

OTE Domáci úkol 4b - Vzorkovací zesilovač

Vojtěch Michal

30. března 2022

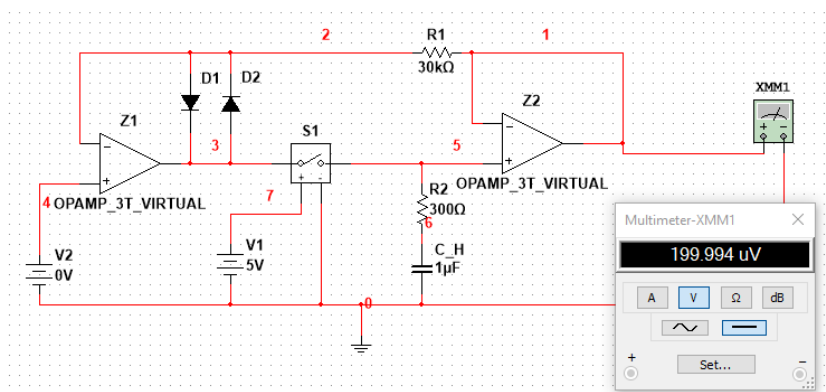
V simulacích pro tuto úlohu bylo použito nastavení parametrů operačních zesilovačů a spínače uvedené v tabulce 1. Symbolem u_2 označuji napětí na výstupu vzorkovacího zesilovače proti zemi, napětí u_1 je napětí na vstupu vzorkovacího zesilovače proti zemi (konvence použitá v zadání).

parametr	symbol	hodnota	jednotka	poznámka
Vstupní napěťový offset	U_0	1	mV	$(I_{BP} + I_{BN})/2$ $I_{BP} - I_{BN}$
Vstupní klidový proud	I_B	50	nA	
Vstupní zbytkový proud	I_0	20	nA	
Zesílení v otevřené smyčce	A_D	200	kV V^{-1}	
Tranzitní kmitočet	f_T	1	MHz	
odpor S1 v sepnutém stavu	R_{on}	10	$\text{m}\Omega$	
odpor S1 v rozpenutém stavu	R_{off}	1	$\text{G}\Omega$	

Tabulka 1: Parametry obvodu použité pro simulaci

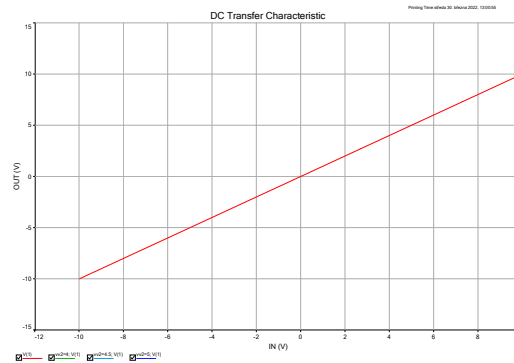
1 Převodní charakteristika

Pro měření bylo použito zapojení na obrázku 1, na kterém je i vidět změřené výstupní klidové napětí $U_{20} = 200\mu\text{V}$. Převodní charakteristika v režimu sledování je vykreslena na obrázku 2, zesílení obvodu je na celém rozsahu vstupů jedničkové.

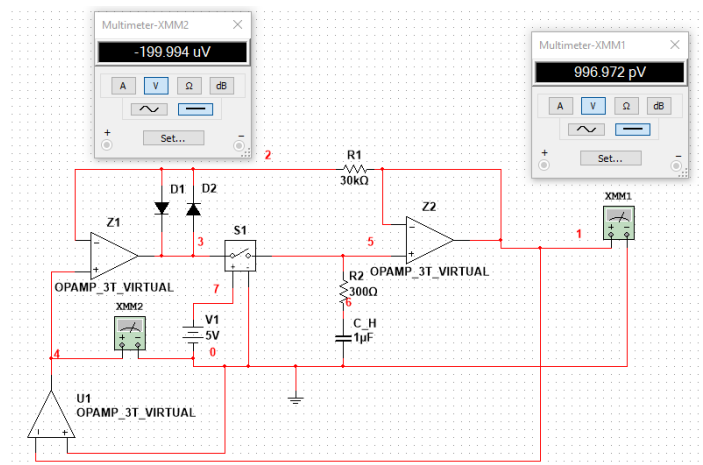


Obrázek 1: Schéma pro měření převodní charakteristiky

Díky jedničkovému zesílení je i vstupní klidové napětí rovno $U_{10} = 200\mu\text{V}$. Toto je ověřeno pomocí zpětno-vazebního zapojení na obrázku 3.

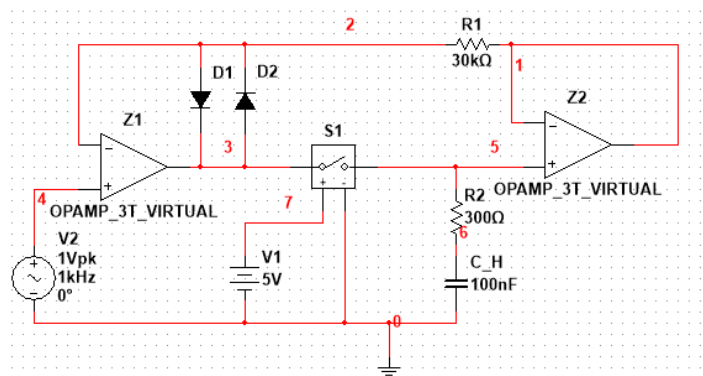


Obrázek 2: Převodní charakteristika vzorkovacího zesilovače v režimu sledování



Obrázek 3: Zapojení pro měření vstupního zbytkového napětí

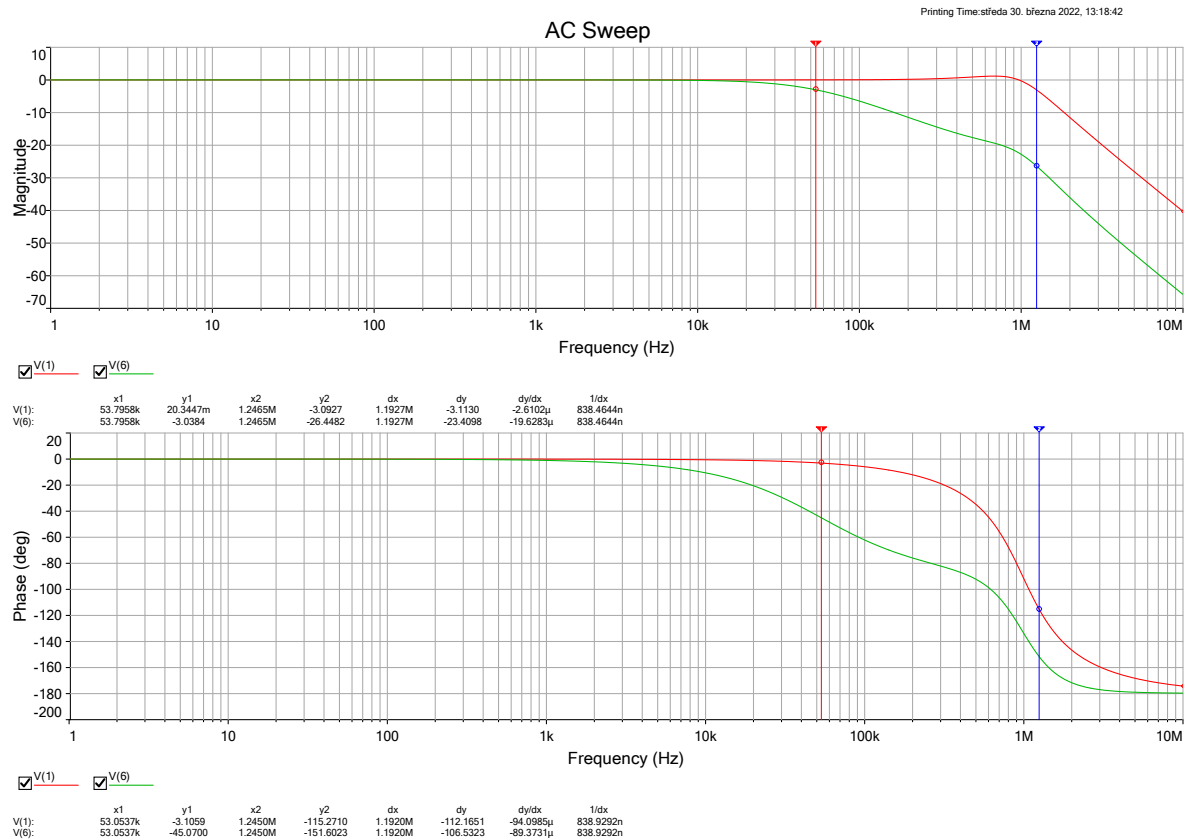
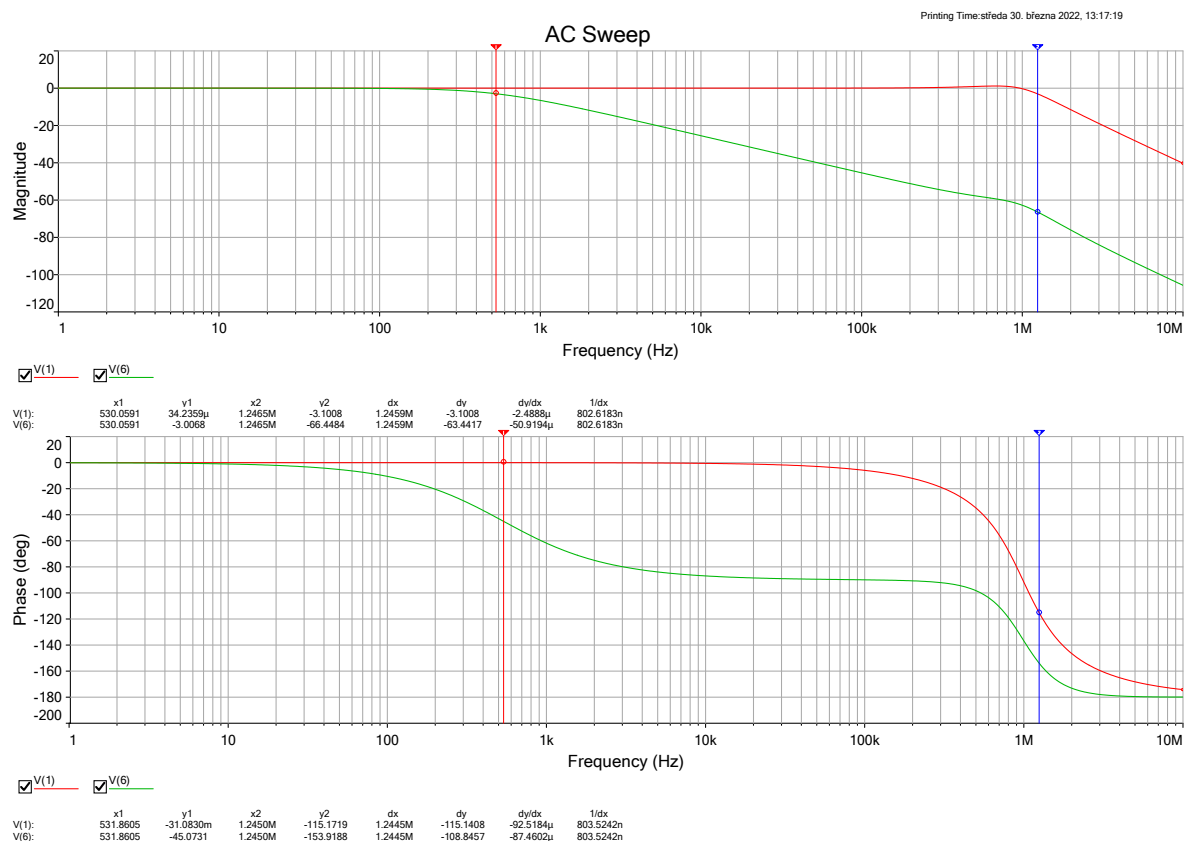
2 Frekvenční charakteristika v režimu pamatování



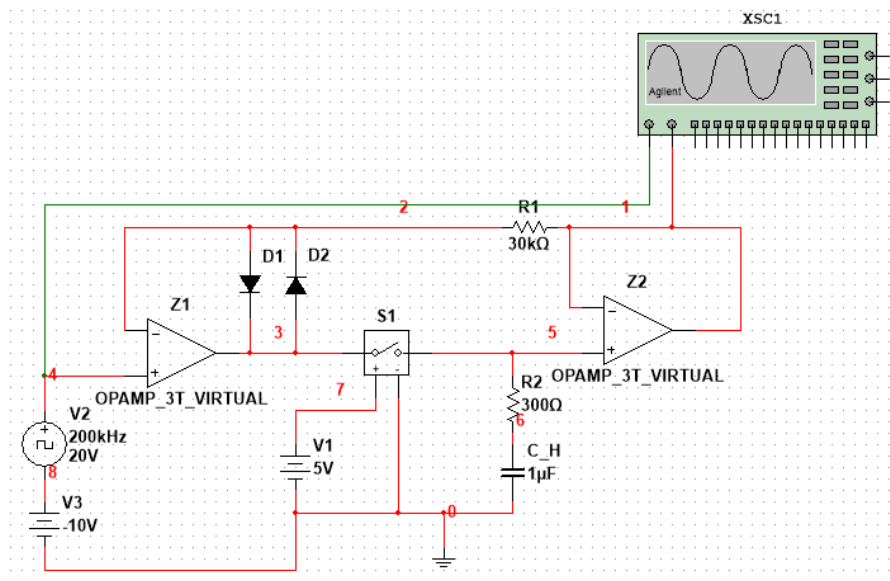
Obrázek 4: Zapojení pro získání frekvenční charakteristiky vzorkovacího zesilovače

S pomocí zapojení na schématu 4 a funkce *AC sweep* byly získány frekvenční charakteristiky pro $C_H \in \{10, 1000\}$ nF, které jsou vykresleny na obrázcích 5 a 6. Na grafech jsou kurzory vyznačené vždy dva průběhy – červenou barvou je vyvedeno napětí na uzlu 1 (výstup vzorkovacího zesilovače), zatímco zelenou je napětí na uzlu 6 (paměťový kondenzátor). Průběh na výstupu odpovídá standardnímu zesilovači s jedničkovým zesílením. Charakteristika je plochá na úrovni 0 dB až do mezního kmitočtu použitých OZ.

Naopak průběh na paměťovém kondenzátoru se zalomí dříve, neboť jeho mezní frekvence je obecně $f_m = (2\pi R_2 C_H)^{-1}$, což dává $f_m = 53\text{kHz}$ pro $C_H = 10\text{nF}$ a $f_m = 530\text{Hz}$ pro $C_H = 1\mu\text{F}$. Tomuto výpočtu odpovídají i mezní frekvence odečtené pomocí kurzorů. Pro reálné použití tohoto vzorkovacího zesilovače je potřeba sledovat zejména zelenou křivku, protože ona udává, jak se bude výstup chovat, začneme-li periodicky rozepínat spínač S1 a tedy odpojovat tvrdý zdroj vstupního napětí v podobě výstupu Z1.

Obrázek 5: Frekvenční charakteristika pro $C_1 = 10\text{nF}$ Obrázek 6: Frekvenční charakteristika pro $C_1 = 1000\text{nF}$

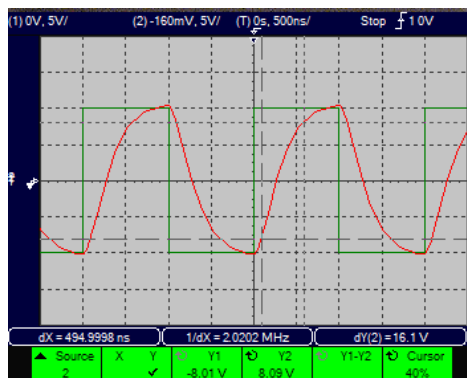
3 Doba náběhu a ustálení



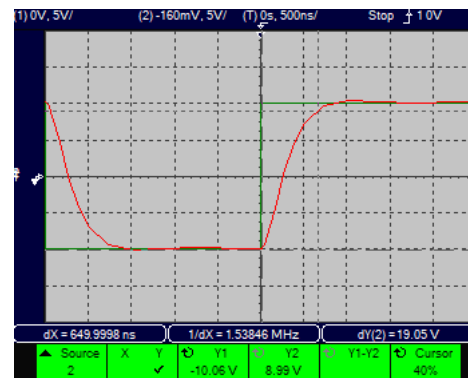
Obrázek 7: Zapojení pro měření doby náběhu a ustálení

S pomocí generátoru obdélníkového signálu a osciloskopu zapojeného dle schématu 7 byly zachyceny časové průběhy vykreslené na obrázcích ?? pro $C_1 = 1\mu\text{F}$.

Doba náběhu $T_n = 495\text{ns}$ je delší než teoreticky vypočtená $T_n \approx 0,35/f_m \approx 350\text{ns}$, což lze vysvětlit konečnou rychlostí přeběhu OZ. Ustálení na 5 % nastává po čase $T_s = 650\text{ns}$. Tyto hodnoty nejsou závislé na velikosti paměťové kapacity C_H , neboť spínač S1 je trvale uzavřen a obvod je jen trošku složitější sledovač napětí.



(a) Doba náběhu

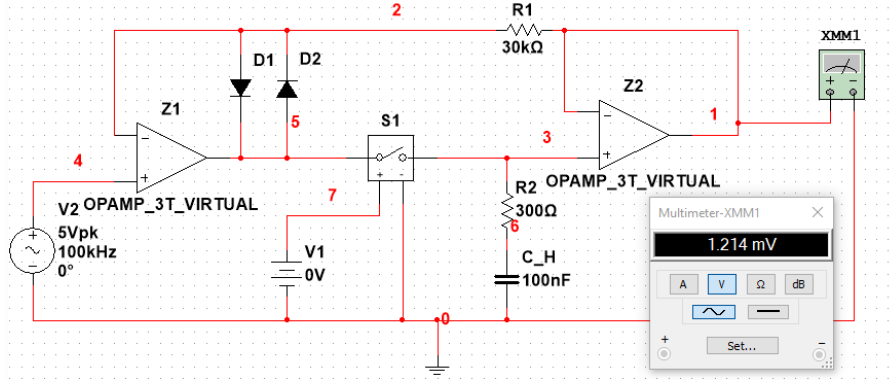


(b) Doba ustálení

Obrázek 8: Měření vlastností vzorkovacího zesilovače v časové doméně pro $C_H = 10\text{nF}$

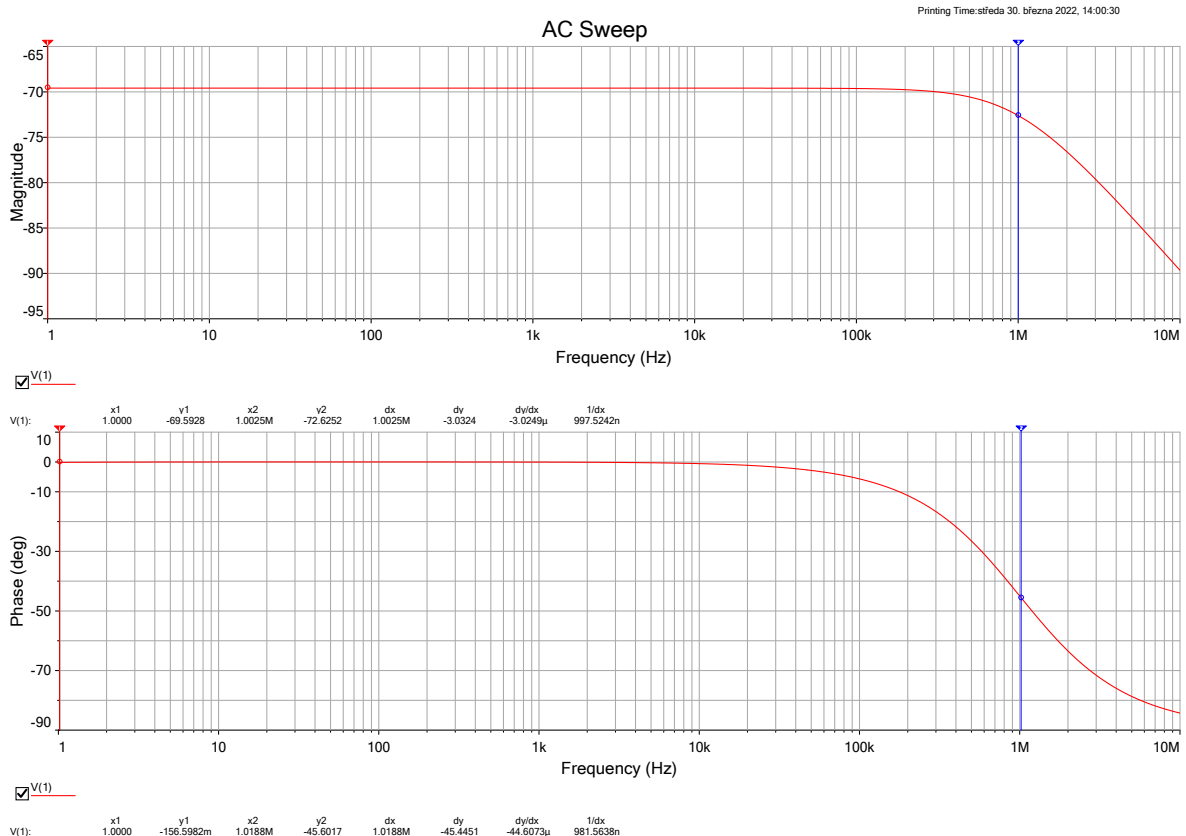
4 Průnik ze vstupu na výstup

Při rozepnutí spínače S1 by měl být výstup stabilní bez ohledu na průběh vstupního signálu. Ve skutečnosti existuje malý nenulový přenos ze vstupu na výstup. Použité zapojení je na obrázku 9.



Obrázek 9: Zapojení pro měření dopředného přenosu (průniku ze vstupu na výstup)

Na obrázku 10 je závislost dopředného přenosu na frekvenci. Již pro velmi malé kmitočty je vstupní signál potlačen víc jak tisíckrát (cca -70 dB), na mezní frekvenci zesilovačů $f_m = 1\text{MHz}$ se charakteristika zalomí dolů a přenos dále klesá.

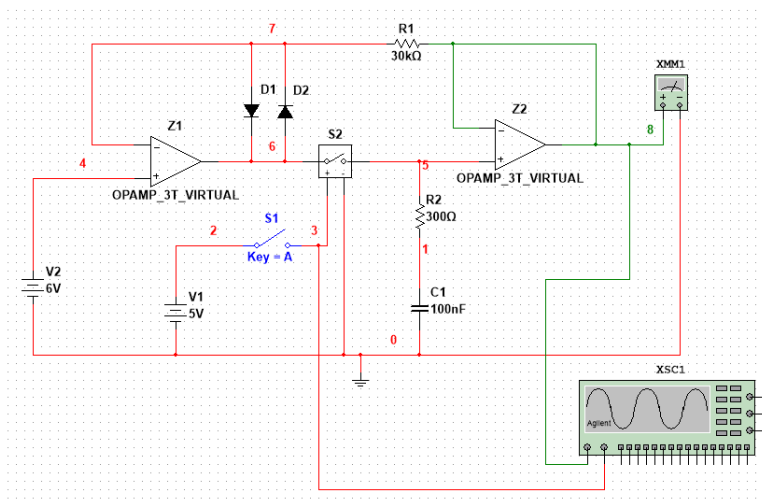


Obrázek 10: Frekvenční charakteristika průniku ze vstupu na výstup pro $C_1 = 1\mu\text{F}$

Průnik je však trochu závislý na velikosti paměťové kapacity. Po připojení vstupního signálu $u_1(t) = 5\sin(2\pi ft)[\text{V}]$ pro $f = 100\text{kHz}$ a rozpojení spínače S1 bylo na výstupu možno měřit napětí uvedné v tabulce 2. Protože mezi napětími naměřenými pro $C_H \geq 10\text{nF}$ není významný rozdíl, je vliv průniku zřejmě zanedbatelný a ztrácí se ve vlivu ostatních neidealit, zejména napěťových nesymetrií použitých OZ a jejich vstupních proudů.

paměťová kapacita C_H [nF]	U_2 (RMS)
1 nF	6,387 mV
10 nF	1,32mV
100 nF	1,21mV
1 μ F	1,21mV

Tabulka 2: Velikost napětí proniklého ze vstupu na výstup



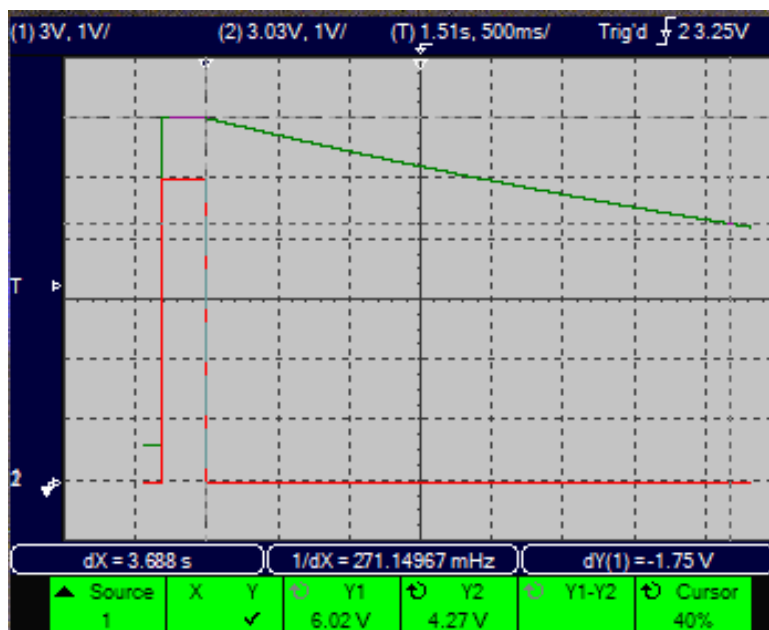
Obrázek 11: Zapojení pro sledování vybíjení paměťové kapacity

5 Ztráta napětí v režimu sledování

Ve stavu pamatování je paměťová kapacita C_H vybíjena přes odpor R_2 neinvertujícím vstupem sledovače Z2. Zapojením dle schématu 11 bylo možné toto vybíjení sledovat osciloskopem. Zachycený časový průběh je na obrázku 12. Paměťová kapacita se za 3,7 s vybila o 1,75 V, vybíjí se přibližně lineárně, tedy konstantním proudem

$$I = \frac{C_H \cdot \Delta U}{t} = \frac{100\text{nF} \cdot 1,75\text{V}}{3,7\text{s}} \approx 47\text{nA}. \quad (1)$$

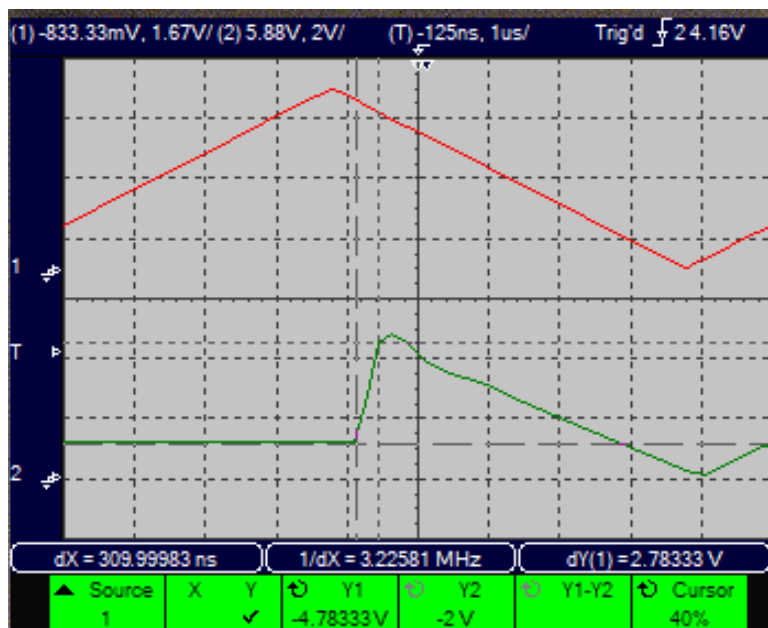
což dle očekávání přibližně odpovídá vstupnímu klidovému proudu I_{BP} . Další malý proud může téci přes spínač S1, protože má v rozepnutém stavu konečnou (byť velmi vysokou) impedanci.



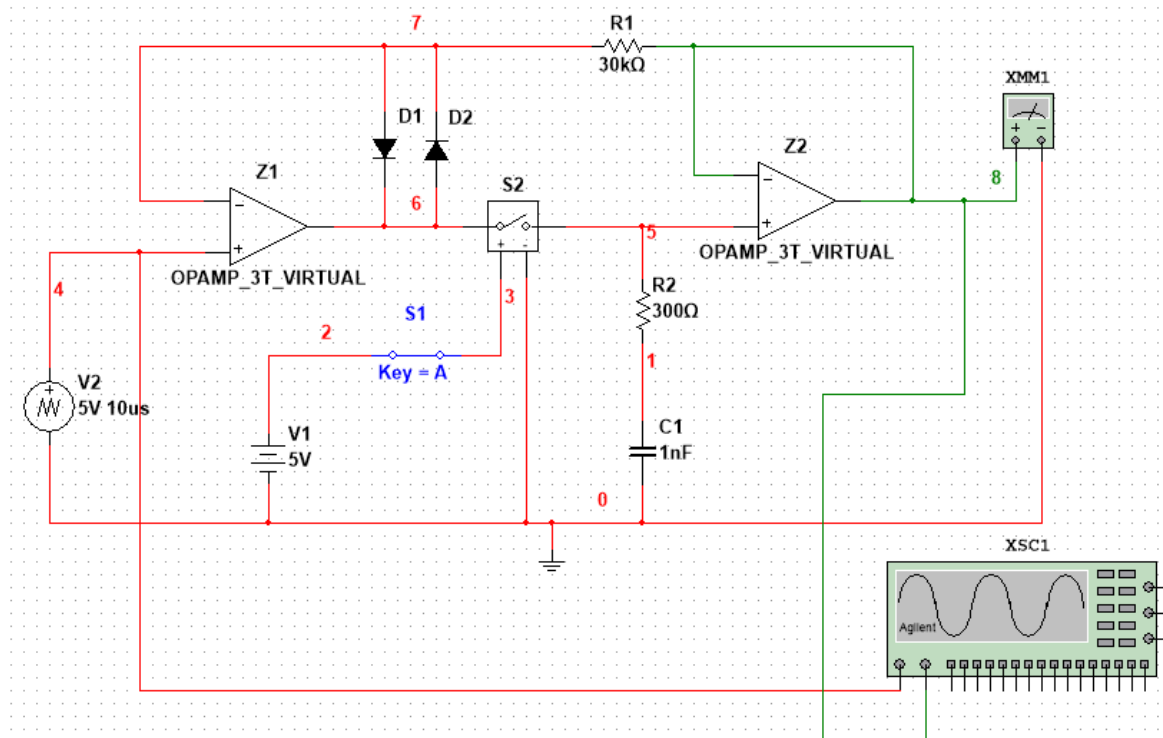
Obrázek 12: Vybíjení paměťového kapacitoru v režimu pamatování

6 Upínací doba

Na obrázku ?? jsou časové průběhy při přepnutí z pamatování na režim sledování zachycené osciloskopem dle zapojení na schématu 14. Napětí vystoupilo cca za 310 ns o 2,8 V, což je rychlost srovnatelná s měřením provedeným v sekci 3.



Obrázek 13: Přechod z režimu pamatování na režim sledování



Obrázek 14: Zapojení pro měření upínací doby