

STUDIOVÁ TECHNIKA II

Laboratorní úloha č. 3 Měření charakteristik sluchátek

Cíl úlohy

Cílem úlohy je seznámit se s problematikou a principy měření různých typů sluchátek pomocí umělého ucha a simulátoru hlavy a torza.

Teoretický úvod

Pro konstrukci sluchátek se v současné době nejčastěji používá elektrodynamických a elektrostatických měničů. Sluchátka lze podle jejich konstrukce rozdělit na:

- circum-aurální, která uzavírají celý ušní boltec a přiléhají na povrch hlavy okolo boltce,
- supra-aurální, která přiléhají přímo na ušní boltec a mají vnější rozměry větší než 45 mm,
- sluchátka na vnější ucho (supra-concha), která se umísťují na okraj vnějšího zvukovodu a mají průměr větší jak 25 mm,
- sluchátka do vnějšího ucha (intra-concha), která se vkládají do ústí vnějšího zvukovodu (nikoliv přímo do zvukovodu) a mají průměr menší než 25 mm,
- sluchátka do zvukovodu (insert), která se částečně nebo zcela vkládají do vnějšího zvukovodu.

Sluchátka lze dále dělit na akusticky otevřená a uzavřená. Uzavřená sluchátka mají za účel zamezit jakékoliv akustické vazbě mezi vnějším prostředím a ušním kanálem, zatímco otevřená mají mezi vnějším prostředím a ušním kanálem akustickou vazbu. Tyto dvě konstrukce se používají u circum-aurálních a supra-aurálních sluchátek, některá kompromisní řešení jsou označována jako „polozavřená“ sluchátka. Uzavřená sluchátka jsou z hlediska pronikání hluku z vnějšího prostředí výhodnější, při jejich návrhu se uvažuje pouze akustická impedance uzavřených prostorů před membránou a za ní, ale sluchátka musí mít velký přítlak zajišťující jejich dokonalou přiléhavost, proto jsou při delším poslechu nepohodlná a jejich kmitočtová charakteristika je závislá na správném posazení na uši.

Umělé ucho

Elektroakustické vlastnosti sluchátka jsou silně závislé na akustické impedanci ucha, k němuž je sluchátko při jeho používání přiloženo. Tato impedance závisí na objemu prostoru mezi membránou a bubínkem, jeho členěním, třecími odpory a rezonancí zvukovodu. U různých jednotlivců je různá a její průměrná velikost byla změřena řadou autorů. Aby bylo možno sluchátka snadno měřit, byla navržena tzv. umělá ucha. Jsou to zařízení, která mají akustickou impedanci víceméně podobnou akustické impedanci průměrného lidského ucha. Je v nich vestavěn měřicí mikrofon, kterým lze měřit akustický tlak generovaný sluchátkem. Nejjednodušší umělé ucho je tvořeno dutinou o objemu 6 cm^3 , jejíž dno tvoří membrána mikrofonu. Impedance skutečného ucha je tedy nahrazena impedancí uzavřeného objemu a toto umělé ucho se hodí pouze pro srovnávací účely. Novější umělé ucho je tvořeno třemi dutinami a dvěma akustickými obvody vykazujícími akustický odpor a hmotnost. Pro miniaturní sluchátka do uší se používá umělé ucho tvořené dutinou o objemu 2 cm^3 , jejíž dno opět tvoří membrána měřicího mikrofonu.

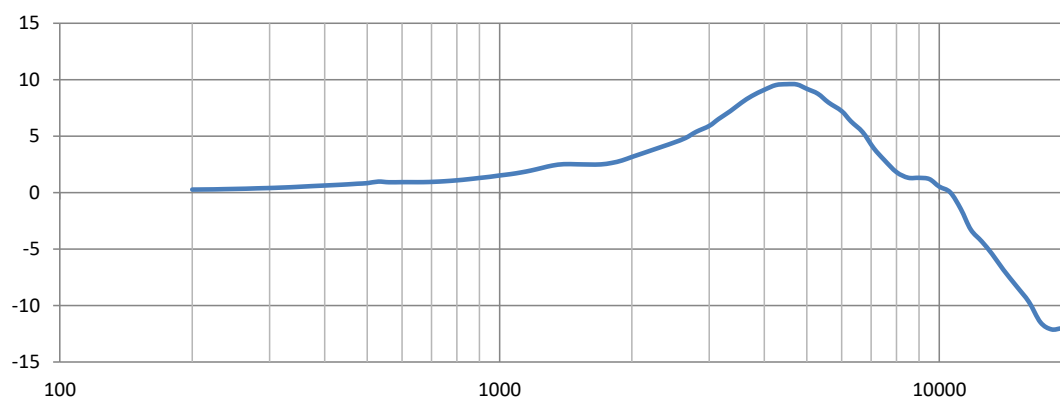


Obr. 1: Umělé ucho pro měření circum-aurálních a supra-aurálních sluchátek (vlevo) a sluchátek do uší (vpravo).

Simulátor hlavy a torza

Jedním z účelů simulátoru hlavy a torza je napodobit akustickou impedanci ucha a umožnit umístění sluchátek na hlavě tak, jak jsou typicky používány. Její přijímací část, simulátor ucha, je zařízení pro kalibraci sluchátek vybavené simulátorem boltce, akustickým vazebním článkem a kalibrovaným mikrofonem, které společně mají v daném kmitočtovém pásmu celkovou akustickou impedanci podobnou průměrné impedanci lidského ucha. Pro měření bude použit binaurální simulátor hlavy a torza Brüel&Kjær 4100. Tento simulátor má umělé ucho (levé i pravé), jehož mikrofon je umístěn na začátku vnějšího zvukovodu. Tato pozice se označuje ERP (Ear Reference Point).

Spektrum signálu dopadajícího na ušní bubínek je ovlivňováno přenosovou charakteristikou vnějšího ucha, tj. boltce a zvukovodu. Ta je ovlivňována odrazy v boltci, tj. směrem přicházejícího zvuku, a rezonancí ve zvukovodu. Pokud měříme kmitočtovou charakteristiku sluchátek mikrofonem umístěným na vstupu či konci zvukovodu, je potřeba výsledek pomocí přenosové charakteristiky vnějšího ucha kompenzovat, abychom získali odezvu samotných sluchátek. Na obr. 2 je uvedena přenosová charakteristika ucha simulátoru hlavy a torza B&K 4100.



Obr. 2: Relativní kmitočtová odezva ucha simulátoru B&K 4100 v difúzním poli.

Elektroakustická měření sluchátek

Základní charakteristikou sluchátek je kmitočtová odezva sluchátka je měřená pomocí simulátoru ucha a harmonického signálu při příkonu 1 mW v intervalech 1/12 oktávy a stejná charakteristika kompenzovaná přenosem vnějšího ucha. Další charakteristikou je rozdíl přenosu levého a pravého kanálu (tzv. Left-Right Tracking) měřený pomocí šumu v 1/3-oktávových intervalech. Mezi další parametry patří přeslechy, zkreslení, potlačení okolního hluku, maximální vstupní napětí, impedance a další.

Zadání

- 1) Změřte modulovou kmitočtovou charakteristiku levého kanálu circum-aurálních sluchátek pomocí simulátoru hlavy a torza při buzení harmonickým signálem. Provedte korekci přenosové funkce ucha a do grafu vyznačte výslednou charakteristiku sluchátek.
- 2) Změřte modulovou kmitočtovou charakteristiku obou kanálů sluchátek na umělé hlavě v třetino-oktákových pásmech a do grafu vyznačte rozdíl přenosové funkce obou kanálů.
- 3) Modulovou kmitočtovou charakteristiku stejných sluchátek změřte při buzení harmonickým signálem také pomocí umělého ucha a grafy porovnejte.

Postup

ad 1) Měření kmitočtové charakteristiky sluchátek na umělé hlavě

Zapněte analyzátor AL1 a mikrofonní zesilovač Nexus. Aby bylo možné odečítat přímo hodnoty hladin akustického tlaku, je potřeba provést kalibraci měřicího řetězce. Kalibraci ovšem nebudete provádět pomocí tónového kalibrátoru. Oba mikrofony v simulátoru hlavy a torza jsou připojeny na zesilovač Nexus, který si po zapnutí zjistí citlivosti obou připojených mikrofonů a nastaví takové zesílení v jednotlivých kanálech, aby výsledná citlivost mikrofonu i se zesilovačem byla shodná s uživatelem nastavenou hodnotou citlivosti. Tato citlivost je vidět na displeji zesilovače pro oba kanály (sloupeček „Out“) a měla by být nastavena na hodnotu 31,6 mV/Pa. Pokud ne, požádejte vyučujícího o nastavení. Stejnou citlivost je potřeba nastavit na analyzátoru AL1, kterým budete výstupní napětí zesilovače Nexus měřit. To uděláte pomocí menu CALIBRTE, kde kurzorem najedete na hodnotu SENSITIVITY, stlačíte ↵ a pomocí šipek nastavíte hodnotu 31,6 (šipky nahoru a dolů nastavují jednotky, šipky vlevo a vpravo desetiny). Zadávání ukončíte stlačením tlačítka ↵.

Pracoviště je zapojeno podle obr. 3. Nesymetrický vstup analyzátoru AL1 (konektor cinch) připojte na výstup kanálu 1 zesilovače Nexus, na který je připojen mikrofon v levém uchu umělé hlavy. Pokud je v symetrickém vstupu analyzátoru zapojen konektor XLR, tak jej odpojte. Jako generátor signálu pro měření bude sloužit ruční generátor NTi Minirator MR-PRO, jehož výstup zapojte na vstup LEFT sluchátkového zesilovače. Multimetr měří vstupní napětí levého sluchátka. Na umělou hlavu nasadte uzavřená sluchátka AKG K52, aby levé sluchátko bylo nasazené na levém uchu simulátoru, připojte je do TRS konektoru v měřicím boxu a box zavřete.

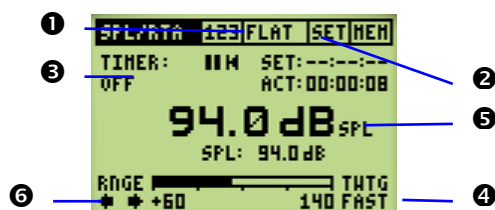


Obr. 3: Zapojení pracoviště pro měření kmitočtových charakteristik sluchátek na umělé hlavě.

Nastavení parametrů měření analyzátoru AL1 se provádí pomocí tlačítek se šípkami a tlačítka ↵. Pomocí šipek najedete na požadovaný parametr (je zobrazen inverzně), pomocí tlačítka ↵ aktivujete jeho nastavování (rozbalí se menu nebo začne parametr blikat), pomocí šipek provedete nastavení a tlačítkem ↵ nastavování ukončíte.

Na analyzátoru aktivujte menu SPL/RTA (tlačítko ESC, poté Enter ↵, šípkami vybrat „SPL/RTA“ a stisknout ↵). Parametrem ❶ se volí mezi měřením hladin akustického tlaku

v celém akustickém pásmu (ikona **123**) a oktávovou resp. třetinooktávovou analýzou (ikona **123**). Při měření v celém akustickém pásmu se nastavují tyto parametry:



- 1) Parametrem **2** aktivujte měření bez filtru (FLAT).
- 2) Parametrem **3** (TIMER:) se nastavuje časovač, ponechte ho vypnutý („OFF“).
- 3) Parametrem **4** (TWTG:) se nastavuje časová konstanta, zvolte „SLOW“
- 4) Parametrem **5** se nastavuje hlavní měřená veličina – hladina akustického tlaku („dB_{SPL}“).
- 5) Parametrem **6** se nastavuje rozsah zvukoměru, zvolte 40 – 120 dB_{SPL}.

Měření kmitočtové charakteristiky sluchátek se provádí pomocí harmonického signálu v 1/12-oktávových intervalech, vy ovšem budete kvůli úspoře času měřit pouze v 1/3-oktávových intervalech. V sešitu Excelu je na listu „kmitočtová odezva“ připravena tabulka s 1/3-oktávovými kmitočty, kde budete zadávat hodnoty změřené analyzátozem AL-1 do sloupce „kmit.odezva sluchátek HATS“.

Zapněte multimetr Agilent a generátor MR-PRO. Na generátoru pomocí tlačítka *Wave* otevřete menu s průběhy, kolečkem zvolte typ generovaného průběhu *Sine* a tlačítkem \downarrow jej potvrďte. Po stlačení tlačítka *Freq* můžete kolečkem nastavovat kmitočet podle tabulky. Ten budete nastavovat s krokem 1/3 oktávy. Krok nastavíte tak, že stlačíte tlačítko *Freq*, potom stlačíte a podržíte tlačítko *Sens* (na displeji dole se objeví seznam hodnot pro výběr) a pomocí kolečka zvolíte „1/3“. Stlačením tlačítka *Level* nastavte pomocí kolečka takovou úroveň, aby multimetr ukazoval přibližně hodnotu 180 mV, což je hodnota, která odpovídá příkonu sluchátek 1 mW. Tuto hodnotu kontrolujte při každé změně kmitočtu. Generátor umožňuje nastavovat výstupní napětí s krokem 1 nebo 0,1 dB, nastavení se provádí takto: stlačte tlačítko *Level*, poté stlačte a držte tlačítko *Sens* (na displeji dole se objeví seznam hodnot pro výběr) a pomocí kolečka nastavte požadovanou přesnost. Generování signálu lze kdykoliv vypnout a opětovně zapnout pomocí tlačítka *Mute* (bliká, pokud je generování vypnuto).

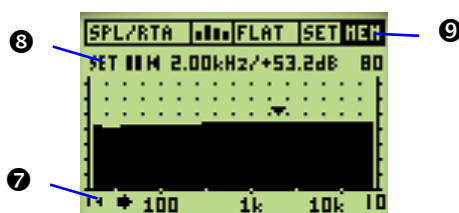
V tabulce je uvedena také kmitočtová odezva ucha umělé hlavy a ve sloupečku „kmit.odezva sluchátek HATS v ERP“ se automaticky vypočítává rozdíl vámi změřených hodnot a kmitočtové odezvy ucha umělé hlavy – tím se provede korekce přenosu vnějšího ucha. Ve sloupečcích „rel.kmit. odezva sluchátek HATS“ se pak automaticky vypočte relativní odezva bez korekce a s korekcí na vstup vnějšího ucha vztažená k 1 kHz a zobrazí se v grafu pod tabulkou (plnou čarou s korekcí, přerušovanou čarou bez ní).

ad 2) Měření rozdílu přenosů levého a pravého kanálu

Na generátoru MR-PRO stlačte tlačítko *WAVE* a vyberte typ průběhu „FILE“. Po potvrzení tlačítkem *ENTER* se na displeji objeví nápis *FILE* a vedle něj symbol adresáře a souboru. Pomocí kolečka najedte na symbol adresáře, stlačte *ENTER* a kolečkem vyberte adresář „IEC268_5“ a potvrďte *ENTER*. Stlačte tlačítko *Freq* a zvolte soubor pojmenovaný „Cont“. Stlačte tlačítko *Level* a nastavte úroveň výstupního napětí na –20 dB_F. Pomocí multimetru nastavte výstupní napětí generátoru přibližně na hodnotu 180 mV.

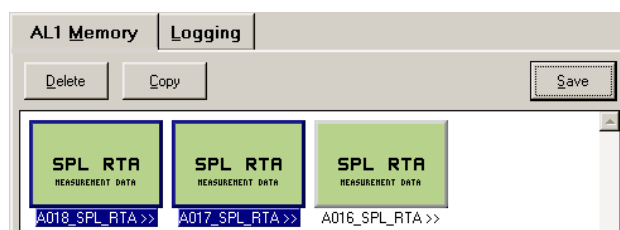
Analyzátor AL-1 přepněte do režimu 1/3-oktávové analýzy. Při pásmové analýze se rozsah volí parametrem **7**. Aktivujte měření bez filtru (FLAT) a ostatní parametry měření nastavte v menu *SET* **8**:

- Položka RES. nastavuje typ analýzy – zvolte 1/3 pro třetinooktávovou analýzu.
- Položka TWHĐ nastavuje časovou konstantu, zvolte „SLOW“.
- Položka SHOW volí zobrazenou veličinu, zvolte „SPL“.



Pomocí položky STORE v menu MEM 9 si uložte 1/3-oktávovou analýzu do paměti. Poté přepojte analyzátor AL1 na výstup druhého kanálu zesilovače Nexus, výstup generátoru na vstup RIGHT sluchátkového zesilovače a měření zopakujte. Opět si 1/3-oktávovou analýzu uložte do paměti. Po skončení opět připojte analyzátor AL-1 na výstup prvního kanálu zesilovače Nexus a výstup generátoru MR-PRO na vstup LEFT sluchátkového zesilovače.

Pomocí USB kabelu s redukcí připojte AL1 k vašemu počítači a spusťte program MiniLINK (zástupce na ploše). V záložce AL1 Memory jsou jako ikony zobrazena jednotlivá uložená měření, která jsou postupně číslována, viz obr. 4. Vaše měření budou poslední dvě.



Obr. 4: Zobrazení uložených měření AL-1 v programu MiniLINK.

Pomocí myši a klávesy SHIFT označte ikony vašich dvou měření a klikněte na tlačítko Save. Objeví se dialog, ve kterém zvolte nějaký adresář na disku D:, kam chcete vaše změřená data uložit. Dále zatrhněte „Selected files“ a zrušte zatržení u „Delete files after save“. Změřená data se uloží jako textové soubory. Zkontrolujte, zda jsou soubory opravdu uloženy na disku a teprve potom je v hlavním okně MiniLINKu označte a smažte pomocí klávesy Delete. Ukončete program MiniLINK a odpojte AL-1.

Na listu „L-R tracking“ vašeho vypracování v Excelu je připravena tabulka, do které můžete pomocí tlačítek „Import SPL“ vložit vaše 1/3-oktávové analýzy. Automaticky se spočítá jejich rozdíl a zobrazí v grafu.

ad 3) Měření kmitočtové charakteristiky sluchátek na umělém uchu

Nyní provedete měření kmitočtové charakteristiky circumaurálních sluchátek, tentokrát pomocí umělého ucha. Otevřete měřicí box a sundejte sluchátka z umělé hlavy. Pracoviště pro měření sluchátek na umělém uchu je zapojeno podle obr. 5. Kabel mikrofону umělého ucha připojte na XLR konektor v boxu. Symetrický vstup analyzátoru AL1 (konektor XLR) propojte kabelem XLR-XLR s výstupem fantomového napaječe ARTcessories Phantom I (Mic Output) a nesymetrický vstup (konektor cinch) odpojte. Výstup generátoru opět připojte na vstup LEFT sluchátkového zesilovače.



Obr. 5: Zapojení pracoviště pro měření kmitočtových charakteristik sluchátek na umělé hlavě.

Nejprve za asistence vyučujícího proveďte kalibraci. Z umělého ucha je potřeba odšroubovat vazební člen (nástavec před mikrofonem), poté postupujte takto:

- 1) Na analyzátoru AL1 aktivujte funkci *Calibrate* (tlačítko *ESC*, poté *Enter*, šípkami vybrat „CALIBRATE“ ❶ a stisknout \downarrow), zkontrolujte, zda je hodnota *Ref. Signal* ❷ nastavena na 94,0 dB(SPL).



- 2) Nasadíte tónový kalibrátor na mikrofon, zapnete jej a aktivujete položku *Calibrate* ❸ na AL1 (pomocí šipky dolů najet na nápis „Calibrate“ vpravo dole a stisknout \downarrow).

Poté na mikrofon našroubujte vazební člen pro měření circumaurálních sluchátek a nasadíte sluchátka na podstavec tak, aby levé sluchátko bylo na straně s mikrofonem. Podstavec s umělým uchem a sluchátky umístíte do měřicího boxu a box zavřete.

Opět nastavujte pomocí generátoru MR-PRO kmitočty v 1/3-oktákových intervalech, pomocí multimetru kontrolujte výstupní napětí generátoru 180 mV a odečítejte hodnoty na analyzátoru AL1. Výsledky zapisujte do stejné tabulky na listu „kmitočtová odezva“ jako v předchozím bodě, do sloupce „kmit.odezva sluchátek umělé ucho“. V sousedním sloupečku se pak automaticky vypočte relativní odezva vztažená k 1 kHz a zobrazí se v grafu pod tabulkou. Porovnejte ji s charakteristikou změřenou na umělé hlavě bez korekce na vstup vnějšího ucha. Na nízkých kmitočtech by měla kmitočtová odezva nabývat vyšších hodnot na umělém uchu vlivem vyššího přítlaku sluchátek, na středních kmitočtech by se ale odezvy měly shodovat. Na vyšších kmitočtech budou patrné rozdíly, protože umělé ucho je určeno k simulaci akustické impedance ucha pouze do kmitočtu 4 kHz.