

CZĘŚĆ TEORETYCZNA

Linia pomiarowa ze szczeliną, czyli tzw. detektor fali stojącej jest jednym z najczęściej stosowanych urządzeń w miernictwie mikrofalowym. Przy jej pomocy można bardzo dokładnie pomierzyć np. współczynnik odbicia, współczynnik fali stojącej, impedancję, długość fali w linii pomiarowej, straty w torach mikrofalowych itd.

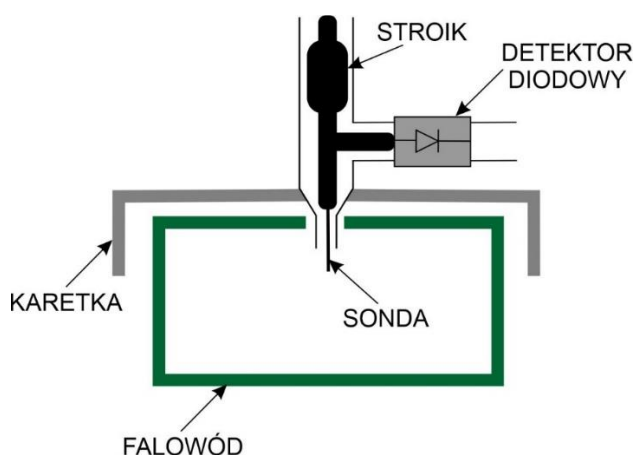
Linie pomiarowe można podzielić na cztery grupy:

- linie szczelinowe współosiowe,
- linie trójprzewodowe płaskie,
- linie paskowe,
- linie falowodowe.

W dalszej części zostanie omówiona linia falowodowa, która jest przedmiotem ćwiczenia.

Falowodowa linia pomiarowa ze szczeliną składa się z:

- odcinka przewodnicy falowej,
- sondy pomiarowej,
- detektora,
- obwodu rezonansowego,
- ruchomej karetki,
- pomocniczej linii i stroika.



Rys. 1. Schemat falowodowej linii pomiarowej ze szczeliną

Sonda pomiarowa z detektorem i obwodem rezonansowym stanowią układ wskaźnikowy. Cechą charakterystyczną pomiarowej linii szczelinowej jest to, że jej wymiary zbliżone są do długości badanej fali. Odcinek linii pomiarowej posiada podłużną, wąską szczelinę, która jest na tyle wąska by nie wprowadzała znaczących zakłóceń w rozkładzie pola elektromagnetycznego (EM) wewnątrz prowadnicy.

Sonda pomiarowa pobiera niewielką część energii pola z wnętrza linii i połączona jest za pomocą pomocniczej linii współosiowej z detektorem, który przetwarza prąd wielkiej częstotliwości na prąd stały, mierzony następnie odpowiednim miernikiem.

Wyprostowany prąd ściśle zależy od indukowanej w sondzie siły elektromotorycznej SEM. A ta z kolei zależy od natężenia pola w linii oraz głębokości zanurzenia sondy. Przy pomiarze rozkładu pola w prowadnicy sonda powinna zachować stałe zanurzenie. Na pomocniczej linii współosiowej znajduje się stroik służący do dostrojenia sondy. Sonda umieszczona jest na ruchomej karetkie, przesuwanej wzdłuż szczeliny wraz z głowicą pomiarową. Położenie sondy względem szczeliny określone jest za pomocą podziałki umieszczonej na prowadnicy.

Do podstawowych pomiarów z wykorzystaniem linii pomiarowej ze szczelina należą:

- a) pomiar długości fali,
- b) pomiar częstotliwości,
- c) pomiar współczynnika odbicia,
- d) pomiary współczynnika fali stojącej,
- e) pomiar impedancji.

Długość i częstotliwość fali

Długość i częstotliwość fali są związane ze sobą w następujący sposób:

$$\lambda \cdot f = \frac{c}{\epsilon_r}$$

gdzie:

λ – długość fali,

f - częstotliwość fali,

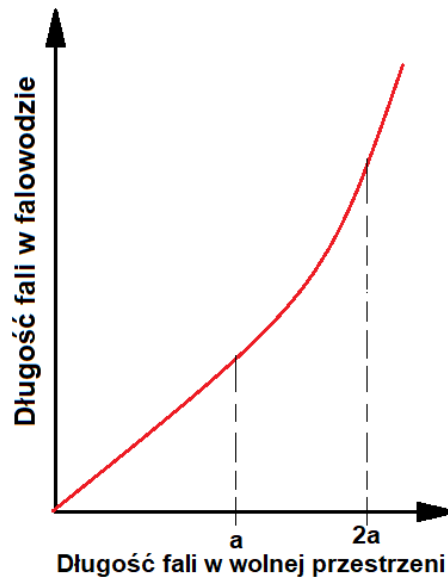
c - prędkość światła $3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$,

ϵ_r – względna przenikalność dielektryczna ośrodka.

Powyższa zależność opisuje przypadek, gdy fala przechodzi przez dielektryk i jest spowalniana proporcjonalnie do pierwiastka kwadratowego z przenikalności dielektrycznej ośrodka.

Długość fali w falowodzie różni się od długości fali w wolnej przestrzeni dla danej częstotliwości i do jej wyznaczenia nie można wykorzystywać wzoru, w którym prędkość światła dzieli się przez częstotliwość fali.

Związek między długością fali w falowodzie a długością fali w wolnej przestrzeni pokazuje rys. 2.



Rys. 2. Zależność między długością fali w falowodzie a długością fali w wolnej przestrzeni

Długość graniczną fali nazywamy największą długość fali, która może być transmitowana przez falowód. Każda fala o większej długości będzie silnie tłumiona w falowodzie, który będzie działał jak filtr górnoprzepustowy.

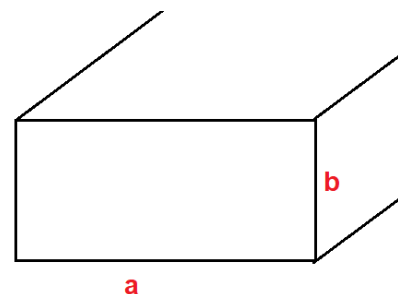
Zgodnie ze wzorem $\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$, podstawiając $\beta = \beta_{gr}$ otrzymuje się zależność na graniczną długość fali:

$$\lambda_{gr} = \frac{2\pi}{\beta_{gr}}$$

gdzie

$$\lambda_{gr} = \frac{2\pi}{\sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2}}$$

a, b – wymiary ścianek bocznych falowodu,
m, n – liczba połówek fal mieszczących się w długości rezonatora,
 λ_{gr} – graniczna długość fali w falowodzie.



Współczynnik odbicia

W linii lub falowodzie występują odbicia fal. Nakładanie się fali odbitej i padającej powoduje powstawanie tzw. fali stojącej. W zależności od obciążenia linii występuje kilka rodzajów odbicia fal. Jeśli linia zakończona jest rozwarciem lub zwarcie powstaje fala stojąca [1].

Tab. 1. Zestawienie możliwych odbić fal

Zakończenie linii	Fale odbite	
	Napięcie	Prąd
Rozwarcie	w fazie	w przeciwfazie
Zwarcie	w przeciwfazie	w fazie

Natomiast w przypadku, gdy linia będzie zakończona obciążeniem innym niż zwarcie lub rozwarcie, powstanie częściowa fala stojąca.

Fala padająca na granicę dwóch ośrodków, w punkcie $z = 0$, przy czym ośrodki te charakteryzują się odpowiednimi przenikalnościami elektrycznymi i magnetycznymi, odbija się i powstaje częściowa fala stojąca. Stosunek wektorów zespolonych pola elektrycznego $\vec{E}_1^-$ i magnetycznego $\vec{H}_1^-$ fali odbitej do wektorów fali padającej $\vec{E}_1^+$ i $\vec{H}_1^+$ nazywamy współczynnikiem odbicia i oznaczamy jako Γ :

$$\Gamma = \frac{\vec{E}_1^-}{\vec{E}_1^+}$$

$$\Gamma = \frac{\vec{H}_1^-}{\vec{H}_1^+}$$

Współczynnik fali stojącej

Współczynnika odbicia Γ , który określa dopasowanie linii do obciążenia nie można zmierzyć bezpośrednio, więc wprowadzono współczynnik fali stojącej ρ .

Współczynnik określa się za pomocą stosunku wartości maksymalnej napięcia w linii do wartości minimalnej. Przy całkowitym odbiciu współczynnik fali stojącej dążyłby do nieskończoności (napięcie w węzłach dąży do zera). Moduł współczynnika odbicia zmienia się w zakresie od 0 do 1.

Współczynnik fali stojącej można zapisać jako:

$$\rho = \frac{U_{max}}{U_{min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

gdzie:

ρ – współczynnik fali stojącej,

U_{max} – maksymalna wartość napięcia w linii,

U_{min} – minimalna wartość napięcia w linii.

Węzły fali stojącej powstają w tych punktach linii, w których fazy fali dobiegającej i odbitej są przeciwne, natomiast strzałki w punktach, w których fazy są zgodne [2].

Impedancja

Impedancji przewodnicy falowej nie można obliczyć ani otrzymać z pojedynczego, bezpośredniego pomiaru. Można ją określić pośrednio, za pomocą dwuetapowej procedury składającej się z pomiaru współczynnika fali stojącej ρ oraz z interpretacji pomiarów za pomocą wykresów, zwykle wykresu Smitha [1].

Wartość impedancji wejściowej Z_{we} linii lub falowodu zależy od impedancji obciążającej Z_L , od odległości elektrycznej obciążenia od źródła oraz impedancji charakterystycznej linii.

Współczynnik Γ w odległości z od końca linii opisuje wzór:

$$\Gamma(l) = \frac{Z_{we} - Z_0}{Z_{we} + Z_0}$$

gdzie:

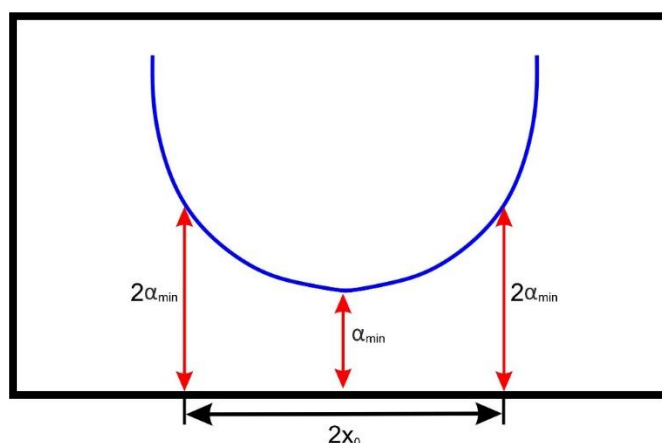
Γ – współczynnik odbicia,
 Z_{we} – impedancja wejściowa linii,
 Z_0 – impedancja charakterystyczna linii,
 l – odległość od końca linii.

Można zauważyć, że współczynnik odbicia przybiera następujące wartości graniczne dla różnych przypadków obciążenia [2]:

- dla $Z_k = Z_0$ (dopasowanie) $\Gamma=0$,
- dla $Z_k = 0$ (linia jest zwarta, następuje całkowite odbicie) $\Gamma = -1 = 1e^{\pm j180^\circ}$,
- dla $Z_k = \infty$ (linia jest rozwarta, następuje całkowite odbicie) $\Gamma = 1 = 1e^{\pm j0^\circ}$.

W pomiarach z użyciem pomiarowej linii ze szczeliną (np. do określenia długości fali) stosuje się metodę pomiaru szerokości minimum. Metoda ta polega na obserwacji kształtu rozkładu fali stojącej jedynie w pobliżu minimum napięcia. Zaletą tej metody jest zmniejszenie błędu spowodowanego poborem mocy przez sondę, gdyż znajduje się ona wówczas w węźle fali stojącej, tj. obszarze małej impedancji linii pomiarowej.

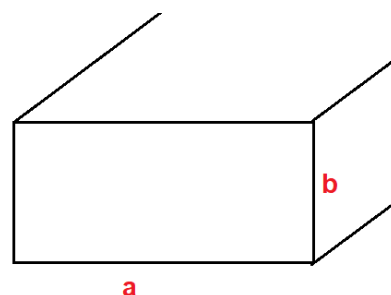
Należy znaleźć dwa położenia, w których poziom wyjściowy przyrządu pomiarowego jest dwukrotnie większy od poziomu minimalnego, jak pokazano na rys. 3.



Rys. 3. Metoda pomiaru podwójnego minimum

Linia pomiarowa, znajdująca się w laboratorium, składa się z falowodów prostokątnych na pasmo X, które zawiera się w przedziale częstotliwości od 8,2 GHz do 12 GHz. Wymiary falowodu na pasmo X wynoszą: $a = 22,86$ mm, $b = 10,16$ mm.

Wstawiając wymiary falowodu do zależności:



$$\lambda_{gr} = \frac{2\pi}{\sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2}}$$

należy obliczyć graniczną długość fali falowodu dla modu podstawowego TE₁₀ (TE_{mn}).

Znając długość graniczną fali badanego falowodu można obliczyć długość fali w falowodzie z zależności:

$$\lambda_f = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_{gr}}\right)^2}}$$

gdzie:

λ – długość fali w wolnej przestrzeni (należy obliczyć na podstawie częstotliwości zadanej w ćwiczeniu),

λ_f – długość fali w falowodzie,

λ_{gr} – graniczna długość fali w falowodzie.