

# IDENTIFICATION OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF CAPACITY GAUGES IN THE MICROWAVE BAND

Al-Ravashdeh Baker, Sergienko M. P.  
Kharkiv National University of Radio Electronics  
14, Lenin ave., Kharkov, 61166, Ukraine  
Ph: (067) 2704323, e-mail: mar.sergienko@gmail.com

**Abstract** — The gain-frequency characteristics identification method for capacity gauges in a microwave band which could be modelled with an oscillating type dynamic link and which consists of the double measuring of gain-frequency characteristics on different frequencies with a subsequent calculation of time constant and attenuation factor is considered. The estimation of standard uncertainties of the required parameters is carried out. The means for this method optimization is proposed.

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕРИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ СВЧ ДИАПАЗОНА

Аль-Равашдех Бакер, Сергиенко М. П.  
Харьковский национальный университет радиоэлектроники  
пр. Ленина, 14, Харьков, 61166, Украина  
тел.: (067) 2704323, e-mail: mar.sergienko@gmail.com

**Аннотация** — Рассмотрен метод метрологической идентификации амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) измерителей мощности СВЧ диапазона, моделируемых динамическим звеном колебательного типа, состоящий в двукратном измерении АЧХ на разных частотах с последующим расчетом постоянной времени и коэффициента затухания. Осуществлена оценка стандартных неопределенностей искомых параметров. Предложен способ оптимизации метода.

### I. Введение

Постоянное повышение требований к точности и быстродействию измерителей мощности СВЧ диапазона приводит к необходимости измерений и идентификации их динамических характеристик (ДХ) с целью последующей коррекции получаемых с их помощью результатов измерений. ДХ, отражающие инерционные свойства средств измерительной техники (СИТ), относятся к их нормируемым метрологическим характеристикам [1, 2]. Этап нормирования ДХ чрезвычайно важен при проектировании и эксплуатации СИТ в динамическом режиме, при этом одной из основных задач является обеспечение необходимой точности получаемых параметров.

Методы метрологической идентификации СИТ, моделируемых динамическим звеном апериодического типа, рассмотрены в [3]. Однако на практике часто используются СИТ, для которых такая модель не соответствует их действительным ДХ, в частности при наличии колебательного переходного процесса. В таких случаях СИТ моделируют динамическим звеном колебательного типа. Далее предложен метод идентификации АЧХ измерителей мощности СВЧ диапазона.

### II. Основная часть

АЧХ СИТ, моделируемого динамическим звеном колебательного типа, имеет вид

$$A(\omega) = \frac{k}{\sqrt{(1 - \omega^2 T^2)^2 + (2\omega\xi T)^2}}, \quad (1)$$

где  $\omega$  — круговая частота;  $k$  — статический коэффициент преобразования СИТ;  $T$  — постоянная времени СИТ;  $\xi$  — коэффициент затухания.

Это выражение можно представить в виде

$$(1 - \omega^2 T^2)^2 + (2\omega\xi T)^2 = \frac{k^2}{A^2(\omega)}, \quad (2)$$

где  $\omega$  и  $k$  известны, а значения  $A(\omega)$  могут быть измеренными.

Неизвестные параметры  $T$  и  $\xi$  могут быть выражены из формулы (2) следующим образом

$$T = \frac{1}{\omega} \sqrt{1 + 2\xi^2 \pm \sqrt{4\xi^2(\xi^2 - 1) + \frac{k^2}{A^2(\omega)}}}; \quad (3)$$

$$\xi = \frac{1}{2\omega T} \sqrt{\frac{k^2}{A^2(\omega)} - (1 - \omega^2 T^2)^2}. \quad (4)$$

Если экспериментально получить два наблюдения АЧХ  $A(\omega_1)$  и  $A(\omega_2)$  на разных частотах, можно получить систему уравнений

$$\begin{cases} T = \frac{1}{\omega_1} \sqrt{1 + 2\xi^2 \pm \sqrt{4\xi^2(\xi^2 - 1) + A_1^2}}; \\ \xi = \frac{1}{2\omega_2 T} \sqrt{A_2^2 - (1 - \omega_2^2 T^2)^2}, \end{cases} \quad (5)$$

где  $A_1 = k^2 / A^2(\omega_1)$ ,  $A_2 = k^2 / A^2(\omega_2)$ .

Решая систему (5), находим постоянную времени

$$T = 4 \sqrt{\frac{\omega_2^2 - \omega_1^2 + A_2^2 \omega_1^2 - A_1^2 \omega_2^2}{\omega_1^2 \omega_2^2 (\omega_2^2 - \omega_1^2)}}. \quad (6)$$

Коэффициент затухания можно получить, подставив формулу (6) во второе уравнение системы (5).

Учитывая, что  $\omega_2 = n\omega_1$ , формулы для вычисления постоянной времени и коэффициента затухания будут иметь вид

$$T = 4 \sqrt{\frac{(A_2^2 - 1) - n^2(A_1^2 - 1)}{n^2 \omega_1^4 (n^2 - 1)}}; \quad (7)$$

$$\xi = \frac{1}{2n\omega_1 T} \sqrt{A_2^2 - (1 - n^2 \omega_1^2 T^2)^2}. \quad (8)$$

При подстановке выражения (7) в выражение (8), коэффициент затухания можно получить в виде

$$\xi = \sqrt{\frac{n^4(A_1^2 - 1) - (A_2^2 - 1)}{4n\sqrt{(n^2 - 1)[(A_2^2 - 1) - n^2(A_1^2 - 1)]}} + \frac{1}{2}}. \quad (9)$$

Стандартная неопределенность  $u(T)$  имеет вид

$$u(T) = \left[ \left( \frac{\partial T}{\partial \omega_1} \right)^2 u^2(\omega_1) + \left( \frac{\partial T}{\partial A(\omega_1)} \right)^2 u^2[A(\omega_1)] + \left( \frac{\partial T}{\partial A(\omega_2)} \right)^2 u^2[A(\omega_2)] + \left( \frac{\partial T}{\partial n} \right)^2 u^2(n) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

где  $u(\omega_1)$  — стандартная неопределенность установки частоты  $\omega_1$ ;  $u[A(\omega_1)]$ ,  $u[A(\omega_2)]$  — неопределенности измерения выходного сигнала СИТ;  $u(n) = n\sqrt{2} u(\omega_1)/\omega_1$  — стандартная неопределенность коэффициента  $n = \omega_2/\omega_1$ .

Исследования показали, что  $u(T)$  уменьшается с ростом  $n$  до определенного значения, зависящего от  $\omega_1$  (или  $f_1 = \omega_1/(2\pi)$ ). Так, для СИТ с параметрами  $T = 0,8$  нс,  $\xi = 0,7$ ;  $k = 1$  и стандартными неопределенностями  $u(\omega_1)$ ,  $u[A(\omega_1)]$ ,  $u[A(\omega_2)]$ , оцененными по максимальным относительным погрешностям установки частоты  $\delta\omega = 1\%$  и измерения АЧХ  $\delta[A(\omega)] = 2\%$ , был установлен минимум  $u_{\min}(T) = 11,3$  пс, соответствующий частотам  $f_1 \geq 50$  МГц и  $n \rightarrow \infty$ . Однако уже при  $n = 14,3$   $u(T) = 15$  пс.

Для коэффициента затухания, определяемого по формуле (8),  $u(\xi)$  можно оценить по формуле

$$u(\xi) = \left[ \left( \frac{\partial \xi}{\partial \omega_1} \right)^2 u^2(\omega_1) + \left( \frac{\partial \xi}{\partial T} \right)^2 u^2(T) + \left( \frac{\partial \xi}{\partial A(\omega_2)} \right)^2 u^2[A(\omega_2)] + \left( \frac{\partial \xi}{\partial n} \right)^2 u^2(n) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

При анализе  $u(\xi)$  (рис. 1) были обнаружены минимумы  $u_{\min}(\xi)$ , соответствующие значениям  $n_{\min}$  при разных частотах  $f_1$  (рис. 1). В этом случае минимум  $\min[u_{\min}(\xi)] = 0,045$  при  $n_{\min} = 2,32$  соответствует  $f_1 = 100$  МГц. При дальнейшем увеличении  $f_1$   $u_{\min}(\xi)$  неограниченно возрастает.

Для коэффициента затухания, определяемого по формуле (9),  $u(\xi)$  оценивается по формуле

$$u(\xi) = \left[ \left( \frac{\partial \xi}{\partial A(\omega_1)} \right)^2 u^2[A(\omega_1)] + \left( \frac{\partial \xi}{\partial A(\omega_2)} \right)^2 u^2[A(\omega_2)] + \left( \frac{\partial \xi}{\partial n} \right)^2 u^2(n) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

Стандартная неопределенность  $u(\xi)$  в этом случае уменьшается с увеличением  $n$  до определенного значения, зависящего от  $f_1$  (рис. 2).

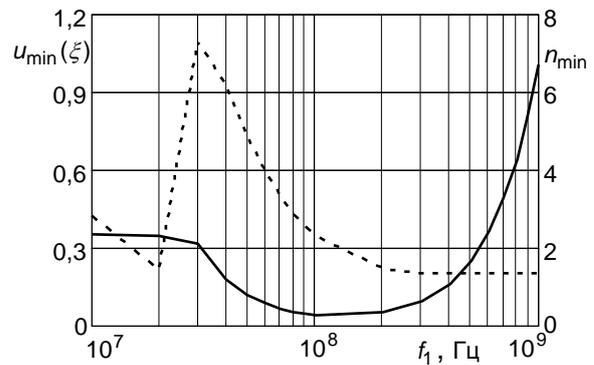


Рис. 1. Зависимости  $u_{\min}(\xi)$  (сплошная линия) и соответствующих им  $n_{\min}$  (штриховая линия) от  $f_1$ .

Fig. 1. Relations  $u_{\min}(\xi)$  (the continuous line) and corresponding to them  $n_{\min}$  (stroke line) from  $f_1$

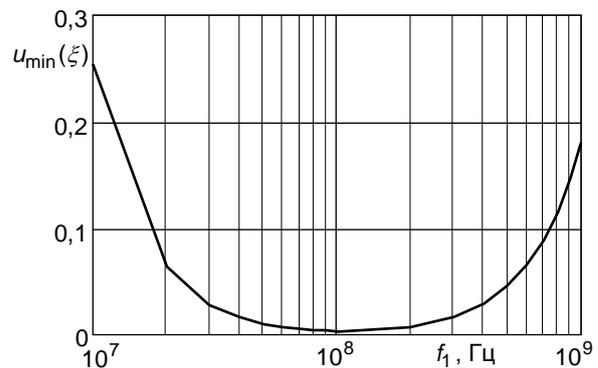


Рис. 2. Зависимость  $u_{\min}(\xi)$  от  $f_1$ .

Fig. 2. Relation  $u_{\min}(\xi)$  from  $f_1$

Минимум  $\min[u_{\min}(\xi)] = 3,15 \cdot 10^{-3}$  при  $n \rightarrow \infty$  соответствует  $f_1 = 100$  МГц. При дальнейшем увеличении  $f_1$   $u_{\min}(\xi)$  неограниченно возрастает.

### III. Заключение

1. Предложен метод идентификации АЧХ измерителей мощности СВЧ диапазона, осуществлена оценка стандартных неопределенностей получаемых в результате идентификации параметров.

2. Расчет коэффициента затухания предпочтительно осуществлять по формуле (9), что позволяет уменьшить его стандартную неопределенность в 14 раз при правильном выборе условий измерительного эксперимента по сравнению с результатом, получаемым по формуле (8).

### IV. References

- [1] ГОСТ 8.009-84. Нормирование и использование метрологических характеристик средств измерений : введ. 01.01.86.
- [2] ГОСТ 8.256-77. Государственная система обеспечения единства измерений. Нормирование и определение динамических характеристик аналоговых средств измерений. Основные положения : введ. 01.12.77.
- [3] Zakharov I.P., Sergienko M.P. Metrologicheskaja identifikacija dinamičeskikh harakteristik sredstv izmeritel'noj tehniky [Metrology identification of dynamic descriptions of measuring instruments]. Kharkov: KhNURE, 2012. 231 p.