

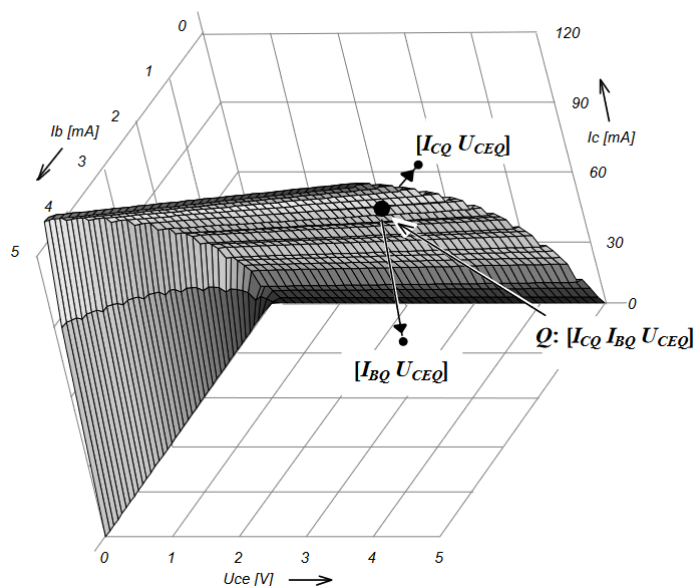
Analogové elektronické obvody Ústav mikroelektroniky FEKT VUT v Brně			Jméno Radek Kučera		ID 240855
			Ročník 2.	Obor MET	Skupina
Spolupracoval Jakub Charvot	Měřeno dne 4.10.2022	Odevzdáno dne		Hodnocení	
Název úlohy Pracovní bod a jeho pohyb					Č. úlohy 1

## Teoretický rozbor

### Pracovní bod tranzistoru

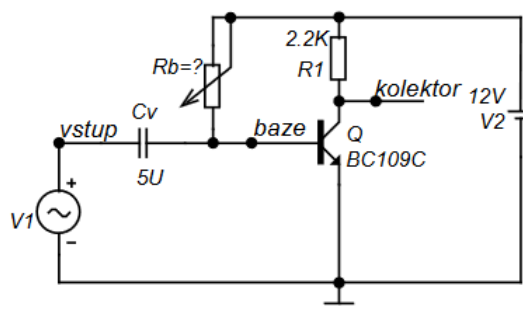
Pracovní bod bipolárního tranzistoru se nastavuje proudem do báze  $I_B$ . V zapojení na obrázku 2 je velikost  $I_B$  dána velikostí odporu  $R_b$ . Pro zesilovač třídy A se velikost  $I_B$  resp.  $R_b$  nastaví, tak aby napětí na kolektoru bylo polovina napájecího napětí - pracovní bod se bude nacházet ve středu převodní charakteristiky.

Šířka pásma zesilovače je rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší frekvencí přenášeného signálu, kde při těchto mezních frekvencích je pokles o  $3dB$  oproti nejvyššímu zesílení.

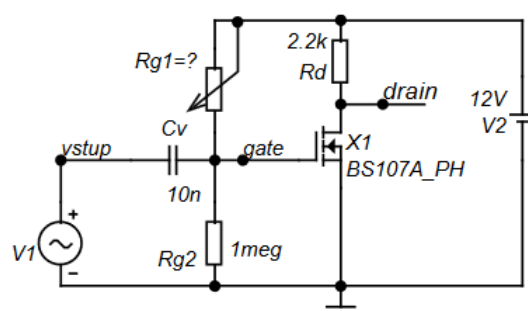


Obrázek 1: Závislost mezi kolektorovým a bázevým proudem a napětím kolektor-emitor tranzistoru.

## Schéma zapojení



Obrázek 2: Zesilovač s bipolárním tranzistorem.



Obrázek 3: Zesilovač s unipolárním tranzistorem.

### Vypočítané hodnoty pro zesilovač s bipolárním tranzistorem

$$R_b = 2 \text{ M}\Omega, \quad I_B = 5,46 \text{ }\mu\text{A}, \quad I_C \approx I_E = 2,73 \text{ mA}, \quad U_{CB} = 11,35 \text{ V}, \quad U_{CE} = 6 \text{ V}$$

$$U_{BE} = 0,65 \text{ V}, \quad C_v \doteq 1,6 \text{ }\mu\text{F}, \quad f_0 \doteq 6,4 \text{ Hz}$$

### Vypočítané hodnoty pro zesilovač s unipolárním tranzistorem

$$R_{g1} = 7,8 \text{ M}\Omega, \quad I_G = 0 \text{ A}, \quad I_D = 2,73 \text{ mA}, \quad U_{GS} = 1,365 \text{ V}, \quad U_{DS} = 6 \text{ V}$$

$$C_v \doteq 9 \text{ nF}, \quad f_0 \doteq 18 \text{ Hz}$$

## Parametry tranzistorů

BC109C:

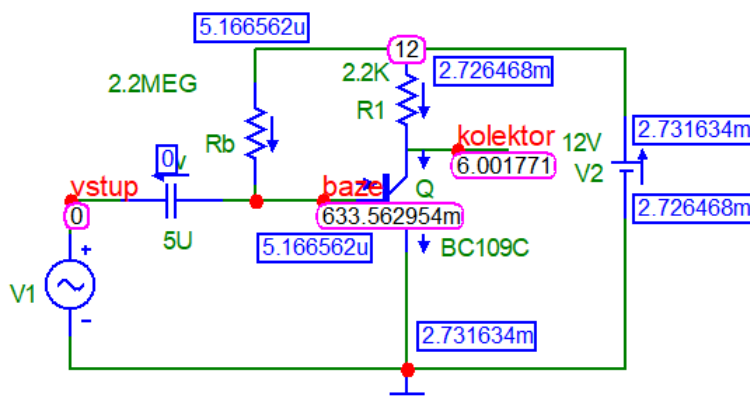
$$h_{21e} = \beta \approx h_{21E} \approx 500, \quad S = 0,1 \text{ A}\text{V}^{-1}, \quad r_{in} \approx 5 \text{ k}\Omega, \quad r_{out} \approx 100 \text{ k}\Omega$$

BS107A:

$$G_m = 2 \text{ mA/V}$$

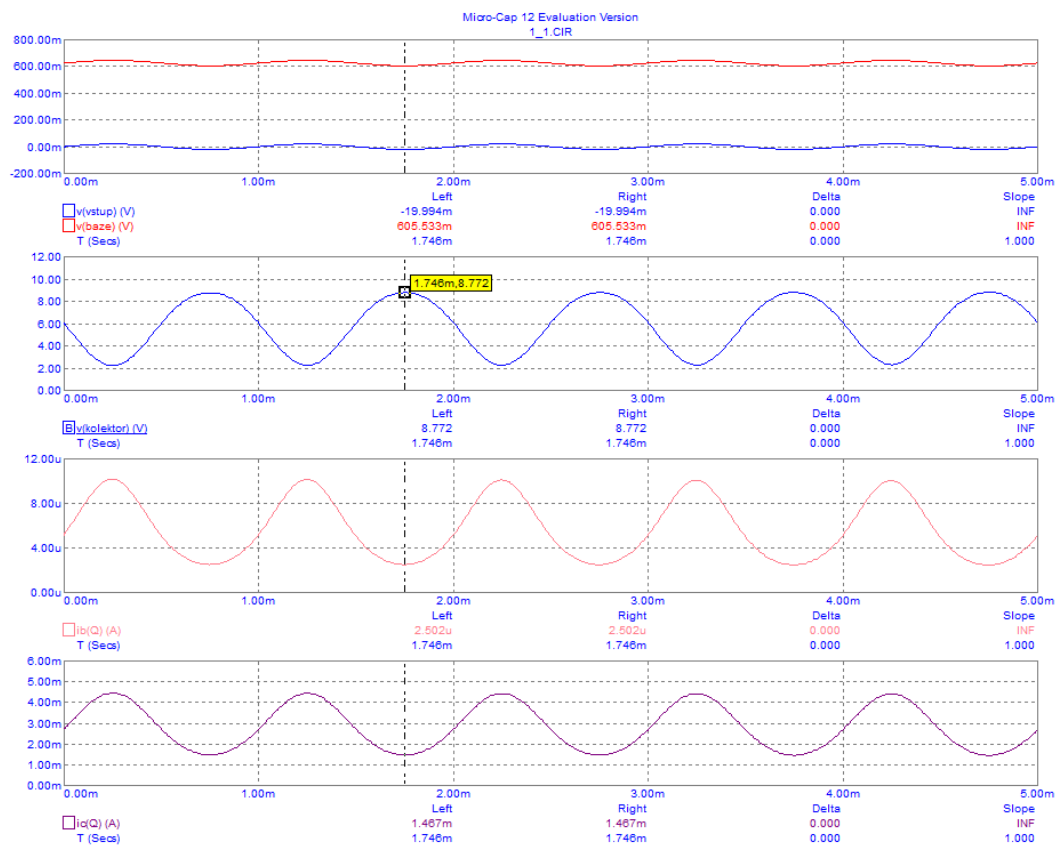
# Simulace pro bipolární tranzistor

**Jednostupňový tranzistorový zesilovač, třída A, bez stabilizace prac. bodu**

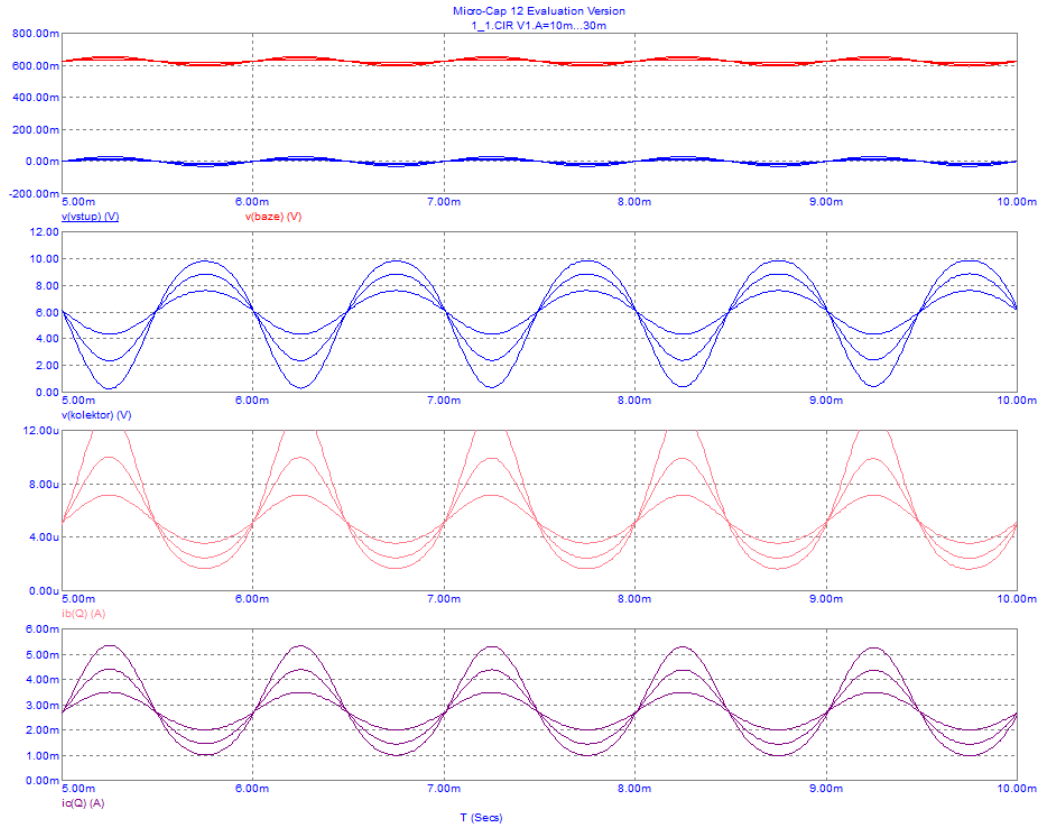


Zdroj V1 je harmonický 1kHz/20mV

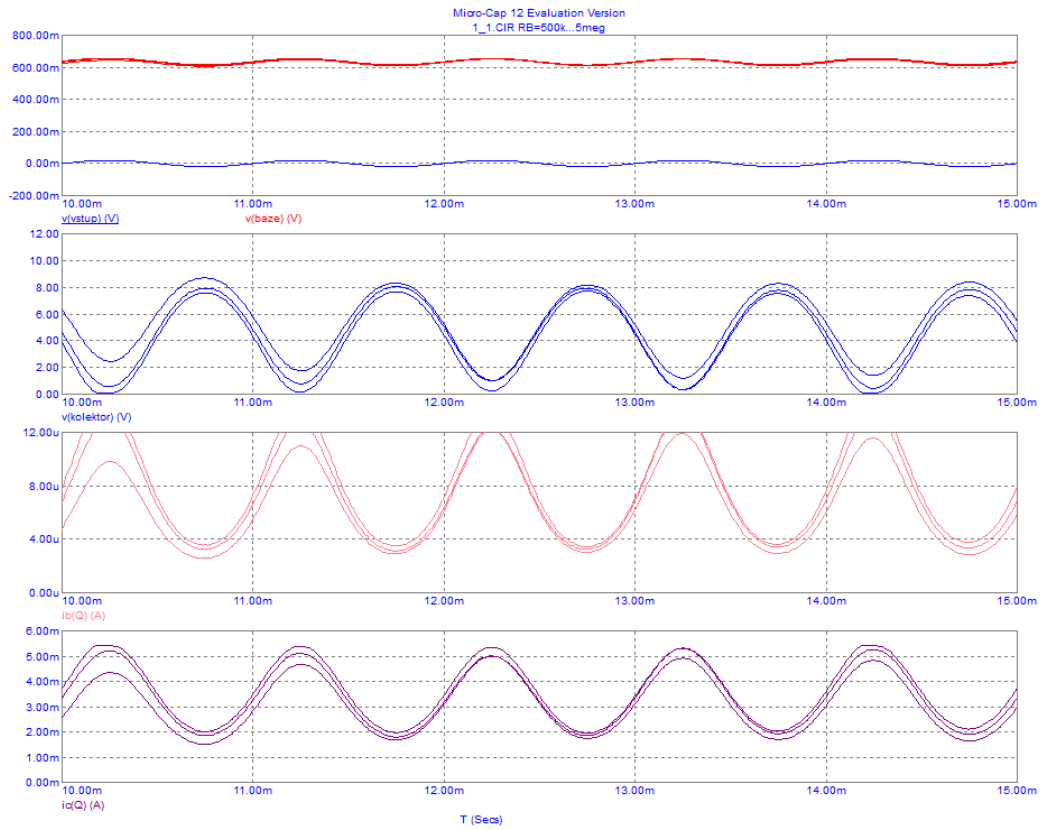
Obrázek 4: Nastavený pracovní bod zesilovače.



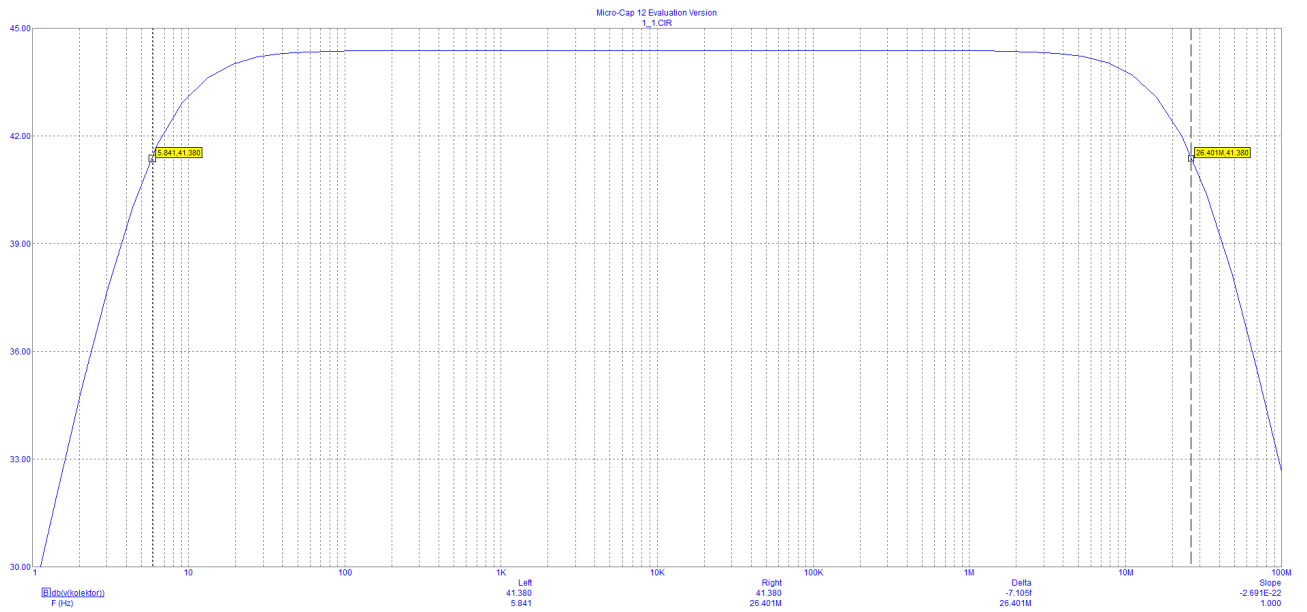
Obrázek 5: Průběhy napětí a proudů na zesilovači.



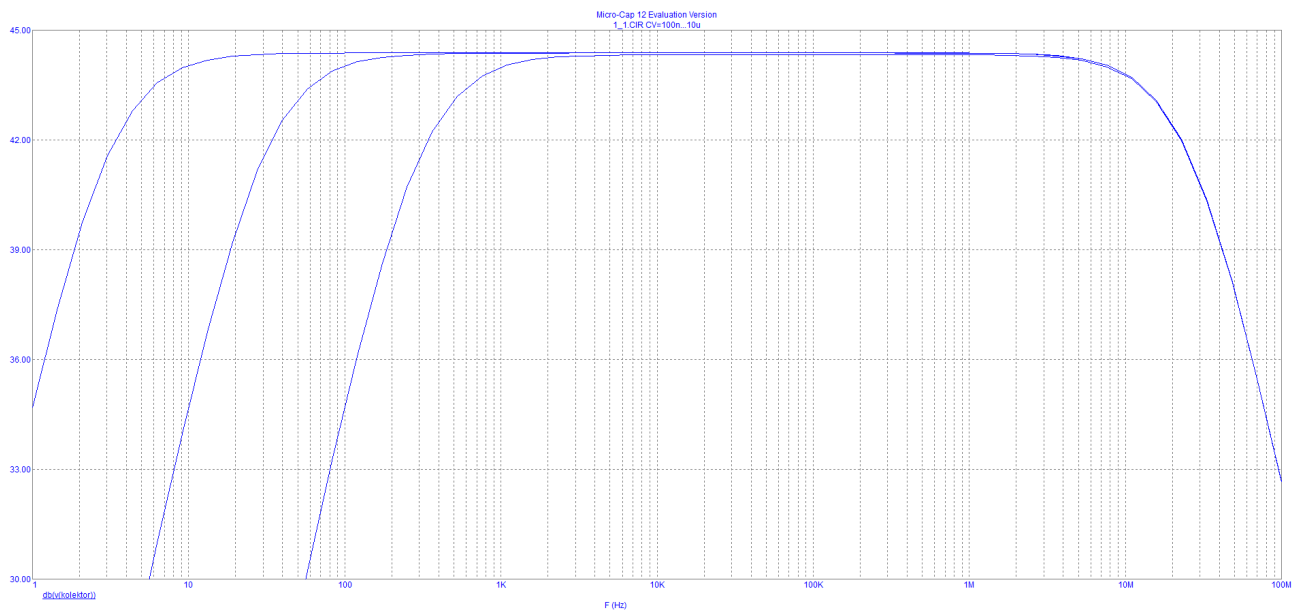
Obrázek 6: Průběhy napětí a proudů na zesilovači pro  $U_{vstup} = \{10; 20; 30\} \text{ mV}$ .



Obrázek 7: Průběhy napětí a proudů na zesilovači pro  $R_b = \{0, 5; 2; 5\} \text{ M}\Omega$ .



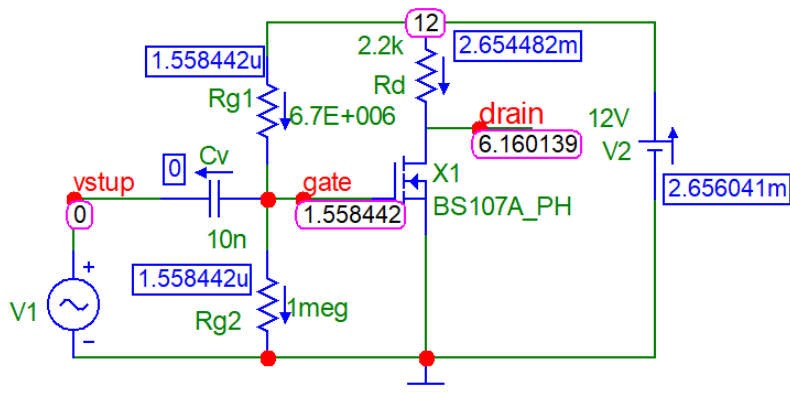
Obrázek 8: Frekvneční charakteristika,  $A_{max} = 43,34 \text{ dB}$ .



Obrázek 9: Frekvneční charakteristika pro  $C_v = \{0,1 ; 1; 10\} \mu F$ ,  
 $A_{f0} = \{215,6 ; 21,4 ; 2,1\} \text{ Hz}$ .

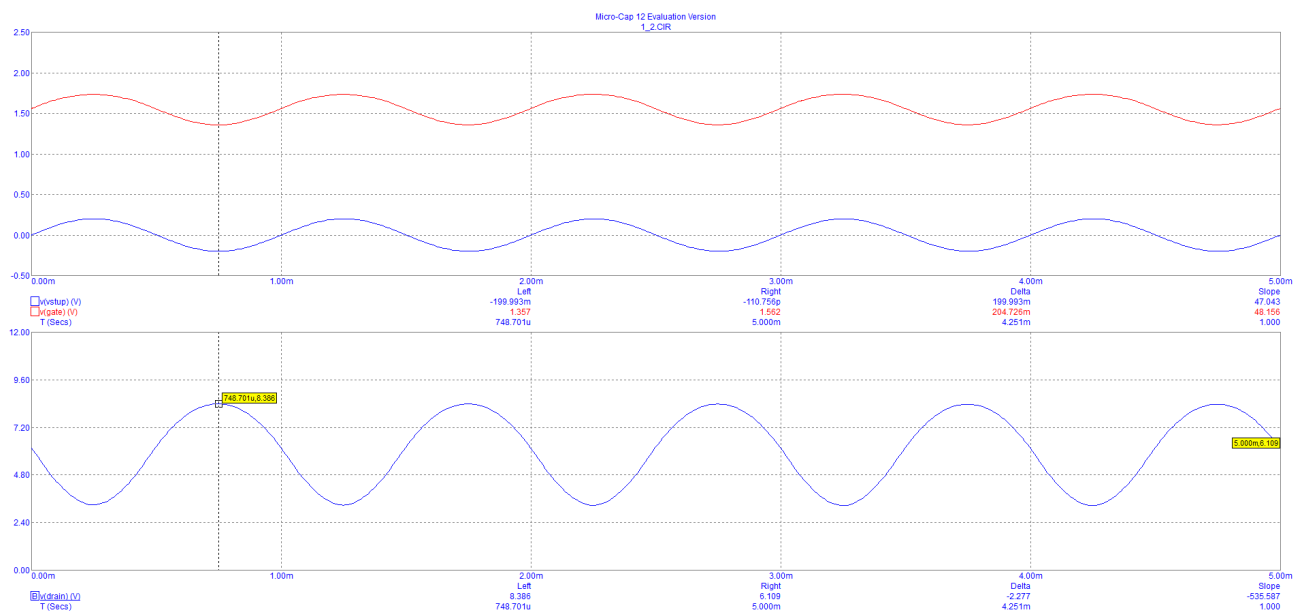
# Simulace pro unipolární tranzistor

**Jednostupňový tranzistorový zesilovač, třída A, bez stabilizace prac. bodu**  
MOSFET s indukovaným kanálem N

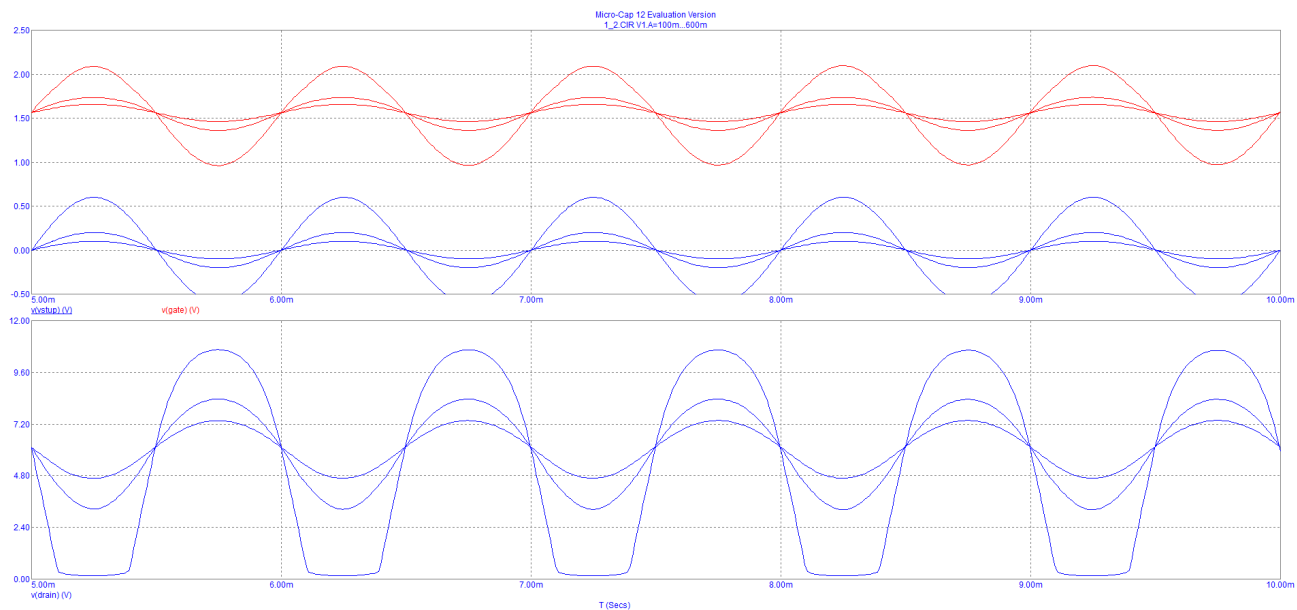


Zdroj V1 je harmonický 1kHz/200mV

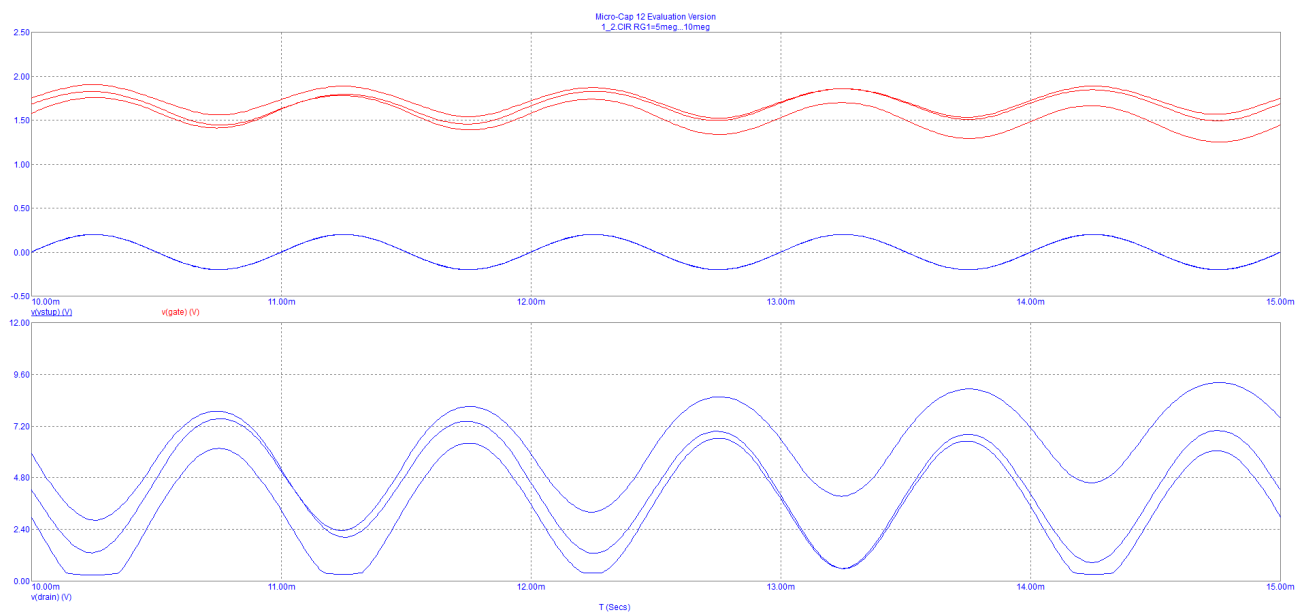
Obrázek 10: Nastavený pracovní bod zesilovače.



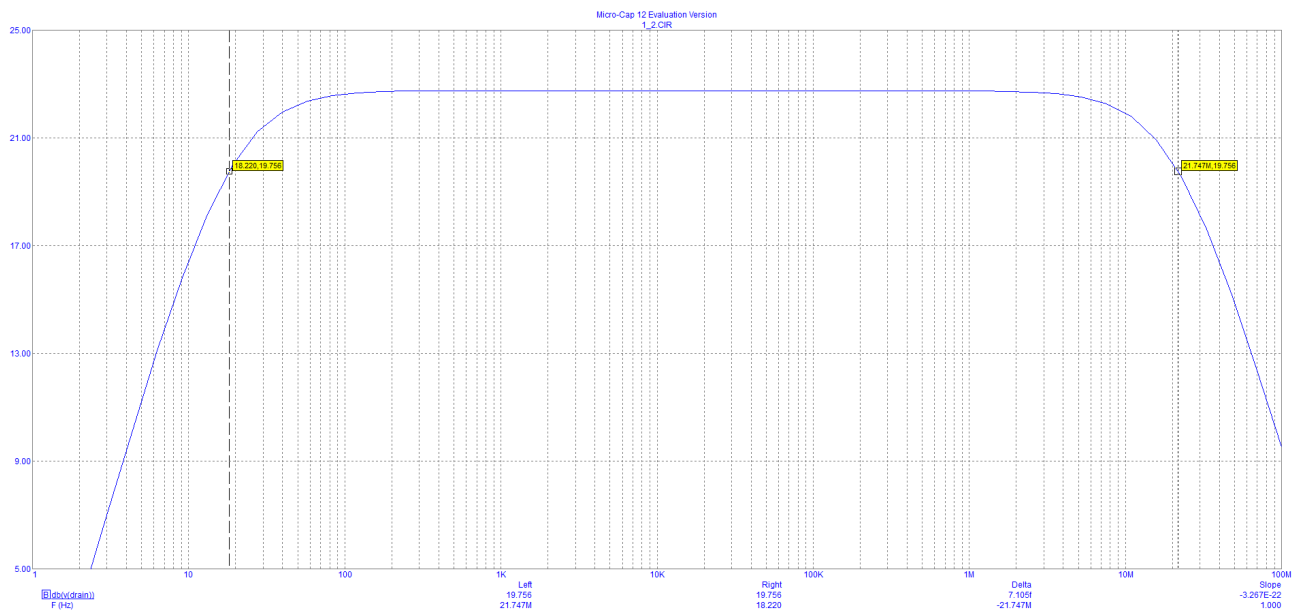
Obrázek 11: Průběhy napětí na zesilovači.



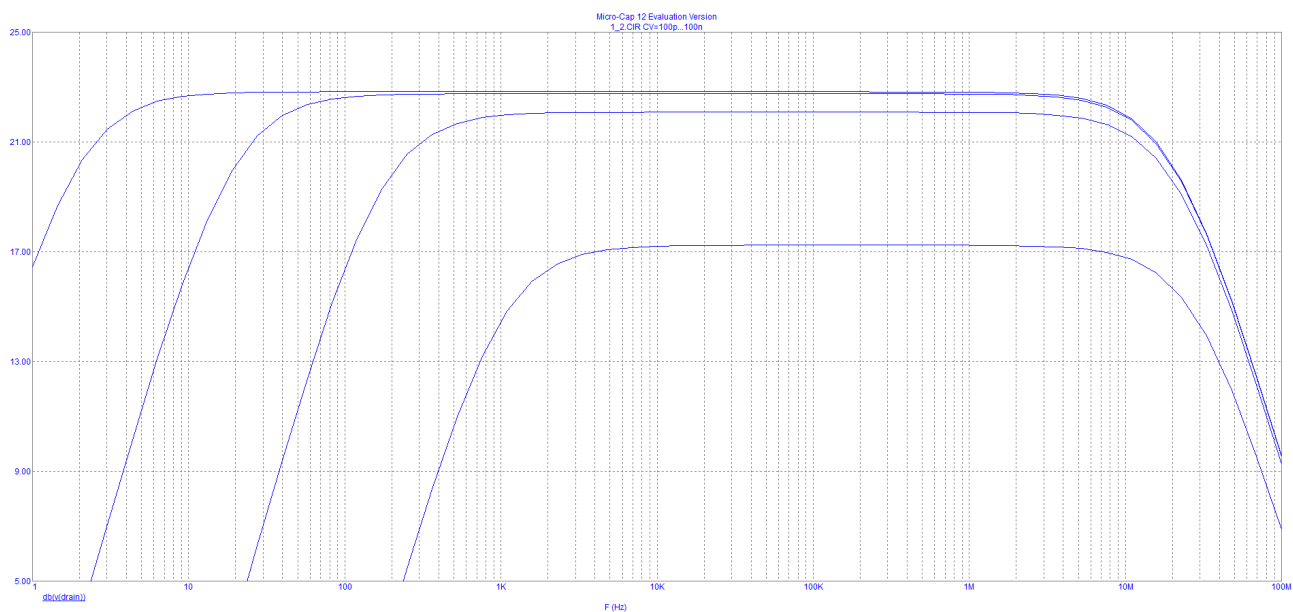
Obrázek 12: Průběhy napětí na zesilovači pro  $U_{vstup} = \{100; 200; 600\} \text{ mV}$ .



Obrázek 13: Průběhy napětí na zesilovači pro  $R_b = \{5; 6; 7; 10\} \text{ M}\Omega$ .



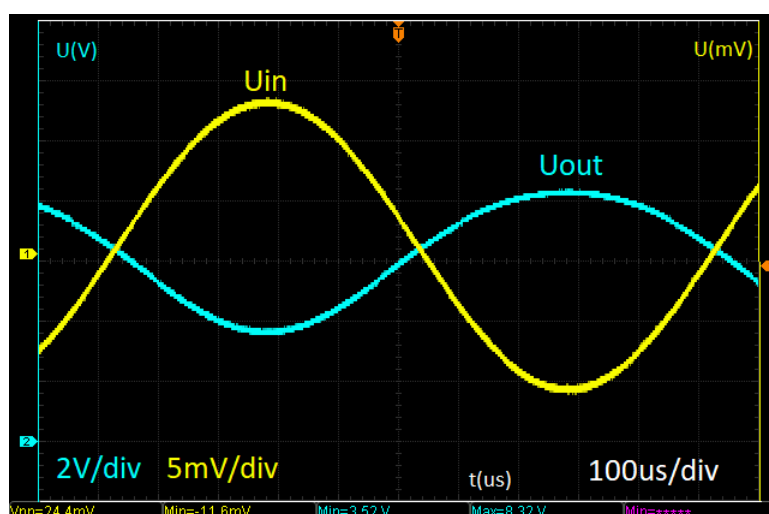
Obrázek 14: Frekvneční charakteristika.



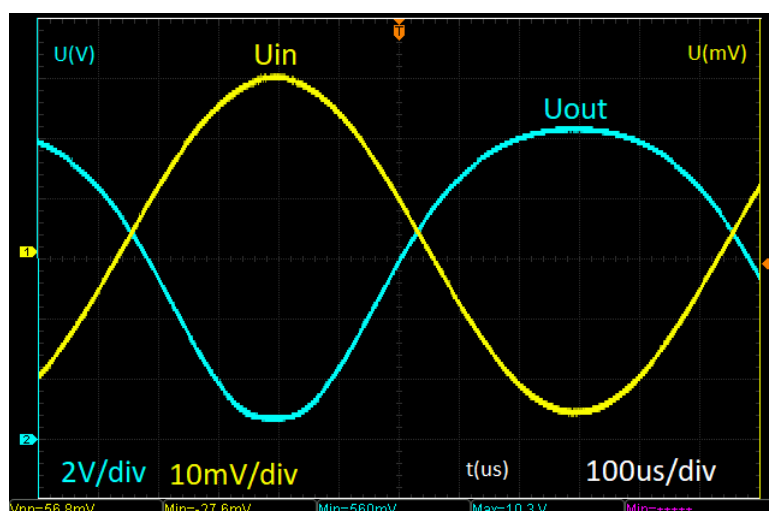
Obrázek 15: Frekvneční charakteristika pro  $C_v = \{0, 1; 1; 10; 100\} \text{ nF}$ .



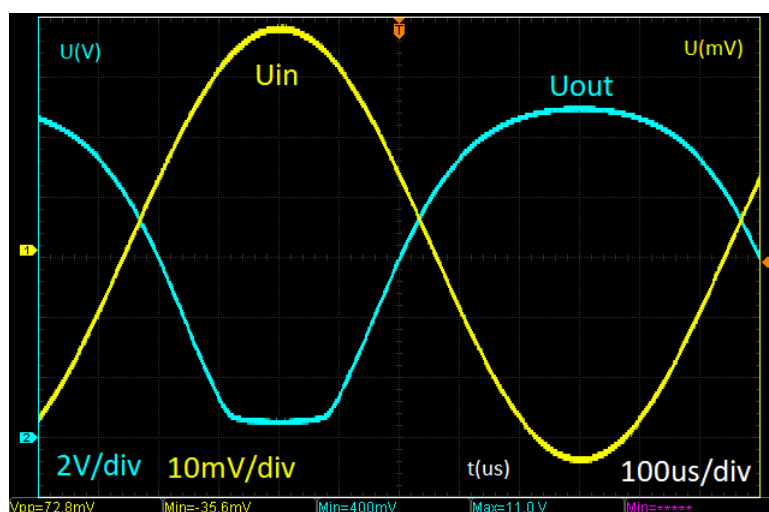
# Měření



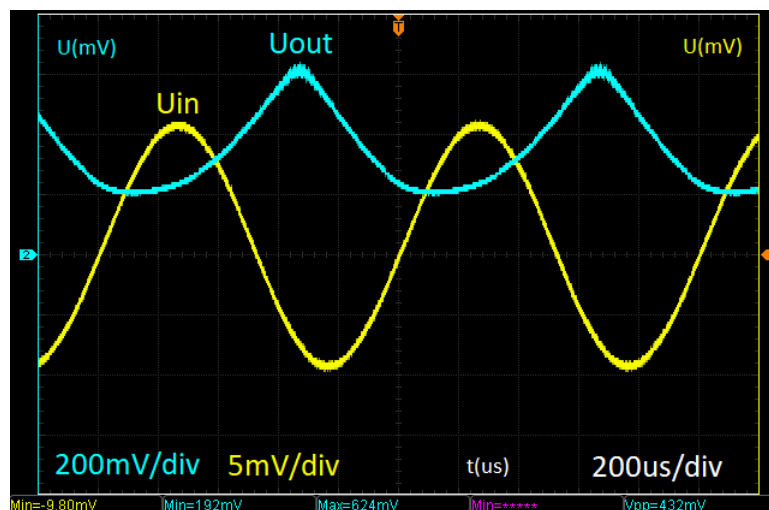
Obrázek 16: Nezkreslené zesílení.



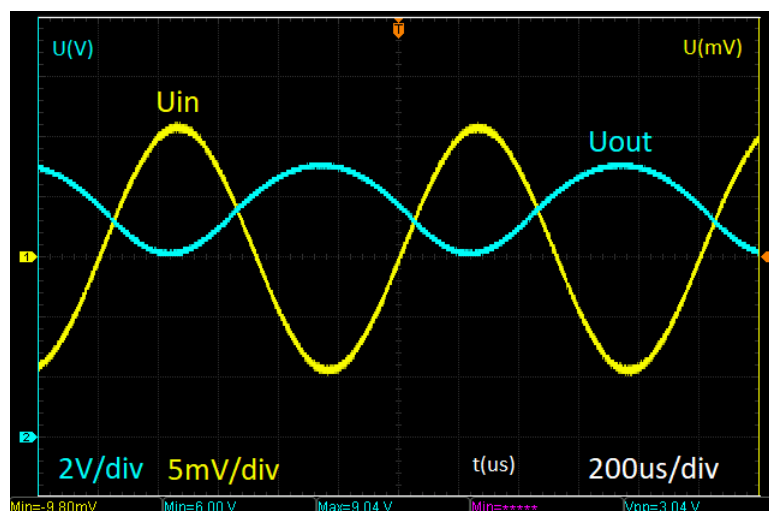
Obrázek 17: Mírně zkreslené zesílení.



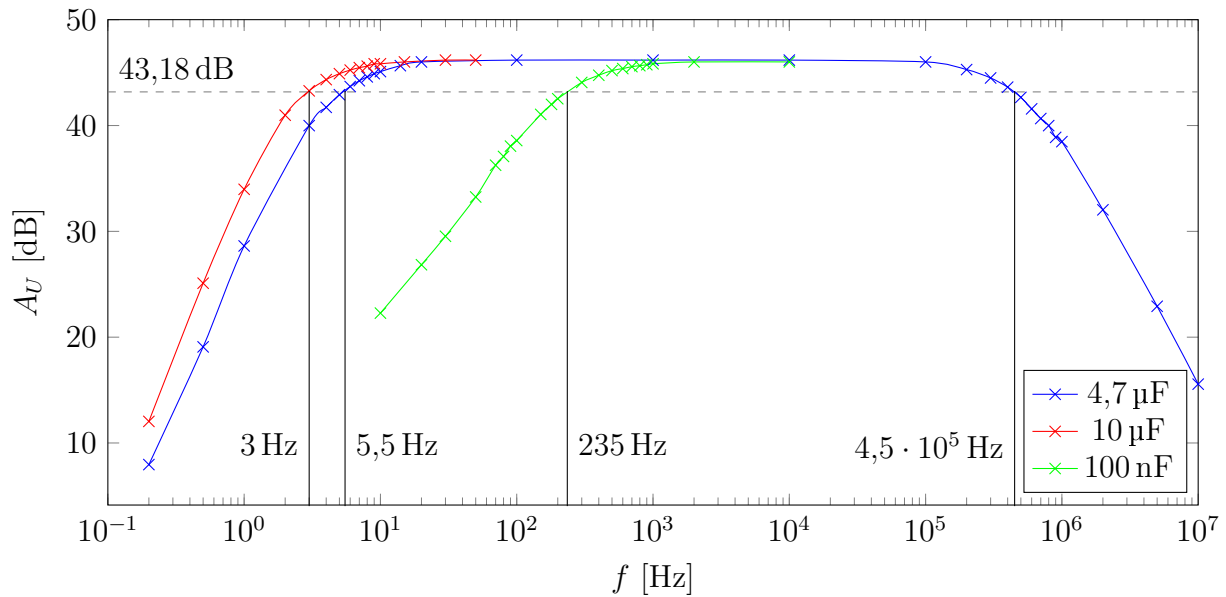
Obrázek 18: Zkreslené zesílení, dosažení saturace.



Obrázek 19: Změna pracovního bodu,  $R_b = 1M\Omega$



Obrázek 20: Změna pracovního bodu,  $R_b = 4,16M\Omega$



Obrázek 21: Kmitočtová charakteristika zesilovače v závislosti na změně hodnoty vazebního kapacitoru.  $A_{maxm} = 46,18 \text{ dB}$

## Tabulka hodnot

Tabulka 1: Porovnání hodnot při nastaveném pracovním bodu

BJT	$U_{CE} [V]$	$U_{CB} [V]$	$U_{BE} [mV]$	$h_{21E} [-]$
Výpočet	6,000	11,350	650,000	500
Simulace	6,001	11,366	633,563	520
Měření	6,000	-	-	570

## Závěr

Simulovali jsme zesilovače s bipolárním a unipolárním tranzistorem, následně jsme ověřili simulace měřením pouze pro zesilovač s bipolárním transtorem, tudíž zhodnocení bude o tomto zesilovači.

Velikost odporu  $R_b$  nám v simulaci vyšla  $2,2 \text{ M}\Omega$  a při měření  $3,02 \text{ M}\Omega$ , rozdíl mezi hodnotami je způsobený vyšší hodnotou  $h_{21E}$  pro reálný tranzistor oproti simulovanému viz tabulka 1, ve které je porovnání napětí na tranzistoru v pracovním bodě. Přeskrtnuté hodnoty jsme zapoměli změřit.

Simulované a naměřené průběhy pro různé vstupní napětí nám vyšly přibližně stejné. Avšak některé simulované průběhy, vzhledem k nepřesným modelům součástek, vycházejí velice nepřesně viz obrázek 7. Maximální simulované zesílení  $A_{maxs} = 43,34 \text{ dB}$  se oproti maximálnímu naměřenému  $A_{maxm} = 46,18 \text{ dB}$  moc neliší.

Dolní mezní frekvence naměřené a simulované se téměř shodují viz obrázek 9 a 21, protože jejich hodnoty závisí na velikosti kondenzátoru  $C_v$ , jehož reálné a simulované parametry se moc neliší. Také lze vidět, že ze zvětšující kapacitou klesá dolní mezní frekvence.