

ИЗСЛЕДВАНЕ НА РАЗСЕЯНОТО ПОЛЕ НА ЛЕНТОВИ ЛИНИИ

Росен Кирилов Георгиев

(ГУ - Варна)

Разсеяното извън диелектричната подложка поле на лентовите линии, обикновено, се счита за недостатък при употребата им в качеството на предавателни линии, тъй като води до увеличаване на загубите, взаимно влияние и др. Това поле, обаче, успешно може да се използва за определяне на параметрите на средата извън диелектричната подложка, в това число и за измерване на някои неелектрични величини, например, в [1] се предлага несиметрична лентова линия в качеството на датчик за влажност. Предмет на настоящото изследване са лентови линии със сравнително по-голямо разсеяно поле с оглед на уточняване на параметрите им в зависимост от параметрите на околната среда и с оглед на експерименталното определяне на техните параметри и на използваните диелектрични среди на базата на теоретичен модел на процеса на разпространението на вълните.

1. Оценка на влиянието на средата

Известно е, че ефективната диелектрична проницаемост на несиметричната лентова линия с относителна диелектрична проницаемост на подложката ϵ_1 и въздушна среда може да се представи във вида:

$$\epsilon_{\text{eff}_s} = 0,5 [(\epsilon_1 + 1) + (\epsilon_1 - 1)/\chi], \quad (1)$$

където χ е функция, главно, на отношението между дебелината на подложката h и ширината на лентата w (например, при $w/h > 1$, $\chi = \sqrt{1 + 10 \cdot (h/w)}$), т.е. в най-общ вид:

$$\epsilon_{\text{eff}_s} = f(\epsilon_1). \quad (2)$$

При поставяне на материал с относителна диелектрична проницаемост над такава линия, нейните параметри ще се обусловят от новата ефективна проницаемост $\epsilon_{\text{eff}_s}^*$, която може да се пресметне по аналогичен начин:

$$\epsilon_{\text{eff}}^* = \epsilon_2 \cdot f(\epsilon_1/\epsilon_2). \quad (3)$$

Ефективната диелектрична проницаемост на компланарната линия с достатъчно добро приближение може да се представи като:

$$\epsilon_{\text{eff}_c} = (\epsilon_1 + \epsilon_2)/2. \quad (4)$$

Количествената оценка на влиянието, което оказва втората среда върху параметрите на двете линии може да се даде, например, чрез отношението на измененията на фазовите константи на тези линии при изменение на диелектричната проницаемост на втората среда:

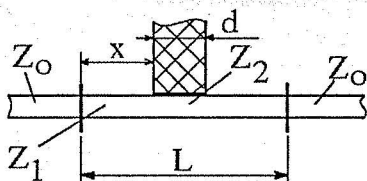
$$\frac{\partial \beta_c / \partial \epsilon_2}{\partial \beta_s / \partial \epsilon_2} = \frac{0,5}{\epsilon_1 + \epsilon_2} + \frac{\chi}{\chi - 1} \approx \frac{\chi}{\chi - 1} \quad (5)$$

Очевидно, горното отношение зависи, преди всичко, от геометрията на несиметричната линия и, както би трябвало да се очаква, намалява с намалението на ширината w , което се обяснява с увеличението на разсеяното поле на линията. Но, във всички случаи, това отношение е в полза на компланарната линия. Така например, при $w/h=0,4$, $\epsilon_1=2,6$ компланарната линия предоставя около два пъти по-голяма "чувствителност" по отношение на втората среда. Както показват експерименталните изследвания, на практика, при поставяне на образец от твърд материал въпросното отношение е около 3 до 6, което се дължи на обусловената от грапавините и други неравности въздушна междина, оказваща по-силно влияние при несиметричната линия с нейното по-концентрирано в обема на подложката електрическо поле.

2. Експериментални изследвания. Теоретичен модел

Възможността за използване на лентови линии с разсеяно поле за определяне на параметрите на диелектричната среда бе изследвана експериментално чрез измерване на допълнителното дефазирание, предизвиквано от изменената диелектрична проницаемост на втората среда спрямо тази на въздуха. За тази цел, с оглед на максимално доближаване до условията на бъдещо приложение, върху участък с дължина L , включен в измервателната постановка, в качеството на втора среда се поставя образец от твърд материал с дължина d . Височината (дебелината) на подложката и образца са достатъчно големи, за да се считат за неограничени.

Схематичното изображение на участъка с диелектричния образец е показано на фиг.1, където с Z са обозначени характеристичните импеданси



Фиг.1

на съответните части от веригата. Отчитайки многократните отражения, обусловени от скоковете на импеданса, разглежданите процеси могат да се опишат по метода на ориентираните графи. Теоретичният модел в случая е представен на фиг.2, където с γ се бележат константите на

разпространение на отделните участъци, Γ са коефициенти на отражение, а T - коефициенти на преминаване. В условията на едно квази-ТЕМ приближение:

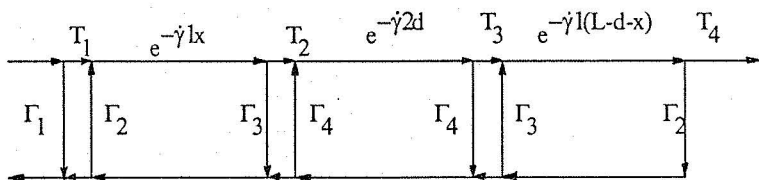
$$\Gamma_1 = (p_1 - 1)/(p_1 + 1), \quad \Gamma_2 = -\Gamma_1; \quad (6)$$

$$\Gamma_2 = (p_2 - 1)/(p_2 + 1), \quad \Gamma_4 = -\Gamma_3; \quad (7)$$

$$T_1 = 2p_1/(p_1 + 1), \quad T_4 = T_1/p_1; \quad (8)$$

$$T_2 = 2p_2/(p_2 + 1), \quad T_3 = T_2/p_2; \quad (9)$$

където p_1 и p_2 са скоковете на импедансите при прехода между съседните участъци.



Фиг.2

Коефициентът на преминаване T на разглеждания участък, поради еднопосочното предаване, е уместно да се намери по формулата на Mason [2], която в случая дава:

$$T = T_1 \cdot T_2 \cdot T_3 \cdot T_4 \cdot \exp[-\dot{\gamma}_1(L-d) - \dot{\gamma}_2 d] / \Delta, \quad (10)$$

където:

$$\begin{aligned} \Delta = & 1 - \{ \Gamma_2 \Gamma_3 \cdot \exp[-2\dot{\gamma}_1(L-d)] + \Gamma_3^2 \cdot \exp[-2\dot{\gamma}_2 d] \} + \Gamma_2 \Gamma_3^3 \cdot \exp[-2(\dot{\gamma}_1 x + \dot{\gamma}_2 d)] + \\ & + \Gamma_2 \Gamma_3^3 \cdot \exp\{-2[\dot{\gamma}_1(L-d-x) + \dot{\gamma}_2 d]\} + \Gamma_2^2 \cdot \Gamma_3^2 \cdot \exp[-2\dot{\gamma}_1(L-d)] - \\ & - \Gamma_2^2 \Gamma_3^4 \cdot \exp\{-2[\dot{\gamma}_1(L-d) + \dot{\gamma}_2 d]\}, \end{aligned}$$

докато при липса на диелектричен образец функцията на предаване на същия участък е:

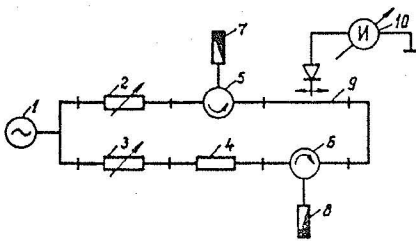
$$T_0 = T_1 \cdot T_4 \cdot \exp(-\dot{\gamma}_1 L) / [1 - \Gamma_2^2 \cdot \exp(-\dot{\gamma}_1 L)]. \quad (11)$$

Ако загубите в диелектричния образец са малки, а тези в подложката и от излъчване по принцип са пренебрежими при честоти под 3 GHz [3], дефазирването, причинявано при наличие на диелектричния материал в качеството на втора среда, е:

$$\Delta\phi(x) = \arctg(\text{Im} / \text{Re}) - \arctg(\text{Im}_0 / \text{Re}_0) - \beta_1 d, \quad (12)$$

където с Im и Re, респ. с Im₀, Re₀ са обозначени, съответно, имагинерната и реалната части на знаменателите в изрази (10) и (11), а β₁ е фазовата константа на изследваната линия във въздушна среда (без об разец).

За измерването на дефазирването Δφ при различни положения x на диелектричния образец може да се препоръча мостовата схема, показана на



Фиг.3

фиг.3, и съдържаща генератор (1), атенуатори (2) и (3), Y-циркулятори (5) и (6), съгласувани товари (7) и (8), и измервателна линия (9). В едното рамо на моста се включва изследваната лентова линия (4). Подобна схема осигурява поглъщането на

редица нежелани отражения, а настройката ѝ се осъществява лесно чрез изравняване на мощностите в двете рамена чрез атенуаторите до постигане на нулеви показания в минимумите на стоящата вълна, която се получава в пределите на измервателната линия. Определянето на дефазирването става чрез измерване на разстоянието Δl между съответните минимуми на стоящата вълна със и без диелектричния образец:

$$\Delta\varphi = (2\pi/\Lambda_0)\cdot\Delta l \quad [\text{rad}],$$

където Λ_0 е дължината на вълната в измервателната линия.

Получените множество стойности $\Delta\varphi(x)$ при различни положения x през определена стъпка, въведени като масив от данни в компютър, се сравняват с изчислените стойности по програмираната зависимост (12). След числено вариране на определящите процеса величини до удовлетворяване на подходящи критерии за съответствие между теоретичните и измерените стойности на дефазирането, може да се определят диелектричните проницаемости на двете среди и останалите неизвестни параметри на модела.

Точността на направените експерименти с компланарна линия на честота 2 GHz е от порядъка на $0,6^\circ$, което, при диелектрична подложка от тефлон с $\epsilon_1 = 2,6$ дава максимална грешка около 2,5% при определянето на диелектричната проницаемост.

3. Заключение

Влиянието, което оказват параметрите на втората среда върху параметрите на вълните в лентовите линии, е два и повече пъти по-голямо при компланарната и процепната линия в сравнение с несиметричната линия. Предложеният метод за измерване на параметрите на лентови линии с разсеяно поле осигурява висока точност и повторяемост на резултатите, като не изисква висококачествени преходи в краищата на лентовия участък, не се влияе от детекторни характеристики и пр. Резултатите от изследването могат да намерят приложение при конструирането и анализа на устройства за измерване на електрични и неелектрични параметри на материални среди като влажност, плътност, гранулометричен състав и др.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Kent M., The use of strip-line configuration in microwave moisture measurement, "J. Microwave Power", 1972, v.7, .3
2. Mason S., Feedback theory - further properties of signal flow graphs, Proc. IRE, vol.44, July, 1956.
3. Седых В., Полосковые линии и устройства СВЧ, "В. школа", Харьков, 1974.

RESEARCH ON THE UNSHIELDED FIELD OF STRIP-LINES

Rossen K. Georgiev

(TU - Varna)

(ABSTRACT)

In this paper is shown, that the unshielded field of some strip-lines can be used for the measurement of scattering parameters these lines and dielectric parameters of the substrate and the outer medium. For instance, the influence of the outer medium is more than two or three times stronger for coplanar line in comparison with asymmetrical strip-line. A method for measuring the microwave characteristic is given. The results can be used for design and analysis of microwave devices with coplanar and slot-lines.