

УДК 621.3

Л. Б. Лищинская, к. т. н. доц.; Н. А. Филынюк, д. т. н., проф.

МЕТОДИКА СИНТЕЗА ТАБЛИЦ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИММИТАНСА МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ОПИ_N

В статье предложена методика синтеза таблиц преобразования иммитанса многопараметрических ОПИ_N. Вопросы синтеза анализируются в литературе только частично, что указывает на важность дальнейшей разработки методики синтеза таблиц преобразования иммитанса многопараметрических ОПИ_N.

Ключевые слова: иммитанс, обобщенный преобразователь иммитанса, полевой транзистор, однопереходной транзистор.

Введение

В качестве однокристалльных обобщенных преобразователей иммитанса (ОПИ_N) используются транзисторные структуры, имеющие три и более (N)-электродов: биполярные (БТ), однозатворные и двухзатворные полевые транзисторы (ПТ); однопереходные (ОТ) и инжекционно-пролетные (ИПТ) транзисторы. Все ОПИ_N можно разделить на одно- и многопараметрические. Методика синтеза информационных устройств (ИУ) на базе однопараметрических ОПИ_N базируется на использовании таблиц преобразования иммитанса и обоснована в работах [1, 2]. Только частично вопросы синтеза ИУ на базе многопараметрических ОПИ_N анализируются в [3], что указывает на актуальность дальнейшей разработки методики синтеза таблиц преобразования иммитанса для многопараметрических ОПИ_N.

Цель работы

Целью работы является разработка основ обобщенной методики синтеза таблиц преобразования иммитанса многопараметрических ОПИ_N на произвольных N-полюсниках с распространением ее на синтез таких таблиц для ОПИ_N, использующих трёх- и четырёхэлектродные транзисторные структуры.

Методика синтеза таблиц преобразования иммитанса для двухпараметрических заземлённых ОПИ₃ на базе независимого трёхполюсника

Принципы построения таблиц преобразования иммитанса однопараметрическими ОПИ_N и их реализация для случаев использования различных транзисторных структур обоснованы в работе [1].

При использовании независимого трёхполюсника возможны три варианта построения двухпараметрического ОПИ₃ (рис. 1).

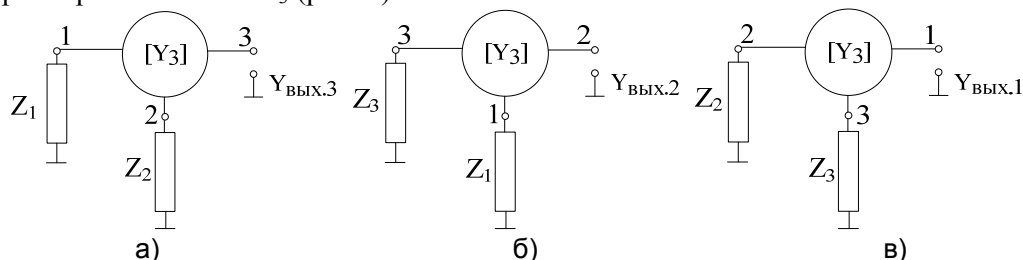


Рис. 1. Варианты построения двухпараметрического ОПИ₃ на базе независимого трёхполюсника

Преобразованная проводимость $Y_{\text{вых}}$ таких ОПИ₃ является функцией F преобразуемых сопротивлений Z_i и параметров неопределенной матрицы $[Y_3]$ трехполюсника:

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

Задаваясь характером и значением преобразуемых сопротивлений $Z_1 - Z_3$ и частотой преобразования Ω_m , при условии, что элементы матрицы $[Y_3]$ известны, путем решения системы уравнений (1) можно определить характер преобразованной проводимости $Y_{\text{вых.}i}$ для каждого варианта построения ОПИ₃, где: $i = 1, 2, 3 \dots m$ – номер полюса.

При использовании независимого трёхполюсника эта задача решается однозначно аналитически. Например, для схемы (рис. 1 а)

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

где $k = 1 + Z_2 \Delta y$;

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

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

$y_1 = 1/Z_1$;

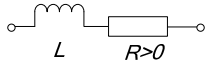
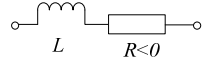
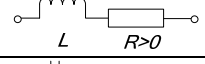
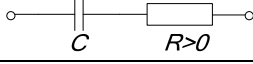
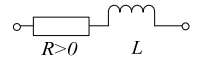
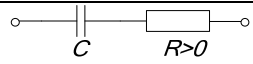
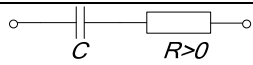
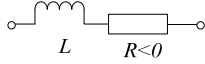
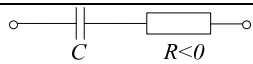
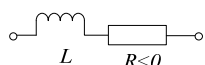
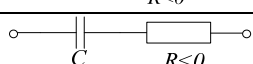
$y_{11}, y_{12}, y_{21}, y_{22}$ – параметры матрицы проводимости зависимого четырёхполюсника, образованного с использованием трёхполюсника с общим для входа и выхода электродом 2, при $Z_2 = 0$.

Это позволяет определить характер преобразованной проводимости $Y_{\text{вых.}i}$ для различных вариантов построения ОПИ₃. Результаты расчетов представлены в виде таблиц преобразования иммитансов для каждого варианта построения ОПИ₃ и используемого трехполюсника. В случае использования БП, ПТ, ОТ и ИПТ, получаем 12 таблиц преобразования иммитанса. Пример результата такого синтеза, для случая использования ОТ, когда преобразуемые сопротивления подключаются между эмиттером – Z_1 (полюс № 1), коллектором – Z_2 (полюс № 2) (рис. 1а) и общей шиной, представлен в таблице 1.

При разработке таких таблиц преобразования иммитанса, обычно возникает задача выбора относительной частоты расчетов $\Omega_m = f_0 / f_m$, где f_m – граничная частота активного многополюсника. Учитывая, что приемлемые значения коэффициента шума F_u таких приборов, который является одним из определяющих параметров ИУ, наблюдаются на частотах $\Omega_m < 0,5$, выбираем значение $\Omega_m = 0,25$, что гарантирует получение приемлемых значений F_u и обеспечивает реализацию ИУ на относительно высоких частотах, включая диапазон СВЧ, где они наиболее эффективны.

Таблица 1

Таблица преобразования иммитанса двухпараметрического ОПИ₃ на базе ОТ, включенного по схеме рис. 1а

№ вариант а	Z_1	Z_2	$Y_{вых.3}$
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 синтеза таблиц преобразования иммитанса для двухпараметрического ОПИ_N на базе независимого четырёхполюсника

При использовании независимого четырёхполюсника могут быть реализованы 12 вариантов двухпараметрических ОПИ₄ заземленного типа, часть структурных схем которых представлена на рис. 2, и 18 вариантов трёхпараметрических ОПИ₄, часть структурных схем которых представлена на рис. 5. На схемах (рис. 2) цифровой индекс при $Y_{вых.ij}$ указывает: i – номер выходного полюса; j – номер заземляемого полюса. Возможные варианты таких 12-ти комбинаций представлены в табл. 2.

Таблица 2

Варианты комбинации полюсов и преобразуемых сопротивлений независимого четырёхполюсника, положенные в основу построения двухпараметрических ОПИ₄

Состояние полюсов				<i>i</i>	<i>j</i>
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

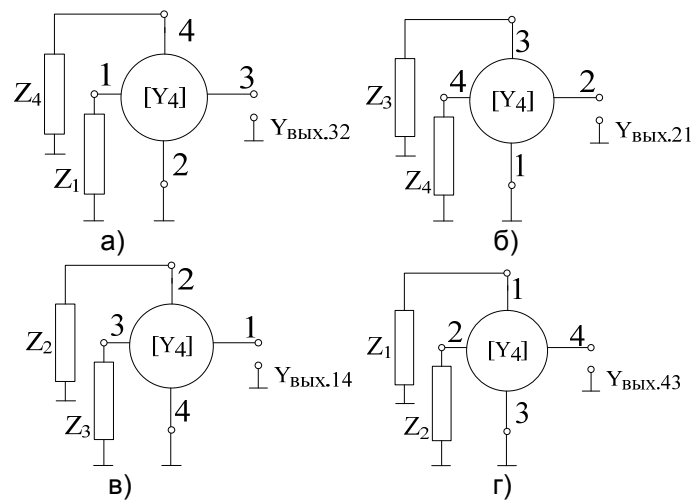


Рис. 2. Ряд вариантов построения двухпараметрического ОПИ₄ на базе независимого четырёхполюсника

Преобразованная проводимость $Y_{\text{вых.}ij}$ является функцией F_{ij} преобразуемых сопротивлений Z_i и параметров неопределенной матрицы $[Y_4]$ независимого четырёхполюсника.

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

Задавая характером и значением преобразуемых сопротивлений ($Z_1 - Z_4$) и частотой преобразования Ω_m , при условии, что элементы матрицы $[Y_4]$ известны, путем решения уравнений (2) можно определить характер и величину преобразованной проводимости $Y_{\text{вых.}ij}$

для каждого варианта построения ОПИ₄. Однако аналитические решения этой задачи очень громоздкие, а в ряде случаев не имеют явного решения. Более простой путь – использование численного решения, представленного в виде трёхмерных графиков, примеры которых представлены на рис. 3.

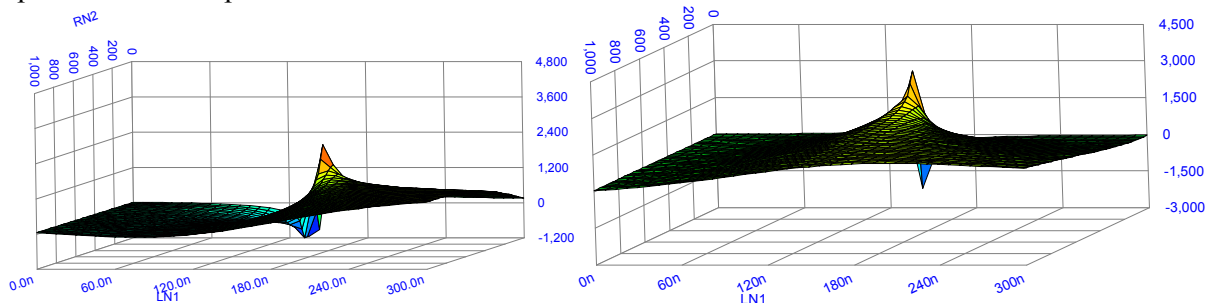


Рис. 3. Зависимости составляющих преобразованной проводимости $Y_{\text{вых.32}}$ ОПИ₄, структурная схема которого представлена на рис. 2а

Расчеты проведены для случая использования двухзатворного ПТ типа 2N4456, когда преобразуемые сопротивления Z_1 и Z_4 подключаются между вторым затвором (полнос № 1), стоком (полнос № 4) и общей шиной, к которой подключен исток ПТ (полнос № 2). При этом возникает неопределенность, связанная с выбором диапазона значений преобразуемых сопротивлений Z_i . Однозначного решения для устранения этой неопределенности в настоящее время не найдено. С большой вероятностью она устраняется путем анализа трёхмерных графиков (рис. 3) или путем выбора значений преобразуемых сопротивлений на основе соотношений [2]: $1/Z_i \ll Y_{ii}$ – для случая реализации конвертирующих свойств канала преобразования проводимости; $1/Z_i \gg Y_{ii}$ – для случая реализации инвертирующих свойств канала преобразования проводимости.

Анализ графиков (рис. 3) позволяет выявить характер преобразованной проводимости $Y_{\text{вых.32}}$ в зависимости от значений преобразуемых сопротивлений R_1 и R_4 . Результаты такого анализа представляются в виде таблицы преобразований иммитансов, аналогичной табл. 1. Аналогично могут быть построены таблицы преобразования иммитанса на базе других независимых четырехполусников, при условии определения Y-параметров неопределенной матрицы ОПИ₄. Используя различные комбинации полярности напряжений на затворах двухзатворного ПТ, можно получить четыре вида его неопределенной матрицы. Это позволяет реализовать 48 вариантов ОПИ₄ такого вида на базе двухзатворного ПТ, а следовательно, и требует построения 48-ми таблиц преобразования иммитанса.

Для двухпараметрического ОПИ_N на базе двухзатворного ПТ можно использовать более простой метод построения таблиц преобразования иммитанса путем использования таблиц преобразования иммитанса однопараметрических ОПИ_N. В основе этого метода лежит возможность представления двухзатворного ПТ в виде двух однозатворных ПТ [4], как показано на рис. 4.

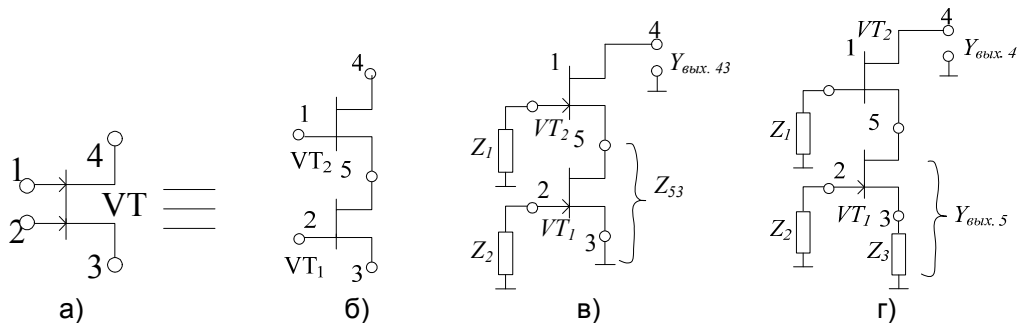


Рис. 4. Представление двухзатворного ПТ (а) в виде двух однозатворных ПТ (б) и один из вариантов построения на его основе двухпараметрического (в) и трёхпараметрического (г) ОПИ_N

Используя таблицы преобразования иммитанса на базе однопараметрического ОПИ, реализуемого на полевом транзисторе [1], находим характер преобразованной проводимости $Y_{вых.53}=1/Z_{53}$, которая определяет второе преобразуемое сопротивление Z_{53} двухпараметрического ОПИ₃, реализуемого на транзисторе VT₂. С учетом характера сопротивлений Z_1 и Z_{53} , с помощью табл. 1 для схемы на рис. 1а находим характер преобразованной проводимости $Y_{вых.43} = Y_{вых.4}$. Проведя аналогичные операции для всех 48 вариантов, определяем таблицы преобразования иммитанса двухпараметрического ОПИ₄ на базе двухзатворного ПТ при различных полярностях напряжения на его затворе.

Методика синтеза таблиц преобразования иммитанса для трёхпараметрического ОПИ_N на базе независимого четырёхполюсника

На базе независимого четырёхполюсника также реализуются четыре варианта трёхпараметрических ОПИ_N (рис. 5).

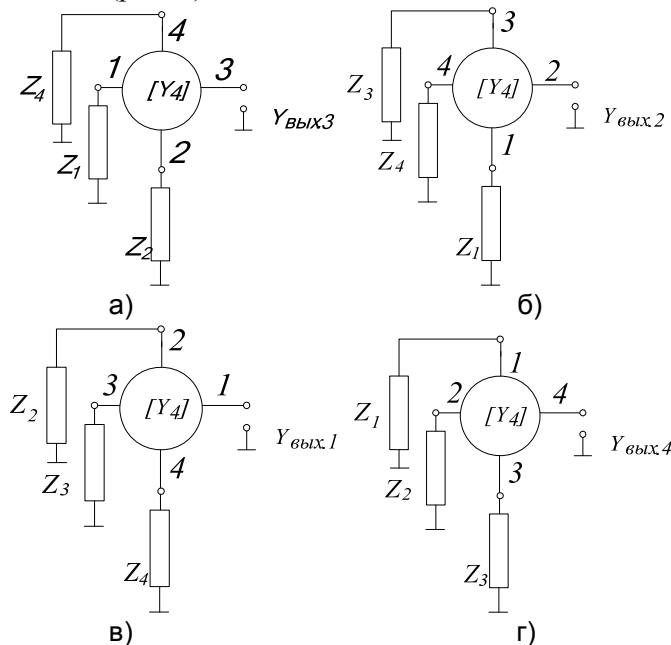


Рис. 5. Варианты построения трёхпараметрического ОПИ₄ на базе независимого четырёхполюсника

Учитывая, что:

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

и задаваясь характером и значением преобразуемых сопротивлений ($Z_1 - Z_4$) и частотой преобразования Ω_m , при условии, что элементы матрицы $[Y_4]$ известны, путем решения уравнений (3), можно определить характер и величину преобразованной проводимости $Y_{\text{вых.}i}$ для каждого варианта построения трехпараметрического ОПИ₄. Учитывая громоздкость, а иногда и отсутствие аналитических решений, рекомендуется использовать вышеописанный графоаналитический метод, обеспечивающий построение таблиц преобразования иммитанса трёхпараметрического ОПИ. При использовании реального активного четырехполюсника, например, на базе двухзатворного ПТ, число вариантов построения ОПИ_N увеличивается до 16. Следовательно, возникает необходимость построения 16 вариантов таблиц преобразования иммитанса. Однако в данном конкретном случае решение задачи упрощается за счет представления двухзатворного ПТ в виде двух однозатворных ПТ. В этом случае трёхпараметрический ОПИ₄ представлен на рис. 4г. В этом случае, используя таблицы преобразования двухпараметрического ОПИ₃ (табл. 1), находим характер преобразованной проводимости ОПИ₃, реализуемого на транзисторе VT₁ ($Y_{\text{вых5}}$). Учитывая, что она отражает характер второго преобразуемого сопротивления двухпараметрического ОПИ₃, реализуемого на транзисторе VT₁, используя табл. 1, определяем характер преобразованной проводимости $Y_{\text{вых4}}$. Проведя аналогичные операции для всех 16 вариантов построения трехпараметрического ОПИ_N на базе двухзатворного ПТ, получаем их таблицы преобразования иммитанса.

Аналогично могут быть получены таблицы преобразования иммитанса для многопараметрических ОПИ_N на базе многополюсников, имеющих $N > 4$, но они в настоящее время практического применения не нашли.

Выводы

1. Преимуществом разработанной методики синтеза таблиц преобразования иммитанса многополюсных ОПИ_N является использование не количественных, а качественных параметров, таких как: активный, ёмкостный и индуктивный характер преобразуемых и преобразованных иммитансов ОПИ_N, что исключает ограничение по частоте для использования предложенной методики синтеза.
2. Возможны две методики синтеза таблиц преобразования иммитанса многопараметрических ОПИ_N:
 - путём прямого аналитического решения;
 - путём использования таблиц преобразования иммитанса двухпараметрических ОПИ_N. Сложность первой методики возрастает с ростом N и в большинстве случаев не имеет явного решения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Филинчук Н. А. Активные СВЧ фильтры на транзисторах. / Н. А. Филинчук. – М.: Радио и связь, 1987. – 112 с.
2. Філінчук 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 Шотткі: Монографія / М. А. Філінюк, О. М. Куземко, Л. Б. Ліщинська. – Вінниця: ВНТУ, 2009 – 274 с.

Лицинская Людмила Брониславовна – к. т. н., доцент кафедры финансового контроля и анализа, e-mail: L_Fil@mail.ru.

Винницкий торгово-экономический институт.

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

Винницкий национальный технический университет.