

Posudek práce

předložené na Matematicko-fyzikální fakultě
Univerzity Karlovy

posudek vedoucího posudek oponenta
 bakalářské práce diplomové práce

Autor: Bc. Otakar Matouš
Název práce: Praktická elektroakustika ve výuce fyziky
Studijní program a obor: Fyzika, FFUM
Rok odevzdání: 2021

Jméno a tituly oponenta: doc. RNDr. Leoš Dvořák, CSc.
Pracoviště: KDF MFF UK
Kontaktní e-mail: leos.dvorak@mff.cuni.cz

Odborná úroveň práce:

vynikající velmi dobrá průměrná podprůměrná nevyhovující

Věcné chyby:

téměř žádné vzhledem k rozsahu přiměřený počet méně podstatné četné závažné

Výsledky:

originální původní i převzaté netriviální kompilace citované z literatury opsané

Rozsah práce:

veliký standardní dostatečný nedostatečný

Grafická, jazyková a formální úroveň:

vynikající velmi dobrá až průměrná podprůměrná nevyhovující

Tiskové chyby:

téměř žádné vzhledem k rozsahu a tématu přiměřený počet četné

Celková úroveň práce:

vynikající velmi dobrá až průměrná podprůměrná nevyhovující

Slovní vyjádření, komentáře a připomínky vedoucího/oponenta:

Práce se zabývá využitím vybraných elektroakustických měničů (převážně sluchátek, v menší míře reproduktorů) ve výuce fyziky, zejména na úrovni střední školy. Po rešerši věnované učebnicím a dalším studijním materiálům a stanovení cílů práce se třetí kapitola věnuje zkoumání činnosti sluchátek, krátká čtvrtá kapitola pak výrobě jednoduchého telefonu a nejrozsáhlejší pátá kapitola zkoumání elektrických vlastností sluchátek a reproduktorů. V šesté kapitole autor popisuje ověření jedné aktivity (zkoumání činnosti sluchátek) na dvou středních školách. Následuje závěr, seznam literatury čítající 35 položek, seznamy obrázků, tabulek a příloh. Práci doplňuje sedm příloh v celkovém rozsahu 27 stran: popis aktivity, pracovní list, 4 materiály od žáků, kteří absolvovali danou aktivitu a krátký dotazník zjišťující zpětnou vazbu od žáků.

Téma práce je nepochybně užitečné a lze souhlasit s autorem, že řada učebnic a dalších pramenů nepokrývá moderní elektronické produkty a že některé praktické aktivity v nich popsané používají spíše starší součástky a přístroje. Praktické aktivity zaměřené na věci, s nimiž současní žáci běžně přicházejí do styku – jako jsou sluchátka do uší, jimž se práce převážně věnuje – jsou tedy nepochybně cenné. Za to, že autor v práci tři takové aktivity vytvořil, mu patří díky. Věřím, že po určitém dopracování je budou učitelé fyziky ve výuce a ve fyzikálních kroužcích rádi používat. Cenné je i to, že aktivity sahají od rozebírání sluchátek přes konstrukci jednoduchého telefonu, až ke kvantitativním měřením.

Po jazykové stránce je práce psána čtivě, i když puntičkář by mohl vytknout používání hovorových termínů, byť jsou v uvozovkách („pecky“, „špunty“, „pitvat“, „střeva“). Pochvalu zaslouží fotografie dokumentující postup rozebírání sluchátek (obr. 3.1 až 3.16) i další; v pořádku jsou i schémata – až na obr. 4.1 na s. 25, který je zjevně od ruky. (Je-li převzat z nějaké starší dětské hračky, mělo by to být v popise uvedeno, jinak by si zasloužil překreslit.) V některých obrázcích a grafech by se měly veličiny psát kurzívou; zde jsou stojatě a tučně, což nepůsobí dobře (obr. 5.3, 5.4, 5.6 a další až po 5.27). Hezké jsou naopak obrázky ilustrující magnetickou sílu na kmitací cívku, např. 5.21. Po formální stránce lze mít výtky k tomu, jak je citována literatura v seznamu literatury. Nejde jen o to, že u knih a učebnic nejsou uvedena ISBN, což podle fakultních pokynů k úpravě diplomové práce a dle normy ISO 690, na níž odkazují, má být. Horší je, že různé položky v seznamu literatury jsou psány resp. formátovány nejednotně, někde u příspěvku ve sborníku není uveden sborník (položky [18] a [19], u dalších není uveden např. editor sborníku) a například u položky [35] jsou bibliografické údaje zcela nedostatečné. Po grafické a formální stránce je tak práce bohužel dosti nehomogenní a nelze ji bez výhrad hodnotit jako velmi dobrou.

Jistou „nedotaženost“ lze bohužel práci vytknout i po obsahové stránce. Navzdory výše vyslovené chvále za vývoj aktivit proto mám k práci i některé kritické připomínky.

V první kapitole by šlo části věnované VŠ učebnicím fyziky drobně vytknout, že zmiňuje jen učebnice Hallidaye a Resnicka. Až příliš stručná se jeví podkapitola „Sborníky z konferencí a vybrané zdroje z internetu“. Většinou se týká jen několika příspěvků z konferencí Veletrh nápadů učitelů fyziky. Zcela pomínuty jsou bohužel zahraniční zdroje.

Ve třetí kapitole věnované rozebírání sluchátek a zkoumání jejich činnosti by bylo účelné uvést i další možnosti rozebrání krytu sluchátek do uší, než jen stlačení v kombinovaných kleštích. Taktéž k odloupení membrány by se hodilo vyzkoušet i jemnější nástroj než jen šroubovák, ten na to i dle obr. 3.6 vypadá jako dosti hrubý nástroj. Počet závitů byl určen jen přibližně – když už se sluchátka rozebráním zničí, šlo by patrně odvinout drát z celé cívky a počet závitů určit přesně. U rozebraných sluchátek nejsou uvedeny rozměry cívky, její odpor a tloušťka drátu. Není vysvětleno, jak fungují levnější sluchátka bez pólového nástavce – všechny obrázky vysvětlující vliv magnetického pole na cívku s proudem ukazují konfiguraci s pólovým nástavcem.

V rámci zkoumání sluchátek by také bylo vhodné uvést, jaké napětí lze na sluchátko přivést, aby se nezničilo. A zejména pro starší středoškoláky by mohlo být zajímavé pokusit se alespoň přibližně změřit velikost magnetické indukce měřením síly působící na cívku, kterou protéká známý proud; to by mohlo dobře ilustrovat vzorec $F = B I l$.

Ve čtvrté kapitole je uvedeno schéma jednoduchého telefonu, ale vysvětlení jeho funkce je velmi strohé. Uvádí se zde, že změna napětí na tranzistoru se přenesou na připojené sluchátko, ovšem vůbec není vysvětleno, kudy se proud sluchátkem uzavírá. Skutečnost, že je to přes baterii a rezistor v kolektoru druhého přístroje, nemusí být studentům, kteří by zapojení stavěli, zřejmá. Ti znalejší by zase mohli namítat, že odpor 91Ω v kolektoru druhého tranzistoru je v signálové cestě v sérii a snižuje zesílení celého zapojení. Není také uvedeno, jaký typ mikrofonu použít – v této souvislosti by bylo vhodné vysvětlit nastavení pracovního bodu tranzistoru. V zapojení je použit již nevyroběný typ tranzistoru, bylo by vhodné uvést, jakými typy ho lze nahradit. Navíc schéma zapojení na obr. 4.3 (k nalepení na dřevěnou destičku) neodpovídá schématu na obr. 4.2. (Sluchátko je na obr. 4.3 připojeno na záporný pól baterie daného přístroje, na obr. 4.2 je daný vývod sluchátka veden k druhému přístroji.)

V páté kapitole by u některých prezentovaných odvození měl být uveden odkaz na literaturu, kde jsou popsána. To by v případě diplomové práce mělo být standardem, byť reálně asi žádný čtenář nebude soudit, že jde o originální metodu vyvinutou autorem. Například metoda tří voltmetrů je popsána i na Wikipedii. Rovněž vztahy pro určování chyb jsou standardně uváděny v učebnicích a netřeba je tedy v diplomové práci odvozovat, jak to autor dělá v podkapitole 5.1.3. Navíc by se tím vyhnul nepřesnostem, například, když ve vztahu nad (5.10) tvrdí, že $\Delta u_1 \Delta u_2 \ll \Delta u$, což obecně není pravda, pokud neřekneme nic o velikosti relativních chyb veličin u_1 a u_2 ; v (5.10) přitom nemá být přesná rovnost, ale jen přibližná. V textu také není uvedeno, že se tímto postupem počítá maximální chyba. Místo odkazu na pramen [27], což je dokument, kde není uveden autor, by bylo lepší odkázat na některou z učebnic standardně používaných už v prvním semestru na naší fakultě (např. Brož a kol.: Základy fyzikálních měření I nebo English: Úvod do praktické fyziky I).

Jako dobrá a fyzikálně podnětná se mi jeví úvaha v prvním odstavci na s. 35, vycházející z faktu, že impedance sluchátka se s frekvencí prakticky nemění nebo mění jen nepatrně. Stojí možná za úvahou, zda by v tomto případě nešlo o výsledek měření (konstantnost impedance a to, že má zřejmě odporový charakter) významně zpřesnit tím, že by se sluchátko zapojilo do můstkového zapojení.

Naopak jako sporné se jeví užití vztahu (5.13) pro hladinu intenzity zvuku. Tento vztah se užívá pro zvuk šířící se jako postupná vlna. V případě sluchátek do ucha ale například ušní bubínek není ve vlnové zóně; vzdálenosti jsou zde menší, než je vlnová délka. I zdroje [29] a [30] citované autorem uvádějí, že citlivost sluchátek se týká toho, jak převádějí elektrický signál na akustický tlak (explicitně mluví o „decibels of sound pressure level“), nejde tedy o intenzitu zvuku dle (5.13). Úvahy navazující na (5.13) se z tohoto hlediska nejeví jako korektní.

V této souvislosti také může vzniknout otázka, zda bylo vhodné měřit impedanci sluchátka v situaci, kdy leželo volně na stole, jak je uvedeno na s. 36 – což není situace odpovídající jejich běžnému použití.

Zajímavá je situace u vysokohmových sluchátek a u basového a výškového reproduktoru. Vysvětlení chování impedance a účinnosti u vysokohmových sluchátek uvedené na s. 41-42 je kvalitativní a zřejmě by bylo vhodné je brát spíše jako pracovní hypotézu. Přítomnost membrány sluchátek totiž nejen vede k tomu, že část energie je odváděna ve formě zvuku, ale zčásti také uzavírá magnetický obvod a zřejmě tedy mění i indukčnost cívek. Pro ověření (či vyvrácení ev. modifikaci) zde uvedených tvrzení by tedy bylo vhodné jednak měřit indukčnost cívek a jednak provést měření impedance v případě, kdy membrána je přítomna, ale zafixována, aby se nemohla hýbat. Sporné je též vycházet při vysvětlení chování sluchátka z toho, jak se mění účinník (s membránou a bez ní) ve vyšších frekvencích, přihládneme-li k tomu, jak nepřesně je měření, viz obr. 5.12. Možná by výrazně přesnější výsledky přineslo měření fázového posuvu napětí a proudu osciloskopem nebo například systémem typu Labquest. Obecně by pro posouzení, nakolik jsou spolehlivá měření, na nichž se zakládají zde předložená vysvětlení, pomohlo, kdyby bylo uvedeno, kolikrát byla daná měření opakována a nakolik se výsledky shodovaly.

U basového reproduktoru, kde se jako vysvětlení maxima impedance na s. 43 uvádí, že jde o vliv mechanické rezonance, by opět vysvětlení výrazně podpořilo měření závislosti impedance na frekvenci v případě, že by kmitačka reproduktoru byla držena v klidu.

Problematika elektroakustických měničů není jednoduchá a zdánlivě fungující kvalitativní vysvětlení jejich chování nemusí být správná. Například vysvětlení nárůstu impedance při vysokých frekvencích uvedené na s. 46 je zřejmě chybné: Pro vyšší frekvence klesá poměr výchylky tlumeného oscilátoru k budicí síle (tedy v daném případě i vůči proudu) jako $1/\Omega^2$, rychlost (v daném případě rychlost cívky reproduktoru) tedy klesá jako $1/\Omega$. Stejně musí s frekvencí klesat i napětí indukované na cívce díky jejímu pohybu. Jeho vliv na impedanci reproduktoru tedy s frekvencí klesá, a proto nemůže být příčinou nárůstu impedance. V zahraniční literatuře lze nalézt podrobně analyzované jiné vysvětlení nárůstu impedance, viz. J. Wright: An Empirical Model for Loudspeaker Motor Impedance, J. of the Audio Engineering Society 38 (10). Obecně je škoda, že v seznamu literatury až na pět webových stránek nejsou žádné odkazy na zahraniční prameny. Například v článkách Y. Kraftmakhera v Eur. J. Phys. z let 2009 a 2010 jsou podrobně popsány pokusy s reproduktory včetně měření impedance a příslušného teoretického rozboru.

Velmi sporné je tvrzení na s. 47, že je vhodné, aby jmenovitá impedance reproduktoru odpovídala výstupní impedanci zesilovače. Moderní zesilovače s tranzistory nebo integrovanými obvody mají naopak výstupní impedanci řádu setin ohmu i nižší.

Že problematika elektroakustických měničů není jednoduchá, je vidět i ze zdůvodnění na s. 51, proč musí mít hlubokotónový reproduktor velký průměr membrány. Čtenář by se mohl jednak ptát, nakolik jsou vztahy uvedené v literatuře pro pulzující kouli aplikovatelné na reproduktor a jednak by mohl ze vztahu (5.17) a odstavce za ním usoudit, že k tomu, aby reproduktor efektivně vyzařoval zvuky s frekvencemi 100 Hz nebo nižší, musel by mít průměr membrány přes 1 metr. Reálně se ovšem v reproduktorových soustavách užívají basové reproduktory o průměru výrazně nižším a přesto mají tyto soustavy frekvenční rozsah od desítek Hz.

Ocenit je třeba, že autor i v době komplikované koronavirovými opatřeními provedl ověření jedné aktivity na dvou školách. Zpětná vazba od studentů je prezentována spíše stručně a kvalitativně, ale přílohy diplomové práce umožňují udělat si o práci studentů dobrý obrázek.

Shrnutí:

Je dobře, že práce rozvíjí téma ve výuce fyziky leckdy opomíjené a přináší aktivity, které mohou žáky zaujmout. V řadě aspektů by ale bylo vhodné výsledky „dotáhnout“, doplnit a v dílčích případech opravit. Pokud bude autor vyvinuté výsledky publikovat a zpřístupňovat učitelům fyziky a dalším zájemcům, bylo by vhodné na nich ještě zapracovat, aby výsledkem byly materiály kvalitní, vůči nimž by nemohly být snadno vznášeny kritické připomínky.

Případné otázky při obhajobě a náměty do diskuze:

1) Proč byly v kolektorových a emitorových obvodech jednoduchého telefonu (obr. 4.2) zvoleny odpory rezistorů právě 91Ω ? Jaký vliv by na funkci přístroje měla změna daných odporů? (A jaké je správné schéma telefonu – dle obr. 4.2 nebo obr. 4.3 ?)

2) Z výrazné změny impedance reproduktoru díky rezonanci (viz např. obr. 5.18) by žák mohl usoudit, že frekvenční charakteristika reproduktoru je výrazně nerovnoměrná. Je to pravda? Jak žákovi chování frekvenční charakteristiky vysvětlit?

Práci

doporučuji uznat jako diplomovou

Navrhuji hodnocení stupněm:

výborně velmi dobře dobře neprospěl/a

Místo, datum a podpis oponenta:

V Praze, 14. 1. 2021