

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Jaromír Knejzlík; Jaroslav Sommer

Úprava reverzního kyvadla pro laboratorní cvičení

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 15 (1970), No. 5, 207--212

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137841>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1970

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

ÚPRAVA REVERZNÍHO KYVADLA PRO LABORATORNÍ CVIČENÍ

JAROMÍR KNEJZLÍK, JAROSLAV SOMMER, Ostrava

Mezi úkoly, kterými se musí pedagog zabývat, patří trvalé úsilí po zkrácení doby, kterou student potřebuje ke zvládnutí dané látky. Zvláště v experimentální fyzice při neustálém zdokonalování měřicích přístrojů je možné nahrazovat některé zdlouhavé klasické metody metodami novějšími, které vyžadují podstatně kratší dobu při měření dané veličiny a nezřídka vedou i k přesnějším výsledkům.

Příkladem může být měření tíhového zrychlení reverzním kyvadlem. Toto měření patří stále mezi základní úkoly v laboratorním cvičení pro začátečníky na školách technického i univerzitního směru. Mluví proto význam tíhového zrychlení při studiu fyziky, pěkná a dobře srozumitelná aplikace přednášené teorie a konečně také spolehlivost metody a robustnost zařízení.

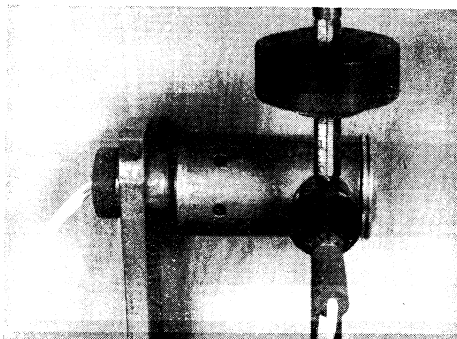
POPIS KYVADLA

Měření tíhového zrychlení, jak se dosud v laboratořích pro začátečníky provádí, má dva vážné nedostatky. Naprostá většina posluchačů nestačí totiž během dvouhodinového cvičení provést měření tíhového zrychlení na 3 platné číslice, se kterými se počítá v naprosté většině výpočtů ve fyzikálním cvičení, a to zaprvé z toho důvodu, že čas potřebný k stanovení doby kmitu je příliš dlouhý, a zadruhé proto, že posluchači nedovedou nastavit čočku s dostatečnou přesností do potřebné polohy.

Tyto obtíže trvají přesto, že při měření tíhového zrychlení s touto přesností není třeba počítat se změnami teploty v laboratoři během měření, s útlumem, s prohnutím břítů, s hmotností spolukmitajícího vzduchu ani s vlivem vlastních kmitů konzoly na dobu kmitu kyvadla.

Problém rychlého a přesného nastavení čočky kyvadla byl na katedře fyziky VŠB vyřešen tak, že konec kyvadlové tyče s čočkou tvoří šroub s maticí s milimetrovým stoupáním a ve žlábků tohoto šroubu je umístěna milimetrová stupnice, jak je to vidět na obr. 1. Pevná poloha čočky při převrácení kyvadla je zajištěna stavěcím šroubem.

Doba kmitu se měří pomocí fotoelektrického snímače, který je také vidět na obr. 1. Vlákno osvětlovací lampy se promítá na fotodiodu, která je při průchodu kyvadla rovnovážnou polohou zastíněna tenkým drátkem upevněným na konci kyvadlové tyče. Jestliže vzdálenost břitů kyvadla je 0,62 m a vzdálenost fotodiody od osy otáčení je 0,72 m, dovolený rozkmit 5° a šířka šterbiny před fotodiodou 2 mm, pak snadným výpočtem se dá stanovit, že při zaclonění diody získáme elektrický impuls šířky 10^{-2} s. Využijeme-li z tohoto impulsu jen náběhovou hranu, můžeme elektrickou derivací získat další impuls o šířce asi desetkrát menší, který bude udávat okamžik průchodu kyvadla rovnovážnou polohou a jeho šířka bude současně udávat přesnost, s jakou lze tento okamžik stanovit. Tzn. že dobu kmitu lze takto určit s přesností $\delta_T = 10^{-3}$ s.



Obr. 1.

Elektrický impuls vzniká při každém průchodu kyvadla rovnovážnou polohou, takže časový interval mezi dvěma za sebou následujícími impulsy na fotoelektrickém snímači byl by totožný s dobou kyvu, kdyby šířka elektrického impulsu vytvářeného na fotodiodě byla zanedbatelně malá vůči době kyvu a kdyby impuls vznikal právě v okamžiku průchodu kyvadla rovnovážnou polohou. Při měření tíhového zrychlení dají se oba požadavky jen velmi obtížně splnit. Jestliže však před reléový systém ovládající stopky zařadíme reduktor impulsů, kterým se druhý impuls, resp. následujících 19 impulsů potlačí, uplyne mezi dvěma impulsy na výstupu reduktoru časový interval rovný jedné resp. deseti dobám kmitu. Přitom nebude záležet na přesné poloze snímače ani na šířce elektrického impulsu dodaného fotodiodou, neboť počáteční i koncový impuls vznikají při stejném pohybovém stavu kyvadla, jsou proto shodné a schopné elektrické úpravy.

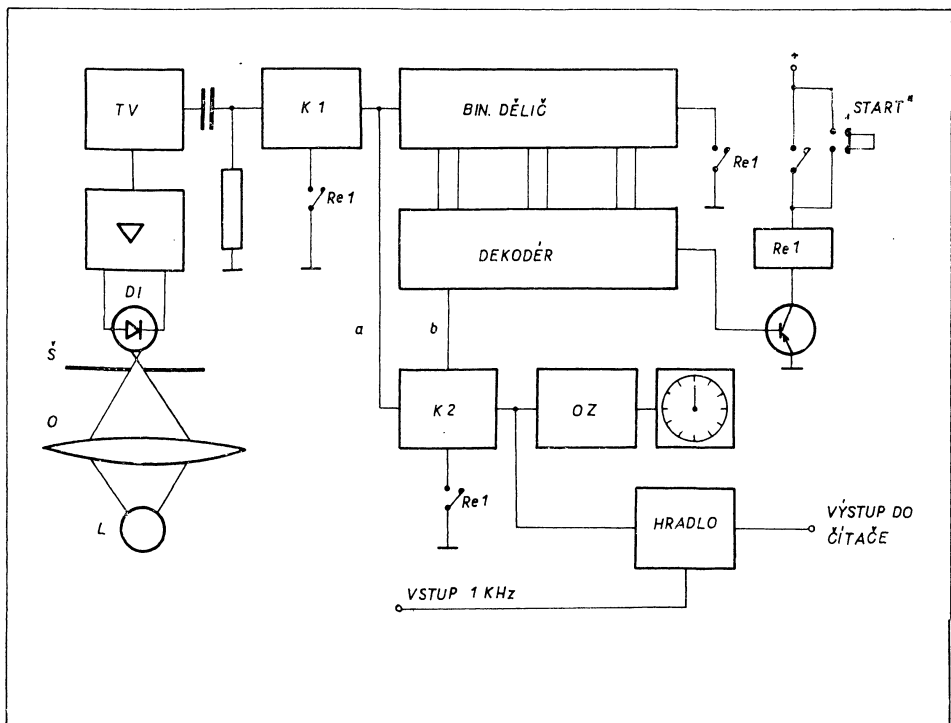
Těmito impulsy je možno ovládat elektrické stopky. Jejich přesnost je 0,01 s, takže při měření doby 10 kmitů, tedy během asi 16 vteřin, získáme dobu kmitu s relativní chybou menší než 0,1%. Již tento způsob znamená značný pokrok proti metodě používající pérových stopek, a to nejen z hlediska časové úspory při měření. Z deseti-

leté zkušenosti užívání elektrických stopky při této úloze víme, že elektrické stopky při čtyřicetihodinovém týdenním provozu vydržely bez poruchy až 5 let, zatímco stopky pérové bylo nutno nejdéle po uplynutí semestru opravovat.

Protože při měření doby kmitu reverzního kyvadla elektrickými stopkami není fotoelektrický snímač využit, je vhodné opatřit reduktor impulsů konektorem, kterým se dají spouštěcí a závěrný impuls přivést k čítači impulsů a takto měřit dobu kmitu s uvedenou přesností 10^{-3} s při měření doby jednoho kmitu, resp. 10^{-4} s při měření doby 10 kmitů.

ELEKTRONICKÁ ČÁST ÚLOHY

Způsob měření časových intervalů omezených dvěma elektrickými impulsy je dobře znám. Z oscilátoru, který má dostatečně velkou stabilitu i přesnost frekvence, přivádíme elektrické kmity na vstup čítače impulsů. Prvým elektrickým impulsem je čítač uveden do chodu a počítá kmity přiváděné na vstup čítače, druhý impuls činnost čítače zastaví. Je-li frekvence oscilátoru $f = 10^3$ Hz, pak počet kmitů přivedených na vstup čítače udává přímo v milisekundách dobu mezi oběma impulsy.



Obr. 2.

Činnost reduktoru impulsů je snadno pochopitelná z blokového schematu na obr. 2. Osvětlovací lampa L a kondenzor O vytváří potřebný svazek paprsků, který vstupuje štěrbinou Š na fotodiodu DI. Při zaclonění štěrbin vznikne ve fotodiodě elektrický impuls, který je zesílen v zesilovači a tvarován Schmidtovým obvodem TV. Postup elektrického zpracování impulsů je zřejmý z obr. 3, ve kterém A představuje graf závislosti výchylky kyvadla na čase, B tvar impulsů na fotodiodě, C tvar impulsů na výstupu Schmidtova obvodu, D tvar impulsů po elektrické derivaci v obvodu CR. Mezi 1. a 3., 3. a 5., 5. a 7 atd. záporným impulsem uplyne vždy doba jednoho kmitu reverzního kyvadla.

Zápornými derivovanými impulsy je ovládán klopný obvod K1. K1 je obvod s nuceným nulováním pomocí spínacího relé Re1. Působí také jako vstupní hradlo, neboť dokud je kontakt relé Re1 rozeprnut, obvod nepracuje. Po sepnutí tlačítka označeného na panelu „Start“ sepne se i relé Re1 a výstupní impulsy z obvodu K1 mohou vstupovat do a-vstupu klopného obvodu K2, který pracuje jako paměť. Ten překlápí a přes ovládací zesilovač OZ zapne elektromagnetickou spojku elektrických stopek, které se rozběhnou. Zároveň se sepne hradlo a propustí do čítače impulsů kmity přesného kmitočtu z vnějšího krystalového oscilátoru. Čítač začne počítat. Zároveň jdou výstupní impulsy z K1 na vstup binárního řetězu 4 klopných obvodů. Na tyto obvody je zapojen dekodér, jehož propojení určuje, po jakém počtu impulsů se na výstupu objeví signál, který přes vstup b překlápí zpět klopný obvod K2 a tím zastaví stopky a přes hradlo i čítač.

V základní poloze, tj. při rozeprnutém relé Re1 je binární řetěz ve stavu

0 0 0 0 ,

po prvním impulsu je ve stavu

0 0 0 1 .

1. impuls překlápí K2 a tím zahajuje měření. Chceme-li měřit dobu n kmitů, musíme nastavit dekodér tak, aby impuls na výstupu vnikl při $n + 1$ vstupním impulsu. V daném případě se volí buď měření doby jednoho nebo deseti kmitů. Pro měření doby jednoho kmitu je dekodér nastaven na číslo

0 0 1 0

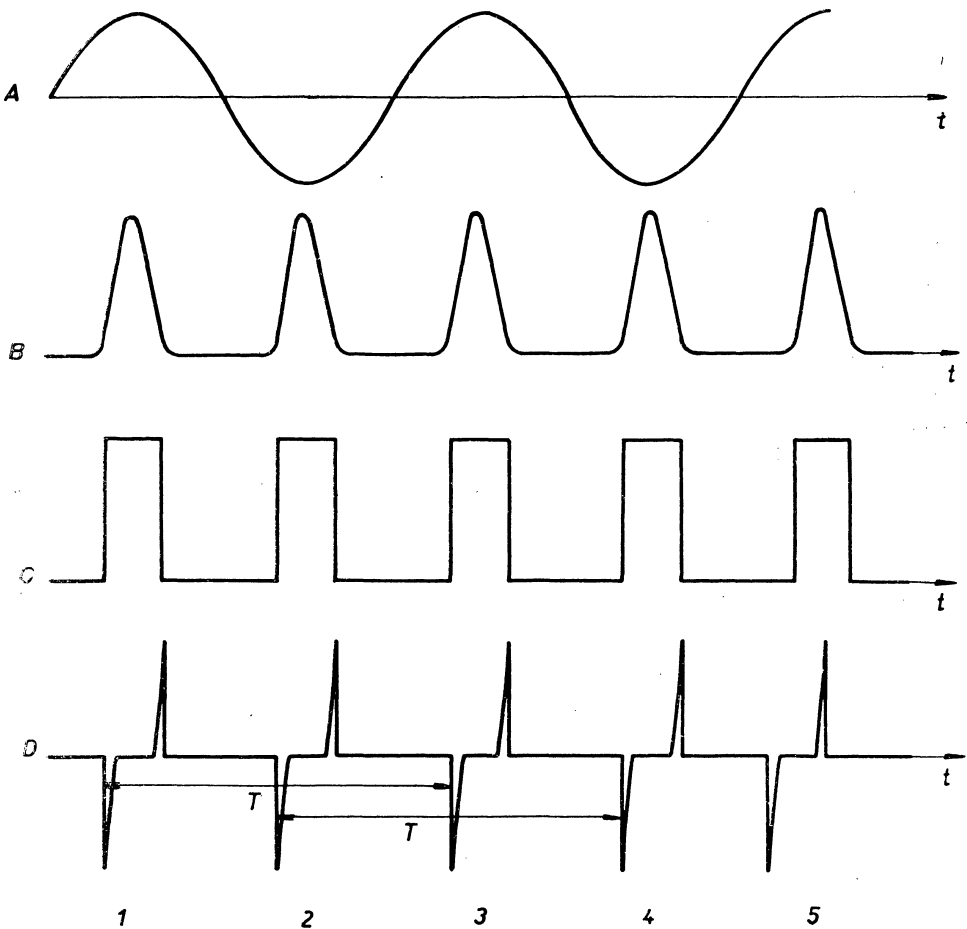
a pro dobu deseti kmitů na číslo

1 0 1 1 .

Přepínání je provedeno dvoupólovým přepínačem, neboť logický stav se liší jen ve dvou řádech. Při dosažení nastaveného počtu impulsů se výstupem z dekodéru zpět překlápí K2, jak bylo výše uvedeno, a tím se ukončí měření. Zároveň se přes tranzistor rozpojí relé Re1 a obvody se vynulují. Další měření může začít teprve po opětovém stisknutí tlačítka „Start“.

Je zřejmé, že chyby v měření času vznikají v samotném fotoelektrickém principu

snímání, kde je žádoucí použít co nejužší štěrbinu. V praxi je nutné volit kompromis mezi přesností a dostatečnou citlivostí. Samotné klopné a ovládací obvody vnášejí chybu až o dva řády menší, neboť jejich maximální pracovní frekvence při použití běžných germaniových tranzistorů je asi 10^5 Hz.



Obr. 3.

Při konstrukci přístroje je nutné použít párovaných tranzistorů a vybraných pasivních součástí, aby byl zaručen spolehlivý chod přístroje. Všechny potřebné součásti jsou běžně k dostání. Elektrické stopky Křížík SK 1 nejsou již u nás vyráběny, místo nich se dováží z NDR s nimi shodný typ EAW.

Výstup z reduktoru musí být upraven podle použitého čítače. Zatímco u čítače Tesla BM 354 pro spouštěcí i závěrný impuls stačí jeden kanál, u tranzistorového čítače BM 445 E je zapotřebí dvou kanálů.

ZÁVĚR

Abychom ukázali s jakou přesností zařízení pracuje, uvádíme výsledky desíti za sebou následujících měření doby kmitu

1,5652	1,5652	1,5652	1,5652	1,5652
1,5653	1,5651	1,5647	1,5650	1,5651

Z těchto měření dostáváme dobu kmitu $T = [1,56512 \pm 0,00006]$ sek. Jako další příklad uvádíme závislost doby kmitu T na amplitudě φ kyvadla

φ : 2°30'	5°	7°30'	10°
T : 1,5651 s	1,5655 s	1,5664 s	1,5683 s

Vidíme, že použití popsaného zařízení ve spojení s čítačem impulsů vede k přesnosti o 2 až 3 řády vyšší než při použití pérových stopek a při daleko menších časových nárocích na měření. Při použití tranzistorů pracuje toto zařízení prakticky bez poruch. Zatím bylo používáno po 2 semestry při 40 týdenních hodinách cvičení, aniž by se během semestru vyskytla jediná porucha. Po půlroční pauze bylo třeba přechistit reléové kontakty. Rozhodujícím faktorem pro použití takového zařízení ve cvičení je však stránka pedagogická. Posluchači jsou si vědomi, že je jim svěřováno náročné zařízení, na kterém se mohou seznámit se způsobem činnosti řady automatizačních prvků, pracují na úloze se zájmem a odpovědností, úlohu snadno zvládne jediný posluchač. V naprosté většině případů dosahují posluchači předpokládané přesnosti, tj. hodnoty gravitačního zrychlení na 3 řády přesně.

Je milou povinností autorů poděkovat mechanikovi katedry panu D. Školovi za pečlivé provedení mechanické části zařízení.

FYZIKÁLNÍ HLAVOLAM

Spojíme-li nabitý kondensátor s nenabitým kondensátorem izolovaným vodičem o zanedbatelném odporu, náboj se téměř okamžitě rozdělí v poměru kapacit kondensátorů. Použijeme-li ke spojení nabitého a nenabitého kondensátoru odporu, rozdělí se po krátkém časovém intervalu opět náboj ve stejném poměru. Je-li v prvním i druhém případě vše dokonale izolováno, nedojde přitom k úbytku náboje. V druhém případě se však odpor musí zahřát, když jím projde proud. Odkud se dodá energie na vzniklé teplo?