

Článok nášho hosta - Fyzikálne vlastnosti šírenia akustických vln od Billa Dudlestona z Legacy Audio

Článok z magazínu Home theater hifi. Preklad s Google translator.

<https://hometheaterhifi.com/30th-anniversary/the-now/raising-the-bar-on-speaker-performance-a-loudspeaker-designers-perspective/>

Dúfam, že nasledujúce dobrodružstvo bude pre vás poučné a užitočné na vašej ceste k lepšiemu zvuku.

Otvorme svoju myseľ a zamyslime sa „vnútri“ krabice, ktorou je v tomto prípade samotná skrinka reproduktora.

Prednosti skvelého reproduktora by sa dali opísať ako celé frekvenčné spektrum, v ktorom sa z priepasti vynárajú nízke tóny s dostatočným dynamickým rozsahom na to, aby presadili soundtrack Hansa Zimmera. Pridajte presnosť zafarbenia a nevýslovný zmysel pre realitu ("Breath of Life" od Steva Hoffmana). Hlboká artikulácia a jasnosť sú zobrazené v horných stredoch a výškach prostredníctvom maximálneho zrýchlenia. V neposlednom rade by skvelý reproduktorový systém mal zobrazovať pocit miesta konania: skutočne štvorrozmernú rekonštrukciu priestoru v priebehu času.

Po viac ako štyroch desaťročiach každodenného výskumu, dizajnu a zdokonaľovania môžem konštatovať, že v dizajne reproduktorov zostáva viac priestoru na zlepšenie ako kdekoľvek inde v audio reťazci. Aj keď sú dnes návrhy celkovo výrazne lepšie ako návrhy pred päťdesiatich alebo dokonca desiatich rokov, existuje *veľa* nerealizovaného potenciálu. V prvom rade sú reproduktory strašne neefektívne, pričom zvyčajne 98 % energie aplikovanej stratí na indukciu, odpory, kmitacie cievky a mechanické straty. Pasívne výhybky zvyčajne spotrebujú 5 % energie aplikovanej na každý rád sklonu výhybky v celom spektre.

Zatiaľ čo elektrické vozidlo dokáže pomocou trakcie premeniť 80 % aplikovanej energie na pohon, nesúlad impedancie membrány reproduktora poskytuje veľmi malý prenos energie na nízku hustotu jeho vzduchovej záťaže. Existuje podobný nesúlad impedancie medzi vzduchom a tekutinou vo vašom vnútornom uchu. Nebyť pozoruhodného pákového mechanizmu poskytovaného kosťami vo vašom uchu, väčšina zvuku by sa odrážala späť na bubienku.

Zatiaľ čo mnohé z dnešných zosilňovačov sú výkonnejšie, efektívnejšie, nákladovo efektívnejšie a fyzicky lepšie ovládateľné, to isté nemožno tvrdiť o vysoko ponúkaných reproduktoroch. S mnohými vlajkovými loďami pasívnych reproduktorov s hmotnosťou 500 libier. a ceny prevyšujúce náklady na luxusný dom, je možné rozumne uvažovať o tom, *čo presne je základom* výkonu reproduktorov a prečo technologické zaostávanie v špičkových reproduktoroch. Legacy Audio, Kii Audio, B&O, Dutch and Dutch a Genelec patria medzi obmedzený počet výrobcov reproduktorov, ktorí využívajú aktívne napájané, smerovo riadené reproduktory s riadeným DSP.

Audiofili si uvedomujú, že špičkový zvuk môže byť nostalgický, pričom dobre vedia, že skutočný výkon v konečnom dôsledku diktuje pokrok. Niektoré vylepšenia, ako napríklad streamovanie vo vyššom rozlíšení a cloudové úložisko, sú také hlboké, že sa stávajú okamžitými úspechmi. Tak ako sa analógové elektrónkové televízory dostali do úzadia s nástupom 1080p, živý 8K video obsah sľubuje 16-krát väčší počet pixelov ako 1080p. Výkonnosť kráča vpred.

Rovnako nevyhnutnou budúcnosťou stereo reproduktorov je priame streamovanie, riadené DSP, prispôsobiteľné životnému prostrediu a aktívne napájané. Spracovanie domáceho kina sa bude naďalej vyvíjať pomocou najnovších metód mixovania a bude naďalej ťažiť z digitálneho spracovania rovnako ako živý zvuk a dokonca aj vysokovýkonné audio do auta. Našťastie korekcia miestnosti stále naberať na sile a je štandardnou funkciou väčšiny prijímačov a procesorov a našla si cestu aj do automobilov.

Teraz trochu zábavy!

Základy reproduktorov

Existuje mnoho typov meničov od elektrostatiky, pohybu vzduchu (Heil), planárnej magnetiky, pohyblivej cievky, piezokryštálov, plazmovo-iónových, termoakustických, distribuovaných meničov, Radialstrahler, Walshovej postupnej vlny, Geddesovej akustickej páky, spolu s mnohými spôsobmi ich zaťaženia, ako sú trúbky, dipól, gradient, technologická implementácia, stručné zameranie smeru, prenosové vedenie, pásmová vôľa atď. vysoká citlivosť a nízke skreslenie.

Stručne povedané, zosúladené ciele pre skvelý reproduktor sú široká šírka pásma s pevným basovým základom, nekomprimovaná dynamika, správne zafarbenie a čistota, priestorový realizmus a schopnosť sledovania tvaru vln s časovou koherenciou a prispôbivosťou miestnosti. Ale ako sa tam dostaneme? A ako to dosiahneme v širokom rozsahu posluchových priestorov? Aj keď je to náročné, môžeme sa tam dostať.

Odozva vodiča

Rovnako ako vysokovýkonné vozidlá musia artikulovať cestu pred vami prostredníctvom zrýchlenia a zákruty, reproduktory musia presne sledovať zložitosť hudobných vln. Aká priorita je však skutočne daná zrýchleniu pri výbere komponentov reproduktorov? No v mnohých prípadoch nie až tak, ako by ste čakali. Keďže artikulácia je kľúčom v strednom pásme, pozrime sa na možnosti **zrýchlenia** niekoľkých stredobasových meničov, ktoré sa nachádzajú v špičkových reproduktoroch.

Nižšie je vypočítané zrýchlenie objemu vzduchu (AVA) týchto ôsmich prémiových prevodníkov.

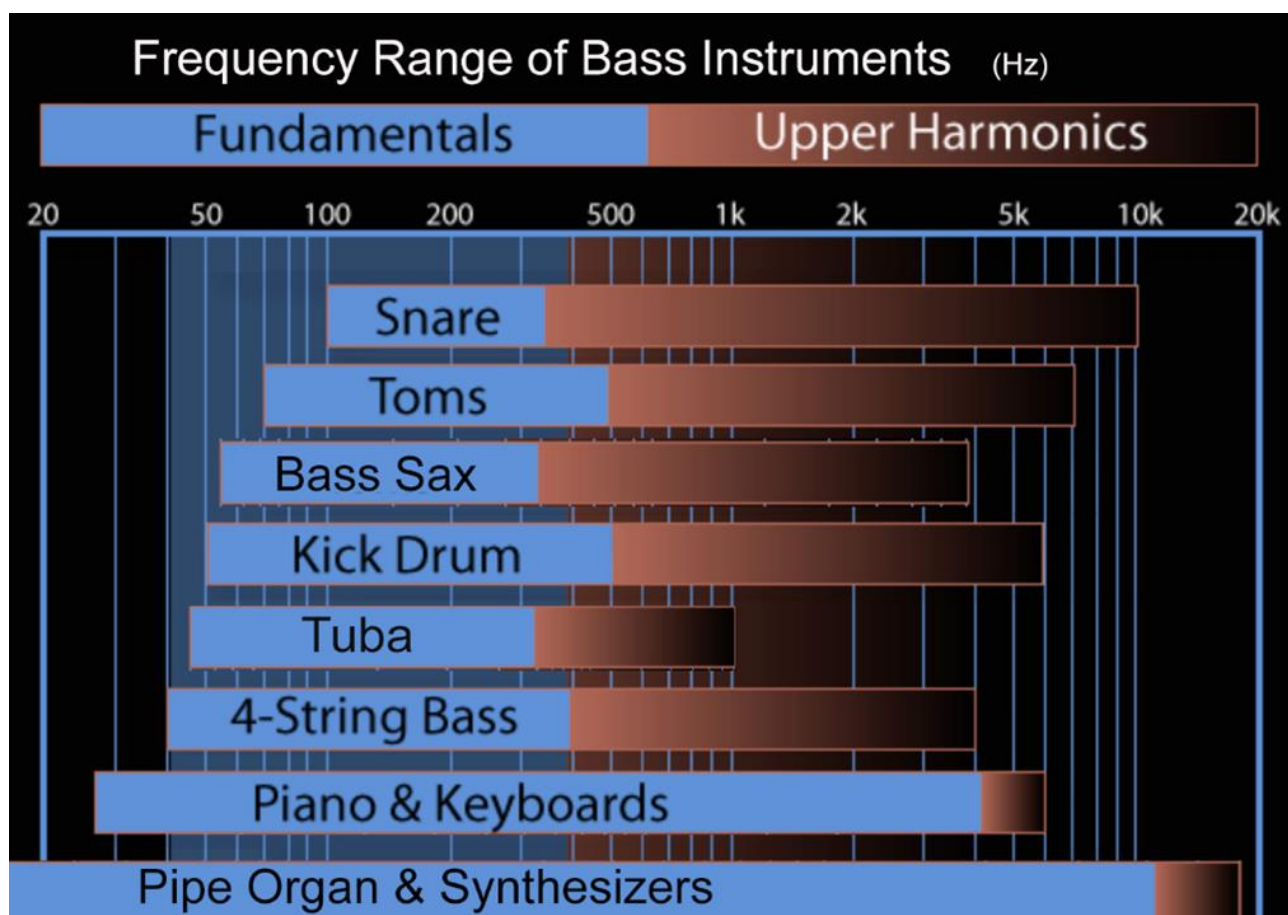
AVA = súčin sily zostavy motora (BL) delený pohyblivou hmotnosťou (MMS) vynásobený efektívnou plochou kužeľa (SD)

Supplier	Part	BL	MMS	SD	AVA
Legacy Valencia 10	10MCF400ND	28.8	0.0400	0.0380	27.4
Legacy Firenze 8	8PE21	16.6	0.0180	0.0220	20.3
Legacy Firenze 6	6PEV13	8.2	0.0060	0.0132	18.0
SB Acoustics Satori	MR16-P8	6.5	0.0106	0.0119	7.3
SB Acoustics Satori/Textreme	MW16-TX	6.3	0.0123	0.0119	6.1
Purifi	PTT6.5M04NFA01	8.1	0.0178	0.0133	6.1
Scan-speak Revelator	18W/4531G00	5.7	0.0175	0.0157	5.1
Accuton/Ceramic	C168-6-890	7.5	0.0210	0.0123	4.4

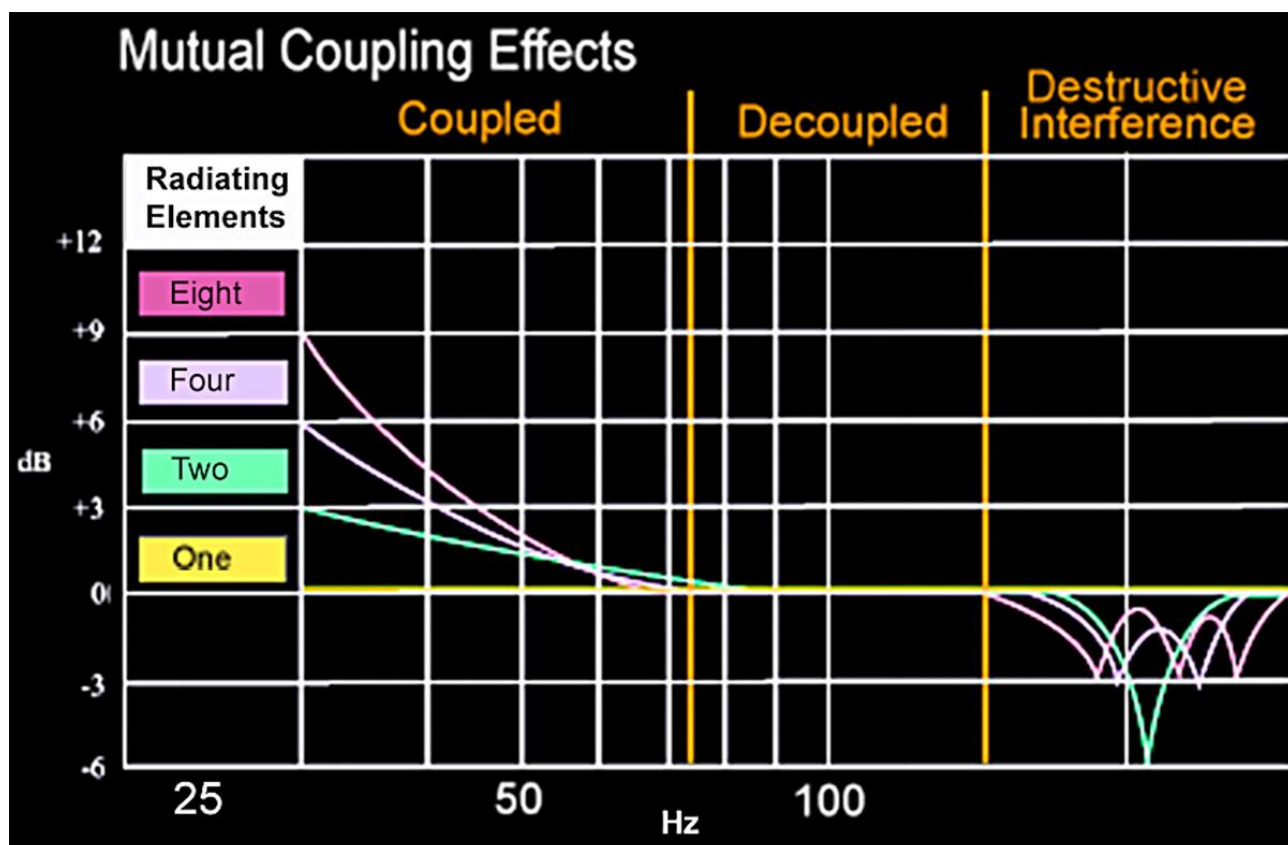
Tri uvedené najlepšie meniče sa používajú v návrhoch reproduktorov Legacy. Ďalších päť vážených ovládačov možno poznáte, pretože sa nachádzajú v mnohých špičkových dizajnoch. Je zrejmé, že dizajn Legacy výrazne zdôrazňuje dôležitosť zrýchlenia s typicky štvornásobným objemom zrýchlenia oproti konkurentom. AVA je priamo spojená s účinnosťou, dynamikou a prechodným sledovaním tvaru vln. Táto téma sa nesie cez oblasť výšok s vysokým objemom vzduchu v duálnom usporiadaní AMT a skladaných membránach.

Zníženie s kontrolou

Všetci túžime po rozšírení basov, ale iniciovanie pohybu ťažkej membrány basového reproduktora je trochu ako vykývať balvan z vyjazdenej koľaje. Uchováva mechanickú energiu predtým, ako sa pohne dopredu, a napriek tomu musí zmeniť smer 200-krát za sekundu pri 100 Hz. Okrem toho skutočná rýchlosť častíc vzduchu zaostáva za povrchovým tlakom piestu o 90 stupňov a viac. Každá klesajúca októva (zníženie frekvencie na polovicu) zvyšuje požiadavky na výchylky woofera štvornásobne, čo znamená, že 20 Hz vyžaduje 64-násobok dĺžky zdvihu 160 Hz na udržanie SPL. Tieto namáhavé požiadavky sú dôvodom, prečo môžu mať trojpásmové a štvorpásmové reproduktory výrazne nižšie harmonické a intermodulačné skreslenie. Všimnite si, že horný rozsah harmonických, ktoré prispievajú k zafarbeniu basových nástrojov, siaha vysoko nad základné tóny.



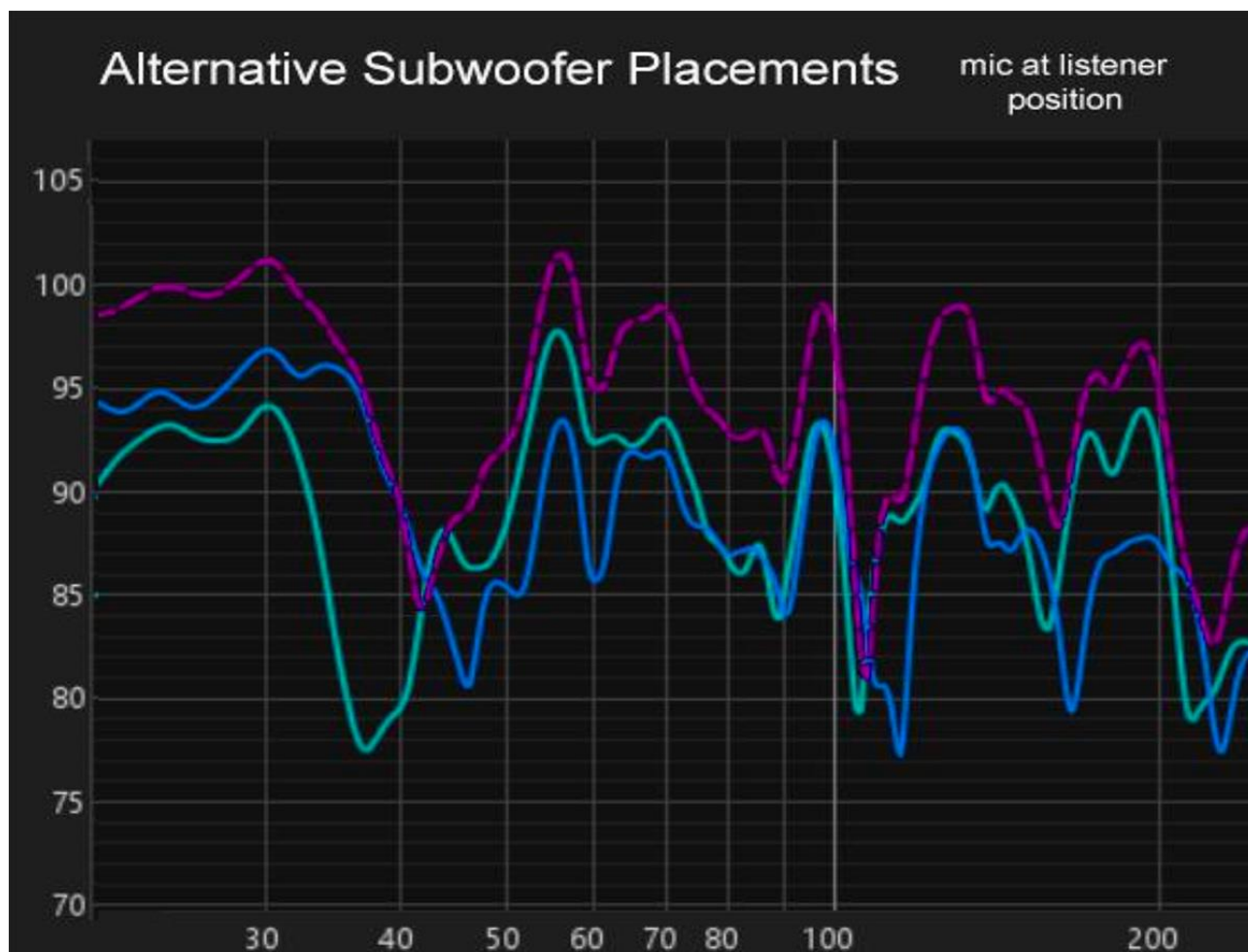
Najlepší spôsob, ako dosiahnuť hlboké basy, je mať k dispozícii dostatok výkonu, dvojicu vzájomne prepojených basových reproduktorov, ktorých výstup sa odráža od základnej dosky s nízkou systémovou rezonančnou frekvenciou. Vzájomná väzba pridáva 3dB na výstupe pre každé zdvojnásobenie budiacich prvkov. Našťastie pre nás všetkých sú teraz k dispozícii kilowatty čistého a efektívneho výkonu a DSP dokáže prispôbiť basové reproduktory ozvučnici aj miestnosti.



Je dôležité poznamenať, že režimy miestnosti môžu dominovať pri nízkych frekvenciách, čo zdôrazňuje výhody použitia algoritmu korekcie miestnosti DSP založeného na časovej doméne. Vyrovnávanie výkonu

na základe pozície poslucháča je zbytočné. Zosilnenie poklesu vyvolaného hranicami iba vytvorí vrchol na iných pozíciách počúvania a zároveň okráda výkon. Tento obrázok nižšie ukazuje, že ani pohyb subwoofera po miestnosti nevyrieši odsávanie energie okolo 40 Hz v dôsledku rezonančného uzla vyskytujúceho sa v pozícii poslucháča .

V tejto situácii môže byť dvojica ponoriek umiestnená na protiľahlých bočných stenách prilahlých k poslucháčovi rozmiestnená tak, že jedna strana vedie vo fáze o 45 stupňov a druhá strana vo fáze zaostáva o 45 stupňov, čo uvádza subdoty do kvadrátneho vzťahu. Dve sínusové vlny od seba vzdialené 90 stupňov sa sčítavajú v pôvodnej fáze v pozícii poslucháča, ale odolávajú modálnemu správaniu kvôli ich fázovým rozdielom.

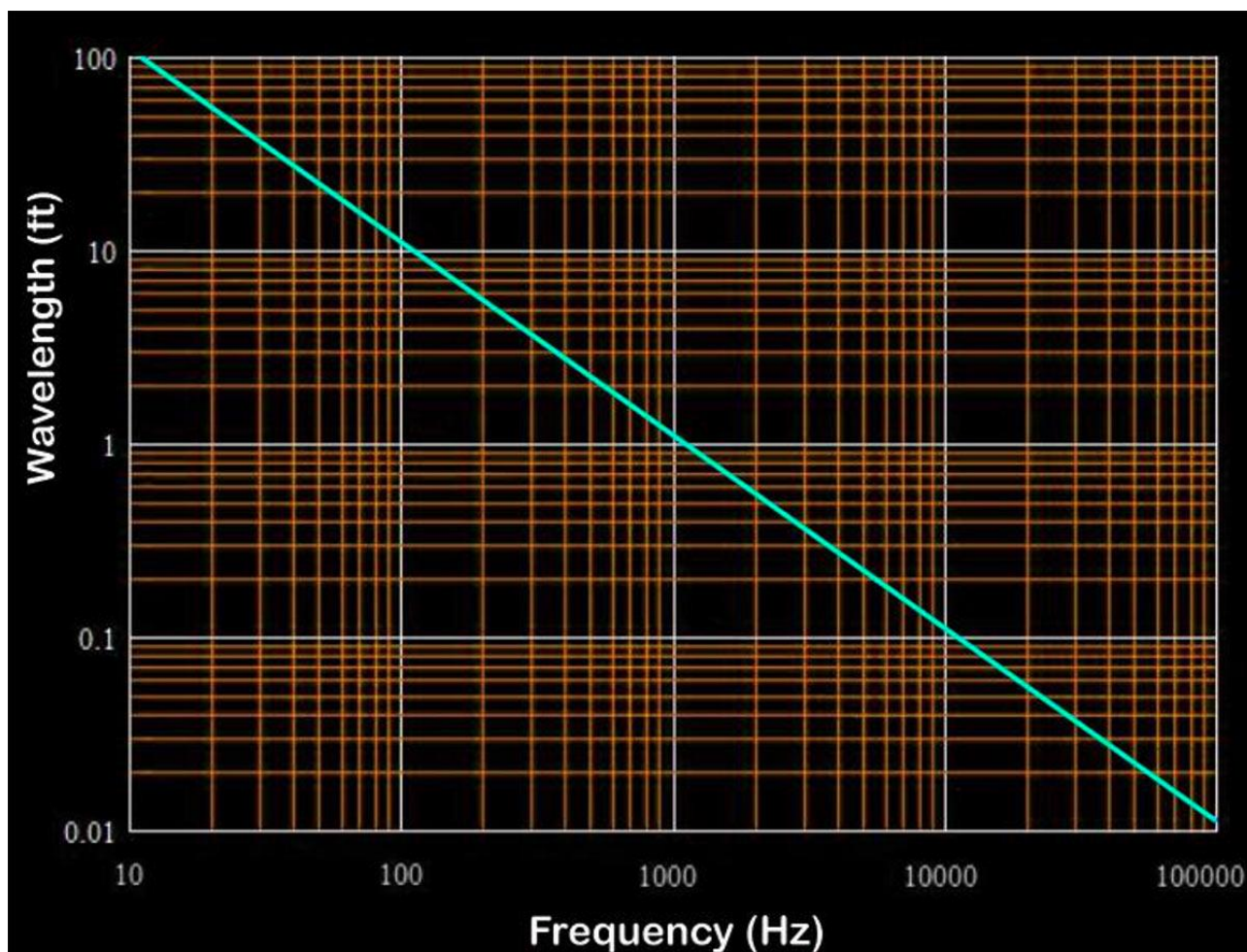


Frekvenčný rozsah

Kľúčom k akustickému modelovaniu je myslieť z hľadiska **vlnovej dĺžky** ; rýchlosť zvuku (1130 stôp/s) vydelená frekvenciou uvažovania.

Adekvátna plocha piesta je nevyhnutná pri všetkých frekvenciách, aby sa zabezpečil správny objemový posun vzduchu. Postupne sa zväčšujúca plocha piesta s klesajúcou frekvenciou je tiež kľúčom k riadeniu smerovosti pri zachovaní lineárneho dynamického rozsahu a nízkej úrovne skreslenia.

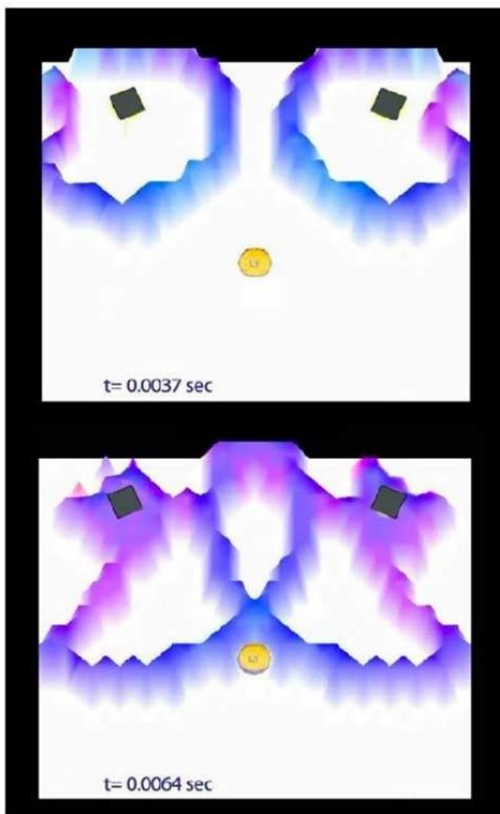
Nad 10 kHz je vlnová dĺžka rádovo 1", zatiaľ čo pri 1 kHz sa zväčšila asi na stopu, pri 100 Hz desať stôp a pri 10 Hz asi 100 stôp. Aby sa zachovala linearita, efektívny priemer vyžarovacieho piestu by sa samozrejme zväčšoval úmerne s rastúcou vlnovou dĺžkou a vyžarovacia plocha by sa zväčšovala s druhou mocninou tohto priemeru. Škálovanie na rovnomernú veľkosť vyžarovacieho priemeru piestu by vyžadovalo nepraktickú priamu veľkosť vyžarovacieho systému reproduktora.



Keďže skreslenie je úmerné posunutiu kužela, dynamický rozsah sa pri poklese frekvencie obmedzuje. Náš reproduktor Valor napríklad využíva *tri* 14-palcové spodné stredové pásma. Prehnané? Zamyslite sa znova. Toto symetrické pole poskytuje kombinovanú vyžarovaciu plochu 24-palcovej šírky piesta so šírkou pásma so stredom na 500 Hz, kde vlnová dĺžka je len 2 stopy. Linearita je zachovaná veľmi pekne. Ale keď znížime frekvenciu na 50 Hz, budeme potrebovať piest s priemerom viac ako 20 stôp, aby sme si nárokovali to isté. Našťastie nám nakoniec pomôže zisk priestoru vďaka vystuženiu hraníc a pretlakovaniu kabíny.

Je nevyhnutné využiť výhodu základnej roviny (1/2 priestoru) s umiestnením basového reproduktora, pretože takmer eliminuje rušenie odskokov podlahy a zvyšuje SPL o 6 dB (hladina akustického výkonu sa zvýši o 3 dB). Vzájomná väzba dvojice budičov v rámci polovičnej vlnovej dĺžky pridáva ďalšie 3dB v dôsledku zvýšenej impedancie žiarenia.

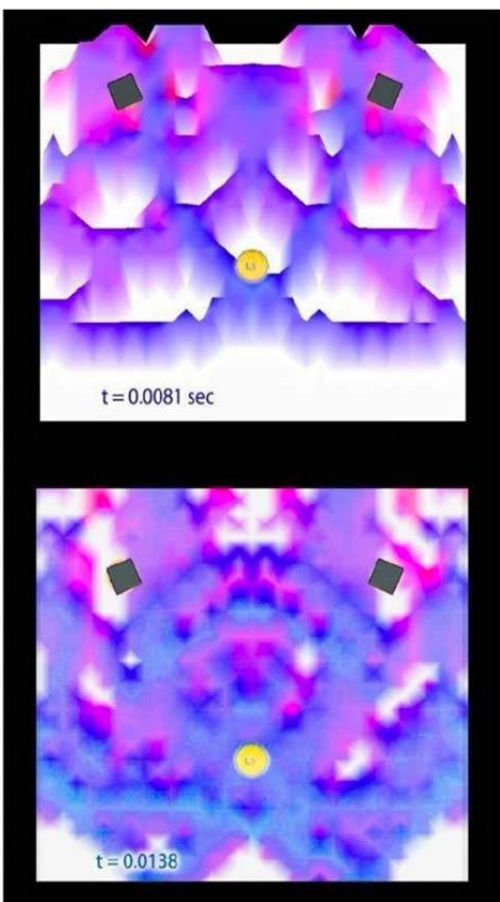
Reproduktory a poslucháreň



Why is Room Correction Necessary?

To the left is a 2 dimensional simulation of a 1ms wave pulse from a pair of conventional speakers into a room similar to the above. Because the dispersion exceeds 60 degrees, undesirable energy from each speaker is reflected back into the room within a few thousandths of a second. This reflected energy is out of sync with the original signal.

A few milliseconds later, the first wave-front is about to reach the listener, while the reflected energy is close behind. These early reflections alter the original tonal balance. As they occur within the fusion time window, the brain cannot separate the sounds.



After less than $1/100^{\text{th}}$ of a second, the room has developed a complex wave pattern with energy varying with room position. The listener is now awash in a series of wave-fronts which will soon reflect off the wall behind.

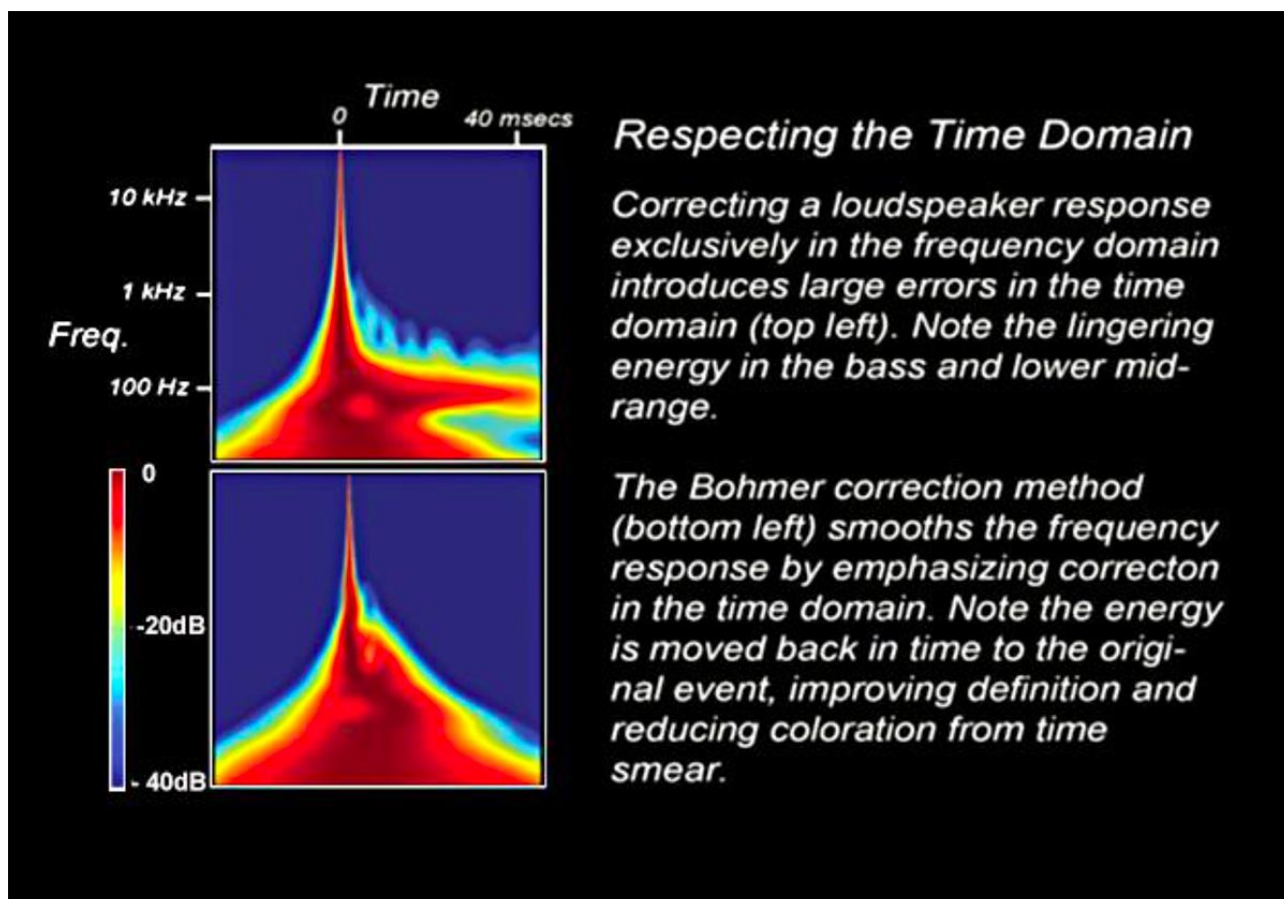
A mere 5 milliseconds later, the initial direct wave-front has now reflected off the rear wall and has made its way back to the listener.

The listener will perceive this reflection as additional bass energy, though a standing wave has not had time to develop.

It is a common misconception that such low frequency excess energy is merely the result of inevitable resonances within the room, when a large portion can be attributed to initial reflections.

Verná reprodukcia nahratého výkonu ťaží z jasnej priamej cesty od reproduktora k poslucháčom počas prvých 15 ms. Príchod difúznej energie 25 ms a neskôr môže posilniť priestorové podnety týkajúce sa veľkosti a prirodzenej okolitej energie miesta konania.

Priestorové vlastnosti odvodené interným procesorom poslucháča (šedá hmota) zahŕňajú veľkosť a umiestnenie obrazu, šírku a hĺbku zvukovej scény alebo špecifické charakteristiky sály, ktoré sú výsledkom súhry stereo kanálov. Uhol príchodu do každého ucha a interferenčné účinky črt tváre a obrysu hlavy (HRTF) určujú rozdiely v načasovaní a amplitúde. Obrovský vplyv má aj odrazená energia miestnosti.



Proces stereo prehrávania a reproduktory

Jediné parametre zaznamenané vo zvuku sú *amplitúda v čase* v každom kanáli. Či už to nazývate ako hladina akustického tlaku, intenzita, hlasitosť alebo len poloha na VU metre – je to jednoducho a presne jedna amplitúda signálu vo vzťahu k veľmi špecifickému bodu v čase.



Ako sa signál mení s časom, vzniká frekvencia, harmonické, útok, dynamika, melódia, dozvuk a tón. Zamyslite sa nad tým hlboko, pretože stereo nahrávka zložitého 100-členného orchestra Marimba na 120 stôp javisku je v každom okamihu reprezentovaná iba ako dvojica napätia pre ľavú a pravú stranu. To ilustruje, že ste to vy, poslucháč, kto sleduje tieto zmeny amplitúdy v priebehu času, pričom každý okamih je vyvolaný vzhľadom na ďalší, pričom mozog dekonvuluje zakódovanú maticu. Zachovanie a obnovenie týchto vzácných vektorov neporušených pre vaše HRTF je kľúčom k maximalizácii zážitku.

Imaging Quantified

Očarujúca a zároveň tajomná kvalita prehrávania známa ako zobrazovanie alebo lokalizácia obrazu je v skutočnosti výsledkom presne zladených reproduktorov so sústredeným vzorom žiarenia, ktorý zachováva akustický tieň pre vzdialené ucho na vašej tvári. Je to rozdiel v zloženom signáli dosahujúcom každé ucho, ktorý posúva obraz smerom von zo stredovej polohy (L+R alebo mono).

Legacy Audio využíva jednoduchú, ale presnú metódu určenia zobrazovacieho potenciálu reproduktorového systému meraním jeho IMAGING INDEX. Ide o test korelačnej schopnosti systému. Môžete ho použiť v blízkosti poľa alebo na pozícii poslucháča. Za kritickou vzdialenosťou začína dominovať miestnosť. To tiež ilustruje potrebu korekcie miestnosti na základe časovej domény.

METÓDA

S oboma reproduktormi v rovnakej vzdialenosti od SPL metra alebo testovacieho mikrofónu prehrajte korelovaný signál ružového šumu (mono) na primeranej úrovni cez oba reproduktory.

Začnite s jedným z reproduktorov pripojených v obrátenej polarite a posuňte mikrofón o niekoľko centimetrov, aby ste našli najhlbšiu nulu (najnižšie čítanie SPL).

Zaznamenajte túto hodnotu dB a teraz otočte polaritu tak, aby boli oba reproduktory vo fáze. Zaznamenajte hladinu na SPL meter.

ZOBRAZOVACÍ INDEX = súčet **vo fáze** – súčet **mimo fázy**

= 75,0 dB – 65,9 dB

= 9,4

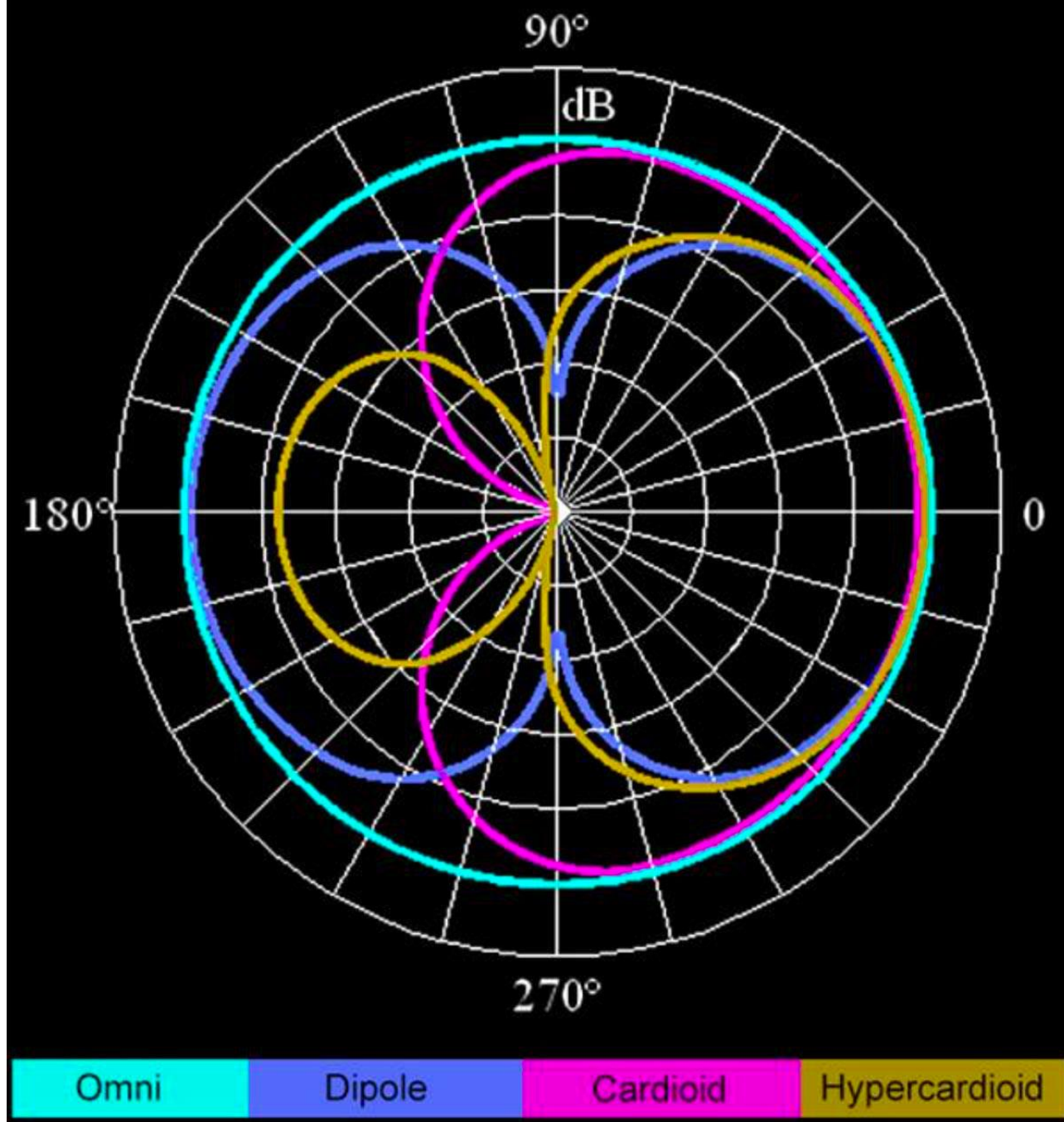
Túto metódu môžete zobraziť pomocou systému Legacy Whisper

Význam riadenia smerovosti

Či už je to miesto Trabadour, Red Rocks, Greek Theatre alebo Royal Albert Hall, skvelé nahrávky by vás tam mali dostať ! Minimalizácia skorých odrazov je kľúčom k zachovaniu priestorovej integrity v záznamoch. Použitie riadenia smerovosti v dizajne reproduktorov a kompenzácia vplyvov miestnosti v časovej oblasti umožňuje dosiahnuť výrazne realistickejšiu úroveň výkonu.

Rovnako ako mikrofóny môžu mať rôzne vzory snímania, aj reproduktory môžu mať podobné vyžarovacie charakteristiky. Reproduktory, ktoré vykazujú najväčší obrazový index, budú mať najrovnomernejšiu a kontrolovanú smerovosť. Poskytnú tiež najširší rozsah skutočných stereofónnych polôh počúvania. Kardiovídné a hyperkardiovídné vyžarovacie vzory, ako je znázornené, sú veľmi žiaduce a prospievajú poslucháčovi prostredníctvom znížených skorých odrazov na bočnej a zadnej stene.

Acoustic Radiation Patterns



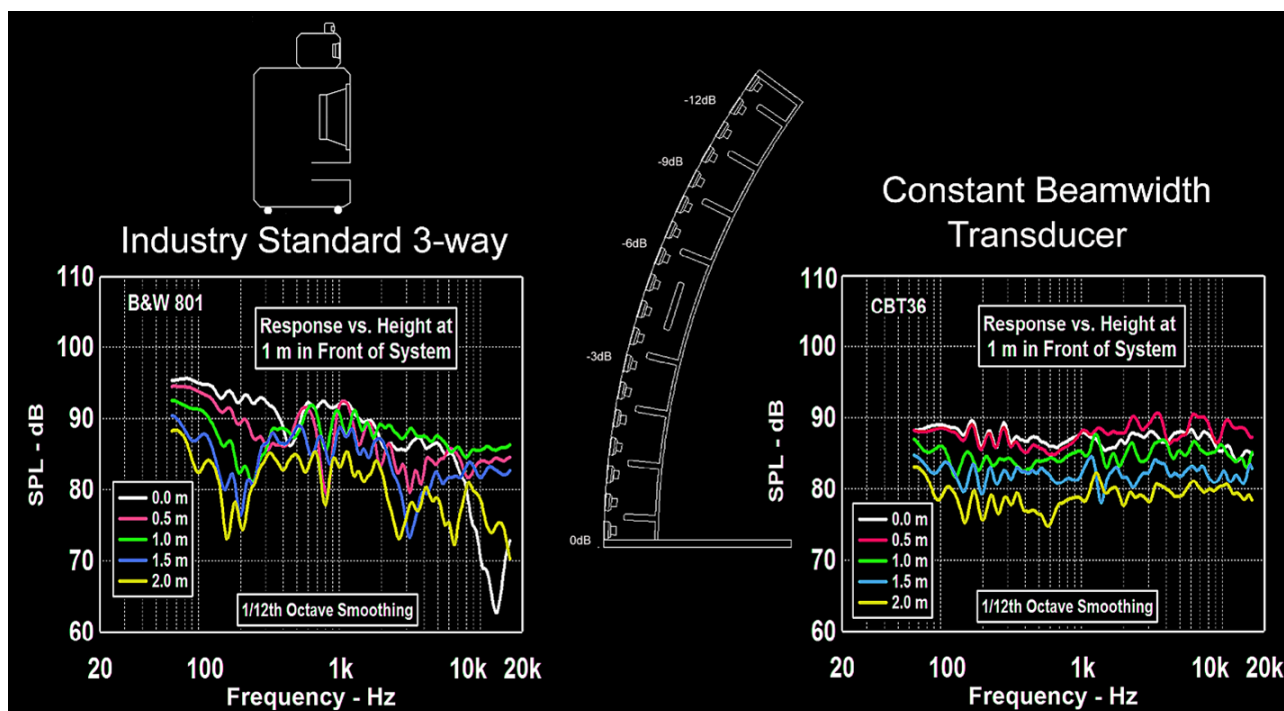
Kardioidné vyžarovacie vzory možno stanoviť sčítaním dipólu s všesmerovým prevodníkom. Oba budiče vyžarujú spredu a sú vo fáze (+), pričom dipól je otvorený do strán a zozadu a kombinuje svoje zadné vyžarovanie (-) so súčtom omni (+) na nulu. Tento prístup sme aplikovali na šesť našich návrhov domácich veží. Pri živom zvuku, aby sa zabránilo prelievaniu basov na pódium, ktoré by malo za následok spätnú väzbu, je možné umiestniť viacero subwooferov do zostavy s koncovými signálmi. Tu sú basové reproduktory rozmiestnené jeden za druhým a najzadnejší basový reproduktor sa spustí prvý a potom postupne ďalší. Oneskorenie sa čoraz viac uplatňuje pri pohybe dopredu v poli synchronizujúcom spustenie vlny s rýchlosťou zvuku. Jediný smer, ktorý vodiči sčítajú maximálne, je vpred. Podobne ako pri gun mikrofóne s bočnými vstupmi na rúrky. Opäť DSP v práci.

V roku 1995 Legacy Audio predstavilo prvý širokopásmový vysokosmerový reproduktor Whisper System. Použitie diferenciálneho dipolárneho poľa s párom symetrických 15" basových meničov umiestnených 4,9" za identickým predným poľom na samostatnej ozvučnici. Zadné pole sa spustilo o 0,36 ms pred vodičmi na prednej ozvučnici nasmerovanej na basy dopredu. Zadné vyžarovanie dozadu sa stretlo s jedným 12" uzavretým basovým reproduktorom na zadnej strane vo fáze s prednou časťou, čím sa výrazne znížila

interakcia zadnej steny. Tento reproduktor dosiahol najvyšší zaznamenaný index korelácie obrazu, vytvoril 65-stupňový horizontálny vzor žiarenia a zoslabil 40 dB @ 90 stupňov mimo osi.



Don Keele predstavil svoje pole snímačov s konštantnou šírkou lúča (CBT) na pôde HARMAN. Zakrivené pole je rozdelené do viacerých sekcií vykazujúcich progresívne tienenie prostredníctvom útlmu, uhla žiarenia a dĺžky dráhy. Otočte ho hore nohami a spoznáte podobnú škálu technológií, ktorá sa stala dominantnou v živom zvuku za posledné dve desaťročia. Tieto komplexné sústavy lietajúcich liniek riadené DSP sa nachádzajú v koncertných sálach, kongresových centrách a arénach.



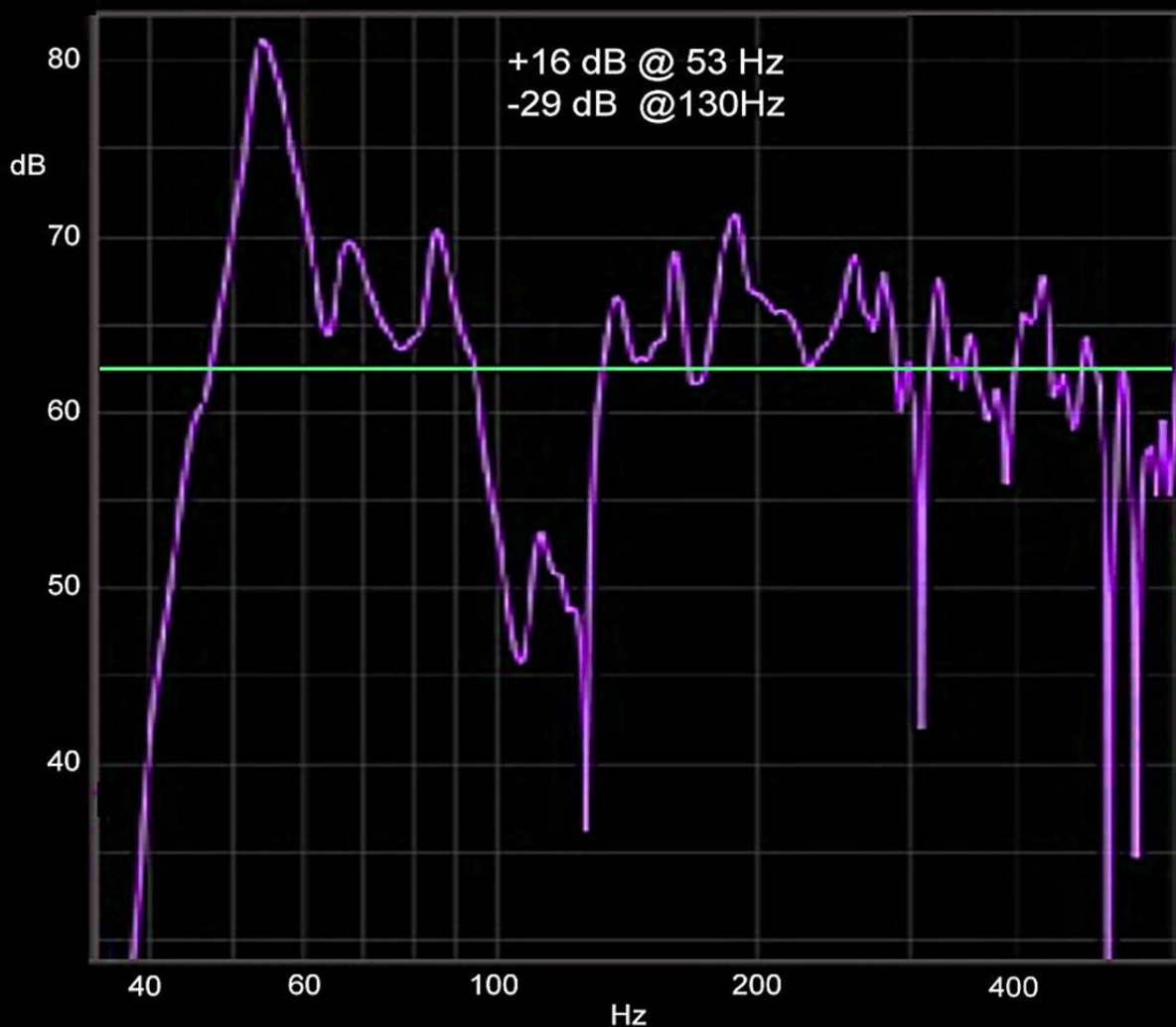
DB Keele, Jr., [“Constant-Beamwidth Loudspeaker array”](#), US Patent č. 7,826,622 (nov. 2010).

Prispôsobenie reproduktora miestnosti

Za posledných niekoľko desaťročí som priamo získal namerané údaje z viac ako tisíc posluchových miestností, čo priamo ovplyvnilo moje návrhy reproduktorov. Typický širokopásmový reproduktor získa až 12 dB konštruktívneho zosilnenia miestnosti pri veľmi nízkych frekvenciách, zatiaľ čo v basovom pásme pod 100 Hz bude vykazovať 6 až 9 dB, so silným poklesom medzi 100 a 130 Hz. Policový reproduktor na 28-palcovom stojane zaznamená silné potlačenie odrazov od podlahy okolo 275 Hz, čím sa znížia spodné stredy.

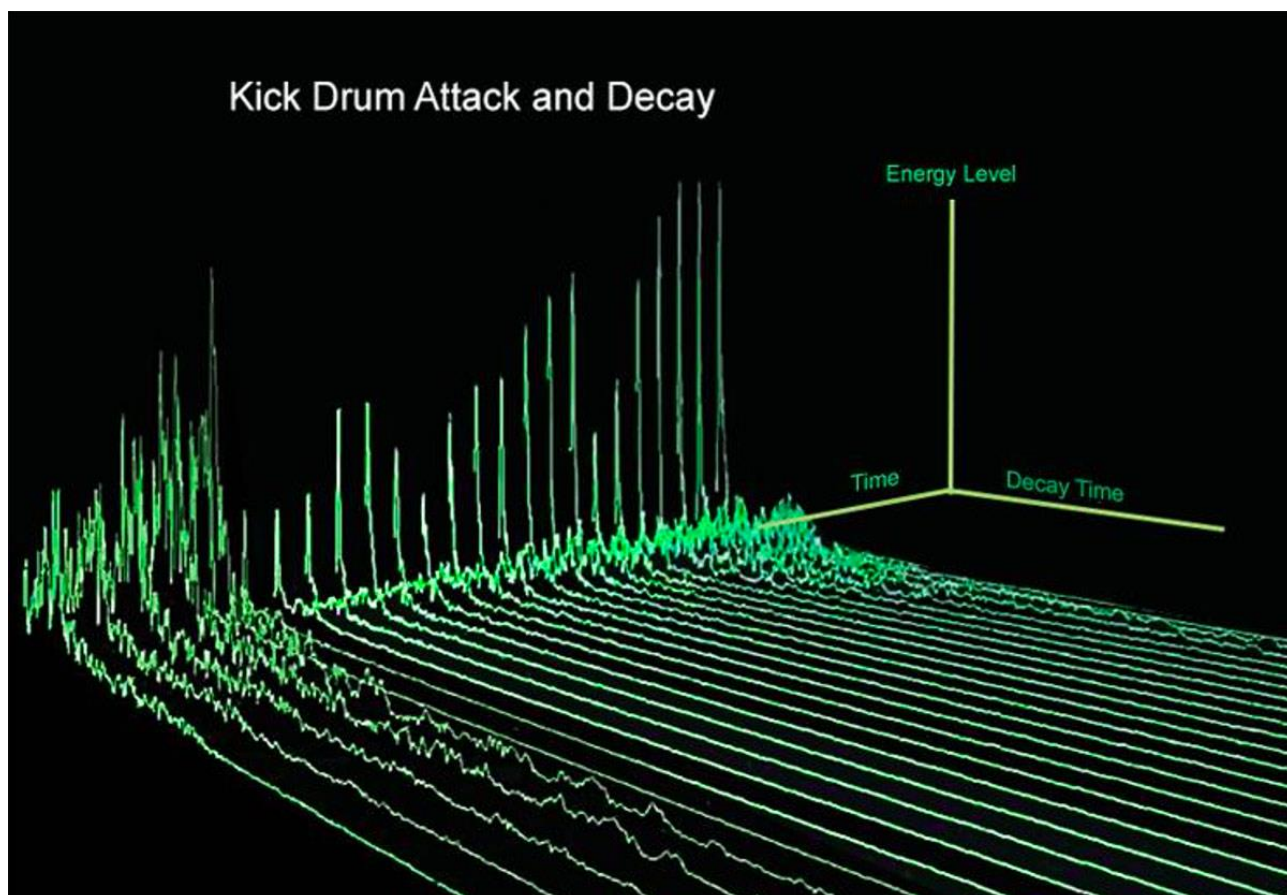
Nížšie uvedené meranie platí pre trojpásmový monitor v kompaktnom nahrávacom štúdiu, kde bol majiteľ ochotný vymeniť reproduktory alebo nasadiť úpravu miestnosti, aby vyriešil dunivé basy a žiadny vplyv na horné basy, najmä na jeho ľavý kanál. Všimnite si kolísanie 45 dB v priebehu menej ako dvoch oktáv. Časť problému spočívala v tom, že 10-palcový basový reproduktor tohto reproduktora bol takmer v rovnakej vzdialenosti od podlahy, bočnej steny a steny za reproduktorom. Ďalším problémom je, že stredový rozsah nedosiahol dostatočne nízku úroveň na to, aby vyplnil pokles jedného basového reproduktora pri frekvencii 130 Hz, čo by bolo skvelé miesto na umiestnenie výhybky na prechod do stredného pásma. Správna strmosť filtra a stratégia fázovania by zlepšili štandardnú situáciu na polárnych reproduktoroch. HP), ako aj umiestnenie basového reproduktora bližšie k podlahe Pozri prácu Roya Allisona z (The Influence of Boundaries, 1974, 48. ^{AES} Convention).

Frequency Response of a 3-Way Speaker at Listener Position



Uprednostňujem 4-pásmové dizajny, kde sú basové meniče blízko podlahy s plytkým dolnopriepustným obrysovým filtrom pre čisté zosilnenie a zároveň podporujú pár symetrických nad a pod dynamických stredov. To zmierňuje efekt zrušenia podlahy s výslednými sumačnými lalokmi maximalizovanými na úrovni uší, zatiaľ čo sú rovnobežné s podlahou. Výškové reproduktory sú umiestnené na úrovni uší alebo mierne nad nimi medzi stredmi. Na pasívnych dizajnoch zahrňam prepínač basového orezania, aby sa zabránilo nadmerným horným basom v blízkosti hraníc, a prepínač výškového orezania pre poslucháčov blízko stredového poľa.

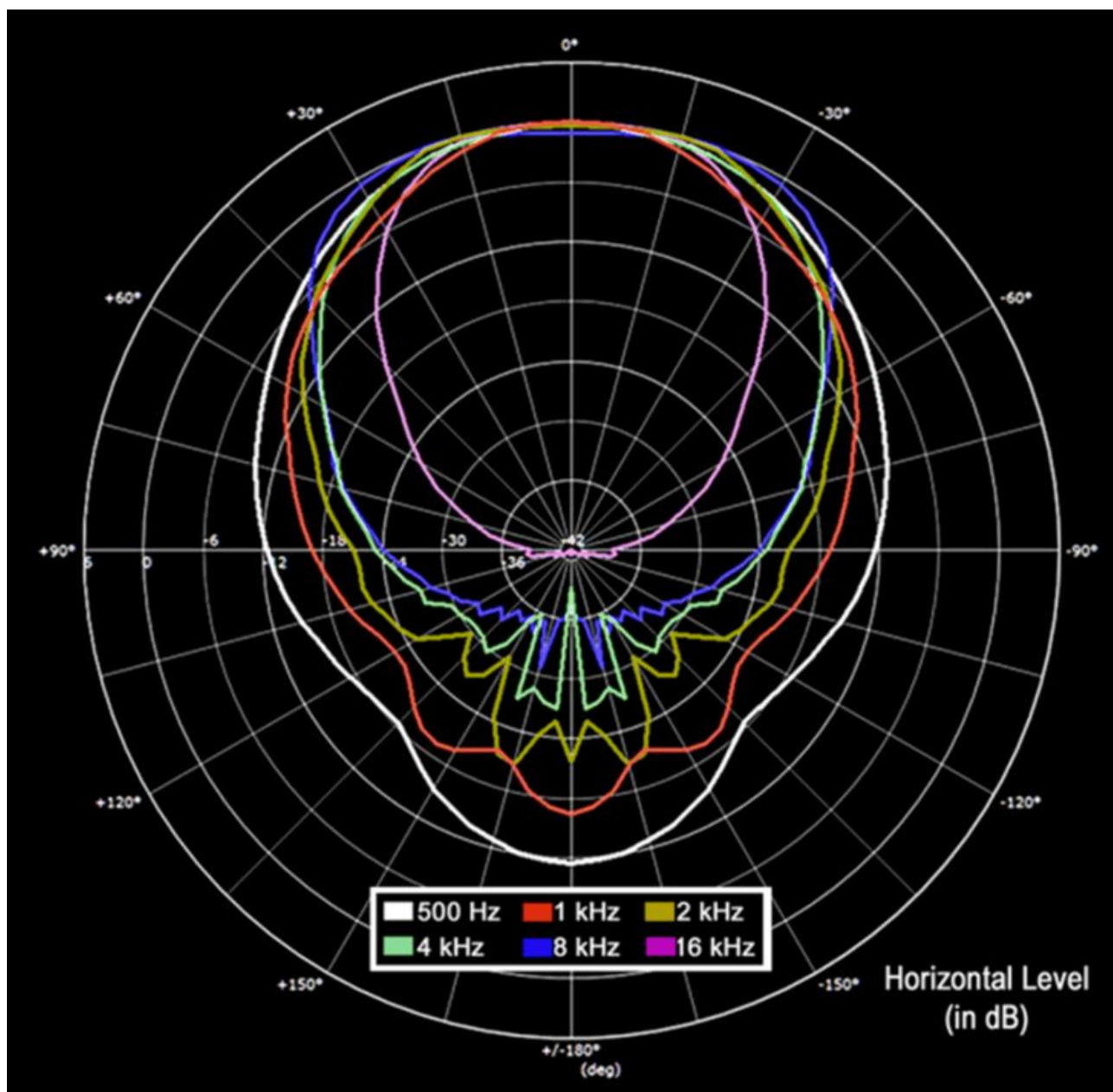
Už je čas



Vyššie uvedené zobrazuje v troch rozmeroch zaznamenané údery kopacieho bubna s jeho počiatočnými mechanickými vibráciami, harmonickými a rezonanciami, ktoré sa znižujú pred ďalším úderom. Vyberte si ľubovoľný okamih na hornej časovej osi a sledujte stopu dozvuku energie na časovej osi rozpadu. V kombinácii s druhým stereo kanálom tieto jemné kúsky informácií definujú priestorové charakteristiky prostredia.

Reproduktor s horizontálnym vyžarovacím vzorom približne 60 stupňov v rámci svojho frekvenčného rozsahu zabráni bočným stenám miestnosti maskovať tieto krehké priestorové podnety a pri miernom nasunutí dovnútra ľahko pokryje širokú oblasť počúvania prostredníctvom vhodného kompromisu intenzity.

Na obrázku nižšie je zložený smerový vzor dobre navrhnutého reproduktora v rozsahu piatich oktáv. Hoci nie je koaxiálny, vertikálny vzor predstavuje prekvapivo podobný výsledok. Veľmi málo reproduktorov môže poskytnúť podobnú smerovosť v oktávach nižšie, pretože je potrebné diferenciálne zarovnanie s tieňovaním ako pri Legacy Whisper XDS.



Zdieľať ďalej

Pôvodný článok :

A guest article by Bill Dudleston of Legacy Audio

I am hopeful that you'll find the following adventure enlightening and helpful on your path to improved sound.

Let's open our minds and think 'inside' the box, which in this case is the speaker enclosure itself.

The virtues of a great loudspeaker could be described as a full frequency spectrum where lows emerge from the abyss with enough dynamic range to champion a Hans Zimmer soundtrack. Add in timbral accuracy and the ineffable sense of reality (Steve Hoffman's "Breath of Life"). Profound articulation and clarity are displayed in the upper-mids and treble via the utmost in acceleration. Last, but not least, a great loudspeaker system should portray a sense of venue: a truly four-dimensional recreation of space over time.

After more than four decades of daily research, design, and refinement, I can conclude that there remains more room for improvement in loudspeaker design than anywhere else in the audio chain. While designs today are overall significantly better than designs of fifty or even ten years ago, there is *much* potential unrealized. First and foremost, loudspeakers are dreadfully inefficient with typically 98% of the energy

applied lost to inductors, resistors, voice coils, and mechanical losses. Passive crossovers typically consume 5% of the power applied for each order of crossover slope across the spectrum.

While an electric vehicle through traction can convert 80% of applied energy into propulsion, the impedance mismatch of a speaker diaphragm provides very little energy transfer to the low density of its air load. There is a similar impedance mismatch between air and the fluid within your inner ear. If it wasn't for a remarkable lever mechanism provided by the bones in your ear, most of the sound would be reflected back at the eardrum.

While many of today's amplifiers are more powerful, efficient, cost-effective, and physically more manageable, the same cannot be claimed for highly touted loudspeakers. With many flagship passive speakers approaching 500 lbs. each and prices exceeding the costs of a luxurious home, one can reasonably ponder *what exactly is fundamental to loudspeaker performance* and why the technological lag in high-end speakers. Legacy Audio, Kii Audio, B&O, Dutch and Dutch, and Genelec are among a limited number of speaker manufacturers embracing actively powered, DSP-steered directivity-controlled speaker designs.

Audiophiles recognize that high-end audio can be nostalgic while well knowing that real performance ultimately dictates progress forward. Some improvements such as higher resolution streaming and cloud storage are so profound that they become immediate successes. Just as analog tube TVs went to the curb with the onset of 1080p, vivid 8K video content promises 16 times the pixel count of 1080p. Performance steps forward.

Likewise, the inevitable future of stereo loudspeakers is direct streaming, DSP-controlled, environmentally adaptable, and actively powered. Home theater processing will continue to evolve with the newest mix methods and continue to benefit from digital processing just as live sound and even high-performance car audio. Fortunately, room correction continues to gain momentum and is a standard feature on most receivers and processors, and has found its way into automobiles.

Now for some fun!

The Fundamentals of Loudspeakers

There are many types of transducers ranging from electrostatics, air motion (Heil), planar magnetics, moving-coil, piezo crystal, plasma-ionic, thermo-acoustic, distributed mode, Radialstrahler, Walsh traveling wave, Geddes acoustic lever, along with just as many methods of loading them such as horns, dipole, gradient, acoustic suspension, transmission line, bandpass, etc. This brief discussion will focus on technological implementations that favor directional control, broad dynamic range, high sensitivity, and low distortion.

In a nutshell, the aligned goals for a great loudspeaker are wide bandwidth with solid bass foundation, uncompressed dynamics, proper timbre and clarity, spatial realism, and waveform tracking ability with time coherence and room adaptability. But how do we get there? And how do we accomplish this over a wide range of listening spaces? While a tall order, we can get there.

Driver Responsiveness

Just as high-performance vehicles must articulate the road ahead through acceleration and cornering, loudspeakers must closely track the complexity of music waveforms. But how much priority is really given to acceleration in speaker component selection? Well, in many cases not as much as you might expect. Since articulation is key in the midrange band let's examine the **acceleration** capabilities of several midrange drivers found in high-end speakers.

Below is the calculated air volume acceleration (AVA) of these eight premium transducers.

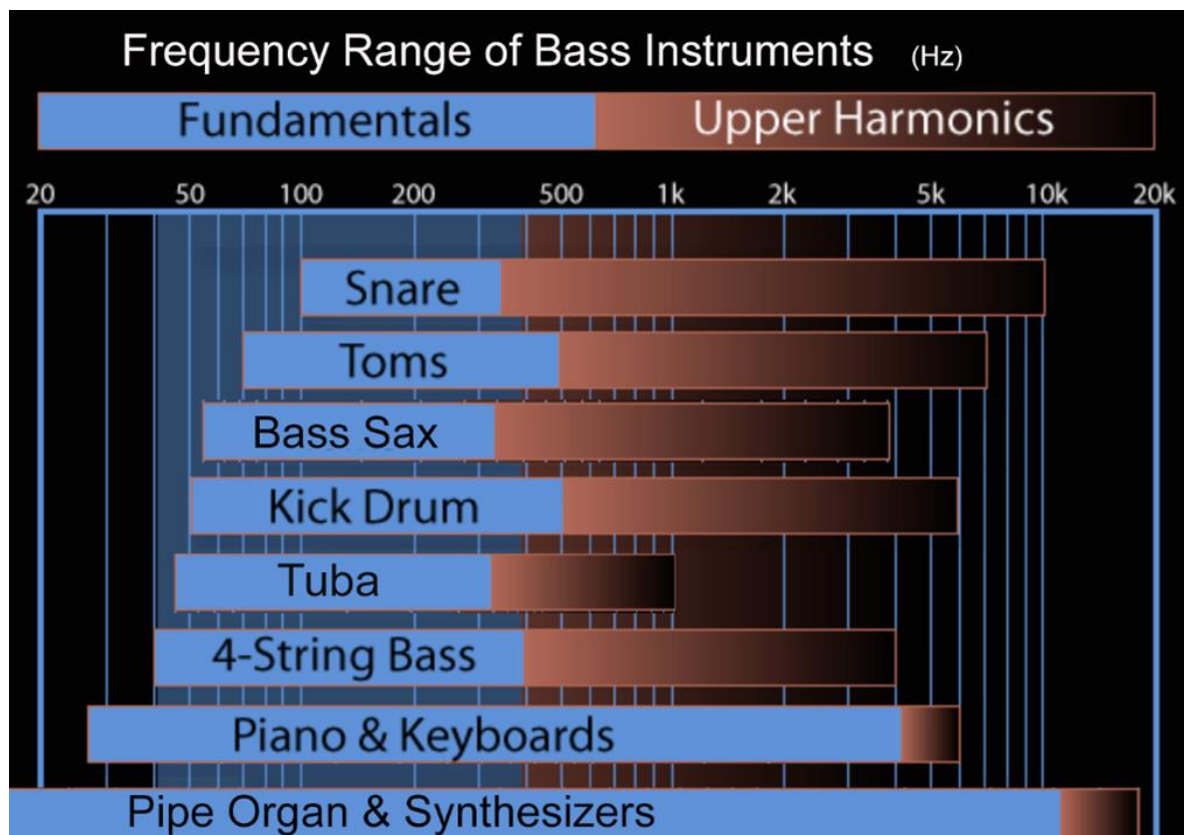
AVA = motor assembly force product (BL) divided by moving mass (MMS) multiplied by effective cone area (SD)

Supplier	Part	BL	MMS	SD	AVA
Legacy Valencia 10	10MCF400ND	28.8	0.0400	0.0380	27.4
Legacy Firenze 8	8PE21	16.6	0.0180	0.0220	20.3
Legacy Firenze 6	6PEV13	8.2	0.0060	0.0132	18.0
SB Acoustics Satori	MR16-P8	6.5	0.0106	0.0119	7.3
SB Acoustics Satori/Textreme	MW16-TX	6.3	0.0123	0.0119	6.1
Purifi	PTT6.5M04NFA01	8.1	0.0178	0.0133	6.1
Scan-speak Revelator	18W/4531G00	5.7	0.0175	0.0157	5.1
Accuton/Ceramic	C168-6-890	7.5	0.0210	0.0123	4.4

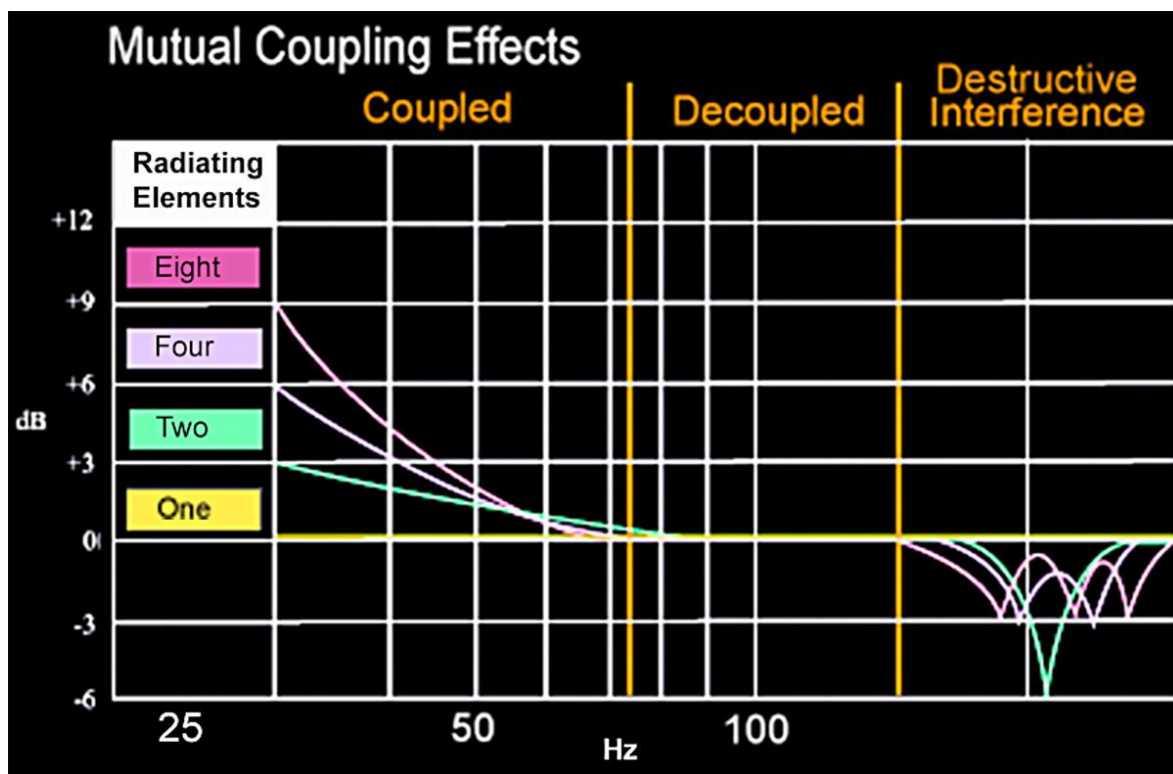
The top three drivers listed are used in Legacy speaker designs. You might recognize the other five esteemed drivers as they are found in numerous high-end designs. Obviously, Legacy designs greatly emphasize the importance of acceleration with typically four times the acceleration volume of competitors. AVA is directly linked to efficiency, dynamics, and transient waveform tracing. This theme carries through the treble region with the high air volume displacement of the dual AMT arrangement and pleated diaphragms.

Going Low With Control

We all desire bass extension but initiating movement of a heavy woofer diaphragm is a bit like rocking a boulder out of a rut. It stores mechanical energy before lurching forward and yet must change direction 200 times per second at 100Hz. Additionally, the actual air particle velocity lags the surface pressure of the piston by 90 degrees and more. Each falling octave (halving of frequency) increases woofer excursion requirements by a factor of four, meaning that 20Hz requires 64 times the stroke length of 160Hz to maintain SPL. These strenuous demands are why three-way and four-way speakers can have significantly lower harmonic and intermodulation distortion. Note the upper range of harmonics which contribute to the timbre of bass instruments extends well above the fundamental tones.

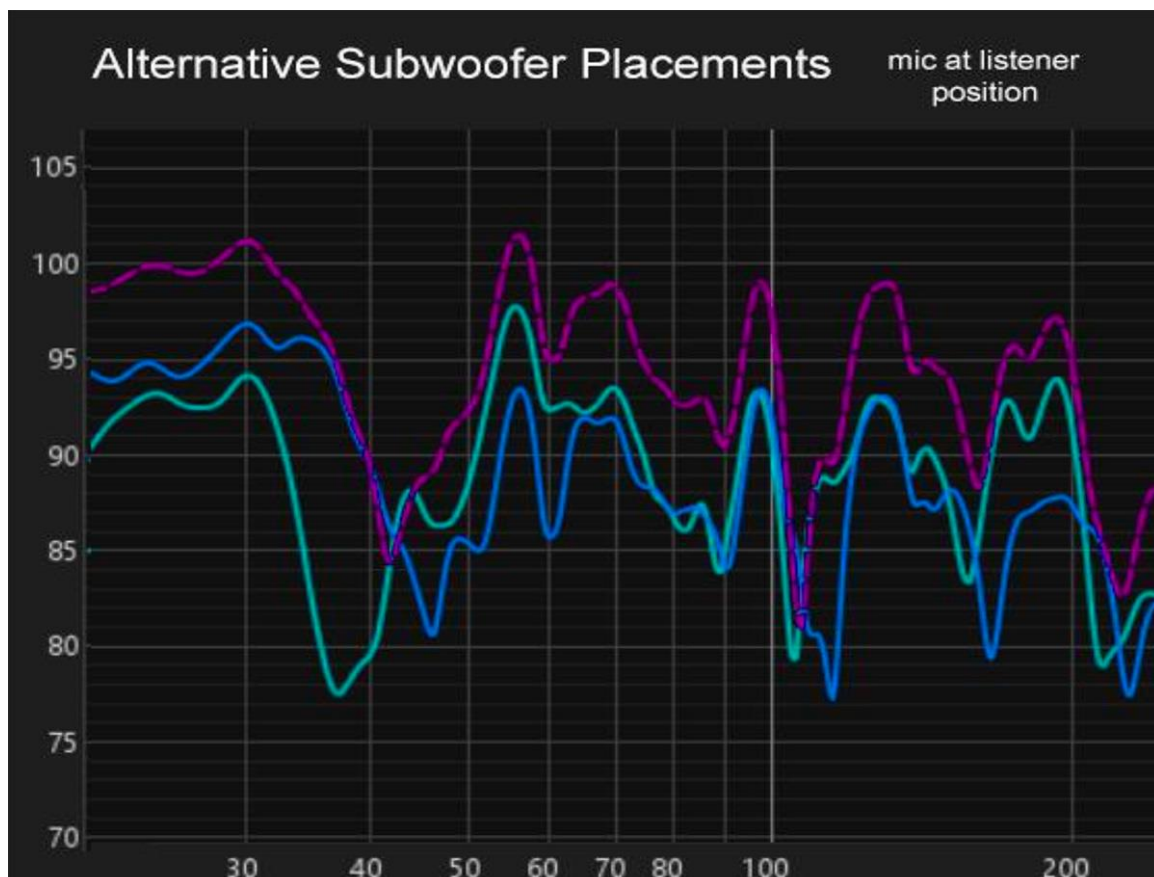


The best way to achieve deep bass is to have plenty of power available, a pair of mutually coupled woofers with their output mirrored off the ground plane with a low system resonant frequency. Mutual coupling adds 3dB of output for each doubling of driver elements. Fortunately for us all, kilowatts of clean, efficient power are now available, and DSP can adapt the woofers to both the enclosure and the room.



It is important to note that room modes can dominate at low frequencies emphasizing the advantages of using a time-domain based DSP room correction algorithm. Power equalization based on listener position is futile. Boosting a boundary-induced dip merely creates a peak at other listening positions while robbing power. This illustration below demonstrates that even moving a subwoofer around the room does not resolve the energy suck-out around 40 Hz due to a resonant node occurring at the *listener position*.

In this situation, a pair of subs placed on opposing side walls adjacent to the listener can be deployed with one side leading in phase by 45 degrees and the other side lagging in phase by 45 degrees which puts the subs in a quadrature relationship. Two sine waves 90 degrees apart sum in the original phase at the listener position yet resist the modal behavior due to their phase differences.



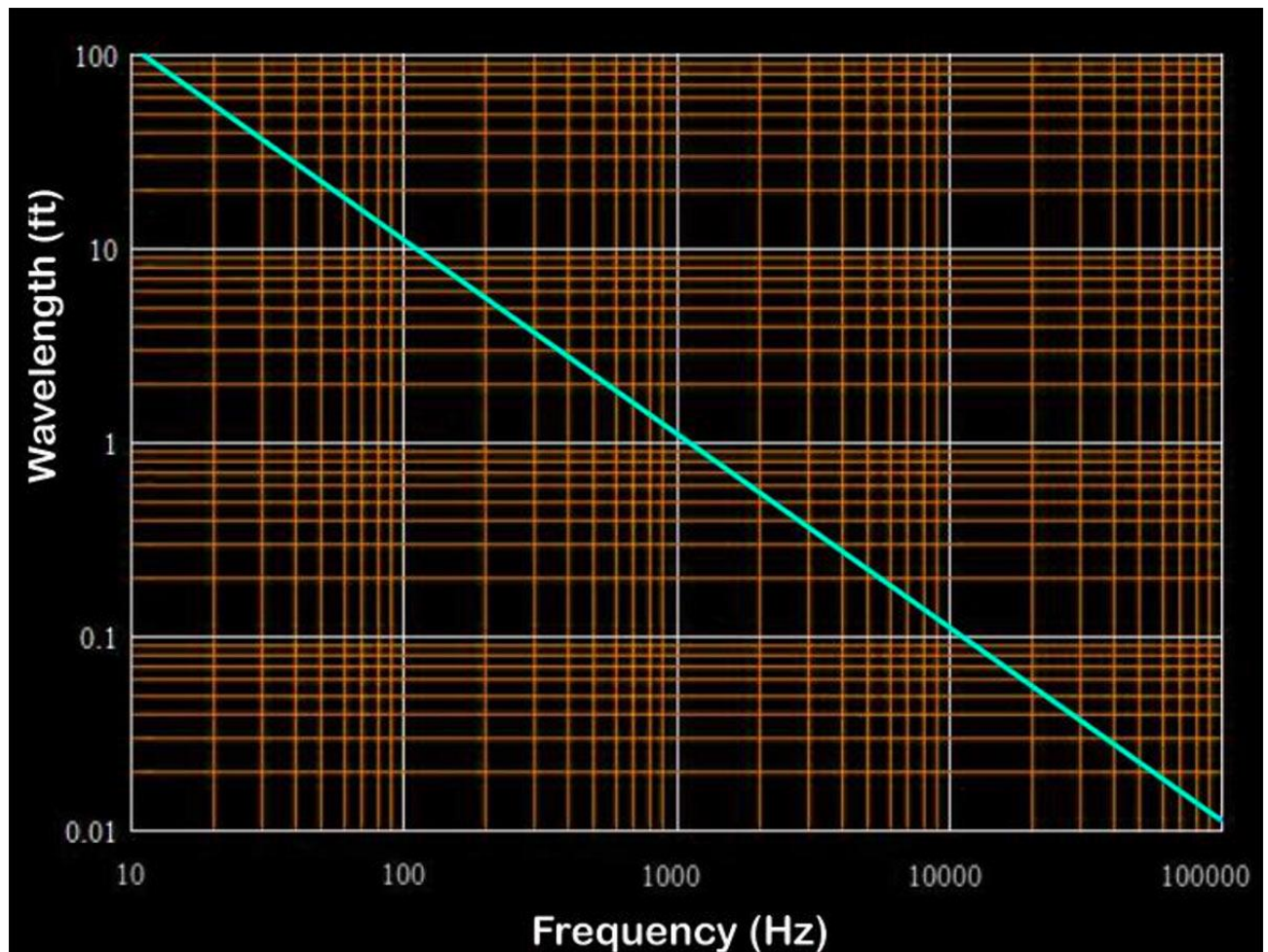
Frequency Range

The key to acoustic modeling is to think in terms of **wavelength**; the velocity of sound (1130ft/s) divided by the frequency of consideration.

Adequate piston area is essential at all frequencies to provide proper air volume displacement.

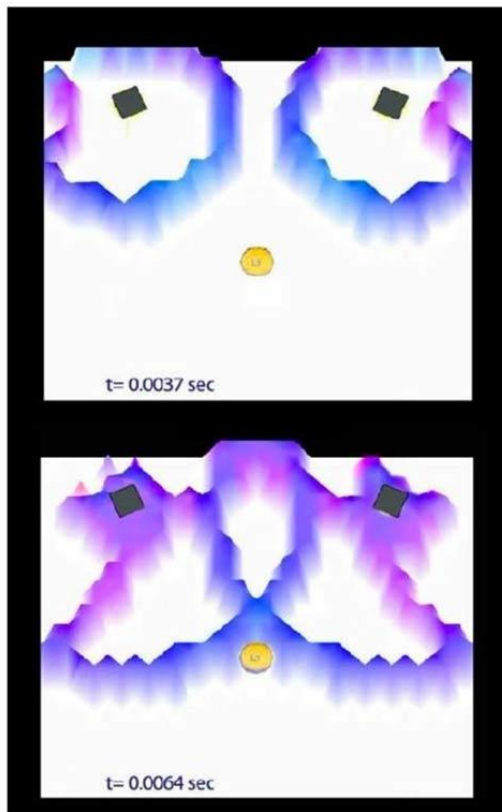
Progressively increasing piston area with falling frequency is also key in directivity control maintaining linear dynamic range and low distortion levels.

Above 10kHz the wavelength is of the order of 1" while at 1kHz it has increased to about a foot, at 100Hz ten feet, and at 10 Hz about 100 feet. To maintain linearity the effective radiating piston diameter would increase in proportion with the growing wavelength, and the radiating area would increase with the square of this diameter. Scaling radiating piston diameter to frequency to maintain uniform directivity would obviously require an impractical size for an indoor speaker system.



Since distortion is proportional to cone displacement, dynamic range becomes restricted as frequency falls. Our Valor speaker for example deploys *three* 14" lower midrange. Overkill? Think again. This symmetric array provides the combined radiating area of a 24" piston width at bandwidth centered at 500Hz, where the wavelength just happens to be two feet. Linearity is maintained very nicely. But when we drop to 50Hz we would require a piston over 20 feet in diameter to claim the same. Fortunately, room gain through boundary reinforcement and cabin pressurization ultimately comes to our aid.

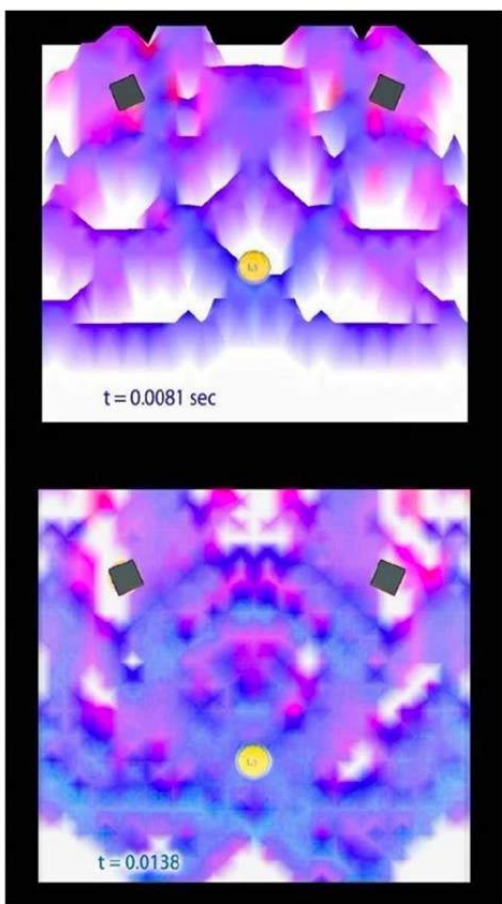
It is essential to take advantage of the ground plane (1/2 space) with woofer placement as it nearly eliminates floor bounce cancellations and increases the SPL by 6dB (the sound power level is increased by 3dB). Mutual coupling of a pair of drivers within a half-wavelength adds another 3dB due to increased radiation impedance.



Why is Room Correction Necessary?

To the left is a 2 dimensional simulation of a 1ms wave pulse from a pair of conventional speakers into a room similar to the above. Because the dispersion exceeds 60 degrees, undesirable energy from each speaker is reflected back into the room within a few thousandths of a second. This reflected energy is out of sync with the original signal.

A few milliseconds later, the first wave-front is about to reach the listener, while the reflected energy is close behind. These early reflections alter the original tonal balance. As they occur within the fusion time window, the brain cannot separate the sounds.



After less than 1/100th of a second, the room has developed a complex wave pattern with energy varying with room position. The listener is now awash in a series of wave-fronts which will soon reflect off the wall behind.

A mere 5 milliseconds later, the initial direct wave-front has now reflected off the rear wall and has made its way back to the listener.

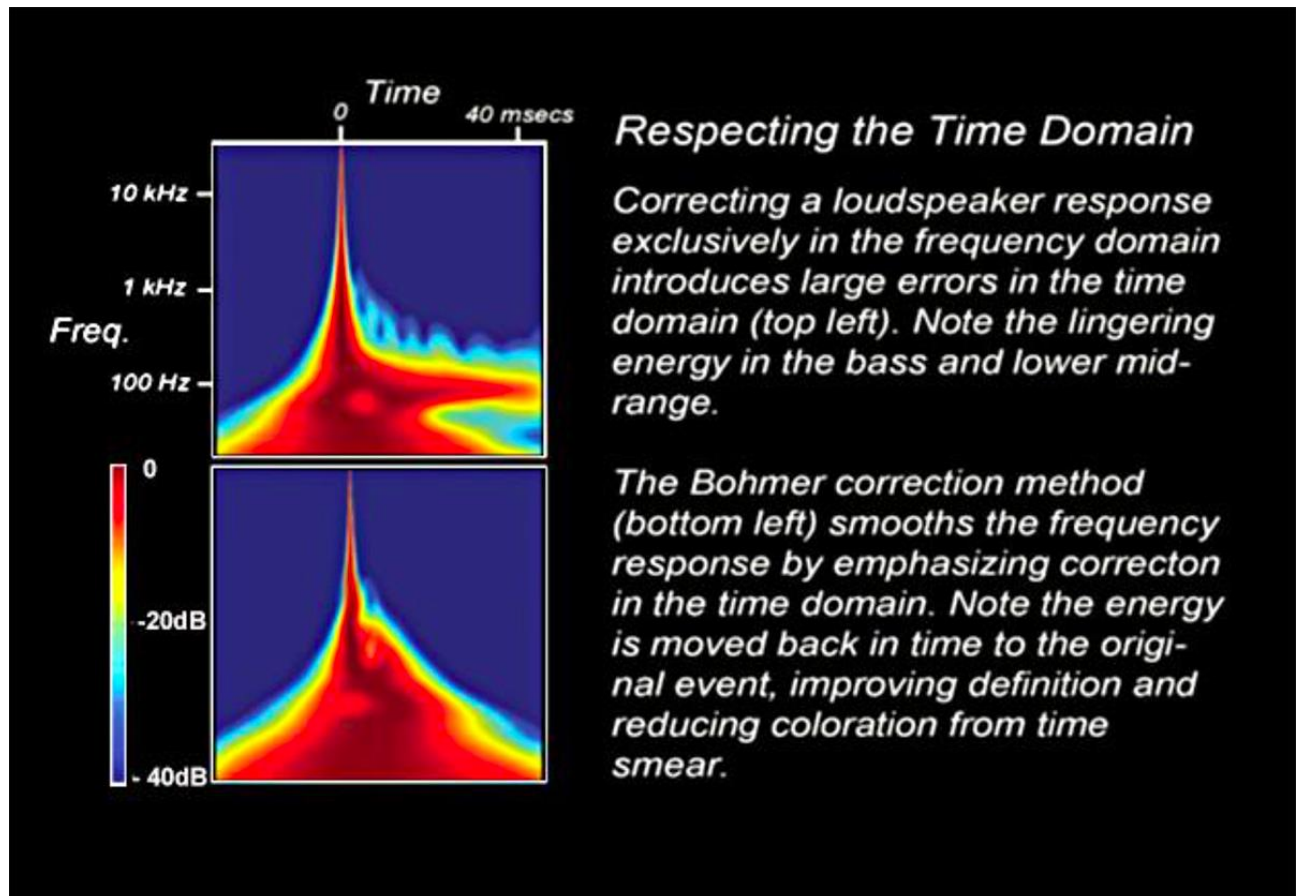
The listener will perceive this reflection as additional bass energy, though a standing wave has not had time to develop.

It is a common misconception that such low frequency excess energy is merely the result of inevitable resonances within the room, when a large portion can be attributed to initial reflections.

Faithful reproduction of a recorded performance benefits from a clear direct path from the loudspeaker to the listeners over the first 15ms. Diffuse energy arrival 25ms and later can reinforce spatial cues regarding the size and natural ambient energy of the venue.

Spatial properties derived by the listener's internal processor (grey matter) include image size and placement, soundstage width and depth, or specific hall characteristics that are the result of the interplay

of the stereo channels. The angle of arrival to each ear and the interference effects of the facial features and head contour (HRTF) determine the timing and amplitude differences. Also of enormous influence is the reflected energy of the room.



The Stereo Playback Process and the Loudspeakers

The only parameters recorded in audio are *amplitude over time* in each channel. Whether you refer to it as sound pressure level, intensity, volume, or merely a position on a VU meter – it is simply and precisely a single signal amplitude relative to a very specific point in time.



How the signal varies with time is where frequency, harmonics, attack, dynamics, melody, reverberation, and tone all arise. Think deeply about this, as a stereo recording of a complex 100-piece Marimba orchestra across a 120 ft stage is represented at any given instant merely as a pair of voltages for left and right. This illustrates that it is you, the listener, that tracks these amplitude changes over time, each instant recalled relative to the next with the brain deconvolving the matrix encoded. Preserving and recovering these precious vectors intact for your HRTF is key to maximizing the experience.

Imaging Quantified

The enchanting yet mysterious playback quality known as imaging or image localization is actually a result of precisely matched speakers with a focused radiation pattern that maintains an acoustic shadow to the

far ear across your face. It is the difference in the composite signal reaching each ear that moves the image outwards from the center position (L+R or mono).

Legacy Audio employs a simple yet precise method of determining the imaging potential of a loudspeaker system by measuring its IMAGING INDEX. It is a test of the system's correlation capability. You can apply it nearfield or at listener position. Beyond the critical distance, the room begins to dominate. This also illustrates the need for time domain- based room correction.

METHOD

With both loudspeakers equidistant from an SPL meter or test microphone, play a correlated pink noise signal (mono) at a reasonable level through both loudspeakers.

Begin with one of the speakers connected in reverse polarity and move the microphone a few centimeters to find the deepest null (lowest SPL reading).

Record this dB value, and now reverse the polarity so both speakers are in phase. Record the level on the SPL meter.

IMAGING INDEX = **in-phase** summation – **out-of-phase** summation

= 75.0dB – 65.9dB

= 9.4

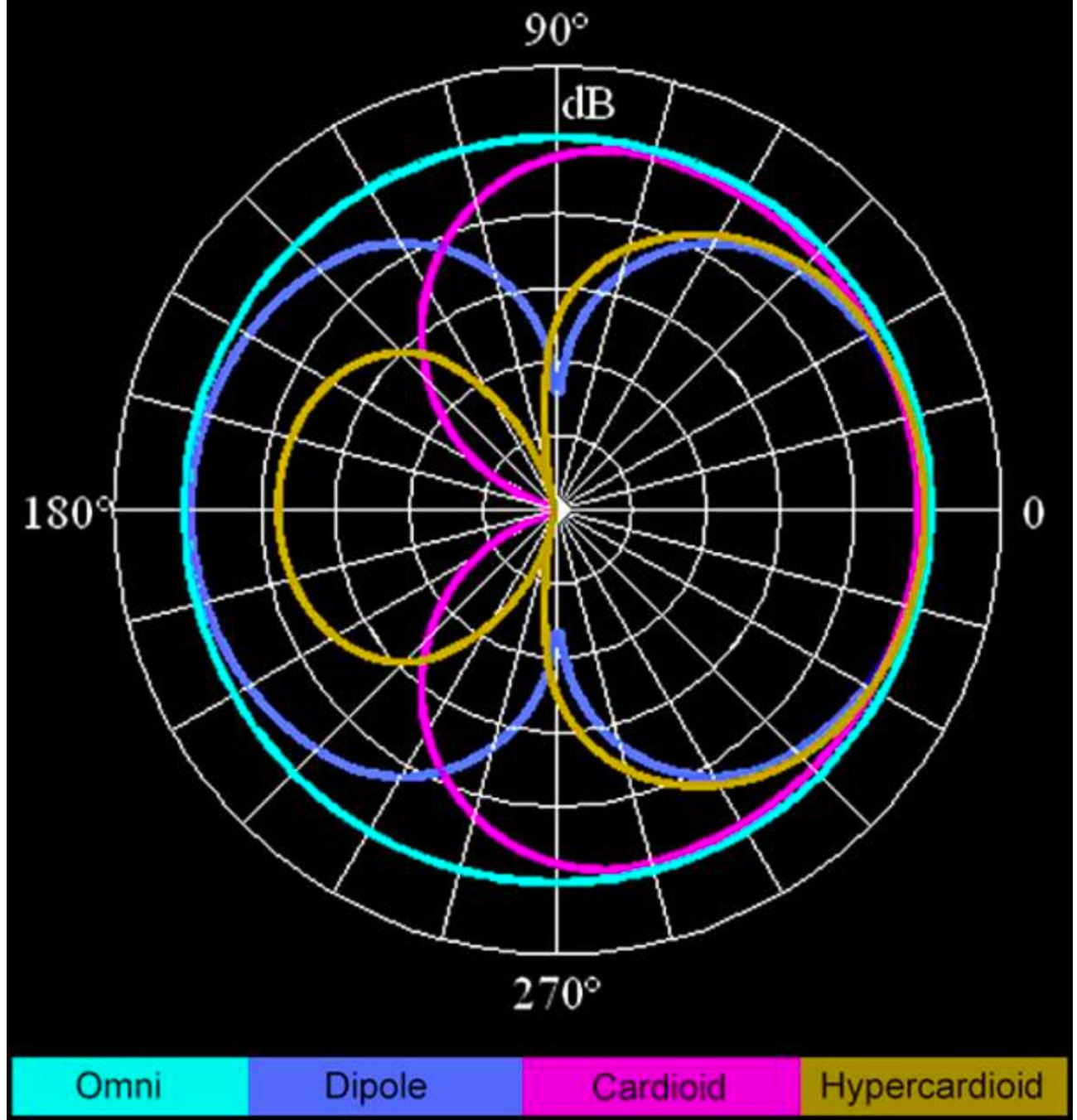
You can view this method with the Legacy Whisper system

The Importance of Directivity Control

Whether that venue is the Troubadour, Red Rocks, Greek Theater, or Royal Albert Hall, great recordings should put you there! Minimizing early reflections is key to retaining spatial integrity in recordings. Applying directivity control in loudspeaker design and compensating room influences in the time domain allows a significantly more realistic level of performance to be attained.

Just as microphones can have various pickup patterns, loudspeakers can have similar radiation characteristics. The loudspeakers that exhibit the greatest imaging index will have the most uniform and controlled directivity. They will also provide the widest range of true stereo-listening positions. The cardioid and hypercardioid radiation patterns as shown are highly desirable and benefit the listener via reduced early side and rear wall reflections.

Acoustic Radiation Patterns



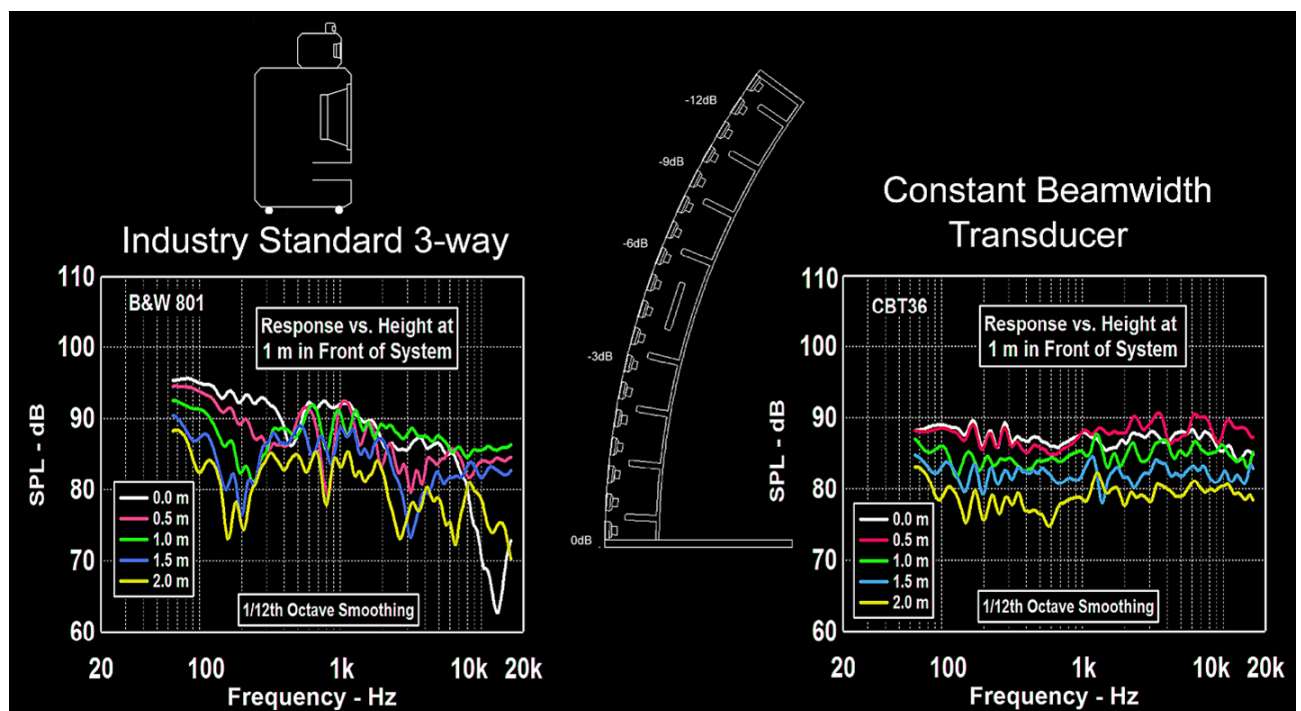
Cardioid radiation patterns can be established by summing a dipole with an omnidirectional transducer. Both drivers are front firing and in phase (+), while the dipole is open to the sides and rear and combines its rear radiation (-) with the omni (+) summing to a null. We have applied this approach to six of our home tower designs. In live sound to prevent bass spill-over onto the stage resulting in feedback howl, multiple subwoofers can be placed in an end-firing arrangement. Here the woofers are spaced one behind the other and the rearmost woofer fires first then the next sequentially. A delay is increasingly applied moving forward in the array synchronizing the wave-launch with the velocity of sound. The only direction the drivers sum maximally is forward. Similar to the shotgun mic with its tube side inlets. Once again DSP at work.

In 1995 Legacy Audio introduced the first full range high directivity loudspeaker, the Whisper System. Employing a differential dipolar array with a pair of symmetrical 15" bass drivers placed 4.9" behind the identical front array on a separate baffle. The rear array launched 0.36ms ahead of the drivers on the front baffle steering bass forward. The rear radiation backward was met with a single 12" sealed woofer on the back in phase with the front, reducing the rear wall interaction significantly. This loudspeaker has achieved

the highest imaging correlation index recorded, creating a 65-degree horizontal radiation pattern and attenuating 40dB @ 90 degrees off-axis.



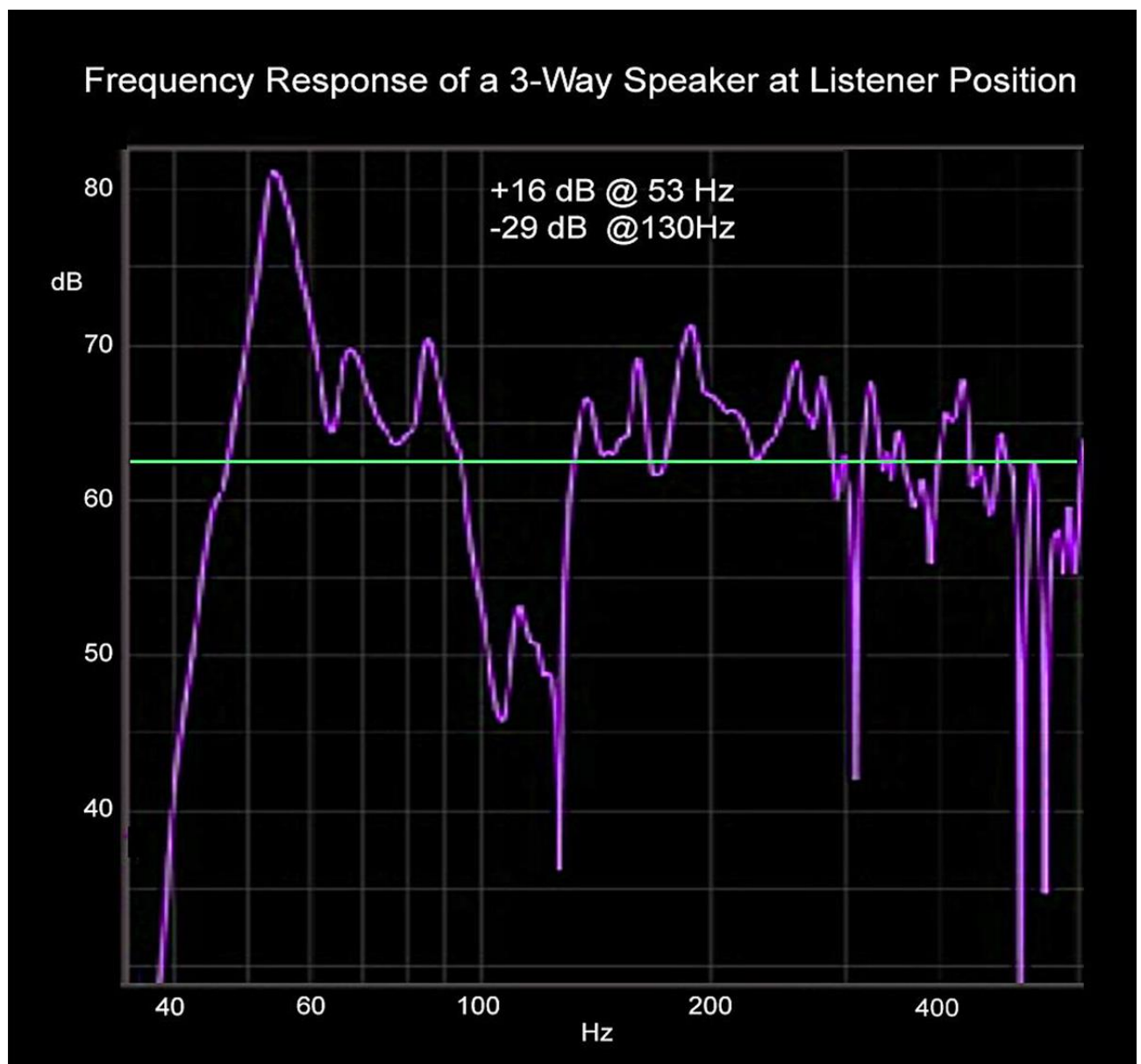
Don Keele presented his ground plane constant beamwidth transducer array (CBT) while at HARMAN. The curved array is divided into multiple sections exhibiting progressive shading via attenuation, radiation angle, and path length. Flip it upside down and you'll recognize the similar array of technology that has become dominant in live sound over the past two decades. These complex DSP-steered flying line arrays are found in concert halls, convention centers, and arenas.



Adapting the Speaker to the Room

I have directly acquired measurement data from more than one thousand listening rooms over the past few decades which has directly influenced my speaker designs. A typical full-range loudspeaker will receive up to 12 dB of constructive room gain at very low frequencies, while exhibiting a 6 to 9dB room bump in the bass range below 100 Hz, with a strong dip between 100 and 130 Hz. A bookshelf speaker on a 28” stand will see a strong floor bounce cancellation around 275Hz thinning out the lower mids.

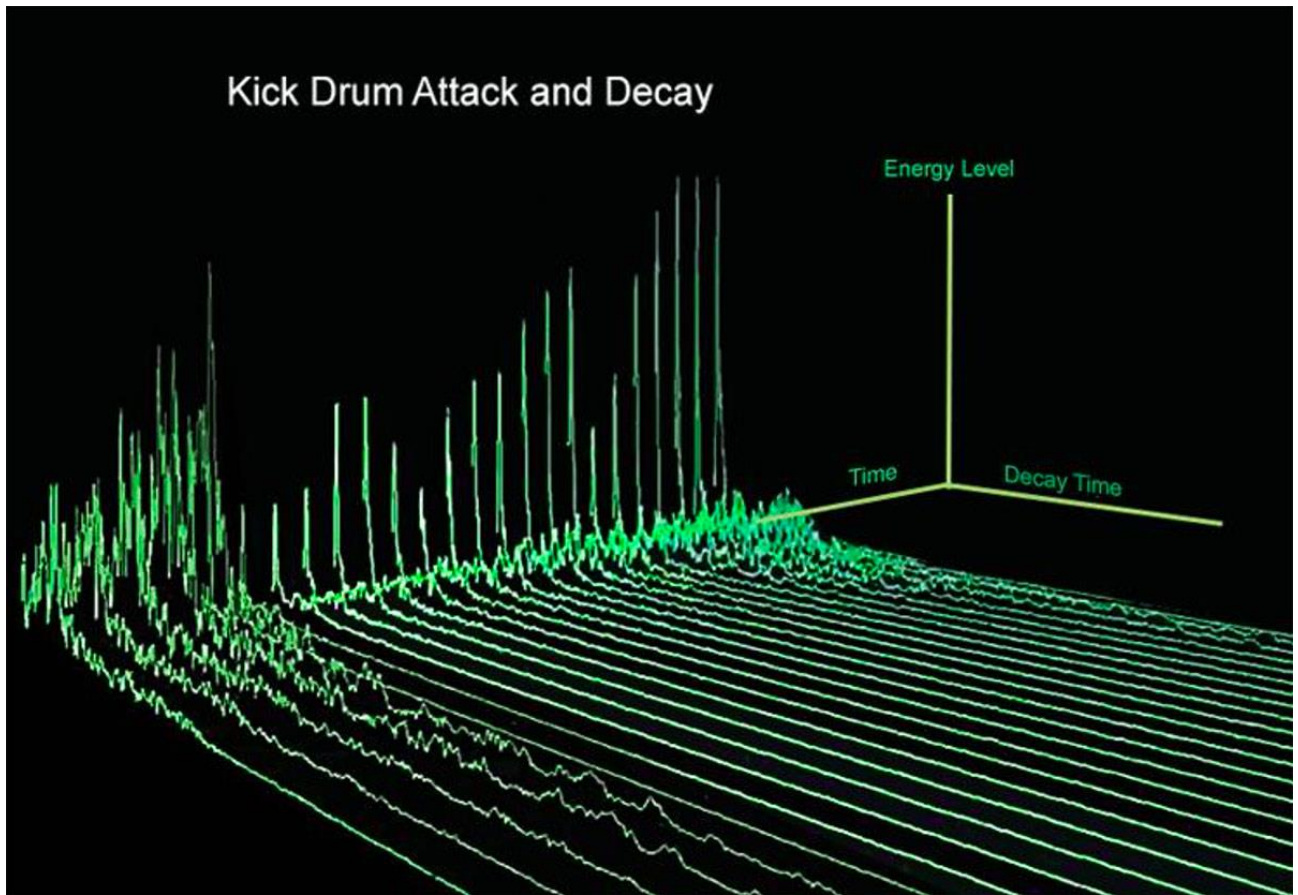
The measurement below applies to a three-way monitor in a compact recording studio where the owner was willing to change speakers or deploy room treatments to resolve booming bass and no impact in the upper bass, particularly in his left channel. Note the 45dB fluctuation over less than two octaves. Part of the problem was that this speaker’s 10” woofer was nearly the same distance from the floor, side wall, and wall behind the speaker. An additional problem is the midrange did not reach low enough to fill the single woofer dip at 130Hz, which would have been a great place to locate the crossover to transition the midrange. A proper filter slope and phasing strategy would improve the situation (second-order LP/HP with standard polarity reversal on the HP) as well as locating the woofer closer to the floor. See work by Roy Allison from (The Influence of Boundaries, 1974, 48th AES Convention).



I favor 4-way designs where the bass drivers are close to the floor with a shallow low pass contour filter for pure reinforcement while underpinning a pair of symmetrical over and under dynamic mids. This alleviates the floor cancellation effect with the resulting summation lobes maximized at ear level while parallel to the floor. Tweeters are positioned at or slightly above ear level between the mids. On passive designs, I include

a bass trim switch to prevent excessive upper bass from near boundaries and a treble trim switch for the near-to-midfield listener.

It's About Time



The above exhibits in three dimensions the recorded strikes of a kick drum with its initial mechanical vibrations, harmonics, and resonances diminishing before the next strike. Pick any instant on the upper Timeline and follow the trail of reverberant energy on the Decay Timeline. When combined with a second stereo channel these subtle bits of information define the spatial characteristics of the environment.

A loudspeaker exhibiting a horizontal radiation pattern of approximately 60 degrees over its frequency range will prevent room sidewalls from masking these fragile spatial cues, and when toed inward slightly will easily cover a wide listening area via proper intensity trade-off.

The below image is the composite directivity pattern of a well-designed loudspeaker over a five-octave range. Though not a coaxial, the vertical pattern presents a surprisingly similar result. Very few loudspeakers can provide a similar directivity in the octaves below as a differential alignment with shading is required as with the Legacy Whisper XDS.

