

## РАДІОЕЛЕКТРОНІКА ТА РАДІОЕЛЕКТРОННЕ АПАРАТОБУДУВАННЯ

УДК 681.586.772

М. А. Філінюк, д-р техн. наук, проф.;

О. О. Лазарєв, канд. техн. наук, доц.;

Д. В. Бондарюк, студ.

### ЄМНІСНИЙ НЕГАСЕНСОР З ЧАСТОТНИМ ВИХОДОМ

Досліджено схему ємнісного негасенсора з частотним виходом на RC-автогенераторі. Показано, що наявність від'ємної ємності С-негатрона приводить до підвищення чутливості сенсора в 2...5 разів, а наявність від'ємного активного опору С-негатрона забезпечує автогенераторний режим, що спрощує схемотехнічну реалізацію. Розроблено матрицю ємнісних негасенсорів, що має розширені функціональні можливості.

#### Вступ та постановка задачі дослідження

Розробка та дослідження сенсорів наразі є досить *актуальними*, адже сучасний стан розвитку автоматизованих систем контролю та управління різноманітними технологічними та фізичними процесами характеризується широким використанням первинних засобів збору та обробки інформації. При цьому сенсори входять до складу будь-якої інформаційно-вимірювальної або керувальної системи і значною мірою визначають її метрологічні характеристики.

Метою дослідження є збільшення чутливості та розширення функціональних можливостей ємнісних сенсорів за рахунок використання С-негатронів — приладів, що в певному режимі роботи мають від'ємну диференціальну ємність.

Задачі дослідження:

- 1) розробити та дослідити схему ємнісного негасенсора з частотним виходом на RC-автогенераторі;
- 2) розробити матрицю ємнісних негасенсорів, що має розширені функціональні можливості.

#### Теоретичне обґрунтування

Широке використання отримали частотні ємнісні сенсори на базі RC-генераторів [1]. Частота вихідного сигналу частотного ємнісного сенсора, RC-коло якого зображено на рис. 1а, буде визначатися виразом  $f_0 = 1/(2\pi RC_x)$ , де  $C_x$  — ємність первинного вимірювального перетворювача. Ввівши у RC-коло паралельно С-негатрон, отримаємо частотний ємнісний сенсор на С-негатроні (рис. 1б), в якому наявність негативної ємності збільшує чутливість перетворювача [2, 3].

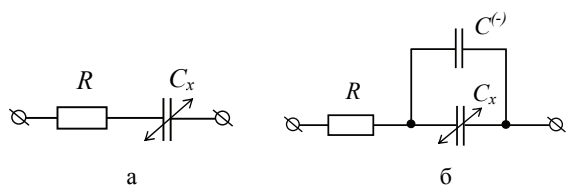


Рис. 1: а — RC-коло частотного ємнісного сенсора;  
б — RC-коло сенсора з паралельним включенням С-негатрона

Частота вихідного сигналу в цьому випадку буде визначатися виразом  $f_0' = 1/(2\pi R \cdot C_\Sigma)$ , де  $C_\Sigma = C_x + C^{(-)}$  — сумарна ємність кола,  $C^{(-)}$  — від'ємна ємність С-негатрона. Відносна чутливість RC-кола рис. 1а буде дорівнювати  $S_{C_x}^{f_0} = -1$ . У разі включення від'ємної ємності  $C^{(-)}$  (рис. 1б) відносна

чутливість буде визначатися виразом  $S_{C_x}^{f_0'} = -\frac{C_x}{C^{(-)} + C_x}$ . Таким чином, включення в схему

С-негатрона збільшує чутливість сенсора в  $C_x / (C^{(-)} + C_x)$  разів. А за виконання умови  $|C^{(-)}| = C_x$ , значення відносної чутливості  $S_{C_x}^{f_0'}$  прямує до нескінченності.

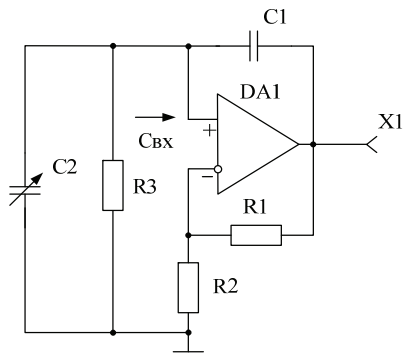


Рис. 2. Схема ємнісного негасенсора з частотним виходом

Схема ємнісного негасенсора показана на рис. 2. С-негатрон реалізований на конверторі від'ємного опору на операційному підсилювачі [5]. Резистори  $R1$ ,  $R2$  утворюють коло негативного зворотного зв'язку, що визначає коефіцієнт підсилення  $K_n = (R1 + R2)/R2$ . Коефіцієнт конверсії визначається виразом  $K_k = 1 - K_n = 1 - \frac{R1 + R2}{R2}$ . За умови, що

$K_n > 1$ , тобто якщо  $R1 > 0$  та  $R2 > 0$  коефіцієнт конверсії є від'ємним  $K_k < 0$ . Ємність  $C1$  є навантаженням конвертора та утворює коло позитивного зворотного зв'язку за напругою. Вхідний імпеданс схеми  $Z_{вх} = K_k Z_H = \left(1 - \frac{R1 + R2}{R2}\right) \frac{1}{j\omega C1}$ . Ємність на вході конвертора визначається виразом

$C_{вх} = K_k C1$ . Якщо  $R1 = R2$ , то коефіцієнт підсилення  $K_n = 2$ , коефіцієнт конверсії  $K_k = -1$ , ємність на вході  $C_{вх} = -C1$ . Схема працює як U-III. Еквівалентну схему такого схемотехнічного аналога С-негатрона на частотах до  $0,1 f_1$ , де  $f_1$  — частота одиничного підсилення операційного підсилювача, можна представити в вигляді послідовного з'єднання від'ємної ємності  $C^{(-)} = -C1$  та від'ємного активного опору  $R^{(-)} \approx -\frac{2}{\pi C1 f_1}$  [5].

Необхідно зауважити, що наявність від'ємного активного опору реалізованого схемотехнічного С-негатрона забезпечує режим автогенерації негасенсора, тому, на відміну від роботи [2], непотрібно використання додаткового автогенератора.

### Результати експериментальних досліджень

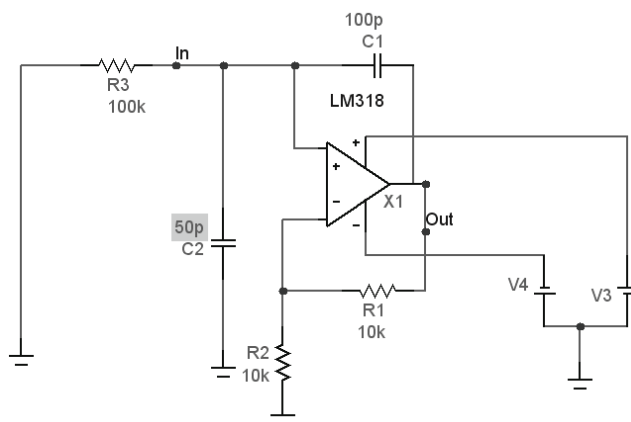
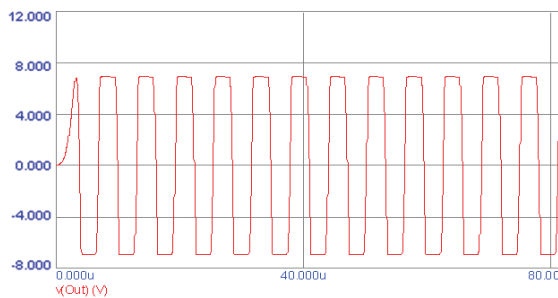


Рис. 3. Електрична схема ємнісного негасенсора з частотним виходом в програмному середовищі MicroCap 9.0.

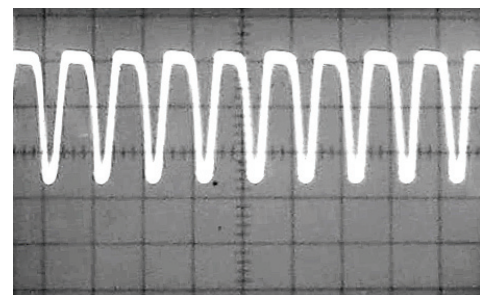
Для перевірки коректності роботи запропонованого негасенсора було проведено моделювання в програмному середовищі MicroCap 9.0 (рис. 3), а також було створено макет пристрою на операційному підсилювачі LM318.

На рис. 4 показані часові діаграми вихідного сигналу за результатами комп'ютерного моделювання та осцилограма вихідного сигналу за експериментальними дослідженнями.

За відсутності об'єкту в зоні первинного вимірювального перетворювача його ємність складає 50 пФ, а частота сигналу на виході 41 кГц. При наближенні об'єкту (наприклад, фаланги пальця людини) ємність зростає до 90 пФ, а частота сигналу на виході становить 159 кГц.



а



б

Рис. 4: а — часова діаграма вихідного сигналу в MicroCap 9.0; б — осцилограма вихідного сигналу для значення ємності первинного вимірювального перетворювача  $C2 = 90$  пФ

На рис. 5 зображено графік відносної чутливості ємнісного негасенсора.

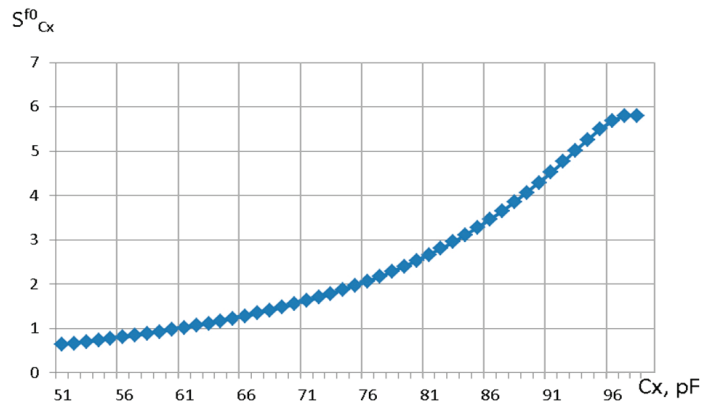


Рис. 5. Графік відносної чутливості ємнісного негасенсора

З графіка випливає, що відносна чутливість негасенсора до 6 разів більша за чутливість схеми без С-негатрона.

Збільшити функціональні можливості ємнісного негасенсора можна використавши матрицю негасенсорів. На рис. 6 показано дослідний макет матриці 3×3 ємнісних негасенсорів.

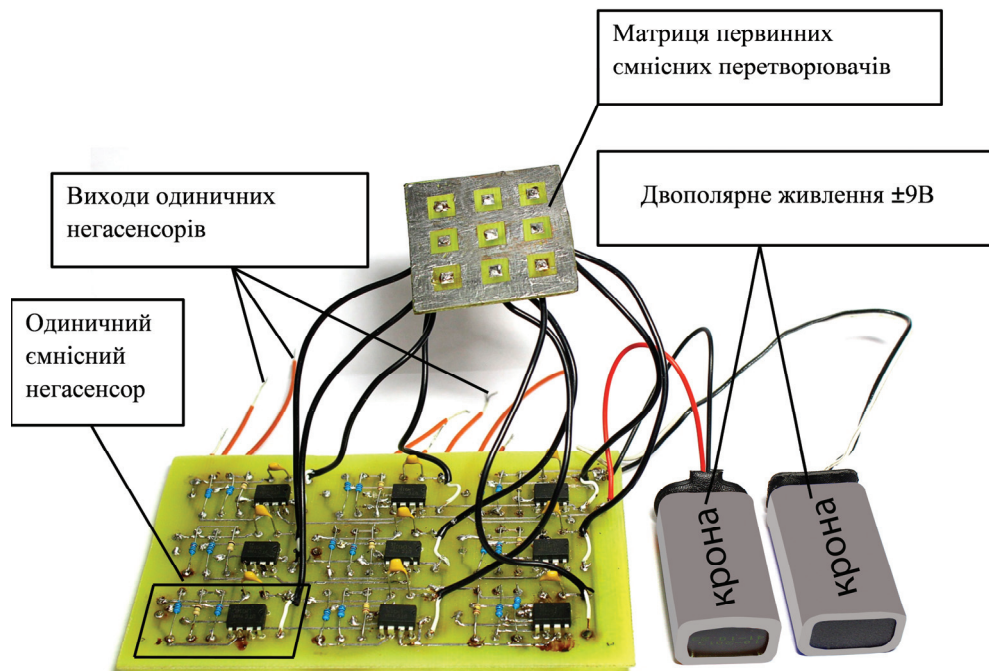


Рис. 6. Матричний 3×3 ємнісний негасенсор з частотними виходами

У цьому випадку за значеннями вихідних сигналів можна визначати напрямок руху, форму об'єкта, що наближається, його швидкість та прискрення, текстуру поверхні, також спрощується схемотехнічна реалізація, що робить ємнісний негасенсор з частотним виходом багатofункціональним пристроєм [6].

### Висновки

1. Розроблено та досліджено схему ємнісного негасенсора з частотним виходом на RC-автогенераторі. Показано, що наявність від'ємної ємності С-негатрона приводить до підвищення чутливості сенсора в 2...5 разів, а наявність від'ємного активного опору С-негатрона забезпечує автогенераторний режим, що спрощує схемотехнічну реалізацію.

2. Розроблено матрицю ємнісних негасенсорів, що має розширенні функціональні можливості. Використання матриці таких негасенсорів дозволяє значно розширити галузь їх використання. Аналізуючи частотні сигнали з матриці, можна визначити форму об'єкта, що наближається, швидкість та прискорення, тип матеріалу. У мікроелектронному виконанні матриці для систем «штучної шкіри» можна визначити текстуру об'єктів та силу притискання пружних тіл.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Baxter L. K. Capacitive Sensors, Design and Applications / Baxter L. K. — N. Y. : IEEE Press, — 1997. — 302 p. — ISBN 0-7803-1130-2.
2. Belousov A. Negative impedance improves capacitive sensors / A. Belousov, C. Small // EDN. — 1995. — № 3. — P. 82.
3. Філінюк М. А. Аналіз чутливості електричних кіл з L-, C-негатронами / М. А. Філінюк, О. О. Лазарев // Вісник ЖІТІ. — 2003. — № 2. — С. 92—98.
4. Філінюк М. А. Частотні датчики на L-, C- негatronах / М. А. Філінюк, О. О. Лазарев, Р. Ф. Лободзінська // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. — 2004. — № 1. — С. 84—89.
5. Дослідження схемотехнічних реалізацій C-негатронів на конверторах від'ємного опору [Електронний ресурс] / [О. О. Лазарев, К. В. Огородник, Р. Ю. Чехмestruc, М. А. Філінюк] // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. — № 4. — 2011. — Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/e-journals/VNTU/2011\\_4/2011-4.files/uk/11oolnrc\\_ua.pdf](http://nbuv.gov.ua/e-journals/VNTU/2011_4/2011-4.files/uk/11oolnrc_ua.pdf).
6. Embedded Distributed Capacitive Tactile Sensor / [Maggiali M., Cannata G., Maiolino P. and ect.] // Mechatronics Forum Biennial International Conference Mechatronics, June 23—25, 2008.

Рекомендована кафедрою проектування комп'ютерної та телекомунікаційної апаратури

Стаття надійшла до редакції 10.04.2013

Рекомендована до друку 15.05.2013

**Філінюк Микола Антонович** — завідувач кафедри, **Лазарев Олександр Олександрович** — доцент, Кафедра проектування комп'ютерної та телекомунікаційної апаратури;  
**Бондарюк Денис Володимирович** — студент Інституту радіотехніки, зв'язку та приладобудування. Вінницький національний технічний університет, Вінниця