

AKUSTICKÉ LISTY

České akustické společnosti

ročník 9, číslo 2

červen 2003

Obsah

66. akustický seminář
Vlastimil Strnad

3

CD ROM věnovaný akustické problematice – lidskému hlasu
Hana Sochorová a Josef Pešák

4

Okamžitá frekvence výstupního signálu elektrodynamického reproduktoru
Instantaneous frequency of a signal from the output of an electrodynamic loudspeaker
Josef Merhaut

7

ČESKÁ AKUSTICKÁ SPOLEČNOST

66. akustický seminář

Ve dnech 13. až 15. května 2003 proběhl ve Štáhlavicích, okres Plzeň – jih, 66. akustický seminář. Zabýval se problematikou hluku a vibrací z pohledu teorie, numerického modelování měření, legislativy a měřících přístrojů. Semináře se zúčastnilo 45 osob, členů i nečlenů ČsAS. Předneseno bylo 9 odborných příspěvků a prezentovaly se dvě firmy. Významným doplněním semináře byly i dobře zorganizované exkurze do dynamické zkušebny ŠKODA Výzkum s. r. o. a následně do pivovaru Prazdroj v Plzni. Sborník byl z důvodu pozdějšího dodání podkladů vydán až následně a je účastníkům distribuován spolu s tímto číslem Akustických listů.

Seminář lze z pohledu odborného i organizačního hodnotit jako zdařilý. Je příjemnou povinností poděkovat organizátoru semináře i exkursí a jejich sponzorování firmě ŠKODA Výzkum s. r. o., jmenovitě pak Ing. P. Budkovi a za organizaci odborné náplně Doc. Ing. O. Jiříčkovi, CSc. a Ing. J. Kozákovi, CSc.

Vlastimil Strnad

CD ROM věnovaný akustické problematice – lidskému hlasu

Akustika je definována jako nauka o zvuku, jako část fyziky zabývající se studiem vzniku a vlastností mechanických kmitů o kmitočtech $1\text{--}10^{11}$ Hz. Zvukem označujeme mechanické kmity pružného prostředí, jejichž kmitočet je v mezích slyšitelnosti pro lidské ucho, tj. 16 Hz až 20 kHz. Část akustiky označovaná jako fyziologická akustika se zabývá vznikem zvuku v laryngu, hlasovém orgánu člověka a jeho vnímáním lidským uchem. Fyziologická akustika je jednou z kapitol předmětů biofyziky, fyziologie, ale také elektroakustiky apod.

V rámci doktorského studia ve studijním programu lékařská biofyzika na Ústavu lékařské biofyziky Lékařské fakulty Univerzity Palackého v Olomouci byl připraven projekt, jehož cílem je vytvoření multimediální aplikace na CD ROM, která bude postihovat problematiku zobrazování laryngeálních fonačních funkcí z hlediska medicínského, fyziologického, fyzikálního, zasáhne i do oblasti filosofické disciplíny foniatrie apod.

Lidský hlas a řeč je komplexním akustickým projevem. Podílí se na něm respirační, fonační a artikulační orgány [10]. Při řešení problémů tvorby hlasu a hlasových poruch se střetávají velmi odlišné vědní obory – medicína, fyzika, filosofie. Zobrazení a vysvětlení fonační funkce hrtanu je široká problematika, která zasahuje do mnoha dalších vědních oborů a každý z nich si zaslouží samostatnou pozornost. V současné době není u nás k dispozici moderní ucelená publikace, která by problematiku postihovala ze všech těchto hledisek. Svou podstatou je problematika tvorby hlasu, zvuku velmi vhodná ke zpracování s využitím moderních prostředků pro tvorbu multimediálních aplikací [6].

S přívlastkem *multimediální* se v poslední době setkáváme poměrně často (multimediální prezentace, multimediální výuka, multimediální počítač, ...) Co si ale pod pojmem *multimédia* představit? Jedna z možných definic je uvedena v [7], kde je pojem multimédia definován jako *oblast informační technologie charakteristická sloučením audiovizuálních technických prostředků s počítači. Multimediální systém je souhrn technických prostředků (např. počítač, zvuková karta, grafická karta nebo videokarta, kamera, CD ROM, v neposlední řadě programové vybavení a další) schopný provozovat audiovizuální prezentaci v interakci s uživatelem. Moderní systémy již bývají vybaveny alespoň základními technickými prostředky pro provozování multimediálních aplikací.* Názory na přesnou definici jsou odlišné, vždy však zahrnují spojení pohyblivého obrazu, vysoce kvalitního zvuku a počítače jako řídicího systému.

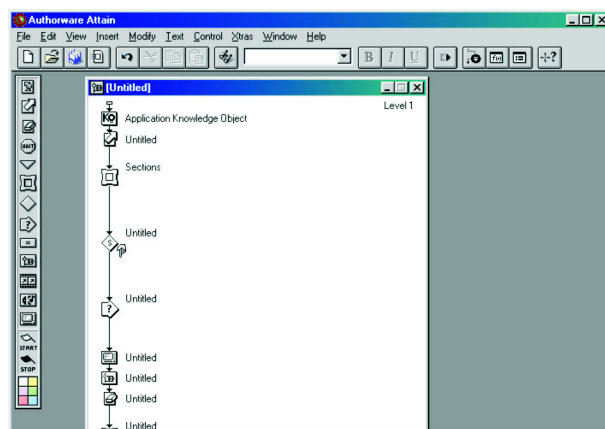
V roce 1990 byl zaveden standard MPC – udával, jaký hardware je nezbytný při pořizování *multimediálního* počítače. Následně byl tento standard upravován (MPC2, MPC3). Základními požadavky jsou dostatečně rychlý procesor, zvuková karta, reproduktory, výkonná grafická

karta, kvalitní monitor, jednotka CD ROM, herní zařízení, dostatečné místo na pevném disku.

Takže, pokud si to shrneme, můžeme multimédia chápat jako *spojení veškerých dostupných technologií k působení na smyslovou soustavu člověka za účelem efektivního přenosu informací* [9]. Multimédia ale přináší ještě jednu důležitou vlastnost navíc – interaktivitu, možnost uživatele aktivně se účastnit a zasahovat, z pouhého pozorovatele se stává aktivní účastník.

Před zahájením vlastní práce na aplikaci CD ROM věnované problematice lidského hlasu byl nejprve připraven podrobný scénář projektu, v průběhu práce postupně ještě docházelo k jeho úpravám a upřesňování. Základem bylo stanovení prvotní struktury prezentovaných informací, volba jednotlivých úrovní, podúrovní, naznačení vzájemné provázanosti [2]. Následovala příprava podkladů, textů, digitalizace zdrojů (grafika, video), grafický návrh, volba vývojového softwaru.

Pro zpracování tématu práce bylo zvoleno prostředí Macromedia Authorware, Authorware Professional [1], což je vývojový prostředek, kdy má autor k dispozici objektově orientované prostředí, které umožňuje integrovat design (tvorbu obrazovky) s tvorbou struktury programu (scénářem). Jedná se o nástroj pro tvorbu multimediálních aplikací a je samozřejmě možné pracovat též s grafikou, s animací, se zvukem, s videozáznamem i s dalšími perifériemi¹. Při použití tohoto vývojového prostředí je možné aplikaci v budoucnu využívat také prostřednictvím Internetu, například může být dostupná v rámci univerzitních počítačových sítí.



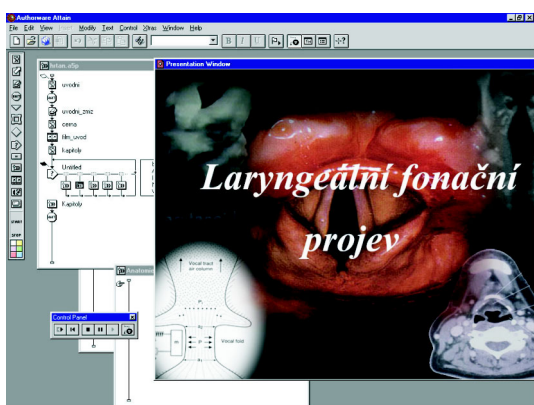
Obrázek 1: Ukázka pracovního prostředí Authorware Professional

¹ Zkušební verze programu Macromedia Authorware 5.2, která zde byla v první fázi vývoje aplikace použita, je plně funkční verzí, která po nainstalování funguje po dobu 30 dní. Všechny funkce i nástroje odpovídají komerční verzi. Zkušební verze jsou poskytovány pouze za účelem testování (vyzkoušení možností vývojového prostředí) a nelze je používat ke komerčním účelům

Scénář aplikace se vytváří na časové ose, na kterou se myši umísťují ikony jednotlivých akcí [4]. Celkem třináct ikon (obr. 1) reprezentuje základní programové struktury s jejichž pomocí lze vybudovat i velmi rozsáhlé aplikace. Jakmile je vytvořena základní kostra (struktura) programu pomocí vývojového diagramu, doplňuje se samotný obsah – text, obrázky, pohyblivý digitální obraz a zvuk (obr. 2).

Ke zpracování vlastní obsahové náplně aplikace byly využity různé zdroje:

- klasické tištěné materiály²
- videozáznamy
- zvukové záznamy
- Internetové zdroje [3], [4]



Obrázek 2: Vkládání externě připravené grafiky – úvodní obrazovka projektu

Aplikace je ve své podstatě postavena tak, že nebrání dalšímu doplňování informací a nových poznatků. Ve své první verzi je rozdělena na základní kapitoly: Anatomie a fyziologie, Fyzikální úvod, Biofyzika, Lingvistika, Neurofyziologické aspekty tvorby řeči a doplňkové části Vývoj hlasu a Registrace a analýza hlasu.

Celý projekt je koncipován jako otevřený systém. Aplikace si v žádném případě nečiní nároky na poskytnutí zcela kompletních a vyčerpávajících informací – spíše se snaží naznačit cestu, kterou je možné informace poskytovat, dále doplňovat a šířit především pro studijní a výukové účely a ukázat možnosti, které se v této oblasti nabízejí.

CD ROM by měl být především studijním materiálem ke zkoumání problematiky tvorby hlasu, dílem, které umožní spojovat souvislosti i ze zcela odlišných vědních

oborů. Tento komplexní pohled umožňuje vidět fonační funkci hrtanu v souvislostech a jednoduše a pomocí nástrojů vývojového prostředí pro tvorbu multimediálního programu poskytuje možnost okamžitě nahlédnout do jiné oblasti, jiného vědního oboru a vybrat si údaje, které v daném okamžiku doplní sledovanou problematiku.

Reference

- [1] Authorware – základní informace. [online] Dostupné z www.digitalmedia.cz/macromedia/software/authorware/index.htm, [cit. 27. 8. 2001]
- [2] BRDIČKA, B.: Zásady tvorby výukových programů. [online] Dostupné z www.web.3zscv.cz/Skola/IF/apzasady.htm [cit. 17. 12. 2002]
- [3] HLAVENKA, J.: Poznáváme Internet. Praha: Computer Press, 2000
- [4] KASAL, P., SVAČINA, Š. a kol.: Internet a medicína. Praha: Grada Publishing, 2001. ISBN 80-247-0119-7
- [5] KOLEKTIV AUTORŮ Macromedia Authorware 5 Attain. San Francisco: Macromedia Inc., 1998
- [6] SOCHOROVÁ, H.; PEŠÁK, J.: Multimédia – jejich možnosti a přínos oboru foniatrie. In Sborník přednášek XII. celostátních foniatrických dnů E. Sedláčkové. XII. celostátní foniatrické dny E. Sedláčkové, 1 až 3. listopad, 2001, 1. vyd., Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2001, s. 50–51, ISBN 80-244-0343-9
- [7] Výkladový slovník živě. [online] Dostupné z http://zive.cpress.cz/mod_Dictionary/ [cit. 27. 8. 2001]
- [8] SOKOLOWSKY, P., ŠEDIVÁ, Z.: Multimédia: současnost budoucnosti. Praha: Grada, 1994, ISBN 80-7169-081-3
- [9] LEWIS, CH.: Multimédia. [překlad Jiří Bartoň], 1. vydání, Praha: Ikar, 1998, ISBN 80-7202-287-3
- [10] PEŠÁK, J.: Tvorba lidského hlasu I. Pelikán, akademický bulletin UK 2. lékařské fakulty. Praha: Univerzita Karlova v Praze 2. lékařská fakulta, roč. 10, 2002, číslo 2, str. 10–13

Projekt byl připraven s podporou výzkumného záměru CEZ: J14/98: N30000018 „Integrované studium hlasu a řeči“.

Hana Sochorová

hana.sochorova@osu.cz

Zdravotně sociální fakulta Ostravské Univerzity
Katedra vyšetřovacích metod a lékařské biologie

Josef Pešák

pesak@tunw.upol.cz

Lékařská fakulta Univerzity Palackého v Olomouci
Ústav lékařské biofyziky

² Česká literatura v klasické „papírové“ podobě věnující se tvorbě hlasu není příliš rozsáhlá. O fyzikálních principech tvoření hlasu lze nalézt pouze stručné informace, případně se jim věnují části učebnic akustiky (fyziologická akustika). Ačkoliv je tvorba lidského hlasu biofyzikálním dějem, v učebnicích biofyziky je této oblasti věnována velmi malá pozornost, většinou pouze stručně v souvislosti s funkcí dýchacího systému. Ani v učebnicích fyziologie není této kapitole věnována dostatečná pozornost. Podrobný popis fonačního ústrojí najdeme v učebnicích anatomie, ty se však věnují *statické* podobě a neuvádějí informace o vlastní produkci zvuku, hlasu.

Okamžitá frekvence výstupního signálu elektrodynamického reproduktoru

Josef Merhaut

Dvoulletky 341, 100 00 Praha 10
email: jos.merhaut@worldonline.cz

The paper deals with the theoretical analysis of the instantaneous frequency of a signal from the output of an electrodynamic loudspeaker, when activated at its input with a harmonic tone of a given constant frequency. There is shown that in the transient part of its time-dependence, the frequency of the transmitted tone is necessarily somewhat changed. The paper is appended with the graphical results of the quantitative calculation concerning two typical cases of the low-tone electrodynamic loudspeaker types.

1. Úvod

Práce o které zde jedná navazuje na mou dřívější činnost, o které jsem v Akustických listech již referoval [1]. Tehdy jsem se zabýval, mimo jiné, rovněž transientní odezvou sinusového signálu z elektrodynamického reproduktoru. Rozdíl je pouze v tom, že v tomto článku jedná o reproduktorech hlubokotónových, s rezonanční frekvencí velice nízkou, s dosti velkým tlumením. Z důvodů, které z práce vyplynou, používám zde nesymetrické časové okno, kterým se na vstup reproduktoru dává harmonický signál určité konstantní frekvence v počátku a trvá do nekonečna. Tím se toto studium liší od většiny metod, které obvykle používají okno impulsního charakteru a také zde nepoužívám, jako ostatní práce [2, 3] *Wignerovu distribuci* z důvodů, o kterých jsem v Akustických listech již psal [4].

V popisu studia zde dále uváděném ukazují, že v nábehovém oboru, ve které se setkáváme s dříve popsanou transientní komponentou, jež má původ v reproduktoru, dochází nejen ke změnám velikosti, ale také k určitým změnám frekvence výstupního signálu. Domnívám se, že tyto, byť malé změny, mohou mít určitý vliv z hlediska psychoakustického.

2. Výpočetní metoda

Při analýze, která následuje, vycházím ze známého analogického schéma reproduktoru, jak bylo uvedeno [1]. Z něho vyplývá pro frekvenční charakteristiku elektrodynamického reproduktoru tam uvedený výraz (16), ve kterém značí $R_1 = (Bl)^2/r_1$, v němž je r_1 mechanický odpor, a dále $C_1 = m_1/(Bl)^2$ a $L_1 = c_1(Bl)^2$, kde m_1 je hmotnost a c_1 je poddajnost kmitající části soustavy. Vyzařovací impedance je pak dána paralelním spojením mechanického odporu r_v a hmotnosti m_v , nahrazenými na elektrické straně odporem R_v a kapacitou C_v zapojenými v serii. Ve schématu pak r_e představuje elektrický odpor kmitací cívky. Výstupní akustický tlak z reproduktoru je úměrný proudu, který protéká prvky jež nahrazují vyzařovací impedanci: C_v , R_v . Frekvenční přenos je proto určen poměrem tohoto proudu a vstupního napětí a platí pro něj

$$K_f = \frac{\frac{Bl}{R_v + \frac{1}{j\omega C_v}}}{1 + \frac{R_e}{R_1} + \frac{R_e}{j\omega L_1} + j\omega C_1 R_e + \frac{R_e}{R_v + \frac{1}{j\omega C_v}}} . \quad (1)$$

Pro výpočet časové odezvy byl použit operátorový počet viz např. [5]. Pro ten z rovnice (1) vyplyne výraz

$$K_s = Bl \frac{sC_v}{1 + \frac{R_e}{R_1} + \frac{R_e}{sL_1} + sC_1 R_e + sC_v R_e} , \quad (2)$$

který je uveden v [1] jako rovnice (17). Ve výrazu (2) je opět zanedbáno R_v . To je potřeba pro usnadnění pozdější zpětné Laplaceovy transformace. Toto zanedbání je přípustné, protože další výpočty budou použity pro frekvence značně nižší než je kritická frekvence reproduktoru.

Předpokládáme, že se na vstup reproduktoru připojí harmonický signál s určitou fixní frekvencí f_i , jehož amplituda je nasazena exponenciálně, vždy v počátku, vyjádřený výrazem

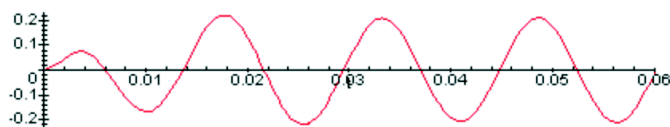
$$y_i = (1 - e^{-at}) \sin(2\pi f_i t - t_{iv}) , \quad (3)$$

ve kterém a je zvolená konstanta a t_{iv} představuje časový posuv a ovlivňuje tedy fázi signálu. Jestliže označíme Laplaceovu transformaci předmětu y_i z rov. (3) symbolem Y_i , pak součin $K_s Y_i$ představuje obraz výstupního signálu a jeho zpětnou Laplaceovou transformací je výstupní signál v časové doméně: K_c . Předpokládáme, že je dán výrazem

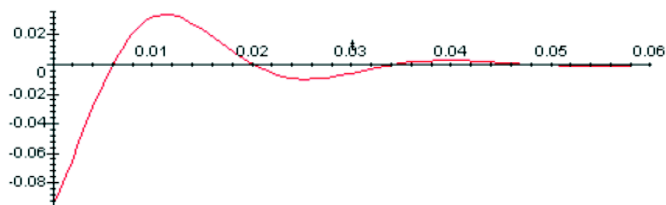
$$K_c = (1 - e^{-at}) \sin(2\pi f t - t_i) . \quad (4)$$

Jako příklad je na obrázku 1 uveden průběh K_c získaný z rovnice (4) pro $a = 300$ a $t_i = 0$, z něhož transientní část je na obrázku 2.

Z průběhu křivky na obrázku 1 vidíme, při porovnání s obrázkem 2, že její průchody nulovou hodnotou nejsou



Obrázek 1:



Obrázek 2:

zpočátku v čase zcela stejně vzdálené, mění se s časem. Takže jde o *okamžitou frekvenci*, která je závislá na čase t a má definici [2]

$$f_i = \frac{d[\vartheta(t)]}{2\pi dt} . \quad (5)$$

Přitom $\vartheta(t)$ má význam celkové fáze harmonické funkce. Změny frekvence závisí zřetelně na hodnotě tranzientní části uvedené v obrázku 2. Podle toho, je-li kladná nebo záporná, je okamžitá frekvence výstupního signálu z reproduktoru větší, nebo menší než frekvence budicí.

Derivace výrazu (4) podle t je proto

$$K'_c = ae^{-at} \sin(2\pi ft + t_i) + (1 - e^{-at}) \cos(2\pi ft + t_i) 2\pi(f't + f) . \quad (6)$$

Z této rovnice je možné pro hodnoty, kde K'_c prochází nulou, stanovit snadno okamžitou frekvenci výstupního signálu. Toto nastává v čase, kdy argument je takový, že sinus v rovnici (4) má hodnotu nula kosinus hodnotu jedna. (To platí ovšem při kompenzaci amplitudy signálu koeficientem N , kterým se vyrovná útlum způsobený měničem.) Protože derivace f' v rovnici (6) způsobí poměrně malou změnu frekvence, lze ji předběžně zanedbat. Z rovnice (6) stanovíme výraz, ze kterého pak okamžitou frekvenci snadno vypočteme:

$$NK'_c = (1 - e^{-at}) 2\pi f . \quad (7)$$

Z rovnice (7) určíme okamžitou frekvenci výstupního signálu pouze pro hodnoty času při průchodu nulou. Pro ostatní hodnoty času mezi těmito body ji pak stanovíme tím, že nasazujeme postupně vstupní signál s jiným časovým posunem t_{iv} , lišícím se o malé Δt .

Popsaný způsob má tu nevýhodu, že křivku vyjadřující průběh okamžité frekvence v tranzientní části určujeme bod po bodu. Pokud však tyto body spojíme krátkými úsečkami, respektujeme tím derivaci, kterou jsme v rovnici (6) zanedbali, protože tyto spojnice při dostatečně malých časových odstupech mají právě odpovídající směrnici.

3. Výsledky analýzy na hlubokotónových reproduktorech

V této kapitole uvádím výsledky analýzy na dvou reproduktorech s dosti nízkou rezonanční frekvencí, provedené způsobem popsaným v kapitole předchozí. V obou případech jde o elektrodynamický reproduktor s aktivním polem membrány $R = 15$ cm a odporem kmitací cívky 8Ω . Prvý z nich má rezonanční frekvenci ve vakuu 60 Hz a jeho kmitací systém vykazuje menší tlumení. Jeho frekvenční charakteristika vypočtená z rovnice (1) je na obrázku 3. Pro úplné analogické schéma platí dolní křivka, horní je pro případ zanedbání odporu R_v , jak bylo použito pro výpočet časové odezvy, z důvodu umožnění Laplaceovy transformace. To je přípustné, protože odezvu počítáme z budicího tónu, jehož frekvence je značně nižší, než je kritická frekvence reproduktoru.

Průběh okamžité frekvence časové odezvy pro tento reproduktor je vyneseno pro tranzientní časový obor na obrázku 4, a to pro případ frekvence budicího signálu 100 Hz a 65 Hz. (Stupnice časové osy je v sekundách.)

Další dva obrázky se týkají reproduktoru stejných rozměrů, ale s větším tlumením (zvýšený odpor r_1) a s rezonanční frekvencí 40 Hz, jehož frekvenční charakteristika je na obrázku 5. (Opět pro oba případy.)

Časové odezvy z tohoto reproduktoru jsou vyneseny na obrázku 6 a to pro frekvenci budicího signálu 100 Hz respektive 40 Hz.

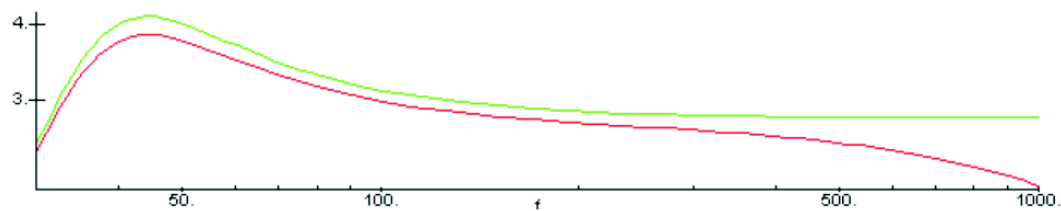
Při všech výpočtech zde uvedených jsem používal časový interval $\Delta t = 1$ ms, nebo o něco málo větší. (V obou případech méně strmého průběhu.)

4. Závěr

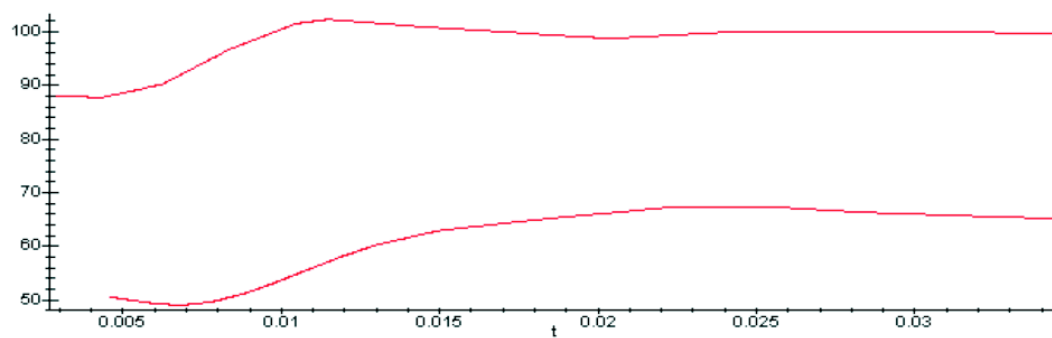
Z předložené studie vyplývá, že u elektrodynamických reproduktorů dochází v transientní časové oblasti zákonitě k podstatné změně frekvence, tedy k frekvenčnímu zkreslení. Doba jeho trvání je u typických hlubokotónových reproduktorů v okolí rezonanční frekvence přibližně 50 ms. Míra tohoto zkreslení při tom souvisí s velikostí transientní části odezvy, jak jsem ji zavedl v práci [1]. Domnívám se, že by bylo vhodné, psychoakustickými testy zjistit vliv tohoto zkreslení.

Poděkování

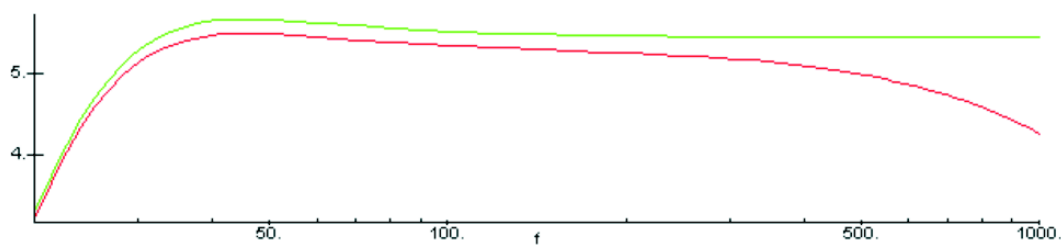
Uvedená studie byla zpracována v rámci výzkumného záměru číslo MSM 511100001, řešeného Hudební fakultou AMU.



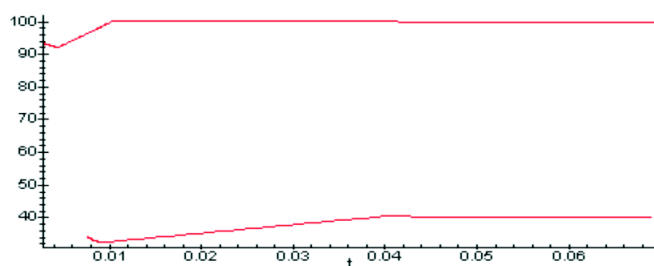
Obrázek 3:



Obrázek 4:



Obrázek 5:



Obrázek 6:

Reference

- [1] Merhaut J.: Porovnání časové odezvy signálu z reproduktoru elektrodynamického a elektrostatického, Akustické listy: 8(3), 2002, strana 5.
- [2] C.Janse, A.J.Kaizer: Time – Frequency Distribution of Loudspeakers, J.A.E.S. Vol.31, pp.198., Apr. 1983.
- [3] D.Preis, V.Georgopoulos: Wigner Distribution Representation and Analysis of Audio Signals, J.A.E.S. Vol.47, pp.1043, Dec. 1999.
- [4] Merhaut J.: Je Wignerova distribuce vhodná pro analýzu zvuku hudebních nástrojů?, Akustické listy : 7(2), 2001, strana 4.
- [5] Angot. A.: Užité matematické pro elektrotechnické inženýry, SNTL, Praha 1960, strana 558.

Akustické listy: ročník 9, číslo 2 červen 2003

ISSN: 1212-4702

Vydavatel: Česká akustická společnost, Technická 2, 166 27 Praha 6

Vytisklo: Ediční středisko ČVUT

Počet stran: 12

Počet výtisků: 200

Redakční rada: M. Brothánek, O. Jiříček, J. Kozák, R. Čmejla, F. Kadlec, J. Štěpánek, P. Urban

© ČsAS

Uzávěrka příštího čísla Akustických listů je 30. září 2003.

NEPRODEJNÉ!