

STUDIOVÁ TECHNIKA II

Laboratorní úloha č. 2 Měření charakteristik mikrofону

Cíl úlohy

Cílem úlohy je a seznámení se substituční metodou měření kmitočtových charakteristik mikrofónů.

Teoretický úvod

Jednou z nejdůležitějších charakteristik pro praktické použití mikrofónu je citlivost a její kmitočtová závislost. Citlivost mikrofónu je poměr absolutní hodnoty výstupního napětí k absolutní hodnotě akustického tlaku, který na mikrofón působí

$$\eta = \frac{|U|}{|p|} \text{ [V/Pa]}, \quad (1)$$

a je závislá na typu pole, ve kterém je mikrofón umístěn. Proto se udává citlivost ve volném, difúzním a tlakovém poli a u mikrofónů pro snímání řeči a nástrojů také citlivost pro blízké zdroje zvuku, protože se u nich projevuje proximity efekt.

Kalibrace mikrofónu

Proces, při kterém zjišťujeme citlivost mikrofónu zvukoměru, se nazývá *kalibrace* nebo *justování*. Kalibrace zvukoměru je metrologický úkon, při kterém se za specifikovaných podmínek stanoví vztah mezi akustickým tlakem vytvářeným etalonem a hodnotou indikovanou zvukoměrem s přidruženými nejistotami měření. Justování je příprava měřidla k měření, tj. zjištění aktuální citlivosti mikrofónu, na kterou mají vliv atmosférické podmínky. Při kalibraci i justování je na vstup mikrofónu přiveden zvukový signál známé hladiny akustického tlaku a zvukoměr podle ní a změřené efektivní hodnoty napětí na výstupu mikrofónu při kalibraci spočítá citlivost mikrofónu podle rovnice (1). Citlivost měřicích mikrofónů se pohybuje v několika desítkách mV/Pa.

Ke kalibraci je potřeba zdroj akustického tlaku, jehož přesnou velikost lze z fyzikálních veličin vypočítat. Takovým zdrojem je např. tónový kalibrátor, který používá piezoelektrický reproduktor vyzářující do měřicí komůrky, do které je zasunutý kalibrovaný mikrofón. Generuje signál s kmitočtem 1000 Hz a hladinou akustického tlaku 94 dB(SPL) tj. 1 Pa.

Kmitočtová charakteristika mikrofónu

Výstupní napětí mikrofónu změřené při konstantním akustickém tlaku zvukového vlnění dopadajícího na mikrofón je kmitočtově závislé, proto je závislá i jeho citlivost. V katalogových listech mikrofónů je uváděna buďto kmitočtová závislost výstupního napětí ve Voltech s hodnotou vstupního akustického tlaku jako parametrem nebo kmitočtová závislost citlivosti mikrofónu v dB, obvykle vztažená k hodnotě citlivosti na kmitočtu 1 kHz

$$\eta_{\text{dBrel}}(f) = 20 \log \frac{\eta(f)}{\eta(1 \text{ kHz})} \text{ [dB]}, \quad (2)$$

kde $\eta(f)$ je absolutní citlivost mikrofónu na kmitočtu f a $\eta(1 \text{ kHz})$ je citlivost na kmitočtu 1 kHz. Hodnota relativní citlivosti na 1 kHz tedy bude odpovídat 0 dB.

Kmitočtová závislost citlivosti měřicích elektrostatických mikrofonů se zjišťuje pomocí elektrostatického principu s využitím reciprocity měniče. U všech ostatních druhů mikrofonů narazíme na problém, jak zajistit konstantní hodnotu akustického tlaku celého uvažovaného pásma kmitočtů, když kmitočtová charakteristika reproduktoru, kterým akustický tlak vytváříme, je při buzení konstantním napětím značně nerovnoměrná.

Tento problém lze řešit měřením hladiny akustického tlaku harmonického nebo úzkopásmového šumového signálu generovaného reproduktorem. K měřenému mikrofonu se ve stejné vzdálenosti a symetricky k akustické ose budicího reproduktoru umístí referenční elektrostatický mikrofon, jehož kmitočtovou charakteristiku máme změřenou pomocí elektrostatického principu. Pro každý budicí signál pak známe výstupní napětí měřeného mikrofonu a výstupní napětí referenčního mikrofonu, které z jeho známé citlivosti snadno přepočítáme na hladinu akustického tlaku.

Jiným způsobem je měření kmitočtové charakteristiky substituční metodou. Ve zvoleném místě akustického pole nastaví pro každý budicí signál pomocí měření referenčním mikrofonem určitý akustický tlak. Do stejného místa se po vyjmutí měřicího mikrofonu umístí měřený mikrofon a stanoví se výstupní napětí. Z podílu tohoto výstupního napětí a akustického tlaku, který toto napětí vybudil, se určí citlivost mikrofonu pro daný kmitočet. Měření se musí opakovat pro každý kmitočet.

Při umístění referenčního mikrofonu do měřicího pole je nutné, aby jeho rozměry byly dostatečně malé, aby neovlivnily akustické pole. Při měření je nutno také dodržet správnou vzdálenost měřeného mikrofonu od zdroje akustického signálu, která závisí na druhu měřeného akustického přijímače. U tlakových mikrofonů není tato vzdálenost rozhodující a lze ji volit libovolně. Při měření gradientního mikrofonu, na který dopadá zvukové vlnění ve směru jeho maximální citlivosti, tj. zepředu, má být tato vzdálenost rovna nebo větší než $1/6$ vlnové délky budicího signálu. Při dané vzdálenosti mikrofonu od zdroje akustického signálu l lze v takovém případě kmitočtovou charakteristiku měřit od kmitočtu

$$f = \frac{c_0}{\lambda} = \frac{c_0}{6l}, \quad (3)$$

kde c_0 je rychlost šíření zvuku a λ je vlnová délka budicího signálu.

Ekvivalentní hladina šumu

Ekvivalentní hladina šumu L_{EN} je taková, která by vytvořila stejné výstupní napětí, když na mikrofon nepůsobí žádné vnější pole a výstupní napětí je způsobeno pouze přirozeným šumem mikrofonu. Lze vypočítat z výstupního napětí mikrofonu U_n , když na něj nepůsobí žádné vnější pole, a citlivosti mikrofonu η podle rovnice

$$L_{EN} = 20 \log \frac{U_n}{\eta p_0}, \quad (4)$$

kde $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$. Nejčastěji se měří při použití váhového filtru A a výsledek ne pak udáván v jednotkách dB(A).

Zadání

- 1) Pomocí měřicího mikrofonu MiniSPL změřte korekční charakteristiku budicího reproduktoru v místě měření.
- 2) Pomocí substituční metody zjistěte kmitočtovou odezvu dynamického mikrofonu. Ze změřené kmitočtové odezvy určete citlivost mikrofonu.
- 3) Změřte ekvivalentní hladinu šumu mikrofonu.

Postup

Pro měření kmitočtové charakteristiky mikrofonu Sennheiser e815S použijete bezodrazový box, v jehož dolní části je instalován budicí reproduktor, a substituční metodu. Měření tedy bude probíhat ve dvou kolech:

1. Pomocí referenčního mikrofonu MiniSPL zjistíte vstupní napětí budícího reproduktoru, které je nutné pro dosažení hladiny akustického tlaku 80 dB(SPL) v bodě měření na každém měřeném kmitočtu, tzv. korekční charakteristiku (první bod zadání).
2. Použijete změřená vstupní napětí reproduktoru pro buzení zvukového pole a změříte kmitočtovou závislost výstupního napětí mikrofonu Sennheiser e815S (druhý bod zadání).

ad 1) Měření korekční charakteristiky budícího reproduktoru

Nejprve proved'te kalibraci analyzátoru AL1 s připojeným mikrofonem MiniSPL pomocí tónového kalibrátoru. Při kalibraci postupujte takto:

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

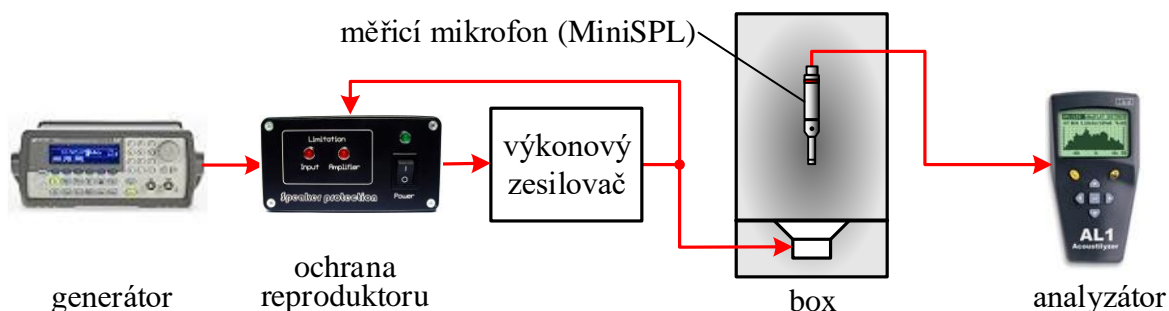


2. Nasad'te tónový kalibrátor na mikrofon MiniSPL, zapněte jej a aktivujte položku *Calibrate* ❸ na AL1 (pomocí šipky dolů najet na nápis „Calibrate“ vpravo dole a stisknout \downarrow).

Změřenou citlivost zapište do vašeho vypracování v Excelu. Pokud se na displeji AL1 objeví jiná zpráva než „Calibration finished“, nebo pokud se bude výsledná hodnota citlivosti zobrazená po skončení kalibrace na displeji výrazně lišit od hodnoty 20 mV/Pa, požádejte o pomoc vyučujícího.

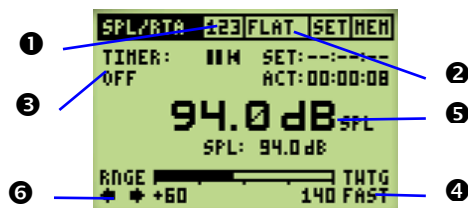
Umístěte **měřicí mikrofon MiniSPL** do výškově stavitelného držáku v bezodrazovém boxu. S mikrofonem manipulujte opatrně! Připojte k mikrofonu kabel a nastavte výšku držáku tak, aby byl mikrofon vzdálený od budícího reproduktoru cca 46 cm. K této vzdálenosti přičtete 2 cm (vzdálenost referenční roviny reproduktoru od krycí mřížky) a zapište ji do vypracování. Pomocí rovnice (3) spočítejte kmitočet, od kterého budete měřit, a zapište si jej do vypracování.

Měřicí pracoviště je zapojeno podle obr. 1. Jako měřicí signál pro budící reproduktor slouží generátor Agilent s výkonovým zesilovačem Alesis. Jako analyzátor bude použit zvukoměr AL-1 s referenčním mikrofonem MiniSPL.



Obr. 1: Zapojení měřicího pracoviště pro měření korekční křivky budícího reproduktoru.

Na analyzátoru AL1 aktivujte funkci *SPL/RTA* (tlačítko *ESC*, poté *Enter* ↵, šipkami vybrat „SPL/RTA“ a stisknout ↵). Nastavte parametry „123“ ❶, „FLAT“ ❷, *Timer: off* ❸, *TWGT: „Slow“* ❹, hlavní měřenou veličinu dB_{SPL} ❺ a rozsah +40 ~ 120 dB ❻.



V prvním listu vašeho vypracování v Excelu je pro zápis naměřených hodnot připravena tabulka se 1/6-oktávovými kmitočty od 20 Hz do 16 kHz (signály s vyšším kmitočtem již nedokáže budící reproduktor reprodukovat s dostatečnou hladinou akustického tlaku). Vy budete ale měřit od kmitočtu v tabulce, který je nejbližší vyšší než vámi spočítaný minimální kmitočet měření. Pokud vám tento kmitočet vyšel nižší než 120 Hz, zkontrolujte výpočet.

Postupujte přesně podle následujícího návodu, abyste nepoškodili budící reproduktor:

1. Nastavte zesílení výkonového zesilovače v obou kanálech na minimum a teprve potom jej zapněte a počkejte, až zhasnou červené kontrolky „Clip/Protect“.
2. Zapněte ochranu reproduktoru (černý box Speaker protection).
3. Zapněte generátor Agilent, VYPNĚTE jeho výstup (tlačítko Output NESMÍ svítit) a zvolte harmonický průběh (tlačítko Sine musí svítit).
4. Nastavte kmitočet generátoru (první levé tlačítko pod displejem označené Freq) na kmitočet uvedený v tabulce ve vypracování, který je nejbližší vyšší než vámi spočítaný minimální kmitočet měření, ale ne na méně než 120 Hz.
5. Nastavte amplitudu generátoru (druhé levé tlačítko pod displejem označené Ampl) na hodnotu $10 \text{ mV}_{\text{RMS}}$.
6. Nastavte zesílení kanálu 1 zesilovače na polovinu rozsahu.
7. Aktivujte výstup generátoru Agilent (tlačítko Output musí svítit).

Nyní nastavte kmitočet generátoru podle kmitočtů v tabulce od vámi spočítaného minimálního kmitočtu měření až po kmitočet 16 kHz. Pro každý kmitočet nastavte výstupní napětí generátoru na takovou hodnotu, aby akustický tlak změřený analyzátozem AL1 byl 80 dB(SPL) s přesností $\pm 0,1 \text{ dB(SPL)}$ (na nízkých kmitočtech může být přesnost nižší). Hodnoty výstupního napětí generátoru pro každý kmitočet si poznačte do tabulky na listu „měřený mikrofon“ vašeho vypracování do sloupečku „budící napětí zesilovače“. Hodnoty by neměly přesáhnout zhruba 350 mV (značně ale záleží na nastavení zesílení na zesilovači). Pokud se této hodnotě přiblížíte na kmitočtech nad 12 kHz, tak už měření ukončete. Po skončení měření vypněte generátor tlačítkem Output. Zamyslete se nad změřenou závislostí a uvědomte si, že na ni nemá vliv jen kmitočtová charakteristika reproduktoru v ozvučnici, ale i prostor, do kterého reproduktor vyzařuje, a pozice měrného mikrofonu.

ad 2) Měření kmitočtové odezvy mikrofonu

Nyní vyjměte měrný mikrofon MiniSPL z držáku v boxu a nahradte jej měřeným mikrofonem Sennheiser. Ten umístěte do vzdálenosti o 1 cm níže než mikrofon MiniSPL, tj. cca 45 cm od budícího reproduktoru, protože vložka mikrofonu je asi 1 cm pod krytem mikrofonu. Bezodrazový box zavřete.

Na analyzátoru AL1 aktivujte menu *RMS/THD* (tlačítko *ESC*, poté *Enter* ↵, šipkami vybrat „RMS/THD“ a stisknout ↵). Pokud není nastaveno měření v dBV , najed'te kurzorem na

jednotku za měřenou hodnotou, stiskněte ↵, šipkami nahoru/dolu vyberte „dBV“ a opět stiskněte ↵. Zkontrolujte také, jestli je nastavený váhový filtr „FLAT“.

Nyní na generátoru opět nastavujte kmitočty z tabulky a nastavujte jim odpovídající výstupní napětí generátoru, které jste si poznamenali v předcházejícím bodu. Nezapomeňte generátor opět zapnout. Na analyzátoru AL1 odečítejte výstupní napětí mikrofonu v dBV a zapisujte jej do sloupečku „kmitočtová char. mikrofonu pro 80 dB(SPL)“ tabulky ve vašem vypracování.

Abyste mohli změřenou kmitočtovou charakteristiku porovnat s výrobcem uváděnou charakteristikou v katalogovém listu, musíte ji vyjádřit pro buzení akustickým tlakem 1 Pa. Vy jste při měření použili hodnotu hladiny akustického tlaku 80 dB(SPL), proto musíte nejprve vaše změřené výsledky přepočítat pro buzení akustickým tlakem 1 Pa. Musíte tedy vědět, jaká hladina odpovídá akustickému tlaku 1 Pa a pak je výpočet jednoduchý: citlivost mikrofonu je nezávislá na akustickém tlaku, takže pokud je akustický tlak působící na mikrofon o n dB vyšší, bude i o n dB vyšší jeho výstupní napětí. Nezapomeňte také do výpočtu zahrnout korekci citlivosti referenčního mikrofonu MiniSPL, protože skutečný akustický tlak, který působil na měřený mikrofon Sennheiser, nebyl na všech kmitočtech roven 80 dB(SPL), protože mikrofon MiniSPL, kterým jste hladinu 80 dB(SPL) nastavovali, je na vysokých kmitočtech méně citlivý. Výsledky запиšte do sloupečku „kmitočtová char. mikrofonu pro 1 Pa“. Z hodnoty odezvy na 1 kHz určete pomocí rovnice (1) citlivost mikrofonu v mV/Pa a запиšte si ji do tabulky s parametry mikrofonu na listu „měřený mikrofon“.

ad 3) Měření ekvivalentní hladiny šumu

Vypněte výkonový zesilovač a generátor a na analyzátoru AL1 v režimu RMS/THD aktivujte váhový filtr „A-WTD“. Odečtete hodnotu výstupního napětí mikrofonu a pomocí rovnice (4) vypočítejte ekvivalentní hladinu šumu mikrofonu v dB(A) a запиšte si ji do vypracování. Výsledek měření je pouze orientační, protože do bezodrazového boxu částečně pronikají hluky zvenčí, zejména na nízkých kmitočtech, a pro přesné měření je také nutné mít voltmetr s vlastním šumem alespoň o řád (20 dB) nižším, než je předpokládaná hodnota vlastního šumu měřeného mikrofonu.