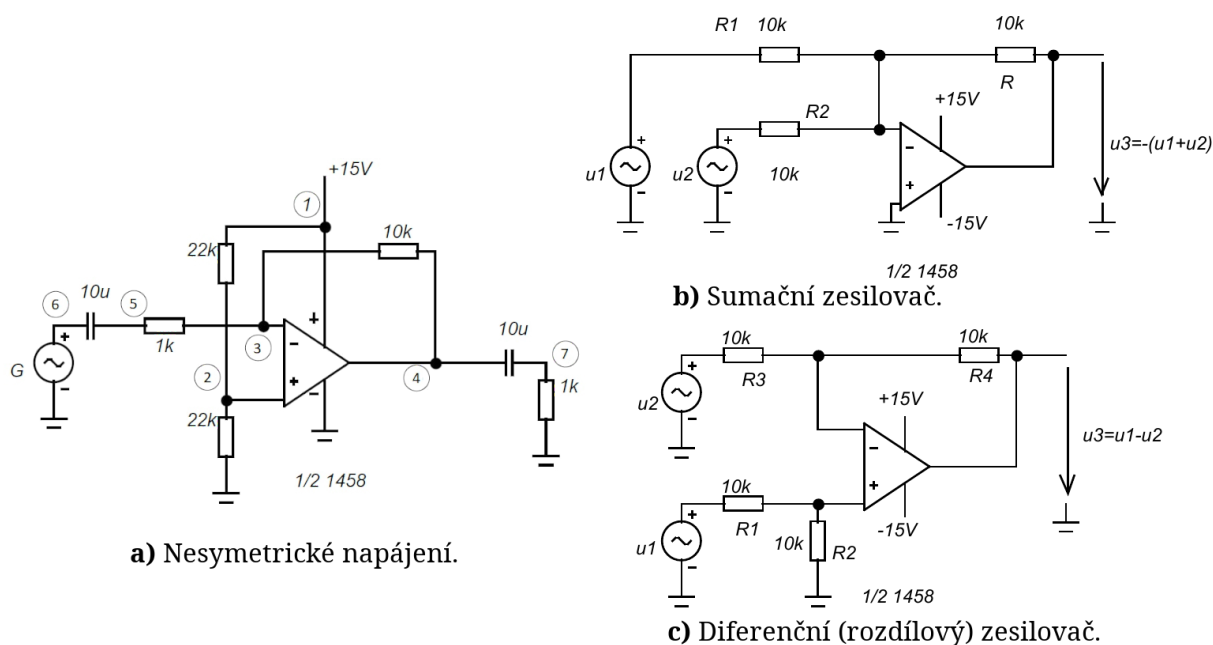


Analogové elektronické obvody Ústav mikroelektroniky FEKT VUT v Brně			Jméno Jakub Charvot	ID 240844
			Ročník 2.	Obor MET
Spolupracoval Radek Kučera	Měřeno dne 27. 10. 2022	Odevzdáno dne 10. 11. 2022	Hodnocení	
Název úlohy Nízkofrekvenční zesilovače s OZ				Č. úlohy 3

Teoretický úvod



Obr. 1: Schémata zapojení.

Napájení OZ

Rozlišujeme dva základní typy napájení OZ, symetrické a nesymetrické. Symetrické napětí očekává kladné a záporné napětí na svorkách OZ a potenciál společné země je vůči nim uprostřed, tedy v nule. K tomuto je zapotřebí využít dva zdroje, což je v praxi obtížné, následné zapojení je ale jednodušší. V případě symetrického napájení je na záporné svorce potenciál společné země, stačí nám tedy jeden zdroj. Pokud ale chceme mít jistotu, že výstupní signál nebude zkreslený, je potřeba toto kompenzovat upravením obvodu na vstupu OZ, viz Obr. 1a).

Vypočtené hodnoty pro úlohu č. 1

Stejnoseměrné poměry v obvodu

$$U_1 = 15 \text{ V}, U_2 = 7,5 \text{ V}, U_3 = 7,5 \text{ V}, U_4 = 7,5 \text{ V}, U_5 = 7,5 \text{ V}, U_6 = 0 \text{ V}, U_7 = 0 \text{ V}$$

Střídavé poměry v obvodu, pro amplitudu generátoru $U_M = 1 \text{ V}$

$$u_1 = 0 \text{ V}, u_2 = 1 \text{ V}, u_3 = 0 \text{ V}, u_4 = 0 \text{ V}, u_5 = -10 \text{ V}, u_6 = -10 \text{ V}$$

$$A_u = \frac{u_{out}}{u_{in}} = \frac{-10}{1} = -10$$

Odvození vztahů pro úlohu č. 2 a 3

Sumační zesilovač, Obr. 1b)

$u_1, u_2, u_3 \dots$ Napětí na rezistorech orientovaná stejně jako proudy.

$$u_{out} = -u_3 = -i_3 R_3 = -(i_1 + i_2) R_3 = -\left(\frac{u_1}{R_1} + \frac{u_2}{R_2}\right) R_3$$

Hodnoty rezistorů jsou stejné, takže platí:

$$u_{out} = -(u_1 + u_2)$$

Diferenční zesilovač, Obr. 1c)

$u_3, u_4 \dots$ Napětí na rezistorech orientovaná stejně jako proudy.

$$u_{out} = u_2 - u_3 - u_4 = u_2 - \left(u_2 - u_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2}\right) - R_4 i_4 = u_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3} \left(u_2 - u_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2}\right)$$

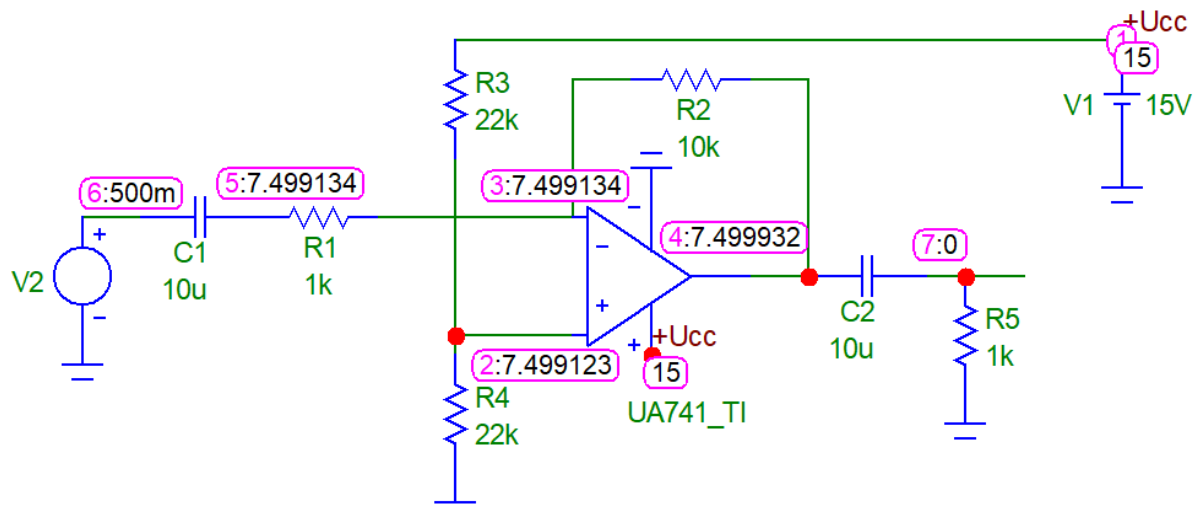
$$u_{out} = 2u_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2} - u_2 \frac{R_4}{R_3}$$

Hodnoty rezistorů jsou stejné, takže platí:

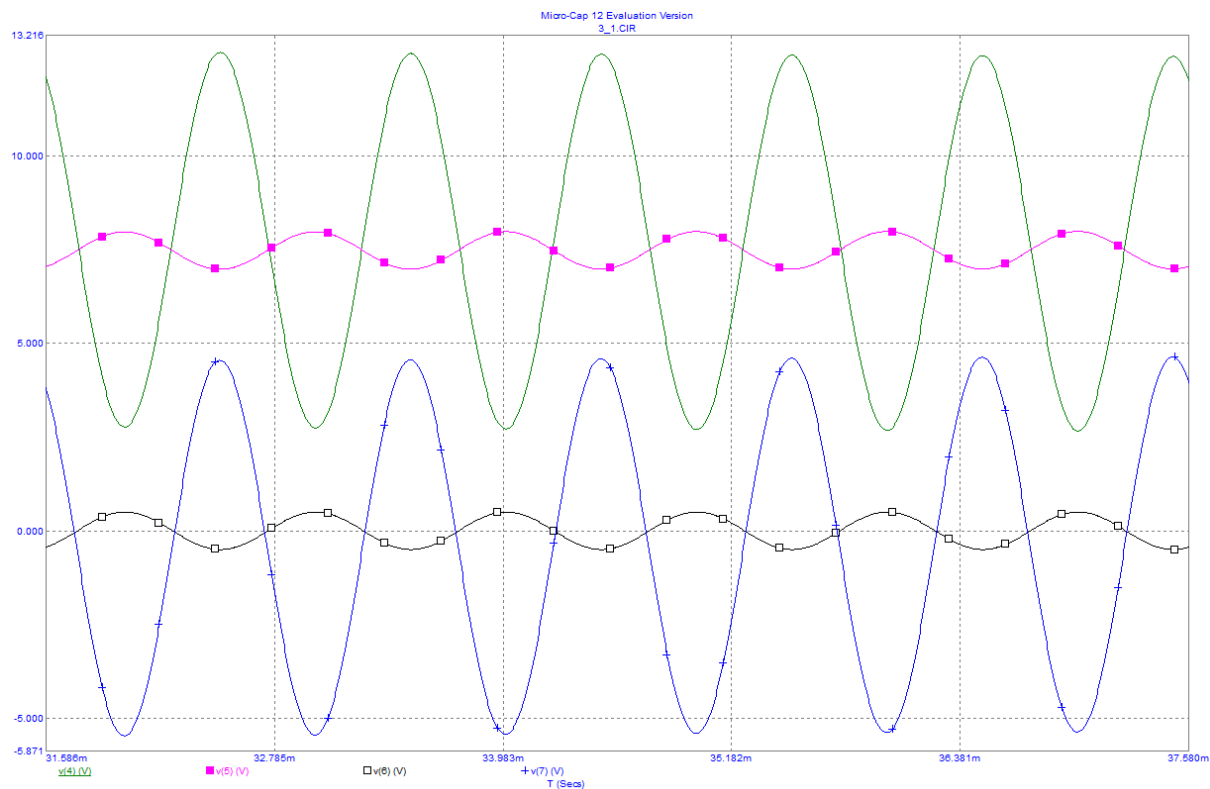
$$u_{out} = u_1 - u_2$$

Výsledky počítačové simulace

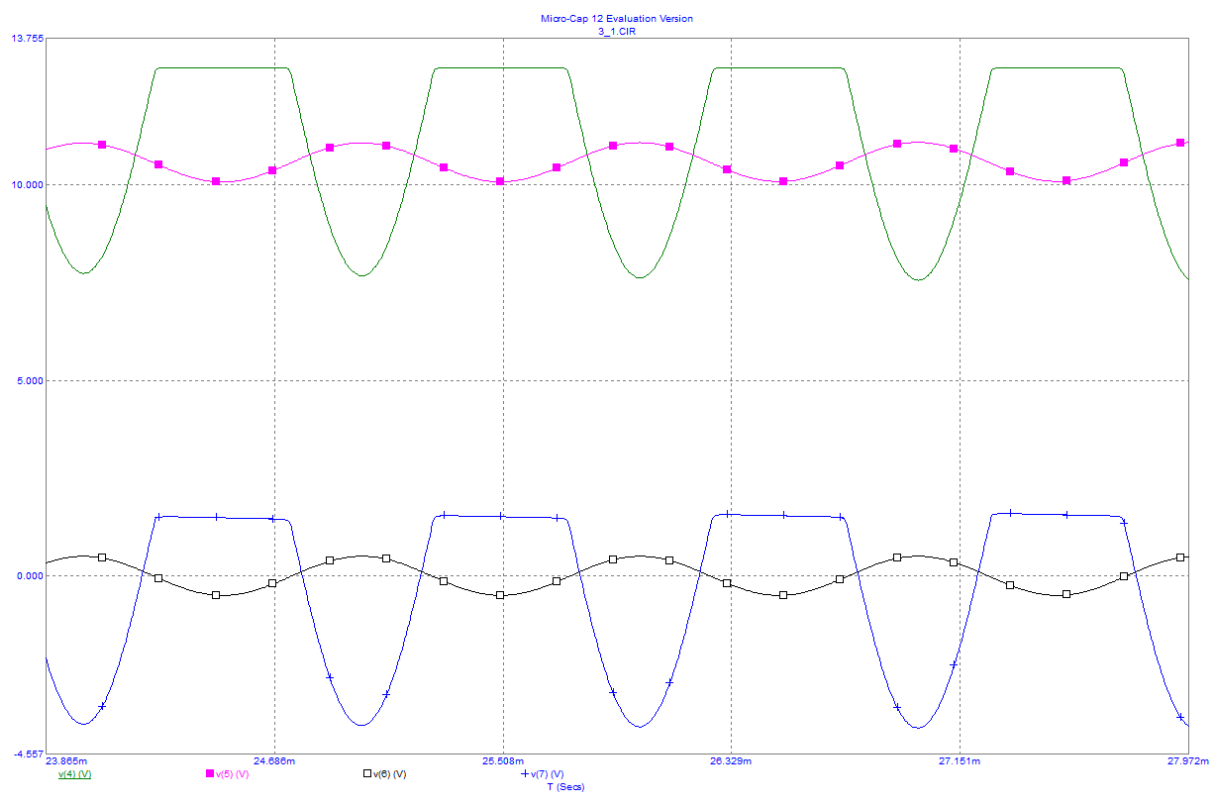
Nesymetrické napájení



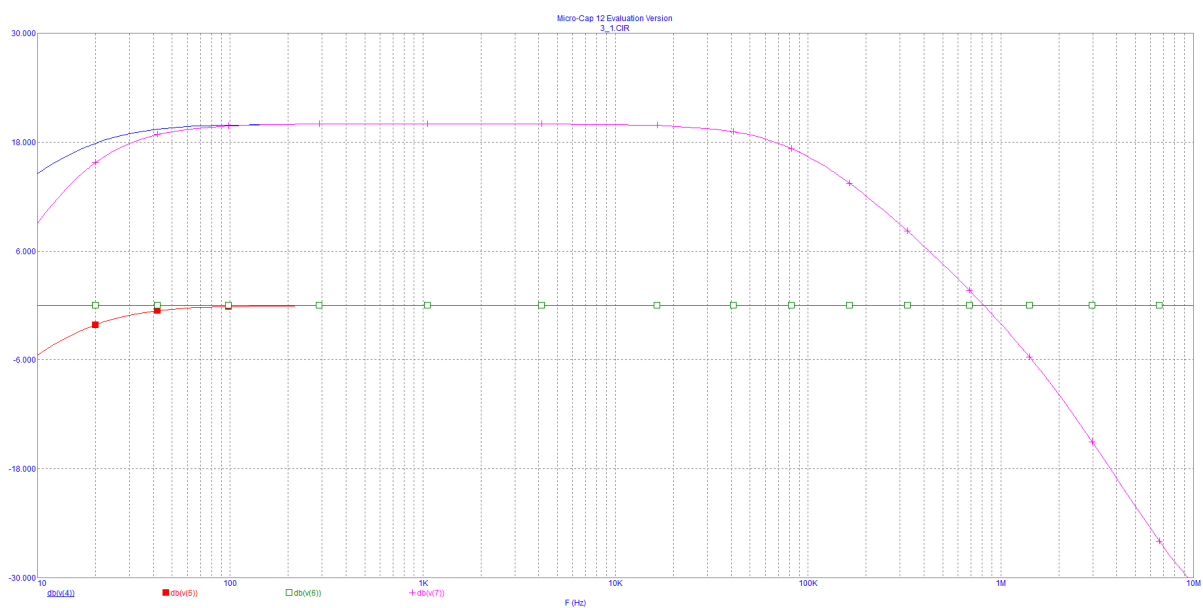
Obr. 2: Stejsměrný pracovní bod zapojení s nesymetrickým napájením.



Obr. 3: Střídavé poměry v obvodu, vliv vazebních kondenzátorů na vstupu a výstupu obvodu. Horní průběh – stejnosměrně posunutý vstup a výstup OZ kvůli kompenzaci nesymetrického napájení.

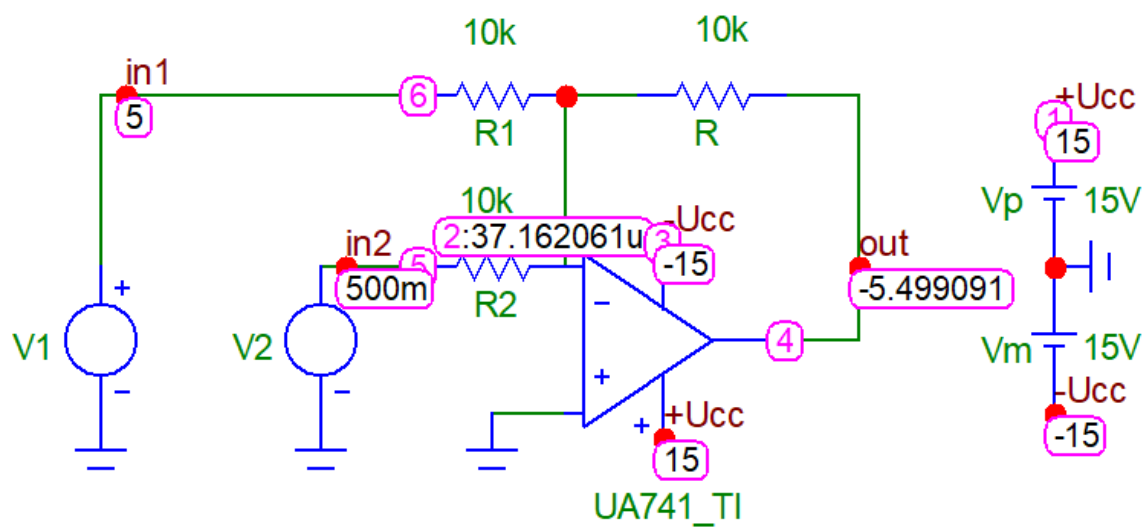


Obr. 4: Změna poměru odporového děliče ($R_4 = 56 \text{ k}\Omega$), vyšší stejnosměrné posunutí vede k dosažení saturačního napětí.

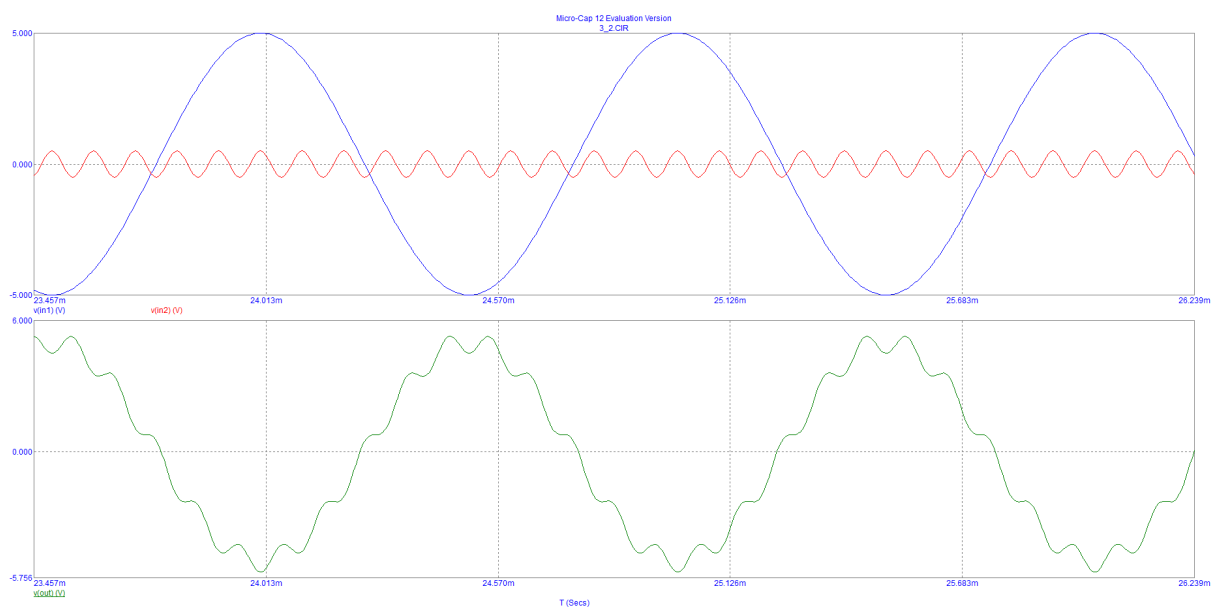


Obr. 5: Amplitudová kmitočtová charakteristika přenosu napětí do jednotlivých uzlů. Modrá, červená, zelená a fialová jsou po řadě uzly 4-7.

Sumační zesilovač

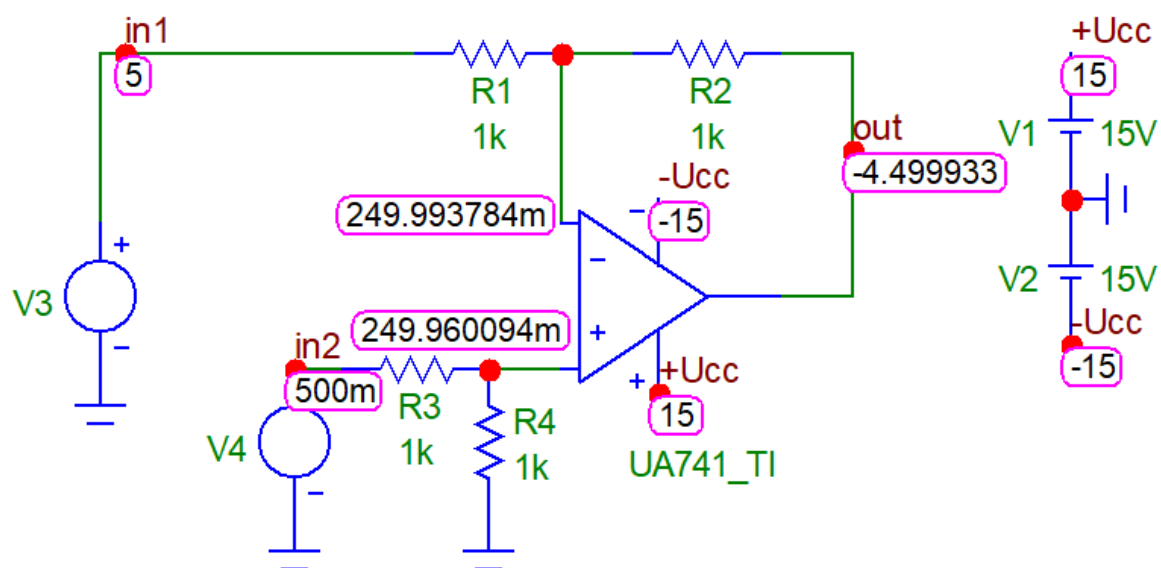


Obr. 6: Stejnosměrný pracovní bod v zapojení sumačního zesilovače.

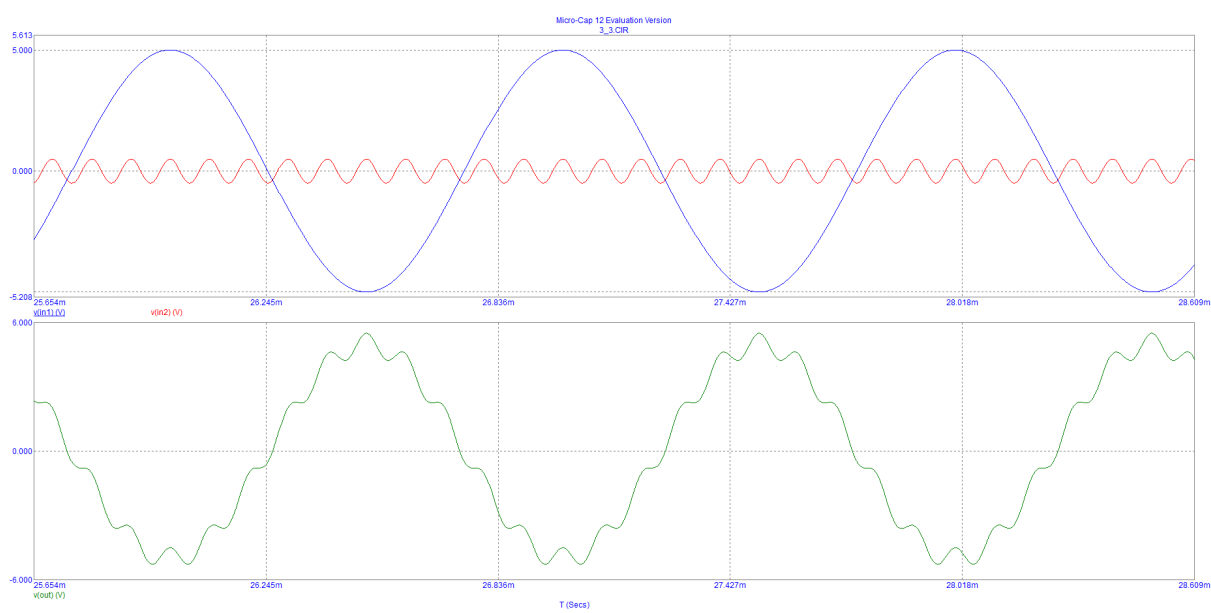


Obr. 7: Simulace součtu dvou vstupních signálů na výstupu OZ, výstup je navíc invertovaný.

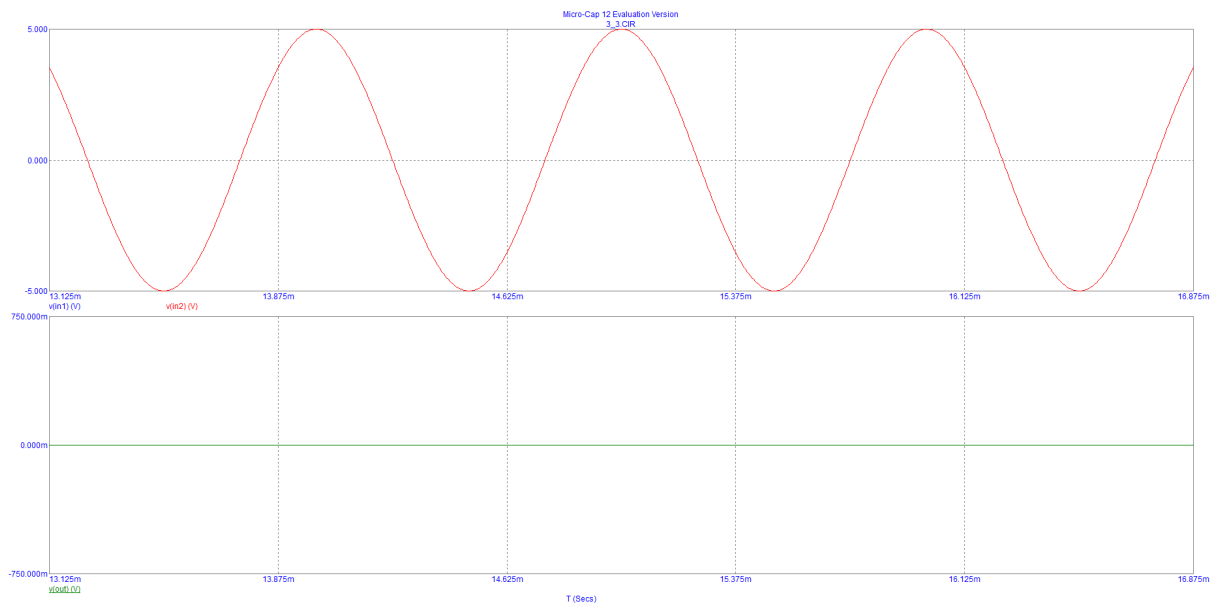
Rozdílový zesilovač



Obr. 8: Stejnosměrný pracovní bod v zapojení rozdílového zesilovače.



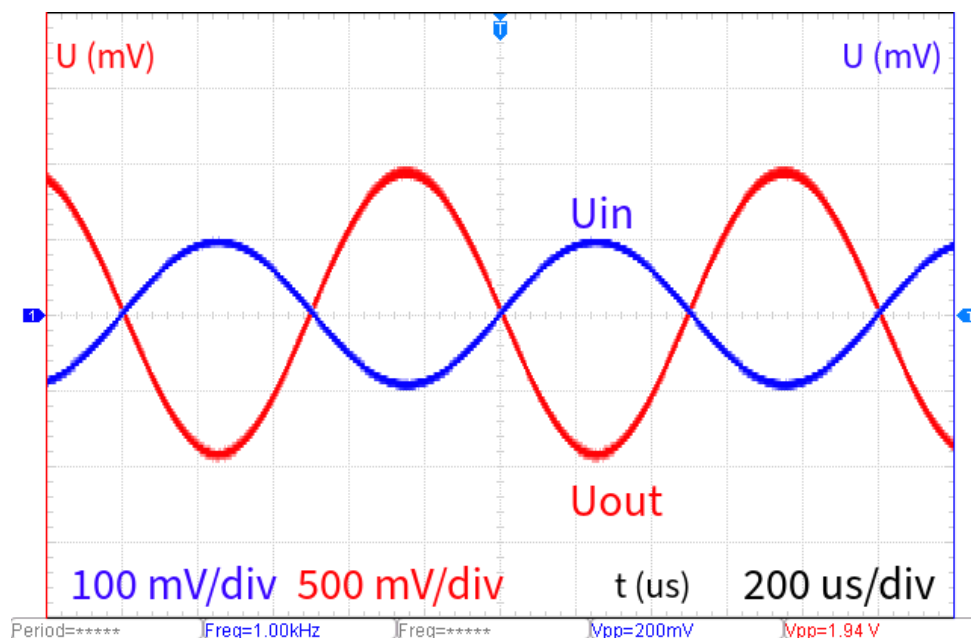
Obr. 9: Simulace odečtení jednoho vstupního signálu od druhého, signál na výstupu OZ je navíc invertovaný.



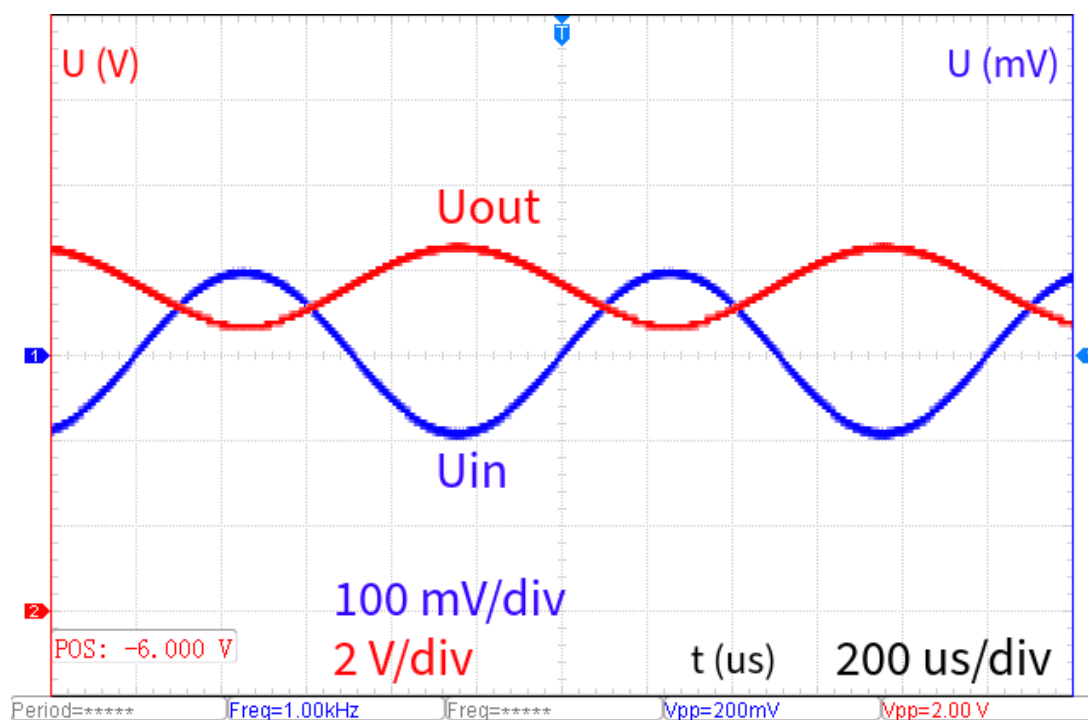
Obr. 10: Simulace odečtení dvou stejných signálů (zobrazeny přes sebe), na výstupu je signál nulový.

Měření v laboratoři

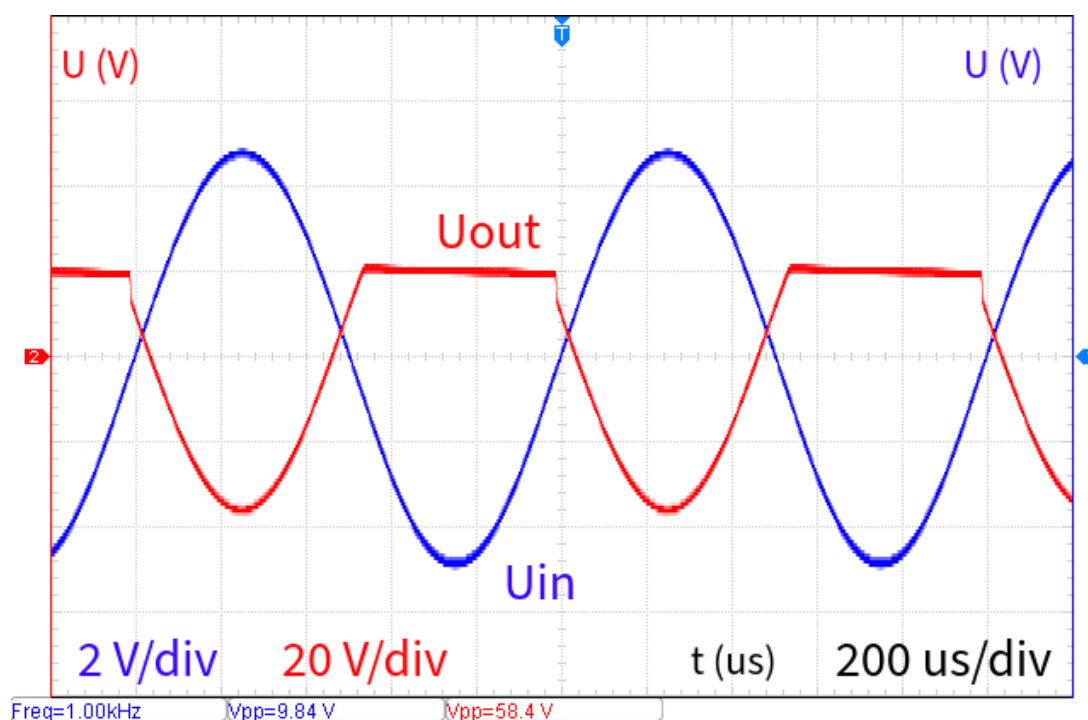
Nesymetrické napájení



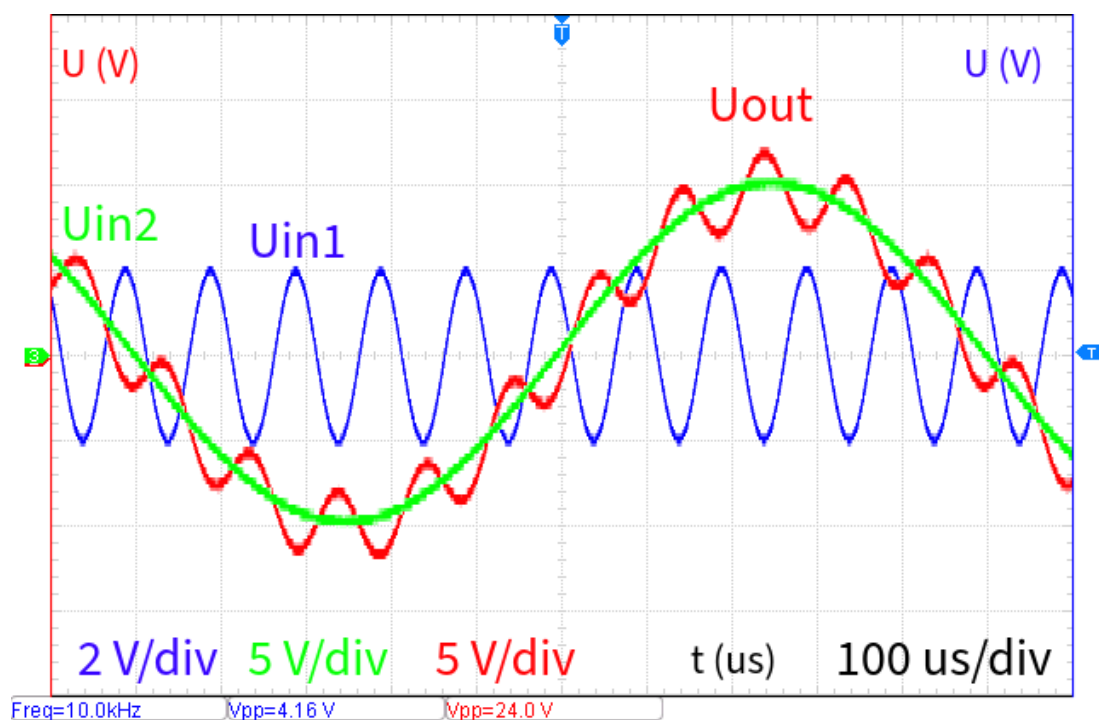
Obr. 11: Invertující zesilovač, nesym. napájení – časový průběh správně zesíleného signálu.



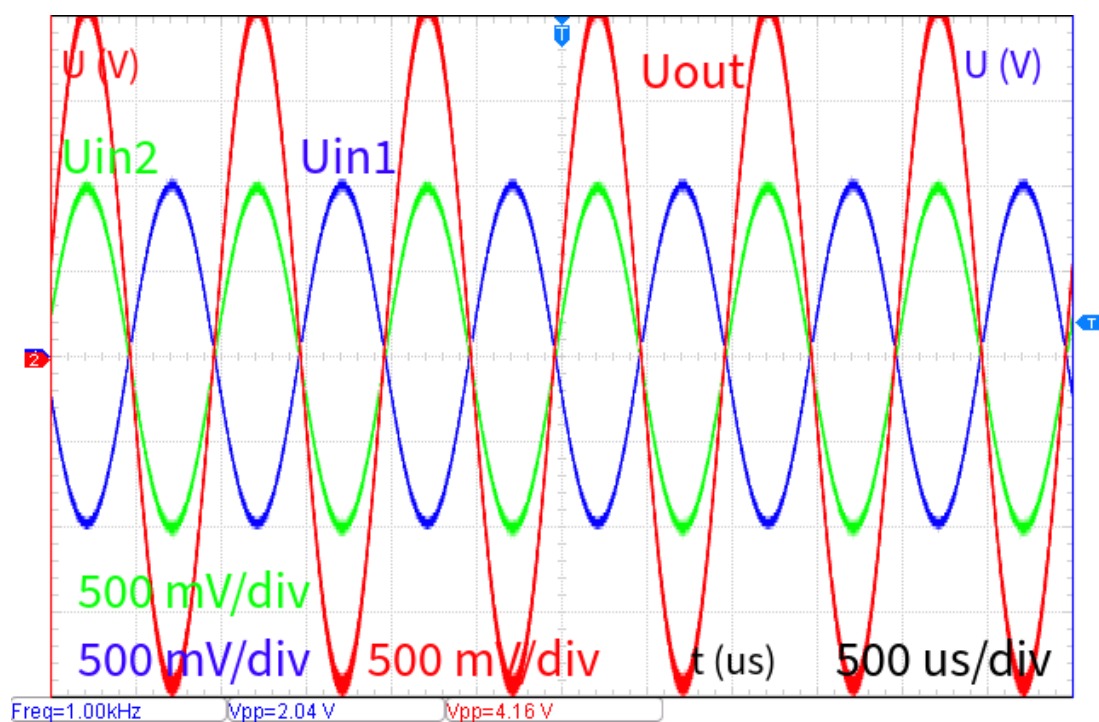
Obr. 12: Invertující zesilovač, nesym. napájení – časový průběh správně zesíleného signálu, měřeno přímo na výstupu OZ, tedy s DC složkou.



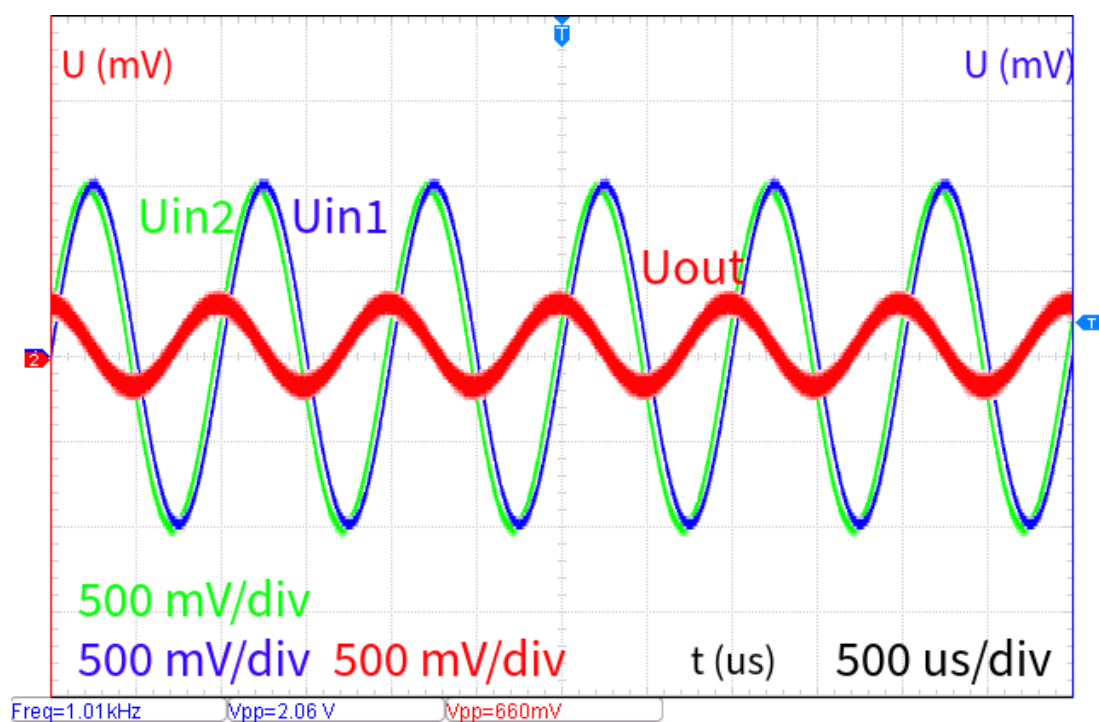
Obr. 13: Invertující zesilovač, nesym. napájení – změna poměru odporového děliče ($R_4 = 100 \text{ k}\Omega$) způsobila dosažení saturace.



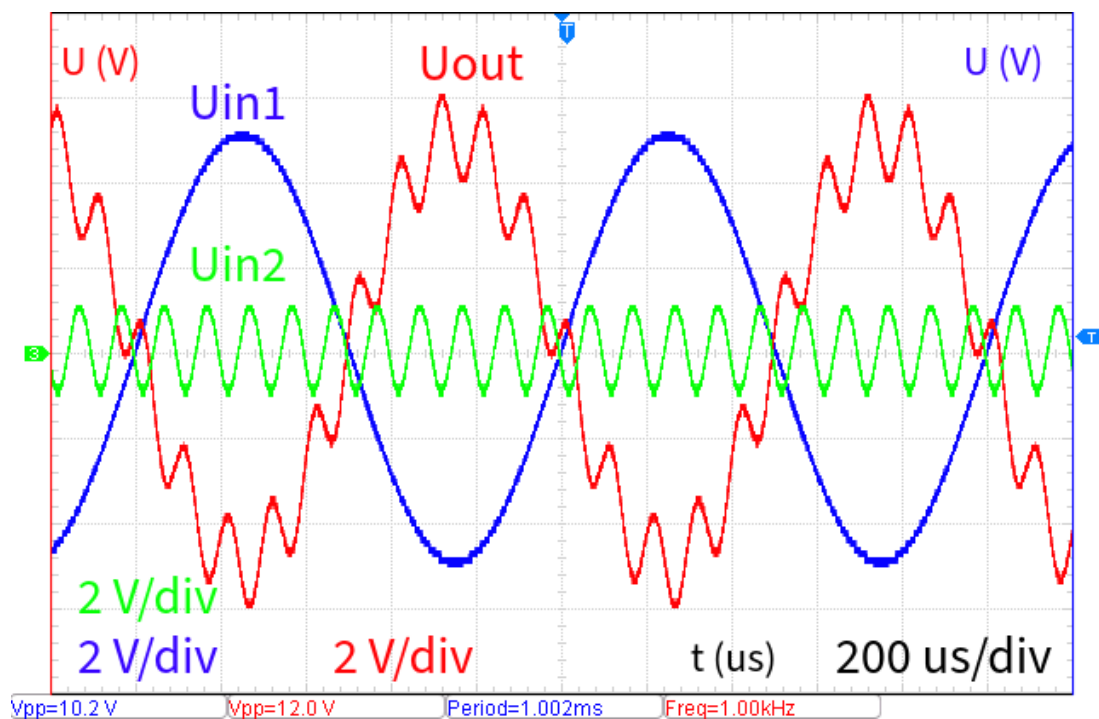
Obr. 14: Diferenční zesilovač – dva vstupní signály se vzájemně odečtou a na výstupu invertují.



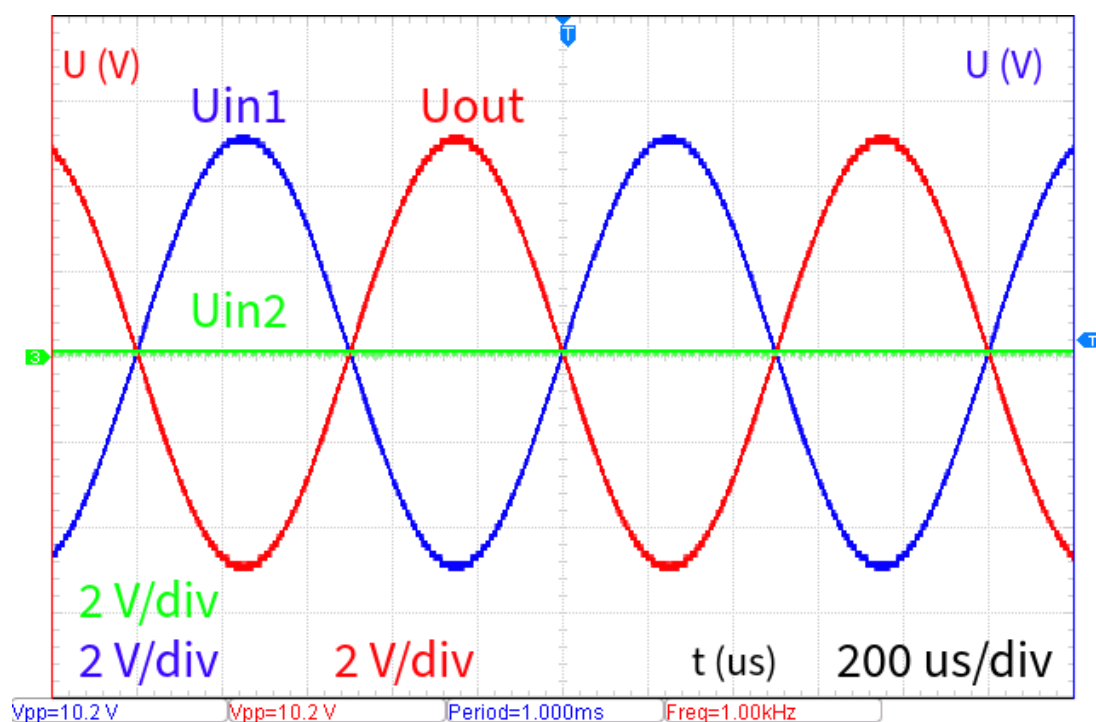
Obr. 15: Diferenční zesilovač – dva opačné signály se opět odečtou, výsledkem je signál s dvojnásobnou amplitudou.



Obr. 16: Diferenční zesilovač – odečtení dvou téměř shodných signálů, výsledný signál má mnohem nižší amplitudu.



Obr. 17: Sumační zesilovač – dva různé signály se na výstupu sečtou a následně invertují.



Obr. 18: Sumační zesilovač – sečtení signálu s nulovým signálem vede k invertovanému původnímu signálu.

Tabulka 1: Stejnosměrný prac. bod, jednotlivá uzlová napětí, porovnání.

Č. uzlu	1	2	3	4	5	6	7
Výpočet [V]	15	7,5	7,5	7,5	7,5	0	0
Simulace [V]	15	7,499	7,499	7,499	7,499	0	0
Měření [V]	15,27	7,62	7,64	7,64	7,64	20m	0

Závěr

U zapojení zesilovače s nesymetrickým napájením jsme nejprve vyhodnocovali stejnosměrný pracovní bod. Abychom mohli přenášet kladnou i zápornou periodu signálu, je potřeba tento signál stejnosměrně posunout, aby se ve výsledku i zesílený výstupní signál pohyboval v mezích $0\text{ V} - U_{nap}$. Tab. 1 obsahuje porovnání hodnot napětí v jednotlivých uzlech získaných výpočtem, simulací a následně měřením. Tyto hodnoty se téměř neliší a drobná odchylka měřených hodnot je způsobena zejména nedokonalým nastavením napájecího napětí (uzel 1). Při změně offsetu např. změnou jednoho z odporů na děliči může dojít k ořezání jedné půlhlavy signálu, jak je vidět z obrázků 4 a 13.

Dále jsme zkoumali zapojení diferenčního a sumačního zesilovače, odvodili jsme vztah pro výstupní napětí, které by se pro diferenční zesilovač mělo rovnat rozdílu obou vstupních. Kromě toho je tedy signál invertovaný. Odečtení signálů jsme pozorovali jak v simulaci (Obr. 9 a 10) tak i v laboratoři (Obr. 14, 15 a 16).

Funkce sumačního zesilovače je obdobná, odvodili jsme, že na výstupu by měl být invertovaný součet obou vstupních signálů. Simulace součtu signálů se nachází na obrázku 7. V laboratoři jsme zapojení testovali pro dva signály s odlišnou amplitudou i frekvencí (Obr. 17) a také pro součet signálu s nulovým signálem, kdy na výstupu je invertovaná verze prvního vstupního signálu (Obr. 18).

Všechny průběhy nám vyšly dle očekávání a měření v laboratoři odpovídá předešlým simulacím.