

б) давав можливість максимального використання існуючих програм для формування дробово-раціональних схемних функцій довільних вторинних параметрів кіл зі сталими параметрами (наприклад, схемна функція коефіцієнта передачі по напрузі $u_2(p)/u_1(p)=\Delta_{12}(p)/\Delta_{11}(p)$ у разі заміни p на d/dt є виразом (3) для випадку кола зі сталими параметрами);

в) використовував топологію кола, що забезпечило б його простоту та наочність.

Мета цієї роботи полягає у розробці методу формування виразів виду (3) для зовнішніх напруг та струмів параметричних кіл, який задовольняє вищенаведеним умовам (а), (б) та (в). Для цього використаємо добре вивчений метод знаходження символьних схемних функцій – метод d-дерев [3]. Вибір цього методу обґрунтуємо тим, що він забезпечує визначення схемних функцій за доволі високих порядків змінної p (50–100) та виділення достатньої кількості параметрів елементів кола і змінної p у символьному вигляді.

Проілюструємо пропонований метод на прикладі кола, показаного на рис. 1.

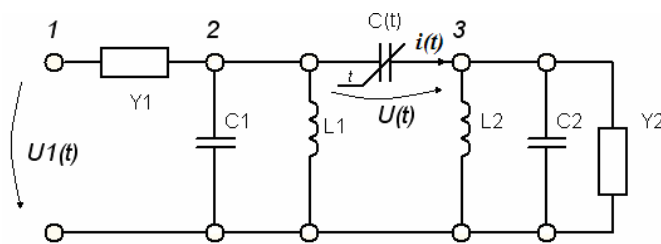


Рис. 1. Двоконтурний параметричний підсилювач

Диференціальне рівняння цього кола щодо вхідної величини u_1 та вихідної величини u наведено у [4]:

$$\begin{aligned} & \left[\frac{1}{L_1} \frac{1}{L_2} + \left(\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} \right) C'' + (y_1 + y_2) C''' + (C_1 + C_2) C^{(4)} \right] + \\ & + \left[\left(\frac{y_2}{L_1} + \frac{y_1}{L_2} \right) + 2 \left(\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} \right) C' + 3(y_1 + y_2) C'' + 4(C_1 + C_2) C''' \right] p + \\ & + \left[\left(\frac{C_2}{L_1} + \frac{C_1}{L_2} + y_1 y_2 \right) + \left(\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} \right) C + 3(y_1 + y_2) C' + 6(C_1 + C_2) C'' \right] p^2 + \\ & + \left[(C_2 y_1 + C_1 y_2) + (y_1 + y_2) C + 4(C_1 + C_2) C' \right] p^3 + [C_1 C_2 + (C_1 + C_2) C] p^4 \cdot u = \\ & = \left[\frac{y_1}{L_2} p + y_1 y_2 p^2 + y_1 C_2 p^3 \right] \cdot u_1, \end{aligned} \quad (4)$$

де $p=d/dt$ – символ диференціювання змінних u та u_1 .

Для формування цього рівняння пропонованим методом виконаємо такі кроки.

Крок 1. Вважаючи ємність $C(t)$ сталою, методом d-дерев знаходимо символьний вираз схемної функції $K(p)=u/u_1$ заданого кола як кола зі сталими параметрами:

$$K(p) = \frac{u}{u_1} = \frac{\Delta_{12} - \Delta_{13}}{\Delta_{11}}, \quad (5)$$

де Δ_{12} , Δ_{13} , Δ_{11} – алгебраїчні доповнення матриці провідності заданого кола;

$$\Delta_{12} - \Delta_{13} = \frac{y_1}{L_2} p + y_1 y_2 p^2 + y_1 C_2 p^3,$$

$$\Delta_{11} = \frac{1}{L_1} \frac{1}{L_2} + \left(\frac{y_2}{L_1} + \frac{y_1}{L_2} \right) p + \left(\frac{C_1}{L_2} + \frac{C_2}{L_1} + y_1 y_2 \right) p^2 + (C_2 y_1 + C_1 y_2) p^3 + C_1 C_2 p^4 + \\ + C p^2 \left[\left(\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} \right) + (y_1 + y_2) p + (C_1 + C_2) p^2 \right].$$

Крок 2. Замінюючи в отриманому на кроці 1 виразі (5) p на d/dt , формуємо для заданого кола диференціальне рівняння щодо змінних u та u_1 :

$$\frac{y_1}{L_2} u_1' + y_1 y_2 u_1'' + y_1 C_2 u_1''' = \frac{1}{L_1} \frac{1}{L_2} u + \left(\frac{y_1}{L_2} + \frac{y_2}{L_1} \right) u' + \left(\frac{C_1}{L_2} + \frac{C_2}{L_1} + y_1 y_2 \right) u'' + (C_2 y_1 + C_1 y_2) u''' + \\ C_1 C_2 u^{(4)} + \left[\left(\frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_1} \right) C u'' + (y_1 + y_2) C u''' + (C_1 + C_2) C u^{(4)} \right]. \quad (6)$$

Порівнюючи (6) з (4), можемо зауважити, що члени лівої та правої частин виразу (6), які не містять величини C та її похідних, дорівнюють відповідним членам, що не містять величини C та її похідних, у виразі (4).

Крок 3. Приведення виразу (6) до виду (4). Для відновлення у виразі (6) членів з величиною C та її похідними, які присутні у виразі (4), достатньо виконати такі дії:

– у квадратних дужках виразу (6) величину C вносимо під знаки диференціювання змінної u , біля яких вона розташована:

$$\frac{y_1}{L_2} u_1' + y_1 y_2 u_1'' + y_1 C_2 u_1''' = \frac{1}{L_1} \frac{1}{L_2} u + \left(\frac{y_1}{L_2} + \frac{y_2}{L_1} \right) u' + \left(\frac{C_1}{L_2} + \frac{C_2}{L_1} + y_1 y_2 \right) u'' + (C_2 y_1 + C_1 y_2) u''' + \\ C_1 C_2 u^{(4)} + \left[\left(\frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_1} \right) (C u)'' + (y_1 + y_2) (C u)''' + (C_1 + C_2) (C u)^{(4)} \right]; \quad (7)$$

– вважаючи величину C знову змінною у часі, за правилом Лейбніца для обчислення похідних вищих порядків від добутку двох функцій розкриваємо у (7) дужки з похідними добутків $(C u)$;

– позначивши в отриманому виразі d/dt через p і звівши подібні по p , отримаємо (4).

Отже, під час виконання кроку 3 з виразу (6) через вираз (7) отримано вираз (4).

Іншими словами, використавши програми обчислення символьних схемних функцій кіл зі сталими параметрами (крок 1) і провівши з обчисленими символьними схемними функціями не складні операції по введенню параметра параметричного елемента під знаки похідних відповідних змінних та взявши ці похідні від добутків (крок 3), отримаємо диференціальне рівняння, яке зв'язує задані вхідну та вихідну величини заданого параметричного кола.

Зауваження:

1. Обґрунтуємо зміст кроку 3. Для цього визначимо диференціальне рівняння постійної частини кола (рис. 1) (ємність $C(t)$ виключаємо з кола, а вузли 2 і 3 вважаємо зовнішніми) щодо змінних u_1 , u , i . У матричній формі таке диференціальне рівняння має вигляд, наведений у [4] (формула (5) з [4]):

$$\Delta_{11, (m+n)(m+n)} \cdot i = \Delta_{1(m+n)} \cdot u_1 - \Delta_{11} \cdot u, \quad (8)$$

де u , u_1 – ті самі змінні, що й у (5); m , n – номери вузлів, які для кола з рис. 1 мають значення 2 і 3 відповідно; $\Delta_{11, (m+n)(m+n)}$, $\Delta_{1(m+n)}$, Δ_{11} – поліноми від комплексної змінної p алгебраїчних доповнень матриці провідності постійної частини кола; i – зовнішній струм вузла 2 (зі знаком «мінус» струм вузла 3). Вважаємо, що у (8) усунені від'ємні степені змінної p .

Для опису параметричного кола з рис. 1 загалом достатньо, вважаючи у виразі (8) $p=d/dt$, доповнити його компонентним рівнянням параметричної ємності:

$$i = -(C u)'$$

Підставивши це рівняння у (8), отримаємо:

$$\Delta_{1(2+3)} \cdot u_1 = \Delta_{11} \cdot u + \Delta_{11,(2+3)(2+3)} (Cu)'. \quad (9)$$

Обчисливши $\Delta_{11,(2+3)(2+3)}$, $\Delta_{1(2+3)}$, Δ_{11} постійної частини кола з рис. 1 і поклавши $p=d/dt$, переконуємось, що рівняння (9) дорівнює рівнянню (7). А це й доводить правомірність дій, виконаних у кроці 3.

2. Зміст кроку 3, з другого боку, пов'язаний з тим, що під час формування виразів (5) і (6) з початкової системи диференціальних рівнянь зі сталим C при застосуванні до неї прямого перетворення Лапласа (за переходу від t до p) параметр C був винесений за знак інтеграла. А цього для змінного параметра C робити не можемо. Отже, прийнявши у кроці 1 величину C сталою, ми допустили «помилку», яку у кроці 3 виправили. Але це нам дало змогу у кроці 1 використати теорію, розроблену для визначення схемних функцій кіл зі сталими параметрами [2], які описуються алгебраїчними рівняннями, і не задумуватись над правомірністю використання алгебраїчних доповнень матриці провідності та й самої матриці провідності параметричного кола, що описується не алгебраїчними, а диференціальними рівняннями (2) тощо.

3. Під час обчислення виразу (5) параметри усіх елементів, крім параметричної ємності C , можуть бути задані чисельно. Параметр C та, очевидно, й змінна p обов'язково повинні бути символічними.

4. Під час топологічного аналізу кіл зі сталими параметрами провідності елементів Y , C і L записують як Yp , Cp^2 і $1/L$ відповідно. Отриману в такий спосіб дробово-раціональну функцію за необхідності скорочують на p у максимально можливому степені [3]. Такий запис робить обчислення тільки з додатними степенями p . Для сталих параметрів параметричних кіл це правило зберігається.

5. Із зауваження 1 випливає, що якби на місці параметричного елемента $C(t)$ у заданому колі з рис. 1 між вузлами 2 і 3 була розташована провідність $Y(t)$, то перед квадратними дужками у виразі (5) стояв би множник Yp . При цьому правила побудови (7) залишаються аналогічними: $Yu^{(i)}$ замінюється на $(Yu)^{(i)}$.

6. Якби за аналогією з пунктом 5 параметричним елементом була індуктивність $L(t)$, то у виразі (5) перед квадратними дужками стояв би множник $\frac{1}{L(t)}$. У цьому випадку диференціальне рівняння (9) мало б такий вигляд:

$$\Delta_{1(2+3)} \cdot u_1 = \Delta_{11} \cdot u + \Delta_{11,(2+3)(2+3)} \left(\frac{1}{L(t)} \int_0^t u dt \right). \quad (10)$$

Розкриття дужок у (10) напряду не позбавляє цей вираз наявності інтегралів. З цієї ситуації може бути три таких виходи:

а) величину $1/L(t)$ подамо через $\Gamma(t)$, а інтеграли при розкритті дужок у (10) залишимо такими, якими вони й утворюються. При цьому знаменники не утворюються, але вирази (10) та (3) будуть інтегро-диференціальними рівняннями. Якщо методи розв'язування (3) допускають наявність в них інтегралів, то проблему вирішено;

б) крім введення $\Gamma(t)$, інтеграл у (10) позначимо v . Тоді (10) набере вигляду

$$\Delta_{1(2+3)} \cdot u_1 = \Delta_{11} \cdot (v)' + \Delta_{11,(2+3)(2+3)} (\Gamma v), \quad (11)$$

який і вважається виразом (3). Якщо введення нової змінної v допустимо, то вираз (11) використовується для подальших обчислень під час дослідження заданого параметричного кола;

в) вважаємо незручність, яка виникає за наявності у колі параметричної індуктивності, недоліком методу. Однак зауважимо, що така незручність виникає не завжди. Так, якщо у (8) необхідно виключити u , то для індуктивності маємо $u=(Li)'$ і вираз (8) стає диференціальним рівнянням стосовно змінних u_i та i . Очевидно, що у цьому випадку була б проблемою наявність у колі параметричної ємності.

7. У роботі розглянуто випадок наявності у колі одного параметричного елемента. Але описаний метод може бути розповсюджений на кола, у яких параметричних елементів більше ніж один.

8. У роботі розглянуто випадок, коли напруга та струм параметричного елемента вважаються зовнішніми змінними досліджуваного кола. Метод може бути розповсюджений і на інші випадки.

Висновки:

1. Наведений метод формування рівнянь параметричних кіл доволі наближений до методів формування схемних функцій лінійних кіл зі сталими параметрами.
2. Метод ґрунтується на методах та програмах аналізу кіл зі сталими параметрами, тому простий в програмній реалізації та надійний з точки зору отримання результатів.
3. Метод будується на методі d-дерев та методі вузлових напруг, які довели свою ефективність у практиці автоматизованого проектування РЕА.

1. Михайлов Ф. А., Теряев Е. Д. и др. Динамика нестационарных линейных систем. – М.: Наука, 1967. – 368 с. 2. Сигорский В. П., Петренко А. И. Основы анализа электронных схем. – К.: Вища шк., 1971. – 568 с. 3. Шаповалов Ю. И., Давидюк Р.Д. Особенности реализации метода топологического анализа схем в программе АС13ЕС // Изв. вузов: Радиоэлектроника. – 1983. – Т. 26. – № 6. – С. 79–81. 4. Шаповалов Ю. И., Гуляйгородський А. Є. Метод формування рівнянь лінійних параметричних кіл // Вісник Національного університету “Львівська політехніка” “Радіоелектроніка та телекомунікації”. – 2006. – № 557. – С. 3–9.

УДК 621.391.822

Р.І. Желяк, Б.О. Павлов*, О.В. Самсонюк**

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра теоретичної радіотехніки та радіовимірювань;

**кафедра радіоелектронних пристроїв та систем;

*Львівський державний інститут новітніх технологій та управління,
кафедра комп’ютерних мереж та систем

АНАЛІЗ ШУМОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНЗИСТОРНОГО АВТОДИНА

© Желяк Р.І., Павлов Б.О., Самсонюк О.В., 2007

Проаналізовано шумові характеристики приймального тракту, виконаного на основі автогенератора на одному активному елементі, який одночасно суміщає функції радіопередавача, а також регенеративного підсилювача високої частоти, гетеродина і змішувача в приймачі. Як приклад в нормованих величинах наведено залежність коефіцієнта шуму від зміни еквівалентного опору коливального контуру автогенератора.

Descriptions of noises of receiving highway, executed on the basis of ascillator on one active element which combines the functions of radio transmitter simultaneously, and also regenerative strengthener of high-frequency, geterodina and mixer are analysed in a receiver. As an example, in the rationed sizes dependence of coefficient of noise is resulted on the change of equivalent resistance of oscillatory circuit of ascillator.

У роботі [2] наведено принципову схему LC-автогенератора на польовому транзисторі, який одночасно виконує функції радіопередавача, а також регенеративного підсилювача високої частоти, гетеродина і змішувача у приймальному тракті. Аналіз режимів генерування, перетворення частоти і регенеративного підсилення виконаний в [1, 2]. Наявність на вході транзистора високої напруги з частотою генерації приводить до збільшення коефіцієнта шуму [3], тому необхідно провести додатково розрахунок шумових характеристик для схеми, запропонованої в [2]. Для цього скористаємось еквівалентною шумовою схемою, показаною на рис. 1.