

Pokusy se zvukovou kartou

Leoš Dvořák

KDF MFF UK Praha

Abstrakt

Príspevek ukazuje niekoľik možností, jak pomocí počítače se zvukovou kartou a volně dostupných programů provádět jednoduché pokusy i kvantitativní měření využitelná ve výuce fyziky. Do vstupu zvukové karty přitom nemusíme zapojovat jen mikrofon, ale i fototranzistor či další prvky – přitom celkově vystačíme se součástkami v ceně do několika desítek korun.

Úvod – co nás čeká

Počítač lze už dnes považovat za široce rozšířenou a běžně dostupnou pomůcku. Chceme-li jej použít k měření, musíme buď mít některý z ne právě levných systémů (např. ISES či IP-Coach), nebo zkusit využít zařízení, které má dnes už téměř každý počítač – zvukovou kartu. Po velmi stručném seznámení se vstupy a výstupy zvukové karty a s jejich základními vlastnostmi se podíváme na příklady toho, co a jak k nim lze připojit a co a jak lze s uvedeným jednoduchým hardware ve školních fyzikálních pokusech měřit. Rozhodně nepůjde o vyčerpávající popis všech možností, spíše o náměty. Zejména techničtější zaměření učitelé mohou nápady zde uvedené široce rozvinout. Základních pokusů se zvukovou kartou se však nemusí bát ani začátečník.

Vstupy a výstupy zvukové karty

Typická levná zvuková karta má dva vstupy (mikrofonní a tzv. linkový, „line-in“) a jeden výstup (linkový, „line-out“).

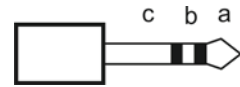
Mikrofonní vstup je citlivější (uvádí se, že snese napětí do cca 0,2 V), ale mívá nižší odpor (např. 600 Ω). Bývá monofonní, to znamená, že jím lze do počítače přivést jen jeden signál. Na mikrofonní vstup je (vevnitř v počítači) přivedeno přes rezistor stejnosměrné napětí, které slouží k napájení elektretových mikrofonů. (To jsou ty malé levné, mají v sobě už zesilovač a právě ten je z mikrofonního vstupu počítače napájen.)

Linkový vstup je méně citlivý, uvádí se, že „bere“ napětí do asi 1 V, ale mívá vyšší odpor (asi 50 k Ω) a většinou bývá stereofonní, umožňuje tedy do počítače přivést dva signály (pro levý a pravý kanál). Do linkového výstupu dodává zvuková karta napětí řádově 1 V (v případě mého notebooku to bylo 0,4 V, výstupní odpor činil asi 20 Ω), výstup je stereofonní.

Pro rychlou laickou orientaci: zdířka konektoru mikrofonního vstupu bývá růžová a strká se do ní (také růžový) konektor od mikrofonu. Zdířka linkového vstupu bývá modrá, zdířka linkového výstupu zelená – do ní se strká konektor reproduktorových soustav.

To, který vstup signálu pro další zpracování vybereme, nastavujeme ve Windows v programu *Ovládání záznamu*. Lze se k němu dostat přes program *Ovládání hlasitosti*, když v menu *Možnosti/Vlastnosti* vybereme variantu *Záznam*. V programu *Ovládání záznamu*, do kterého se takto přepneme, lze nastavovat i citlivost vstupů a často též dodatečné zesílení pro mikrofonní vstup. V samotném programu *Ovládání hlasitosti* zas nastavujeme, jaký signál půjde na linkový výstup.

Aby to nebylo tak jednoduché, mají některé notebooky spojen mikrofonní a linkový vstup. Linkový vstup je v tomto případě jen monofonní, tedy jednokanálový. Pro připojení některých našich zařízení (viz dále) budeme přesto potřebovat *stereofonní* konektor. Jeden vývod konektoru (spojený se špičkou a, viz obrázek) nás totiž propojí na vstup, na druhém vývodu (b) je již zmíněné napětí pro napájení elektretového mikrofону. (Pro naše pokusy bude většinou potřeba v konektoru tyto vývody spojit.)



Co a jak lze připojit ke vstupu zvukové karty

Pro připojení ke zvukové kartě potřebujeme konektory typu „jack“ o průměru 3,5 mm. Jak už bylo řečeno, využijeme spíš typ „stereo“. Signál je ke konektoru vhodné přivádět stíněným kablíkem, který k vývodům konektoru připájíme. (Stínění k největšímu vývodu konektoru; ten je spojen s „nožičkou“ konektoru označenou na obrázku výše písmenem c.) Podívejme se teď na příklady toho, co můžeme ke zvukové kartě připojit.

Mikrofon (malý elektretový)

Malý elektretový mikrofon je velmi laciný (typ MCE100 lze v GM Electronic koupit za 10 Kč, ceny dalších typů viz např. [1]). Stínění kablíku připájíme na ten vývod mikrofónu, který je spojen s pláštěm mikrofónu (střední žílu kablíku samozřejmě k druhému vývodu mikrofónu). Ve stereofonním konektoru, který budeme strkat do mikrofonního vstupu, propájíme přívody pro levý a pravý kanál (spojené s kontakty a a b, viz obrázek) a k nim připájíme střední žílu kablíku. Pak bude mikrofon fungovat i při připojení do „kombinovaného“ vstupu zvukové karty některých notebooků, který byl popsán výše.

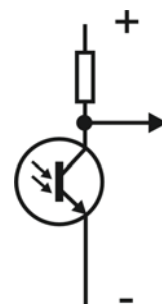
Správné připojení mikrofónu a to, že je mikrofonní vstup vybrán, ověříme např. programem *Záznam zvuku* z Příslušenství Windows (z části Zábava) nebo pomocí některého „osciloskopického“ programu popsaného dále.

Fototranzistor

Stejně jako mikrofon můžeme k mikrofonnímu vstupu připojit *fototranzistor*. Fototranzistor stačí ten nejlevnější. Na dílně jsme používali typ IRE5 nakoupený v GM Electronic za 4,40 Kč. (Pozn.: Podobné ceny lze čekat v ostatních prodejnách ze součástkami.)

Fototranzistor vypadá na první pohled jako fotodioda: má jen dvě nožičky. To proto, že báze není vyvedena. Místo, abychom proud mezi kolektorem a editorem řídili proudem do báze, ovládáme ho osvětlením.

Správnou polaritu fototranzistoru raději vyzkoušíme. Stačí jej přes miliampérmetr, např. malý multimetr nastavený na měření proudu, připojit k ploché baterii a sledovat, zda při osvětlení proud fototranzistorem roste a při zaclonění klesá. (Možná přitom pro klid duše zapojte do série s fototranzistorem ještě ochranný rezistor o odporu několik set ohmů pro omezení proudu.) Takto můžeme činnost fototranzistoru demonstrovat i žákům. Ještě efektnější je místo miliampérmetru zapojit do obvodu svítivou diodu (LED). Při posvícení na fototranzistor pak LED svým svitem indikuje procházející proud.



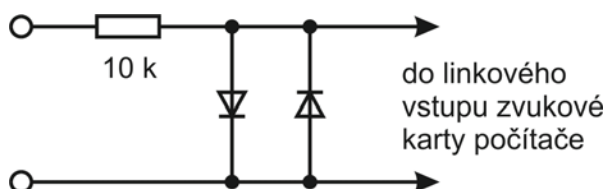
Při připojení ke zvukové kartě je fototranzistor napájen přímo z mikrofonního vstupu. Na stínění kablíku (připojeného druhým koncem na konektor tak, jak bylo popsáno výše) je přitom mínus pól, na střední žíle plus pól. Správné připojení fototranzistoru můžeme

vyzkoušet opět pomocí programu „Záznam zvuku“. Stačí fototranzistor přiblížit k monitoru počítače. Signál přitom můžeme slyšet i z reproduktoru počítače. Pozn.: Frekvence, kterou takto slyšíme, je řádkovou frekvencí monitoru (v případě monitoru CRT, tedy s klasickou obrazovkou). Pomocí dále zmíněného software můžeme tuto frekvenci změřit; bývá např. 75 Hz. U LCD monitoru naměříme víc, např. okolo 300 Hz – proč, to je otázka pro zvědavé...

Cokoli jiného – a jak přitom ochránit počítač

Na vstup zvukové karty ale můžeme připojit i leccos jiného, např. nějaký obvod, který zkusíme. (Příklady uvedeme dále.) Jsme-li si úplně jisti, že na našem obvodu nebude vyšší napětí, můžeme jej ke vstupu zvukové karty připojit přímo. Konec konců, vstup musí něco vydržet, třeba přímý dotyk prstu na vstupní zdířku, i když díky tření můžeme být nabíti na ne právě nízký potenciál. Ovšem člověk nikdy neví, a zničit zvukovou kartu například vinou nějaké indukční špičky z připojené cívky by nebyl zrovna dobrý experiment. Je proto rozumné ochránit vstup počítače ochranným členem. Stačí k tomu dvě diody a jeden rezistor.

Zapojení ochranného členu ukazuje obrázek. Diody jsou křemíkové; v dílně jsme používali diody označované jako „rychlé“, konkrétně typu 1N4936 v ceně něco přes korunu za kus. Na přesné hodnotě odporu rezistoru nezáleží.



Zvolených 10 k Ω je dostatečně malý odpor oproti vstupnímu odporu linkového vstupu zvukové karty a přitom dost, aby rezistor omezil proud do ochranného členu. Obvod totiž funguje tak, že při malém napětí na vstupu (např. 0,2 V) diodami prakticky neteče žádný proud (slangově bychom řekli, že jsou „zavřené“), takže nijak neovlivňují procházející signál. Při vyšším napětí (0,5 V a více) se diody „otvírají“, teče jimi vyšší proud (vzpomeňte si na voltampérovou charakteristiku diody!) a nebezpečné napětí tak vlastně „zkratují“. Pokud by napětí na vstupních svorkách našeho obvodu bylo např. 1000 V, tekla by rezistorem proud asi 0,1 A a napětí na vstupu zvukové karty by diody omezily na asi 0,6 V. (Ovšem pozor, výkon na rezistoru by byl 100 W, takže náš obvod chrání spíše před náhodnými krátkými špičkami napětí, které ani rezistor na malé výkonové zatížení nestačí výrazněji zahřát, neřkuli zničit.)

Poznámka: Tento vstupní člen samozřejmě omezuje velikost napětí, které můžeme počítačem měřit. Potřebujeme-li měřit či analyzovat vyšší napětí, musíme je zmenšit odporovým děličem. Pro napětí do řádově 1 V, které by ještě zvuková karta dokázala zpracovat, by druhou možností bylo použít v ochranném obvodu několik diod v sérii.

Výstup našeho obvodu propojíme s počítačem konektorem – zde stačí užít monofonní „jack“ nebo, v případě stereofonního konektoru, nechat volný prostřední kontakt konektoru (b). Pak by mělo vše fungovat i u kombinovaných vstupů. Funkci připojení zkontrolujeme nejjednodušeji tak, že prstem sáhneme na vstupní svorku (tu „živou“, nespojenou se „zemí“ počítače). Napětí, které se na nás indukuje díky tomu, že je v okolí elektrická síť, většinou dá dostatečný vstupní signál.

Jak připojit výstup

Výstup zvukové karty vyvádím přes ochranné rezistory (v mém případě 10 Ω), spíše pro klid duše, kdybych náhodou výstupní svorky zkratoval, i když by zvukové karty měly být proti zkratu chráněny.

Programy využitelné pro pokusy a měření

Programů, které lze využít pro pokusy a měření se zvukovou kartou, lze najít řadu. V některých případech jde o profesionální software; kvalitní, ale prodávány za nemalé peníze. Dále je stručně popsáno několik programů, které jsou pro výukové použití zdarma (nebo lze využít jejich sharewarovou verzi). Není tím ovšem řečeno, že jiné programy nebudou pro některé uživatele vhodnější či pohodlnější. Prostě – používejte ten software, který je dostupný a s nímž se vám bude dobře pracovat.

Jednoduchý osciloskop (Winscope)

Program *Winscope* autora K. Zeldoviče jsme v jedné z dílen Heuréky již využili dříve, proto jej zde nebudu blíže popisovat. (Stručný popis tohoto software a práce s ním viz [2].) Přestože jde o program osm let starý, stále je ještě dobře použitelný. Jeho výhodou je, že dobře funguje na starších počítačích. Problémy naopak má s některými moderními vícekanálovými zvukovými kartami. *Winscope* lze stáhnout ze serveru Fyzweb. Pro výukové využití je k dispozici zdarma.

SoundCard Scope

Moderním „osciloskopickým“ programem, který je v současnosti (2005) dále vyvíjen, je *SoundCard Scope C*. Zeitnitze. Program autor rovněž uvolnil pro výukové účely zdarma. Lze si jej stáhnout ze stránek [3] a je k dispozici na CD [4].

Program umožňuje pozorovat a měřit jak časový průběh signálu, tak jeho frekvenční spektrum. Přitom lze nastavovat časovou základnu osciloskopu (tedy rozsah zobrazených časů), zvětšovat detaily ve frekvenční oblasti spektra atd. Součástí programu je i signální generátor, jímž lze nezávisle do levého a pravého kanálu generovat signály různých průběhů (sinusového, trojúhelníkového, obdélníkového a pilového) v rozsahu frekvencí od 1 Hz do 10 kHz a nastavovat i jejich vzájemnou fázi.

Cool Edit

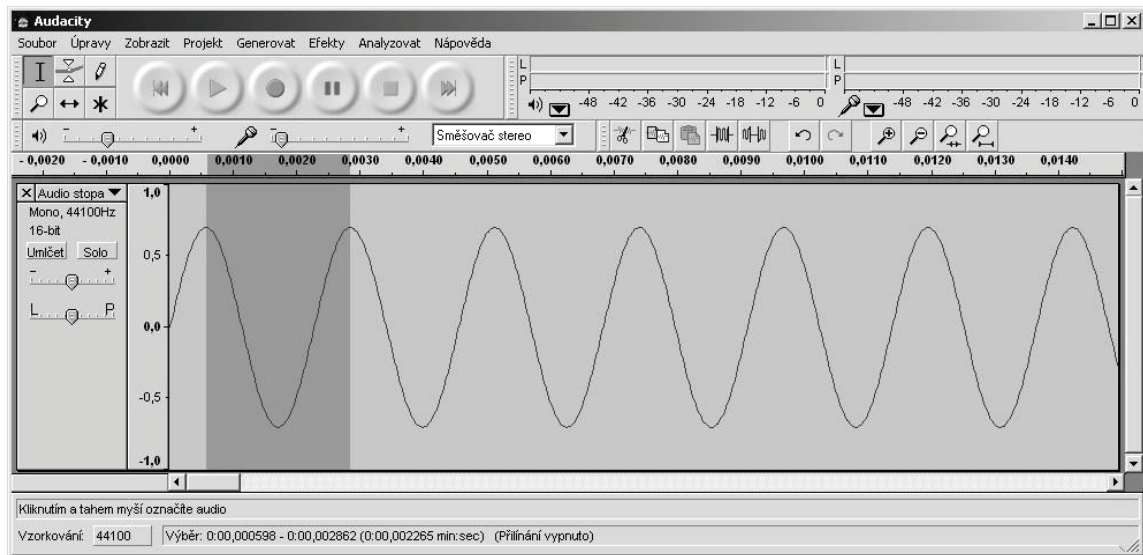
Někdy osciloskop nestačí – například když je potřeba nahrát delší časový úsek signálu. Programů, které to umí, je víc. Mezi nejlepší patřil svého času *CoolEdit 2000*, produkt společnosti Syntrillium. Kromě nahrání umožňoval signály také upravovat a provádět jejich frekvenční analýzu. Výhodou bylo, že *CoolEdit* byl shareware, takže bylo možno 30 dnů používat jeho demoverzi. Pak sice demoverze přišla o možnost ukládat nahrané signály, pro využití ve školních fyzikálních měření však stále vyhovovala velmi dobře. Poté ale tento produkt koupila společnost Adobe a přeměnila jej v *Adobe Audition*, program sice ještě kvalitnější, ale již striktně za (ne zrovna malé) peníze. Demoverzi *CoolEditu*, která je již oficiálně nedostupná, lze dosud na některých webových stránkách najít a stáhnout. Určitá „nestandardnost“ takového postupu je však asi dobrým důvodem pohlédnout se pro použití ve škole po jiném, opravdu volně šířitelném programu.

Audacity

Program *Audacity* v nápovědě sám sebe označuje za „svobodný editor digitálního zvuku“. Informace o něm lze nalézt a sám program stáhnout na webových stránkách [5]. Je to volně dostupný software vyvíjený v rámci GNU licence a je tudíž pro nekomerční použití zdarma. Příjemné pro použití ve škole je to, že existuje ve verzi s českým ovládáním. Nápověda je ovšem anglická.

Jak je z uvedeného zřejmé, program *Audacity* není primárně určen k měření, ale k úpravám zvuků. Můžeme si také s jeho pomocí například nahrát hudbu ze starých gramofonových desek, podle potřeby z ní odfiltrovat šum, a uložit ji ve formátu mp3. (Na webových stránkách [5] v části Náповěda – Často kladené dotazy, k tomu najdeme informace, odkud stáhnout a jak jednoduše doinstalovat k tomu potřebný software LAME MP3 encoder.)

I když je tedy program *Audacity* vyvíjen vlastně pro něco jiného, přesto jej lze pro naše účely dobře použít. Umožňuje zvuk nahrát, zobrazit jeho časový průběh včetně detailů, velmi přesně v něm měřit časy a provádět též frekvenční analýzu signálu (tj. zobrazit spektrum zvuku a měřit v něm frekvence).



Obrázek ukazuje, že základní ovládací prvky *Audacity* se tváří jako tlačítka na magnetofonu, takže nahrát zvuk není problém. Malými tlačítky s ikonou lupy lze pak roztahovat či stlačovat časovou osu a prohlížet detaily. V okénku se zobrazným průběhem signálu lze časový interval vybrat myší (při stisknutí levém tlačítku). Na spodní liště okna se přitom s přesností na mikrosekundy zobrazují časové údaje.

Při našich měřeních budeme asi nejčastěji využívat menu pod položkou *Zobrazit*. Umožní nám jednak roztáhnout vybraný časový interval na celou délku okna (zkratka pro tuto akci je Ctrl+E) nebo v okně zobrazit celý nahraný zvuk (Ctrl+F). Najdeme tam i položku *Vykreslit spektrum*, která otevře okno s frekvenčním spektrem signálu ve zvoleném výběru. (Pozor, nejprve musíme určitou část signálu vybrat!) V okně se spektrem signálu je vhodné vybrat *logaritmický* průběh frekvencí (Log frekvence) a v okénku nad ním větší počet bodů, z nichž se spektrum počítá, než standardních 512. Spektrum pak bude obsahovat více detailů. (Lze nastavit až asi 16 tisíc bodů – pozor však, aby vybraný časový interval vůbec tolik bodů obsahoval, jinak se spektrum nevykreslí jemněji nebo se případně nevykreslí vůbec.) V okénku se spektrem lze odečítat hodnoty pomocí kurzoru ovládaného myší; program přitom automaticky hledá nejbližší špičku („pík“) ve spektru. Příjemné je, že okno s frekvenční analýzou lze zvětšit, třeba až na celou obrazovku.

Pokusy: zkoumáme frekvence

Netradiční pokus na začátek – jak snímat kmity struny bez mikrofону

K linkovému vstupu připojte (přes výše popsany ochranný člen) konce kovové struny na kytaru. (Hodí se nejvyšší struna „e“, přívody na strunu připojte krokodýlky samozřejmě až

za kobylkou a za posledním pražcem, aby struna mohla volně kmitat.) Signál sledujte např. programem *SoundCard Scope*, a to jak časový průběh, tak frekvenční spektrum.

Brnknete-li na strunu, počítač neukáže žádný signál. Pokud však ke struně přiblížíte dostatečně silný magnet (stačí několik spojených feritových magnetů na nástěnky), indukuje se v pohybující se struně elektrické napětí a počítač nám ukáže příslušný signál. (Pozor, indukované napětí je velmi malé, nastavte proto v programu *Ovládání záznamu* citlivost na nejvyšší hodnotu.)

Zde nebudeme podrobněji rozebírat, s kterými partiemi fyziky tento pokus souvisí a k čemu všemu by ho šlo ve škole využít. Stojí však za to upozornit, jak se ve spektru signálu projeví to, že snímáme kmity struny prakticky v jednom místě (v tom, k němuž jsme přiblížili magnet). Umístíme-li magnet do poloviny struny, bude ve spektru signálu přítomna základní frekvence a pak až její trojnásobek (často označovaný jako „třetí harmonická“). Dvojnásobná, čtyřnásobná atd. frekvence (tedy sudé harmonické) budou ve spektru prakticky chybět. Studentů se lze ptát na vysvětlení – a případně jim napovědět otázkou, jak vypadají kmity struny o základní a jak kmity o dvojnásobné frekvenci. (Ovšem, kmity s frekvencemi sudých harmonických mají v polovině struny uzely...) Podobně lze dát magnet do třetiny délky struny a potlačit tak signál s trojnásobkem, šestinásobkem atd. základní frekvence. Vhodné je též ukázat, že při drknutí trsátkem blízko konce struny (u kobylky) je výraznější zastoupení vyšších harmonických, než rozechvějeme-li strunu bříškem palce blízko poloviny délky.

Jak měřit frekvenci otáček

Frekvenci otáček káči, vrtačky a podobných rotujících věcí můžeme pohodlně měřit pomocí fototranzistoru. Je-li frekvence dostatečně vysoká, stačí signál vyhodnocovat v některém z osciloskopických programů v režimu zobrazení spektra.

Výrazný signál dostaneme, jestliže například jednu polovinu hřídele či sklíčidla vrtačky obarvíme na bílo (stačí na ni přilepit bílou nálepkou) a druhou necháme tmavou. Fototranzistor, který ze vzdálenosti několika centimetrů namíříme na hřídel, pak snímá výrazné změny odraženého světla. Pokus nás však přesvědčí, že dokonce fototranzistor v blízkosti nijak neupraveného sklíčidla vrtačky dává sice slabý, ale přesto použitelný signál, z něhož frekvenční analýza „vytáhne“ základní frekvenci otáčení. (Na podrobnější popis a rozbor zde není místo – snad mu někdy věnuji samostatný příspěvek.)

Při nízkých otáčkách, např. v případě káči, je vhodnější nahrát signál programem *Audacity* a změřit periodu v časovém průběhu signálu. K tomu je vhodné udělat na káče či její ose výraznou značku, která se v signálu projeví zřetelným skokem či „píkem“. Chceme-li získat ještě výraznější signál, pomůže, když na dané místo na káče svítíme tužkovým laserem. (Pozor ale na případné odrazy, aby paprsek nepadl nikomu do oka!)

Frekvence kmitů pravítka

Pravítko přečnávající přes hranu stolu krásně drnčí. Vyšší frekvence můžeme přímo snímat mikrofonem. Pomalejší kmity (v případě běžného plastického pravítka přečnávajícího o 15 cm a více) můžeme sledovat opět fototranzistorem. Stačí ho k pravítku přiblížit tak, aby na něj při kmitech pravítka dopadalo měnící se odražené světlo. Periodu můžeme opět měřit třeba v programu *Audacity*. (Malý trik, který nám může pomoci, chceme-li ve frekvenčním spektru měřit kmity příliš pomalé: V menu programu *Audacity* je pod položkou *Efekt* možnost *Změnit rychlost*. Nastavíme-li změnu rychlosti na +400%, zkrátí se délka záznamu 5x a všechny frekvence budou 5x větší.)

Pokusy: měření rychlosti

Měření rychlosti zvuku

První způsob vychází ze základní frekvence kmitů otevřené píšťaly. Vlnová délka λ těchto kmitů je dvojnásobkem délky píšťaly (zanedbáme-li korekci na průměr trubice), pro rychlost zvuku platí $c = \lambda \cdot f$. Pro určení frekvence nemusíme na píšťalu ani pískat. Stačí vložit malý mikrofon do trubky otevřené na obou koncích (stačí trubka od vysavače) a ve frekvenčním spektru si všimnout, která frekvence je rezonancí v trubce zdůrazněna. Zdůrazněny jsou samozřejmě i vyšší harmonické.

Druhý způsob využívá odrazu zvuku na blízké překážce: stěně, stropu apod. (Viz [2].)

Jak rychle dokážete švihnout rukou?

Rychlost švihnutí ruky můžeme změřit fototranzistorem fungujícím jako optická závora. Dlaní ruky přerušíme světlo dopadající na fototranzistor z baterky (svítivé diody apod.). V programu *Audacity* změříme dobu, jakou byl fototranzistor zastíněn. Ze známé (změřené) šířky dlaně pak spočteme rychlost.

Upozornění: Při tomto a podobných pokusech se výrazně projeví fakt, že zvuková karta zpracovává jen *střídavé* vstupní signály. (Někde na cestě signálu je sériově zapojený kondenzátor!) Budeme-li dlouho svítit na fototranzistor nebo ho na dlouhou dobu zakryjeme, nebude se vstupní napětí měnit a v počítači uvidíme nulový signál. V časovém průběhu se projeví pouze *změna* – a pak se zas signál (exponenciálně) vrací k nule. Vyzkoušejte si předem, jak zaznamenaný signál reaguje na osvětlení a zakrytí fototranzistoru a rozmyslete si, proč tomu tak je, abyste nebyli zaskočeni dotazy studentů.

Pokusy: měření časů

Měření časů – a třeba i tíhového zrychlení

Na proužek papíru dlouhý 10-15 cm namalujte tmavým fixem kolmo na délku proužku výrazné čáry ve vzdálenosti 1 cm od sebe. Na jeden konec proužku přidejte závažíčko, třeba několik kancelářských svorek. Druhý konec proužku držte v prstech – proužek tedy visí dolů, kdybyste jej pustili, začal by padat. Na proužek u spodního konce sviřte tužkovým laserem a odražené světlo snímejte fototranzistorem. Začněte (např. programem *Audacity*) nahrávat signál z fototranzistoru a pusťte proužek. Jak padá, osvětluje laser střídavě bílý papír a tmavé čáry. Tyto změny osvětlení sejme fototranzistor a zaznamená počítač. Časy, kdy byl v místě laserového paprsku tmavý proužek, můžeme pak v programu pohodlně odečíst. Další zpracování lze provést třeba v Excelu: ověřit, že pohyb je rovnoměrně zrychlený a ze změřených dat třeba vypočítat tíhové zrychlení.

Tíhové zrychlení lze samozřejmě určit také z periody kyvů matematického kyvadla. Na dílně jsme realizovali nápad M. Macháčka využít k měření periody kyvů rovněž počítač. Kyvadlem byla matička zavěšená na niti. Průchod závěsu (nitě) rovnovážnou polohou byl snímán fototranzistorem pracujícím jako světelná závora nebo tak, že snímal světlo odražené od niti, když protнула laserový paprsek.

Měření doby rázu kladiva a kovadliny

Následující měření dlouhá léta předváděl na přednáškách na MFF ing. A. Caletka pomocí systému ISES. Lze však využít i programu *Audacity*. Princip je jednoduchý: Kladivo a

kovadlina představují spínač – když se dotýkají, je na vstup zvukové karty přivedeno napětí z ploché baterie. Doba rázu činí několik desetin milisekundy, což lze při kmitočtu vzorkování 44100 Hz pohodlně změřit s přesností řádově 10%. (Zajímavé je spočítat z naměřené doby a odhadnuté či změřené rychlosti a hmotnosti kladiva sílu působící při rázu.) Je poučné naměřit dobu rázu též v případě, kdy mezi kovadlinou a kladivem je hřebík (ještě lépe jeho kolmo postavená hlavička), a v případě, kdy tam je kousek cínu.

Využíváme i výstup zvukové karty

Kromě vstupů můžeme při pokusech výhodně využít i linkový výstup zvukové karty. K výstupu lze připojit běžné aktivní reproduktory a například pomocí signálních generátorů v programu *SoundCard Scope* různě pískat, demonstrovat tóny různých frekvencí, skládání dvou frekvencí, rázy, případně i interferenci vlnění. Tóny či bílý šum můžeme generovat a pak přehrávat i v programu Audacity.

Řadu zajímavých pokusů lze také realizovat tak, že signál z výstupu přivedeme přes některé další prvky zpět na vstup zvukové karty.

Jaký vstupní odpor má zvuková karta?

Jestliže linkový vstup (s ochranným členem) připojíme přímo na výstup zvukové karty, můžeme v programu *SoundCard Scope* nastavit výstupní amplitudu tak, aby zobrazení časového průběhu ukazovalo amplitudu v maximálním rozsahu (1, tedy „přes celé stínítko osciloskopu“). Relativně k této amplitudě pak můžeme počítačem v roli osciloskopu měřit vstupní napětí.

Propojme teď výstup se vstupem nikoli přímo (kusem drátu), ale rezistorem. Použijeme-li rezistor o odporu asi 50 kiloohmů (např. 47 k Ω), zjistíme, že osciloskop neukazuje amplitudu rovnou 1, ale asi poloviční (0,5). Proč je tomu tak? Náš rezistor o odporu 47 k Ω tvoří se vstupním odporem zvukové karty odporový dělič. A kdy zmenšuje odporový dělič napětí v poměru 1:2? Právě když jsou oba odpory stejně velké. Takže jsme ověřili, že vstupní odpor zvukové karty je asi 50 k Ω .

Poznámka: Pro tento experiment používejte spíše nižší frekvence (např. 440 Hz), aby se neprojevila vstupní kapacita zvukové karty. (Na dílně přišel Z. Polák s hezkým nápadem pro náročnější zájemce: zkusit podobným postupem změřit vstupní kapacitu zvukové karty.)

Demonstrujeme vlastnosti deskového kondenzátoru

Pokud výstup zvukové karty spojíme se vstupem přes kondenzátor, můžeme demonstrovat, že střídavý proud prochází kondenzátorem. Jako kondenzátor přitom nemusí sloužit součástka koupená v obchodě, ale dvě „desky“ z alobalu oddělené tenkou fólií (obal na papíry A4).

Dělič napětí nyní tvoří kondenzátor a vstupní odpor zvukové karty. Můžeme tak demonstrovat, kdy klade kondenzátor průchodu proudu vyšší „odpor“ (tedy kdy má vyšší impedanci). V tom případě ukáže osciloskop nižší napětí (amplituda signálu poklesne). Jestliže se impedance kondenzátoru sníží, amplituda signálu na osciloskopu stoupne. Jednoduše tak můžete ukazovat, jak se impedance kondenzátoru mění s frekvencí, s plochou desek a s jejich vzdáleností. (Při demonstraci závislosti na frekvenci pozor na to, že při vyšších frekvencích se už začne uplatňovat vstupní kapacita zvukové karty.)

Možností, co a na jaké úrovni demonstrovat, je tedy dost. V některých případech postačí kvalitativní demonstrace a žákům budou vyhovovat zdůvodnění typu „větší kapacitou prochází střídavý proud snáze“ (i když víme, jak nepřesně tu mluvíme). Naopak jindy můžete kvantitativně měřit kapacitu našeho improvizovaného kondenzátoru či s využitím obou kanálů linkového vstupu ukazovat, jak je to s fází napětí a proudu.

Frekvenční spektrum nesinusových signálů

K některým demonstracím není ani nutno ke zvukové kartě nic připojovat. Zvolíme-li v *Ovládání záznamu* vstup typu „Směšovač stereo“ (konkrétní označení se možná může lišit), bere zvuková karta signál přímo ze svého výstupu. V programu *SoundCard Scope* pak můžeme v části „Signal generator“ nastavit nesinusový průběh signálu, z reproduktoru poslouchat příslušný zvuk a na osciloskopu pozorovat jeho průběh nebo spektrum. Opět lze ukazovat leccos, od prostého faktu, že barva zvuku souvisí s obsahem vyšších harmonických, po srovnání amplitudy vyšších harmonických s teoretickými hodnotami, tedy s koeficienty příslušných Fourierových řad. (Pozor u obdélníkového průběhu – má zákmity, což je vcelku nutné a teoreticky vysvětlitelné, ale člověka, který to neočekává, to může překvapit.)

Lissajousovy obrazce

Opět nastavíme, aby si zvuková karta brala signál ze svého výstupu. V programu *SoundCard Scope* přepneme do módu X-Y a spustíme oba generátory. Můžeme sledovat Lissajousovy obrazce nejen pro sinusové, ale třeba i pro trojúhelníkové nebo pilové průběhy signálů! Hezkou možností je nastavit frekvenci jednoho z generátorů o 0,5 Hz vyšší nebo nižší. Obrazec se pak plynule „přelévá“ podobně, jako když tento pokus děláme se skutečnými generátory.

Další náměty

Napětí indukované v cívce

Cívku (např. 400 závitů) ke vstupu karty určitě připojte přes ochranný člen! (S indukovanými špičkami napětí člověk nikdy neví...) Počítač ve funkci osciloskopu může ukazovat třeba napětí indukované v cívce, když k ní přiblížíme smyčku pistolové páječky. Při vypnutí páječky se indukuje napětí špička (kterou diody v ochranném členu omezí). K demonstraci toho jevu je lépe signál nahrát např. programem *Audacity*.

Sledovat můžeme i napětí indukované při pohybu magnetu v blízkosti cívky. (Zkuste si to, řada lidí má o průběhu tohoto napětí představy dost odlišné od reality.) A také napětí při průchodu magnetu cívkou, např. při pádu magnetu cívkou.

Frekvenční charakteristiky, optický telefon atd.

Tyto náměty lze najít v článku [6].

Závěr

Podrobnější popis výše uvedených pokusů by vyžadoval mnohem delší příspěvek. Snad jejich stručný nástin, tak jak zde byl proveden, radě zájemců postačí. K některým pokusům se doufám ještě časem v nějakém článku či příspěvku vrátím.

V průběhu dílen v Náchodě se ukázalo, že účastníci vítali bližší popis toho, jak jsou mikrofon, fototranzistor atd. ke zvukové kartě připojeny a proč fungují tak, jak fungují. Proto jsem těmto otázkám věnoval více místa i v tomto textu. Věřím, že zájemcům bude dobrým výchozím bodem. Podrobný popis pro začátečníky by si ovšem i zde žádal více schémat, fotografie apod. Snad v budoucnu v nějaké elektronické verzi těchto sborníků...

Pokusy se zvukovou kartou určitě nevytlačí ze škol systémy ISES a podobné, jejichž výhodou je širší záběr, možnost lehce provádět kvantitativní měření řady veličin, měřit i časově neproměnné či pomalu se měnící signály, měření dále zpracovávat, vyhodnocovat, porovnávat s teoretickými modely atd. To vše je nepochybně u zvukové karty někdy složitější, často méně názorné a někdy zcela nemožné. Velikost stejnosměrného napětí nám prostě zvuková karta nenaměří a signál, který by se pomalu měnil třeba v průběhu minuty, také s její pomocí do počítače nedostaneme. (Samozřejmě, šlo by jej převést na střídavý, ale to už bychom věci trochu moc komplikovali.)

Na druhé straně má zvuková karta své výhody. Je dnes prakticky v každém počítači, přídatný „hardware“ stojí doslova pár korun a jak jsme viděli, i vhodný software je k dispozici zdarma. Pro pokusy ji tedy mohou využít jak školy, které zrovna neoplývají finančními prostředky, tak zájemci z řad žáků a studentů, kteří by si chtěli pokusy zkusit doma. Konec konců třeba i s praktickým využitím – jak jinak si můžete jednoduše zkontrolovat, zda zakoupená vrtačka má opravdu ty otáčky, které návod k použití inzeruje?

Do jaké míry při tom všem jít do náročnějších a kvantitativních měření a do přesnějších a hlubších vysvětlení, to už je, jako vždy, věcí konkrétního učitele. Přeji vám při těchto a dalších pokusech a při jejich využití ve škole i jinde hodně radosti z experimentování.

Literatura

- [1] *Součástky pro elektroniku*. GM Electronic, Praha 2004. Viz též <http://www.gme.cz>
- [2] Dvořák L.: *Vlnění a akustika s gumičkou a počítačem*. In: *Dílny Heuréky 2003-2004*. Sborník konferencí projektu Heuréka. Ed.: L. Dvořák. Prometheus, Praha 2005. ISBN 80-7196-316-X. s.21-28.
- [3] http://www.zeitnitz.de/Christian/Scope/Scope_en.html
- [4] *Veletrh nápadů pro fyzikální vzdělávání*. Rozšířený elektronický sborník z konferencí Veletrh nápadů učitelů fyziky 1-9. (CD) Ed. L. Dvořák, Z. Broklová. Prometheus, Praha 2005.
- [5] <http://audacity.sourceforge.net>
- [6] Koupil J., Dvořák L.: *Fyzika komunikačních kanálů – a jak ji jednoduše zkoumat*. In: POŠKOLE 2005. Sborník Národní konference o počítačích ve škole. Monínec, 13.-15. 4. 2005. Ed. M. Černochová a kol. Jednota školských informatiků, Liberec 2005. ISBN 80-239-4633-1. s. 75-83.