

Literatura

- [1] *Smetanová, O.*: Jednoduchá fyzikální měření s tabletem nebo chytrým telefonem. Diplomová práce, UP, Olomouc, 2019. Dostupné z: <http://mujoptol.cz/richterek/doku.php?id=vyuka>.
- [2] Smartphones in Science Teaching iStage 2. In: Science on stage [online]. Berlin, 2014. Dostupné z: https://www.science-on-stage.eu/images/download/iStage_2_Smartphones_in_Science_Teaching.pdf.
- [3] *Phyphox*: Physical phone experiments. Dostupné z: <https://phyphox.org/>.
- [4] *Euler, M.*: Getting in touch with the nanoworld: Hands-on experiments and models to visualize nanoscale structures. In: Science and technology Education for the 21st Century (2014), DOI 10.13140/2.1.1728.2881.
- [5] *Thees, M. et al.*: Adaptation of acoustic model experiments of STM via smartphones and tablets. *The Physics Teacher*, roč. 55 (2017), č. 7, s. 436–437.
- [6] *Klein, P. et al.*: Classical experiments revisited: Smartphones and tablet PCs as experimental tools in acoustics and optics. *Physics Education*, roč. 49 (2014), č. 4, s. 412–418.
- [7] *Halliday, D., Resnick, R., Walker, J.*: Fyzika 1. VUTIUM, Brno, 2013.

Určenie rýchlosti elektromagnetického vlnenia pomocou dvojvodičového vedenia z videozáznamu

ZUZANA GIBOVÁ – JÁN KECER

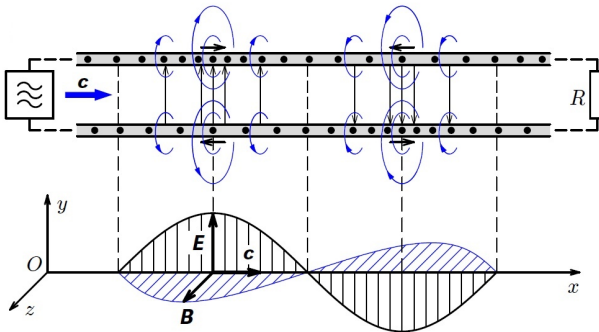
Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, SLOVENSKO

Obdobie pandémie koronavírusu donútilo aj nás hľadať spôsob ako umožniť študentom merať experimenty dištančne. V minulosti sme pre našich študentov v rámci projektu Kega natáčali videá z rôznych oblastí fyziky a to nás podnietilo k natočeniu videozáznamov, ktoré sa môžu použiť pri meraní. Takéto meranie má svoje výhody aj nevýhody, ale prináša možnosť merať danú úlohu aj iným študentom a žiakom, ako aj pomôcť kolegom pri príprave a tvorbe hodín, ak sú videá prístupné na internete. V článku prezentujeme úlohu na určenie rýchlosti elektromagnetického

vlnenia pomocou dvojvodičového vedenia. Táto úloha je nenáročná na meranie a jednoduchým spôsobom umožňuje určiť rýchlosť elektromagnetickej vlny. Nie všetky školy majú k dispozícii takéto vedenie so súborom pomôcok na meranie. Preto toto meranie pomocou videozáznamu pokladáme za vhodnú pomôcku pre učiteľov.

Princíp vzniku elektromagnetického vlnenia pomocou dvojvodičového vedenia

Dvojvodičové vedenie je sústava dvoch dutých medených rovnobežných trubičiek priemeru 6 mm, ktorých osi sú vo vzdialenosti 35 mm, a sú pripojené k vysokofrekvenčnému generátoru (obr. 1). Ak je na konci vodičov pripojený rezistor, vzniká medzi vodičmi premenné elektromagnetické pole, ktoré má charakter postupného elektromagnetického (EM) vlnenia. (Autorom vedenia, ktoré popisujeme v článku, je *doc. RNDr. Josef Hubeňák, CSc.*, pôsobiaci na Univerzite Hradec Králové [1]).



Obr. 1

Napätie generátora EM poľa sa harmonicky mení, preto náboj vo vodičoch nie je rozložený rovnomerne (v obr. 1 sú elektróny označené bodkami). Pozdĺž vodičov je rôzna elektrická intenzita E a teda aj rôzne elektrické pole. Prúd vo vodičoch má rovnakú fázu ako napätie, a tak v okolí vodičov vznikne premenné magnetické pole s indukciou B , ktorá je kolmá na smer intenzity E elektrického poľa. K vzniku postupného vlnenia s konštantnou amplitúdou pozdĺž celého vedenia dochádza len v prípade, ak je na konci vedenia rezistor (záťaž), ktorého hodnota je rovnaká ako charakteristická impedancia vedenia (tzv. impedančné prispôsobenie), ktorej veľkosť

závisí od rozmerov vedenia. Popisované dvojvodičové vedenie je autorom navrhnuté tak, aby bola táto podmienka približne splnená. V tomto prípade je charakteristická impedancia (viď [1])

$$Z = \frac{U_m}{I_m} = 372 \Omega \frac{\ln\left(\frac{h-r}{r}\right)}{\pi} = 280 \Omega,$$

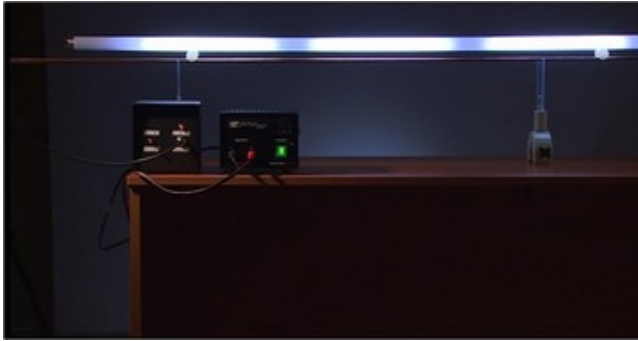
kde $r = 3$ mm je polomer vodičov, $h = 35$ mm je vzdialenosť osí vodičov a U_m , I_m sú amplitúdy napätia a prúdu. Odpor záťaže je 270Ω , tvoria ho štyri bezindukčné rezistory. EM pole, ktoré vzniklo medzi vodičmi, prenáša energiu prostredníctvom elektromagnetickej postupnej vlny za predpokladu, že sa celková elektromagnetická energia pohltí na konci vedenia (záťaže). Žiarivka položená na vedení celá svieti približne rovnakou intenzitou v dôsledku šíriacej sa postupnej EM vlny (obr. 2). Pozrite si aj video na stránke: <http://web.tuke.sk/feikf/video/elektromagneticke-vlnenie--postupna-vlna.html>.



Obr. 2

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 dvojvodičového vedenia 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 $\lambda/4$ od konca vodičov je to naopak. Pozdĺž drôtov vzniká fázový rozdiel medzi napätím a prúdom $\pi/2$, vo vzniknutej stojatej vlne pozorujeme kmitne a uzly napätia a prúdu. Žiarivka

položená na vedení nesvieti rovnakou intenzitou, ale má tmavé a svetlé miesta (obr. 3). Pozrite si aj video na stránke <http://web.tuke.sk/feikf/video/elektromagneticke-vlnenie---stojata-vlna.html>.



Obr. 3

Ak vzdialenosť medzi dvoma susednými uzlami napätia označíme d , potom $d = \lambda/2$. Odmeraním vzdialenosti uzlov pri danej frekvencii zdroja sa pomocou vzťahu pre vlnovú dĺžku $\lambda = c/f$, určí rýchlosť elektromagnetickej vlny c .

Určenie rýchlosti EM vlny z videozáznamu

Na videu je k dvojvodičovému vedeniu pripojený vysokofrekvenčný zdroj s frekvenciou $f = 433,92$ MHz, pomocou ktorého medzi vodičmi vytvoríme stojatú EM vlnu tak, že na koniec vodičov nepripojíme žiadny spotrebič (vedenie naprázdno). Medzi vodičmi je umiestnené pásmové meradlo, ktoré slúži na určenie polohy uzlov vzhľadom na prázdny koniec drôtov. Na detekciu uzlov použijeme menšiu dekoračnú žiarivku (obr. 4), ktorú posúvame pozdĺž celého vedenia. Miesta, v ktorých žiarivka zhasne, sú uzly. Pri danej frekvencii zdroja a dĺžke vodičov vieme pozdĺž vedenia detegovať 6 uzlov.

Na videu je natočený celý priebeh posúvania dekoračnej žiarivky pozdĺž vedenia ako aj detailnejší pohľad na jednotlivé uzly (obr. 5), ktorý umožňuje určiť ich polohu v danom čase s presnosťou ± 1 mm z pásmového meradla (vzhľadom na ostrosť natočeného videa). Natočili sme tri verzie videomeraní s rôznymi polohami uzlov, sú umiestnené na našej katedrovej stránke <http://web.tuke.sk/feikf/video/videomerania-.html>.



Obr. 4



Obr. 5

V ďalšej časti sú uvedené namerané hodnoty a ich spracovanie z druhého videomerania [6] – polohy uzlov (l) odmerané vzhľadom na prázdny koniec drôtov, rozdiel vzdialenosti medzi dvoma susednými uzlami (d), vypočítaná vlnová dĺžka (λ) a vypočítaná rýchlosť EM vlny (c) ako aj hodnoty sumy a výberového priemeru pre vzdialenosť medzi dvoma susednými uzlami, vlnovú dĺžku a rýchlosť EM vlny (pri výpočtoch bola použitá frekvencia 433,9 MHz).

n	l/cm	d/m	λ/m	$c/(10^8 \text{ m/s})$
1	180,8			
2	146,5	0,343	0,686	2,977
3	111,7	0,348	0,696	3,020
4	77,3	0,344	0,688	2,985
5	42,9	0,344	0,688	2,985
6	8,4	0,345	0,690	2,994
Suma:		1,724	3,448	14,961
Výberový priemer:		0,345	0,690	2,992

Tab. 1

Porovnaním výberového priemeru vypočítanej rýchlosti EM vlny z hodnôt v tab. 1 s jej zaokrúhlenou tabuľkovou hodnotou $c_{\text{tab}} = 2,988 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ [4], je relatívna chyba merania približne 0,2 %

$$\delta_c = \frac{\bar{c} - c_{\text{tab}}}{c_{\text{tab}}} \cdot 100 \% = \frac{2,992 \cdot 10^8 - 2,988 \cdot 10^8}{2,988 \cdot 10^8} \cdot 100 \% = 0,2 \%$$

K podobnému výsledku dôjdeme aj bez použitia tabuľky pomocou krajných polôh uzlov (1. a 6. uzol)

$$c = \frac{l_1 - l_6}{2,5} f = \frac{1,808 - 0,084}{2,5} \cdot 433,9 \cdot 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 2,992 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

Záver

Prezentovaný spôsob určenia rýchlosti elektromagnetického vlnenia pomocou dvojvodičového vedenia a nami natočených videozáznamov umožňuje ľahko určiť polohy uzlov stojatého EM vlnenia a pomocou nich vypočítať rýchlosť EM vlnenia, ktorá aj napriek kvalite videozáznamu a osobnej chybe merajúceho, vychádza porovnateľná s tabuľkovou hodnotou. Navyše meranie pomocou videozáznamu pôsobí navonok efektne a môže zaujať žiakov. Jeho umiestnenie na našej katedrovej stránke umožňuje uskutočniť toto meranie dištančne alebo ho využiť pri meraní v rámci prezenčnej výučby, nakoľko trvá menej ako 2 minúty.

Literatúra

- [1] *Hubeňák, J., Hubeňák, J.*: Historické pokusy s elektromagnetickou vlnou a dnešní technické možnosti. Dostupné na: <http://vnuf.cz//sbornik/prispevky/07-07-Hubenak.html>
- [2] *Lepil, O.*: Elektronika ve škole. SPN, Praha, 1972.
- [3] *Gibová, Z.*: Fyzikálne meranie 2. Technická univerzita, Košice, 2015.
- [4] *Mikulčák J., Klímeš, B., Široký, J.*: Matematické fyzikálne a chemické tabuľky pre stredné školy. Slovenské pedagogické nakladateľstvo – Mladé letá, Bratislava, 2002.
- [5] *Lepil, O., Šedivý, P.*: Fyzika pro gymnázia. Elektrizace a magnetismus. Prometheus, Praha, 2017.
- [6] <http://web.tuke.sk/feikf/video/files/Lecherove-droty-2.mp4>

Fyzikální klasifikace pohybu Ozobotem

PAVLA WEGENKITTLOVÁ – VLADIMÍR VOCHOZKA

Pedagogická fakulta Jihočeské univerzity, České Budějovice

Celý svět a vše v něm se pohybuje. Tělesa okolo nás, která se zdají na první pohled v klidu, se vůči jiným pohybují, vše lze shrnout jako relativnost klidu a pohybu.

Popisem pohybu těles, jeho tříděním a porovnáváním se zabývá část fyziky zvaná kinematika. Pohyb definujeme na základě veličin dráha (a s ní související trajektorie), čas, rychlost (ať už okamžitá či průměrná) a zrychlení. Pomocí těchto veličin můžeme pohyb třídit do tří skupin. Například na základní a střední škole je to dle *trajektorie, změny velikosti rychlosti a trajektorie jednotlivých bodů* [1].

Pro zjištění, jaké klasifikace pohybu se učí žáci na základní škole, byla provedena rešerše pěti učebnic určených pro základní školy [2, 3, 4, 5, 6] a dvou pro střední školy [7, 8]. Ve všech učebnicích je pohyb rozdělen na *přímochiarý a křivochiarý, rovnoměrný a nerovnoměrný* a v neposlední řadě