

M9 Spoločné meranie – určenie rýchlosti elektromagnetického vlnenia pomocou Lecherových drôtov

Zopakujte si:



Ako vzniká mechanické vlnenie, čo je jeho zdrojom?

Ako je daná výchylka postupného mechanického vlnenia?

Ako vzniká stojaté vlnenie? Čo sú uzly a kmitne?

Čo sú elektrické siločiarly, čo nimi zobrazujeme?

Čo vyjadruje maximálna dovolená odchýlka a ako ju určíme?

Ako sa vyhodnocujú neistoty pri jednorazovom nepriamom meraní?

Teoretický základ

Elektromagnetické vlnenie vzniká, keď sa mení elektromagnetické pole s časom. Potom sa prostredím šíri elektromagnetická (EM) vlna, ktorá má elektrickú a magnetickú zložku. Zdrojom takého vlnenia je napríklad rozhlasový vysielač, v ktorom kmitá oscilátor, ktorý je zdrojom elektromagnetického vlnenia vyžarovaného anténou. Na rozdiel od mechanického vlnenia sa elektromagnetické vlnenie šíri aj vo vákuu, nepotrebuje materiálne prostredie na šírenie. Smer šírenia vlny závisí od orientácie vektorov elektrickej intenzity \vec{E} a magnetickej indukcie \vec{B} . Oba tieto vektory sú navzájom kolmé a súčasne sú kolmé na smer šírenia vlny. V druhej polovici 19. storočia anglický fyzik J. C. Maxwell zistil, že EM vlna sa šíri rovnakou rýchlosťou ako svetlo a vo vákuu dosahuje konečnú rýchlosť veľkosti $c = 3 \cdot 10^8$ m/s. Hodnota **rýchlosti** šírenia vlnenia závisí od prostredia, v ktorom sa vlna šíri podľa vzťahu

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

kde μ_r je relatívna permitivita prostredia a ϵ_r relatívna permeabilita prostredia. Pre vzduch je $\mu_r \doteq 1$ a $\epsilon_r \doteq 1$, preto môžeme uvažovať, že vo vzduchu sa EM vlna šíri rýchlosťou rovnou rýchlosti c .

Ak zdrojom EM vlnenia je elektromagnetické pole, ktoré sa mení s časom harmonicky, potom sú časové priebehy zmien vektorov \vec{E} a \vec{B} v elektromagnetickom poli harmonické a vzniká harmonická EM vlna. Pre EM vlnu, ktorá sa šíri v kladnom smere osi x je časový priebeh intenzity elektrického poľa

$$E = E_0 \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right), \quad (2)$$

a pre magnetickú indukciu

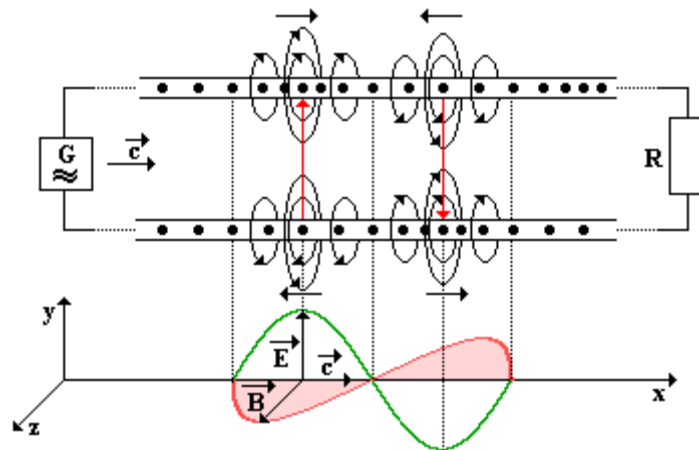
$$B = B_0 \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right), \quad (3)$$

kde x je vzdialenosť od zdroja, v ktorom určujeme elektrickú intenzitu a magnetickú indukciu. Vzdialenosť λ , do ktorej vlnenie došlo za dobu T , nazývame vlnová dĺžka a je daná vzťahom

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

kde f je frekvencia kmitania zdroja, ktorá je známa ($f = 433,92$ MHz).

Pri určovaní rýchlosti EM vlnenia použijeme vysokofrekvenčný generátor, ktorý je pripojený k Lecherovym drôtom (obr. 1). Je to sústava 2 dutých medených rovnobežných vodičov priemeru 6 mm, ktoré sú vo vzdialenosti 30 mm. Ak je na konci vodičov pripojený rezistor, vzniká medzi vodičmi premenné elektromagnetické pole, ktoré má charakter EM vlnenia.



Obr.1 (zdroj: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/358-elektromagneticka-vlna>)

Napätie generátora EM poľa sa harmonicky mení, preto náboj vo vodičoch nie je rozložený rovnomerne (v obr. 1 sú označené elektróny bodkou). V ľubovoľných miestach vodičov je rôzna elektrická intenzita a teda aj rôzne elektrické pole. Elektromagnetická energia sa v rezistore na konci vodičov premieňa na teplo. Prúd vo vodičoch má rovnakú fázu ako napätie, teda v okolí vodičov vznikne premenné magnetické pole, ktoré je kolmé na elektrické pole. EM pole, ktoré vzniklo medzi vodičmi, prenáša energiu prostredníctvom *elektromagnetickej postupnej vlny* za predpokladu, že sa celková elektromagnetická energia pohltí na konci vedenia.

Ak sa časť energie na konci vedenia odráža, toto vlnenie sa skladá s postupným EM vlnením a vzniká *stojaté elektromagnetické vlnenie*. Stojaté vlnenie vytvoríme pomocou Lecherovych drôtov tak, že na koniec vodičov nie je pripojený žiadny spotrebič (vedenie naprázdno). Na konci vodičov je v tomto prípade veľký odpor ($R \rightarrow \infty$), preto napätie dosahuje na konci vedenia svoje maximum. Prúd naopak má nulovú hodnotu (vedenie je rozpojené). Teda na konci vedenia vznikla kmitňa napätia a uzol prúdu. Vo vzdialenosti $\frac{\lambda}{4}$ od konca vodičov je to naopak. Pozdĺž drôtov vzniká fázový rozdiel medzi napätím a prúdom $\frac{\pi}{2}$, vo vzniknutej stojatej vlne pozorujeme kmitne a uzly napätia a prúdu. Ak vzdialenosť medzi dvoma susednými uzlami napätia označíme d , potom

$$d = \frac{\lambda}{2}. \quad (5)$$

Odmeraním vzdialenosti uzlov pri danej frekvencii zdroja sa pomocou vzťahu (4) pre vlnovú dĺžku určí rýchlosť elektromagnetickej vlny.

Pomôcky: vysokofrekvenčný generátor, Lecherove drôty, dekoračná žiarivka, žiarivka, piezoelektrický zapalovač, kapacitná sonda s tlejivkou, indukčivna sonda so žiarovkou, distančné valčeky, skratovací terč, záťažový odpor, štipce na bielizeň, pásmové meradlo

Úlohy:

1. Pozorovať postupnú elektromagnetickú vlnu.
2. Pozorovať stojatú elektromagnetickú vlnu.
3. Odmerať opakovane vzdialenosť medzi dvoma susednými uzlami stojatého EM vlnenia a určiť pomocou nich hodnotu rýchlosti postupnej vlny. ($f = 433,92$ MHz)
4. Vypočítať absolútnu a relatívnu štandardnú neistotu merania rýchlosti vlny pre jeden riadok z tabuľky.
5. Určiť výberový priemer rýchlosti a relatívnu chybu merania pre výberový priemer a zvolený riadok z tabuľky.
6. Zapísať výsledky merania podľa pravidiel pre zaokrúhľovanie.

i	d (m)	λ (m)	c (m/s)
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			
6.			
	d_{\max} (m) =	λ_{\max} (m) =	\bar{c} (m/s) =

Otázky a úlohy:

Prečo sa rezistor na konci sústavy vodičov zahrieva? Aká vlastnosť postupného vlnenia sa takto prejavuje?

Ako vysvetlíte, že dekoračná žiarivka, ktorú posúvate pozdĺž vedenia v prípade postupného vlnenia svieti bez prerušenia?

Ako by ste fyzikálne interpretovali, že žiarivka svieti najsilnejšie medzi vodičmi sústavy pri postupnej vlne a v ich okolí menej?

Ak posúvate žiarivku pozdĺž vedenia pri stojatom vlnení, žiarivka periodicky mení intenzitu vyžarovania. Čo ste tým demonštrovali? Prečo dekoračná žiarivka za terčom nesvietila, ako by ste to vysvetlili?

Aká je vlnová dĺžka EM vlny?