

# OTE Domácí úkol 4a - Integrovní zesilovač

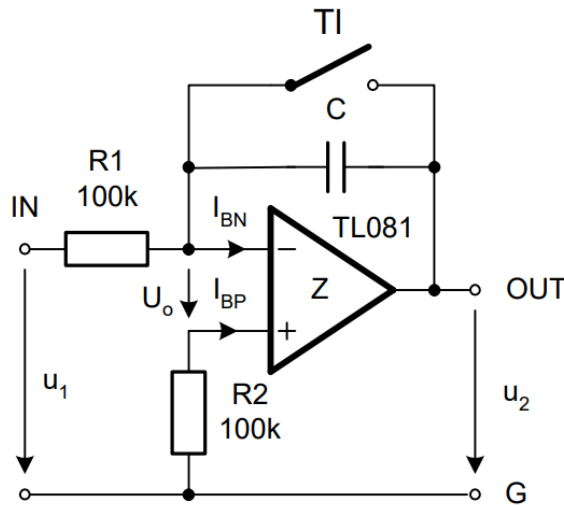
Vojtěch Michal

30. března 2022

V simulacích pro tuto úlohu bylo použito nastavení parametrů operačního zesilovače uvedené v tabulce 1. Symbolem  $u_2$  označuji napětí na výstupu integračního zesilovače proti zemi, napětí  $u_1$  je napětí na vstupu do integrátoru proti zemi (konvence použitá v zadání). Struktura integračního 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	$\text{kV V}^{-1}$	
Tranzitní kmitočet	$f_T$	1	MHz	

Tabulka 1: Parametry operačního zesilovače použité pro simulaci



Obrázek 1: Struktura invertujícího integračního zesilovače, převzato ze zadání

## 1 Výpočet časové konstanty

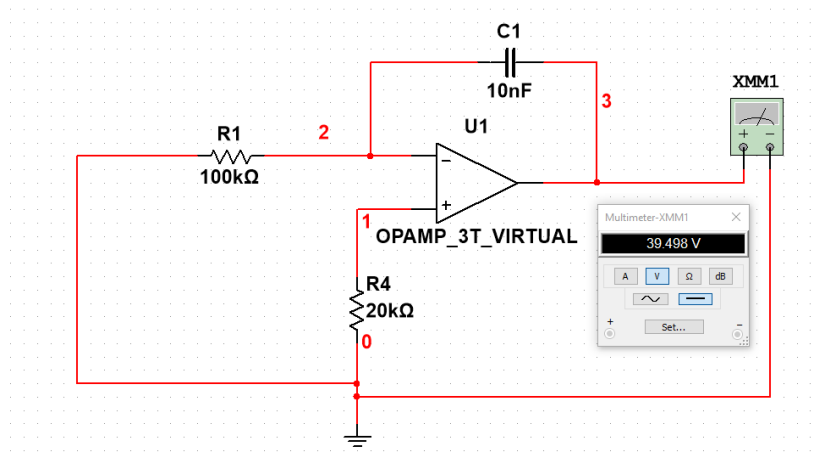
Pro časovou konstantu integrátoru platí

$$\tau = R_1 C, \quad (1)$$

fixováním  $R_1 = 100\text{k}\Omega$  lze pro proměnné velikosti  $C$  dosáhnout různé časové konstanty dle tabulky 2. Pro kompletnost jsou v tabulce uvedeny i příslušné mezní frekvence vypočtené dle vztahu

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\tau} = \frac{1}{2\pi R_1 C}. \quad (2)$$

$C_1$	Časová konstanta $\tau$	mezní frekvence $f_m$
1 nF	100 $\mu$ s	1,59 kHz
10 nF	1ms	159 Hz
100 nF	10 ms	15,9 Hz
1 $\mu$ F	100 ms	1,59 Hz

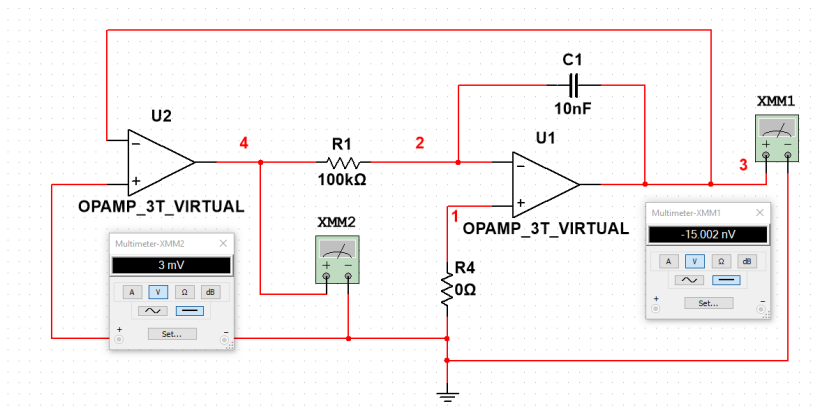
Tabulka 2: Závislost časové konstanty integrace na kapacitě  $C_1$ 

Obrázek 2: Schéma pro měření výstupního zbytkového napětí

## 2 Zbytková napětí

Zkratováním vstupu na zem dle schématu 2 se projevuje vstupní zbytkové napětí OZ samotného a integrované napětí diverguje do nekonečna (na napájení úrovně).

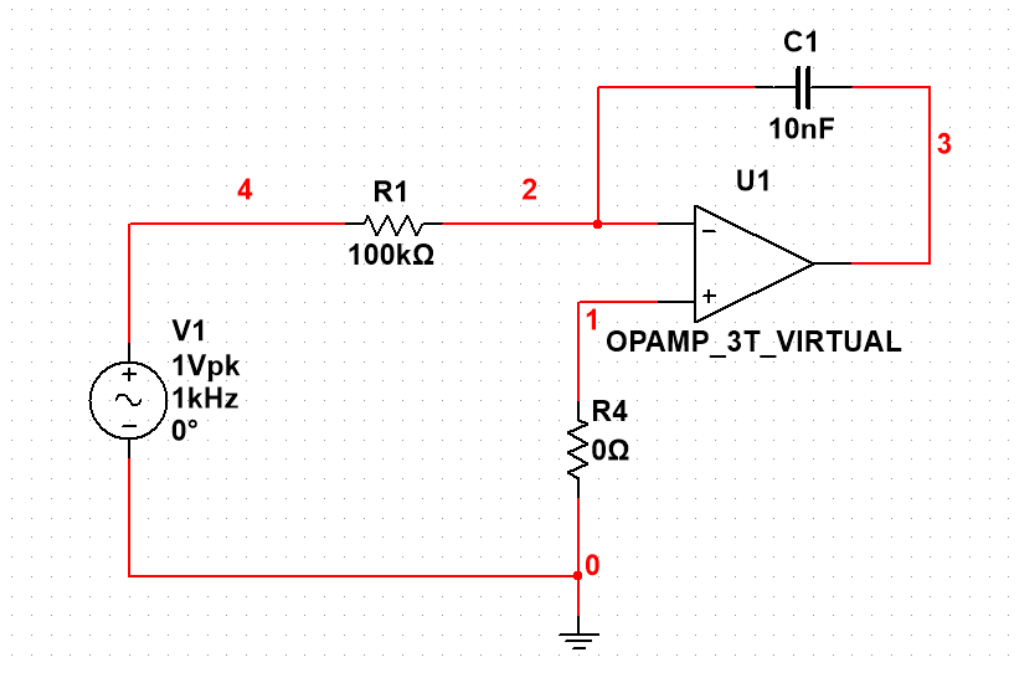
Zapojením zpětné vazby kolem integrátoru dle schématu 3 lze nalézt i jeho vstupní zbytkové napětí, při kterém se  $u_2$  bude držet na zemním potenciálu. To je pro mé parametry OZ rovno  $U_0 = 3\text{mV}$ .



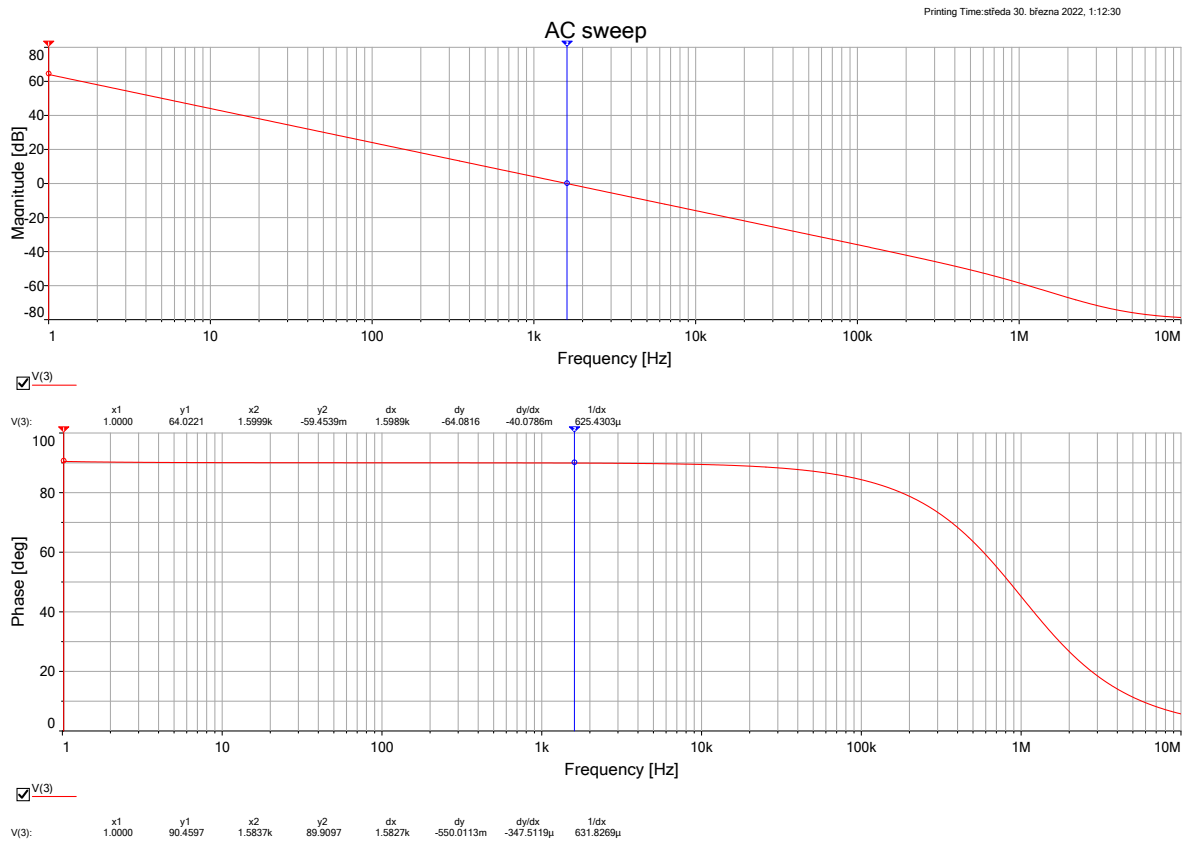
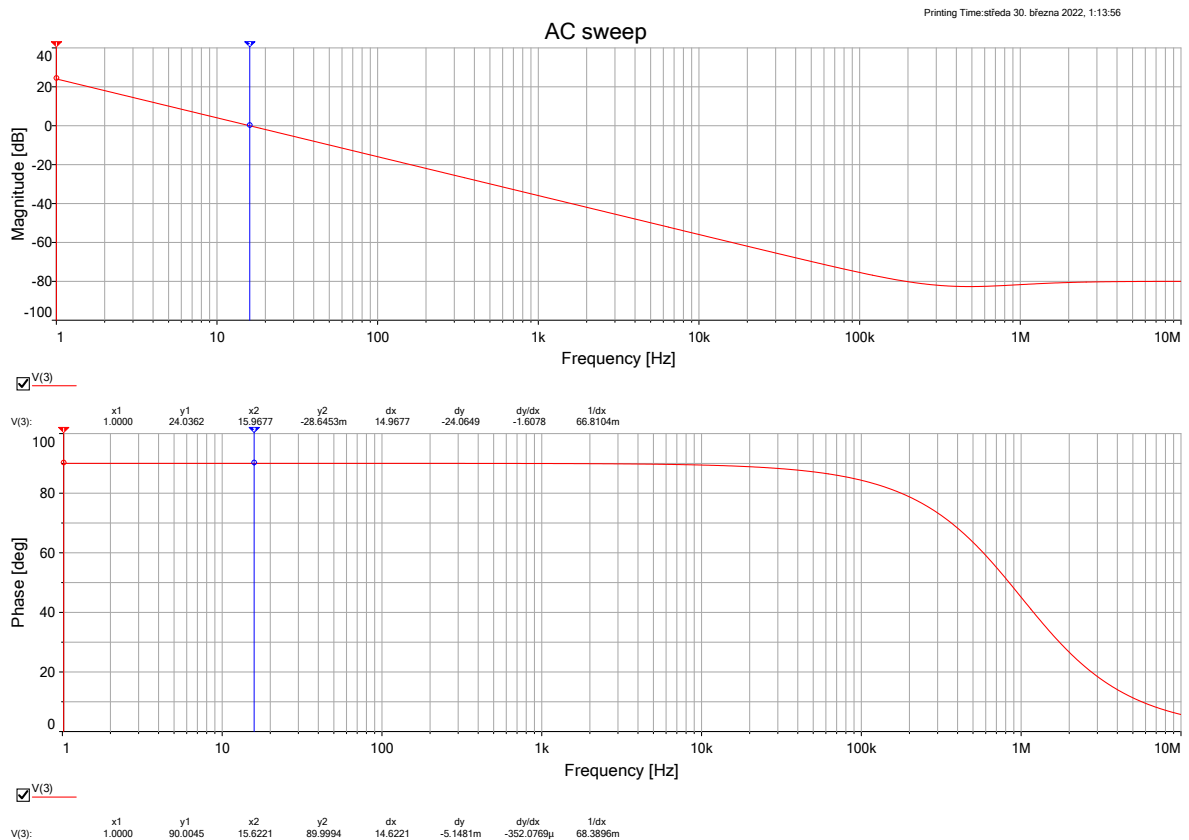
Obrázek 3: Schéma pro měření vstupního zbytkového napětí

### 3 Frekvenční charakteristika

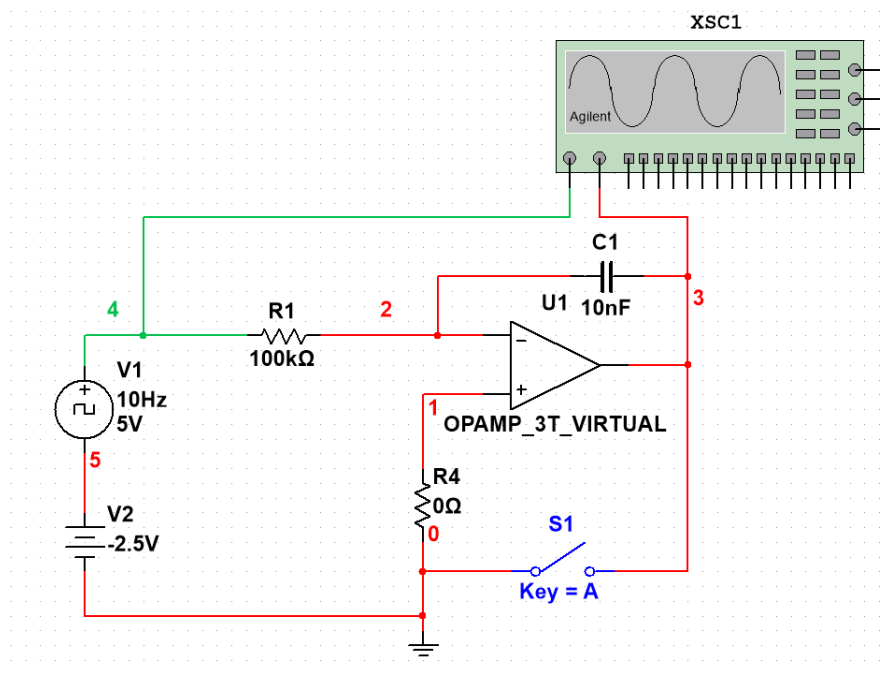
S pomocí zapojení na schématu 4 a funkce *AC sweep* byly získány frekvenční charakteristiky rozdílového zesílení pro  $C_1 \in \{1, 100\}$  nF, které jsou vykresleny na obrázcích 5 a 6. Simulací určené mezní kmitočty odpovídají přesně teoreticky vypočteným hodnotám v tabulce 2.



Obrázek 4: Zapojení pro získání frekvenční charakteristiky integrovního zesilovače

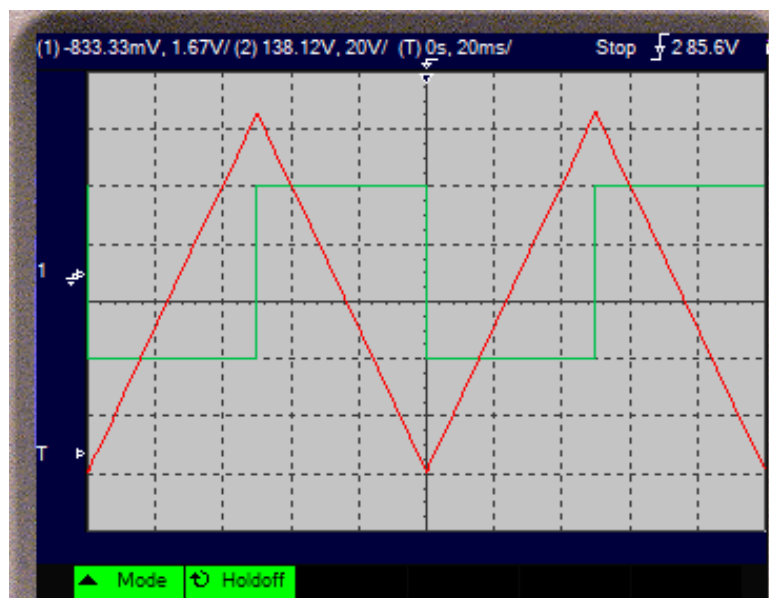
Obrázek 5: Frekvenční charakteristika pro  $C_1 = 1\text{nF}$ Obrázek 6: Frekvenční charakteristika pro  $C_1 = 100\text{nF}$

## 4 Odezva na skok



Obrázek 7: Zapojení pro sledování odezvy na skok

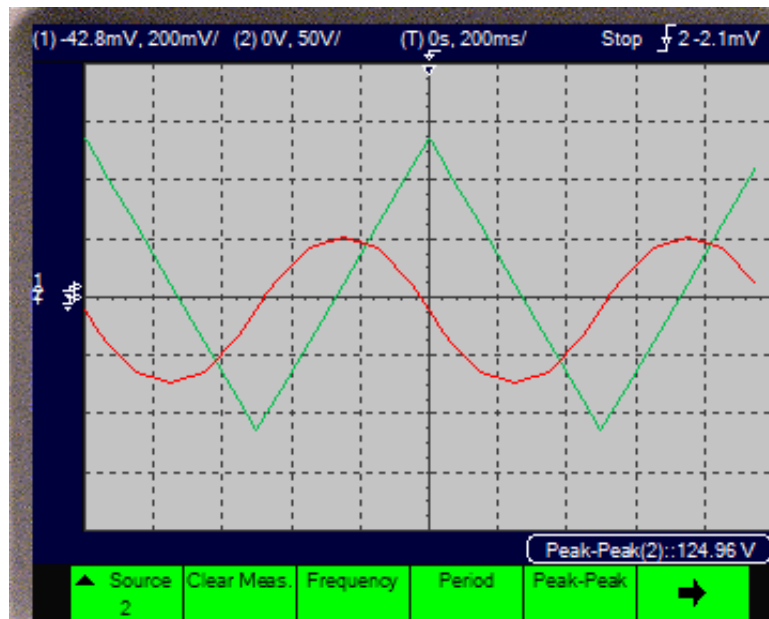
S pomocí generátoru obdélníkového signálu a osciloskopu zapojeného dle schématu 7 byly zachyceny časové průběhy vykreslené na obrázku 8 pro  $C_1 = 10\text{nF}$ . Integroátor integruje po částech konstantní vstupní signál, výstupní napětí jsou tedy lineárně klesající či rostoucí funkce. Ani při přibližování průběhů se nepodařilo pozorovat prudké skoky na začátku odezvy vlivem dopředného přenosu. Spínač S1 je přidán pro umožnění občasného vynulování naintegrovaného zbytkového napětí operačního zesilovače.



Obrázek 8: Odezva integrovního zesilovače na skoky vstupu

## 5 Lineární funkce na vstupu

Integrálem lineární funkce je funkce kvadratická. Na vstup integrátoru s  $C_1 = 10\text{nF}$  byl připojen trojúhelníkový průběh napětí s velikostí  $1\text{V}_{\text{pk-pk}}$  se střídou 50 % a periodou 1 s. Na výstupu byl pozorován signál složený po částech z parabol, jenž je na obrázku 9.



Obrázek 9: Integrál lineární funkce na vstupu integračního zesilovače

Očekávanou velikost špička-špička signálu na výstupu lze vypočítat pomocí určitého integrálu vstupního signálu:

$$U_{2\text{pk-pk}} = \frac{1}{100\text{k}\Omega \cdot 10\text{nF}} \int_0^{500\text{ms}} u_1(t) dt = 1000 \cdot 2 \cdot \int_0^{250\text{ms}} 2t dt = 2000(250\text{ms})^2 = 125\text{V}, \quad (3)$$

což perfektně odpovídá skutečné hodnotě změřené osciloskopem na obrázku 9.