

Netradiční experimenty s vázanými oscilátory

OLDŘICH LEPIL, ČENĚK KODEJŠKA

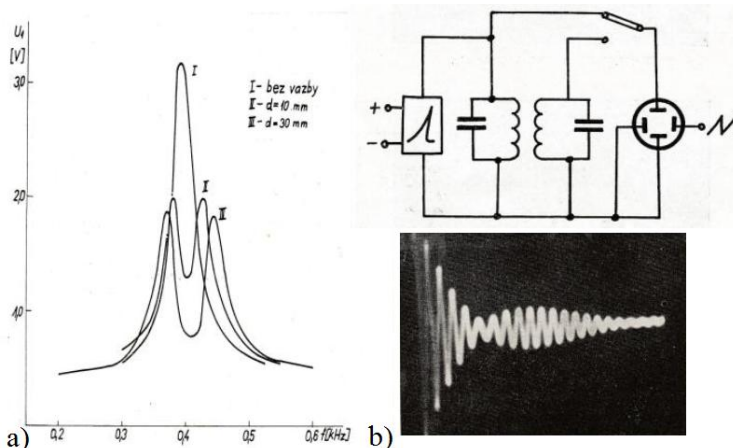
Přírodovědecká fakulta UP, Olomouc

Úvod

Poznatky o dějích ve vázaných oscilátorech mají význam pro výklad přechodu od kmitání izolovaného oscilátoru k řadě oscilátorů spojených vazbou, kterou se šíří vlnění. Významný je zejména poznatek o přenosu energie mezi oscilátory. Tradičně se výklad omezuje na kmitání sprzęžených kyvadel. Méně pozornosti je věnováno přenosu energie mezi elektromagnetickými oscilátory.

Experimenty s vázanými elektromagnetickými oscilátory v minulosti

První z autorů příspěvku se s použitím tehdy dostupných přístrojů zabýval kmitáním indukčně vázaných oscilátorů již v 60. letech 20. století [1]. Rezonanční křivka byla měřena bod po bodu pomocí tónového generátoru a elektronkového voltmetru (obr. 1a). Kmitání oscilátorů budil v intervalech odpovídajících frekvenci časově základny osciloskopu jednoduchý relaxační generátor pilových kmitů a oscilogramy kmitů byly získány fotografováním obrazovky osciloskopu (obr. 1b).



Obr. 1

Dvě maxima rezonanční křivky odpovídají skutečnosti, že děje ve vázaných oscilátorech můžeme interpretovat jako superpozici symetrických kmitů (oscilátor i rezonátor kmitají se stejnou fází) a antisymetrických kmitů (oscilátory kmitají s opačnou fází), což vede ke vzniku charakteristických rázů. Jejich perioda závisí na tom, zda je vazba oscilátorů pevná nebo volná. Při výkladu můžeme uplatnit analogie mechanických a elektromagnetických kmitů, popsaných diferenciálními rovnicemi 2. řádu.

Spřažená kyvadla	Obvody LC s indukční vazbou
$m \frac{d^2 y_1}{dt^2} + b \frac{dy_1}{dt} + ky_1 + c(y_1 - y_2) = 0$	$L \frac{d^2 q_1}{dt^2} + R \frac{dq_1}{dt} + \frac{q_1}{C} + M \frac{d^2 q_2}{dt^2} = 0$
$m \frac{d^2 y_2}{dt^2} + b \frac{dy_2}{dt} + ky_2 - c(y_1 - y_2) = 0$	$L \frac{d^2 q_2}{dt^2} + R \frac{dq_2}{dt} + \frac{q_2}{C} + M \frac{d^2 q_1}{dt^2} = 0$

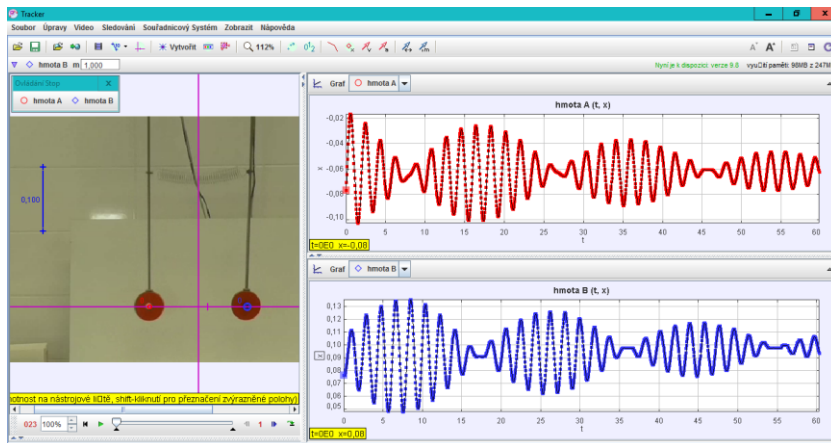
Poslední člen rovnic vyjadřuje sílu, popř. elektrické napětí vzájemného působení oscilátorů. U kyvadel závisí na součiniteli vazby c a rozdílu okamžitých výchylek oscilátorů (spřažení výchylkou). U elektromagnetických oscilátorů je to indukované napětí, které závisí na součiniteli indukční vazby M mezi cívkami a druhé derivaci náboje kondenzátoru. Uvedené diferenciální rovnice jsou ovšem mimo možnosti přímého využití ve středoškolské výuce. Jsou ale východiskem dynamických modelů, pomocí nichž poměrně složité kmitání vázaných oscilátorů názorně interpretujeme.

Nové možnosti prezentace dějů ve vázaných oscilátorech

Současné IT poskytují nové prostředky pro studium dějů ve vázaných oscilátorech. Uvedeme několik příkladů, které mohou být námětem i pro samostatnou práci žáků.

- **Videoanalýza kmitání spřažených kyvadel**

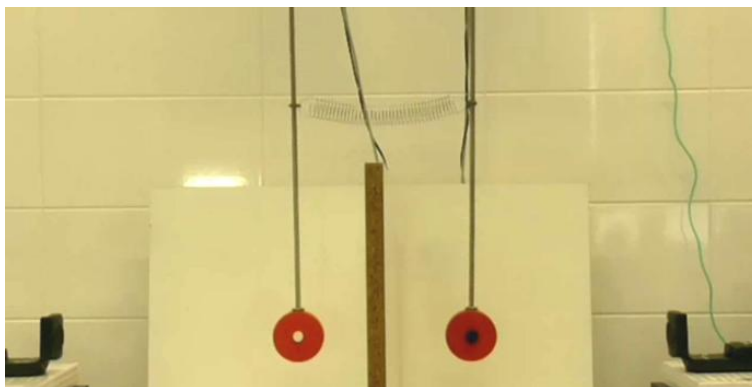
Pro videoanalýzu mechanických pohybů existuje více programů, popsaných např. v [2]. V současnosti se jako nejvhodnější jeví program Tracker [1]. Analyzován byl záznam kmitání spřažených kyvadel od fy PHYWE. Digitální kamerou byl k tomuto účelu pořízen obrazový záznam trvajícím 1 min. Při frekvenci snímání 25 obr./s je to 1 500 snímků s časovým krokem 0,04 s. Výsledek videoanalýzy je patrný z obr. 2.



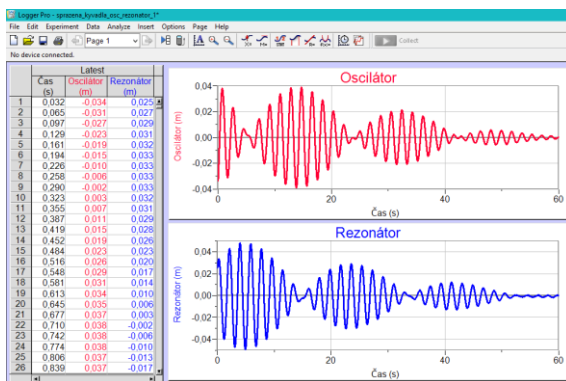
Obr. 2

- **Záznam kmitání spřažených kyvadel sonarem Vernier**

Obdobný časový diagram kmitání spřažených kyvadel byl získán pomocí dvou senzorů polohy a pohybu Motion Detector 2. Aby nedocházelo k vzájemnému rušení současného záznamu kmitů oscilátoru i rezonátoru, byla mezi kyvadla umístěna přepážka (obr. 3). Získaná data byla analyzována programem Logger Pro [II] (obr. 4).



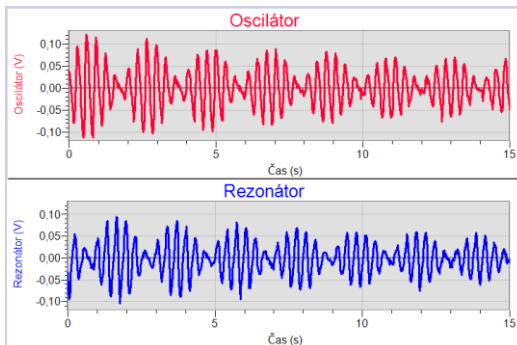
Obr. 3



Obr. 4

- **Záznam kmitání pružných pásků spřažených magneticky**

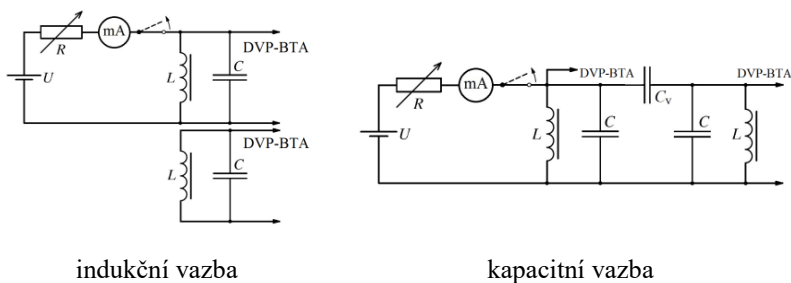
V učivu o kmitání je dána přednost pružinovému oscilátoru před kyvadlem. Demonstrace vázaných pružinových oscilátorů je obtížná a ve výuce se omezujeme jen na počítačové simulace. Snadno však ukážeme pružné kmity soustavy dvou ocelových pásků délky cca 30 cm, umístěných ve vzájemné vzdálenosti asi 3 cm. Vazbu zajišťují dva feritové magnety přichycené ke koncům pásků tak, že se navzájem odpuzují (podrobněji viz [3]). Hmotnost magnetů ovlivňuje také frekvenci kmitání pásků. V blízkosti magnetů jsou umístěny cívky z rozkladného transformátoru (600 závitů, rovné jádro). Napětí indukované v cívkách umožňuje pomocí připojených senzorů napětí (DVP-BTA) získat data pro zpracování programem Logger Pro (obr. 5).



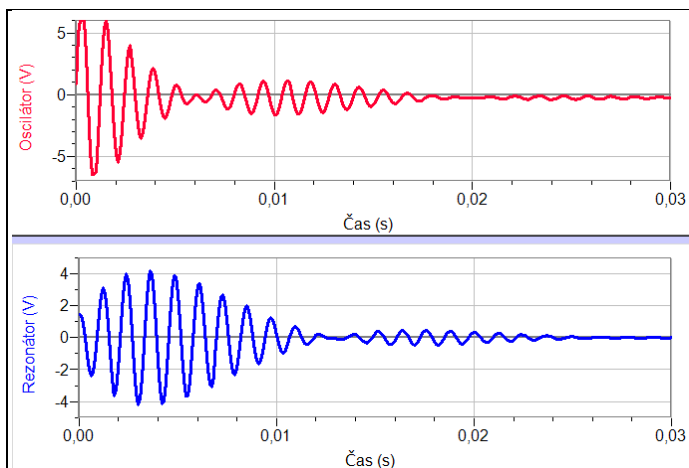
Obr. 5

• **Kmitání vázaných elektromagnetických oscilátorů**

K experimentu byly použity dva oscilační obvody LC tvořené cívkami s 600 závity s rovným jádrem a kondenzátory o kapacitě $1 \mu\text{F}$. Cívky jsou umístěny na společné ose tak, že mezi jádry cívek je měnitelná vzduchová mezera o šířce přibližně 4 cm. Způsob buzení kmitů je patrný z obr. 6 (podrobněji viz [4]). Získaná data byla opět zpracována programem Logger Pro (obr. 7). Experimenty byly provedeny jak s indukčně, tak s kapacitně vázanými obvody (vazební kondenzátor C_v měl rovněž kapacitu $1 \mu\text{F}$).



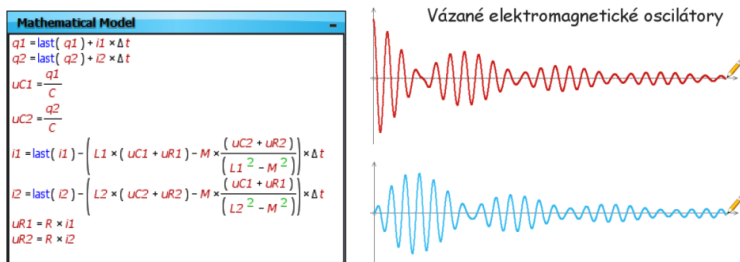
Obr. 6



Obr. 7

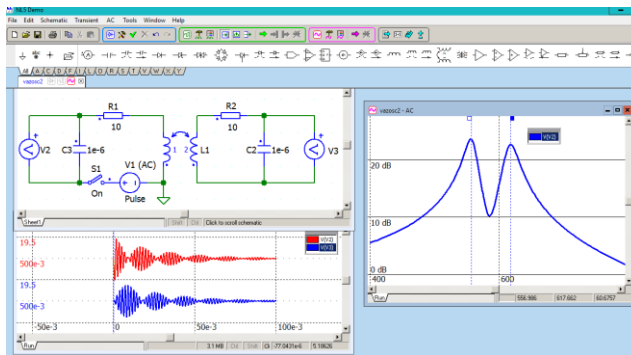
- **Modely kmitání vázaných oscilátorů**

Modely mechanických i elektromagnetických vázaných oscilátorů byly vytvořeny programem Modellus 4.01 [III] (obr. 8). Modely jsou teoreticky popsány v [3].

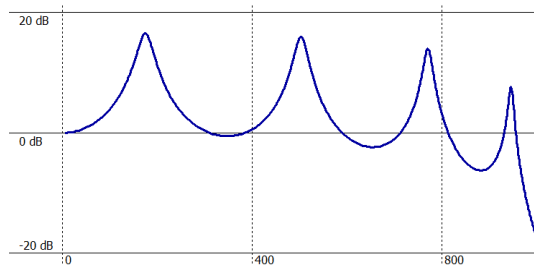
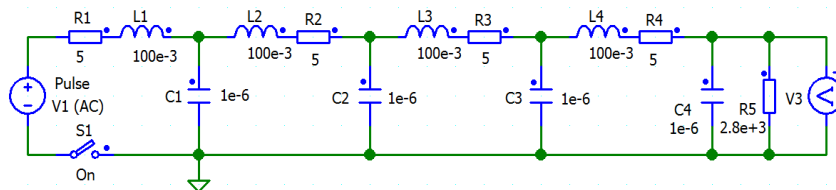


Obr. 8

Složitější modely vázaných oscilátorů lze vytvářet pomocí simulačního programu NL5 Circuit Simulator [IV]. V něm snadno vytvoříme schéma obvodu kreslením pomocí myši na ploše monitoru a ihned můžeme zobrazit jak časový diagram kmitání v daném obvodu, tak jeho frekvenční charakteristiku. Tento program byl použit k simulaci všech zapojení s vázanými elektromagnetickými oscilátory (viz např. obr. 9). Byl také vytvořen řetězec kapacitně vázaných oscilátorů, jehož frekvenční charakteristika ukazuje odpovídající nárůst rezonančních maxim (obr. 10). To umožňuje extrapolaci na dlouhou řadu vázaných oscilátorů, čili na dvou vodičové vedení, kterým se šíří postupná elektromagnetická vlna.



Obr. 9



Obr. 10

Literatura

- [1] Lepil, O.: *Príspevek k metodice výkladu rezonančních jevů ve vázaných oscilátorech*. In: ACTA UP, Fac. Rer. Nat. Tom 15, 1964. Dostupné na: <http://dml.cz/dmlcz/119814>
- [2] Lepil, O.: *Videoanalýza fyzikálních dějů*. In: Veletrh nápadů učitelů fyziky IX, sborník z konference, PdF MU Brno 2004, ISBN 80-7315-084-0. Dostupné na: http://vnuf.cz/sbornik_old/Veletrh_09/09_07_Lepil.html
- [3] Lepil, O.: *Demonstrujeme kmity netradičně*. Prometheus, Praha 1996.
- [4] Lepil, O., Látal, F.: *Experiment v učivu o kmitání elektromagnetického oscilátoru*. MFI roč. 22 (2013), č. 5, s. 344. Dostupné na: http://mfi.upol.cz/files/2205/mfi_2205_344_354.pdf
- [5] Lepil, O., Richterek, L.: *Dynamické modelování*, Repronis, Ostrava 2007. Dostupné na: http://ufm.sgo.cz/ke_stazeni.php

Software

- [I] Tracker 4.97: <<http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/>>
- [II] Logger Pro 3.8.2: <<https://www.vernier.com/>>
- [III] Modellus 4.01: <<http://modellus.fct.unl.pt/>>
- [IV] NL 5 Circuit Simulator: <<http://nl5.sidelinesoft.com/>>