

OTE Domácí úkol 3b - Přístrojový zesilovač

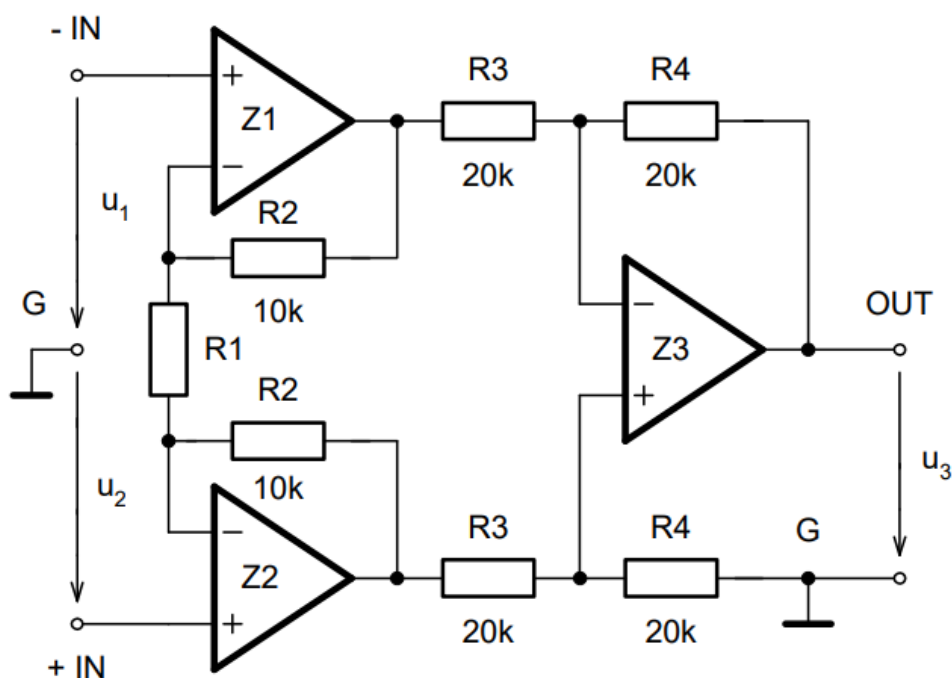
Vojtěch Michal

29. března 2022

V simulacích pro tuto úlohu bylo použito nastavení parametrů operačního zesilovače uvedené v tabulce 1. Symbolem u_3 označuji napětí na výstupu přístrojového zesilovače proti zemi, napětí u_2 a u_1 jsou po řadě napětí kladného a záporného vstupu přístrojového zesilovače proti zemi (konvence použitá v zadání). Struktura symetrického přístrojového zesilovače je na obrázku 1.

parametr	symbol	hodnota	jednotka	poznámka
Vstupní napěťový offset	U_0	1	mV	
Vstupní klidový proud	I_B	50	nA	$(I_{BP} + I_{BN})/2$
Vstupní zbytkový proud	I_0	20	nA	$I_{BP} - I_{BN}$
Zesílení v otevřené smyčce	A_D	200	kV V^{-1}	
Tranzitní kmitočet	f_T	1	MHz	

Tabulka 1: Parametry operačního zesilovače použité pro simulaci



Obrázek 1: Struktura přístrojového zesilovače, převzato ze zadání

1 Použité rezistory

Pro rozdílové zesílení přístrojového zesilovače platí vztah

$$G_D = \frac{R_4}{R_3} \left(12 + \frac{R_2}{R_1} \right). \quad (1)$$

Fixováním $R_2 = 10\text{k}\Omega$ a $R_4 = R_3 = 20\text{k}\Omega$ je možné plně ovládat rozdílové zesílení nastavováním hodnoty R_1 . Potřebné hodnoty odporu R_1 pro daná rozdílová zesílení G_D jsou v tabulce 2.

rozdílové zesílení G_D	R_1 [k Ω]
1	∞ (rozpojený obvod)
2	20
4	6, $\bar{6}$
8	2,86

Tabulka 2: Hodnoty R_1 v závislosti na potřebném rozdílovém zesílení G_D

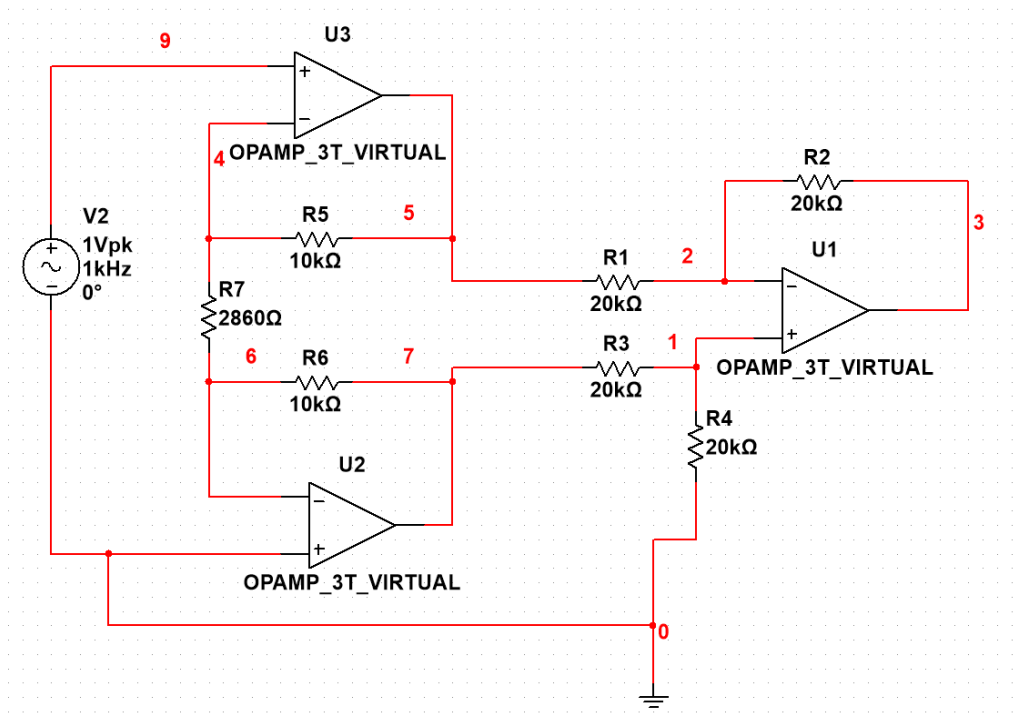
2 Chyba zesílení a nuly

Výstupní zbytkové napětí (chyba nuly) změřené při zkratovaných vstupech přístrojového zesilovače je $U_{30} = -2,4\text{mV}$ a není závislé na nastavení rozdílového zesílení.

3 Frekvenční charakteristika rozdílového zesílení G_D

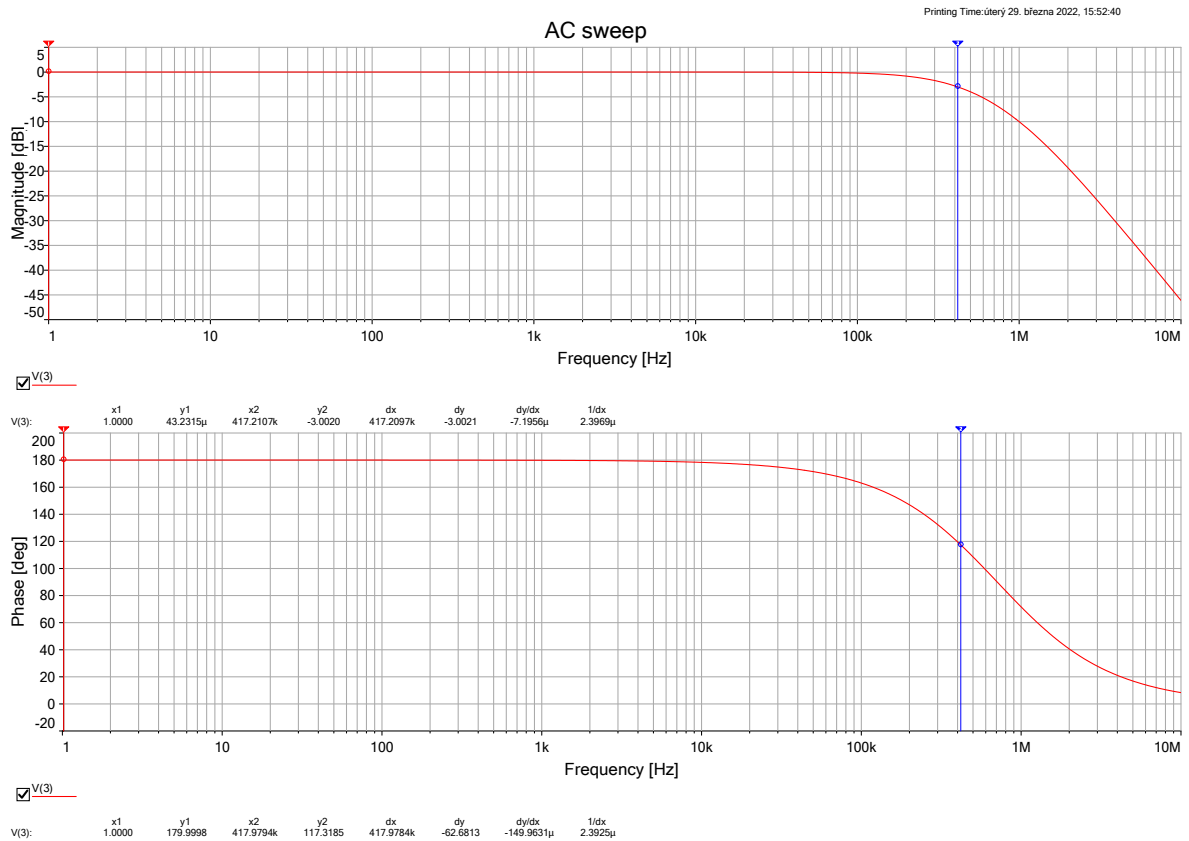
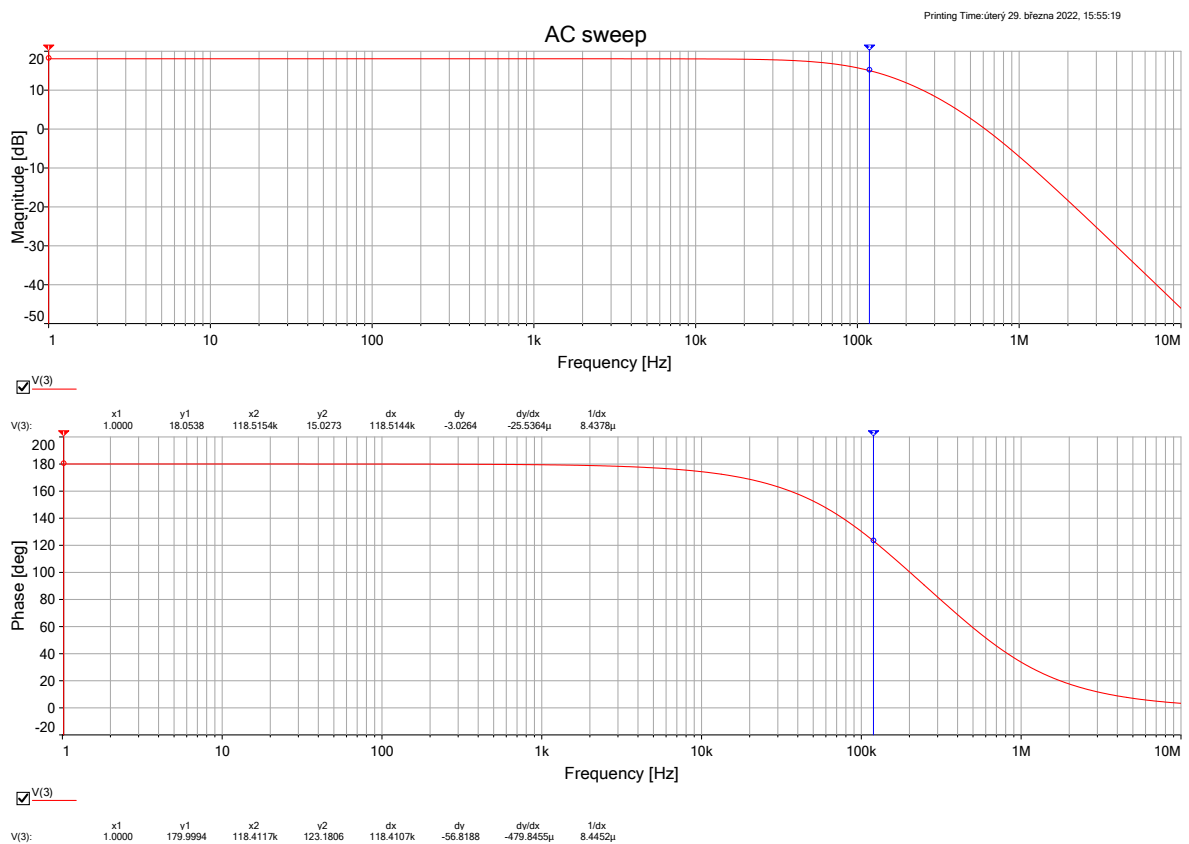
S pomocí zapojení na schématu 2 a funkce *AC sweep* byly získány frekvenční charakteristiky rozdílového zesílení pro $G_D \in \{1, 8\}$, které jsou vykresleny na obrázcích 3 a 4. Mezní kmitočty pro jednotlivá zesílení jsou zanesena v tabulce 3 a přibližně odpovídají analytickému vztahu pro *gain-bandwidth product* $f_m \cdot (G_D + 1) = f_T$, tedy přibližně odpovídají příslušnému rozdílovému zesilovači analyzovanému v minulém domácím úkolu.

Jen pro zesílení $G_D = 1$ je mezní frekvence výrazně nižší než u samotného rozdílového zesilovače, zejména proto, že rozdílový zesilovač U_1 se zesílením 1 obsažený v přístrojovém zesilovači má na 500 kHz vlastní mezní frekvenci a pokles zesílení o 3 dB proto nastává dříve.

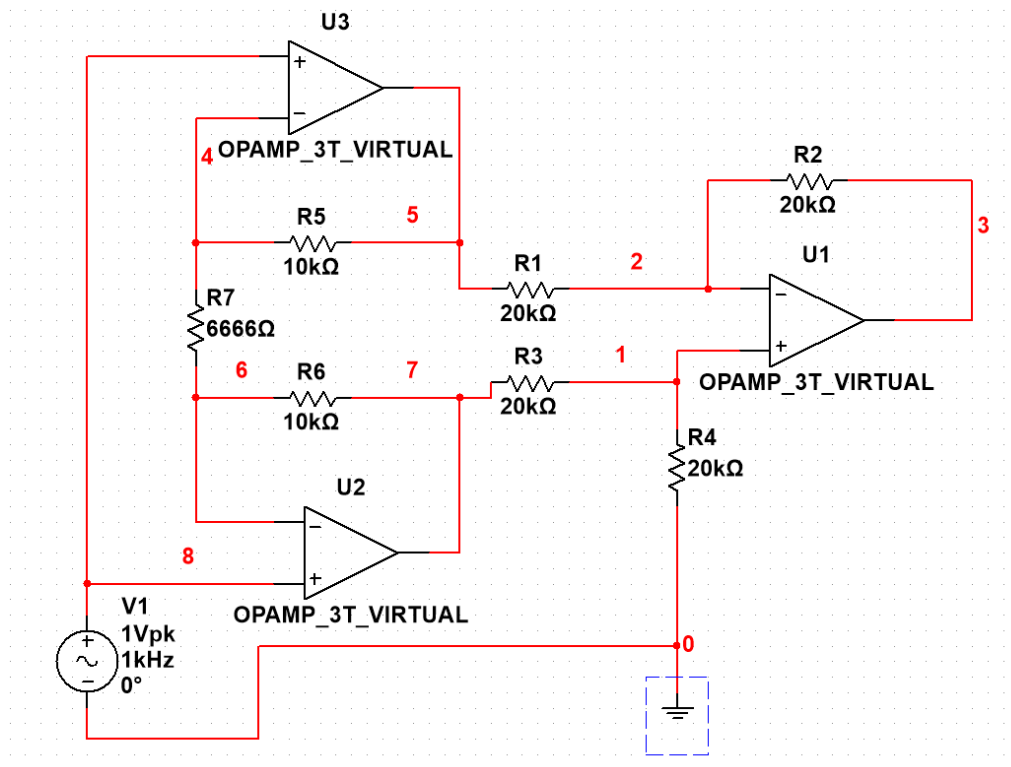
Obrázek 2: Zapojení pro získání frekvenční charakteristiky rozdílového zesílení G_D

rozdílové zesílení G_D	mezní kmitočet f_m [kHz]
1	417
2	324
4	208
8	118

Tabulka 3: Závislost mezní frekvence na rozdílovém zesílení

Obrázek 3: Frekvenční charakteristika rozdílového zesílení pro $G_D = 1$ Obrázek 4: Frekvenční charakteristika rozdílového zesílení pro $G_D = 8$

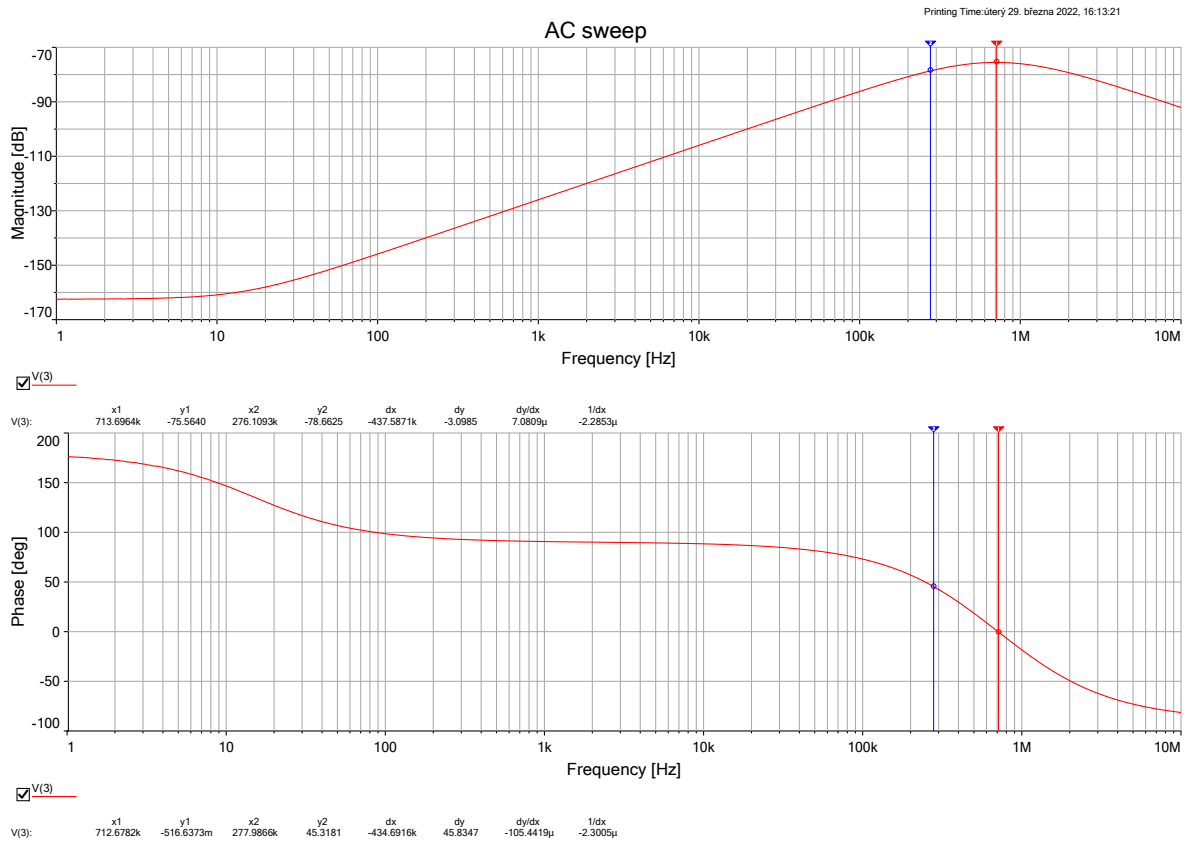
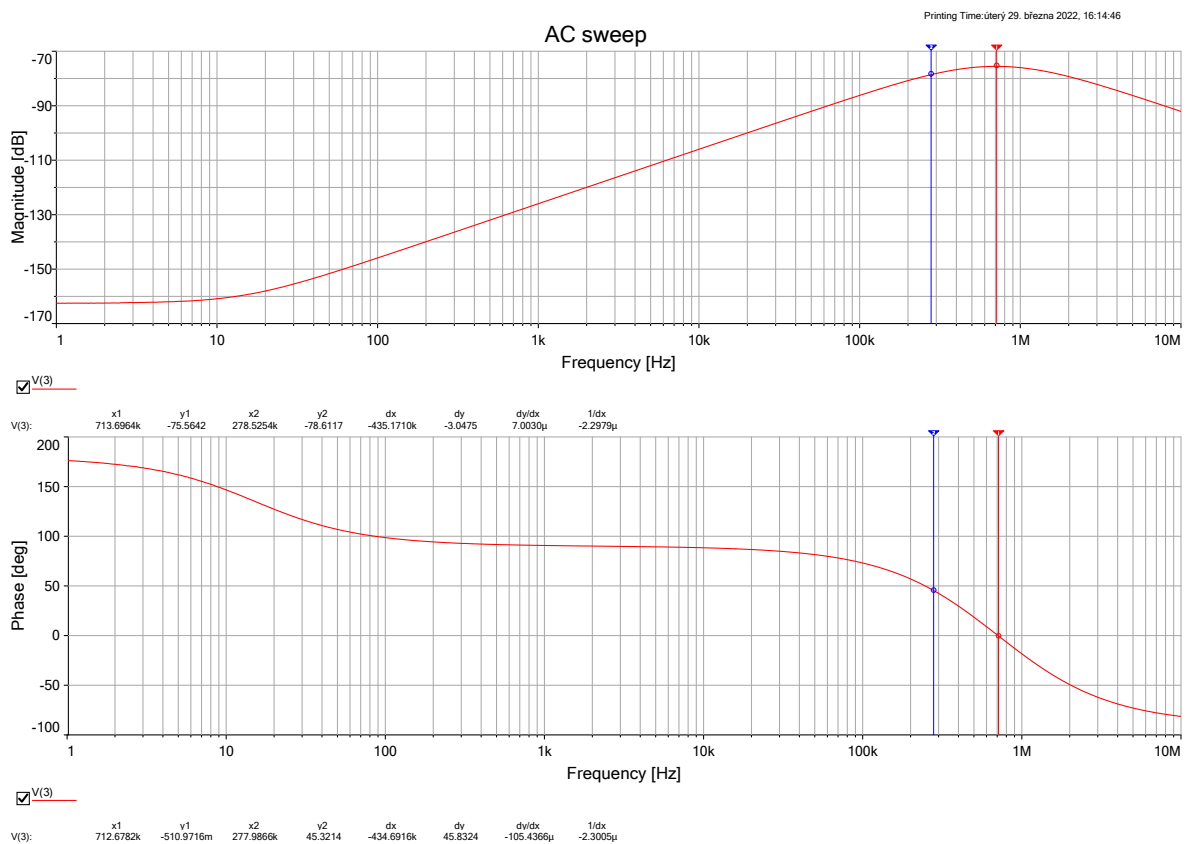
4 Frekvenční charakteristika souhlasného zesílení G_C



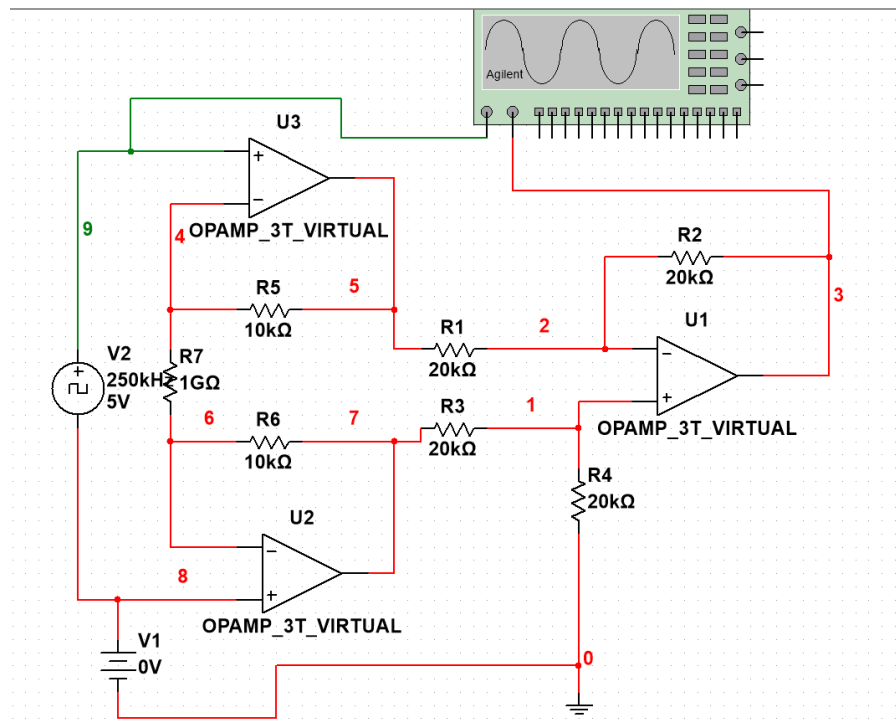
Obrázek 5: Zapojení pro získání frekvenční charakteristiky souhlasného zesílení G_C

S pomocí zapojení na schématu 5 a funkce *AC sweep* byly získány frekvenční charakteristiky souhlasného zesílení pro $G_D \in \{1, 8\}$, které jsou vykresleny na obrázcích 6 a 7.

Mezní kmitočet je jen málo závislý na rozdílovém zesílení a pohybuje se kolem 280 kHz, tehdy je souhlasné zesílení cca - 78 dB bez ohledu na rozdílové zesílení. Frekvenční charakteristika je podobná pásmové propusti - kmitočty kolem 1 MHz jsou propouštěny lépe než nižší i vyšší. Pro nízké frekvence (DC až 10Hz) se souhlasné zesílení pohybuje kolem -160 dB. Proto pro $f \rightarrow \infty$ je $CMRR = 170\text{dB}$ i víc, zatímco pro $f \approx 1\text{MHz}$ je $CMRR \approx 70\text{dB}$.

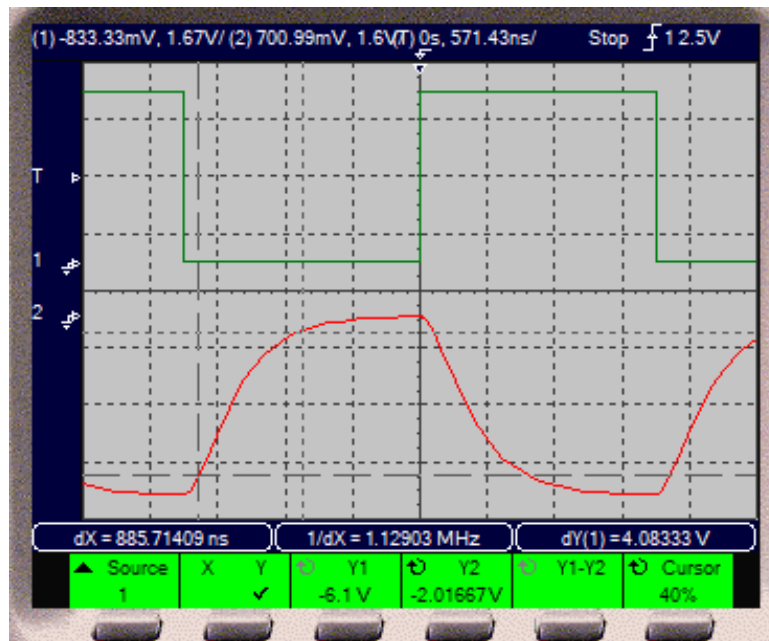
Obrázek 6: Frekvenční charakteristika souhlasného zesílení pro $G_D = 1$ Obrázek 7: Frekvenční charakteristika souhlasného zesílení pro $G_D = 8$

5 Doba náběhu



Obrázek 8: Zapojení pro měření doby náběhu

S pomocí generátoru obdélníkového signálu a osciloskopu zapojeného dle schématu 8 byly zachyceny časové průběhy vykreslené na obrázku 9 pro nastavené rozdílové zesílení $G_D = 1$. Pomocí kurzorů byla odečtena doba náběhu $T_n = 885\text{ns}$ pro $G_D = 1$. To odpovídá očekávané době náběhu vypočtené dle vztahu $T_n \approx 0,35/f_m$ pro $f_m \approx 417\text{kHz}$.



Obrázek 9: Doba náběhu přístrojového zesilovače pro rozdílové zesílení $G_D = 1$