

ВІСНИК

ВІННИЦЬКОГО
ПОЛІТЕХНІЧНОГО
ІНСТИТУТУ

4

2003

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ
ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВІСНИК ВІННИЦЬКОГО ПОЛІТЕХНІЧНОГО
ІНСТИТУТУ
НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

Заснований у грудні 1993 року

Виходить 6 раз на рік

4 (49) — 2003

ЗМІСТ

АВТОМАТИКА ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

- Поджаренко В. О., Кучерук В. Ю., Войтович О. П.** Контроль якості електромоторів під час їх виробовувань..... 5
- Машицький Я. О.** Порівняльний аналіз методів розпізнавання рукописних символів..... 12
- Роїк О. М.** Організація систем комбінованого діагностування з моделюванням функційних перевірок 18
- Колесницький О. К., Василюк С. А., Хіллес Шаді М.** Експериментальні дослідження оптоелектронних імпульсних нейронних елементів на біспін-приладі 24

БУДІВНИЦТВО

- Моргул А. С.** Визначення несучої спроможності паль під час роботи їх в дилатансійному середовищі ґрунту за методом граничних елементів..... 32
- Голубничий А. В.** Кислотостійка кераміка із застосуванням залізовмісних шлаків 35

ЕКОНОМІКА, МЕНЕДЖМЕНТ ТА ЕКОЛОГІЯ

- Маримончак Ю. В.** Методологічні основи оцінки ефективності управління персоналом у вищому навчальному закладі 40

ЕНЕРГЕТИКА ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

- Чепурний М. М., Ткаченко С. Й., Бужинський В. В., Степанова Н. Д.** Динаміка випаровування дрібнодисперсних крапель рідини в низькотемпературних газових потоках 46
- Білий П. М.** Деякі питання проектування умонтованих багатошарових дискових магнітоелектричних двигунів..... 49
- Кутін В. М.** Метод та пристрій захисного вимикання двопровідних мереж постійного струму 53
- Ткаченко С. Й., Степанов Д. В., Джеджула В. В.** Закономірності розподілу температурних напорів за умов локального нерівномірного газорідного омивання теплообмінної поверхні 59
- Бурбело М. Й.** Умови квазірівноваги вимірювальних кіл в часовій області 62

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА КОМП'ЮТЕРНА ТЕХНІКА

- Волинець В. І.** Рекурентні методи обчислення багатовимірних дискретних перетворень Фур'є та Хартлі 69

Глонь О. В., Дубовой В. М. Порівняння методів узагальнення математичних операцій на випадок не повністю визначених даних.....	75
---	----

МАШИНОБУДУВАННЯ

Петраковська Н. О., Михалевич В. М., Байло В. Г. Побудова кривих втоми на базі ергодинамічного підходу.....	81
---	----

РАДІОЕЛЕКТРОНІКА ТА РАДІОЕЛЕКТРОННЕ АПАРАТОБУДУВАННЯ

Бортник Г. Г. Швидкодійний аналого-цифровий перетворювач з поліпшеними динамічними характеристиками.....	86
Кравченко Ю. С. Перерізи елементарної взаємодії для молекул тетраедричної симетрії.....	90
Осадчук В. С., Осадчук О. В., Прокопова М. О. Дослідження властивостей частотного мікроелектронного вимірювача концентрації газу.....	94
Філінюк М. А., Гаврілов Д. В. Аналіз методів вимірювання робочих параметрів узагальнених перетворювачів імітанса.....	98
Барась С. Т. Методика експериментальних досліджень флюктуацій частоти доплерівського сигналу гідроакустичного лага в реальних умовах плавання.....	105

СТРАТЕГІЯ, ЗМІСТ ТА НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДГОТОВКИ СПЕЦІАЛІСТІВ З ВИЩОЮ ТЕХНІЧНОЮ ОСВІТОЮ

Мокін Б. І., Мокін В. Б., Боцула М. П. Відео-інтернетні комплекси (ВІК) — нова технологія для дистанційного проведення лабораторних робіт.....	110
--	-----

ФУНДАМЕНТАЛЬНІ НАУКИ

Дензанов Г. О., Петрук В. Г. Механізм низькотемпературної електрокаталітичної деструкції хлорвмісних пестицидів.....	119
--	-----

РЕФЕРАТИ.....	124
---------------	-----

Видається за рекомендацією Ученої ради
Вінницького державного технічного університету,
протокол № 11 від 25.06.03 р.

Редактор В. Т. Голубєва

Комп'ютерна верстка Г. М. Багдасар'ян, Т. С. Крижанька, О. О. Кушнір

Верстка та оригінал-макет виготовлені в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького державного технічного університету
21021, Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95. Тел.: (0432) 44-05-32.

Підписано до друку 14.07.03. Формат 29,7 x 42 1/2. Папір офсетний. Гарнітура Times. Друк різографічний.

Умовн. друк. арк. 15,71. Обл.-вкл. арк. 16,18. Тираж 365 прим. Зам. № 2003-155.

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі Вінницького державного технічного університету.
21021, Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95. Тел. 44-01-59.

Свідectво про реєстрацію періодичного друкованого
зидання — КП № 290 від 15.12.93 р.

© Вінницький державний технічний університет, 2003.

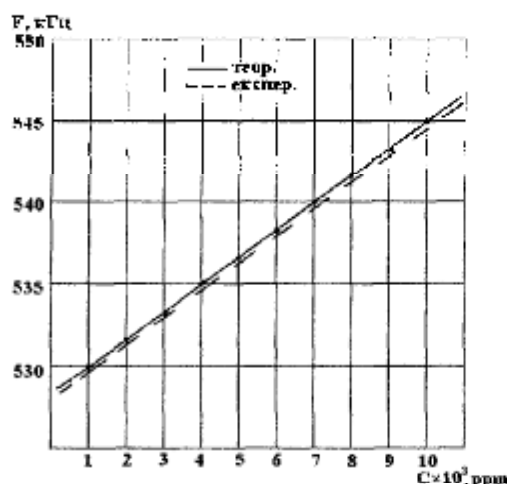


Рис. 6. Теоретична і експериментальна залежність частоти генерації від зміни концентрації

Розроблена математична модель частотного вимірювача концентрації газу, яка складається з двох біполярних транзисторів та газочутливого елемента, на основі якої отриманий аналітичний вираз для функції перетворення. Проведені теоретичні та експериментальні дослідження, які показали, що їх розбіжність складає $\pm 5\%$.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Патент України № 47906 А. МКІ G 01N 27/12. Пристрій для вимірювання газу / Осадчук В. С., Осадчук О. В., Прокопова М. О. // 15.07.2002. Бюл. № 7.
2. Рішення про видачу патенту України по заяві № 2001107208 від 23.10.2001 на винахід. Пристрій для вимірювання газу / Осадчук В. С., Осадчук О. В., Прокопова М. О. від 23.05.2002.
3. Осадчук О. В. Мікроелектронні частотні перетворювачі на основі транзисторних структур з від'ємним опором. — Вінниця: «Універсум-Вінниця», 2000. — 302 с.

Рекомендована кафедрою електроніки

Надійшла до редакції 8.10.2002
Рекомендована до опублікування 16.04.2003

Осадчук Володимир Степанович — завідувач кафедри, **Осадчук Олександр Володимирович** — старший науковий співробітник.

Кафедра електроніки

Проконова Марія Олександрівна — студентка Інституту автоматичної електроніки та комп'ютерних систем управління.

Вінницький державний технічний університет

УДК 621.382

М. А. Філіпчук, д. т. н., проф.; Д. В. Гаврілов, асп.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ РОБОЧИХ ПАРАМЕТРІВ УЗАГАЛЬНЕНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ІМІТАНСА

Вступ

Будь-який чотириполюсник, що має зворотний зв'язок можна розглядати як узагальнений перетворювач імпеданса (УІП) [1]. Це відноситься як до окремих електронних компонентів

нтів (наприклад, транзисторів у різних схемах їхнього включення), так і до електронних схем (підсилювачів, фільтрів і т. д.). Під час проектування й експлуатації найширше застосування отримали параметри їхніх безструктурних моделей [2], параметри фізичних моделей [1], а також система робочих параметрів. Методи і засоби вимірювання параметрів безструктурних моделей, маючи низку переваг і недоліків, у даний час набули широкого застосування. Вони, як правило, є початковими під час розрахунку робочих параметрів вищеперерахованих електронних пристроїв. Однак зі збільшенням частоти збільшується похибка вимірювання, що призводить до значної похибки визначення робочих параметрів УПІ. Крім того, непряме визначення робочих параметрів через параметри фізичних і безструктурних моделей спричиняє збільшення часу знаходження робочих параметрів УПІ. У зв'язку з цим становлять інтерес методи безпосереднього вимірювання робочих параметрів УПІ.

Як робочі параметри УПІ найширше застосування отримали [1]:

- номінальний $K_{ном}$ і робочий K_p коефіцієнти підсилення (передачі) потужності;
- внутрішній інваріантний коефіцієнт стійкості - $K_{с.в.}$;
- максимальний-досяжний стійкий (на межі стійкості) коефіцієнт передачі по потужності - $K_{мс}$;
- мінімально-досяжне значення дійсної складової перетвореного імітанса на вході (виході) УПІ - $ReW_{вх.мін}$ ($ReW_{вих.мін}$);
- коефіцієнт невзаємності - $K_{н.}$;
- гранична частота - $f_{г.}$;
- оптимальна частота перетворення імітанса - f_{opt} ;
- мінімально-досяжне значення коефіцієнта шуму - $F_{ш.мін}$.

Проведемо аналіз відомих методів вимірювання цих параметрів. При цьому не будуть розглядатися, за вищевказаними причинами, методи вимірювання, що базуються на використанні параметрів фізичних і безструктурних моделей УПІ.

Вимірювання коефіцієнтів підсилення (передачі)

Робочий K_p і номінальний $K_{ном}$ коефіцієнти підсилення (передачі) потужності визначаються виразами [3]:

$$K_p = \frac{P_n}{P_{вх}}; K_{ном} = \frac{P_n}{P_{гн}}, \quad (1)$$

де P_n - потужність, що виділяється в дійсній складовій провідності навантаження; $P_{вх}$ - потужність, що підводиться до входу чотириполюсника; $P_{гн}$ - потужність, що піддається генератором в узгоджене навантаження.

Як випливає з (1), для визначення K_p і $K_{ном}$ досить використовувати вимірювач потужності і узгоджувальні трансформатори. Їхня номенклатура, що випускається промисловістю, перекриває широкий частотний діапазон і вимірювання в більшості випадків не становить труднощів. Крім того існує великий клас панорамних вимірювачів, що дозволяють автоматизувати вимірювання. Як приклад, можна назвати вимірювачі коефіцієнти передачі P4-11, P4-23 (СРСР), ZAS 393.0015.02 (Rohde-Schwarz) і ін.

Вимірювання внутрішнього інваріантного коефіцієнта стійкості

З удосконалюванням елементної бази, зокрема транзисторів, на високих і надвисоких частотах розробники зіткнулися з проблемою їхньої потенційної нестійкості. Суть її полягає в самозбудженні схеми під час визначення значень навантаження внаслідок прояву внутрітранзисторного зворотного зв'язку. Для кількісної оцінки стійкості був введений внутрішній інваріантний коефіцієнт стійкості $K_{с.в.}$ [4]

$$K_{с.в.} = \frac{ReW_{11}ReW_{22} - Re(W_{12}W_{21})}{|W_{12}W_{21}|} = \frac{ReW_{0вх}}{P_{вх}}, \quad (2)$$

який, можна визначити через імітансні W -параметри УПІ або через параметри імітансної окружності (рис. 1). При $K_{с.в.} > 1$ УПІ стійкий, а якщо $K_{с.в.} < 1$ УПІ потенційно-нестійкий і з $K_{с.в.} = 1$ знаходиться на межі стійкості.

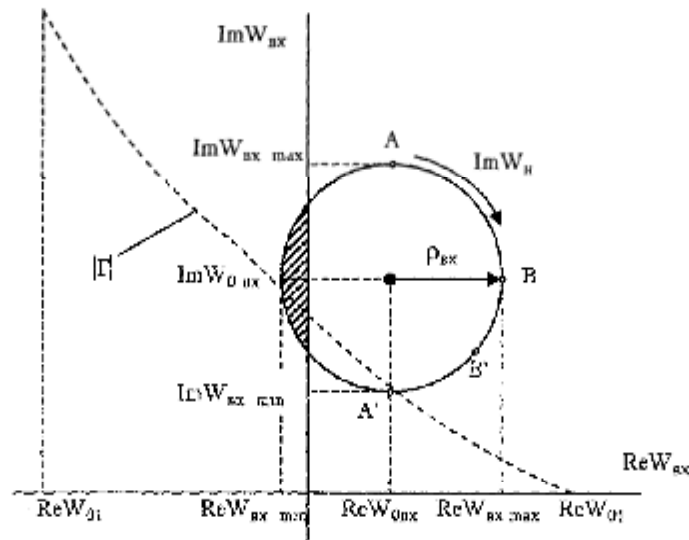


Рис. 1. Вхідне імпедансне коло УШ. $\rho_{вх}$ – радіус імпедансного кола, $ReW_{0вх}$ – дійсна складова імпеданса центра кола, $ImW_в$ – мінима складова імпеданса навантаження, $W_{вх}$ – вхідний імпеданс УШ. Область нестійкості заштрихована.

В даний час існує велика кількість методів визначення цього коефіцієнта (табл.).

Аналітичні вирази для визначення внутрішнього інваріантного коефіцієнта стійкості УШ, різними методами

№	Аналітичні вирази	Джерело	Діапазон вимірювання $K_{с.в.}$	Необхідні умови
1	$K_{с.в.} = \frac{ReW_{11}ReW_{22} - Re(W_{12}W_{21})}{ W_{12}W_{21} }$	[4]	- 1 - ∞	КЗ або ХХ
2	$K_{с.в.} = \frac{1 + K_{ном21}K_{ном12}}{2\sqrt{K_{ном21}K_{ном12}}}$	[3]	1 - ∞	Узгодження по входу і виходу
3	$K_{с.в.} = \frac{ReW_{0вх}}{ReW_{вх\ min} - ReW_{0вх}}$	[5]	- 1 - ∞	-
4	$K_{с.в.} = \left[\frac{(1 + \Gamma_{min A})(1 - \Gamma_{min B})}{(1 - \Gamma_{min A})(1 + \Gamma_{min B})} - 1 \right]^{-1}$	[6]	- 1 - ∞	$ReW_{01} > 2\rho_{вх}$
5	$K_{с.в.} = \frac{\rho_A}{\rho_A - \rho_B}$	[6]	1 - ∞	$ReW_{01} > 2\rho_{вх}$
6	$K_{с.в.} = \frac{2ReW_0(ReW_A - ReW_B)}{\sqrt{(ReW_A - ReW_B)^2 + (ImW_B - ImW_A)^2}} - 1$	[6]	- 1 - ∞	$ReW_{вх\ max} < ReW_{01}$
7	$K_{с.в.} = \frac{2ReW_0}{\rho_A(ImW_{вх\ max} - ImW_{вх\ min})}$	[6]	0 - ∞	-
8	$K_{с.в.} = \frac{K_{с1}ReW_{K2} - K_{с2}ReW_{K1}}{Re(W_{K2} - W_{K1})}$	[9]	- 1 - ∞	$ReW_{K2} > ReW_{K1} > ReW_{вх}$

Недолком першого методу є труднощі виконання в діапазоні НВЧ під час вимірювання W -параметрів умов короткого замикання чи ненавантаженого ходу, а також забезпечення стійкості схеми у випадку використання потенційно-нестійкого активного елемента (транзистора, операційного підсилювача). Другий метод допускає, що $K_{с.в.} > 1$, що виключає його застосування під час вимірювання $K_{с.в.}$ потенційно-нестійких чотириполюсників [5]. Використовуючи третій метод, в результаті вимірювання вхідного $W_{вх}$ (вихідного $W_{вих}$) імпеданса чотириполюсника, будується імпедансне коло (рис. 1) і інваріантний коефіцієнт стійкості визначається за формулою (2). Недолк даного методу полягає в необхідності проведення, для досягнення високої точності, численних вимірювань вхідного (вихідного) імпеданса. При цьому можливе заходження в область

го (вихідного) імітанса. При цьому можливе заходження в область негативних значень $\text{Re}W_{\text{вх}}$ ($\text{Re}W_{\text{вх}}$), що веде до втрати стійкості і збільшення похибки вимірювань.

Для подолання перерахованих вище недоліків запропоновано ряд нових методів і засобів вимірювання $K_{с.в}$. У роботі [6] запропоновано ряд експериментальних методів основаних на тому положенні, що $K_{с.в}$ не залежить від довжини вхідної лінії l_1 і значень характеристичних імітансів вхідної W_{01} і вихідної W_{02} лінії [7]. Це дозволило перенести вимірювання в площину, що відстоїть на відстані l_1 від входу чотириполосника і вибрати характеристичний імітанс вимірювального тракту W_{01} , виходячи з вимог стійкості вимірювальної схеми. З огляду на те, що $K_{с.в}$ змінюється в межах від -1 до ∞ , мінімальне значення дійсної складової вхідного імітанса з $K_{с.в} = -1$ дорівнює $\text{Re}W_{\text{вх.мін}} = -2\rho_{\text{вх}}$. Тому для забезпечення стійкості вимірювальної схеми, необхідне значення характеристичного імітанса вхідної лінії знаходиться з умови $\text{Re}W_{01} > 2\rho_{\text{вх}}$.

На виконанні цієї умови побудований четвертий метод, який базується на вимірюванні мінімумів $\Gamma_{\text{мін}A}$ і $\Gamma_{\text{мін}B}$ модулів коефіцієнта відбиття в характерних точках А і В імітансного кола (рис. 1). Основна похибка визначення $K_{с.в}$ за цим методом залежить від точності вимірювання модулів коефіцієнтів відбиття, що під час використання рефлектометрів першого класу дорівнює $\pm 3(\rho + 1)$, де ρ — коефіцієнт стоячої хвилі напруги (КСХН) [8].

У випадку стійкого чотириполосника ($K_{с.в} > 1$), інваріантний коефіцієнт стійкості може бути визначений за результатами вимірювання КСХН ρ_A і ρ_B у характерних точках: $K_{с.в} = \rho_A / (\rho_A - \rho_B)$.

Очевидним недоліком вищезрозглянутих методів є їхня складність. З метою спрощення запропоновано дві модифікації методу. У першому модифікованому методі рекомендується здійснювати вимірювання імітанса в одній екстремальній точці (рис. 1), наприклад А ($\text{Re}W_A$, $\text{Im}W_A$) і в іншій точці В' поблизу точки А ($\text{Re}W_{B'}$, $\text{Im}W_{B'}$). У цьому випадку інваріантний коефіцієнт стійкості визначається виразом для шостого методу (табл.).

Друга модифікація призначена для випадку, коли неможливо забезпечити виконання умови $\text{Re}W_{\text{вх.макс}} < \text{Re}W_{01}$. У цьому випадку вимірюється максимальне $\text{Im}W_{A.\text{макс}}$ (відповідає точці А) і мінімальне $\text{Im}W_{A.\text{мін}}$ (відповідає точці А') значення уявних складових імітансів, а також значення КСХН $\rho_A = \rho_{A'}$, що відповідає цим точкам. Шукане значення інваріантного коефіцієнта стійкості в цьому випадку визначається виразом для сьомого методу (табл.).

Одним з недоліків цього методу є обмеження діапазону вимірювання значенням $K_{с.в} > 0$. Загальним недоліком розглянутих останніх трьох методів вимірювання $K_{с.в}$ є їхня складність, але вони дозволяють здійснювати вимірювання як стійких, так і потенційно-нестійких чотириполосників.

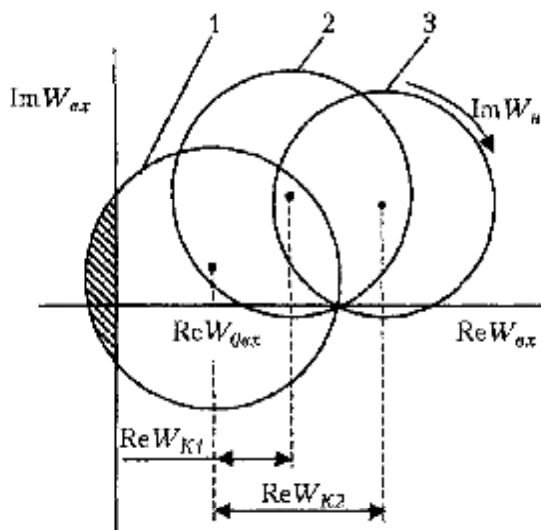


Рис. 2. Вхідні імітансні кола потенційно-нестійкого чотириполосника (1) і навантаженого по входу чотириполосника (2, 3)

Значно простішим є третій метод [5],

але він може бути використаний тільки для вимірювання $K_{с.в}$ стійких чотириполосників. У роботі [9] запропонований відносно нескладний метод визначення $K_{с.в}$, що використовує метод Н. З. Шварца, але дозволяє виконувати вимірювання $K_{с.в}$ і потенційно-нестійких чотириполосників.

Для забезпечення стійкості вимірювальної установки, у випадку дослідження потенційно-нестійкого чотириполосника, до входу чотириполосника підключається калібрований резистор з імітансом W_x . Значення дійсного імітанса цього резистора з процесі вимірювання підбираються таким чином, щоб імітанси кола вимірюваного чотириполосника з включенням на його вході резистором знаходилися в області абсолютної стій-

кості (рис. 2).

Виконується вимірювання інваріантних коефіцієнтів стійкості K_{c1} і K_{c2} навантаженого чотириполосника зі двома значеннями дійсного імпеданса $\text{Re}W_{\text{вх}}$ і $\text{Re}W_{\text{вх}2}$ каліброваного резистора за методом, запропонованим в роботі [5], а шукане значення $K_{c\text{в}}$ знаходиться за формулою, представленою в таблиці для восьмого методу.

Для забезпечення абсолютної стійкості вимірювань потрібно виконання тільки однієї умови $\text{Re}W_{\text{вх}2} > \text{Re}W_{\text{вх}1} > \text{Re}W_{\text{вх}}$. Безсумнівною перевагою методу є відсутність необхідності здійснення вимірювань імпедансів, тому що в процесі вимірювань фіксується тільки потужність або напруга. До недоліку методу варто віднести необхідність здійснення узгодження за допомогою трансформаторів $\text{Tr}1$ і $\text{Tr}2$ вимірювального тракту, що ускладнює автоматизацію процесу вимірювань.

Вимірювання максимально-досяжного стійкого коефіцієнта передачі за потужністю

Максимально-досяжний стійкий коефіцієнт передачі по потужності чотириполосника K_{ms} може бути визначений через імпедансні параметри $K_{ms} = |W_{21}/W_{12}|$ [3]. Однак, це пов'язано з необхідністю вимірювання імпедансних параметрів чотириполосника, що в діапазоні високих і надвисоких частот пов'язано зі значними технічними труднощами і має велику похибку вимірювань [2].

З метою подолання цих недоліків у [10] запропонований метод визначення K_{ms} за результатами вимірювання потужності сигналу, що надходить на індикаторний пристрій при послідовній подачі сигналу постійної потужності ($P_{\text{г}} = \text{const}$) на вхід ($P_{\text{вх}}$) і на вихід ($P_{\text{вх}2}$) чотириполосника за умови узгодження джерела сигналу й індикаторного пристрою з вхідним і вихідним імпедансом чотириполосника. У цьому випадку значення K_{ms} визначається виразом $K_{ms} = \sqrt{P_{\text{вх}2}/P_{\text{вх}}}$. Необхідною умовою використання даного методу є рівність імпеданса джерела сигналу $W_{\text{г}}$ імпеданса індикаторного пристрою $W_{\text{в}}$. Середньоквадратична похибка δ_{ms} цього методу визначається відносною середньоквадратичною похибкою індикаторного пристрою і, у випадку використання в цій якості вимірювача потужності МЧ-2, не перевищує $\delta_{ms} = \pm 2,84\%$. Недоліком розглянутого методу є необхідність здійснення процедур узгодження імпедансів, що збільшує час вимірювання й ускладнює автоматизацію процесу вимірювання.

У роботі [11] запропонований метод вимірювання K_{ms} , що виключає ці недоліки. Для його реалізації в загальну шину чотириполосника включається калібрований змінний опір Z , що забезпечує послідовну нейтралізацію імпедансів прямої W_{21} і зворотної W_{12} передачі кола утвореної чотириполосником і опором Z . Шукане значення K_{ms} визначається виразом:

$$K_{ms} = \left| \frac{Z_1}{Z_2} \right|_{\substack{Y_{12}=0 \\ Y_{21}=0}},$$

де: Z_1 — значення опору Z , коли $Y_{21} = 0$; Z_2 — значення опору Z , коли $Y_{12} = 0$.

При цьому, по-перше, внаслідок компенсації провідностей прямої і зворотної передачі, вимірювальна установка в режимі вимірювання, для будь-яких потенційно-нестійких чотириполосників, залишається абсолютно-стійкою. По-друге, відпадає необхідність узгодження імпедансів тому, що вимірювання здійснюються при будь-яких значеннях імпедансів навантаження $W_{\text{в}}$ і генератора $W_{\text{г}}$. У третій, вимірювальний прилад (ВП) використовується в режимі індикації нуля, що істотно знижує похибку вимірювання. Основна похибка методу визначається точністю калібрування комплексного опору Z , що в діапазоні частот представляє певні труднощі.

Вимірювання мінімально-досяжного значення дійсної складової перетвореного імпеданса

Мінімально-досяжне значення негативного дійсного імпеданса на вході (виході) УПІ широко використовується під час проектування різних інформаційних пристроїв на базі

