

**Видмиш А.А.**

к.т.н., доцент

**Возняк О.М.**

к.т.н., доцент

**Замрій М.А.**

магістрант

**Вінницький національний  
аграрний університет****Vydmysh A.****Voznyak O.****Zamrii M.****Vinnitsia National Agrarian  
University****УДК 621.391.837:681.3****DOI: 10.37128/2306-8744-2020-3-3****РОЗРОБКА СПОСОБУ  
ВИЗНАЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНО  
ДОСЯЖНОГО КОЕФІЦІЄНТА  
ПІДСИЛЕННЯ (ПЕРЕДАЧІ)  $K_{ms}$** 

Підвищення рівня напівпровідникових приладів, удосконалення їх характеристик суттєво впливає на потенційну стійкість у широкому діапазоні частот. Класичні методи і стандартна вимірювальна апаратура не розраховані на вимірювання параметрів потенційно нестійких транзисторів. Вимірювальні системи неконтрольовано збуджуються, що збільшує похибку вимірювання. Тому нині стоїть актуальна задача вимірювання параметрів, як транзисторів зокрема, так і чотириполосників взагалі, у частотному діапазоні потенційної нестійкості.

Тактова частота, на якій працює сучасна комп'ютерна техніка, впритул підійшла до діапазону НВЧ (надвисоких частот), що робить проблему вимірювання та розрахунку різних функціональних вузлів комп'ютера досить актуальною.

Розробка нових методів та засобів вимірювання параметрів потенційно нестійких чотириполосників у діапазоні НВЧ є актуальним науковим напрямком, який дозволяє значно підвищити точність їх вимірювання на стандартній апаратурі.

Проведені дослідження та розроблена методика дозволяють підвищити точність вимірювання параметрів чотириполосників та забезпечити стабільність експериментальної установки при вимірюванні параметрів будь-якого чотириполосника. Запропоновані методи більш ефективні та вирішують проблему вимірювання S-параметрів потенційно нестійких чотириполосників в діапазоні НВЧ.

Параметри чотириполосника мають розмірності елементів стандартних W-параметрів, їхні вимірювання виконуються в діапазоні НВЧ із похибкою менше 5%, і в меншому ступені залежить від коефіцієнта стійкості  $K_{свн}$  вимірювального тракту, ніж при вимірюванні S-параметрів.

При вимірюванні параметрів чотириполосника немає необхідності використовувати режими КЗ і ХХ або робити вимірювання при узгодженому вимірювальному тракту, що дозволяє підвищити точність вимірювання та забезпечити стійкість при вимірюванні потенційно нестійких чотириполосників з  $K_c > 0$ .

**Ключові слова:** коефіцієнт підсилення, чотириполосник, імітанс, W-параметри, u-параметри, вимірювання, похибка вимірювання

**Вступ.** При описі чотириполосника з погляду енергетичних властивостей звичайно використовують дві характеристики підсилення потужності -робочий  $K_p$  і номінальний  $K_{pn}$  коефіцієнти підсилення (передачі) потужності [1].

Робочий коефіцієнт підсилення потужності дорівнює відношенню потужності  $P_a$ , що виділяється в дійсній складовій імітанса навантаження  $W_n$ , до потужності  $P_{вх}$ , яка підводиться до входу чотириполосника.



Розглянемо узагальнену структурну схему вимірювання коефіцієнтів передачі активного чотириполюсника (рис.1).

Якщо  $U_1$  - амплітуда вхідної напруги, то [1]

$$P_{вх} = 0.5U_1^2 \operatorname{Re}W_{вх}, \quad (1)$$

де  $W_{вх}$  - вхідний імітанс чотириполюсника.

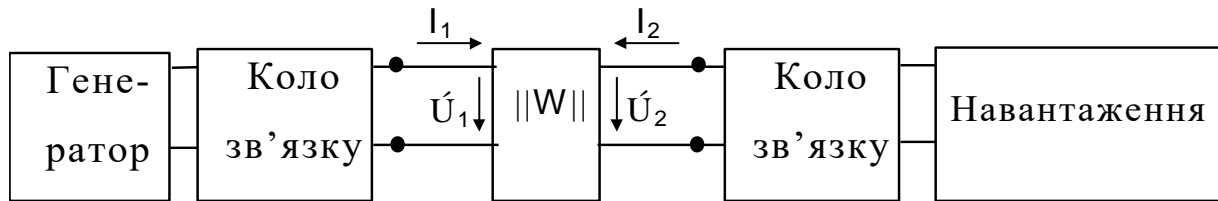


Рис. 1. Узагальнена схема вимірювання коефіцієнтів передачі активного чотириполюсника

Потужність, що виділяється в  $\operatorname{Re}W_H$  і  $\operatorname{Im}W_H$ . Продиференціювавши вираз (5) навантаження :

$$P_H = 0.5U_H^2 \operatorname{Re}W_H \quad (2)$$

де  $U_H$  - амплітуда напруги на навантаженню;

$W_H$  - імітанс навантаження.

Номинальний коефіцієнт підсилення потужності дорівнює відношенню потужності  $P_H$ , що виділяється в дійсній складовій імітанса навантаження, до номінальної потужності генератора  $P_{гн}$ , що дорівнює потужності, яка віддається генератором в узгоджене навантаження (вхідний імітанс активного чотириполюсника) [1]

$$P_{гн} = \frac{I_2^2}{8 \operatorname{Re}W_2} \quad (3)$$

де  $I_2$  - амплітуда струму;

$W_2$  - імітанс генератора.

Величини  $K_p$  і  $K_{рн}$  - інваріантні, їхні чисельні значення не залежать від вибору системи параметрів чотириполюсника, тому можна їх записати в узагальнених  $W$ -параметрах [1]:

$$K_p = \frac{P_H}{P_{вх}} = \frac{|W_{21}|^2 \operatorname{Re}W_H}{|W_{22} + W_H|^2 \operatorname{Re}W_{вх}}, \quad (4)$$

$$K_{рн} = \frac{4|W_{21}|^2 \operatorname{Re}W_2 \operatorname{Re}W_H}{\left| (W_{11} + W_2)(W_{22} + W_H) - W_{12}W_{21} \right|^2} = \frac{P_H}{P_{гн}} \quad (5)$$

З формули (4) випливає, що робочий коефіцієнт підсилення потужності  $K_p$  є функцією

$$\frac{\partial K_p}{\partial \operatorname{Re}W_H} = 0, \quad \frac{\partial K_p}{\partial \operatorname{Im}W_H} = 0, \quad (6)$$

знайдемо значення  $\operatorname{Re}W'_H$  та  $\operatorname{Im}W'_H$ , при яких  $K_p$  максимальний:

$$\operatorname{Re}W'_H = \frac{|W_{12}W_{21}| \sqrt{K_{с.вн}^2 - 1}}{2 \operatorname{Re}W_{11}}, \quad (7)$$

$$\operatorname{Im}W'_H = \frac{\operatorname{Im}(W_{12}W_{21})}{(2 \operatorname{Re}W_{11})} - \operatorname{Im}W_{22}. \quad (8)$$

Підставивши вирази (7) і (8) у (4), одержимо вираз для максимального коефіцієнта підсилення потужності:

$$K_{рп} = \frac{\frac{|W_{21}|}{|W_{12}|}}{\left( \sqrt{K_{с.вн}^2 - 1} + K_{с.вн} \right)}. \quad (9)$$

Як видно з (9),  $K_{рп}$  може бути реалізований при  $K_{с.вн} \geq 1$ . Звідси випливає, що максимально досяжний коефіцієнт стійкого підсилення (при  $K_{с.вн}=1$ ) дорівнює

$$K_{mS} = \frac{|W_{21}|}{|W_{12}|} \quad (10)$$



**Постановка задачі.** Максимально досяжний коефіцієнт стійкого підсилення (передачі) на межі стійкості чотириполюсника  $K_{mS}$  характеризує його потенційні підсилувальні можливості, визначає величини номінального коефіцієнта передачі  $K_{PH}$  [1] і коефіцієнта невзаємності [2]  $K_H = K_{2mS}$  в області стійкості.

Відомий спосіб визначення цього коефіцієнта за результатами вимірювання параметрів провідності прямої  $y_{21}$  і зворотної  $y_{12}$  передачі чотириполюсника [3]

$$K_{mS} = \left| \frac{y_{21}}{y_{12}} \right| \quad (11)$$

Інший спосіб базується на вимірюванні потужностей  $P_1$  і  $P_2$  сигналу, які виділяються в дійсну складову провідності навантаження за умови постійної потужності сигналу генератора і рівності опору генератора опорів навантаження [4]:

$$K_{mS} = \sqrt{\frac{P_1}{P_2}} \quad (12)$$

Недоліком першого способу є його низька точність у діапазоні високих частот, пов'язана з великою похибкою вимірювання  $y$ -параметрів транзисторів. Наприклад, при використанні приладу Л2-8 на частоті 60 МГц ця похибка складає 20%.

Загальним недоліком відомих способів є можливість появи неконтрольованих збуджень експериментальної установки при вимірюванні параметрів чотириполюсника внаслідок наявності зворотної зв'язок і підсилувальних властивостей ( $y_{21} \neq 0$ ,  $y_{12} \neq 0$ ). Все це вносять додаткові похибки в результат вимірювання. Найбільше наочно це видно при вимірюваннях у діапазоні частот, де запас стійкості  $K_{свн} < 1$  [5]. Тому, стоїть задача, підвищити точність визначення параметрів потенційно нестійких чотириполюсників і забезпечити стійкість роботи вимірювальної установки.

**Реалізація методу.** Для вирішення цієї задачі пропонується використовувати вимірювальну установку, структурна схема якої подана на рис.2. [6]. Відомо, що якщо підключити між спільною шиною чотириполюсника і спільною шиною вимірювальної установки повний опір  $Z$ ,  $y$ -параметри ( $W$ -параметри в загальному випадку) заново отриманого чотириполюсника набудуть виду [7]:

$$Y_{12} = \frac{(y_{12} - Z\Delta y)}{(1 + Z\Sigma y)};$$
$$Y_{21} = \frac{(y_{21} - Z\Delta y)}{(1 + Z\Sigma y)}, \quad (13)$$

де

$$\Delta y = y_{11}y_{22} - y_{12}y_{21},$$

$$\Sigma y = y_{11} + y_{12} + y_{21} + y_{22}.$$

Підберемо такий повний опір  $Z$ , що дозволить компенсувати деякі параметри. Нехай  $Z_1$  буде рівний

$$Z_1 = \frac{y_{21}}{\Delta y}. \quad (14)$$

Тоді, підставивши (14) у вираз (13), одержимо, що  $y_{21} = 0$ . Це відповідає нульовому значенню коефіцієнта прямої передачі чотириполюсника по потужності.

У випадку зміни повного опору  $Z$  до величини

$$Z_2 = \frac{y_{12}}{\Delta y} \quad (15)$$

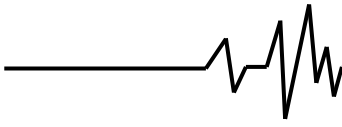
провідність  $y_{12} = 0$ . Це відповідає нульовому значенню коефіцієнта зворотної передачі знов утвореного чотириполюсника по потужності [6].

Візьмемо відношення (14) до (15) і, співставивши з (11), одержимо:

$$\left| \frac{Z_1}{Z_2} \right| = \left| \frac{y_{21}}{y_{12}} \right| = K_{mS} \quad (16)$$

З цього виразу очевидно, що шляхом вимірювання відношення значень повних опорів  $Z_1$  і  $Z_2$  у колі спільного виводу чотириполюсника, які забезпечують нейтралізацію, відповідно, коефіцієнтів зворотної і прямої передачі вимірювального кола, можливе визначення максимально досяжного коефіцієнта  $K_{mS}$  передачі на межі стійкості чотириполюсника ( $K_{свн} = 1$ ).

На основі вищевказаних виразів видно перевагу запропонованого способу визначення максимально досяжного коефіцієнта підсилення (передачі)  $K_{mS}$ . Відсутня передача потужності сигналу при вимірюванні через досліджуваний чотириполюсник від генератора в індикатор ( $y_{12} = 0$ ,  $y_{21} = 0$ ), що не призводить до самозбудження



вимірювальної установки в результаті впливу внутрішнього зворотного зв'язку чотириполюсника, чим забезпечується стійкість вимірювальної установки (теоретичне значення інваріантного коефіцієнта стійкості  $K_c \rightarrow 0$ ), що підвищує точність вимірювання за рахунок неможливості неконтрольованого самозбудження. Крім того, результат вимірювання не залежить від імітанса генератора і навантаження, що виключає складову методичної похибки вимірювання  $K_{ms}$  за рахунок невиконання умови  $Z_r = Z_n - \text{const}$ , присутню у відомих методах вимірювання[4].

Реалізація методу можлива шляхом використання вимірювальної установки, структурна схема якої зображена на рис.2.

До складу вимірювальної установки входять: вимірювальний генератор  $\Gamma$ ; комутатори  $K_1$  і  $K_2$ ; індикатор потужності ІП; досліджуваний чотириполюсник  $||W||$ ; калібрований повний опір  $Z$ .

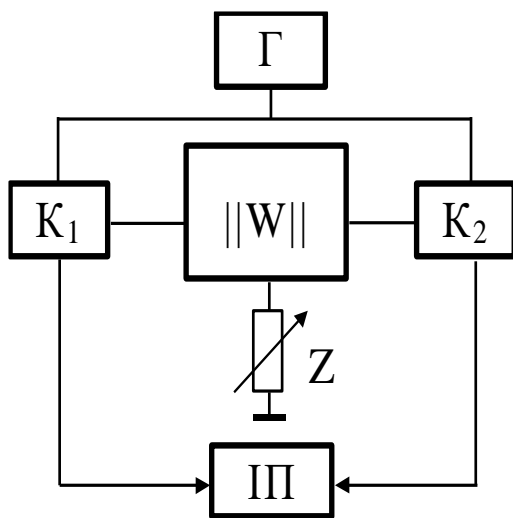


Рис. 2. Структурна схема вимірювальної установки визначення  $K_{ms}$

У якості каліброваного повного опору  $Z$  використовується коло, що складається з узгоджувачого трансформатора типу Э1-46, взятого з комплексу приладу Х5-12, навантаженого на електрично керований опір, зібраний за схемою «індуктивного транзистора» [8]. В експерименті використовується індикатор і генератор панорамного вимірювача комплексних коефіцієнтів передачі Р4-11.

Процес вимірювання ґрунтується на виразі (16). За допомогою комутаторів  $K_1$  і  $K_2$  вимірювальна установка (рис.2.) встановлюється в режим вимірювання передачі потужності в прямому напрямку. Далі йде настроювання повного опору  $Z$  до величини  $Z_1$  і фіксування цієї величини, що відповідає нульовому значенню коефіцієнта передачі ( $y_{21} = 0$ ) у прямому напрямку. При цьому система, що складається з

досліджуваного чотириполюсника та опору  $Z$ , не передає потужність у навантаження. Це фіксується нульовим значенням показань ІП.

Процес вимірювання повторюється, із тієї різницею, що нульове значення коефіцієнта передачі по потужності встановлюється для зворотного напрямку ( $y_{12} = 0$ ). При цьому фіксується величина повного опору  $Z_2$ .

Вимірювання і визначення за такою методикою  $K_{ms}$  дозволяє виключити з вимірювального процесу похибки, властиві методам вимірювання, що використовують режими короткого замикання або холостого ходу й узгоджених навантажень, робити вимірювання характеристик напівпровідникових приладів за результатами непрямих вимірювань у НВЧ діапазоні. Цей метод може бути використаний для визначення максимально досяжного коефіцієнта передачі на межі стійкості будь-якого активного чотириполюсника, що може бути описаний системою  $W$ -параметрів.

#### Експериментальна перевірка.

Експериментальні дослідження проводилися за допомогою установки, структурна схема якої показана на рис.2. Були використані індикатор і генератор панорамного вимірювання комплексних коефіцієнтів передачі Р4-11.

На рис.3.наведено результати експериментальних досліджень  $K_{ms}$  біполярних транзисторів. З рис.3. видно, що характер зміни максимально досяжного коефіцієнта передачі  $K_{ms}$  у залежності від частоти однаковий для всіх транзисторів і має розкид у межах 10%.

Також проводилося визначення коефіцієнта  $K_{ms1}$  чотириполюсника, утвореного транзистором КТ-3115 ( $f_{\text{вим}} = 2\text{ГГц}$ ,  $I_E = 5\text{мА}$ ,  $U_{КБ} = 5\text{В}$ ) із різними схемами його включення. Цей же коефіцієнт  $K_{ms2}$  визначався способом, описаним у [4].

З метою порівняльної оцінки похибки вимірювання, отримані результати використовувалися для розрахунку номінального коефіцієнта підсилення чотириполюсника [3]

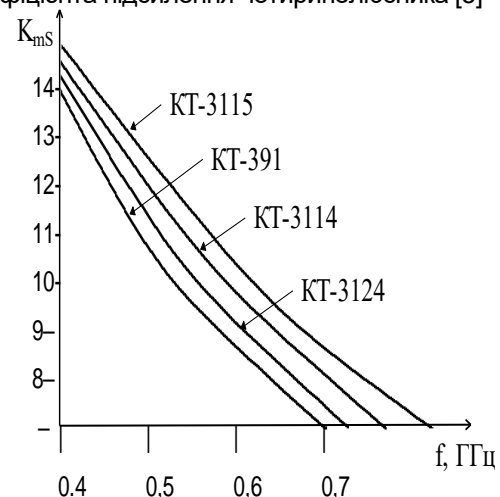


Рис. 3. Частотна залежність  $K_{ms}$



$$K_{ном.2.1p} = K_{mS} \left( K_{с.вн}, - \sqrt{K_{с.вн}^2 - 1} \right).$$

Величина  $K_{с.вн}$  визначалася імітансним методом [9]. Отримані значення  $K_{ном.2.1p}$  порівнювалися з експериментальними значеннями  $K_{ном.2.1c}$  і оцінювалися похибка

$$K_{ном.2.1p} = K_{mS} \left( K_{с.вн} - \sqrt{K_{с.вн}^2 - 1} \right).$$

Результати досліджень показали, що порівняно з відомим способом, забезпечується зменшення похибки вимірювання на 6.1% і стійкість вимірювальної установки у всіх режимах, включаючи режим негативного запасу стійкості.

Розроблений метод дозволяє провести експериментальні дослідження частотної залежності  $K_{mS}$  на межі стійкості чотириполюсника, утвореного біполярним (КТ-3115) і польовим (ЗПЗ21) транзисторами, включеними відповідно за схемою зі спільним емітером і спільним витоком [10]. Одночасно контролювався внутрішній інваріантний коефіцієнт стійкості транзистора. Дослідження показали, що із зростанням частоти в діапазоні 0,1-1,0 ГГц як для польового, так і для біполярного транзистора спостерігається зміна  $K_{mS}$  із крутизою (1.5-2)дБ/Гц. Характер зменшення  $K_{mS}$  не залежить від запасу стійкості транзистора.

**Висновки.** В результаті проведених досліджень розроблена методика, що дозволяє підвищити точність вимірювання параметрів чотириполюсника, забезпечує стабільність експериментальної установки і вимірювання параметрів будь-якого чотириполюсника. Запропоновані методи найбільш ефективні в діапазоні НВЧ, де так дотепер і не вирішено проблему вимірювання S-параметрів потенційно нестійких чотириполюсників.

Параметри чотириполюсника мають розмірність, що відповідає розмірності елементів стандартних W-параметрів, але їхні вимірювання проводяться в діапазоні НВЧ із похибкою менше 5%, і в меншому ступені залежить від  $K_{свн}$  вимірювального тракту, ніж при вимірюванні S-параметрів.

Для їх вимірювання немає необхідності використовувати режими КЗ і ХХ або робити вимірювання при узгодженому вимірювальному тракті, що також підвищує точність вимірювання і забезпечує стійкість при вимірюванні потенційно нестійких чотириполюсників з  $K_c > 0$ .

#### Список використаних джерел

1. Богачев В.М., Никифоров В.В. Транзисторные усилители мощности. –М.: Энергия. –1978. –344 с.

2. Возняк О.М., Видмиш А.А., Штуць А.А. Дослідження графоаналітичного методу визначення стандартних W- параметрів чотириполюсника Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. Всеукраїнський науково - технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» Вінниця, 2019. -№4 (107)

3. Semenov, A., Osadchuk, O., Semenova, O., Vasilevskiy, O., Voznyak, O. Signal Statistic and Informational Parameters of Deterministic Chaos Transistor Oscillators for Infocommunication Systems International Scientific-Practical Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2019 – Proceedings

4. A A Semenov, O M Voznyak, A A Vydmysh, O O Semenova Differential method for measuring the maximum achievable transmission coefficient of active microwave quadripole. Journal of Physics: Conference Series. Volume 1210, 2019. Paper 012125. pp. 1-9.

5. Куликовский А.А. Устойчивость активных линейризованных цепей с усилительными приборами новых типов. –М.: Госэнергоиздат, –1962. –192 с.

6. Філінюк М.А., Возняк О.М. Методи визначення параметрів потенційно нестійких чотириполюсників // Вісник ВПІ. –1995. –№ 1. –С. 48-52.

7. Транзисторы. Параметры, методы измерений и испытаний / М.Г. Агапонов, В.Л. Аронов, И.Г. Бергельсон и др.; Под редакцией И.Г. Бергельсона, Ю.А. Коменецкого, Ю.А. Николаевского. –М.: Советское радио, –1968. –503 с.

8. Dill H. Inductive Semiconductor elements and their application in band-pass amplifier. –IRE Trans. –1961. –v. MIL. –5, № 53. –p. 235–250.

9. Semenov, A.O., Voznyak, O.M., Osadchuk, O.V., Klimek, J., Orazalieva, S. Development of a non-standard system of microwave quadripoles parameters Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering

10. Возняк О.М., Штуць А.А. Розрахунок нестандартної системи W-параметрів біполярних транзисторів. Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. Всеукраїнський науково - технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» Вінниця, 2020

#### References

1. Bohachev, V. M., Nykyforov, V. V. (1978). *Tranzystornye Usylytely Moshchnosti* [Transistor power amplifiers]. M. Enerhyia. [in Russian]

2. Vozniak, O. M., Vydmysh, A. A., Shtuts, A. A. (2019). *Doslidzhennia hrafoanalitichnoho metodu vyznachennia standartnykh w-parametriv*



chotyrypoliusnyka. [Investigation of the graphoanalytical method of determining the standard w-parameters of the four-pole]. *Engineering, Energy, Transport AIC*. Vinnitsa, 4(107), 67–78. [in Ukrainian]

3. Semenov, A., Osadchuk, O., Semenova, O., Vasilevskiy, O., Voznyak, O. (2019). Signal statistic and informational parameters of deterministic chaos transistor oscillators for infocommunication systems. *International scientific-practical conference on problems of infocommunications science and technology, PIC S and T*. Proceedings [in English]

4. Semenov, A. A., Voznyak, O. M., Vydmysh, A. A., Semenova, O. O. (2019). Differential method for measuring the maximum achievable transmission coefficient of active microwave quadripole. *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 1210,. Paper 012125. 1-9. [in English]

5. Kulykovskiy, A. A. (1962). *Ustoichyvost aktyvnykh lynearyzovannykh tsepei s usylytelnyymy pryboramy novykh typov*. M. Hosenerhoizdat. [in Russian]

6. Filinyuk M. A., Voznyak O. M. (1995). Metody vyznachennya parametriv potencijno nestijkyx chotyrypolyusnykiv. *Visnyk VPI*. 1. 48–52. [in Ukrainian]

7. Agaponov, M. G., Aronov, V. L., Bergel'son, I. G. (1968). *Tranzistory. Parametry, metody izmerenij i ispytaniy*. M.: Sovetskoe radio. [in Russian]

8. Dill, H. (1961). Inductive Semiconductor elements and their application in band-pass amplifier. *IRE Trans. v. MIL*, 5(53), 235–250. [in English]

9. Semenov, A. O., Voznyak, O. M., Osadchuk, O. V., Klimek, J., Orazalieva, S. Development of a non-standard system of microwave quadripoles parameters. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. [in English]

10. [Voznyak, O., Shtuts, A. \(2020\). Calculation of non-standard w-parameters of four-pole on bipolar transistors. \*Engineering, Energy, Transport AIC\*. Vinnitsa, 2\(109\). 122–128 \[in Ukrainian\]](#)

#### DEVELOPMENT OF A METHOD FOR DETERMINING THE MAXIMUM ACHIEVABLE GAIN (TRANSMISSION) $K_{ms}$

Increasing the level of semiconductor devices, improving their characteristics significantly affects the potential stability in a wide range of frequencies. Classical methods and standard measuring equipment are not designed to measure the parameters of potentially unstable transistors. Measuring systems are excited uncontrollably, which increases the measurement error. Therefore, today there is an urgent task of measuring the parameters of both transistors in particular and quadripoles in general, in the frequency range of potential instability.

The clock frequency at which modern

computer equipment works is close to the microwave range (ultrahigh frequencies), which makes the problem of measuring and calculating the various functional units of the computer quite relevant.

The development of new methods and means of measuring the parameters of potentially unstable quadripoles in the microwave range is an important scientific field that can significantly improve the accuracy of their measurement on standard equipment.

The conducted researches and the developed technique allow to increase accuracy of measurement of parameters of four-poles and to provide stability of experimental installation at measurement of parameters of any four-pole. The proposed methods are more efficient and solve the problem of measuring the S-parameters of potentially unstable quadripoles in the microwave range.

The parameters of the quadripole have the dimensions of the elements of standard W-parameters, their measurements are performed in the microwave range with an error of less than 5%, and to a lesser extent depends on the coefficient of stability of the measuring path than when measuring S-parameters.

When measuring the parameters of the quadripole, there is no need to use the modes of short circuit and XX or make measurements with a coordinated measuring path, which allows to increase the measurement accuracy and ensure stability when measuring potentially unstable quadripoles with  $K_s > 0$ .

**Keywords:** gain, four-pole, immittance, W-parameters, y-parameters, measurement, measurement error.

#### РАЗРАБОТКА СПОСОБА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСИМАЛЬНО ДОСТИЖИМОГО КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ (ПЕРЕДАЧИ) $K_{ms}$

Повышение уровня полупроводниковых приборов, совершенствование их характеристик существенно влияет на потенциальную устойчивость в широком диапазоне частот. Классические методы и стандартная измерительная аппаратура не рассчитаны на измерения параметров потенциально неустойчивых транзисторов. Измерительные системы неконтролируемо возбуждаются, что увеличивает погрешность измерения. Поэтому сейчас стоит актуальная задача измерения параметров, как транзисторов в частности, так и четырехполюсников вообще, в частотном диапазоне потенциальной неустойчивости.

Таковая частота, на которой работает современная компьютерная техника, вплотную подошла к диапазону СВЧ (сверхвысоких частот), что делает проблему измерения и расчета различных функциональных узлов компьютера весьма актуальной.



Разработка новых методов и средств измерения параметров потенциально неустойчивых четырехполюсников в диапазоне СВЧ является актуальным научным направлением, позволяет значительно повысить точность их измерения на стандартной аппаратуре.

Проведенные исследования и разработанная методика позволяют повысить точность измерения параметров четырехполюсников и обеспечить стабильность экспериментальной установки при измерении параметров любого четырехполюсника. Предложенные методы более эффективны и решают проблему измерения S-параметров потенциально неустойчивых четырехполюсников в диапазоне СВЧ.

Параметры четырехполюсника имеют размерности элементов стандартных W-

параметров, их измерения выполняются в диапазоне СВЧ с погрешностью менее 5%, и в меньшей степени зависит от коэффициента устойчивости  $K_{свн}$  измерительного тракта, чем при измерении S-параметров.

При измерении параметров четырехполюсника нет необходимости использовать режимы КЗ и ХХ или делать измерения при согласованном измерительном тракте, что позволяет повысить точность измерения и обеспечить устойчивость при измерении потенциально неустойчивых четырехполюсников с  $K_c > 0$ .

**Ключевые слова:** коэффициент усиления, четырехполюсник, иммитанс, W-параметры, u-параметры, измерения, погрешность измерения

### **Відомості про авторів**

**Видмиш Андрій Андрійович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Електроенергетики, електротехніки та електромеханіки» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, email: [andrijvydmysh1966@gmail.com](mailto:andrijvydmysh1966@gmail.com)).

**Возняк Олександр Миколайович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Електроенергетики, електротехніки та електромеханіки» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, email: [alex.voz1966@gmail.com](mailto:alex.voz1966@gmail.com)).

**Замрій Михайло Анатолійович** – студент 5 курсу спеціальності «208 Агроінженерія», Інженерно-технологічного факультету Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: [zamrij99@gmail.com](mailto:zamrij99@gmail.com)).

**Выдмыш Андрей Андреевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроэнергетики, электротехники и электромеханики» Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, email: [andrijvydmysh1966@gmail.com](mailto:andrijvydmysh1966@gmail.com)).

**Возняк Александр Николаевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроэнергетики, электротехники и электромеханики» Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, email: [alex.voz1966@gmail.com](mailto:alex.voz1966@gmail.com)).

**Замрий Михаил Анатольевич** – студент 5 курса специальности «208 Агроинженерия», Инженерно-технологического факультета Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, e-mail: [zamrij99@gmail.com](mailto:zamrij99@gmail.com)).

**Vydmysh Andriy** – candidate of technical sciences (Ph.D in Engineering), Associate Professor of the Department of Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics of Vinnitsa National Agrarian University (3 Soniachna St., Vinnitsa, 21008, Ukraine, email: [andrijvydmysh1966@gmail.com](mailto:andrijvydmysh1966@gmail.com)).

**Voznyak Oleksandr** – candidate of technical sciences (Ph.D in Engineering), Associate Professor of the Department of Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics of Vinnitsa National Agrarian University (3 Soniachna St., Vinnitsa, 21008, Ukraine, email: [andrijvydmysh1966@gmail.com](mailto:andrijvydmysh1966@gmail.com)).

**Zamrii Mykhailo** – 5th year student of specialty 208 of Agroengineering, Faculty of Engineering and Technology of Vinnytsia National Agrarian University (str. Sonyachna, 3, Vinnytsia, 21008, Ukraine, email: [zamrij99@gmail.com](mailto:zamrij99@gmail.com)).