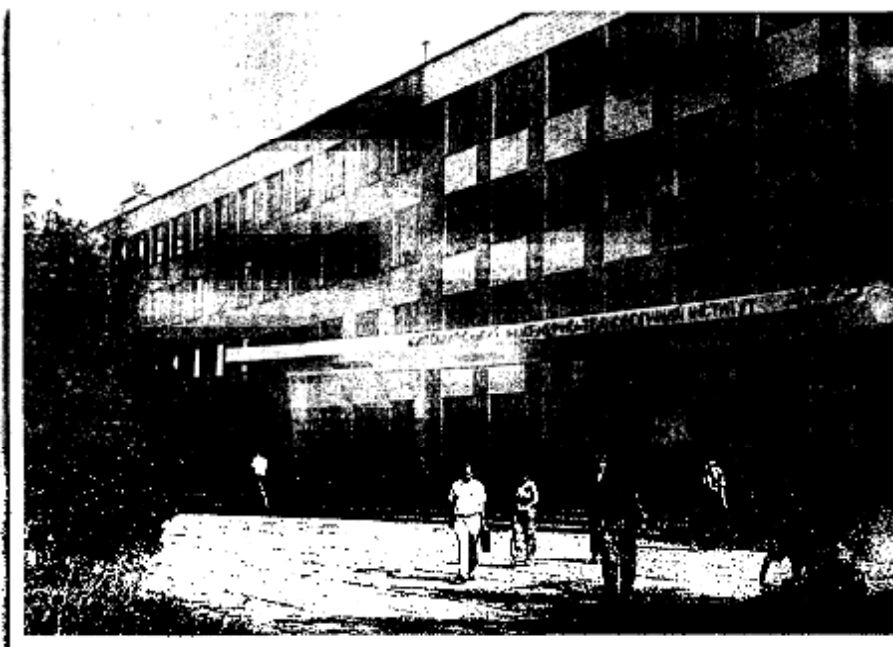


# ВІСНИК

ЖИТОМИРСЬКОГО  
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО  
ІНСТИТУТУ

## JOURNAL

ZHYTOMYR INSTITUTE OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY



*Спеціальний*  
**ВИПУСК**

Технічні  
науки

2002

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЖИТОМИРСЬКИЙ ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

**ВІСНИК**  
**Житомирського**  
**інженерно-технологічного**  
**інституту**

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ  
ЗАСНОВАНИЙ У КВІТНІ 1994 Р.  
ВИХОДИТЬ ЧОТИРИ РАЗИ НА РІК

**Технічні науки**

Друкується за рішенням  
Вченої ради Житомирського інженерно-  
технологічного інституту  
(протокол № 2 від 30.09.2002 р.)

Житомир  
2002

**ВІСНИК  
Житомирського  
інженерно-технологічного  
інституту**

---

**Спеціальний випуск**

---

**ЗМІСТ**

**РАДІОТЕХНІКА І ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ**

<b>Білоцький А.И., Коваленко М.В.</b> Власні шуми інваріантних антенних решіток .....	3
<b>Гаврилов Д.В., Ліщенко С.А., Філіпюк М.А.</b> Методи і засоби вимірювання параметрів безструктурних моделей багатоелектрошвидкісних напівпровідникових структур .....	6
<b>Іщериakov С.М., Казок Т.П.</b> Взаємкореляційні властивості ансамблів багаторідинних М-тестових сигналів .....	11
<b>Іщериakov С.М., Федорович Ю.С.</b> Комп'ютерне моделювання взаємкореляційних методів приймання фазоманіпульованих гармонічних сигналів .....	16
<b>Коваленко М.В., Романко Р.М.</b> Аналіз радіосигналів із застосуванням вейвлет-перетворення .....	21
<b>Цилюренко В.Г.</b> Частотне кореляційне радіокодування .....	28

**МАТЕМАТИЧНЕ І КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ**

<b>Алмазов С.Л., Баранов В.Л., Баранов Г.Л.</b> Диференціальні перетворення варіаційних задач для синтезу замкнутих законів оптимального керування рухомими об'єктами .....	32
<b>Букасов М.М., Комар М.О., Теленник С.Ф.</b> Програмно-апаратний комплекс проектування, моделювання та аналізу комп'ютерних мереж і систем передачі даних .....	37
<b>Вінник В.Ю.</b> Композиційна семантика мови Рефал .....	44
<b>Войцех О.А., Хоншаба О.М.</b> Розробка мультиагентних інтелектуальних систем у міжнародній мережі Internet .....	53
<b>Гільманов Р.Р., Юхимчик С.В.</b> Нейромережевий підхід до створення системи контролю працездатності одного класу нелінійних нестационарних систем .....	59
<b>Грабар І.Г., Кубрак Ю.А.</b> Дослідження деформованих перколяційно-фрактальних систем струмом високої частоти .....	63
<b>Давигора В.М., Кореньков В.М.</b> Приклад використання процедур синтезу технологічно доцільних порядків послідовно-паралельного складання виробів .....	68
<b>Данильченко О.М., Защинас С.М.</b> Оптимізація використання кластерних систем .....	74
<b>Дозоров Д.В.</b> Метод прогнозування терміну зберігання хімічних джерел струму .....	78
<b>Засядько А.А.</b> Методика гнучкої адаптації в задачах багатокритеріальної оптимізації .....	81
<b>Івахненков Ю.В., Кирилович В.А., Сачук І.В.</b> Автоматизоване формування траєкторії переміщення схвата агрегатно-модульних громовислових робіт за мінімумом точок позиціонування .....	85
<b>Курішій М.С., Романюк О.Н.</b> Математичні моделі пікселів для задач оптимізації .....	93
<b>Мотрук В.М., Юрчишин В.М.</b> Особливості формування механізму логічного виведення при виборі методики інтенсифікації видобутку нафти .....	98
<b>Тролякський О.І.</b> Особливості математичної моделі етатиграфічної шкали України .....	101
<b>Фаст В.М.</b> Моделювання геометрії повітроводів систем примусової вентиляції для роздачі повітря за заданим законом .....	103
<b>Фролова О.Г.</b> Метод багатокритеріального синтезу замкнених законів керування на основі зміщених диференціальних перетворень .....	105
<b>Янчук В.М.</b> Автоматизація формування математичних моделей міграції радіонуклідів в лісових екосистемах .....	112

УДК 621.317

Д.В. Гаврілов, аспір.  
С.А. Ліщенко  
М.А. Філінюк, д.т.н., проф.  
Вінницький державний технічний університет

### МЕТОДИ І ЗАСОБИ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ БЕЗСТРУКТУРНИХ МОДЕЛЕЙ БАГАТОЕЛЕКТРОДНИХ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ СТРУКТУР

*Розглядаються методи вимірювання параметрів безструктурних моделей багатоелектродних напівпровідникових структур, які, в свою чергу, можна розділити на стандартні методи вимірювання параметрів у режимі короткого замикання (КЗ) і холостого ходу (ХХ), стандартні методи вимірювання параметрів при фіксованому навантаженні і нестандартні методи вимірювання параметрів.*

Якість проектування різних видів електронних пристроїв значною мірою залежить від точності їх математичних моделей. Застосовувані в таких пристроях багатоелектродні напівпровідникові структури (біполярні і польові транзистори, тиристори, двобазові діоди тощо) прийнято описувати системами параметрів, вимірюваних як на постійному струмі, так і в діапазоні частот (рис. 1).

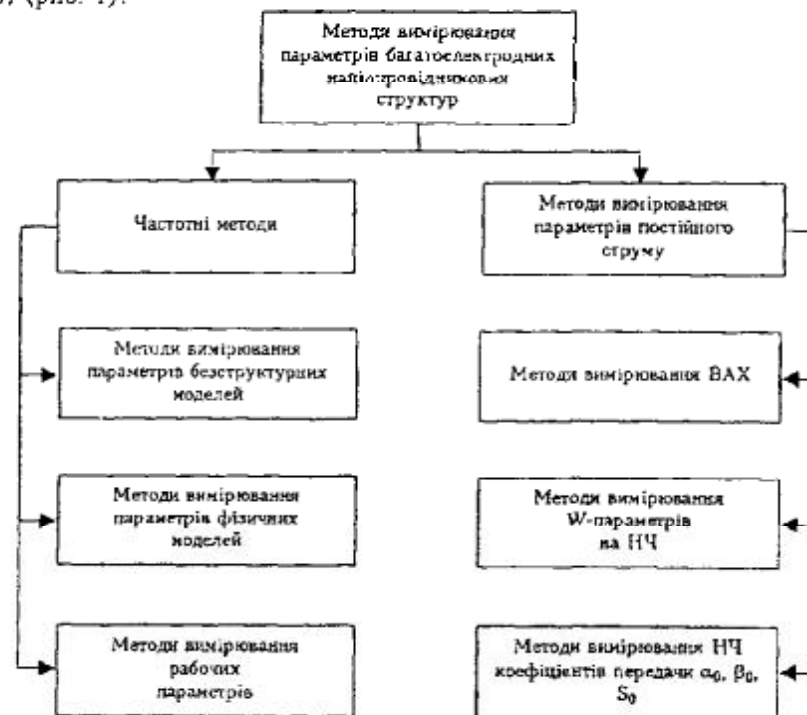


Рис. 1. Узагальнена класифікація методів вимірювання параметрів багатоелектродних напівпровідникових структур

На постійному струмі найчастіше вимірюють вольт-амперні характеристики (ВАХ), низькочастотні значення імітансних W-параметрів (коли вони описуються дійсними числами), а також низькочастотні коефіцієнти передачі ( $\alpha_0$ ,  $\beta_0$ ,  $S_0$  і ін.). Методи й апаратура, використовувані для вимірювання цих параметрів, є "класичними" і широко описані в різних літературних джерелах [1-3] і стандартизовані.

Частотні методи вимірювань можна розділити на три групи. Це методи вимірювання параметрів безструктурних моделей, методи вимірювання параметрів фізичних моделей і методи вимірювання робочих параметрів.

Усі методи вимірювання параметрів безструктурних моделей багатоелектродних напівпровідникових структур можна розділити на стандартні методи вимірювання параметрів у

режимі короткого замикання (КЗ) і холостого ходу (ХХ), стандартні методи вимірювання параметрів при фіксованому навантаженні і нестандартні методи вимірювання параметрів (рис. 2).

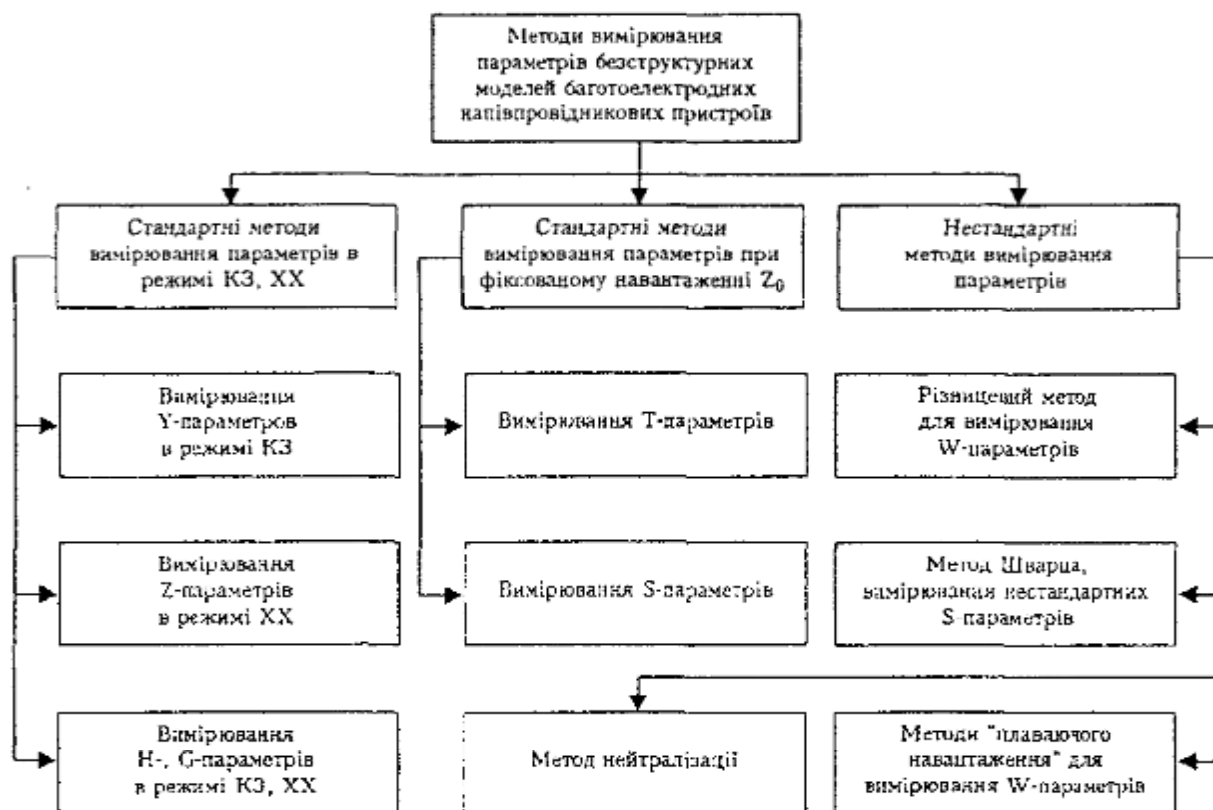


Рис. 2. Класифікація методів вимірювання параметрів безструктурних моделей багатоелектродних напівпровідникових пристроїв

Поява на початку 60-х років біполярних транзисторів, здатних підсилювати і генерувати електромагнітні коливання на частотах у декілька ГГц, поставило перед розробниками задачу вимірювання параметрів їхніх безструктурних моделей. Спроби здійснити вимірювання на цих частотах Y-, Z-, H- чи G-параметрів виявилися безуспішними в зв'язку з труднощами, а часто і неможливістю реалізації режимів КЗ чи ХХ на клеммах напівпровідникового пристрою.

З огляду на те, що в діапазоні НВЧ практика вимірювань оперує зі значеннями, що характеризують хвильовий процес (комплексні коефіцієнтами відбиття і пропускання), було запропоновано на цих частотах багатоелектродні напівпровідникові структури також описувати хвильовими параметрами. Найбільш широке застосування отримали хвильові параметри передачі (T-параметри) і хвильові параметри розсіювання (S-параметри) [4].

Перша причина значного росту похибок з ростом частоти при вимірюванні хвильових параметрів пов'язана з неможливістю забезпечити сталість хвильового опору у всіх перетинах вимірювального тракту. Наприклад, на частоті 1 ГГц при значенні неузгодженості з КСХН = 1,2 похибка вимірювання S-параметрів складає 20 % [5].

Друга причина росту похибок почала виявлятися в міру вдосконалення транзисторів і збільшення їх граничних частот. Справа полягає в тому, що "ідеальний" транзистор, що включається за схемою чотирьох полюсника, є потенційно-нестійким у широкому діапазоні частот. Але ця потенційна нестійкість залежить від значення і характеру імітансів, що підключаються до його вхідних і вихідних клем. З огляду на властивості трансформуючих довгих ліній вимірювального тракту навіть невелика неузгодженість у якомусь перетині вимірювального тракту може призвести до самозбудження вимірювальної установки (що експериментатор може і не встановити, а прийняти результат вимірювань за дійсний).

Один з можливих шляхів вирішення перерахованих вище проблем запропонований Н.З. Шварцем [6]. Ним показано, що при проектуванні НВЧ підсилювачів немає необхідності використовувати всю систему S-параметрів, а досить мати наступні параметри:  $\Gamma_{11}$ ,  $S_{12}$ ,  $S_{21}$ ,  $\Gamma_{22}$  [8], які він назвав системою нестандартних S-параметрів, вимірюваних із більшою високою точністю, ніж стандартні S-параметри.

Наступним кроком до підвищення точності вимірювання параметрів безструктурних моделей багатополієсників є використання методу "плаваючого навантаження". Справа в тому, що в основі стандартних методів вимірювання параметрів безструктурних моделей лежить одна загальна умова – сталість імітансів, що підключаються на вході чи виході чотириполієсника ( $W_G = \text{const}$ ,  $W_H = \text{const}$ ), що практично виконати неможливо. Так при вимірі у-параметрів повинна дотримуватися умова:  $Z_G = 0$  чи  $Z_H = 0$ . При вимірюванні Z-параметрів:  $Z_G = \infty$  чи  $Z_H = Z_0$ . При вимірюванні S-параметрів:  $Z_G = Z_0$ ,  $Z_H = Z_0$ , де  $Z_0$  – хвильовий опір вимірювального тракту.

У роботі [9] запропоновано непрямий метод вимірювання нестандартної системи W-параметрів чотириполієсника  $W_{11}$ ,  $W_{22}$ ,  $\text{Re}(W_{12}W_{21})$ ,  $\text{Im}(W_{12}W_{21})$ ,  $|W_{12}W_{21}|$  у НВЧ діапазоні за результатами вимірювання його входного  $W_{ex}$  і вихідного  $W_{out}$  імітансів при довільному і неконтрольованому імітансі навантаження  $W_H$  і генератора  $W_G$ . В основі цього методу лежить властивість чотириполієсника, відповідно до якого його входний  $W_{ex}$  і вихідний  $W_{out}$  імітанси залежать від реактивної складової імітанса відповідно навантаження  $\text{Im}W_H$  і генератора  $\text{Im}W_G$ , і ці залежності на комплексній площині представляють окружності [8].

Параметри імітансних окружностей визначаються шляхом вимірювання входного  $W_{ex}$  (вихідного  $W_{out}$ ) імітанса чотириполієсника при трьох довільних значеннях імітанса навантаження  $W_H$  (генератора  $W_G$ ) в області, де  $\text{Re}W_{ex} > 0$ ,  $\text{Re}W_{out} > 0$ , що забезпечує стійкість вимірювальної установки.

Розширення нестандартної системи W параметрів досягається за рахунок вимірювання максимально досяжного коефіцієнта стійкості передачі чотириполієсника  $K_{ms} = |W_{21}/W_{12}|$ , що визначається різницею методом шляхом вимірювання значень потужності сигналу, що пройшов через чотириполієсник у прямому  $P_1$  і зворотному  $P_2$  напрямку за умови сталості потужності генератора ( $P_G = \text{const}$ ) [9]. Це дозволяє додатково визначити:

$$|W_{12}| = \sqrt{K_{ms}|W_{12}W_{21}|};$$

$$|W_{21}| = \sqrt{\frac{|W_{12}W_{21}|}{K_{ms}}}.$$

Подальшим розвитком цих методів є метод нейтралізації. Для його здійснення дві клемі чотириполієсника з'єднуються разом (утвориться триполієсник) і між ними і загальною шиною включається комплексний опір  $Z$  [10].

Якщо комплексний опір  $Z$  у загальному проводі підібрано таким чином, щоб при  $Z = Z_1$  виконувалася умова

$$y_{12} = Z_1 \Delta y, \tag{1}$$

вхідна провідність знову утвореного чотириполієсника стає рівною

$$Y_{ex} = Y_{11} - \frac{Y_{12}Y_{21}}{Y_{22} + Y_H} = Y_{11}. \tag{2}$$

Якщо комплексний опір у загальному проводі підібрати таким чином, щоб при  $Z = Z_2$  виконувалася рівність

$$y_{21} = Z_2 \Delta y, \tag{3}$$

тоді вихідна провідність знову утвореного чотириполієсника стає рівною

$$Y_{out} = Y_{22} - \frac{Y_{12}Y_{21}}{Y_{11} + Y_G} = Y_{22}. \tag{4}$$

Узявши відношення (2) до (4)

$$\frac{Y_{11}}{Y_{22}} = \frac{Y_{11} + Z_1 \Delta y}{Y_{22} + Z_2 \Delta y} \tag{5}$$

і знаючи з експерименту  $y_{11}$ ,  $y_{22}$ ,  $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $Y_{ex}$  і  $Y_{out}$ , знаходимо

$$\Delta y = \frac{Y_{out}y_{11} - Y_{ex}y_{22}}{Z_2Y_{ex} - Z_1Y_{out}}.$$

підставляючи значення якого в (1) і (3), знаходимо провідності прямої  $y_{21}$  і зворотної  $y_{12}$  передачі чотириполієсника.

Виконання умов (1) і (3) забезпечує нейтралізацію зворотної і прямої передач чотириполієсника в процесі вимірювання, що гарантує стійкість вимірювальної установки

навіть у випадку повної нестійкості вимірюваного чотириполюсника. При цьому послабляються вимоги до стабільності імітансів навантаження і генератора, властиві стандартним методам, що гарантує підвищення точності вимірювань імітансних параметрів у діапазоні НВЧ.

Основними факторами нестандартних методів, що впливають на точність вимірів, є:

- похибки вимірювання вхідного (вихідного) імітанса чотириполюсника;
- похибки вимірювання потужності сигналу, що пройшов через чотириполюсник;
- точність завдання імпедансів  $Z_1$  і  $Z_2$ .

Існує різна апаратура для вимірювання вхідного (вихідного) імітанса чотириполюсника (вимірювальні лінії, вимірювальні мости, панорамні вимірювачі тощо [11]). В усіх цих приладах вимірювання зводяться до вимірювання коефіцієнта стоячої хвилі напруги (КСХН) і фази (коефіцієнта відбиття). Наприклад, коаксіальні вимірювачі імітанса до частоти 1 ГГц забезпечують вимірювання КСХН із похибкою  $\pm 7\%$  і фази  $\pm 7^\circ$  при  $\text{КСХН} < 2$ . Хвильоводні вимірювачі імітанса забезпечують до частоти 5 ГГц похибку вимірювання КСХН  $\pm 4\%$  і фазового кута  $\pm 4^\circ$  при  $\text{КСХН} \leq 2$ . Спеціальні методи калібрування дозволяють зберегти вищевказану похибку і при більш високих значеннях КСХН, що характерно для потенційно-нестійких багатополіусників.

Вимірювання імітансних  $W$ -параметрів, щоб виключити нелінійні ефекти, у більшості випадків здійснюється в режимі малого сигналу при значеннях потужності генератора порядку  $10^{-6}$ - $10^{-3}$  Вт. Існує велика кількість вимірювачів потужності таких сигналів із похибкою, що не перевищує  $\pm 10$ - $12\%$  [11].

Точність завдання імпеданса  $Z_1$  і  $Z_2$ , реалізованого у виді активного навантаження [12], визначається похибкою виміру їхнього імітанса на етапі калібрування.

#### Висновки

1. Для опису безструктурних моделей багатоелектродних напівпровідникових структур у даний час використовуються параметри, що виміряні в режимі КЗ і ХХ ( $Y$ -,  $Z$ -,  $H$ - і  $G$ -параметри), у режимі фіксованого навантаження ( $S$ - і  $T$ -параметри) і нестандартні параметри, виміряні при "плаваючому навантаженні".

2. Основні похибки вимірювання  $Y$ -,  $Z$ -,  $H$ -,  $G$ -,  $S$ - і  $T$ -параметрів у діапазоні НВЧ пов'язані з неможливістю забезпечити необхідні значення фіксованих навантажень і з потенційною нестійкістю багатоелектродних напівпровідникових структур, що призводить до неконтрольованого самозбудження вимірювальної установки.

3. Метод "плаваючого навантаження" дозволяє частково позбутися від перерахованих у п 2 похибок вимірювання імітансних  $W$ -параметрів.

4. Основна похибка вимірювання імітансних  $W$ -параметрів визначається похибкою вимірювання вхідного (вихідного) імітанса чотириполюсника. Зменшення цієї похибки може бути досягнуто переходом від вимірювання імітансів до вимірювання коефіцієнтів відбиття від входу і виходу чотириполюсника.

5. З огляду на те, що в діапазоні НВЧ розрахунок більшості електронних пристроїв здійснюється з використанням хвильових  $S$ - і  $T$ -параметрів, доцільне використання методу "плаваючого навантаження" при вимірюванні цих параметрів.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Аронов В.А., Федотов Я.А. Испытания и исследования полупроводниковых приборов. - М.: Высшая школа, 1975. - 325 с.
2. Кузнецов В.А., Долгов В.А., Коневских В.М. и др. / Под ред. Кузнецова В.А. Измерения в электронике: Справочник. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 512 с.
3. Столярский С. Измерение параметров транзисторов. - М.: Сов. радио, 1976. - 288 с.
4. Фельдштейн А.А., Явич Л.Р. Синтез четырехполюсников и восьмиполусников на СВЧ. - М.: Связь, 1971. - 388 с.
5. Мальтер Т.З. Параметры рассеяния высокочастотных транзисторов и методы их измерения // Средства связи - 1978. - № 3. - С. 29-34.
6. Шварц Н.З. Система нестандартных  $S$ -параметров. - В кн. Микроэлектроника и полупроводниковые приборы. Вып. 1 / Под ред. А.А. Васецкова и Я.А. Федотова. - М.: Сов. радио, 1976. - С. 302-310.

- 7 Філіпюк Н А Устройство для измерения полных сопротивлений многополюсников А с СССР № 1141346 А заявл 25 02 1982 опубл 23 02 1985 БИ № 7
- 8 Багачев В М Никифоров В В Транзисторные усилители мощности – М Энергия 1978 – 311 с
- 9 Філіпюк Н А Определение параметров математических моделей информационных устройств на основе вейвлетов – В кн Нейроника / Под ред Л Н Степанова – Новосибирск Наука 1995 – 315 с
- 10 Філіпюк Н А Устройство для измерения параметров матрицы Y проводимости четырехполюсника А с СССР № 1095102 А заявл 19 08 1982 опубл 30 05 1984 БИ № 20
- 11 Чернушенко А М Макоориди А В Измерение параметров электрических приборов дециметрового и сантиметрового диапазона волн – М Радио и связь 1986 – 336 с
- 12 Філіпюк М А Возняк О М Курзанов Я І Огородник О В Імпедансний пристрій Патент України на винахід № 180059 А заявл 22 03 1994 опубл 31 10 93 Бюл № 5

ІАВРІТОВ Дмитро Володимирович – аспірант Вінницького державного технічного університету

Наукові інтереси

- електроніка
- комп'ютерна та телекомунікаційне приладобудування,
- програмування

Тел (0432) 26 21 86

ФІЛІПЮК Микола Антонович – доктор технічних наук, професор Вінницького державного технічного університету

Наукові інтереси

- радіоелектроніка
- електроніка
- комп'ютерна медико-біологічна та телекомунікаційне приладобудування

Службовий тел (0432) 440075

E-mail filipuk@vntu.vinnitsa.ua

Подано 17 08 2002