



Části zesilovače

Nízkofrekvenční zesilovač zpracovává člověku slyšitelné kmitočty to teoreticky od 0Hz do 20 KHz. Každý člověk není schopen slyšet uvedený rozsah kmitočtu a s přibývajícím věkem se tento rozsah snižuje a to hlavně v oblastech vysokých kmitočtů

VSTUPY - k připojení vstupního signálu do zesilovače z různých zdrojů.,např. .PC , notebook, MP3 přehrávač, mobilní telefon, diskmen , multimedialní centrum, gramofon apod. Jako připojovacích prků se používá pětikolíkový konektor (starší zařízení), cinch , případně jack. U vstupů se setkáme s pojmem **vstupní citlivost** tj. hodnota vstupního napětí potřebného k vybuzení zesilovače na plný výkon. Vstupní citlivost se pohybuje v řádu **mV** např.

- ☐ vstupy s citlivostí **250 až 300 mV** pro MP3 přehrávač, diskmen, krystalovou přenosku, magnetofon, PC, note-buk, mobilní telefon atd
- ☐ vstupy s citlivostí **10mV** pro magnetodynamickou přenosku

PŘEDZESILOVAČ PRO MAGNETODINAMICKOU PŘENOSKU (GRAMOFON) - k zesílení výstupního signálu z gramofonové přenosky na úroveň ostatních vstupů, a zároveň upravuje specifickou záznamovou charakteristiku.

PŘEPÍNAČ VSTUPŮ - pro výběr jednoho ze vstupních signálů pro další zpracování. Může být mechanický nebo elektronický

KOREKČNÍ PŘEDZESILOVAČ (KOREKCE) – k regulaci:

- ☐ hlasitosti výstupu zesilovače - hlasitost (volume)
- ☐ vyvážení levého a pravého kanálu - stereováha (stereobalanc)
- ☐ potlačení nebo zdůraznění hlubokých tónů - basy (bass)
- ☐ potlačení nebo zdůraznění vysokých tónů - výšky (treble)

KONCOVÝ (VÝKONOVÝ) STUPEŇ - zesílení signálu na úroveň potřebnou pro vybuzení reproduktorových soustav

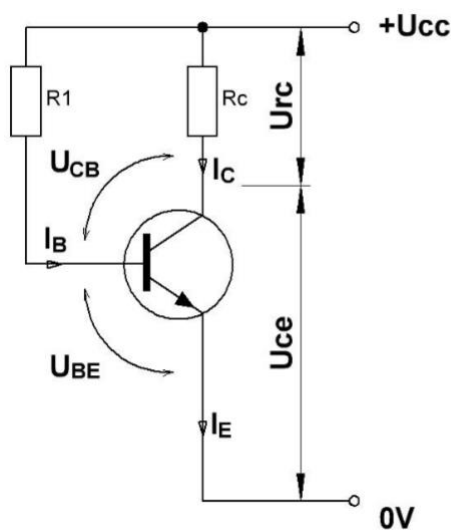
REPRODUKTORY (RL, RR) - elektroakustické měniče

SÍŤOVÝ ZDROJ – pro napájení jednotlivých částí zesilovače. Většinou obsahuje zdroj pro předzesilovače, korekční stupeň a koncové zesilovače.

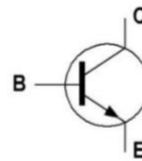
L - levý kanál

R - pravý kanál

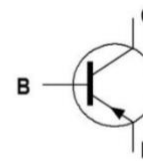
Bipolární tranzistory a jejich zapojení do obvodu



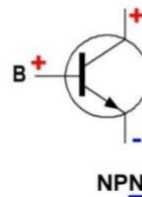
tranzistor NPN



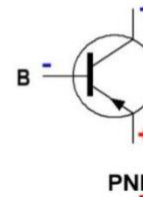
tranzistor PNP



aby tranzistor v obvodu pracoval musí být připojen na napětí v obvodu dle následujícího obrázku



NPN



PNP

Druhy napětí a proudů na tranzistoru:

- ☐ U_{CE} - napětí kolektor-emitor
- ☐ U_{BE} - napětí báze- emitor
- ☐ U_{CB} - napětí kolektor-báze
- ☐ U_{RC} - napětí na kolektorovém odporu
- ☐ I_C - proud kolektoru
- ☐ I_E - proud emitoru
- ☐ I_B - proud báze

Důležité hodnoty pro správnou funkci tranzistoru

I_C - kolektorový proud můžeme zvětšovat pouze do určité velikosti dané typem tranzistoru. Protéka-li tranzistorem větší proud než dovolený, ohřívá se polovodičový přechod kolektor-emitor a po ohřátí na určitou mez dojde ke zničení tranzistoru. Z důvodu chlazení bývá kolektor spojen s pouzdem tranzistoru a případně je tranzistor přišroubován na chladič. Maximální kolektorový proud nalezneme v katalogu výrobce. **POZOR** mohou být uvedeny dva proudy a to bez chlazení nebo s chlazením tranzistoru. Kolektorové proudy se pohybují od několika mA až po desítky ampér pro výkonové tranzistory.

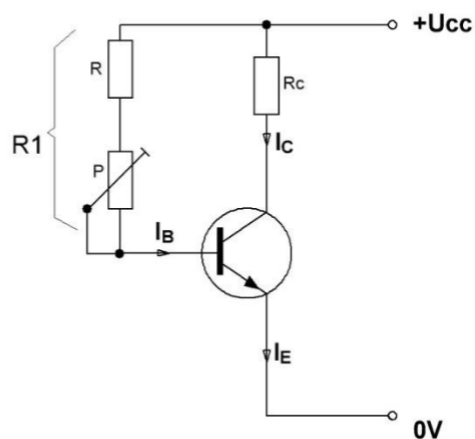
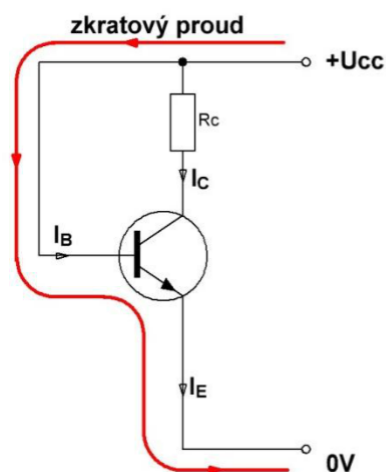
U_{CE} - napětí mezi kolektorem a emitorem. Toto napětí v katalogu výrobce. Je to maximální napětí, které můžeme přivést mezi kolektor a emitor. Pokud přivedeme napětí větší, než dovolené výrobcem ve většině případů dojde ke zničení tranzistoru. Tomuto napětí se také říká **závěrné**.

β (h_{21E} , h_{FE}) – tzv. zesilovací činitel tranzistoru. Je třeba si pamatovat, že proud báze je vždy menší než proud kolektoru. Kolikrát je proud kolektoru větší než proud báze udává zesilovací činitel tranzistoru.

Např. změníme-li proud báze o 0,5mA a tato změna vyvolá změnu kolektorového proudu o 20mA je zes. činitel tranzistoru

$$\beta (h_{21E}) = \frac{I_C}{I_B} = 40 \quad (\text{zesilovací činitel nemá jednotku})$$

I_B – proud báze. **POZOR** na proud do báze. Pokud bychom připojili bázi např. tranzistoru NPN přímo na plus napájecího napětí dojde k otevření přechodu báze emitor a následnému zkratu napájecího napětí. Toto vede ke zničení tranzistoru. Vždy musíme do obvodu napájení báze vřadit odpor. Je-li v obvodu báze použit trimr pro nastavení proudu báze, připojíme do série s trimrem odpor, aby při vytočení trimru na nulovou hodnotu nedošlo ke zničení tranzistoru.



Ukázka katalogového listu součástek TESLA

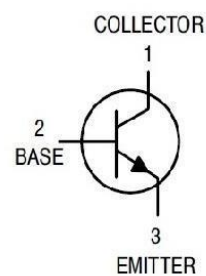
Tranzistory bipolární

Typ	Popis	Napětí C-E	Proud kolektoru	Zesílení h21e	Výkonová ztráta	Pouzdro
KC 147	NPN, nf, všeobecné použití	45V	100mA	125..500	200mW	SOT-25/1
KC 148	NPN, nf, všeobecné použití	20V	100mA	125..900	200mW	SOT-25/1
KC 149	NPN, nf, všeobecné použití	20V	100mA	240..900	200mV	SOT-25/1

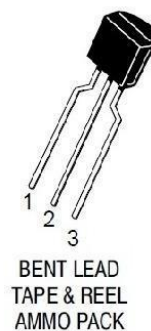
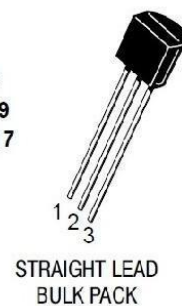
Ukázka katalogového listu tzv. DATASHEET

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector - Emitter Voltage	V_{CE0}	65 45 30	Vdc
Collector - Base Voltage	V_{CBO}	80 50 30	Vdc
Emitter - Base Voltage	V_{EBO}	6.0	Vdc
Collector Current - Continuous	I_C	100	mA dc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	625 5.0	mW mW/ $^\circ\text{C}$
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	1.5 12	W mW/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-55 to +150	$^\circ\text{C}$



TO-92
CASE 29
STYLE 17



Zesílení a zisk

Zesilovat znamená zesílit (zvětšit) signál (proudový nebo napěťový) na určitou požadovanou úroveň pomocí zařízení, kterému říkáme zesilovač.

Napěťové zesílení



Napěťové zesílení udává kolikrát je výstupní napětí (U_2) větší, než napětí vstupní (U_1). Značí se $A_{[u]}$, případně

$$A_{[u]} = U_2 / U_1 \quad (\text{napěťové zesílení nemá jednotku})$$

Příklad:

$$U_1 = 80\text{mV}$$

$$U_2 = 3,2\text{V}$$

$$A_{[u]} = 3,2 / 0,08 = 40$$

Někdy se zesílení udává v jednotce **decibel dB**, v tomto případě pak nehovoříme o zesílení, ale zisku

$$A_{[dB]} = 20 \times \log U_2 / U_1$$

Příklad: $U_1 = 80\text{mV}$

$$U_2 = 3,2\text{V}$$

$$\log 40 = 1,6$$

$$A_{[dB]} = 20 \times \log 40 = 20 \times 1,6 = 32\text{ dB}$$

Tabulka převodu mezi **zesílením** a **ziskem**

zesílení $A_U; A_I$	0,01	0,02	0,03	0,05	0,1	0,2	0,3	0,5	1	2	3	5	10	20	30	50	100	200	300	500	1000	2000	5000	10000	
zisk [dB]	-40	-34	-30,5	-26	-20	-14	-10,5	-6	0	6	9,5	14	20	26	29,5	34	40	46	49,5	54	60	66	69,5	74	80

Výkon zesilovače

Tzv. sinusový výkon je dán součinem výstupního napětí (U_{vyst}) a výstupního proudu (I_{vyst}) zesilovače

$$P = U_{\text{vyst}} \times I_{\text{vyst}} \quad (\text{W})$$

$$P = U_{\text{vyst}} \times U_{\text{vyst}} / R \quad (\text{W})$$

$$P = U_{\text{vyst}}^2 / R \quad (\text{W})$$

R = zatěžovací odpor na výstupu zesilovače. U výkonových zesilovačů to zpravidla bývá 4, 8 nebo 16 Ω

Výrobci spotřební nf techniky udávají ještě dva typy výkonů

PMPO (peak music power output) = špičkový hudební výkon, nikde nedefinovaný a nic neznamenající výmysl obchodníku

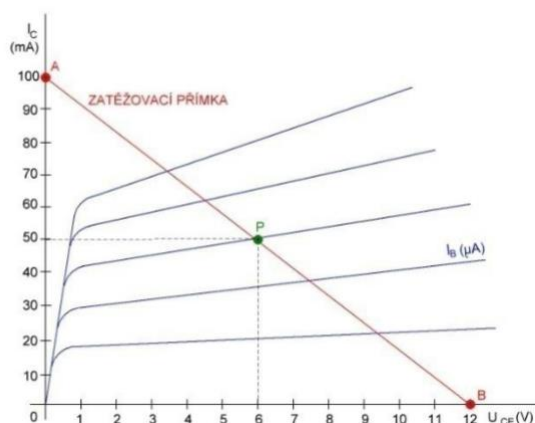
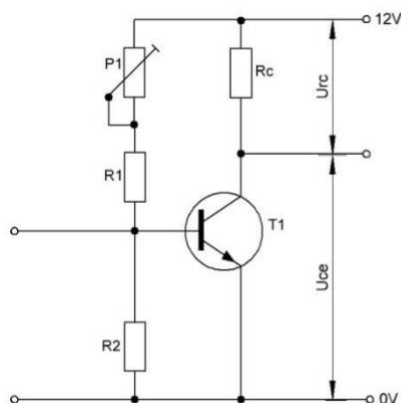
RMS (root mean square) = efektivní výkon reproduktoru, který by měli dlouhodobě snést, údaj podle kterého se dá trochu objektivněji orientovat

Nastavení pracovního bodu tranzistoru zesilovače tř.A

Má-li tranzistor zesilovat elektrické signály, musíme mu nastavit tzv. pracovní bod

Pracovní bod tranzistoru není žádná mechanická součást tranzistoru, která se nastavuje nástrojem. Jedná se o **soubor podmínek (nastavení napětí a proudů) při kterých je tranzistor schopen vykonávat zamýšlenou funkci** (např. zesilovat, spínat).

Pracovní bod tranzistoru si můžeme graficky znázornit na výstupních charakteristikách tranzistoru. Leží vždy na tzv. zatěžovací přímce a dle toho, ve které části přímky je pracovní bod nastaven rozlišujeme třídy zesilovačů.



Zatěžovací přímku získáme tak, že na tranzistoru nastavíme dva krajní stavy“

bod A - napětím na bázi tranzistor úplně otevřeme. Proud I_C tekoucí přes tranzistor dosahuje povoleného maxima. Při zanedbání vnitřního odporu tranzistoru dochází na odporu R_C k úbytku napětí, které se rovna napětí zdroje (12V).

Na ose I_C vyznačíme bod A rovnající se max. povolenému proudu použitého tranzistoru.

bod B - napětím na bázi tranzistor úplně zavřeme. Tranzistorem neprochází žádný proud I_C je rovno 0, na odporu R_C nevzniká žádný úbytek napětí a U_{CE} je rovno napětí zdroje (12V).

Na ose U_{CE} vyznačíme bod rovnající se hodnotě napětí zdroje.

Oba body propojíme a vznikne tzv. zatěžovací přímka. Pro zesilovač tř. A se pracovní bod nastavuje na střed zatěžovací přímky. To znamená, že tranzistor je napůl otevřený, do báze tedy teče proud, který nazýváme klidový. Tranzistor může zpracovávat jak kladnou půlvlnu (vice se pootevře), tak zápornou půlvlnu (vice se přivře).

V praxi nastavíme pracovní bod pro zesilovač tř. A takto:

- ☐ měřicí přístroj připojíme jedním hrotem na OV (GND) případně na emitor a druhým hrotem na kolektor tranzistoru, v podstatě tedy měříme U_{CE}
- ☐ trimrem P1 nastavíme U_{CE} na polovinu napájecího napětí zesilovače
- ☐ napětí mezi bázi a emitorem tranzistoru U_{BE} by mělo dosahovat hodnoty okolo 0,7V

Třídy zesilovačt

třída A

- Pracovní bod leží na středu zatěžovací přímky, to odpovídá středu mezi maximální a minimální hodnotou kolektorového proudu (P)
- Tranzistorem teče trvale klidový proud, zesilovač při své činnosti nezkresluje, pracuje po celou periodu, tzn. je otevřen 360° (plusová i minusová půlperioda)

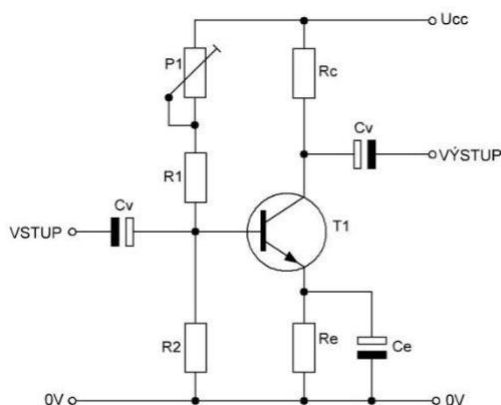
třída B

1. Pracovní bod leží v dolní části zatěžovací přímky přímo na ose UCE
2. Od třídy A se liší tím, že tranzistor je zcela uzavřen, neteče žádný klidový proud.
3. Pracovní bod B se pohybuje v aktivní oblasti po dobu nejvýše 180° , tzn., že tranzistor zpracovává pouze jednu půlvlnu.(kladnou nebo zápornou dle typu vodivosti použitého tranzistoru). V dvojčinném zapojení slouží takový zesilovač v nízkofrekvenčních koncových stupních. Nevýhodou je, že při slabší hlasitosti vzniká slyšitelné zkreslení (chrčení) vlivem toho, že výkonové tranzistory přestávají v oblasti kolem nuly výstupního napětí pracovat. Tuto nevýhodu odstraňují zesilovače tř.AB

třída AB

- Pracovní bod leží v dolní části zatěžovací přímky kousek nad osou UCE
- Tranzistor je téměř uzavřen, teče jen nepatrný klidový proud.
- Tranzistor zpracovává pouze jednu půlvlnu.(kladnou nebo zápornou dle typu vodivosti použitého tranzistoru). V dvojčinném zapojení slouží takový zesilovač v nízkofrekvenčních koncových stupních
- Účinnost zesilovače je pak mnohem vyšší než ve třídě A.

Stabilizace pracovního bodu



Tranzistor je polovodičová součástka, závislá na teplotě. Při změně teploty se mění jeho charakteristiky a tím i vlastnosti celého zesilovače. K ohřívání tranzistoru dochází průchodem kolektorového proudu polovodičovým přechodem, případně při nevhodné konstrukci může docházet k ohřívání tranzistoru i od okolních součástek. Abychom zamezili změnám parametrů nastavení tranzistoru, musíme provést stabilizaci pracovního bodu, a to zavedením zpětné vazby, která bude tyto změny kompenzovat

Nejčastěji používané zapojení pro nastavení pracovního bodu tranzistoru a jeho stabilizaci je můstkové zapojení.

Význam jednotlivých součástek můstkového zapojení

R1, R2 - odpor R1 (R1a P1) společně s odporem R2 tvoří napěťový dělič pro bázi tranzistoru, kterým nastavujeme klidový proud tranzistoru, tedy v podstatě pracovní bod.

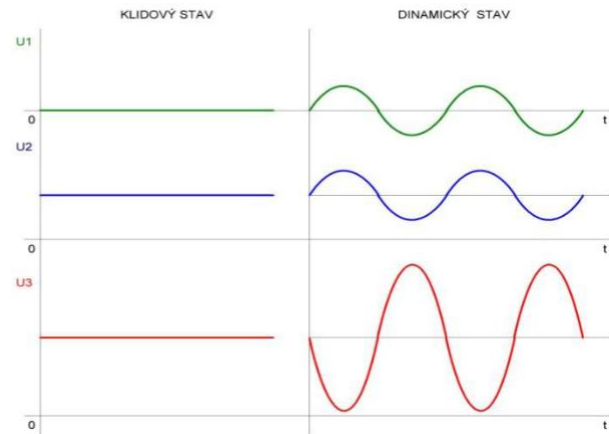
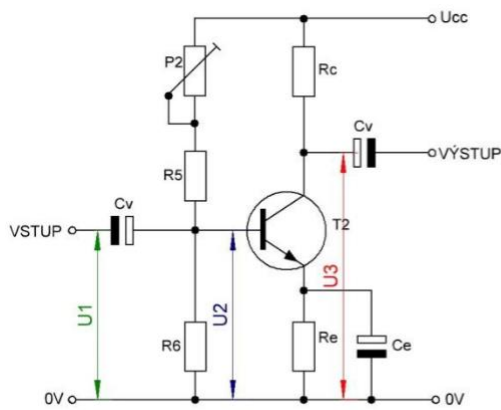
RC - kolektorový odpor. Ve své postatě slouží k vytvoření střídavého signálu na kolektoru

RE - emitorový odpor. Slouží k zavedení záporné zpětné vazby a tím přispívá ke zmenšení zkreslení. Zároveň teplotně stabilizuje tranzistor a udržuje nastavení pracovního bodu. Nemusí být v zapojení použit.

CE - pro stejnosměrný proud se neuplatňuje a tím nezasahuje do nastavení pracovního bodu. Pro střídavé signály, které by zvyšovali úbytek napětí na RE, tvoří jakousi objížděku a střídavá složka tedy neovlivňuje nastavení pracovního bodu.

CV – vazební kondenzátory. Slouží k vazbě a oddělení stejnosměrného napětí mezi jednotlivými částmi (bloky) zesilovače. Pro střídavý signál jsou průchozí

Princip zeslení signálu



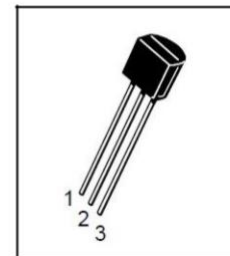
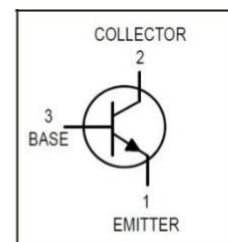
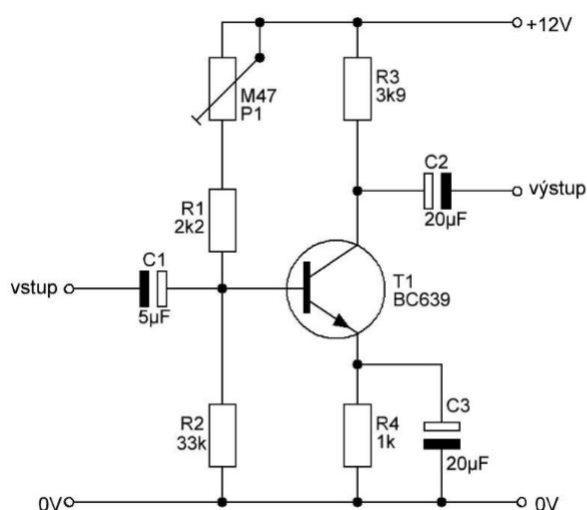
Na bázi tranzistoru přivádíme slabší střídavý signál a z kolektoru odvádíme zesílený střídavý signál. Tedy malým proudem v bázi řídíme větší proud v kolektoru. Větší proud vytváří na kolektorovém odporu větší úbytek napětí. Tak dochází k zesílení signálu přiváděného na bázi. Vstupní signál je přibližně zesílen tolikrát, kolikrát zesílí tranzistor. Zesílený výstupní signál má obrácený průběh – říkáme, že je fázově posunutý.

Důvod: platí vztah $U_{CE} = U_{CC} - U_{RC}$

Přijde-li na bázi kladná půlvlna U_2 tranzistor se více otevře, stoupne kolektorový proud, který na kolektorovém odporu R_C zvýší úbytek napětí a tím klesne napětí na kolektoru U_{CE} (U_3). Naopak přijde-li na bázi záporná půlvlna U_2 , tranzistor se přivře, klesne kolektorový proud, tím klesne úbytek napětí na kolektorovém odporu R_C a zvýší se napětí U_{CE} (U_3).

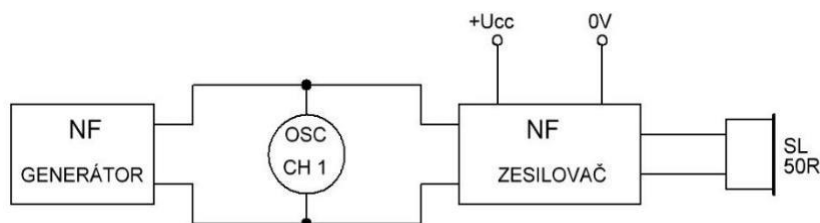
Schéma jednostupňového nf zesilovače pro ověření funkce a měření

Navrhněte plošný spoj o rozměru 60x45mm, osad'te součástkami. Proved'te kontrolu zapojení, oživte, vyzkoušejte funkčnost a proved'te dále uvedená měření



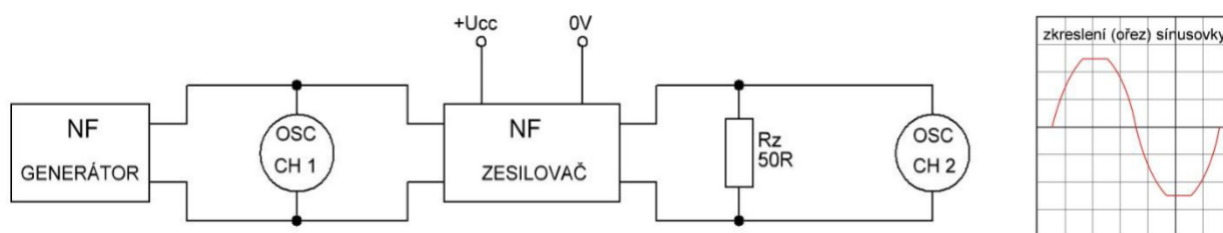
Oživení a měření parametrů zesilovače

1. *Oživení zesilovače* - zesilovač připojíme na napájecí napětí a pomocí trimru P1 nastavíme U_{CE} na polovinu napájecího napětí. Tím je nastaven pracovní bod. Zkontrolujeme napětí U_{BE} , jeho hodnota by se měla pohybovat okolo 0,7V.
2. *Vyzkoušení funkčnosti* - zesilovač zapojíme do obvodu pro měření dle schématu



Na NF generátoru nastavíme asi 1 kHz a pomocí osciloskopu (CH1) vstupní napětí 250mV. Zapneme napájecí napětí. Pokud je zesilovač funkční, uslyšíme ze sluchátka „pískání“.

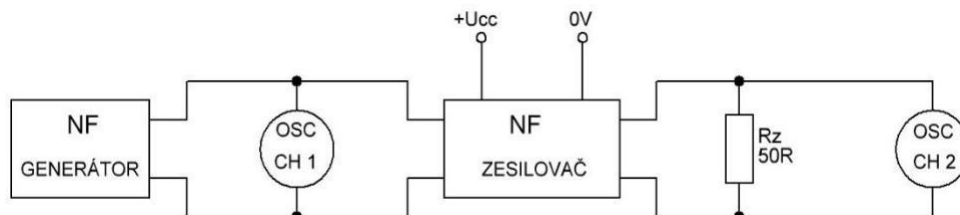
3. *Měření vstupní citlivosti* - zesilovač zapojíme do obvodu pro měření dle schématu



Na NF generátoru nastavíme asi 1 kHz. Nastavíme napětí na vstupu zesilovače asi 100mV. Na obou kanálech osciloskopu, CH1 na vstupu zesilovače a CH2 na výstupu zesilovače je vidět sinusový průběh. Pomalu zvyšujeme napětí na vstupu zesilovače, až do doby kdy se sinusovka na výstupu zesilovače začne zkreslovat (ořezávat). Vstupní napětí nastavíme těsně před začátek ořezávání sinusovky na výstupu. Odečteme hodnotu vstupního napětí, která se v tomto případě rovná vstupní citlivosti zesilovače.

Vstupní citlivost zesilovače	mV
------------------------------	----

4. *Měření zesílení, zisku a výkonu zesilovače* - zesilovač zapojíme do obvodu pro měření dle schématu



Pokud jsme po předchozím měření nezměnili vstupní napětí do zesilovače, stačí odečíst z osciloskopu hodnotu vstupního a výstupního napětí a dosadit do vzorečků pro výpočet zesílení a zisku. V opačném případě musíme znovu zvyšovat vstupní napětí až těsně na začátek ořezu sinusovky výstupního napětí a pak teprve odečíst hodnoty.

Hodnotnou zatěžovacího odporu známe a můžeme tedy vypočítat výkon zesilovače.

Vstupní napětí zesilovače	V
Výstupní napětí zesilovače	V
Zesílení	
Zisk	dB
Výkon	W

[illegible]