



Kouzlo ve 2-kanálové reprodukce zvuku

Proč je to jen zřídka kdy slyšet?

Obsah

Úvod.....	3
Sluch.....	4
Bez-odrazová Stereo Reprodukce.....	4
Stereo ze sluchátek.....	4
Stereo z reproduktorových soustav.....	5
Odezva místnosti	6
Druhy rezonancí v místnosti.....	8
Zvukové pole s ozvěnou.....	9
Kouzlo stereo reprodukce.....	11
Typická stereo reprodukce.....	11
Optimální stereo reprodukce.....	13
Požadavky na reproduktory a nastavení.....	14
Příklady návrhu reproduktorových soustav.....	14
Přístup k návrhu dipólové reproduktorové soustavy.....	15
Dipólový basový reproduktor.....	16
Dipól nižších středů.....	17
Dipól vyšších středů.....	17
Dipólové výšky.....	17
Výhybky a jejich vyrovnání.....	18
Odezva poslechové místnosti.....	19
Hybridní reproduktorová soustava.....	19
Vyzařovací charakteristika.....	20
Dělicí kmitočty a vyrovnání.....	21
Výzva.....	22
Odkazy.....	24

V krátkosti

Poslech, identifikace směru, vzdálenosti a významu zdroje zvuku v různých akustických prostředích, je mechanismus pro přežití v evoluci živých organismů. Poslech dvou silně závislých zdrojů zvuku a to buď ze sluchátek nebo dvou reproduktorů, je nepřírozený fenomén, kdy je od spojení orgánů ucho-mozek žádáno, aby vypracovalo iluzi reality. Aby vznikla správná iluze, musí být ze zvukové prezentace přesvědčivě odstraněny zavádějící zvukové odrazy. V případě, že jsou použita sluchátka, která obvykle trpí vysokým stupněm deformace vzdálenosti, tedy zkrácení vzdálenosti, musí se signály přicházející do uší měnit s pohybem hlavy, aby se zajistilo vytvoření prostorové iluze. V případě, že jsou použity reproduktory, je zde již určitá vzdálenost mezi posluchačem a reproduktory a ta je obvykle vnímána jako minimální vzdálenost pro iluzi sluchové nebo fantomové scény. Tato scéna je ale obvykle silně ohraničena reproduktory, které jsou mozkiem identifikovány a jeden nebo druhý z nich je upřednostněn jako zdroj, když pohybuje posluchač bočně mírně hlavou z ideálního středu.

V místnosti s dozvuky neslyší posluchač jen přímý zvuk, ale také odražený zvuk (zvuk vyzařovaný mimo osu poslechu) a jeho sluchový orgán ve spojení s mozkiem musí být schopen snížit pozornost od místnosti a reproduktorů a zaměřit pozornost na vnímání přímého zvuku pro vytvoření přesvědčivé iluze reprodukované akustické události. Aby k tomu mohlo dojít, musí být odstraněno zavádějící vnímání nežádoucích odrazů. Reproduktorové soustavy musí být umístěny tak, aby došlo k dostatečnému zpoždění odrazů vůči jejich přímému zvuku. Aby byly reproduktorové soustavy neutrální, musí být zcela bez rušivého rezonančního vyzařování a jejich akustické vyzařování mimo osu musí odpovídat frekvenční charakteristice jejich vyzařování v ose poslechu. Jejich polární vyzařovací charakteristika musí být v podstatě buď všesměrová, kardioidní (ledvinová) nebo dipólová (osmičková), z cílem být konstantní. Reproduktorové soustavy musí být „akusticky“ malé, ale přesto schopné realistických úrovní hlasitosti při nízkém nelineárním zkreslení. Budeme se zabývat dvěma typy reproduktorových soustav a tvorbou jejich vyzařovacích charakteristik. Celo-pásmovými akusticky malými dipólovými reproduktorovými soustavami a hybridními, v provedení s kulovo ledvinovými dipóly. Obě tyto reproduktorové soustavy jsou schopné zmizet mozku z jeho vnímání a jakoby kouzlem vykreslit poslouchanou scénu i v místnosti s odrazy.

Úvod

Tvrdím, že jen pár posluchačů sterea, audiofilů nebo audio profesionálů slyšelo, čeho je stereo schopné, protože reproduktorové soustavy pro domácí poslech nejsou obecně navrženy pro použití v prostoru s nežádoucími odrazy. Kromě toho zdánlivé zdroje, které jsou klíčovými prvky stereofonní reprodukce, jsou nepřírozené jevy; my jsme evolucí naprogramováni detekovat směr a vzdálenost skutečných zdrojů zvuku v mnoha prostředích s dozvuky. Se stereofonní reprodukcí zvuku v místnosti s dozvuky se proto musí zacházet tak, jako by se vytvářel kouzelnický trik pro uši - trik, ve kterém posluchač odstraní pozornost od reproduktorových soustav a poslechové místnosti.

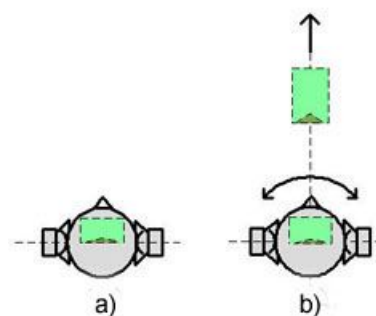
To co zůstává, abyste si užívali, je zdánlivá poslechová scéna. Poslechová místnost, reproduktorová soustava a vlastní nahrávka se podílí se na vytvoření iluze. Nejvýznamnějšími z nich jsou směrová charakteristika reproduktorové soustavy a umístění vlastních reproduktorů v místnosti. Ačkoliv je poslechový prostor často obviňován ze způsobování špatného sterea, je to většinou reproduktorová soustava a zdroj signálu, který vyplňuje prostor zvukem.

Sluch

Sluch se vyvinul jako účinný mechanismus přežití pro zjišťování směru, vzdálenosti a druhu zdroje zvuku v prostředí, kde může existovat více zdrojů zvuku a odrazů. Sluch i dnes stále funguje tak, že když otočíme naši hlavu směrem k překvapujícímu nebo neznámému zvuku, zjistíme, co je příčinou a jak daleko to je. Po určení zdroje reagujeme tak, že buď běžíme, dáváme si pozor, ignorujeme to nebo jsme naštvaní. V našem mozku, nosíme obrovský katalog známých zvuků. Hlasy různých jedinců jsou rozpoznány téměř okamžitě, i přes telefonního spojení špatné kvality. Když slyšíme odněkud přicházející hlas, obvykle víme, zda je z reproduktoru nebo od skutečné osoby. Proč tomu tak je? Každý reproduktor má svůj akustický podpis, tj. způsob vyzařování a sílu reakce, která definuje, jak to ovlivňuje prostor kolem něj. Lidský hlas má svůj akustický podpis také, a není-li reproduktor postaven tak, aby napodoboval tento podpis, je snadné rozpoznat živou osobu od zvuku z reproduktoru, a to zejména v prostředí s dozvuky. Hudební nástroje mají samozřejmě také své akustické podpisy, ať už se jedná o housle, čelo, klarinet, flétnu, klavír, atd. Vzhledem k tomu, že je nemožné postavit reproduktorovou soustavu, která může převzít všechny tyto podpisy, bude optimálním řešením reproduktorová soustava, která nepřidává svůj vlastní podpis k reprodukci záznamu, tj. reproduktorová soustava s neutrálním podpisem při vyzařování do 4. prostoru s dozvukem.

Bez-odrazová Stereo Reprodukce

Je poučné se nejdříve podívat na reprodukci stereo za podmínek bez odrazů. Poslech za těchto podmínek není přirozenou zkušeností, ale ukazuje nám, jak spojení orgánů ucho/mozek zvládá takové situace. Začneme prozkoumáním obou variant, sluchátek a reproduktorů.



Obr.1 Stereofonní sluchátka

Stereo ze sluchátek

Sluchátka vykreslují zvuk za téměř bezdozvukových podmínek. Dutiny mezi ušními bubínky a membránami sluchátek, ať už uzavřených, polootevřených nebo ušních sluchátek, často ovlivňují barvu zvuku. A co je nejdůležitější, vnímané vzdálenosti od poslouchané scény jsou zkráceny, což je nepřirozený fenomén. Je snadné, vytvořit binaurální nahrávky, kde člověk šeptá

do uší, ale všechny zdroje zvuku jsou blíží, než tomu bylo ve skutečnosti. Typicky jsou zvuky zepředu vnímány jako kdyby vznikly uvnitř něčí hlavy (viz. Obr. 1 (a)). V současnosti se vydává hodně úsilí na implementaci přenosových funkcí hlavy do akustického signálu, aby se daly prezentovat akustické zdroje v 3D prostředí.

HRTFs (přenosové funkce s vysokým rozlišením) jsou ale velmi individuální. Navíc výsledky těchto snah jsou velmi omezené, protože připravené HRTFs nejsou schopny se s pohybem hlavy změnit.

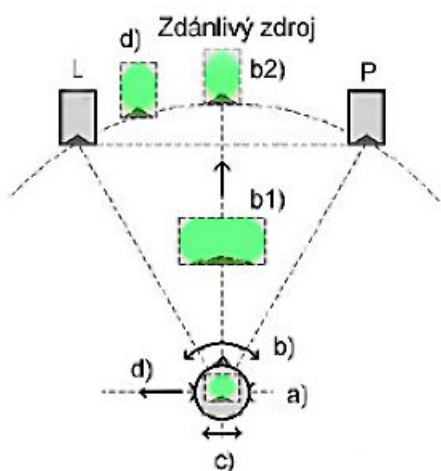
Sledováním pohybu hlavy mohou být zdroje zvuku umístěny v libovolné vzdálenosti od a kolem posluchače. Je velmi pravděpodobné, že změna HRTF s pohybem hlavy je mnohem důležitější než individuální korekce pro daného posluchače. Již se vyrábí sluchátka se změnou HRTF. Jedná se o velká sluchátka, zcela zakrývající uši a vytvářející prostor virtuální reality. V každém případě je nutné slyšet.

Stereo z reproduktorových soustav

Bezodrazové a bez-odrazové prostory jsou nezbytné pro měření reproduktorů a jejich návrhů. Jsou také nezbytné pro studium účinků směrového poslechu.

Předpokládejme například, že dva identické reproduktory a posluchač jsou v bez-odrazové komoře nastaveny do rovnostranného trojúhelníku. Obrázek 2. Do každého reproduktoru jsou přivedeny stejné signály. Kdyby byla zablokována hlava posluchače - tj. nesměla by se pohybovat - a nebyly zjištěny žádné vizuální podněty, pokud jde o umístění reproduktoru, pak by posluchač slyšel zdánlivý zdroj zvuku uvnitř své hlavy, přímo mezi ušima (a), stejně jako se sluchátka na uších.

Je-li posluchači dovoleno otočit hlavu, vnímá pak zdánlivý zdroj zvuku před sebou (B2) přibližně ve vzdálenosti neviditelných reproduktorů. Pro reproduktory s vysoce směrovou charakteristikou se může zdánlivý zdroj objevit před reproduktory (B1). V případě, že zdrojem signálu je šum, a posluchač pohybuje hlavou jen o malou vzdálenost do stran, pak je změna tonality slyšet v důsledku měnícího se rušení levého a pravého reproduktorového signálu na každé ucho (c). V případě větších bočních posunů (d) se zhroutí signál do nejbližšího reproduktoru a natočení hlavy pak potvrzuje fyzické umístění zdroje zvuku.



Obrázek 2. Stereo reprodukce v podmínkách bezodrazové komory. Zdánlivý zdroj při hlavě ve fixní poloze a).

Otáčení hlavy pro lokalizaci zdánlivého zdroje b). Změna tonality (česání) s malým bočním posunem c). Velké boční posuny hlavy a skákání ze zdánlivého zdroje k nejbližšímu reproduktoru d).

Při procesu nahrávání a směřování jsou úrovně monofonních zdrojů^{4,5,6} plánovány do míst mezi reproduktory a amplitudové a fázové rozdíly mezi

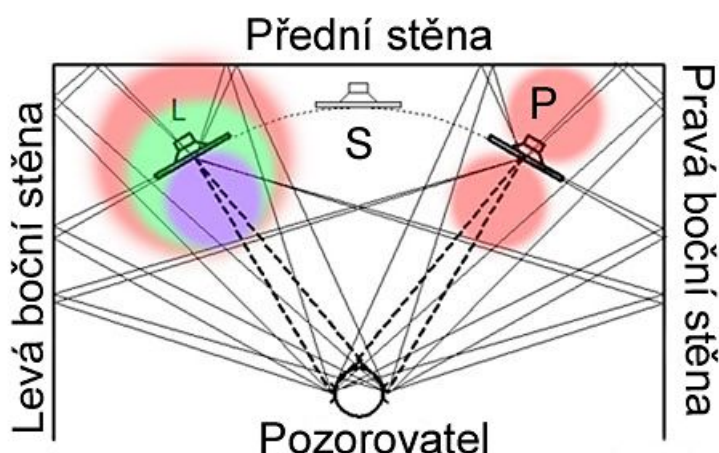
výstupy z jednoho nebo více směrových párů mikrofónů se používají k vytvoření

akustické scény mezi reproduktory. Zdánlivý zdroj zvuku mimo střed od posluchače jako je například d), může být vytvořen větší amplitudou signálu z levého než z pravého reproduktoru. Pod 800 Hz se překrývající signály z reproduktorů pro levé a pravé ucho převedou na časové změny^{7,8,9,10} mezi ušima (ITD), jako kdyby byly generovány ze skutečného zdroje v místě d). Vyšší obsah frekvencí nad 2 kHz s větší amplitudou zleva než pravého reproduktoru napodobuje stínování hlavy (IID efekt) a stabilizují zdánlivý zdroj mimo střed. Přejíždějící signály ale mohou rychle vést k identifikaci levého nebo pravého reproduktoru jako skutečného zdroje. Úkolem zvukaře je, distribuovat zdánlivou scénu mezi reproduktory. Akusticky mrtvé prostředí je obecně preferováno jako pracovní prostředí, protože mu umožňuje slyšet lépe, jak se rozhodnout. Je to ale umělé prostředí.

Odezva místnosti

Zatímco bezdozvukové podmínky jsou užitečné pro studium směrového poslechu, je nutné být na pozoru při aplikaci takovýchto poznatků do prostorů, kde se vyskytují vícenásobné odrazy signálu. Opět platí, že je to situace, která převládá v přirozeném poslechu a kde evoluce optimalizovala zpracování signálu mezi ušima za účelem přežití. Například, že je důležité, nerozptylovat se odrazy při hledání směru, ze kterého zvuk přichází.

Psycho akustický výzkum ukázal, že první odraz¹¹, který nastane krátce po přímém signálu (v čase <25 ms), musí být silnější, než je přímý signál předtím, než se posune směr prvního přicházejícího signálu. Druhý odraz¹² z jiného směru, musí být ještě silnější než první odraz, aby posunul směr. Další odrazy (> 30 ms) vykreslují ale stále větší pozornost, dokud jejich amplituda neklesne větším zpožděním. To dává smysl, protože další odrazy mohou ve skutečnosti pocházet od druhého zdroje. Reprodukční systém v místnosti produkuje velké množství odrazů¹³ a vnímání problémů začne být obtížné podrobně studovat kvůli velkému počtu signálových proudů, které přicházejí do každého ucha posluchače. **Obrázek 3.** Záležitost se stává ještě komplikovanější, když reproduktor mění své polární vlastnosti v závislosti na emitované frekvenci; reproduktor L je typický pro drtivou většinu skříňových reproduktorů. Tyto reproduktory vyzařují všesměrově při nízkých

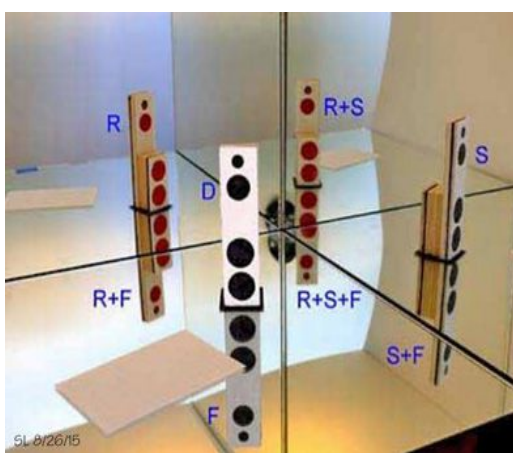


frekvencích a čím dál víc směrově dopředu při vyšších frekvencích, i když mají plochou charakteristiku v ose poslechu. Z tohoto důvodu, ozářuje takový reproduktor prostor zcela odlišně od dipólu s konstantní směrovostí – jako znázorněný reproduktor P. Odrazy dipólu produkují různé nad sebou umístěné akustické toky do uší posluchače, i když přicházejí ze stejného směru jako ty ze

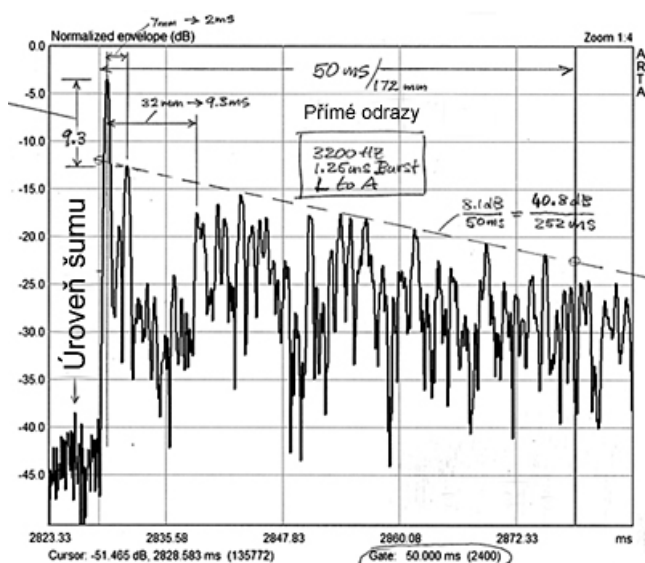
skříňové reproduktorové soustavy v místě dipólu.

Obrázek 3. Přímé signály a některé odrazy do uší posluchače pro dva typy reproduktorů: Dipólový P s frekvenčně nezávislou vyzařovací charakteristikou a typická skříňová reprosoustava L, která vyzařuje všesměrově při nízkých frekvencích a se vzrůstající frekvencí je stále více směrová dopředu. Zvuk z reproduktoru v blízkosti rohu podlahy a dvou stěn produkuje nejméně 7 odrazů¹³.

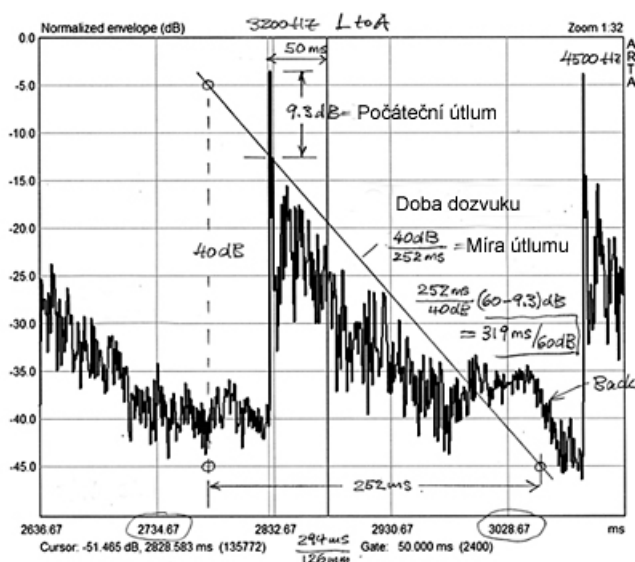
Obrázek 4. Tři z nich jsou odrazy prvního řádu, tři jsou druhého řádu a jeden je třetího řádu. Ve skutečnosti tam budou i stropní odrazy a odrazy od reproduktoru v levém rohu místnosti. Přímé a odražené signály se dále odrážejí v místnosti a vytváří hladinu akustického tlaku (SPL) dozvukového pole z odražených vln a dosahuje téměř všude v místnosti konstantní úrovně v případě, že zdroj signálu je podporován v SPL.



Obrázek 4. Dipólová reproduktorová soustava D blízko rohu tří protínajících se povrchů a její snímky za dokonale odrážejícími povrchy. Obrázky definují směr a délku dráhy odrazů. V kombinaci s polární charakteristikou reproduktoru a absorpčně/difúzních vlastností povrchů definují obrazy také útlum odrazu v každém bodě v prostoru před reproduktorem. Odrazy prvního řádu jsou S, F a R, odrazy druhého řádu S + F, R + F a R + S a odrazu třetího řádu R + S + F.



Obrázek 5. Příklad signálu „Burst“ tj. signálu 32 kHz po dobu 1,25 ms a jeho odrazů v místnosti, když dorazí do místa poslechu během prvních 50 ms. Amplitudy signálu „Burst“ se postupně snižují v závislosti na čase, protože signál urazí větší vzdálenost a odráží se od více ploch.



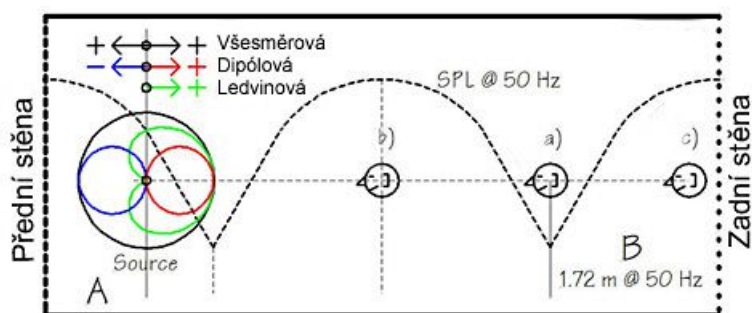
Obrázek 6. Stejně jako je na obrázku 5, ale na rozšířeném časovém měřítku, aby se jasněji ukázal rozpad odrazů počátečního „burst“ signálu v místnosti v místě poslechu. 3200 Hz úzký impuls „burst“ poklesne pod úroveň nejsilnějšího počátečního odrazu o 60 dB za 319 ms.

Obrázky 5 a 6 jsou reálné světové příklady, které vám dávají informaci o složitosti, s níž se sluchový orgán a mozek musí vypořádat s cílem nalézt směr a vzdálenost fyzického zdroje. Je zřejmé, že jsou-li odrazy slabší nebo je jich méně je ten úkol snadnější. Se dvěma stereo reproduktory nemáme zájem o vlastní fyzické zdroje, ale zdroje o zdánlivé zdroje a o scénu poslechu vytvořenou z přímých akustických signálů reproduktorů. Takže vyvstává otázka, jak zbavit odrazy od nastupujícího rozptýlení a jak posunout místnost za hranici pozornosti akustického horizontu posluchače.

Druhy rezonancí v místnosti

Prostory pro domácí poslech jsou akusticky malé při nízkých frekvencích, kde jsou jejich největší rozměry menší než je polovina vlnové délky dané nízké frekvence. Trvalé zvuky vytvoří stojaté vlny^{14,15}, které způsobí nerovnoměrné rozložení SPL (úroveň akustického tlaku) v místnosti. **Obrázek 7.** Umístění reproduktoru v místnosti, jeho nízkofrekvenční vyzařovací charakteristika a absorpční charakteristika zvuku určí, do jaké míry jsou tyto typy rezonancí vytvářeny. Pokud má zdroj všesměrovou charakteristiku vyzařování jako dipól nebo ledvinovou charakteristiku vyzařování, vznikne v podélném směru v místnosti stojatá vlna dle obrázku 7. Pouze v případě, že celá zadní stěna je zcela absorpční nebo se chová jako otevřené okno, nevznikne žádná stojatá vlna. Je to proto, že neexistuje žádný odraz zpět k přední stěně.

Stojaté vlny jsou často problematické a to zejména pro reproduktor, který vyzařuje více energie do místnosti při nízkých frekvencích než při vyšších frekvencích, tak jako je to u skříňového reproduktoru L na obrázku 3. Reproduktor, jehož směrová charakteristika je i při nízkých frekvencích jako u dipólu P na obrázku 3 nebo reproduktor s ledvinovou charakteristikou - mění vliv na dotčené režimy otáčením.



Obrázek 7. Stojatá vlna (rezonance v místnosti v podélném směru), příklad místnosti o délce 6,88 m. Pro kontinuálním 50 Hz tónu sedí posluchač a) v minimu akustického tlaku SPL, což přichází ve 1/4 vlnové délky od

zadní stěny. Posluchač b) sedí v maximu SPL, ale při frekvenci 25 Hz by seděl v minimu. Posluchač c) u zadní stěny je v oblasti s maximálními akustickými tlaky SPL všech stojatých vln v místnosti.

Navíc v případě, že reproduktor zachovává stejnou směrovou charakteristiku v celém rozsahu frekvencí, pak je distribuce energie od nízkých k vysokým frekvencím v místnosti pouze funkcí absorpčních vlastností místnosti. Proto jsou basy z dipólových reproduktorů reprodukovány zřetelněji a s větší rovnoměrností na různých místech poslechové místnosti než ze skříňových reprosoustav. Ta lepší artikulace znamená, že obálka modulace basového signálu je lépe chráněna na různých místech v místnosti. Jakékoliv změny atmosféry na záznamu z místa konání bude slyšet zřetelněji, protože poslechový prostor je ozvučen neutrálně.

Zvukové pole s ozvěnou

Pokud by domácí prostory byly jednoduché obdélníkové krabice se známými koeficienty absorpce zvuku pro všechny styčné plochy a byly by bez nábytku, pak by v nich bylo možné předepsat ¹⁴ velký počet stojatých vln, které by mohly být vyzařovány reproduktorem.

Tabulka 1. Počet stojatých vln 'n' se zvyšuje se zvyšujícím se kmitočtem stejně jako počet odrazů, protože vytvoření stojatého vlnění vyžaduje dva nebo více odrazů. V příkladu a) v prostoru s danými proporcemi se má za to, že mají přijatelné prostorové rozložení maxim a minim b). Mohlo by tam být až 55 stojatých vln vytvořených reproduktorem hrajícím pod $f_m = 150$ Hz v závislosti na jeho umístění v prostoru a jeho vyzařovací charakteristice pod " f_m ", c).

Obecně platí, že zvyšováním frekvence klesá průměrný odstup frekvencí " df " až na 1,6 Hz při " f_m ". Každá stojatá vlna má šířku pásma při poklesu o 3 dB " bw " a odpovídající dobu dozvuku " T_{60} ", která je určena absorpcí stěn " a " při dané frekvenci, tabulka 1 d). Absorpční koeficient stěn nebo povrchů ve výši 25% znamená, že 1/4 plochy poslechového prostoru " S " se chová jako otevřené okno, kterým zvuk uniká. To je velká ekvivalentní plocha. Ta by musela být zvýšena na 45% v případě, že bychom byli zaměřeni na dobu dozvuku 250 ms, což je v této velikosti místnosti v podstatě dosaženo pouze přidáním velkých akustických a rezonančních tlumičů. Takové krátké doby dozvuku jsou užitečné pro směšovací studia s běžnými skříňovými monitory. Pro domácí poslech při použití typů

reproduktorů s řízenou směrovostí, o kterých budeme diskutovat později ¹⁸, nejsou ale žádoucí. Zjistil jsem, že normálně zařízený pokoj se standardními difúzními a absorpčními prvky s dobou dozvuku okolo 450ms je optimální.

Za předpokladu, že doba dozvuku je 456 ms, pak šířka pásma stojaté vlny "bw" bude 4,8 Hz, Tabulka 1e). Šířka pásma "bw" je proporcionálně inverzní k "T60" a je stejná v celém kmitočtovém rozsahu, pokud je doba dozvuku konstantní.

a) Rozměry místnosti	Plocha podlahy = 33,6 m ²	b) Prostor je akceptovatelný pokud:
Délka L = 6,88 m	Objem V = 92 m ³	$1,1 \cdot (W/H) < (L/H) < 4,5 \cdot (W/H) - 4$
Šířka W = 4,88 m	Celk. Plocha = 132 m ²	2,0 2,5 4,0
Výška H = 2,75 m	Délka rohů = 58m	(R. Walker BBC 1998)
c) Pod frekvencí fm = 150 Hz		d) Průměrná absorpce stěn a = 25%
Celkový počet stojatých vln N = 55		Doba dozvuku T60 = 456 ms
Průměrný odstup df = 1,6 Hz při fm		
	e) Odhadovaná doba dozvuku T60 = 456 ms	
	Rezonanční pásmo bw = 4,8 Hz	
	Doba nárůstu Trise = 146 ms	
	Schroederova frekvence fs = 134 Hz	
	Vzdálenost odrazu monopólu Rm = 0,8 m	
	Vzdálenost odrazu dipólu Rd = 1,39 m	
	Průměrná absorpce stěn a = 25%	

Tabulka 1. Akustické vlastnosti c) a e) nezařízené obdélníkové místnosti s rozměry a) a odhadovaná absorpce povrchu stěn d).

Se zvyšující se frekvencí klesá frekvenční odstup stojatých vln "df"; Při Schroederovo frekvenci ¹⁴ spadají do "bw" více než dvě stojaté vlny. Schroederova frekvence vymezuje zhruba hranici mezi modální oblastí pod a odraženými vlnami zvukového pole nad. Pro velikost prostorů pro domácí poslech leží "fs" mezi 100 Hz pro akusticky mrtvé pokoje a 200 Hz pro docela živé pokoje. Zvukové pole nad "fs" má rovnoměrné rozdělení SPL v místnosti pro vzdálenosti od zdroje, které jsou větší než dozvuková vzdálenost "R". Tabulka 1 e). Přímé a odražené SPL jsou si při "R" rovny. Vzdálenost dozvuku¹⁸ je poměrně malá. Je ale významná tím, že posluchač sedící v poli odražených vln by vnímal vyšší poměr přímého a odraženého zvuku (D/R) pro zdroje s vyšší směrovostí, tj. o 4,8 dB vyšší poměr dipólu "Rd" ve srovnání s monopólem "Rm". Jinými slovy, zdroj dipólovou charakteristikou v místnosti s dobou dozvuku 450 ms je ekvivalentní z hlediska D/R s monopólem v místnosti s dobou dozvuku 150 ms.

Stojaté vlnění pod "fs" a pole odraženého zvuku nad "fs" vzniká s dobou nárůstu Trise = 0,32 při T60, pokud je do místnosti¹⁵ trvale dodávaná akustická energie. Je třeba poznamenat, že čas "Trise" je velký ve srovnání s trváním vysokofrekvenčních přechodových jevů, což znamená, jak dobře jsou přechodové jevy slyšet na různých místech v místnosti závisí především na šíření přímého zvuku a jeho odrazů z reproduktoru.

Kouzlo stereo reprodukce

Typická stereo reprodukce

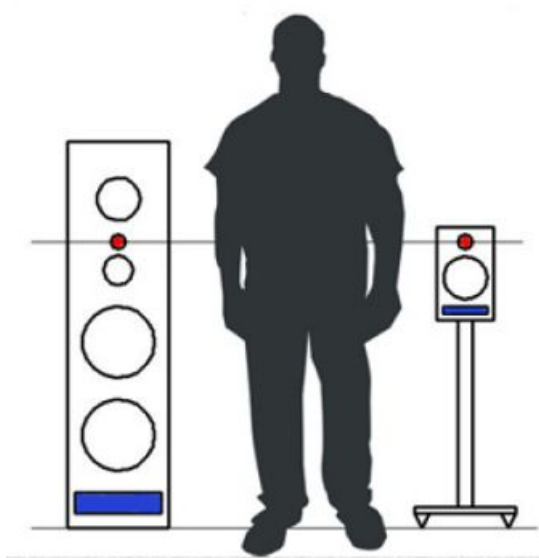
Domácí poslechové prostory se objevují ve všech tvarech a velikostech a jen zřídka kdy odpovídají jednoduchému modelu v tabulce 1. S výjimkou některých stojatých vln nejnižšího řádu a primárních odrazných ploch bývá mimořádně obtížné předpovídat potenciální akustické chování kterékoliv místnosti. Doba dozvuku se nejlépe měří a poskytuje nám obecný popis pro různá frekvenční pásma. Jak užitečné to ale je, závisí na reproduktorech, které budou nainstalovány. Je tedy možné tvrdit, že to, jak v místnost reaguje na zvuk, je mnohem menší problém než to, jak reproduktor ozvučuje daný prostor.

Jak reproduktor bude ozvučovat prostor lze ve většině případů předvídat vizuální prohlídkou jeho tvaru, jeho fyzických rozměrů, velikosti a umístěním zdrojů zvuku, které všechny pomáhají určit akustické rozměry a difrakční efekty.

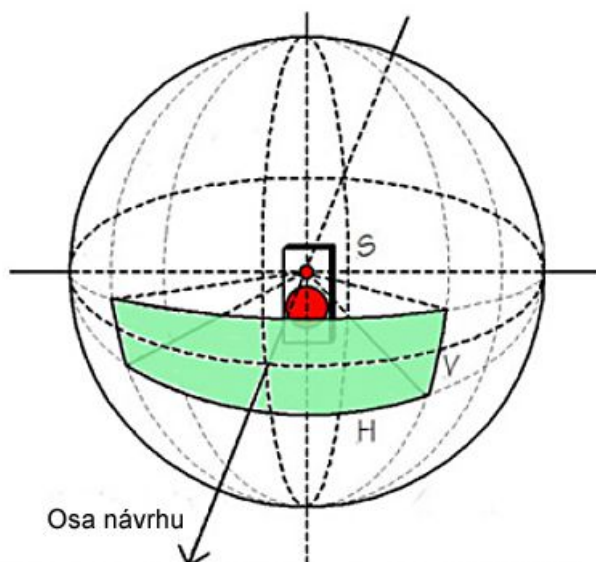
Drtivá většina¹⁷ reproduktorových soustav je konstruována jako obdélníková skříň v různých velikostech s úzkou a vysokou přední stěnou s reproduktory uspořádanými nad sebou a basreflexem vepředu nebo vzadu. Výškový reproduktor a navrhovaná osa poslechu jsou umístěny ve výšce uší sedícího. **Obrázek 8.** Existují ozvučnice s různým designem, se zaoblenými hranami, užší ozvučnicí pro výškový reproduktor nebo stupňovitou přední stěnou pro "časovou synchronizaci" reproduktorů.

Reproduktory mohou být samy o sobě uspořádány svisle jako V-B, V-S-B, S-V-S-B nebo různé další konfigurace včetně koaxiálních V-S a B-B na obou bočních panelech skříně (V-výšky, S-středy, B-basy). Bez ohledu na to vedou všechny z těchto opatření v podstatě k horizontální směrové charakteristice, jako u L na obrázku 3 a k vertikální směrové charakteristice, která se může projevit oddělenými laloky, které jsou určeny akustickými odstupy reproduktorů a typy použitých výhybek.

40 nebo "výkonová charakteristika" těchto reproduktorů začíná vždy jako všesměrová při nízkých frekvencích, kde jsou jeho rozměry akusticky malé ve srovnání s vyzařovanou vlnovou délkou. Na horním konci výkonového pásma končí níže o 10 dB až 15 dB proto, že všechny praktické výškové reproduktory se stávají akusticky velké a vyzařují zejména v dopředném směru bez ohledu na velikost ozvučnice. Bylo zjištěno, že ke vnímané kvalitě zvuku za podmínek dozvuku silně přispívá hladkost, se kterou se výkonová charakteristika zmenšuje od nejnižší do nejvyšší frekvence. Zdá se ale, že mnoho reproduktorů bylo navrženo především pro plochou nebo mírně klesající charakteristiku v ose poslechu a někdy zprůměrovanou do okna poslechu¹¹. **Obrázek 9.**



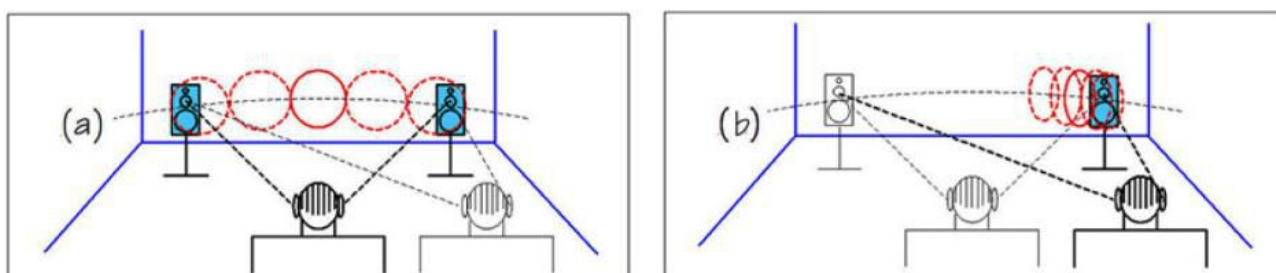
Obrázek 8. Standardní reproduktorové soustavy různých velikostí a uspořádání



Obrázek 9. Reproductory vyzařují do různých stupňů ve všech směrech, jsou ale obvykle navrhovány a měřeny na plochou frekvenční charakteristiku v okně kolem osy poslechu.

Není divu, že tu je obecný reproduktorový zvuk. Když umístíme dvě takovéto reproduktorové skříně do domácí poslechové místnosti se všemi jejími variacemi nebo dokonce, když je umístíme do "akusticky navržené" a upravené místnosti, objeví se poměrně konzistentní vzor chování při podání stereofonní nahrávky.

Obrázek 10.



Obrázek 10. Typická stereo reprodukce poslouchaná z ideálního bodu (a) a mimo ideální bod poslechu (b).

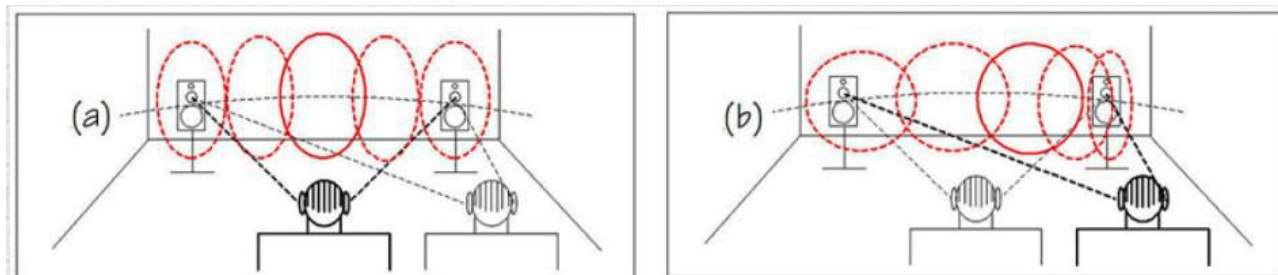
Za předpokladu, že jsou reproduktory postaveny symetricky vzhledem k bočním stěnám a nikoli proti přední stěně, a že posluchač sedí v ideálním bodě - vrchol rovnostranného trojúhelníku mezi reproduktory a posluchačem - je vnímána zdánlivá akustická scéna mezi oběma reproduktory (a). Sluchová scéna (červená)

je vytvořena v mysli posluchače na základě přímých zvuků přicházejících z reproduktorů a z odražených a rozptýlených zvuků v místnosti (modrá). Čím více mají reproduktory směrovou charakteristiku, tím více je prostorově definována zdánlivá scéna vodorovně. Já tomu říkám 'sluchátka z dálky'. Reproduktory jsou jasně vnímány jako tvrdé hranice scény. Je tam zřetelné povědomí o reproduktorech, místnosti a scéně (červená a modrá). Zvukový podpis reproduktorových soustav, které nejsou neutrální, způsobuje toto chování více, než vlastní místnost.

Malý boční posun od ideálního bodu poslechu posune celou scénu poslechu ve směru posunu a pro posluchače stranou se scéna v podstatě zhroutí do bližšího reproduktoru. Z druhého reproduktoru je slyšet jen málo. Pro vysoce směrové reproduktory může být tento efekt do určité míry snížen sbíhavostí.

Optimální stereo reprodukce

Kouzlo nastane, když reproduktory zdánlivě zmizí ze zvukové scény, až do bodu, kdy máte chuť se ptát: co to ty dvě věci přede mnou dělají? **Obrázek 11.** Vše, co je vnímáno je zdánlivá scéna. Scéna, která není silně ohraničena reproduktory, je jemně otevřená a rozšiřuje se za i a nad reproduktory. I když je tam ideální bod poslechu, tedy vrchol rovnostranného trojúhelníku, scéna se při přechodu k jedné straně nezhroutí do nejbližšího reproduktoru, ale zůstává mezi reproduktory s perspektivou podobnou tomu, co by se dalo slyšet na koncertě, když sedíte více stranou.



Obrázek 11. Optimální stereo reprodukce z ideálního bodu (a) a mimo ideální bod (b)

Také, pokud jste dál od reproduktorů a hluboko v poli odražených vln v poslechové místnosti, tonalita se nemění. Místnost je snadno zapomenuta.

Toto kouzlo je těžké popsat obrázky či slovy, dá se ale poznat do 30 sekund, když slyšet. To obvykle vyvolává úsměv nebo dokonce smích od posluchačů. Nezkoušení posluchači, audiofilové i profesionálové poznají přirozenost prezentace. Na mnoha nahrávkách je to 3D prostor před posluchačem a připomíná zážitky z koncertu. Při sledování filmů na obrazovce mezi reproduktory je dialog na obrazovce zřetelně oddělen od zvuků, které jsou mimo obrazovku. Nebudou opomenuty žádné zvuky ani ze středu ani z boku scény, protože dva reproduktory již samy vytváří hladký přechod událostí.

Požadavky na reproduktory a nastavení

Aby mohlo dojít ke kouzlu, existuje pět požadavků, které jsem našel, že jsou nezbytné:

1. Frekvenční odezva mimo osu reproduktoru ve vodorovné rovině musí napodobit odezvu v ose. Vertikální polární odezva není tak kritická, ale je třeba se vyhnout tvorbě laloků, to znamená, že reproduktor by měl být akusticky malý.
2. Takový reproduktor má neutrální podpis a jeho odrazy a dozvukové pole bude mít spektrální podpis poslechové místnosti. Polární chování může být všesměrové, kardioidní nebo dipolární s frekvenčně nezávislou odezvou energie. Všesměrové chování produkuje nejsilnější interakci s místností a musí být nejméně žádoucí ze všech tří.
3. Reproduktory musí být bez rezonančního vyzařování pocházejícího z bassreflexu nebo ze stěn reproduktorové soustavy. Nelineární zkreslení musí být tak nízké, aby se nedaly identifikovat polohy reproduktorů během hlasité hudební pasáže. To vyžaduje odpovídající schopnost zdvihových objemů basových a výškových reproduktorů.
4. Zeď za reproduktory je přednostně difúzní a stěna za posluchačem absorpční. Zvukové vlny z reproduktoru by měly mít možnost svobodně cestovat kolem posluchače a neodrážet se od stěny za ním.
5. Poslechové místnosti by měl mít dobu dozvuku okolo 450 ms, Tzn., že by neměly být ani akusticky mrtvé ani příliš živé, ale pohodlné pro konverzaci a zábavu. Kdyby nic jiného, mělo by se chybovat ve směru živosti.

Příklady návrhu reproduktorových soustav

Reproduktory, které splňují měnící se požadavky na stupeň tvrdosti 1) a 2) jsou k dispozici již dlouho¹⁷. Ve skupině dipólů jsou k dispozici fyzicky i akusticky velké deskové zářiče, například z KLH, SoundLab, MartinLogan nebo od Quad. Quad ESL63 mě inspiroval najít řešení, které by netrpělo vyzařováním a přehnanými basy, a bylo schopné reprodukovat velkou dynamiku při zachování žádoucích vlastností Quad. Všesměrové reproduktory jsou například Ohm Walsh, Bose, němčině Physiks a MBL; kardioidní reproduktory (ledvinová charakteristika) jsou k dispozici od Gradient, MEG nebo Kii. Vysoce směrové a efektivní reproduktory byly postaveny firmou Klipsch. Drtivá většina prodávaných reproduktorových soustav však zůstává s paradigmatem ozvučnice.

Reproduktorové soustavy pro domácí poslech jsou v první řadě určeny pro posluchačovo domácí prostor. Při jejich výběru se dá pracovat s různými omezeními, jako jsou náklady, velikost a estetika. Reproduktor není kus nábytku, ale elektroakustický převodník. Jako takový má elektrický vstup a vytváří akustický zvuk-pole jako výstup.

Obrázek 12:



LX521.4, (na obrázku vlevo)

4-pásmová reproduktorová soustava, frekvenční rozsah (20Hz do 20 kHz), dipól skládající se ze tří hlavních částí:

1. Otevřená ozvučnice basová skříňka se dvěma 10-ti palcovými reproduktory v uspořádání „Push-Pull“ kvůli snížení zkreslení sudých harmonických,
2. „Most“ (vysoké nohy) přes basovou reprobednu, kvůli odizolování otevřené ozvučnice od vibrací basové skříně.
3. Nahoře umístěná otevřená ozvučnice má 8 palcový reproduktor pro nižší středy, 3 palcový pro vyšší středy a přední i zadní strana otevřené ozvučnice mají 1 palcové výškové reproduktory.

Dělicí kmitočty jsou:

120 Hz (LR4)

1 kHz (LR2)

7,5 kHz (LR4)

LXmini, (na obrázku vpravo)

2-pásmová reproduktorová soustava (45 Hz až 20 kHz), hybridní směrová charakteristika je vytvořena:

1. Nahoru vyzařuje 5-ti palcový reproduktor v uzavřené trubce.
2. Dopředu vyzařuje 3 palcový širokopásmový reproduktor bez ozvučnice a rozptylující tělo za ním.

Výhybka má dělicí kmitočet při 750 Hz (LR2).

Zde pak jsou dva nedávné příklady^{18,19}, LX521.4 a LXmini, které byly od začátku navrženy se směrovou charakteristikou a výstupními schopnostmi, které by byly užitečné v širokém rozsahu velikostí domácích poslechových prostorů a byly také schopny kouzla, které je uvedeno výše. První z nich je širokopásmový dipól, druhý je mix omni a kardioidního dipólu s vyzařováním dopředu. **Obrázek 12.**

Přístup k návrhu dipólové reproduktorové soustavy

Máme-li jasný cíl, jak má být reproduktorová soustava používána, a to, čeho chceme dosáhnout, zahrnuje přístup k návrhu reproduktorové soustavy následující kroky – obvykle se musí některé kroky zopakovat, aby se dospělo k řešení, které vám vyhovuje.

- a) Prvním z nich je volba reproduktoru pro vysoký zdvihový objem při nízkém zkreslení a malé akustické velikosti pro určený frekvenční rozsah použití.
- b) Dále musí být proveden kvalifikovaný odhad, pokud jde o velikosti ozvučnice

a tvaru, který by mohl poskytnout přijatelné chování dipólu v co možná nejširším frekvenčním rozsahu pro každý reproduktor.

c) Je nutné vyrobit prototyp desky pro montáž reproduktorů a změřit přední vyzářovací charakteristiku ve volném prostoru.

d) Tvar desky se musí postupně upravovat tak, dokud nebude nalezen přijatelný rozsah dipólu pro každý reproduktor.

e) Výstupní charakteristika každého reproduktoru musí být upravena tak, aby měl v ose poslechu rovnou charakteristiku a stejnou výstupní úroveň.

f) Překrytí v chování dipólu s reproduktory pod a nad dělicí frekvencí a jejich schopnosti z pohledu zdvihového objemu definuje kmitočet a řád frekvenční výhybky.

g) Využitím moderních aktivních výhybek je dnes možné přesně nastavit nejen amplitudu sousedních reproduktorů soustavy, ale i jejich fázi a zpoždění a tím dosáhnout dokonalého akustického spojení v ose poslechu.

h) Pokud jste spokojeni s měřením volném prostoru, poslechněte si jeden reproduktor v monofonním režimu ve své poslechové místnosti. Pokud se něco nezdá být v pořádku, vraťte se k měření ve volném poli a zkuste identifikovat příčinu.

i) Pak si postavte i druhý reproduktor do své poslechové místnosti a poslouvejte stereo. Nastavte úroveň basů. Pokud se něco nezdá být v pořádku, vraťte se k měření ve volném poli a zkuste identifikovat příčinu

Vzhledem k akustickému zkratu mezi přední a zadní stěnou reproduktorů namontovaných na desce se stává obzvláště důležité najít basový reproduktor, který je schopen velkých výchylek membrány bez nelineárních účinků výchylek a bez turbulentních hluků ve vzduchu. **Obrázek 13.**

Dipólový basový reproduktor

Frekvenční odezva basů (2 reproduktory 10 ") byla měřena se špičkou mikrofону ve středu otevření roviny V-rámu basových reproduktorů. **Obrázek 14.** Otevřená ozvučnice je umístěna na zemi, z důvodů vyzářování do horní poloroviny. Její vyzářovací charakteristika vykazuje vrchol při 250 Hz, což je výsledkem rezonance čtvrtinové délky dutiny způsobené akustickým nesouladem vlnové impedance u otvoru ozvučnice. Tento vrchol se snadno vyrovnává. Měří-li se ve velké vzdálenosti, kde se vyzářování přední a zadní stěny smíchává, měla by se charakteristika basových reproduktorů snižovat o 6 dB / oktávu.

Tak se získá stejná charakteristika dipólu, jako ta, měřená ve volném (bez-odrazovém) prostoru. Je nutné ale přidat korekci, která zesiluje nižší frekvence o 6 dB / oktávu. Dodatečná korekce může srovnat charakteristiku dipólu do roviny v cílovém rohu poslechového prostoru. Dělicí kmitočet mezi basovým reproduktorem a nižšími středy je maximálně 120 Hz a pracuje tedy pouze v rozsahu, kde je akusticky malý.



Obrázek 13. Zadní strana otevřené ozvučnice reproduktorové soustavy. Zvuky vyzařované směrem dozadu, jsou opačné polarity oproti zvukům vyzařovaným dopředu. Tvar a hloubka otevřené ozvučnice určuje délku dráhy a tím i velikost fázového posunu a tím míru, do jaké zruší vyzařování zadní strany reproduktorů zvuk, vyzařovaný do frontální polokoule.

Dipól nižších středů

Polární charakteristika horní ozvučnice byla měřena z 0,5 m vzdálenosti zezadu, je zvyšovaná a polohovaná na ručně otáčené desce. 8 " reproduktor pro nižší střední kmitočty vykazuje učebnicové chování až do blízkosti 1 kHz. **Obrázek 15.** Tvar ozvučnice byl stanoven empiricky. Měřilo se pouze vyzařování dopředu. Vyzařování zadní části se dostává k posluchači přes odrazy v místnosti a dozvuky, a jsou proto z pohledu reakce na detaily mnohem méně důležité. Předpokládá se, že celkový výkon vyzařovaný na zadní straně je podobný celkového výkonu vyzařnému do přední polokoule.

Dipól vyšších středů

Reproduktor pro vyšší středy na úzké ozvučnici se chová dobře pod 1 kHz.

Obrázek 16. Jeho charakteristika se rozšiřuje mezi 0° a 30° kolem 3,5 kHz, ale je obecně celkem použitelná až do 10 kHz. Jsou-li reproduktory pro vyšší a nižší středy zapojeny v kombinaci s výhybkou LR2 při dělícím kmitočtu 1 kHz, tj výhybka, která už má 6 dB útlum na 1 kHz a poskytuje správné chování ve fázi, pak výsledná celková odezva bude mít dipólové chování ve velmi širokém frekvenčním rozsahu. Obecně platí, že když už nejsou rozměry ozvučnice i vertikální vzdálenosti mezi reproduktory akusticky malé, vyžadovalo by to pro detailní popis polární charakteristiky velmi mnoho sad měření.

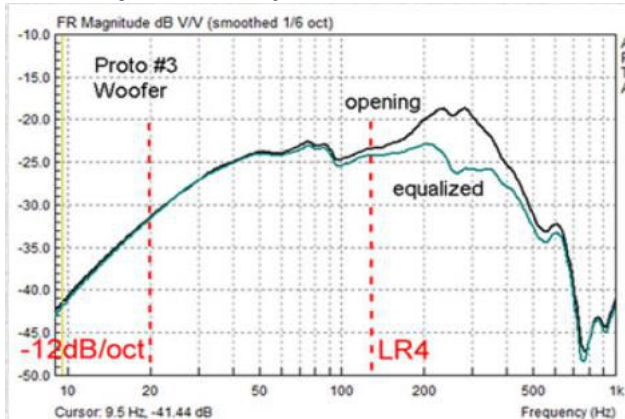
Dipólové výšky

Vyzařování výšek dopředu a dozadu se v prostoru sčítá, v rovině ozvučnice se úplně ruší a vytváří tak dipólovou charakteristiku. **Obrázek 17.** Pod 2 kHz je ozvučnice akusticky malá a výsledkem je odezva skutečného dipólu. Nad 5 kHz přebírají reproduktory vlastní směrovost. Přední a zadní vyzařování se integruje jen při velkých úhlech mimo osu. Pro navázání pásem vyšších středů a výšek byla

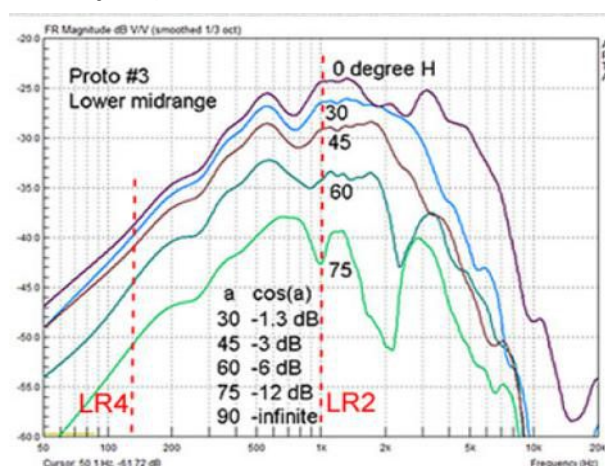
zvolena výhybka LR4 s dělícím kmitočtem 7,5 kHz.

Výhybky a jejich vyrovnání

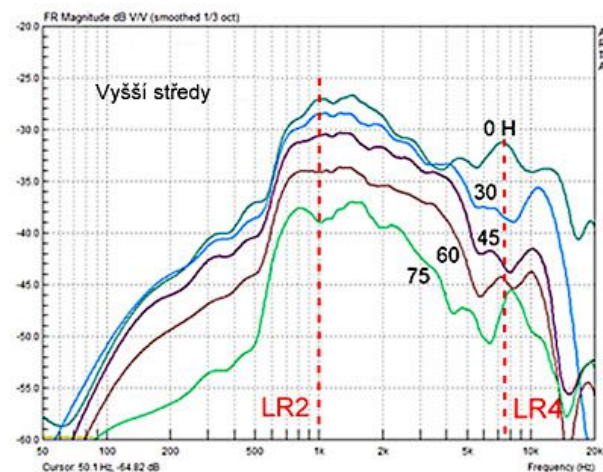
Mimo výškové reproduktory je z důvodů dosažení akusticky ploché charakteristiky v ose poslechu srovnání charakteristik všech ostatních reproduktorů. **Obrázek 18.** Bylo by to nepraktické provádět srovnání charakteristik pasivními výhybkami vysokých řádů, i když by to mohlo být provedeno s operačními zesilovači. V současnosti je nejjednodušším způsobem použití DSP filtrů (digitálních filtrů) a použití jednoho výkonového zesilovače pro každý reproduktor.



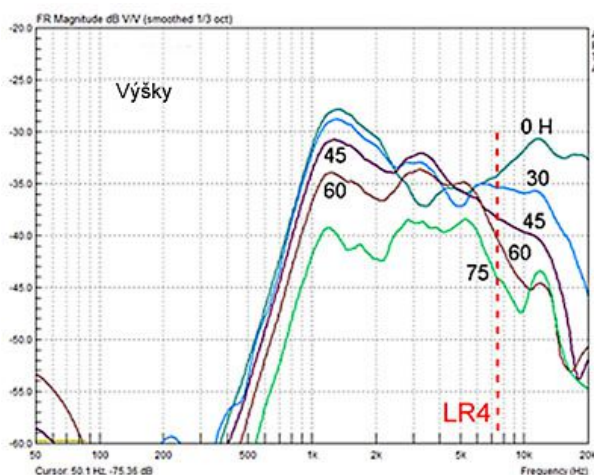
Obrázek 14. Charakteristika basového reproduktoru před a po vyrovnání. Rezonance V-rámu se musí vyrovnat také.



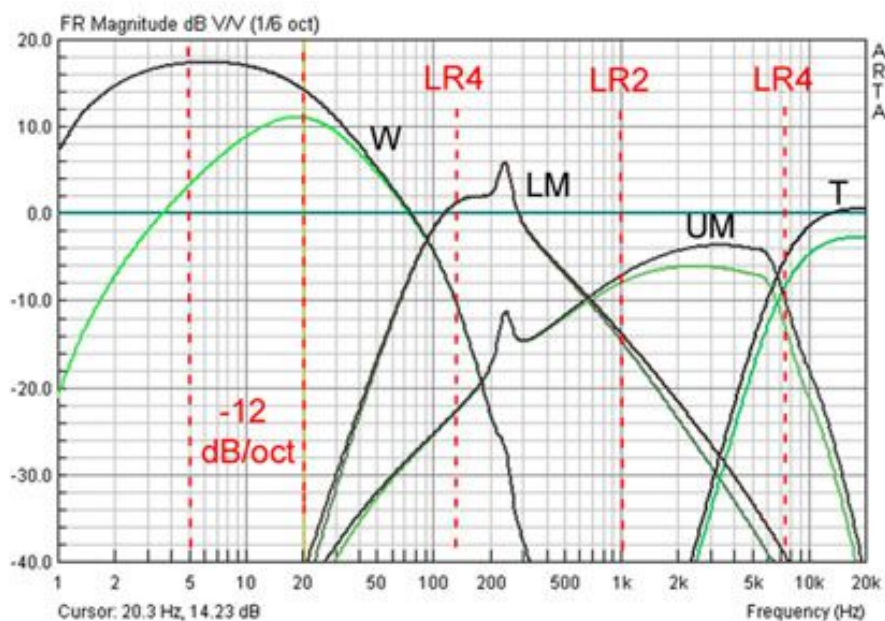
Obrázek 15. Reprodukční charakteristika pro pásmo nižších středů (8 ") ve své optimalizované části ozvučnice.



Obrázek 16. Reprodukční charakteristika pro vyšší střed (3 ") ve své optimalizované sekci ozvučnice.



Obrázek 17. Reprodukční charakteristika pro výšky (2 x 1 ") ve své optimalizované části ozvučnice.



Obrázek 18.
Frekvenční
charakteristika
srovnávací výhybky
generovaná DSP.

Odezva poslechové místnosti

Akustické osy reproduktorů jsou srovnány do podélné osy ve výšce 1 m. Celková výška reproduktorové soustavy je 1,25 m. Odezva ve vertikálním směru v ose návrhu, která protíná horní ozvučnici mezi reproduktory nižších a vyšších středů, je obvykle optimální pouze v rozsahu $\pm 20^\circ$ od osy poslechu na horním pásmu frekvenčního rozsahu ve volném prostoru, protože vzdálenosti mezi reproduktory už nejsou akusticky malé. Široký, $\cos(\alpha)$ rozptyl jednotlivých reproduktorů nejen horizontálně, ale také do značné míry vertikálně, generuje spektrálně neutrální odrazy a dozvuk. Takže pohybem v poslechové místnosti se nemění barva zvuku. Mění se pouze přesnost zobrazování scény, protože se vzdáleností klesá poměr přímého zvuku k dozvuku. Minimální vzdálenost od optimálního bodu poslechu pro vytvoření prostoru a „dýchání“ místnosti kolem reproduktorů je asi 2,5 m s minimálním objemem místnosti asi 75 m³.

Hybridní reproduktorová soustava

Fyzicky malá reproduktorová soustava jako je dvou pásmová LXmini může mít dobře definovanou vyzařovací charakteristiku kvůli malé ploše ozvučnice a kvůli rozložení reproduktorů. **Obrázek 19.** Basový reproduktor (5 palců) na konci uzavřené trubky směřující vzhůru vyzařuje všesměrově při nízkých frekvencích. Otevřená ozvučnice širokopásmového reproduktoru (3 palce) nad ním vyzařuje jako dipól. Výsledkem spojení těchto dvou reproduktorů je na i dělicí frekvenci na kardioidní chování (ledvinová charakteristika). Válcové rozptylové tělo za dipólem rozptýlí zadní vyzařování, aby se minimalizovaly zrcadlové odrazy, když je reproduktor postaven blízko zadní stěny pokoje. Basová i širokopásmová část reproduktorové soustavy jsou akusticky shodné. Kombinovaný zdroj je ve výšce ucha pro sedícího posluchače a basová část není posílena podlahou, ale

bezprostřední okolí bude mít nějaký účinek, pokud je v blízkosti – tomu se nedá vyhnout.



Obrázek 19. Akusticky shodné rozložení basového a širokopásmového reproduktoru s válcovým rozptylovým tělesem za ním.

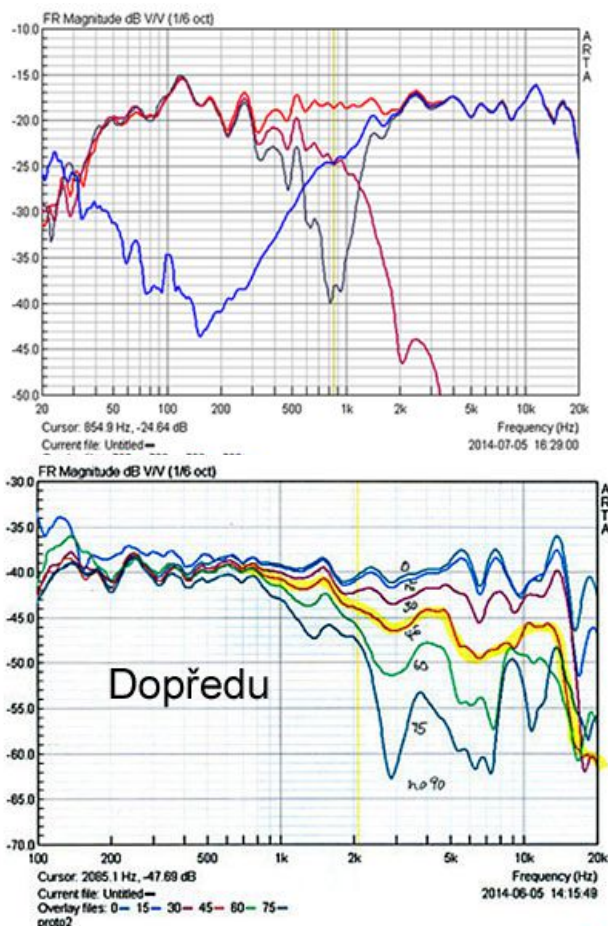
Basové ozvučnice je potrubí z PVC plněné absorpčním materiálem. Zvuková vlna cestuje dolů, uvnitř trubky je tlumena a odráží se od uzavřeného konce. Postupně tlumena se vrací potrubím zpět a prochází skrze hliníkovou membránu basového reproduktoru tak, že je o 40 dB nižší než vyzařování, přicházející přímo z přední části membrány. Trubka tak působí jako nekonečná akustická přenosová linka se 40 dB ztrátou návratu. Trubka má také vysokou obvodovou tuhost povrchu, takže rušivé záření z její velké plochy povrchu je zcela zanedbatelné. V kritickém kmitočtovém pásmu do 1 kHz, kde přebírá aktivitu širokopásmový reproduktor se chová utěsněné potrubí zcela odlišně od uzavřené nebo bassreflexové ozvučnice s jejich rušivými vibracemi stěn. Pravoúhlé uspořádání os reproduktorů, které je odlišné od koaxiálního uspořádání reproduktorů, by mělo minimalizovat zkreslení Dopplerovým efektem. Je ale těžké soudit, jak moc to přispívá k vynikajícím zvuku Lx mini. Tyto reproduktorové soustavy je možné poslouchat už od 1 m a jsou ideální jako monitory blízkého pole nebo pro malé poslechové místnosti.

Vyzařovací charakteristika

Frekvenční rozsah v ose poslechu sahá od 45 Hz do 20 kHz. **Obrázek 20.** Vyzařovací charakteristika je v podstatě rotačně symetrická kolem osy širokopásmového reproduktoru. Je vidět, že reproduktor se stává stále více směrovějším nad 1 kHz na čelní polokouli, kdy se přechází ze všesměrové přes kardoidní (ledvinovou) charakteristiku na dipólového vyzařování. Dipól pak monotónně zužuje rozptyl v důsledku 3 " velikosti reproduktoru **Obrázek 21.**

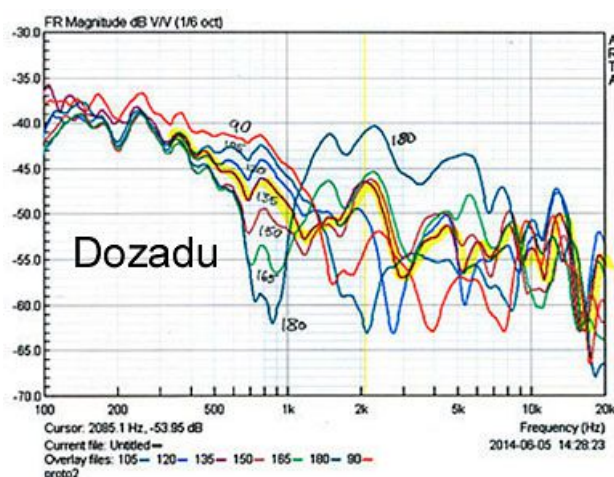
V zadní polokouli přechází vyzařovací diagram ze všesměrové při nízkých frekvencích přes kardoidní (ledvinový) stupeň na více či méně difuzní vyzařování nad 2 kHz, způsobené difrakcí těla, která také přidává určité množství vyrovnání. **Obrázek 22.** Celkově má reproduktor výkonovou charakteristiku, která klesá s rostoucí frekvencí od 0 dB na spodním pásmu k -4.8 dB pro kardoidní a dipólové pásma a dále vzhledem k rostoucí směrovosti širokopásmového reproduktoru. Ale

na rozdíl od skříňové reproduktorové soustavy si zachovává většinu zadního vyzařování pro akustického pole dozvuku v místnosti, což vede k lepší neutralitě barev zvuku. Opět, stejně jako u LX521, pohyb po poslechové místnosti nemění nic na barvě zvuku s výjimkou případů, kdy stojíte v těsné blízkosti Lx mini nebo za ní. Z optimálního bodu poslechu je podání zvukové scény velmi podobné od obou, jak od Lx mini tak i od LX521.



Obrázek 21. Vyzařovací diagram v čelní polokouli od 0° do 90° po 15° krocích. (+/- 45° žlutě) Měřeno v horizontální rovině.

Obrázek 20. Vyrovnáním a přechodem přes osu frekvenční charakteristiky širokopásmového reproduktoru pro jednotlivé reproduktory ve vzdálenosti 0,38 m pro normální i obrácenou polaritu širokopásmového reproduktoru. (Měření ve venkovním prostoru je kontaminované odrazy a nízkou úrovní frekvenčního šumu).



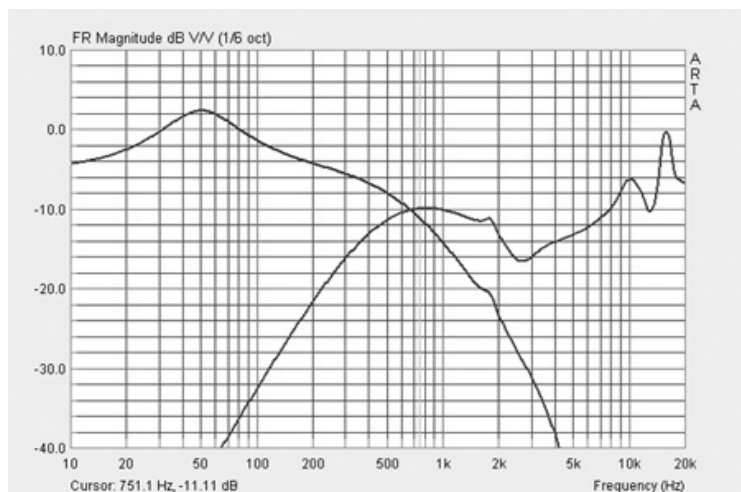
Obrázek 22. Vyzařovací diagram v zadní polokouli od 0° do 90° po 15° krocích. (+/- 45° žlutě) Měřeno v horizontální rovině.

Dělicí kmitočet a vyrovnání

Pro rozšíření své šířky pásma až na 45 Hz, stačí provést jednoduché vyrovnání charakteristiky basového reproduktoru. Pod touto frekvencí klesá jeho charakteristika o 12 dB/oktávu z důvodů jeho umístění v utěsněné válcové ozvučnici. Srovnání jeho frekvenční odezvy se provede nejsnáze jednotkou DSP se dvěma stereo vstupy a čtyřmi výstupní kanály. V případě požadavku na rovnou charakteristiku do 20 kHz, vyžaduje širokopásmový reproduktor rozsáhlou kompenzaci **Obrázek 23.** Reproduktor pracuje v režimu „break-up“ přes většinu

jeho frekvenčního rozsahu. Bylo by obtížné a nákladné ji vyrovnat použitím pasivních nebo i aktivních analogových výhybek.

Elektrická výhybka mezi basovým a širokopásmovým reproduktorem je nastavena na 700 Hz s LR2 filtry s klesáním 12dB/oktávu pro široký přesah mezi těmito dvěma reproduktory, aby se měnila vyzařovací charakteristika postupně a plynule ze všesměrové na dipólovou při průchodu frekvenčního pásma s kardioidní charakteristikou. Každý reproduktor vyžaduje vlastní zesilovač s výstupním výkonem 50 W až 150 W, tzn. 4-kanálový zesilovač pro tuto stereofonní reproduktorovou soustavu.



Obrázek 23. Vyrovnávací DSP výhybka s dělícím kmitočtem 700 Hz LR2, pro basový a širokopásmový reproduktor.

Lx mini překvapí pozoruhodnou rovnováhou mezi akustickým výkonem, fyzickou velikostí, množstvím basů a náklady. Reprodukter je doma v libovolné velikosti domácího prostoru. Je schopen dobře produkovat kouzlo, které je popsáno výše.

Výzva

V průběhu posledních 50 let vyvinul reproduktorový průmysl vynikající elektroakustické převodníky/reproduktory.

Když se ale umístil takový reproduktor do ozvučnice různých tvarů a velikostí, aby posílal akustický signál rovnou na osu k posluchači, neutrálně ozvučující poslechový prostor bez rušivého vyzařování stěn ozvučnice, mělo to za následek pokrok, který byl v nejlepším případě okrajový.

Ve skutečnosti je největší slabinou dnešních reproduktorů jejich akustický design – Není ani nutné vyjmenovávat výrobce.

Výjimky jsou vzácné a jejich podíl na trhu je malý. Co se týče tohoto nedostatečného pokroku, mají svůj podíl viny i recenzenti různých audiofilských časopisů, protože nakonec oni ovládají bariéry vstupu na trh a obvykle jsou zavázáni inzerentům časopisu.

Pokud by si každý výrobce postavil dvojici Lx mini jako referenci pro vývoj svých produktů s cílem vyslechnout, jakým způsobem překračují nebo neplní své parametry, pak by mohl nastat skutečný pokrok. Také každý recenzent takovýchto zařízení by si měl postavit dvojici Lx mini jako referenci pro srovnávání s dalšími reproduktorovými soustavami. To by pomohlo vytvořit učebně smysluplným způsobem jasné rozdíly mezi zvukovými systémy tak, jak máme zkušenosti s jejich unikátně a barvitě popsanými poslechovými prostory.

Neříkám to proto, že si myslím, že Lx mini je konečným měřítkem kvality zvuku. Spíše se Lx mini definuje standard kvality, který nejvyšší řady reproduktorových soustav musí splňovat nebo překračovat předtím, než jsou recenzenty a spotřebiteli uznány jako mimořádně kvalitní produkty.

Siegfried Linkwitz

překlad z angličtiny

P. Kůrka

Odkazy

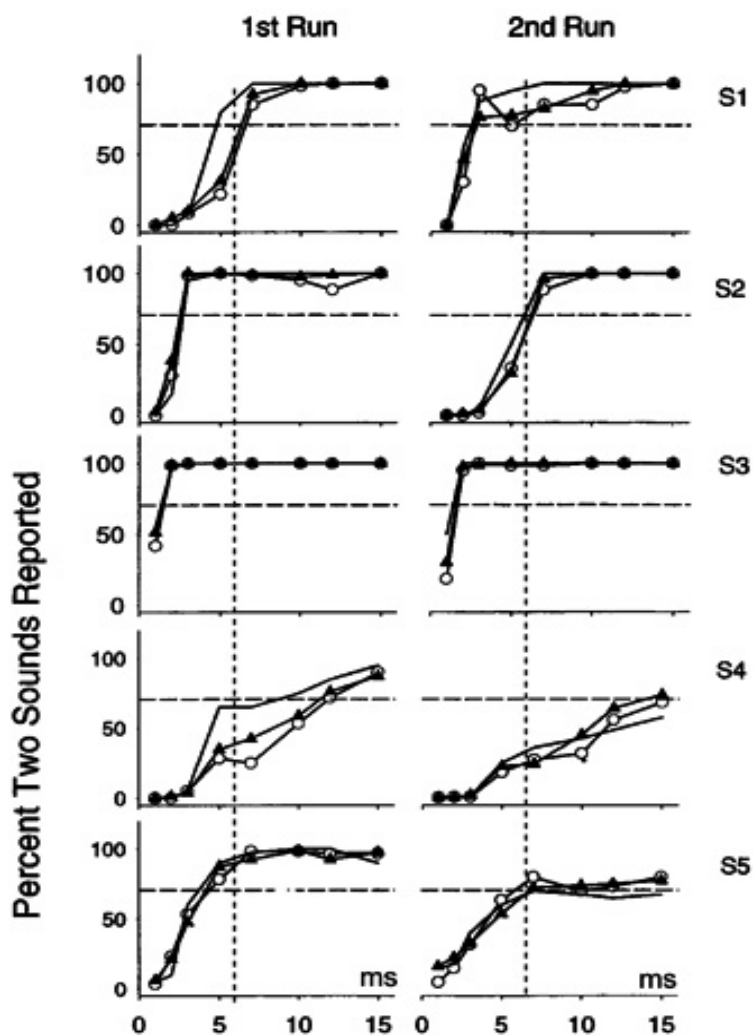
1. A. S. Bregman, Auditory Scene Analysis - The Perceptual Organization of Sound, The MIT Press, 1999
2. L. L. Beranek & T. J. Mellow, "Acoustics - Sound Fields and Transducers", Elsevier-Academic Press, 2012
3. J. Meyer, Acoustics and the Performance of Music, Springer, 2009
4. F. Rumsey, Spatial Audio, Focal Press, 2005
5. H. Wittek, Image Assistant, JAVA applet for determining the "Stereo Recording Angle", www.hauptmikrofon.de
6. SCHOEPS Mikrofone, Showroom, www.schoeps.de/en/applications/showroom
7. B. Rakert, W. M. Hartmann, "Localization of sound in rooms. V. Binaural coherence and human sensitivity to interaural time differences in noise", J. Acoust. Soc. Am., Vol. 128, No. 5, November 2010
8. S. Linkwitz, A Model for Rendering Stereo Signals in the ITD-Range of Hearing, 133rd AES Convention, San Francisco 2012, Preprint 8713
9. E. Benjamin, An experimental Verification of Localization in Two-Channel Stereo, 121st AES Convention, San Francisco 2006, Preprint 6968
10. J. Blauert, Spatial Hearing, The MIT Press, 1997
11. F. E. Toole, Sound Reproduction, Focal Press, 2008
12. P. Damaske, Acoustics and Hearing, Springer, 2008
13. S. Linkwitz, Room Reflections Misunderstood?, 123rd AES Convention, New York, October 2007, Preprint 7162
14. H. Kuttruff, Room Acoustics, John Wiley & Sons, 1973
15. <http://www.linkwitzlab.com/rooms.htm>
16. S. Linkwitz, Investigation of Sound Quality Differences between Monopolar and Dipolar Woofers in Small Rooms, 105th AES Convention, San Francisco, 1998, Preprint 4786,
17. The Absolute Sound's Illustrated History of High-End Audio, Volume 1: Loudspeakers, Edited by Robert Harley, Nextscreen, Austin, Texas 2013
18. <http://www.linkwitzlab.com/LX521/Description.htm>
19. <http://www.linkwitzlab.com/LXmini/Design.htm>

James Heddle poznamenal:

... Nejlepším důkazem pro

~ 6msec, který jsem našel, pochází z níže uvedených výsledků subjektivního testování (kterých jste si již možná vědom), při pohledu do časového okna potřebného pro „odstranění“ druhého zvuku od prvního.

Kromě toho jsou nyní určité důkazy, že časové okno před první odrazem má také vliv na vnímání zvukové scény - lokalizace nižších frekvencí obsahu audia se zlepšuje, když se časové okno zvětšuje, tedy jinak, za stejných podmínek by měl mít řádně nakonfigurovaný systém ve větší místnosti lepší zvukovou scénu.



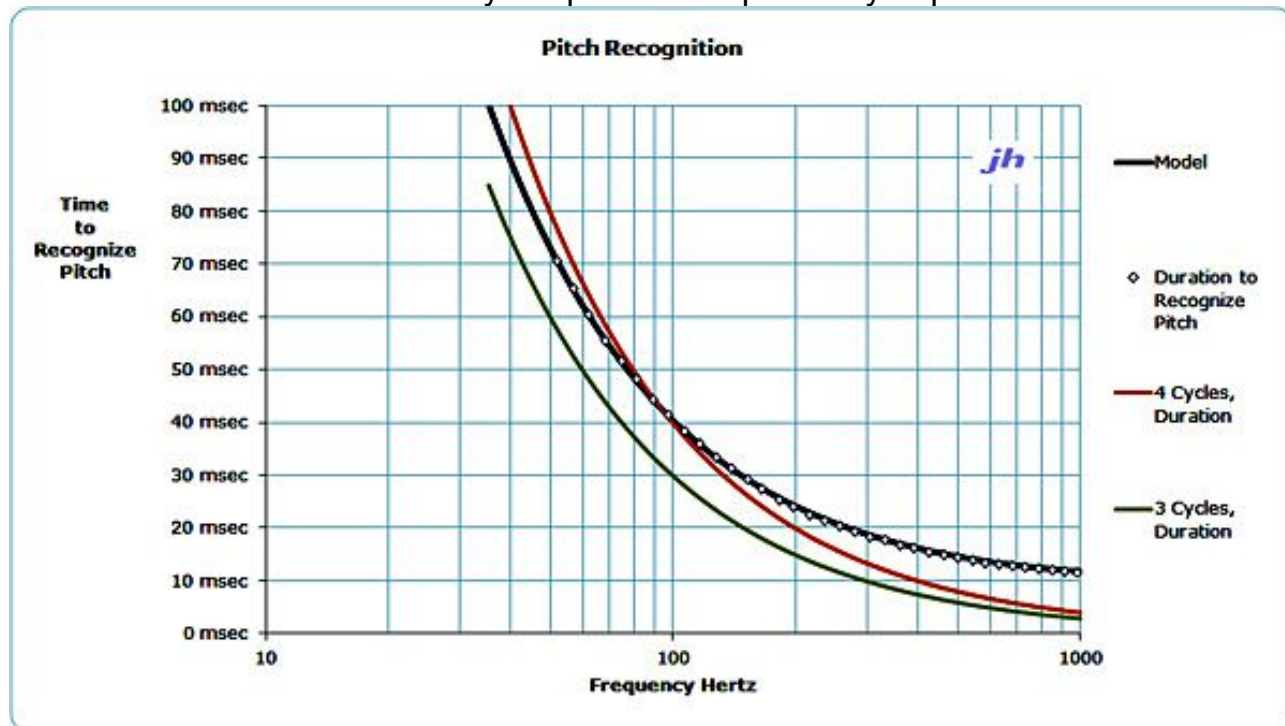
Reference:

AJ Hill, MOJ Hawksford,
LOW-FREQUENCY SOUND SOURCE
LOCALIZATION AS A FUNCTION OF
CLOSED ACOUSTIC SPACES,
IoA Proceedings Vol. 35. Pt. 2. 2013

Jedním aspektem tohoto časového okna, o kterém jsem přemýšlel, jsou nízké frekvence. Pokud potřebujeme pro rozpoznání frekvence nízkých tónů řádově 3-4 periody, pak jak je uvedeno v grafu níže, cestují zvukové vlny, než k tomu dojde, po podstatně větší vzdálenosti než jsou 2 metry.

Myslím, že to může znamenat, že pod určitou nízkou frekvencí je úplně jedno, jak daleko jsou reproduktorové soustavy, a jejich obrazové zdroje, od odrazových ploch v místě poslechu.

Zajímavé je, že jsem také viděl komentáře říkající, že kontrabas a tuba by měla být z tohoto důvodu u hudebních vystoupení mírně posunuty dopředu.



James Heddle, Principal / Managing
Director
James Heddle Pty Ltd,
Acoustical Consultants