

# DÉFENSE DE LA PROBLÉMATIQUE

Présenté par :

Félix Boivin – boif1302

Mathieu Désautels – desm1210

Alexis Chalifour – chaa1841

# TABLE DES MATIÈRES

## 1. Schéma final du circuit

- Étage 1
- Étage 2
- Étage 3
- Circuit complet

## 2. Grille de conception

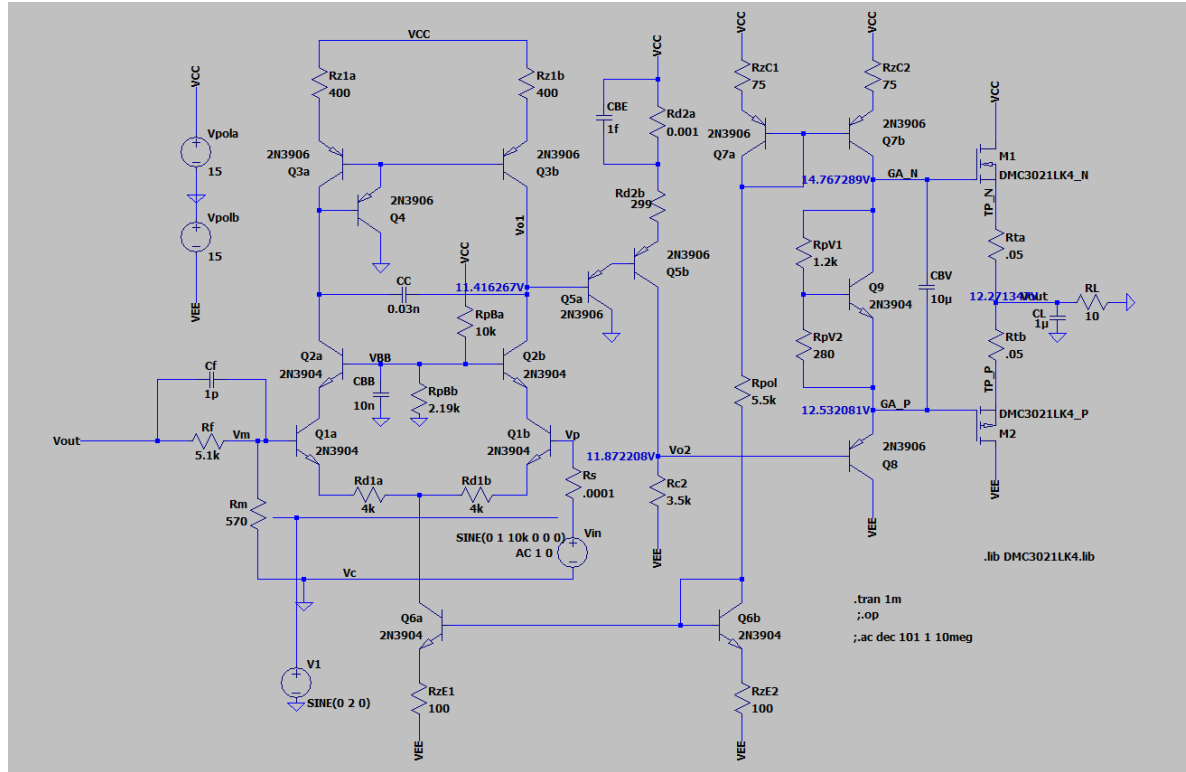
- Étage 1
- Étage 2
- Étage 3
- Contre-réaction

## 3. Étapes de conception

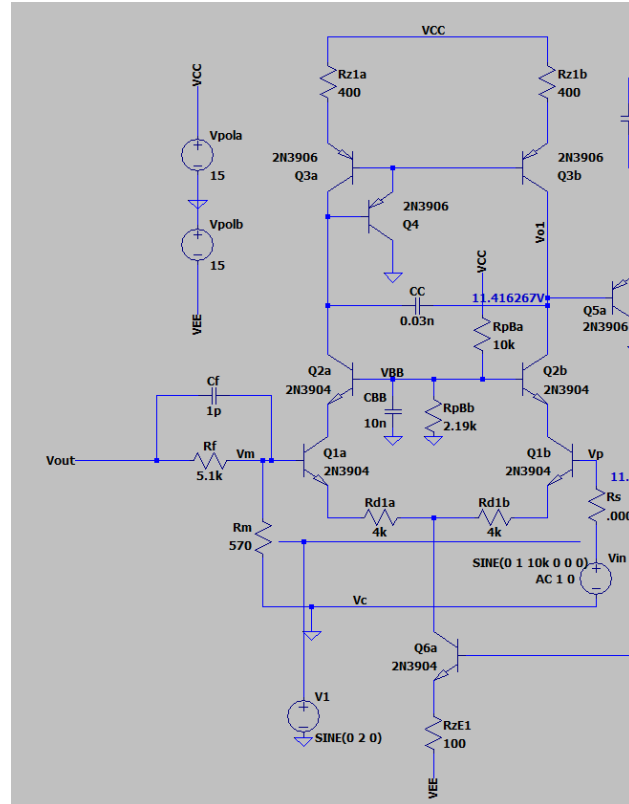
- Étape 4
- Étape 9
- Étape 11
- Étape 12
- Étape 14
- Étape 16
- Étape 18

# SCHÉMA FINAL DU CIRCUIT

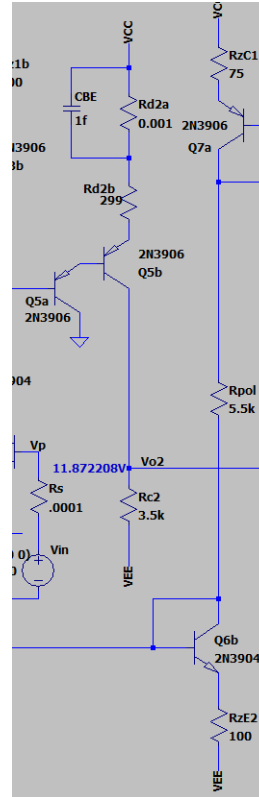
## SCHÉMA FINAL DU CIRCUIT – CIRCUIT COMPLET



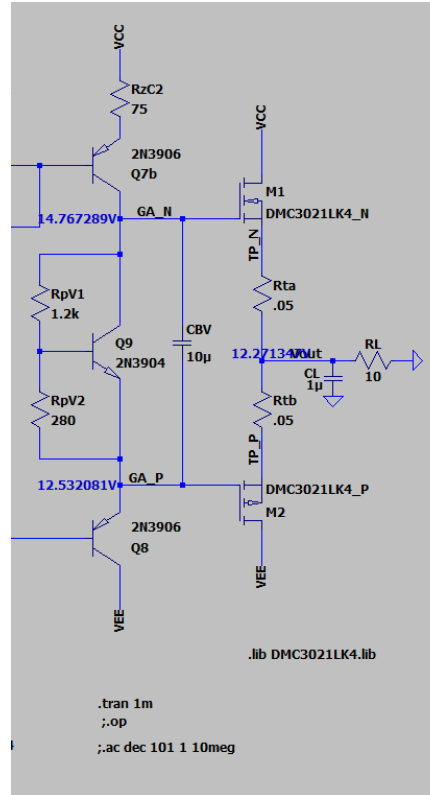
# SCHÉMA FINAL DU CIRCUIT – ÉTAGE 1



# SCHÉMA FINAL DU CIRCUIT – ÉTAGE 2



# SCHÉMA FINAL DU CIRCUIT – ÉTAGE 3





# GRILLE DE CONCEPTION



# GRILLE DE CONCEPTION – ÉTAGE 1

	Spécifications ou plage(s) de valeur(s)	Équation(s)	Commentaires	Valeur 1 <sup>re</sup> itération	Valeur finale
$I_{CQ6a}$	$> 2 \text{ mA}$	$I_{Q7B} = I_{Q7A} = I_{Q6B} = I_{Q6A}$		$\approx 5 \text{ mA}$	$5.01 \text{ mA}$
$Z_{\text{collecteur\_Q6a}}$		$Z_{CQ6} = r_o$	On peut dire négliger $V_A = 120 \text{ V}$	$2.4 \text{ k}\Omega$	$20\,600 \Omega$
$I_{CQ1a}$	$> 1 \text{ mA}$	$I_{CQ1A} = \frac{1}{2} I_{Q7A}$		$\approx 2.5 \text{ mA}$	$2.49 \text{ mA}$
$I_{CQ3a}$ (valeur exacte)	$> 1 \text{ mA}$	$I_{CQ3A} = I_{CQ1A}$		$\approx 2.5 \text{ mA}$	$2.49 \text{ mA}$
$I_{CQ4a}$ (valeur exacte)		$I_{CQ4} = \frac{2I_{CQ3A}}{\beta} \alpha$			$24.81 \mu\text{A}$
$I_{CQ1b}$	$> 1 \text{ mA}$	$I_{CQ1b} = \frac{I_{CQ7A}}{2}$			$2.49 \text{ mA}$
$I_{CQ2b}$	$> 1 \text{ mA}$	$I_{CQ2b} = \frac{I_{CQ7A}}{2}$			$2.49 \text{ mA}$
$Z_{\text{diff\_collecteur\_Q2b}}$		$Z_{\text{diff}_{CQ2B}} = \beta r_o$	$\beta = 328$ $r_o = 44\,200$		$14.497 \text{ Meg}\Omega$
$I_{CQ3b}$ (valeur exacte)	$> 1 \text{ mA}$	$I_{CQ3b} = \frac{1}{2} I_{Q7A}$		$\approx 2.5 \text{ mA}$	$2.50 \text{ mA}$
$Z_{\text{collecteur\_Q3b}}$		$Z_{CQ3} = r_o(1 + g_m(r_\pi \parallel R_{z1b}) + (r_\pi \parallel R_{z1b}))$	On approxime avec $R_{BB} = 0$ $r_\pi = 2080 \Omega$ $R_{z1b} = 400 \Omega$ $r_o = 40400 \Omega$ $gm = 0.0957$		$14.89 \text{ Meg}\Omega$
$V_{BBq}$		$V_{BBq} = V_{CC} \frac{R_{pBb}}{R_{pBb} + R_{pBa}}$	On cherche 2.7V		$2.66 \text{ V}$
$Z_{\text{in\_diff}}$ (B.O.)		$Z_{\text{in\_diff}} = 2r_\pi + R_m + (R_{d1a} + R_{d1b})(\beta + 1)$	Si $r_o \gg R_{EE}$		$24 \text{ Meg}\Omega$
$Z_{\text{in\_commun}}$ (B.O.)		$\frac{1}{2} [(\beta + 1)(2r_o + 2R_{d1a}) / r_{oQ1B}]$			$30 \text{ Meg}\Omega$

# GRILLE DE CONCEPTION – ÉTAGE 1 SUITE...

	Spécifications ou plage(s) de valeur(s)	Commentaires	Valeur finale
$R_{zE1}$			100 $\Omega$
$R_{z1a} (b)$			400 $\Omega$
$R_{d1a} (b)$			4 k $\Omega$
$R_{pBa} // R_{pBb}$	2.7V avec $V_{pp} = 15V$	10k $\parallel$ 2.19k	1.796 $\Omega$
$C_c$ (nF)			0.03 nF
$C_{BB}$		Cette valeur ne changeait pas grand-chose	10 nF

# GRILLE DE CONCEPTION – ÉTAGE 2

	Spécifications ou plage(s) de valeur(s)	Équation(s)	Commentaires	Valeur 1 <sup>re</sup> itération	Valeur finale
$I_{cq5b}$		$I_{CQ5b} = \frac{V_{CC} - V_{CEQ5b} - V_{EE}}{R_{d2b} + R_{d2a} + R_{c2}}$	$V_{CEQ5b} = -14.1078 \text{ V}$	4.9 mA	-3.55 mA
$Z_{collecteur\_Q5b}$		$Z_{CQ5b} = r_o + R_{EE} \left[ \frac{r_\pi + R_{BBQ5b} + r_\pi r_o g_m}{r_\pi + R_{BBQ5b} + R_{EEQ5b}} \right]$ <p>Après simplification</p> $Z_{CQ5b} = r_o + R_{EE} \left[ \frac{r_\pi + r_o + r_\pi r_o g_m}{r_\pi + r_o + R_{EEQ5b}} \right]$	$R_{EE} = R_{d2a} + R_{d2b} = 299 \Omega$ $R_{BBQ5b} = \frac{r_\pi + R_{BBQ5a}(r_o)}{r_\pi + R_{BBQ5a} + (\beta + 1)r_o}$ $r_\pi = 1670 \Omega$ $\beta = 230$ $r_e = \frac{r_\pi}{\beta + 1} = 7.22 \Omega$ $r_o = 32\,600 \Omega$ $r_e \ll r_o$ $R_{BBQ5b} = \frac{r_\pi + R_{BBQ5a}}{(\beta + 1)} \parallel r_o$ $R_{BBQ5a} \gg r_o$ $R_{BBQ5b} = r_o$ $g_m = 0.136$	483 MΩ	96.937 kΩ
$Z_{base\_Q5a}$		$Z_{baseQ5a} = r_{\pi Q5a} + (\beta_{Q5a} + 1) [(r_{\pi Q5b} + (\beta_{Q5b} + 1) (R_{d2b} + R_{d2a}) \parallel (r_{oQ5b} + R_{c2})) \parallel r_{oQ5a}]$	$r_{\pi Q5a} = 379\,000 \Omega$ $r_{\pi Q5b} = 1670 \Omega$ $r_{oQ5a} = 7\,330\,000 \Omega$ $r_{oQ5b} = 32\,600 \Omega$ $\beta_{Q5a} = 225$ $\beta_{Q5b} = 230$	91 MegΩ	15.5 MΩ
$V_{out1q}$	On aimerait 6V, car c'est le milieu de plage dynamique	$V_{out1} = V_{CC} - R_{Z1B} \frac{I_{Q7A}}{2} - V_{ECQ3B}$	$V_{ECQ3b} = 1.8437 \text{ V}$	6V	12.7 V
$V_{out2q}$	On a trouvé que -2.7V, est nécessaire pour le bon fonctionnement de Q8	$V_{out2} = V_{CC} - I_{Q5B}(R_{d2a} - R_{d2b}) - V_{ECQ5B}$	$V_{CE} = 16.43 \text{ V}$ Calculer en simulation	-2.7V	-2.49 V

# GRILLE DE CONCEPTION – ÉTAGE 2 SUITE...

	Spécifications ou plage(s) de valeur(s)	Commentaires	Valeur finale
$R_{d2a}$			$0.001\ \Omega$
$R_{d2b}$			$299\ \Omega$
$R_{c2}$			$3.5\ k\Omega$
$C_{BE}$		Il n'est pas vraiment nécessaire	$1\ fF$

# GRILLE DE CONCEPTION – ÉTAGE 3

	Spécifications ou plage(s) de valeur(s)	Équation(s)	Commentaires	Valeur 1 <sup>re</sup> itération	Valeur finale
$I_{CQ7b}$	$> 2 \text{ mA}$	$I_{CQ7b} = \frac{V_{CC} - V_{EE} - V_{ECQ6} - V_{ECQ7B}}{R_{T72} + R_{P01} + R_{T71}}$	<p>Vu que le courant est le même dans <math>Q_{7A}</math> que <math>Q_{7B}</math> on trouve dans <math>Q_{7A}</math> car il est plus simple</p> <p>On choisit 50mA pour la première itération</p> <p>Pour 5mA = 5720Ω car les BE sont connectés donc il a on calcul 0.7 V comme perte</p>	$\approx 5 \text{ mA}$	5.033 mA
$Z_{\text{collecteur\_}Q7b}$		$Z_{\text{collecteur\_}Q7b} = r_{oQ7B} \parallel R_{ZCZ}$	$r_{oQ7B} = 22\,300 \, \Omega$ $R_{ZCZ} = 75 \, \Omega$	2200 Ω	74.75 Ω
$I_{CQ8}$	$> 2 \text{ mA}$	$I_{CQ8} = I_{CQ7b}$		5 mA	5.033 mA
$I_{CQ9}$	$> 1 \text{ mA}$	$I_{CQ9} = I_{CQ7B} - \frac{V_{CEQ9}}{R_{PV1} + R_{PV2}}$	On sait qu'on aimerait avoir parfait et que cela divise par deux dans les deux branches	2.493 mA	2.60 mA
$Z_{\text{base\_}Q8} \text{ (à } 10 \text{ kHz)}$		$Z_{\text{base\_}Q8} = r_{\pi Q8} + \frac{\beta + 1}{2} r_{oQ8}$	$V_{BE} = 3.6 \text{ V}$ $\beta = \frac{I_C}{I_B} = 2.23E^2$ $r_{\pi} = \frac{V_T}{I_B} = 1.15E^3$ $ V_A  = 110 \text{ V}$ $r_o = \frac{ V_A }{I_C} = 2.25E^4$	224 kΩ	2.5 Meg Ω
$V_{out} \text{ (min)}$	-10 V		À fréquence 100kHz	-9.52 V	-10.05 V
$V_{out} \text{ (point d'op.)}$	0 V	$V_{outop} = \left( \frac{R_{DS} + R_{tb}}{2R_{DS} + R_{ta} + R_{tb}} \right) (V_{CC} - V_{EE}) - V_{CC}$		0 V	0.04 V
$V_{out} \text{ (max)}$	10 V		À fréquence 100kHz	9.51 V	10.075 V
$Z_{out} \text{ (B.O.)}$		$Z_{out} = \frac{\left( \frac{1}{g_{mM1(2)}} + r_{tb} \right)}{2}$	Valeur première itération trouvée en simulation en faisant $V_{out}/I_{out}$ $g_m = 0.313$ $r_{tb} = 0.05 \, \Omega$	17.6 kΩ	1.62 Ω

# GRILLE DE CONCEPTION – ÉTAGE 3 SUITE...

	Spécifications ou plage(s) de valeur(s)	Commentaires	Valeur finale
$I_{cqM1}$		Pas $I_C$ mais $I_D$	$4.17\text{ mA}$
$I_{cqM2}$		Pas $I_C$ mais $I_D$	$280\text{ pA}$
$V_{tt} (V_{BE} \text{ mult.})$	$V_{tt} = 3.6$	En .op on trouve $V_{GA_N} - V_{GA_P}$	$3.60\text{ V}$
$R_{pV1}$			$1200\ \Omega$
$R_{zC2}$			$75\ \Omega$
$R_{zC1}$			$75\ \Omega$
$R_{ta}$		Inchangé	$0.05\ \Omega$

# GRILLE DE CONCEPTION – CONTRE-RÉACTION

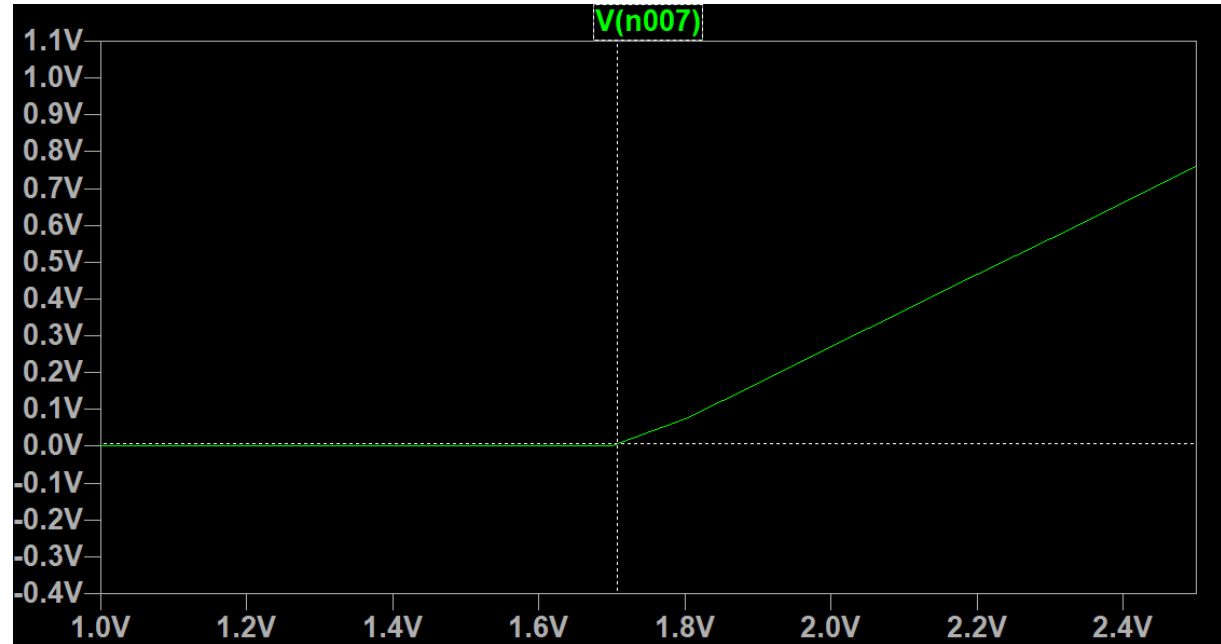


# ÉTAPES DE CONCEPTION

## ÉTAPE 4 – MESURE $V_{th}$ DES MOSFETS - NMOS

Afin de trouver le  $V_{th}$  du NMOS, nous avons fait varier une tension à sa grille et nous avons regardé à partir de quelle tension il entre en saturation

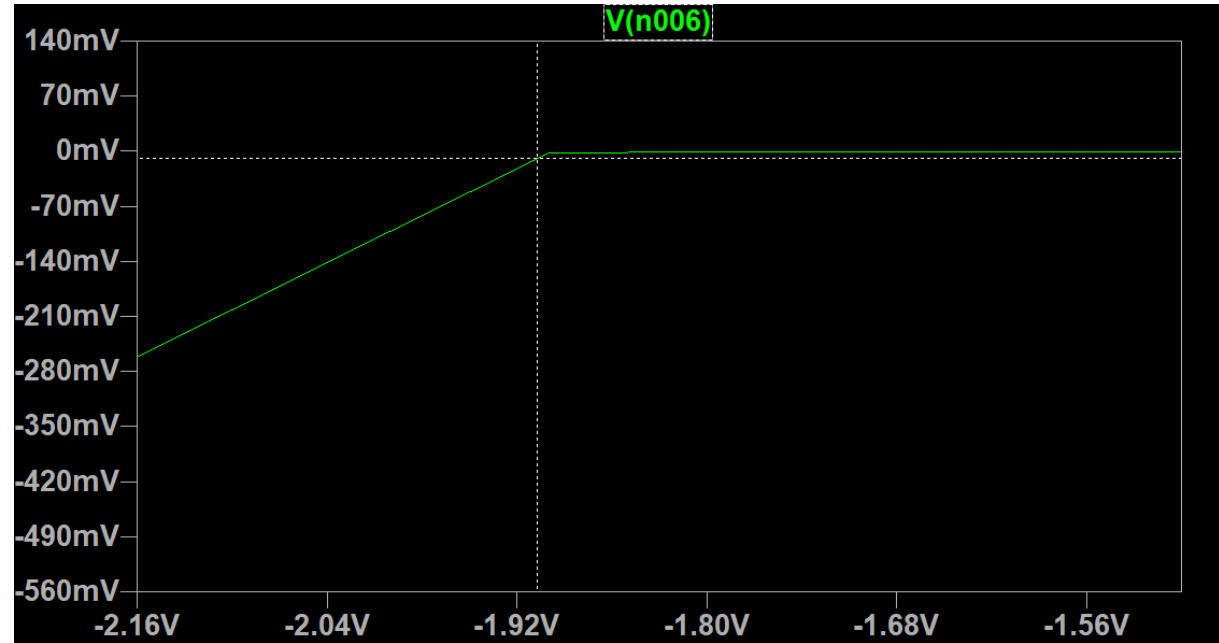
$$V_{th} \approx 1.7V$$



## ÉTAPE 4 – MESURE V<sub>th</sub> DES MOSFETS - PMOS

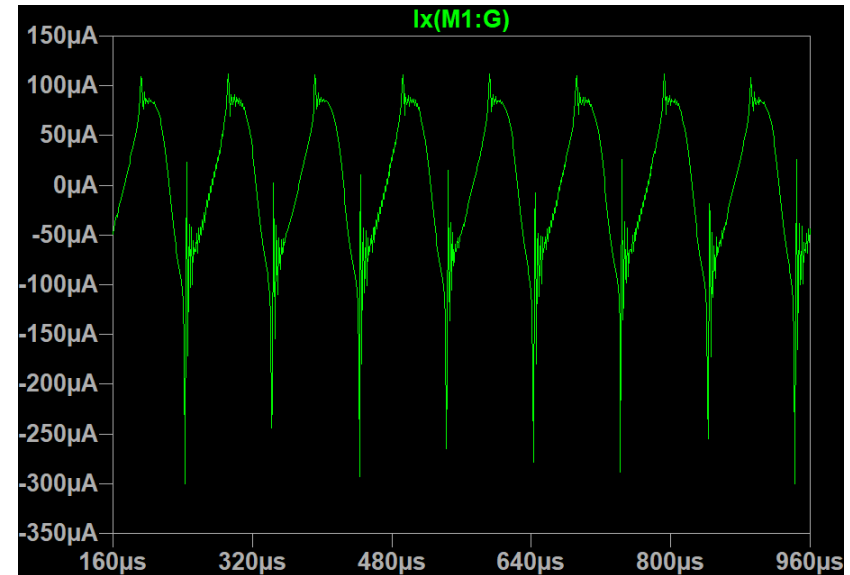
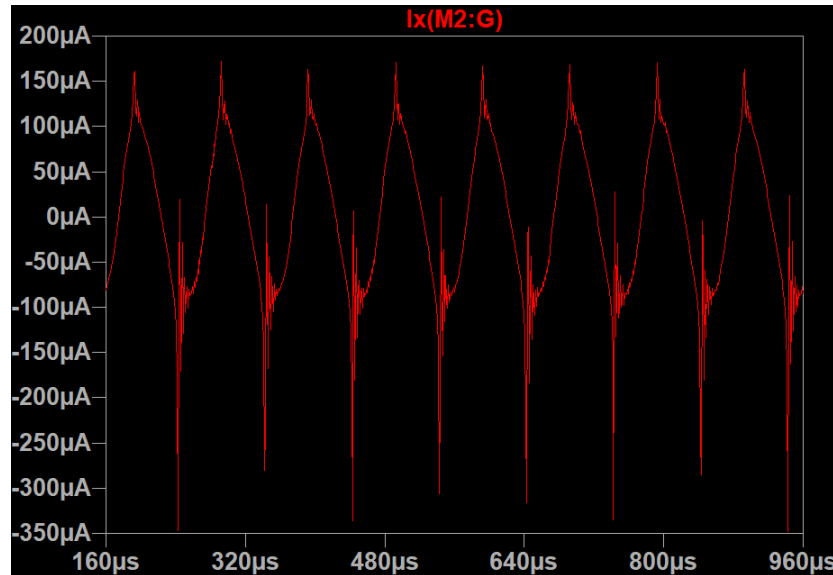
Afin de trouver le  $V_{th}$  du PMOS, nous avons fait varier une tension à sa grille et nous avons regardé à partir de quelle tension il entre en saturation.

$$V_{th} \approx -1.9V$$



## ÉTAPE 4 – COURANT DE GRILLE NÉCESSAIRE

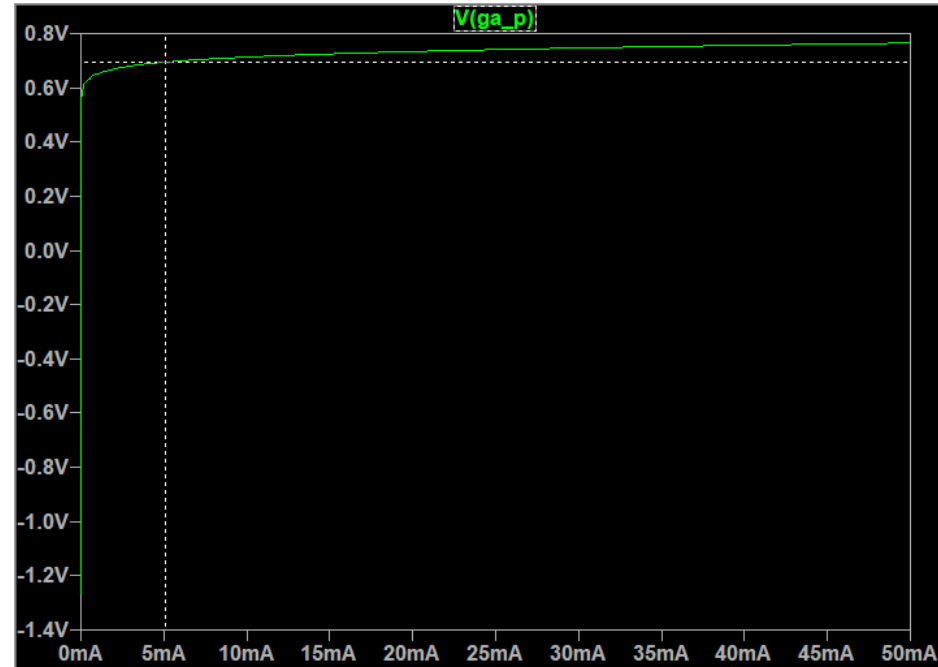
On se rend compte qu'en AC, on a quelques micro-ampères dans la grille, ce qui est causé par la capacité parasite.



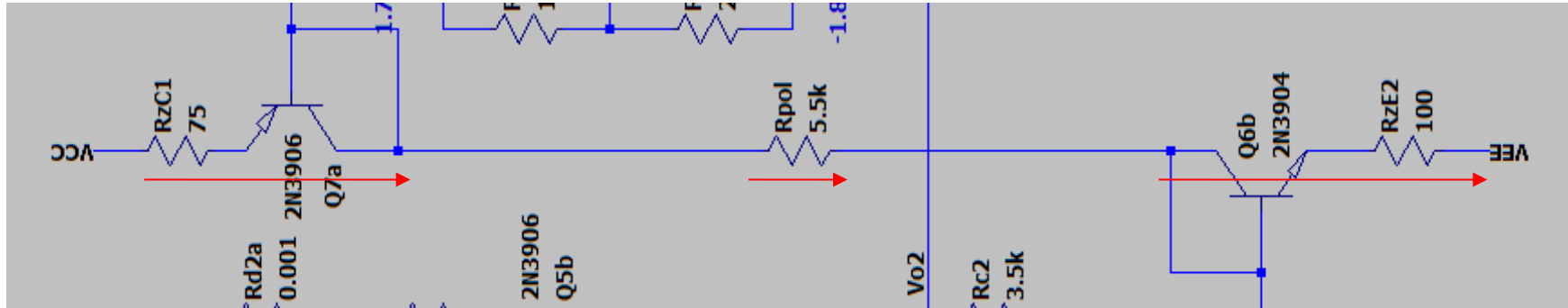
## ÉTAPE 4 – COURANT DE POLARISATION I2

Afin de choisir un courant de polarisation approprié, nous avons fait varier le courant et regardons à quel moment le BJT Q8 devient « actif ».

La valeur de 5 mA est choisie car c'est relativement linéaire et il y a encore une marge de manœuvre.



## ÉTAPE 4 – COURANT DE POLARISATION I2



Choisi en posant que :  $V_C = V_B \rightarrow V_{CE} = V_{BE}$

Ensuite, on a fait la loi des boucles entre  $V_{CC}$  et  $V_{EE}$

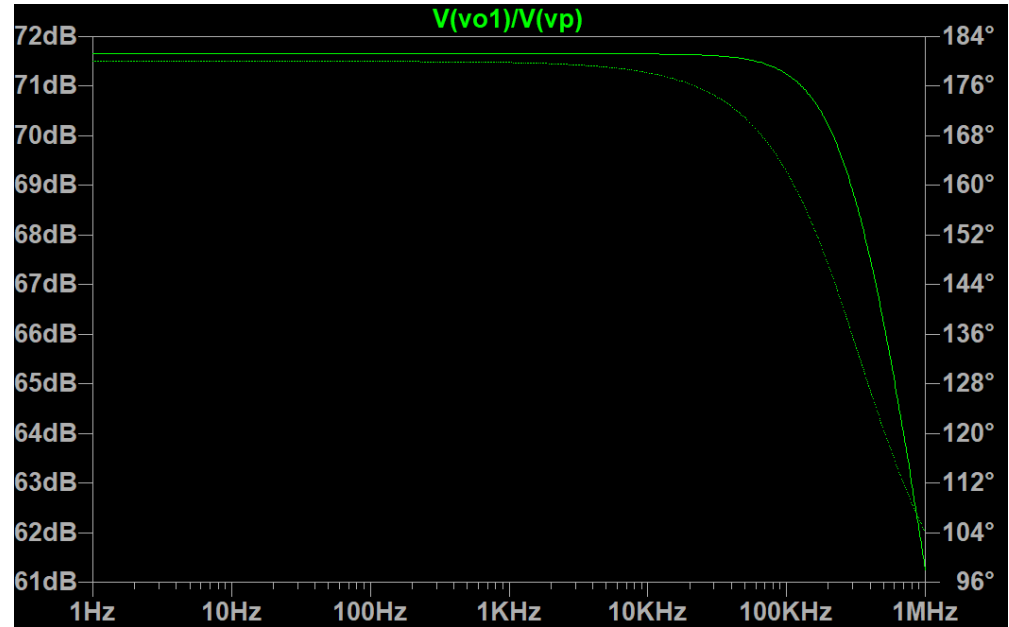
# ÉTAPE 9 – GAIN INTRINSÈQUE DE L'ENTRÉE

$$A_V = \frac{V_{o1}}{V_p - V_m}$$

(sans résistance)

Le gain intrinsèque maximale est d'environ 71.5 dB

$$A_V = \frac{|V_A|}{V_T} \cong 71.5 \text{ dB}$$





# ÉTAPE 11 – CHOIX DE GAIN INTERMÉDIAIRE – AC

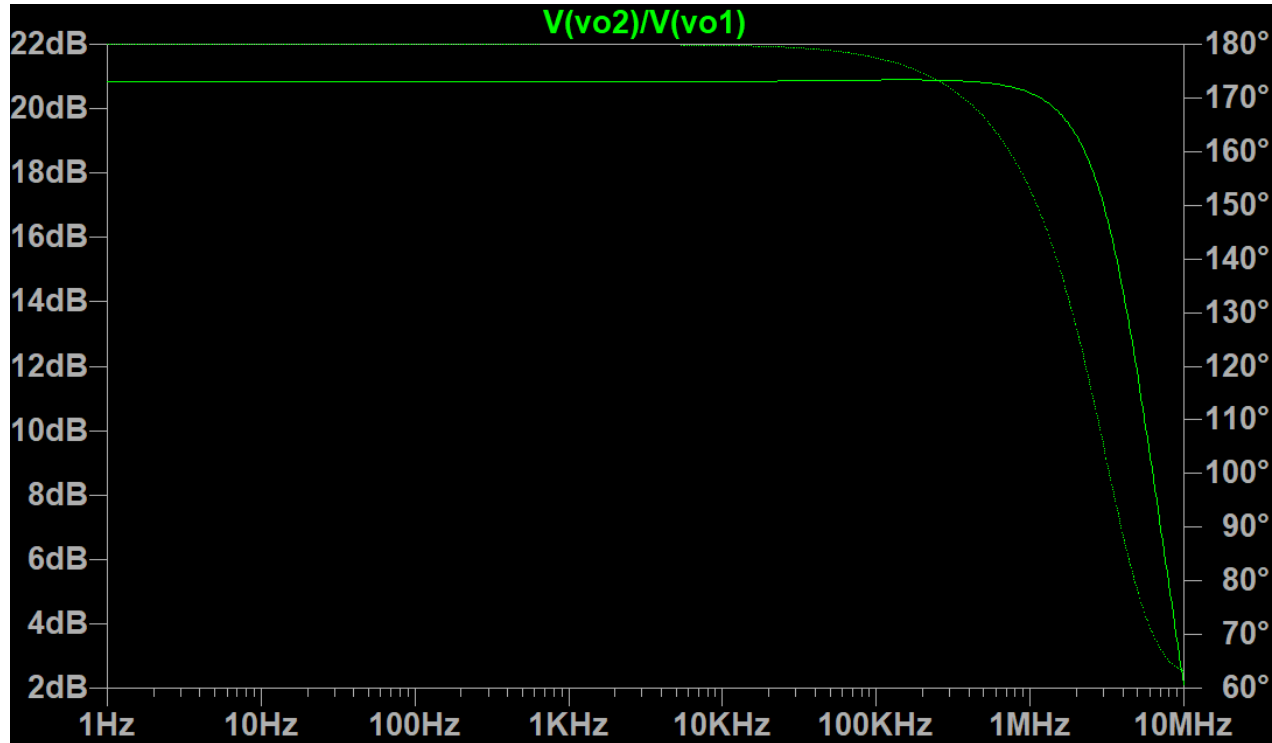
$$V_{out_1} = V_{CC} - R_{Z1B} \frac{I_{Q7A}}{2} - V_{EC_{Q3B}} \quad V_{out_2} = V_{CC} - I_{Q5B}(R_{d2a} - R_{d2b}) - V_{EC_{Q5B}}$$

$$A_V = \frac{V_{out_2}}{V_{out_1}}$$

On veut un gain de  $10^V/V$  afin de passer d'un sinus de  $\pm 1 V$  à  $\pm 10 V$

$$10^V/V = 20 \text{ dB}$$

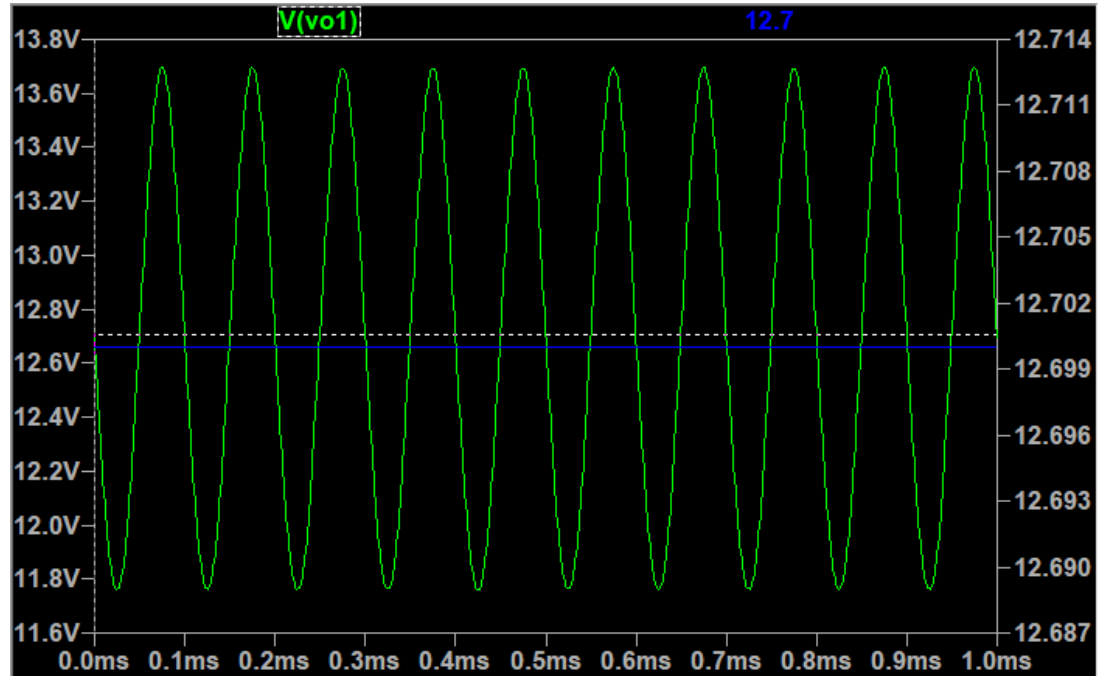
# ÉTAPE 11 – CHOIX DE GAIN INTERMÉDIAIRE – AC



# ÉTAPE 11 – CHOIX DE GAIN INTERMÉDIAIRE – DC

L'onde de sortie de l'étage 1 est toujours centrée à environ 12.7V

L'entrée de l'étage 3 doit être centrée à -2.7V

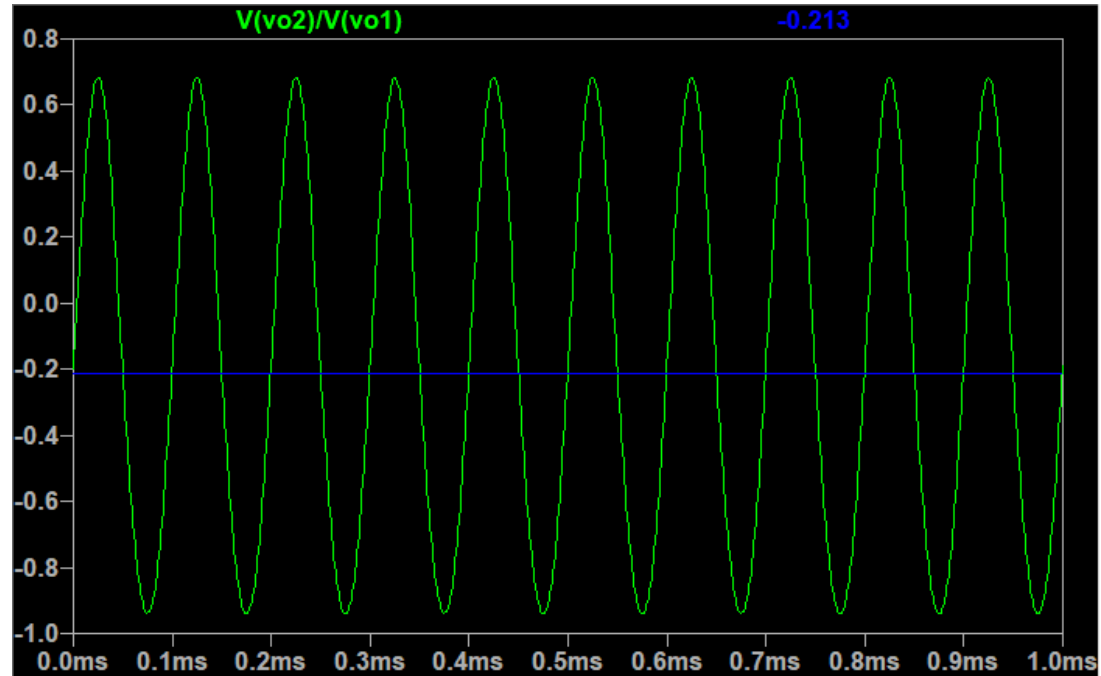


# ÉTAPE 11 – CHOIX DE GAIN INTERMÉDIAIRE – DC

L'offset DC doit donc être de...

$$A_V = -\frac{2.7}{12.7} = -0.213$$

C'est bien ce que nous avons. C'est dû à l'effet élastique au nœud  $V_{o1}$  en boucle fermée.



## ÉTAPE 12 – POLARISATION DE L'ÉTAGE INTERMÉDIAIRE

- RD2a et CBE inutilisé pour garder le même gain en AC
- RD2b et RC2 ajusté pour avoir 2.7V au point d'opération
- Ajustement des valeurs pour notre mode commun
- RD2a =  $0.001 \Omega$
- CBE = 1f F
- RD2b =  $299 \Omega$
- RC2 =  $3.5k \Omega$

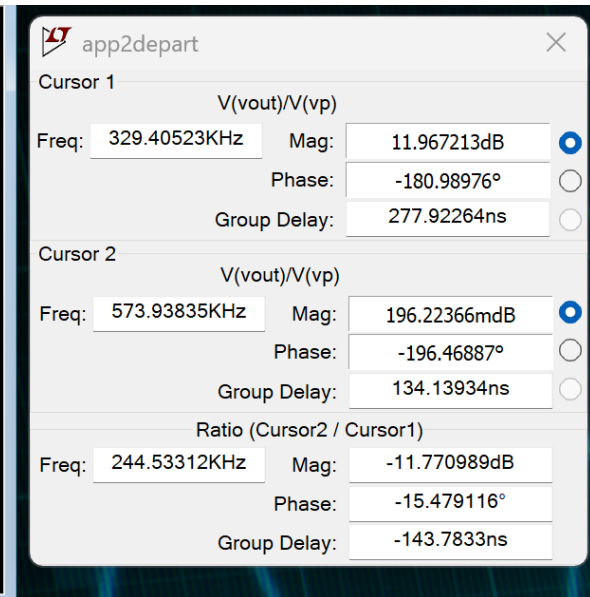
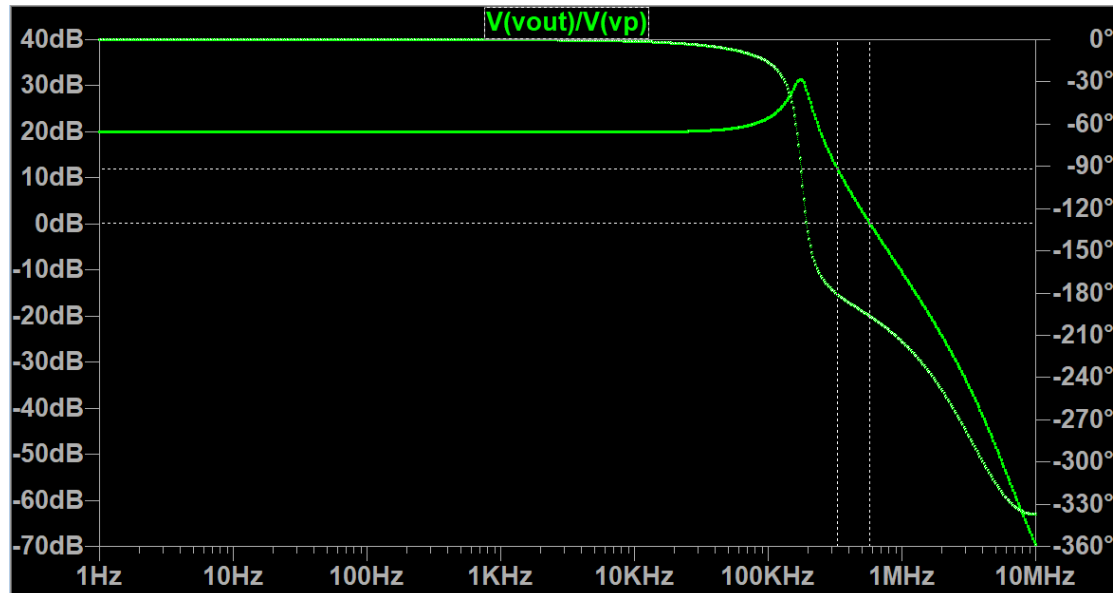
## ÉTAPE 14 – AJUSTEMENT DE RZC

- Permet de venir polariser le bon courant dans les miroirs de courant 5mA
- Augmente l'impédance vu à l'entrée de l'étage 3
- Diminue la variation de courant
- $RZc1 = 75 \Omega$
- $RZc2 = 75 \Omega$

# ÉTAPE 16 – MARGES GAIN ET PHASE POUR STABILITÉ

$$C_L = 1\mu F$$

$$R_L = 10\ \Omega$$

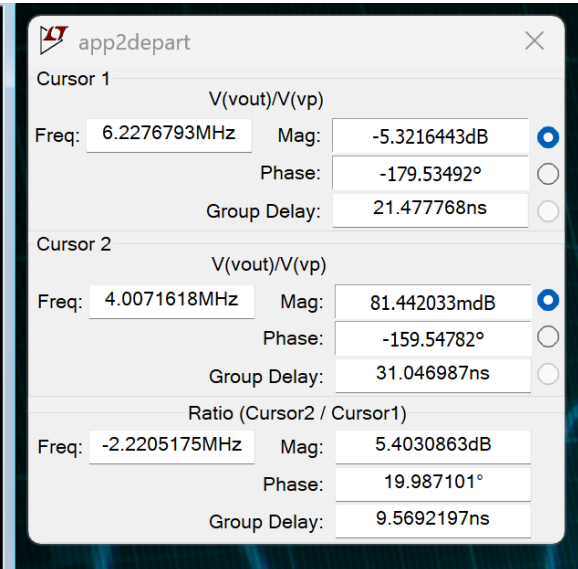
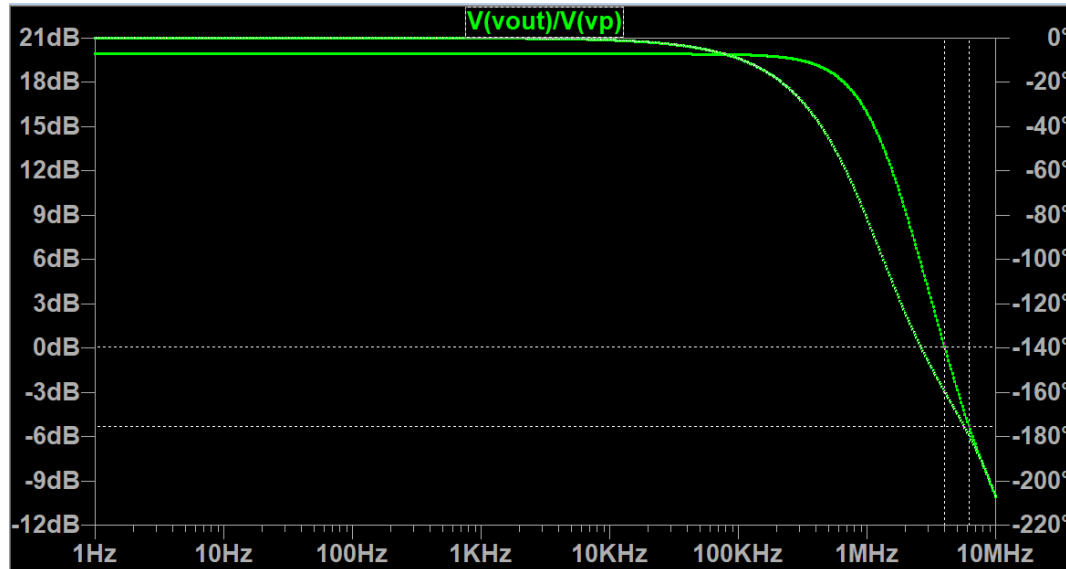




# ÉTAPE 16 – MARGES GAIN ET PHASE POUR STABILITÉ

$$C_L = 1fF$$

$$R_L = 1000\text{ Meg}\Omega$$



# ÉTAPE 18 – DIMENSIONNEMENT DE CF

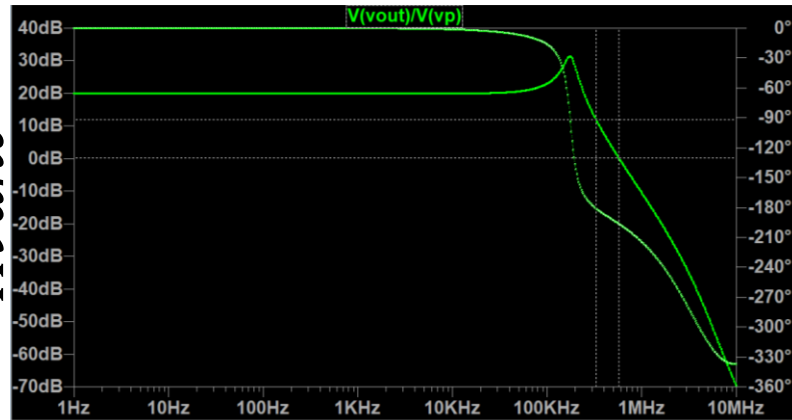
Place pôle avant pôle de pire charge capacitive

→ Corrige bande passante

→ Rends plus stable

$$C_f = 350 \text{ pF}$$

Avant



Après

