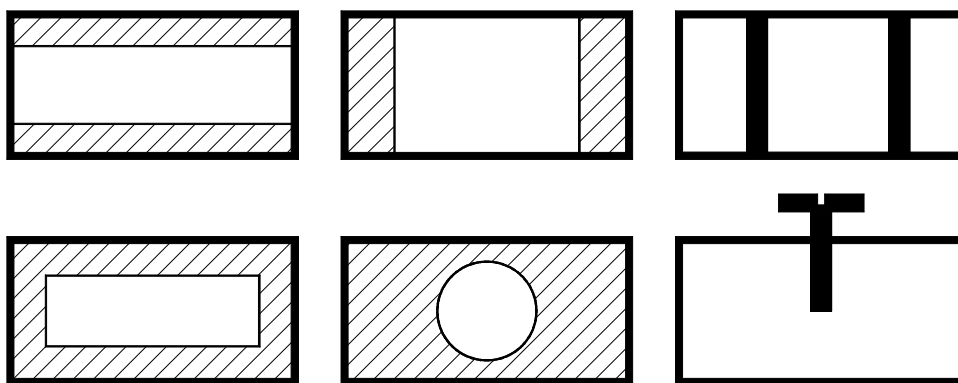


# Микроталасна мерења

## Лабораторијска вежба бр. 4

### Мерење импедансе дисконтинуитета у правоугаоном таласоводу анализом стојећег таласа

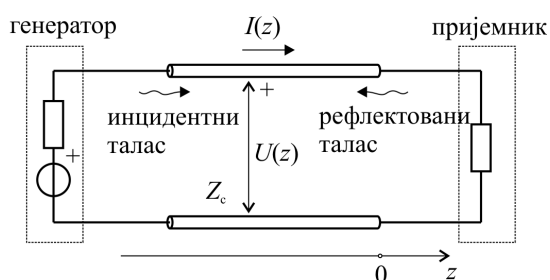
Дисконтинуитети у правоугаоним таласоводима обично су танке металне дијафрагме или шипке. Помоћу њих се могу реализовати различити склопови у таласоводној техници, као што су трансформатори импедансе, филтри или резонатори. Типични дисконтинуитети приказани су на слици 1. Еквивалентна импеданса коју уноси дисконтинуитет може се једноставно одредити анализом стојећег таласа на мерном таласоводу.



Слика 1. Дисконтинуитети у правоугаоним таласоводима.

#### 1. Анализа стојећег таласа на воду (таласоводу)

Анализа простирања таласа у таласоводу може свести на анализу простирања на еквивалентном воду. У општем случају, на воду постоје два таласа, инцидентни и рефлектовани (слика 2).



Слика 2. Простирање таласа на воду.

Комплексни коефицијент рефлексije дефинише се као

$$\underline{\rho}(z) = \frac{\underline{U}_r(z)}{\underline{U}_i(z)} = \frac{\underline{U}_r(0)e^{+j\beta z}}{\underline{U}_i(0)e^{-j\beta z}} = \underline{\rho}_0 e^{+j2\beta z} = \rho_0 e^{+j(\phi_0 + 2\beta z)}. \quad (1)$$

Десна страна претходног израза односи се на вод без губитака. Видимо да се дуж вода мења само фаза коефицијента рефлексije ( $\phi_0 + 2\beta z$ ), док модул ( $\rho_0$ ) остаје константан.

На основу израза за укупни напон у произвољном пресеку вода,

$$\underline{U}(z) = \underline{U}_i(z) + \underline{U}_r(z) = \underline{U}_i(z) \left( 1 + \rho_0 e^{+j(\phi_0 + 2\beta z)} \right), \quad (2)$$

види се да се амплитуда напона мења дуж вода. Количник максималне и минималне ефективне вредности (или амплитуде) напона на воду назива се коефицијентом стојећег таласа,

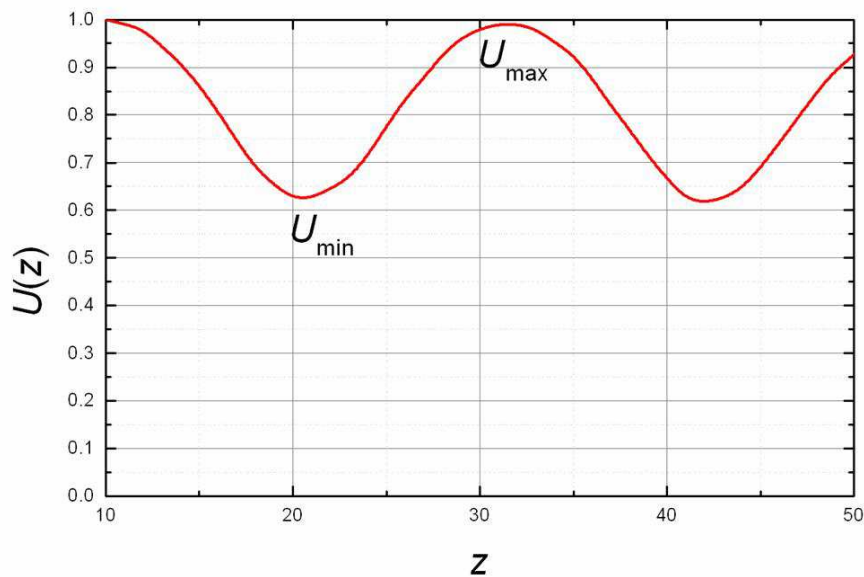
$$\sigma = \frac{|\underline{U}(z)|_{\max}}{|\underline{U}(z)|_{\min}} = \frac{1 + \rho_0}{1 - \rho_0}. \quad (3)$$

Еквивалентна импеданса (гледано према пријемнику) у произвољном пресеку вода је

$$\underline{Z}(z) = \frac{\underline{U}(z)}{\underline{I}(z)} = Z_c \frac{1 + \underline{\rho}(z)}{1 - \underline{\rho}(z)}. \quad (4)$$

где је  $Z_c$  карактеристична импеданса мерног вода (таласна импеданса таласовода).

Када се пријемник непознате импеданса прикључи на један крај мерног вода (таласовода), а други крај побуди простопериодичним сигналом, на воду се формира стојећи талас (слика 3). Ако се пријемник непознате импедансе налази у пресеку вода  $z = z_p$ , његову импедансу можемо одредити на основу израза (4).



Слика 3. Амплитуда стојећег таласа на воду.

Величина која се на мерном воду може лако измерити је коефицијент стојећег таласа,  $\sigma$ , а на основу израза (3) је затим могуће израчунати модул коефицијента рефлексije,  $\rho_0$ . Ако је минимум стојећег таласа измерен у пресеку вода  $z = z_{\min}$ , на основу израза (2) важи

$$\phi_0 + 2\beta z_{\min} = \pi. \quad (5)$$

На основу израза (1) види се да се фаза коефицијента рефлексije на воду периодично мења дуж вода, па ће се и ефективна вредност напона стојећег таласа на воду периодично мењати. Ако је  $D$  измерено растојање између два пресека вода у којима постоји минимум стојећег таласа, онда важи

$$2\beta D = 2\pi. \quad (6)$$

На основу израза (5) и (6) може се израчунати  $\phi_0$ , па је фаза коефицијента рефлексије на месту пријемника

$$\phi_p = \phi_0 + 2\beta z_p = \pi + 2\pi \frac{z_p - z_{\min}}{D}. \quad (7)$$

Ради прецизног утврђивања положаја пријемника, на крај мерног вода (таласовода) се најпре прикључи кратак спој. Комплексни коефицијент рефлексије кратког споја је  $-1$ , па на месту кратког споја постоји минимум стојећег таласа, што се може закључити на основу израза (2). Пошто скала за читавање положаја сонде на мерном воду (таласоводу) не досеже до приступа (портова), за  $z_p$  се усваја неки од минимума у делу вода на коме постоји скала (импеданса у тим пресецима једнака је непознатој импеданси прикљученој на мерни вод или таласовод).

Дакле, мере се  $z_p$ ,  $z_{\min}$ ,  $\sigma$  и  $D$ , комплексни коефицијент рефлексије пријемника је

$$\underline{\rho}_p = \frac{\sigma - 1}{\sigma + 1} e^{+j\left(\pi + 2\pi \frac{z_p - z_{\min}}{D}\right)}, \quad (8)$$

а тражена импеданса пријемника

$$\underline{Z}_p = Z_c \frac{1 + \underline{\rho}_p}{1 - \underline{\rho}_p}. \quad (9)$$

## 2. Задатак

Одредити импедансу дисконтинуитета правоугаоног таласовода, анализом стојећег таласа на мерном таласоводу, као и учестаност побудног генератора. Као побудни генератор користи се рефлексни клистрон, који ће бити унапред подешен. У склопу мерног таласовода налазе се сонда и детектор, док се ниво сигнала добијен детектором (тј. ниво стојећег таласа у пресеку таласовода у којем се налази сонда) мери индикатором стојећих таласа. Мерење непознате импедансе врши се на основу поступка изложеног у одељку 1. Пошто сваки од дисконтинуитета приказаних на слици 1 интензивно зрачи, потребна су три мерења да би се одредила импеданса дисконтинуитета.

1. На излаз мерног таласовода прикључује се приложени кратак спој и одреде се  $z_p$  и  $D$ . Снимити криву стојећег таласа.
2. На излаз мерног таласовода прикључује се приложени потрошач и одреди се његова комплексна адмитанса,  $\underline{Y}_p$ . Снимити криву стојећег таласа. На излаз мерног таласовода прикључују се паралелно дисконтинуитет непознате импедансе и приложени потрошач и одреди се комплексна адмитанса њихове паралелне везе,  $\underline{Y}_{dp} = \underline{Y}_d + \underline{Y}_p$ . Одавде се добија адмитанса дисконтинуитета  $\underline{Y}_d = \underline{Y}_{dp} - \underline{Y}_p$ .

Учестаност генератора је таква да ће у правоугаоном таласоводу бити побуђен само  $TE_{10}$  тип таласа. Тада за правоугаони таласовод, попречног пресека димензија  $a$  и  $b$  ( $a > b$ ), важи:

$$f_{cTE10} = \frac{c_0}{2a}, \quad \beta_{TE10} = \frac{\omega}{c_0} \sqrt{1 - \frac{f_c^2}{f^2}}, \quad Z_{TE10} = \frac{\omega \mu_0}{\beta_{TE10}}.$$