

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA APLIKOVANÉ ELEKTRONIKY A TELEKOMUNIKACÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bc. Ondřej Daněk

2012

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA APLIKOVANÉ ELEKTRONIKY A TELEKOMUNIKACÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vliv zástavby reproduktoru na vibrace dveří automobilu

vedoucí práce: Ing. Oldřich Tureček Ph.D.

2012

autor: Bc. Ondřej Daněk

Anotace

Daněk, O. Vliv zástavby reproduktoru na vibrace dveří automobilu. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická, Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací, 2012, x s., vedoucí práce: Ing. Oldřich Tureček Ph.D.

Tato diplomová práce se zabývá nestandardním způsobem určení rezonančních frekvencí dveří automobilu bez použití speciálních metod měření vibrací. Je zde využíváno sledování parametrů reproduktorů, které jsou používány při ozvučení automobilu. Metoda využívá buzení vibrací z reproduktoru vestavěného ve dveřích, jde proto o rychlé a efektivní zjištění problematických frekvencí tohoto mechanického systému. Funkčnost metody byla ověřena na konkrétních dveřích osobního automobilu.

Klíčová slova

Vibrace dveří, reproduktor, celkové harmonické zkreslení, modulační zkreslení, Pulse

Annotation

Daněk, O. Effects of vibration on building speaker of the car door. University of West Bohemia in Pilsen, Faculty of electrical engineering, Department of applied electronics and telecommunications, 2012, x s., head: Ing. Oldřich Tureček Ph.D.

The master theses presents non-standard way to determine resonant frequencies of the car door without using special methods for measuring vibrations. There are used monitoring of speaker parameters, which are normally defined for measuring car sound system. This method is excited by built-in speaker, it is therefore a fast and efficient detection of these problematic frequencies. The functionality of the method was tested on specific car door.

Key words

Vibration of the door, speaker, total harmonic distortion, modulation distortion, Pulse

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

V Plzni dne

.....

Jméno příjmení

Poděkování

Děkuji vedoucímu práce Ing. Oldřichu Turečkovi Ph.D. za odborné vedení při zpracování této diplomové práce, za vstřícný přístup a věcné připomínky. Děkuji také své rodině za podporu a toleranci.

Obsah

1	Úvod.....	3
1.1	Cíle práce.....	3
2	Popis dveří	4
3	Parametry reproduktorů	5
4	Celkové harmonické zkreslení.....	6
4.1	Definice	6
4.2	Měřicí signály.....	7
4.2.1	Parametry použitých měřících signálů pro měření THD	7
4.2.2	Tvorba měřícího signálu	8
5	Modulační zkreslení.....	9
5.1	Definice	9
5.2	Měřicí signály.....	10
5.2.1	Parametry použitých měřících signálů pro měření modul. zkreslení.....	10
5.2.2	Tvorba měřícího signálu	10
6	Měřicí řetězec	11
6.1	Prvky řetězce	11
6.1.1	Generování měřících signálů.....	11
6.1.2	Zesilovač	12
6.1.3	Voltmetr	13
6.1.4	Reproduktor.....	13
6.1.5	Bezodrazová komora.....	14
6.1.6	Měřicí mikrofon	14
6.1.7	Analyzátor	15
6.2	Blokové schéma.....	16
7	Měřicí šablony	16
7.1	Postup vytvoření a vlastnosti.....	17

8	Vyhodnocování měření.....	22
8.1	Základní popis	22
8.1.1	Vyhodnocení THD	22
8.1.2	Vyhodnocení modulačního zkreslení.....	23
8.2	Práce s vyhodnocovacími šablonami.....	24
9	Vlastní měření.....	25
9.1	Využití měření nelinearit k určení rezonančních frekvencí	25
9.2	Uspořádání měřené soustavy.....	25
9.3	Měření THD	27
9.4	Měření modulačního zkreslení	28
9.5	Tabulka problematických frekvencí.....	30
10	Ověření metody.....	30
10.1	Měřicí řetězec	30
10.1.1	Blokové schéma	30
10.1.2	Prvky měřícího řetězce.....	31
10.2	Uspořádání měřené soustavy	31
10.3	Popis měřící šablony.....	32
10.4	Vyhodnocování měření.....	33
10.5	Odezvy v určených bodech.....	34
10.5.1	Grafy	34
10.5.2	Tabulka problematických frekvencí.....	38
10.5.3	Grafické porovnání problematických frekvencí.....	39
11	Závěr	40
	Použitá literatura	41
	Použité internetové zdroje	41
	Přílohy.....	42

1 Úvod

1.1 Cíle práce

Cílem této diplomové práce je navrhnout a zrealizovat rychlý a efektivní způsob stanovení rezonančních frekvencí dveří automobilu. Parazitní rezonance dveří, případně dalších mechanických částí automobilu, je velmi omezujícím faktorem při řešení ozvučovacího systému automobilu. Znalost těchto rezonančních frekvencí je nutná při řešení například tlumení dveří, případně pro nastavení parametrů zvukového systému automobilu.

Metoda stanovení vibrací má být postavena na metodě měření parametrů zvukového systému vozu. Celá sestava dveří má být buzena signálem přímo z vestavěného reproduktoru. Je nutno vycházet z možností a způsobu umístění reproduktorů. Měřicí řetězec i způsob měření musí vycházet z metody měření parametrů ozvučovacího systému vozu. Použití měřicí metody se předpokládá v provozních testech zvukových systémů prototypů automobilů.

2 Popis dveří

Dveře, na kterých byly prováděny testy, jsou dostupné v akustické laboratoři FEL. Jde o pravé přední dveře z osobního automobilu Škoda Octavia.



Obr. 1: Vnitřní uspořádání dveří

Na obrázku číslo 1 je vidět vnitřní uspořádání dveří – umístění reproduktoru. Z důvodu opakování měření (případně záměny reproduktoru) jsou zde místo nýtů použity matky a šrouby.

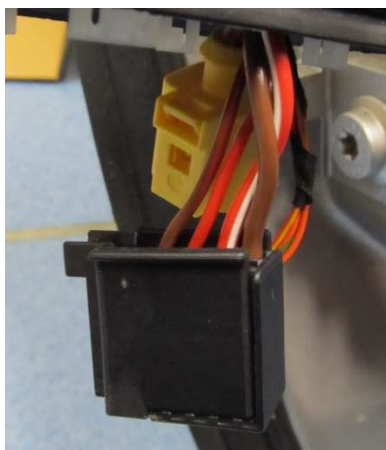


Obr. 2: Konektor pro připojení k reproduktoru

Připojení reproduktoru ve dveřích je realizováno pomocí konektoru na obrázku číslo 2. Jsou zde 4 vodiče:

červený a červenohnědý – vstup do reproduktoru

modrý a modrohnědý – cesta k reproduktoru ve sloupku



Obr. 3: Konektor pro připojení dveří

S kabelovým svazkem automobilu jsou reproduktory ve dveřích spojeny konektorem (obr. 3).

3 Parametry reproduktorů

Reproduktor je elektroakustický měnič, jehož vlastnosti jsou dány těmito parametry:

- impedance
- vstupní napětí
- frekvenční charakteristika
- akustický tlak
- akustický výkon
- vyzařovací charakteristika
- nelinearity (harmonické zkreslení, modulační zkreslení, ...)
- závislost na teplotě a vlhkosti
- rozptyl magnetického pole
- rozměry, váha, připojení vodiče

Pro účely stanovení vibrací dveří je využíváno sledování harmonického a modulačního zkreslení reproduktoru.

4 Celkové harmonické zkreslení

Měření celkového harmonického zkreslení reproduktorů je přesně definováno v normách ČSN EN 60268-5.

4.1 Definice

- celkové harmonické zkreslení se vyjadřuje jako celkový akustický tlak p_t
- měření je možno provádět ve volném poli nebo volném poloprostoru
- vstupní sinusový signál se vzrůstající frekvencí do 5 000 Hz
- možný skokový nebo kontinuální růst frekvence
- vzdálenost měřicího mikrofону od měřeného reproduktoru 1 metr
- celkové harmonické zkreslení vyjádřené v procentech je dáno vzorcem:

$$d_t = \frac{\sqrt{p_{2f}^2 + p_{3f}^2 + \dots + p_{nf}^2}}{p_t} * 100 \quad (1)$$

kde: p_{2f} druhá harmonická
 p_{3f} třetí harmonická
 p_{nf} n-tá harmonická
 p_t první harmonická

- celkové harmonické zkreslení vyjádřené v decibelech je dáno vzorcem:

$$L_{dt} = 20 \log \frac{d_t}{100} \quad (2)$$

- nutnost použít dostatečně velkou vzorkovací frekvenci ke korektnímu navzorkování měřeného signálu
- doporučeno použít Hanningovo okno
- THD – total harmonic distortion = celkové harmonické zkreslení

4.2 Měřicí signály

Jak už bylo zmíněno v kapitole 4.1, je potřeba pro měření celkového harmonického zkreslení generovat skupinu sinusových signálů s definovanou amplitudou a frekvencemi.

4.2.1 Parametry použitých měřících signálů pro měření THD

Pro měření THD budeme potřebovat několik zkušebních signálů:

1. Sinusový signál se skokovým růstem frekvence v 1/3 oktávy:
 - frekvenční rozsah: 40 Hz – 5 000 Hz
 - doba trvání jedné frekvence: 3 s
 - vzorkovací frekvence: 48 000 Hz (omezeno možnostmi generátoru viz kapitola 6.1.1)
 - 16 bitové kvantování
 - velikost amplitudy: určeno voltmetrem
2. Sinusový signál se skokovým růstem frekvence v 1/6 oktávy:
 - frekvenční rozsah: 40 Hz – 5 120 Hz
 - doba trvání jedné frekvence: 3 s
 - vzorkovací frekvence: 48 000 Hz (omezeno možnostmi generátoru viz kapitola 6.1.1)
 - 16 bitové kvantování
 - velikost amplitudy: určeno voltmetrem

Vzhledem k nastavení kroku mezi frekvencemi FFT analyzátoru ($df = 4$ Hz) je nutné zkorigovat hodnoty frekvencí. Ty se musí přesně shodovat s frekvenčním rozlišením FFT analyzátoru (viz kapitola 7.1 bod 6).

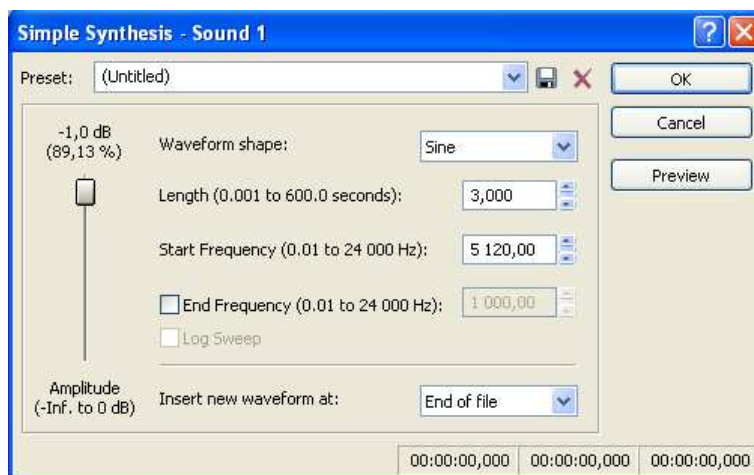
Konkrétní frekvenční řady použitých měřících signálů v Hz:

1. Sinusový signál se skokovým růstem frekvence v 1/3 oktávy:
40, 52, 64, 80, 100, 124, 160, 200, 252, 316, 400, 500, 632, 800, 1 000, 1 252, 1 600, 2 000, 2 500, 3 152, 4 000, 5 000
2. Sinusový signál se skokovým růstem frekvence v 1/6 oktávy:
40, 44, 52, 56, 64, 72, 80, 92, 100, 112, 128, 144, 160, 180, 204, 228, 256, 284, 320, 360, 404, 452, 508, 572, 640, 720, 808, 904, 1 016, 1 040, 1 280, 1 436, 1 612, 1 812, 2 032, 2 280, 2 560, 2 876, 3 224, 3 620, 4 064, 4 560, 5 120

4.2.2 Tvorba měřicího signálu

Veškeré měřicí signály byly vytvořeny v programu Sony Sound Forge. Tento program je dostupný v akustické laboratoři FEL.

Volbou Tools → Synthesis → Simple se dostaneme do okna generátoru.



Obr. 4: Okno generátoru

V tomto okně (obr. 4) můžeme nastavovat parametry generovaného signálu jako například frekvenci, dobu trvání, amplitudu a tvar.

Parametry měřicího signálu:

- frekvence: konkrétní frekvenční řada (viz kapitola 4.2.1)
- doba trvání: 3 s
- tvar: sinusový
- amplituda: -1 dB

5 Modulační zkreslení

5.1 Definice

- modulační zkreslení se vyjadřuje jako akustický tlak d_x
- měření je možno provádět ve volném poli nebo volném poloprostoru
- složený sinusový vstupní signál se vzrůstající frekvencí do 20 000 Hz
- možný skokový nebo kontinuální růst frekvencí
- vzdálenost měřicího mikrofону od měřeného reproduktoru 1 metr
- podmínky měřicího signálu: $4 \cdot a_1 = a_2$ (amplituda), $8 \cdot f_1 < f_2$ (frekvence)
- modulační zkreslení 2. harmonickou vyjádřené v procentech je dáno vzorcem:

$$d_2 = \frac{p_{(f_2-f_1)} + p_{(f_2+f_1)}}{p_{f_2}} * 100 \quad (3)$$

kde: $p_{(f_2 - f_1)}$ odezva na rozdíl frekvencí

$p_{(f_2 + f_1)}$ odezva na součtu frekvencí

p_{f_2} odezva na frekvenci f_2

- modulační zkreslení 3. harmonickou vyjádřené v procentech je dáno vzorcem:

$$d_3 = \frac{p_{(f_2-2f_1)} + p_{(f_2+2f_1)}}{p_{f_2}} * 100 \quad (4)$$

kde: $p_{(f_2 - 2f_1)}$ odezva na rozdíl frekvence f_2 a $2 \cdot f_1$

$p_{(f_2 + 2f_1)}$ odezva na součtu frekvence f_2 a $2 \cdot f_1$

p_{f_2} odezva na frekvenci f_2

- modulační zkreslení vyjádřené v decibelech je dáno vzorcem:

$$L_{dx} = 20 \log \frac{d_x}{100} \quad (5)$$

kde: d_x modulační zkreslení pro danou harmonickou

- nutnost použít dostatečně velkou vzorkovací frekvenci ke korektnímu navzorkování měřeného signálu
- doporučeno použít Hanningovo okno

5.2 Měřicí signály

5.2.1 Parametry použitých měřících signálů pro měření modulačního zkreslení

- frekvenční rozsah: 40 Hz – 20 000 kHz
- doba trvání dvou složených frekvencí: 3 s
- vzorkovací frekvence: 48 000 Hz (omezeno možnostmi generátoru viz kapitola 6.1.1)
- 16 bitové kvantování
- velikost amplitudy: určeno voltmetrem

Konkrétní frekvenční řady použitých měřících signálů v Hz:

Složený sinusový signál se skokovým růstem frekvencí v 1/3 oktávy:

40 – 400, 52 – 500, 64 – 632, 80 – 800, 100 – 1 000, 124 – 1 252, 160 – 1 600, 200 – 2 000, 252 – 2 500, 316 – 3 152, 400 – 4 000, 500 – 5 000, 632 – 6 320, 800 – 8 000, 1 000 – 10 000, 1 252 – 12 520, 1 600 – 16 000, 2 000 – 20 000

5.2.2 Tvorba měřícího signálu

Pro tvorbu tohoto měřící byl vytvořen skript v programu Matlab:

```
% generovani signalu - smes 2 sinusovek, trvani 3 sec.  
Fs = 48000;      % vzorkovaci frekvence  
f1 = 2000;      % frekvence f1  
f2 = 20000;     % frekvence f2  
n = 0:143999;   % vektor casu  
s = 0.5*sin(2 * pi * f1/Fs * n) + 0.125*sin(2 * pi * f2/Fs * n);  
% s - vypocet slozeneho sinusu(Fs/n je 3,doba trvani 3 sekundy)  
wavwrite(s,48000,16,'s.wav');  
% zapis do wav souboru se vzorkovaci frekvenci 48000 Hz  
% a 16 bitovou kvantizaci
```

Parametry měřícího signálu:

- frekvence: konkrétní frekvenční řada (viz kapitola 4.2.1)
- doba trvání: 3 s
- tvar: složený sinusový
- amplituda: -1 dB

Každý vygenerovaný tři sekundový signál o určitých frekvencích byl spojen do jednoho pomocí programu Sony Sound Forge. Pro následné úpravy byl použit freeware program Audacity.

6 Měřicí řetězec

6.1 Prvky řetězce

Níže popsaný měřicí řetězec byl sestaven z prvků dostupných v akustické laboratoři FEL. Z tohoto vyplývá volba konkrétních přístrojů.

6.1.1 Generování měřících signálů

Pro generování měřícího signálu byl použit externí generátor NTI minirator MR-PRO.



Obr. 5: NTI MR-PRO

Nutné parametry .wav souboru:

- 48 kHz vzorkovací frekvence
- mono/stereo
- 16 bitová kvantizace

Postup pro nahrávání a přehrávání .wav souboru:

1. připojení generátoru k PC pomocí USB
2. nahrání .wav souboru do složky – buď do výrobcem poskytnuté, nebo je zde možnost vytvořit vlastní složku

3. výběr v menu generátoru:



Obr. 6: NTI MR-PRO – display

- stisknutí tlačítka WAVE způsobí otevření menu pro výběr typu generovaného signálu. Zde vybrat volbu FILE.
 - otočným ovládacím prvkem vybrat příslušnou složku (bod 1 v obr. 6)
 - otočným ovládacím prvkem vybrat příslušný měřicí signál (bod 2 v obr. 6)
 - pomocí tlačítka LEVEL lze nastavit amplitudu měřicího signálu
 - potvrzení volby se provádí tlačítkem ENTER
 - odmítnutí volby ESC
- po výběru požadovaného signálu se signál spustí a opakovaně přehrává. Z tohoto důvodu je nutné přizpůsobit měřicí signál (5 s ticha na začátku i konci stopy) a měřicí šablonu (viz kapitola 7)
 - připojení generátoru a zesilovače přes XLR konektor

6.1.2 Zesilovač



Obr. 7: Yamaha CP2000

Pro zesílení generovaného měřicího signálu byl použit zesilovač Yamaha CP2000.

Vybrané parametry zesilovače:

- výkon pro 2 Ω : 1 000 + 1 000 W
výkon pro 4 Ω : 650 + 650 W
výkon pro 8 Ω : 450 + 450 W
- šířka pásma: 10 Hz – 40 kHz
- harmonické zkreslení (20 Hz – 20 kHz): 0,1 %

- intermodulační zkreslení (60 Hz : 7 kHz): 0,1 %
- oddělení kanálů (1 kHz): ≥ 70 dB
- SNR: 104 dB

6.1.3 Voltmetr



Obr. 8: Agilent 34401A

K přesnému určení amplitudy měřícího signálu byl zapojen voltmetr Agilent 34401A.

Vybrané parametry voltmetru:

- typ: true RMS
- napěťový rozsah (AC): 100 mV – 750 V
- frekvenční rozsah: 3 Hz – 300 kHz

6.1.4 Reprodukční



Obr. 9: Reprodukční

Pro potřebu popisovaných měření je potřeba užití nepoškozeného kvalitního reproduktoru. Konkrétně byl použit reproduktor, dostupný v akustických laboratořích FEL, využívaný výhradně pro měřicí účely:

- výrobce: Sonavox
- typ: 5JA
- impedance: 2Ω

6.1.5 Bezodrazová komora

Jak uvádí norma, veškeré měření je nutno provádět ve volném poli nebo poloprostoru.

Tyto podmínky simuluje bezodrazová komora (volné pole).

- podle normy: ČSN EN ISO 3745
- dolní mezní frekvence: 90 Hz
- objem komory: $128,3 \text{ m}^3$
- světlé rozměry: 4,96 m x 4,06 m x 6,37 m
- možnost nastavení teploty: 21 – 30 °C

6.1.6 Měřicí mikrofon

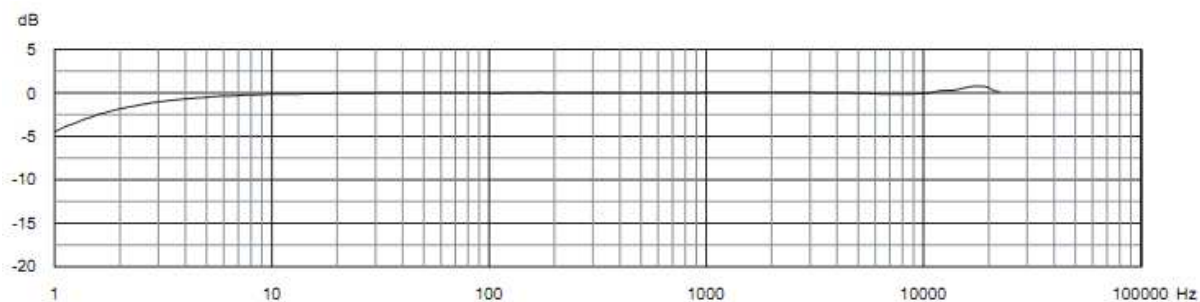


Obr. 10: B&K 4190

Jako měřicí mikrofon byl použit typ 4190 od firmy Brüel & Kjær. Tento mikrofon je určen pro měření ve volném poli (bezodrazová komora).

Parametry mikrofonu:

- citlivost: 50 mV/Pa
- frekvenční rozsah: 6,3 Hz – 20 kHz
- dynamický rozsah: 14,6 dB – 146 dB
- teplota: -30 °C – 150 °C
- polarizace (externí): 200 V



Obr. 11: Typická odezva mikrofonu typ 4190 ve volném poli

6.1.7 Analyzátor



Obr. 12: B&K analyzátor

Konkrétní analyzátor se skládá z několika modulů.

Parametry mikrofonního modulu 3109:

Vstup:

- vstupní kanály: 4
- frekvenční rozsah: 0 – 25 600 Hz
- konektorové připojení: BNC, LEMO
- typ vstupu: direct, CCLD, mikrofonní předzesilovač, tacho
- A/D převodník: 16bitový
- polarizace mikrofonů: 0 nebo 200 V
- dynamický rozsah: 80 dB
- harmonické zkreslení: -80 dB
- CMR: 40 dB (0 – 1 kHz)

Výstup:

- výstupní kanály: 2 generátory (BNC)
- frekvenční rozsah: 0 – 25 600 Hz
- konektorové připojení: BNC
- D/A převodník: 24bitový

Dále analyzátor obsahuje LAN modul typ 7533 (komunikace s PC).

6.2 Blokové schéma



Obr. 13: Blokové schéma měřicího řetězce

7 Měřicí šablony

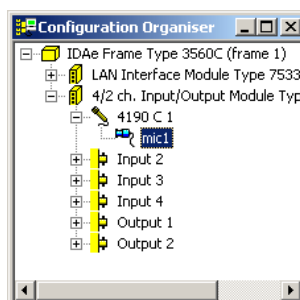
Všechny měřicí šablony byly vytvořeny v programu Pulse (Brüel & Kjær). V této kapitole bude popsán postup tvorby měřicí šablony, její vlastnosti a navázání na generované měřicí signály či vyhodnocovací program v Excelu.

V tomto programu jsou používány čtyři organisery – configuration, measurement, function a display. Každý z nich definuje určitou oblast (definice vstupů, analýz, vykreslení, velikosti paměti, spouštění,...). Velmi důležitá je zde funkce klávesy F2 – tato klávesa funguje jako aktivace změn nebo potvrzení nového nastavení. Musí být použita při přechodu k dalšímu organiseru. Z mého pohledu je ovšem lepší ji používat průběžně po změně jakéhokoli parametru či vytvoření nové části šablony.

Šablony pro měření THD (1/3 oktávy, 1/6 oktávy) a modulačního zkreslení (1/3 oktávy) jsou shodné, liší se pouze v počtu FFT křivek zaznamenávaných do paměti multispekter (struktura multibuffer). Na tuto odlišnost bude upozorněno níže.

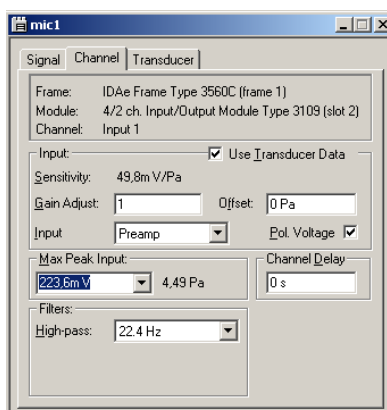
7.1 Postup vytvoření a vlastnosti

1. Na začátku je nutné nastavit přiřazení vstupního signálu (mic1) do skupiny signálů (groups). Konkrétní skupina signálů má název mikrofony.



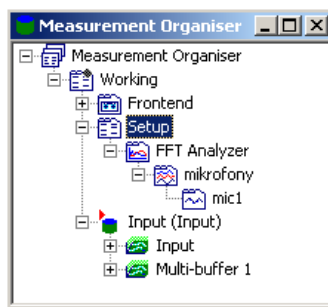
Obr. 14: Okno vstupů

2. Nastavení úrovně vstupního signálu: stiskem pravého tlačítka myši na mic1 a výběrem properties můžeme v příslušném okně nastavit maximální hodnotu vstupního signálu. Tato hodnota určuje odstup signálu od šumu.



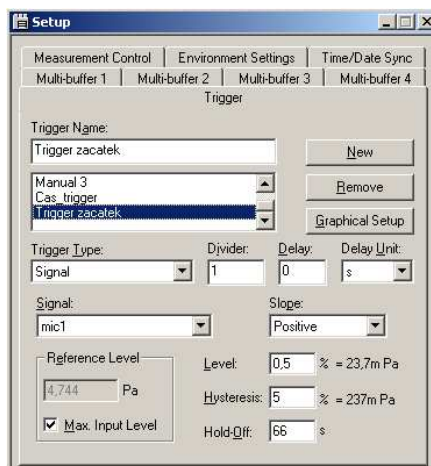
Obr. 15: Okno vstupního signálu

3. Volba setup → properties → nastavení spouštění (trigger) a velikosti paměti multispekter (multibuffer): každá šablona má dva druhy spouštění. První je pro spuštění měření a druhý pro uložení odezvy pro danou frekvenci měřícího signálu.



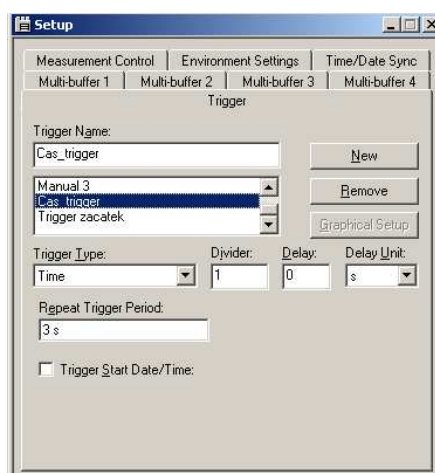
Obr. 16: Okno nastavení měření a analýz

4. Nastavení trigger zacatek: tento trigger je určen pro spuštění měření. Na začátku a konci měřicího signálu je 5s ticho, z důvodu nemožnosti pozastavit signál na generátoru. Proto musí být v šabloně tento trigger. Spustí měření při vyhodnocení nastavené hladiny signálu (na mikrofону – vstupu mic1).



Obr. 17: Okno nastavení triggeru zacatek

5. Nastavení cas_trigger: cas_trigger spustí měření každé 3 sekundy a uloží odezvu do paměti. Tento trigger musí mít 1 sekundové zpoždění (delay) aby nedošlo k spuštění měření na rozhraní dvou frekvencí. To by mohlo vést ke zkreslení výsledků.



Obr. 18: Okno nastavení cas triggeru

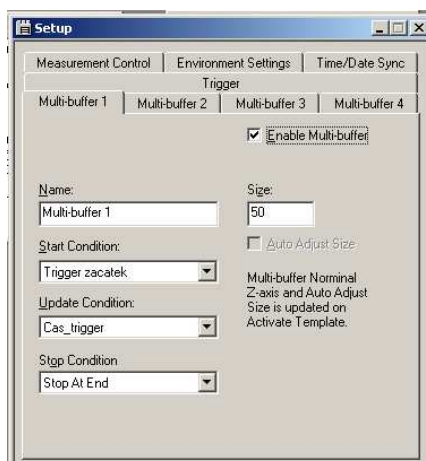
6. Nastavení velikosti paměti multispekter (multibuffer): zde je nutno nastavit trigger zacatek jako podmínku pro start a cas_trigger jako podmínku pro uložení odezvy na dané frekvenci. Měření se zastaví po zaplnění paměti. To je dáno jeho velikostí (hodnotou SIZE).

Hodnota parametru size je jediný rozdíl v měřících šablonách.

Název šablony	Zkreslení	Velikost paměti
FFT_multibuffer 3sek._1.3oct	harmonické	23
FFT_multibuffer 3sek._1.6oct	harmonické	44
FFT_multibuffer 3sek._1.3oct_inter	modulační	19

Tab. 1: Velikost parametru SIZE

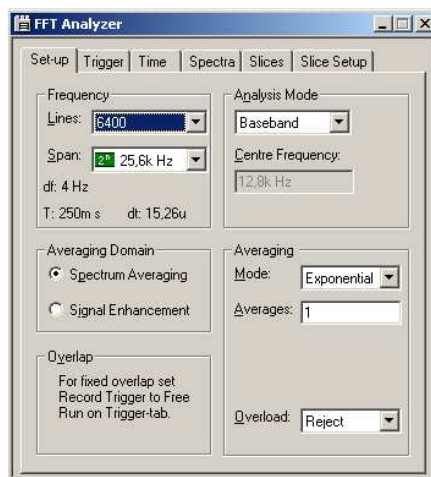
Velikost paměti je o 1 větší než počet frekvencí měřícího signálu. Poslední odezva v paměti je průběh hlukového pozadí (backgroundu).



Obr. 19: Okno nastavení paměti (multibufferu)

7. Nastavení FFT analýzy: zde je třeba nastavit počet čar (lines) a span (šířka pásma) z toho vychází frekvenční rozlišení $df = 4\text{Hz}$. Tento údaj je velmi důležitý jelikož podle něj je třeba korigovat frekvence měřícího signálu. Ty musí přesně odpovídat frekvencím, se kterými pracuje FFT analýza. Při nedodržení dochází k chybnému vyhodnocování.

Další parametr, který lze zde nastavovat je počet průměrů spekter (averages).



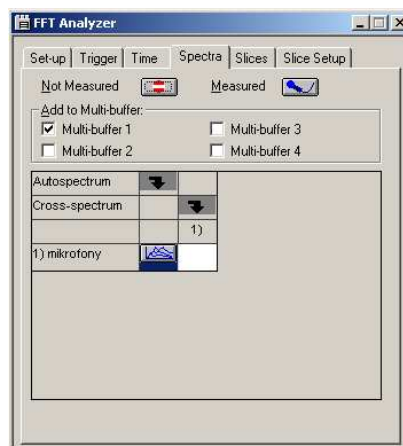
Obr. 20: Okno nastavení FFT analýzy

8. Připojení spouštění do FFT analýzy: v záložce Trigger je nutno nastavit jako startovací trigger volbu Free run a jako nahrávací trigger také free run.



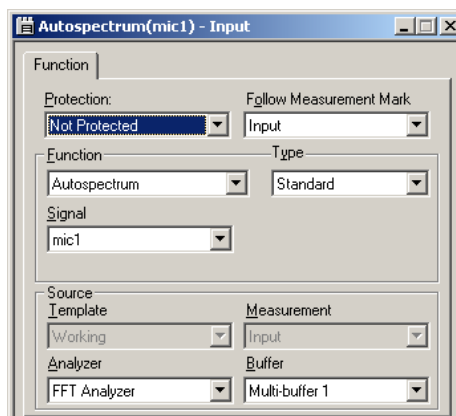
Obr. 21: Okno nastavení spouštění ve FFT analýze

9. Nastavení paměti do FFT analýzy: zde je nutno zaškrtnout konkrétní paměť, v tomto případě Multi-buffer 1.



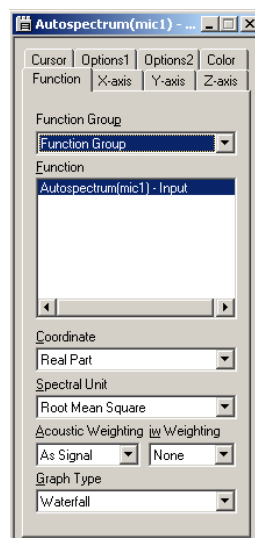
Obr. 22: Okno nastavení paměti ve FFT analýze

10. Nastavení autospektra: v tomto okně lze nastavit vstupní hodnoty a funkci vykreslování hodnot. Zde musí být nastavena FFT analýza, Multi-buffer 1, zdrojový signál mic1 a autospektrum (konkrétní nastavení obr. 23).



Obr. 23: Okno nastavení autospektra

11. Nastavení zobrazení naměřených odezv – display organiser: v tomto okně lze nastavit a upravovat vykreslování naměřených odezv. Je zde možnost vykreslování celé paměti (graph type – waterfall). Pro důkladné prohlížení a listování mezi odezvami je nutno zvolit parametr curve v graph type.



Obr. 24: Okno nastavení grafu

8 Vyhodnocování měření

Jak bylo výše uvedeno výstupní data z konkrétních šablon, vytvořených v analyzátoru Pulse, jsou exportovány jako soubory .xls. Z tohoto důvodu jsou všechny vyhodnocovací tabulky vytvořeny v programu Excel.

8.1 Základní popis

8.1.1 Vyhodnocení THD

Jediný rozdíl vyhodnocovací šablony pro 1/3 oktávy a 1/6 oktávy je rozdílný počet frekvencí (viz kapitola 4.2.1), tedy rozdílný počet výpočtových buněk a hodnot v THD(f).

- Popis listů

DATA – do tohoto listu se kopírují data z příslušné měřicí šablony

vypocty – zde se provádí výpočet THD pro konkrétní frekvenci

THD(f) – tento list uvádí přehlednou tabulku frekvencí a jim příslušných hodnot THD

GRAF – graf z hodnot na listu THD(f)

background – hodnota hlukového pozadí v bezodrazové komoře

- Popis výpočtové buňky

Frekvence	Odezva v dB	Odezva v Pa
52	82,01	0,25201999
104	52,61	0,00853827
156	63,19	0,02886357
208	30,06	0,00063668
260	38,27	0,00163931
THD [%]	11,963848	

Obr. 25: Výpočtová buňka THD

1. Tato buňka najde maximální hodnotu ve sloupci odezvy.
Vzorec=MAX(DATA!D85:D6485). Sloupec D je zde omezen přesně podle umístění dané odezvy v listu DATA.
2. Zde se k maximální hodnotě (první harmonická) přiřadí odpovídající frekvence.
Vzorec=INDEX((DATA!B85:B6485):(DATA!D85:D6485);
POZVYHLEDAT(E2;DATA!D85:D6485;0);1). Kde B je sloupec frekvencí a E2 hodnota maxima.
3. V tomto bloku je pouze násobena první harmonická čísly 2 – 5 (druhá až pátá harmonická)
4. Tato skupina buněk vyhledá příslušnou odezvu od konkrétní harmonické.
Vzorec=VYHLEDAT(D3;DATA!B85:B6485;DATA!D85:D6485). Buňka D3 označuje danou harmonickou.
5. Blok pro přepočet decibelů na pascaly. Vzorec= $10^{(E2/20)} * 2 * 10^{-5}$.
6. Vypočet THD z hodnot v pascalech.
Vzorec= $(ODMOCNINA(F3^2+F4^2+F5^2+F6^2)/F2)*100$

8.1.2 Vyhodnocení modulačního zkreslení

Vyhodnocování modulačního zkreslení je řešeno podobně jako šablona pro THD.

- Popis listů
DATA – do tohoto listu se kopírují data z příslušné měřicí šablony
vypocty – zde se provádí výpočet modulačního zkreslení druhou a třetí harmonickou pro konkrétní frekvenci

INT(f) – tento list uvádí přehlednou tabulku frekvencí a jim příslušných hodnot modulačního zkreslení

graf INT2 – graf z hodnot na listu INT(f) pro zkreslení 2. harmonickou

graf INT3 – graf z hodnot na listu INT(f) pro zkreslení 3. harmonickou

background – hodnota hlukového pozadí v bezodrazové komoře

- Popis výpočtové buňky

	4	5	
	Frekvence	Odezva v dB	Odezva v Pa
1	500	74,25	0,10315968
2	448	37,70	0,00153529
	552	37,54	0,00150619
3	396	19,11	0,00018046
	604	24,11	0,00032095
	INT2 [%]	2,948322	6
	INT3 [%]	0,486046	7

Obr. 26: Výpočtová buňka INT

1. V této buňce je zadána daná frekvence f_2 měřeného signálu
2. Zde se k frekvenci f_2 přičte a odečte frekvence f_1 .
Vzorec=D2-52 a D2+52. Kde D2 hodnota f_2 a 52 hodnota f_1 .
3. V tomto kroku se k frekvenci f_2 přičte a odečte dvojnásobek frekvence f_1 .
Vzorec=D2-2*52 a D2+2*52. Kde D2 hodnota f_2 a 52 hodnota f_1 .
4. Tato skupina buněk vyhledá příslušnou odezvu konkrétní frekvence.
Vzorec=VYHLEDAT(D2;DATA!B85:B6485;DATA!D85:D6485). Buňka D3 označuje danou frekvenci.
5. Blok pro přepočet decibelů na pascaly. Vzorec=10^(E2/20)*2*10^-5.
6. Vypočet modulačního zkreslení druhou harmonickou z hodnot v pascalech.
Vzorec=((F3+F4)/F2)*100
7. Vypočet modulačního zkreslení třetí harmonickou z hodnot v pascalech.
Vzorec=((F5+F6)/F2)*100

8.2 Práce s vyhodnocovacími šablonami

Tyto šablony jsou uživatelsky velice jednoduché. V prvním kroku uživatel nakopíruje výstupní data z měřicí šablony do listu DATA. Od této chvíle je vše plně automatické a může být listováno všemi výsledky.

9 Vlastní měření

Přesnost obou těchto způsobů vyhodnocování problematických frekvencí je určena frekvenčním rozlišením Δf (nastavení parametrů FFT analýzy). Z důvodu využití korigovaných frekvencí vstupních signálů by měly vyhodnocené problematické frekvence přesně odpovídat.

9.1 Využití měření nelinearit k určení rezonančních frekvencí

Určení zkreslení (THD, modulační) reproduktoru je běžné při měření parametrů ozvučení dveří. Tohoto faktu je využíváno při nestandardním určování rezonančních frekvencí popsaných v této práci. Vrcholy na křivce závislosti zkreslení na frekvenci určují problematické rezonanční frekvence systému. Jedná se o rychlé a efektivní měření, které je informativní z hlediska úrovně, ale přesnější v určení konkrétních frekvencí.

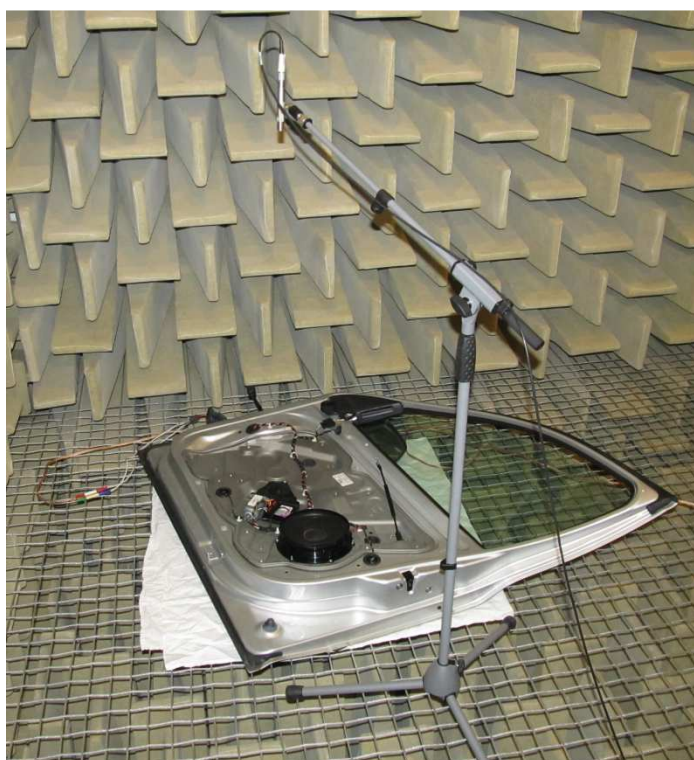
9.2 Uspořádání měřené soustavy

Na určení parazitních rezonancí dveří je nutné znát průběh frekvenční závislosti zkreslení reproduktoru v tuhé ozvučnici. Zároveň je také potřeba vyřešit kvalitní uchycení reproduktoru. Při měření byla dodržována normou daná vzdálenost mikrofону od reproduktoru. V praxi při měření v automobilu nelze tuto vzdálenost dodržet z důvodu omezených vnitřních prostor automobilu.



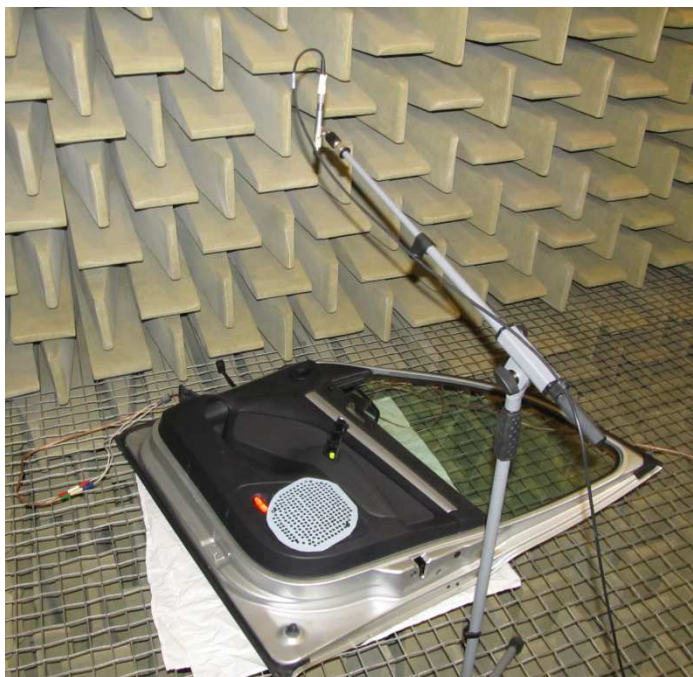
Obr. 27: Uspořádání měření reproduktoru

Uspořádání sestavy pro měření dveří je vidět na obrázku 28. Dveře byly položeny na drátěnou mříž v bezodrazové komoře. Z tohoto důvodu je nutné dveře podložit materiálem absorbujícím vibrace, aby nedocházelo k ovlivňování měřeného systému.



Obr. 28: Uspořádání měření dveří

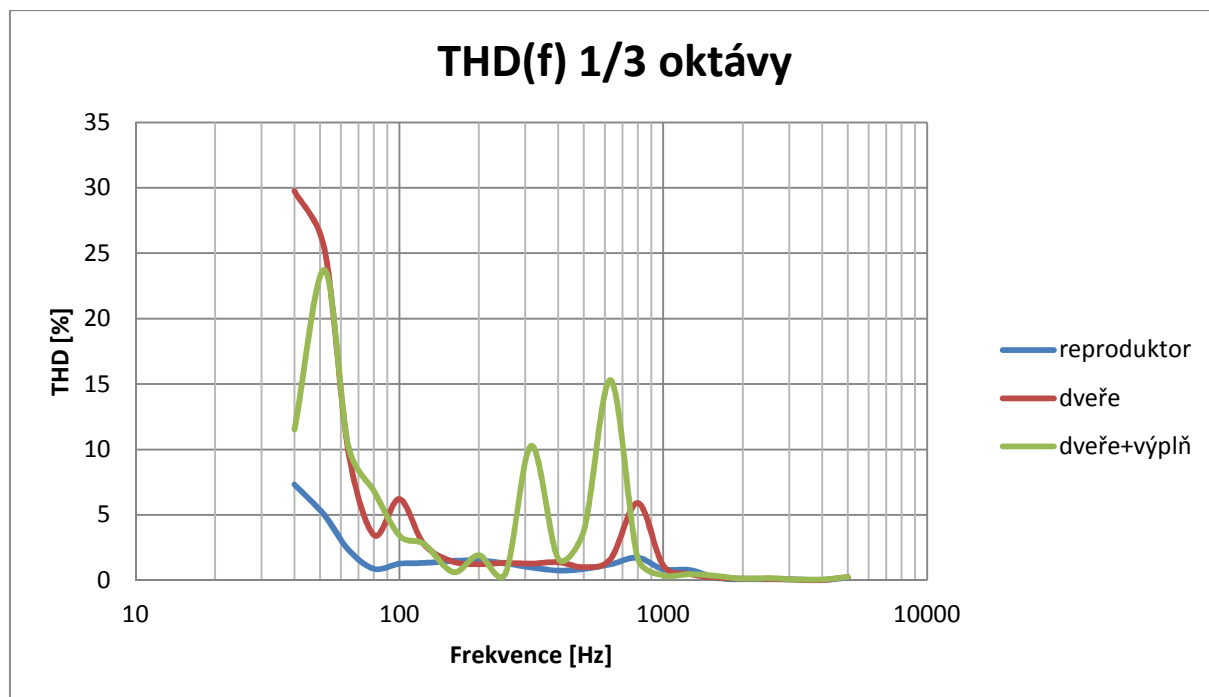
Stejné uspořádání je využito i při měření dveří s dveřní výplní (obr. 29).



Obr. 29: Uspořádání měření dveří s dveřní výplní

9.3 Měření THD

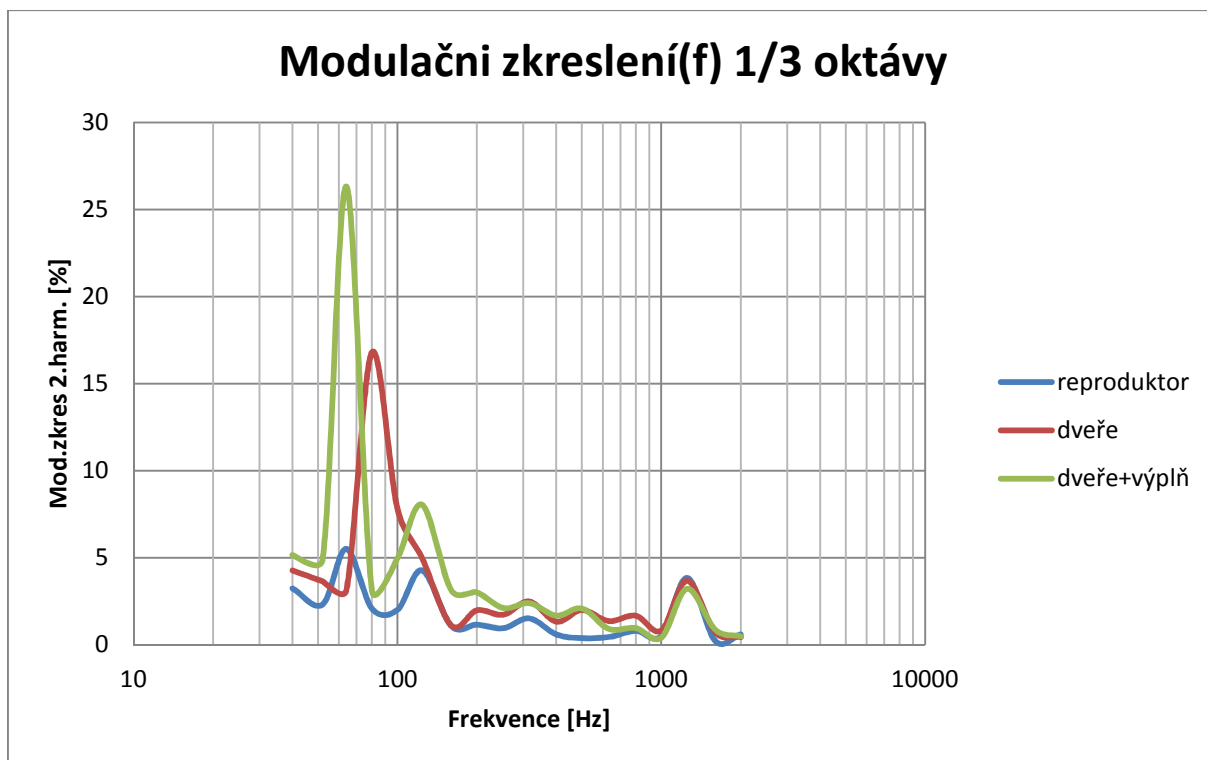
Za použití vyhodnocovací šablony v Excelu dostaneme závislosti THD na frekvenci pro samotný reproduktor, dveře a dveře s výplní. Z grafu pro 1/3 oktávový vstupní signál je možné odečíst problematické frekvence daného systému. Hodnota vstupního signálu udávaná voltmetrem byla 2,69 V pro reproduktor a 4,08 V pro dveře. Pro přesnější určení těchto frekvencí slouží 1/6 oktávová odezva uvedená v příloze.



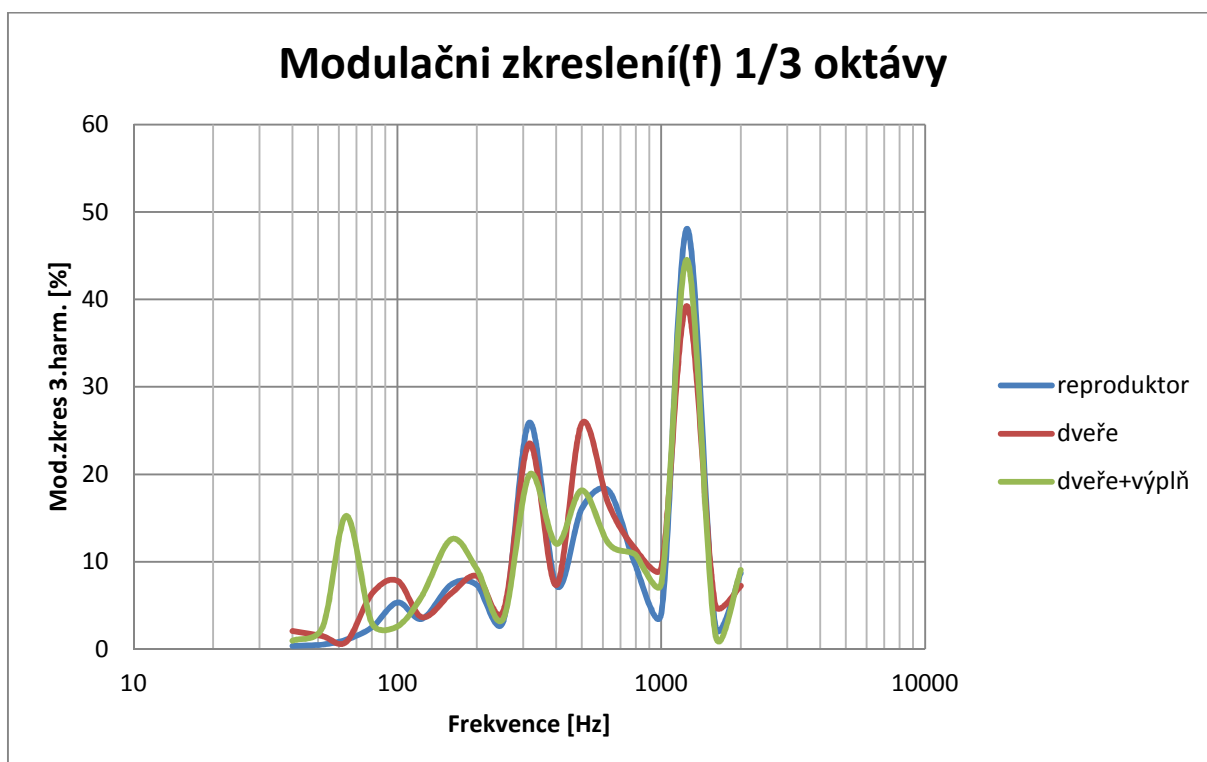
Graf 1: Závislost THD na frekvenci

9.4 Měření modulačního zkreslení

Ve stejné šabloně jako při měření THD byly vyhodnoceny odezvy na signál určený pro měření modulačního zkreslení. Toto měření bylo prováděno pouze pro 1/3 oktávový vstupní signál. Jeho hodnota udávaná voltmetrem byla 1,55 V pro reproduktor a 2,37 V pro dveře. Z grafů mohou být odečteny problematické frekvence pro dveřní systém, které vyplývají z měření modulačního zkreslení druhou a třetí harmonickou.



Graf 2: Závislost modulačního zkreslení 2. harmonickou na frekvenci



Graf 3: Závislost modulačního zkreslení 3. harmonickou na frekvenci

9.5 Tabulka problematických frekvencí

V této tabulce jsou uvedeny problematické frekvence dveří bez výplně.

Druh měření	Frekvence [Hz]									
THD 1/3oct	100	800								
THD 1/6oct	44	72	92	204	256	320	404	572	808	1 436
INT2 1/3oct	80	200	316	500	800	1 252				
INT3 1/3oct	100	200	316	500	1 252					

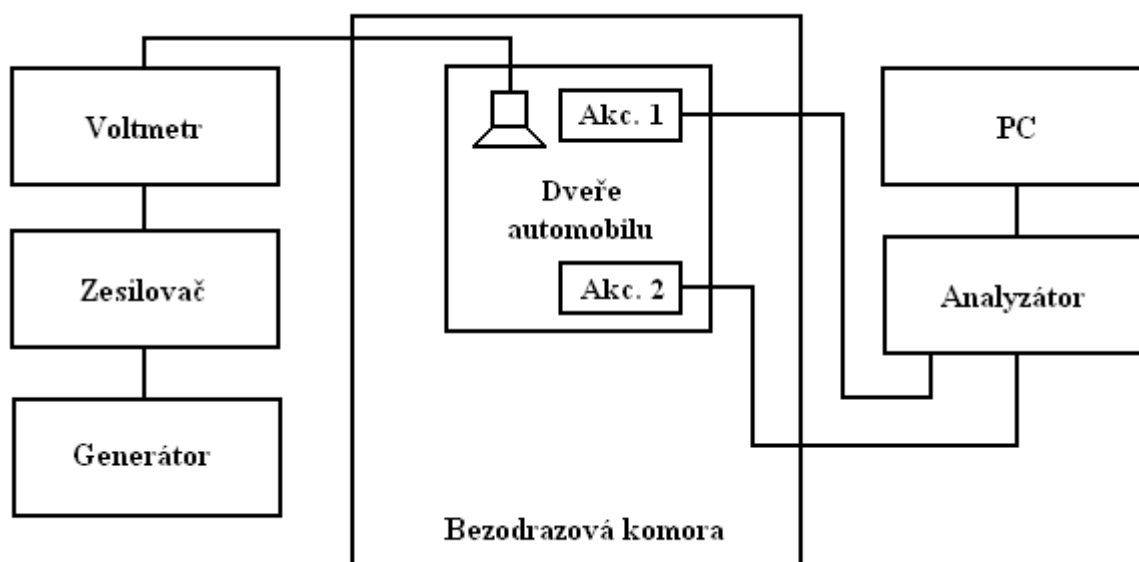
Tab. 2: Problematické frekvence dveří bez výplně

10 Ověření metody

Vibrace dveří byly ověřeny i konvenční metodou měření zrychlení ve vybraných bodech dveří pomocí akcelerometrů při buzení reproduktoru šumovým signálem.

10.1 Měřicí řetězec

10.1.1 Blokové schéma



Obr. 30: Blokové schéma

10.1.2 Prvky měřícího řetězce

Prvky měřícího řetězce jsou shodné s měřením dveří (kapitola 6.1). Jediným rozdílem je přítomnost dvou akcelerometrů jako snímacích prvků místo mikrofonu. Celá tato sestava byla opět buzena vestavěným reproduktorem. Jako vstupní signál byl použit bílý šum (hodnota na voltmetru 2,34 V).

Akcelerometry



Obr. 31: B&K 4507 B 004

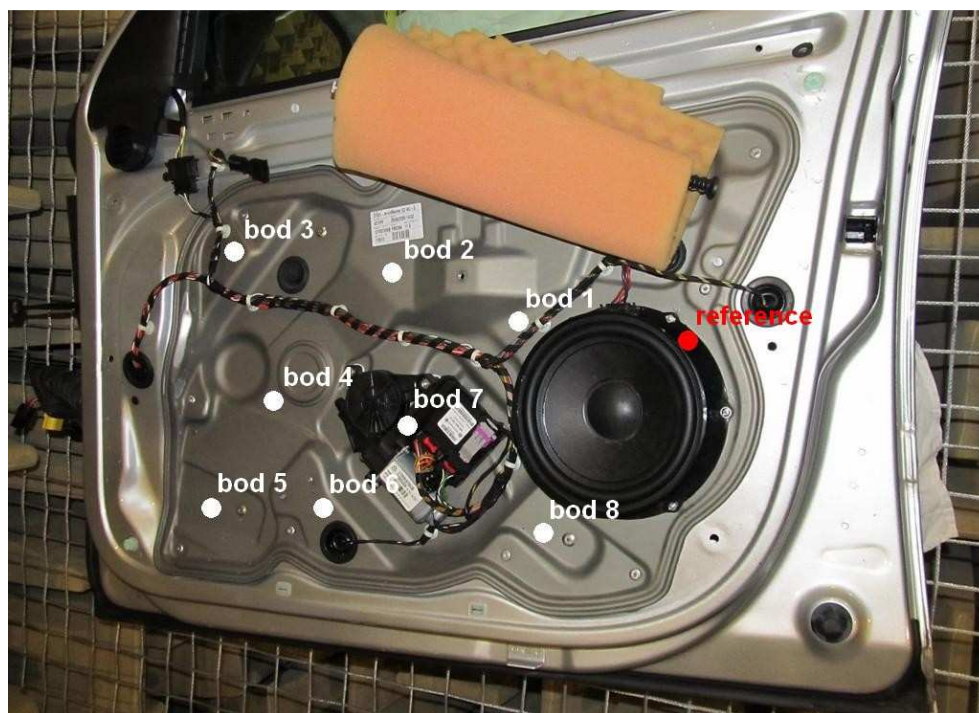
Pro snímání vibrací byly použity akcelerometry typu 4507 B 004 od firmy Brüel & Kjær. Tyto akcelerometry jsou jednoosé.

Parametry akcelerometrů:

- citlivost: 10 mV/ms^{-2}
- frekvenční rozsah: 0,3 Hz – 6 kHz
- měřící rozsah: 700 ms^{-2}
- výstupní impedance: $<30 \Omega$
- napětí biasu: $13 \pm 1 \text{ V}$

10.2 Uspořádání měřené soustavy

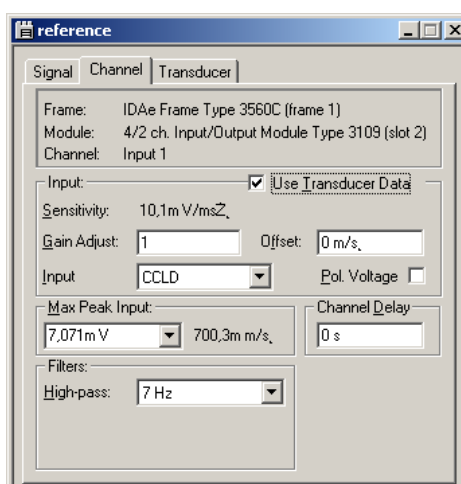
Celá soustava byla opět měřena v bezodrazové komoře. Dveře byly položeny na drátěnou mříž a podloženy materiálem absorbujícím vibrace. Oba akcelerometry byly na určená místa lepeny oboustrannou lepicí páskou. Rozmístění měřících míst je vidět na obrázku 32. První z akcelerometrů se nacházel stále v referenčním bodě, druhým byly měřeny vibrace v ostatních zvolených bodech.



Obr. 32: Měření vibrací – zvolené body

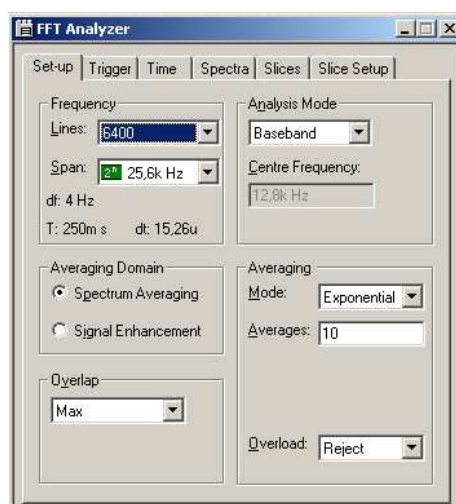
10.3 Popis měřicí šablony

Měřicí šablona byla opět vytvořena v analyzátoru Pulse. Podrobný popis tvorby je popsán v kapitole 7.1. Šablona pro ověření metody je lehce rozdílná – jednodušší. Vstupní signály z akcelerometrů (reference, signal) jsou přidány do skupiny akcelerometry. Důležité je správně nastavit maximální vstupní úroveň (obr. 33), aby nedocházelo k přebuzení vstupů.



Obr. 33: Nastavení vstupního signálu

Dále bylo potřeba vhodně nastavit FFT analýzu. Konkrétní nastavení ukazuje obrázek 34.



Obr. 34: Nastavení FFT analýzy

Ovládání šablony je velmi jednoduché. Po stisku klávesy F5 začne měření, tlačítko F6 ho ukončí. Poté lze prohlížet naměřené odezvy referenčního a bodového akcelerometru a kopírovat hodnoty do Excelu.

10.4 Vyhodnocování měření

Výstupní data z konkrétních šablon, vytvořených v programu Pulse, jsou opět exportovány jako soubory .xls. Proto jsou vyhodnocovací tabulky vytvořeny v programu Excel.

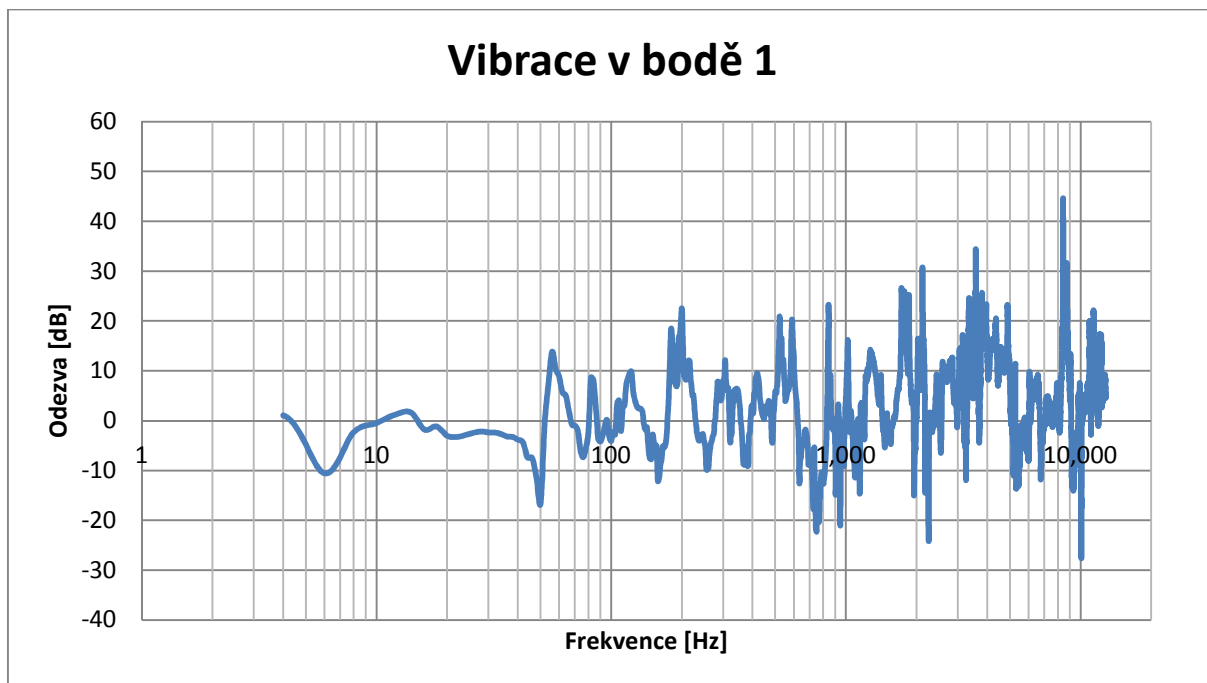
Vyhodnocování je velmi jednoduché. Pro získání konkrétní odezvy (rozdílová funkce) je potřeba odečíst odezvu v daném bodě od referenční odezvy na dané frekvenci:

$$A_{1f_x} = A_{bod\ 1f_x} - A_{reference\ f_x} \quad (6)$$

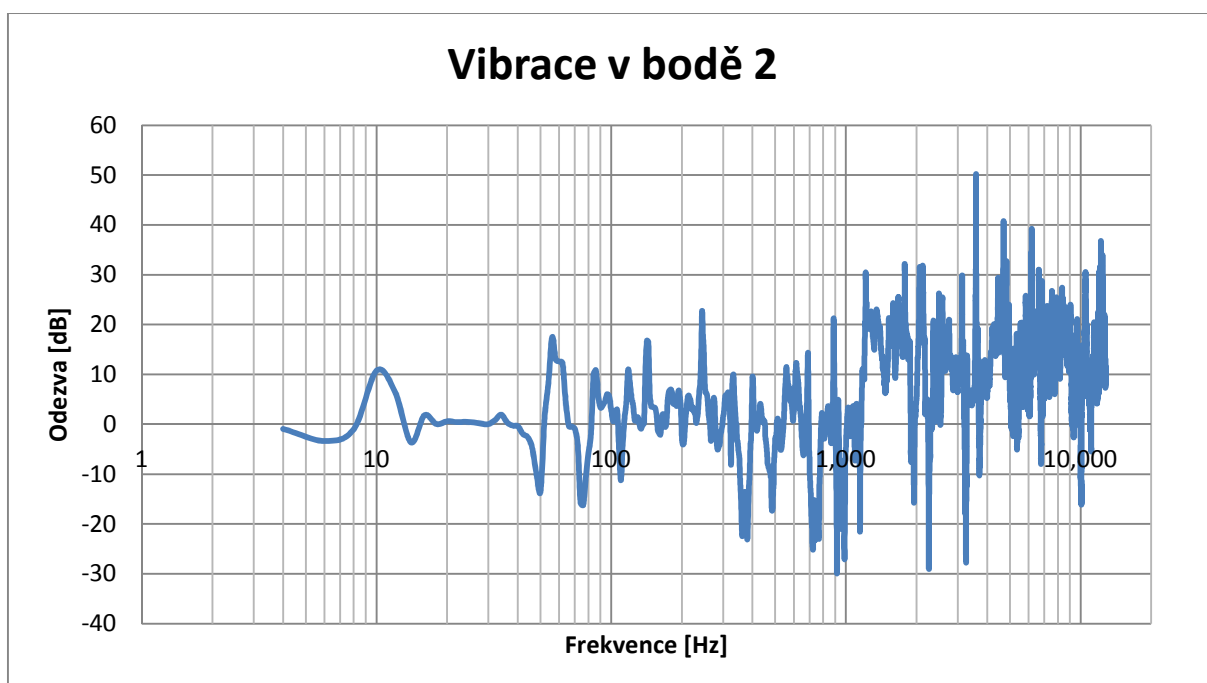
Ze závislosti vypočítané odezvy v konkrétním bodě na frekvenci lze určit veškeré problematické frekvence systému.

10.5 Odezvy v určených bodech

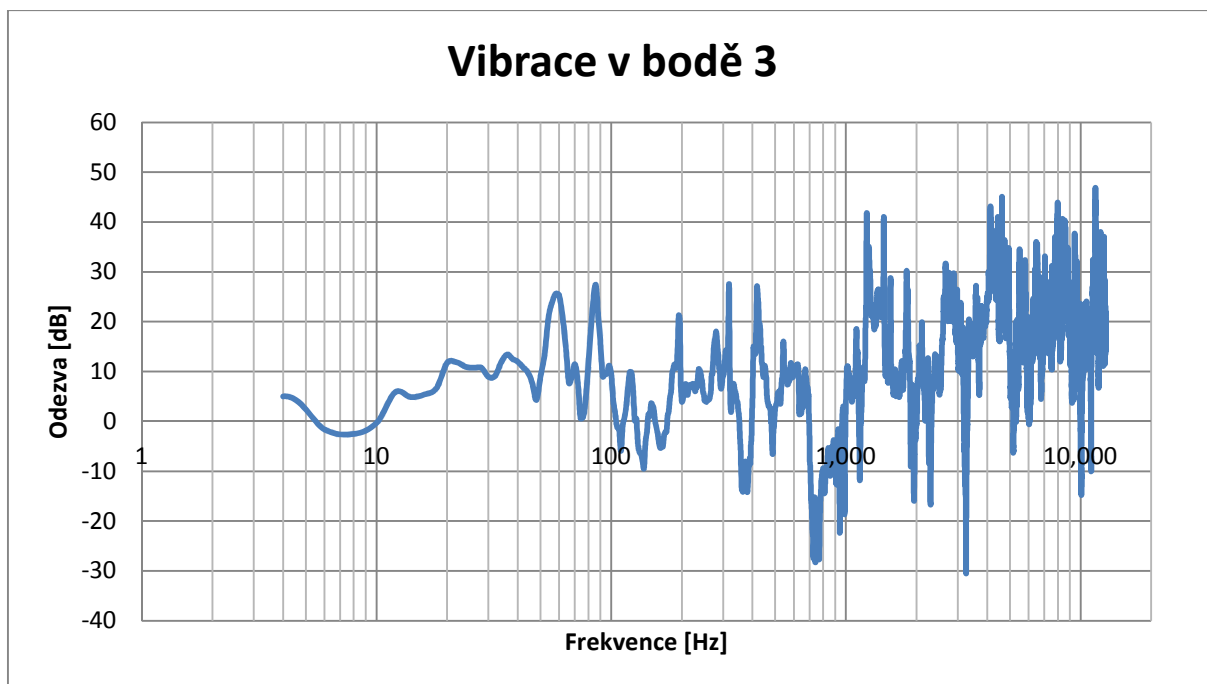
10.5.1 Grafy



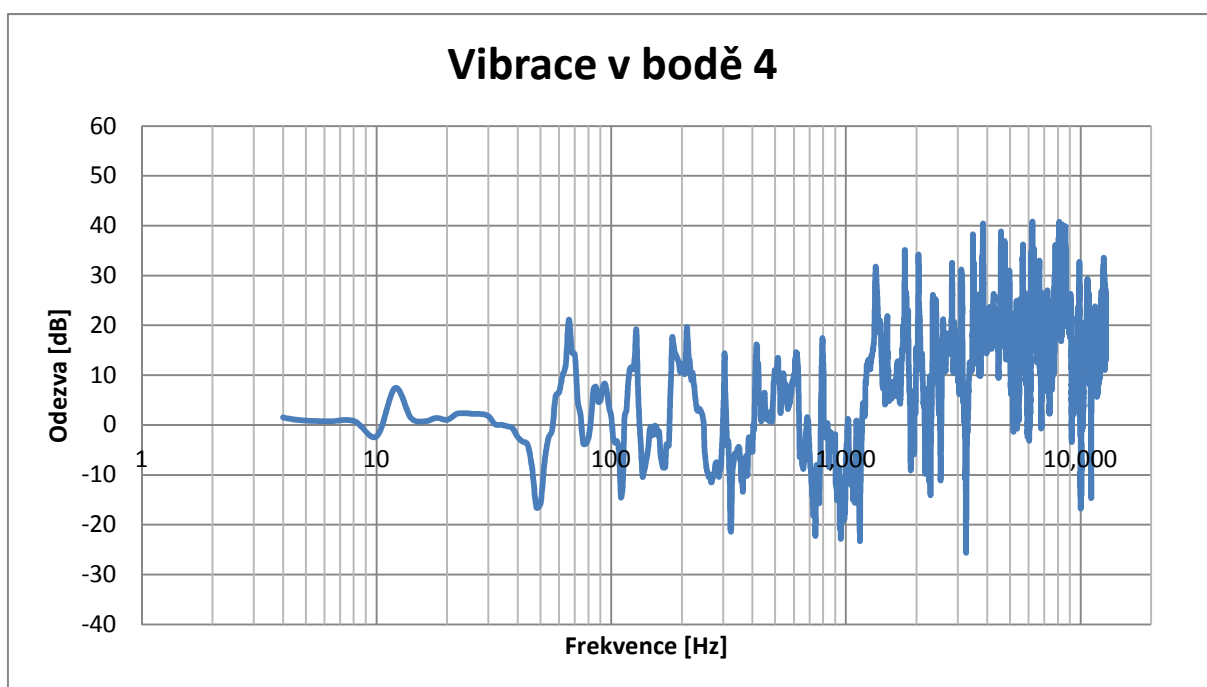
Graf 4: Závislost rozdílové odezvy v bodě 1 na frekvenci



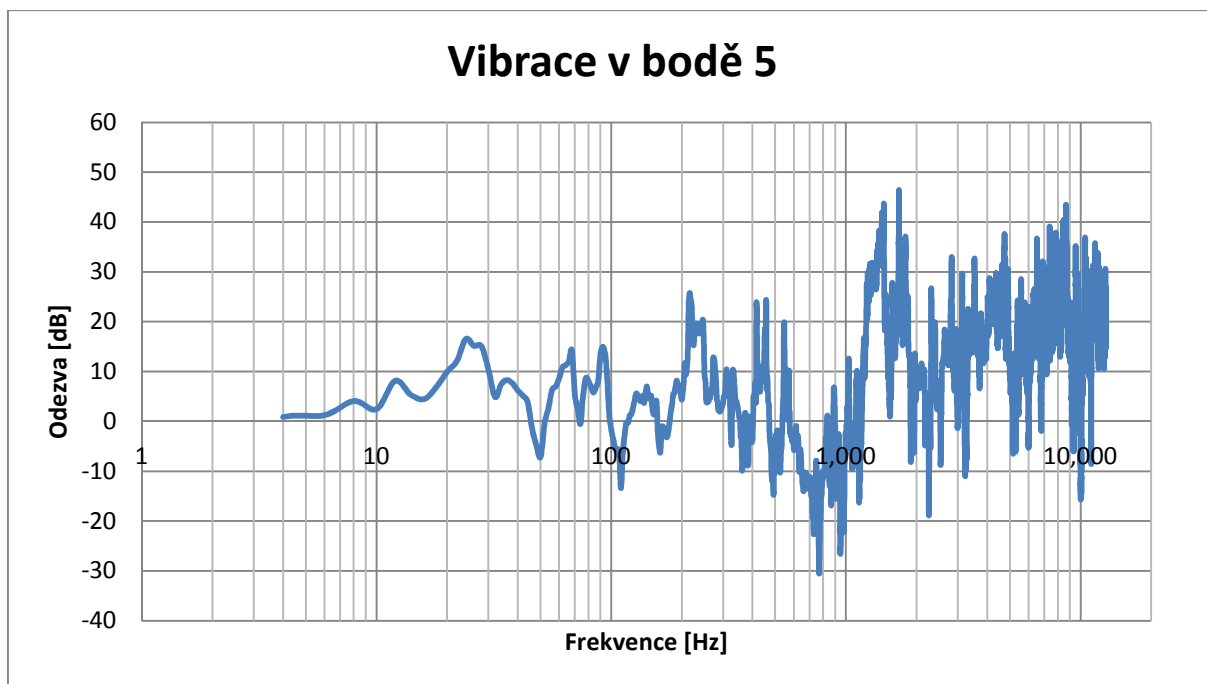
Graf 5: Závislost rozdílové odezvy v bodě 2 na frekvenci



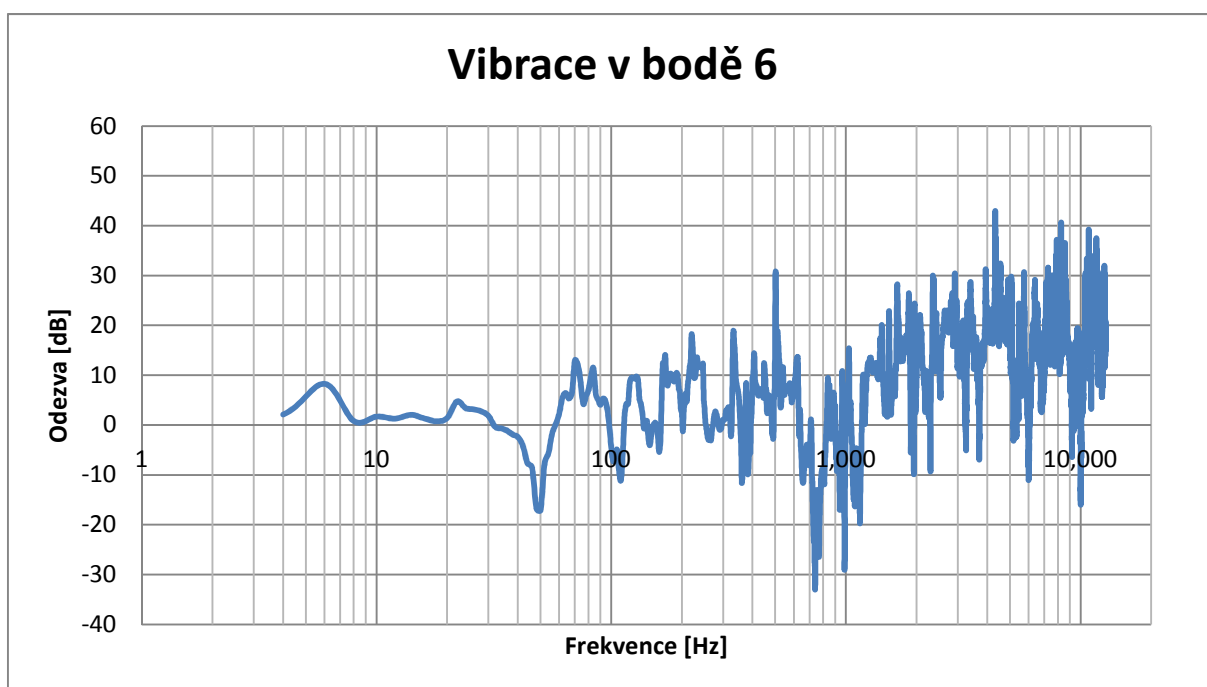
Graf 4: Závislost rozdílové odezvy v bodě 3 na frekvenci



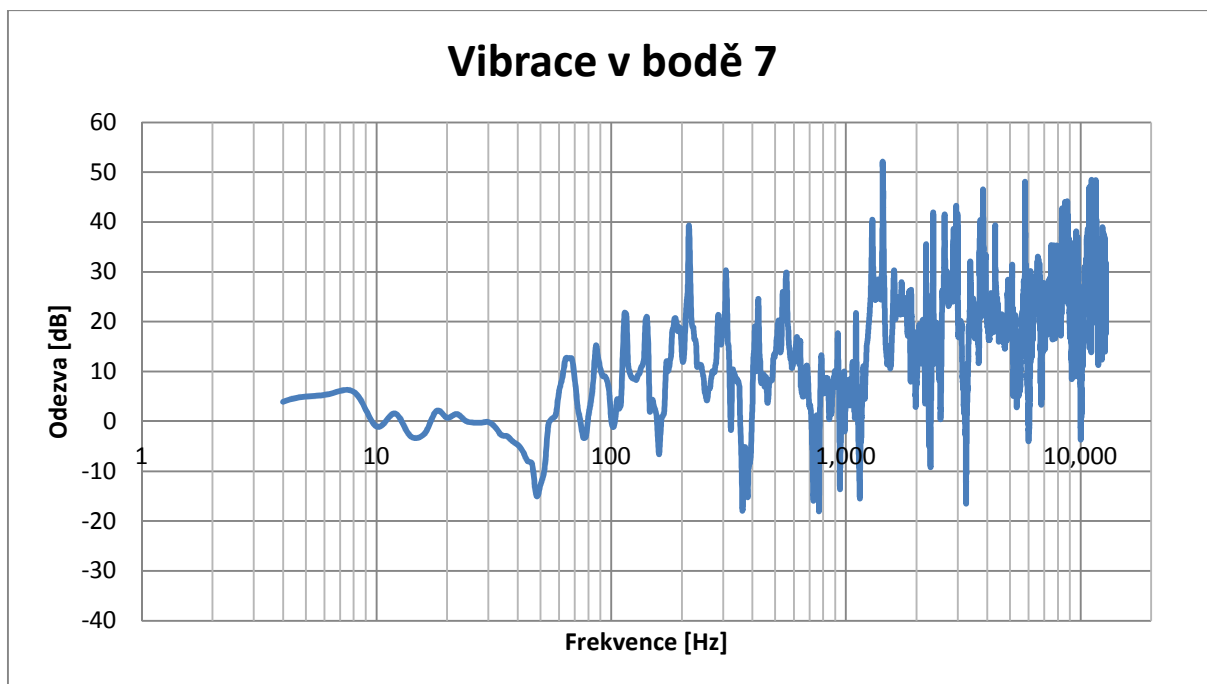
Graf 5: Závislost rozdílové odezvy v bodě 4 na frekvenci



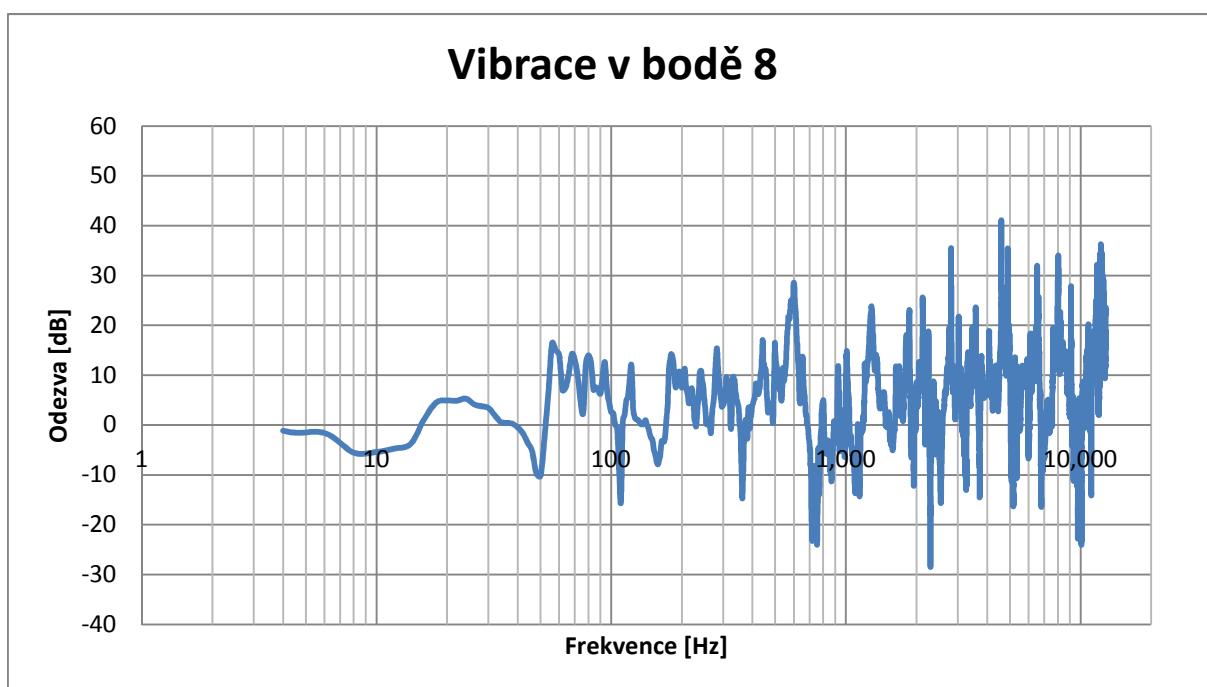
Graf 6: Závislost rozdílové odezvy v bodě 5 na frekvenci



Graf 7: Závislost rozdílové odezvy v bodě 6 na frekvenci



Graf 8: Závislost rozdílové odezvy v bodě 7 na frekvenci



Graf 9: Závislost rozdílové odezvy v bodě 8 na frekvenci

10.5.2 Tabulka problematických frekvencí

V této tabulce jsou vypsány problematické frekvence na určených bodech. Vzhledem k maximální frekvenci špiček získaných z měřících metod popsanych v této práci – měření THD (1 436 Hz) a modulačního zkreslení (1 252 kHz) – jsou hodnoty uváděny do 1 500 Hz. Kompletní odezvy v každém bodě jsou uvedeny v kapitole 10.5.1.

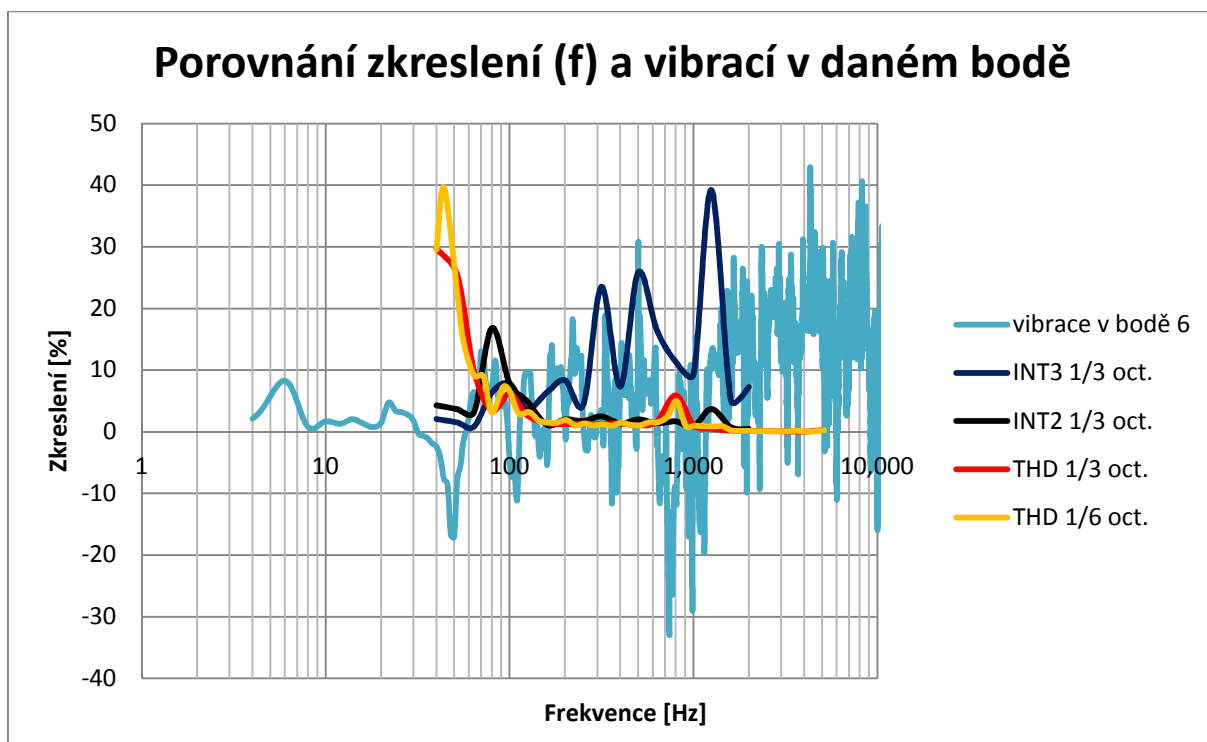
Měřící bod	Frekvence [Hz]														
	56	84	120	200	306	410	522	588	844	1 018	1 302				
bod 1	56	84	120	200	306	410	522	588	844	1 018	1 302				
bod 2	10	56	84	118	144	244	330	402	558	618	690	886	1 216		
bod 3	36	60	86	122	196	278	318	418	544	1 110	1 228	1 450			
bod 4	12	66	86	128	182	210	304	418	512	608	796	1 344	1 500		
bod 5	12	24	68	94	142	216	416	458	546	890	1030	1 452			
bod 6	22	72	84	126	170	218	332	406	502	624	838	1 032	1 424		
bod 7	18	66	86	116	142	214	308	424	558	786	922	1 106	1 298	1 436	
bod 8	56	68	80	94	122	182	242	280	442	498	602	802	924	1 008	1 286

Tab. 3: Problematické frekvence – ověřovací měření

Tučně jsou v této tabulce vyznačeny hodnoty frekvencí, které se shodují s frekvencemi určenými měřením THD a modulačního zkreslení (tabulka v kapitole 9.4). Tolerance určení je ± 4 Hz (nastavení df ve FFT analýze šablony pro ověření měření).

10.5.3 Grafické porovnání problematických frekvencí

V tomto grafu lze porovnat výsledné závislosti zkreslení na frekvenci dveří automobilu bez výplně s rozdílovou odezvou naměřenou akcelerometry ve zvoleném bodě (viz kapitola 10.2).



Graf 10: porovnání zkreslení (f) a vibrací v daném bodě

11 Závěr

Metoda popsaná v této práci je jedním ze způsobů, jak určit problematické rezonanční frekvence vedoucí k vibracím dveří automobilu. Je to rychlý a efektivní způsob měření chvění dveří s dostatečnou přesností. Celá tato sestava je buzena signálem přímo z vestavěného reproduktoru, lze tedy testovat kompletní dveře bez jakýchkoli úprav přímo při měření parametrů ozvučovacího systému automobilu.

Po prostudování způsobu umístění a vlastností reproduktorů bylo nutno stanovit konkrétní testované parametry – harmonické a modulační zkreslení reproduktoru. V závislosti na těchto parametrech bylo nutné vytvořit vstupní měřicí signály a bylo je potřeba správně navázat tyto signály na měřicí systém s analyzátozem. Následně byla měřena a vyhodnocována závislost obou zkreslení na frekvenci jak u reproduktoru samotného, tak u reproduktoru ve dveřích bez výplně i s výplní.

Pro měření bylo potřeba sestavit měřicí řetězec a vytvořit měřicí šablony. Tyto šablony byly vytvořeny v analyzátoru Pulse od firmy Brüel & Kjær. Tento výrobce nabízí i rozšíření analyzátoru Pulse o zde popisované měření závislosti zkreslení na frekvenci, ale tato možnost je velmi nákladná. Následné vyhodnocování je prováděno automaticky programem vytvořeným v MS Excel.

Tento způsob měření by měl být využit na popsání mechanického systému – dveří automobilu nebo i samotného reproduktoru. Měl by sloužit jako nástroj pro budoucí vývoj těchto systémů a jejich snadné testování na problematické parazitní rezonanční frekvence.

Použitá literatura

- [1] ČSN EN 60268-5. *Elektroakustická zařízení: Reproduktory*. Praha: Český normalizační institut, 2004.

Použité internetové zdroje

- [W1] Agilent 34401A Multimeter. *Home.agilent.com* [online]. 11. 10. 2011 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5968-0162EN.pdf>
- [W2] Minirator MR2/MR-PRO. *Nti-audio.com* [online]. 1. 12. 2006 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: http://www.nti-audio.com/Portals/0/Products/Minstruments/MR2/Downloads/Manual_Minirator_MR2_MR-PRO_e.pdf
- [W3] Yamaha CP2000. *Manualowl.com* [online]. 2000 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://www.manualowl.com/m/Yamaha/CP2000/Manual/153381>
- [W4] B&K 4507 B 004. *Bksv.com* [online]. 2004 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://www.bksv.com/doc/bp1841.pdf>
- [W5] B&K analyzátor. *Bksv.com* [online]. 11. 2008 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://www.bksv.com/doc/bu0228.pdf>
- [W6] B&K 4190. *Bksv.com* [online]. 8. 2009 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://www.bksv.com/doc/bp2211.pdf>

Přílohy

