

Чиганов Александр Анатольевич

начальник отдела

Еремеев Евгений Михайлович

начальник лаборатории

Научный исследовательский испытательный центр

средств ПВО межвидового назначения

г. Знаменск, Астраханская область

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ КОМПЛЕКСНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ДВЕНАДЦАТИПОЛЮСНОГО РЕФЛЕКТОМЕТРА

Аннотация: в статье рассмотрен перспективный метод измерения комплексного коэффициента отражения пристеночной плазмы с использованием рефлектометра.

Ключевые слова: комплексный коэффициент, отражение пристеночной плазмы, рефлектометр.

Компоненты СВЧ-систем обычно соединяются с помощью линий передачи или волноводов, которые в идеальном случае имеют регулярное поперечное сечение и свободны от активных потерь энергии. При этих условиях можно сказать, что поля в любой точке волновода определяются геометрией его поперечного сечения. Для описания СВЧ – компонент можно использовать напряжение U и ток i в заданной поперечной плоскости волновода. Однако чаще употребляются комплексные амплитуды волн b и a , распространяющихся в прямом и обратном направлениях.

Между величинами U и i , a и b существует простая линейная связь, но использование параметров a и b предпочтительней, т.к. в отличие от U и i , амплитуды и фазы которых зависят от продольной координаты, амплитуды падающей и отраженной волны остаются постоянными, а изменяются только их фазы. Фаза зависит линейно от расстояния, что не справедливо для обобщенных напряжений и токов [1].

Выражение для активной мощности P при использовании параметров U и i :

$$P = \operatorname{Re}(U \cdot i),$$

$$P = |b|^2 - |a|^2 = |b|^2(1 - |\Gamma|^2),$$

где a – комплексная амплитуда падающей волны; b – комплексная амплитуда отраженной волны [2]. Таким образом, параметры (рассеяния) цепи, требуемые для ее описания, через a и b измерить проще. Поэтому в СВЧ измерениях основную роль начинает играть такой параметр как мощность. Но наибольшее отличие состоит в том, что обычно прямое измерение a и b – невозможно. Поэтому на практике комплексные амплитуды волн b и a можно измерить только косвенными путями.

При расчете компонентов системы часто весьма полезной оказывается схема измерений, показанная на рисунке 1.

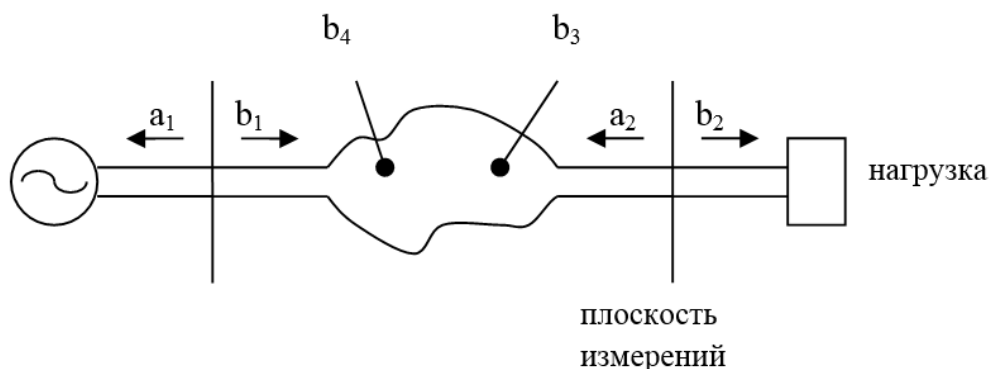


Рис. 1

Здесь объектом измерений являются величины b_2 и a_2 , которые в свою очередь определяют коэффициенты отражения нагрузки и мощность, падающую на нагрузку.

$$b_3 = A \cdot a_2 + B \cdot b_2, \quad (1)$$

$$b_4 = C \cdot a_2 + D \cdot b_2, \quad (2)$$

где A, B, C, D – комплексные константы, которые полностью определяются свойствами измерительной схемы. При заданных b_3, b_4 и A, \dots, D нетрудно решить (1), (2) относительно a_2 и b_2 .

Несмотря на кажущуюся ясность и простоту, до прихода автоматизации этот подход не получил широкого применения, так как, во-первых, этот метод трудоемок, и во-вторых b_3 и b_4 – комплексные величины и требуют достаточно сложных устройств для определения амплитуды и фазы [3].

При использовании же в качестве детектора диодов или термоэлектрических преобразователей как измерителей мощности, уравнения (1), (2) сводятся к виду:

$$P_3 = |b_3|^2 = |A \cdot a_2 + B \cdot b_2|^2, \quad (3)$$

$$P_4 = |b_4|^2 = |C \cdot a_2 + D \cdot b_2|^2. \quad (4)$$

Теперь мы вплотную подошли к одному из перечисленных методов определения параметров 4-х полюсников, который находится еще в стадии активной разработки, это метод использования двенадцатиполюсника.

В отличие от существующих автоматических анализаторов цепей в нем применяются простые индикаторы мощности, а не сложные гетеродинные схемы. Его работа основана на уравнениях вида (3), (4), а не (1), (2).

Добавляя в схему на рис. 3 два индикатора P_5, P_6 , можно записать следующие уравнения:

$$P_5 = |E \cdot a_2 + F \cdot b_2|^2, \quad (5)$$

$$P_6 = |G \cdot a_2 + H \cdot b_2|^2, \quad (6)$$

где $E \dots H$ – дополнительные комплексные константы измерительной схемы.

Нужно определить b_2 и a_2 посредством определения мощностей $P_3 \dots P_6$, полагая при этом, что комплексные константы $A \dots H$ известны. Требуется решить систему уравнений (3), (4), (5), (6), но теперь это квадратные уравнения.

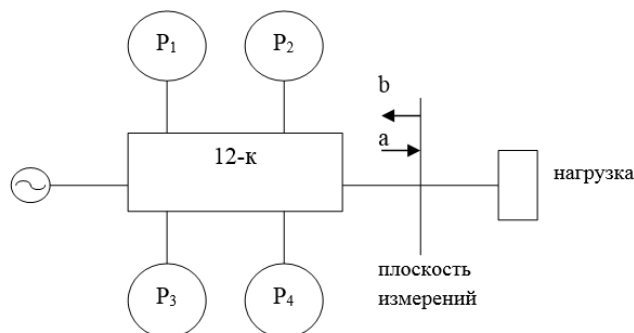


Рис. 2

Для удобства перепишем систему уравнений (3) ... (6) в новых обозначениях применительно к двенадцатиполосника.

Решение этой системы сводится к следующему: разделим с 1-го по 3-е уравнения на 4-е.

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{|A_1 \cdot a + B_1 \cdot b|^2}{|A_4 \cdot a + B_4 \cdot b|^2} = \frac{|A_1|^2}{|A_4|^2} \cdot \frac{|a|^2}{|a|^2} \cdot \frac{\left|1 + \frac{B_1}{A_1} \cdot \frac{b}{a}\right|^2}{\left|1 + \frac{B_4}{A_4} \cdot \frac{b}{a}\right|^2}$$

$$\frac{P_i}{P_4} = \frac{|A_i|^2}{|A_4|^2} \cdot \frac{|1 + D_i \cdot \Gamma|^2}{|1 + D_4 \cdot \Gamma|^2} = \frac{|A_i|^2}{|A_4|^2} \cdot \frac{|1 + D_4 \cdot \Gamma - D_4 \cdot \Gamma + D_i \cdot \Gamma|^2}{|1 + D_4 \cdot \Gamma|^2} =$$

Эти комплексные константы определяются в процессе калибровки двенадцатиполосника. То же относится к α_i .

Из выражения $|\rho| = \left| \frac{\Gamma}{1 + D_4 \Gamma} \right|$, зная ρ и D_4 можно найти комплексный коэффициент отражения в плоскости измерения системы рисунка 2.

Список литературы

1. Авторское свидетельство СССР №1290205, 1984 г.
2. Колесникова О.В. Расчет коэффициента отражения генератора методом двенадцатиполосного рефлектора / О.В. Колесникова, П.А. Львов // Вестник СГТУ. – 2009. – №4 (43). – С. 68–71. – EDN PONTPD