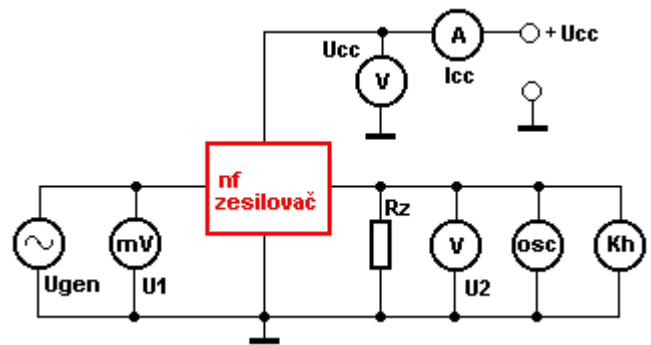


Přenosové a výstupní parametry zesilovačů, pojmy

Nízkofrekvenční zesilovač je vzhledem k přenosu střídavého signálu charakterizován pro zesilovač s jedním vstupem níže uvedenými parametry:

Obecné zapojení, v němž lze dále uváděné parametry měřit, je uvedeno na obrázku vpravo. Je použitelné pro měření zesilovačů se zesílením do 60 dB. Pro větší hodnoty zesílení A_u je vhodné je modifikovat zapojením děliče vstupního napětí mezi generátor s milivoltmetrem a vstup měřeného obvodu.



Napět'ové zesílení A_u

Napět'ové zesílení A_u je poměr hodnot výstupního (U_2) a vstupního (U_1) střídavého napětí zesilovače

Napět'ové zesílení bývá obvykle udáváno a měřeno jako zesílení otevřené smyčky. Pokud zesilovač obsahuje vnitřní zpětné vazby, popř. je určen výhradně pro funkci s definovaným zesílením, jsou měřeny i hodnoty zesílení uzavřené smyčky. Nízkofrekvenční zesilovač obvykle charakterizujeme modulem zesílení při středním kmitočtu f akustického pásma ($f=1\text{kHz}$).

Šířka pásma BW

Šířka pásma (pro pokles o 3 dB) BW je dána rozsahem kmitočtů, v němž napět'ové zesílení A_u neklesne o více než o 3 dB pod úroveň napět'ového zesílení při daném kmitočtu (běžně 1kHz) ve středu pásma .

Harmonické zkreslení K_h

Harmonické zkreslení K_h je poměr efektivní hodnoty napětí všech harmonických složek výstupního napětí zesilovače bez složky první harmonické k efektivní hodnotě celkového výstupního napětí.

Harmonické zkreslení je měřítkem linearit y zesilovače a určuje použitelný dynamický rozsah zesilovače při jeho plném vybuzení.

Maximální výstupní napětí U_{omax}

Maximální výstupní napětí U_{omax} je maximální velikost efektivní hodnoty výstupního napětí bez jeho omezení (nebo pro definované zkreslení). Udává se také jako maximální mezivrcholová hodnota výstupního napětí U_{oppmax} . Maximální výstupní napětí bývá někdy uváděno v katalogových listech, často např. u výkonových operačních zesilovačů.

Výstupní výkon zesilovače P_o

Výstupní výkon zesilovače P_o je výkon střídavého signálu odevzdaný do reálné složky výstupní zátěže R_z . Měří se pro danou hodnotu vstupního napětí U_1 nebo pro dané harmonické zkreslení K_h .

Podmínky pro měření těchto parametrů zahrnují konkrétní zapojení obvodu, dále hodnotu napájecího napětí U_{cc} , vstupního napětí U_1 a zatěžovacího odporu R_z .

1) Napět'ové zesílení A_U

Obvykle se nejprve měří celkové napět'ové zesílení konkrétního zesilovače. Měří se zpravidla pro maximální výkon. To zkontrolujeme tak, že na výstup připojíme osciloskop, na vstup generátor a nastavíme 1kHz. Napětí zvyšujeme až do okamžiku, kdy začne zesilovač zkreslovat (ideálně začnou omezovat obě půlvlny najednou). Pak mírně ubereme signál na generátoru, abychom zabezpečili nezkreslený signál v celém rozsahu měření. K výstupu připojíme NF voltmetr a odečteme hodnotu signálu ve voltech a eventuálně také v dB. Poté přepojíme NF milivoltmetr na vstup (nebo použijeme dva milivoltmetry) a opět odečteme hodnotu signálu ve voltech a v dB.

Zesílení se pak vypočte podle vzorce : $A_U = \frac{U_{výstupní}}{U_{vstupní}}$.

Pro výpočet zesílení v dB použijeme vzorec: $A_{UdB} = 20 \log \frac{U_{výstupní}}{U_{vstupní}}$.

Pokud jsme odečítali také z dB stupnice, můžeme údaje odečíst a výsledek by měl být stejný jako u výpočtu.

$$A_{UdB} = U_{dBvýst} - U_{dBvst}$$

Můžeme provést kontrolní měření ne více kmitočtech.

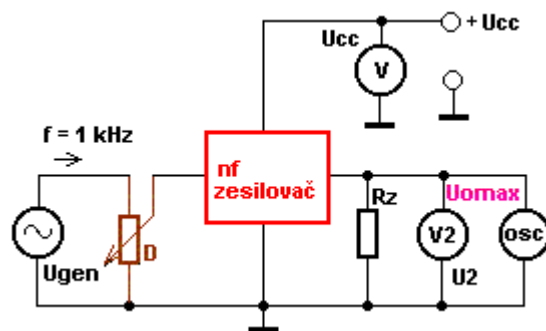
2) Výstupní výkon nízkofrekvenčního zesilovače

Maximální výstupní výkon měříme za podmínek konstantního napájecího napětí $+U_{cc}$ (měříme voltmetrem **V**) a konstantní zátěže **R_z** při definovaném kmitočtu **f** (nejčastěji při 1 kHz).

Postup:

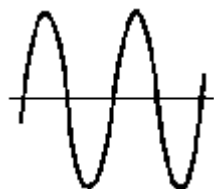
Na vstup měřeného zesilovače připojte sinusový nf generátor **U_{gen}** a kmitočet **f** nastavte na 1 kHz. Paralelně k generátoru připojte regulovatelný dělič napětí tvořený potenciometrem **D**.

Na výstup nf zesilovače připojte zátěž **R_z** odpovídající výkonu a o jmenovitém ohmickém odporu. Pokud se jedná o zesilovač s výkonem řádově desítek nebo stovek wattů, musí tomuto výkonu odpovídat i výkonové zatížení zátěže. Jako zátěž lze použít při menších výkonech např. paralelní spojení výkonových rezistorů, pro velké výkony blízkící se řádově stem wattům se musí zátěž vyrobit např. ze speciálního odporového drátu. Stále ale platí výše uvedená podmínka, že ohmický odpor zátěže musí odpovídat impedanci připojovaných reproduktorů nebo reproduktorových soustav (nejčastěji 4 nebo 8 ohmů).



Paralelně k této zátěži **R_z** připojte střídavý nízkofrekvenční voltmetr **V2**. Osciloskop **osc** připojte taktéž paralelně k zátěži **R_z** pro sledování tvaru výstupního signálu. Regulator hlasitosti nízkofrekvenčního zesilovače (pokud jej má) nastavte na maximální hlasitost (tzn. otočení doprava).

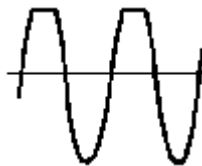
Připojte napájecí napětí **U_{cc}** a začněte pozvolna budit zesilovač malým vstupním napětím z **U_{gen}** o kmitočtu **f** (1 kHz) přes potenciometr **D** (např. potenciometr 47k, 100k apod) z generátoru.



(obrázek vlevo).

Amplituda výstupního napětí **U₂** se bude zvětšovat úměrně s tím, jak budete zvyšovat buzení zesilovače z generátoru (sledujete na voltmetru **V2**). **Buzení zajistíte tak, že během potenciometru D budete velmi pozvolna otáčet doprava („přidávat hlasitost“).** Nezkreslený sinusový signál o kmitočtu 1 kHz sledujte na osciloskopu **osc**

Na osciloskopu **osc** dále za stálého pozvolného buzení sinusovky. **Sinusovka v určitém okamžiku během buzení limitovat - to znamená, že jeden z vrcholů (nebo vrcholy) ořezávat a to tím více, čím více se zvětšuje buzení zesilovače. zesilovač začíná být přebuzen vstupním napětím U_{gen} a zkresluje.** Pokud začne jako první ořezávat vrchní půlvlna, hovoříme o **limitaci kladné půlvlny** (viz obrázek vpravo).



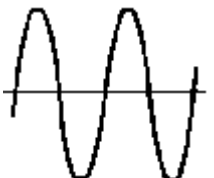
sledujte tvar zesilovače začne tzv. sinusovky se začne **Znamená to, že výstupní signál se tím**



Pokud začne jako první ořezávat dolní půlvlna, hovoříme o **limitaci záporné půlvlny**

(viz obrázek vlevo).

Začnou-li ořezávat obě půlvlny současně, hovoříme o **limitaci obou půlvln současně** (viz obrázek vpravo)



Snižte buzení zesilovače potenciometrem D tak, aby na obrazovce osciloskopu osc bylo zobrazení limitace sinusovky minimální (viz obrázek vlevo). Na voltmetru V2 přečtete amplitudu maximálního výstupního napětí U_{omax} a poznačte si ji!



Porovnejte minimální limitaci sinusovky s nezkresleným sinusovým signálem o kmitočtu 1 kHz (obrázek nahoře).

$$P = \frac{U_{\text{omax}}^2}{R_z} [W; V, \Omega]$$

Výstupní výkon vypočtete ze vzorce:

Z výše uvedeného vzorečku vyplývá závěr, že pokud se zvýší ohmická zátěž R_z (např. ze 4 ohmů na 8 ohmů), sníží se výstupní výkon zesilovače. Platí to i obráceně - zde ale hrozí velmi reálné nebezpečí, že při zmenšení ohmické zátěže (její velikost je dána výrobcem) pod stanovenou velikost dochází k přetěžování koncového stupně zesilovače.

S problematikou výstupního výkonu zesilovače také úzce souvisí velmi podobné měření, a to [nastavení nízkofrekvenčního zesilovače do lineárního režimu](#).

3) Šířka pásma a frekvenční charakteristika

Šířka pásma nám udává krajní hranice, kdy již zesilovač přestává zesilovat. Horní a dolní kmitočet je určen hranicí poklesu o tři dB vůči nominálnímu kmitočtu (zpravidla 1 kHz, u linkových zařízení je to 0,8 kHz, měření pak probíhá také v N_p – neperech). Měření probíhá tak, že si nastavím na NF generátoru 1 kHz a vstupní napětí takové, aby zesilovač ještě neomezoval, a pak je dobré se nastavit v daném rozsahu na 0dB. Tento údaj si poznamenám a pak se rozladí kmitočet směrem dolů, až dojde k poklesu o 3dB. Tento údaj je **dolní kmitočet** frekvenční charakteristiky. Totéž měření provedu také k horním kmitočtům. Opět přeladím kmitočet směrem k vyšším hodnotám a sleduji, zda někde nedojde ke zvýšení nebo poklesu signálu o 3 dB (± 3 dB). Při poklesu o 3 dB zapíšu opět kmitočet, což je **horní kmitočet** frekvenční charakteristiky.

Pro vytvoření grafu je nutné změřit další kmitočty v daném rozsahu. Zpravidla se udávají tyto kmitočty: **16, 25, 31.5, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150, 4000, 5000, 6300, 8000, 10000, 12500, 16000** Hz. Tyto kmitočty se volí přednostně, neboť se jedná o kmitočty ležící ve středu třetinooktávových pásem, pokrývajících celý rozsah. Z naměřených hodnot se sestrojuje graf, používá se logaritmický papír a logaritmická stupnice je pro **osu x**, kde se udávají kmitočty. Na **osu y** se vynáší zesílení (buď v poměrovém čísle nebo v dB).

Postup:

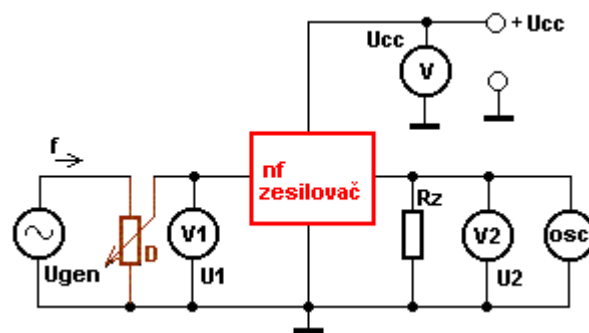
Před vlastním měřením kmitočtové charakteristiky musíte uvést zesilovač do lineárního režimu. Teprve pak je možné přejít k samotnému měření kmitočtové charakteristiky.

Na vstup měřeného zesilovače připojte sinusový nf generátor **Ugen** a nastavte první z měřících kmitočtů **f**. Tyto kmitočty bývají zadány. Pokud nejsou, je možné využít řadu měřících kmitočtů uvedených níže v tabulce.

Paralelně k generátoru připojte regulovatelný dělič napětí tvořený potenciometrem **D**. Za něj zapojte střídavý nízkofrekvenční voltmetr **V1**. **Střídavý nízkofrekvenční voltmetr V1 (V2) v žádném případě nenahradí běžný multimetr!**

Na výstup nf zesilovače připojte zátěž **Rz** odpovídajícího výkonu a o jmenovitém ohmickém odporu (nejčastěji 4 nebo 8 ohmů podle připojovaných reproduktorů nebo reproduktorových soustav). Jako zátěž se nedoporučuje připojovat skutečnou reproduktorovou soustavu z důvodu možného přetížení výškového systému (reproduktoru) při měření na vysokých kmitočtech a z důvodu "kdo to má vydržet poslouchat!". Na pozici zátěže **Rz** se tedy hodí "klasický" rezistor nebo kombinace rezistorů o příslušném ohmickém odporu (4 či 8 ohmů) a s dostatečnou zatížitelností (tzn. pokud je zesilovač schopen dodat výkon desítky wattů, musí tento výkon snést i zátěž).

Paralelně k této zátěži **Rz** připojte střídavý nízkofrekvenční voltmetr **V2**, kterým budete měřit **střídavé výstupní napětí U2**. Je-li k dispozici osciloskop **osc**, je výhodné jej připojit taktéž paralelně k zátěži pro sledování tvaru výstupního signálu (nesmí být zkreslen nebo jinak deformován), případně pro indikaci nestabilit zesilovače vznikajících parazitními vazbami nesprávně uspořádaného měřícího zapojení. Regulátor hlasitosti nízkofrekvenčního zesilovače nastavte na maximální hlasitost (tzn. otočení doprava).



Zesilovač buďte střídavým napětím ze sinusového nf generátor **Ugen** a postupně nastavujte měřící kmitočty **f**. Velikost vstupního (budícího) napětí **U1** vyplývá jednoznačně z hodnot stanovených **lineárním režimem**. **Pozor - velikost napětí U1 musíte pro zbytek celého měření udržovat stálou (konstantní), jak vyplývá i z tabulky naměřených hodnot !!** Ke kontrole velikosti budícího napětí **U1** slouží připojený nízkofrekvenční voltmetr **V1**. Pokud by docházelo ke změnám velikosti **U1** při nastavování měřících kmitočtů, je možné potenciometrem **D** upravit velikost napětí **U1** na správnou hodnotu.

U zesilovačů s nastavitelnými korekčními obvody se doporučuje měřit při vyřazených korekcích, je-li to možné; nebo nastavit regulační prvky těchto korekcí do střední polohy.

Řada měřících kmitočtů	30 Hz	40 Hz	100 Hz	200 Hz	500 Hz	10kHz	5 kHz	10 kHz	16 kHz	20 kHz
------------------------	-------	-------	--------	--------	--------	-------	-------	--------	--------	--------

Vytvořte si tabulku naměřených hodnot, do které budete zaznamenávat naměřené údaje:

f [Hz]	U1 [V]	U2 [V]	Au [dB]	f [Hz]	U1 [V]	U2 [V]	Au [dB]
20	0,01	0,20	26,0	8000	0,01	0,50	34,0
30	0,01	0,23	27,2	10000	0,01	0,50	34,0
40	0,01	0,23	27,2	12000	0,01	0,43	32,7
100	0,01	0,29	29,2	14000	0,01	0,38	31,6
200	0,01	0,32	30,1	16000	0,01	0,30	29,5
500	0,01	0,33	30,4	18000	0,01	0,25	28,0
1000	0,01	0,50	34,0	20000	0,01	0,20	26,0
5000	0,01	0,50	34,0	22000	0,01	0,10	20,0

- do kolonky **f [Hz]** si předepište hodnoty měřících kmitočtů. Ty, jak bylo již uvedeno, mohou být zadány (např. jako zde v této tabulce), nebo je možné použít **řadu měřících kmitočtů** (viz výše).

- do kolonky **U1 [V]** zapište velikost vstupního (budícího) napětí **U1**. Toto napětí se nesmí během měření měnit!

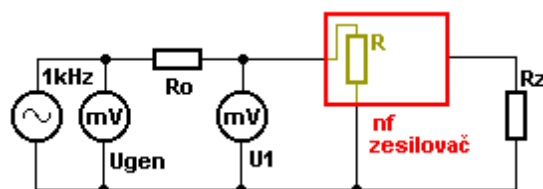
- do kolonky **U2 [V]** zapište velikost změřeného výstupního napětí **U2**.

- kolonku **Au [dB]** vyplníte až po ukončení měření **výpočtem**:

$$A_u = 20 \log \frac{U_2}{U_1}$$

4) Měření vstupní impedance

Vstupní impedance nf zesilovače Z_{in} nesouměrného nízkofrekvenčního zesilovače je dána poměrem střídavých složek vstupního napětí a proudu.



Praktické požadavky vesměs redukuje potřebu měření těchto veličin na měření jejich reálné části vstupního odporu **R** v otevřené smyčce.

Na obrázku vlevo je uvedeno zapojení pro měření vstupního odporu nízkofrekvenčního zesilovače.

Pro měření **vstupní odpor R** platí za předpokladu zanedbatelné vstupní kapacity zesilovače tento vzorec

$$R = \frac{U_1}{U_{gen} - U_1} R_o \quad [\Omega, V, \Omega]$$

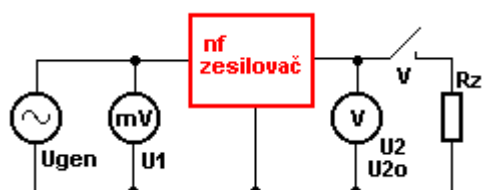
- **Ugen** je efektivní hodnota výstupního napětí generátoru

- **U1** efektivní hodnota vstupního napětí, změřená nízkofrekvenčním milivoltmetrem (viz lineární režim zesilovače)

Jiná metoda udává tento postup. Zesilovač na výstupu zatížíme jmenovitou impedancí. Na vstup připojíme sinusový generátor, do série s ním rezistor R_g s odporem asi 1/10 předpokládané vstupní impedance a zesilovač vybudíme. Nízkofrekvenčním milivoltmetrem změříme napětí na vstupních svorkách zesilovače – U_1 a na pomocném rezistoru – U . Vstupní odpor zesilovače je potom: $R_{vst} = (U_1/U) \cdot R_g$.

Je vhodné provést měření pro celý kmitočtový rozsah, neboť vstupní impedance je kmitočtově závislá. Měřením, které je popsáno výše, změříme pouze reálnou část vstupní impedance – tedy vstupní odpor. Pokud by nás zajímala i imaginární část, tedy vstupní kapacita, bude měření složitější, neboť budeme nuceni měřit i fázi. Vstupní odpor zesilovače hraje roli z důvodu možného ovlivnění vstupními kabely a výstupním odporem zdroje signálu. Vstupní kapacita se může při spojení s nevhodnými kabely chovat jako zkrat pro vysoké kmitočty, které potom budou v reprodukováné hudbě chybět. U dnes konstruovaných zesilovačů se nejčastěji volí vstupní odpor řádově jednotky až desítky $k\Omega$.

5) Měření výstupní impedance



Výstupní impedance nízkofrekvenčních zesilovačů je vnitřní impedance měřená na výstupních svorkách zesilovače při normálních provozních podmínkách.

Základní zapojení pro měření je na obrázku vlevo.

Pro výpočet **výstupní impedance Z_{out}** platí tento vzorec:
$$Z_{OUT} = \frac{U_{20} - U_2}{U_2} \quad [\Omega, V]$$

Z_{out} - výstupní impedance zesilovače

U_{20} - nízkofrekvenční střídavé napětí při odpojené zátěži R_z (vypínač V je rozepnut)

U_2 - nízkofrekvenční střídavé napětí při připojené zátěži R_z (vypínač V je sepnut)

R_z - ohmická zátěž (běžně 4 nebo 8 ohmů)

U_{gen} - nf generátor, kmitočet 1 kHz

U_1 - vstupní nf napětí, viz lineární režim

Postup

Měřený nf zesilovač zapojte dle výše uvedeného obrázku. Na výstup připojte místo reproduktorů ohmickou zátěž R_z (rezistor) odpovídajícího odporu; ta bývá nejčastěji 4 nebo 8 ohmů (podle připojované jmenovité impedance reproduktorových soustav). Za střídavý nízkofrekvenční voltmetr **mV** zapojte vypínač **V**, kterým budete odpojovat zátěž R_z . Vybud'te zesilovač sinusovým signálem o kmitočtu 1 kHz z generátoru U_{gen} - zesilovač musí pracovat v **lineárním režimu**.

Změřte střídavé výstupní nízkofrekvenční napětí U_{20} zesilovače při odpojené zátěži R_z (**vypínač V je rozepnut**). Poté změřte střídavé výstupní nízkofrekvenční napětí U_2 zesilovače při připojené zátěži R_z (**vypínač V je sepnut**).

Střídavá napětí U_1 , U_2 , U_{20} o kmitočtu 1 kHz měřte nízkofrekvenčním střídavým voltmetr (rozhodně jej nenahradí běžný multimetr, ač má třeba střídavý napěťový rozsah). Zbytek je již otázkou jednoduchého výpočtu (viz výše).

Toto měření lze provést tak, že mezi vstupní svorky zesilovače zapojíme jmenovitý odpor. Na výstupní svorky zapojíme sinusový generátor v sérii s rezistorem $-R_g$, který zabraňuje přetížení generátoru a z úbytku na něm lze určit proud. Nastavíme napětí na generátoru, odečteme nízkofrekvenčním milivoltmetrem napětí na výstupních svorkách – U a na rezistoru – U_1 . Výstupní odpor je potom: $R_{vst} = (U/U_1) \cdot R_g$. Tím ovšem zjistíme pouze reálnou, činnou, složku impedance.

Pokud by nás zajímala i imaginární, jalová složka, musíme opět měření doplnit o měření fáze. Pokud bude jalová složka malá (většinou je), lze měření výstupního odporu provést následujícím způsobem.

Na vstup zesilovače zapojíme generátor, zesilovač vybudíme a změříme nízkofrekvenčním milivoltmetrem napětí na výstupních svorkách zesilovače – U_{20} . Potom zapojíme na výstupní svorky jmenovitý odpor a opět změříme výstupní napětí – U_2 . Výstupní odpor je potom:

$$R_{\text{vyst}} = (U_{20} - U_2) / U_2.$$

Snahou je, aby hodnota výstupního odporu byla minimální. Potom se bude méně uplatňovat parazitní kapacita a indukčnost reproduktorových kabelů.

U tranzistorových zesilovačů lze dosáhnout výstupního odporu menšího než 0.01Ω (u single ended – SE, konstrukcí to bývá více). U elektronkových zesilovačů je tato hodnota podstatně vyšší (až jednotky ohmů). Tyto potom kopírují impedanční průběh reproduktorové soustavy, protože zesilovač se nechová jako tvrdý napěťový zdroj.

S výstupní impedancí souvisí také hodnota činitele tlumení, která udává poměr mezi jmenovitou impedancí připojovanou na výstup (4, 8 ohmů) a výstupním odporem. U tranzistorových zesilovačů se tato hodnota pohybuje v hodnotách větších než 100. U elektronkových a SE zesilovačů je to podstatně méně. Hodnota činitele tlumení ovšem ještě nezaručuje sama o sobě kvalitu reprodukce.

6) Odstup signál/šum

Určující parametr pro dynamický rozsah reprodukováného signálu. Horní hranice výstupního signálu je dána přebuzením zesilovače – limitace, prudký nárůst zkreslení. Dolní hranice úrovně výstupního signálu je dána hladinou šumu a brumu. Pokud tedy chceme, aby zesilovač přenášel i nejjemnější detaily o malé úrovni, je nutné zajistit minimální hladinu šumu a brumu. Šum je v zesilovačích způsoben mnoha zdroji. Tyto se částečně liší u polovodičových a elektronkových konstrukcí. Jmenujme tedy alespoň některé z nich: výstřelový šum, blikavý šum, tepelný šum, šum rezistorů (obzvláště uhlíkové => správná volba jsou metalizované rezistory), atd.

Brum je způsoben indukci rušivého napětí do užitečného signálu. Nejčastěji se jedná o rušivý signál kmitočtu 50 Hz – tedy síťový kmitočet a jeho celistvé násobky. Velikost brumu je dána zejména konstrukčním uspořádáním zesilovače (zemní smyčky) a vlastnostmi komponentů (transformátor, vodiče). Znatelného potlačení brumu se dosáhne řádným zkroucením párových vodičů, které se potom nemají tendenci chovat jako citlivá anténa. Kvantitativní vyjádření brumu a šumu (většinou se popisují dohromady) se nejčastěji vyjadřuje tzv. odstupem signál/šum (SNR, signal to noise ratio), který je definován jako **20log podílu šumu a výstupního signálu**. Výstupním signálem se rozumí maximální výstupní napětí (pro jmenovitý výkon zesilovače nebo max. výstupní napětí předzesilovače) a šumem je zde míněno výstupní napětí při odpojení vstupního zdroje. Vstupní svorky se potom zkratují, nechávají rozpojené nebo se mezi ně zapojuje rezistor. **Toto by mělo být u měření vždy uvedeno.** Na výstup zesilovače se někdy zapojuje filtr s charakteristikou typu A, která určitým způsobem zohledňuje charakter lidského ucha. Hodnoty získané při měření s tímto filtrem pak vycházejí příznivěji. K měření je potřeba generátor sinusového signálu, nízkofrekvenční milivoltmetr a někdy i výše zmíněný filtr.

Postup je takový, že vybudíme zesilovač na maximální výkon (nejčastěji se volí vybudění 1 dB pod limitací) a na milivoltmetru zapojeném na výstupu, odečteme výstupní napětí. Poté generátor odpojíme, vstup zkratujeme nebo mezi vstupní svorky zapojíme požadovaný odpor a opět odečteme výstupní napětí na milivoltmetru. Podíl těchto napětí, zlogaritmovaný a vynásobený 20 nám udává hodnotu odstupu S/Š. U dnes konstruovaných výkonových zesilovačů není problém dosáhnout hodnot odstupu S/Š 100 dB. U předzesilovačů je to horší. Je možné těchto hodnot dosáhnout, ale již to není tak snadné. Opět je nutné si uvědomit, že šumové napětí dosahuje hodnot řádově desítek či stovek mikrovoltů a tomu je potřeba přizpůsobit měřící techniku a obzvláště pak propojení přístrojů. Další možností jak měřit odstup S/Š je pomocí již několikrát zmiňovaného Audio Precision. Pokud nás zajímá spektrální složení šumu (obzvláště pokud chceme znát hodnotu brumového napětí 50 Hz – při laborování se zeměním a připojovacími vodiči) je výhodné použít spektrální analyzátor. Hodnota odstupu S/Š je u dnes konstruovaných zesilovačů velmi důležitý parametr, neboť u záznamů na CD je běžně dosahováno odstupu S/Š 105 dB a zesilovač by neměl tuto hodnotu snižovat. U DVD to bude ještě horší, neboť předpokládaná dynamika bude vyšší než 120 dB.

7) Přeslechy

Měření přeslechů připadá v úvahu pouze u vícekanalového zesilovače (tedy alespoň stereofonního). Hodnota přeslechů nám určuje, jak ovlivňuje signál jednoho kanálu kanál druhý, tedy jak se nám signál jednoho kanálu nechťně dostane do kanálu druhého. Toto je samozřejmě nežádoucí z důvodu znehodnocení stereofonního efektu. Dochází ke ztrátě prostoru a vzdušnosti, zvuk se slévá a degraduje se prostorová lokalizace z důvodu nedodržení fázového posuvu mezi zvukem jednoho a druhého kanálu. Měření se provádí tak, že jeden kanál zesilovače vybudíme na max. výkon (obvykle 1 dB pod limitací), druhý kanál na vstupu zkratujeme nebo připojíme mezi vstupní svorky rezistor (nebo necháme rozpojený) a na výstupu

obou kanálů změříme výstupní napětí (nízkofrekvenčním milivoltmetrem). Poměr těchto napětí zlogaritmujeme, vynásobíme 20 a toto je kýžená hodnota přeslechů. Výhodné je toto měření provést v celém frekvenčním rozsahu a získat tak frekvenční závislost přeslechů. Měření se musí samozřejmě provádět pro všechny kanály (oba kanály u stereofonního zesilovače.) U výkonových zesilovačů jsou na tom pochopitelně nejlépe monobloky, potom bimonaurální konstrukce, kdy přeslechy běžně dosahují hodnot přes 100 dB. U zesilovačů se společným zdrojem (trafo, filtrace) je to horší. Totéž prakticky platí i u předzesilovačů, kde může ještě přeslechy ovlivňovat přepínač vstupů a regulace hlasitosti (lepší je pochopitelně oddělené přepínání vstupů a regulace hlasitosti pro oba kanály samostatně). Jak tedy vyplývá, přeslechy lze příznivě ovlivnit mechanickým a elektrickým oddělením kanálů. Další alternativy měření jsou pomocí systému Audio Precision a nebo spektrálním analyzátozem.

8) Lineární režim zesilovače

Lineární režim používáme pro prověřování některých dynamických vlastností zesilovačů. Zesilovač pracuje v optimálních podmínkách. Níže uvedené platí pro lineární zesilovače.

Nízkofrekvenční zesilovač pracuje v lineárním režimu za podmínky, že amplituda výstupního napětí U_2 je menší než polovina amplitudy maximálního výstupního napětí U_{omax} .

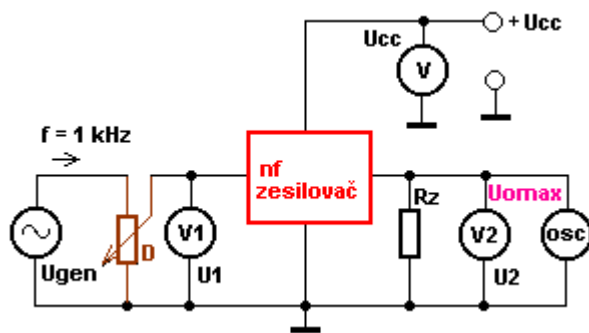
Nastavení zesilovače do lineárního režimu je nutno provádět za těchto podmínek:

- napájecí napětí zesilovače U_{cc} musí odpovídat provoznímu napájecímu napětí
- ohmická zátěž R_z musí odpovídat skutečné zátěži reproduktorové soustavy (obvykle 4 nebo 8 ohmů)
- měření se provádí sinusovým signálem o kmitočtu $f = 1\text{kHz}$

Postup

Na vstup měřeného zesilovače připojte sinusový nf generátor U_{gen} a kmitočet f nastavte na 1 kHz. Paralelně k generátoru připojte regulovatelný dělič napětí tvořený potenciometrem D . Za něj zapojte střídavý nízkofrekvenční voltmetr V_1 .

Na výstup nf zesilovače připojte zátěž R_z odpovídající výkonu a o jmenovitém ohmickém odporu. Paralelně k této zátěži R_z připojte střídavý nízkofrekvenční voltmetr V_2 . Je-li k dispozici osciloskop osc , je výhodné jej připojit taktéž paralelně k zátěži pro sledování tvaru výstupního signálu. Regulátor hlasitosti nízkofrekvenčního zesilovače nastavte na maximální hlasitost (tzn. otočení doprava).



Připojte napájecí napětí U_{cc} a začněte pozvolna budít zesilovač malým vstupním napětím z U_{gen} přes potenciometr D (např. potenciometr 47k, 100k apod) z generátoru – velikost vstupního napětí U_1 sledujte na voltmetru V_1 . Amplituda výstupního napětí U_2 se bude zvětšovat úměrně s tím, jak budete zvyšovat buzení zesilovače z generátoru (sledujete na voltmetru V_2). Buzení zajistíte tak, že běžcem potenciometru D budete velmi pozvolna otáčet doprava („přidávat hlasitost“). Amplituda výstupního nízkofrekvenčního napětí U_2 se bude úměrně zvětšovat s buzením zesilovače. **V určitém okamžiku se ale amplituda výstupního nízkofrekvenčního napětí U_2 přestane zvyšovat (sledujte voltmetr V_2) i přesto, že stále zvyšujete buzení zesilovače – tj. stále zvyšujete amplitudu vstupního napětí U_1 . Na připojeném osciloskopu osc vidíte ořezanou sinusovku do obdélníků. Na voltmetru V_2 přečtete amplitudu maximálního výstupního napětí U_{omax} a poznačte si ji!**

Toto měření je třeba provádět rychle, neboť dochází vlivem dodávaného maximálního výkonu do zátěže k ohřevu výkonového koncového stupně zesilovače. Převážná většina koncových stupňů má totiž elektronickou pojistku, která zabraňuje jeho přehřátí a následnému zničení (až „upečení“). Tato pojistka, pokud se zaktivizuje, způsobí pronikavé omezení výstupního výkonu a tím znehodnotí výsledek měření.

Nastavení zesilovače do lineárního režimu vychází z podmínky, že amplituda výstupního napětí U_2 je menší než polovina amplitudy maximálního výstupního napětí U_{omax} . Pro měření přenosových parametrů zesilovačů se doporučuje nastavit výstupní napětí U_2 na 30 – 10 % maximálního výstupního napětí U_{omax} .

Příklad

naměřené max.výstupní napětí U_{omax}	9V
výpočet výstupního napětí U_2 (zvolíme 30% z U_{omax})	3V

Nyní nastavte zesilovač do lineárního režimu. Zesilovač vybudíte malým vstupním napětím z Ugen přes potenciometr D z generátoru tak, aby amplituda výstupního napětí U_2 byla právě vypočítaných 3V. Tím na voltmetru V1 zjistíme, jak velkou amplitudu vstupního napětí U_1 potřebujeme k vybuzení zesilovače na potřebné výstupní napětí U_2 . Velikost změřeného vstupního napětí U_1 použijeme pro další měření. Vstupní napětí U_1 by mělo být mnohonásobně menší než výstupní napětí U_2 .

Závěr

Zesilovač bude pracovat v lineárním režimu, bude-li buzen signálem o napětí U_1 .

Decibely

Pro vyjádření veličin, které se mění ve velkém rozsahu, se s výhodou používá logaritmického měřítka.

Logaritmická osa může být jak vodorovná, tak i svislá. Pro tento účel byla zavedena logaritmická jednotka **decibel**.

Decibel je logaritmická poměrová jednotka, pojmenovaná po vynálezci telefonu (Alexandr Graham Bell), který zjistil, že lidský sluch má logaritmický charakter. Decibely byly původně definovány pro poměr výkonů (A_p). Člověk vnímá zvuk v rozsahu sedmi řádů akustického tlaku. Nejmenším uchem rozlišitelná změna zvuku je přibližně 1 decibel. Protože za základní jednotku nebyl zvolen bel, ale decibel, musí se logaritmus vynásobit deseti:

$$A_p = 10 \log \frac{P_2}{P_1}$$

Decibely lze ale použít i pro napěťové (A_u) a proudové (A_i) zesílení

$$A_u = 20 \log \frac{U_2}{U_1}$$

I když jsou decibely určeny pro poměr stejných veličin a nemají proto žádný rozměr, je možné je využít pro nepřímé vyjádření velikostí napětí (nejčastěji), nebo výkonu. Pro tento účel se volí tzv. referenční úroveň, kterou se napětí nebo výkon porovnává.

V měřící technice nejčastěji volí výkonová úroveň $P=1\text{mW}$ na impedanci o velikosti $Z=600\ \Omega$ (označuje se dBm). Pokud je před hodnotou v decibelech znaménko plus (+), znamená to zesílení, např. +20 dBm. Záporné znaménko před hodnotou v dB (např. -20 dB) značí zeslabení, útlum.

Pro napětí se často používá vztažná hodnota $1\ \mu\text{V}$ (dB / $1\mu\text{V}$), nebo $0,775\ \text{V}$ (označuje se dBu). Tomu odpovídá tato napěťová úroveň U_1 :

$$U_1 = \sqrt{10^{-3} \cdot 600} \doteq 0,775\text{V} = 775\ \text{mV}$$

Často používané hodnoty v decibelech, např. 3 dB znamenají 1,41 násobek. Hodnota -6 dB značí půlnásobek, hodnota 20 dB značí dvojnásobek, atd. Bližší pomůcka viz [Nomogram sloužící k rychlému přepočtu poměru na decibely](#).

Používání decibelů má velký význam, např. při stanovení [šířky pásma nf zesilovače](#).

Příklad

Zadání:

Z níže uvedené tabulky naměřených hodnot [kmitočtové charakteristiky zesilovače](#) stanovte, při jakém kmitočtu dojde k poklesu výstupního napětí U_2 na hodnotu 70% v porovnání s velikostí výstupního napětí U_2 referenčního kmitočtu 1000 Hz.

Objasnění pojmů, řešení:

- velikost napěťového zesílení A_u referenčního kmitočtu 1000 Hz **34,0** (z tabulky)

- 70% odpovídá hodnotě 0,7 na **nomogramu** (20% odpovídá hodnotě 0,2 atd.). Pokles je totéž co útlum.

- z nomogramu vyčteme, že pokles napětí U₂ na 70% odpovídá asi 3 dB

- protože v tabulce máme uvedeno, že zesílení zesilovače při referenčním kmitočtu 1000 Hz je 34,0 dB, požadovaný pokles 3 dB od referenčního kmitočtu se stanoví velmi jednoduše: **34,0 - 3 = 31,0 [dB]**.

- nejbližší naměřený kmitočet vyhovující podmínce 31,0 dB : 500 Hz (30,4 dB) a 16000 Hz (29,5 dB)

Závěr:

Kmitočtová charakteristika měřeného nízkofrekvenčního zesilovače vykazuje na kmitočtu od 500 Hz směrem k nižším kmitočtům a na kmitočtu od 16000 Hz směrem k vyšším kmitočtům pokles výstupního napětí U₂ na přibližnou hodnotu 70% v porovnání s hodnotou naměřeného napětí U₂ na referenčním kmitočtu 1000 Hz.

f [Hz]	U ₁ [V]	U ₂ [V]	A _u [dB]		f [Hz]	U ₁ [V]	U ₂ [V]	A _u [dB]
20	0,01	0,20	26,0		8000	0,01	0,50	34,0
30	0,01	0,23	27,2		10000	0,01	0,50	34,0
40	0,01	0,23	27,2		12000	0,01	0,43	32,7
100	0,01	0,29	29,2		14000	0,01	0,38	31,6
200	0,01	0,32	30,1		16000	0,01	0,30	29,5
500	0,01	0,33	30,4		18000	0,01	0,25	28,0
1000	0,01	0,50	34,0		20000	0,01	0,20	26,0
5000	0,01	0,50	34,0		22000	0,01	0,10	20,0

Ve výpočtech týkajících se přijímacích antén se obvykle porovnává napětí. V anténní technice se objevuje vztahná úroveň jeden mikrovolt (označuje se dBu), tzn. udává se, kolikrát je napětí větší než 1 μV. Výkon se zase udává v decibelech nad miliwattem (dBm). Tohoto se často v praxi využívá pro výpočet přenosu složitějšího přenosového řetězce.

Zdroj:

<http://hw.cz/Teorie-a-praxe/Dokumentace/ART598-Mereni-a-parametry-zesilovacu-1.cast.html>

<http://hw.cz/Teorie-a-praxe/Dokumentace/ART594-Mereni-a-parametry-zesilovacu-2.cast.html>

http://elnika.sweb.cz/mereni/vstup_imped.htm

<http://elnika.sweb.cz/mereni/pojmy.htm>

http://elnika.sweb.cz/mereni/vystup_imped.htm

http://elnika.sweb.cz/mereni/linear_rezim.htm

http://elnika.sweb.cz/mereni/vystup_vykon.htm