

# OTE Domácí úkol 7a - Operační usměrňovač

Vojtěch Michal

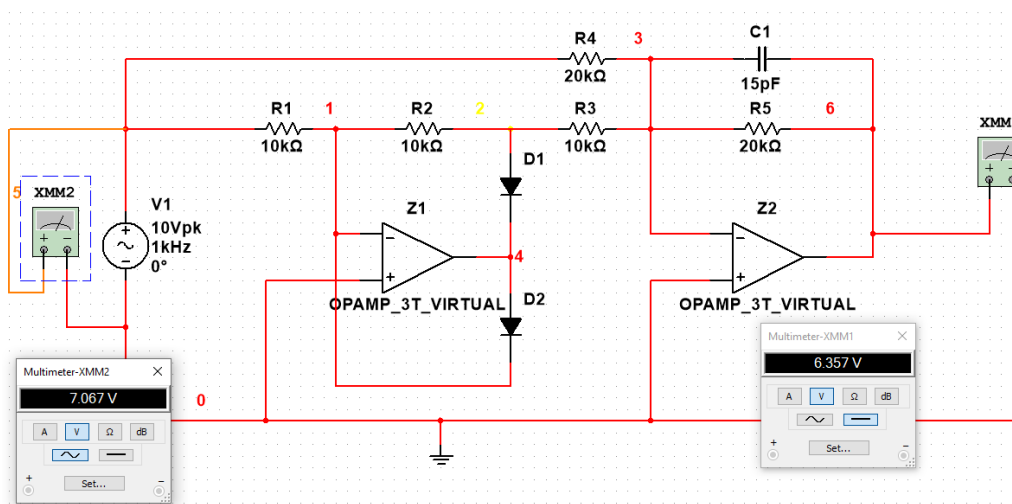
31. března 2022

V simulacích pro tuto úlohu bylo použito nastavení parametrů operačního zesilovače uvedené v tabulce 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	$\text{kV V}^{-1}$	
Tranzitní kmitočet	$f_T$	1	MHz	

Tabulka 1: Parametry operačního zesilovače použité pro simulaci

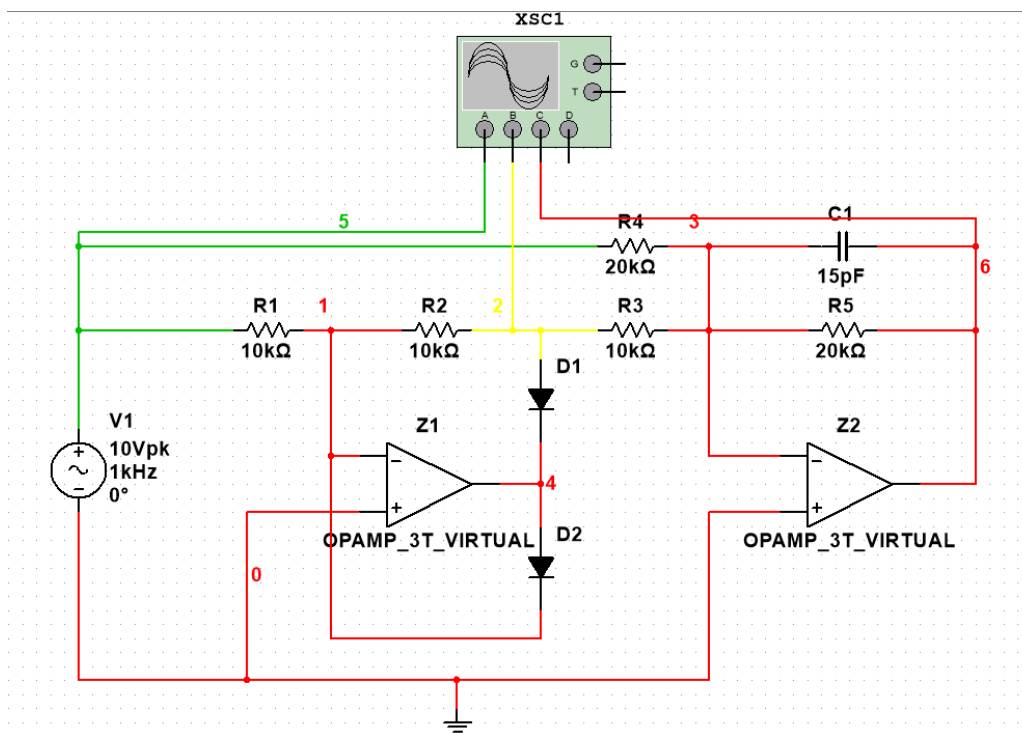
## 1 Ověření funkce obvodu



Obrázek 1: Schéma pro ověření správnosti funkce obvodu

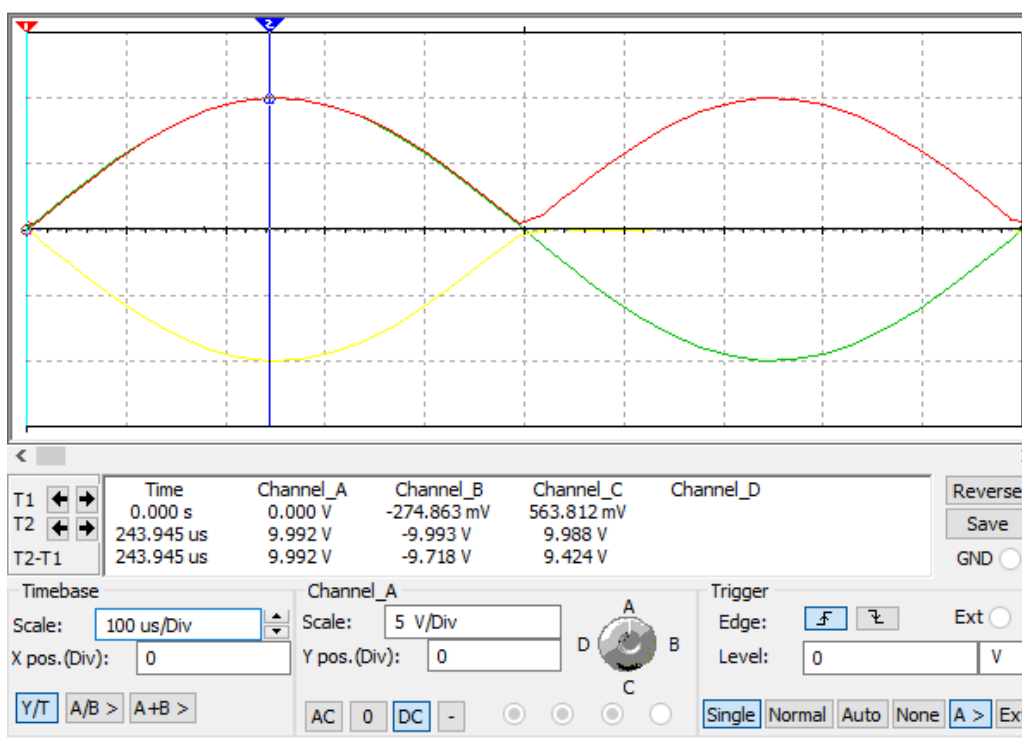
Na zapojení dle schématu 1 byl na vstup obvodu připojen harmonický průběh  $u_1(t) = 10 \sin(2000\pi t)$  [V]. Na výstupu obvodu bylo multimetrem změřeno stejnosměrné napětí  $U_2 = 6,357\text{V}$ . Platí  $1,11 \cdot U_2 = 7,057\text{V}$ , kde  $k = 1,11$  je činitel tvaru, což odpovídá efektivní hodnotě naměřené na vstupu s drobnou chybou přibližně 10 mV.

## 2 Časové průběhy napětí



Obrázek 2: Schéma pro zachycení časových průběhů napětí v různých uzlech obvodu

Zapojením osciloskopu dle schématu 2 bylo možné zachytit průběhy vykreslené na obrázku 3. Zelený průběh je vstupní harmonický signál s amplitudou 10 V a frekvencí 1 kHz. Žlutě je průběh na výstupu jednocestného usměrňovače (uzel 2), zatímco červený průběh je výstup celého dvoucestného usměrňovače (uzel 6). Výstup dvoucestného usměrňovače je skutečně absolutní hodnotou vstupního napětí.

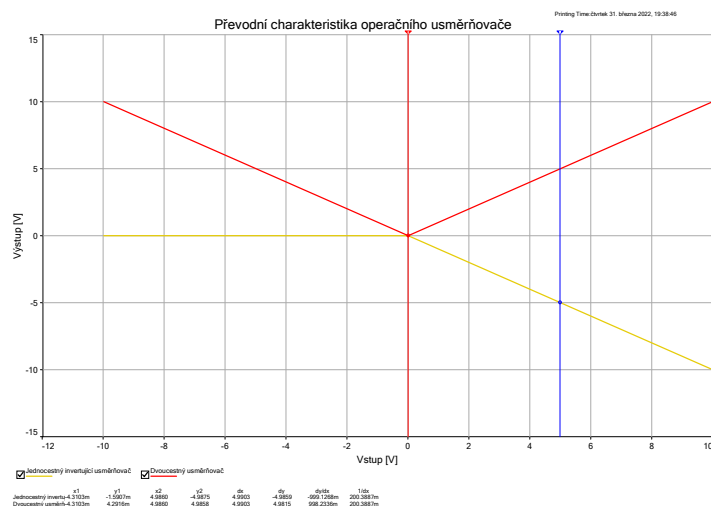


Obrázek 3: Časové průběhy na výstupu jednotlivých stupňů usměrňovače

### 3 Statická převodní charakteristika

Pomocí funkce DC sweep a byla vykreslena převodní charakteristika na obrázku 4. Žlutá charakteristika je napětí v uzlu 2, které přísluší k jednocestnému usměrňovači kolem Z1. Červený průběh je napětí v uzlu 6, což je výstup invertujícího sumátoru, tedy výstup celého dvoucestného zesilovače.

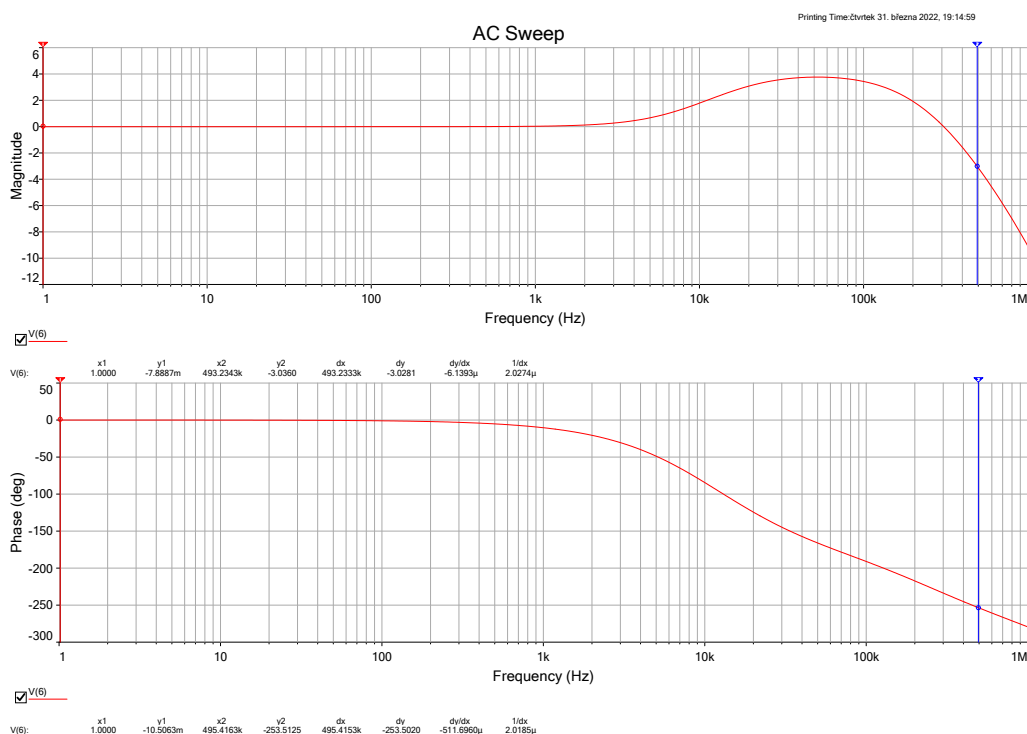
Kurzory jsou vyznačeny dva body: na jednom je na vstupu připojeno napětí blízké 0 V, z čehož lze odečíst chyby nul obou stupňů. V případě jednocestného usměrňovače je to přibližně 1,3 mV, zatímco v případě dvoucestného je to pouhých 20  $\mu$ V. Druhý bod je umístěn poblíž vstupního napětí 5 V, oba stupně obvodu mají chybu menší než 20 mV od ideální převodní charakteristiky.



Obrázek 4: Převodní charakteristika jednotlivých částí obvodu

### 4 Frekvenční charakteristika

Na obrázku 5 je frekvenční charakteristika dvoucestného operačního usměrňovače. Pro frekvence do cca 1 kHz je přenos jednotkový, následuje malé převýšení před mezním kmitočtem, který je na frekvenci  $f_m = 495$  kHz.



Obrázek 5: Frekvenční charakteristika operačního usměrňovače

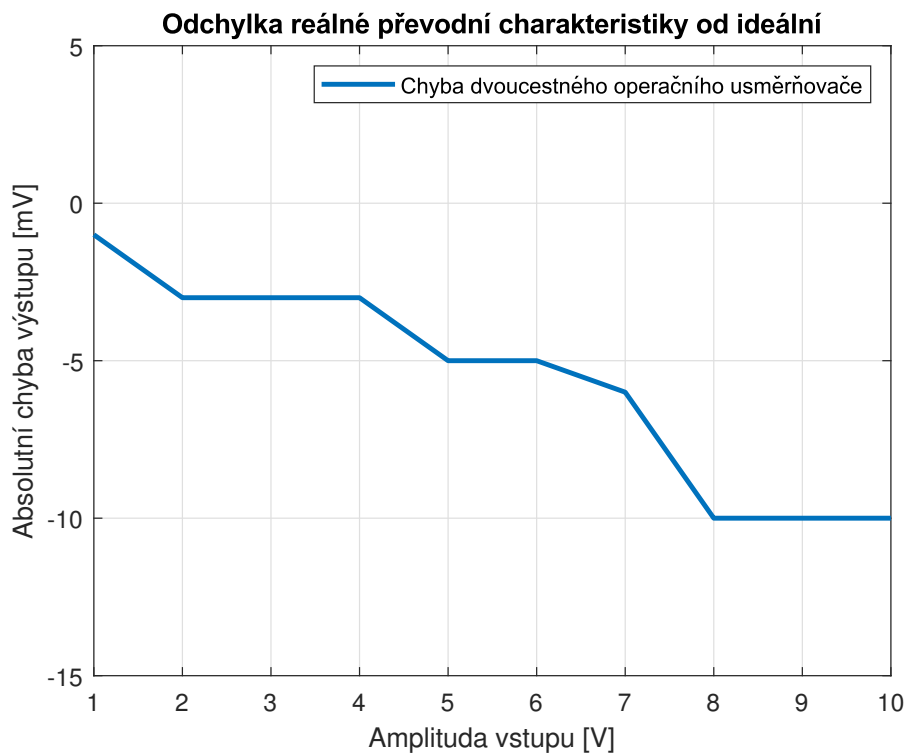
amplituda vstupu $U_1$ [V]	přesné $U_{1\text{RMS}}$ [V]	změřená aritmetická střední hodnota $U_{1\text{sar}}$ [V]	vypočtené $U_{1\text{RMS}}$ [V]
1	0,706	0,6347	0.705
2	1,413	1,271	1.410
3	2,12	1,907	2,117
4	2,827	2,544	2,824
5	3,534	3,179	3,529
6	4,24	3,815	4,235
7	4,947	4,451	4,941
8	5,654	5,085	5,644
9	6,361	5,722	6,351
10	7,067	6,358	7,057

Tabulka 2: Převodní charakteristika operačního usměrňovače pro střídavé vstupní napětí

## 5 Dynamická převodní charakteristika

Na vstup obvodu bylo připojeno několik různých napětí při frekvenci 1 kHz. Změřené napětí na výstupu je uvedené v tabulce 2.

Velikost absolutní chyby převodní charakteristiky v závislosti na velikosti vstupního signálu je vykreslena na grafu 6



Obrázek 6: Absolutní chyba dvoucestného operačního zesilovače