

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет комп'ютерних систем та автоматики

Вимірювання параметрів чотириполюсника на базі нестандартної системи

Розробив
ст. гр. КІВТ-18м
Кієнко В.О.
Науковий керівник
к.т.н. доц. Возняк О.М.

Актуальність. Автоматизація процесів виробництва, ускладнення і розширення фронту наукових експериментів тягне за собою необхідність розробки принципово нових методів та засобів вимірювання параметрів транзисторів на базі нових алгоритмів тому розробка нових методів вимірювання параметрів чотириполіусників є досить актуальною.

Метою роботи є розробка методу визначення параметрів потенційно нестійких чотириполіусників, який дозволить визначати чотириполіусникові параметри транзисторів у діапазоні потенційної нестійкості.

Для досягнення поставленої мети потрібно обґрунтувати й вирішити такі наукові та практичні **задачі:**

1. провести критичний аналіз існуючих методів визначення параметрів чотириполіусників, що дозволить з'ясувати їх основні недоліки.
2. розглянути математичну модель чотириполіусника на базі нестандартної системи W-параметрів.
3. провести оцінку адекватності розробленого методу за допомогою чисельного експерименту.

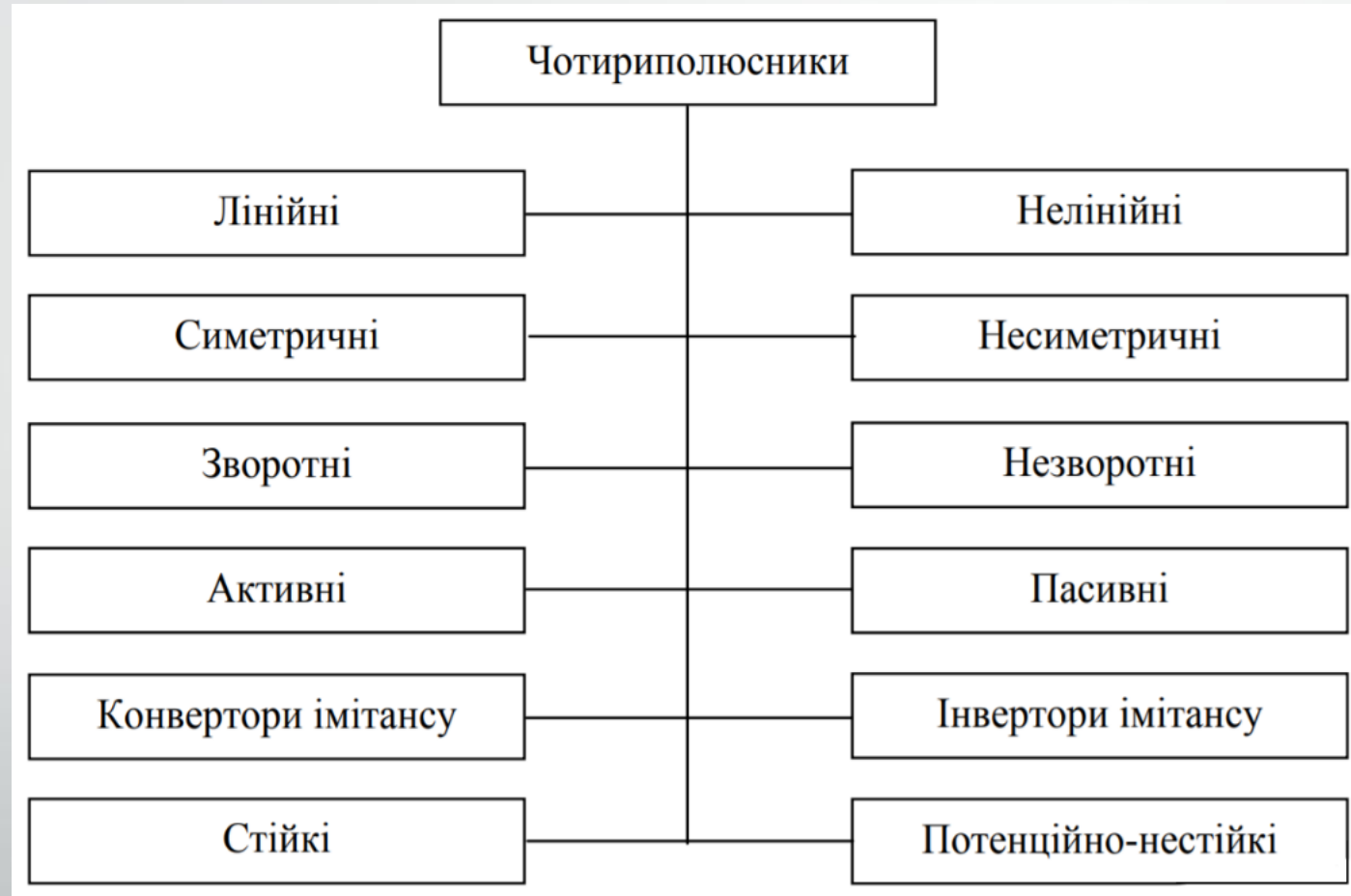
Об'єктом дослідження є процес вимірювання параметрів потенційно нестійких чотириполіусників у діапазоні НВЧ.

Предметом дослідження є методи для визначення параметрів потенційно нестійких чотириполіусників.

Наукова новизна. Створено метод визначення параметрів потенційно нестійких чотириполіусників, що дозволило визначати чотириполіусникові параметри транзисторів у діапазоні потенційної нестійкості з вищою точністю у порівнянні з існуючими засобами.

Апробація результатів магістерської кваліфікаційної роботи. Результати досліджень в роботі обговорювались та були схвалені на таких конференціях: 5-а Міжнародна наукова конференція «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах» (Вінниця 2019р.), Науково-практична інтернет-конференція «Якість і безпека: сучасні реалії».

Класифікація чотириполіусників



у-, z -, h- параметри

При аналізі електричних схем на малих сигналах краще всього розглядати їх у вигляді лінійного активного чотириполюсника. Для кожної такої схеми напруга на парах її затискачів та струми, що протікають в цих парах, функціонально залежні, і ці функції повністю характеризують схему. Ця функціональна залежність може бути виражена шістьма способами:

$$U_1 = U_1(I_1, I_2), \quad U_2 = U_2(I_1, I_2),$$

$$I_1 = I_1(U_1, U_2), \quad I_2 = I_2(U_1, U_2),$$

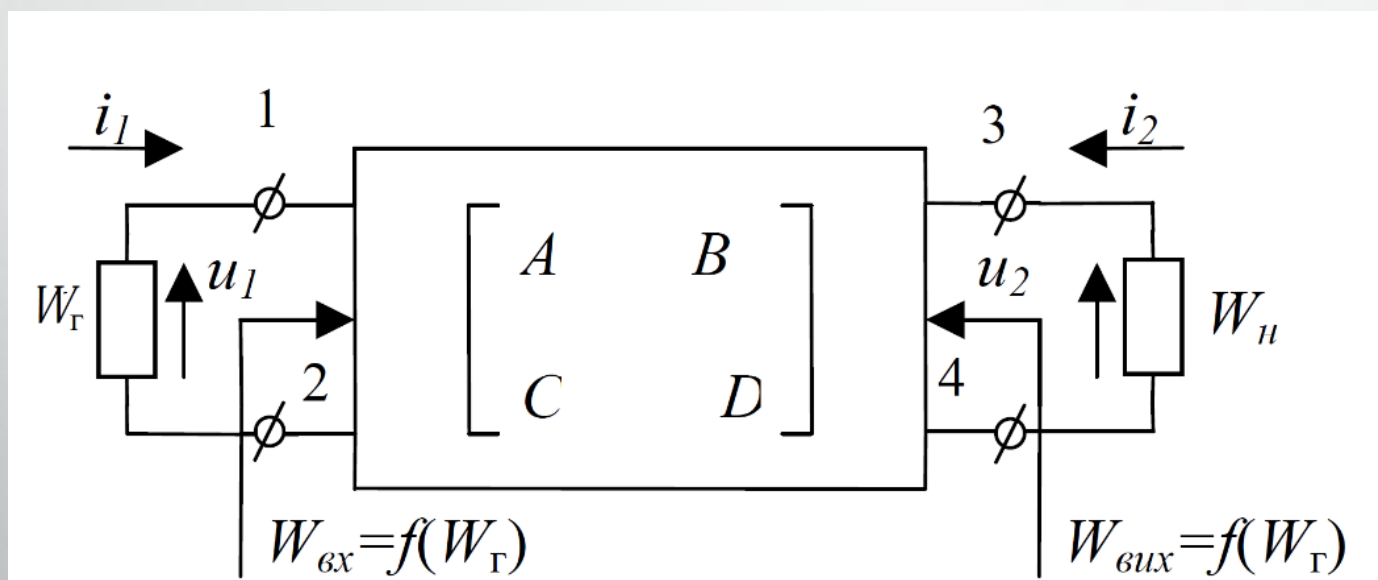
$$U_1 = U_1(I_1, U_2), \quad I_2 = I_2(I_1, U_2),$$

де U_1, U_2 - напруга на вході і виході чотириполюсника,

I_1, I_2 - струм на вході і виході чотириполюсника.

Структурна схема узагальненого перетворювача імпедансу

Чотириполіусники можна також розглядати у якості узагальнених перетворювачів імпедансу (УПІ). Узагальненим перетворювачем імпедансу називається чотириполіусник (рис. 1.3), імпеданс між однією парою клем якого $W_{Bx}(W_{Вих})$ є функцією імпедансу $W_H(W_T)$, підключеного до другої пари його клем:



Лінійні чотириполіусники НВЧ діапазону описуються матрицею передачі [T], яка зв'язує сигнали на вході і виході об'єкту, або матрицею розсіювання [S], яка зв'язує розсіюванні від об'єкту сигнали.

Найбільш розповсюджені рівняння зв'язку падаючих і відбитих хвиль - системи рівнянь, що пов'язують:

- падаючі і відбиті хвилі на вході і виході чотириполіусника:

$$\begin{vmatrix} U_{1nad} \\ U_{1vid} \end{vmatrix} = [T] \begin{vmatrix} U_{2nad} \\ U_{2vid} \end{vmatrix}$$

- хвилі, що розсіюються від об'єкту і що надходять до нього:

$$\begin{vmatrix} U_{1vid} \\ U_{2nad} \end{vmatrix} = [S] \begin{vmatrix} U_{1nad} \\ U_{2vid} \end{vmatrix}$$

Матрицю передачі [T] зручно використовувати для визначення параметрів чотириполіусників, з'єднаних каскадно-ланцюжком.

Перевага матриці розсіювання [S] полягає в явному фізичному сенсі її елементів та традиційному способі їхніх вимірювань

$$\operatorname{Re} W_{22} = \frac{\rho'_{ex} \operatorname{Re} W_g}{(\rho_{ex} - \rho'_{ex})},$$

$$\operatorname{Re} W_{11} = \frac{\rho_{ex}}{\rho_{eux}} \operatorname{Re} W_{22} = \frac{\rho_{ex} \rho'_{ex}}{\rho_{eux} (\rho_{ex} - \rho'_{ex})} \operatorname{Re} W_g,$$

$$|W_{12} W_{21}| = 2 \rho_{ex} \operatorname{Re} W_{22} = \frac{2 \rho_{ex} \rho'_{ex}}{(\rho_{ex} - \rho'_{ex})} \operatorname{Re} W_g,$$

$$\operatorname{Re} (W_{12} W_{21}) = 2 \operatorname{Re} W_{22} (W_{11} - W_{ex.A}),$$

$$\operatorname{Im} (W_{12} W_{21}) = \sqrt{|W_{12} W_{21}|^2 - \operatorname{Re}^2 (W_{12} W_{21})},$$

$$\operatorname{Im} (W_{12} W_{21}) = |W_{12} W_{21}| \sin \left(\arccos \operatorname{Re} \left(\frac{(W_{12} W_{21})}{|W_{12} W_{21}|} \right) \right),$$

$$\operatorname{Im} W_{11} = \operatorname{Im} W_{ex.B} + \frac{\operatorname{Im} (W_{12} W_{21})}{2 \operatorname{Re} W_{22}},$$

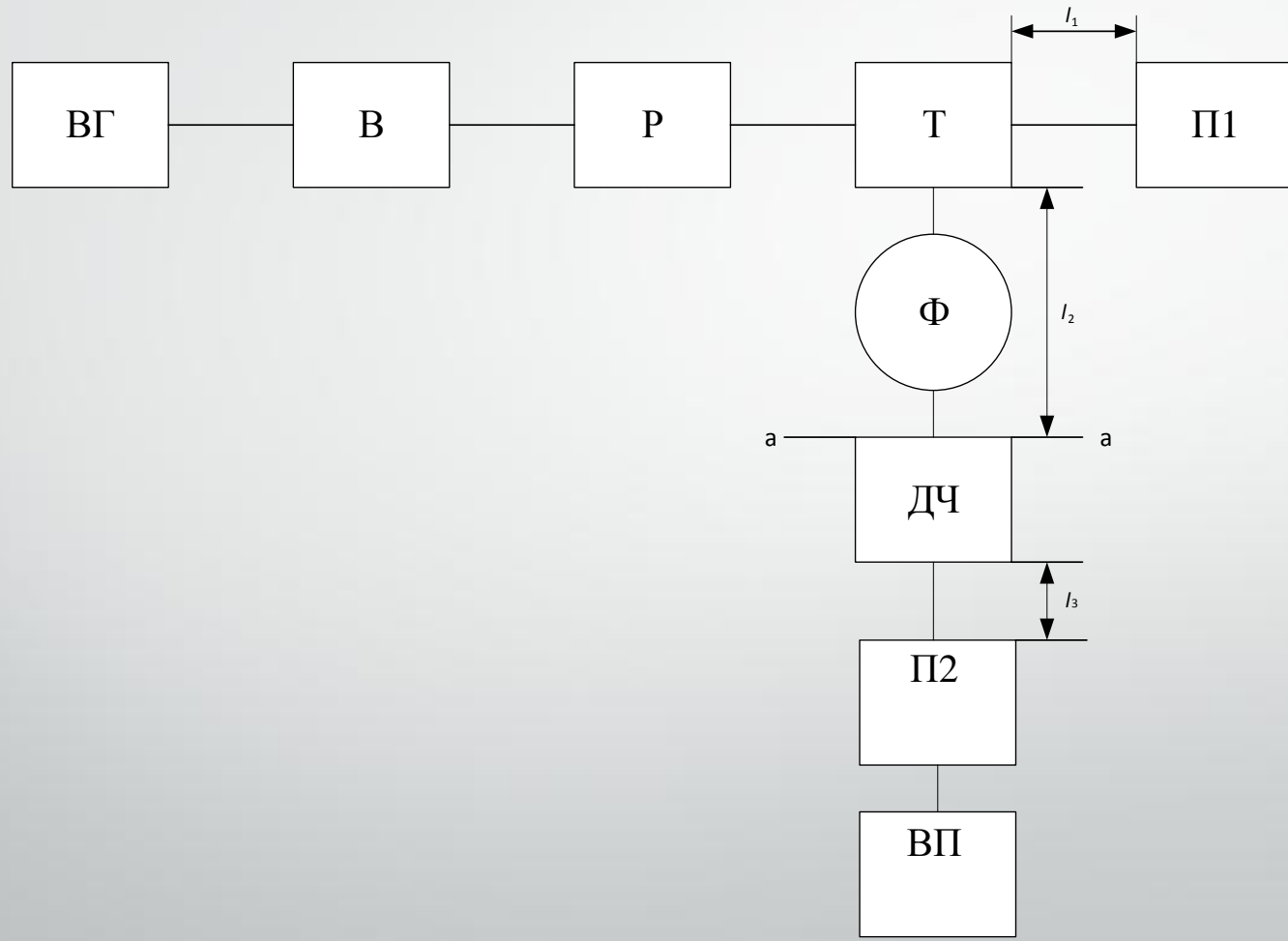
$$\operatorname{Im} W_{22} = \operatorname{Im} W_{eux.B} + \frac{\operatorname{Im} (W_{12} W_{21})}{2 \operatorname{Re} W_{11}}.$$

Для знаходження параметрів $|W_{21}|$ і $|W_{12}|$ скористаємося відомими виразами для прямого і оберненого номінальних коефіцієнтів передачі чотириполюсника по потужності:

$$K_{p.n.1} = \frac{4|W_{21}|^2 \operatorname{Re} W_z \operatorname{Re} W_H}{\left| (W_{11} + W_z)(W_{22} + W_H) - W_{22}W_{21} \right|^2},$$

$$K_{p.n.2} = \frac{4|W_{12}|^2 \operatorname{Re} W_z \operatorname{Re} W_H}{\left| (W_{11} + W_z)(W_{22} + W_H) - W_{22}W_{21} \right|^2}.$$

Структурна схема установки для вимірювання нестандартної системи параметрів



Експериментальні дані залежності екстремальних параметрів польового транзистора IRF830

Параметри	Частота				
	1 ГГц	0.8 ГГц	0.6 ГГц	0.4 ГГц	0.3 ГГц
$\times 10^{-2} (\text{Ом}^{-1})$					
$\text{Re}Y_{\text{вх.А}}$	0.233	0.195	0.1	0.035	0.15
$\text{Im}Y_{\text{вх.А}}$	7.54	4.82	3.2	1.98	1.365
$\text{Re}Y_{\text{вх.В}}$	4.01	2.61	1.7	1.09	0.84
$\text{Im}Y_{\text{вх.В}}$	8.77	2.41	1.6	0.99	0.675
$\text{Re}Y_{\text{вих.А}}$	0.5	0.83	0.88	1.8	0.06
$\text{Im}Y_{\text{вих.А}}$	0.02	0.03	0.01	0.05	0.006
$\text{Re}Y_{\text{вих.В}}$	8.59	11.14	15.03	20.65	0.336
$\text{Im}Y_{\text{вих.В}}$	-8.07	-10.28	-14.4	-18.8	-0.27
K_{mS}	5.123	6.735	9.36	12.76	18.46

Розрахунок похибки дійсної складової імітанса в точках А і В на вході досліджуваного чотириполюсника:

$$\Delta \operatorname{Re} W_{\text{вх}A(B)} = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial \operatorname{Re} W_{\text{вх}A(B)}}{\partial \Gamma} \right)^2} \sigma_{\Gamma}^2 = \pm \left(\frac{\partial \left(W_0 \frac{1 - \Gamma_{\min A(B)}}{1 + \Gamma_{\min A(B)}} \right)}{\partial \Gamma} \right) \sigma_{\Gamma} = \pm \left(\frac{W_0 \sqrt{2} \sigma_{\Gamma}}{1 + \Gamma_{\min A(B)}} \right)$$

Розрахунок похибки уявної складової:

$$\Delta \operatorname{Im} W_{\text{вх}A(B)} = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial \operatorname{Im} W_{\text{вх}A(B)}}{\partial l} \right)^2} \sigma_l^2 = \left(\frac{\partial \left(W_0 \operatorname{ctg} \frac{2\pi l_{A(B)1}}{\lambda} \right)}{\partial l_{A(B)1}} \right) \sigma_l = \frac{2\pi W_0}{\lambda \sin^2 \frac{2\pi l_{A(B)1}}{\lambda}} \sigma_l$$

Розраховуємо похибку максимально досяжного коефіцієнта стійкого підсилення K_{mS} .

$$\Delta K_{mS} = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial K_{mS}}{\partial P_1}\right)^2 \sigma_P + \left(\frac{\partial K_{mS}}{\partial P_2}\right)^2 \sigma_P} = \frac{P_1^2 + P_2^2}{4 P_1 P_2^3} \cdot \sigma_P$$

Середньоквадратичні значення похибок склали:

$$\Delta \text{Re}W_{\text{ВХ}} = 4.8\%, \quad \Delta \text{Re}W_{\text{ВХ}} = 5.2\%,$$

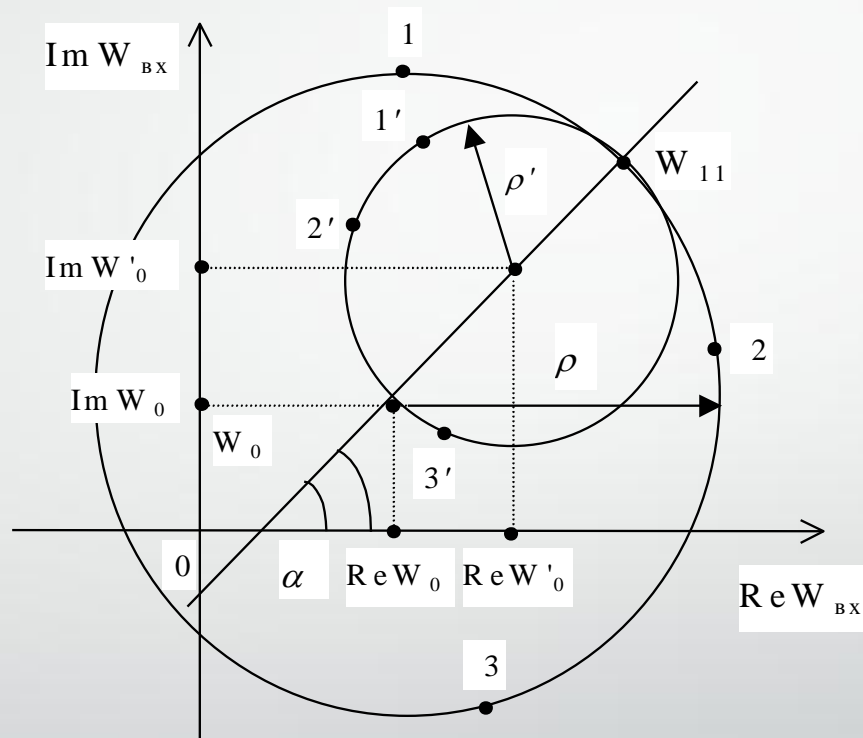
$$\Delta \text{Re}W_{\text{ВИХ}} = 4,5\%, \quad \Delta \text{Re}W_{\text{ВИХ}} = 2.8\%,$$

$$\Delta \text{Im}W_{\text{ВХ}} = 5.3\%, \quad \Delta \text{Im}W_{\text{ВХ}} = 5.8\%,$$

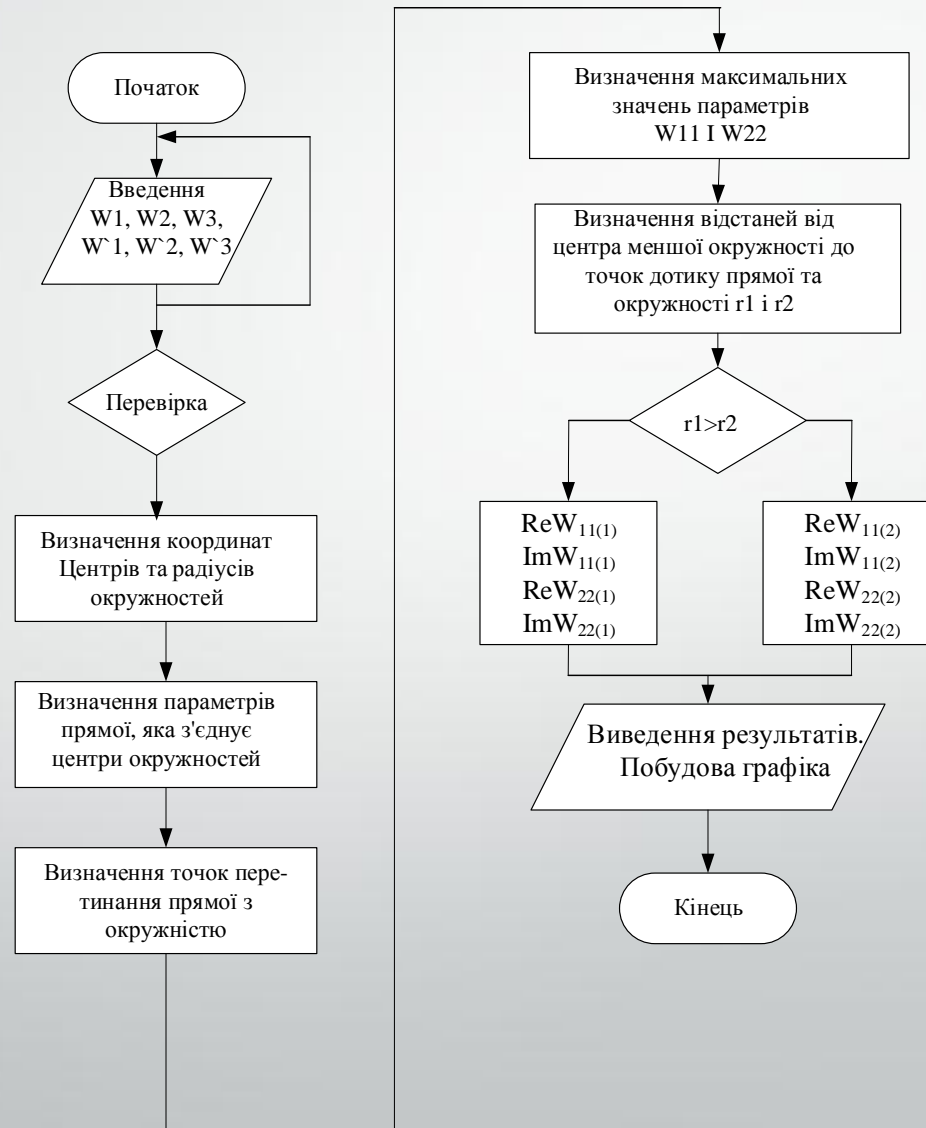
$$\Delta \text{Im}W_{\text{ВИХ}} = 3.5\%, \quad \Delta \text{Im}W_{\text{ВИХ}} = 4.6\%,$$

$$\Delta K_{\text{mS}} = 6\%.$$

Діаграма повних імітансів по входу чотириполюсника



Алгоритм визначення параметрів W_{11} і W_{22}



Висновки

В результаті роботи було проаналізовано існуючі методи визначення параметрів чотириполіусників та їх класифікацію;

Розроблено метод «плаваючих навантажень», який дав змогу при довільних навантаженнях визначати з високою точністю в діапазоні НВЧ систему нестандартних параметрів чотириполіусника, достатню для розрахунку більшості лінійних електронних схем.

Розроблено методику чисельної перевірки результатів експерименту та оцінки адекватності запропонованих методів.

Розроблено алгоритм визначення імітансних параметрів чотириполіусника.

Одержані результати дозволяють використовувати розроблений метод при проектуванні та розробці електронної апаратури для вимірювання параметрів схем у робочому діапазоні частот.