування компенсаційної чутливої зони необхідно, щоби виконалась умова $L + L_K + L_d \approx \lambda$.

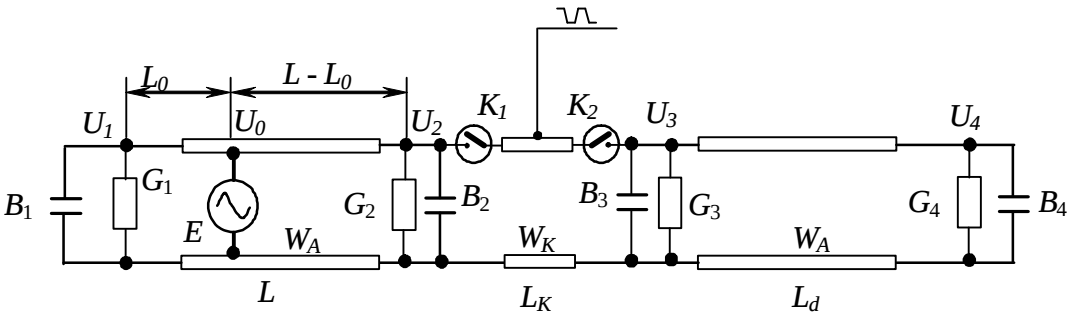

Рис. 3. Схема заміщення випромінювальної системи сенсора

Запропонована схема заміщення (рис. 3) дала змогу визначити комплексні напруги на випромінювальних щілинах за різних станів електронного ключа, що необхідно для подальшого розрахунку діаграми спрямованості. Для прикладу наведено вираз для розрахунку напруги на другій щілині U_2 за допомогою Y-параметрів відрізків фідерних ліній

$$U_2 = U_0 \cdot \frac{-Y_{21}}{Y_{22} + Y_{S234}}, \qquad (1)$$

де U_0 – напруга в точці збудження випромінювача; Y_{21} та Y_{22} – прохідна та вихідна провідності відрізка лінії довжиною $L - L_0$ з хвильовим опором W_A; Y_{S234} – еквівалентна провідність навантаження відрізка лінії довжиною $L - L_0$ з урахуванням провідностей Y_{2S}, Y_{3S} та Y_{4S}, трансформувальних властивостей відрізків ліній L_K та L_d і стану електронного комутатора.

Напруги на інших випромінювальних щілинах визначаються аналогічно. За відомими напругами на усіх випромінювальних щілинах розраховуються відповідні діаграми спрямованості випромінювальної системи сенсора як лінійної антенної решітки, що складається з чотирьох випромінювачів, і визначається форма чутливої зони.

Моделювання проводилось за таких параметрів антенної системи: ширина випромінювачів A=42 мм, довжина основного випромінювача L=35 мм, відстань від краю випромінювача до точки збудження L_0=7 мм, довжина додаткового випромінювача L_d=34,5 мм, відстань між випромінювачами L_k=9,5 мм. Антенну систему реалізовано на фторопласті завтовшки 1,5 мм з діелектричною проникністю 2,6. Робоча частота становила 2,637 ГГц. Результати моделювання наведено на рис. 5, де крива 1 – форма чутливої зони, коли розімкнено електронний ключ; крива 2 – форма чутливої зони, коли замкнено електронний ключ; крива 3 – чутлива зона, отримана шляхом формування різницевого сигналу.

Моделювання показало, що існує деяке спотворення форми чутливої зони і зменшення очікуваної чутливості порівняно з ідеальним випадком (рис. 1). Причиною цього є те, що в розімкненому стані електронного комутатора не забезпечується достатня розв'язка між випромінювачами, оскільки паразитна ємність p-i-n діодів 2А517-А становить приблизно 0,3...0,4 пФ. При цьому амплітуда напруги на щілинах додаткового випромінювача становить 7...10 % від напруги на щілинах основного випромінювача. Водночас, за замкненого стану електронного комутатора вплив другої та третьої випромінювальних щілин призводить до появи паразитного випромінювання в основному напрямку.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

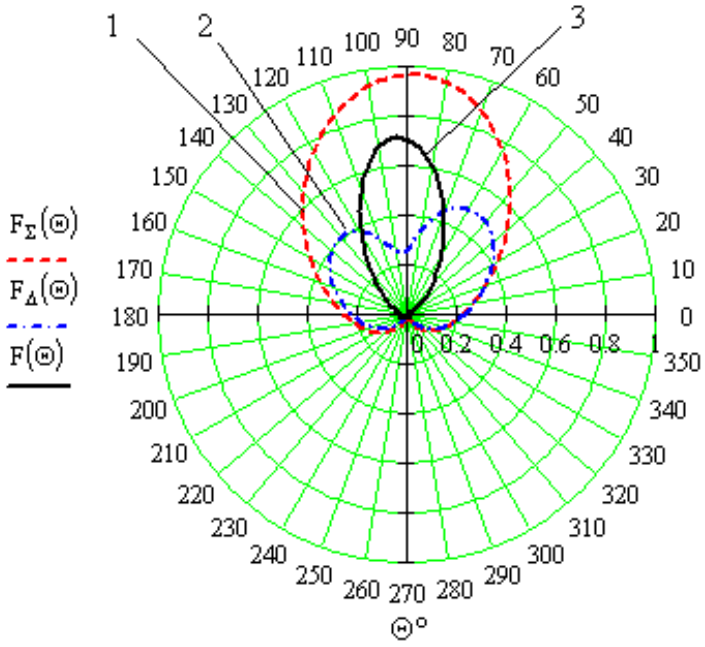

Рис. 4. Моделювання форми чутливої зони досліджуваного сенсора

Дослідження експериментального зразка радіохвильового сенсора. Експериментальний зразок радіохвильового сенсора з розробленою антенною системою подано на рис. 5.

Його виконано на платі з фольгованого фторопласту з діелектричною проникністю 2,6 розміром 64×120 мм. За розмірів випромінювальної системи, представлених вище, робоча частота становила 2,63 ГГц. Сенсор містить НВЧ генератор 1, мікросмужковий випромінювач 2, електронний комутатор 3 та додатковий випромінювач 4 [5, 6]. Додатково він містить детекторну секцію 5 для виділення інформаційного сигналу та ємнісний шлейф 6 для можливості підстроювання додаткового випромінювача в процесі досліджень.

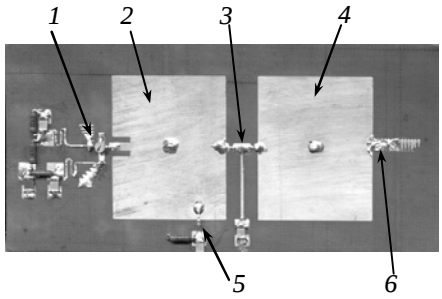

Рис. 5. Експериментальний зразок радіохвильового сенсора

Форма чутливої зони радіохвильового сенсора представлена на рис. 6. Вона визначена експериментально в умовах лабораторії за допомогою механічного імітатора руху у вигляді металевої пластини розміром 10×75 мм, яка оберталась на осі електродвигуна. Експериментальний зразок антенної системи сенсора було встановлено на поворотному пристрої на відстані один метр від імітатора. Усі дані нормовані відносно максимальної амплітуди інформаційного сигналу в звичайному режимі роботи сенсора (крива 1).

На рис. 6 позначено: крива 1 – форма чутливої зони в звичайному режимі роботи сенсора; крива 2 – форма чутливої зони у разі під'єднання додаткового випромінювача; крива 3 – чутлива зона, отримана шляхом формування різницевого сигналу.

Дослідження показали, що ширина зони виявлення звузилася майже у три рази. Практично у всьому секторі кутів, що виходять за межі 40° – 140°, придушення інформаційного сигналу перевищує 10 разів, порівняно зі звичайним режимом роботи сенсора. При цьому амплітуда інформаційного сигналу з основного напряму зменшується всього лиш на 40 %.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

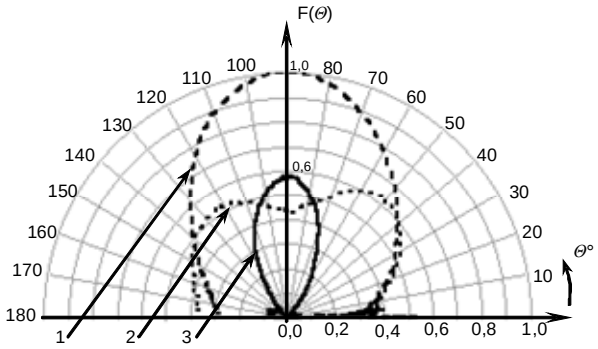

Рис. 6. Чутлива зона сенсора

Висновок. Запропоноване технічне рішення забезпечує звуження ширини зони виявлення та придушення інформаційного сигналу від рухомих об'єктів, що перебувають в області бокового випромінювання антени сенсора. Це, наприклад, дасть змогу мінімізувати вплив оператора на інформаційний сигнал під час проведення автогенераторних вимірювань, або біомедичних досліджень.

Деяке зменшення амплітуди інформаційного сигналу, за потреби, можна компенсувати застосувавши синхронне детектування інформаційного сигналу на частоті комутації електронного ключа.

1. Avagyan H. Portable non-contact microwave Doppler radar for respiration and heartbeat sensing / H. Avagyan, A. Hakhoumian, H. Hayrapetyan [et al.] // Armenian Journal of Physics. – 2012. – Vol. 5, issue 1. – P. 8–14. 2. Fletcher R. Low-cost differential front-end for Doppler radar vital sign monitoring / R. Fletcher, Jing Han // Microwave Symposium Digest (MTT '09. IEEE MTT-S International). – 2009. – P. 1325–1328. 3. Sylvia Lin A Low Noise Active Integrated Antenna Receiver for Monopulse Radar Applications / Sylvia Lin, Yongxi Qian, and Tatsuo Itoh // Microwave Symposium Digest, 2001 IEEE MTT-S International (Volume:2). – 2001. – P. 1395 – 1398 vol.2. 4. Нефедов Е.И., Козловский В.В., Згурский А.В. Микрополосковые излучающие и резонансные устройства. – К.: Тэхника, 1990. 5. Пат. 103135 Україна, МРК H 04 B 1/04. Інтегрована антена-автогенератор / Прудиус І.Н., Сторож В.Г.; applicant and patent owner Національний університет "Львівська політехніка". – № a2012 08723; st. 16.07.2012; post. 10.09.2013, Бюл. № 17. (Україна). 6. Прудиус И.Н., Голинский В.Д., Сторож В.Г., Транзисторные антенны-автогенераторы СВЧ диапазона / Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2007. – № 2(68). – С.13–16.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua