

Analogové elektronické obvody Ústav mikroelektroniky FEKT VUT v Brně			Jméno Jakub Charvot	ID 240844
			Ročník 2.	Obor MET Skupina MET/4
Spolupracoval Radek Kučera	Měřeno dne 29. 9. 2022	Odevzdáno dne 13. 10. 2022	Hodnocení	
Název úlohy Pracovní bod a jeho pohyb				Č. úlohy 1

Teoretický úvod

Bipolární tranzistor

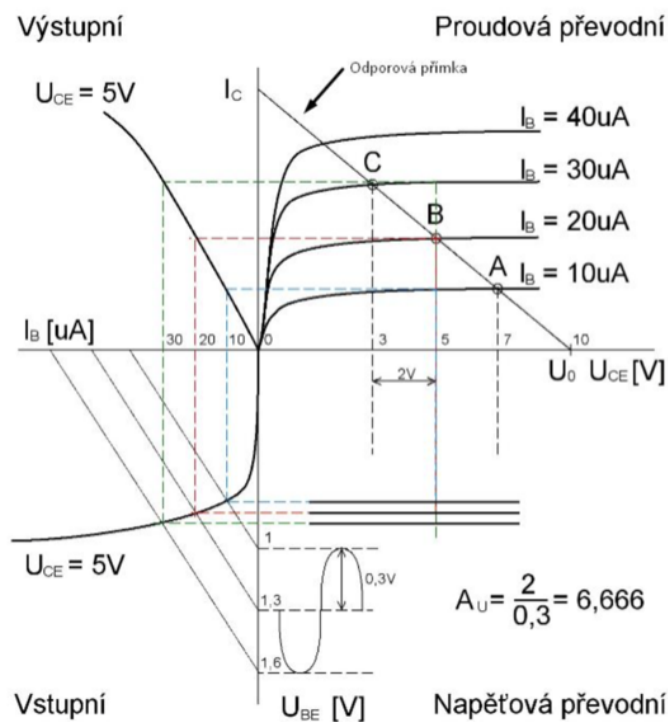
$h_{21E} = \frac{I_{CQ}}{I_{BQ}} \dots$ stejnosměrné proudové zesílení

$h_{21e} = \beta = \left. \frac{dI_C}{dI_B} \right|_Q \dots$ střídavé proudové zesílení

$S = \left. \frac{dI_C}{dU_{BE}} \right|_Q \dots$ strmost tranzistoru

$r_{in} = \left. \frac{dU_{BE}}{dI_B} \right|_Q \dots$ střídavý vstupní odpor

$r_{out} = \left. \frac{dU_{CE}}{dI_C} \right|_Q \dots$ střídavý výstupní odpor



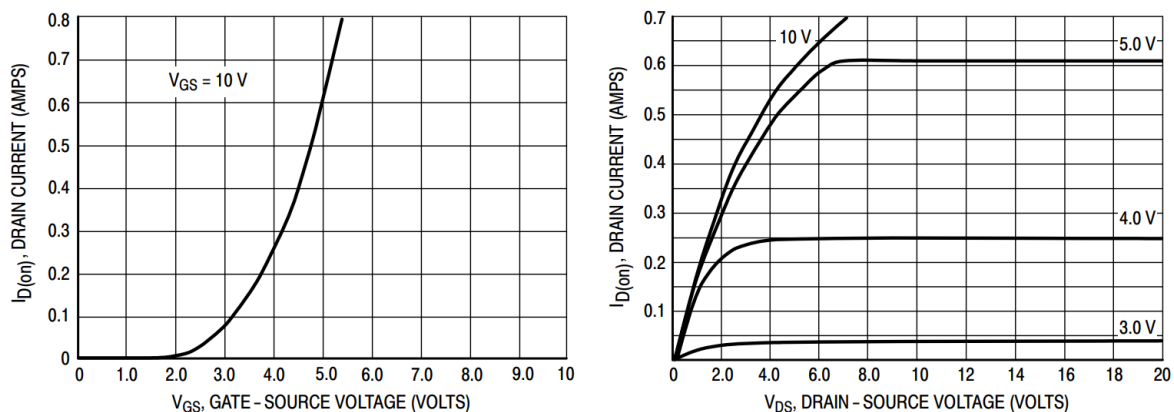
Obr. 1: Charakteristika bipolárního tranzistoru a pohyb pracovního bodu.

Unipolární tranzistor

$$G_m = \frac{I_{DQ}}{U_{GSQ}} \dots \text{stejnoseměrná strmost}$$

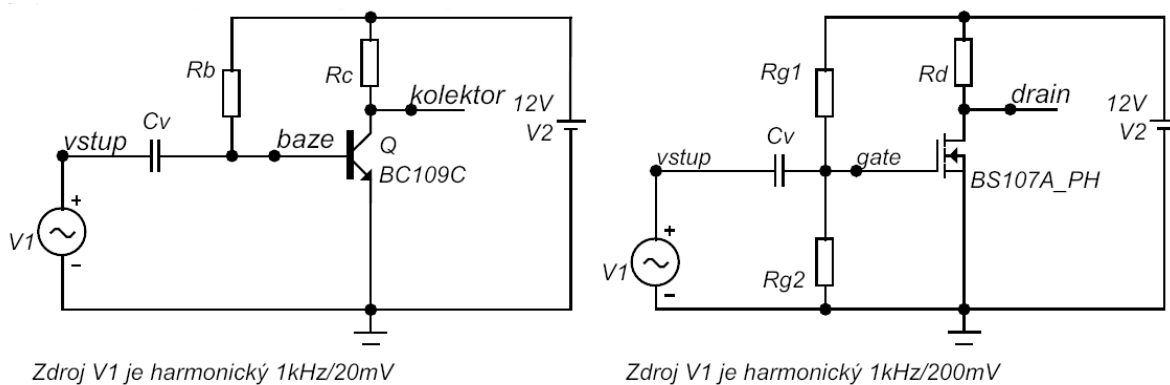
$$g_m = \left. \frac{dI_D}{dU_{GS}} \right|_Q \dots \text{střídavá strmost}$$

$$R_{in} = \frac{R_{g1} R_{g2}}{R_{g1} + R_{g2}} \dots \text{střídavý vstupní odpor}$$



Obr. 2: Převodní a výstupní charakteristika tranzistoru MOSFET (BS107A).

Zadání úlohy



Obr. 3: Schémata zapojení obou úloh.

V případě naší úlohy používáme bipolární tranzistor BC109C typu NPN a unipolární tranzistor BS107A typu MOSFET. Vycházíme z těchto zadaných parametrů:

BC109C

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

BS107A

$$G_m \approx 2 \text{ mA} \cdot \text{V}^{-1}, g_m \approx 6 \text{ mA} \cdot \text{V}^{-1}$$

Výsledky z numerického cvičení

Zesilovač s bipolárním tranzistorem

$$R_C = 2,2 \text{ k}\Omega, R_B = 2 \text{ M}\Omega, C_V = 5 \text{ }\mu\text{F}$$

Stejnoseměrný pracovní bod:

$$U_{CE} \approx 6 \text{ V}, I_C \approx 2,73 \text{ mA}, U_{BE} \approx 0,65 \text{ V}, I_B \approx 5,46 \text{ }\mu\text{A}$$

Střídavé poměry v obvodu:

$$\dot{U}_{BE} = 20 \text{ mV}, \dot{I}_B = 4 \text{ }\mu\text{A}, \dot{U}_{out} = -4,4 \text{ V}, \dot{I}_C = 2 \text{ mA}, f_0 = 6,4 \text{ Hz}$$

Zesilovač s unipolárním tranzistorem

$$R_d = 2,2 \text{ k}\Omega, R_{g1} = 7,8 \text{ M}\Omega, R_{g2} = 1 \text{ M}\Omega, C_V = 10 \text{ nF}$$

Stejnoseměrný pracovní bod:

$$U_{DS} \approx 6 \text{ V}, I_C \approx 2,73 \text{ mA}, U_{GS} \approx 1,365 \text{ V}, I_G \approx 0 \text{ A}$$

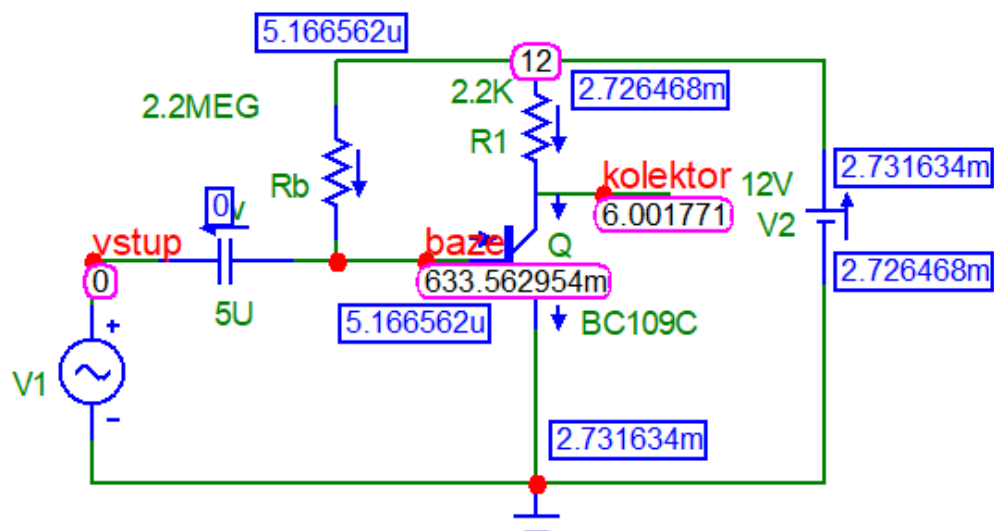
Střídavé poměry v obvodu:

$$\dot{U}_{GS} = 200 \text{ mV}, \dot{I}_G = 0 \text{ A}, \dot{U}_{out} = -2,64 \text{ V}, \dot{I}_D = 1,2 \text{ mA}, f_0 = 18 \text{ Hz}$$

Výsledky počítačové simulace

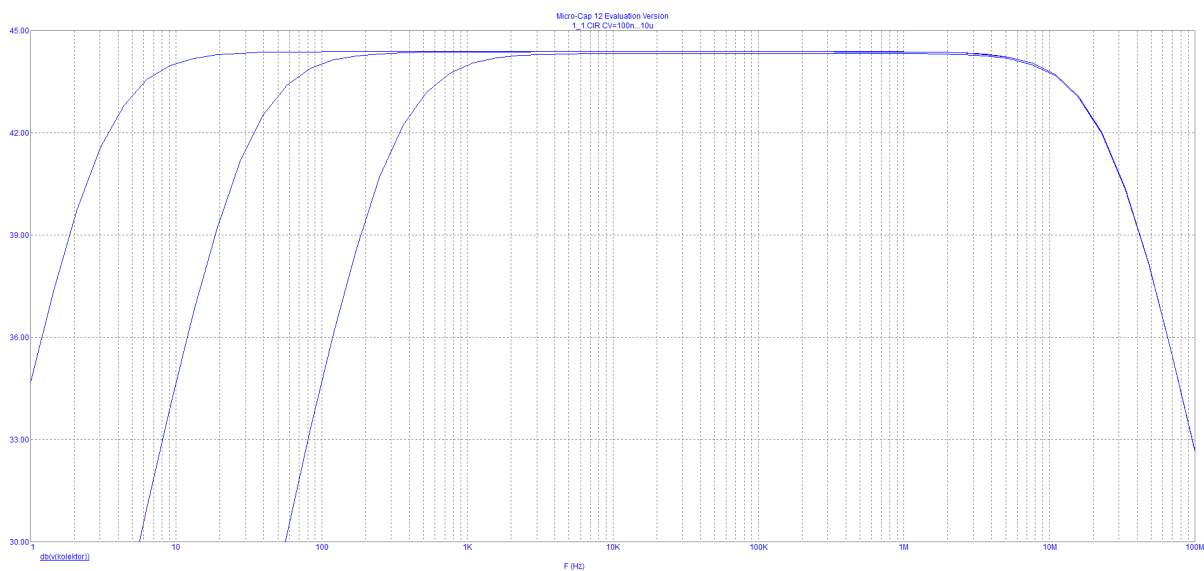
Bipolární tranzistor

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

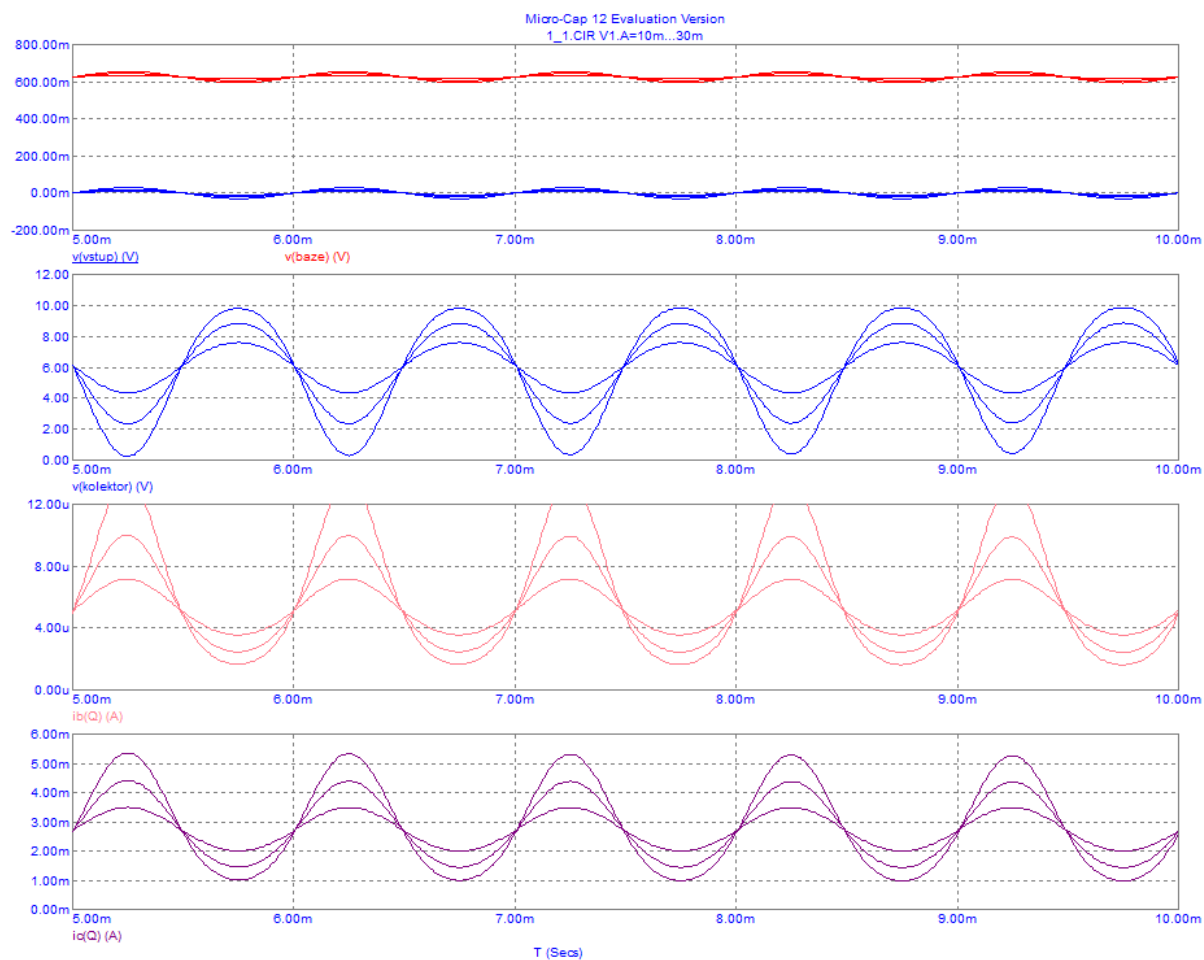


Zdroj V1 je harmonický 1kHz/20mV

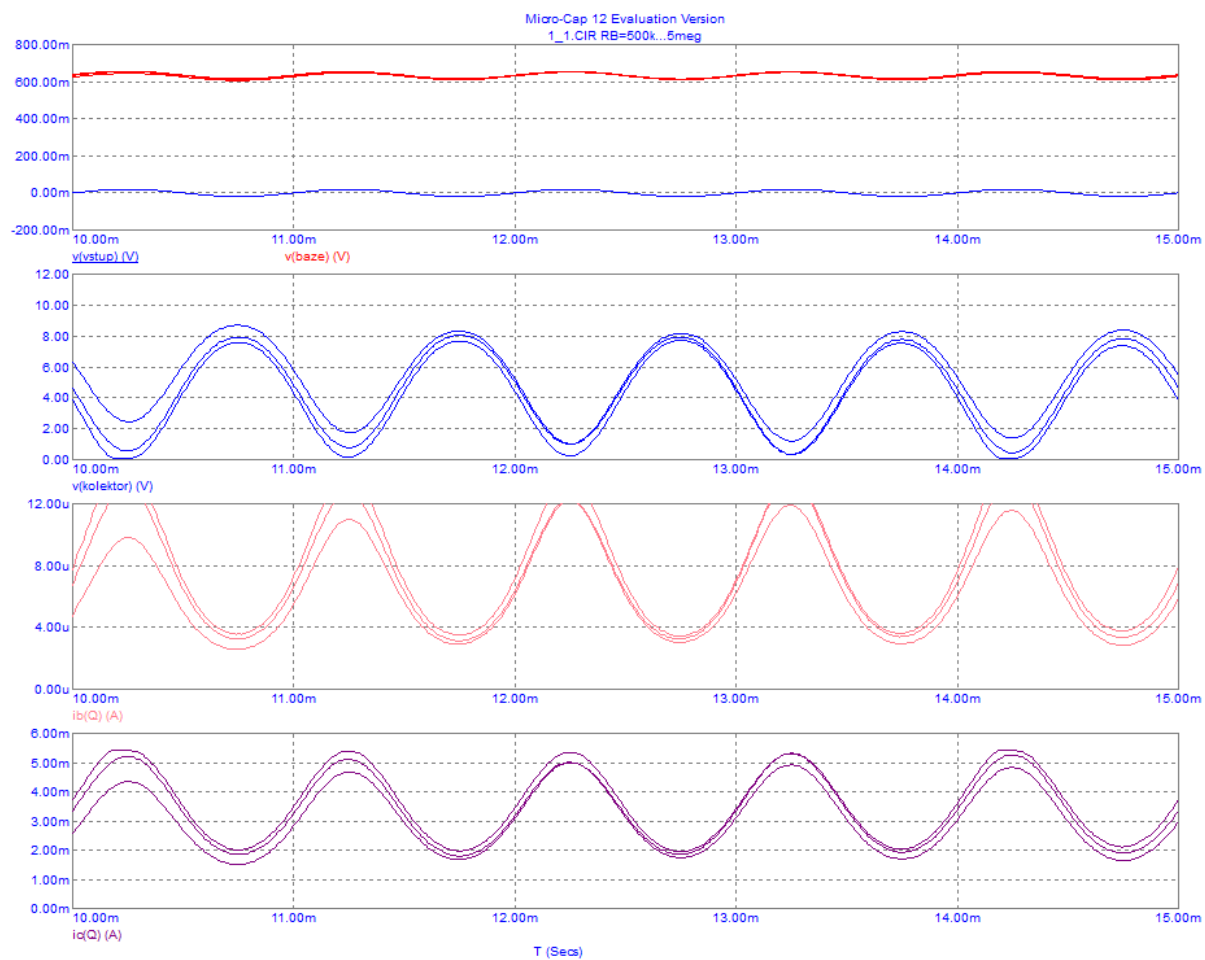
Obr. 4: Pracovní bod zesilovače s BT.



Obr. 5: Kmitočtová charakteristika zesilovače s BT, $C_V = \{100 \text{ nF}; 4,7 \mu\text{F}; 10 \mu\text{F}\}$.



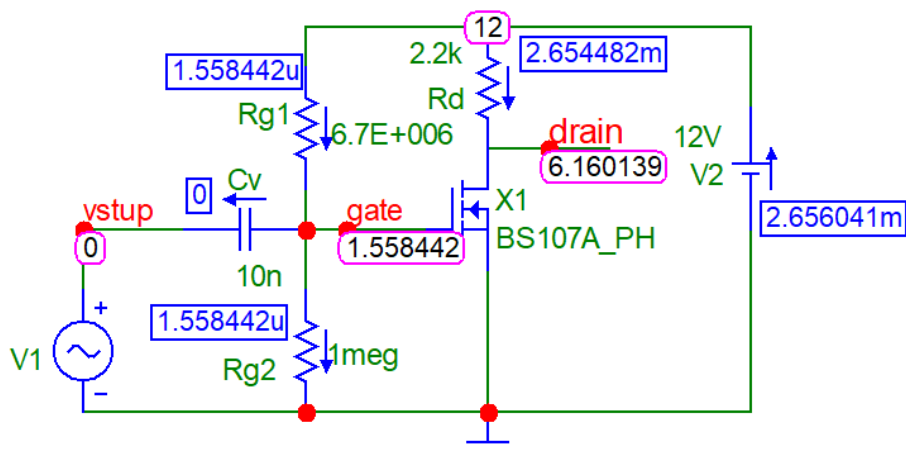
Obr. 8: Reakce obvodu na změnu amplitudy vstupního signálu, $U_{in} = \{10 \text{ mV}; 20 \text{ mV}; 30 \text{ mV}\}$.



Obr. 9: Změna pracovního bodu tranzistoru, $R_b = \{0,5 \text{ M}\Omega; 2 \text{ M}\Omega; 5 \text{ M}\Omega\}$.

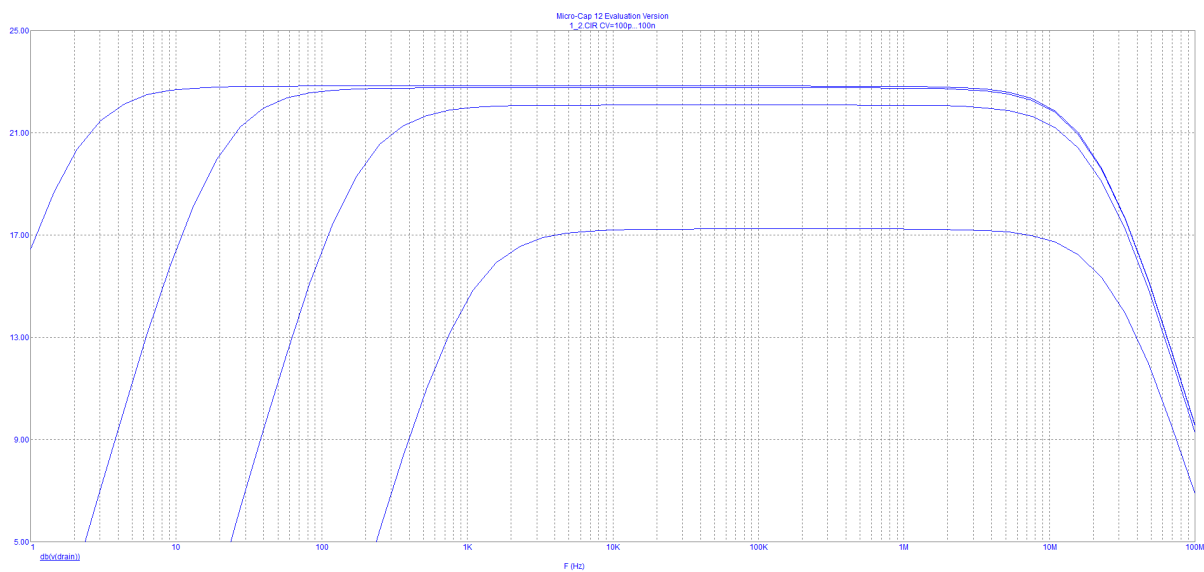
Unipolární tranzistor

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

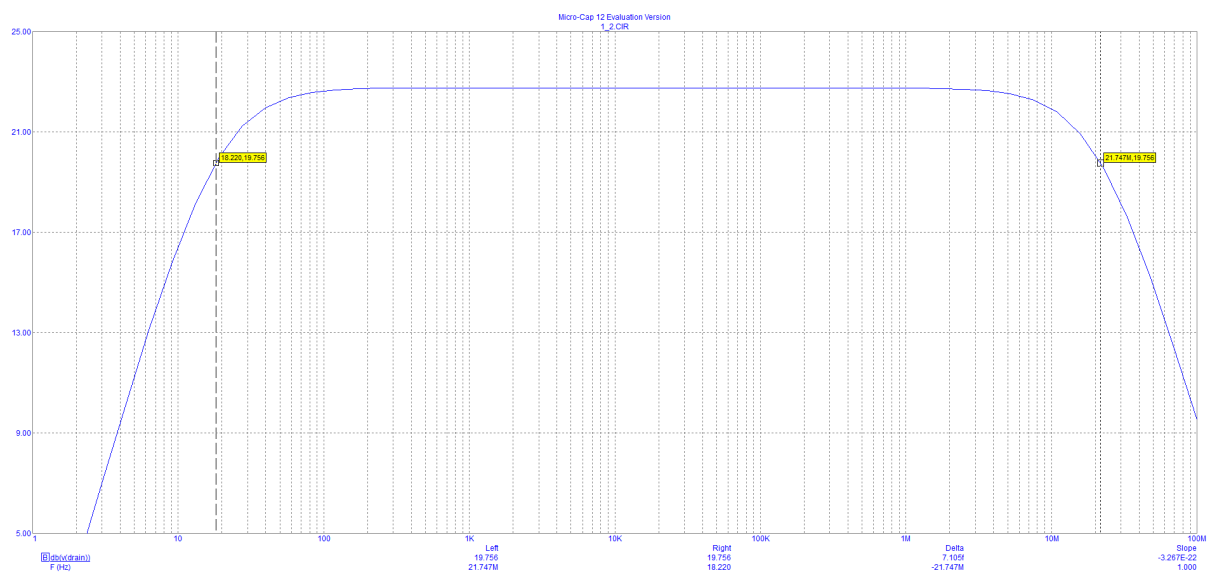


Zdroj V1 je harmonický 1kHz/200mV

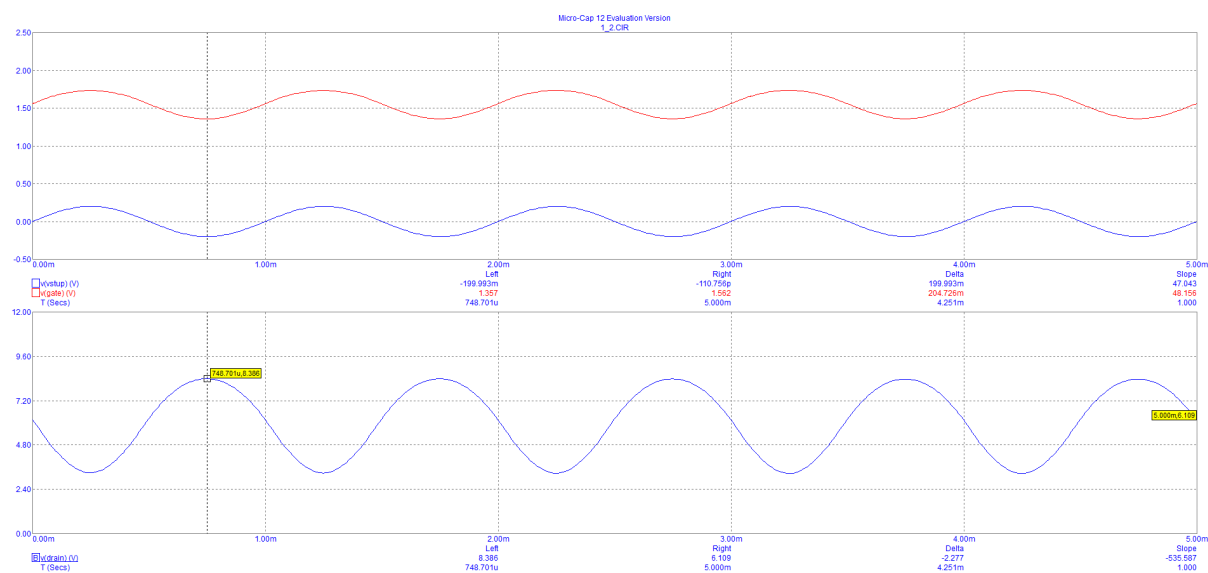
Obr. 10: Pracovní bod zesilovače s unipolárním tranzistorem.



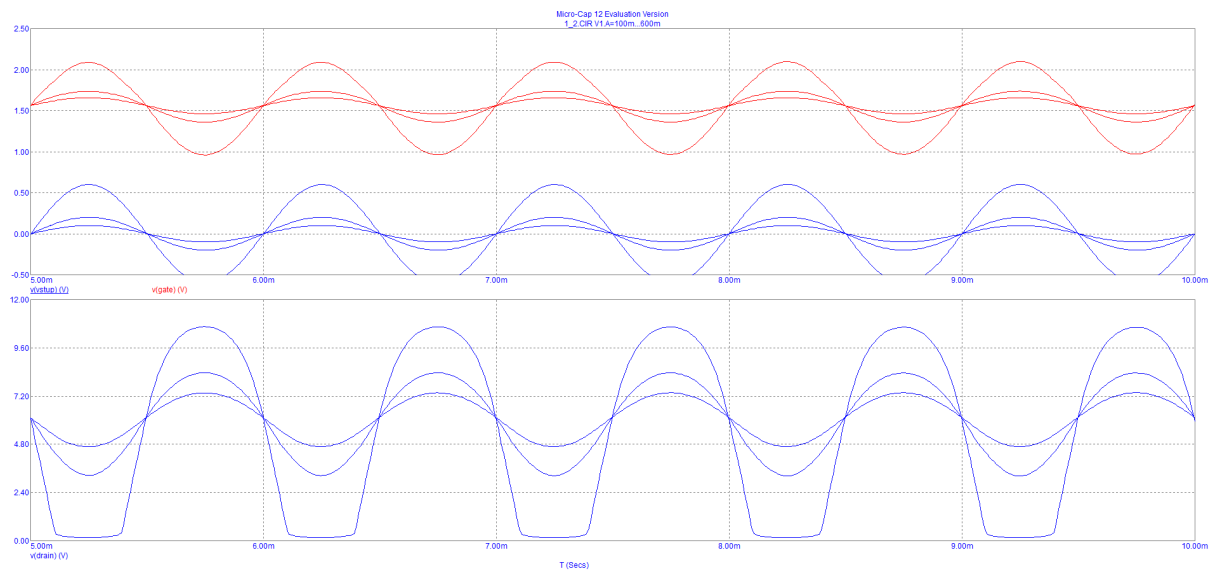
Obr. 11: Kmitočtová charakteristika zesilovače s UT, $C_V = \{100 \text{ pF}; 1 \text{ nF}; 10 \text{ nF}; 100 \text{ nF}\}$.



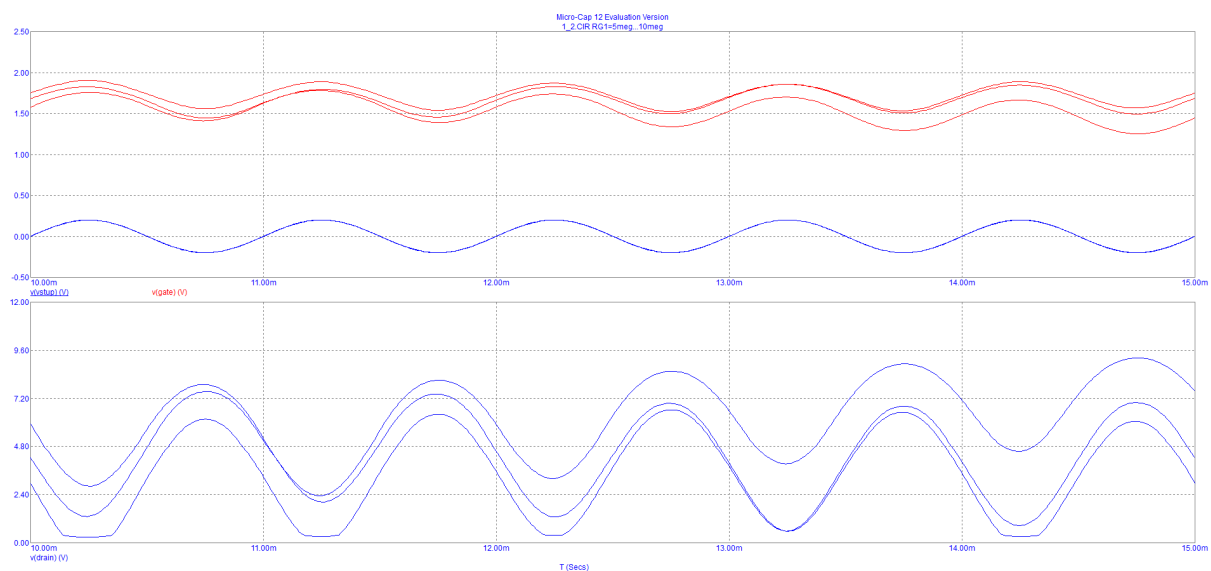
Obr. 12: Šířka pásma zesilovače s UT.



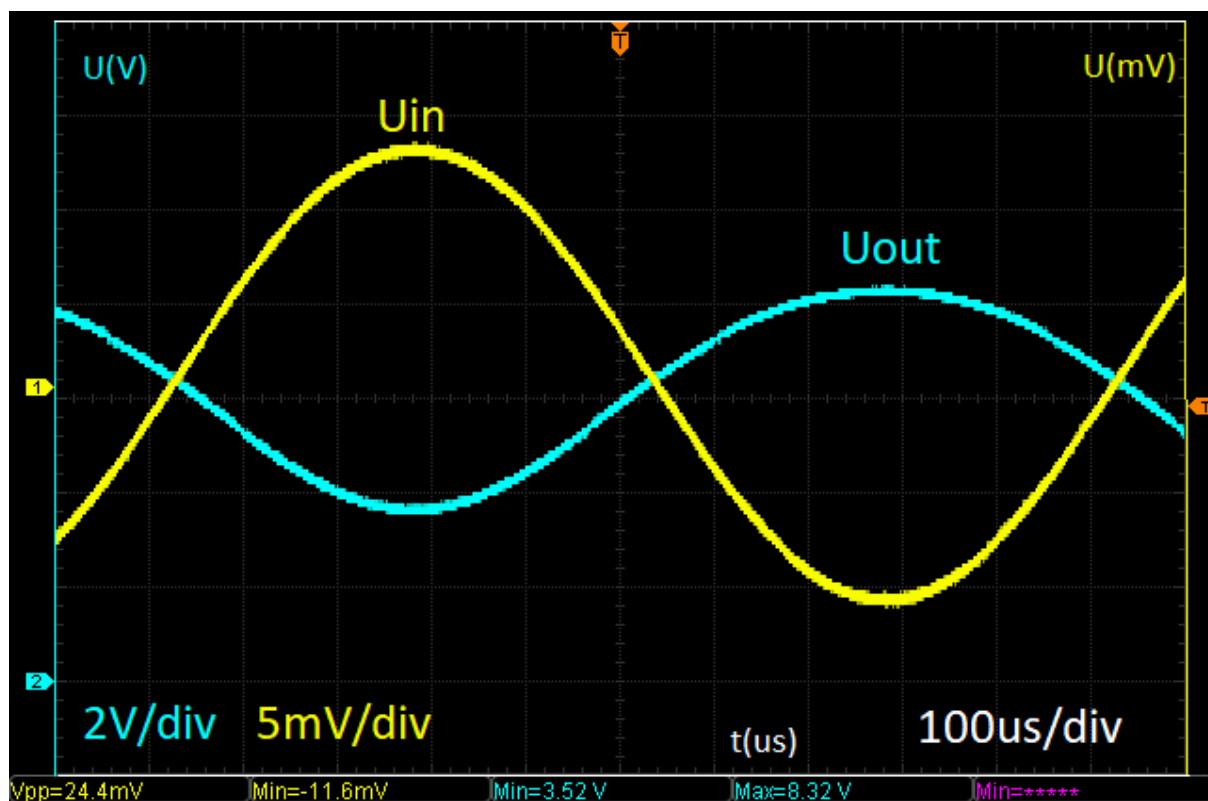
Obr. 13: Časová závislost napětí v obvodu.



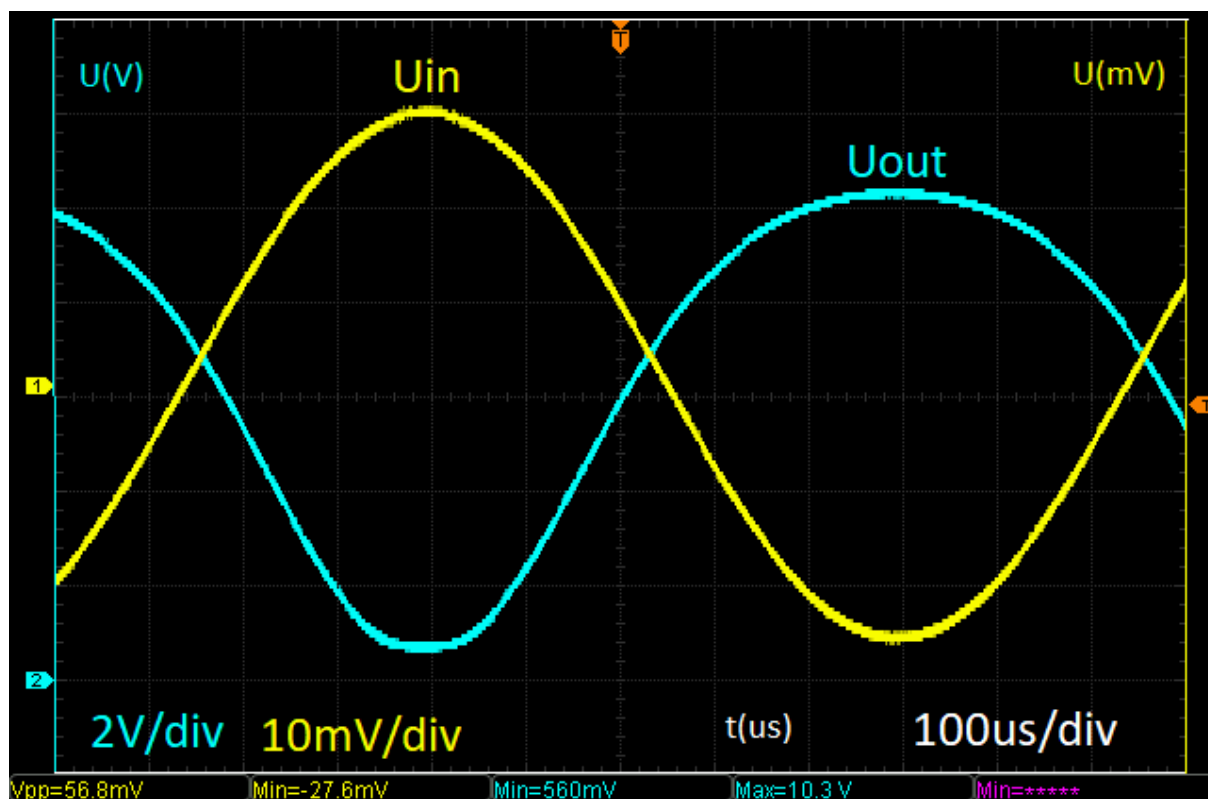
Obr. 14: Reakce obvodu s UT na změnu amplitudy vstupního napětí, $U_{in} = \{100 \text{ mV}; 200 \text{ mV}; 600 \text{ mV}\}$.



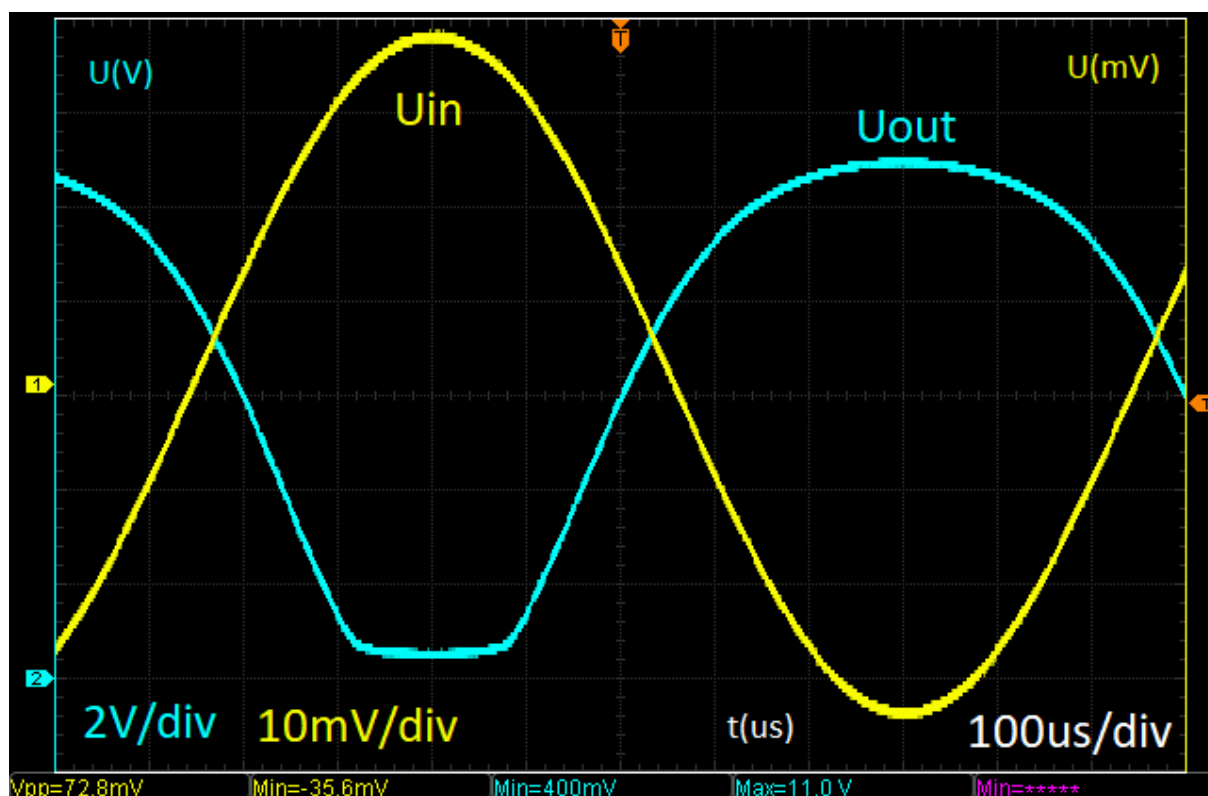
Obr. 15: Změna pracovního bodu tranzistoru, $R_b = \{5 \text{ M}\Omega; 6,7 \text{ M}\Omega; 10 \text{ M}\Omega\}$.



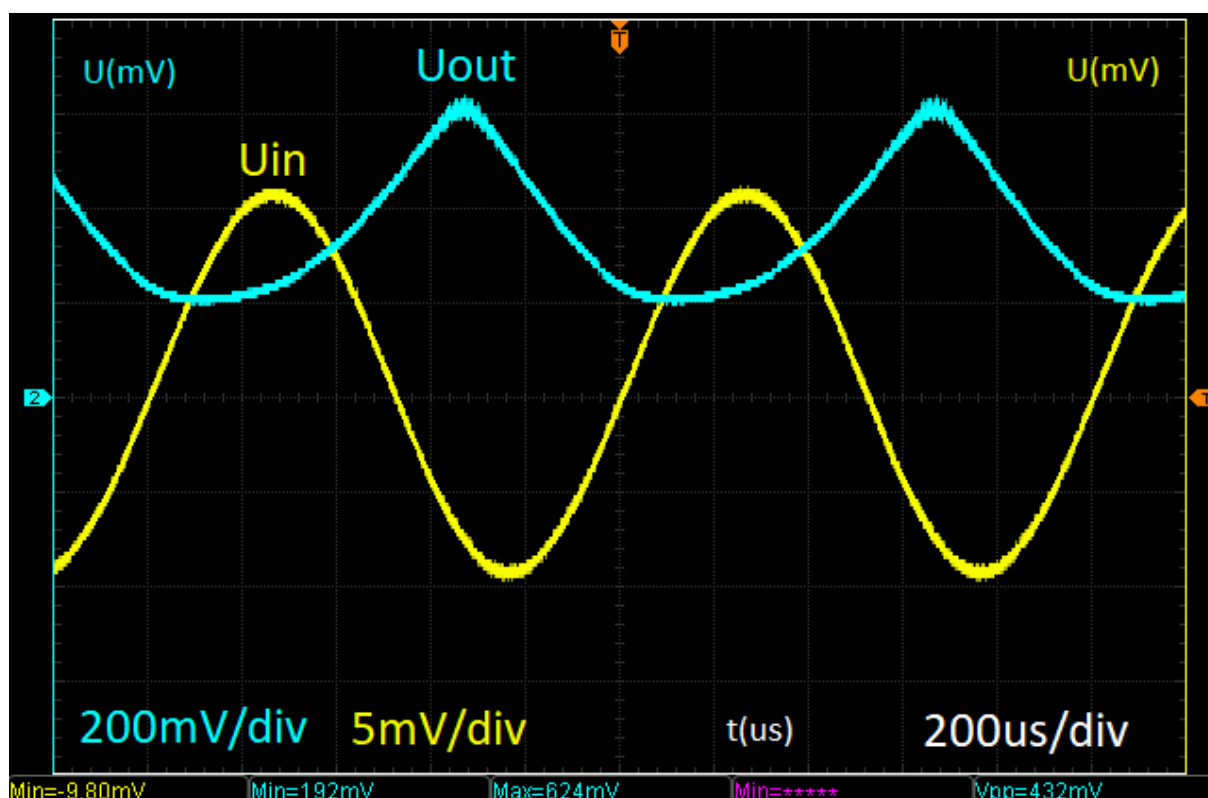
Obr. 16: Nezkreslené zesílení.



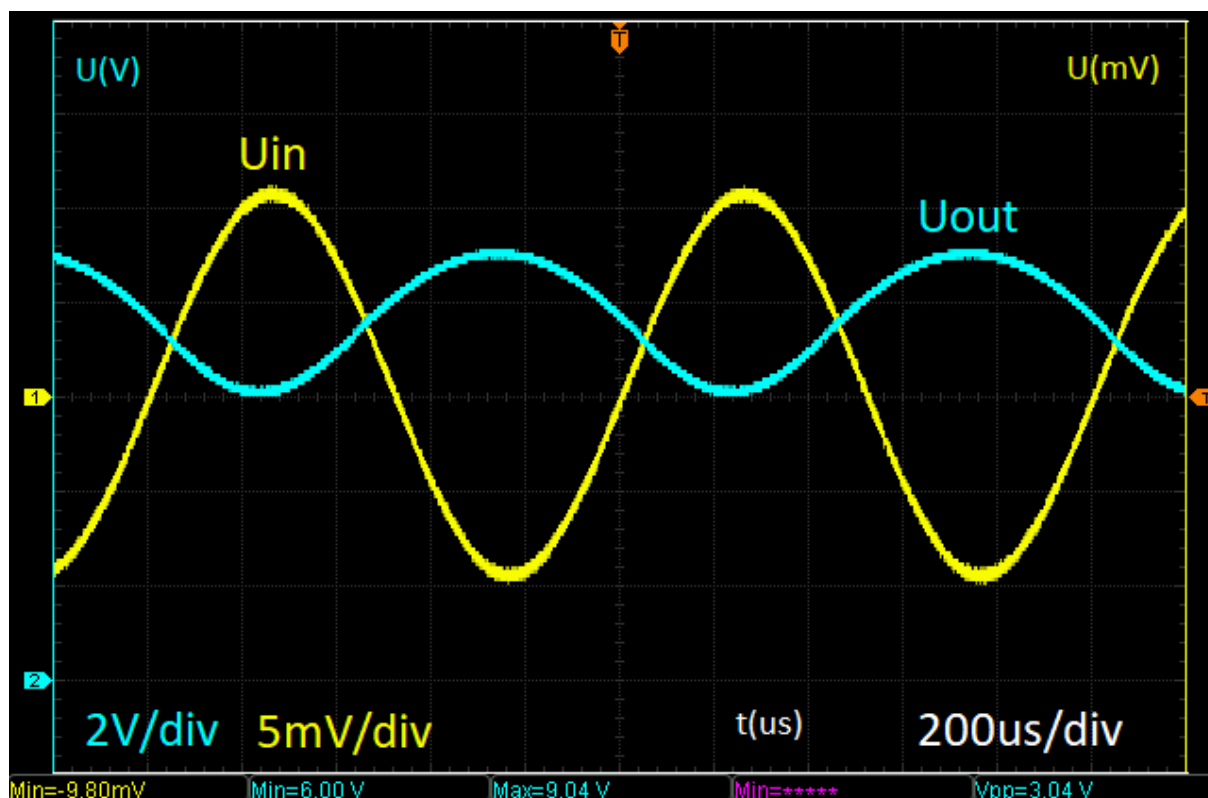
Obr. 17: Mírné zkreslení, vyšší amplituda vstupního signálu.



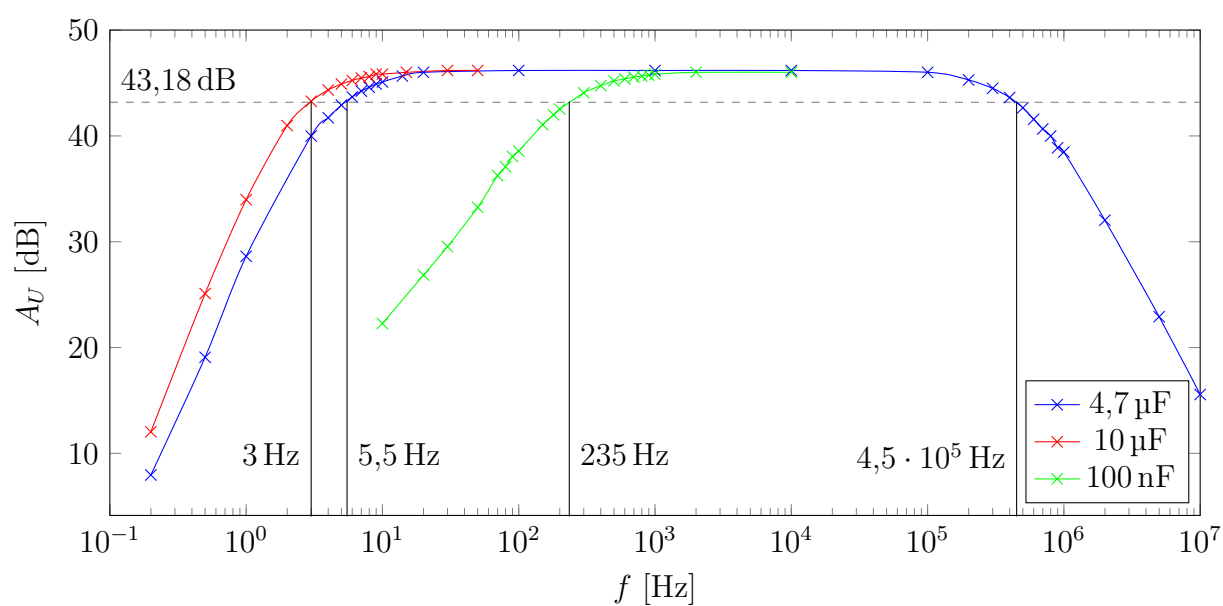
Obr. 18: Vysoké zkreslení, dosažení saturace.



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



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



Obr. 21: Kmitočtová charakteristika zesilovače v závislosti na změně hodnoty vazebního kapacitoru C_V .

Tabulka hodnot

	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

Tabulka 1: Porovnání výsledků.

Závěr

Stanovovali jsme pracovní bod zapojení s bipolárním a unipolárním tranzistorem a určovali jejich kmitočtové charakteristiky. Hodnoty vypočtené v numerických a počítačových cvičeních se liší minimálně, na základě takto zjištěných hodnot jednotlivých součástí je možné realizovat praktické zapojení. Jelikož ale činitel h_{21E} velmi závisí na konkrétním kusu tranzistoru a v našem případě je o něco vyšší než bylo předpokládáno (viz. Tab. 1), bylo potřeba upravit hodnotu odporu R_B na $3,02\text{ M}\Omega$.

Na základě simulace jsme testovali zkreslení signálu jak při zvýšení amplitudy vstupního signálu, tak při změně pracovního bodu (změna hodnoty R_b). Pro příliš velkou amplitudu vstupního signálu se tranzistor dostává mimo oblast lineárního zesílení, do oblasti saturace, dochází tedy ke zkreslení signálu. Stejně tak tomu je i v případě snížení hodnoty R_b . Při zvýšení hodnoty R_b tranzistor méně zesiluje.

Pro tři hodnoty vazebného kondenzátoru C_V jsme za pomoci osciloskopu měřili kmitočtovou charakteristiku zapojení (viz. Obr. 21). Pro $C_V = 4,7\text{ mF}$ jsme stanovili dolní mezní kmitočet $5,5\text{ Hz}$, což téměř odpovídá hodnotě určené simulací. Horní mezní kmitočet se už ale liší, naměřili jsme hodnotu $0,45\text{ MHz}$, naopak simulace zobrazila $26,4\text{ MHz}$.