

УДК 621.3

Л. Б. Ліщинська, к. т. н., доц.; М. А. Філінюк, д. т. н., проф.

МЕТОДИКА СИНТЕЗУ ТАБЛИЦЬ ПЕРЕТВОРЕННЯ ІМІТАНСУ БАГАТОПАРАМЕТРИЧНИХ УПН

У статті запропоновано методику синтезу таблиць перетворення імпедансу багатопараметричних УПН. Питання синтезу проаналізовано в літературі лише частково, що вказує на важливість подальшої розробки методики синтезу таблиць перетворення імпедансу для багатопараметричних УПН.

Ключові слова: імпеданс, узагальнений перетворювач імпедансу (УПІ), одноперехідний транзистор, польовий транзистор.

Вступ

У якості однокристальних узагальнених перетворювачів імпедансу (УПН) використовуються транзисторні структури, що мають три і більше (N)-електродів: біполярні (БТ), одностаторні і двостаторні польові транзистори (ПТ); одноперехідні (ОТ) й інжекційно-прольотні (ІПТ) транзистори. Усі УПН можна розділити на одно- і багатопараметричні. Методика синтезу інформаційних пристроїв (ІП) на базі однопараметричних УПН ґрунтується на використанні таблиць перетворення імпедансу й обґрунтована в роботах [1, 2]. Тільки частково питання синтезу ІП на базі багатопараметричних УПН проаналізовано в [3], що вказує на актуальність подальшої розробки методики синтезу таблиць перетворення імпедансу для багатопараметричних УПН.

Мета роботи

Метою роботи є розробка основ узагальненої методики синтезу таблиць перетворення імпедансу багатопараметричних УПН на довільних N-полюсниках з поширенням її на синтез таких таблиць для УПН, що використовують трьох- і чотирьохелектродні транзисторні структури.

Методика синтезу таблиць перетворення імпедансу для двопараметричних заземлених УПН на базі незалежного триполюсника

Принципи побудови таблиць перетворення імпедансу однопараметричними УПН і їхня реалізація для випадків використання різних транзисторних структур обґрунтовані в роботі [1].

При використанні незалежного триполюсника можливі три варіанти побудови двопараметричного УПН₃ (рис. 1).

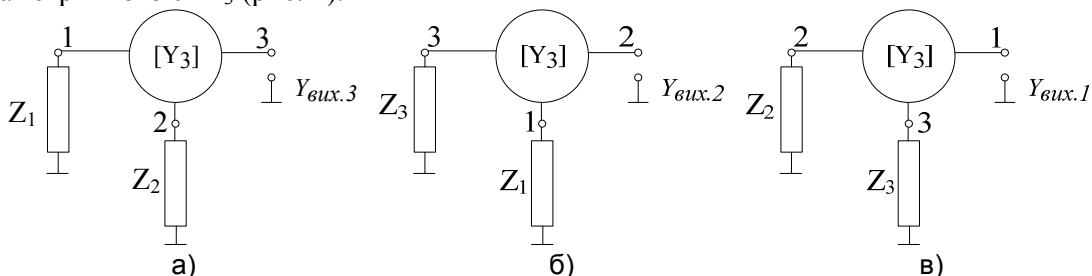


Рис. 1. Варіанти побудови двопараметричного УПН₃ на базі незалежного триполюсника

Перетворена провідність $Y_{вих}$ таких УПН₃ є функцією F опорів Z_i , що перетворюються, і

параметрів невизначеної матриці $[Y_3]$ триполюсника:

$$\left. \begin{aligned} Y_{вих.1} &= F_1(Z_2, Z_3, [Y_3]); \\ Y_{вих.2} &= F_2(Z_1, Z_3, [Y_3]); \\ Y_{вих.3} &= F_3(Z_1, Z_2, [Y_3]). \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Задаючись характером і значенням перетворюваних опорів $Z_1 - Z_3$ і частотою перетворення Ω_m , за умови, що елементи матриці $[Y_3]$ відомі, шляхом рішення системи рівнянь (1) можна визначити характер перетвореної провідності $Y_{вих.i}$ для кожного варіанту побудови УПЗ, де: $i = 1, 2, 3 \dots m$ – номер полюса.

При використанні незалежного триполюсника це завдання вирішується однозначно аналітично. Наприклад, для схеми (рис. 1 а)

$$Y_{вих.3} = \frac{1}{k} \left[y_{22} + Z_2 \Delta y - \frac{(y_{11} - Z_2 \Delta y)(y_{21} - Z_2 \Delta y)}{y_{11} + Z_2 \Delta y + k y_1} \right],$$

де $k = 1 + Z_2 \Delta y$;

$\Sigma y = y_{11} + y_{12} + y_{21} + y_{22}$;

$\Delta y = y_{11} y_{22} - y_{21} y_{12}$;

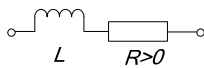
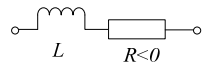
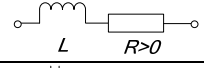
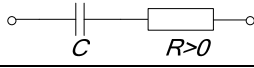
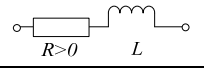
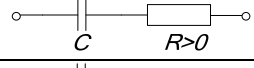
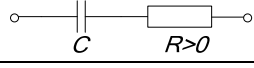
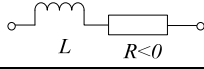
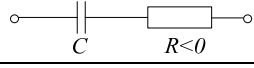
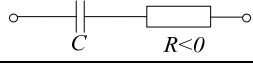
$y_1 = 1/Z_1$;

$y_{11}, y_{12}, y_{21}, y_{22}$ – параметри матриці провідності залежного чотириполюсника, утвореного з використанням триполюсника зі спільним для входу і виходу електродом 2 при $Z_2 = 0$.

Це дозволяє визначити характер перетвореної провідності $Y_{вих.i}$ для різних варіантів побудови УПЗ. Результати розрахунків представляються у вигляді таблиць перетворення імітансів для кожного варіанту побудови УПЗ і триполюсника, що використовується. У разі використання БП, ПТ, ОТ і ППТ, отримуємо 12 таблиць перетворення імітансу. Приклад результату такого синтезу, для випадку використання ОТ, коли перетворювані опори підключаються між емітером – Z_1 (полюс № 1), колектором – Z_2 (полюс № 2) (рис. 1а) і спільною шиною, представлено в таблиці 1.

При розробці таких таблиць перетворення імітансу, зазвичай виникає завдання вибору відносної частоти розрахунків $\Omega_m = f_0 / f_m$, де f_m – гранична частота активного багатополюсника. Враховуючи, що прийнятні значення коефіцієнта шуму $F_{ш}$ таких приладів, який є одним з визначальних параметрів ПП, спостерігаються на частотах $\Omega_m < 0,5$, вибираємо значення $\Omega_m = 0,25$, що гарантує отримання прийнятних значень $F_{ш}$ і забезпечує реалізацію ПП на відносно високих частотах, включаючи діапазон НВЧ, де вони найефективніші.

Таблиця перетворення імітансу двопараметричного УПЗ на базі ОТ, увімкненого за схемою рис. 1а.

№ варіанту	Z_1	Z_2	$Y_{вих.3}$
1.1	R_1	R_2	
1.2		L_2	
1.3		C_2	
1.4	C_1	R_2	
1.5		L_2	
			
1.6		C_2	
1.7	L_1	R_2	
1.8		L_2	
1.9		C_2	
			

Методика синтезу таблиць перетворення імітансу для двопараметричного УПЗ на базі незалежного чотирьополюсника

При використанні незалежного чотирьополюсника можуть бути реалізовані 12 варіантів двопараметричних УПЗ заземленого типу, частину структурних схем яких представлено на рис. 2, і 18 варіантів трипараметричних УПЗ, частину структурних схем яких представлено на рис. 5. На схемах (рис. 2) цифровий індекс при $Y_{вих.ij}$ вказує: i – номер вихідного полюса; j – номер полюса, що заземляється. Можливі варіанти таких 12-ти комбінацій представлено в таблиці 2.

Варіанти комбінації полюсів і опорів, що перетворюються, незалежного чотириполюсника, покладені в основу побудови двопараметричних УПП₄

Стан полюсів				i	j
1	2	3	4		
1	2	Z ₃	Z ₄	1	2
1	Z ₂	3	Z ₄	1	3
1	Z ₂	Z ₃	4	1	4
Z ₁	2	3	Z ₄	2	3
Z ₁	2	Z ₃	4	2	4
1	2	Z ₃	Z ₄	2	1
1	Z ₂	3	Z ₄	3	1
Z ₁	2	3	Z ₄	3	2
Z ₁	Z ₂	3	4	3	4
1	Z ₁	Z ₂	4	4	1
Z ₁	2	Z ₂	4	4	2
Z ₁	Z ₂	3	4	4	3

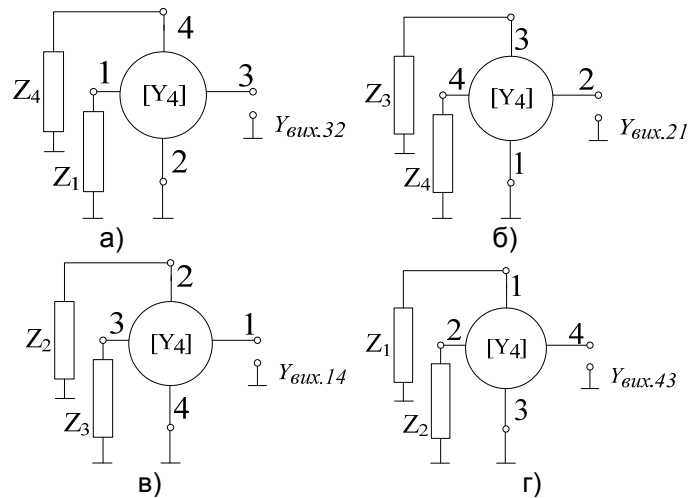


Рис. 2. Ряд варіантів побудови двопараметричного УПП₄ на базі незалежного чотириполюсника

Перетворена провідність $Y_{вих.ij}$ є функцією F_{ij} перетворюваних опорів Z_i і параметрів невизначеної матриці $[Y_4]$ незалежного чотириполюсника.

$$\left. \begin{aligned} Y_{вих.12} &= F_{12}(Z_3, Z_4, [Y_4]); \\ Y_{вих.13} &= F_{13}(Z_2, Z_4, [Y_4]); \\ &\dots\dots\dots \\ Y_{вих.43} &= F_{43}(Z_1, Z_2, [Y_4]). \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Задаючись характером і значенням опорів, що перетворюються $[Z_1 - Z_4]$ і частотою перетворення Ω_m , за умови, що елементи матриці $[Y_4]$ відомі, шляхом розв'язання рівнянь (2) можна визначити характер і величину перетвореної провідності $Y_{вих.ij}$ для кожного варіанта

побудови УПП₄. Однак аналітичні рішення цього завдання дуже громіздкі, а в ряді випадків не мають явного рішення. Простіший шлях – використання чисельного рішення, представленого у вигляді тривимірних графіків, приклади яких представлено на рис. 3.

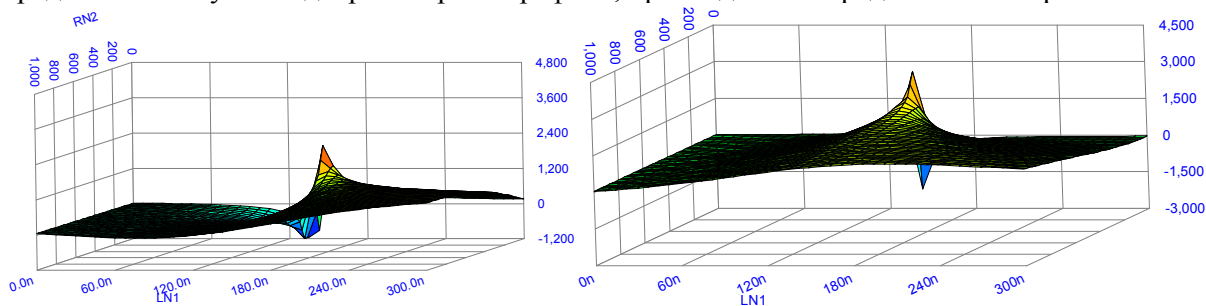


Рис. 3. Залежності складників перетвореної провідності $Y_{вих.32}$ УПП₄, структурна схема якого представлена на рис. 2а

Розрахунки проведено для випадку використання двозатворного ПТ типу 2N4456, коли перетворювані опори Z_1 і Z_4 підключаються між другим затвором (поліс № 1), стоком (поліс № 4) і спільною шиною, до якої підключений витік ПТ (поліс № 2). При цьому виникає невизначеність, пов'язана з вибором діапазону значень перетворюваних опорів Z_i . Однозначного рішення для усунення цієї невизначеності на сьогодні не знайдено. З великою ймовірністю вона усувається шляхом аналізу тримірних графіків (рис. 3) або шляхом вибору значень перетворюваних опорів на основі співвідношень [2]: $1/Z_i \ll Y_{ii}$ – для випадку реалізації конвертуючих властивостей каналу перетворення провідності; $1/Z_i \gg Y_{ii}$ для випадку реалізації інвертуючих властивостей каналу перетворення провідності.

Аналіз графіків (рис. 3) дозволяє виявити характер перетвореної провідності $Y_{вих.32}$ залежно від значень перетворюваних опорів R_1 і R_4 . Результати такого аналізу представлено у вигляді таблиці перетворень імпедансу, аналогічної до табл. 1. Аналогічно можуть бути побудовані таблиці перетворення імпедансу на базі інших незалежних чотирьохполосників, за умови визначення Y -параметрів невизначеної матриці УПП₄. Використовуючи різні комбінації полярності напруги на затворі двозатворного ПТ, можна отримати чотири види його невизначеної матриці. Це дозволяє реалізувати 48 варіантів УПП₄ такого виду на базі двозатворного ПТ, а отже, і вимагає побудови 48-ми таблиць перетворення імпедансу.

Для двопараметричного УПП_N на базі двозатворного ПТ можна простіший метод побудови таблиць перетворення імпедансу шляхом використання таблиць перетворення імпедансу однопараметричної УПП_N. В основі цього методу лежить можливість подання двозатворного ПТ у вигляді двох однозатворних ПТ [4], як показано на рис. 4.

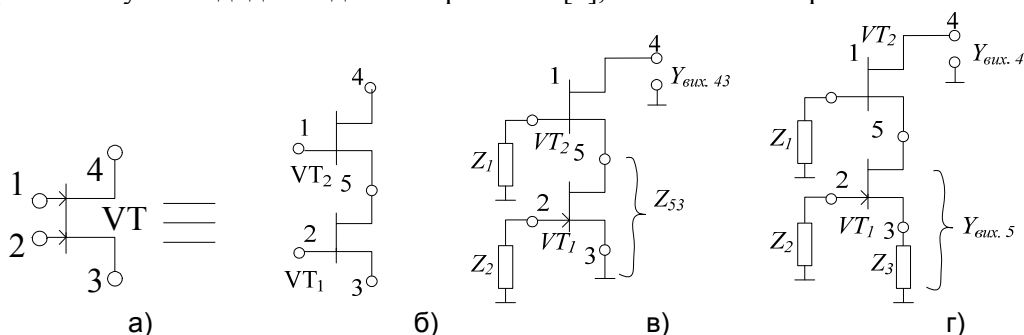


Рис. 4. Представлення двозатворного ПТ (а) у вигляді двох однозатворних ПТ (б) і один з варіантів побудови на його основі двопараметричного (в) і трипараметричного (г) УПП_N

Використовуючи таблиці перетворення імпедансу на базі однопараметричного УПП, що реалізується на польовому транзисторі [1], знаходимо характер перетвореної провідності $Y_{вих.53} = 1/Z_{53}$, яка визначає другий перетворюваний опір Z_{53} двопараметричного УПП₃, що Наукові праці ВНТУ, 2011, № 1

реалізується на транзисторі VT_2 . З урахуванням характеру опорів Z_1 і Z_{53} , за допомогою табл. 1 для схеми на рис. 1а знаходимо характер перетвореної провідності $Y_{вих.43} = Y_{вих.4}$. Провівши аналогічні операції для всіх 48 варіантів, визначаємо таблиці перетворення імітансу двопараметричного УПП₄ на базі двозатворного ПТ при різних полярностях напруги на його затворі.

Методика синтезу таблиць перетворення імітансу для трипараметричного УПП_N на базі незалежного чотиріполюсника

На базі незалежного чотиріполюсника також реалізуються чотири варіанти трипараметричних УПП_N (рис. 5).

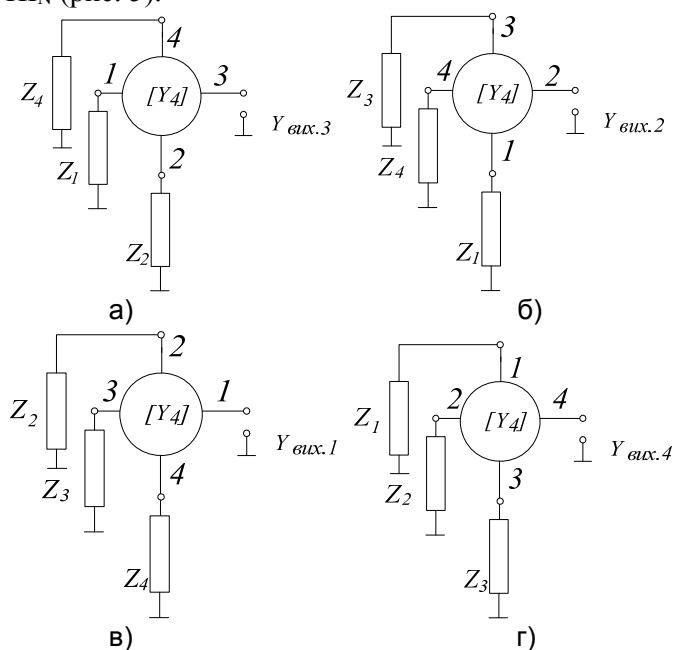


Рис. 5. Варіанти побудови трипараметричного УПП₄ на базі незалежного чотиріполюсника

Враховуючи, що:

$$\left. \begin{aligned} Y_{вих.1} &= F_1(Z_2, Z_3, Z_4, [Y_4]); \\ Y_{вих.2} &= F_2(Z_1, Z_3, Z_4, [Y_4]); \\ Y_{вих.3} &= F_3(Z_1, Z_2, Z_4, [Y_4]); \\ Y_{вих.4} &= F_4(Z_1, Z_2, Z_3, [Y_4]). \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

і задаючись характером і значенням опорів ($Z_1 - Z_4$), що перетворюються, і частотою перетворення Ω_m , за умови, що елементи матриці $[Y_4]$ відомі, шляхом вирішення рівнянь (3), можна визначити характер і величину перетвореної провідності $Y_{вих.i}$ для кожного варіанта побудови трипараметричного УПП₄. З огляду на громіздкість, а іноді й відсутність аналітичних рішень, рекомендовано використовувати вищеописаний графоаналітичний метод, який забезпечує побудову таблиць перетворення імітансу трипараметричного УПП. При використанні реального активного чотиріполюсника, наприклад, на базі двозатворного ПТ, число варіантів побудови УПП_N збільшується до 16. Отже, виникає необхідність побудови 16 варіантів таблиць перетворення імітансу. Однак у цьому конкретному випадку розв'язання задачі спрощується, за рахунок подання двозатворного ПТ у вигляді двох однозатворних ПТ. У цьому випадку трипараметричний УПП₄ представлений на рис. 4г. У цьому випадку, використовуючи таблиці перетворення двопараметричного УПП₃ (табл. 1), знаходимо характер перетвореної провідності УПП₃, що реалізується на транзисторі VT_1 ($Y_{вих.5}$). Враховуючи, що вона відображає характер другого опору двопараметричного УПП₃,

що перетворюється і реалізується на транзисторі VT_1 , використовуючи табл. 1, визначаємо характер перетвореної провідності $Y_{вих.4}$. Провівши аналогічні операції для всіх 16 варіантів побудови трипараметричного УПН на базі двозатворного ПТ, отримаємо їхні таблиці перетворення імітансу.

Аналогічно можна отримати таблиці перетворення імітансу для багатопараметричних УПН на базі багатополосників, що мають $N > 4$, але вони на сьогодні практичного застосування не знайшли.

Висновки

1. Перевагою розробленої методики синтезу таблиць перетворення імітансу багатополосних УПН є використання не кількісних, а якісних параметрів, таких як: активний, ємнісний та індуктивний характер перетворених і перетворюваних імітансів УПН, що виключає обмеження за частотою для використання запропонованої методики синтезу.
2. Можливі дві методики синтезу таблиць перетворення імітансу багатопараметричних УПН:
 - шляхом прямого аналітичного рішення;
 - шляхом використання таблиць перетворення імітансу двопараметричних УПН.

Складність першої методики зростає зі зростанням N і в більшості випадків не має явного рішення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Филинюк Н. А. Активные СВЧ фильтры на транзисторах. / Н. А. Филинюк. – М.: Радио и связь, 1987. – 112 с.
2. Філінюк М. А. Основи негatronіки. Том I. Теоретичні і фізичні основи негatronіки. Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2006. – 456 с.
3. Babak L. I. Decomposition synthesis approach to design of RF and microwave active circuits / L. I. Babak // IEEE MTT-S Int. Microwave Sym.Dig., Phochix, AZ, – 2001. – vol. 2. – pp. 1167 – 1170.
4. Філінюк М. А., Куземко О. М., Ліщинська Л. Б. Інформаційні пристрої на основі потенційно-нестійких багатоелектродних напівпровідникових структур Шоткі: Монографія / М. А. Філінюк, О. М. Куземко, Л. Б. Ліщинська. – Вінниця: ВНТУ, 2009 – 274 с.

Ліщинська Людмила Броніславівна – к. т. н., доцент кафедри фінансового контролю та аналізу, e-mail: L_Fil@mail.ru.

Вінницький торгово-економічний інститут.

Філінюк Микола Антонович – д. т. н., проф., e-mail: Filinyuk@vstu.vinnica.ua.

Вінницький національний технічний університет.