

ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТИ КАЛИБРОВКИ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ИМПЕДАНСА СВЧ НАГРУЗКИ ПО РЕЗОНАНСНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ С ГИРОМАГНИТНЫМ РЕЗОНАТОРОМ

Добкин Б.В., Полухин Ю.Н.

Как показано в [1], на основе измерения параметров энергетической резонансной характеристики (ЭРХ) линии передачи (ЛП) с гиромагнитным резонатором (ГР) и нерегулярностью можно определить коэффициент отражения от нерегулярности. При этом фаза коэффициента отражения φ_{Γ} вычисляется по некоторой функции:

$$\varphi_{\Gamma} = f(D_{II}, D_3, |\Gamma|, \sigma_B, a, b), \quad (1)$$

где D_{II}, D_3 - измеряемые значения импульсов пропускания и заграждения ЭРХ;

$\Gamma = |\Gamma| \cdot \exp(i\varphi_{\Gamma})$ - измеряемый коэффициент отражения нерегулярности, приведенный к плоскости расположения ГР;

σ_B параметр, характеризующий взаимоположение экстремумов ЭРХ;

$$a = \frac{\beta_0 \cdot \Phi}{1 + \beta_0}; \quad b = \frac{\beta_0 - 1}{1 + \beta_0};$$

β_0 - коэффициент связи ГР с полем регулярной ЛП (при $\Gamma=0$);

$\Phi = -2 \cdot h_n \cdot h_n / (h_n^2 + h_n^2)$ - параметр поляризации магнитного поля регулярной ЛП в точке расположения ГР;

h_n, h_n - комплексные амплитуды левой и правой циркулярных собственных функций магнитного поля в регулярной ЛП.

Параметры a и b определяются в процессе предварительной калибровки.

Общую погрешность измерения фазы коэффициента отражения можно приближенно оценить по формуле [2]:

$$\Delta\varphi_{\Gamma} = \frac{\partial f}{\partial D_{II}} \cdot \Delta D_{II} + \frac{\partial f}{\partial D_3} \cdot \Delta D_3 + \frac{\partial f}{\partial |\Gamma|} \cdot \Delta|\Gamma| + \frac{\partial f}{\partial a} \cdot \Delta a + \frac{\partial f}{\partial b} \cdot \Delta b \quad (2)$$

Отдельные слагаемые формулы (2) представляют собой частные погрешности, вызванные погрешностью измерения соответствующей величины. Погрешность определения знакового параметра σ_B в формуле (2) не учитывается.

Как показано в [1]

$$\varphi_{\Gamma} = -\sigma_B \cdot \operatorname{sgn}(a) \cdot \arccos(g(D_{II}, D_3, |\Gamma|, \sigma_B, a, b)); \quad (3)$$

$$\text{где } g(D_{II}, D_3, |\Gamma|, \sigma_B, a, b) = \frac{|\Gamma|}{a} \cdot \frac{b + \sigma_A \cdot |1 + A|}{1 + \sigma_A \cdot |1 + A| \cdot |\Gamma|^2};$$

$$|1 + A| = \sqrt{1 + D_{II} - D_3 - D_3 \cdot D_{II}};$$

$$\sigma_A = \operatorname{sgn}((W_- - 1)^2 - (W_+ - 1)^2);$$

$$W_{\pm} = \frac{|\Gamma|^2}{a^2 \cdot (1 \pm |1 + A| \cdot |\Gamma|^2)^2} \cdot \left[(b \pm |1 + A|)^2 + \frac{D_{II} \cdot D_3 \cdot (1 - b \cdot |\Gamma|^2)^2}{(|\Gamma|^2 - 1)^2} \right];$$

Далее будем рассматривать погрешность определения величины $\cos(\varphi_{\Gamma})$, а не величины φ_{Γ} . Это позволяет значительно упростить математические выкладки. Погрешность определения знакового параметра σ_A не учитываем.

Тогда коэффициенты влияния соответствующих погрешностей равны:

$$\frac{\partial g}{\partial a} = \frac{-|\Gamma|}{a^2} \cdot \frac{b + \sigma_A \cdot |1 + A|}{1 + \sigma_A \cdot |1 + A| \cdot |\Gamma|^2}; \quad (4)$$

$$\frac{\partial g}{\partial b} = \frac{|\Gamma|}{a} \cdot \frac{1}{1 + \sigma_A \cdot |1 + A| \cdot |\Gamma|^2}; \quad (5)$$

$$\frac{\partial g}{\partial |\Gamma|} = \frac{(b + \sigma_A \cdot |1 + A|)}{a} \cdot \frac{(1 - \sigma_A \cdot |1 + A| \cdot |\Gamma|^2)}{(1 + \sigma_A \cdot |1 + A| \cdot |\Gamma|^2)^2}; \quad (6)$$

$$\frac{\partial g}{\partial D_{II}} = \frac{|\Gamma| \cdot \sigma_A \cdot (1 - D_3) \cdot (1 - b \cdot |\Gamma|^2)}{2 \cdot a \cdot |1 + A| \cdot (1 + \sigma_A \cdot |1 + A| \cdot |\Gamma|^2)^2}; \quad (7)$$

$$\frac{\partial g}{\partial D_3} = \frac{|\Gamma| \cdot \sigma_A \cdot (-1 - D_{II}) \cdot (1 - b \cdot |\Gamma|^2)}{2 \cdot a \cdot |1 + A| \cdot (1 + \sigma_A \cdot |1 + A| \cdot |\Gamma|^2)^2}. \quad (8)$$

Как видно из формул (4)–(8), для уменьшения влияния погрешностей калибровки Δa и Δb , а также погрешностей измерения параметров ЭРХ на точность определения фазы коэффициента отражения желательнее добиваться максимально возможного значения параметра $|a|$. Анализ зависимостей параметров a и b от параметров ГР, показывает, что при реально достижимых значениях β_0 ($\beta_0 = 0.5 \div 7$) и $|\Phi|$ ($|\Phi| = 0.2 \div 1$) параметр $|a|$ лежит в пределах:

$$0.07 \leq |a| \leq 0.875. \quad (9)$$

С другой стороны, как показано в [1], для повышения точности определения параметра σ_A необходимо, чтобы величина b/a^2 значительно отличалась от 1. На рис. 1 приведены графики зависимостей величины b/a^2 от величины параметра $|a|$ при различных значениях параметра $|\Phi|$.

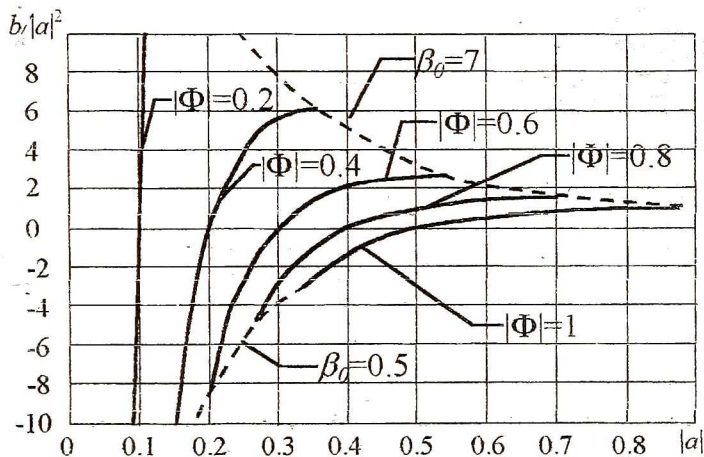


Рисунок 1. Зависимость величины b/a^2 от величины параметра $|a|$.

Как видно из графиков, выбор значений параметров ГР в общем случае неоднозначен. В частности, требования

$$\left| \frac{b}{a^2} - 1 \right| \geq 1, \quad (10)$$

$$|a| \geq 0.5 \quad (11)$$

можно обеспечить двумя способами:

$$\left. \begin{array}{l} \beta_0 \rightarrow 1 \\ |\Phi| \rightarrow 1 \end{array} \right\} \quad (12)$$

или

$$\left. \begin{array}{l} \beta_0 \geq 3 \\ \frac{(1 + \beta_0)^2}{4 \cdot \beta_0^2} \leq |\Phi| \leq \frac{\beta_0^2 - 1}{2 \cdot \beta_0^2} \end{array} \right\} \quad (13)$$

Условие (12) соответствует $|a| = 0.5$ и $|(b/a^2) - 1| = 1$. Условие (13) соответствует $|a| = 0.5 \div 0.612$ и $|(b/a^2) - 1| = 2 \div 1$. Требование выпол-

нения условия (13) накладывает на параметр $|\Phi|$ жесткие ограничения (при $\beta_0 = 7$ необходимо $0.57 \leq \Phi \leq 0.7$). Кроме того, большие значения коэффициента связи β_0 соответствуют ГР большего диаметра, что приводит к увеличению искажения первичного поля регулярной ЛП. Поэтому выполнение условия (12) более предпочтительно.

Таким образом, для повышения точности измерения параметров нагрузки рассматриваемым способом следует выбирать ГР, имеющий коэффициент связи с полем регулярной ЛП, близкий к 1, и располагать его в области с линейной поляризацией магнитного поля.

Список использованных источников

1. Добкин Б.В., Полухин Ю.Н. Определение импеданса СВЧ нагрузки по резонансным характеристикам линии передачи с гиромагнитным резонатором. Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королева. Серия: Актуальные проблемы радиоэлектроники. Выпуск 3. Самара, 2000.
2. Куликовский К.Л., Купер В.Я. Методы и средства измерений: Учеб. пособие для вузов. - М.: Энергбоатомиздат, 1986.

ПРИБОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ УТЕЧКИ ВОЗДУХА ИЗ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Пияков И.В., Иванов В.В.

Уже более 40 лет человечество осваивает околоземное космическое пространство. За это время на орбиту Земли выведено огромное количество спутников. Часть из них вернулась на Землю, часть сторела в атмосфере или разрушилась на орбите. Многие из них оставили в свободном полете части своих конструкций (так называемый космический мусор), которые, сталкиваясь между собой, дробятся, превращаясь постепенно в пылевые частицы. Эти частицы антропогенного происхождения вместе с естественными микрометеоритами представляют реальную опасность для космических аппаратов.

Для пилотируемых космических аппаратов микрометеориты могут стать причиной пробоин и микротрещин, через которые происходит утечка воздуха. Поэтому особенно важно своевременно определить поврежденное место.

Структурная схема прибора изображена на рисунке 1.

Принцип работы прибора заключается в следующем. Источник электронов 1 создаёт поток электронов между сетками 2 и 3 с частотой 200 Гц от блока 12. Газ внутри камеры ионизируется и ионы в начальный