

У ДК 621.372.828

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ПОДЛОЖЕК ПОЛОСКОВЫХ ЛИНИЙ

Буря А.И., Плоткин А.Д.

Севастопольский национальный технический университет

Студгородок г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: root @ sevgtu. sevastopol. ua

Предложен метод измерения эффективной диэлектрической проницаемости, основанный на анализе частотно-модулированного сигнала. Данный метод позволяет полностью автоматизировать процесс измерений и определять эффективную диэлектрическую проницаемость с погрешностью достаточной для проектирования микроволновых устройств, а также для контроля качества изготовления подложек.

Проектирование и разработка микроволновых устройств предполагает знание параметров диэлектриков, которые являются основой их конструкции. Так, например, при моделировании и проектировании СВЧ устройств на несимметричных полосковых и микрополосковых линиях передачи одним из основных параметров является эффективная диэлектрическая проницаемость материала подложки [1].

Предлагается метод измерения данного параметра, основанный на анализе частотно-модулированного сигнала.

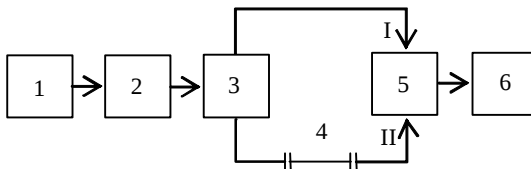


Рисунок 1 – Структурная схема измерителя

эффективной диэлектрической проницаемости

Структурная схема измерителя изображена на рисунке 1.

Сигнал генератора 2 модулируется по частоте сигналом треугольной формы, поступающим с модулирующего генератора 1. Полученный сигнал с

частотной модуляцией подается на делитель мощности 3, один из каналов которого непосредственно соединен со входом I смесителя 5, а другой через исследуемый отрезок несимметричной полосковой линии 4 – со входом II смесителя 5. В качестве исследуемого объекта может быть использована полосковая линия любой конфигурации с подложкой эффективной диэлектрической проницаемости которой необходимо измерить. Обработка результатов измерения и отображение полученной информации, осуществляется устройством 6.

Сигналы на входах смесителя имеют вид:

$$\begin{aligned} U_I &= E_0 \cos 2\pi [f_0 - f_0 S(t)] t, \\ U_{II} &= |\tau| E_0 \{ 2\pi [f_0 + f_0 S(t)] t + \varphi(t) \}, \end{aligned} \quad (1)$$

где E_0 – амплитуда сигнала на выходах делителя мощности; f_0 – средняя частота СВЧ генератора; f_δ – девиация частоты генератора; $S(t)$ – закон изменения модулирующего напряжения; $\varphi(t)$ – фазовый сдвиг, вносимый исследуемой линией; $|\tau|$ – модуль коэффициента передачи исследуемой линии.

Модулирующее напряжение в данном случае представляет собой периодическую последовательность треугольных импульсов, которые могут быть записаны в виде ряда Фурье:

$$S(t) = \frac{\pi}{2} - \frac{4}{\pi} \left(\cos \Omega t + \frac{1}{3^2} \cos 3\Omega t + \frac{1}{5^2} \cos 5\Omega t + \dots \right). \quad (2)$$

Выражение для фазы коэффициента передачи исследуемого отрезка полосковой линии определится:

$$\varphi(t) = \frac{2\pi L \sqrt{\epsilon_3} [f_0 + f_\delta S(t)]}{c}, \quad (3)$$

где L – длина линии; c – скорость распространения электромагнитных волн в свободном пространстве; ϵ_3 – эффективная диэлектрическая проницаемость.

На рисунке 2 показана временная зависимость изменения частоты генератора.

Изменение частоты СВЧ генератора в соответствии с рисунком 1 может быть представлено в виде:

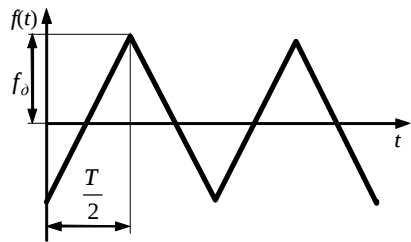


Рисунок 2 – Временная зависимость

$$\begin{aligned} f(t) &= -f_0 + \frac{4f_\delta}{T}t, \quad \text{при } 0 < t < \frac{T}{2}; \\ f(t) &= f_0 - \frac{4f_\delta}{T}t, \quad \text{при } \frac{T}{2} < t < T, \end{aligned} \quad (4)$$

где $T = \frac{1}{f_m}$ – период модулирующей частоты; f_δ – девиация частоты.

На выходе смесителя образуется сигнал разностной частоты, напряжение которого может быть записано в виде:

$$U_{cm} = S|\tau| \frac{E_0}{2} \cos \frac{2\pi L \sqrt{\epsilon_3} [f_0 + f(t)]}{c}, \quad (5)$$

где S – крутизна преобразования смесителя.

Дифференцируя аргумент выражения (5) с учетом (4), находим мгновенное значение частоты сигнала, снимаемого с выхода смесителя

$$F = \frac{4f_{\partial}f_M L\sqrt{\epsilon_3}}{c}. \quad (6)$$

Откуда может быть определена величина

$$\epsilon_3 = \left(\frac{cF}{4Lf_{\partial}f_M} \right)^2. \quad (7)$$

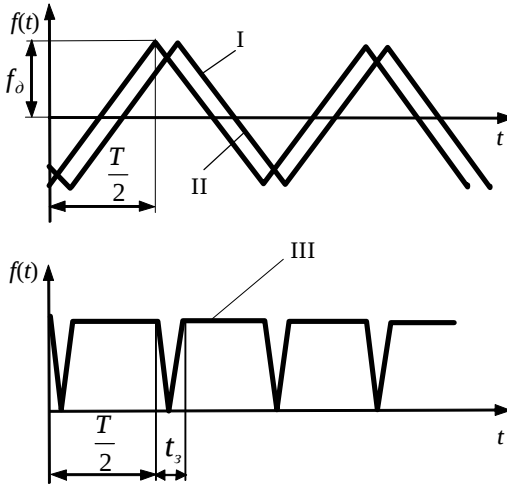


Рисунок 3 – Временная зависимость изменения частоты на входах и выходе смесителя: сигнал на входе I смесителя 5; сигнал на входе II смесителя 5; сигнал на выходе смесителя; t_3 – время задержки электромагнитной волны в исследуемой линии

Таким образом, зная длину линии, девиацию частоты, частоту модуляции и измеряя разностную частоту на выходе смесителя, в соответствии с (7) находим значение эффективной проницаемости подложки полосковой линии. Зная величину ϵ_3 , можно определить относительную диэлектрическую проницаемость материала подложки [2]. Как видно из рисунка 3, частота на выходе смесителя в интервале времени t_3 отличается от величины F и является функцией времени $F(t)$.

Относительная погрешность измерения величины F определяется соотношением

$$\delta = \frac{F - F_{cp}}{F}, \quad (8)$$

где F_{cp} – частота, измеряемая частотомером

Среднее значение частоты за время от 0 до $\frac{T}{2}$, а следовательно и за все время измерения можно определить следующим образом:

$$F_{cp} = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} F(t) dt = \frac{2}{T} \left\{ \int_0^{\frac{t_3}{2}} \left(F - \frac{2F}{t_3} t \right) dt + \int_{\frac{t_3}{2}}^{\frac{t_3}{2}} \left[\frac{2F}{t_3} (t - t_3) + F \right] dt + \int_{\frac{t_3}{2}}^{\frac{T}{2}} F dt \right\}. \quad (9)$$

Откуда

$$F_{cp} = F \left(1 + \frac{t_3}{T} \right) \quad (10)$$

Относительная погрешность измерения величины F будет равна

$$\delta F = \frac{F - F \left(1 - \frac{t_3}{T} \right)}{F} = \frac{t_3}{T}. \quad (11)$$

Как показал анализ, величина δF пренебрежительно мала и составляет около 10^{-5} .

Рассмотренный метод не требует использования линии со специальной конфигурацией полоскового проводника, что позволяет использовать его при контроле технологического процесса и измерении диэлектрической проницаемости подложек

Библиографический список

1. Полосковые платы и узлы. Проектирование и изготовление / Под ред. Е.П. Котова и В.Д. Каплуна. — М.: Сов. радио, 1979. — 248 с.
2. Малорацкий Л.Г. Проектирование и расчет СВЧ элементов на полосковых линиях / Л.Г. Малорацкий, Л.Р. Явич. — М.: Сов. радио, 1972. — 214 с.

Поступила в редакцию 16.1.2001 г.