

**Науковий журнал**

**3.2003**

---

# **ВІСНИК**

**Технологічного  
університету Поділля**

**Том 2**

---

**Технічні науки**

**Хмельницький 2003**

**ВІСНИК**

**Технологічного**

**університету**

**Поділля**

*Засновано в липні 1997р.*

*Виходить 6 разів на рік*

---

**Хмельницький, 2003, №3 Т.2 (51)**

---

**Засновник і видавець : Технологічний університет Поділля (м. Хмельницький)**

**Головний редактор**

**Скиба М.Є.**, заслужений працівник народної освіти України, академік УТА, професор, ректор Технологічного університету Поділля

**Голова редакційної колегії**

**Сілін Р.І.**, заслужений працівник народної освіти України, академік МАІ, академік АІН України, академік УТА, д.т.н., професор

**Заступник головного редактора**

**Каплун В.Г.**, академік УТА, д.т.н., професор

**Відповідальний секретар**

**Гуляєва В.О.**, завідувач патентно-інформаційним відділом, Технологічний університет Поділля, м. Хмельницький

*Технічні науки*

д.т.н. Костоґриз С.Г., д.т.н. Ройзман В.П., д.т.н. Локазюк В.М., д.т.н. Ковтун В.В., д.т.н. Шевеля В.В., д.т.н. Кіницький Я.Т., д.т.н. Семенюк М.Ф., к.т.н. Драпак Г.М., д.т.н. Параска Г.Б., к.т.н. Баннова І.М., к.т.н. Троцишин І.В., к.т.н. Косенков В.Д., д.т.н. Мазур М.П., д.т.н. Гладкий Я.М., д.т.н. Калда Г.С., д.т.н. Мичко А.А., д.т.н. Стецишин М.С., д.т.н. Кузьменко А.Г., д.т.н. Рудницький В.Б., д.т.н. Камбург В.Г., д.т.н. Мясичев О.А.

*Відповідальні за випуск* д.т.н. Локазюк В.М., к.т.н. Савенко О.С.

*Технічний редактор* Горященко К.Л.

*Редактор-коректор* Мільман В.І.

Адреса редакції :

Україна, 29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 11, Технологічний університет Поділля, редакція журналу "Вісник Технологічного університету Поділля"

☎ (03822) 2-51-08

e-mail: patent\_1@beta.tup.km.ua

[http://www.tup.km.ua:8081/visnyk\\_tup.htm](http://www.tup.km.ua:8081/visnyk_tup.htm)

Зареєстровано Міністерством України у справах преси та інформації.  
Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації  
Серія КВ №2362 від 27 грудня 1996 року

© Технологічний університет Поділля, 2003  
© Редакція журналу "Вісник Технологічного університету Поділля", 2003

управления.- К.: Радиоаматор, 2000.- 400 с.

9. Гостев В.И., Маглой С.А., Иванченко В.А. Оптимальное управление температурой газа двухвального двухконтурного газотурбинного двигателя на базовых режимах работы // Механика та машинобудування.- 2002.- №1.- С.107-117.

Надійшла 25.1.2003 р.

УДК 621.317.612

Н.А. ФИЛИНЮК, К.В. ОГОРОДНИК, Д.В. ГАВРИЛОВ  
Винницкий государственный технический университет

## МОДЕРНИЗИРОВАННЫЙ МЕТОД «ПЛАВАЮЩЕЙ НАГРУЗКИ» ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИММИТАНСНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЛИНЕЙНЫХ ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКОВ

*В статті запропоновано модифікований метод вимірювання імпедансних параметрів чотириполосника, що значно простіше реалізується на практиці, ніж відомі раніше. Наведено результати аналізу точності запропонованого методу.*

При расчете электронных схем широкое применение получили иммитансные W-параметры четырехполосника. В диапазоне низких и высоких частот их измерение осуществляется при фиксированных значениях иммитансов генератора и нагрузки, соответствующих режимам короткого замыкания и холостого хода. На сверхвысоких частотах обеспечение этих режимов представляет значительные технические трудности, преодоление которых возможно путем использования метода «плавающей нагрузки» [1]. Он базируется на измерении входного  $W_{вх}$  (выходного  $W_{вых}$ ) иммитанса четырехполосника при произвольных (плавающих) значениях мнимой составляющей иммитанса нагрузки ( $\text{Im}W_n - \text{var}$ ) и генератора ( $\text{Im}W_r - \text{var}$ ) при фиксированном (но произвольном) значении их вещественной составляющей ( $\text{Re}W_n - \text{const}$ ,  $\text{Re}W_r - \text{const}$ ). Основная погрешность этого метода связана с низкой точностью измерения импеданса, определение которого на СВЧ осуществляется косвенными методами, обычно по результатам измерения модуля  $|Γ|$  и фазы  $φ_2$  коэффициента отражения. С целью повышения точности измерения иммитансных параметров, предлагается модифицированный метод «плавающей нагрузки».

Известно, что приведенное значение полной проводимости  $Y' = Y/Y_0$  связано с коэффициентом отражения  $\dot{Γ}$  соотношением [2]:

$$Y' = (1 - \dot{Γ}) / (1 + \dot{Γ}). \quad (1)$$

Представляя комплексный коэффициент отражения в виде:

$$\dot{Γ} = |Γ| \cdot (\cos φ_2 + j \sin φ_2), \quad (2)$$

после подстановки (2) в (1), находим:

$$\text{Re } Y' = \frac{1 - |Γ|^2}{1 + 2|Γ| \cos φ_2 + |Γ|^2}; \quad (3)$$

$$\text{Im } Y' = \frac{-2|Γ| \sin φ_2}{1 + 2|Γ| \cos φ_2 + |Γ|^2}. \quad (4)$$

Выражения (3) и (4) представляют собой координаты одной из точек иммитансной окружности. Имея в наличии три таких точки и воспользовавшись известным математическим уравнением окружности на плоскости, можно получить следующую систему:

$$\begin{cases} \left( \frac{1 - |Γ_1|^2}{1 + 2|Γ_1| \cos φ_{21} + |Γ_1|^2} - a \right)^2 + \left( \frac{-2|Γ_1| \sin φ_{21}}{1 + 2|Γ_1| \cos φ_{21} + |Γ_1|^2} - b \right)^2 = c^2; \\ \left( \frac{1 - |Γ_2|^2}{1 + 2|Γ_2| \cos φ_{22} + |Γ_2|^2} - a \right)^2 + \left( \frac{-2|Γ_2| \sin φ_{22}}{1 + 2|Γ_2| \cos φ_{22} + |Γ_2|^2} - b \right)^2 = c^2; \\ \left( \frac{1 - |Γ_3|^2}{1 + 2|Γ_3| \cos φ_{23} + |Γ_3|^2} - a \right)^2 + \left( \frac{-2|Γ_3| \sin φ_{23}}{1 + 2|Γ_3| \cos φ_{23} + |Γ_3|^2} - b \right)^2 = c^2. \end{cases} \quad (5)$$

где  $|\Gamma_1|, |\Gamma_2|, |\Gamma_3|, \varphi_{e1}, \varphi_{e2}, \varphi_{e3}$  - модули и фазы коэффициента отражения в трех различных точках иммитансной окружности;

$a, b, c$  - соответственно координаты центра и радиус искомой иммитансной окружности.

Из системы (5) можно получить выражения для определения координат центра искомой иммитансной окружности:

$$\begin{aligned}
 b = & \frac{\left( \left( \frac{1-|\Gamma_2|^2}{1+2|\Gamma_2|\cos\varphi_{e2}+|\Gamma_2|^2} \right)^2 - \left( \frac{1-|\Gamma_1|^2}{1+2|\Gamma_1|\cos\varphi_{e1}+|\Gamma_1|^2} \right)^2 + \left( \frac{-2|\Gamma_2|\sin\varphi_{e2}}{1+2|\Gamma_2|\cos\varphi_{e2}+|\Gamma_2|^2} \right)^2 - \right. \\
 & \left. 2 \left[ \left( \frac{-2|\Gamma_3|\sin\varphi_{e3}}{1+2|\Gamma_3|\cos\varphi_{e3}+|\Gamma_3|^2} - \frac{-2|\Gamma_2|\sin\varphi_{e2}}{1+2|\Gamma_2|\cos\varphi_{e2}+|\Gamma_2|^2} \right) \times \right. \right. \\
 & \left. \left. - \left( \frac{-2|\Gamma_1|\sin\varphi_{e1}}{1+2|\Gamma_1|\cos\varphi_{e1}+|\Gamma_1|^2} \right)^2 \right] \left( \frac{1-|\Gamma_2|^2}{1+2|\Gamma_2|\cos\varphi_{e2}+|\Gamma_2|^2} - \frac{1-|\Gamma_3|^2}{1+2|\Gamma_3|\cos\varphi_{e3}+|\Gamma_3|^2} \right) - \right. \\
 & \left. \times \left( \frac{1-|\Gamma_2|^2}{1+2|\Gamma_2|\cos\varphi_{e2}+|\Gamma_2|^2} - \frac{1-|\Gamma_1|^2}{1+2|\Gamma_1|\cos\varphi_{e1}+|\Gamma_1|^2} \right) \right) - \\
 & \left( \left( \frac{1-|\Gamma_2|^2}{1+2|\Gamma_2|\cos\varphi_{e2}+|\Gamma_2|^2} \right)^2 - \left( \frac{1-|\Gamma_3|^2}{1+2|\Gamma_3|\cos\varphi_{e3}+|\Gamma_3|^2} \right)^2 + \left( \frac{-2|\Gamma_2|\sin\varphi_{e2}}{1+2|\Gamma_2|\cos\varphi_{e2}+|\Gamma_2|^2} \right)^2 - \right. \\
 & \left. - \left( \frac{-2|\Gamma_1|\sin\varphi_{e1}}{1+2|\Gamma_1|\cos\varphi_{e1}+|\Gamma_1|^2} - \frac{-2|\Gamma_2|\sin\varphi_{e2}}{1+2|\Gamma_2|\cos\varphi_{e2}+|\Gamma_2|^2} \right) \times \right. \\
 & \left. - \left( \frac{-2|\Gamma_3|\sin\varphi_{e3}}{1+2|\Gamma_3|\cos\varphi_{e3}+|\Gamma_3|^2} \right)^2 \right] \left( \frac{1-|\Gamma_2|^2}{1+2|\Gamma_2|\cos\varphi_{e2}+|\Gamma_2|^2} - \frac{1-|\Gamma_1|^2}{1+2|\Gamma_1|\cos\varphi_{e1}+|\Gamma_1|^2} \right) - \\
 & \left. \times \left( \frac{1-|\Gamma_2|^2}{1+2|\Gamma_2|\cos\varphi_{e2}+|\Gamma_2|^2} - \frac{1-|\Gamma_3|^2}{1+2|\Gamma_3|\cos\varphi_{e3}+|\Gamma_3|^2} \right) \right] \right) ; \\
 a = & \frac{\left( \frac{1-|\Gamma_2|^2}{1+2|\Gamma_2|\cos\varphi_{e2}+|\Gamma_2|^2} \right)^2 - \left( \frac{1-|\Gamma_1|^2}{1+2|\Gamma_1|\cos\varphi_{e1}+|\Gamma_1|^2} \right)^2 + \left( \frac{-2|\Gamma_2|\sin\varphi_{e2}}{1+2|\Gamma_2|\cos\varphi_{e2}+|\Gamma_2|^2} \right)^2 - \\
 & 2 \left( \frac{1-|\Gamma_2|^2}{1+2|\Gamma_2|\cos\varphi_{e2}+|\Gamma_2|^2} - \right. \\
 & \left. - \left( \frac{-2|\Gamma_1|\sin\varphi_{e1}}{1+2|\Gamma_1|\cos\varphi_{e1}+|\Gamma_1|^2} \right)^2 - 2b \left( \frac{-2|\Gamma_2|\sin\varphi_{e2}}{1+2|\Gamma_2|\cos\varphi_{e2}+|\Gamma_2|^2} - \frac{-2|\Gamma_1|\sin\varphi_{e1}}{1+2|\Gamma_1|\cos\varphi_{e1}+|\Gamma_1|^2} \right) \right. \\
 & \left. - \frac{1-|\Gamma_1|^2}{1+2|\Gamma_1|\cos\varphi_{e1}+|\Gamma_1|^2} \right)
 \end{aligned} \tag{6}$$

Не смотря на кажущуюся сложность выражений (6) и (7), расчет по ним легко осуществляется с помощью компьютера.

Для нахождения радиуса искомой иммитансной окружности, рассчитанные значения из (6), (7) необходимо подставить в одно из уравнений системы (5). Для уменьшения погрешностей, радиус лучше найти по каждому из уравнений системы (5), а затем полученные значения усреднить.

Таким образом, измерение иммитансных параметров четырехполосника сводится к измерению модуля  $|\Gamma|$  и фазы  $\varphi_e$  коэффициента отражения. Однако проведение анализа точности выражений (3), (4) показывает, что использование этих формул не всегда обеспечивает требуемую погрешность.

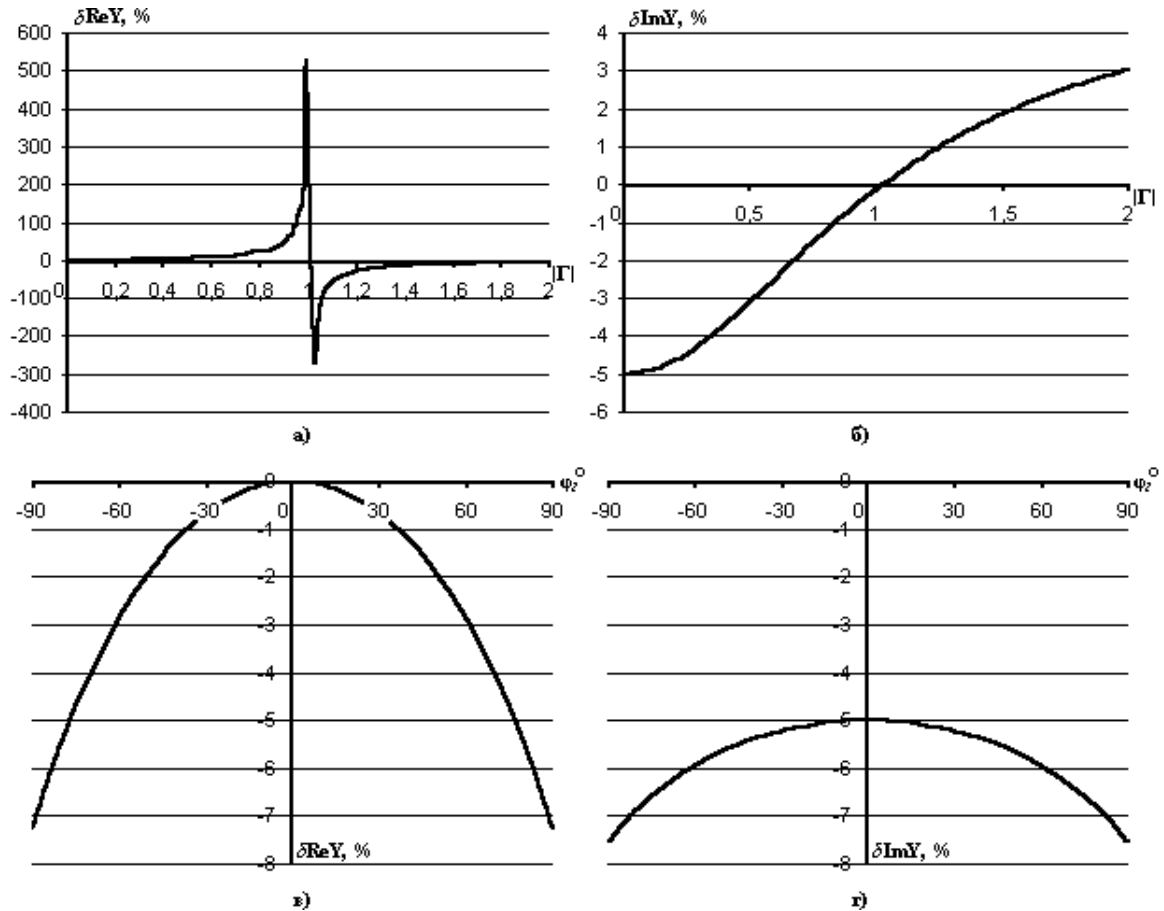


Рис. 1. Зависимости погрешностей измерения проводимости от величины  $|\Gamma|$  и  $\varphi_2$

С целью определения условий получения заданной погрешности, в результаты измерений специально была введена погрешность определения  $\varphi_2$  и  $|\Gamma|$  в размере 5%. Анализ полученных результатов показывает (рис.1), что погрешность определения выходных параметров практически не зависит от величины фазы  $\varphi_2$ . Она находится в пределах 7% во всем диапазоне  $\varphi_2$  от  $-90^\circ$  до  $+90^\circ$ . Причем с приближением  $\varphi_2$  к нулю погрешность уменьшается (рис.1в,1г).

Анализ зависимости погрешности выходных результатов от модуля  $|\Gamma|$  показывает, что в диапазоне  $|\Gamma|$  от 0,8 до 1,2 погрешность измерений резко возрастает и ведет к неверному определению параметров. В других же пределах погрешность также не превышает 5 – 7 %, то есть остается практически на уровне введенной.

### Выводы

1. Для получения верных результатов при использовании метода «плавающей нагрузки» для определения Y-параметров матрицы проводимостей четырехполюсника, необходимо в процессе эксперимента учитывать лишь те точки на иммитансной окружности, для которых параметр  $|\Gamma|$  лежит вне диапазона  $\{0,8; 1,2\}$  и для повышения точности рекомендуется строить иммитансную окружность более чем по трем точкам.

2. Предложенный модернизированный метод определения иммитансных параметров четырехполюсника значительно проще реализуется на практике, чем известные ранее, а также не вводит дополнительную погрешность в результаты измерений.

### Литература

1. Филинюк Н.А. Устройство для измерения параметров матрицы Y-проводимости четырехполюсника. – А.С. СССР №1095102, 1984, БИ №20.
2. Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ. – М.: Высшая школа, 1970. – 440 с.

Надійшла 17.2.2003 р.