

У ДК 621.372.812

СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЯ ДО НЕОДНОРОДНОСТИ В ПРОТЯЖЕННОМ СВЧ ТРАКТЕ

Трушкин А.Н.

Севастопольский национальный технический университет

Студгородок г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: rt.sevgtu@stel.sebastopol.ua

Рассмотрены способ и устройство для измерения расстояния до неоднородности в протяженном СВЧ тракте, проводится анализ погрешности, обусловленной неточностью установки частоты СВЧ генератора.

Большая напряженность электрического поля в СВЧ трактах РЛС, системах управления летающими объектами, а также в каналах связи обусловлена значительной энергией, сосредоточенной в радиоимпульсе, генерируемом магнетроном. В связи с этим вероятность пробоя СВЧ тракта довольно высока и требуется оперативная локализация места повреждения с последующим ремонтом. С целью повышения эффективности диагностики состояния СВЧ части радиотехнической системы ниже предлагается способ определения места пробоя в волноводном тракте.

На рисунке 1 изображена схема устройства. Сигналы измерителя показаны на рисунке 2.

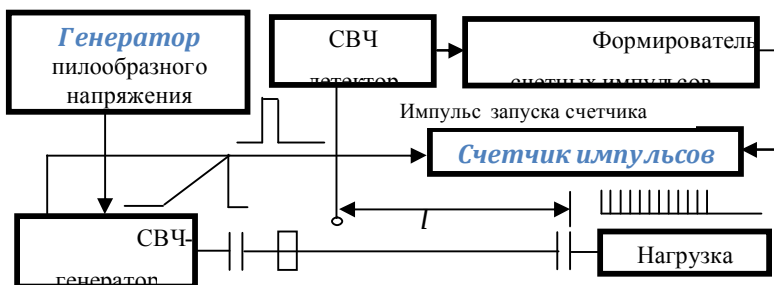
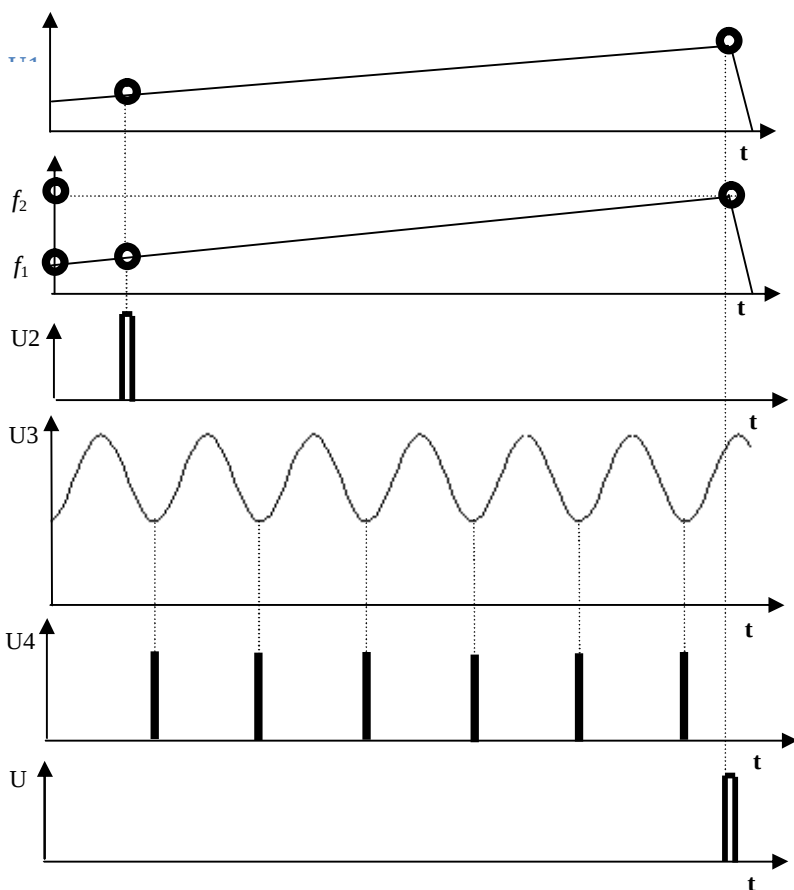


Рисунок 1 – Схема измерителя расстояния до неоднородности

Измеритель работает следующим образом. Генератор пилообразного напряжения (ГПН) вырабатывает импульс U_1 , управляющий частотой



перестройки СВЧ генератора (ГСВЧ), который имеет два встроенных резонансных волномера. Первый волномер настраивается в резонанс на частоту f_1 , второй – на частоту f_2 . Импульсом частотной метки U2, появляющимся при совпадении частоты ГСВЧ с частотой настройки f_1 первого резонансного волномера, запускается счетчик импульсов. При перестройке ГСВЧ на зонде наводится напряжение сверхвысокой частоты, промодулированное по амплитуде. Сигнал с выхода СВЧ детектора U3 (рисунок 2) поступает на вход формирователя счетных импульсов. Счетчик подсчитывает число импульсов U4. При совпадении частоты ГСВЧ с частотой настройки f_2 второго резонансного волномера последний вырабатывает вторую частотную метку U5 и счетчик импульсов прекращает подсчет числа импульсов.

Выражение для выходного сигнала СВЧ-детектора имеет вид

$$U = K_D \cdot E^2 \left[1 + \Gamma^2 + 2\Gamma \cos \left(\varphi + \frac{4\pi l}{\lambda_g} \right) \right],$$

где K_D – коэффициент преобразования СВЧ-детектора; E – амплитуда падающей волны; Γ – модуль коэффициента отражения неоднородности образовавшейся после пробоя волновода; φ – фаза коэффициента отражения неоднородности образовавшейся в результате пробоя волновода; l – расстояние от плоскости зонда до искомой неоднородности; λ_g – длина волны в волноводе.

При достаточно большом коэффициенте отражения момент перехода

переменной составляющей выходного напряжения СВЧ-детектора

через ноль фиксируется схемой измерителя (рисунок 1), поэтому для

частот f_1 , f_2 перестройки СВЧ-генератора можно записать

соответственно

$$\begin{aligned} \cos \left(\frac{4\pi l}{\lambda_{g1}} + \varphi_1 \right) &= 0, & n_1 &= \frac{4l}{\lambda_{g1}} + \frac{\varphi_1}{\pi}, \\ \cos \left(\frac{4\pi l}{\lambda_{g2}} + \varphi_2 \right) &= 0, & n_2 &= \frac{4l}{\lambda_{g2}} + \frac{\varphi_2}{\pi}, \end{aligned}$$

где n_1 , n_2 – количество полувольт, укладываемых на участке волновода от зонда до искомой неоднородности.

Очевидно, что n_1 , n_2 априори неизвестны, однако разность между ними при перестройке СВЧ-генератора от f_1 до f_2 определяется из выражения

$$\Delta_n = 4l \left(\frac{1}{\lambda_{\text{в}2}} - \frac{1}{\lambda_{\text{в}1}} \right) + \frac{(\varphi_2 - \varphi_1)}{\pi}. \quad (1)$$

Формулу (1) легко преобразовать к виду

$$\Delta_n = \frac{4l \cdot \left(\sqrt{f_2^2 - \frac{c^2}{4a^2}} - \sqrt{f_1^2 - \frac{c^2}{4a^2}} \right)}{c} + \frac{(\varphi_2 - \varphi_1)}{\pi}, \quad (2)$$

где c – скорость света в вакууме, м/с; a – ширина волновода, м.

При этом из (2) получим

$$l = \frac{\left(\Delta_n - \frac{(\varphi_2 - \varphi_1)}{\pi} \right) \cdot c}{4 \cdot \left(\sqrt{f_2^2 - \frac{c^2}{4a^2}} - \sqrt{f_1^2 - \frac{c^2}{4a^2}} \right)}. \quad (3)$$

После запуска измерителя генератор перестраивается от f_1 до f_2 и счетчик подсчитывает импульсы. Анализ зависимости (рисунок 3), рассчитанной по формуле (3), показывает, что

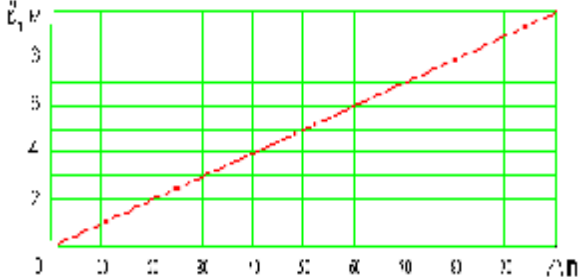


Рисунок 3 – Зависимость расстояния до неоднородности от количества импульсов на входе частотомера

зависимость расстояния до искомой неоднородности от количества импульсов линейна. Поэтому отсчет измеряемой величины можно производить непосредственно по цифровому индикатору счетчика импульсов. Например, для волновода 7,2×3,4 мм после перестройки ГСВЧ на 1,1 ГГц и расстоянии до неоднородности 10 м на табло частотомера индицируется число 100. Для правильного отсчета следует перенести запятую в индикаторе влево на один разряд, что не представляет технических трудностей. Как видно из графика, разрешающая способность (расстояние, приходящееся на один импульс) при указанной полосе перестройки составляет 0,1 м. При необходимости ее расширения требуется увеличить и диапазон перестройки СВЧ-генератора.

Точность определения расстояния до неоднородности как следует из (3), зависит от погрешности установки частот f_1 , f_2 ГСВЧ. Поэтому найдем

частные производные функции (3) по каждому из независимых аргументов f_1, f_2 и определим среднеквадратичную погрешность [1]:

$$\frac{\partial l}{\partial f_1} = \frac{\left(\Delta_n - \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{\pi} \right) \cdot c \cdot f_1}{4 \cdot \left(\sqrt{f_2^2 - \frac{c^2}{4a^2}} - \sqrt{f_1^2 - \frac{c^2}{4a^2}} \right) \cdot \sqrt{f_1^2 - \frac{c^2}{4a^2}}};$$

$$\frac{\partial l}{\partial f_2} = \frac{\left(\Delta_n - \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{\pi} \right) \cdot c \cdot f_2}{4 \cdot \left(\sqrt{f_2^2 - \frac{c^2}{4a^2}} - \sqrt{f_1^2 - \frac{c^2}{4a^2}} \right) \cdot \sqrt{f_2^2 - \frac{c^2}{4a^2}}}.$$

Выражение для суммарной относительной среднеквадратичной погрешности определения расстояния до искомой неоднородности будет иметь вид:

$$\delta_1 = \frac{100 \sqrt{\left(\frac{\partial l}{\partial f_1} \cdot \Delta f_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial l}{\partial f_2} \cdot \Delta f_2 \right)^2}}{l}, \% . \quad (4)$$

Расчет по формуле (4), показал, что суммарная погрешность измерения расстояния до неоднородности, например, при расстоянии 10 метров и полосе перестройки 1 ГГц в восьмимиллиметровом диапазоне не превышает 0,5% (50 миллиметров). При этом абсолютная погрешность измерения частоты, принятая при расчете, определялась из соотношения

$$\Delta f_1 = \Delta f_2 = 0,001 \cdot \frac{f_1 + f_2}{2}.$$

Такую точность обеспечивает резонансный волномер средней точности. Дальнейшее снижение погрешности измерения расстояния до искомой неоднородности обеспечивается расширением полосы перестройки ГСВЧ.

Библиографический список

1. Рабинович С.Г. Погрешности измерений / С.Г. Рабинович. — Л.: Энергия, 1978. — 262 с.

Поступила в редакцию 30.11.2001 г.