

Návrh analogových integrovaných obvodů Ústav mikroelektroniky FEKT VUT v Brně	Jméno Tomáš Vavrinec		ID 240893
	Ročník	Obor MET	Skupina
Název zadání 2. Zdroje referenčních proudů a napětí			Č. úlohy 3

ZADÁNÍ ÚLOHY

(používejte: $U_{TH0} = 0,4 \text{ V}$, $K_{Pn} = 200 \mu\text{A/V}^2$, $K_{Pp} = 50 \mu\text{A/V}^2$)

- Navrhněte jednoduchý zesilovač s tranzistorem PMOS s odporovou zátěží s těmito parametry: zesílení na nízkých kmitočtech $AU_0 \geq 20[\text{dB}]$, šířka pásma jednotkového zisku $GBW \geq 6[\text{MHz}]$, rychlost přeběhu $SR \geq 5[\text{V}/\mu\text{s}]$. Předpokládaná zátěž na výstupu obvodu je $CL = 2[\text{pF}]$. Postupně:
 - vypočítejte parametry všech součástek v obvodu (**P - výpočty ve formátu obecná rovnice, dosazení, výsledek**).
 - proved'te analýzu **.AC**- zobrazte si proud zesilovačem, napětí na hradle PMOS a ve výstupním uzlu (**P2 – schéma se zvýrazněnými U/I**). Ve výstupním grafu označte popisem AU_0 , GBW a fp_0 **P3 - popsáný graf**. Pozn. najed'te kurzorem na požadované místo a stisknete „l“ („el“) pro označení.
 - Vytvořte nové schéma pro simulaci SR. Nastavte vhodně vstupní pulzní zdroj a spusťte časovou analýzu (**.tran 5u**). Zobrazte graf, kde bude zobrazena jedna perioda vstupního a výstupního signálu a označeny body pro odečet SR. (**P4 - schéma + graf**). Z odsimulovaných hodnot vypočítejte SR (**P5 – rovnice s výpočtem SR**)
- Nahrad'te odporovou zátěž v obvodu z bodu 1) aktivní zátěží včetně nastavení jejího pracovního bodu (tj. celkem dva NMOS + R). Zjistěte, jak se změnily sledované parametry z bodu 1) (**AU0, GBW, CL**). (**P6 - výpočty aktivní zátěže ve formátu obecná rovnice, dosazení, výsledek, P7 - popsáný graf s AU0, GBW a fp0, P8 - popsáný graf SR**)
- Porovnejte v tabulce sledované parametry obvodu obou variant - bod 1) a 2) (**P9 – tabulka**)

1 Vypracování

1.1 Zesilovač s odporovou zátěží

Jako první určíme proud I_d , to uděláme dvěma způsoby, podle požadovaného SR a podle požadovaného GBW a vybereme ten větší.

Podle SR

$$I_d = SR \cdot C_L = 5 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 10^{-12} = 10[\mu A]$$

Podle GBW

$$I_d = GBW \cdot U_{OV} \cdot \pi C_L = 6M \cdot 0.2 \cdot \pi \cdot 2p = 7.54[\mu A]$$

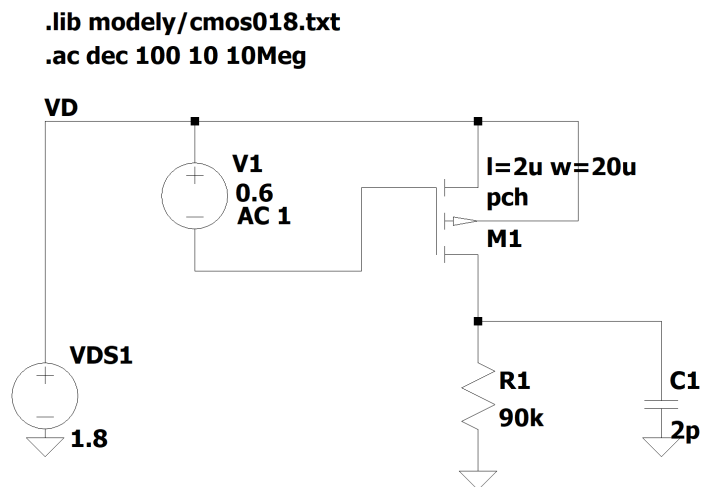
Proud teď bude $I_d = 10[\mu A]$

Dále můžeme určit rozměry tranzistoru, k čemuž budeme muset zvolit napětí U_{OV} , která volím s ohledem na pracovní rozsah $U_{OV} = 0.2[V]$. Délku tranzistoru L zvolím s ohledem na parametr λ $L = 2[\mu m]$.

$$W = L \cdot \frac{2 \cdot I_d}{K_P \cdot U_{OV}^2} = 2\mu \cdot \frac{2 \cdot 10\mu}{50\mu \cdot 0.2^2} = 20[\mu m]$$

Dále můžeme z Ohmova zákona určit zatěžovací rezistor R_D jako:

$$R_D = \frac{U_{out}}{I_D} = \frac{0.9}{10\mu} = 90[k\Omega]$$

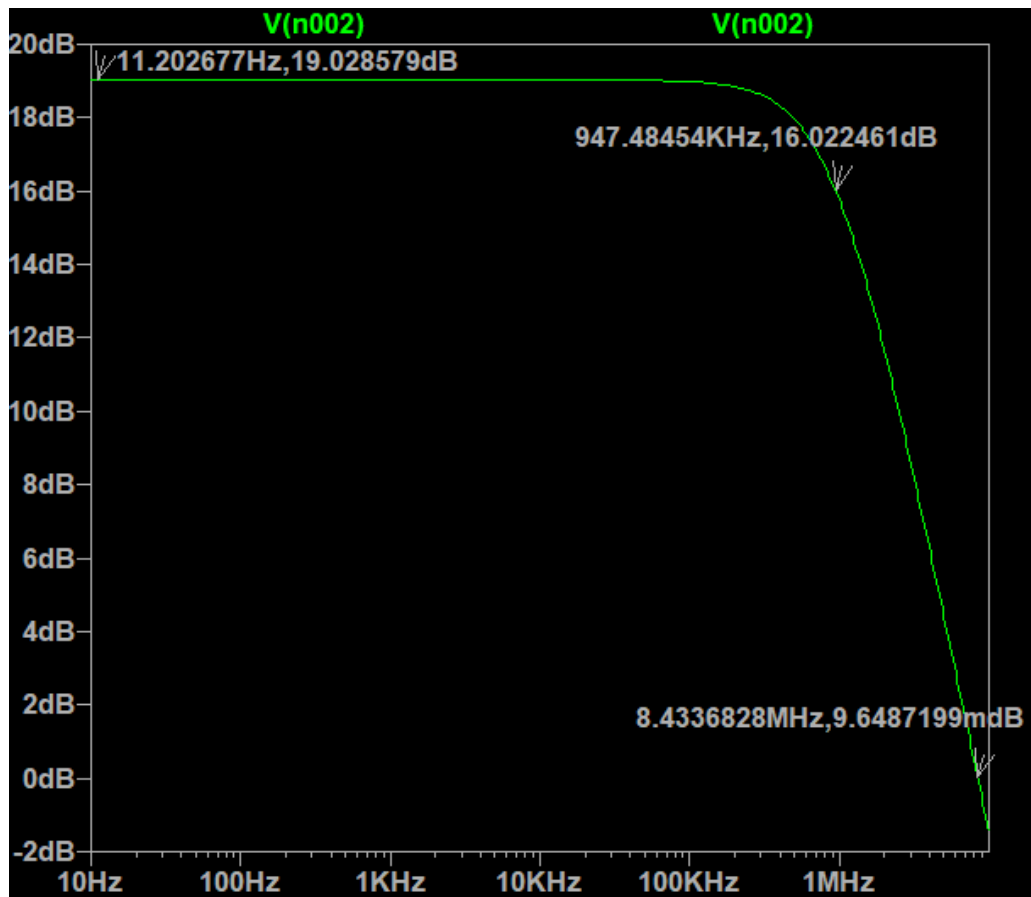


Obr. 1: Schéma zesilovače

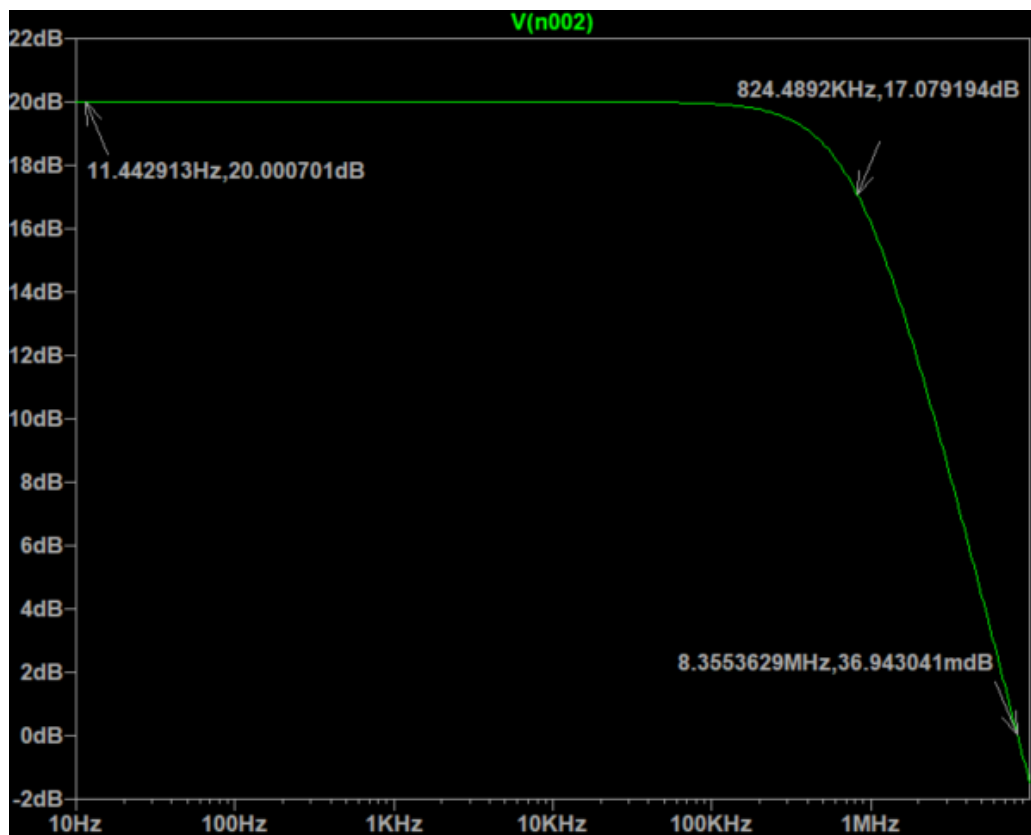
Zesílení mi vychází o necelý decibel menší než dle zadání, zkusil jsem tedy lehce zvětšit zatěžovací odpor na hodnotu $R_1 = 102.48[k\Omega]$ a obdržel jsem průběh 3

Z průběhu 7 určíme SR jako:

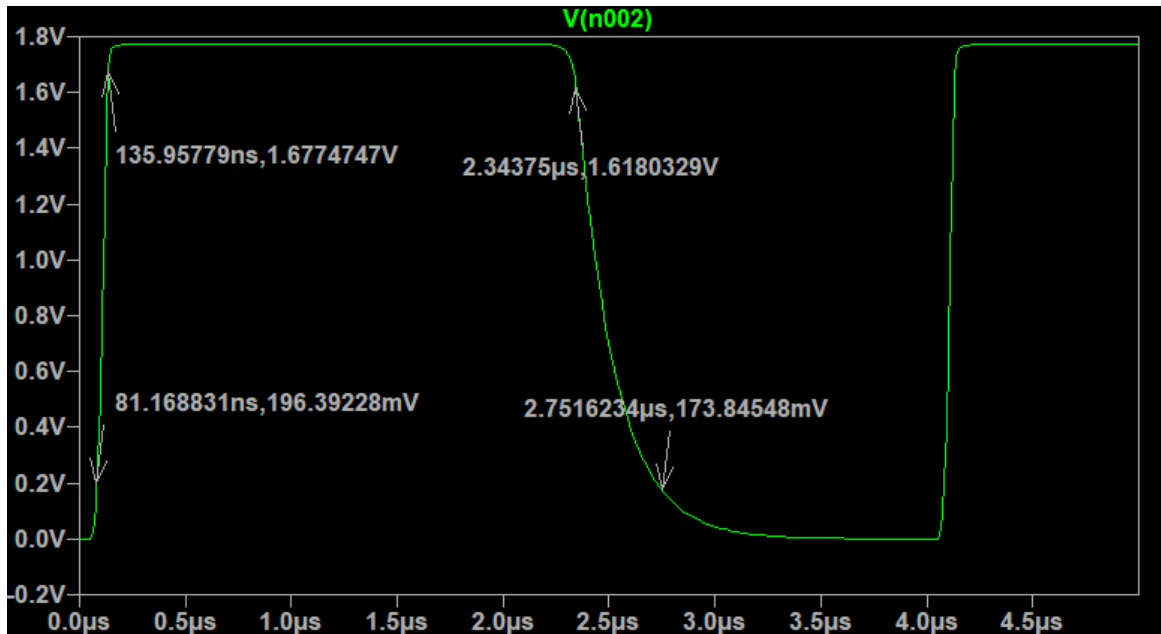
$$SR_{rise} = \frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{U_2 - U_1}{t_2 - t_1} = \frac{1.677 - 0.196}{126n - 81n} = 32.9[V/\mu s]$$



Obr. 2: .AC analýza zesilovače



Obr. 3: .AC analýza zesilovače se zvětšeným zatěžovacím odporem na $R_1 = 102.48[k\Omega]$



Obr. 4: **.trans** analýza s vyznačenými body pro určení SR

$$SR_{fell} = \frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{U_1 - U_2}{t_2 - t_1} = \frac{1.618 - 0.174}{2752n - 2344n} = 3.5[V/\mu s]$$

Sestupná hrana je pomalejší, než by dle zadání měla být, což je způsobeno předpokladem lineárního vybíjení kondenzátoru C_1 , zatím co je exponenciální, jak je vidět na průběhu 7

GBW je větší, než bylo požadováno, protože proud tranzistorem jsme stanovili vyšší, abychom splnili SR .

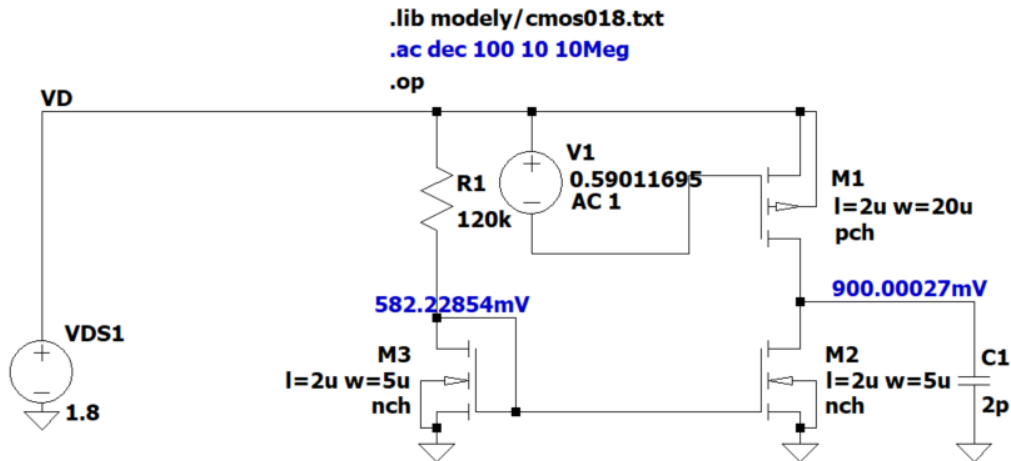
1.2 Zesilovač s aktivní zátěží

Při návrhu aktivní zátěže, začneme návrhem rozměrů tranzistorů. Délku kanálu L zvolíme opět $L = 2[\mu m]$ a napětí $U_{TH} = 0.2[V]$, šířku kanálu W pak určíme jako:

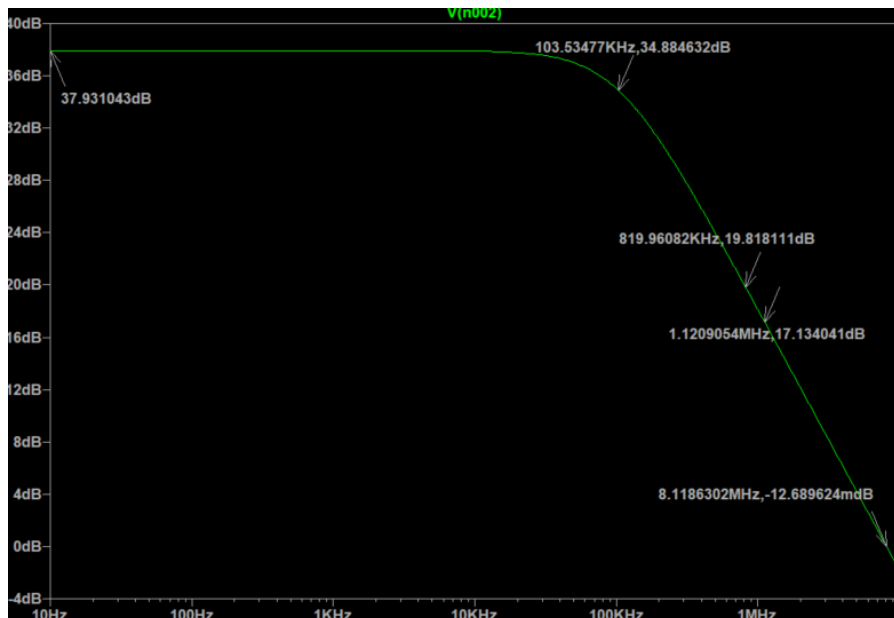
$$W_{M2} = W_{M3} = L \cdot \frac{2 \cdot I_d}{K_P \cdot U_{OV}^2} = 2\mu \cdot \frac{2 \cdot 10\mu}{200\mu \cdot 0.2^2} = 5[\mu m]$$

Následně určíme odpor nastavující proud tranzistorem M_3 jako:

$$R_1 = \frac{U_{CC} - (U_{TH} + U_{OV})}{I_D} = \frac{1.8 - (0.4 + 0.2)}{10\mu} = 120[k\Omega]$$



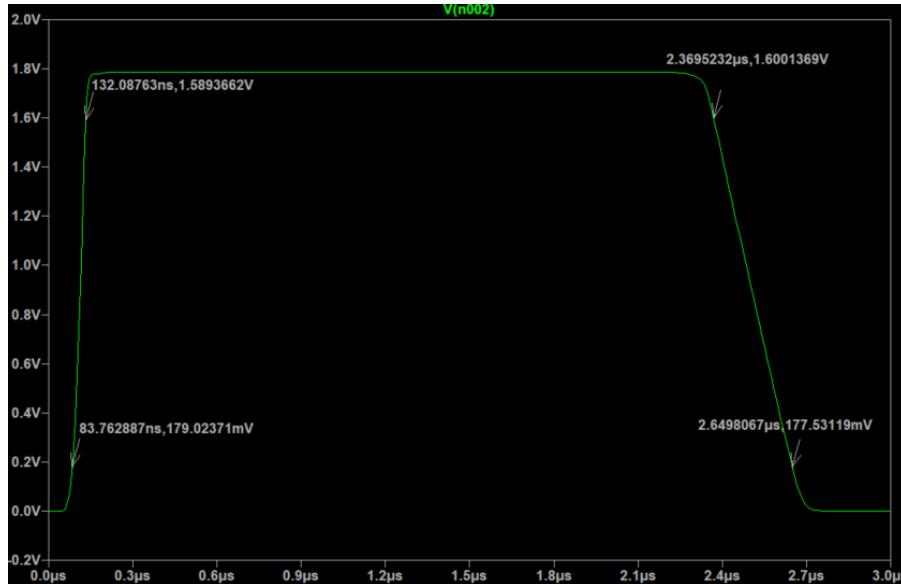
Obr. 5: Schéma zesilovače s aktivní zátěží



Obr. 6: .AC analýza zesilovače s aktivní zátěží

Zesílení s aktivní zátěží vychází o $19[dB]$ vyšší než v případě s odporovou zátěží. Pokles o $3[dB]$ nastává mnohem dříve místo $824[kHz]$ už při $104[kHz]$. Naproti tomu i při frekvenci $824[kHz]$

má zesilovač vyšší zesílení než případ z odporovou zátěží a ke stejnému zesílení, tedy $17[dB]$ dochází až u frekvence $1.12[MHz]$. Zesilovač s aktivní zátěží má ale strmější pokles, protože přestává zesilovat na frekvenci $GBW = 8.12[MHz]$, zatím co odporová varianta zesiluje až do $GBW = 8.43[MHz]$.



Obr. 7: **.trans** analýza s vyznačenými body pro určení SR

Z průběhu 7 určíme SR jako:

$$SR_{rise} = \frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{U_2 - U_1}{t_2 - t_1} = \frac{1.589 - 0.179}{132n - 87n} = 31.3[V/\mu s]$$

$$SR_{fell} = \frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{U_1 - U_2}{t_2 - t_1} = \frac{1.6 - 0.178}{2650n - 2367n} = 5[V/\mu s]$$

Zde je vidět že sestupná hrana už zadání přesně splňuje.

2 Závěr

Porovnání obou verzí zesilovače.

Typ zátěže	Zesílení $A_{U0}[-]$	Rychlost přeběhu $SR_{fell}[V/\mu s]$	šířka pásma $GBW[MHz]$
Odporová	19	3.5	8.43
Aktivní	38	5.0	8.12

Tabulka 1: Porovnání obou typů zátěže