

Úloha I m

Vlnová délka elektromagnetického vlnění

Úkol

- 1) Otáčením knoflíku hledejte a zapisujte polohy x_i můstku, při nichž mikroampérmetr ukazuje maximální proud. Můstkem posunujte po celé délce vedení, nejdříve jedním a pak druhým směrem.
- 2) Pro oba směry měření spočítejte vzdálenosti l_i dvou sousedních uzlů vlny ($l_i = x_{i+1} - x_i$, tj. rozdíly sousedních hodnot x_i).
- 3) Spočítejte průměrnou hodnotu \bar{l} a příslušné chyby Δl a $\delta(l)$.
- 4) Určete střední délku vlny λ ($\lambda = 2\bar{l}$) na Lecherově vedení a její chyby $\Delta \lambda$ a $\delta(\lambda)$ [$\Delta \lambda = 2 \Delta l$, a při zanedbatelné relativní chybě rychlosti světla c je $\delta(\lambda) = \delta(l)$].
- 5) Určete kmitočet f použitého oscilátoru a příslušné chyby Δf a $\delta(f)$ [$\delta(f) = \delta(\lambda)$].
- 6) Proveďte automatické měření prostřednictvím programu z připojeného počítače.
- 7) Na grafu závislosti amplitudy na poloze můstku odečtěte polohy maxim pomocí kursoru myši. Proveďte stejné výpočty jako v bodech 2 až 5.
- 8) Z druhého grafu odečtěte polohy složek Fourierova spektra, které tvoří pík s nejvyšší amplitudou. Odhadněte takto získanou frekvenci stojaté vlny a její chybu. Diskutujte přesnost této metody měření a možnosti jejího zlepšení.
- 9) Výsledky získané všemi třemi způsoby diskutujte v závěru.

Obecná část

Elektromagnetická vlna (rozhlasová vlna, světlo, atd.) je příčné vlnění, které se postupně šíří z místa rozruchu do okolního prostoru, přičemž se periodicky mění intenzita elektrického pole \mathbf{E} a intenzita magnetického pole \mathbf{H} . Vektorové veličiny \mathbf{E} a \mathbf{H} jsou vždy kolmé vůči sobě a zároveň kolmé na směr šíření vlny. Rychlost šíření v prostředí lze vypočítat ze vztahu odvozeného z Maxwellových rovnic:

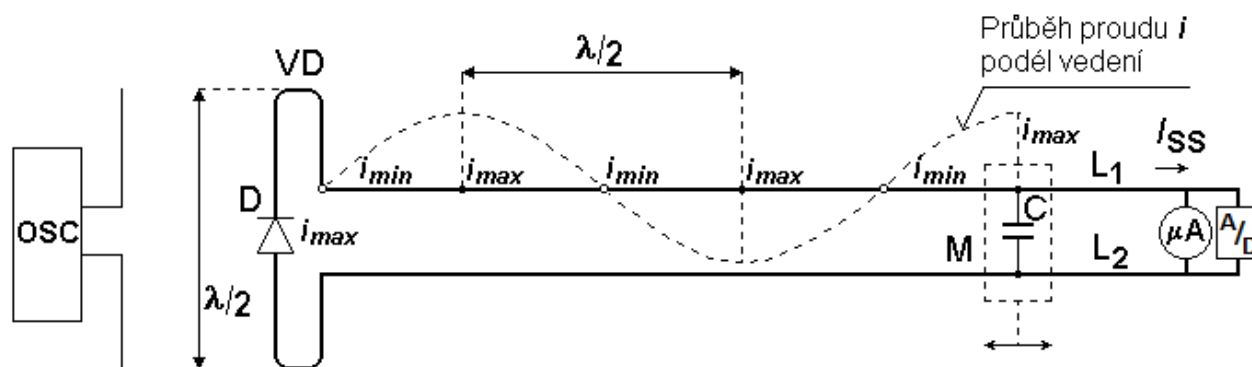
$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}} \quad (1)$$

kde c je rychlost elektromagnetické vlny ve vakuu, ϵ_r je relativní permitivita a μ_r je relativní permeabilita prostředí. Tento vztah lze s vyhovující přesností využít i pro šíření elektromagnetické vlny ve vedení. V tomto případě se zanedbává vliv měrného odporu vedení na rychlost šíření vlny.

Metoda měření

K měření vlnové délky stojatého elektromagnetického vlnění a určení kmitočtu použitého oscilátoru se použije Lecherovo vedení (obr. 1).

Lecherovo vedení se skládá ze dvou rovnoběžných měděných drátů L_1 a L_2 a je spojeno



Obr. 1 Schéma Lecherova vedení

s ultrakrátkovlnným oscilátorem OSC pomocí vazebního dipólu VD. Uprostřed tohoto dipólu je zapojena usměřovací dioda D. Vedení je přemostěno posuvným můstkem M s vloženým kondenzátorem C. Na konec vedení je připojen mikroampérmetr (μA) pro vizuální indikaci maxim elektromagnetického vlnění a také vstup analogově-číslíkového (A/D) převodníku pro získání měřených hodnot v číslicové formě.

Elektromagnetická vlna se od vazebního dipólu šíří po vedení směrem k posuvnému můstku, od kterého se odráží zpět. Elektromagnetická vlna přicházející od levého okraje vedení se tak skládá s odraženou vlnou postupující v opačném směru, dochází ke skládání těchto dvou vln. Tím je dán předpoklad pro vznik stojatého vlnění se shodnou vlnovou délkou λ , jakou má postupná vlna.

Pohyblivý můstek představuje pro elektromagnetické vlnění odraznou plochu s velkou vodivostí, a proto je v jeho místě uzel napětí a kmitna proudu stojatého vlnění. Kmitna proudu je též ve středu vazebního dipólu, kde je zapojena dioda, pokud na dráze mezi tímto středem a posuvným můstkem vzniknou podmínky pro ustanovení stojatého vlnění. V tomto případě prochází diodou největší proud a mikroampérmetr indikuje maximum usměrněného proudu. Sousední polohy pohyblivého můstku, při nichž nastávají maxima usměrněného proudu, jsou vzdáleny o $\lambda/2$.

Návod k měření a zpracování

Postup práce:

- 1) Zapněte oscilátor a počkejte 2 minuty, až se jeho kmitočty ustálí. Můstkem posunujte po celé délce vedení, nejdříve jedním a pak druhým směrem. Hledejte a zapisujte polohy x_i můstku, při nichž mikroampérmetr ukazuje největší hodnotu.
- 2) Vypočítejte vzdálenosti l_i mezi dvěma sousedními polohami můstku

$$l_i = |x_{i+1} - x_i| \quad (2)$$

- 3) Z hodnot l_i vypočítejte její průměrnou hodnotu \bar{l} . Vlnová délka stojatého vlnění je pak

$$\lambda = 2 \bar{l} \quad (3)$$

- 4) Kmitočty f použitého generátoru vypočítejte podle vzorce

$$f = \frac{v}{\lambda}, \quad (4)$$

kde v je rychlost elektromagnetického vlnění v daném prostředí (ve vzduchu). Při výpočtu její velikosti podle vzorce (1) lze s vyhovující přesností počítat pro vzduch s hodnotami $\epsilon_r = 1$ a $\mu_r = 1$, což dává přibližně hodnotu rychlosti $v = c = 3 \cdot 10^8$ m/s.

5) Na počítači spusťte program Lecher. Proveďte automatické měření po 1 cm.¹ Z prvního grafu odečtěte a zapište polohy maxim amplitudy v závislosti na poloze můstku (modrá křivka) pomocí kursoru myši. Okamžité souřadnice kursoru se zobrazují v levém dolním rohu okna. Pro přesnější odečtení si lze části grafu pomocí myši zvětšovat (přibližovat)². Proveďte stejné výpočty jako v bodech 2 až 5.

6) V dolním grafu je zobrazeno Fourierovo spektrum, které je výsledkem diskrétní Fourierovy transformace změřených dat (z prvního grafu). Spektrum ukazuje zastoupení jednotlivých frekvenčních složek ve změřeném signálu. Pomocí kursoru myši odečtěte polohy složek, které tvoří pík s nejvyšší amplitudou. Diskutujte použitelnost této metody v daném uspořádání.

Poznámky k bodu 6: Spektrum je tvořeno 64 ekvidistantními frekvencemi (včetně „nulové“ frekvence, tedy stejnosměrné složky – není zobrazena v grafu), které vznikly transformací 128 hodnot napětí změřených na 1.28 m délky vedení. Nejvyšší prostorová frekvence (počet vln na jednotku délky) je tedy v tomto případě

$$f_p = \frac{64}{1.28} = 50 [m^{-1}], \quad (5)$$

čemuž odpovídá nejkratší vlnová délka 2 cm. Nejnižší frekvenční čára je na frekvenci $1/1.28 \approx 0.78$ $[m^{-1}]$, odpovídající vlnová délka pak 1.28 m, tedy délka úseku vedení, z něhož byla transformace počítána. Z toho je již vidět, jaký je frekvenční rozestup sloupců ve spektru Fourierovy transformace, a jaký to má vliv na rozlišení této metody.

V horním grafu je kromě změřených dat zobrazena červenou čarou i další křivka. Jedná se o sinusovku, která byla vygenerována na základě složky s nejvyšší amplitudou v prvním píku spektra. Protože frekvence této složky neleží uprostřed zmíněného píku, neodpovídá frekvence sinusovky přesně dominantní frekvenci časového průběhu v prvním grafu. (Je vidět, že se polohy maxim křivek v prvním grafu v čase postupně „rozbíhají“.)

¹ Stisknutí tlačítka *Enable motor* způsobí přesunutí můstku do počáteční (levé krajní) polohy. Následný stisk tlačítka *Measure* odstartuje automatické měření. Měření se samočinně ukončí po dojeji můstku na konec vedení. Po skončení měření se zobrazí grafy s výsledky. Během měření lze posun kdykoli zastavit stisknutím tlačítka *Stop*.

² Po najetí kurosem myši na graf se v levém dolním rohu grafu zobrazují aktuální souřadnice kursoru, a to v jednotkách grafu. Části grafu lze zvětšovat („přibližovat“) a zmenšovat pomocí kolečka myši. Dále lze zvětšování a výběr oblasti ovládat prostřednictvím kontextové nabídky, která se objeví po stisknutí pravého tlačítka myši.