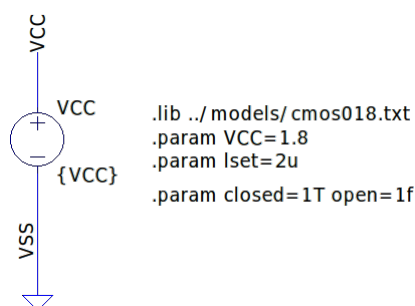


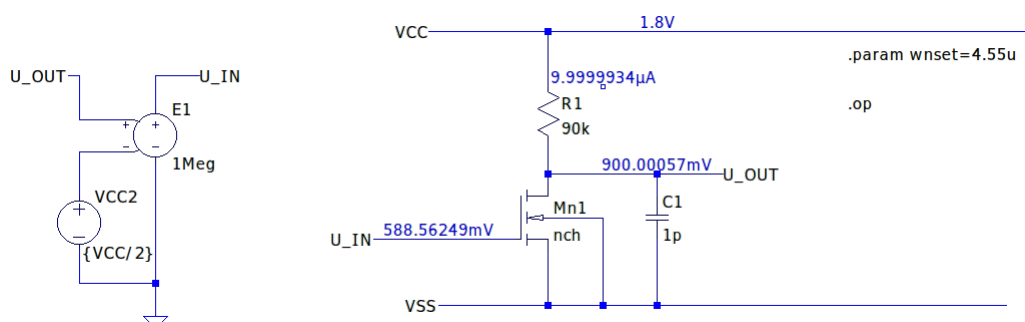
Návrh analogových integrovaných obvodů Ústav mikroelektroniky FEKT VUT v Brně			Jméno Jakub Charvot	ID 240844
			Ročník 3.	Obor MET Skupina MET/2
Spolupracoval –	Měřeno dne 25.03. 2024	Odevzdáno dne 07.04. 2024	Hodnocení	
Název zadání Koncové stupně ve třídě A				Č. úlohy 1

1 Vypracování

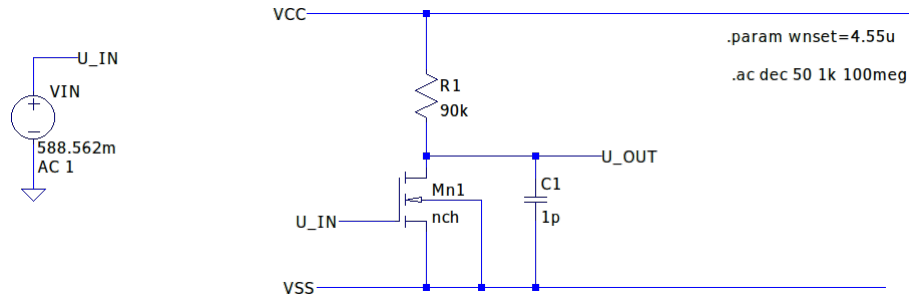


Obr. 1: Společná část SPICE kódu a napájecí zdroj.

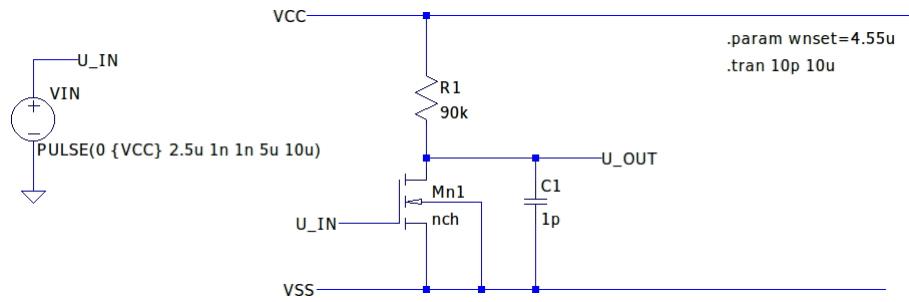
1.1 Jednoduchý zesilovač s odporovou zátěží



Obr. 2: Odporová zátěž – zapojení pro OP analýzu.



Obr. 3: Odporová zátěž – zapojení pro AC analýzu.



Obr. 4: Odporová zátěž – zapojení pro TRAN analýzu.

1.1.1 Ruční návrh

Jako první krok je potřeba stanovit proud obvodem. Vyjdeme z požadovaných parametrů zapojení:

$$SR = \frac{I_D}{C_{OUT}}$$

$$I_{D-SR} = SR \cdot C_{OUT}$$

$$I_{D-SR} = 10 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot 10^{-12}$$

$$I_{D-SR} = 10 \mu A$$

$$GBW = \frac{g_{m1}}{2 \cdot \pi \cdot C_{OUT}} = \frac{\frac{2 \cdot I_D}{U_{OV}}}{2 \cdot \pi \cdot C_{OUT}}$$

$$I_{D-GBW} = GBW \cdot \pi \cdot C_{OUT} \cdot U_{OV}$$

$$I_{D-GBW} = 10 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 10^{-12} \cdot 0,2$$

$$I_{D-GBW} = 6,28 \mu A$$

Zvolíme vyšší z vypočtených hodnot, tedy proud naším zapojením $I_D = I_{D-SR} = 10 \mu A$. Pro rozměry tranzistoru je ještě potřeba zohlednit požadavek na zesílení, který nám stanoví maximální povolenou hodnotu λ_{max} :

$$A_{U0} = \frac{2}{U_{OV}} \cdot \frac{U_{CC}}{U_{CC} \cdot \lambda_{max} + 2}$$

$$A_{U0} \cdot (U_{CC} \cdot \lambda_{max} + 2) = \frac{2}{U_{OV}} \cdot \frac{U_{CC}}{1}$$

$$\lambda_{max} = \frac{\frac{2 \cdot U_{CC}}{U_{OV}} - 2 \cdot A_{U0}}{U_{CC} \cdot A_{U0}}$$

$$\lambda_{max} = \frac{\frac{2 \cdot 1,8}{0,2} - 2 \cdot 10^{\frac{20}{20}}}{1,8 \cdot 10^{\frac{20}{20}}}$$

$$\lambda_{max} =$$

Nejprve vypočítám rozměry pro tranzistor M_1 :

$$\frac{W_1}{L} = \frac{2 \cdot I_D}{K P_N \cdot (U_{GS} - U_{TH})^2}$$

$$\frac{W_1}{L} = \frac{2 \cdot 10 \cdot 10^{-6}}{220 \cdot 10^{-6} \cdot (0,2)^2}$$

$$\frac{W_1}{L} \doteq 2,27$$

Délku L zvolíme opět $2 \mu\text{m}$, tedy $W_1 = 4,55 \mu\text{m}$.

Pro velikost rezistoru R_1 je předpokládáno na výstupu napětí rovno polovině napájecího napětí, tedy platí:

$$R_1 = \frac{U_{CC}}{2 I_D}$$

$$R_1 = \frac{\frac{1,8}{2}}{10 \cdot 10^{-6}}$$

$$R_1 = 90 \text{ k}\Omega$$

1.1.2 Očekávané hodnoty

Na základě zvolených parametrů součástek je potřeba přepočítat některé hodnoty. Proud $I_D = 10 \mu\text{A}$ byl zvolen pro $SR = 10 \text{ V}/\mu\text{s}$, tímto se ale změní GBW :

$$GBW = \frac{\frac{2 \cdot I_D}{U_{OV}}}{2 \cdot \pi \cdot C_{OUT}}$$

$$GBW = \frac{\frac{2 \cdot 10 \cdot 10^{-6}}{0,2}}{2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 10^{-12}}$$

$$GBW = 15,915 \text{ MHz}$$

Z rozměrů tranzistoru a tabulky z první úlohy odhadneme $\lambda = 0,0437895 \text{ V}$, tedy očekáváme:

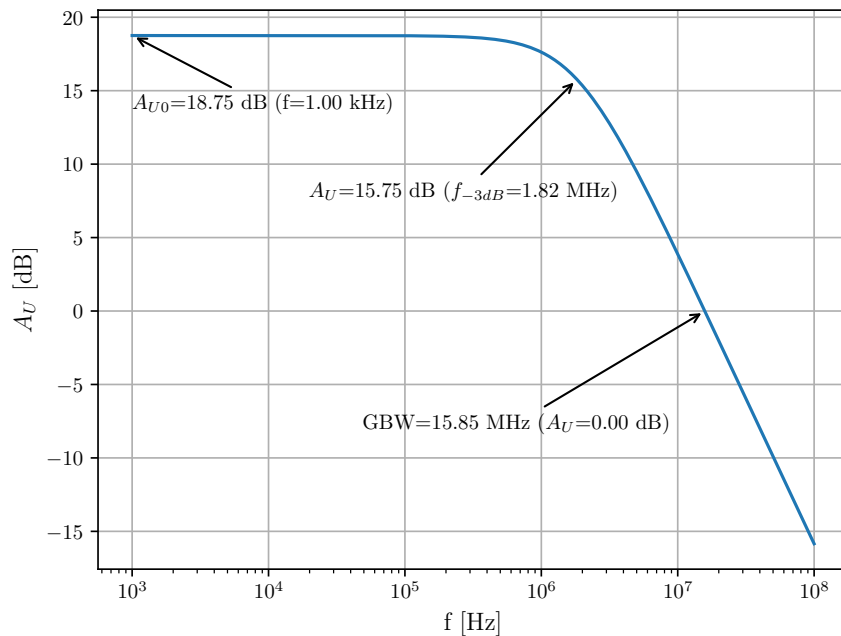
$$A_{U0} = \frac{2}{U_{OV}} \cdot \frac{U_{CC}}{U_{CC} \cdot \lambda_{max} + 2}$$

$$A_{U0} = \frac{2}{0,2} \cdot \frac{1,8}{1,8 \cdot 0,0437895 + 2}$$

$$A_{U0} = 8,659 = 18,749 \text{ dB}$$

1.1.3 Simulace

Z analýzy OP zjistíme optimální hodnotu $U_{GS} = 588,562 \text{ mV}$



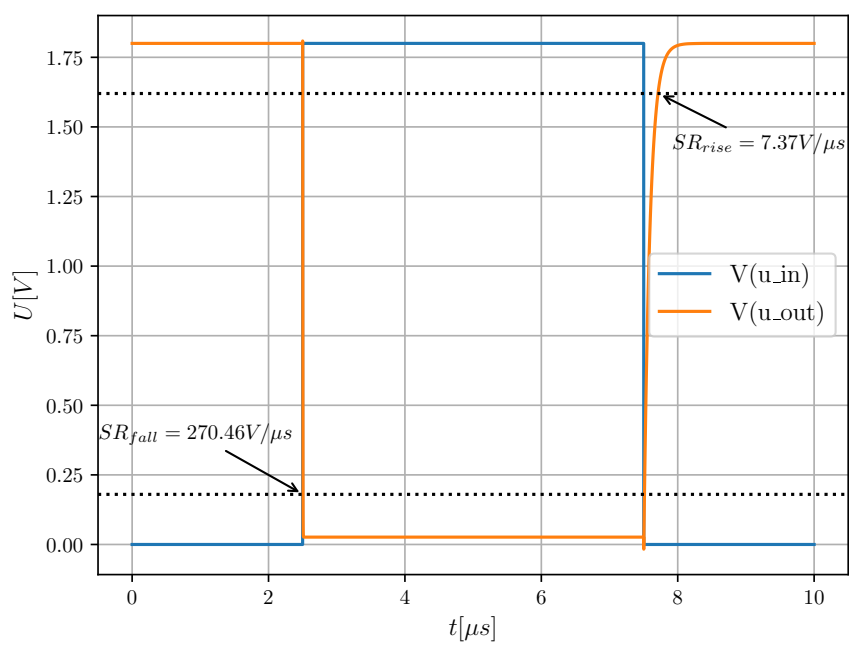
Obr. 5: AC analýza pro zesilovač s odporovou zátěží.

Kontrolní výpočet GBW ze simulovaných hodnot:

$$GBW = A_0 \cdot f_{-3dB}$$

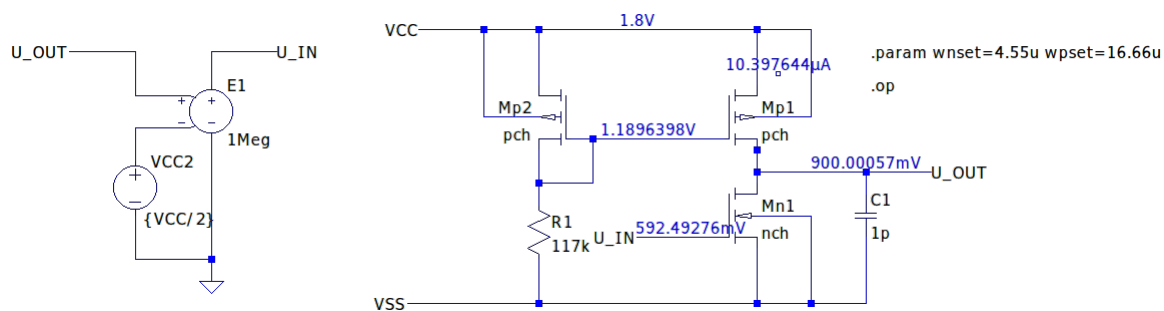
$$GBW = 10^{\frac{18,75}{20}} \cdot 1,82 \cdot 10^6$$

$$GBW = 15,761 \text{ MHz}$$

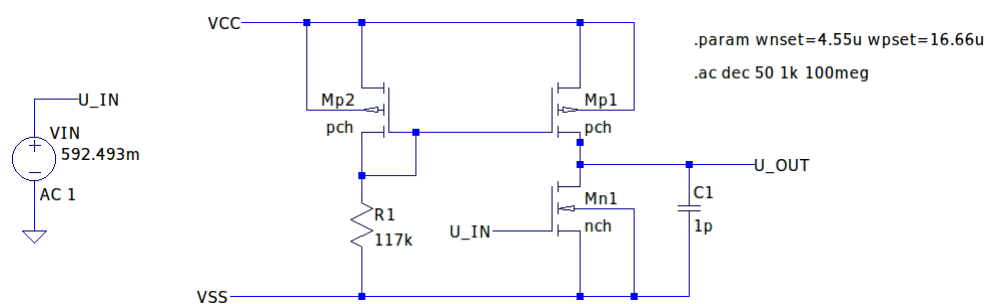


Obr. 6: TRAN analýza pro zesilovač s odporovou zátěží.

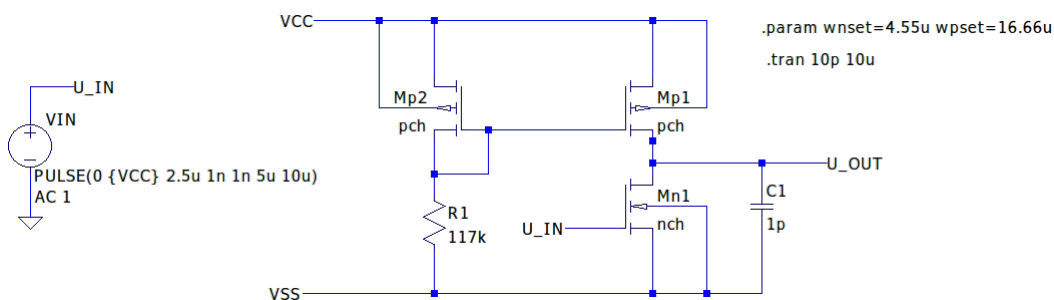
1.2 Jednoduchý zesilovač s aktivní zátěží



Obr. 7: Aktivní zátěž – zapojení pro OP analýzu.



Obr. 8: Aktivní zátěž – zapojení pro AC analýzu.



Obr. 9: Aktivní zátěž – zapojení pro TRAN analýzu.

1.3 Ruční návrh

Rozměry tranzistoru M_{n1} ani proud obvodem se nijak nemění, nejprve na základě proudu nastavíme rozměry zbylých tranzistorů $M_{p1,2}$:

$$\frac{W_{p1,2}}{L} = \frac{2 \cdot I_D}{K P_P \cdot (U_{GS} - U_{TH})^2}$$

$$\frac{W_{p1,2}}{L} = \frac{2 \cdot 10 \cdot 10^{-6}}{60 \cdot 10^{-6} \cdot (0,2)^2}$$

$$\frac{W_{p1,2}}{L} \doteq 8,33$$

Délku $L = 2 \mu\text{m}$ ponecháme a tedy $W_{p1,2} = 16,66 \mu\text{m}$.

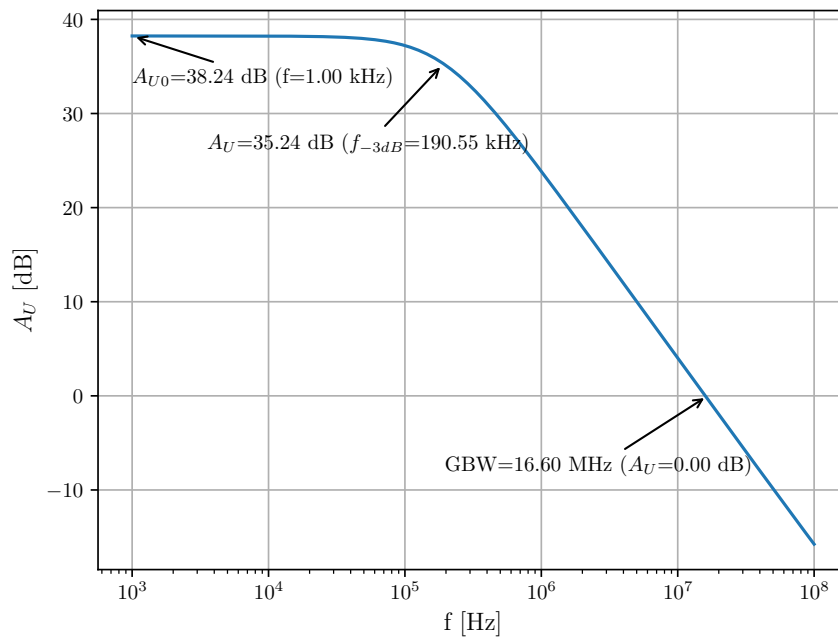
Odpor rezistoru R_1 vypočteme z Ohmova zákona:

$$R_1 = \frac{U_{CC} - U_{GS_{p2}}}{I_D}$$

$$R_1 = \frac{1,8 - 0,63}{10 \cdot 10^{-6}}$$

$$R_1 = 117 \text{ k}\Omega$$

1.3.1 Simulace



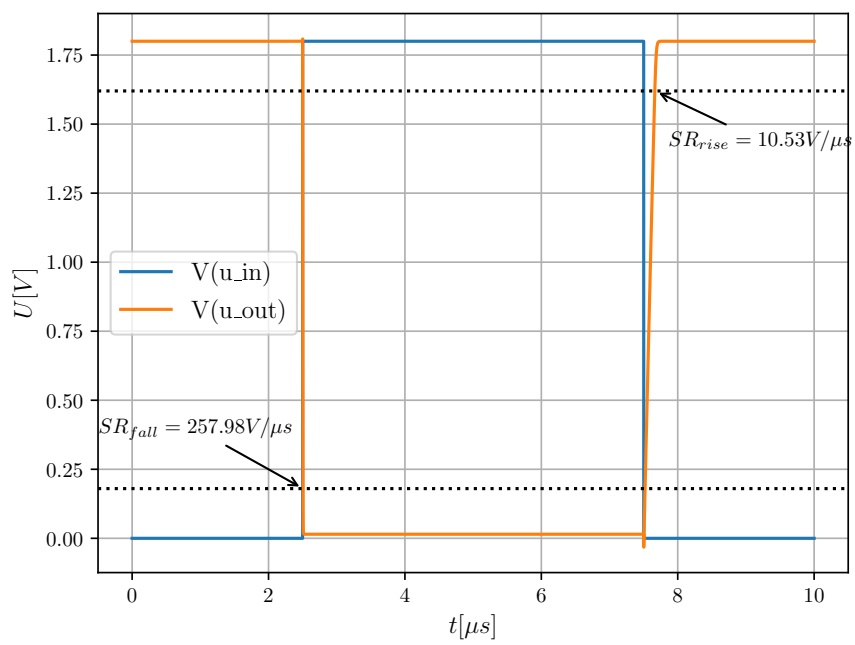
Obr. 10: AC analýza pro zesilovač s aktivní zátěží.

Kontrolní výpočet GBW ze simulovaných hodnot:

$$GBW = A_{U0} \cdot f_{-3dB}$$

$$GBW = 10^{\frac{38,24}{20}} \cdot 190,55 \cdot 10^3$$

$$GBW = 15,560 \text{ MHz}$$



Obr. 11: TRAN analýza pro zesilovač s aktivní zátěží.

Tabulka 1: Porovnání očekávaných a simulovaných hodnot.

	A_{U0}	SR_{rise}	SR_{fall}	GBW
Požadavky	10	10	10	10
Ruč. výpočet – odpor	18,749	10	10	15,915
Simulace – odpor	18,75	7,37	270,46	15,85
Ruč. výpočet – akt. zátěž	18,749	10	10	15,915
Simulace – akt. zátěž	38,24	10,53	257,98	16,6

2 Závěr

Cílem této úlohy bylo navrhnout zesilovač, který splní požadavky ze zadání. V tab. 1 se nachází souhrn hodnot vypočtených ručně (očekávaných) a hodnot získaných přesnější simulací. Pro obě zapojení byly splněny požadavky na všechny parametry i s jistou návrhovou rezervou s jedinou výjimkou, kterou je rychlost přeběhu náběžné hrany pro jednodušší zapojení s odporovou zátěží.

Lze tedy říci, že záměnou odporové za aktivní zátěž dosáhneme výrazného zlepšení rychlosti přeběhu a také vyššího zesílení. Šířka pásma se příliš nemění.

Pro ruční výpočty byly použity zjednodušené vzorce, což dle výsledků simulace nebylo dostatečné pro druhé zapojení, bylo by na místě zde použít přesnější výpočet. Pro zapojení s odporovou zátěží výsledky odpovídají očekávání.