

**УСЛОВИЯ ПРИМЕНИМОСТИ КОМПАКТНОГО
МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕТОДА ПРИПАСОВЫВАНИЯ
ДЛЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ЦЕПЕЙ
С ПЕРЕКЛЮЧАЮЩИМИСЯ КОНДЕНСАТОРАМИ**

*Артеменко М.Е.¹, д. т. н., профессор,
Рыбин А.И.², д. т. н., профессор,
Кумсия М.С.², аспирант*

¹Государственный университет информационно-коммуникационных технологий, г. Киев, Украина

²Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт" г. Киев, Украина

Введение

При анализе линейно-параметрических цепей широкое распространение получил модифицированный метод припасовывания [1], который позволяет с единых позиций и с произвольной степенью детализации исследовать переходные и установившиеся процессы в импульсных источниках вторичного электропитания [2] и цепях с переключающимися конденсаторами [3,4]. Однако в задаче параметрического синтеза SC-фильтра на основе аналогового ARC-прототипа [3] прямое применение модифицированного метода припасовывания приводит к повышению размерности исследуемых SC-цепей за счет детального рассмотрения временных процессов в цепях коммутируемых конденсаторов, которые моделируют резистивные элементы ARC-цепи. Для уменьшения размерности исследуемых цепей в [5] предложен компактный модифицированный метод припасовывания для анализа электромагнитных процессов в цепях с переключающимися конденсаторами, позволяющий непосредственно получить матричные коэффициенты разностных уравнений SC-фильтра из матрицы уравнения состояния [6] прототипа. При этом размерность матричных коэффициентов на всех промежуточных этапах параметрического синтеза равна числу конденсаторов исходного аналогового прототипа. Важным вопросом, рассматриваемым в данной статье, является дальнейшее развитие компактного модифицированного метода припасовывания, заключающееся в определении класса схем аналоговых ARC-прототипов, к которому этот метод применим, разработка формализованного математического аппарата формирования компактного уравнения электрического равновесия прототипа, предусматривающего возможность учета неидеальных параметров элементов.

Алгебраические и топологические условия формирования уравнения состояния ARC- прототипа

Пусть схема аналогового ARC-прототипа SC-фильтра содержит $n+2$ узла, причем узел $0'$ является общим, узел 0 - входным, n – выходным. Между узлами 0 и $0'$ включен источник напряжения E . Первые m номеров, которые образуют множество M , присвоим узлам, соединенным с обкладками m соответствующих конденсаторов множества C и не связанным с выходами операционных усилителей (ОУ). Оставшиеся $n-m$ номеров узлов, которые образуют множество N , зарезервируем для подключения u выходов ОУ, образующих множество A , и других элементов. При этом предполагается, что другие u выводов зависимых источников напряжения ОУ подключены к узлу $0'$, множество u управляющих разомкнутых ветвей ОУ обозначено V , множество r проводимостей обозначено G . Тогда может быть сформирована таблица включения элементов между узлами схемы ARC-прототипа (таблица 1), в блоках которой располагаются топологические подматрицы, состоящие из элементов $1, 0, -1$.

Таблица 1

		M	N	
	0	1 2...m	m+1...n	0'
E	1	0	0	-1
C	d_C	D_{CM}	D_{CN}	d_0
V	0	D_{VM}	D_{VN}	
A	0	D_{AM}	D_{AN}	
G	d_G	D_{GM}	D_{GN}	

На основании первого закона Кирхгофа в матричной форме записи для узлов множества M

$$D_{CM}^T I_C + D_{VM}^T I_V + D_{AM}^T I_A + D_{GM}^T I_G = 0. \quad (1)$$

Для идеальных операционных усилителей входные токи равны нулю, т.е.

$$I_V = 0, \quad (2)$$

по условию формирования таблицы включения элементов между узлами множества M

$$D_{AM} = 0. \quad (3)$$

Для возможности разрешения уравнения (1) относительно вектора токов конденсаторов I_C необходимо потребовать неособенность матрицы D_{CM}^T , т.е.

$$\det[D_{CM}^T] \neq 0. \quad (4)$$

Выразим напряжения элементов через вектор узловых потенциалов $\Phi = [\Phi_M \Phi_N]^T$ с учетом (3)

$$\begin{cases} U_C = D_{CM} \Phi_M + D_{CN} d_C E; (a) \\ U_V = D_{VM} \Phi_M + D_{VN} \Phi_N; (b) \\ U_A = D_{AN} \Phi_N; (c) \\ U_G = D_{GM} \Phi_M + D_{GN} \Phi_N + d_G E. (d) \end{cases} \quad (5)$$

Компонентное уравнение ОУ имеет вид

$$U_A = \mu U_V, \quad (6)$$

где μ – диагональная матрица коэффициентов усиления ОУ.

Подставим (6) в уравнение (5с). Для возможности выражения φ_N через U_V необходимо потребовать неособенность матрицы D_{AN} , т.е.

$$\det[D_{AN}] \neq 0. \quad (7)$$

Таким образом, матрица D_{AN} является квадратной, а число ОУ $u = n - m$.

Поскольку в схемах рассматриваемых ARC-прототипов к каждому узлу множества N подключается не более одного выхода ОУ, то каждый столбец и каждая строка матрицы D_{AN} содержат лишь одну единицу. С учетом (7) выбором соответствующей нумерации узлов множества N можно обеспечить

$$D_{AN} = I.$$

Выражение φ_N через U_V с учетом (8) подставим в (5б) и совместно с (5а) получим блочно-матричную систему уравнений относительно потенциалов узлов

$$\begin{bmatrix} D_{CM} & D_{CN} \\ D_{VM} & D_{VN} - \mu^{-1}I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi_M \\ \varphi_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_C - d_C E \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Для возможности решения системы уравнений (9) необходимо потребовать

$$\det \begin{bmatrix} D_{CM} & D_{CN} \\ D_{VM} & D_{VN} - \mu^{-1}I \end{bmatrix} \neq 0. \quad (10)$$

Для идеальных ОУ $\mu^{-1} \rightarrow 0$; матрицы, неособенность которых обеспечивается только отличием от нуля параметров μ_i^{-1} , плохо обусловлены, поэтому в условии (10) следует положить $\mu^{-1} = 0$. Таким образом, алгебраические условия формирования уравнений состояния ARC-прототипа составляют систему

$$\begin{cases} D_{AM} = 0; \\ D_{AN} = I; \\ \det[D_{CM}] \neq 0; \\ \det \begin{bmatrix} D_{CM} & D_{CN} \\ D_{VM} & D_{VN} \end{bmatrix} \neq 0. \end{cases} \quad (11)$$

Например, для схемы ARC-прототипа на рис. 1а [3] пронумеруем узлы

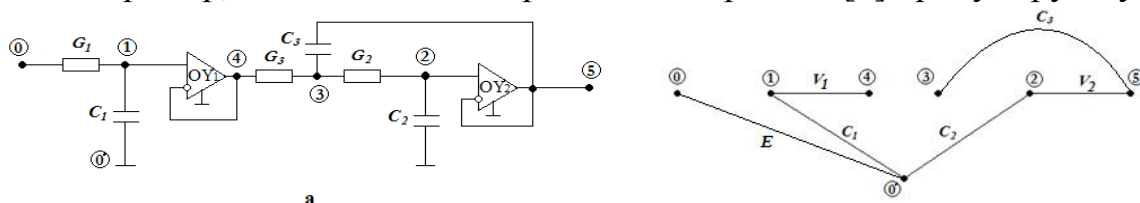


Рис. 1. ARC-прототип третьего порядка: **в**

а – принципиальная схема; **в** – дерево графа из элементов E, C, V

в соответствии с приведенными рекомендациями, тогда таблица включения элементов имеет вид (табл. 2).

	0	1	2	3	4	5	0'
E	1						-1
C ₁		1					-1
C ₂			1				-1
C ₃				1		-1	
V ₁		1			-1		
V ₂			1			-1	
A ₁					1		-1
A ₂						1	-1
G ₁	1	-1					
G ₂			-1	1			
G ₃				-1	1		

Выделив подматрицы, входящие в систему (11), убеждаемся, что алгебраические условия формирования уравнений состояния ARC-прототипа выполняются.

Заметим, что реализация последнего условия (11) дает возможность сформировать единичную матрицу в пределах элементов E, C, V путем линейных операций над строками. Это эквивалентно возможности построения дерева графа из ребер, соответствующих указанным элементам. Например, для схемы на рис. 1а дерево графа имеет вид, рис. 1в.

Таким образом, топологические условия формирования уравнений состояния ARC-прототипа заключаются в возможности построения дерева графа из ребер, соответствующих элементам E, C, V . Этот топологический признак позволяет легко диагностировать возможность формирования уравнений состояния ARC-прототипа непосредственно по его схеме.

Формирование компактного уравнения электрического равновесия ARC-прототипа по таблице включения его элементов

Если условия (11) выполнены, из уравнения (9) с учетом $\mu^{-1} = 0$ найдем

$$\varphi = D^{-1} \begin{bmatrix} U_C - d_C E \\ 0 \end{bmatrix} = M(U_C - d_C E), \quad (12)$$

где
$$D = \begin{bmatrix} D_{CM} & D_{CN} \\ D_{VM} & D_{VN} \end{bmatrix}; M = \begin{bmatrix} [D^{-1}]_{MM} \\ [D^{-1}]_{NM} \end{bmatrix}.$$

Через вектор φ выражается вектор I_G токов проводимостей в соответствии с уравнением (5d)

$$I_G = G U_G = G(D_G \varphi + d_G E) = G[D_G M(U_C - d_C E) + d_G E], \quad (13)$$

где G - диагональная матрица номиналов проводимостей, $D_G = [D_{GM} \ ; \ D_{GN}]$.

После подстановки (13) в (1) и соответствующих преобразований размерность исследуемой модели ARC-прототипа может быть понижена до числа m конденсаторов путем составления компактного уравнения электрического равновесия в виде

$$(pC + Y)U_C = yE, \quad (14)$$

где $Y = D_{CG} D_G M$; $y = Y d_C - D_{CG} d_G$; $D_{CG} = (D_{CM}^T)^{-1} D_{GM}^T G$, C - диагональная матрица номиналов емкостей конденсаторов.

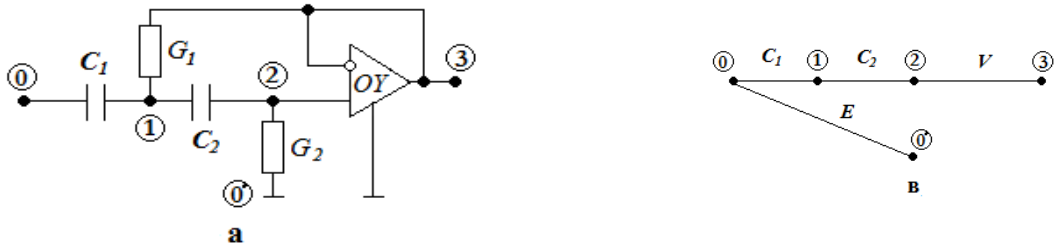


Рис. 2. ARC-прототип второго порядка:
а – принципиальная схема; в – дерево графа из элементов E, C, V

Например, для схемы на рис. 2а с таблицей включения элементов между узлами схемы (таблица 3) исходные матрицы имеют вид:

$$\mathbf{D}_{AM} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \end{bmatrix}; \mathbf{D}_{AN} = 1; \mathbf{D}_{CM} = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}; \mathbf{D} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \end{bmatrix}.$$

Таблица 3

	0	1	2	3	0'
E	1				-1
C ₁	1	-1			
C ₂		1	-1		
V			1	-1	
A				1	-1
G ₁		1		-1	
G ₂			1		-1

Легко видеть, что система условий (11) выполняется (это подтверждает и топологический признак в виде дерева графа схемы на рис. 2в), поэтому могут быть вычислены матрицы

$$\mathbf{D}_{CM}^{-1} = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ -1 & -1 \end{bmatrix}; \mathbf{D}^{-1} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}.$$

По формуле (12)

$$\boldsymbol{\varphi} = \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \varphi_3 \end{bmatrix} = \mathbf{M}(\mathbf{U}_C - \mathbf{d}_C E) = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ -1 & -1 \\ -1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{C1} - E \\ U_{C2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E - U_{C1} \\ E - U_{C1} - U_{C2} \\ E - U_{C1} - U_{C2} \end{bmatrix},$$

в чем легко убедиться, непосредственно анализируя схему на рис. 3а.

Для использования формулы (14) найдем

$$\mathbf{D}_{CG} = (\mathbf{D}_{CM}^T)^{-1} \mathbf{D}_{CM}^T \mathbf{G} = \begin{bmatrix} -1 & -1 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} G_1 & 0 \\ 0 & G_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -G_1 & -G_2 \\ 0 & -G_2 \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{Y} = \mathbf{D}_{CG} \mathbf{D}_G \mathbf{M} = \begin{bmatrix} -G_1 & -G_2 \\ 0 & -G_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ -1 & -1 \\ -1 & -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_2 & G_2 - G_1 \\ G_2 & G_2 \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{y} = \mathbf{Y} \mathbf{d}_C - \mathbf{D}_{CG} \mathbf{d}_G = \begin{bmatrix} G_2 & G_2 - G_1 \\ G_2 & G_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_2 \\ G_2 \end{bmatrix}.$$

Таким образом, для данной схемы матричное уравнение (14) приобретает вид

$$\begin{bmatrix} pC_1 + G_2 & G_2 - G_1 \\ G_2 & pC_2 + G_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{C1} \\ U_{C2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_2 \\ G_2 \end{bmatrix} E.$$

Покажем, что коэффициент передачи рассматриваемого прототипа соо-

тветствует фильтру высоких частот.

$$K_U = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = \frac{\varphi_3}{E} = 1 - E^{-1} [1 \quad 1] \begin{bmatrix} U_{C1} \\ U_{C2} \end{bmatrix} = 1 - [1 \quad 1] \begin{bmatrix} pC_1 + G_2 & G_2 - G_1 \\ G_2 & pC_2 + G_2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} G_2 \\ G_2 \end{bmatrix} =$$

$$= 1 - \frac{pG_2(C_1 + C_2) + G_1G_2}{p^2C_1C_2 + pG_2(C_1 + C_2) + G_1G_2} = \frac{1}{1 + p^{-1}G_2(C_1 + C_2)(C_1C_2)^{-1} + p^{-2}G_1G_2(C_1C_2)^{-1}},$$

что соответствует приведенному в [3].

Матричные коэффициенты компактного уравнения электрического равновесия (14) являются исходными величинами для составления разностного уравнения синтезируемого SC-фильтра [5].

Учет параметров операционных усилителей при определении потенциалов независимых узлов

При формировании матрицы \mathbf{M} могут быть учтены конечные значения коэффициентов усиления ОУ. Для этого решим в блочном виде систему (9)

$$\varphi_M = [\mathbf{D}_{CM} - \mathbf{D}_{CN}(\mathbf{D}_{VN} - \mu^{-1}\mathbf{I})^{-1}\mathbf{D}_{VM}]^{-1}(\mathbf{U}_C - \mathbf{d}_C E); \quad (15)$$

$$\varphi_N = -(\mathbf{D}_{VN} - \mu^{-1}\mathbf{I})^{-1}\mathbf{D}_{VM}\varphi_M.$$

Обозначив $\mathbf{D}_\mu = -(\mathbf{D}_{VN} - \mu^{-1}\mathbf{I})^{-1}\mathbf{D}_{VM}$, получим

$$\mathbf{M}_\mu = \begin{bmatrix} \mathbf{I} \\ \mathbf{D}_\mu \end{bmatrix} (\mathbf{I} - \mathbf{D}_{CM}^{-1}\mathbf{D}_{CN}\mathbf{D}_\mu)^{-1}\mathbf{D}_{CM}^{-1}. \quad (16)$$

Например, для схемы на рис. 2а

$$\mathbf{D}_\mu = -(-1 - \mu^{-1})^{-1} \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} = \mu(\mu + 1)^{-1} \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix}; \mathbf{D}_{CN} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

и формула (16) приобретает вид

$$\mathbf{M}_\mu = \begin{bmatrix} \mathbf{I} \\ \mathbf{D}_\mu \end{bmatrix} \mathbf{D}_{CM}^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & \frac{\mu}{\mu + 1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ -1 & -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ -1 & -1 \\ \frac{-\mu}{\mu + 1} & \frac{-\mu}{\mu + 1} \end{bmatrix}.$$

Значения потенциалов узлов уточняются в соответствии с выражением

$$\varphi = \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \varphi_3 \end{bmatrix} = \mathbf{M}_\mu (\mathbf{U}_C - \mathbf{d}_C E) = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ -1 & -1 \\ \frac{-\mu}{\mu + 1} & \frac{-\mu}{\mu + 1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{C1} - E \\ U_{C2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E - U_{C1} \\ E - U_{C1} - U_{C2} \\ \mu(\mu + 1)^{-1}(E - U_{C1} - U_{C2}) \end{bmatrix}.$$

Отдельное влияние каждого из параметров $-\mu^{-1}$, занесенного в клетку матрицы \mathbf{D} с индексами ii , может быть учтено последовательным их “выращиванием” в обращенной матрице \mathbf{D}^{-1} по формуле [8]

$$\mathbf{D}_\mu^{-1} = \mathbf{D}^{-1} + \frac{1}{\mu - d_{ii}} \mathbf{d}_i \mathbf{b}_i^T, \quad (17)$$

где d_{ii} - элемент матрицы \mathbf{D}^{-1} с соответствующими индексами, \mathbf{d}_i и \mathbf{b}_i^T - столбец и строка этой матрицы с номером i .

Наприклад, для схеми на рис. 2а

$$\mathbf{D}^{-1} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}; d_{33} = -1; \mathbf{d}_3 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix}; \mathbf{b}_3^T = [-1 \quad -1 \quad -1].$$

По формуле (17)

$$\begin{aligned} \mathbf{D}_\mu^{-1} &= \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1-\mu^{-1} \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} + \frac{1}{\mu - (-1)} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix} [-1 \quad -1 \quad -1] = \\ &= \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} + (\mu+1)^{-1} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 0 \\ \frac{-\mu}{\mu+1} & \frac{-\mu}{\mu+1} & \frac{-\mu}{\mu+1} \end{bmatrix}; \mathbf{M}_\mu = \begin{bmatrix} [\mathbf{D}_\mu^{-1}]_{MM} \\ [\mathbf{D}_\mu^{-1}]_{NM} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ -1 & -1 \\ \frac{-\mu}{\mu+1} & \frac{-\mu}{\mu+1} \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

Как и следовало ожидать, значения матрицы \mathbf{M}_μ , полученные разными способами, совпадают.

Выводы

1. Получены топологические и алгебраические условия формирования уравнения состояния ARC-прототипа, позволяющие диагностировать возможность применения компактного модифицированного метода припасовывания для параметрического синтеза SC-фильтра непосредственно по его схеме либо таблице включения элементов.

2. Разработан формализованный математический аппарат формирования компактного уравнения электрического равновесия ARC-прототипа по таблице включения его элементов, позволяющий понизить размерность синтезируемого фильтра до числа конденсаторов прототипа.

3. Выведены расчетные соотношения для учета неидеальных параметров операционных усилителей в компактном уравнении электрического равновесия прототипа, что позволяет повысить точность параметрического синтеза цепей с переключающимися конденсаторами.

Литература

1. Рыбин А. И. Анализ переходных и установившихся режимов в линейно-параметрических цепях модифицированным методом припасовывания// Радиотехника. (Изв. высш. учеб. заведений).– 2001.-№3. – С.31 – 41.

2. Енергозабезпечення електронної апаратури. Навч. посібник/ В.В.Пілінський, М.А. Демура, М.В. Родіонова, О.І. Рибін, В.О. Геранін.- К.: Вища школа, 1994.-258 с.

3. Достал Т., Рибін О.І., Трохименко Я.К. Проектування фільтрів з ємностями, що перемикаються.-Київ: Ін-т системних досліджень МОН України,1993.-280 с.

4. Рыбин А. И., Кумсия М. Анализ параметрических цепей модифицированным методом припасовывания с использованием дискретного преобразования Фурье. Вісник Національного технічного університету України "КПІ". Серія – Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – 2009. – №38. – С.23 – 29.

5. Артеменко М.Е., Рыбин А.И., Кумсия М.С. Компактный модифицированный

метод припасовування для параметричного синтезу SC-фільтрів на основі ARC-аналогов// Електроніка і зв'язь. – 2011. Темат. вип. Електроніка і нанотехнології.– №2. – С.42 – 52.

6. Матричні методи в теорії електричних та електронних кіл. Навч. посібник/ М.Ю. Артеменко, Ю.Є. Кулешов, Ю.І. Якименко. - К.: КНУТД, 2008.-156 с.

7. Влах И., Сингхал К. Машинные методы анализа и проектирования электронных схем: Пер. с англ. - М.: Радио и связь, 1988. – 560 с.

8. Рыбин А. И. Анализ линейных цепей методом модификаций с нормированием “выращиваемых” параметров // Радиотехника. – 2001. – №2. – С.42 – 52.

Артеменко М.Ю., Рыбін О.І., Кумсія М.С. Умови застосування компактного модифікованого метода припасовування для параметричного синтезу кіл з конденсаторами, що перемикаються. Отримані топологічні та алгебраїчні умови формування рівняння стану ARC-прототипу, що дозволяють діагностувати можливість застосування компактного модифікованого метода припасовування для параметричного синтезу SC-фільтра безпосередньо за його схемою або таблицею включення елементів. Розроблений формалізований математичний апарат формування компактного рівняння електричної рівноваги ARC-прототипу за таблицею включення його елементів, який дозволяє знизити розмірність фільтра, що синтезується, до числа конденсаторів прототипу. Виведені розрахункові співвідношення для врахування неідеальних параметрів операційних підсилювачів в компактному рівнянні електричної рівноваги прототипу, що дозволяє підвищити точність параметричного синтезу кіл з конденсаторами, що перемикаються.

Ключові слова: компактний модифікований метод припасовування, синтез кіл з конденсаторами, що перемикаються.

Артеменко М.Е., Рыбин А.И., Кумсия М.С. Условия применимости компактного модифицированного метода припасовывания для параметрического синтеза цепей с переключающимися конденсаторами. Получены топологические и алгебраические условия формирования уравнения состояния ARC-прототипа, позволяющие диагностировать возможность применения компактного модифицированного метода припасовывания для параметрического синтеза SC-фильтра непосредственно по его схеме либо таблице включения элементов. Разработан формализованный математический аппарат формирования компактного уравнения электрического равновесия ARC-прототипа по таблице включения его элементов, позволяющий понизит размерность синтезируемого фильтра до числа конденсаторов прототипа. Выведены расчетные соотношения для учета неидеальных параметров операционных усилителей в компактном уравнении электрического равновесия прототипа, что позволяет повысить точность параметрического синтеза цепей с переключающимися конденсаторами.

Ключевые слова: компактный модифицированный метод припасовывания, синтез цепей с переключающимися конденсаторами.

Artemenko M.E., Rybin A.I., Kumsiya M.S. The application conditions of the compact modified method of curve fitting for parametric synthesis of switched-capacitor networks. The topological and algebraic conditions for formation of ARC-prototype state equation were obtained to diagnose the possibility of application the compact modified method of curve fitting for parametric synthesis of SC-filter directly on its circuit or element's connection matrix. The formal mathematical apparatus of forming the ARC-prototype's compact equation of electric equilibrium on the element's connection matrix was developed, which allows to reduce the dimension of the synthesized filter to the number of prototype's capacitors. The relations to account nonideal parameters of operational amplifiers for the prototype's compact equation of electric equilibrium were obtained, which improve the accuracy of parametric synthesis of switched-capacitor networks.

Keywords: compact modified method of curve fitting, synthesis of switched-capacitor networks.