

V jakém případě se jedná o „line-array“?

Fundamentální rozdíl spočívá v konstrukci výškové horny!

Tento článek je první z řady textů, jejichž primárním cílem je vnesení racionálních argumentů do nekonečné diskuse plnicí vášněmi nesčetná fóra nejen na českém netu. Časopis Muzikus nám nabízí unikátní příležitost diskutovat nad tématem, které bylo vybráno na základě vašich ohlasů. Čest tomuto počínání.

Na otázky jako: Co je lepší, „line-array“, nebo trap(ezoida)l box, a kdy? Kolik segmentů je třeba na stranu, aby to „hrálo“? Jaké úhly mezi boxy jsou optimální? ... a další tohoto „pohlaví“ neexistuje totiž jednoznačná odpověď. Vždy se jedná o kompromis mezi fyzickými limity

pouze asymptoticky přibližovat. Vyskytují se ovšem i otázky, na které jednoznačná (fyzikálně odargumentovatelná) odpověď existuje a jejich znalost umožňuje optimalizovat zvukový systém do takové míry, že váš klient bude spokojený a dá vám další zakázku. Téma pro úvodní stat bylo zvoleno

Kapitola první: Co je a co není line-array – různé druhy ovoce

Tvrzení, které může u někoho vyvolat údiv, je, že v reálném zvukařském vesmíru žádný z těch úhledně zahnutých zvukových systémů visících po stranách pódia není „line-array“ (proto ty uvozovky). Nebo alespoň ne



Obr. 1: Banány a hrozny, ale nikde žádná line-array

a zbožnými přáními. K ideálu se (bez ohledu na marketingové proklamace výrobců) lze

panem Ing. Vladimírem Švandou, šéfredaktorem časopisu tak, aby vás zaujalo a podařilo se diskusi rozpoutat.

Tento text je záměrně formulován maximálně názorně a zjednodušenou formou. Graduované čtenáře v oblasti teorie vlnění prosím o velkorysost.

v celém frekvenčním rozsahu. Line-array (bez uvozovek) podle definice Harryho Olsona, jak je popsána v textu *Acustical Engineering* (D. Van Nostrand Company, Inc., 1957), je: „Přímá řada ideálně kulových zdrojů, reprodukcí identický signál, které jsou od sebe vzdáleny o méně než polovinu vlnové délky ($\lambda/2$) nejvyšší vyzařované frekvence“. Potud definice. (Obr. 1)



FILIP OTEVŘEL

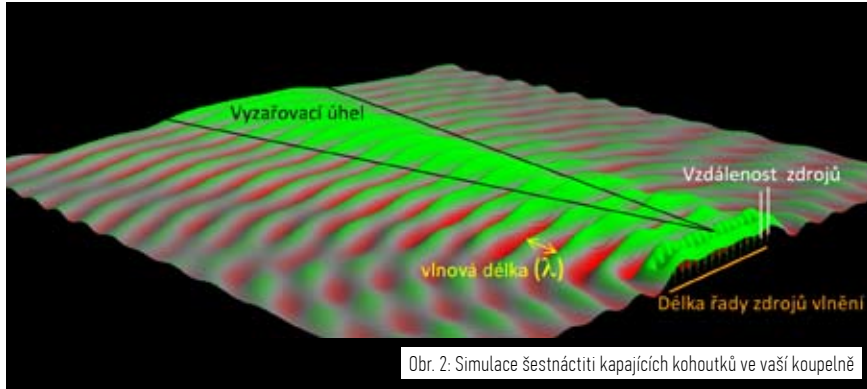
Lékař na Klinice anesteziologie, resuscitace a intenzivní medicíny Fakultní nemocnice Brno a jednatel firmy OteSound, zabývající se živým ozvučováním.

Moto: Je zajímavé, kolik společného mají intenzivní medicína a live sound.

Představte si to třeba jako řadu kohoutků kapajících do vany. Podle toho, jak rychle kapou, budou na hladině vytvářet vlny. Čím rychleji (s vyšší frekvencí $/f/$) budou kapat, tím budou hřbety vln blíže u sebe (budou mít kratší vlnovou délku). Umístěním kohoutků (zdrojů vlnění) do vzdálenosti

budou stejně hlasité kolem dokola celého zařízení – OMNI(directional). Co s tím? Použijte cross-over a tyto frekvence nechte hrát subwoofery. Jenže ouha. Samotný subwoofer má taky málokdy rozměry větší než 1,7 x 1,7 m (díky bohu). Přichází tedy na řadu subwooferová array – skoro dokonalé

jednotlivých antén od sebe bude 3,125 cm ($\lambda/4$) a délka celé array bude $2 \times \lambda = 25$ cm. Voilà. (Obr. 4) Z obrázku je patrná nutnost výrazně rozdílné konstrukce array v závislosti na frekvenci, kterou vyzářuje. Poměr vyzářovaných frekvencí je v tomto případě pouze cca 1 : 5 až 1 : 6.



Obr. 2: Simulace šestnácti kapajících kohoutků ve vaší koupelně

poloviny vlnové délky (tedy od hřbetu vlny k jejímu sedlu) stvoříme opravdovou line-array. (Obr. 2)

Vytvořeno pomocí jednoduché aplikace Java. Kdyby si to někdo chtěl vyzkoušet sám nasimulovat, zde je odkaz: www.falstad.com/ripple. Pozor, vaši kačenku uprostřed vany to dost pohoupe!!

využití line-array teorie v ozvučovacím průmyslu. Ale o tom až někdy příště.

Se zvyšující se frekvencí začne vaše PA zaostřovat vyzářovanou energii v předozadním směru s maximem úbytku energie nad a pod ní. Platí pravidlo: dvojnásobná frekvence = poloviční vyzařovací úhel. Toto pravidlo platí do okamžiku, než vzdálenost reproduktorů

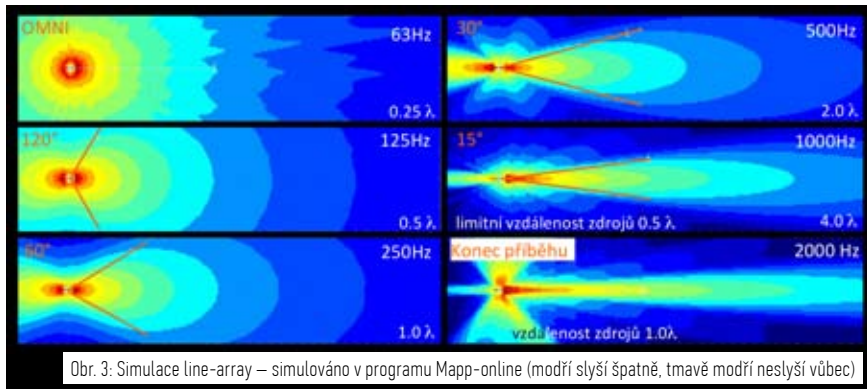
Kapitola druhá: Práce se slyšitelným zvukem je komplikovaná materie (devět oktáv a ... něco)

Oproti anténám pracujícím v malém frekvenčním pásmu se rozsah prakticky využitelných slyšitelných frekvencí (30 Hz až 18 000 Hz) mění v poměru 1 : 600! Vlnová délka 30 Hz je 11,45 m oproti 19 mm na 18 kHz. Celých devět oktáv a ... světelné kvantum!

V případě zvukových systémů tedy využíváme principy fungování line-array pouze v oblasti nízkých a středních frekvencí, které mají delší vlnovou délku. V těchto kmitočtech se můžeme přiblížit okrajovým podmínkám fungování line-array. U vysokých frekvencí není většinou konstruktivně možné umístit zářiče tak, aby splňovaly podmínku rozteče menší než $\lambda/2$. Pro frekvenci 10 kHz je polovina vlnové délky asi 17 mm. Umístit dostatečně výkonné výškové reproduktory tak, aby jejich středy nebyly vzájemně vzdáleny o více než 17 mm, nelze. Je to něco podobného, jako kdybyste chtěli namontovat nákladák na motorku (nebo ty dvě antény z Obr. 4 do sebe).

Otázka zní, jak často se takto konstruovaná array (rovná, nezakřivená řada, těsně u sebe umístěných, stejný signál reprodukcující a víceméně kulových zářičů) používá v reálném ozvučování. Odpověď zní: občas. Většinou se jedná o systémy určené k ozvučení mluveného slova v místech s dlouhou dobou dozvuku (v kostelích, na letištích apod.). Frekvenční rozsah těchto systémů bývá často limitován na vokální spektrum. (Obr. 5)

Jaký je vlastně frekvenční rozsah lidského hlasu? Základní mluvní tón (na kterém se vyslovují samohlásky) má u mužů frekvenci kolem 100 Hz, u žen o oktávu výše (200 Hz) a u dětí ještě o další půl oktávy výš (300 Hz). Bylo by velmi jednoduché



Obr. 3: Simulace line-array – simulováno v programu Mapp-online (modří slyší špatně, tmavě modří neslyší vůbec)

Samotná délka této array (řady) zdrojů vlnění poté určuje vyzařovací úhel celé line-array v závislosti na vyzářované frekvenci. Je-li délka line-array kratší než $\lambda/2$ vyzářované frekvence, chová se taková věc jako všesměrový zdroj. Kupříkladu 100Hz vlna má

od sebe navzájem překročí limitní mez $\lambda/2$. V případě následujícího obrázku vidíme použitelný rozsah frekvencí od 125 Hz do 1000 Hz. Pouhé tři oktávy. (Obr. 3)

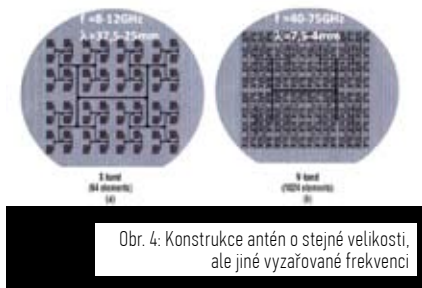
Celková délka simulované line-array je 1,374 m, což odpovídá $\lambda/2$ na 125 Hz. Od této frekvence pozorujeme směřování akustické energie. Vzdálenost jednotlivých zdrojů od sebe je 17,18 cm, což odpovídá $\lambda/2$ na 1000 Hz – limitní frekvenci. (Každá změna barvy udává pokles akustického tlaku o 3 dB SPL).

Popsaný princip využívají (kromě téměř ideálně všesměrových subwoofery) s velkou výhodou anténní systémy, které jsou schopny na určité dané frekvenci efektivně vyzářit velmi úzký paprsek energie. Například WiFi pracující na frekvenci 2,4 GHz má vlnovou délku $\lambda = 12,5$ cm. Výrobce tedy může sestavit anténní array delší než $\lambda/2 = 6,25$ cm a zvolit si požadovaný vyzařovací úhel. Je líbo třeba 30°? Dobrá, vzdálenost

VLNOVÁ DÉLKA (LAMBDA)

Zvuk je vlnění, které je způsobeno mechanickým kmitáním částic prostředí (např. vzduchu). Tímto prostředím se šíří zvuk. Zvuk obsahuje tóny, které mají určitou výšku, v závislosti na frekvenci (f) kmitání prostředí. Vlnovou délku (λ) určité frekvence lze vypočítat jako rychlost zvuku (c) (za normálních atmosférických podmínek cca 343 m/s) dělenou touto frekvencí ($\lambda = c/f$).

zkonstruovat zvukový systém s frekvenčním rozsahem pouhých dvou oktáv. Pokud jste ovšem někdy slyšeli někoho, kdo huhňá, vite,



Obr. 4: Konstrukce antén o stejné velikosti, ale jiné vyzářované frekvenci

přibližně 3,4 m dlouhou vlnu. Polovina této délky bude cca 1,7 m. Bude-li tedy váš „banán“ jen jeden a půl metru vysoký, počítejte s tím, že frekvence zhruba od 100 Hz níže

že ačkoli vám větu opakoval již několikrát, stejně jste mu nerozuměli ani slovo. Tato porucha řeči (opravdu se to jmenuje huhňavost neboli rhinolalie) se vyznačuje tím, že v řeči je nadbytek základního mluvního tónu a kritický nedostatek sykavek (konsonant). Sykavky zabírají spektrum od 2 kHz až do 8-10 kHz. Telefonní pásmo je definováno rozsahem od 300 Hz do 3400 Hz jako nezbytně nutné pro srozumitelnost. Ale kdo by chtěl slyšet na koncertě telefonní zvuk, že?

Bude-li vám tedy někdo tvrdit, že na zpěváka s kytarou není potřeba použít PA s rozsahem minimálně od 40 Hz do 12 kHz (tedy subwoofer s dobrým trap boxem), věší vám bulíky na nos a chce na vás ušetřit. Hluboká struna E na kytáře má kolem 80 Hz (první subharmonická frekvence bude

TRAP BOX (TRAPEZOIDAL BOX)

je většinou dřevěná ozvučnice (bedna) ve tvaru lichoběžníku. V takové ozvučnici bývá umístěn jeden hlubokotónový reproduktor (woofery) a jeden výškový reproduktor (driver) namontovaný na výškovou hornu. Horna má za úkol udržet konstantní směrovou vyzařovací charakteristiku v obou rovinách (horizontálně i vertikálně).

Jinými slovy se jedná o ty populární „bedny na klacku“, se kterými se můžete setkat třeba na menších koncertech pro několik desítek lidí.

tedy 40 Hz) a zpěvákovy sykavky vyžadují svých 10 kHz (nemluvě o vyšších harmonických frekvencích). Pokud budete chtít dobře ozvučit takovýto koncert, musíte pokrýt frekvenční rozsah osm oktáv a modlit se, aby si proboha nepřinesl třeba hajtka. Jo, a nezapomeňte, že těsně u zpěvákových rtů může akustický tlak dosahovat 130 dB a ve špičkách i přes 150 dB SPL (sound pressure level), které musíte bez zkreslení přenést do ctěných oušek posluchačů. Nyní začíná být jasné, jaký frekvenční rozsah a výkon bude potřeba k ozvučení rockového koncertu. Připomeňme si nyní Obr. 3, konkrétně tedy jeho poslední část. (Obr. 6)

V tomto konkrétním případě si dobrou srozumitelnost nadmíru dobře užívají ptáci a cestující v letadlech, ochranka pod péáčkem a posluchači zavěšení deset metrů nad zemí na protilehlé stěně sálu. Ostatní mají pocit, že zpěvák trpí závažnou formou rhinolalie. Myslím, že producent bude vracet poměrně velké množství vstupenek. Nebo že by si byli posluchači v českých zemích na tuto situaci už zvykli?

Kapitola třetí: Končí náš příběh smutně? Možná ne tak docela.

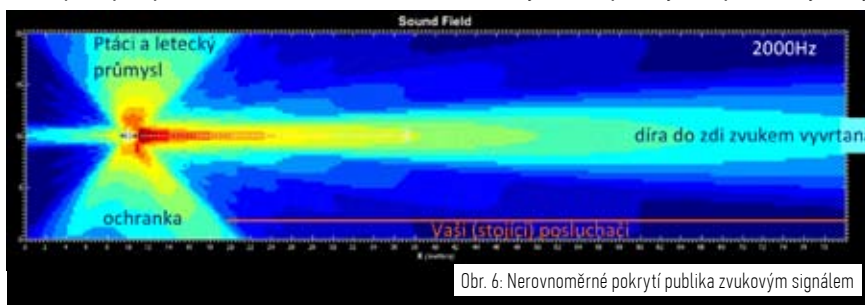
Řešení spočívá v tom, že od určité frekvence je nutné namísto zdrojů s kulovou charakteristikou podle line-array teorie použít zdroje s vertikálně úzkým vyzařovacím úhlem. Jinými slovy, zatímco na nízkých frekvencích



Obr. 5: Line-array na letišti. Vidíte, že opravdu existují!

jde o to, aby docházelo k interferenci mezi zářiči se sčítáním vln v jednom a odčítáním v jiném směru (viz Obr. 2 – ve vaně), na vysokých frekvencích je naopak třeba minimalizovat překrytí vyzařovacích úhlů a co možná

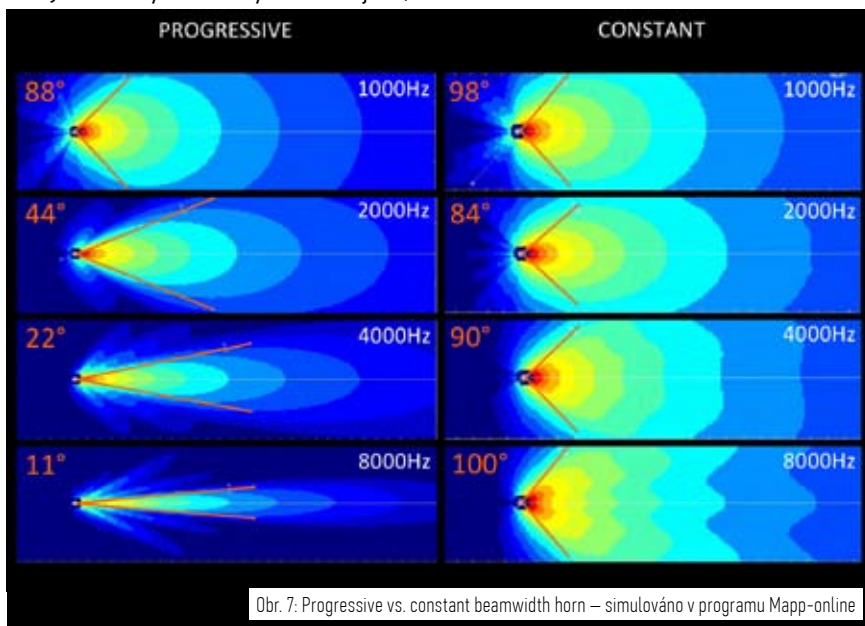
která je ta pravá dělicí frekvence, nedojde k jednomu konkrétnímu číslu. Zjistíme, že čím kratší je vyzařovaná vlnová délka, tím více je třeba zdroje od sebe separovat. Potřebujeme tedy zdroj, který zmenšuje svůj



Obr. 6: Nerovnoměrné pokrytí publika zvukovým signálem

nejvíce izolovat zdroje od sebe. A jsme konečně u konstrukce výškové horny (zvukovodu)! Pokud bychom se nyní snažili zjistit,

vyzařovací úhel (beamwidth) se zvyšující se frekvencí.



Obr. 7: Progressive vs. constant beamwidth horn – simulováno v programu Mapp-online

„Seznamte se, prosím, s tzv. progressive beamwidth hornou.“

Na rozdíl od trap boxu s wooferem a driverem v horně zachovávající od určité frekvence konstantní vyzařovací úhel v obou rovinách (např. 90 °x 40 °), „line-array“ segment žádnou takovou frekvenční hranici nemá a jeho vyzařovací úhel se ve vertikální rovině kontinuálně mění podle pravidla: dvojnásobná frekvence = poloviční vyzařovací úhel. Ano, a už je to tu zas. (Obr. 7)

VŠESMĚROVÝ

(kulový, omni-directional) zdroj je takový, který má všesměrovou vyzařovací charakteristiku a nulový rozměr. Je to fyzikální fikce, stejně jako např. hmotný bod. Vlnění (v našem případě zvuk) se směrem od něj šíří do všech směrů stejně a se stejnou intenzitou. Aby se reproduktor mohl chovat jako kulový zdroj, musí být jeho rozměry výrazně menší, než je vlnová délka na frekvenci, kterou vyzařuje.

Ideálně by se jednalo o páskový (obdélníkový) zářič s vertikálně vysokou a horizontálně úzkou membránou. (Obr. 8)

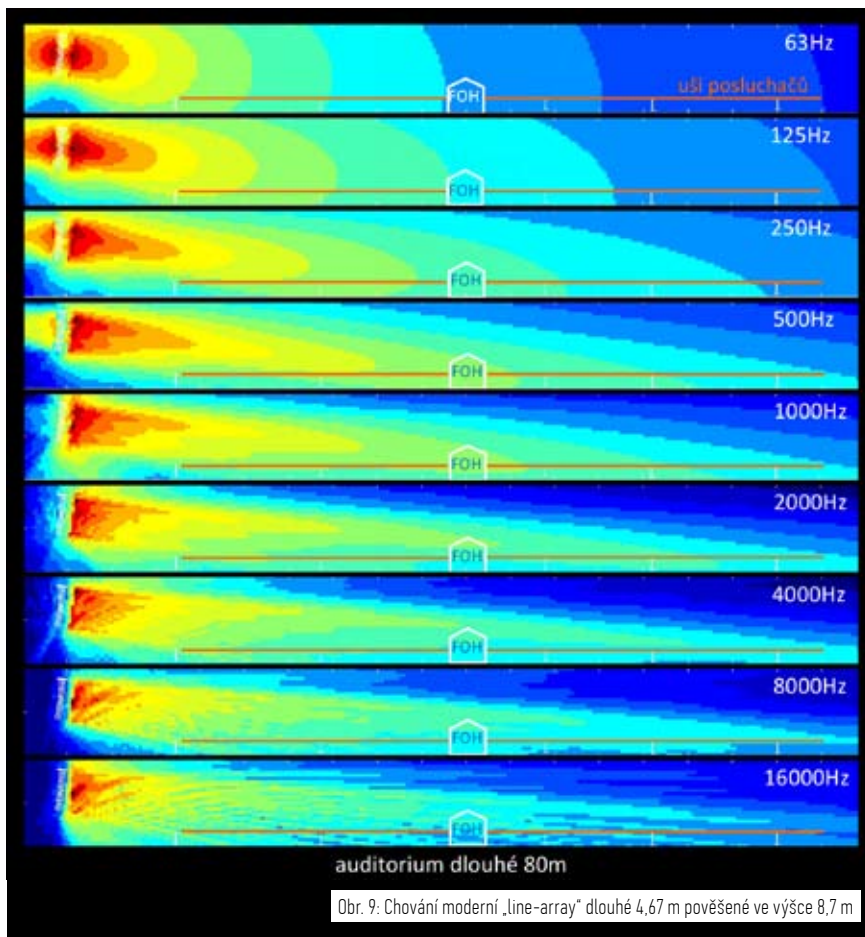
Pokud vám to připomíná miniaturní line-array, máte naprostou pravdu. Vzhledem k faktorům, které přesahují rozsah tohoto textu a zahrnují schopnost dosažení vysokého akustického tlaku za minimálního zkreslení, je použití páskových zářičů prozatím v praxi omezeno.

U vysoce výkonných komerčních „line-array“ systémů se jako zdroj zvuku nejčastěji používá osvědčená technologie kompresních driverů montovaných na asymetrickou hornu se širokým horizontálním a úzkým vertikálním úhlem. Důležité ovšem je, aby k obdel-



Obr. 8: Páskový driver RBN601 nizozemské firmy Alcons' Audio

níkovému (páskovému) hrdlu horny dorazily zvukové vlny generované kupolovitým driverem ve fázi (tzv. isophasic exit). Pokud by výstup horny nebyl izofázický, zkonstruovali



Obr. 9: Chování moderní „line-array“ dlouhé 4,67 m pověšené ve výšce 8,7 m

bychom pouze velmi úzkou constant beamwidth hornu. Existují v podstatě dva způsoby, jak toho dosáhnout, a různí výrobci používají jejich různé mutace. V zásadě se jedná buď o soustavu různých dlouhých tras od driveru k horně tak, aby všechny vlny dorazily současně, nebo se část vln zpožďuje průchodem přes různě hustou pěnu. Výsledek je však ve všech případech stejný: progressive beamwidth vertikální zářič se širokým konstantním horizontálním úhlem (většinou mezi 60 °a 120 °).

Závěr

Takový systém – nazvěme ho třeba „hybridní zakřivený líniový zdroj“ – je schopen dosahovat vysoce koherentního (souvislého) pokrytí poslechového prostoru do velkých vzdáleností od zdroje v celém slyšitelném spektru frekvencí. Podívejte se, jak úžasné to může fungovat (Obr. 9):

Od 63 Hz pozorujeme směřování energie. Do 250 Hz je rozdíl v hlasitosti v auditoriu +/-6 dB. Již od 1000 Hz výše všichni posluchači slyší všechny frekvence stejně (+/-3 dB – jedna barva), přestože jejich vzdálenost od arraye se výrazně mění. Systém pokrývá spektrum 63 Hz až 16 kHz, tj. 8 oktáv. Chybí subwoofery, které by rozsah posunuly ještě o oktávu níže – až ke 30 Hz. Jinak ale dobrý, ne? Žijeme v krásné době. Vývoj zvukových systémů doznal za posledních několik dekád radikálních změn k lepšímu. Reálná

aplikace takové technologie nicméně vyžaduje jisté teoretické znalosti. Jediné spojení moderní techniky s kvalifikovanou obslu-

CROSS-OVER

Tento termín se používá v mnoha různých situacích. Zpravidla jde o prolínání, přechod či křížení mezi dvěma frekvenčními pásmy, dvěma reproduktory nebo také mezi hudebními žánry. My zatím zůstaňme jen u té první možnosti. V našem případě máme na mysli přechod mezi dvěma frekvenčními pásmy (basy-střed, střed-výšky, apod.). Bohužel zatím nelze sestrojit jeden univerzální reproduktor, který by byl schopen správně reprodukovat zvuk v celém slyšitelném rozsahu frekvencí. Každá konstrukce reproduktoru je vhodná pro přehrávání pouze určitého frekvenčního pásma. Rozsah slyšitelných frekvencí se na jednotlivá pásma rozděluje pomocí filtrů (cross-overů) – dolní propust, horní propust apod.

hou umožňují dosahovat skvělých výsledků. Pojdme si je společně užívat. Muzikanti, produkce i posluchači.

