

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 аperiodического 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 ω — круговая частота; k — статический коэффициент преобразования СИТ; T — постоянная времени СИТ; ξ — 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 ω и k известны, а значения $A(\omega)$ могут быть измеренными.

Неизвестные параметры T и ξ 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 ω_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 ω_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

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

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

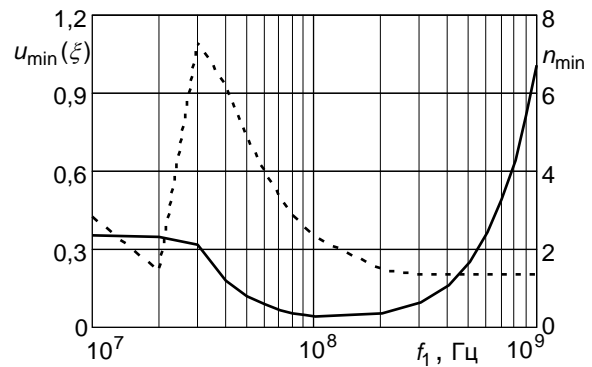


Рис. 1. Зависимости $u_{\min}(\xi)$ (сплошная линия) и соответствующих им n_{\min} (штриховая линия) от f_1 .

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

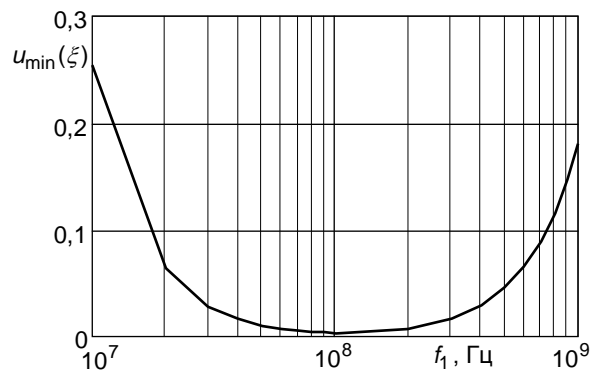


Рис. 2. Зависимость $u_{\min}(\xi)$ от f_1 .

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.