

УДК 621.375

## ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЧАСТОТИ З ПОЄДНАНИМИ ВХОДОМ І ВИХОДОМ

Ігор Форощук

Національна академія СБ України

**Анотація:** Проведена експериментальна перевірка адекватності розробленої математичної моделі перетворювачів частоти з поєднаними входом і виходом, викладені результати оцінки їх практичної ефективності.

**Summary:** There is the experimental verification of an adequacy of mathematical model for the frequency mixers with integrated input and output and results of effectiveness valuation.

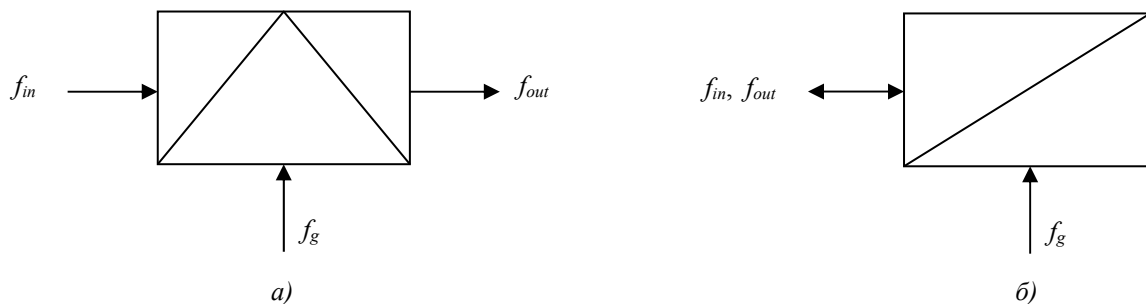
**Ключові слова:** Інформаційно-телекомунікаційні системи, перетворення частоти.

### Вступ

Тенденції розвитку сучасних технологій обробки і передачі інформації обумовили швидке зростання об'ємів застосування електронного обладнання.

Висока інтенсивність впровадження інформаційно-телекомунікаційних систем (ІТС) у різноманітні галузі людської діяльності зумовлює зростання актуальності та складності задач розробки, практичної реалізації або модифікації відповідного електронного устаткування.

Так, наприклад, стрімкий розвиток засобів радіозв'язку зумовлює значні зміни діапазонів виділених частот, що призводить до необхідності розробки нових радіоприймачів (передавачів) або розширення діапазону робочих частот існуючих шляхом застосування відповідних конверторів. Для реалізації конверторів застосовують різноманітні схеми перетворювачів частоти. На рис. 1, а наведений класичний перетворювач з окремими входом і виходом, де  $f_{in}$  – частота сигналу на вході перетворювача,  $f_g$  – частота сигналу гетеродину (опорного генератора),  $f_{out}$  – частота виділеного сигналу, утвореного внаслідок частотного перетворення.



**Рисунок 1 – Перетворювачі частоти:**  
а – з окремими входом і виходом; б – з поєднаними входом і виходом

Частотні конвертори знайшли широкого вжитку у сучасній схемотехніці, але складність дообладнання радіоприймача зазначеним перетворювачем частоти полягає в необхідності безпосереднього втручання у вхідний високочастотний тракт.

Альтернативою перетворювачу частоти з окремими входом і виходом є перетворювач частоти з поєднаними входом і виходом (далі – однобічний перетворювач частоти) (рис. 1, б). Його застосування полягає в простому паралельному приєднанні до входу радіоприймача. Подальший матеріал присвячений практичній перевірці адекватності математичної моделі однобічного перетворювача частоти (ОПЧ) та оцінці ефективності ОПЧ за обраними показниками.

### І Перевірка адекватності математичної моделі однобічного перетворювача частоти, виконаного на основі нелінійного елемента

Модульоване (або немодульоване) коливання можливо перетворити в коливання іншої частоти шляхом переносу його спектру таким чином, що амплітудні та фазові співвідношення між складовими спектру зберуться [1, с. 412].

Операція переносу спектру реалізується перемножуванням коливання, що необхідно перетворити, з деяким опорним (гетеродинним) коливанням. У випадках застосування нелінійного елемента перетворення частоти здійснюються наступними способами:

створюють биття двох напруг, подають їх на нелінійний елемент (НЕ) (пристрій з нелінійною характеристикою) та виділяють з вихідної напруги складові (суму або різницю частоти) коливань;

подають коливання, що необхідно перетворити, на елемент, коефіцієнт передачі якого змінюється відповідно до деякого опорного (гетеродинного) коливання та виділяють з вихідної напруги складові (суму або різницю частоти) коливань.

На рис. 2 наведено модель ОПЧ, виконаного на деякому НЕ. Електромагнітні високочастотні коливання згідно з законом електромагнітної індукції [2] утворюють в антені радіоприймача з провідністю  $Y_a$  високочастотну змінну електрорушійну силу (ЕРС)  $U_{in}(t)$ . Відповідно до [3, с. 41] ЕРС викликає високочастотний струм через НЕ ОПЧ, приєднаний паралельно входу радіоприймача.

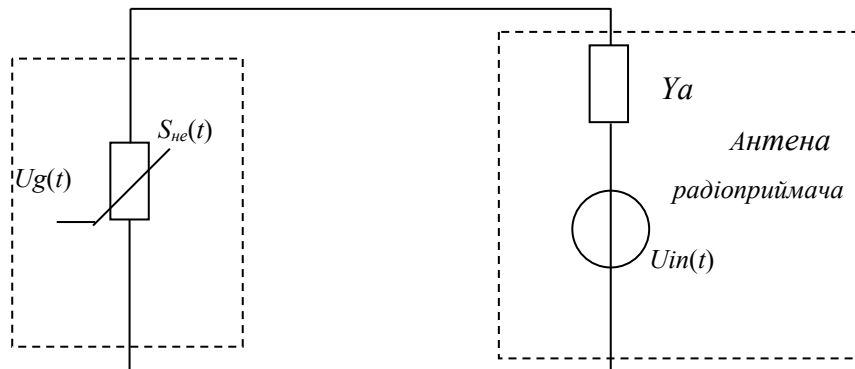


Рисунок 2 – Модель однобічного перетворювача частоти на нелінійному елементі

У класичному випадку ЕРС змінюється за гармонійним законом, тобто

$$U_{in}(t) = U_{inm} \cos(\omega_{in}t + \varphi_{in0}) \quad (1)$$

де  $\omega_{in}$  – циклічна частота;  $U_{inm}$  – амплітуда;  $\varphi_{in0}$  – початкова фаза.

Нехай початкова фаза  $\varphi_{in0} = 0$ , тоді  $U_{in}(t) = U_{inm} \cos \omega_{in}t$ .

Розглянемо випадок сигналу гетеродина  $U_g(t)$  типу “меандр” з частотою  $f_g$ . Відповідна функція зміни провідності НЕ  $S_{ne}(t)$  буде мати наступний вигляд

$$S_{ne}(t) = \begin{cases} S_{ne1}, & (0 + nT) < t < (T/2 + nT) \\ S_{ne0}, & (T/2 + nT) < t < (T + nT), \end{cases} \quad (2)$$

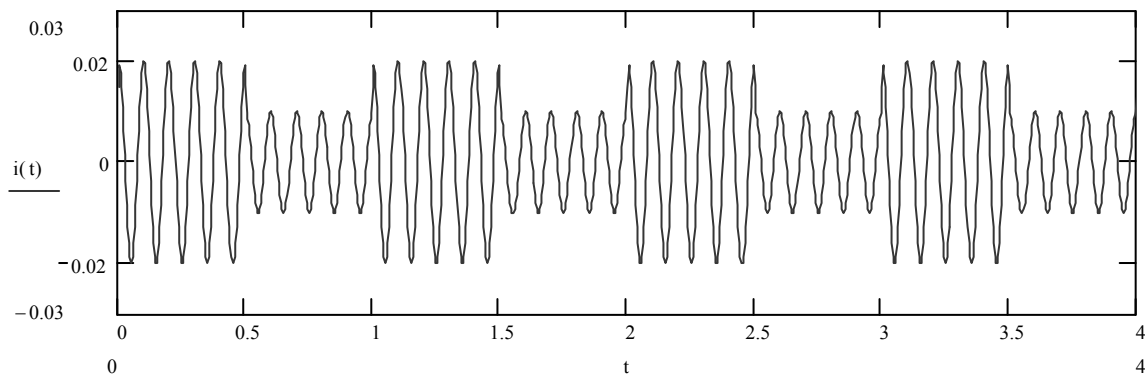
де  $S_{ne1}$  і  $S_{ne0}$  – значення провідності нелінійного елемента, які відповідають значенням напруги логічних “1” та “0” відповідно;  $T = 1/f_g$ ;  $n$  – будь-яке ціле число.

Маємо вираз для визначення струму в колі, позначеному на рис. 2:

$$i(t) = \frac{(S_{m1} + S_{m0}) \cdot U_{inm} \cdot \cos(\omega_{in} \cdot t)}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(S_{m1} - S_{m0}) \cdot U_{inm}}{(2 \cdot k - 1) \cdot \pi} \times \\ \times (\cos((2 \cdot \pi \cdot f_{in} + (2k - 1)2 \cdot \pi \cdot f_g) \cdot t) + \cos((2 \cdot \pi \cdot f_{in} - (2k - 1)2 \cdot \pi \cdot f_g) \cdot t)) \quad (3)$$

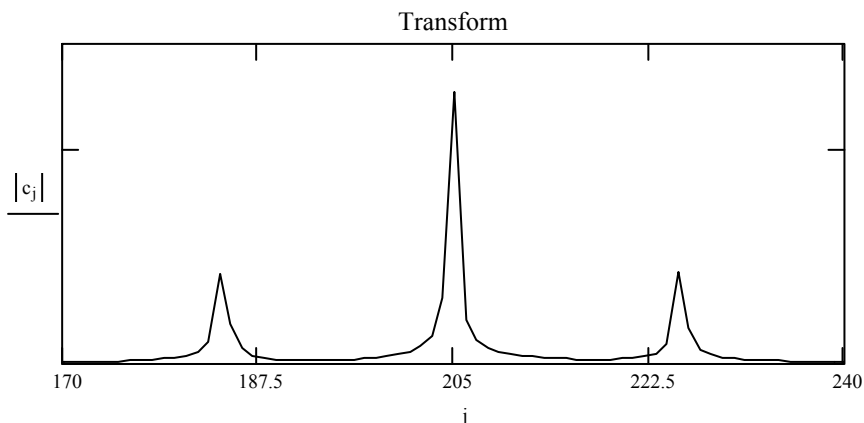
де  $S_{m1} = (S_{ne1}Y_a)/(S_{ne1}+Y_a)$ , а  $S_{m0} = (S_{ne0}Y_a)/(S_{ne0}+Y_a)$ .

Проведемо графічне дослідження виразу (3). На рис. 3 зображено графік функції (3), побудований за допомогою програмного забезпечення MathCAD 2000 Professional для наступних значень:  $U_{inm} = 1$  В,  $f_{in} = 10$  Гц,  $f_g = 1$  Гц,  $S_{m1} = 0.02$  См (50 Ом),  $S_{m0} = 0.01$  См.



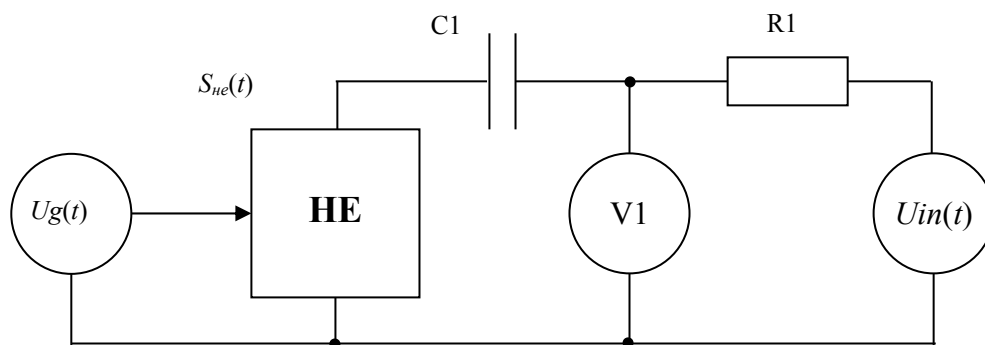
**Рисунок 3 – Графік функції (3), побудований за допомогою програмного забезпечення MathCAD 2000 Professional**

Дослідження функції (3) проведено із застосуванням швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) середовища MathCAD 2000 Professional (рис. 4). Розраховано 1024 значень функції (3).  $c_j$  – функція, отримана в результаті ШПФ.



**Рисунок 4 – Дослідження функції (2.3) застосуванням швидкого перетворення Фур'є з використанням програмного забезпечення MathCAD 2000 Professional**

Проведемо експериментальне дослідження моделі, наведеної на рис. 2, з використанням програмного продукту PSpice V.9.2, що належить до сімейства Orcad Family Release 9.2 виробництва Cadence Design Systems, Inc. На рис. 5 наведена адаптована для PSpice V.9.2 еквівалентна структурна схема моделі протікання високочастотних струмів через нелінійний елемент, провідність якого змінюється відповідно до сигналу гетеродина.



**Рисунок 5 – Адаптована еквівалентна структурна схема моделі протікання високочастотних струмів через нелінійний елемент, провідність якого змінюється відповідно до сигналу гетеродина**

Програмне забезпечення Pspice V 9.2 дозволяє провести моделювання поведінки наведеної на рис. 5 структурної схеми із заданими заздалегідь параметрами та дослідити необхідні електричні сигнали. Обрані наступні параметри моделювання:

5.  $Ug(t)$  – сигнал гетеродина типу “меандр”, тривалості фронту та спаду імпульсу по 5 нс, періодичність слідування 1 мкс, мінімальне значення напруги імпульсу – 0 В, максимальне – 5 В;
  6.  $CI$  – 10 пФ,  $R1$  – 50 Ом;
  7.  $Uin(t)$  – високочастотний сигнал, що надходить на нелінійний елемент НЕ, частота – 800 МГц, амплітуда – 10 мВ;
  8.  $S_{ne}(t)$  – функція зміни провідності нелінійного елемента НЕ,  $S_{ne1} = 0,05$  См,  $S_{ne0} \rightarrow 0$  См.
- В результаті моделювання отримано осцилограму сигналу на вході вольтметра V1 (рис. 6).

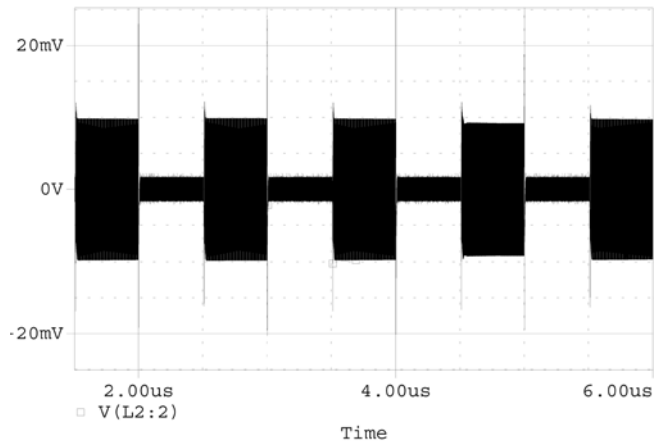


Рисунок 6 – Осцилограма сигналу на вході вольтметра V1 структурної схеми (рис. 5)

На рис. 7. наведено спектрограму сигналу на вході вольтметра V1 структурної схеми (рис. 5).

Аналіз графіків на рис. 3 та рис. 4 дозволяє зробити висновок, що функції (2), (3) являє собою високочастотний амплітудно модульований сигнал, амплітуда якого змінюється відповідно до сигналу гетеродина.

У випадку моделювання поведінки наведеної на рис. 5 структурної схеми моделі протікання високочастотних струмів через нелінійний елемент, провідність якого змінюється відповідно до сигналу гетеродина, отримані осцилограма та спектрограма результуючого високочастотного сигналу, які експериментально підтверджують процес перетворення частоти.

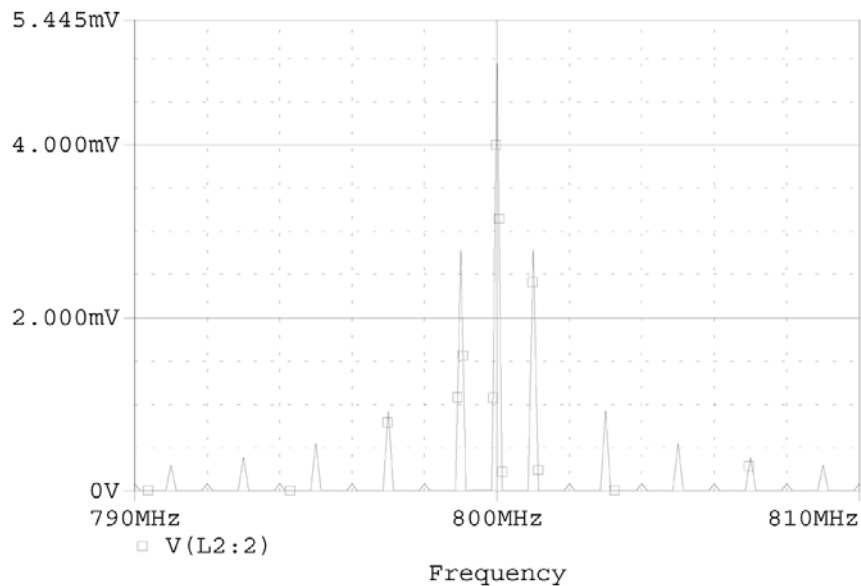


Рисунок 7 – Спектрограма сигналу на вході вольтметра V1 структурної схеми (рис. 5)

## II Оцінка ефективності однобічного перетворювача частоти, виконаного на основі нелінійного елемента

Визначимо характеристику втрат на частотне перетворення високочастотного сигналу  $\eta$  за наступним виразом

$$\eta = 10 \log \left( \frac{P_0}{P_1} \right), \quad (4)$$

де  $P_0$  – потужність прийнятого антеною радіоприймача високочастотного сигналу від радіопередавача;

$P_1$  – потужність частотно сигналу виділеної бокової смуги (перша гармоніка).

Відповідно до отриманої спектрограми (рис. 7) розрахуємо втрати на частотне перетворення високочастотного сигналу за виразом (3. 1) для розробленої структурної схеми моделі протікання високочастотних струмів через нелінійний елемент, провідність якого змінюється відповідно до сигналу гетеродину (рис. 5):

$$\eta = \frac{1}{2} \cdot 20 \log \left( \frac{U_m}{U_1} \right) = \frac{1}{2} \cdot 20 \log \left( \frac{10 \text{ mV}}{2,75 \text{ mV}} \right) \approx 5,6 \text{ dB},$$

де  $U_m$  – амплітуда напруги прийнятого антеною радіоприймача високочастотного сигналу від радіопередавача;  $U_1$  – амплітуда напруги першої гармоніки утвореного при частотному перетворенні сигналу (801 МГц).

### Висновки

В результаті проведених досліджень однобічних перетворювачів частоти отримані результати, які підтверджують утворення процесу частотного перетворення та адекватність розробленої математичної моделі ОПЧ, виконаного на основі нелінійного елемента.

Отриманий результат щодо втрат на частотне перетворення високочастотного сигналу  $\eta$  не перевищує середнє для даного класу перетворювачів частоти значення – 6-8 дБ.

Переваги ОПЧ полягають у простоті їх виконання та легкості модернізації радіоприймача, яка полягає в простому паралельному підключенні до відповідного антенного входу. Основним недоліком ОПЧ є відсутність частотної селекції до та після перетворення частоти.

*Література: 1. Манаев Е. И. Основы радиоэлектроники: Учебное пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1985. – 488 с. 2. Сазонов Д. М. Антенны и устройства СВЧ: учебник для вузов. – М.: Наука, 1988. – 432 с. 3. Белецкий А. Ф. Теория линейных электрических цепей: Учебник для вузов. – М.: Радио и связь, 1986. – 544 с.*