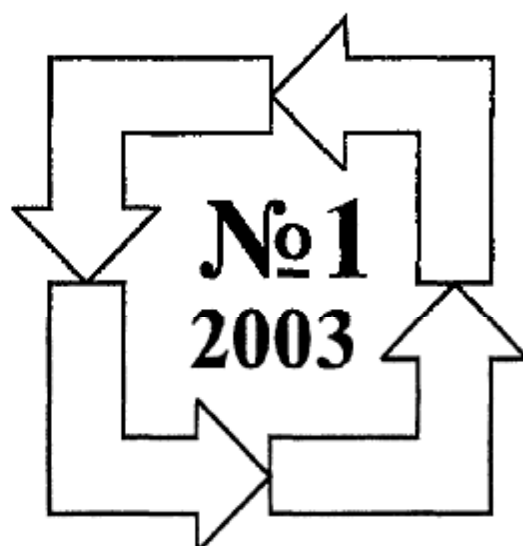


*МІЖНАРОДНИЙ
НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ
ЖУРНАЛ*

**ВИМІРЮВАЛЬНА
ТА
ОБЧИСЛЮВАЛЬНА
ТЕХНІКА
В
ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ПРОЦЕСАХ**



ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ

Зміст

ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ МЕТРОЛОГІЇ, ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

В.Т. Коцдратов. СОВРЕМЕННАЯ МЕТРОЛОГИЯ 50 Правил 'ВЛАДИКОН'	7
В.І. Водотовка, Д.В. Дозоров, А.В. Половець. КВАРЦЕВІ ТЕРМОМЕТРИ	12
В.В.Кужарчук, Ю.О.Карпов, Ю.Г.Ведяцький. АНАЛІЗ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ ПУСКОВОГО МОМЕНТУ	16
В.Д.Циделко, Н.А. Яремчук, В.А. Стасевич. АДАПТИВНАЯ ЭКСПЕРТНАЯ ОБУЧАЮЩАЯ СИСТЕМА	20

ОПТИЧНІ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ

Й.І.Степцель, О.В.Целіщев, П.Й.Слісєєв. ТЕПЛОФІЗИЧНІ МОДЕЛІ ПЕРЕТВОРЕНЬ В ТЕРМОМАГНІТНОМУ ПОСЛІ	26
М.Г.Лорія. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ АТОМНО-АБСОРБЦІЙНОГО СПЕКТРОФОТОМЕТРА З КАПЛІЯРНИМ ЕЛЕКТРОТЕРМІЧНИМ АТОМІЗАТОРОМ	29
О.О.Овчинников. ВИЗНАЧЕННЯ РАДІУСІВ ГОЛОВКИ ТА НИЖКИ ЗУБЦІВ ПАСА ТРАПЕЦІЙНОГО ПРОФІЛЮ	34
В.В.Николюкский, С.А.Ханьямедов. РОТАЦИОННЫЕ ВИСКОЗИМЕТРЫ	38
І.Г. Євко. СУХИЙ МІКРОКАЛОРИМЕТР ДЛЯ КОНТРОЛЮ ДИСКОВИХ МАРГАНЦЕВО-ЛІТІЄВИХ ДЖЕРЕЛ СТРУМУ	42
С.А. Смолянська. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗОНИ НЕЧУТЛИВОСТІ ІНТЕГРАЛЬНОГО ПОТОКУ РОЗСІЯНОГО ГАМА-ВИПРОМІНЮВАННЯ ДО ВАРІАЦІЇ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ	44
Л.А. Галкин, И.В. Павчев. ОСОБЕННОСТИ КОНТАКТНОГО МЕТОДА КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ	46
В.П. Квасніков. ЛАЗЕРНА ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ВИМІРЮВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТА	50

ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ ТА РАДІОТЕХНІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ

И.Л. Афонин. ПОТЕРИ МОЩНОСТИ В ПОЛОСКОВОМ МЕТАЛЛОДИЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ВОЛНОВОДЕ	55
В.З. Лубяный, С.С. Голощанов. ИЗМЕРЕНИЕ БАРЬЕРНОЙ ЕМКОСТИ МЕТОДОМ ЕМКОСТНОГО ДЕЛИТЕЛЯ	58
О.І. Шегедин, В.С. Мадай, Н.П. Мусихіна. АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ В НАМАГНІЧУВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ МАГНІТОТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ	61
В.В. Мартинюк. ЭФЕКТ ВІД'ЄМНОГО АКТИВНОГО ОПОРУ ПРИ ВИМІРЮВАННІ ІМПЕДАНСНИХ СПЕКТРІВ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ СУПЕРКОНДЕНСАТОРІВ	65
В.С. Осадчук, О.В. Осадчук. АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ МАГНІТОЧУТЛИВИХ РАДІОВИМІРЮВАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ	69
В.Р.Любчик, С.М.Дем'янюк. ДОСЛІДЖЕННЯ ПОТЕНЦІЙНОЇ ТОЧНОСТІ ТА ШВИДКОДІЇ СПЕКТРАЛЬНО-ФАЗОВОГО МЕТОДУ ВИМІРЮВАННЯ ВІДСТАНІ	74
К.Л. Горяченко. ІМПУЛЬСНО-ФАЗОВІ ВИМІРЮВАННЯ ДЛЯ ЛІНІЇ ІЗ ДВОМА НЕОДНОРІДНОСТЯМИ	80
Ю.П.Гульчак, Г.А.Рудомін. ЕКСПРЕС-АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЇ ПРИ НЕПРЯМИХ ВИМІРЮВАННЯХ ПАРАМЕТРІВ СИГНАЛІВ	82
Ю.О.Скрипник, В.М.Холоденко. ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРОШКІРЯНОГО ОПОРУ БЕЗ ЗОВНІШНЬОГО ДЖЕРЕЛА ЗОНДУЮЧОГО СТРУМУ	84
Н.А. Филинюк, Д.В. Гаврилов, К.В. Огородник. ИЗМЕРЕНИЕ ИНВАРИАНТНОГО КОЭФФИЦИЕНТА УСТОЙЧИВОСТИ ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКА	88
Ю.Б. Гимпилович, Ю. Я.Смаилов. ЛИНЕЙНЫЙ АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ КОМПЛЕКСНЫХ КОНСТАНТ МНОГОПОЛУСНОГО МИКРОВОЛНОВОГО РЕФЛЕКТОМЕТРА	91
Р.В.Лаврик, В.Л.Лаунець, П.Г.Нагорний, В.В. Олійник. ВИМІРЮВАННЯ ДІЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАЛОЇ ТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ВЛИЖНЬО-ПОЛЬОВОГО МІКРОХВИЛЬОВОГО МІКРОСКОПУ	94
І.С.Чук, В.Д.Бідюк. ЗАСТОСУВАННЯ ІНДУКТИВНОГО ДАТЧИКА ПРИ НЕРУЙНІВНОМУ КОНТРОЛІ ВМІСТУ МАГНІТНОЇ ФРАКЦІЇ	96

ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ І КОМПЛЕКСИ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ

О.В. Поморова. ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ ІНФОРМАЦІЇ У СИСТЕМАХ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ ЗАСОБІВ	99
И.А. Гетьман. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КАНАЛ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ	101
Ю. В. Седяцька, О. Н. Романюк. АЛГОРИТМИ ТРІАНГУЛЯЦІЇ ПОЛІГОНАЛЬНИХ ОБЛАСТЕЙ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ В ЗАСОБАХ КОМП'ЮТЕРНОЇ ГРАФІКИ	104
В.Я. Книшкая, Ф.М. Репа, В.В. Семенюк. ГЕНЕРАТОР ТЕСТОВОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ ІКМ 30 (E1) ІНТЕРФЕЙСУ	108
Д.В.Іщенко. ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ВДОСКОНАЛЕННЯ СТРАТЕГІЙ ЗАМІНИ ЕЛЕМЕНТІВ КЕШ-ПАМ'ЯТІ	112

ИЗМЕРЕНИЕ ИНВАРИАНТНОГО КОЭФФИЦИЕНТА УСТОЙЧИВОСТИ ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКА

Любой четырехполюсник, обладающий обратной связью, можно рассматривать как обобщенный преобразователь иммитанса (ОПИ) [1]. Это относится как к отдельным электронным компонентам (например, транзисторам в различных схемах их включения), так и к электронным схемам (усилителям, фильтрам и т.д.). По мере совершенствования элементной базы, в частности транзисторов, на высоких и сверхвысоких частотах разработчики столкнулись с проблемой их потенциальной неустойчивости. Суть ее заключается в самовозбуждении схемы при определенных значениях нагрузки вследствие проявления внутритранзисторной обратной связи. Для количественной оценки устойчивости был введен инвариантный коэффициент устойчивости $K_{y.s.}$ [2], величина которого может быть определена через параметры иммитансной окружности (рис. 1).

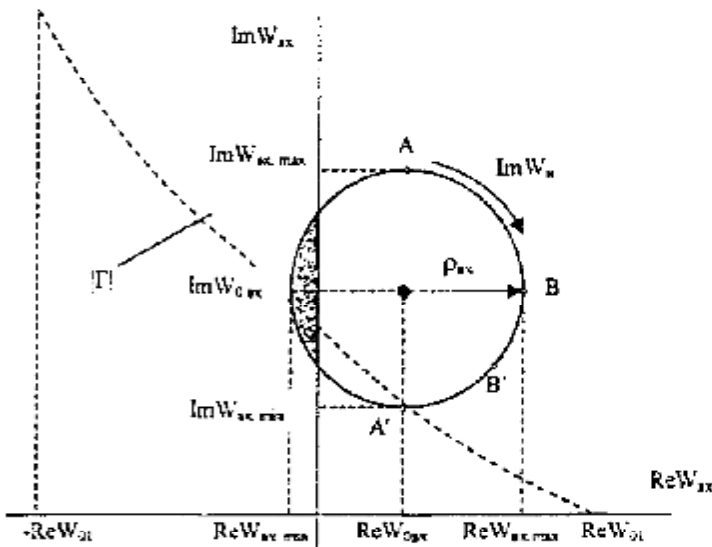


Рис. 1. Входная иммитансная окружность ОПИ. $r_{срх}$ – радиус иммитансной окружности, $ReW_{срх}$ – вещественная составляющая иммитанса центра окружности; $ImW_{срх}$ – мнимая составляющая иммитанса нагрузки; $W_{срх}$ – входной иммитанс ОПИ. Область неустойчивости заштрихована

$$K_{y.s.} = \frac{ReW_{срх}}{r_{срх}} \quad (1)$$

При $K_{y.s.} > 1$ ОПИ абсолютно устойчив, при $K_{y.s.} < 1$ ОПИ неустойчив и при $K_{y.s.} = 1$ находится на границе устойчивости.

Определение этого коэффициента возможно по результатам измерения иммитансных W-параметров четырехполюсника [2]

$$K_{y.s.} = \frac{ReW_{11} ReW_{22} - Re(W_{12} W_{21})}{|W_{12} W_{21}|}$$

или номинальных коэффициентов прямой $K_{ном12}$ и обратной $K_{ном21}$ передачи четырехполюсника в режиме двухстороннего согласования [3]

$$K_{y.s.} = \frac{1 + K_{ном21} K_{ном12}}{2\sqrt{K_{ном21} K_{ном12}}}$$

или входного (выходного) иммитанса четырехполюсника при изменении в широких пределах реактивного иммитанса нагрузки (генератора) [4].

Недостатком первого метода является трудность выполнения в диапазоне СВЧ при измерении W-параметров условий короткого замыкания или холостого хода, а также обеспечения устойчивости схемы в случае использования потенциально-неустойчивого активного элемента (транзистора, операционного усилителя). Второй метод предполагает, что $K_{y.s.} > 1$, что исключает его применение при измерениях $K_{y.s.}$ потенциально-неустойчивых четырехполюсников. При использовании третьего метода, в результате измерения входного $W_{вх}$ (выходного $W_{вых}$) иммитанса четырехполюсника, строится иммитансная окружность (рис. 1) и инвариантный коэффициент устойчивости определяется по формуле (1). Недостаток данного метода заключается в необходимости проведения, для достижения высокой точности, большого числа измерений входного (выходного) иммитанса. При этом возможен заход в область отрицательных значений $ReW_{вх}$ ($ReW_{вых}$), что ведет к потере устойчивости и росту погрешности измерений.

Для преодоления выше перечисленных недостатков предложен ряд новых методов и средств измерения $K_{y.s.}$. В работе [5] предложен экспериментальный метод основанный на том положении, что $K_{y.s.}$ не зависит от длины входной линии l_1 и значений характеристических иммитансов входной W_{01} и выходной W_{02} линии [4]. Это позволило перенести измерения в плоскость, отстоящую на расстоянии l_1 от входа четырехполюсника и выбрать характеристический иммитанс измерительного тракта W_{01} исходя из требований устойчивости измерительной схемы. Учитывая, что $K_{y.s.}$ изменяется в пределах от -1 до Γ , минимальное значение вещественной составляющей входного иммитанса при $K_{y.s.} = -1$ равно $ReW_{срх,мин} = -2r_{срх}$. Поэтому для обеспечения устойчивости измерительной схемы, требуемое значение характеристического иммитанса входной линии находится из условия $ReW_{01} > 2r_{срх}$. В этом случае, как видно из рис. 1, инвариантный коэффициент устойчивости определяется выражением:

$$K_{y,s} = \frac{\operatorname{Re}W_{0\text{кр}}}{\operatorname{Re}W_{\text{кр,max}} - \operatorname{Re}W_{0\text{кр}}} \quad (2)$$

Рассматриваемый метод реализован с использованием экспериментальной установки структурная схема которой представлена на рис. 2.

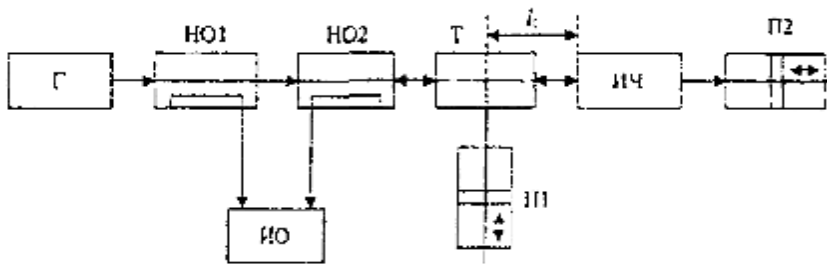


Рис. 2. Структурная схема экспериментальной установки для определения инвариантного коэффициента устойчивости потенциально-неустойчивых четырехполюсников по методу [5]: Γ – измерительный генератор; НО1 и НО2 – направленные ответвители; Т – тройник; П1 и П2 – короткозамыкающие поршни; ИЧ – измеренный четырехполюсник; ИО – измеритель отношений

$\operatorname{Im}W_{\text{кр,max}}$ последовательным изменением электрической длины поршней П2 и П1 добиваются получения максимальной или минимальной длины поршня П1 в режиме резонанса его иммитанса $\operatorname{Im}W_1$ с $\operatorname{Im}W_{\text{кр}}$. О наличии резонанса судят по минимуму модуля коэффициента отражения $\Gamma_{\text{мин,с}}$, определяемому с помощью НО1, НО2 и ИО. В этом случае искомое значение проводимости $\operatorname{Re}W'_{0\text{кр}}$ равно:

$$\operatorname{Re}W'_{0\text{кр}} = \frac{\operatorname{Re}W_{01}(1 - \Gamma_{\text{мин,с}})}{1 + \Gamma_{\text{мин,с}}} = \frac{\operatorname{Re}W_{01}}{\rho_A} \quad (3)$$

где ρ_A – коэффициент стоячей волны на входе ИЧ в режиме компенсации мнимой составляющей его иммитанса.

Определение $\operatorname{Re}W'_{\text{кр,max}}$ также производится в режиме компенсации короткозамыкающим поршнем П1 мнимой составляющей трансформированного входного иммитанса четырехполюсника $\operatorname{Im}W'_{\text{кр}}$ и установки поршня П2 в положение, соответствующее минимальному значению модуля коэффициента отражения $\Gamma_{\text{мин,с}}$ в плоскости тройника Т. В этом случае искомое значение иммитанса $\operatorname{Re}W'_{\text{кр,max}}$ однозначно связано с $\Gamma_{\text{мин,с}}$ и находится из выражения:

$$\operatorname{Re}W'_{\text{кр,max}} = \frac{\operatorname{Re}W_{01}(1 - \Gamma_{\text{мин,с}})}{1 + \Gamma_{\text{мин,с}}} = \frac{\operatorname{Re}W_{01}}{\rho_B} \quad (4)$$

Подставляя (3) и (4) в (2), находится искомое значение инвариантного коэффициента устойчивости четырехполюсника:

$$K_{y,s} = \left[\frac{(1 + \Gamma_{\text{мин,с}})(1 - \Gamma_{\text{мин,с}})}{(1 - \Gamma_{\text{мин,с}})(1 + \Gamma_{\text{мин,с}})} - 1 \right]^{-1} \quad (5)$$

Из (5) следует, что основная погрешность определения $K_{y,s}$ по этому методу зависит от точности измерения модулей коэффициентов отражения, которая при использовании рефлектометров первого класса равна $\pm 3(\gamma+1)$, где γ – коэффициент стоячей волны напряжения [6].

В случае устойчивого четырехполюсника ($K_{y,s} > 1$), инвариантный коэффициент устойчивости может быть определен по результатам измерения коэффициентов стоячей волны γ_A и γ_B в характерных точках: $K_{y,s} = \gamma_B / (\gamma_A - \gamma_B)$. Для этого в измерительной схеме (рис. 2) генератор Γ и направленные ответвители НО1 и НО2 заменяются измерителем КСВН.

Очевидным недостатком выше рассмотренного метода является его сложность. С целью упрощения предложены две модификации метода. В первом модифицированном методе рекомендуется осуществлять измерения иммитанса в одной экстремальной точке (рис. 1), например А ($\operatorname{Re}W_A, \operatorname{Im}W_A$) и в другой точке В' вблизи точки А' ($\operatorname{Re}W_B, \operatorname{Im}W_B$). В этом случае инвариантный коэффициент устойчивости определяется выражением:

$$K_{y,s} = \frac{2 \operatorname{Re}W_A (\operatorname{Re}W_A - \operatorname{Re}W_B)}{\sqrt{(\operatorname{Re}W_A - \operatorname{Re}W_B)^2 + (\operatorname{Im}W_B - \operatorname{Im}W_A)^2}} - 1.$$

Вторая модификация предназначена для случая, когда невозможно обеспечить выполнение условия $\operatorname{Re}W_{\text{кр,max}} < \operatorname{Re}W_{01}$. В этом случае измеряется максимальное $\operatorname{Im}W_{\text{кр,max}}$ (соответствует точке А) и

минимальное $\text{Im}W_{A_{\min}}$ (соответствует точке A') значения мнимых составляющих иммитансов, индифируемых по минимальной и максимальной длине поршня П1 (в пределах от $l=0$ до $l<1/4$), а также значение КСВН $\gamma_A = \gamma_{A'}$, соответствующее этим точкам. Искомое значение инвариантного коэффициента устойчивости в этом случае определяется выражением:

$$K_{yA} = \frac{2 \text{Re}W_0}{\rho_A (\text{Im}W_{\text{ст. max}} - \text{Im}W_{\text{ст. min}})}$$

Одним из недостатков этого метода является ограничение диапазона измерений значением $K_{yA} > 0$. Общим недостатком рассмотренных последних трех методов измерения K_{yA} является их сложность, но они позволяют осуществлять измерения как абсолютно-устойчивых так и потенциально-неустойчивых четырехполосников.

Значительно более простым является метод Н.З. Шварца [3], но он может быть использован только для измерения K_{yA} устойчивых четырехполосников.

В работе [7] предложен относительно несложный способ определения K_{yA} , использующий метод Н.З. Шварца, но позволяющий производить измерение K_{yA} и потенциально-неустойчивых четырехполосников. Реализация способа осуществляется с помощью экспериментальной установки изображенной на рис. 3.

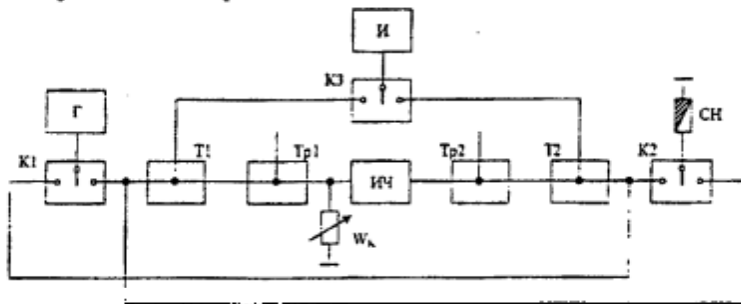


Рис. 3. Структурная схема экспериментальной установки для определения инвариантного коэффициента устойчивости по методу [7]: Tr1 и Tr2 – согласующие трансформаторы; И – индикатор; СН – согласованная нагрузка.

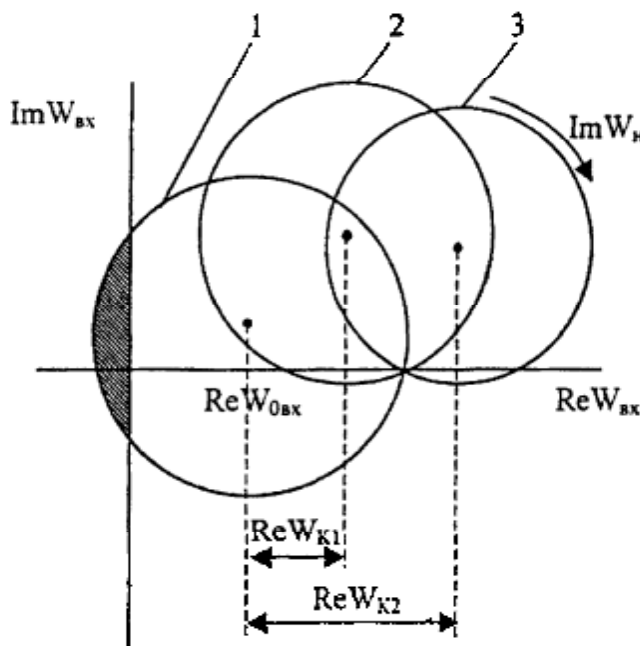


Рис. 4. Входные иммитансные окружности потенциально-неустойчивого четырехполосника (1) и нагруженного по входу четырехполосника (2, 3)

осуществления измерений импедансов т.к. в процессе измерений фиксируется только мощность или напряжение индикатором И. К недостатку метода следует отнести необходимость осуществления согласования с помощью трансформаторов Tr1 и Tr2 измерительного тракта, что затрудняет автоматизацию процесса измерений.

Выводы

1. В настоящее время разработаны косвенные методы измерения инвариантного коэффициента

Данная установка позволяет осуществлять измерения K_{yA} по методу описанному в работе [3], но для обеспечения устойчивости измерительной установки, в случае исследования потенциально-неустойчивого четырехполосника, ко входу четырехполосника подключен калиброванный резистор с иммитансом W_k . Величина вещественного иммитанса этого резистора в процессе измерения подбирается таким образом, чтобы иммитансные окружности измеряемого четырехполосника с включенным на его входе резистором находились в области абсолютной устойчивости (рис. 4)

Производится измерение инвариантных коэффициентов устойчивости K_{y1} и K_{y2} нагруженного четырехполосника при двух значениях вещественного иммитанса $\text{Re}W_{k1}$ и $\text{Re}W_{k2}$ калиброванного резистора по методу, предложенному в работе [3], а искомое значение K_{yA} находится по формуле:

$$K_{yA} = \frac{K_{y1} \text{Re}W_{k2}}{\text{Re}(W_{k2} - W_{k1})}$$

Для обеспечения абсолютной устойчивости измерений требуется выполнение только одного условия $\text{Re}W_{k2} > \text{Re}W_{k1} > \text{Re}W_{\text{ст}}$. Несомненным достоинством метода является отсутствие необходимости

устойчивости четырехполюсника по результатам измерения его иммитансных параметров, коэффициентов передачи по мощности и модулей коэффициента отражения.

2. Наиболее эффективным является модифицированный метод Н. Шварца, обеспечивающий при относительной простоте измерять K_{11} , как устойчивых, так и потенциально неустойчивых четырехполюсников.

3. Актуальной остается проблема измерения K_{11} потенциально-неустойчивых четырехполюсников без использования процедуры согласования импедансов.

Литература

1. Филинчук Н.А. Активные СВЧ фильтры на транзисторах. - М.: Радио и связь, 1987. -112с.
2. Rollet J.M. Stability and power gain invariant of linear for parts. //IRE Trans. -1962. v.CT-9. - №1, P.29-32.
3. Шварц Н.З. К определению инвариантного коэффициента устойчивости СВЧ транзисторов. - В кн. Полупроводниковые приборы и их применение / Под ред. Я.А. Федотова. - М.: Сов. радио, 1972. -Вып. 26, с. 245-248.
4. Medina M.A., Scaret R.M. A method of evaluating the stability factor of two - port network. //Trans. IEEE. -1996, V.54. - №12, -P.1959.
5. Филинчук Н.А. Метод определения инвариантного коэффициента устойчивости СВЧ четырехполюсников. -В кн. Микроэлектроника и полупроводниковые приборы/ Под ред. А.А. Васенкова и Я.А. Федотова. -М.: Радио и связь. - 1982. -Вып. 7. -С. 245-250.
6. ГОСТ 13266-74 Измерение полных сопротивлений коаксиальных и волноводных трактов. - Переиздат, май, 1970.
7. Филинчук М.А. Способ определения инвариантного коэффициента устойчивости четырехполюсника. А.С. СССР, №1335892, 1987, Б.И. №33.

Надійшла до редакції
13. 04. 2003 року.

УДК 621.317

Ю.Б. ГИМПЛЕВИЧ, Ю. Я. СМАЙЛОВ

Севастопольский Национальный технический университет

ЛИНЕЙНЫЙ АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ КОМПЛЕКСНЫХ КОНСТАНТ МНОГОПОЛЮСНОГО МИКРОВОЛНОВОГО РЕФЛЕКТОМЕТРА

Перспективным методом высокоточного измерения комплексных параметров микроволновых узлов в широкой полосе частот является метод многополюсного рефлектометра. На его основе можно создать относительно простые, в плане аппаратурной реализации, приборы. Высокие показатели достигаются в этом случае путем достаточно сложной алгоритмической обработки информации, как в режиме измерения, так и в режиме предварительного определения собственных параметров рефлектометра. Последний режим называют процедурой калибровки рефлектометра.

Задачей калибровки является определение собственных констант микроволнового преобразователя, использование которых позволяет практически полностью исключить влияние преобразователя на результаты измерений.

В работе [1] искомые константы определяют путем решения нелинейной системы калибровочных уравнений численными методами. Такой подход требует значительных затрат машинного времени а также задания весьма точных первых приближений искомым параметрам, что практически вызывает большие трудности. В работе [2] обобщенные скалярные константы определяют непосредственно из итоговых соотношений для реальной и мнимой частей комплексного параметра методами линейной алгебры. При этом число неизвестных для случая 12-полюсного рефлектометра равно 11, что требует минимум 6 калибровочных мер. Кроме того, этот подход нельзя реализовать для случая произвольного многополюсного рефлектометра.

Таким образом, актуальной является общая задача совершенствования процедуры калибровки. В данной работе рассмотрена линейная процедура калибровки многополюсного рефлектометра, позволяющая сократить количество образцовых мер и исключая необходимость задания начальных условий. Процедура применима для обобщенной модели рефлектометра с произвольным количеством полюсов.

Рассмотрим многополюсный рефлектометр, который имеет N измерительных выходов и два выхода, подключенных к генератору и нагрузке соответственно. Общее количество полюсов такого рефлектометра равно $2(N+2)$. В частности $N=4$ соответствует 12-полюсному