



Středoškolská technika 2015

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

Návrh a výpočet vícepásmových reproduktorových soustav

Jakub Váša

Žák 3. ročníku VOŠ, SPŠ a OA Čáslav

Vyšší odborná škola, Střední průmyslová škola a Obchodní akademie,
Čáslav, Přemysla Otakara II. 938

Ročníková práce

2014/2015

Jakub Váša

Zadání ročníkové práce

Student: Jakub Váša
Obor vzdělání: 23-41-M/01 - Strojírenství
Třída: S3
Školní rok: 2014/15

Téma: Návrh a výpočet vícepásmových reproduktorových soustav

Vedoucí absolventské práce: Ing. Miroslav Mach
Oponent absolventské práce: Ing. Alena Majznerová
Datum zadání: 6. listopadu 2014
Datum odevzdání: 1. dubna 2015



Mgr. Věra Szabová
ředitelka školy

Prohlášení

Místopřísežně prohlašuji, že jsem ročníkovou práci vypracoval/a samostatně s použitím uvedených pramenů a literatury.

.....

Jakub Váša

Poděkování

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu práce Ing. Miroslavu Machovi za to, že mi byl po celou dobu tvorby práce oporou. Pomohl mi překonat moji počáteční bezradnost a ukázal mi, že není čeho se bát. Jen díky jeho radám, pomoci a opravám se mi podařilo práci dotáhnout do konce.

Anotace

V této práci pojmenované Návrh a výpočet vícepásmových reproduktorových soustav je přiblížena základní problematika reproduktorových soustav. V první části je zde popsán zvuk a jeho vlastnosti a další části jsou věnovány samotným reproduktorovým soustavám. Nejprve jejich použití jako celku, a pak jednotlivým součástem, ze kterých se soustava skládá, u kterých jsou popsány jejich vlastnosti, typy a parametry. Další část je věnována konstrukci soustav a materiálům, které se pro ni používají. Nakonec je zde příklad výpočtu parametrů soustav a jejich náčrt.

Klíčová slova: zvuk, reproduktorová soustava, hudba, rezonanční obvody

In my work named „Design and calculation of multi-band speaker system" basic issue of speaker system is described. In the first part sound and its properties is described. Next parts are focused on own speaker system. Firstly usage of whole system is described, and after there are described individual components from which the system is built, and their properties, types and parameters. Next part deals with on construction of system and materials, which are used for that construction. At the end, there is an example of calculation of system's properties and sketch of systems.

Key words: sound, speaker system, music, resonant circuits

Obsah

ÚVOD.....	9
1. Zvuk.....	10
1.1 Frekvence	10
1.2 Maskování zvuku.....	10
1.3 Interference vlnění.....	11
1.4 Odraz vlnění	11
1.5 Difrakce	11
1.6 Akustický tlak	12
1.7 Tóny a.....	12
2 Reproduktorová soustava	13
2.1 Použití.....	13
2.1.1 CD přehrávač.....	14
2.1.2 DVD a Blue-Ray přehrávač	14
2.1.3 Digitální televize	14
2.1.4 Počítače	14
2.1.5 Domácí kino.....	15
2.2 Rozmístění soustavy.....	15
3 Reprodukory	16
3.1 Parametry reproduktoru	16
3.1.1 Zatížitelnost reproduktoru	17
3.1.2 Jmenovitá impedance	18
3.1.3 Maximální akustický tlak.....	19
3.1.4 Citlivost reproduktorů	19
3.1.5 Resonanční kmitočet.....	19
3.2 Pásmo reproduktoru	20
3.2.1 Hlubokotónové.....	20
3.2.2 Středotónové:	20
3.2.3 Vysokotónové.....	21
3.2.4 Jednopásmové soustavy	21
3.2.5 Jeden a půl pásmové soustavy.....	23
3.2.6 Dvoupásmové soustavy	23
3.2.7 Dvou a půl pásmové soustavy.....	23

3.2.8 Trojpásmové soustavy.....	24
3.2.9 Tří a půl, čtyřpásmové soustavy.....	24
3.2.10 Volba počtu pásem	24
4 Ozvučnice	25
4.1 Ozvučnice otevřená.....	25
4.2 Ozvučnice uzavřená	26
4.3 Ozvučnice typu Bassreflex.....	26
4.4 Další druhy	27
4.5 Objem ozvučnice	27
5 Výhybky	28
5.1 Typy výhybek.....	28
5.2 Filtry výhybek	29
5.2.1 Filtr Linkwitz – Riley.....	29
5.2.2 Filtr Butterworth	29
6 Kabely reprosoustavy.....	29
7 Konstrukce.....	30
7.1 Tlumení	31
7.2 Velikost reprosoustav.....	32
7.3 Umístění reproduktorů	33
7.4 Materiály skříně	33
7.4.1 Plasty	34
7.4.2 Dřevo	34
7.4.3 Kámen	34
7.4.4 Kov.....	35
7.5 Tlumící materiály.....	35
8 Rezonanční obvody	35
8.1 Sériově.....	36
8.2 Paralelně	36
8.3 Výpočet rezonančních obvodů.....	37
9 Nákres	38
9.1 Třípásmová.....	38
9.2 Dvoupásmové.....	40

ÚVOD

Jako ročníkovou práci jsem si zvolil: Návrh a Výpočet vícepásmových reproduktorových soustav.

Ročníkovou práci jsem se rozhodl dělat proto, abych dostal možnost ve čtvrtém ročníku vypracovat dlouhodobou maturitní práci.

Toto téma jsem si zvolil i proto, že bych rád vlastnil své reproduktorové soustavy a toto mi přišlo jako dobrá možnost, jak tyto soustavy nejen získat, ale i jak získat informace a zkušenosti o jejich návrhu, výpočtech a později i výrobě. Soustavy budu používat pouze v domě, takže nebudou muset být konstruovány s ohledem na venkovní vlivy.

V mém životě tvoří hudba jeho nedílnou součást. V závislosti na mé momentální náladě poslouchám mnoho hudebních stylů. Od metalu a elektronické hudby, až po klidné tóny klavíru, na který sám hraji, a díky tomu, že mám nejen klasický, ale i elektronický klavír, tak bude tuto reproduktorovou soustavu možno využít i pro tento účel.

Takže tato reproduktorová soustava bude namáhána v celém jejím rozsahu, a můj požadavek jako posluchače je, aby byla tato různorodá hudba všechna v co nejlepší kvalitě. Takže se zde musí použít nejen kvalitní elektronické součásti, ale i samotné materiály beden, které musí být podobně jako u klavíru navrženy tak, aby nejen dobře vypadaly, ale aby se i jejich přičiněním dosáhla jak kvalita zvuku, který tato soustava bude vydávat, tak i kvalita samotného provedení, která se bude projevovat velkou výdrží a dlouhou životností.

Všechny tyto vlastnosti, jak elektronických součástí, tak i materiálů, jdou ruku v ruce s cenou. Takže mou starostí jakožto konstruktéra bude navrhnout tuto soustavu tak, aby byla co nejkvalitnější a zároveň také co nejlevnější.

Hudba se také využívá pro její léčivé účinky. Od dob antického Řecka, přes pohanské šamany, až po moderní Muzikoterapii, kterou se dnes zabývají doktoři a psychologové po celém světě.

1. Zvuk

Cílem reproduktorů je nepochybně vydávat zvuk. Ale co je vlastně zvuk?

Zvuk je mechanické vlnění v látkovém prostředí, pro lidi je nejpodstatnější jeho šíření ve vzduchu, které je schopno vyvolat sluchový vjem.

1.1 Frekvence ¹

Frekvence je asi nejdůležitější složkou zvuku. Mez lidské slyšitelnosti frekvence se u mnohých lidí liší, ale obecně se udává, že je lidské ucho schopno slyšet zvuk o frekvenci od 16 do 20 000 Hz. Nejvíce citlivý sluch ale máme v oblasti 1 až 3,5 kHz.

Zvuk, který má frekvenci nižší, než 16 Hz se nazývá infrazvuk, a jsou ho schopni slyšet například velryby či sloni. A ač ho neslyšíme, může nám způsobit vážné závratě, při vysoké intenzitě může dojít dokonce až k infarktu. Tohoto jevu se pokoušeli využít i vojenští vědci. Zvukové dělo je schopné sestřelit letadlo. Naštěstí intenzita velmi rychle klesá, takže se nepoužívá kvůli malému dostřelu.

Zvuk s frekvencí vyšší nad 20 000 Hz se nazývá ultrazvuk a využívají ho například psi, nebo netopýři a to jak ke komunikaci, tak k echolokaci. Lidé ultrazvuku využívají především v lékařství: ultrazvukové vlny o frekvenci od 1 do 18 MHz se odrážejí od orgánů s různou akustickou impedancí. Oblast lékařství se nazývá sonografie.

1.2 Maskování zvuku ²

Při vnímání zvuků lidským uchem dochází i k takzvanému maskování tónů a to dvěma způsoby: Frekvenční maskování způsobuje, že pokud znějí dva tóny s různou frekvencí současně, může jeden z nich potlačit slyšitelnost toho druhého. Maximální úroveň maskovaného signálu je dána frekvenční vzdáleností maskujícího signálu. Maskovací schopnost je závislá na frekvenci maskujícího tónu.

¹ Článek z balakářské práce: Kompletní návrh třípásmové reproduktorové soustavy z roku 2010 od autora Michala Jalového, VUT Brno. Strana 11

Článek ze serveru <http://cs.wikipedia.org/wiki/Zvuk> Poslední datum editace 15. 3. 2015

² Článek ze serveru <http://cs.wikipedia.org/wiki/Zvuk> Poslední datum editace 15. 3. 2015

Maskování časové způsobuje, že pokud po hlasitém tónu následuje stejný tón s menší hlasitostí, je jeho vnímání potlačeno. Potlačen může být i tichý tón předcházející maskovacímu tónu.

1.3 Interference vlnění ¹

Pokud se prostředím pohybuje více vlnění, tyto vlnění se setkávají a dochází k interferencím (skládání). Na vlastnosti vzniklého vlnění má vliv jejich fázový rozdíl. Mohou nastat tři případy interference:

Pokud se vlny setkají s opačnou fází, při stejné amplitudě obou signálů se navzájem vyruší. Při rozdílné amplitudě vzniká interferenční minimum.

Pokud se vlnění setkávají se stejnou fází a dochází k interferenčnímu maximu.

Pokud dráhový rozdíl není roven celočíselnému násobku půlvln – výsledné vlnění bude fázově posunuto.

1.4 Odraz vlnění ²

Když vlnění dopadne na hranici dvou prostředí, tak se dopadající vlnění vrací zpět, podle zákona odrazu vlnění, který říká, že úhel odrazu je roven úhlu dopadu. Pokud je překážka, od které se zvuk odráží vzdálena alespoň 17 m od posluchače a zpět se dostává se zpožděním alespoň 0,1 ms, nastává dozvuk.

1.5 Difrakce ³

Difrakce neboli ohyb vlnění, nastává tehdy, pokud je na rozhraní nějaká překážka. to způsobí, že se vlnění začne šířit jinak, než přímočaře. Ohyb je přímo úměrný vlnové délce.

¹ Článek z bakalářské práce: Laboratorní návrh reproduktorové soustavy z roku 2011 od autora Martina Šulce, VUT Brno, strana 14-15

² Článek z bakalářské práce: Laboratorní návrh reproduktorové soustavy z roku 2011 od autora Martina Šulce, VUT Brno, strana 15

³ Článek z bakalářské práce: Laboratorní návrh reproduktorové soustavy z roku 2011 od autora Martina Šulce, VUT Brno, strana 15

1.6 Akustický tlak ¹

Akustický tlak je také velmi důležitou veličinou. Tento tlak vnímáme jako hlasitost zvuku, kterou měříme v decibelech. Tato jednotka je bezrozměrná a určuje podíl dvou hodnot v logaritmické míře.

Zvýšení hladiny akustického tlaku o 6dB znamená zvýšení akustického tlaku na dvojnásobek. A na desetinásobek při zvýšení o 20 dB.

$$X_{dB} = 20 \log \frac{X}{X_0}$$

kde X_{dB} je hodnota v decibelech, X je změřená hodnota, X_0 je referenční hodnota.

Akustický tlak [Pa]	Hladina akustického tlaku [dB]	Vnímaná hlasitost	Zdroj zvuku
0,00002	0	Práh slyšitelnosti	-
0,0002	20	Extra tichá	tichá místnost, šelest listí
0,02	60	Střední	běžná řeč
0,2	80	Velmi hlasitá	městský provoz
2	100	Extra hlasitá	koncert, diskotéka
20	120	Práh bolesti	startující tryskové letadlo

Tabulka 1: Přirovnání hlasitosti k hodnotám akustického tlaku

1.7 Tóny a hluky ²

Tóny vznikají při pravidelném, pohybu – kmitání. V ucho vytváří vjem zvuku určité výšky, proto se tónů využívá v hudbě. Zdrojem tónů mohou být například lidské hlasivky nebo různé hudební nástroje.

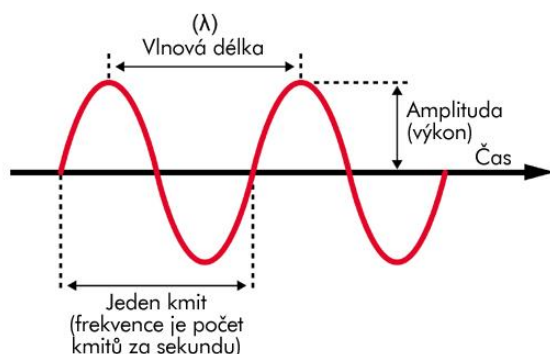
Jako **hluky** označujeme nepravidelné vlnění vznikající jako složité nepravidelné kmitání těles nebo krátké nepravidelné rozruchy (srážka dvou těles, výstřel, přeskočení elektrické jiskry apod.). I hluky jsou využívány v hudbě, neboť k nim patří i zvuky mnoha hudebních nástrojů, především bicích.

¹ Článek z bakalářské práce: Kompletní návrh třípásmové reproduktorové soustavy z roku 2010 od autora Michala Jalového, VUT Brno. Strana 12-13

² Článek ze serveru <http://cs.wikipedia.org/wiki/Zvuk>

Článek ze serveru <http://www.paroc.cz/knowhow/zvuk/obecne-informace-o-zvuku>

Graf tónů má sinusový průběh, u kterého se liší frekvence (počet kmitů za sekundu) a amplituda.



Graf 1: Sinusový průběh tónu

2 Reproduktorová soustava ¹

Co si představit pod pojmem reproduktorová soustava? Základní součástí je samozřejmě reproduktor. Počet a typ reproduktorů závisí na to, kolika pásmovou soustavu se rozhodnu vyrábět. Další důležitou součástí je ozvučnice. Ozvučnice je samotná bedna, ve které jsou reproduktory umístěny. Zde je třeba zvolit, jak reproduktory do ozvučnice umístit. Takže máme ozvučnici a v ní reproduktory, nyní ale potřebujeme něco, co rozdělí příchozí signál mezi jednotlivé reproduktory. O tento problém se postarají výhybky, jejichž typ a počet opět závisí na počtu pásem v soustavě.

2.1 Použití ²

V první řadě je třeba si rozvrhnout, k jakému účelu budu soustavy využívat. Velmi důležitým faktorem je to, jaký zvuk (z jakého zdroje) mám v plánu poslouchat.

Ale ač je velmi důležité, který z těchto zařízení zvolíme, nejdůležitějším článkem řetězce je právě reproduktorová soustava, protože rozdíly mezi reprosoustavami jsou podstatně slyšitelnější než rozdíly mezi CD přehrávači či zesilovači.

Dokonce, čím je zdroj signálu kvalitnější, ještě o to více vyniknou nedostatky nevydařených reprosoustav.

¹ Vlastní myšlenka

² Článek ze serveru <http://www.excelia-hifi.cz/reprosoustavy.html>

Jak ale říká Jiří Sedláček na serveru <http://www.excelia-hifi.cz/reprosoustavy.html>

Samotný "vynikající zvuk" je ale také těžké definovat, protože každý jedinec má o tom "svém perfektním zvuku" odlišnou představu a každý vyžaduje něco jiného. Jsou sice jisté obecné zásady kvalitní reprodukce, podle míry jejichž splnění hovoříme o "průměrném" nebo "excelentním" zvuku, ovšem je běžné, že tyto zásady ve vyšších kategoriích splňuje již většina výrobků, a přesto zní každý z nich odlišně a těžko lze objektivně stanovit, který zvuk je "lepší".

2.1.1 CD přehrávač ¹

Přehrávače CD disků jsou již v dnešní době celkem zastaralé, i tak se s nimi ale ještě můžeme setkat. Jeho slabinou je především nízký vzorkovací kmitočet a již při 15 kHz jsme mohli shledat, že zvuk není příliš kvalitní. Existují způsoby, jak tento vzorkovací kmitočet zvýšit, ale nebývají příliš úspěšné. I přes tyto nedostatky ale CD přehrávače stále poskytují celkem solidní zvuk.

2.1.2 DVD a Blue-Ray přehrávač ²

S těmito zařízeními jsme schopni přehrát zvuk bez zkreslení tak, jak byla nahrána (takže pokud byla nahrána kvalitně, setkáme se i s kvalitní reprodukcí) až do 20 kHz. Vyšší frekvence ani přehrávat nepotřebujeme, neboť bychom je stejně neslyšeli.

2.1.3 Digitální televize ³

Digitální televize, ač si to mnoho lidí neuvědomuje, poskytuje celkem kvalitní zvuk, který ale na kvalitě ztrácí, při jeho přehrávání ve vestavěných reproduktorech televize. Pokud se televize propojí s reprosoustavami (což ostatně doporučují i sami výrobci televizorů), zvuk působí celkově úplně jiný dojem.

2.1.4 Počítače ⁴

Počítač původně nebyl vůbec jako zdroj zvukové stopy určen, takže nemůžeme očekávat, že nám počítač, který máme určený na kancelářskou práci poskytne nějaký kvalitní signál. Pokud přeci jen chceme, k tomuto účelu počítač používat, musíme do

¹⁻⁴ Článek ze serveru http://www.audio-hodas.cz/clanky/jak_nakupovat.php od Ing. Jaromíra Hodinky

něj vložit vhodnou zvukovou kartu, alespoň s šesti kanály a výstupem HDMI. I tak ale musíme dbát na to, co na počítači přehráváme. V žádném případě nemůžeme očekávat kvalitní zvuk, pokud je přenášen z internetu. Také není vhodné používat zvukovou stopu, která předtím prošla přes nějaký kompresní program. Takovýto program má za úkol zmenšit velikost souboru. Toto zmenšení je ale provedeno na úkor některých vlastností souboru, a pokud se jedná o zvukovou stopu, lze tímto takovou stopu dokonale znehodnotit.

2.1.5 Domácí kino ¹

Domácí kina se v poslední době stává čím dál tím větším hitem. Výrobci filmů, na které se na těchto kinech díváme, je doplňují i o kvalitní zvukové stopy. Velké množství uživatelů těchto kin se ale o celkový dojem ochuzuje právě nevhodným výběrem reprosoustav. Nějaké bedýnky sice bývají součástí balení, ale z těch dostaneme vcelku podprůměrný zvuk. Opět je třeba se rozmyslet, jestli chcí mít z kina i kvalitní hi-fi soustavu. Pokud ano, musím kvalitě soustav věnovat ještě větší pozornost. U kina, oproti televizi, očekáváme o dost lepší dojem, a pokud na něj máme velké nároky, je třeba kromě příslušných soustav toto kino opatřit i kvalitním subwooferem. Samozřejmě vhodné vlastnosti těchto komponent jdou ruku v ruce s jejich cenou a proto i velké množství uživatelů raději upustí od svých počátečních nároků, když si prohlédnou účet.

2.2 Rozmístění soustavy ²

Důležitým faktorem, pro celkový dojem ze zvuků vycházejících ze soustavy je rozmístění jednotlivých beden po místnosti. Rozstup soustav samozřejmě závisí na velikosti místnosti, ve které chceme soustavy rozmístit, ale obvykle se počítá s rozstupem 2-3 metry. Při většině případů, kdy máme dvě bedny, se rozmisťují do pravidelného trojúhelníku (levá, pravá a posluchač). Pokud užívám ozvučnici typu bass-reflex, o které se zmiňuji níže, je třeba dbát na dostatečnou vzdálenost od zadní stěny. Důležitým faktorem je odraz zvuku od stěny, to sice trochu záleží na umístění soustav (například neumisťovat příčně do rohu) ale především na samotné místnosti, kde tyto

¹ Článek ze serveru <http://www.excelia-hifi.cz/reprosoustavy.html>

² Článek ze serveru <http://www.excelia-hifi.cz/reprosoustavy.html>

Článek ze serveru <http://www.audified.com/projekt/ft-ta3010/page5/page10/page10.html> od Ústavu telekomunikací FEKT, VUT Brno

odrazy od stěn lze dobře tlumit například pověšením na stěnu nějakých obrazů, gobelínů, nebo poliček.

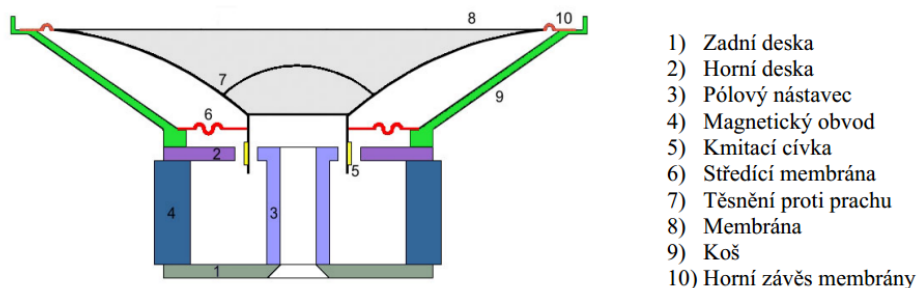
3 Reproduktory ¹

Reproduktor je zařízení k přeměně elektrické energie na zvuk, proto jej někdy nazýváme elektroakustickým měničem.

Účinnost této přeměny je velice malá (řádově jednotky procent), protože většina energie se přemění v teplo. O reproduktorech se dá tedy říci, že se jedná o topná tělesa a jejich vedlejším produktem je zvuk. Reproduktor pracuje na principu vzájemného působení sil magnetického pole trvalého magnetu s magnetickým polem cívky, kterou protéká střídavý proud.

Reproduktor obsahuje Membránu, která je pružně zavěšená do rámu reproduktoru, který se nazývá koš.

Pístový pohyb membrány způsobuje zředování a zhušťování vzduchu, čímž vzniká změna akustického tlaku (zvuková vlna).



Obrázek 1: Části reproduktoru

Za vynálezce reproduktoru se považuje Alexander Graham Bell, protože potřeboval zařízení, které by zesílilo zvuk jeho vynálezu – telefonu.

3.1 Parametry reproduktoru ²

¹ Článek z bakalářské práce: Kompletní návrh třípásmové reproduktorové soustavy z roku 2010 od autora Michala Jalového, VUT Brno. Strana 16-17

Článek ze serveru <http://kb-info.blog.cz/0905/vynalezce-reproduktoru>

² Článek ze serveru <http://www.elweb.cz/clanky.php?clanek=67> od Bc. Marina Olejáry

: Jsou velice důležité pro konstruktéra reprosoustavy z toho důvodu, že podle těchto údajů vybírá samotné měniče. Parametry můžeme rozdělit na:

- mechanické (rozměry, hmotnost)
- základní údaje (impedance, maximální příkon, citlivost),
- materiál reproduktoru (materiály membrány, koše, kmitací cívky, atd.),
- přesnější specifikace reproduktoru (činitele jakostí, rezonanční kmitočet)
- grafický popis (směrová charakteristika, impedanční závislost, atd.)

Všechny tyto údaje většinou uvádí výrobce reproduktorů.

Zde uvedu ty nejdůležitější údaje.

3.1.1 Zatížitelnost reproduktoru [W] ¹

Toto je základní parametr, podle kterého se většina lidí, kteří jsou méně znalí této problematiky rozhoduje. Pod tímto pojmem ti serióznější výrobci uvádějí dlouhodobý příkon. Ti méně seriózní prodejci někdy namísto těchto hodnot uvedou příkon jiný než dlouhodobý, který ale může být někdy až dvojnásobný. To samozřejmě přispěje k tomu, že nezkušený kupující, který se v těchto hodnotách nevyzná, nakoupí raději u tohoto prodejce. Když však doma začne soustavu používat, může být nemile překvapen.

Na příkonu obvykle závisí velikost kmitací cívky. Obvykle se užívá následujících hodnot:

Velikost kmitací cívky ["]	Příkon [W]
1,5	100-150
2	150-200
2,5	200-400
3	400-600
4	600-1000
4,5	1000-1500

Tabulka 2: Velikost kmitací cívky v závislosti na příkonu

¹⁻² Článek ze serveru <http://www.repromania.net/teorie/parametry-reproduktoru.php> od Lukáše Kratochvíla

3.1.2 Jmenovitá impedance [Ω] ¹

Jednoduše řečeno, reproduktor, po zapojení do obvodu reproduktorové soustavy je vlastně frekvenčně závislým odporem, se kterým je třeba počítat. Proto se uvádí i tato hodnota. Obvykle se tato hodnota pohybuje od 2 do 16 Ω

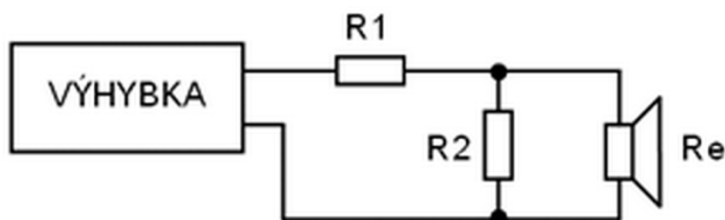
3.1.3 Maximální akustický tlak [dB] ¹

Tato hodnota značí maximální hluk, který je reproduktor při maximálním příkonu schopný vyvolat. Laicky řečeno se tedy jedná o maximální rámus, který z reproduktoru dostaneme.

3.1.4 Citlivost reproduktorů [dB/W/m] ²

Citlivost je úroveň akustického tlaku, která je vyvolaná jedním Watterem. Tato citlivost se měří jeden metr od reproduktoru.

Každý reproduktor je jinak citlivý a to je při přehrávání hudby problém. Mohlo by se tak stát, že například vysokotónový reproduktor, který mívá citlivost vysokou by hrál mnohem hlasitěji než ostatní reproduktory. Netřeba zmiňovat že tento jev je nežádoucí. Proto je třeba u některých reproduktorů citlivost snížit, aby mezi všemi reproduktory v soustavě nastala rovnováha. Toho se docílí přidáním odporového děliče, který citlivost sníží. Tento odporový dělič se umísťuje na větev výhybky, která vede k příslušnému reproduktoru, u kterého je třeba citlivost snížit. Naneštěstí tento dělič i způsobí malou ztrátu tepelné energie, která sice není nijak kritická, ale ani zanedbatelná.



Obrázek 2: Schéma vyrovnání citlivosti reproduktoru

3.1.5 Resonanční kmitočet [Hz] ³

Jedná se o kmitočet, kdy reproduktor dosahuje maximální impedance.

¹⁻³ Článek ze serveru <http://www.repromania.net/teorie/parametry-reproduktoru.php> od Lukáše Kratochvíla

² Schéma ze serveru <http://www.marekweb.eu/vypocty.php>

3.2 Pásma reproduktoru ¹

Aby se dosáhlo kvalitní reprodukce přijatého signálu, je třeba použít více různých reproduktorů, každý uzpůsobený na jisté frekvenční rozmezí. Toto rozmezí se nazývá pásmo.

3.2.1 Hlubokotónové ²

Tyto Reproduktory jsou určeny pro reprodukci nízkých frekvencí (zhruba od 20 Hz). Často se pro tento typ reproduktorů užívá název Basový (anglicky woofer)

Zde je třeba se rozhodnout, jakou pro tento typ reproduktorů zvolit velikost.

Větší reproduktory potřebují veliký objem ozvučnice a mají lepší přenos nízkých kmitočtů, ale velkou směrovost (což nám tolik nevádí při nízkých kmitočtech).

Menší reproduktory mají lepší přenos středních kmitočtů a také menší směrovost.

3.2.2 Středotónové: ³

Tento reproduktor je určen k reprodukci v pásmu zhruba od 500 Hz až do 5 kHz. V tomto pásmu kmitočtů jsou na reproduktor kladeny největší nároky.

Hlavně z toho důvodu, že v tomto pásmu kmitočtů je zastoupeno nejvíce hudebních nástrojů. Také je v tomto rozmezí lidské ucho nejcitlivější.

Středový reproduktor určuje srozumitelnost řeči a také zabarvení hudebních nástrojů. Z těchto důvodů je tento reproduktor nejvíce důležitý v celé reprosoustavě a také nejvíce namáhaný.

Pro středotónový reproduktor platí:

- Frekvenční charakteristika musí být co nejplošší, aby nedocházelo ke zkreslení zvuku.

¹ Vlastní myšlenka

² Článek z balakářské práce: Kompletní návrh třípásmové reproduktorové soustavy z roku 2010 od autora Michala Jalového, VUT Brno. Strana 13

³ Článek z balakářské práce: Kompletní návrh třípásmové reproduktorové soustavy z roku 2010 od autora Michala Jalového, VUT Brno. Strana 14-15

Článek ze serveru <http://cs.wikipedia.org/wiki/Reproduktor>

- Musí být oddělen od basového reproduktoru, aby nedocházelo k rozkmitu středotónového reproduktoru, což by mělo za následek zkreslení reproduktoru (platí pro reproduktory s otevřeným košem).
- Opět je zde třeba hledat kompromis mezi velikostí reproduktoru a směrovostí reproduktoru, ke které dochází hlavně u vyšších kmitočtů.

3.2.3 Vysokotónové ¹

Tento reproduktor se používá většinou v pásmu od 3 kHz až do zhruba 20 kHz. U těchto reproduktorů je charakteristická velká citlivost oproti ostatním reproduktorům. Jejich membrána musí být co nejtužší.

Pro vysokotónový reproduktor platí:

- Musíme kompenzovat velkou citlivost reproduktoru, abychom se přiblížili charakteristické citlivosti ostatním reproduktorům.
- Pro příliš nízký dělicí kmitočet reproduktoru může dojít ke zničení reproduktoru.
- Umístíme jej v reprosoustavě tak, aby byl co nejbližší ose lidského ucha.
- Směrovost reproduktorů je dosti velká.
- Pro ochranu reproduktoru nejčastěji používáme žárovku a také odporový dělič (snižuje nám zároveň citlivost reproduktoru).

3.2.4 Jednopásmové soustavy ²

U jednopásmových soustav se všechny tyto tři typy reproduktorů nahrazují jediným typem, a to Širokopásmovým.

Tento reproduktor dokáže přenést celé pásmo slyšitelných kmitočtů, Což se ale negativně projeví na kvalitě zvuku, takže u tohoto reproduktoru nemůžeme očekávat moc kvalitní reprezentaci určitých frekvencí.

¹⁻² Článek ze serveru <http://www.prochlapy.cz/clanky/poznejte-svet-reproduktorovych-soustav/> od autora s pseudonymem Pseudofilosof
 Článek ze serveru <http://www.excelia-hifi.cz/reprosoustavy.html>

Tento reproduktor má veliké zastoupení u automobilového ozvučení, je osazován jako studiový monitor, stropní reproduktor apod.

3.2.5 Jeden a půl pásmové soustavy ¹

Tyto soustavy mají dva reproduktory, jak se s nimi můžeme setkat u dvoupásmových soustav. Jeden pro přehrávání nízkých tónů, a jeden pro tóny vysoké. Proč tedy jen jeden a půl pásma? Dvoupásmová soustava využívá k oddělení hlubokého a vysokého pásma výhybky s elektronickými filtry. Naproti tomu tato, jeden a půl pásmová soustava má namísto toho jen jednoduchý kondenzátor, který tuto funkci neplní tak dobře jako výhybka.

3.2.6 Dvoupásmové soustavy ²

Tyto soustavy bývají nejčastěji v regálovém provedení. U dvoupásmových soustav je funkce středotónového reproduktoru zastoupena reproduktorem hlubokotónovým. A jak už bylo zmíněno, na rozdíl od jeden a půl pásmových soustav jsou zde tato dvě pásma rozdělena plnohodnotnou výhybkou. Že je soustava dvoupásmová automaticky neznamená, že musí být dva reproduktory. Často se můžeme setkat i s variantou jednoho vysokotónového reproduktoru a dvou hlubokotónových, které můžou, ale ani nemusí být stejně velké.

3.2.7 Dvou a půl pásmové soustavy ³

Dvoupásmové soustavy jsou většinou regálové. Třípásmové soustavy bývají zase sloupové. Dvou a půl pásmové soustavy – jako "něco mezi tím" se tedy objevují v drahých regálových soustavách anebo v levných sloupových soustavách. Tyto soustavy mají nejméně tři reproduktory, jak bývá zvykem i u soustav třípásmových. Na rozdíl od nich tyto soustavy mají ale pouze dva filtry. První rozdělí vysoké tóny a nízké tóny, stejně jako u dvoupásmových. Druhý filtr dále rozdělí nízké tóny mezi basový a středový reproduktor.

¹⁻⁴ Článek ze serveru <http://www.prochlapy.cz/clanky/poznejte-svet-reproduktorovych-soustav/> od autora s pseudonymem Pseudofilosof
Článek ze serveru <http://www.excelia-hifi.cz/reprosoustavy.html>

3.2.8 Trojpásmové soustavy ¹

S těmito soustavami se nejčastěji setkáme u sloupových konstrukcí. Tyto soustavy už mají tři plnohodnotné filtry. Takže vysokotónový reproduktor dostává opravdu jen vysoké tóny, středotónový střední tóny a hlubokotónový pouze basy. Zvuk tak působí lepší dojem než u soustav dvou a půl pásmových, které takto dokonalé rozdělení nemají.

3.2.9 Tří a půl, čtyřpásmové soustavy ²

S těmito soustavami se taky můžeme výjimečně setkat u profesionálních soustav. Zde bývají basy odděleny tak, že dokonce využívají úplně jinou skříň.

3.2.10 Volba počtu pásem ³

Kolik pásem tedy zvolit? Jak už bylo řečeno, soustavy **jednopásmové** na tom z hlediska kvality nejsou moc dobře, protože se používá jediný typ reproduktoru, který musí zvládat vše, ty tedy vyřadíme rovnou. Soustavy **jeden a půl pásmové** jsou taktéž spíše krajním řešením pro nějaké vestavné soustavy někde do chodby, ale na kvalitní reprodukci hudby nemůžou ani pomyslet.

Dvou a půl pásmovou soustavu bych vyloučil z toho důvodu, že když už konstruuji bedny se třemi reproduktory, proč bych z nich dělal soustavy dvou a půl pásmové, když stačí přidat o jeden filtr navíc a s touto minimální prací navíc sestrojím soustavu třípásmové.

Čtyřpásmové soustavy se vyskytují jen výjimečně a navíc jen u profesionálních zařízení, takže ty bych také vyloučil rovnou.

zbyvá tedy rozhodnutí: Dvoupásmové nebo Třípásmové?

Ačkoliv laikovi se může zdát, že více pásem automaticky zaručuje vyšší kvalitu, není to tak jednoduché. Mnohem těžší je totiž dobře rozdělit a zřázovat tři pásma než dvě.

¹⁻² Článek ze serveru <http://www.prochlapy.cz/clanky/poznejte-svet-reproduktorovych-soustav/> od autora s pseudonymem Pseudofilosof

Článek ze serveru <http://www.excelia-hifi.cz/reposoustavy.html>

³ Vlastní myšlenka

Článek ze serveru <http://www.excelia-hifi.cz/reposoustavy.html>

Dvoupásmové konstrukce jsou sice většinou ochuzeny o nejspodnější oktávu, ovšem na oplátku vynikají v přednesu kritického středního pásma. V nižších cenových kategoriích to platí zvláště přesvědčivě.

U basových tónů je také důležitým faktorem mechanické provedení a velikost ozvučnice. Menší třípásmová soustava může mít méně hlubších a kvalitních basů než dvoupásmová s dobře udělanou a objemnou ozvučnicí.

U třípásmové konstrukce se lze celkově dobrat nejlepších vlastností, ovšem jen za cenu náročnější a nákladnější konstrukce. Pokud se to konstruktérům povede, můžeme očekávat plný a vyrovnaný zvuk v celém pásmu.

4 Ozvučnice ¹

Laicky řečeno, ozvučnice je samotná bedna, ve které jsou reproduktory umístěny.

Ozvučnice má funkci uchycení reproduktorů do reprosoustavy, ale hlavně slouží k oddělení přední a zadní zvukové vlny z reproduktoru. Pokud by k tomuto oddělení nedošlo, mohlo by na jistých kmitočtech dojít k akustickému zkratu, což by způsobilo vzájemné vyrušení těchto kmitočtů.

Největší vliv má ozvučnice na nízké kmitočty takže všechny výpočty rozměrů ozvučnice se dělají podle basového reproduktoru. Ozvučnice také chrání basový reproduktor před zničením tím, že snižuje maximální výchylku reproduktoru. Ozvučnic je více typů, které mají různé vlastnosti pro různé použití.

4.1 Ozvučnice otevřená ²

Ozvučnice otevřená už nemá v dnešní době velké využití, protože se jí využívalo hlavně u starých televizí. Dnes se využívá hlavně pro kytarová komba s otevřenou zadní stranou. Když se zvětší hloubka, dochází ke snížení dolního mezního kmitočtu.

¹⁻² Článek ze serveru <http://www.dexon.cz/clanky/konstrukce-teorie/konstrukce-ozvucnice-reprosoustavy.html>

Článek z bakalářské práce: Kompletní návrh třípásmové reproduktorové soustavy z roku 2010 od autora Michala Jalového, VUT Brno. Strana 21-22

Článek z bakalářské práce: Laboratorní návrh reproduktorové soustavy z roku 2011 od autora Martina Šulce, VUT Brno, strana 19-20

4.2 Ozvučnice uzavřená ¹

Tato ozvučnice bývá svojí konstrukcí nejjednodušší. Dochází zde k oddělení přední a zadní vlny. Zadní vlna je utlumena uvnitř reproduktoru, což má za následek změny mechanické energie na teplo (sníží se nám účinnost) a využita je jen vlna přední. Této ozvučnice se využívá hlavně u HIFI reprosoustav, kde klademe důraz na velmi vysokou kvalitu reprodukce. Tato ozvučnice musí být velmi dobře utěsněna, aby nedocházelo k úniku části zadní vlny.

4.3 Ozvučnice typu Bassreflex ²

Tento typ ozvučnice vychází z ozvučnice uzavřené, ale navíc má na jedné ze stěn bassreflexový otvor. Tento otvor, pokud je naladěn na správný rezonanční kmitočet způsobuje přenos zadní vlny (který má opačnou fázi než přední vlna), která nám zesiluje samotnou reprodukci.

Tato ozvučnice se využívá nejvíce, a to z důvodu že u ní vzniká menší zkreslení. Zkreslení je menší proto, že díky bassreflexovému otvoru při rezonanční frekvenci dochází k menším výchylkám membrány reproduktoru.

Rezonanční kmitočet této ozvučnice je dán vztahem,

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{m_0 c_V}}$$

kde m_0 je hmota vzduchu v otvoru a c_V poddajnost objemu ozvučnice.

¹⁻² Článek z bakalářské práce: Laboratorní návrh reproduktorové soustavy z roku 2011 od autora Martina Šulce, VUT Brno, strana 19-20

Článek z bakalářské práce: Kompletní návrh třípásmové reproduktorové soustavy z roku 2010 od autora Michala Jalového, VUT Brno. Strana 21-22

4.4 Další druhy ¹

Samozřejmě, tyto druhy ozvučnic nejsou jediné, a existuje mnoho dalších experimentálních druhů ozvučnic.

ozvučnice typu "šnek", kdy – basový reproduktor se nachází uvnitř ozvučnice, čímž se zvuk zesílí

ozvučnice isobarické – reproduktory se nacházejí buď za sebou, nebo proti sobě. Toto řešení umožní uspořit objem ozvučnice.

Ozvučnice typu band-pass obsahuje více komor (alespoň jedna z nich je bass-reflex). Zde reproduktor nemíří přímo do prostoru, ale přes bass-reflexový nátrubek.

4.5 Objem ozvučnice ²

Obecně platí, že objemnější ozvučnice bude lépe vydávat nižší kmitočty.

To platí samozřejmě v rozumné míře, protože je taky třeba dbát na to, aby reproduktorové soustavy dbaly i na faktor úspory místa. Zde jsou doporučované objemy:

Průměr reproduktoru [cm]	Přibližný objem ozvučnice [l]
16	10–20
20	25–40
25	40–70
30	60–90

Tabulka 3: Objem ozvučnice v závislosti na průměru basového reproduktoru

¹ Článek z bakalářské práce: Laboratorní návrh reproduktorové soustavy z roku 2011 od autora Martina Šulce, VUT Brno, strana 20

² Článek z bakalářské práce: Laboratorní návrh reproduktorové soustavy z roku 2011 od autora Martina Šulce, VUT Brno, strana 20

Článek ze serveru <http://www.dexon.cz/clanky/konstrukce-teorie/konstrukce-ozvucnice-reprosoustavy.html>

5 Výhybky ¹

V případě, že máme jinou, než jednopásmovou soustavu je potřeba použít výhybky. Jak už bylo zmíněno výše, vícepásmové soustavy obsahují několik reproduktorů, který každý obsáhne určitý frekvenční rozsah. Ze zdroje signálu nám ale přichází jen jeden jediný signál, ve kterém jsou obsažena veškerá pásma. Proto je potřeba použít výhybku, která nám přichozí signál rozdělí na několik částí, z nichž každou poté pošle dál k odpovídajícímu reproduktoru. Jejich hlavními parametry je proto **počet pásem**, na který se přichozí signál bude dělit, a také **dělicí frekvence**, které znamenají hranici, kdy je stále pásmo jedno, a kdy už se má odbočit v pásmo další. V závislosti na tomto dělení se volí propusti. Pro hlubokotónový reproduktor se volí propust dolní, pro středotónový propust pásmová, a pro vysokotónový propust horní.

Další funkcí výhybek je odstranit některé nedostatky reproduktorů, a zajistit tak, aby se signál, který se do reproduktorů dostane, co nejvíce podobal tomu, který přichází ze zdroje signálu.

5.1 Typy výhybek ²

Výhybky dělíme na aktivní a pasivní.

Aktivní neboli elektronické potřebují ke svému provozu napájecí napětí. Její součástí jsou ovládací prvky, takže se používají tam, kde je potřeba výhybku dále ladit (nastavit dělicí frekvence, či jiné parametry)

S výhybkami **pasivními** se setkáme o dost častěji, protože v porovnání s výhybkami aktivními jsou velmi jednoduché, a tím pádem i levné na výrobu. Pasivní výhybky nemají žádné ovládací prvky, a ani nevyžadují napájecí napětí. Jedná se o jednoduchou kombinaci cívek a kondenzátorů.

¹ Článek ze serveru <http://www.dexon.cz/clanky/konstrukce-teorie/konstrukce-reproduktorovych-vyhybek.html>

Článek ze serveru <http://www.repromania.net/teorie/vyhybky.php>

² Článek ze serveru <http://www.repromania.net/teorie/vyhybky.php>

5.2 Filtry výhybek ¹

Filtry mají za úkol utlumit frekvenci, která se nám pro dané pásmo nehodí. **Filtry s horní propustí** mají za úkol potlačit frekvenci, která je **nižší**, než frekvence dělicí. Naopak **filtry s dolní propustí** mají za úkol potlačit frekvence, které jsou **vyšší** než frekvence dělicí.

5.2.1 Filtr Linkwitz – Riley ²

Tento typ filtru se volí, pokud se požaduje, aby amplituda akustického tlaku byla nezávislá na frekvenci. Platí zde ale podmínka, že vzdálenost mezi měniči musí být menší, než desetina vlnové délky a to z důvodu sčítání tlaků z obou měničů. Kdyby byla vzdálenost větší, k tomuto sčítání by docházelo jen na některých místech.

$$Q = 0,5, C = \frac{1}{4\pi fZ}, L = \frac{Z}{\pi f}$$

5.2.2 Filtr Butterworth ³

Tento typ filtru budeme volit, pokud chceme, aby na frekvenci byla nezávislá intenzita takzvaného difúzního pole, které vzniká odražením zvuku v místnosti, kde hubu posloucháme. U tohoto typu filtru je celkový příkon konstantní

$$Q = 0,71, C = \frac{1}{4\pi fZ} * \sqrt{2}, L = \frac{Z}{2\pi f} * \sqrt{2}$$

Filtrům se dále věnovat nebudu, protože ač by se o nich nechaly psát velmi rozsáhlé texty, nejsou cílem této práce.

6 Kabely reprosoustavy ⁴

Když se řekne pojem Reproduktorová soustava, asi to poslední co si pod tímto pojmem představíme, jsou kabely. Ale i kabely jsou tohoto celku součástí, protože bez nich by to zkrátka nešlo. Kabely jsou nepochybně podceňovaným prvkem, přitom jejich vliv je velmi znatelný. Jedná se o nejen kabely, které přenášejí signál ze zdroje do reprosoustavy, ale také o kabely, které vedou přímo k reproduktoru, jejichž vliv je o

¹⁻³ Článek ze serveru <http://www.repromania.net/teorie/vyhybky.php>
Článek ze serveru <http://www.marekweb.eu/vypocty.php>

⁴ Článek ze serveru <http://www.excelia-hifi.cz/reprosoustavy.html>

dost vyšší. Jak takový kabel může pomoci zlepšit zvuk? Ono se nejedná o to, že by zvuk nějak zlepšoval, spíše jde o to, že ho nijak nezhorší. Kabely totiž přenáší signály od jejich vzniku u zdroje, až po jejich reprodukci v reproduktoru, a tento přenos nemusí nekvalitní kabeláž úplně zvládnout, a může dojít ke ztrátě části signálu.

Základní údaje, které budeme při nákupu kabelů shánět jsou délka a průřez. Průřez by měl být minimálně 2,5 mm, protože kabely s průřezem menším dosahují horších výsledků. Co se týče délky, tak ta by měla být co nejmenší. Zase se to nesmí přehánět, aby se to nedělo na úkor nesprávného přibližování beden k sobě, což by mělo nevhodné akustické důsledky. Dalším parametrem, který nás při nákupu bude zajímat, je samozřejmě cena. Ta se obvykle pohybuje kolem deseti procent celkové ceny soustavy, což se může na první pohled zdát hodně, vzhledem k tomu že jde "jen" o kabely, nicméně kabely mají na starost veškeré přenosy signálů.

Nejdůležitější parametry kabelů jsou tři. A všechny tři jsou přímo úměrné délce kabelů a u všech tří také platí, že tím jsou menší, tím lépe pro nás, z čehož jasně plyne, že čím kratší kabely, tím lépe.

1. Odpor
2. Indukčnost – indukčnost dělá problémy především při přenosu vyšších frekvencí
3. Kapacita – má také vliv na frekvenční průběh. Pokud bude tento parametr dostatečně nízký, měl by být přenos méně problémový.

7 Konstrukce ¹

Konstrukce skříně by měla být dostatečně tuhá a robustní. Z praktického hlediska proto, aby v případě profesionálního využití reprosoustavy snesla časté stěhování a manipulaci. Z akustického hlediska proto, aby při reprodukci stěny nekmitaly a nevydávaly drnčení, nebo pazvuky, které by přispěly ke zkreslení celkové reprodukce. Z tohoto důvodu se do skříní, na stěny umisťují i různé výztuhy jako: vzpěry, příčky nebo žebra. Vyztužují se především velké plochy, a plochy nějakým způsobem zeslabené. Za zeslabenou stěnu se považuje především stěna přední, ve které jsou

¹ Článek z bakalářské práce: Laboratorní návrh reproduktorové soustavy z roku 2011 od autora Martina Šulce, VUT Brno, strana 25
Článek ze serveru <http://www.repromania.net/teorie/stavba-ozvucnic.php>

otvory pro umístění reproduktorů. K jejímu vyztužení se nejčastěji používají vzpěry z desek, nebo hranolů, které mohou být upevněny jak k bočním stěnám, tak i k stěně zadní.

Při konstrukci je třeba si dát pozor i na spáry, především mezi stěnami, ale i na spáry kolem reproduktorů a konektorů.

Pro profesionální reprosoustavy, kde je na prvním místě zvuk z beden vycházející, a vzhled je až vedlejší, se jako povrchová úprava používá speciální koberec. Pro soustavy určené do domácnosti, kde si hudbu pustíme jednou za týden a reproduktory tvoří spíše dekorační doplněk, který musí hezky vypadat a svou barvou jít třeba k nábytku, se používají většinou různé fólie imitující dřevo.

Dalším rozdílem mezi reprosoustavami profesionálními a domácími je ten, že reprosoustavy profesionální musí být uzpůsobeny na častou a snadnou a bezpečnou manipulaci. Takže většinou stojí na gumových nožkách, mají ochranné gumové rohy proti nárazu a jsou opatřeny různými držadly a rukojeťmi pro přepravu. Tyto prvky pro domácí reprosoustavy nutné nejsou, ale i u nich je vhodné je umístit na odhmoťňovací hroty, které do jisté míry zabrání šíření nežádoucích rezonancí do podlahy, díky čemuž nám potom nebude vibrovat celý obývací.

7.1 Tlumení ¹

Bednu je také třeba opatřit tlumením. V bedně totiž vzniká stojaté vlnění vyvolané membránou, které se ještě zkombinuje s akustickým tlakem vyvolaným basovým reproduktorem. Touto kombinací se nežádouce zvlí frekvenční charakteristika.

Tlumením se tedy snažíme tento jev odstranit, a to tak, že do bedny jednoduše umístíme tlumící materiál, který má co nejvyšší součinitel pohltivosti. Umisťuje se především do středu ozvučnice, aby ho bylo na stěnách co nejméně. Ten má za úkol stojaté vlnění pohltit, a k žádnému nežádoucímu zvlnění poté nedojde. Ovšem krom stojatého vlnění, pohlcuje i užitečnou zvukovou energii, vydávanou především při nízkých kmitočtech. Díky tomu je třeba pečlivě zvážit množství tlumícího materiálu, aby pohltil co nejvíce nežádoucího vlnění, ale zároveň co nejméně negativně ovlivnil nízké kmitočty.

¹ Článek ze serveru <http://www.dexon.cz/clanky/konstrukce-teorie/konstrukce-ozvucnice-reprosoustavy.html>

Článek ze serveru <http://www.repromania.net/teorie/stavba-ozvucnic.php>

Při přibližném návrhu se obvykle vychází z velikosti basového reproduktoru, kdy se průměr reproduktoru v centimetrech zhruba rovná tloušťce tlumícího materiálu v milimetrech (průměr reproduktoru 20cm =tloušťka tlumícího mat. 20mm)

7.2 Velikost reprosoustav ¹

Z tohoto pohledu se reprosoustavy dělí na dva typy – Regálové a Podlahové.

Regálové reprosoustavy se vyrábějí většinou dvoupásmové. Lze je umístit na policičku, do nábytku anebo nejlépe na stojan. Rozměry bývají maximálně 50x30cm.

Sloupcové reprosoustavy jsou o dost rozměrnější, takže se na policičku prostě nevejdou. Umisťují se na podlahu, protože jejich výška bývá klidně 100-200cm. Na rozdíl od soustav regálových, soustavy sloupcové jsou o dost rozměrnější, a nedají se "schovat" třeba do skříně. Tím pádem si jich každý hned všimne a podle toho musí také vypadat. Takže krom funkčnosti je také velmi důležitým prvkem jejich vzhled.

Vestavné reprosoustavy, jak už název napovídá, jsou určeny k vestavbě. Nejčastěji to bývají malé jednopásmové bedýnky, které mají mít hlavně malé rozměry, aby se daly vestavět co nejsnadněji. Používají se k vestavění například do stropních sádkartonových konstrukcí (snad každý se s touto variantou setkal na veřejných chodbech v obchodních domech), či do stěny například jako ozvučení vestavěné obývací stěny.

Z tohoto pohledu je tedy nutné dobře zvážit, jaký prostor budou soustavy ozvučovat.

Jak píše autor Jiří Sedláček v článku na serveru <http://www.excelia-hifi.cz/reprosoustavy.html>: Stejně tak jako je nesmysl nechat hrát jedenáctilitrové dvoupásmovky v hale rodinného sídla, do místnosti rozměrů 3 x 4 m zastavěné nábytkem je směšné kupovat třípásmovou soustavu vysokou metr a půl, osazenou dvěma 25 cm basovými reproduktory. Vlivem určitých akustických faktorů (charakteristika šíření kmitočtů, difuze zvukových vln apod.) budete poslouchat dokonale znehodnocený zvuk.

¹ Článek ze serveru <http://www.prochlapy.cz/clanky/poznejte-svet-reproduktorovych-soustav/>
Článek ze serveru <http://www.excelia-hifi.cz/reprosoustavy.html>

7.3 Umístění reproduktorů ¹

Jak se dá čekat, nejnižší bývá umístěn reproduktor hlubokotónový, a nejvýše reproduktor vysokotónový.

Vysokotónový i středotónový reproduktor by měly být zapuštěny do přední stěny. Hlubokotónový zapuštěn být nemusí, často ale bývá, protože když už někdo zapouští dva reproduktory, tak proč to samé neudělat i s třetím.

Složitější bývá reproduktory na čelní stěně rozmístit. Nejčastěji se symetricky rozmisťují dle svislé osy, nemusí tak ale být vždy. Když stavíme třípásmovou soustavu, měli bychom udělat co nejmenší vzdálenost mezi basovým a středotónovým reproduktorem. Vzdálenost mezi středotónovým a vysokotónovým by měla být 5/4 vlnové délky. Zároveň je třeba počítat s tím, že pro nejlepší dojem by měl být výškový reproduktor umístěn v úrovni uší. To se ale dá vyřešit až rozmístěním reproduktorů v prostoru, kde chci hudbu přehrávat.

7.4 Materiály skříně ²

Materiál stěn je velmi důležitým faktorem, pro stavbu kvalitní reprosoustavy. Materiál se volí tak, aby byl co, nejtuzší, aby měl co největší vnitřní tlumení, ale aby nebyl nějak zvláště těžký. Důležité je také důkladně utěsnit spoje, aby nedocházelo k netěsnostem.

Tloušťka stěny samozřejmě závisí na použitém materiálu a také na velikosti celé bedny. Obecně se užívají následující hodnoty:

Objem ozvučnice	Tloušťka stěny
do 5l	12 mm
do 20l	15-18 mm
nad 20l	více než 18mm

Tabulka 4: Tloušťka stěny ozvučnice v závislosti na jejím objemu

¹ Článek na serveru http://www.audio-hodas.cz/clanky/jak_nakupovat.php
Článek na serveru <http://www.repromania.net/teorie/stavba-ozvucnic.php>

² Článek na serveru <http://www.repromania.net/teorie/stavba-ozvucnic.php>

7.4.1 Plasty¹ se pro výrobu kvalitnějších reprosoustav využívají málokdy, setkáme se s nimi spíše jen u levných, málo kvalitních zařízení. Jejich kladnou vlastností je, že se u nich nechá snáze ovlivnit více vlastností, a udělat si materiál přímo na míru. Plastové bedny bývají také například oproti dřevu méně rozměrné. Proč se ale používají málo? Jednoduše nejsou schopny dosáhnout tak dobrých vlastností, jakých dostaneme například u dřeva.

U plastů je také potřeba klást velký důraz na spoje, a slícování jednotlivých dílů, aby se především u subwooferu, který vydává velké vibrace nestávalo, že bude nějaký díl "vrzat", nebo "drnčet".

7.4.2 Dřevo² se k výrobě beden díky svým vlastnostem používá asi nejčastěji. Zde jsou některé typy dřeva, které se pro stavbu užívají:

M.D.F. – (anglicky Medium Density Fibreboards) neboli Středně hustá deska z fibru. Tento materiál má velkou tuhost, velké vnitřní tlumení, ale je i dost těžký. Užívá se především pro domácí HIFI

Dřevovláknitá deska neboli dřevotříska, je jedním z nejvíce používaných typů dřeva. Tento materiál je lehčí, levnější ale méně houževnatější než středně hustá deska z fibru. Díky menší houževnatosti se obvykle používá dřevotříska o tloušťce až 25mm.

Lamináty jsou slepené pláty různých druhů dřeva. Rozdílnost těchto druhů dřeva má pozitivní vliv na snížení rezonance skříně. Výhodou takto slepené desky je nízká hmotnost a tloušťka.

7.4.3 Kámen³ je, co se tuhosti týče ideálním materiálem. Je ale velmi těžký a při vibracích má tendenci zvonit, takže jeho praktické použití k tomuto účelu je raritou.

¹ Vlastní myšlenka

Článek ze serveru <http://avmania.e15.cz/vybirame-aktivni-reprobedny-k-pc-pro-poslech-hudby-i-filmu/ch-4487>

²⁻³ Článek z balakářské práce: Kompletní návrh třípásmové reproduktorové soustavy z roku 2010 od autora Michala Jalového, VUT Brno. Strana 25-26

7.4.4 Kov 1 se k výrobě reproduktorů nepoužívá vlastně vůbec. Soustava by byla velmi těžká, kovy špatně reagují na vibrace, vytvořené reproduktorem, a také o nějakém vnitřním tlumení nemůže moc být řeč.

7.5 Tlumící materiály ²

Tlumící rouno – často užívaný materiál, je vyrobeno z termopojeného rouna, takže špatná snáší vysoké teploty. Například u PA soustav, které mají příkon několik kilowatt se nesmí umístit přímo na magnet, nebo výhybku reproduktoru. Ovšem klasické HIFI soustavy určené pro domácnost nejsou schopné teplotu rouno ohrožující vyvinout.

Vatelín (polyamidové rouno) – jemný syntetický materiál velmi podobný vatě. Je jak zvukový tak tepelný izolant. Vyrábí se z polyesterových vláken a akrylátového pojiva. Používá se jako tlumící materiál do reprosoustav, ale i například jako výplň zimních oděvů.

8 Rezonanční obvody ³

Co se výpočtu týče, dají se reproduktorové soustavy považovat za takzvané **rezonanční obvody**. Elektrotechnická definice rezonančního obvodu zní, že je to komplexní jednobran (Jednobran, neboli dvojpól znamená nějaká součástka se dvěma vývody – kondenzátor, cívka atd...)

Rezonanční obvod funguje na principu, že při určité (rezonanční) frekvenci se vyrovná induktivní a kapacitní reaktance a v tuto chvíli se začne obvod chovat jako činný odpor. Tento moment se nazývá pojmem Rezonance (podle kterého pochází i název těchto obvodů).

Rezonanční obvody mohou být zapojeny:

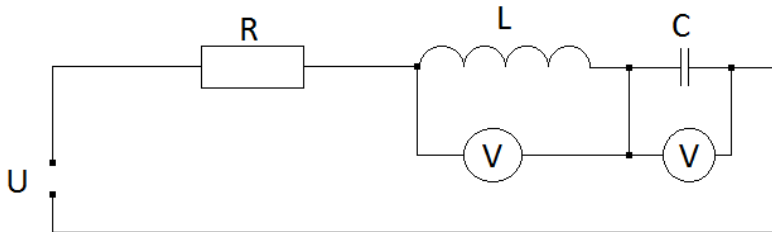
¹ Vlastní myšlenka

² Článek ze serveru <http://www.repromania.net/teorie/stavba-ozvucnic.php>
Hodnoty z položek na serveru <http://www.reproobchod.cz/tlumici-material-a1048>

³ Článek na serveru http://cs.wikipedia.org/wiki/Rezonan%C4%8Dn%C3%AD_obvod
Sešit z elektrotechniky z 2. ročníku

8.1 Sériově ¹

U sériových obvodů se při rezonanční frekvenci se výrazně zvýší **proud**, a zároveň má obvod v tomto bodě **nejmenší** impedanci.



Obrázek 3: Schéma sériového zapojení rezonančního obvodu

$$\text{Impedance: } Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

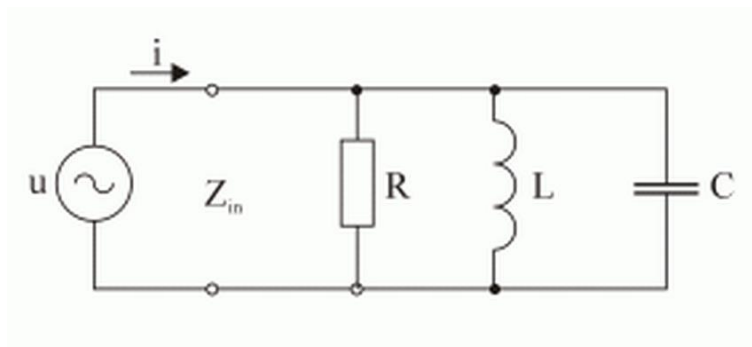
$$\text{Kapacitní reaktance: } X_C = \frac{1}{2 * \pi * f * C}$$

$$\text{Induktivní reaktance: } X_L = 2 * \pi * f * L$$

$$\text{Napětí: } U = Z * I$$

8.2 Paralelně ²

U paralelního zapojení se při rezonanční frekvenci se výrazně zvýší **napětí** a zároveň má v tomto bodě obvod **nejvyšší** impedanci.



Obrázek 4: Schéma paralelního zapojení rezonančního obvodu

¹ Sešit z elektrotechniky z 2. ročníku
Protokol: Měření rezonančních obvodů" z druhého ročníku

² Sešit z elektrotechniky z 2. ročníku
Protokol: Měření rezonančních obvodů" z druhého ročníku
Schéma zapojení z <http://www.elektrorevue.cz/clanky/02022/index.html>

$$\text{Admitance: } Y = \frac{1}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

8.3 Výpočet rezonančních obvodů ¹

Měření rezonančního obvodu a jeho výpočty jsme prováděli v druhém ročníku v laboratořích elektrotechniky. Naměřené hodnoty jsem zpracovával do protokolu. Tehdy jsem to bral jen jako další z měření, a netušil jsem, k čemu všemu takové rezonanční obvody slouží a že se s nimi v praxi setkám velmi často. To, že se jedná vlastně o reproduktorové soustavy jsem si uvědomil, až při zpracovávání této ročníkové práce. Proto zde uvádím část výše zmíněného protokolu.

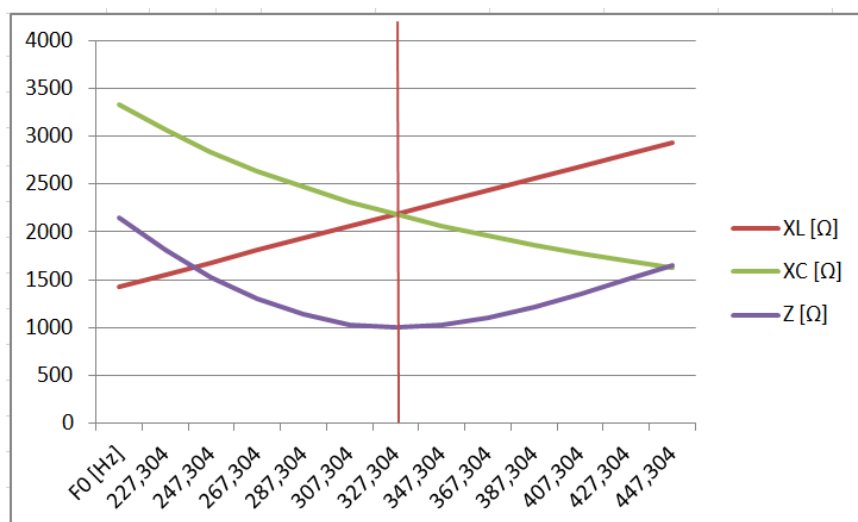
Tyto rezonanční obvody, a jejich měření byly dalším motivačním faktorem, který mě ovlivňoval při výběru tématu ročníkové práce. Tehdy při elektrotechnice mě měření bavila, a zejména měření rezonančních obvodů, a lákala mě možnost tato měření využít v praxi.

R=	1000 Ω	P.Č.	F ₀ [Hz]	U _L [V]	U _C [v]	X _L [Ω]	X _C [Ω]	Z [Ω]	I _L [mA]	I _C [mA]
L=	1 H	1	227,304	3,551503	0,968592	1428,192	3334,219	2152,426	1,65	0,45
U=	5 V	2	247,304	2,80814	0,996437	1553,856	3064,574	1811,703	1,55	0,55
C=	210 nF	3	267,304	2,216073	0,993412	1679,519	2835,279	1528,326	1,45	0,65
		4	287,304	1,75678	0,975989	1805,183	2637,907	1301,319	1,35	0,75
		5	307,304	1,417873	1,020868	1930,846	2466,227	1134,298	1,25	0,9
		6	327,304	1,187951	1,033	2056,51	2315,527	1033	1,15	1
		7	347,304	1,05	1,05	2182,174	2182,184	1000	1,05	1,05
		8	367,304	0,977978	1,183868	2307,837	2063,363	1029,45	0,95	1,15
		9	387,304	0,997024	1,384756	2433,501	1956,813	1107,805	0,9	1,25
		10	407,304	0,975808	1,585689	2559,164	1860,726	1219,76	0,8	1,3
		11	427,304	1,014657	1,894026	2684,828	1773,635	1352,876	0,75	1,4
		12	447,304	1,049023	2,247905	2810,492	1694,332	1498,604	0,7	1,5
		13	467,304	1,073482	2,559841	2936,155	1621,816	1651,51	0,65	1,55

Tabulka 5: Vypočítané hodnoty rezonančního obvodu

¹ Vlastní myšlenka

Protokol: Měření rezonančních obvodů" z druhého ročníku



Graf 2: Impedance a reaktance v rezonančním obvodu

Stejným postupem se nechají vypočítat všechny hodnoty pro všechna frekvenční pásma, potřebná pro danou reprosoustavu. Ať už se jedná o jednopásmovou, kde jeden reproduktor přenáší všechny slyšitelné zvuky, nebo o soustavu vícepásmovou, kde se toto spektrum lidského slyšení rozloženo mezi několik reproduktorů.

9 Nákres ¹

Jak jsem již rozebíral výše v odstavci o volbě pásem soustavy, vyřadil jsem jednopásmové, jeden a půl pásmová, dvou a půl pásmové, tři a půl pásmová a čtyřpásmové. Takže pokud bych měl danou soustavu někdy vyrábět, byla by buď dvoupásmová, nebo třípásmová. Toto rozhodnutí, jestli dvou nebo tři pásmová není vůbec jednoduché. Dvoupásmová soustava je sice oproti třípásmové ochuzena o nejspodnější oktávu, jenže také je ji mnohem jednodušší správně postavit a seřadit, tím pádem nakonec můžeme dosáhnout lepšího zvuku oproti třípásmové, na které je toho mnohem víc co zkazit.

Takže i zde uvedu jak soustavu třípásmovou, tak dvoupásmovou.

9.1 Třípásmová

Soustavy mám v úmyslu umístit do svého pokoje, který není tak rozměrný, abych si mohl dovolit dvoumetrové sloupové soustavy. Rozhodl jsem se tedy pro rozměry ozvučnice **30x30x60 centimetrů**. Což znamená obsah **54 litrů**. Z konstrukčního

¹ Vlastní myšlenky

Rozměry reproduktorů pocházejí z obchodu <http://www.reproobchod.cz/>

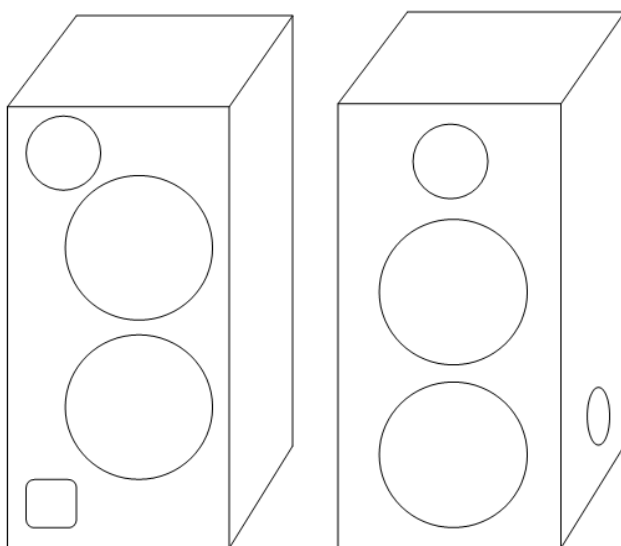
hlediska je také důležité, jaký typ ozvučnice zvolit. Pro tento návrh jsem si zvolil ozvučnici typu bass-reflex, díky výhodám, které jsem popsal výše. To znamená, že se na ozvučnici bude muset nacházet **bass-reflexový otvor**.

Přímo model reproduktoru zatím volit nebudu. Tato volba by se prováděla až před samotnou konstrukcí. Pro nákres ovšem potřebuji rozměry. Rozměry volím samozřejmě podle zvolených rozměrů ozvučnice a rozměry si nevymýšlím, ale volím je podle katalogů jako rozměry, které se běžně vyrábí, takže později nebude problém reproduktory takto veliké sehnat, naopak bude i slušný výběr.

Basový reproduktor = Ø 203mm (8"), středotónový reproduktor se stejnými rozměry a výškový reproduktor = Ø 104mm

Zde jsem uvážil dvě možnosti řešení. 1) umístit reproduktory mimo osu, a bassreflexový otvor taktéž na přední stěnu 2) umístit reproduktory do osy, a z důvodu nedostatku místa bassreflexový otvor umístit na boční stěnu.

Samozřejmě že otvor může být i na boční stěně, jenže soustavy budou regálové, takže umístěny kdesi ve skříni, a musel by se klást důraz na to, aby při umístění soustav nebyl otvor přímo přiložený na stěnu, nebo zastavěný nějakými věcmi, protože pak by ztratil svůj původní účel.



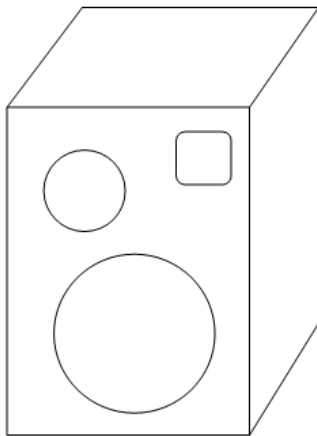
(přibližné měřítko 1:10)

Obrázek 5: Náčrt třípásmové soustavy

9.2 Dvoupásmové

U dvoupásmových reprosoustav se basový a středový reproduktor nahrazují reproduktorem středobasovým. Jinak řečeno místo dvou velkých reproduktorů je zde pouze jeden. Tím pádem, nejsou třeba taková výška, jako u reprosoustav třípásmových. Tuto výšku tedy snížím o rozměry jednoho velkého reproduktoru a použiji **30x30x40 centimetrů** což dá objem **36 litrů**. Typ ozvučnice zůstává stejný, takže opět bude potřeba bass-reflexový otvor.

Rozměry: Výškový reproduktor = Ø 104 mm, středobasový reproduktor Ø 203mm (8")



(přibližné měřítko 1:10)

Obrázek 6: Náčrt dvoupásmové soustavy

Zde jsem zvolil jen jedno řešení, kdy mírným odsunutím výškového reproduktoru z osy získáme dostatek místa pro bass-reflexový otvor.

Závěr

Díky této práci jsem se o tomto tématu, o kterém jsem dříve netušil skoro nic, dozvěděl mnoho nových informací. Tyto informace mi jistě budou časem k užitku ,protože reproduktorovou soustavu má doma skoro každý, ale většina z těchto lidí nemá absolutně žádné tušení o tom,jak to funguje. Díky této práci k těmto lidem již nepatřím. Práci jsem zpracovával tak, že jsem pročetl různé texty o dané problematice, čímž jsem získával vědomosti, které jsem následně použil pro samotnou práci. Často se stávalo, že když jsem se po dopsání většiny práce vrátil k částem, které jsem psal na začátku, kdy jsem tomu ještě nerozuměl tak jako teď, tak jsem tyto části musel kompletně přepracovat, aby odpovídaly mým nárokům, které se s přibývajícimi vědomostmi zvyšovaly

Seznam použité literatury

Balackářské práce: Kompletní návrh třípásmové reproduktorové soustavy z roku 2010 od autora Michala Jalového, VUT Brno.

Bakalářská práce: Laboratorní návrh reproduktorové soustavy z roku 2011 od autora Martina Šulce, VUT Brno.

Článek ze serveru <http://cs.wikipedia.org/wiki/Zvuk> Poslední datum editace 15. 3. 2015

Článek ze serveru <http://www.paroc.cz/knowhow/zvuk/obecne-informace-o-zvuku> od společnosti Paroc group

Článek ze serveru <http://www.excelia-hifi.cz/reprosoustavy.html>

Článek ze serveru http://www.audio-hodas.cz/clanky/jak_nakupovat.php od Ing. Jaromíra Hodinky

Článek ze serveru <http://www.audified.com/projekt/ft-ta3010/page5/page10/page10.html> od Ústavu telekomunikací FEKT, VUT Brno

Článek ze serveru <http://kb-info.blog.cz/0905/vynalezce-reproduktoru>

Článek ze serveru <http://www.elweb.cz/clanky.php?clanek=67> od Bc. Marina Olejára

Článek ze serveru <http://www.repromania.net/teorie/parametry-reproduktoru.php> od Lukáše Kratochvíla

Článek ze serveru <http://cs.wikipedia.org/wiki/Reproduktor>

Článek ze serveru <http://www.prochlapy.cz/clanky/poznejte-svet-reproduktorovych-soustav/> od autora s pseudonymem Pseudofilosof

Článek ze serveru <http://www.dexon.cz/clanky/konstrukce-teorie/konstrukce-ozvucnice-reprosoustavy.html>

Článek ze serveru <http://www.repromania.net/teorie/vyhybky.php>

Článek ze serveru <http://www.marekweb.eu/vypocty.php>

Článek ze serveru <http://www.repromania.net/teorie/stavba-ozvucnic.php>

Článek ze serveru <http://avmania.e15.cz/vybirame-aktivni-reprobedny-k-pc-pro-poslech-hudby-i-filmu/ch-4487>

Hodnoty z položek na serveru <http://www.reproobchod.cz/tlumici-material-a1048>

Článek na serveru http://cs.wikipedia.org/wiki/Rezonan%C4%8Dn%C3%AD_obvod

Sešit z elektrotechniky z 2. ročníku

Protokol: Měření rezonančních obvodů" z druhého ročníku

Rozměry reproduktorů pocházejí z obchodu <http://www.reproobchod.cz/>

Časopis Elektro Revue z 15.4.2009 číslo 18 od autora Ing. Ondřeje Huttla

Seznam obrázků, tabulek, grafů,

Tabulka 1: Přirovnání hlasitosti k hodnotám akustického tlaku.....	11
Graf 1: Sinusový průběh tónu.....	11
Obrázek 1: Části reproduktoru.....	14
Tabulka 2: Velikost kmitací cívky v závislosti na příkonu.....	15
Tabulka 3: Objem ozvučnice v závislosti na průměru basového reproduktoru.....	21
Obrázek 2: Schéma zapojení od výhybky k reproduktoru.....	22
Tabulka 4: Tloušťka stěny ozvučnice v závislosti na jejím objemu.....	26
Obrázek 3: Schéma sériového zapojení rezonančního obvodu.....	28
Obrázek 4: Schéma paralelního zapojení rezonančního obvodu.....	29
Tabulka 5: Vypočítané hodnoty rezonančního obvodu.....	30
Graf 2: Impedance a reaktance v rezonančním obvodu.....	30
Obrázek 5: Náčrt třípásmové soustavy.....	32
Obrázek 6: Náčrt dvoupásmové soustavy.....	32