



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta elektrotechnická
Katedra radioelektroniky**

Měření parametrů přenosky gramofonu

Phono Cartridge Parameters Measurement

Bakalářská práce

Studijní program: Komunikace, multimédia, elektronika
Studijní obor: Multimediální technika
Vedoucí projektu: Ing. František Rund, PhD.

Jan Vimr

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Vimr** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **457165**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra radioelektroniky**
Studijní program: **Komunikace, multimédia a elektronika**
Studijní obor: **Multimediální technika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Měření parametrů přenosky gramofonu

Název bakalářské práce anglicky:

Phono Cartridge Parameters Measurement

Pokyny pro vypracování:

Seznamte se s parametry gramofonových přenosků a způsoby jejich stanovování. Navrhněte metodu stanovení přenosových vlastností přenosky s vyloučením použití měřicí desky. Metodu experimentálně ověřte s dostupnou přenoskou a výsledky porovnejte s výsledky měření klasickou metodou.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Dušek Karel, Záznam signálu. ČVUT v Praze 1989
- [2] Boleslav Aleš, Mikrofony a přenosky. SNTL 1962

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. František Rund, Ph.D., katedra radioelektroniky FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **12.02.2018** Termín odevzdání bakalářské práce: _____

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2019**

Ing. František Rund, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

_____ Datum převzetí zadání

_____ Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne

.....

Poděkování

Děkuji vedoucímu práce panu Ing. Františku Rundovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky jak při prováděných měřeních, tak při psaní této práce. Také děkuji firmě GZ Media, a.s. za zapůjčené vybavení.

Abstrakt

Práce se zabývá mechanickým záznamem zvuku, zejména gramofonovými přenoskami a způsoby měření jejich přenosových parametrů, tedy zejména přenosové charakteristiky a kmitočtové závislosti přeslechů mezi oběma kanály. V práci je popsána metoda měření pomocí měřících desek a dále navržena metoda měření, která používá k buzení přenosky vibrační stolek. Dále jsou popsána provedená měření oběma způsoby a zhodnoceny výhody, nevýhody a použití těchto metod.

Klíčová slova

Mechanický záznam zvuku, gramofonová přenoska, vibrační stolek, přenosová charakteristika, přeslech

Abstract

The thesis is concerned with mechanical sound recording, especially with phono cartridge parameters measurement, namely transmission characteristic and frequency dependence of crosstalk between each channels. There is a description of measurement with phono test records in the thesis and further a design of measurement that uses vibration exciter to generate signal in phono cartridge. Further is a description of measurements conducted in both ways and evaluation of their advantages, disadvantages and possible use of those methods.

Keywords

Mechanical sound recording, phono cartridge, vibration exciter, transmission characteristic, crosstalk

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Mechanický záznam zvuku	2
2.1	Princip a výroba záznamu	2
2.2	Princip snímání.....	3
3	Měření vlastností přenosek pomocí měřicí desky	5
3.1	Měření kmitočtové charakteristiky monofonních přenosek	5
3.2	Měření kmitočtové charakteristiky stereofonních přenosek.....	6
3.3	Měření přeslechu mezi jednotlivými kanály stereofonních přenosek	7
4	Návrh metody stanovení parametrů přenosek.....	8
4.1	Vibrační stolek	8
4.2	Uchycení přenosky	9
4.3	Směr buzení.....	11
5	Provedená měření.....	12
5.1	Měření pomocí měřicích desek.....	12
5.2	Měření vibračního stolku.....	15
5.3	Měření přenosové charakteristiky přenosky pomocí vibračního stolku	17
5.4	Měření přeslechů přenosky pomocí vibračního stolku	21
5.5	Porovnání metod měření.....	23
6	Závěr	25
	Seznam použité literatury.....	26
	Seznam příloh	27

1 Úvod

Mechanický záznam zvuku je v posledních letech opět velmi žádaným médiem a množství výroby gramofonových desek je opět na vzestupu. Výrobci se snaží dosáhnout co nejvyšší kvality, a proto je potřeba umět porovnat signál před záznamem se signálem, který se skutečně podařilo zaznamenat. Vyrobenu desku je tedy nutné reprodukovat pomocí co nejkvalitnější gramofonové přenosky. Pro výrobní závod je tedy důležité co nejpřesněji znát přenosové vlastnosti použité přenosky, aby při porovnávání signálů bylo možné rozeznat, k jakému zkreslení došlo při výrobě gramofonové desky.

Pro měření vlastností přenosek se standardně používají měřicí desky. Ty jsou ale primárně určeny ke správnému seřízení gramofonu běžným uživatelem, ale pro výrobní závod se příliš nehodí, což bude dále komentováno.

Cílem této bakalářské práce je seznámení se s metodami měření přenosových parametrů gramofonových přenosek a dále navrhnout a experimentálně vyzkoušet metodu, která by umožnila měření parametrů přenosky bez použití měřicí desky.

V první části je stručně popsán mechanický záznam zvuku a jeho reprodukce pomocí gramofonové přenosky. V další kapitole je pak popsáno měření parametrů přenosek pomocí měřicí desky. V kapitole 4 je návrh metody měření parametrů přenosek, kde je k buzení přenosky místo měřicí desky využit vibrační stolek. Kapitola 5 popisuje provedená měření, jak standardní metodou s měřicí deskou, tak měření navrženou metodou, a dosažené výsledky.

2 Mechanický záznam zvuku

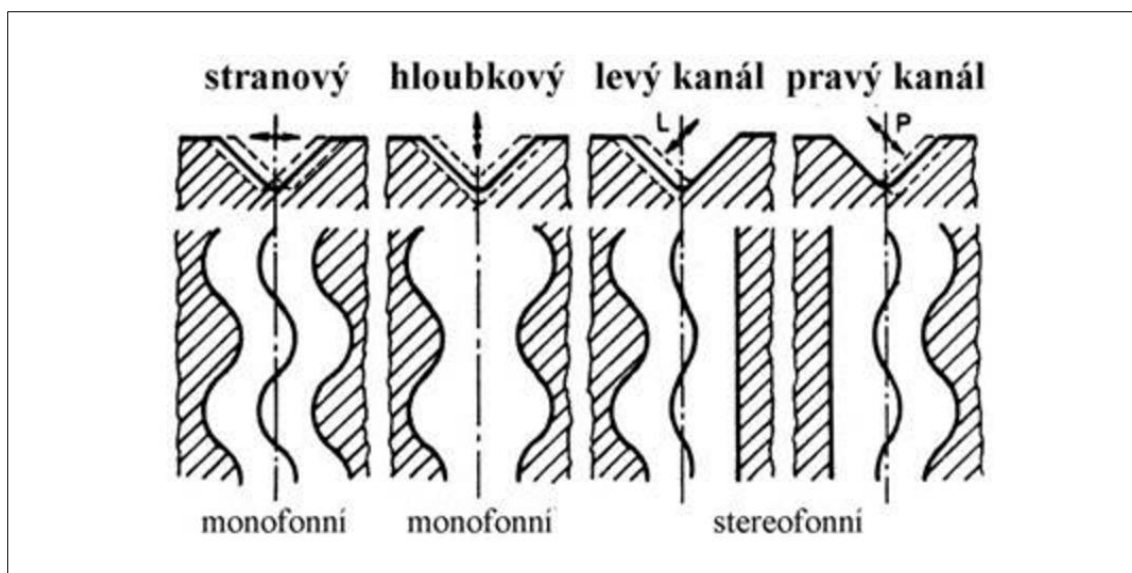
2.1 Princip a výroba záznamu

Mechanický záznam zvuku je založen na mechanické deformaci záznamového materiálu řezacím nožem úměrně k okamžité hodnotě analogového elektrického signálu, který je přiváděn do řezací hlavy. Záznam se provádí na kruhovou desku, která se otáčí rovnoměrnou úhlovou rychlostí, v podobě spirálové drážky trojúhelníkového průřezu [1].

Originální záznam je řezán přímo do měděné vrstvy nebo do měkké lakové vrstvy, v závislosti na použité technologii. Z originálu se pak zhotoví galvanoplasticky lisovací matrice, které slouží k hromadné výrobě gramofonových desek z vinylové hmoty [2].

Základní typy záznamu jsou hloubkový a stranový. Při hloubkovém záznamu se řezací nůž pohybuje ve směru kolmém k rovině záznamového materiálu a u stranového se pohybuje ve směru rovnoběžném s povrchem záznamového materiálu a kolmo na osu zaznamenávané drážky. Oběma způsoby lze zaznamenat monofonní signál, avšak v současnosti se pro tento účel využívá výhradně záznamu stranového [1].

Stereofonní dvoukanalový záznam je kombinací dvou záznamů v navzájem kolmých rovinách. Je prováděn do drážky, jejíž strany svírají s povrchem desky úhel 45° . Pravému kanálu náleží zpravidla vnější stěna drážky, levému stěna vnitřní. Tento způsob záznamu se také nazývá záznamová technika $45^\circ/45^\circ$. Na obr. 2.1 je znázorněn princip všech jmenovaných typů mechanického záznamu zvuku [1].



Obr. 2.1: Princip mechanického záznamu [3]

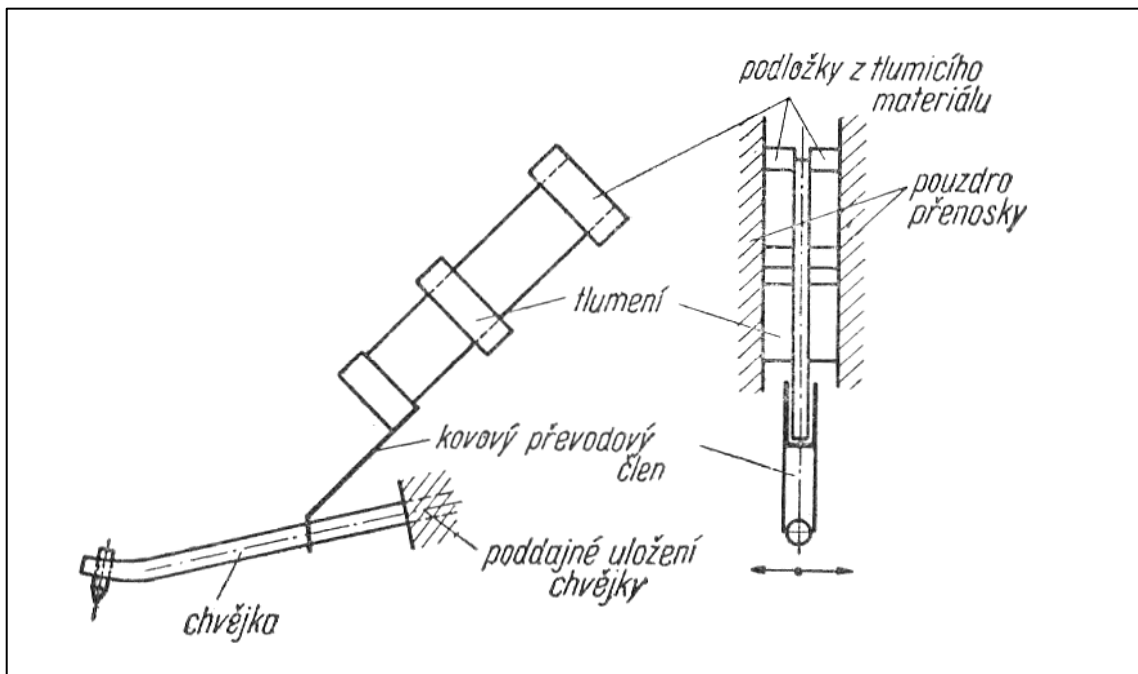
Stereofonní záznam je prováděn tak, že pokud je signál v obou kanálech stejný, je výsledný záznam pouze stranový. Stereofonní záznam je tak kompatibilní s monofonním stranovým záznamem. Hloubková složka záznamu se objeví, pokud je signál v levém a pravém kanálu odlišný. Tato složka je vždy podstatně menší, než složka stranová [1].

2.2 Princip snímání

Pro snímání mechanického záznamu se používá gramofonová přenoska. Ta přeměňuje mechanickou energii na elektrickou, podobně jako elektromechanický měnič mikrofону. Skládá ze snímacího hrotu, mechanické soustavy přenášející pohyb hrotu na elektromechanický měnič a z elektromechanického měniče, také nazývaného systém přenosky. Snímací hrot se při snímání dotýká boků drážky, nikoliv jejího dna. Musí být zhotoven z tvrdého materiálu odolného proti opotřebení, nejčastěji safíru nebo diamantu. Obvykle má eliptický průřez a při snímání je delší osa kolmá na osu drážky. Snímací hrot je upevněn na konci chvějky z plechového pásku, která přenáší pohyb hrotu na vlastní elektromechanický měnič. Musí být řešena tak, aby její vlastní rezonance byla co nejvyšší, nejlépe mimo přenášené pásmo, a aby se u ní neuplatňovaly rušivé druhy kmitání [4].

U přenosků se rozlišují různé druhy elektromechanických měničů podle fyzikálních principů, na kterých pracují. Nejčastěji používané jsou přenosky piezoelektrické a magnetodynamické [5].

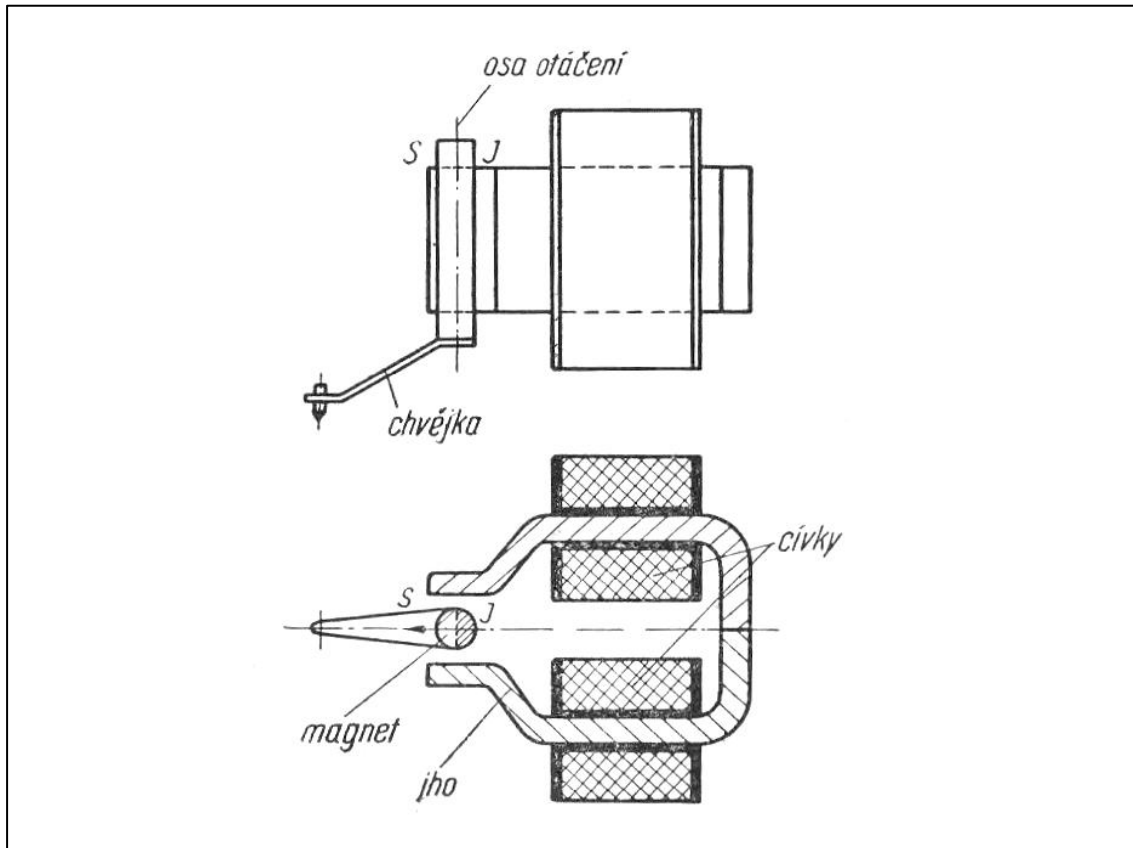
Piezoelektrická neboli krystalová přenoska využívá k převodu mechanické energie na elektrickou piezoelektrický jev. Na měnič působí síla úměrná výchylce snímacího hrotu upevněného na chvějce s malou hmotností. Jedná se tedy o výchylkový systém, jelikož velikost napětí na polepech krystalu je přímo úměrná síle, která působí na krystal, a tedy i výchylce jehly v drážce gramofonové desky [4]. Na obr. 2.2 je znázorněn princip měniče piezoelektrické přenosky. Výhodou oproti jiným systémům je poměrně velké výstupní napětí v řádu desetin voltů. Tento typ přenosky nepotřebuje korekční předzesilovač [5].



Obr. 2.2: Princip piezoelektrické přenosky [4]

U magnetodynamické přenosky je principem převodu mechanické energie na elektrickou pohyb cívky vůči magnetickému poli permanentního magnetu. Na vinutí cívky se indukuje napětí úměrné rychlosti vzájemného pohybu magnetu a cívky, jedná se tedy o rychlostní systém. Rozlišují se dva základní typy, a to s pohyblivým magnetem a s pohyblivou cívkou. Na

pohyblivý magnet (resp. cívku) je přenášen pohyb snímacího hrotu v drážce gramofonové desky. Princip magnetodynamické přenosky s pohyblivým magnetem je naznačen na obr. 2.3. Magnetodynamické přenosky potřebují korekční předzesilovač [4]. Jejich výhodou je, že stačí menší přitlačná síla než u přenosů výchylkových. Nevýhodou je slabší výstupní signál, a to v řádu jednotek milivoltů [5].



Obr. 2.3: Princip magnetodynamické přenosky [4]

3 Měření vlastností přenosek pomocí měřicí desky

Text následující kapitoly vychází z literatury [6], pokud není uvedeno jinak.

Pro správnou funkci musí být gramofon správně seřízen. Proto existuje sada měřících gramofonových desek, jejichž přehráním lze zkontrolovat správné nastavení gramofonu. Tyto desky jsou určeny zejména pro širokou veřejnost, jelikož umožňují snadné měření elektrických a mechanických vlastností gramofonu. Touto metodou je však obtížné určit vlastnosti gramofonové přenosky, jelikož naměřené signály mohou být ovlivněny dalšími součástmi gramofonu. Na kmitočtové charakteristice se mohou objevit ostrá minima a maxima, způsobená dílčími rezonancemi, zejména rezonancemi raménka [7].

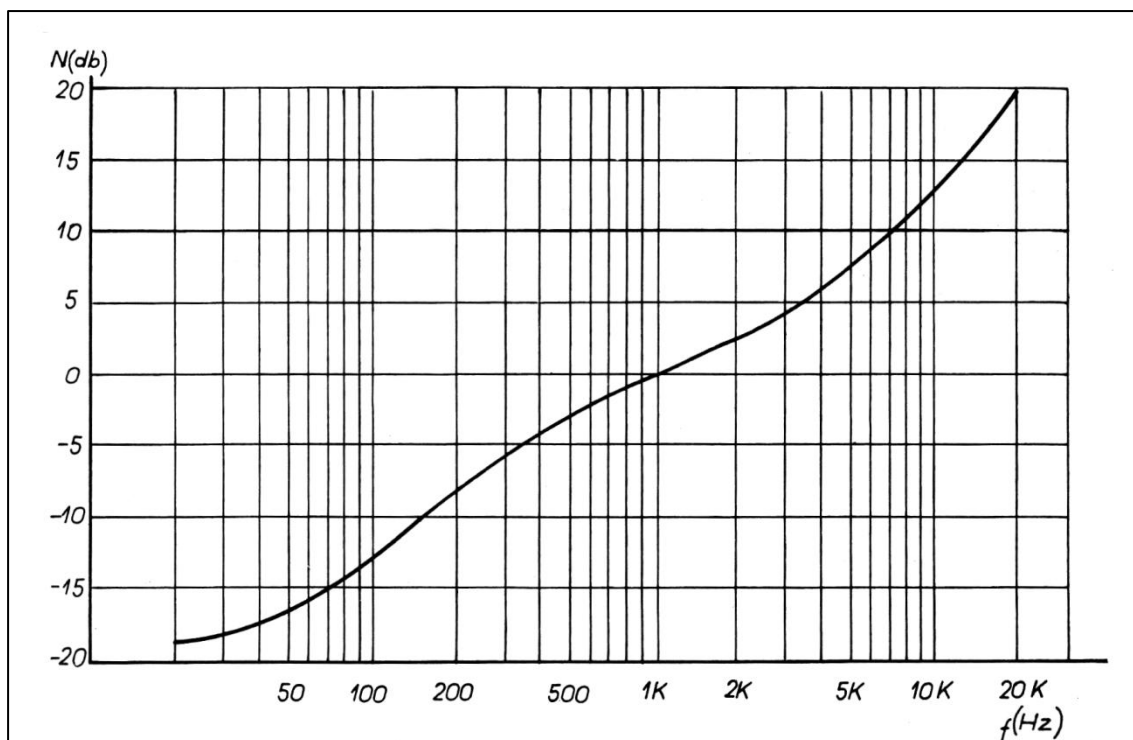
3.1 Měření kmitočtové charakteristiky monofonních přenosek

Standardní měřicí deska sloužící k měření kmitočtové charakteristiky monofonních přenosek má na straně 1 zaznamenány v jednotlivých pásmech sinusové signály o kmitočtech podle tabulky 3.1. Postupným odčítáním příslušných výstupních napětí pro jednotlivé zaznamenané kmitočtové signály lze získat kmitočtovou charakteristiku.

f (kHz)	1	16	14	12,5	10	8	6,3	4	2	1
f (Hz)	500	250	125	80	63	40				

Tabulka 3.1: Zaznamenané kmitočty na měřicí desce [6]

Nejvyšší kmitočet je zaznamenán u obvodu desky za referenčním kmitočtem 1 kHz, který je zaznamenán s efektivní záznamovou rychlostí $1 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$. Signály jsou zaznamenány podle normalizované záznamové charakteristiky, viz obr. 3.1, která udává závislost záznamové rychlosti na kmitočtu.



Obr. 3.1: Normalizovaná záznamová charakteristika [6]

Při měření přenosů pracujících na magnetickém principu, kde je výstupní napětí úměrné rychlosti snímacího hrotu, je v ideálním případě výsledkem průběh odpovídající záznamové charakteristice, viz obr. 3.1. Je-li použit korekční předzesilovač, bude výsledkem v ideálním případě průběh lineární. Při měření piezoelektrických přenosů, kde je výstupní napětí úměrné výchylce snímacího hrotu, dostáváme v hrubém přiblížení průběh lineární.

Na straně 2 měřicí desky je za stejných podmínek jako na straně 1 proveden záznam s plynule proměnným kmitočtem v rozsahu 16 kHz až 40 Hz. Nejvyšší kmitočet je opět zaznamenán u obvodu desky. Jelikož je přenoska mechanický kmitavý obvod, objevují se na kmitočtové charakteristice, zvláště u přenosů levnějších typů, rezonanční vrcholy, ty je možné odhalit měřením na tomto záznamu.

3.2 Měření kmitočtové charakteristiky stereofonních přenosů

Záznam na desce sloužící k měření kmitočtové charakteristiky stereofonních přenosů je proveden podle stejných zásad jako u desky monofonní, s tím rozdílem, že deska obsahuje pouze diskrétní kmitočty, a to na straně 1 pro levý reprodukční kanál a na straně 2 pro kanál pravý. Deska je zaznamenána záznamovou technikou $45^\circ/45^\circ$. Pro měření kmitočtové charakteristiky stereofonních přenosů platí stejný postup, jaký byl uveden pro měření přenosů monofonních.

3.3 Měření přeslechu mezi jednotlivými kanály stereofonních přenosů

Důležitým ukazatelem kvality stereofonních přenosů je přeslech signálu do sousedního kanálu, vznikající špatným oddělením pohybových směrů na měničích přenosky. Přeslech je kmitočtově závislý a zvětšuje se na obou okrajích přenášeného kmitočtového pásma. Pro měření se použije měřicí deska se stereofonním záznamem, kde v jednom kanálu je signál se jmenovitou úrovní a ve druhém signál s nulovou hodnotou. Standardně se toto měření provádí na sinusových signálech o kmitočtech 1 kHz a 6,3 kHz, které bývají zaznamenány nejprve v levém a následně v pravém kanálu. Objektívni měření přeslechu přenosky vyžaduje gramofon s dostatečným odstupem rušivého signálu vyvolaného chvěním.

Velikost přeslechu je dána vztahem:

$$P = 20 \cdot \log \frac{U_p}{U_s} \text{ (dB)}. \quad (3.1)$$

kde U_s značí napětí v kanálu, kde byl zaznamenán signál, a U_p značí přeslechové napětí v kanálu druhém [1].

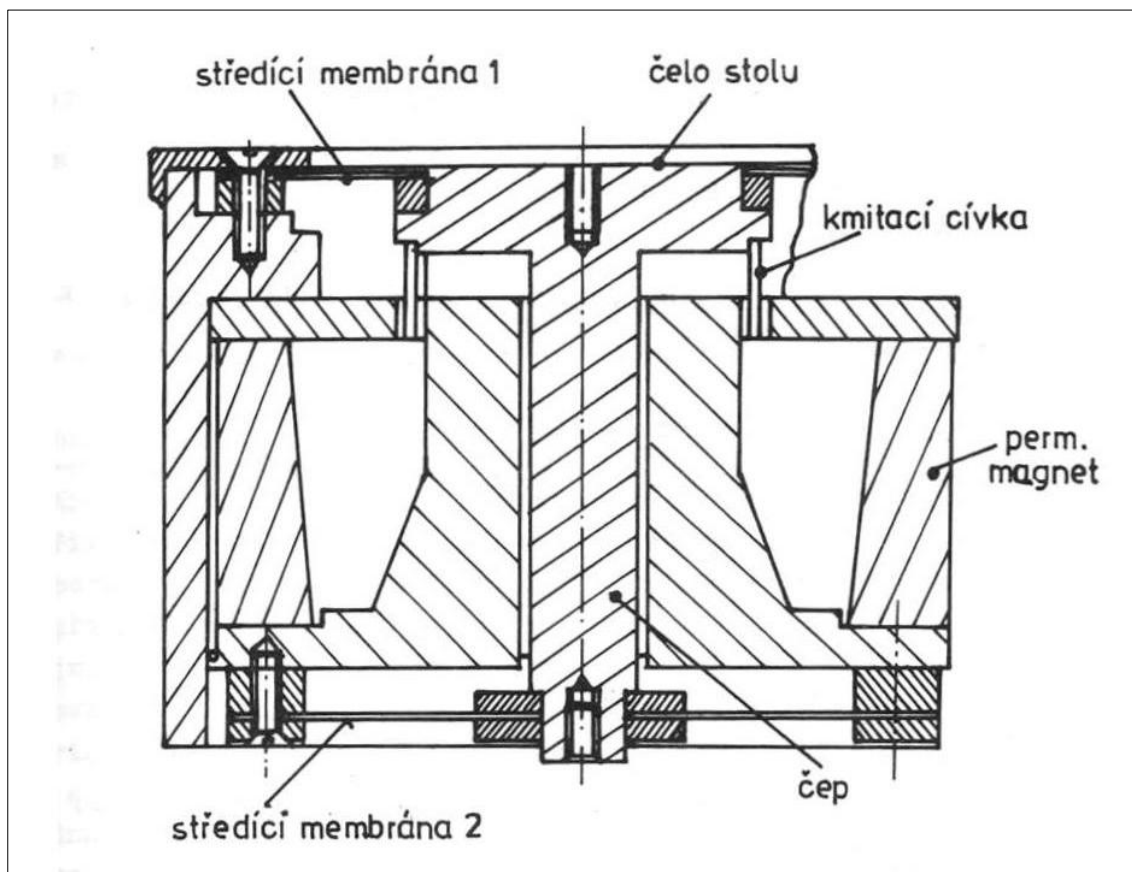
4 Návrh metody stanovení parametrů přenosek

Pro závod vyrábějící gramofonové desky je nutné umět změřit přenosové parametry přenosek jinou metodou než použitím měřicí desky. Pro zjištění kvality mechanického záznamu na vyrobené gramofonové desce je nutné desku reprodukovat a porovnat signál před záznamem se signálem skutečně zaznamenaným. Proto je potřeba znát co nejpřesněji parametry přenosky použité k reprodukci desky, a to zejména její přenosovou charakteristiku a kmitočtovou závislost přeslechů mezi jednotlivými kanály. Proto bylo úkolem této práce navržení metody stanovení přenosových vlastností přenosky s vyloučením použití měřicí desky.

Navržená metoda využívá k vybuzení signálu v přenosce vibrační stolek. Na ten se umístí speciálně navržené držáky opatřené vzorkem gramofonové desky a raménko s přenoskou se uchytí do navrženého stojáčku, což je dále podrobněji popsáno.

4.1 Vibrační stolek

Vibrační stolek je zařízení, které pracuje zpravidla na elektrodynamickém principu. Jeho vnitřní uspořádání, viz obr. 4.1, je podobné elektrodynamickému reproduktoru. Kmitací cívka uložená v poli permanentního magnetu je spojena s duralovým čepem, který je připevněn ke dvěma středícím membránám. Je stanovena závislost mezi budící elektrickou veličinou a zrychlením. Na čep umístěný akcelerační snímač je tedy podroben zrychlení, které je úměrné budícímu proudu a činiteli měniče a nepřímo úměrné hmotnosti čepu. Hmotnost snímače bývá malá a není třeba ji uvažovat [8].



Obr. 4.1: Vnitřní uspořádání vibračního stolku ESE 201 [8]

Vibrační stůl se obvykle používá k provádění různých vibračních testů. Ty mohou odhalit skryté konstrukční slabiny různých výrobků a jejich součástí, které by se projevily až při přepravě nebo při používání. Takto lze zlepšit odolnost proti mechanickému poškození, zejména u výrobků určených ke každodennímu použití [9].

V tomto projektu by měl být vibrační stůl využit k vybuzení signálu v gramofonové přenosce. Měl by tedy simulovat záznam v drážce gramofonové desky. K měření byl použit vibrační stůl ESE 201, výrobce VEB Schwingungstechnik und Akustik Dresden, viz obr. 4.2.



Obr. 4.2: Vibrační stůl ESE 201

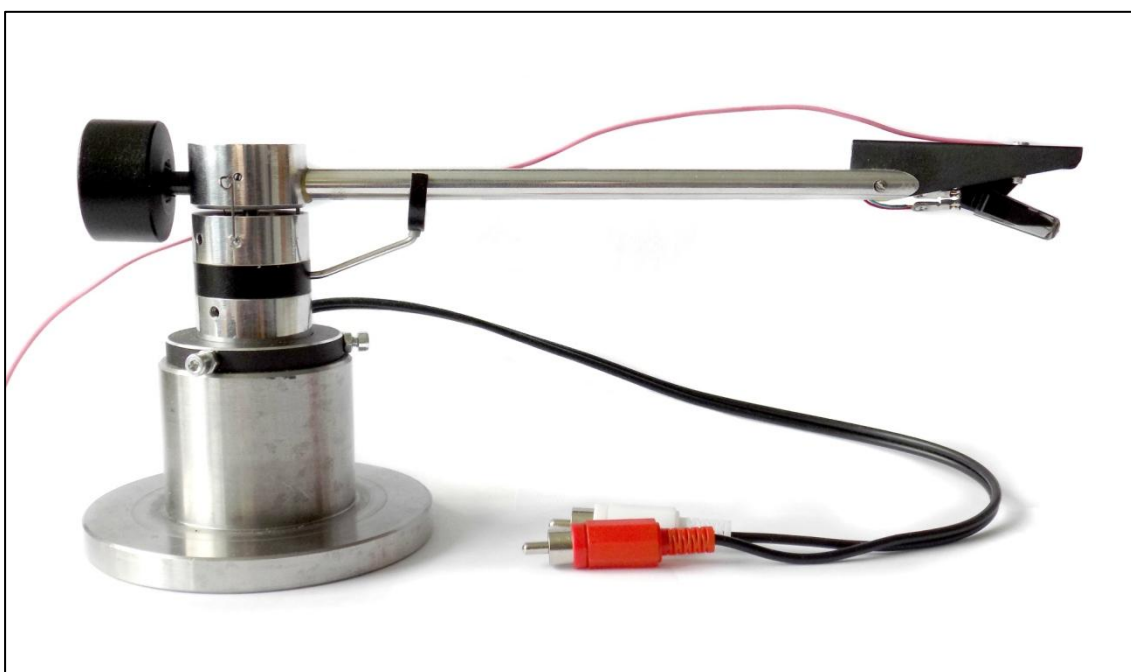
4.2 Uchycení přenosky

K projektu byly firmou GZ Media, a.s. zapůjčeny dvě magnetodynamické přenosky, a to Reloop OM black od firmy Ortofon, viz obr. 4.3, a Ortofon OM 5E. Obě přenosky pracují na principu pohyblivého magnetu. Pro přenosky tohoto typu je typická zatěžovací impedance 47 k Ω . Proto byl zapůjčen také korekční předzesilovač Technolink TC-760LC, který je vybaven impedančně přizpůsobenými vstupy pro signály z magnetodynamických přenosků jak s pohyblivým magnetem, tak pohyblivou cívkou.



Obr. 4.3: Přenoska Reloop OM black od firmy Ortofon [10]

Přípravek pro uchycení přenosky byl navržen tak, aby nedocházelo k nepřiměřenému zatížení snímacího hrotu. Přenoska byla uchycena ve standardním gramofonovém raménku, zapůjčeném firmou GZ Media, a.s., které je vybaveno posuvným závažím, kterým lze raménko přesně vyvážit. Pokud by byla přenoska k vibračnímu stolku připevněna jiným způsobem, bylo by těžké nastavit správnou přítlačnou sílu, která působí na snímací hrot. Pro uchycení použitého raménka byl navržen speciální stojánek, ve kterém je celá sestava dostatečně stabilní a zároveň umožňuje snadnou manipulaci, viz obr. 4.4.

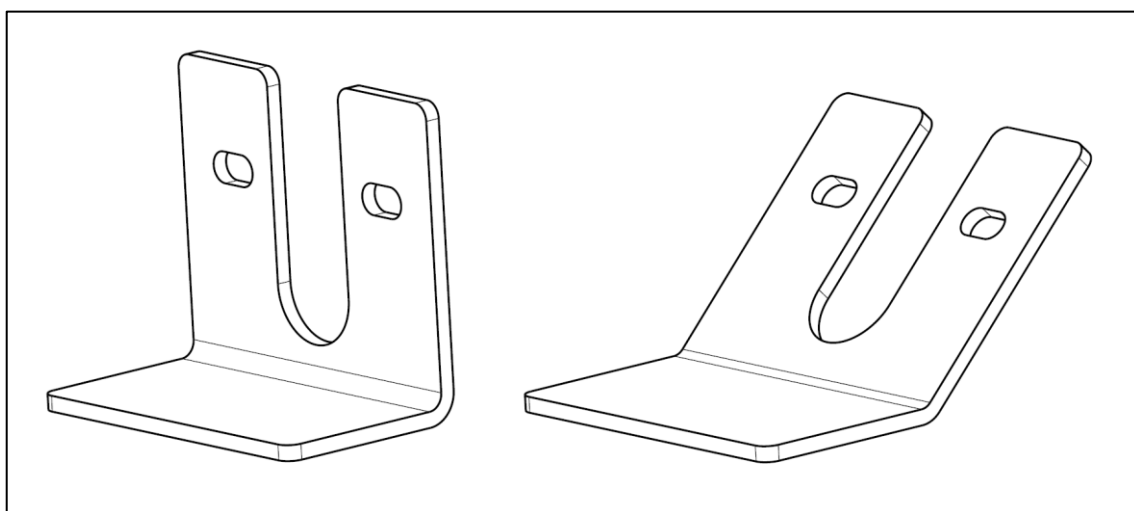


Obr. 4.4: Gramofonové raménko s přenoskou uchycené ve stojánku

4.3 Směr buzení

Pro simulaci hloubkového záznamu, resp. vertikální složky stereofonního dvoukanalového záznamu by mělo stačit umístit na vibrační stolek vzorek gramofonové desky a hrot přenosky umístit do drážky tak, aby byl pohyb čepu vibračního stolku přenesen na jehlu přenosky, ale nikoliv na její tělo, které by v ideálním případě mělo zůstat v klidu.

Aby bylo možné simulovat také stranový a stereofonní záznam byly navrženy speciální držáky, viz obr 4.5, které lze přišroubovat přímo k čepu vibračního stolku. Na držáky je možné přilepit vzorek gramofonové desky. Držáky byly vyrobeny z 3 mm tlustého plechu z nerezové oceli a byly ohnuty o úhel 90°, resp. 45°, takže mohou simulovat stranový záznam, resp. jeden kanál stereofonního záznamu. Druhý jmenovaný držák by tak mohl sloužit i k měření přeslechů, za předpokladu, že se podaří vybudit v přenosce dostatečně velký signál, aby i přeslech v druhém kanálu byl dostatečně nad úroveň šumu pozadí.



Obr. 4.5: Držáky pro simulaci mechanického záznamu zvuku na vibračním stolku

5 Provedená měření

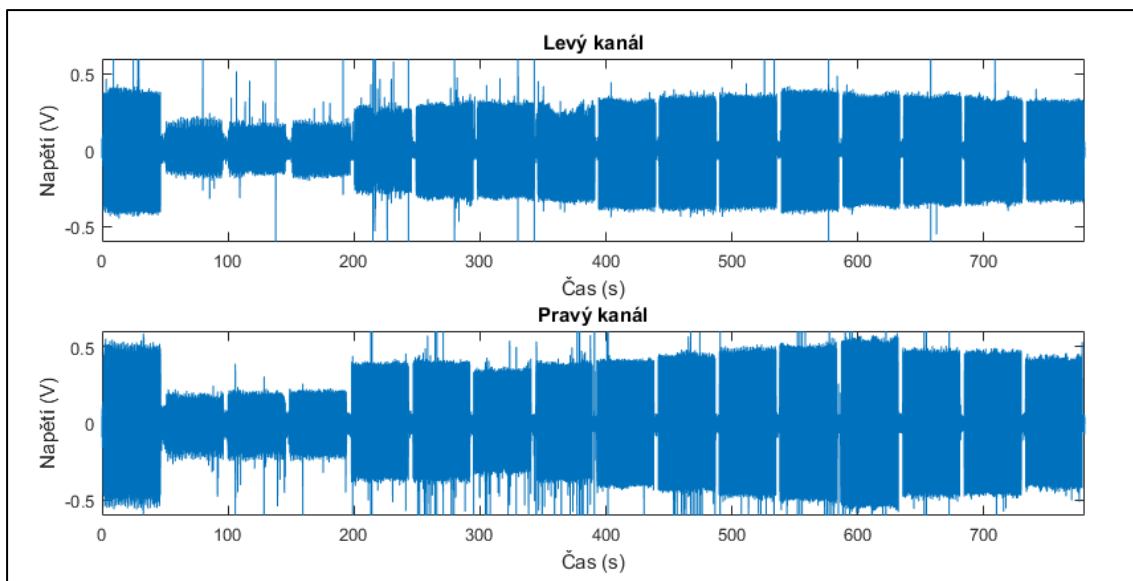
5.1 Měření pomocí měřicích desek

Pro měření byly k dispozici tři měřicí desky od firmy Supraphon a to Stereofonní kmitočtová měřicí deska, Monofonní kmitočtová měřicí deska a Měřicí deska pro kontrolu odstupu, kolísání, přeslechu a snímavosti. Záznam z měřicích desek byl nahrán do počítače, kde mohl být analyzován. Měřicí deska byla přehrána na gramofonu a signál z přenosky byl přes korekční předzesilovač přiveden na externí zvukovou kartu připojenou k počítači. Záznam byl proveden v programu Adobe Audition a uložen ve formátu WAV. Další zpracování pak proběhlo v programu MATLAB.

Použité přístroje:

Počítač	MSI; MS-1221
Externí zvuková karta	RME; Fireface 800
Gramofon	Pro-Ject Essential
Gramofonová přenoska	Ortofon; OM 3E
Korekční předzesilovač	Technolink; TC-760LC

Záznam stereofonní kmitočtové měřicí desky je na obr. 5.1. Na straně 1 této desky jsou zaznamenány kmitočty podle tabulky 3.1 v levém kanálu a na straně 2 je shodný záznam v kanálu pravém. Kmitočty nad 10 kHz jsou z technických důvodů zaznamenány s úrovní o 6 dB nižší, což bylo korigováno při vynášení kmitočtové charakteristiky, viz obr 5.2.



Obr. 5.1: Záznam stereofonní kmitočtové měřicí desky

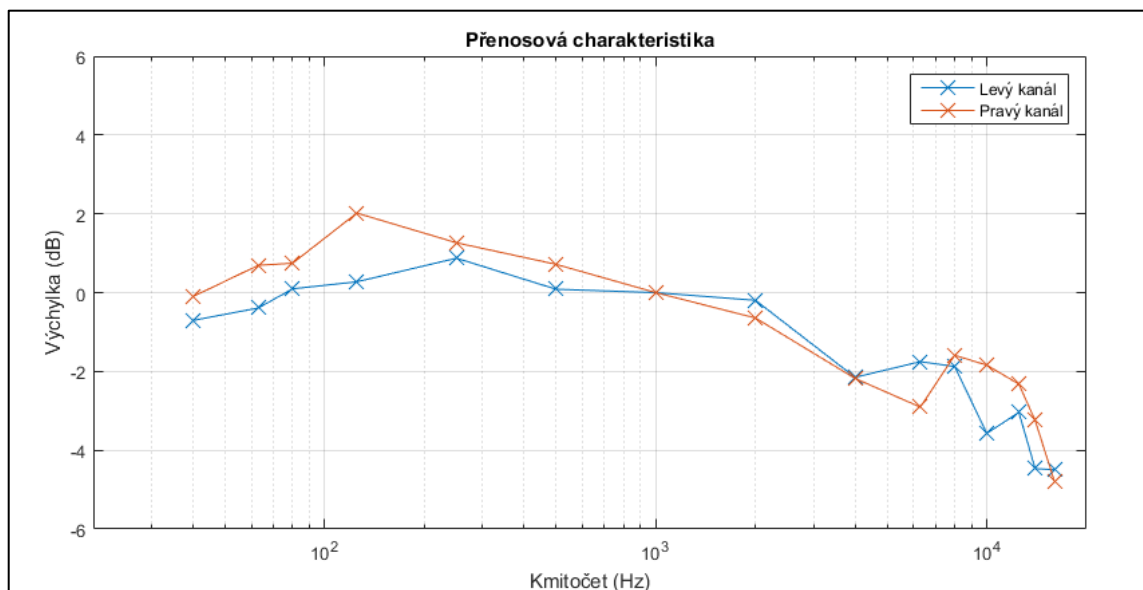
Ze signálů zaznamenaných na desce je možné získat kmitočtovou charakteristiku v diskretních bodech. Nejprve je nutné z jednotlivých úseků signálů vypočítat efektivní hodnotu, ta je z definice počítána podle vzorce:

$$U_{\text{ef}} = \sqrt{\frac{\int_0^T u^2(t) dt}{T}} \text{ (V)}. \quad (5.1)$$

Tuto hodnotu je poté nutno přepočítat na dB podle vzorce:

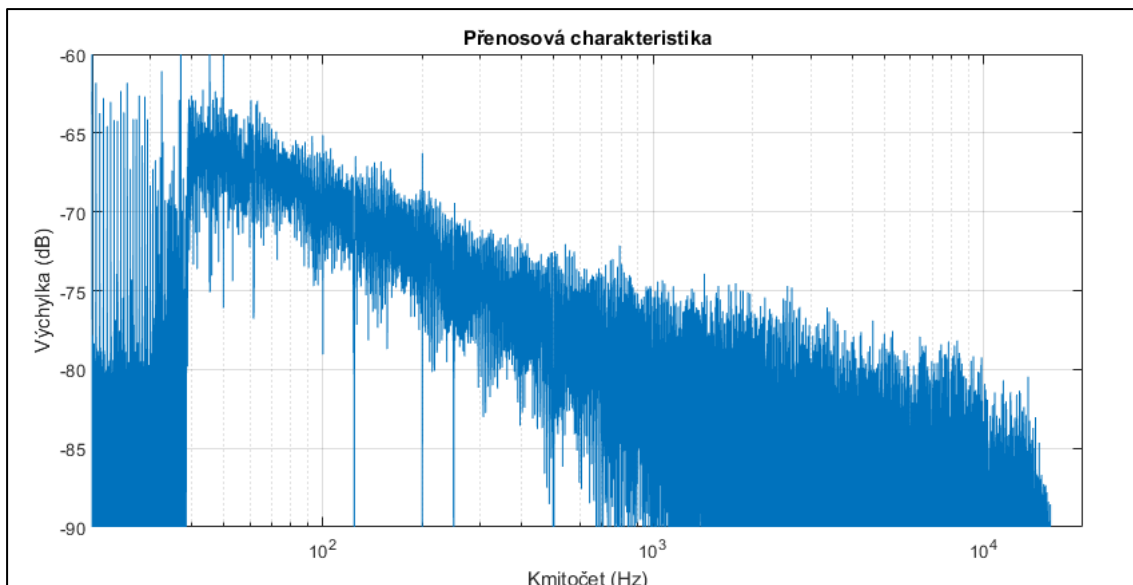
$$U_{\text{efdB}} = 20 \cdot \log \frac{U_{\text{ef}}}{U_0} \text{ (dB)}, \quad (5.2)$$

kde U_0 je vypočtená hodnota pro kmitočet 1 kHz. Vynesením těchto bodů do grafu získáme kmitočtovou charakteristiku pro oba kanály, viz obr. 5.2. Popsané operace jsou zautomatizovány ve skriptu přenosova_char.m, vytvořeném v programu MATLAB, viz příloha č. 1.



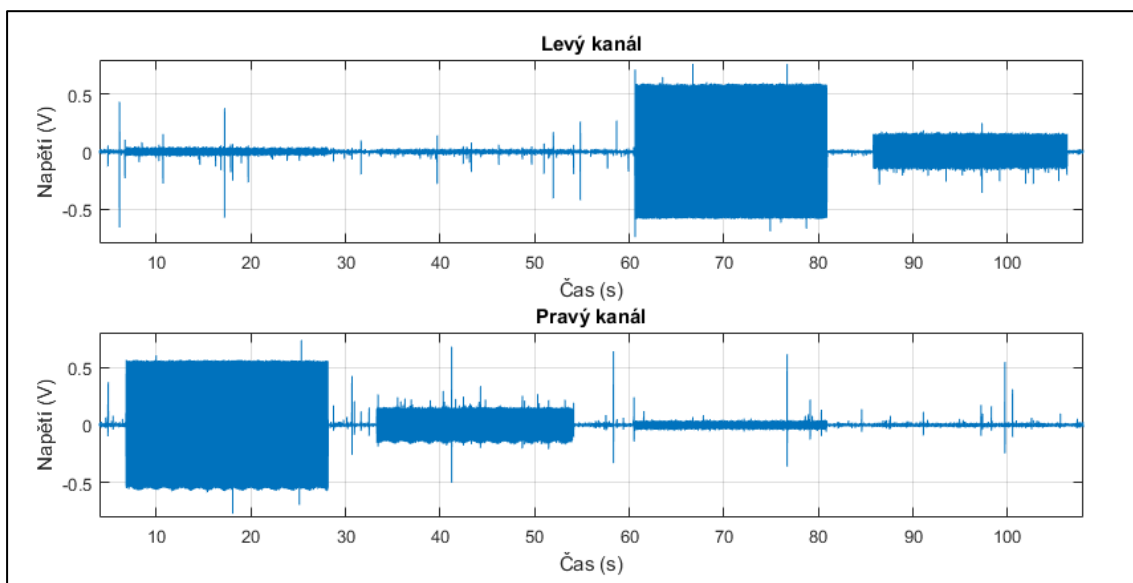
Obr. 5.2: Kmitočtová charakteristika přenosky stanovená měřicí deskou

Na monofonní kmitočtové desce byl analyzován záznam s plynule proměnným kmitočtem. Ten by měl sloužit zejména k odhalení rezonancí přenosky. Byl opět zaznamenan do počítače, kde byl celý časový průběh pomocí rychlé Fourierovy transformace přepočítán na spektrum, viz skript klouzavy_ton.m v příloze č. 1. Opět bylo před vynesením charakteristiky nutné korigovat kmitočty vyšší než 10 kHz, které byly zaznamenány s úrovní o 6 dB nižší než ostatní kmitočty. Vzhledem k tomu, že se nepodařilo získat přesnější výsledky, než jaké jsou uvedeny na obr. 5.3, nebylo v analýze tohoto signálu pokračováno.



Obr. 5.3: Kmitočtová charakteristika přenosky měřená měřicí deskou s plynule proměnným kmitočtem

Z měřicí desky pro kontrolu odstupů, kolísání, přeslechu a snímavosti bylo zaznamenáno pouze čtvrté až sedmé záznamové pásmo, kde jsou zaznamenány signály určené k měření přeslechu mezi levým a pravým kanálem, viz obr. 5.4. Na desce jsou zaznamenány kmitočty 1 kHz a 6,3 kHz, a to nejprve v levém a následně v pravém kanálu.



Obr. 5.4: Signály z měřicí desky určené k měření přeslechů

Z podílu amplitud signálu v kanálu se záznamem a nežádoucího signálu v druhém kanálu získáme hodnotu přeslechu. Postup výpočtu je obdobný jako při určování kmitočtové charakteristiky. Nejprve se vypočte efektivní hodnota jednotlivých úseků signálu. Podíl těchto

hodnot se obvykle udává v decibelech, viz vzorec 3.1. Hodnoty byly vypočteny ve skriptu stanoveni_preslechu.m, viz příloha č. 1. Výsledné hodnoty udává tabulka 5.1.

Kmitočet (kHz)	Přeslech L->R (dB)	Přeslech R->L (dB)
1,0	-27,7	-26,4
6,3	-21,4	-23,7

Tabulka 5.1: Vypočtené hodnoty přeslechů

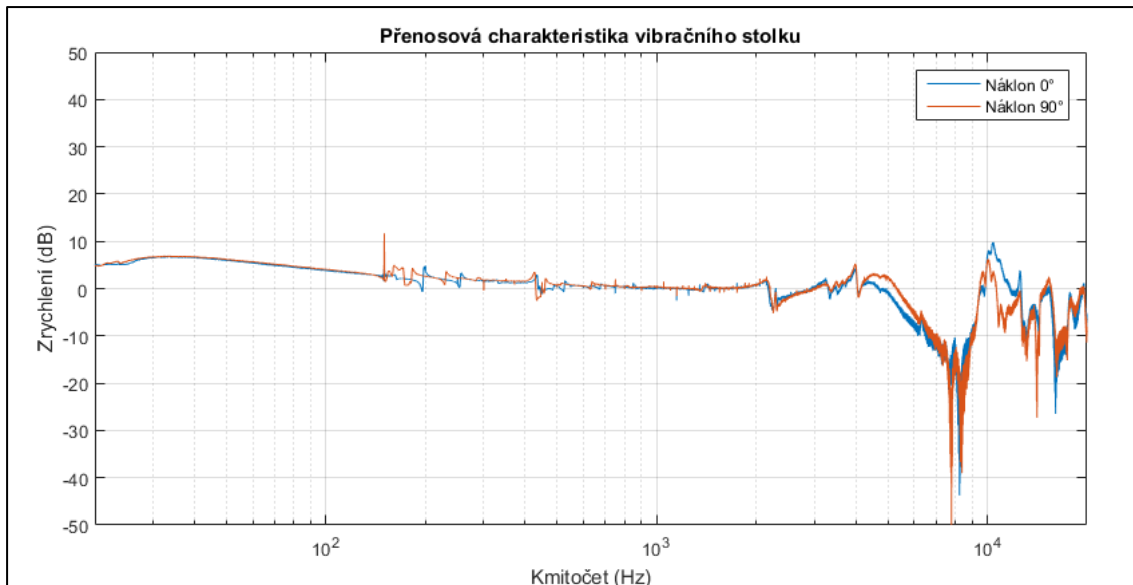
5.2 Měření vibračního stolku

Předtím než mohla být měřena gramofonová přenoska, bylo třeba změřit přenosovou charakteristiku vibračního stolku. Vibrační stolek byl buzen přes výkonový zesilovač, který byl připojen k externí zvukové kartě počítače. Vibrace byly snímány akceleračním snímačem a signál z něj byl přiváděn přes zesilovač ke stejné zvukové kartě. V programu EASERA tak bylo možno sledovat impulzní odezvu měřenou logaritmickým sweepem a přepočítat ji na spektrum. Impulzní odezva byla také uložena ve formátu WAV, takže ji bylo možno načíst do programu MATLAB, kde mohla být dále analyzována a pomocí rychlé Fourierovy transformace přepočítána na kmitočtovou charakteristiku.

Použité přístroje:

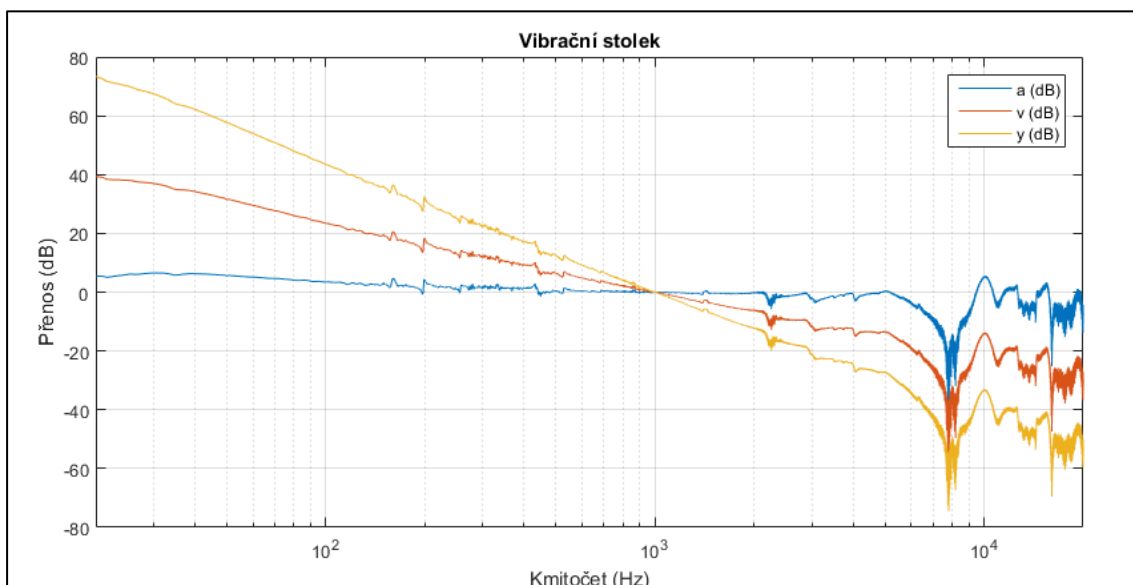
Počítač	MSI; MS-1221
Externí zvuková karta	M-Audio; Fast Track PRO
Výkonový zesilovač	Brüel & Kjaer; 2706
Vibrační stolek	VEB Schwingungstechnik und Akustik; ESE 201
Akcelerační snímač	Brüel & Kjaer; 4374
Zesilovač	Brüel & Kjær; 2635
Zdroj napětí	Brüel & Kjær; 2805

Naměřené charakteristiky pro náklon stolku 0° a 90° , vytvořené pomocí skriptu náklon_stolku.m, viz příloha č. 1, jsou na obr. 5.5. Hodnoty jsou vztažené k naměřené hodnotě na kmitočtu 1 kHz. Charakteristika je poměrně lineární v oblasti kmitočtů menších než cca 5 kHz. Z naměřené charakteristiky je jasné, že nakloněním stolku dojde k posunu některých jeho dílčích rezonancí. Akcelerační snímač by se v naměřeném průběhu neměl výrazně projevit, jelikož má plochou charakteristiku v celém měřeném pásmu od 20 Hz do 20 kHz.



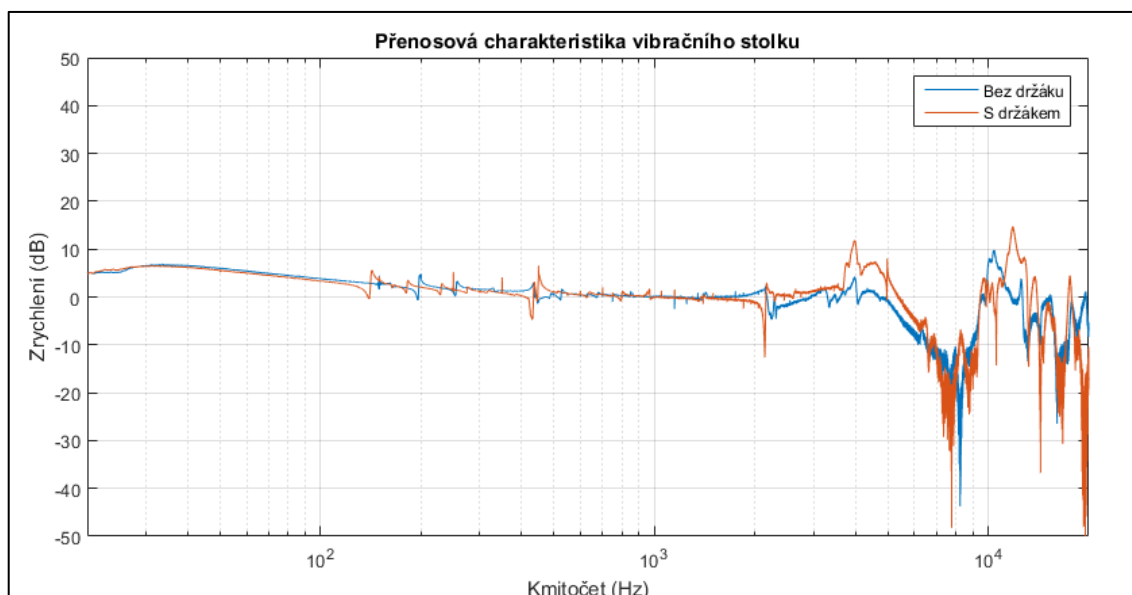
Obr. 5.5: Přenosová charakteristika vibračního stolku

Měření bylo do určité míry ovlivněno rušivými signály z okolí a to zejména na lichých násobcích kmitočtu 50 Hz, které se nepodařilo zcela odstínit. Naměřené elektrické napětí z akceleračního snímače je přímo úměrné zrychlení vibračního stolku. Je tedy jasné, že vibrační stolek má při konstantním buzení přibližně konstantní zrychlení až do kmitočtu cca 5 kHz. Jestliže je zrychlení s rostoucím kmitočtem přibližně konstantní, je jasné, že rychlost kmitání stolku s kmitočtem klesá a to o 20 dB/dek a jeho výchylka klesá s kmitočtem o 40 dB/dek, viz obr. 5.6, kde jsou vyneseny všechny tři zmíněné veličiny. Rychlostní charakteristika byla změřena a zbylé dvě byly dopočteny v programu MATLAB, pomocí skriptu stolek3.m, jako derivace resp. integrace změřené impulzní odezvy, viz příloha č. 1.



Obr. 5.6: Vliv vynášené veličiny na sklon charakteristiky

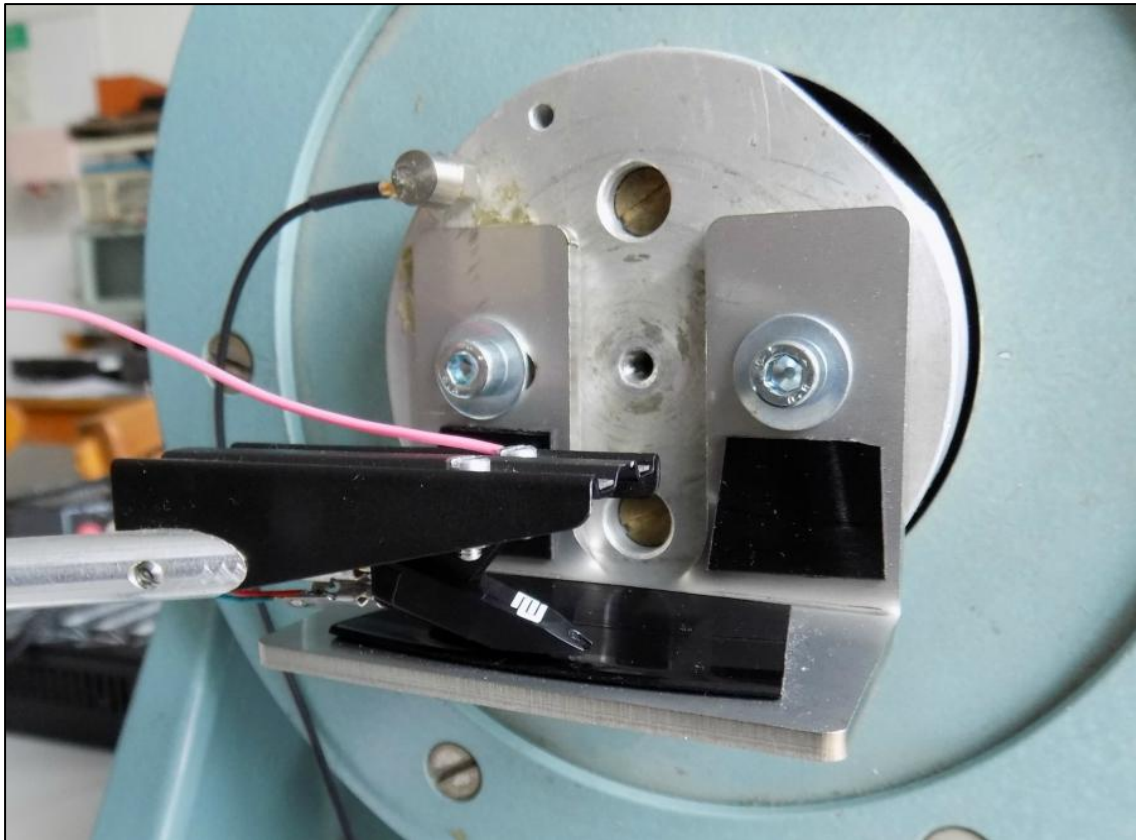
Upevnění držáku pro simulaci stranového záznamu, se na charakteristice také projeví. Vlivem hmotnosti a tvaru držáku dojde k posunutí nebo zvýraznění některých rezonancí vibračního stolku, viz obr. 5.7. Vynesená charakteristika je pro vibrační stůlek ve vodorovné poloze, tedy náklon 0° a byla získána pomocí skriptu `vliv_drzaku.m`, viz příloha č. 1.



Obr. 5.7: Vliv uchycení držáku na přenosovou charakteristiku vibračního stolku

5.3 Měření přenosové charakteristiky přenosky pomocí vibračního stolku

Pro simulaci mechanického záznamu zvuku byl na vibrační stůlek umístěn držák, na kterém byl přilepen vzorek gramofonové desky. Snímací hrot přenosky byl pak zasazen do drážky vzorku. Přenoska byla uchycena v raménku a natočena bokem k vibračnímu stolku, viz obr. 5.8. Signál z přenosky byl přes korekční předzesilovač přiváděn na vstup externí zvukové karty počítače. Výstup zvukové karty byl spojen s výkonovým zesilovačem, kterým bylo regulováno buzení vibračního stolku. Buzení bylo ovládáno v programu EASRA, kde byl také sledován výstup přenosky. Jako budicí signál byl zvolen logaritmický sweep, díky němuž bylo možné získat impulsní odezvu soustavy a z ní následně pomocí rychlé Fourierovy transformace spočítat přenosovou charakteristiku. Další analýza probíhala v programu MATLAB. Pro všechna měření zde uvedená byla použita přenoska Ortofon OM 5E.

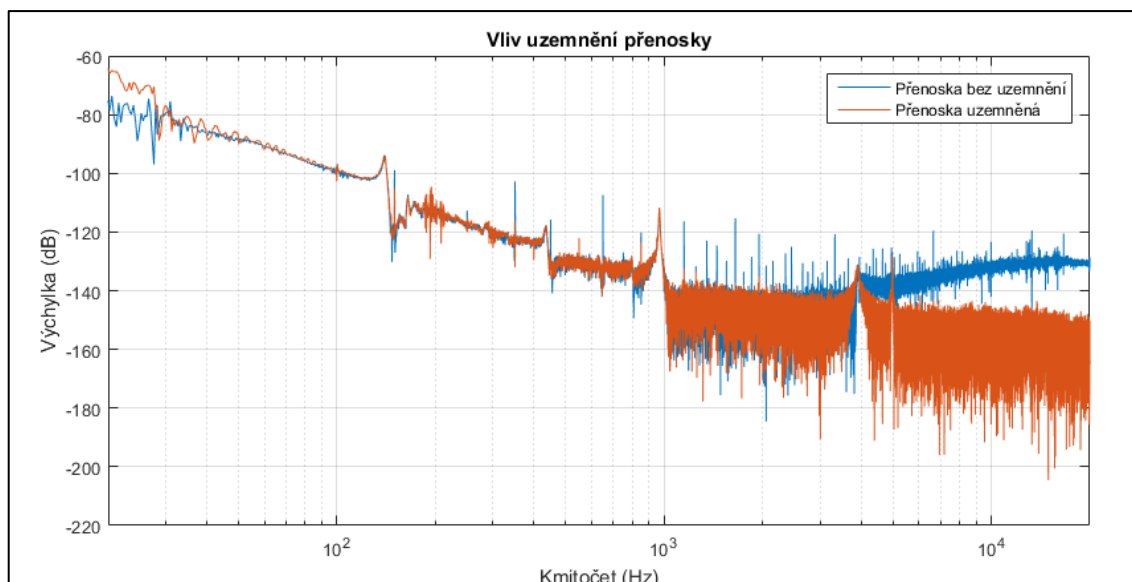


Obr. 5.8: Simulace stranového mechanického záznamu vibračním stolem

Použité přístroje:

Počítač	MSI; MS-1221
Externí zvuková karta	M-Audio; Fast Track PRO
Výkonový zesilovač	Brüel & Kjaer; 2706
Vibrační stolek	VEB Schwingungstechnik und Akustik; ESE 201
Gramofonové přenosky	Ortofon; OM 5E a Reloop OM black
Korekční předzesilovač	Technolink; TC-760LC
Akcelerační snímač	Brüel & Kjaer; 4374
Zesilovač	Brüel & Kjaer; 2635
Zdroj napětí	Brüel & Kjaer; 2805

Experimentálně bylo zjištěno, že je potřeba uzemnit raménko, což do jisté míry ze signálu odstraní rušení, způsobené zejména blízkostí elektromagnetického pole vibračního stolku, které se projevilo zejména na vyšších kmitočtech, viz obr. 5.9. Dále se tím podařilo částečně eliminovat rušení na kmitočtech odpovídajících lichým násobkům kmitočtu 50 Hz. Porovnání bylo provedeno ve skriptu uzemneni.m, viz příloha č. 1.

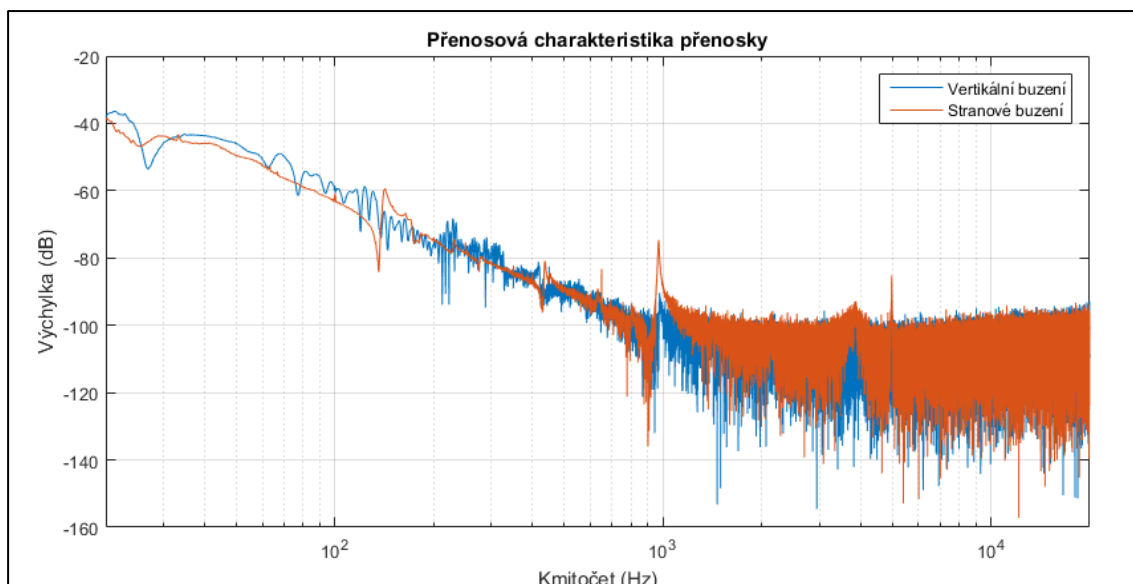


Obr. 5.9: Vliv uzemnění raménka na přenosovou charakteristiku přenosky

Naměřená charakteristika má na první pohled klesající tendenci, se směrnicí přibližně 40 dB/dek do kmitočtu cca 1 kHz. Dále už se signál ztrácí v úrovni šumu pozadí. Je to způsobeno tím, že přenoska je buzena vibračním stolem, který má se zvyšujícím se kmitočtem přibližně konstantní zrychlení, tudíž jeho rychlost kmitání klesá se směrnicí 20 dB/dek, viz obr 5.6. Přenoska pracuje na magnetodynamickém principu, takže její výstupní napětí je úměrné rychlosti. Napětí je ale měřeno až na výstupu korekčního předzesilovače, jehož přenosová charakteristika by měla být komplementární k záznamové charakteristice, viz obr. 3.1, takže zvýrazňuje nízké kmitočty, zatímco vyšší potlačuje, takže na jeho výstupu je napětí přibližně úměrné výchylce jehly a tedy i výchylce vibračního stolu, která při konstantním zrychlení klesá s kmitočtem o 40 dB/dek. Na kmitočtech vyšších než cca 1 kHz je už výchylka pravděpodobně tak malá, že ji přenoska nedokáže zachytit.

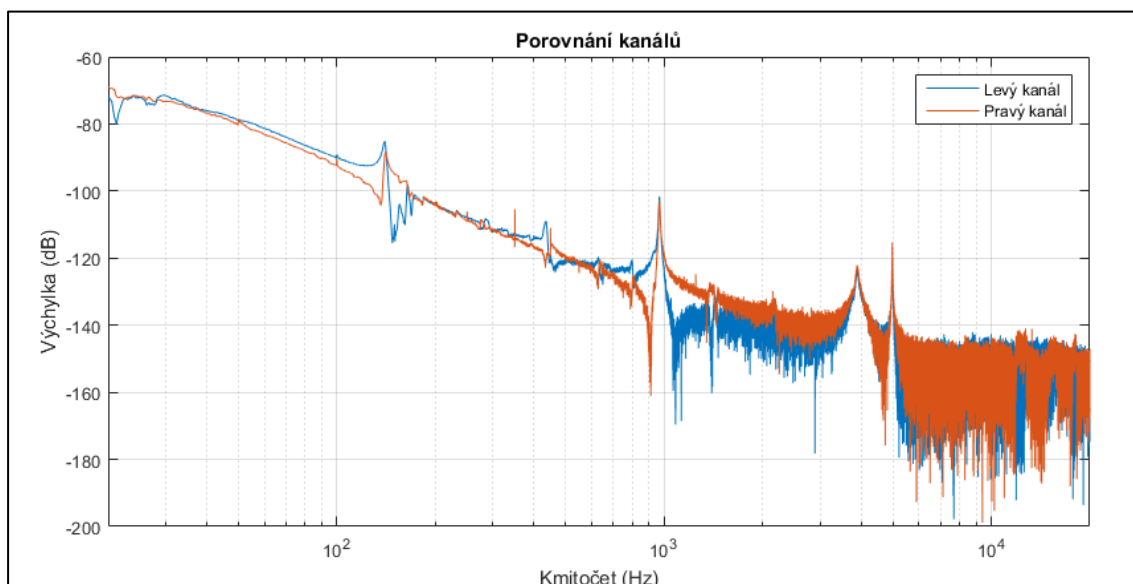
Bylo zjištěno, že silnějším buzením dosáhneme lepšího odstupu od šumu pozadí, tedy charakteristika se posune směrem nahoru, ale na středních kmitočtech se začnou objevovat neznámé signály, pravděpodobně způsobené nestabilitou přenosky v drážce.

Dále bylo provedeno porovnání vertikálního a stranového buzení, ve skriptu stranove_vertikalni.m, viz příloha č. 1, jehož výsledky jsou zachyceny na obr. 5.10. Vertikální buzení bylo simulováno tak, že vibrační stůl zůstal v základní poloze (náklon 0°) a při simulaci stranového buzení byl stůl nakloněn o 90°. V obou případech byl na stolek připevněn držák, aby byly podmínky obou měření stejné. Z naměřených dat je jasné, že u simulace stranového záznamu je charakteristika mnohem hladší a tento způsob buzení je pro další měření vhodnější. Z velké části to bude ovlivněno tím, že při stranovém buzení o správné výchylce jehly neztrácí kontakt s drážkou, zatímco při vertikálním pohybu není shora ničím omezena a tak může ke ztrátě kontaktu dojít.



Obr. 5.10: Přenosové charakteristiky při simulaci stranového a hloubkového záznamu

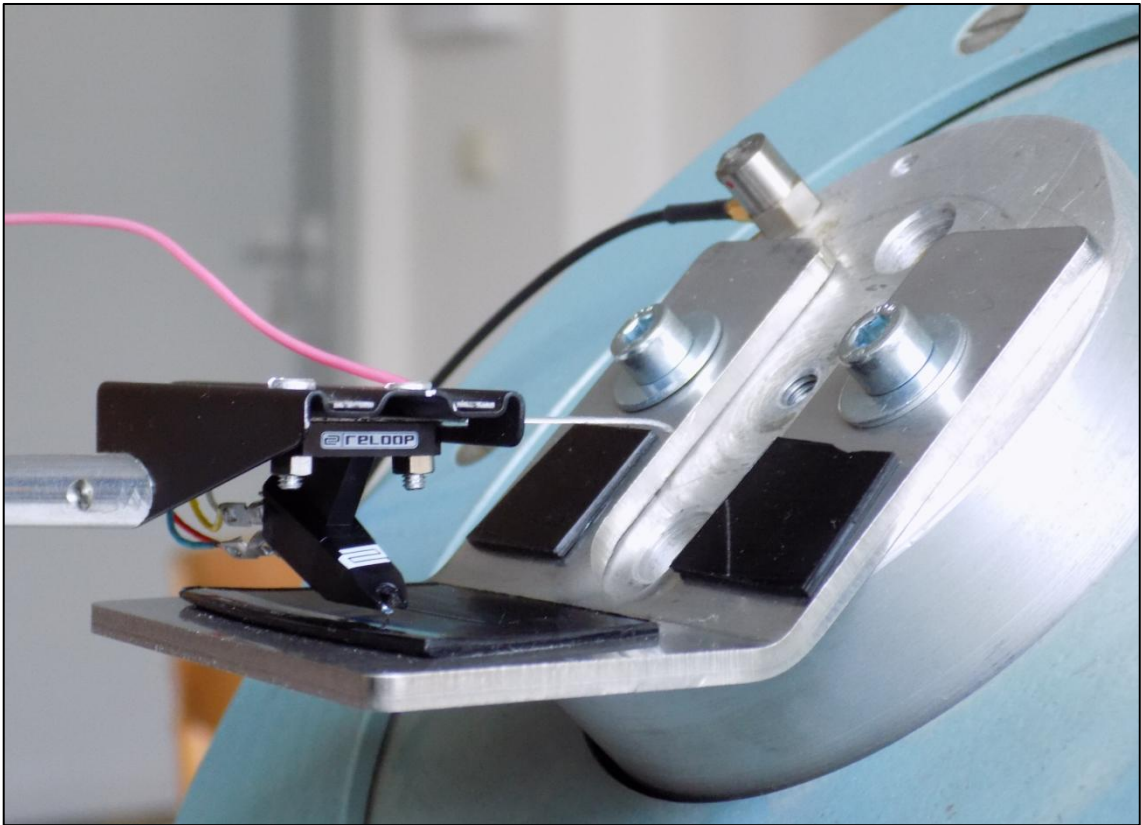
V dalším měření byly porovnány rozdíly mezi levým a pravým kanálem u stranového buzení, a to ve skriptu porovnani_kanalů.m, viz příloha č. 1. Teoreticky by měly být oba průběhy stejné, ale bylo zjištěno, že se v určitých místech charakteristiky značně liší, viz obr. 5.11. Zejména je patrný odlišný charakter dílčích rezonancí nejlépe viditelný na kmitočtech cca 150 Hz, 450 Hz a 1 kHz. Je to pravděpodobně způsobeno parazitním kmitáním soustavy ve vertikálním směru, které má za následek vznik rozdílové složky v signálu. Bylo experimentálně ověřeno, že při přiložení přenosky ke stolku z druhé strany se charakteristiky vymění. Nezáleží tedy na kanálu přenosky, ale na tom, která strana je otočena k vibračnímu stolku.



Obr. 5.11: Přenosová charakteristika levého a pravého kanálu přenosky

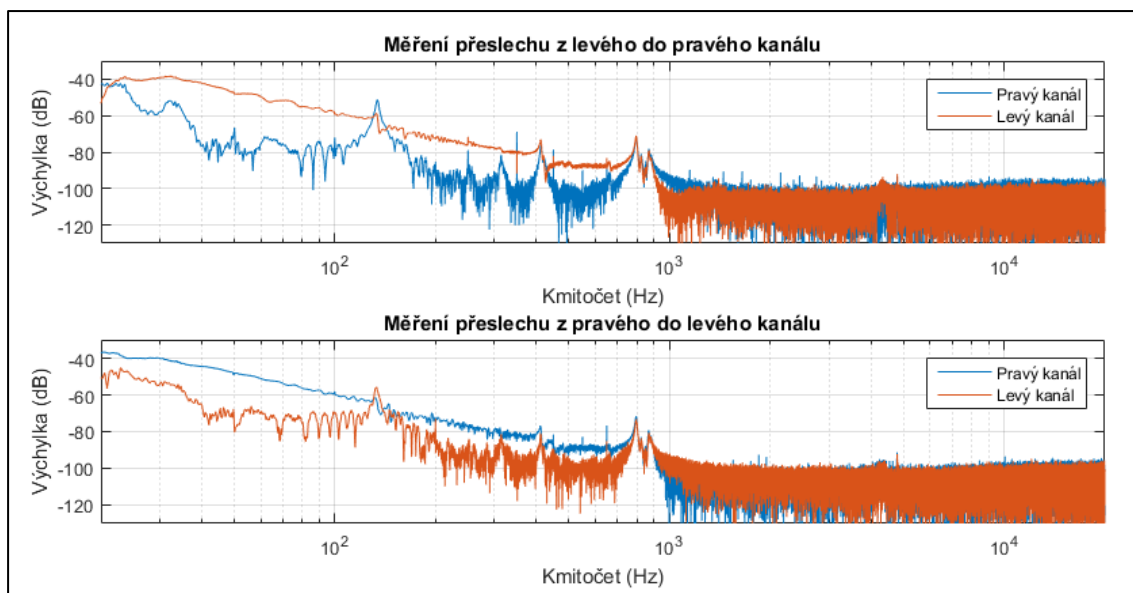
5.4 Měření přeslechů přenosky pomocí vibračního stolku

Při měření přeslechů mezi levým a pravým kanálem přenosky byl postup i použité přístroje shodné, jako u měření přenosové charakteristiky. Jediným rozdílem byl použitý držák přípevněný k vibračnímu stolku, který tentokrát nebyl ohnutý o 90° , ale pouze o 45° , aby simuloval záznam pouze v jednom kanálu stereofonního dvoukanalového záznamu zvuku. Vibrační stolek byl pak nakloněn o úhel 45° , aby vzorek gramofonové desky umístěný na držáku byl ve vodorovné poloze, viz obr. 5.12.



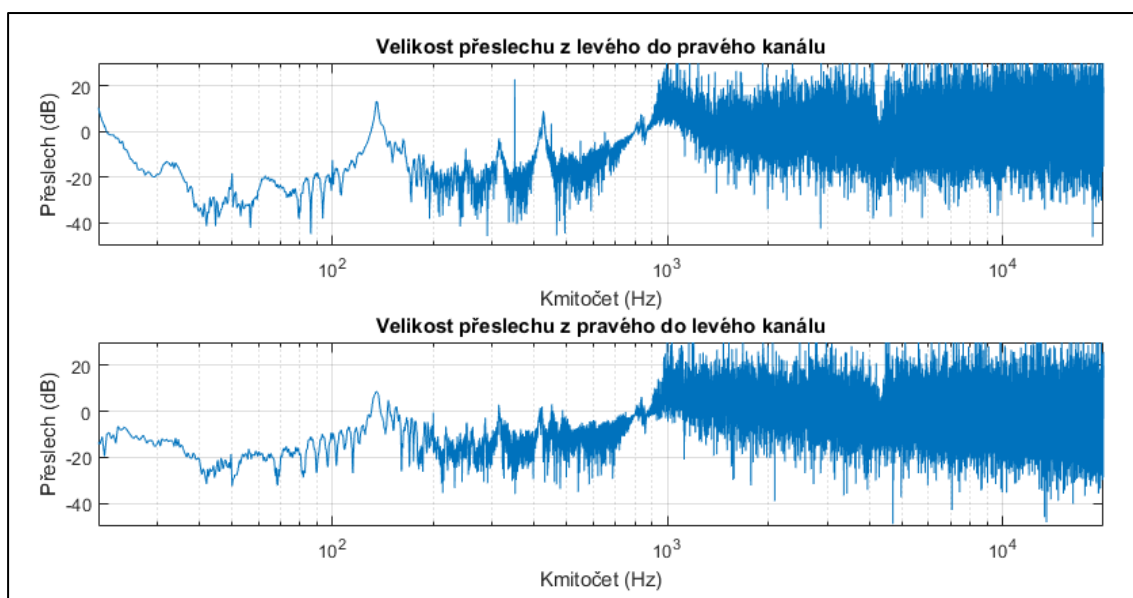
Obr. 5.12: Simulace jednoho kanálu stereofonního mechanického záznamu zvuku

Přenoska byla takto změřena z obou stran a výsledkem jsou kmitočtové průběhy jak simulovaného záznamu v jednom kanálu, tak vzniklé přeslechy v kanálu druhém. Oba kanály přenosky byly při stejné úrovni zaznamenány do stereofonního souboru typu WAV. Naměřené průběhy jsou na obr. 5.13. Z grafů je patrné, že se opět podařilo zjistit hodnoty pouze pro kmitočty menší než cca 1 kHz, vyšší kmitočty se nepodařilo vybudit nad úroveň šumu pozadí u buzeného kanálu, u druhého kanálu se šum projeví i na nižších kmitočtech.



Obr. 5.13: Měření přeslechů přenosky pomocí vibračního stolku

V grafech je na několika místech úroveň signálu buzeného kanálu pod úrovní kanálu druhého. Takové hodnoty nemůžeme považovat za správné, jelikož jsou pravděpodobně důsledkem parazitních rezonancí budící soustavy, tedy vibračního stolku a k němu uchycenému držáku nebo rezonance použitého raménka. Pokud na změřené průběhy aplikujeme vzorec 3.1, získáme hodnoty přeslechů pro jednotlivé kmitočty, viz obr. 5.14, což bylo provedeno ve skriptu preslechky.m, viz příloha č. 1. Hodnoty větší než 0 dB nemůžeme považovat za správné.



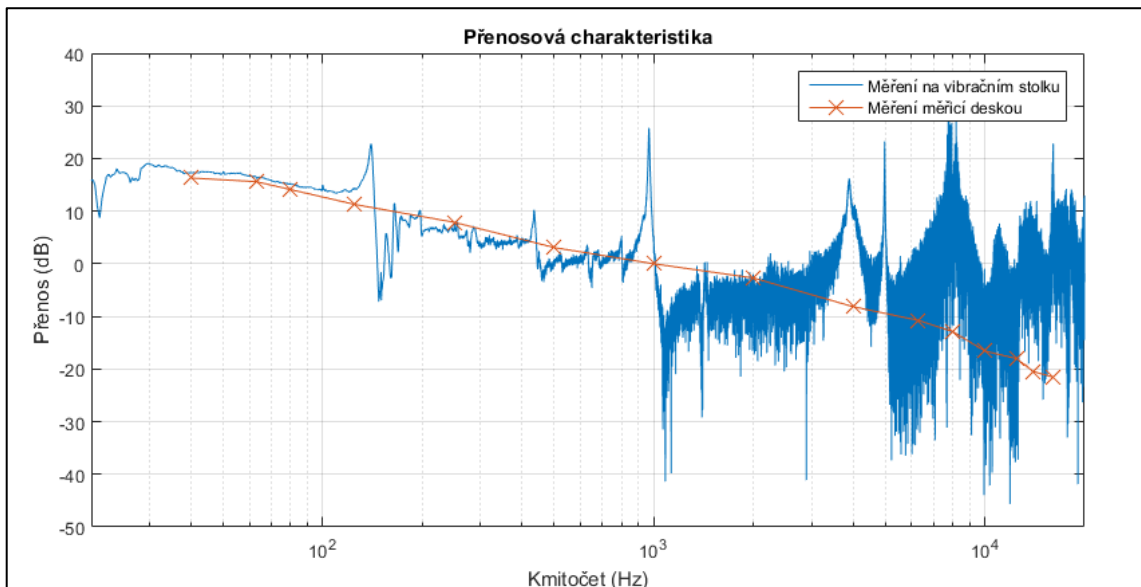
Obr. 5.14: Vypočtené hodnoty přeslechů

5.5 Porovnání metod měření

Pro porovnání obou metod, by bylo nutné, aby mělo buzení v obou případech stejný charakter a dosahovalo stejných hodnot. Toho ale jednoznačně nebylo dosaženo. U měřicí desky je záznam prováděn podle záznamové charakteristiky, viz obr. 3.1. Stejný průběh by pak měl mít v ideálním případě i výstupní signál z přenosky, ale jelikož bylo měřeno až na výstupu korekčního předzesilovače, jehož přenosová charakteristika je k záznamové charakteristice komplementární, vychází naměřená charakteristika uvedená na obr. 5.2.

Oproti tomu při buzení vibračním stolkem je charakter buzení ovlivněn frekvenční charakteristikou vibračního stolku, která je pro různé měřené veličiny uvedena na obr. 5.6. Jelikož v případě měřicí desky je záznamová charakteristika definovaná jako závislost záznamové rychlosti na kmitočtu, je jí nutno porovnat se závislostí rychlosti kmitání vibračního stolku. Výsledná naměřená charakteristika přenosky tedy vychází klesající o přibližně 20 dB/dek a navíc je i zde ovlivněna přenosovou charakteristikou použitého korekčního předzesilovače, která má za následek ještě větší sklon charakteristiky.

Pro alespoň přibližné porovnání změřených kmitočtových charakteristik bylo nutno vykompenzovat vliv odlišného buzení. Od charakteristiky změřené měřicí deskou byla odečtena její záznamová charakteristika a od charakteristiky změřené na vibračním stolku byla odečtena přenosová charakteristika vibračního stolku pro rychlost kmitání. Tím bylo dosaženo toho, že je možné porovnat tvar obou křivek vynesných do jednoho grafu, viz obr. 5.15. Vyneseny jsou pro přehlednost pouze charakteristiky levého kanálu přenosky. Pro analýzu byl vytvořen skript porovnaní_metod.m, viz příloha č. 1. Je třeba upozornit na to, že charakteristiky bylo potřeba odhadem normovat na podobnou úroveň, jelikož byla každá vztažena k jiné hodnotě.



Obr. 5.15: Porovnání metod měření

V charakteristice se jasně projevují jak výhody, tak nevýhody použití vibračního stolku. Výrazná nevýhoda je, že se nepodařilo změřit hodnoty v celém akustickém pásmu od 20 Hz do 20 kHz, ale pouze do kmitočtu cca 1 kHz. Další nevýhodou jsou dílčí rezonance mechanické soustavy, které se projeví nejvýrazněji na kmitočtech přibližně 150 Hz, 450 Hz a 1 kHz.

Nejpravděpodobnější příčinou jejich vzniku jsou mechanické vlastnosti raménka, což se z časových důvodů nestihlo ověřit v rámci bakalářské práce, ale v budoucnu by bylo vhodné provést porovnání s měřením s jiným použitým raménkem nebo použitému raménku omezit volnost pohybu. Mezi výhody této metody patří zejména to, že je měřeno plynule pro všechny kmitočty.

Měření přeslechů, zatím porovnat nelze, jelikož na měřicí desce jsou k tomuto účelu zaznamenány kmitočty 1 kHz a 6,3 kHz. Výsledky vypočtených přeslechů udává tabulka 5.1. Oproti tomu při měření přeslechů pomocí vibračního stolku se podařilo změřit přeslechy do kmitočtu cca 700 Hz, kde už se ale výrazně projevuje šum pozadí a nemáme tak jistotu zda jsou hodnoty správné, viz obr. 5.14.

6 Závěr

Cílem této práce bylo seznámení se s metodami měření přenosových parametrů gramofonových přenosek a dále navrhnout a experimentálně vyzkoušet metodu, která by umožnila měření parametrů přenosky bez použití měřicí desky.

V práci je stručně rozebrána problematika měření parametrů přenosek pomocí měřicích desek a dále navržena metoda pro měření parametrů gramofonové přenosky, u které je k simulaci mechanického záznamu zvuku využít vibrační stolek. Pro realizaci této metody byly navrženy a vyrobeny držáky, které je možno přišroubovat k vibračnímu stolku, a měřicí přípravek k uchycení gramofonové přenosky, sestávající ze zapůjčeného gramofonového raménka a navrženého stojánku pro jeho uchycení. Navrženou metodou je možné změřit přenosovou charakteristiku přenosky a přeslechy mezi jednotlivými kanály. Byla provedena řada měření jak pomocí měřicí desky, tak navrženou metodou. Výsledky měření oběma metodami byly porovnány.

Použití vibračního stolku má řadu výhod a to zejména změřeni parametrů přenosky plynule v celém kmitočtovém pásmu, ve kterém se jí podaří vybudit. Nevýhody této metody zatím spočívají zejména v mechanických nedokonalostech uchycení přenosky a v chování vibračního stolku. Zásadní problém spojený s vibračním stolkem spočívá v tom, že při buzení konstantním budícím proudem kmitá s konstantním zrychlením, takže jeho výchylka s rostoucím kmitočtem klesá a to až pod úroveň, kdy už není kmitání přenoskou zaznamenáno. Této úrovni je dosaženo při kmitočtu cca 1 kHz. Během měření bylo nutné, řešit problémy s rušivými signály z okolí, včetně elektromagnetického pole vibračního stolku.

Na provedená měření by se mohlo v budoucnu navázat dalšími experimenty, které se z časových důvodů v rámci této práce nestihly provést, a pokusit se odhalit a eliminovat co možná nejvíce nežádoucích vlivů. Bylo by dobré zjistit, jak moc se v naměřených signálech projeví jednotlivé části přípravku pro uchycení přenosky, např. jaký vliv by mělo omezení pohybu raménka nebo přilepení hrotu přenosky k drážce, tak aby nedocházelo ke ztrátě kontaktu. U vibračního stolku by bylo vhodné změřit, zda dochází k nežádoucímu kmitání jeho čepu do stran a jak to ovlivňuje měření. Dále by mohl být navržen způsob jak modifikovat buzení vibračního stolku, aby se vykompenzoval pokles jeho výchylky s rostoucím kmitočtem.

Seznam použité literatury

- [1] DUŠEK, Karel. *Záznam signálu*. Dotisk. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 1989.
- [2] Mástering. *GZ VINYL* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.gzvinyl.com/Manufacturing/Mastering.aspx?lang=cs-CZ>
- [3] Mechanický záznam zvuku. In: *Encyklopedie fyziky* [online]. [cit. 2018-04-28]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/1343-mechanicky-zaznam-zvuku>
- [4] BOLESLAV, Aleš. *Mikrofony a přenosky*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1962.
- [5] Gramofonové vložky. In: *Graled* [online]. [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <http://www.graled.cz/c/gramovlozky>
- [6] MIRÁTSKÝ, Josef. *Měření vlastností gramofonových přístrojů: Příloha k měřicím deskám 1-3*. Supraphon n. p.
- [7] BOLESLAV, Aleš. *Nizkofrekvenční a elektroakustická měření*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1961.
- [8] ŠKVOR, Zdeněk. *Elektroakustika - měření II*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1983.
- [9] Vibration testing and validation. In: *Brüel & Kjaer* [online]. [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: <https://www.bksv.com/en/Applications/product-vibration/vibration-testing-and-validation>
- [10] Reloop OM black. In: *Reloop* [online]. [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: <http://www.reloop.com/reloop-om-black>

Seznam příloh

Příloha č. 1: Datová příloha obsahující naměřená data a skripty programu MATLAB pro zobrazení a analýzu naměřených dat