

MULTIMEDIÁLNÍ A HYPERMEDIÁLNÍ SYSTEMY

3)

Zvuk a jeho nahrávání

Petr Lobaz, 26.2.2013

ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI

ZVUK

- příčné kmitání molekul vzduchu
- rychlost $340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ($1000 \text{ ft}\cdot\text{s}^{-1}$, $1 \text{ ft}\cdot\text{ms}^{-1}$)
vlnová délka pro 1000 Hz asi 1 ft
- minimální slyšitelná změna tlaku
 $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$
(cca $10^{-12} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$)
- reakce logaritmická, frekvenčně závislá
(křivky konstantní hlasitosti)

SLUCH

- vnější ucho – boltec, zvukovod
- bubínek – oddělení tlaků vnějšího a středního ucha
- střední ucho – sluchové kůstky, zesilovač kmitání
- vnitřní ucho – obsahuje hlemýžď (cochlea)
s membránami – vlastní detekce zvuku
 - na kmitání membrány reagují nervová zakončení
 - místo rezonance membrány závislé na frekvenci zvuku⇒ frekvenční analýza zvuku
- popisem slyšení se zabývá psychoakustika

HLASITOST

- Sound Pressure Level (Sound Power Level)
- $\text{dB SPL} = 20 \log_{10}(p/p_0) = 10 \log_{10}(P/P_0)$

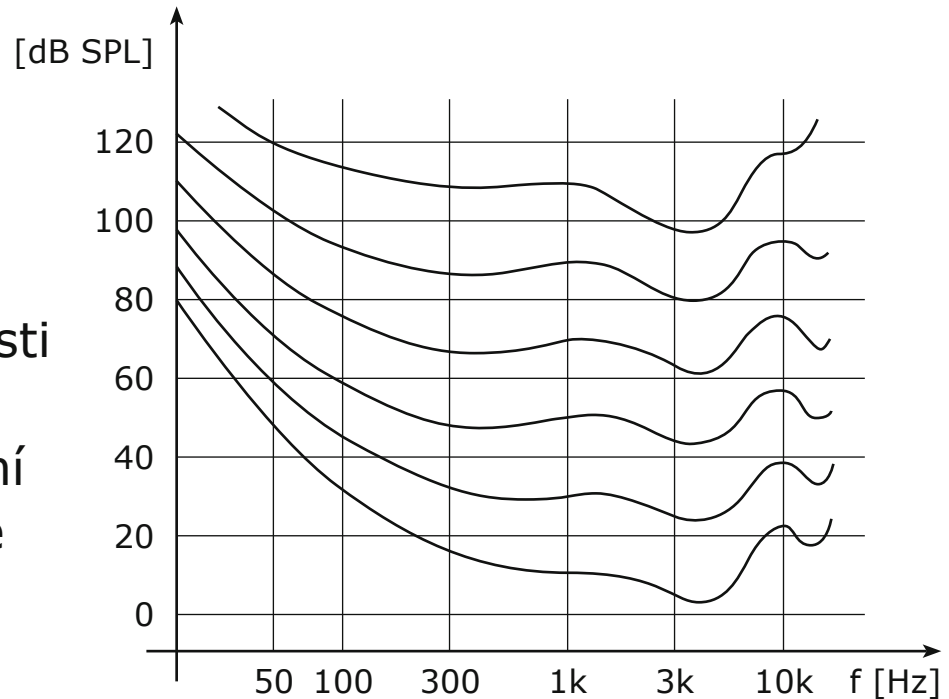
	dB SPL	Δp
práh slyšitelnosti (3 kHz)	0	$2,0 \cdot 10^{-5}$
tíkot hodin	30	$6,3 \cdot 10^{-4}$
běžná řeč	50	$6,3 \cdot 10^{-3}$
hluk na ulici	80	$2,0 \cdot 10^{-1}$
hlasitý zpěv	100	2,0
práh bolesti	130	63,0
start tryskáče	190	20000,0

HLASITOST

- rozlišení 1 dB, rozsah 120 dB, užitečný rozsah 96 dB
- hlasitost klesá se vzdáleností,
dvojnásobná vzdálenost = 25% výkon = pokles o 6 dB
($10 \log_{10} 0,25 P/P = 10 \log_{10} 0,25 \doteq -6,02 \text{ dB}$)
- hlasitost součtu zvuků dána součtem dílčích výkonů
- člověk vnímá průměrnou úroveň (měření VU-metrem),
pro technické účely lepší PPM (peak program meter)
- další jednotky
 - dBFS 0 dB = maximální věrná hlasitost
 - dBm 0 dB = 1 mW při 600 Ohm
 - dBu 0 dB = 0,775 V (1 mW při 600 Ohm)
 - dbVU 0 dB = +4 dBu nebo -10 dBu

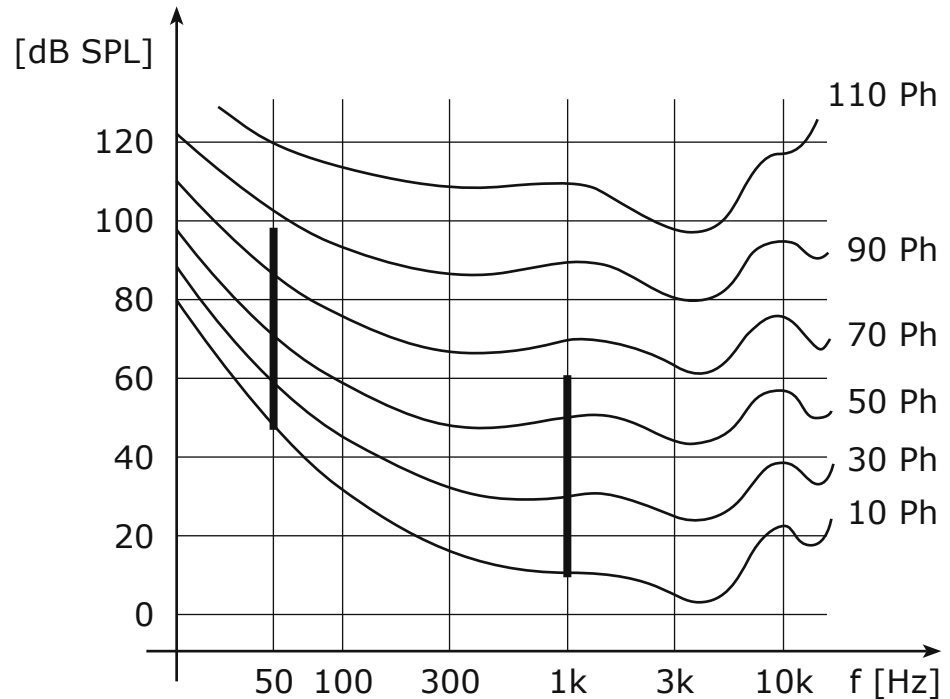
FREKVENCE

- frekvenční rozsah 20 Hz – 20 kHz (s věkem klesá)
- křivky konstantní hlasitosti (Fletcher-Munson; ISO 226)
- dvojnásobek frekvence – 1 oktáva
- logaritmické rozpoznávání
- nejcitlivější v oblasti 1 – 4 kHz
- frekvenční rozlišení frekvenčně závislé (0,3% při 3 kHz
3% při 100 Hz)



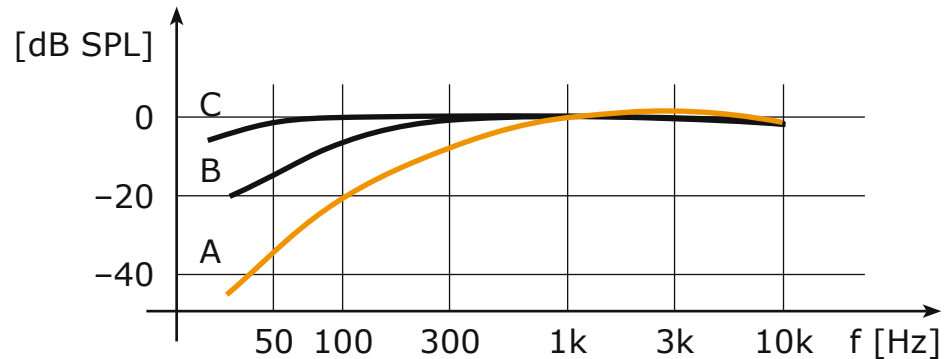
HLASITOST

- jednotka stejné vnímané hlasitosti: fon (Ph)
- odpovídá dB SPL pro 1 kHz
- pro jiné frekvence převod na dB SPL podle F-M křivek
- změna 50 dB
 - 50 Hz \Rightarrow 80 ph
 - 1 kHz \Rightarrow 50 ph
- psychologická hlasitost – 1 son



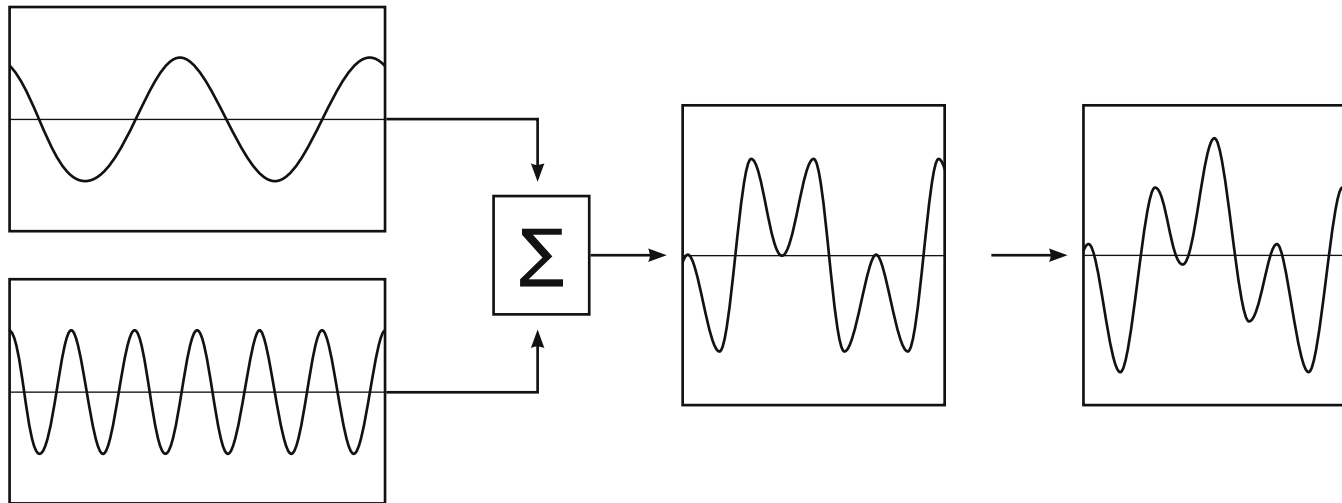
HLASITOST

- označení „hlasitosti“ jedním číslem – kompenzace
 - A – cca 40 fonů, v podstatě ignoruje první oktávy
 - B – cca 70 fonů
 - C – cca 100 fonů
- např. 60 dB SPL při 100 Hz odpovídá 40 dB podle kompenzace A
- měření hlučnosti nejčastěji podle kompenzace A



BARVA ZVUKU

- základní tón + harmonické frekvence (celočíselné násobky základní frekvence)
- vnímaný zvuk nezávisí na fázovém posuvu
- barva zvuku dána hlavně frekvenční charakteristikou



ZÁKLADNÍ FREKVENCE

komorní A 440 Hz (jedna z definic)

hlas

bas 82 – 329 Hz

baryton 110 – 370 Hz

tenor 131 – 523 Hz

alt 175 – 698 Hz

mezzosoprán 247 – 880 Hz

soprán 262 – 1397 Hz

housle 196 – 1975 Hz

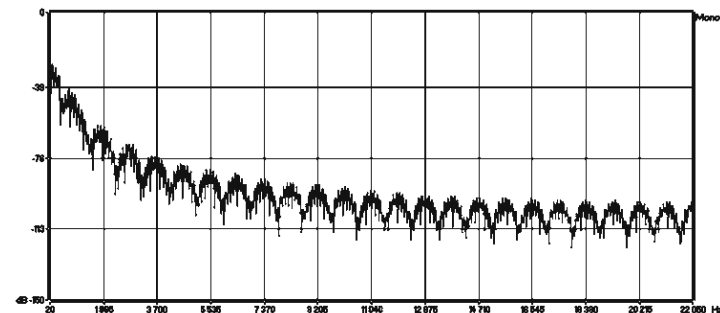
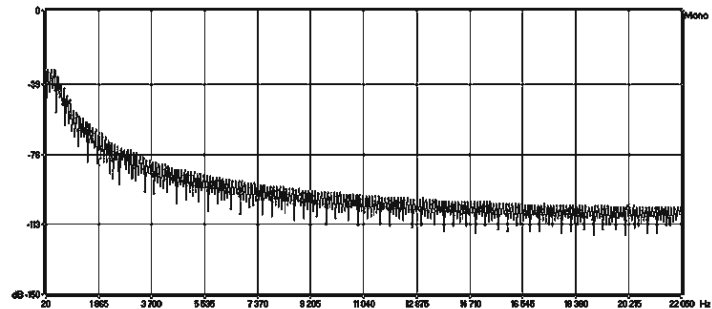
flétna 262 – 2349 Hz

piano 27 – 4186 Hz

varhany 16 – 8372 Hz

HŘEBENOVÝ FILTR

- součet fázově posunutých zvuků – změna frekvenční charakteristiky (střídání konstruktivní a destruktivní interference)
- vznik
 - součet zvuku a jeho ozvěny
 - snímání zvuku dvěma mikrofony
- problém při mixáži nebo převodu do mono

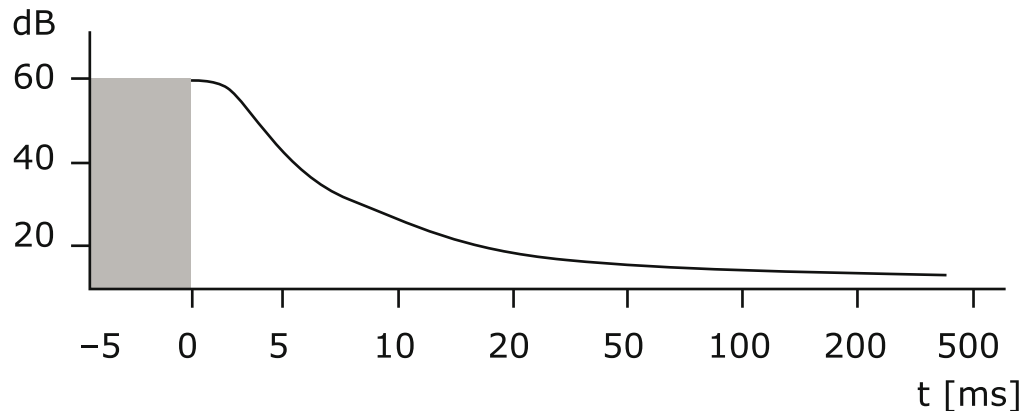


VÝŠKA TÓNU

- rozeznávání výšky tónu podle základní frekvence a struktury harmonických frekvencí
- rozpoznání cca po 30 ms od začátku zvuku
- detekuje se místem rezonance membrány vnitřního ucha
- kritické pásmo
 - rozsah kmitání membrány pro danou frekvenci
 - šířka cca 1/3 oktávy
 - záněže („beats“)

MASKOVÁNÍ

- frekvenční maskování
 - maskování slabšího, frekvenčně podobného tónu
- časové (temporal) maskování
 - po ukončení hlasitého tónu chvíli trvá, než se stane slabší tón slyšitelný



IDENTIFIKACE ZDROJE

- dobře úhel, rozlišovací schopnost asi 1°
 - stínění hlavy – útlum vysokých frekvencí
 - fázový posuv ($< 1\text{kHz}$), pro tóny
 - časový posuv, pro impulsní zvuky
 - doba rozeznání směru cca 1 ms
- špatně vzdálenost
 - útlum vysokých frekvencí
 - ozvěna (prodleva $> 30\text{ ms}$)

REPRODUKTORY

- poslechové reproboxy – zvuk, akustický výkon
- monitory – dynamika, věrný frekvenční přenos

PARAMETRY

- optimum 30 – 20000 Hz
- kvalitní monitor 60 – 20000 Hz při ± 3 dB toleranci, 35 Hz –6 dB
- vyrovnaná fázová charakteristika
- rovnoměrná směrová charakteristika
- harmonické zkreslení $< 1\%$ nad 200 Hz (při 1 W)
- zesilovače 100 – 400 W, velká studia > 1 kW/kanál
- impedance 4 – 8 Ω – srovnatelné s impedancí kabelů

REPRODUKTORY

KONSTRUKCE

- vícepásmové
 - typicky woofer, tweeter, dělení okolo 1,5 kHz
 - u větších reproboxů 3 pásma, max. 4 pásma
- aktivní × pasivní dělení signálu
- pro kvalitní kontrolu subwoofer (20 – 120 Hz)
- basreflex – pro poslechové reproboxy

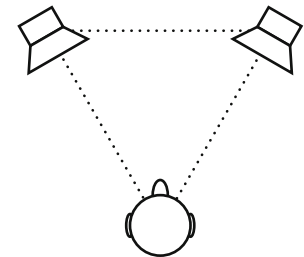
REPRODUKCE

MONOFONNÍ 1.0

- jeden zdroj zvuku
- typický výstup mikrofону
- množství starých nahrávek, zvukových stop filmů
- předpokládaný způsob reprodukce u rádia

STEREOFONNÍ 2.0

- dva zdroje zvuku (L, R)
- posluchač a zdroje – rovnostranný trojúhelník, ve stejné výšce
- sluchátka – rychlejší únava, zvuk před posluchačem vnímán jako uvnitř hlavy



REPRODUKCE

LFE

- low frequency effect
- hluboké tóny málo slyšitelné
⇒ musí mít velkou amplitudu
⇒ zabírají dynamický rozsah
- řešení – nízké tóny ve zvláštní mono stopě,
zvláštní hlasitost

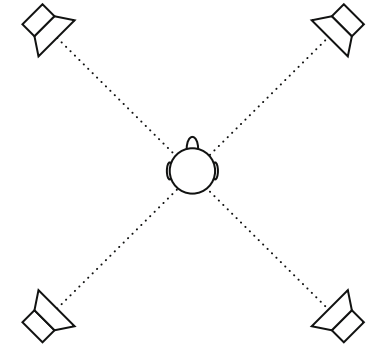
2.1

- L, R, (LFE)
- signál z LFE a LR do subwooferu ⇒ bass management
- subwoofer typicky uprostřed

REPRODUKCE

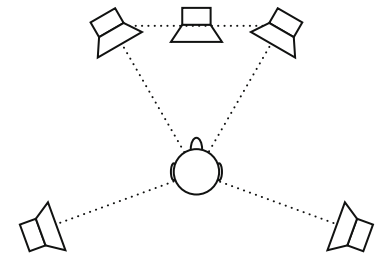
KVADROFONNÍ (4.0)

- dva alternativní systémy:
 - hudební 45° , 135°
 - filmový (středový reproduktor kvůli posluchači mimo osu), reproduktory jako u 5.1 (oba zadní reproduktory stejný zvuk)



SURROUND (5.1)

- L, R, C (center),
LS, RS (left/right surround), LFE
- rozmístění 0° , 30° , 110°



REPRODUKCE

DD-EX, DTS-ES (6.1)

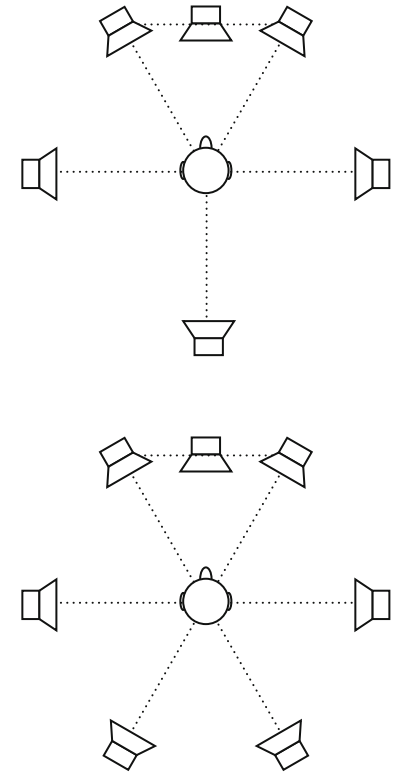
- L, R, C, LS, RS, B (back), LFE
- v případě Dolby Digital je zadní kanál maticově uložen v surround kanálech
- rozmístění 0°, 30°, 90°, 180°

DD+, DTS-HD, DOLBY TRUEHD, SDDS (7.1)

- L, R, C, LS, RS, LB, RB, LFE
- rozmístění 0°, 30°, 90°, 150°

WIDESCREEN 7.1

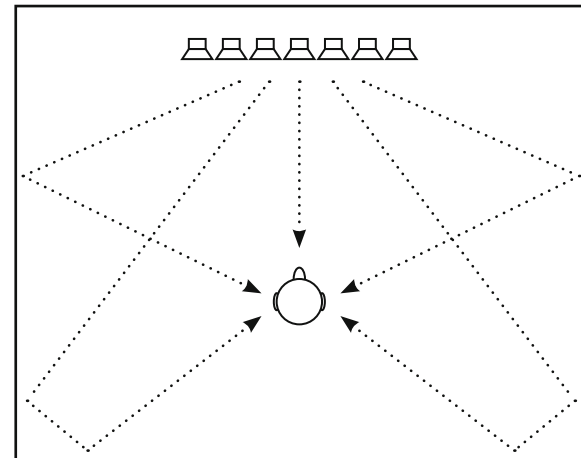
- 5 kanálů pod plátnem, 2× rear



REPRODUKCE

REPRODUKTOROVÉ POLE

- cca 40 malých reproduktorů + 2× woofer
 - reproduktory ve fázi – maximální hlasitost před nimi
 - fáze reproduktorů lineární – maximální hlasitost v jistém úhlu
- ⇒ tvorba „zvukových paprsků“
- surround efekt
odrazem od stěn
 - simulace sterea, směřování
zvuku k jednomu posluchači,
...



REPRODUKCE

- downmixing
 - typicky stereo → mono
 - 5.1 → stereo
 - 5.1 → Dolby Surround stereo
 - problém s hřebenovým filtrem
 - největší problém, vznikl-li výchozí zvuk upmixem
 - C → LR musí zachovávat energii
 - $\frac{1}{2}$ energie = -3 dB $\Rightarrow L += \sqrt{2} \cdot C, R += \sqrt{2} \cdot C$
- upmixing
 - typicky stereo → 5.1
 - odvozeno z fázových a časových posunů

ZPRACOVÁNÍ ZVUKU

NAHRÁVÁNÍ

- snímání, předzpracování, záznam

MIXÁŽ

- čtení, mixážní pult, zvukové procesory, záznam

MASTERING

- čtení, premastering, mastering, výroba nosiče

REPRODUKCE

- čtení, výkonový zesilovač, reprosoustava
- cíl: stejný poslechový vjem jako u zdroje zvuku

MIKROFONY

PARAMETRY

- maximální akustický tlak
- citlivost – odstup signál – šum (SNR) pro 1 kHz
- elektrický šum (tišší nahrávaný zvuk \Rightarrow horší SNR)
- směrová charakteristika (charakteristiky)
- konstrukce mikrofonní kapsle
- frekvenční charakteristika

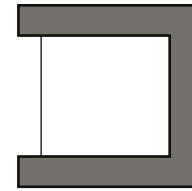
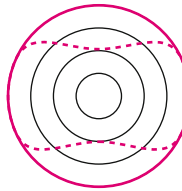
příklad:

- max. SPL 140 dB (1 kHz),
134 dB pro 20 – 20000 Hz (0,5 % zkreslení)
 - šum 25 dB, 14 dB podle kompenzace A
- \Rightarrow dynamický rozsah min. 126 dB

SMĚROVÁ CHARAKTERISTIKA

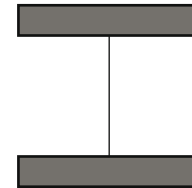
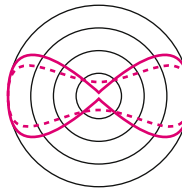
VŠESMĚROVÝ

- nemají proximity effect
- přirozenější zvuk
- přeslechy



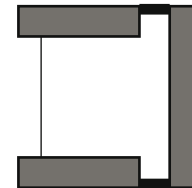
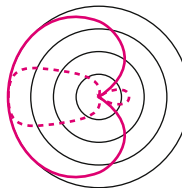
OSMIČKOVÝ

- proximity efekt
- speciální aplikace



KARDIOIDNÍ

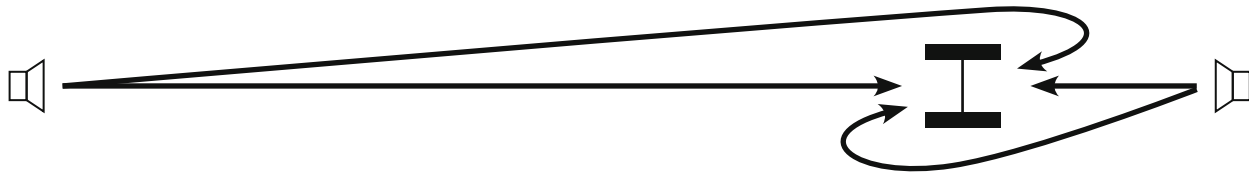
- proximity efekt
- minimální přeslechy



SMĚROVÁ CHARAKTERISTIKA

PROXIMITY EFEKT

- u mikrofonů s otevřenou kapslí
- zvuk z velké vzdálenosti – akustický tlak z obou stran membrány srovnatelný
- zvuk z blízka – díky útlumu akustický tlak z jedné strany větší, stínění kapsle \Rightarrow zdůraznění nízkých frekvencí
- kompenzace \Rightarrow nejsou slyšet nízké frekvence z dálky



SMĚROVÁ CHARAKTERISTIKA

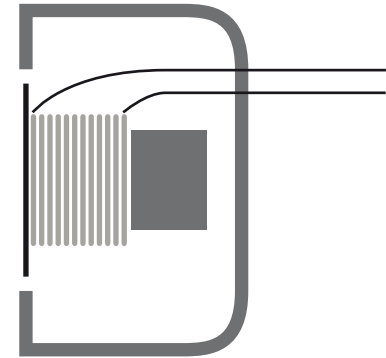
SMĚROVÝ MIKROFON

- v mikrofonu několik kapslí, výsledný signál „součet“
- zvuk z jednoho směru \Rightarrow výstup z kapslí ve fázi
 \Rightarrow výsledný součet velký
- poměrem signálů z kapslí lze měnit směrovou charakteristiku
- mikrofonové pole – kapsle rozmístěny v ploše
 - stejný princip jako pole reproduktorů
 - elektronicky lze mikrofon zaměřit na daný bod v prostoru

KONSTRUKCE MIKROFONŮ

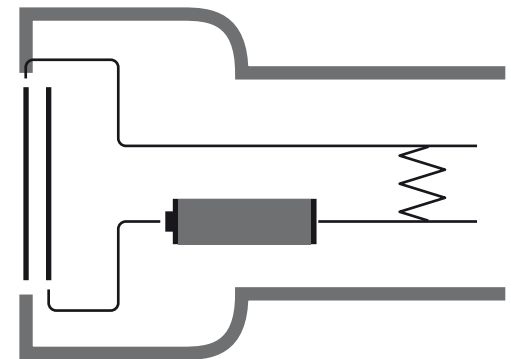
DYNAMICKÉ

- umí snímat velký akustický tlak, bez napájení, odolný
- velká membrána \Rightarrow menší šum, horší frekvenční rozsah



KAPACITNÍ

- vynikající frekvenční rozsah
- fantomové napájení (48 V)
- elektretový – kondenzátor nabitý stabilně, vyžaduje napájení vnitřního zesilovače



STEREOFONNÍ NAHRÁVKA

- dozvuk z různých směrů, sejmutí mikrofonom, reprodukce z jednoho směru \Rightarrow hřebenový filtr
- nástroje ve stopách, stereobáze v mixáži
- skutečné stereofonní nahrávání
- XY – kardioidní mikrofony v úhlu 90° , kapsle u sebe
 $L = X, R = Y$
- MS – kulový + osmičkový mikrofón, kapsle u sebe
 $L = M - S, R = M + S$ (příp. obráceně)
- AB – dva kulové mikrofony vedle sebe
+ bodové mikrofony pro mixáž
vzdálenost základních mikrofónů taková, aby se hřebenový filtr odsunul do neslyšitelné oblasti

SNÍMÁNÍ HLASU

- na živo dynamický mikrofon
- ve studiu kapacitní mikrofon

- explozivní hlásky – b, p, d, t
- sykavky – c, s, z

- malá vzdálenost mikrofonu od úst – proximity efekt, nežádoucí ruchy
- velká vzdálenost mikrofonu od úst – musí být citlivý mikrofon, přeslechy, odrazy
- typicky 15 – 60 cm

SNÍMÁNÍ NÁSTROJŮ

- volba vhodného typu mikrofonu
- volba vhodné nahrávací vzdálenosti
- volba počtu mikrofonů a součtu jejich signálů
- volba prostředí, kde se bude nahrávat, umístění mikrofonů vzhledem k podlaze a zdem
- případná úprava nástroje (obalení strun, přeladění, ...)

- zvuk se dále elektronicky upravuje (komprese, gate, ekvalizace, ...)
- žádoucí podoba zvuku závisí na použití v mixu