

УДК 621.317

АНАЛІЗ ПОХИБКИ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СКЛАДНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ ЗА МЕТОДОМ НУЛІВ І ПОЛЮСІВ

Туз Ю. М., Шумков Ю. С., Козир О. В.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ, Україна

E-mail: tuz@aer.kpi.ua, yu.shumkov@gmail.com, olegkozyr86@gmail.com

При контролі елементів вузлів РЕА номінальна модель виділених багатоеlementних R, L, C – двополюсників (ДП), параметри заздалегідь відомі. Головне під час контролю – це визначення відхилень реальної моделі кола від номінальної. Тому важливою є оцінка відхилення реального відгуку на заданий сигнал від номінального. За методом нулів і полюсів використовують випробувальні сигнали (ВС) спеціальної форми, які складаються з суми окремих експонент [1, 2]. Таки ВС відтворюють інверсну модель функції імітансу багатоеlementного ДП. Нулі і полюси ВС компенсують полюси і нулі функції імітансу – операторний опір $Z_x(s)$ послідовного ДП або операторна провідність $Y_x(s)$ паралельного ДП. Якщо параметри кола дорівнюють заданим – відгук у вигляді одиничної ступінчастої функції (номінальний відгук). Якщо параметри кола відмінні – некомпенсовані нулі і полюси дають відхилення відгуку від ступінчастого (номінального), що вже легко оцінити. Такий відгук можна використовувати як «узагальнений параметр», зручний для контролю.

Розглянемо похибку перетворення імітансу в напругу у вигляді ступінчастої функції через кінцевого у смузі частот коефіцієнта підсилення операційних підсилювачів (ОП). Схема включення (рис. 1, а) паралельного R, C – двополюсника у складі трьохполюсного кола до перетворювача «імітанс-напруга» забезпечує режим заданої напруги на його полюсах. Але через кінцевий коефіцієнт підсилення напруга на інвертуючому вході ОП $U_a \neq 0$, не забезпечується нульовий вхідний опір схеми перетворення струму у напругу, порушується режим заданої напруги на полюсах ДП.

Синтез випробувального сигналу: $U_{B0}(s) \cdot Y_{X0}(s) = s^{-1} \times I_0$ – завдання струму у двополюснику $Y_x(s)$ у вигляді одиничної ступінчастої функції, де $Y_{X0}(s)$ – номінальна функція імітансу. Якщо $K_{OP}(s) \rightarrow \infty$, уніфікований відгук, який формується на виході перетворювача «імітанс-напруга», дорівнює:

$$U_{Out}(s) = -I_x(s) \times R_0 = -U_{B0}(s) Y_x(s) \times R_0 = -\frac{C_x(s + 1/R_x C_x)}{C_{X0} \cdot s(s + 1/R_{X0} C_{X0})} I_0 \times R_0$$
$$U_{Out}(t) = -\frac{C_x}{C_{X0}} e^{-\beta_{B0} t} U_0 - \frac{R_{X0}}{R_x} (1 - e^{-\beta_{B0} t}) U_0, \quad t \geq 0.$$

Для двохелементних ДП метод нулів та полюсів забезпечує інваріантне визначення окремих R, L, C – параметрів у окремі моменти часу (на початку та наприкінці перехідного процесу). Припустимо, що резистор R_x та ємність C_x

одержали якийсь дефект під час складання електронної схеми, їх значення відмінні від номінальних (рис. 1, б).

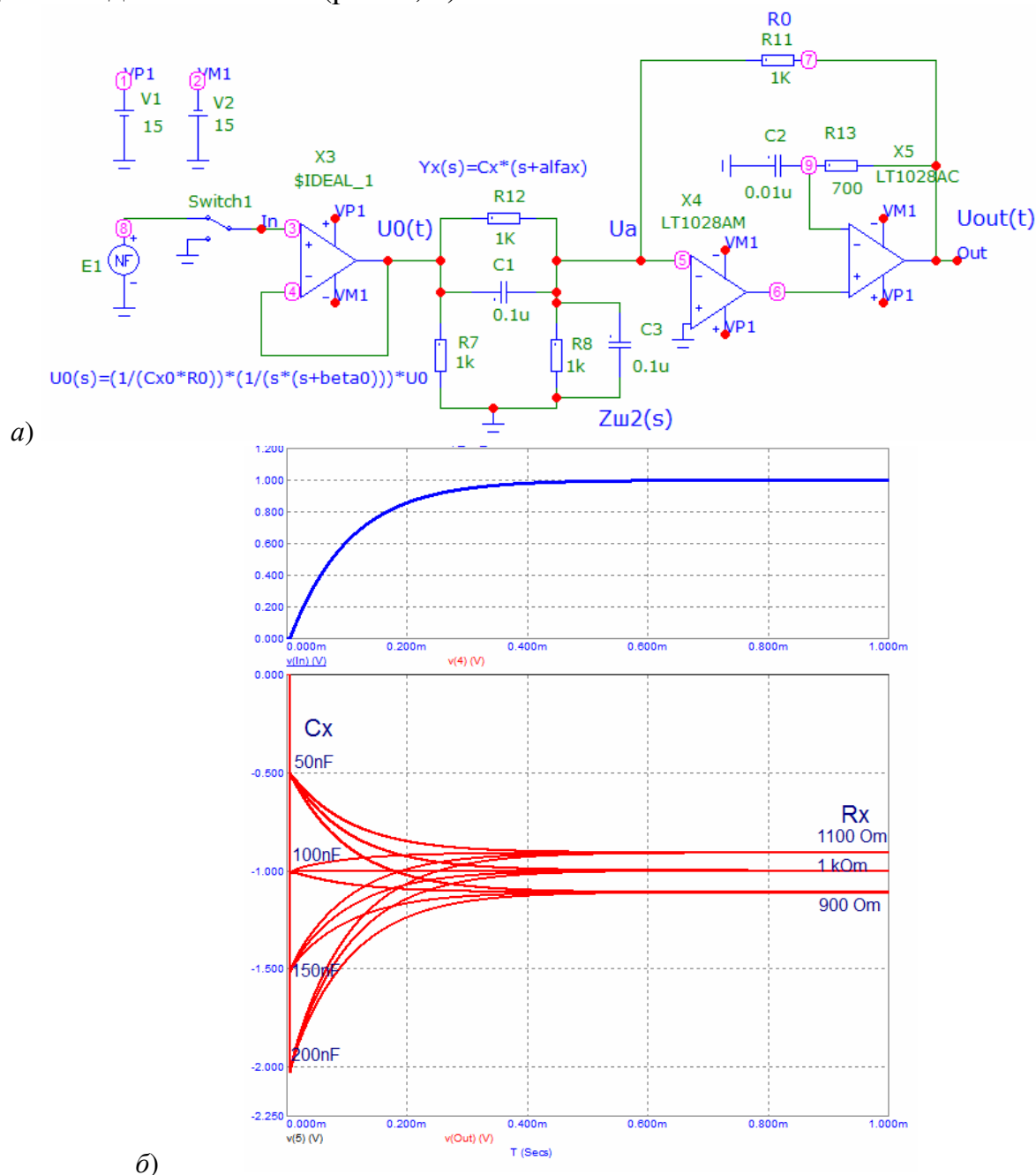


Рис. 1. Визначення параметрів паралельного R, C – двополюсника: а – моделювання схеми перетворення «імітанс-напруга»; б – уніфікований відгук, якщо $R_x = 1 \text{ k}\Omega \pm 100 \text{ }\Omega$; $C_x \in [50 \text{ nF}; 200 \text{ nF}]$ – змінюється з кроком $\Delta C = 50 \text{ nF}$

Розглянемо вплив $K_{OP}(s)$ на похибку перетворення.

$$Y_X(s) [U_{B0}(s) - U_a(s)] + \frac{1}{R_0} [U_{Out}(s) - U_a(s)] - \frac{U_a(s)}{Z_{In}(s)} - \frac{U_a(s)}{Z_{ш2}(s)} = 0,$$

де $U_a(s) = -U_{\text{out}}(s)/K_{\text{op}}(s)$ – напруга на інвертуючому вході підсилювача, $Z_{\text{ш2}}(s)$ – шунтуючий опір інших елементів РЕА. Вважаймо, що $Z_{\text{in}}(s) \rightarrow \infty$

$$U_{\text{out}}(s) = \frac{-U_{\text{B0}}(s)Y_x(s)}{Y_0 + [Y_x(s) + Y_{\text{ш2}}(s) + Y_0]K_{\text{op}}(s)^{-1}},$$

$$\Delta U_{\text{out}}(s) = U_{\text{B0}}(s)Y_x(s)R_0 \left(1 - \frac{1}{1 + R_0[Y_x(s) + Y_{\text{ш2}}(s) + Y_0]K_{\text{op}}(s)^{-1}}\right).$$

Якщо враховувати динамічну модель частотно-скоригованого ОП у робочій смузі частот $K_{\text{op}}(s) = \frac{K_0}{1 + s\tau_{\text{op}}}$, де K_0 – коефіцієнт підсилення ОП на постійному струмі; $\tau_{\text{op}} \approx K_0/2\pi f_1$; f_1 – частота одиничного підсилення, одержимо схему, яка буде нестійкою. За рахунок впливу $Z_{\text{ш2}}(s)$, який має ємнісний характер, виникають значні коливання $U_{\text{out}}(t)$ підчас стрибка напруги на $Y_x(s)$. Для забезпечення стійкості схеми введена додатка ланка у пряме коло підсилювача, яке охоплене загальним від’ємним зворотним зв’язком, що забезпечує додатковий нуль у передатну функцію у робочій смузі частот

$$K_{\text{op}}(s) = \frac{\omega_1(s + \frac{\omega_1 \cdot 100}{K_0})}{(s + \frac{\omega_1}{K_0})} = \frac{\omega_1(s + \beta_z)}{[s + \alpha_p]}, \quad \beta_z = 100 \cdot \alpha_p.$$

Динамічна похибка дорівнює:

$$\Delta U_{\text{out}}(s) \approx \frac{1}{s} \frac{C_x(s + 1/R_x C_x)}{C_{x0}(s + 1/R_{x0} C_{x0})} U_0 R_0 \left[C_x(s + \frac{1}{R_x C_x}) + Y_{\text{ш2}}(s) + Y_0 \right] \frac{(s + \frac{\omega_1}{K_0})}{\omega_1(s + \frac{\omega_1 \cdot 100}{K_0})}.$$

Розглянуто випадок, коли використовуються прецизійні ОП на польових транзисторах з високим входним опором типу AD845 з частотою одиничного підсилення $f_1 = 16 \cdot 10^6$ Гц, $K_0 = 200000$ і типу HA5160, у якого частота одиничного підсилення $f_1 = 100 \cdot 10^6$ Гц, $K_0 = 80000$.

Ключові слова: багатоелементне двополюсне електричне коло, метод нулів і полюсів, випробувальний сигнал спеціальної форми.

Література

- [1] В.І. Губар, Ю.С. Шумков, та Б.П. Хіміченко, "Вимірювання параметрів електричних кіл із застосуванням випробувальних сигналів спеціальної форми", *Наукові вісті НТУУ "КПІ"*, №5, с. 133-140, 2010.
- [2] Yu. Shumkov, "Exponential splines in electric circuits' parameters measuring", in *Proc. of the International Conf. Actual problems of Measuring Technique "Measurement-98"*, Kyiv, 1998, pp. 250-253.