

И.А. Хаймович. – М. : Машиностроение, 1987. – 256 с.

5. Ярлыков М.С. Статистическая теория радионавигации / Ярлыков М.С. – М. : Радио и связь, 1985. – 344 с.

6. Сантиметровые системы посадки самолетов / [В.М. Бенин, Е.И. Шолупов, В.А. Кожевников, И.А. Хаймович]. – М. : Машиностроение, 1985. – 224 с.

7. Сейдж Э. Теория оценивания и ее применение в связи и управлении / Э. Сейдж, Дж. Мелс ; пер. с англ. ; под ред. Б. Р. Левина. – М. : Связь, 1976. – 496 с.

8. Зингер Р.А. Оценка характеристик оптимального фильтра для слежения за пилотируемой целью / Р.А. Зингер // Зарубежная радиоэлектроника. 1971. – № 8. – С. 5–28.

Надійшла 21.6.2012 р.

Рецензент: д.т.н. Осадчук О.В.

УДК 621.396.6

О.В. ВОЙЦЕХОВСЬКА, О.О. ЛАЗАРЄВ, Л.І. ПОКОТИЛЮК, Р.Ю. ЧЕХМЕСТРУК

Вінницький національний технічний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ СХЕМОТЕХНІЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ L-НЕГАТРОНІВ НА ОПЕРАЦІЙНОМУ ПІДСИЛЮВАЧІ

*Проведено дослідження реалізації L-негатронів на інверторах від'ємного імпедансу на операційних підсилювачах. Показано, що перевагою реалізації L-негатронів на інверторах від'ємного імпедансу є можливість одержання від'ємної індуктивності без використання котушок індуктивності шляхом інверсії реактивного опору додатної ємності.*

*The research of realization of L-negatron on negative impedance invertors on operational amplifiers is worked out. A possibility of obtain negative inductance without inductance coils by inversion reactance of positive capacitance is an advantage of L-negatron on negative impedance invertors.*

Ключові слова: L-негатрон, інвертор від'ємного імпедансу, від'ємна індуктивність.

### Вступ

Використання в сучасних інформаційних системах нових функціональних пристроїв електроніки, таких як L-негатрони – прилади, що мають від'ємне значення диференційної індуктивності, – дає можливість покращити їх технічні параметри, такі як швидкодія, точність вимірювань, чутливість тощо [1]. Перспективною є реалізація від'ємної індуктивності схемотехнічним шляхом, оскільки це дозволяє синтезувати L-негатрони з необхідними параметрами без значних технологічних складностей.

Отримати від'ємне значення індуктивності можна за допомогою перетворювачів імпедансу (ПІ), які дозволяють перетворити додатну індуктивність або ємність навантаження у вхідну від'ємну індуктивність шляхом забезпечення необхідного зсуву фаз між напругою і струмом через зміну напрямку струму в операційному підсилювачі або зміні знаку напруги [2].

Перетворювачі від'ємного імпедансу будуються на підсилювачі, охопленому позитивним зворотним зв'язком. Як підсилювач в ПІ можуть використовуватися різні активні прилади, однак сучасні операційні підсилювачі (ОП) є універсальними приладами, що дозволяють будувати ПІ, параметри яких в широкому діапазоні частот не залежать від передатної характеристики активних приладів, а визначаються параметрами елементів кіл зворотного зв'язку, забезпечують схемотехнічну простоту реалізації, широкий частотний діапазон роботи (від нуля до сотень мегагерц), так як частота, на якій коефіцієнт підсилення рівний одиниці, сучасних високошвидкісних ОП досягає 1,5 ГГц [3].

Основи побудови перетворювачів імпедансу на операційних підсилювачах описано в роботах Ф. Бенінга [2], Ж. Марше [4], І.М. Філановського та інших [5, 6]. Однак, в основному увага приділялась R-негатронам – приладам з від'ємним диференційним опором, і лише Ф. Бенінг [2] першим показав, що ці принципи можна покласти в основу реалізації від'ємної ємності [7] та індуктивності.

### Мета роботи та формулювання задач дослідження

Метою роботи є:

- 1) проведення дослідження різних варіантів схемотехнічної реалізації L-негатрона на інверторах від'ємного опору, що використовують операційні підсилювачі;
- 2) обґрунтування принципів побудови L-негатронів;
- 3) комп'ютерне моделювання з метою визначення оптимальних та граничних значень параметрів.

### Теоретичне обґрунтування побудови L-негатронів на операційних підсилювачах

При побудові перетворювачів від'ємного імпедансу при позитивному послідовному зворотному зв'язку за напругою (U-ПІ) або паралельному зворотному зв'язку за струмом (I-ПІ) реалізуються конвертори від'ємного опору, для яких від'ємний вхідний імпеданс  $Z_{ex}$  пропорційний імпедансу навантаження  $Z_n$ ; а при позитивному паралельному зворотному зв'язку за напругою або послідовному зворотному зв'язку за

струмом – інвертори (гіратори) від’ємного опору, для яких від’ємний вхідний імпеданс  $Z_{ex}$  зворотно пропорційний імпедансу навантаження  $Z_n$  [2].

Перетворювачі імпедансу на ОП відносяться до мостових ПІ, які в загальному випадку можна представити у вигляді, що зображено на рис. 1.

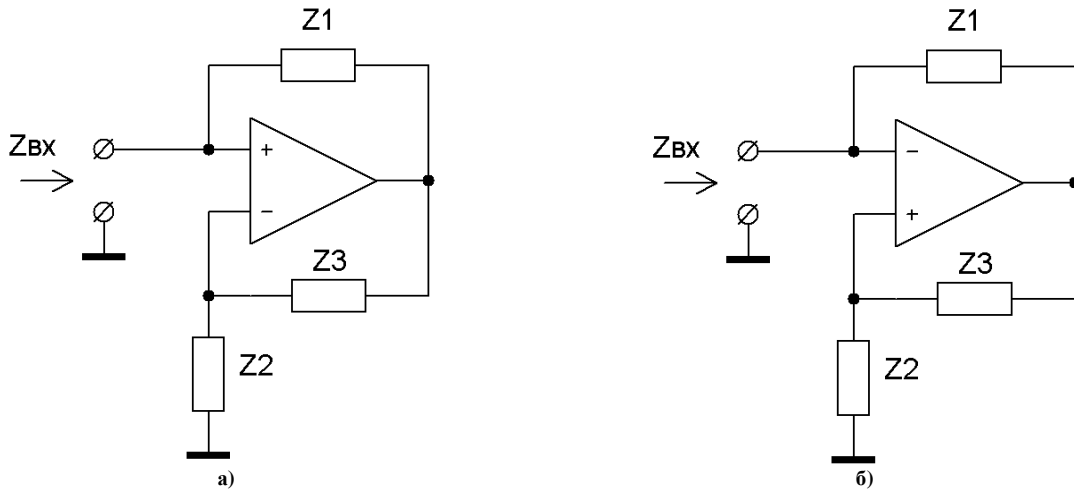


Рис. 1. Схеми перетворювачів імпедансу на ОП а) входом є неінвертуючий вхід ОП; б) входом є інвертуючий вхід ОП

Для цих схем вхідний імпеданс визначається виразом [7]:

$$Z_{ex} = -Z_2 \frac{Z_1}{Z_3}$$

Якщо замість  $Z_1$  або  $Z_2$  як навантаження використати додатну індуктивність, на вході одержимо від’ємну індуктивність. Схема буде працювати як конвертор від’ємного імпедансу. Якщо поставити замість  $Z_3$  додатну ємність, на вході також одержимо від’ємну індуктивність. Схема буде працювати як інвертор від’ємного імпедансу. Таким чином, можна отримати чотири схеми  $L$ -негатрона на конверторі від’ємного імпедансу на ОП, та дві – на інверторі від’ємного імпедансу. Крім того, ці схеми дозволяють реалізувати також  $R$ - та  $C$ -негатрони, що буде визначатися лише типом імпедансу навантаження.

Схему  $L$ -негатрона на інверторі від’ємного імпедансу на операційному підсилювачі з позитивним зворотним зв’язком за напругою наведено на рис. 2а [8, 9], а з позитивним зворотним зв’язком за струмом наведено на рис. 2б. Резистори  $R1$ ,  $R2$  визначають коефіцієнт інверсії імпедансу  $K_i = -R1R2$ . Вхідний імпеданс схеми визначається виразом  $Z_{ex} = K_i / Z_n = -R1R2j\omega C_n$ , де  $C_n$  – ємність навантаження.

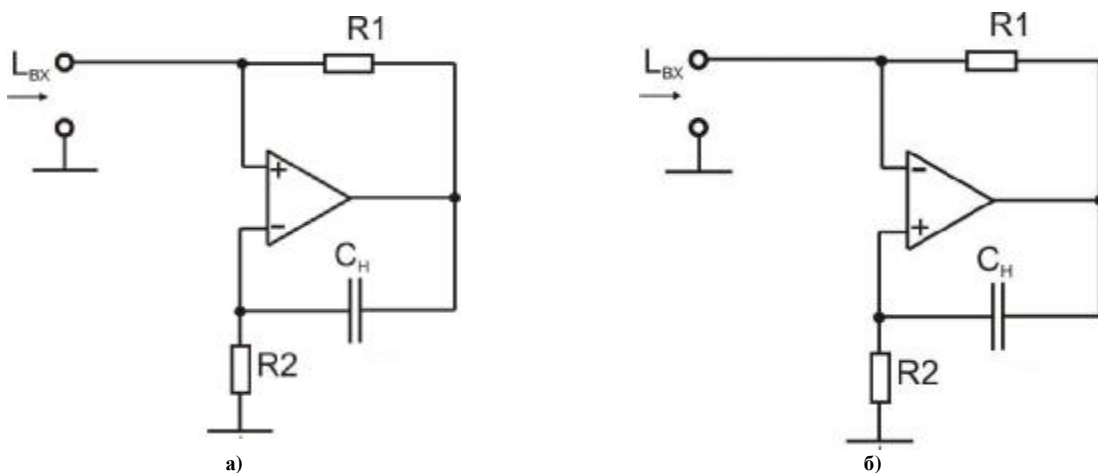


Рис. 2. Схемотехнічний  $L$ -негатрон на інверторі від’ємного опору на ОП а) з позитивним зворотним зв’язком за напругою, б) з позитивним зворотним зв’язком за струмом

Для порівняльного оцінювання пропонується  $L$ -негатрон характеризувати такими параметрами: величиною індуктивності  $L$  (для даних схем  $L_{ex} = -C_n R1R2$ ); додатною добротністю  $Q^+$  та від’ємною  $Q^-$ ; типом негатрона – динамічним або статичним; температурним коефіцієнтом  $TKL = \frac{\partial L}{L \cdot \Delta T} \cdot 100\%$ ;

режимним коефіцієнтом стабільності  $TKL_U = \frac{\partial L}{L \cdot \Delta U_{жснв}} \cdot 100\%$ ; технологічністю – для  $L$ -негатрону на інверторі від'ємного опору через відсутність котушки індуктивності спрощується реалізація в інтегральному виконанні; напругою живлення  $U_{жснв}$ ; критичною частотою  $f_{max}$  – частотою, на якій вихідний реактивний опір втрачає характер від'ємної індуктивності.

#### Комп'ютерне моделювання $L$ -негатрону на інверторі від'ємного імпедансу

Проведено комп'ютерне моделювання двох схем, що реалізують від'ємну індуктивність на ОП.

Схему  $L$ -негатрону на інверторі від'ємного імпедансу на операційному підсилювачі з позитивним зворотним зв'язком за напругою для моделювання в середовищі MicroCap 9 показано на рис. 3. На рис. 4. подано частотні залежності активної і реактивної складових вхідного опору та вхідної індуктивності такого  $L$ -негатрону для різних значень ємності навантаження  $C1$ .

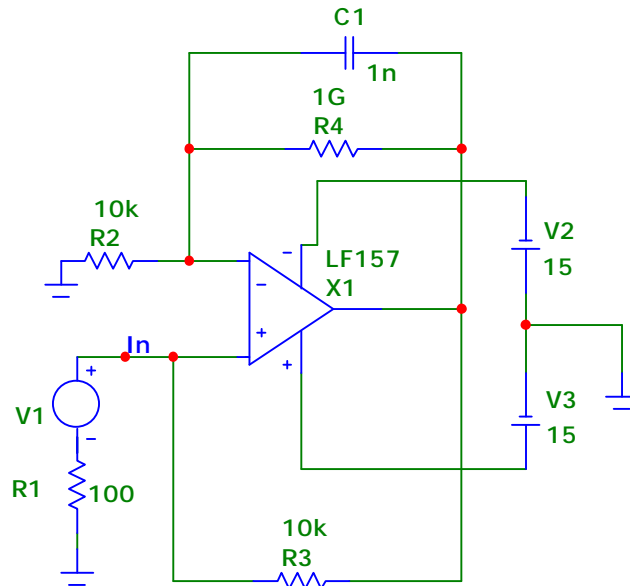


Рис. 3. Схема  $L$ -негатрону на інверторі від'ємного імпедансу на ОП з позитивним зворотним зв'язком за напругою

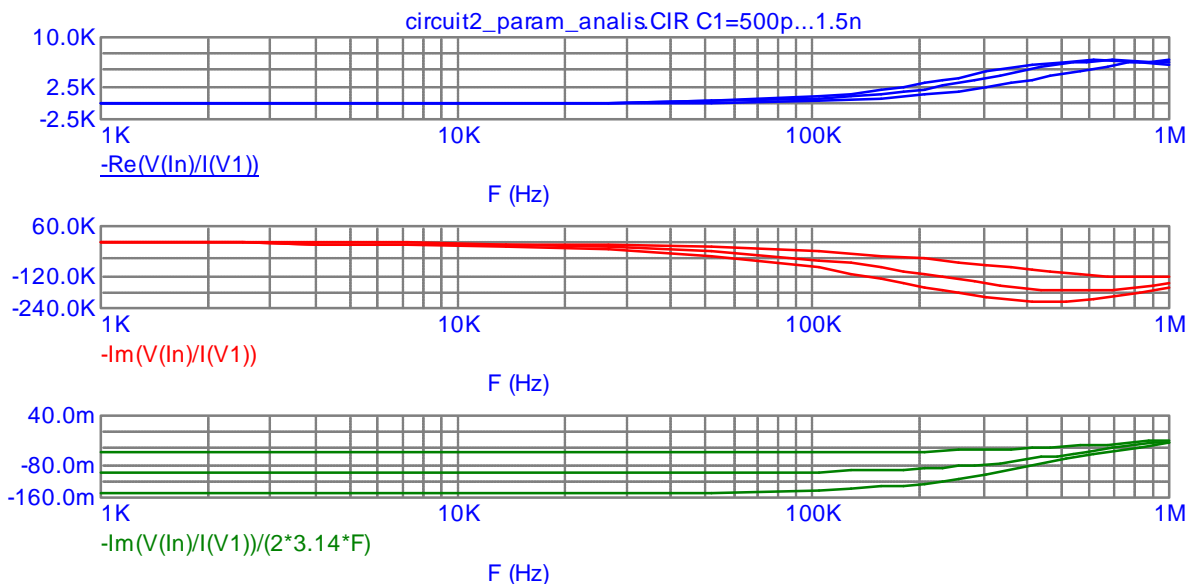
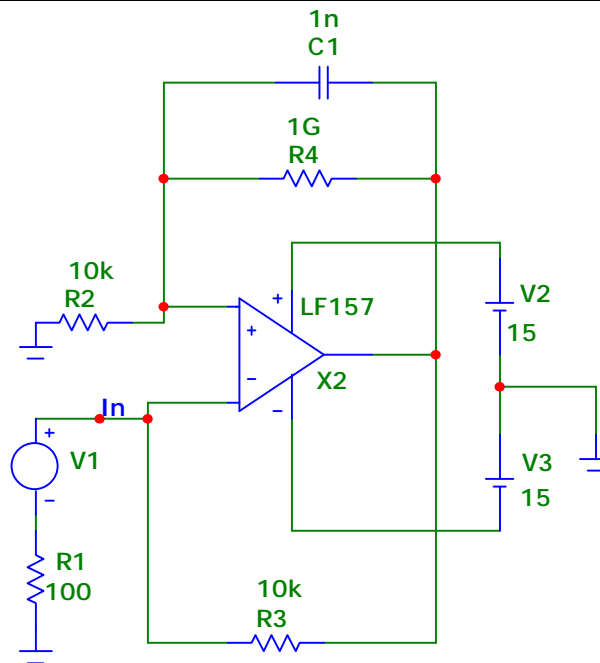
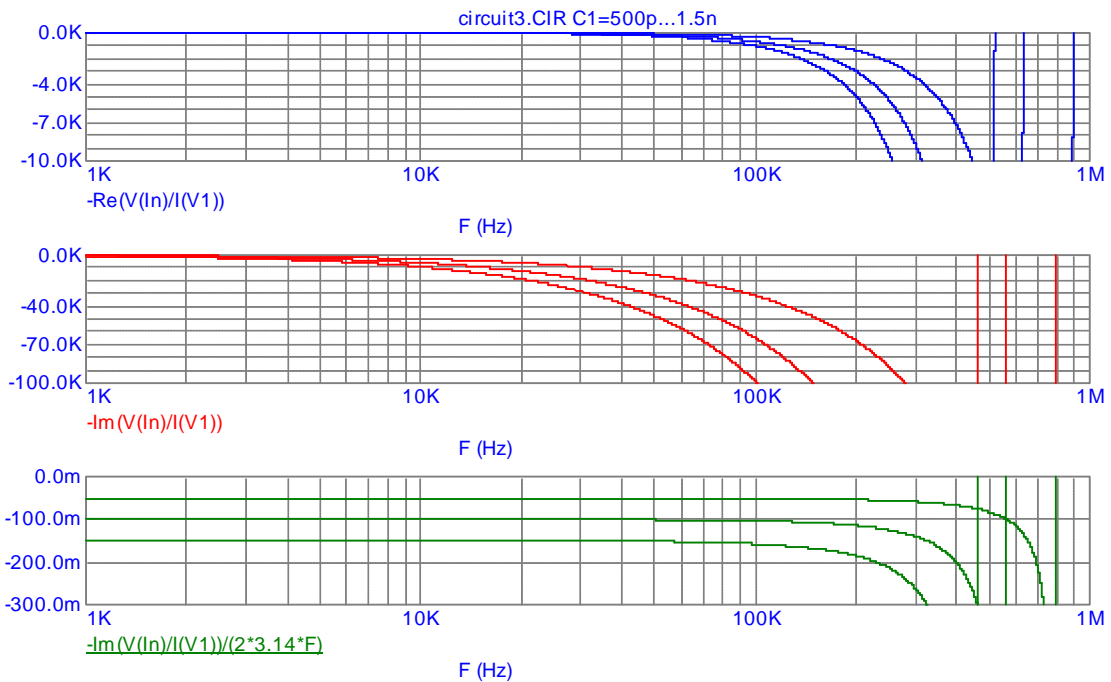


Рис. 4. Частотні залежності активної та реактивної складових вхідного опору та значення індуктивності  $L$ -негатрону на інверторі від'ємного імпедансу на ОП з позитивним зворотним зв'язком за напругою для різних значень ємності  $C1$  (0,5 нФ, 1 нФ, 1,5нФ)

Схему  $L$ -негатрону на інверторі від'ємного імпедансу на операційному підсилювачі з позитивним зворотним зв'язком за струмом для моделювання в середовищі MicroCap 9 показано на рис. 5. На рис. 6 подано частотні залежності активної і реактивної складових вхідного опору та вхідної індуктивності такого  $L$ -негатрону.

Рис. 5. Схема  $L$ -негатрона на інверторі від'ємного імпедансу на ОП з позитивним зворотним зв'язком за струмомРис. 6. Частотні залежності активної та реактивної складових вхідного опору та значення індуктивності  $L$ -негатрона на інверторі від'ємного імпедансу на ОП з позитивним зворотним зв'язком за струмом

З графіків видно, що для обох схем при однакових параметрах елементів ( $C_n = 1 \text{ нФ}$ ,  $R_2 = R_3 = 10 \text{ кОм}$ ) значення від'ємної індуктивності складає  $-100 \text{ мГн}$ . При цьому від'ємне значення індуктивності стає до частоти  $300 \text{ кГц}$  для першої схеми і до  $500 \text{ кГц}$  – для другої, що свідчить про кращі частотні властивості другої схеми. Значення частоти  $f_{\text{max}}$  для першої схеми становить близько  $500 \text{ кГц}$ , а для другої схеми –  $457 \text{ кГц}$ . Проведене моделювання роботи даних схем показало, що значення від'ємної індуктивності, що реалізується цими схемами, не залежить від зміни напруги живлення операційного підсилювача. Однак, при цьому воно змінюється із зміною ємності навантаження  $C_1$  (рис. 7, 8). З графіків видно, що значення від'ємної індуктивності зростає при зростанні значення ємності  $C_1$  та змінюється від  $-180 \text{ мкГн}$  при  $C_1 = 1 \text{ пФ}$  до  $-76 \text{ Гн}$  при  $C_1 = 1 \text{ мкФ}$ . Також отримано частотну залежність величини добротності  $1/Q$  (рис. 9). Величина добротності в діапазоні частот від  $1 \text{ кГц}$  до  $1 \text{ МГц}$  змінюється від  $8$  до  $-24$ .

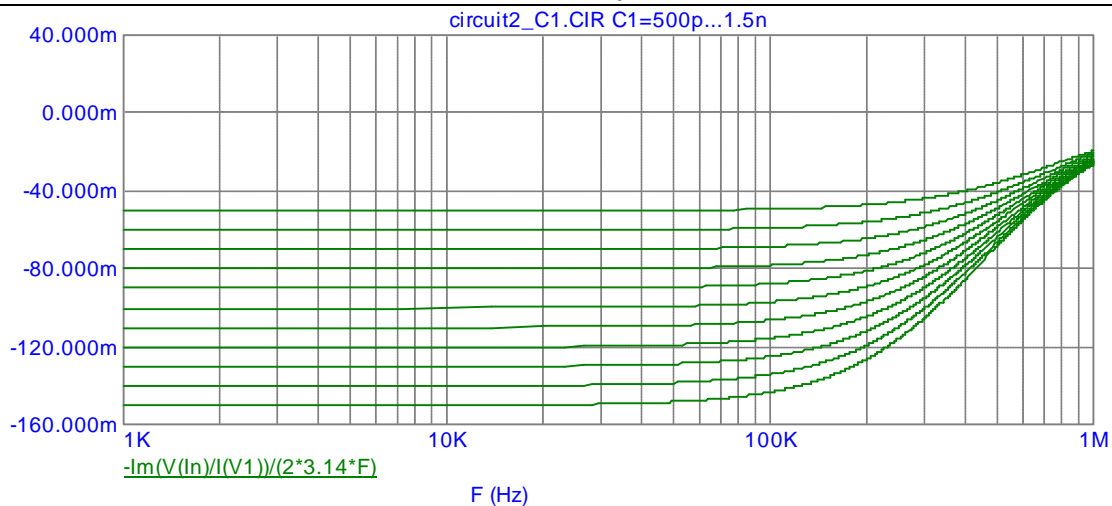
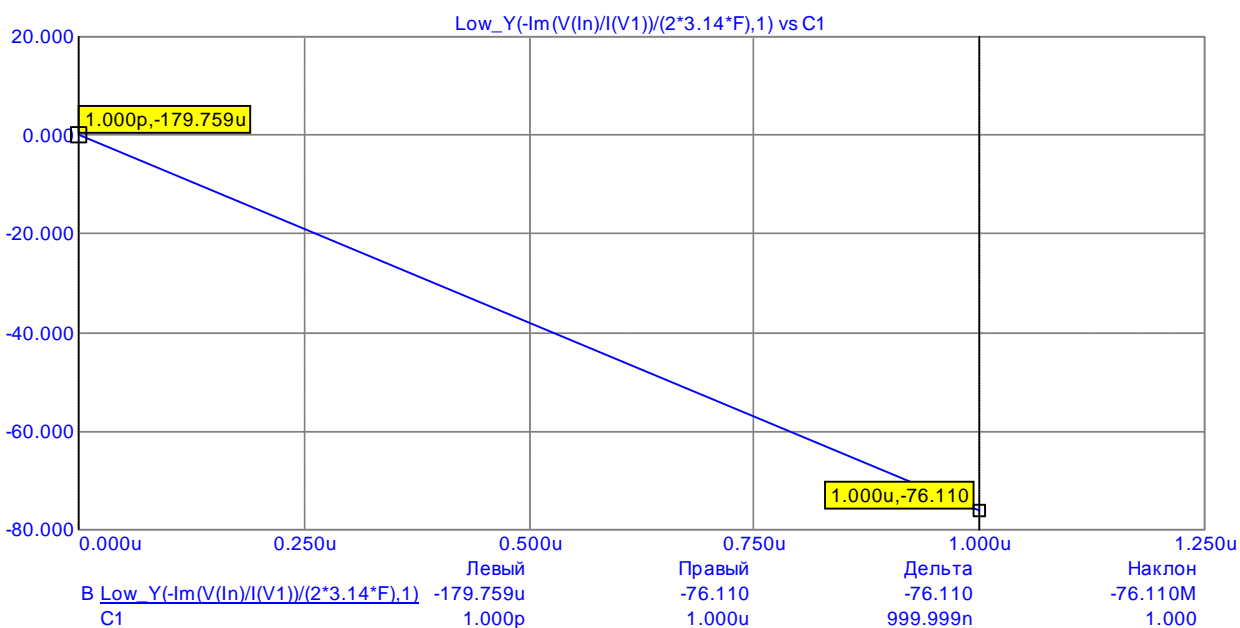


Рис. 7. Частотні залежності від'ємної індуктивності при різних значеннях ємності  $C_1$  (від 0,5 нФ до 1,5нФ з кроком 0,1 нФ) для L-негатрона на інверторі від'ємного імпедансу на ОП з позитивним зворотним зв'язком за напругою



б)

Рис. 8. Залежність значення від'ємної індуктивності від ємності  $C_1$  на частоті 50 кГц для L-негатрона на інверторі від'ємного імпедансу на ОП з позитивним зворотним зв'язком за напругою

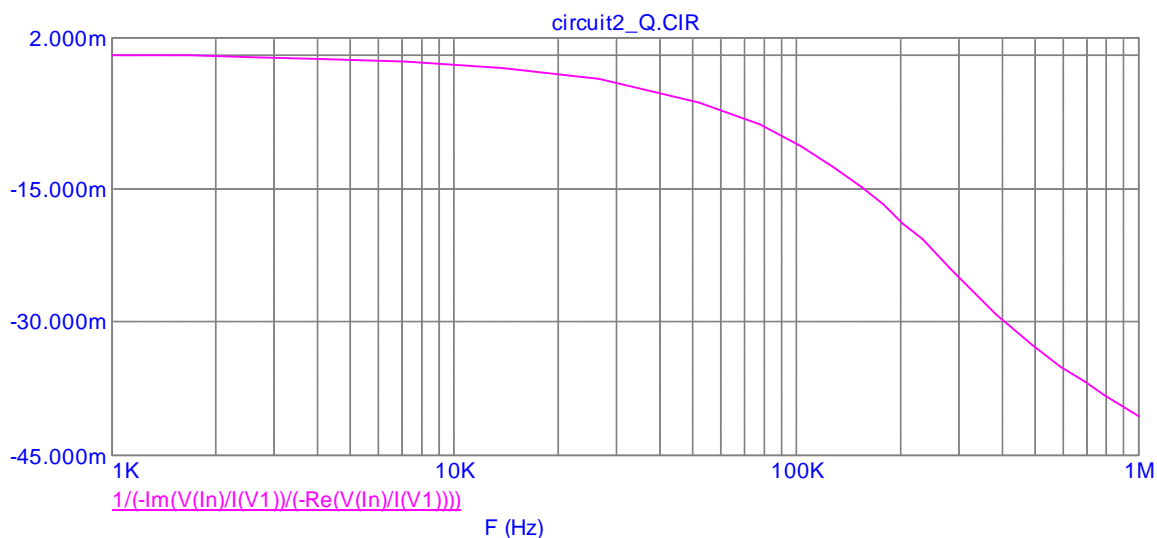


Рис. 9. Частотні залежності добротності  $1/Q$  L-негатрона на інверторі від'ємного імпедансу на ОП з позитивним зворотним зв'язком за напругою

**Висновки**

1. В основі розглянутих схемотехнічних  $L$ -негатронів на ОП лежать перетворювачі імпедансу. Для реалізації  $L$ -негатрона можна використовувати дві основних схеми на інверторах від'ємного імпедансу на ОП: з позитивним зворотним зв'язком за напругою і за струмом. Розглянуті схеми  $L$ -негатронів на ОП працюють в діапазоні частот 1 Гц – 0,5 МГц, що складає 10% від частоти одиночного підсилення даного операційного підсилювача, і дозволяють реалізувати від'ємну індуктивність від -180 мкГн при  $C1=1\text{пФ}$  до – 76 Гн при ємності навантаження  $C1=1\text{мкФ}$ .

2. Для схемотехнічної реалізації  $L$ -негатронів використання інверторів від'ємного імпедансу є більш перспективним, так як дозволяє одержати від'ємну індуктивність без використання котушок індуктивності шляхом інверсії реактивного опору додатної ємності.

**Література**

1. Філінюк М.А. Основи негатроніки : в 2-х т. / Філінюк М.А. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 762 с.
2. Бенинг Ф. Отрицательное сопротивление в электронных схемах / Бенинг Ф. – М. : Сов. радио, 1975. – 286 с.
3. AD8003. Triple, 1.5 GHz Op Amp. Analog Devices, Inc. One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A. – 2008. – 16p.
4. Марше Ж. Операционные усилители и их применение / Марше Ж. ; [пер. с франц.]. – Л. : Энергия, 1974. – 216 с.
5. Филановский И.М. Схемы с преоб-разователями сопротивления / Филановский И.М., Персианов А.Ю., Рыбин В.К. – Л. : Энергия, 1973. – 192 с.
6. Грабовски Б. Краткий справочник по электронике / Богдан Грабовски ; [пер. с фр. Хаванов А.В.]. – [2-е изд., испр.]. – М. : ДМК Пресс, 2004. – 416 с.
7. Дослідження схемотехнічних реалізацій  $C$ -негатронів на інверторах від'ємного опору / О.О. Лазарев, К.В. Огородник, Р.Ю. Чехместрук, М.А. Філінюк // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах, 2011. – № 2. – С. 72-76.
8. Patent USA № 29,080. Int. Cl.2 H03H 7/00, H03H 11/00. Compensated transformer circuit utilizing negative capacitance simulating circuit / F. J. Kiko (USA). - Dec. 17, 1976. – 10 p.
9. Patent USA № 3881149/ G01R 19/00 Compensated transformer circuit / F. J. Kiko (USA). - Apr. 29, 1975. – 7 p.

Надійшла 21.6.2012 р.

Рецензент: д.т.н. Кожем'яко В.П.

УДК 681.3

**Я.М. НИКОЛАЙЧУК**

Інститут мікропроцесорних систем керування об'єктами електроенергетики  
карпатського державного центру інформаційних засобів і технологій НАН України

**Р.В. ЦАНЬКО, Н.Я. ВОЗНА**

Тернопільський національний економічний університет

## **ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМНИХ ФУНКЦІЙ ТА АРХІТЕКТУРИ ІНТЕРАКТИВНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ**

*У даній роботі представлено та проаналізовано найбільш поширену тривірневу магістральну архітектуру комп'ютерних систем та її компоненти, а також структуру фреймів неінтерактивних та інтерактивних комп'ютерних систем.*

***Three-level backbone architecture for computer system and its components has been represented and analysed in this paper. Also, it is described frame structure for non-interactive as well as interactive computer systems.***

Ключові слова: інтерактивна комп'ютерна система, інтерфейсний виконавчий механізм, модель руху даних, розподілені комп'ютерні системи.

**Постановка проблеми**

На даний час розроблена теорія, методологія та техніка побудови моделей руху даних в розподілених комп'ютерних системах (РКС), а також створені системи, які характеризуються інтерактивними властивостями РКС [1]. До таких систем належать низові комп'ютерні системи, спеціалізовані комп'ютерні системи та розподілені системи реального часу. Названі класи комп'ютерних систем безпосередньо інформаційно взаємодіють з розподіленими об'єктами управління. До таких об'єктів належать: об'єкти електроенергетики, нафтогазової промисловості, екологічного моніторингу, групи мобільних систем, пожежні, охоронні системи та інші. Таким чином, велика наявність об'єктів, які вимагають управління в реальному часі, повинні обслуговуватись РКС. В той же час теоретичні та інформаційно-технічні основи організації руху даних в таких комп'ютеризованих системах не в повній мірі