



УКРАЇНА

(19) UA (11) 11679 (13) U  
(51) МПК  
G01R 27/28 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС

### ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

**(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ЧАСТОТИ ПЕРЕТВОРЕННЯ ІМІТАНСУ ПОТЕНЦІЙНО НЕСТІЙКОГО ЧОТИРИПОЛЮСНИКА**

1

2

(21) u200504156

(22) 29.04.2005

(24) 16.01.2006

(46) 16.01.2006, Бюл. № 1, 2006 р.

(72) Філінюк Микола Антонович, Гаврілов Дмитро Володимирович, Швейкіна Світлана Євгенівна

(73) ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(57) Спосіб визначення оптимальної частоти перетворення імітансу потенційно нестійкого чотириполюсника шляхом послідовного вимірювання мінімально досяжного значення вхідного (вихідного) імітансу чотириполюсника  $Re W_{вх. min}$

( $Re W_{вх. min}$ ) як

$$Re W_{вх. min} = \frac{Re Z_2(K_{c1} - 1) - Re Z_1(K_{c2} - 1)}{K_{c1} - K_{c2}}$$

де  $Z_1$  і  $Z_2$  - перший і другий комплексний опір із відомою дійсною частиною;

$K_{c1}$ ,  $K_{c2}$  - інваріантні коефіцієнти стійкості навантаженого чотириполюсника при навантаженні відповідно першим  $Z_1$  та другим  $Z_2$  комплексним опором із відомою дійсною частиною; причому  $K_{c1}$ ,  $K_{c2}$  розраховують за формулами:

$$K_{c1} = \frac{P_{\Gamma}^2 + P_{11}P_{12}}{2P_{\Gamma}\sqrt{P_{11}P_{12}}}$$

$$K_{c2} = \frac{P_{\Gamma}^2 + P_{21}P_{22}}{2P_{\Gamma}\sqrt{P_{21}P_{22}}}$$

де  $P_{\Gamma}$  - потужність електромагнітних коливань, що подають на клеми потенційно нестійкого чотириполюсника;

$P_{11}$ ,  $P_{12}$  - значення потужності електромагнітних коливань, що надходять на вхід вимірювача потужності з виходу потенційно нестійкого чотириполюсника в режимі двостороннього узгодження, відповідно, при підключенні до входу чотириполюсника першого  $Z_1$  і другого  $Z_2$  комплексних опорів із відомою дійсною частиною;

$P_{12}$ ,  $P_{22}$  - значення потужності електромагнітних коливань, що надходять на вхід вимірювача поту-

жності з виходу потенційно нестійкого чотириполюсника в режимі двостороннього узгодження, відповідно, при підключенні до входу чотириполюсника першого  $Z_1$  і другого  $Z_2$  комплексних опорів із відомою дійсною частиною, який **відрізняється** тим, що спочатку вимірюють мінімально досяжне значення вхідного  $Re W_{вх. min}$  та вихідного

$Re W_{вих. min}$  імітансу потенційно нестійкого чотириполюсника на частотах  $f_1$  та  $f_2$ , що обирають в області частотної залежності імітансів, де

$$Re W_{вх. min} < 0; \frac{\partial Re W_{вх. min}}{\partial f} < 0 \quad \text{або} \quad Re W_{вих. min} < 0; \frac{\partial Re W_{вих. min}}{\partial a} < 0$$

потім на частотах  $f_3$  та  $f_4$ , що обирають в області частотної залежності імітансів, де

$$Re W_{вх. min} < 0; \frac{\partial Re W_{вх. min}}{\partial f} > 0 \quad \text{або} \quad Re W_{вих. min} > 0; \frac{\partial Re W_{вих. min}}{\partial a} > 0$$

будують системи рівнянь двох прямих, що апроксимують відрізки кривої  $Re W_{вх. min}$  ( $Re W_{вих. min}$ ) на частотах, що лежать нижче оптимальної  $f_{opt}$ ,

$$\frac{Re(W_{min0} - W_{min1})}{Re(W_{min2} - W_{min1})} = \frac{f_{opt} - f_1}{f_2 - f_1};$$

$$\frac{Re(W_{min0} - W_{min3})}{Re(W_{min4} - W_{min3})} = \frac{f_{opt} - f_3}{f_4 - f_3};$$

де  $Re W_{min0}$ ,  $Re W_{min1}$  ÷  $Re W_{min4}$  - значення мінімально досяжного дійсного імітансу потенційно нестійкого чотириполюсника на оптимальній частоті перетворення і на частотах  $f_1$  -  $f_4$  відповідно, розраховують сумісне рішення даної системи рівнянь за формулою:

$$f_{opt} = \frac{A \cdot D \cdot f_3 - B \cdot C \cdot f_1 - A \cdot C \cdot Re(W_{min1} - W_{min3})}{A \cdot D - B \cdot C},$$

де  $A = f_1 - f_2$ ;

UA (11) 11679 (13) U

$$D = \operatorname{Re}(W_{\min 2} - W_{\min 1});$$

$$C = f_4 - f_3;$$

$$D = \operatorname{Re}(W_{\min 4} - W_{\min 3}).$$

Корисна модель відноситься до області електроніки, зокрема до вимірювальної техніки визначення параметрів чотириполіусників.

Відомий спосіб визначення граничної частоти  $f_{\text{гр}}$  потенційно-нестійких чотириполіусників шляхом вимірювання модуля коефіцієнту підсилення  $\beta$  на частоті  $f_{\text{вим}}$  в 3-4 рази меншій за граничну шляхом розрахунку за формулою

$$f_{\text{гр}} = |\beta| / f_{\text{вим}}$$

[Виноградов Ю.В. Основы электронной и полупроводниковой техники. Учебник для студентов высш. техн. учебы, завед. Изд. 2-е, доп. М, «Энергия», 1972, с.104, ф-ла (4-79)].

Недоліком даного способу є низькі функціональні можливості, так як відсутня можливість визначення оптимальної частоти перетворення імітансу потенційно-нестійкого чотириполіусника.

Найбільш близьким до запропонованого є спосіб визначення оптимальної частоти перетворення імітансу потенційно-нестійкого чотириполіусника  $f_{\text{opt}}$ , що впливає з визначення її як характерної для потенційно-нестійких чотириполіусників частоти, на якій мінімально-досягне значення вхідного

(вихідного) імітансу чотириполіусника  $\operatorname{Re} W_{\text{вх. min}}$  ( $\operatorname{Re} W_{\text{вих. min}}$ ) менше нуля та виконуються умови:

$$\frac{\partial \operatorname{Re} W_{\text{вх. min}}}{\partial f} = 0;$$

$$\frac{\partial \operatorname{Re} W_{\text{вих. min}}}{\partial f} = 0;$$

шляхом багаторазового послідовного вимірювання мінімально-досяжного значення вхідного (вихідного) імітансу чотириполіусника  $\operatorname{Re} W_{\text{вх. min}}$  ( $\operatorname{Re} W_{\text{вих. min}}$ ) як

$$\operatorname{Re} W_{\text{вх. min}} = \frac{\operatorname{Re} Z_2 (K_{c1} - 1) - \operatorname{Re} Z_1 (K_{c2} - 1)}{K_{c1} - K_{c2}},$$

де  $Z_1$  і  $Z_2$  - перший і другий комплексний опір із відомою дійсною частиною,  $K_{c1}$ ,  $K_{c2}$  - інваріантні коефіцієнти стійкості навантаженого чотириполіусника при навантаженні відповідно першим  $Z_1$  та другим  $Z_2$  комплексним опором із відомою дійсною частиною;

причому  $K_{c1}$ ,  $K_{c2}$  розраховують за формулами:

$$K_{c1} = \frac{P_{\Gamma}^2 + P_{11}P_{12}}{2P_{\Gamma}\sqrt{P_{11}P_{12}}},$$

$$K_{c2} = \frac{P_{\Gamma}^2 + P_{21}P_{22}}{2P_{\Gamma}\sqrt{P_{21}P_{22}}},$$

де  $P_{\Gamma}$  - потужність електромагнітних коливань, що подають на клеми потенційно-нестійкого чотириполіусника;

$P_{11}$ ,  $P_{12}$  - значення потужності електромагнітних коливань, що надходять на вхід вимірювача потужності з виходу потенційно-нестійкого чотириполіусника в режимі двостороннього узгодження, відповідно, при підключенні до входу чотириполіусника першого  $Z_1$  і другого  $Z_2$  комплексних опорів із відомою дійсною частиною;

$P_{12}$ ,  $P_{22}$  - значення потужності електромагнітних коливань, що надходять на вхід вимірювача потужності з виходу потенційно-нестійкого чотириполіусника в режимі двостороннього узгодження, відповідно, при підключенні до входу чотириполіусника першого  $Z_1$  і другого  $Z_2$  комплексних опорів із відомою дійсною частиною [Филинук Н.А. Активные СВЧ фильтры на транзисторах. - М.: Сов. Радио, 1987, с.13].

Недоліком даного способу є велика трудомісткість, пов'язана з необхідністю проведення великої кількості вимірювань інваріантного коефіцієнта стійкості навантаженого потенційно-нестійкого чотириполіусника та низька точність.

В основу корисної моделі поставлено задачу створення способу визначення оптимальної частоти перетворення імітансу потенційно-нестійкого чотириполіусника, в якому за рахунок нової послідовності виконання операцій досягається можливість зменшення кількості вимірювань, що призводить до підвищення точності та зменшення трудомісткості визначення оптимальної частоти перетворення імітансу потенційно-нестійкого чотириполіусника.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі визначення оптимальної частоти перетворення імітансу потенційно-нестійкого чотириполіусника, шляхом послідовного вимірювання мінімально-досяжного значення вхідного (вихідного) імітансу чотириполіусника  $\operatorname{Re} W_{\text{вх. min}}$  ( $\operatorname{Re} W_{\text{вих. min}}$ ) як

$$\operatorname{Re} W_{\text{вх. min}} = \frac{\operatorname{Re} Z_2 (K_{c1} - 1) - \operatorname{Re} Z_1 (K_{c2} - 1)}{K_{c1} - K_{c2}},$$

де  $Z_1$  і  $Z_2$  - перший і другий комплексний опір із відомою дійсною частиною;

$K_{c1}$ ,  $K_{c2}$  - інваріантні коефіцієнти стійкості навантаженого чотириполіусника при навантаженні від-

повідно першим  $Z_1$  та другим  $Z_2$  комплексним опором із відомою дійсною частиною; причому  $K_{c1}$ ,  $K_{c2}$  розраховують за формулами:

$$K_{c1} = \frac{P_{\Gamma}^2 + P_{11}P_{12}}{2P_{\Gamma}\sqrt{P_{11}P_{12}}},$$

$$K_{c2} = \frac{P_{\Gamma}^2 + P_{21}P_{22}}{2P_{\Gamma}\sqrt{P_{21}P_{22}}},$$

де  $P_{\Gamma}$  - потужність електромагнітних коливань, що подають на клеми потенційно-нестійкого чотириполюсника;

$P_{11}$ ,  $P_{12}$  - значення потужності електромагнітних коливань, що надходять на вхід вимірювача потужності з виходу потенційно-нестійкого чотириполюсника в режимі двостороннього узгодження, відповідно, при підключенні до входу чотириполюсника першого  $Z_1$  і другого  $Z_2$  комплексних опорів із відомою дійсною частиною;

$P_{12}$ ,  $P_{22}$  - значення потужності електромагнітних коливань, що надходять на вхід вимірювача потужності з виходу потенційно-нестійкого чотириполюсника в режимі двостороннього узгодження, відповідно, при підключенні до входу чотириполюсника першого  $Z_1$  і другого  $Z_2$  комплексних опорів із відомою дійсною частиною;

спочатку вимірюють мінімально-досяжне значення вхідного  $\text{Re } W_{\text{вх. min}}$  та вихідного  $\text{Re } W_{\text{вих. min}}$  імітансу потенційно-нестійкого чотириполюсника на частотах  $f_1$  та  $f_2$ , що обирають в області частотної залежності імітансів, де

$$\text{Re } W_{\text{вх. min}} < 0; \quad \frac{\partial \text{Re } W_{\text{вх. min}}}{\partial f} < 0 \quad \text{або} \quad \text{Re } W_{\text{вих. min}} < 0; \quad \frac{\partial \text{Re } W_{\text{вих. min}}}{\partial a} < 0,$$

потім на частотах  $f_3$  та  $f_4$ , що обирають в області частотної залежності імітансів, де

$$\text{Re } W_{\text{вх. min}} < 0; \quad \frac{\partial \text{Re } W_{\text{вх. min}}}{\partial f} > 0 \quad \text{або} \quad \text{Re } W_{\text{вих. min}} > 0; \quad \frac{\partial \text{Re } W_{\text{вих. min}}}{\partial a} > 0,$$

подальшу побудову системи рівнянь двох прямих, що апроксимують відрізки кривої  $\text{Re } W_{\text{вх. min}}$  ( $\text{Re } W_{\text{вих. min}}$ ) на частотах, що лежать нижче опти-

мальної  $f_{\text{opt}}$ ,

$$\frac{\text{Re}(W_{\text{min}0} - W_{\text{min}1})}{\text{Re}(W_{\text{min}2} - W_{\text{min}1})} = \frac{f_{\text{opt}} - f_1}{f_2 - f_1};$$

$$\frac{\text{Re}(W_{\text{min}0} - W_{\text{min}3})}{\text{Re}(W_{\text{min}4} - W_{\text{min}3})} = \frac{f_{\text{opt}} - f_3}{f_4 - f_3},$$

де  $\text{Re } W_{\text{min}0}$ ,  $\text{Re } W_{\text{min}1}$  ÷  $\text{Re } W_{\text{min}4}$  - значення мінімально-досяжного дійсного імітансу потенційно-

нестійкого чотириполюсника на оптимальній частоті перетворення і на частотах  $f_1 - f_4$  відповідно, подальший розрахунок сумісного рішення даної системи рівнянь

$$f_{\text{opt}} = \frac{A \cdot D \cdot f_3 - B \cdot C \cdot f_1 - A \cdot C \cdot \text{Re}(W_{\text{min}1} - W_{\text{min}3})}{A \cdot D - B \cdot C},$$

де  $A = f_1 - f_2$ ;

$D = \text{Re}(W_{\text{min}2} - W_{\text{min}1})$ ;

$C = f_4 - f_3$ ;

$D = \text{Re}(W_{\text{min}4} - W_{\text{min}3})$ ;

Одночасно розв'язок системи рівнянь двох прямих, що апроксимують відрізки кривої  $\text{Re } W_{\text{вх. min}}$  ( $\text{Re } W_{\text{вих. min}}$ ) на частотах, що лежать нижче оптимальної  $f_{\text{opt}}$  дозволяє визначити наближене значення  $\text{Re } W_{\text{min}}$  на оптимальній частоті перетворення імітансу

$$\text{Re } W_{\text{min}}(f_{\text{opt}}) = \frac{(f_{\text{opt}} - f_3) \cdot D}{C} + \text{Re } W_{\text{min}3}$$

Похибка визначення  $f_{\text{opt}}$  в значній мірі буде залежати від частотної нелінійності кривої  $\text{Re } W_{\text{min}}$  і може бути знижена шляхом повторних вимірювань на частотах відмінних від  $f_1 - f_4$  з наступним розрахунком  $f_{\text{opt}}$  і пошуком середнього значення цієї частоти, на основі першого, другого чи третього етапу вимірювань.

Спосіб, що пропонується, в порівнянні з прототипом має суттєві відмінності - підвищену точність та меншу трудомісткість визначення граничної частоти потенційно-нестійкого чотириполюсника, що досягається шляхом зменшення кількості вимірювань до чотирьох.

На фіг.1 зображено частотну залежність мінімально-досяжного дійсного імітансу потенційно-нестійкого чотириполюсника.

На фіг.2 зображено структурну схему пристрою для виконання способу.

На фіг.1 введено наступні позначення: А та В - точки перетину апроксимуючою прямою 1 графіку частотної залежності мінімально-досяжного дійсного імітансу потенційно-нестійкого чотириполюсника, що є точками вимірювання значень мінімально-досяжного дійсного імітансу відповідно на частоті  $f_1$  та  $f_2$ ; та D - точки перетину апроксимуючою прямою 2 графіку частотної залежності мінімально-досяжного дійсного імітансу потенційно-нестійкого чотириполюсника, що є точками вимірювання значень мінімально-досяжного дійсного імітансу відповідно на частоті  $f_3$  та  $f_4$ .

Пристрій для проведення вимірювань складається (фіг.2) з генератора електромагнітних коливань 1, вихід якого з'єднаний із входом першого комутатора 3 через перший трансформатор 2, що узгоджує. Один із виходів першого комутатора 3 з'єднаний із виходом потенційно-нестійкого чотириполюсника 4 і першим входом другого комутатора 5. Вихід другого комутатора 5 через другий трансформатор 6, що узгоджує, з'єднаний із вхо-

дом вимірювача потужності 7. Другий вихід першого комутатора 3 з'єднаний із другим входом другого комутатора 5 і з входом третього комутатора 8. Перший вихід третього комутатора 8 з'єднаний через перший комплексний опір 9 із відомою дійсною складовою з входом невзаємного чотириполюсника 4, другий вихід третього комутатора 8 через другий комплексний опір 10 з'єднаний із входом потенційно-нестійкого чотириполюсника 4.

Спосіб здійснюється наступним чином. Від генератора 1 подають електромагнітні коливання постійної потужності і частоти через узгоджувачий трансформатор 2 і перший комутатор 3 на вхід третього комутатора 8, вихід якого через перший комплексний опір 9 з'єднують з входом потенційно-нестійкого чотириполюсника 4. Вихід потенційно-нестійкого чотириполюсника 4 за допомогою комутатора 5 через другий узгоджувачий трансформатор 6 з'єднують з входом вимірювача потужності 7. Потім за допомогою узгоджувачих трансформаторів 2 і 6 встановлюють режим узгодження опору генератора електромагнітних коливань 1 із вхідним опором потенційно-нестійкого чотириполюсника 4 при включеному в його

вхідне коло першому комплексному опорі 9 і узгоджують опір вимірювача потужності 7 із вхідним опором потенційно-нестійкого чотириполюсника 4 і в цьому режимі вимірюють потужність  $P_{11}$  електромагнітних коливань на його виході. Потім за допомогою комутатора 8 електромагнітні коливання генератора 1 подають через другий комплексний опір 10 із відомою дійсною складовою на вхід потенційно-нестійкого чотириполюсника, за допомогою узгоджувачих трансформаторів 2 і 6 встановлюють режим узгодження опору генератора 1 із вхідним опором потенційно-нестійкого чотириполюсника 4 при включеному в його вхідне коло другому комплексному опорі 10 із відомою дійсною складовою, і узгоджують опір вимірювача потужності 7 із вихідним опором потенційно-нестійкого чотириполюсника 4, і в цьому режимі вимірюють потужність на його виході. Електромагнітні коливання генератора 1 через перший узгоджувачий трансформатор 2 і перший комутатор 3 подають на вихід потенційно-нестійкого чотириполюсника 4, а вимірювач потужності 7 через другий узгоджувачий трансформатор 6 і комутатор 5 підключають до входу третього комутатора 8 і здійснюють вимір потужності  $P_{12}$  і  $P_{22}$  електромагнітних коливань на вході потенційно-нестійкого чотири-

чотириполюсника 4 у режимі узгодження опору генератора 1 електромагнітних коливань із вихідним опором потенційно-нестійкого чотириполюсника 4 й узгодження опору вимірювача потужності 7 із вхідним за допомогою третього комутатора 8 першого 9 і другого 10 комплексних опорів із відомою дійсною складовою.

За результатами вимірювань  $P_{11}$ ,  $P_{21}$ ,  $P_{12}$ ,  $P_{22}$  визначають оптимальну частоту перетворення імітансу потенційно-нестійкого чотириполюсника за формулами:

$$f_{\text{opt}} = \frac{A \cdot D \cdot f_3 - B \cdot C \cdot f_1 - A \cdot C \cdot \text{Re}(W_{\text{min}1} - W_{\text{min}3})}{A \cdot D - B \cdot C},$$

$$A = f_1 - f_2,$$

$$D = \text{Re}(W_{\text{min}2} - W_{\text{min}1}),$$

$$C = f_4 - f_3,$$

$$D = \text{Re}(W_{\text{min}4} - W_{\text{min}3}),$$

$$\text{Re } W_{\text{вих. min}} = \frac{\text{Re } Z_2(K_{c1} - 1) - \text{Re } Z_1(K_{c2} - 1)}{K_{c1} - K_{c2}},$$

$$K_{c1} = \frac{P_{\Gamma}^2 + P_{11}P_{12}}{2P_{\Gamma} \sqrt{P_{11}P_{12}}},$$

$$K_{c2} = \frac{P_{\Gamma}^2 + P_{21}P_{22}}{2P_{\Gamma} \sqrt{P_{21}P_{22}}},$$

де  $P_{\Gamma}$  - потужність електромагнітних коливань, що подають на клеми невзаємного чотириполюсника;  $P_{11}$ ;  $P_{12}$  - значення потужності електромагнітних коливань, що надходять на вхід вимірювача потужності з виходу потенційно-нестійкого чотириполюсника в режимі двостороннього узгодження, відповідно, при підключенні до входу чотириполюсника першого  $Z_1$  і другого  $Z_2$  комплексних опорів із відомою дійсною частиною;  $P_{12}$ ,  $P_{22}$  - значення потужності електромагнітних коливань, що надходять на вхід вимірювача потужності з виходу потенційно-нестійкого чотириполюсника в режимі двостороннього узгодження, відповідно, при підключенні до входу чотириполюсника першого  $Z_1$  і другого  $Z_2$  комплексних опорів із відомою дійсною частиною.

