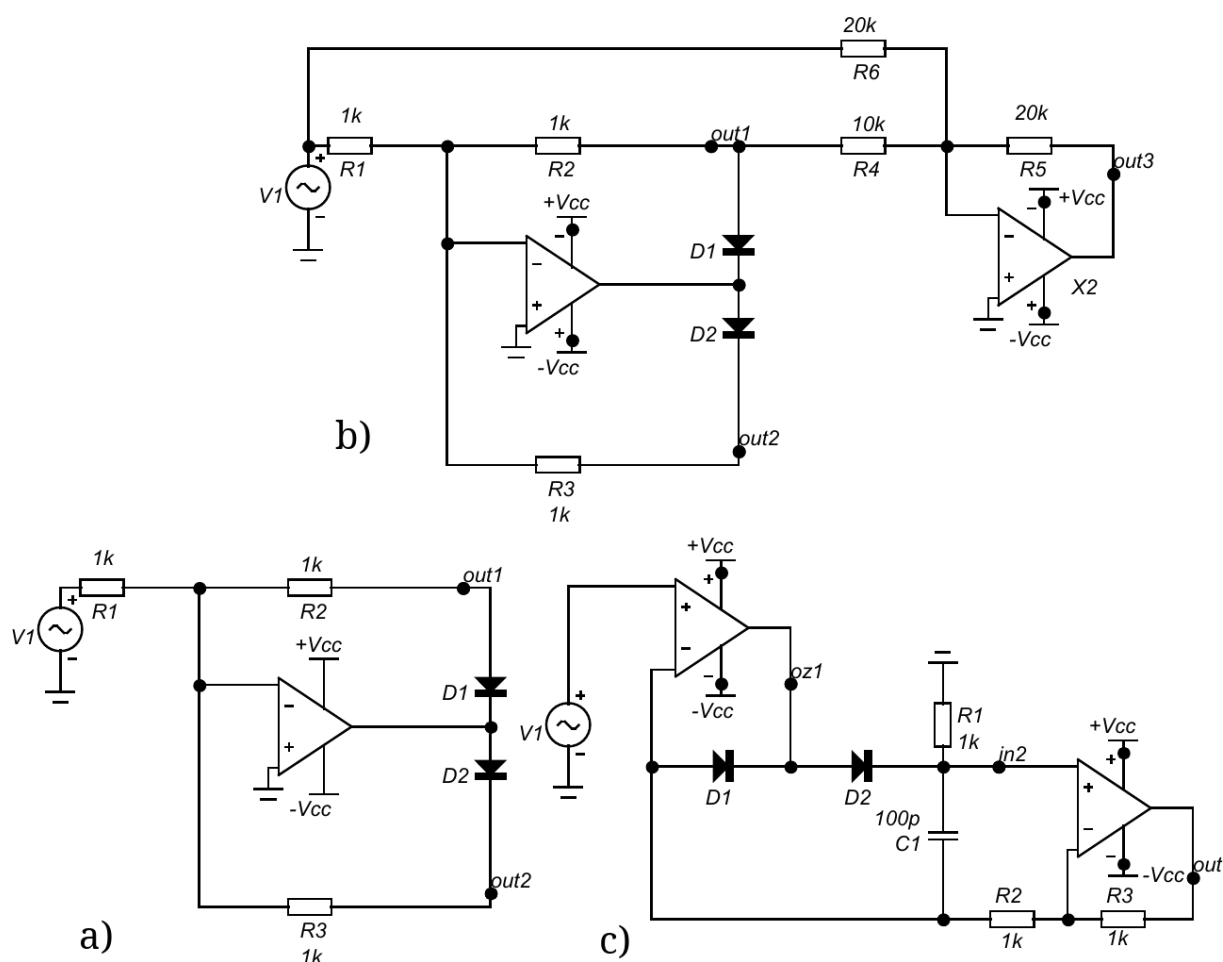


<b>Analogové elektronické obvody</b> <b>Ústav mikroelektroniky</b> <b>FEKT VUT v Brně</b>			<b>Jméno</b> <b>Jakub Charvot</b>	<b>ID</b> <b>240844</b>
			<b>Ročník</b> <b>2.</b>	<b>Obor</b> <b>MET</b>
<b>Spolupracoval</b> <b>Radek Kučera</b>	<b>Měřeno dne</b> <b>10. 11. 2022</b>	<b>Odevzdáno dne</b> <b>24. 11. 2022</b>	<b>Hodnocení</b>	
<b>Název úlohy</b> <b>Operační usměrňovače</b>				<b>Č. úlohy</b> <b>4</b>

## Teoretický úvod



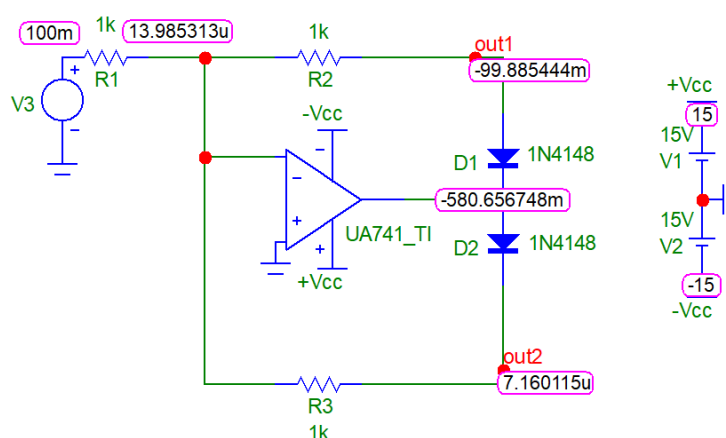
Obr. 1: Schémata zapojení – a) jednocestný usměrňovač, b) dvoucestný usměrňovač, c) dvoucestný usměrňovač s minimem přesných součástek.

## Funkce jednotlivých zapojení

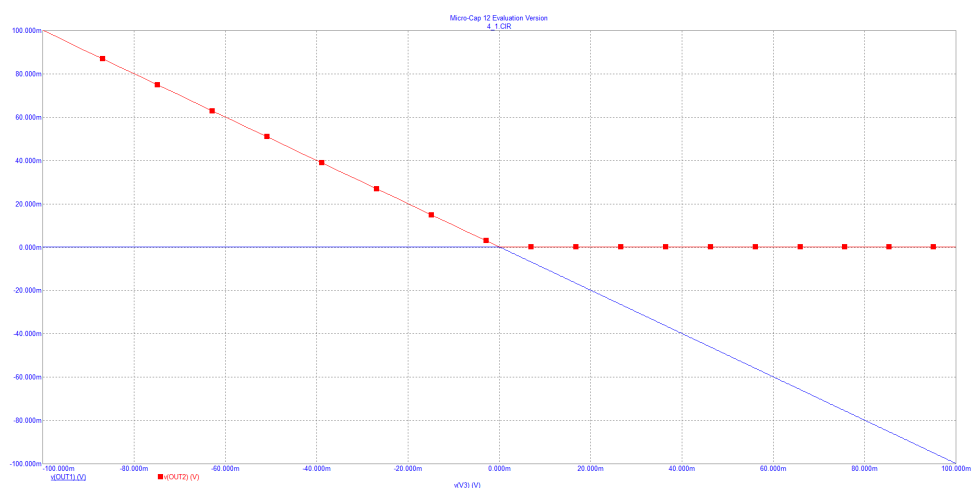
Operační zesilovač s OZ má za úkol překonat nedostatky, které má zapojení pouze s diodami, které díky svému prahovému napětí nedokáží usměrňovat velmi malá napětí.

Zapojení 1b) pak tento signál zdvojnásobí a sečte s původním vstupním signálem. ve výsledku tedy původní záporné půlvlny zůstanou a kladné po sečtení odpovídají opět záporným. Výsledkem je tedy dvoucestně usměrněný invertovaný signál. Nevýhodou tohoto zapojení je nutnost použít dva co nejshodnější odpory a k nim jeden, který odpovídá hodnotu přesně polovině, při nedodržení nebudou na výstupu půlvlny stejně velké, toto značně zdražuje zapojení.

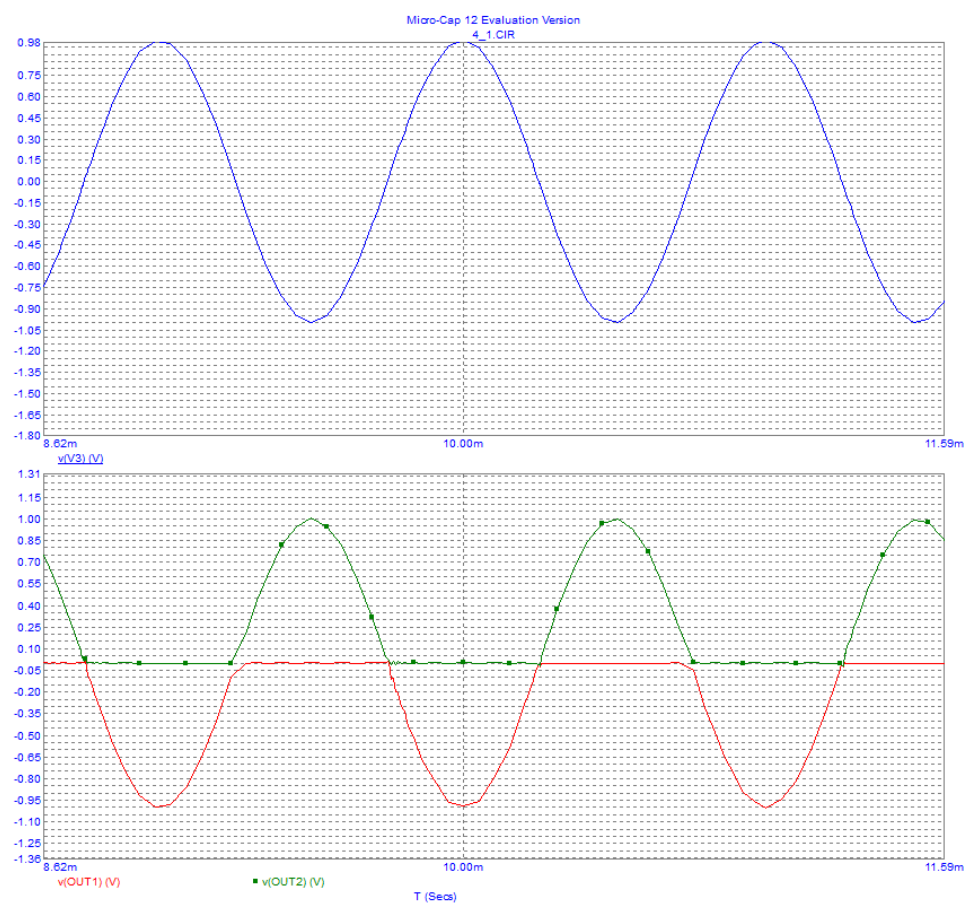
## Výsledky počítačové simulace



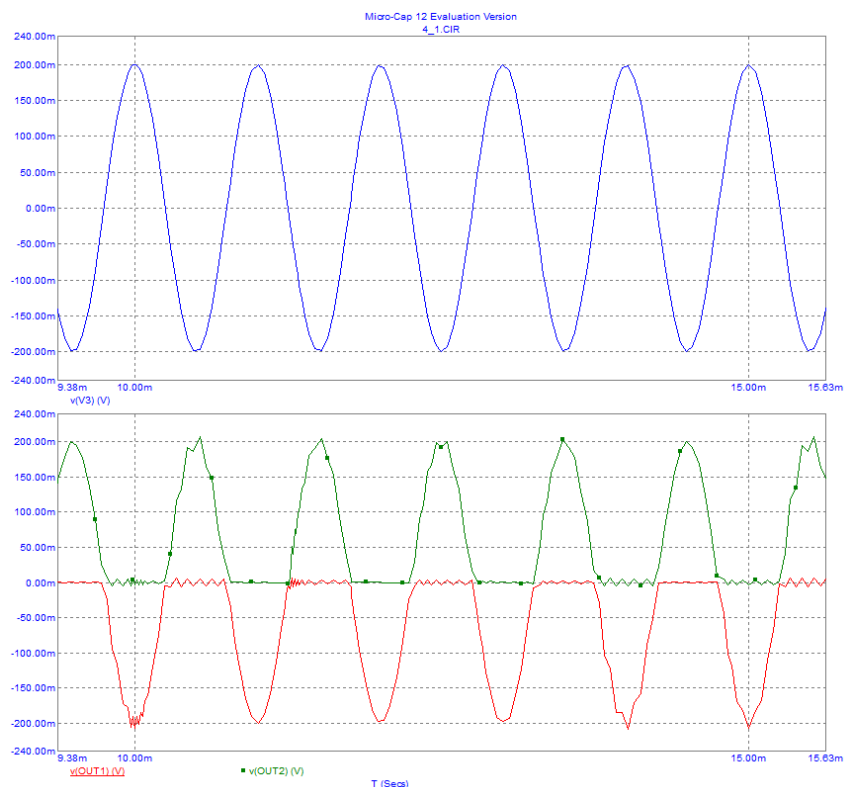
Obr. 3: Zapojení a) – stejnosměrný prac. bod pro záporné vstupní napětí.



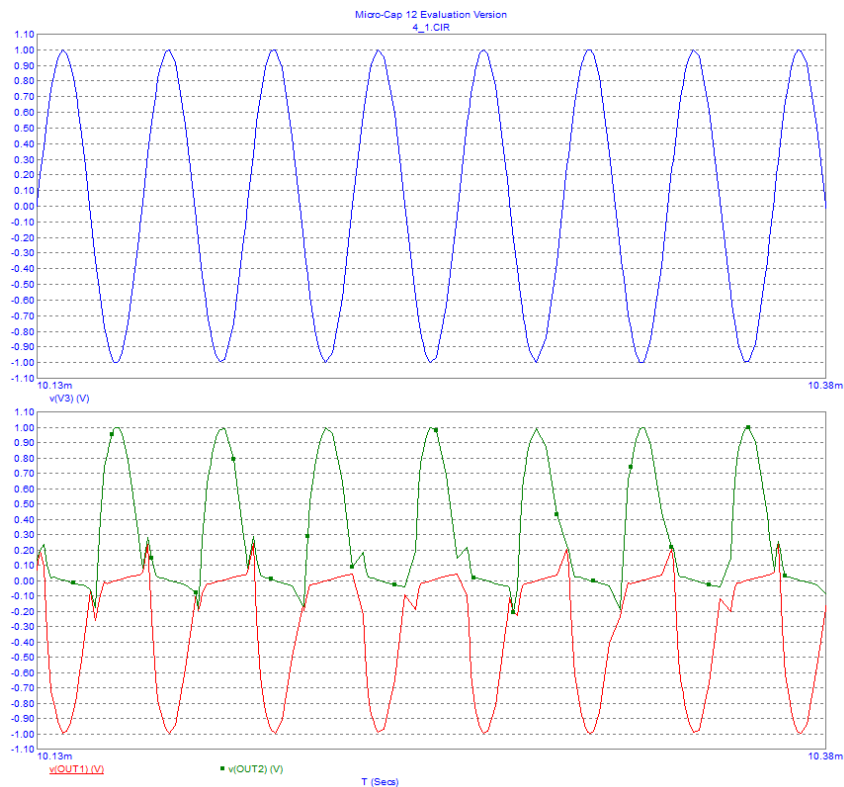
Obr. 4: Zapojení a) – stejnosměrná převodní charakteristika.



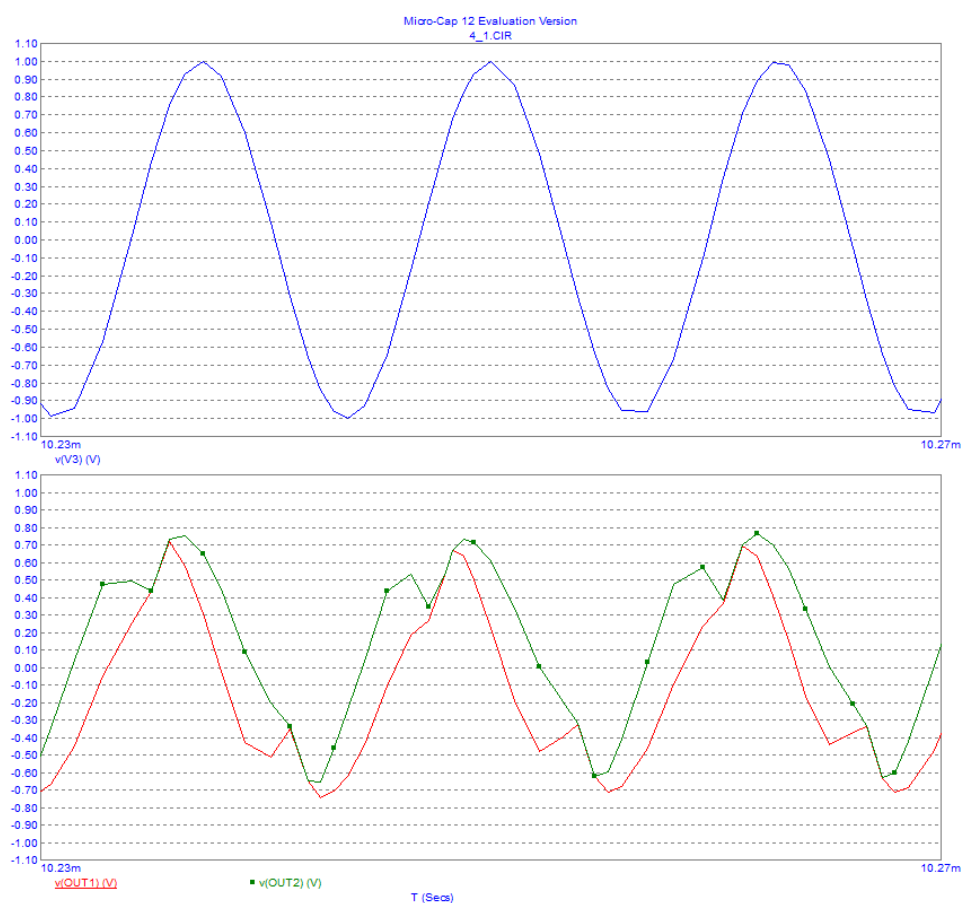
Obr. 5: Zapojení a) – časová závislost obou výstupních napětí na vstupním napětí, jednocestné zesílení,  $f = 1 \text{ kHz}$ ,  $U_M = 1 \text{ V}$ .



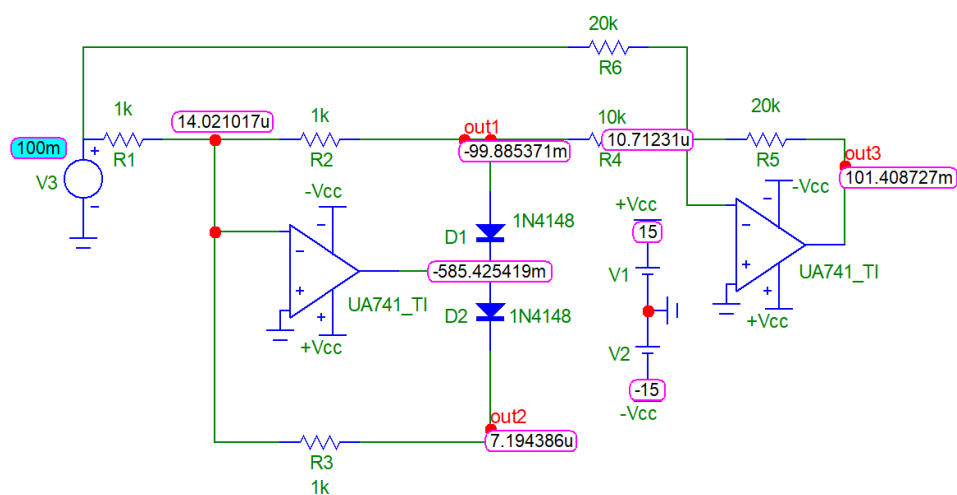
Obr. 6: Zapojení a) – časová závislost obou výstupních napětí na vstupním napětí, nejmenší amplituda, při které zapojení obstojně usměrňuje,  $f = 1 \text{ kHz}$ ,  $U_M = 200 \text{ mV}$ .



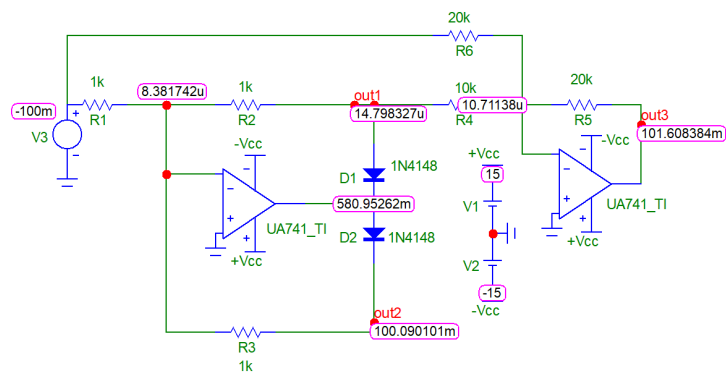
Obr. 7: Zapojení a) – časová závislost obou výstupních napětí na vstupním napětí, nejvyšší frekvence, při které zapojení obstojně usměrňuje,  $f = 30 \text{ kHz}$ ,  $U_M = 1 \text{ V}$ .



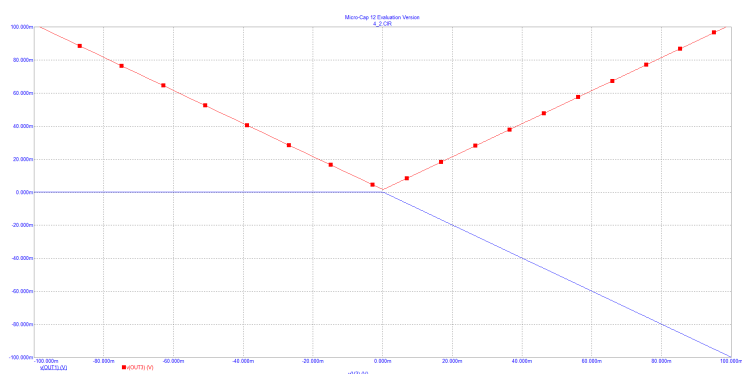
Obr. 8: Zapojení a) – časová závislost obou výstupních napětí na vstupním napětí, příliš vysoká frekvence, k usměrnění nedochází vůbec,  $f = 100 \text{ kHz}$ ,  $U_M = 1 \text{ V}$ .



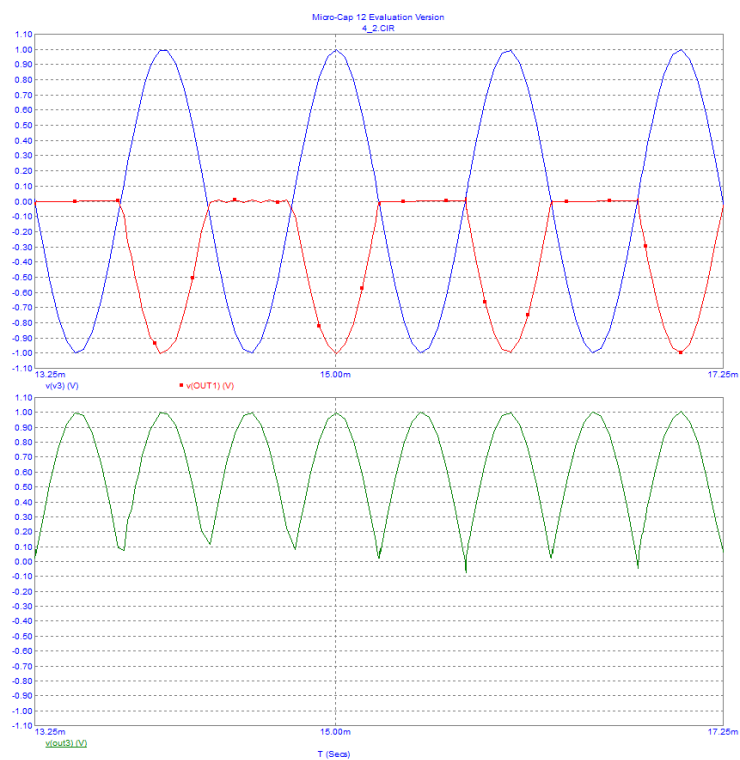
Obr. 9: Zapojení b) – stejnosměrný prac. bod při kladném napětí na vstupu, na výstupu kladné napětí.



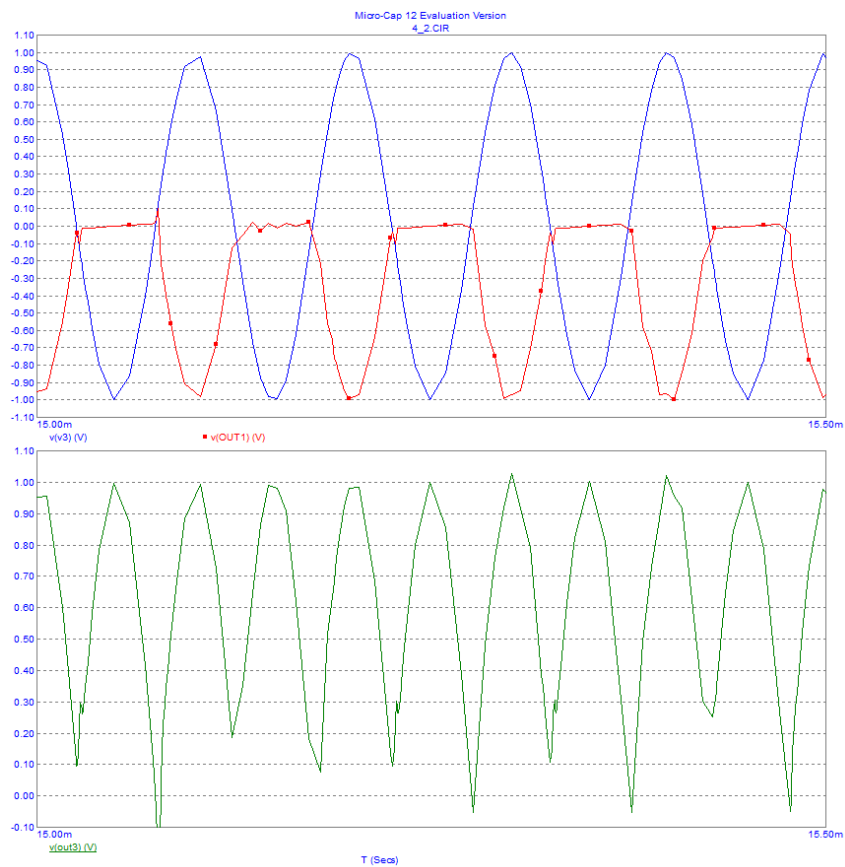
Obr. 10: Zapojení b) – stejnosměrný prac. bod při záporném napětí na vstupu, na výstupu opět kladné napětí.



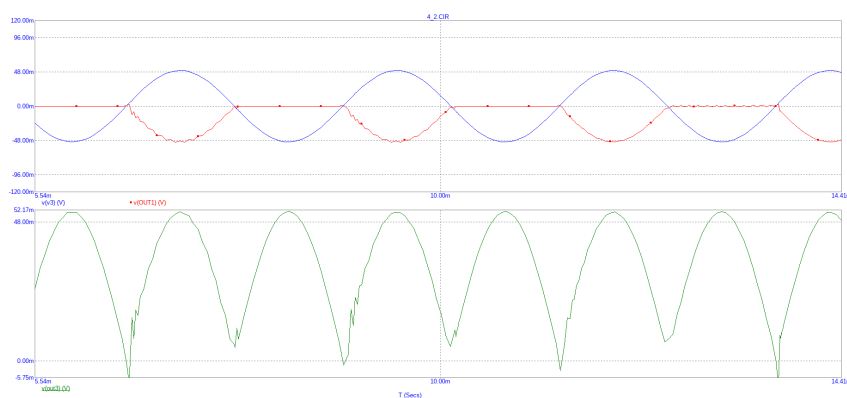
Obr. 11: Zapojení b) – stejnosměrná převodní charakteristika dvoucestného usměrnění.



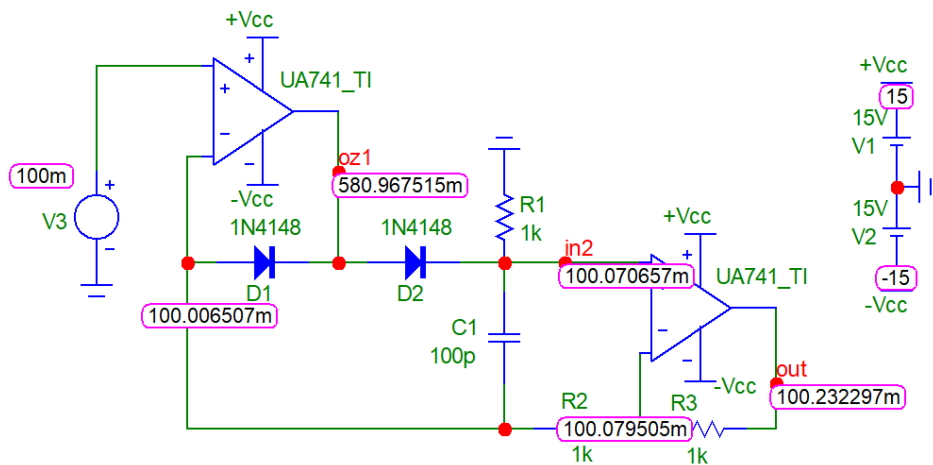
Obr. 12: Zapojení b) – časová závislost napětí na výstupech obou OZ na vstupním napětí, jednocestné a dvoucestné usměrnění,  $f = 1 \text{ kHz}$ ,  $U_M = 1 \text{ V}$ .



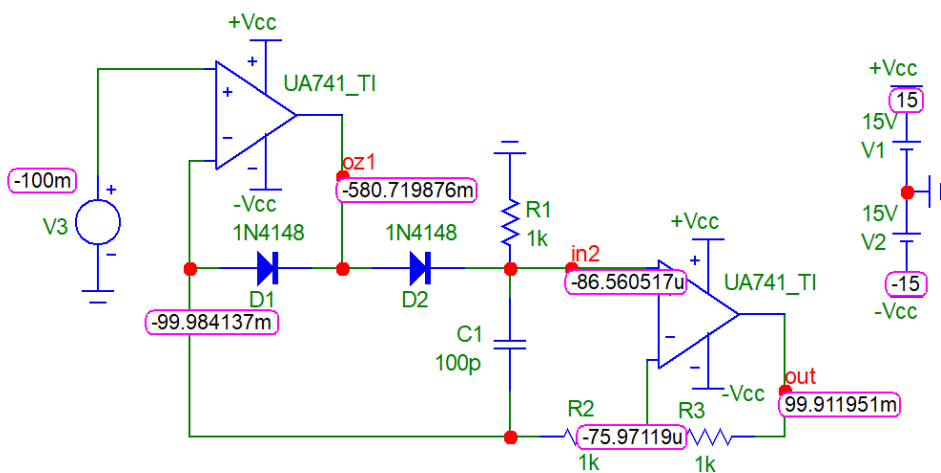
Obr. 13: Zapojení b) – časová závislost napětí na výstupech obou OZ na vstupním napětí, nejvyšší frekvence, při které uspokojivě usměrňuje,  $f = 10 \text{ kHz}$ ,  $U_M = 1 \text{ V}$ .



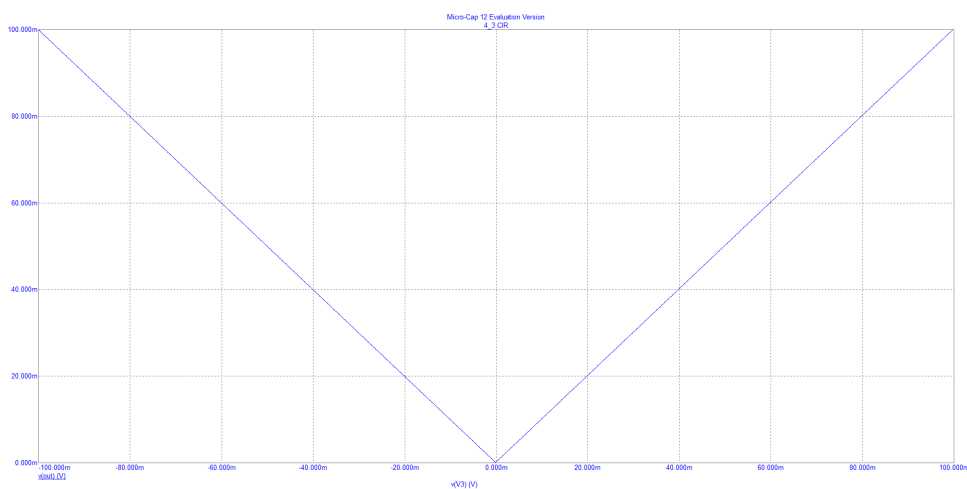
Obr. 14: Zapojení b) – časová závislost napětí na výstupech obou OZ na vstupním napětí, nejnižší amplituda, při které uspokojivě usměrňuje,  $f = 420 \text{ Hz}$ ,  $U_M = 50 \text{ mV}$ .



Obr. 15: Zapojení c) – stejnosměrný prac. bod při kladném napětí na vstupu, na výstupu kladné napětí.

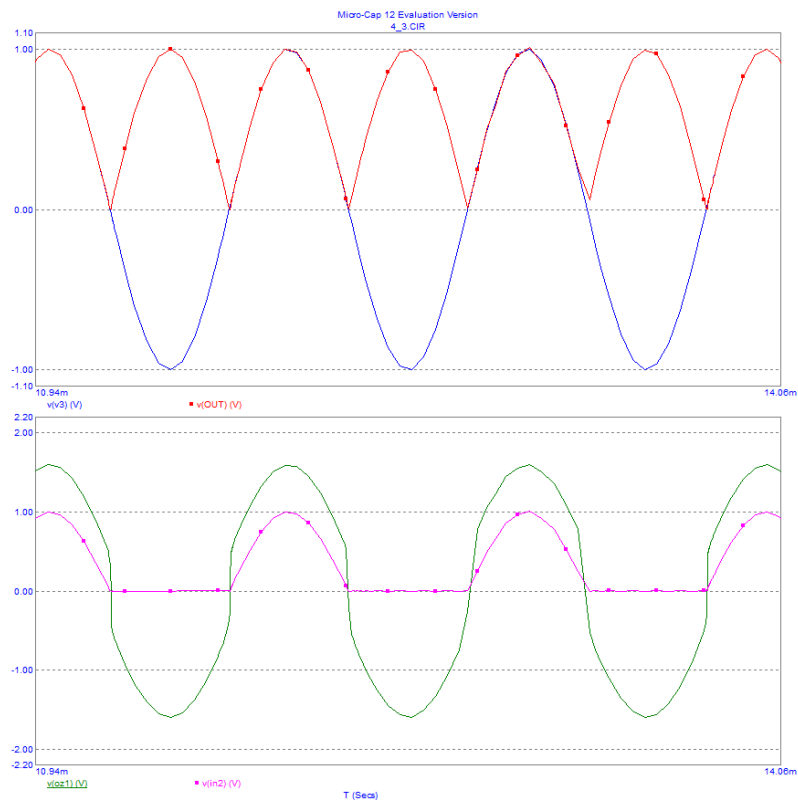


Obr. 16: Zapojení c) – stejnosměrný prac. bod při záporném napětí na vstupu, na výstupu kladné napětí.

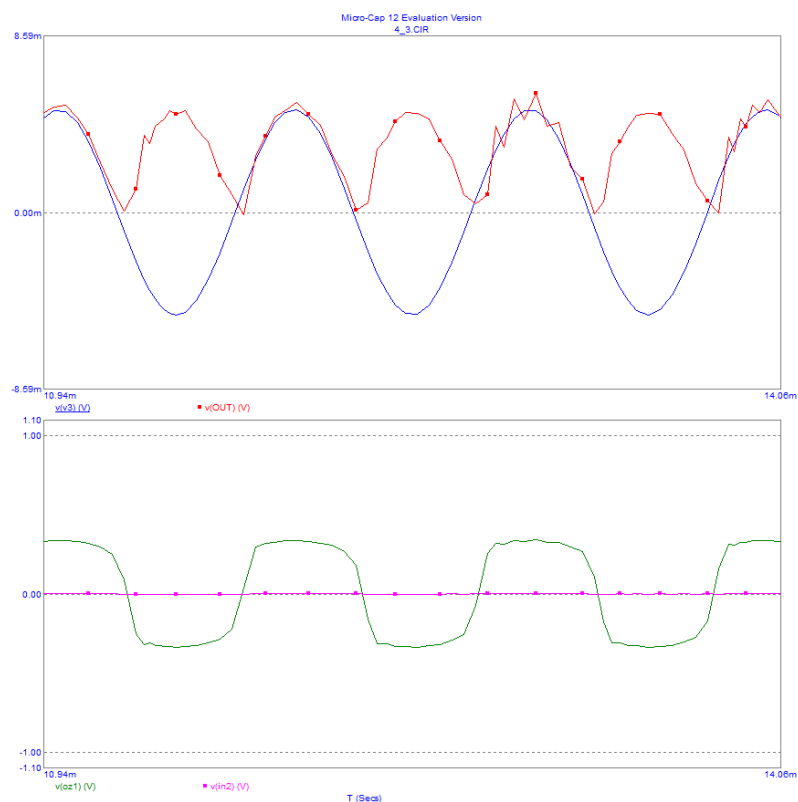


Obr. 17: Zapojení c) – stejnosměrná převodní charakteristika.

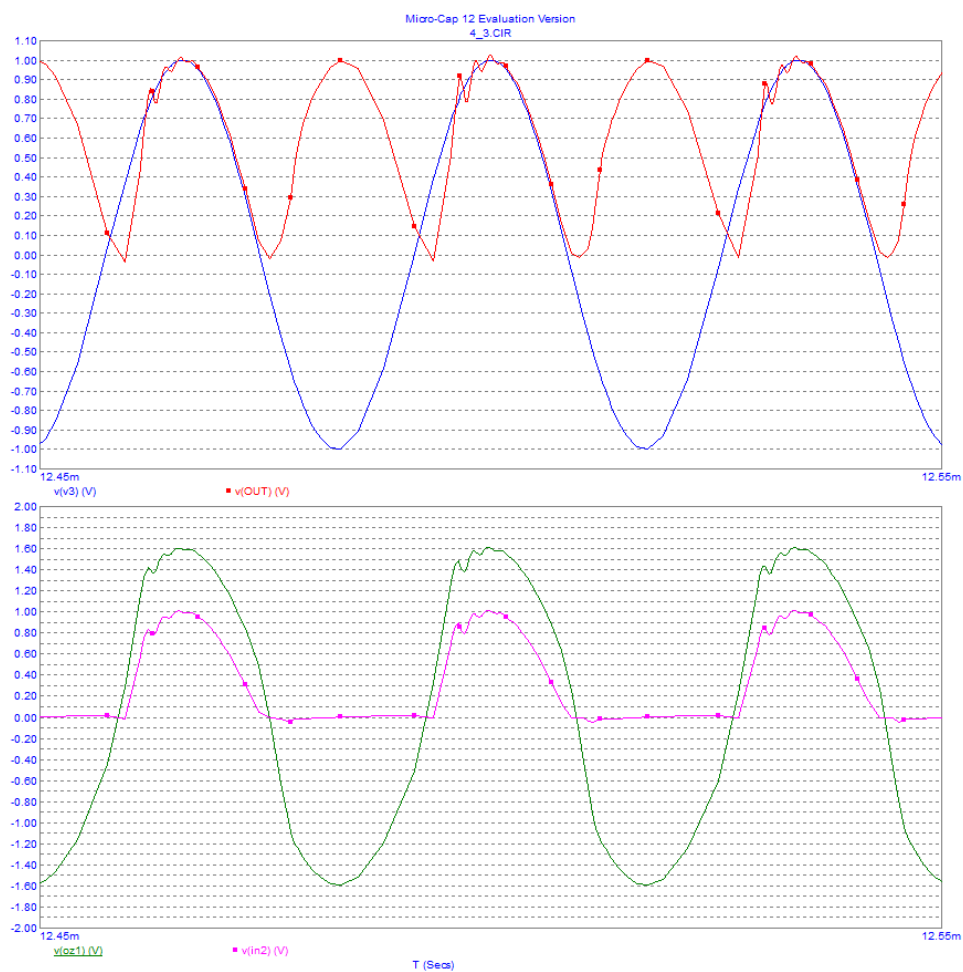




Obr. 18: Zapojení c) – časová závislost napětí na výstupech obou OZ na vstupním napětí, jednocestné a dvoucestné usměrnění,  $f = 1 \text{ kHz}$ ,  $U_M = 1 \text{ V}$ .



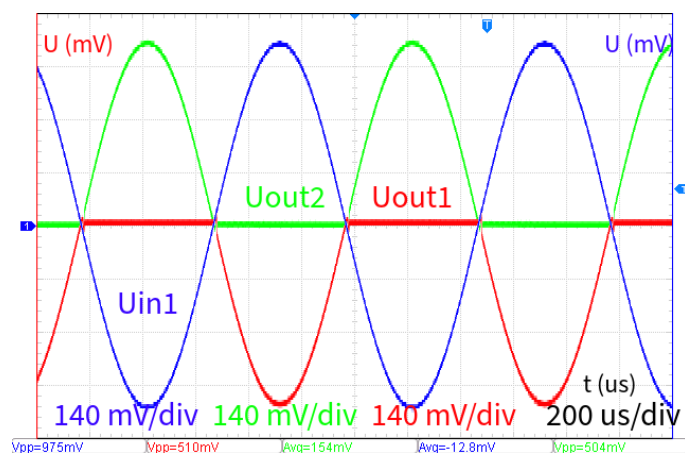
Obr. 19: Zapojení c) – časová závislost napětí na výstupech obou OZ na vstupním napětí, nejnižší amplituda, při které uspokojivě usměrňuje,  $f = 1 \text{ kHz}$ ,  $U_M = 5 \text{ mV}$ .



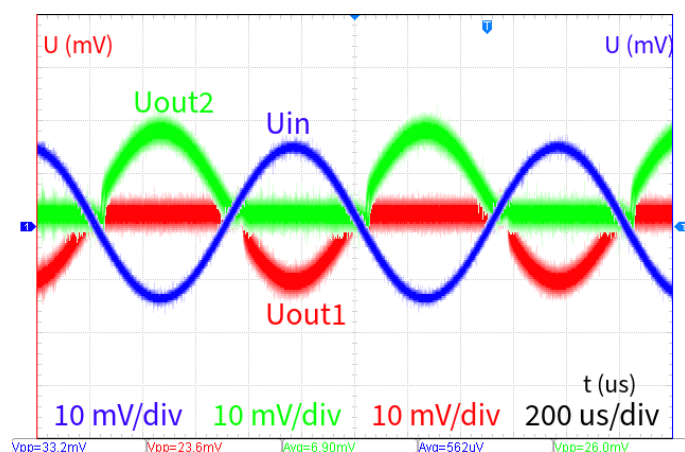
Obr. 20: Zapojení c) – časová závislost napětí na výstupech obou OZ na vstupním napětí, nejvyšší frekvence, při které uspokojivě usměrňuje,  $f = 30 \text{ kHz}$ ,  $U_M = 1 \text{ V}$ .

# Měření v laboratoři

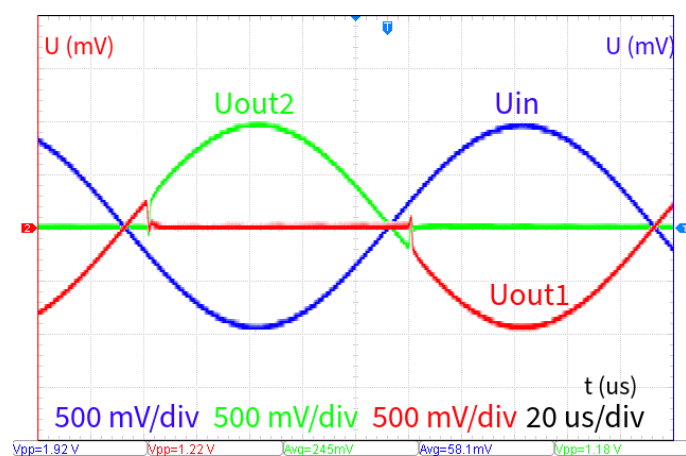
## Jednocestný usměrňovač



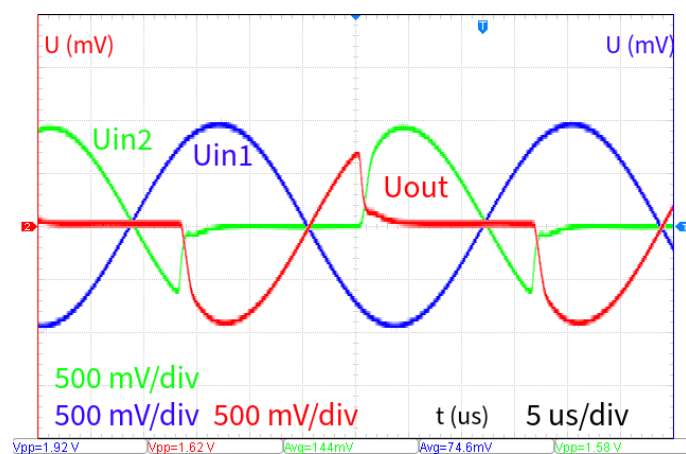
Obr. 21: Zapojení a) – časová závislost obou výstupních signálů a vstupního signálu ( $f = 1 \text{ kHz}$ ,  $U_M = 500 \text{ mV}$ )



Obr. 22: Zapojení a) – časová závislost stejných signálů, nejmenší dosažená amplituda,  $U_{M-min} = 15 \text{ mV}$ .

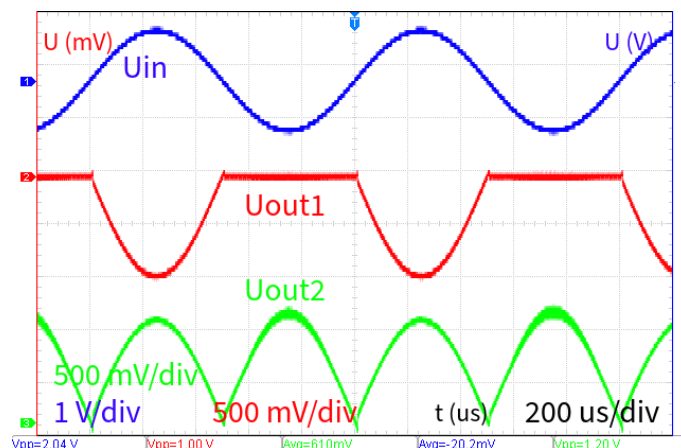


Obr. 23: Zapojení a) – časová závislost vstupních a výstupních signálů při vyšší frekvenci ( $f = 5 \text{ kHz}$ ), již jsou patrné drobné překmity.

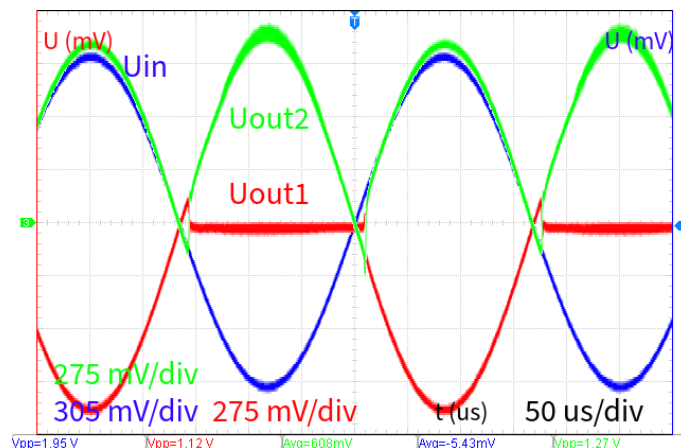


Obr. 24: Zapojení a) – časová závislost vstupních a výstupních signálů při vysoké frekvenci ( $f = 30 \text{ kHz}$ ), jsou patrné výrazné překmity.

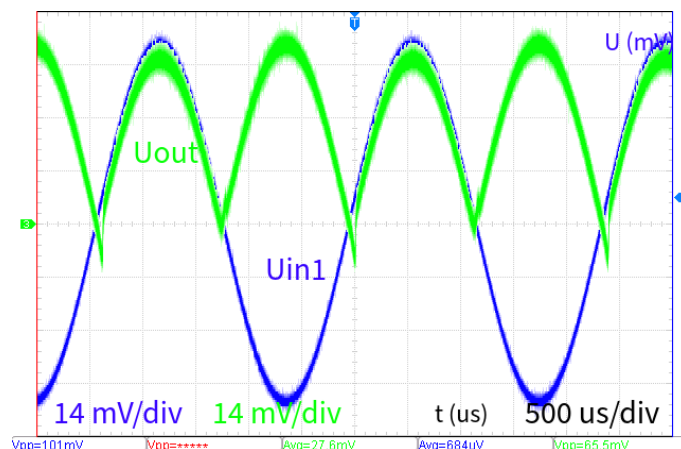
## Dvoucestný usměrňovač, zapojení b)



Obr. 25: Zapojení b) – časová závislost signálů na vstupu, výstupu prvního OZ a celkovém výstupu zapojení,  $f = 1 \text{ kHz}$ ,  $U_M = 1 \text{ V}$ .

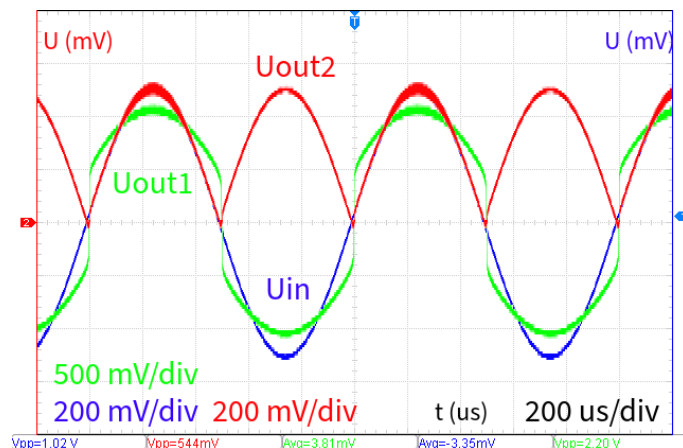


Obr. 26: Zapojení b) – časová závislost stejných signálů, vyšší překvence signálu ( $f = 3 \text{ kHz}$ ), překmity jsou patrné.

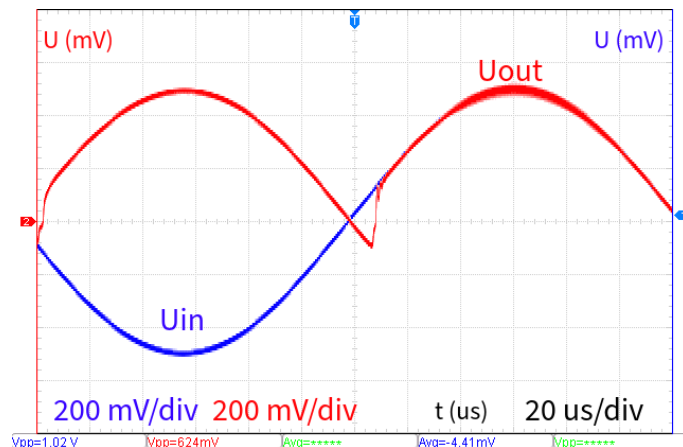


Obr. 27: Zapojení b) – časová závislost vstupního a výstupního signálu, nejmenší dosažená amplituda,  $U_M = 50 \text{ mV}$ ,  $f = 419 \text{ Hz}$

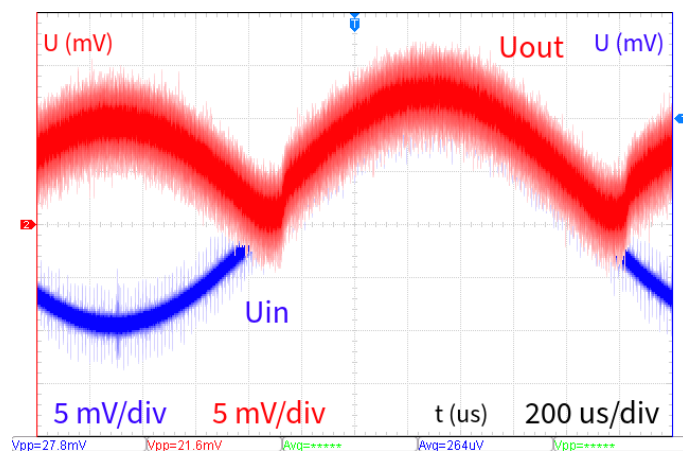
## Dvoucestný usměrňovač, zapojení c)



Obr. 28: Zapojení c) – časová závislost signálů na vstupu, výstupu prvního OZ a celkovém výstupu zapojení,  $f = 1 \text{ kHz}$ ,  $U_M = 500 \text{ mV}$ .



Obr. 29: Zapojení c) – časová závislost signálů na vstupu a výstupu při vyšší frekvenci signálu ( $f = 4 \text{ kHz}$ ), již jsou patrné překmity.



Obr. 30: Zapojení c) – časová závislost signálu na vstupu a výstupu, nejnižší dosažená amplituda,  $f = 420 \text{ Hz}$ ,  $U_M = 10 \text{ mV}$ .

Tabulka 1: Porovnání rozsahů, ve kterých zapojení usměrňují.

Zapojení	Sim.: $U_{M-min}$	Měření: $U_{M-min}$	Sim.: $f_{max}$	Měření: $f_{max}$
a)	200 mV	15 mV	30 kHz	5 kHz
b)	50 mV	50 mV	10 kHz	3 kHz
c)	5 mV	10 mV	30 kHz	4 kHz

## Závěr

Simulovali a měřili jsme tři různá zapojení usměrňovačů s operačními zesilovači. Nej-jednodušší je zapojení a), ke kterému stačí jediný OZ, ale usměrňuje pouze jednocestně. Snažili jsme se vyhodnotit, v jakém rozsahu amplitud a frekvencí dokáží jednotlivé obvody spolehlivě usměrňovat. Jako kritérium pro nás byla velikost překmitů do napětí opačné polarity a také samotný tvar signálu - jestli stále připomíná původní sinusoidu.

Obecně se dá říci, že v simulaci se nám zdál signál nepoužitelný už při podstatně větší amplitudě než při měření reálných obvodů, kdy jsme dosáhly i menších hodnot, naopak ale v simulaci zůstal signál použitelný i při vyšších kmitočtech, při reálném měření pak k překmitům docházelo u mnohem nižších kmitočtů.

Pokud bychom porovnali obě zapojení dvoucestného usměrňovače, jednoznačně vítězí zapojení c), u kterého jsme dosáhli lepších parametrů. Pro zlepšení funkce zapojení b) by bylo zapotřebí použít přesnější rezistory ( $R_4, R_5, R_6$ ), nepřesnost způsobuje to, že po sobě jdoucí půlperiody signálu nejsou shodné a také na jejich rozhraní pak snáze dochází k překmitům. Zapojení c) vyžaduje oproti tomu pouze dva přesné rezistory a to stejné hodnoty, zde jsme při měření zaznamenali podstatně menší nesymetrii.