

FISE 1

Système de Traitement Electronique

Amphi. Q&R

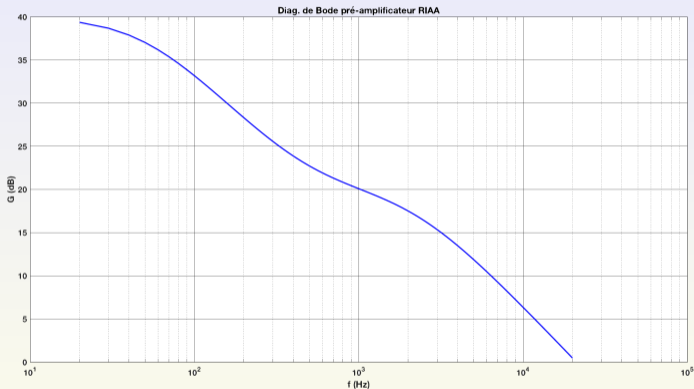
F. Goutailler - F. Royer - E. Verney



vendredi 19 novembre 2021



Courbe RIAA



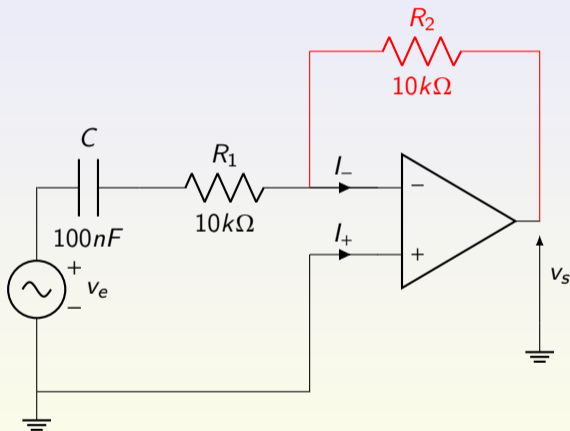
$$H(j\omega) = K \cdot \frac{(1 + j\omega\tau_2)}{(1 + j\omega\tau_1)(1 + j\omega\tau_3)}$$

$$\tau_1 = 75\mu s - \tau_2 = 318\mu s - \tau_3 = 3180\mu s$$

- 1 Séparation d'impédance
- 2 Comportement fréquentiel des condensateurs
- 3 Défauts amplificateur opérationnel

- 1 Séparation d'impédance
- 2 Comportement fréquentiel des condensateurs
- 3 Défauts amplificateur opérationnel

Montage 1



AOp idéal :

- $I_+ = I_- = 0A$;
- impédance d'entrée : $Z_e \rightarrow +\infty$;
- impédance de sortie : $Z_s \rightarrow 0\Omega$;
- aucun défaut considéré : bande passante, *slew-rate*, bruit...

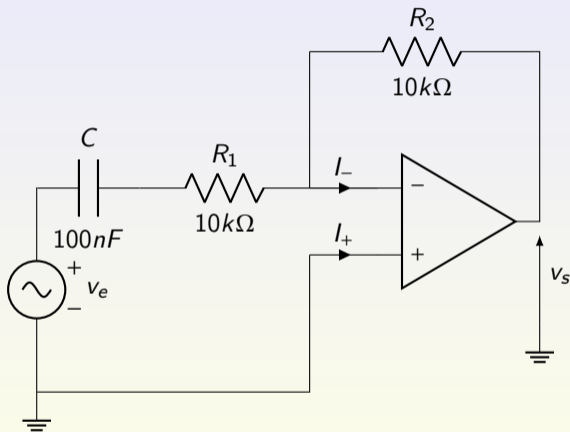
AOp en régime linéaire :

- $V_+ = V_- = 0V$ (ici)
- v_s dépend de v_e et des éléments du circuit (R_1 , R_2 et C)

rappel - AOp en régime non linéaire :

$$v_s = \pm V_{sat}$$

Montage 1

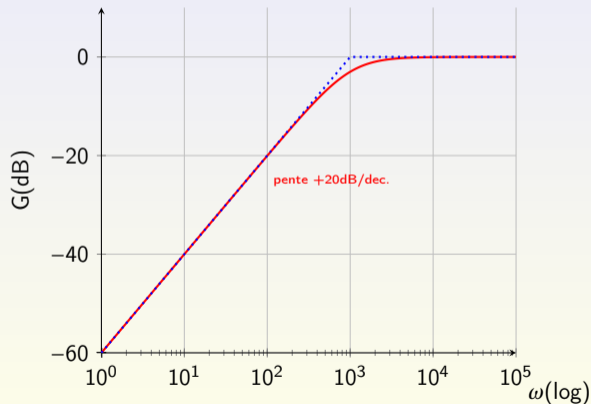


- caractéristiques du montage ?
- comportement en BF : $\omega \rightarrow 0$?
- $Z_C = \frac{1}{jC\omega}$ ↗
- comportement en HF : $\omega \rightarrow +\infty$?
- $Z_C = \frac{1}{jC\omega} \rightarrow 0$
- fonction de transfert :

$$H_1(j\omega) = -\frac{jR_2C\omega}{1+jR_1C\omega} = -\frac{j\tau_2\omega}{1+j\tau_1\omega}$$

avec $\tau_1 = \tau_2 = \tau = 1\text{ms}$

Montage 1



$$H_1(j\omega) = -\frac{jR_2C\omega}{1+jR_1C\omega} = -\frac{j\tau\omega}{1+j\tau\omega}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\tau} = 1000 \text{ rad/s}$$

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\tau} \approx 159,2 \text{ Hz}$$

Montage 1

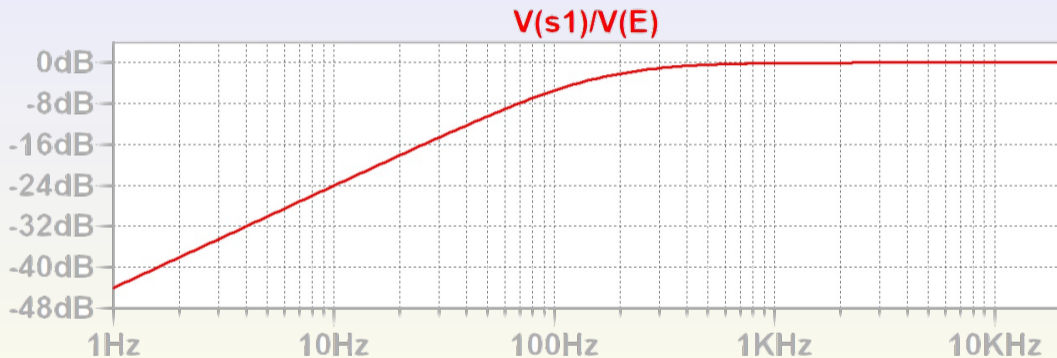
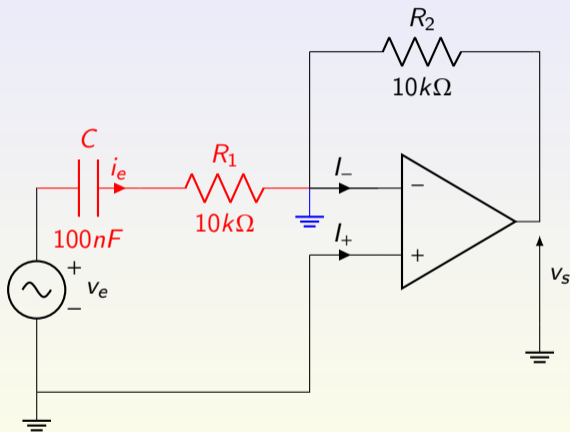


Figure 1: Diagramme de Bode gain

Montage 1

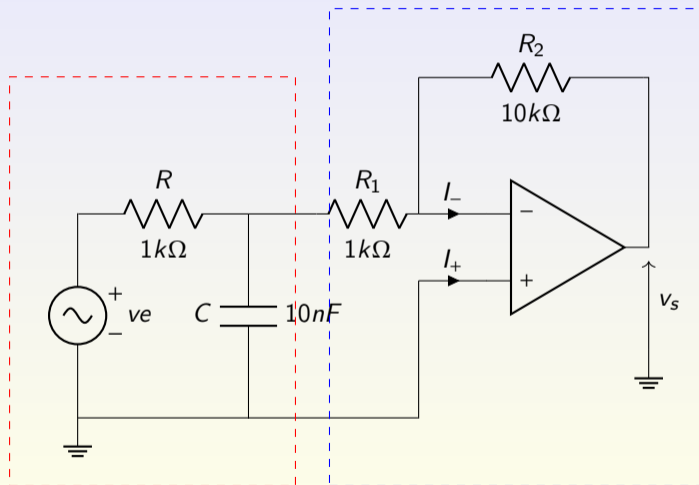


- impédance d'entrée Z_e ?

$$Z_e = \frac{v_e}{i_e} = R_1 + \frac{1}{jC\omega} = \frac{1 + jR_1C\omega}{jC\omega}$$

- varie en fonction de la pulsation ω et donc de la fréquence f
- si $\omega \rightarrow 0$, $Z_e \nearrow$
- si $\omega \nearrow$, $Z_e \searrow$
- possible problème de séparation d'impédance
- mise en cascade de plusieurs étages !

Montage 2



Filtre passe-bas 1^{er} ordre :

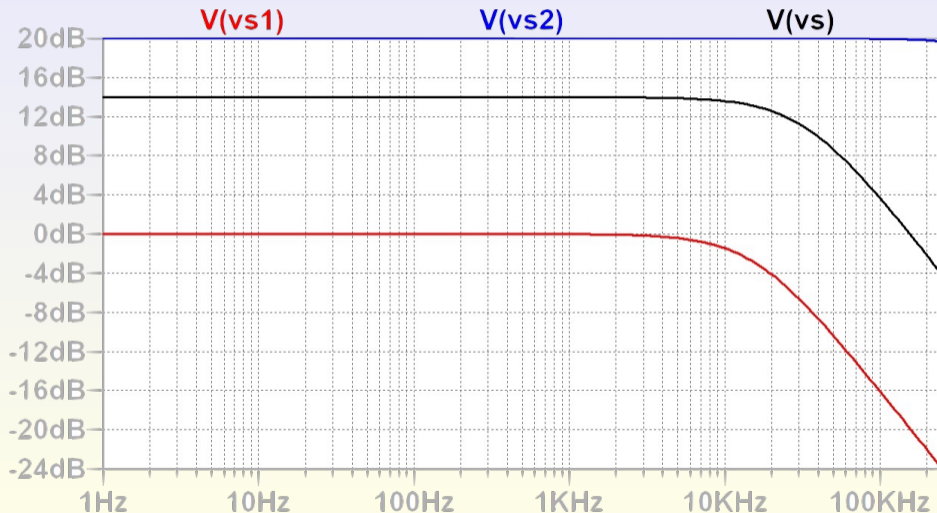
$$H_1(j\omega) = \frac{1}{1 + j\frac{\omega}{\omega_0}}$$

$$\tau = 10\mu\text{s} \quad f_0 = 15,9\text{kHz}$$

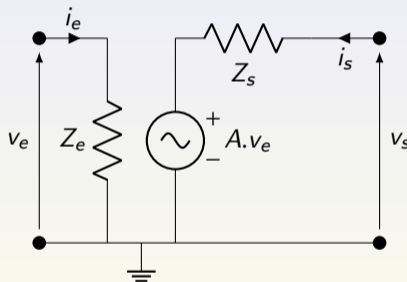
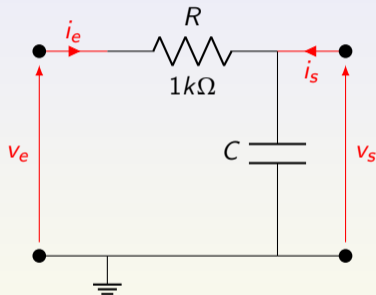
Amplificateur-inverseur :

$$H_2(j\omega) = -10$$

Montage 2



Montage 2



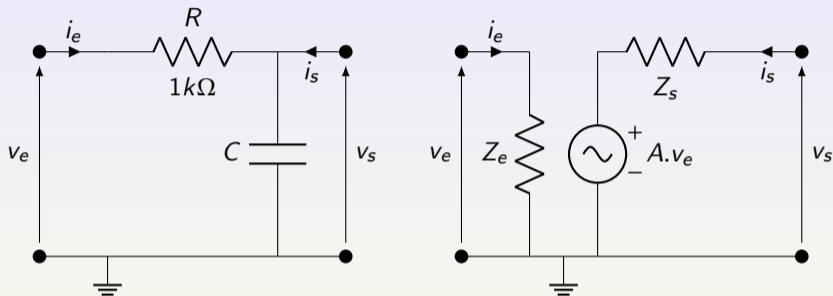
Impédance d'entrée
 Z_e :

$$Z_e = \frac{v_e}{i_e}$$

Impédance de sortie
 Z_s :

$$Z_s = \left. \frac{v_s}{i_s} \right|_{v_e=0}$$

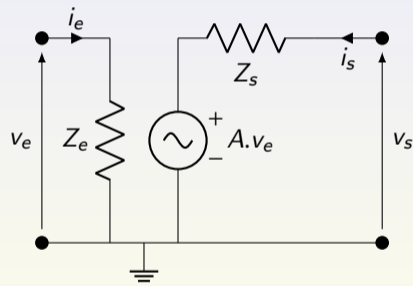
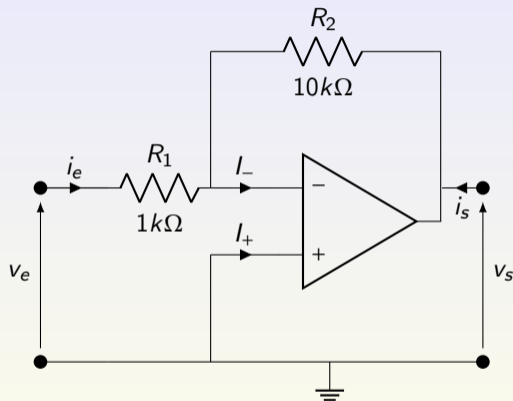
Montage 2



Impédance d'entrée Z_e : $Z_{e1} = \frac{V_e}{i_e} = R + Z_C = R + \frac{1}{jC\omega}$

Impédance de sortie Z_s : $Z_{s1} = \left. \frac{V_s}{i_s} \right|_{v_e=0} = R // Z_C = \frac{R}{1+jRC\omega}$

Montage 2



Impédance d'entrée Z_e : $Z_{e2} = \frac{v_e}{i_e} = R_1 = 1k\Omega$

Impédance de sortie Z_s : $Z_{s2} = 0\Omega$

Montage 2

Condition de séparation d'impédance (cf. Mootse) :

$$|Z_{e2}| \gg |Z_{s1}|$$

$$|Z_{e2}| = R_1 = 1k\Omega$$

$$|Z_{s1}| = \frac{R}{\sqrt{1 + R^2 C^2 \omega^2}}$$

f varie entre 1Hz et 200kHz :

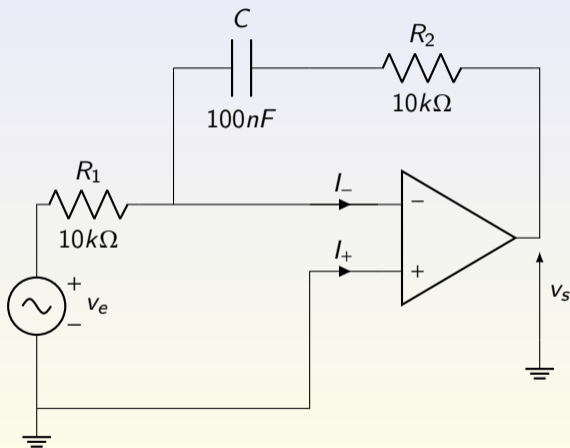
$$|Z_{s1}| : 1k\Omega \rightarrow 79\Omega$$

Condition de séparation d'impédance non respectée !

Mise en cascade des 2 montages \neq montages seuls

- 1 Séparation d'impédance
- 2 Comportement fréquentiel des condensateurs
- 3 Défauts amplificateur opérationnel

Montage 3



fonction de transfert :

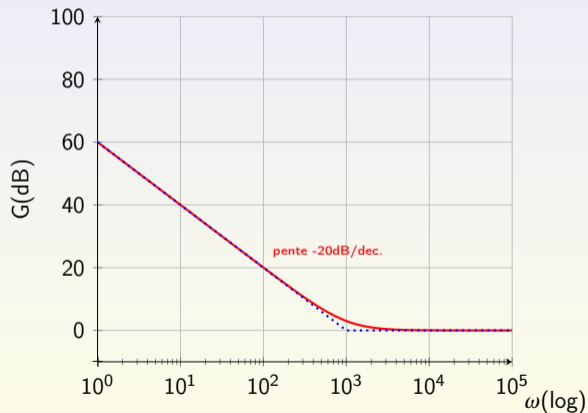
$$H_2(j\omega) = -\frac{1 + jR_2C\omega}{jR_1C\omega} = -\frac{1 + j\tau_2\omega}{j\tau_1\omega}$$

avec $\tau_1 = \tau_2 = \tau = 1\text{ms}$

courbe de gain $G = 20\log_{10}|H(j\omega)|$

- BF, $\omega \rightarrow 0$: $|H_2(j\omega)| = \frac{1}{\tau\omega}$;
- BF, $G = -20\log_{10}(\tau\omega)$;
- BF : pente de -20dB/dec ;
- HF, $\omega \rightarrow +\infty$: $|H_2(j\omega)| = 1$;
- HF, $G = 0\text{dB}$;
- cas "inverse" du montage 1 ;

Montage 3



$$H_2(j\omega) = -\frac{1 + jR_2C\omega}{jR_1C\omega} = -\frac{1 + j\tau\omega}{j\tau\omega}$$

Montage 3

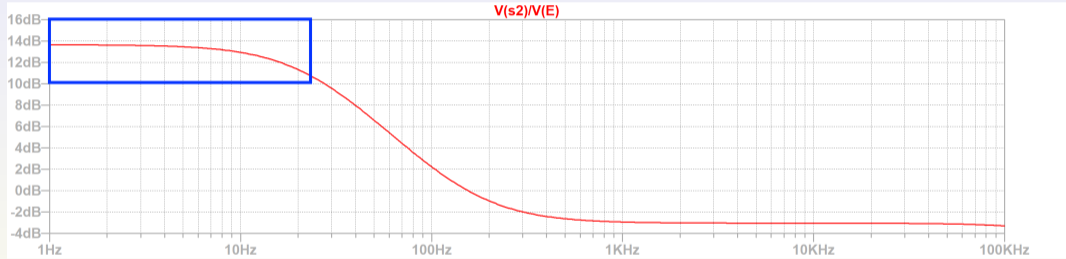


Figure 3: Diagramme de Bode

Montage 3

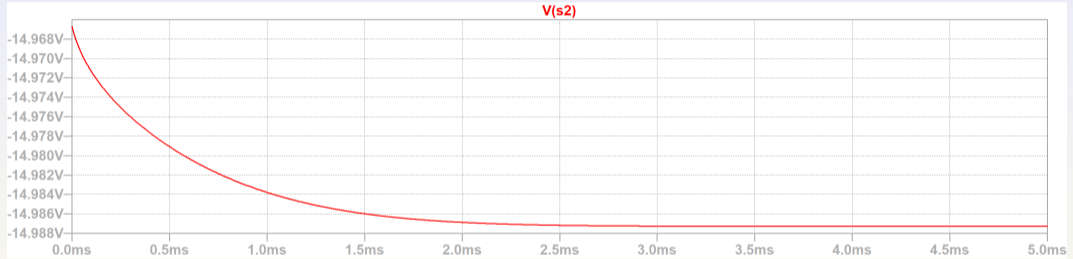
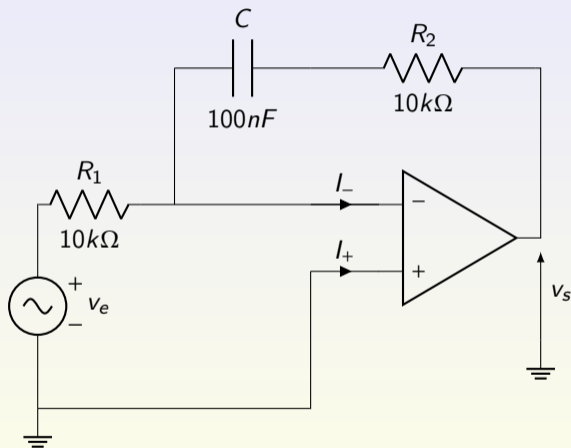


Figure 4: Réponse temporelle - $v_e(t)$: 1V, 20Hz

saturation de l'AOp en basse fréquence $\rightarrow v_s = -V_{sat}$

Montage 3



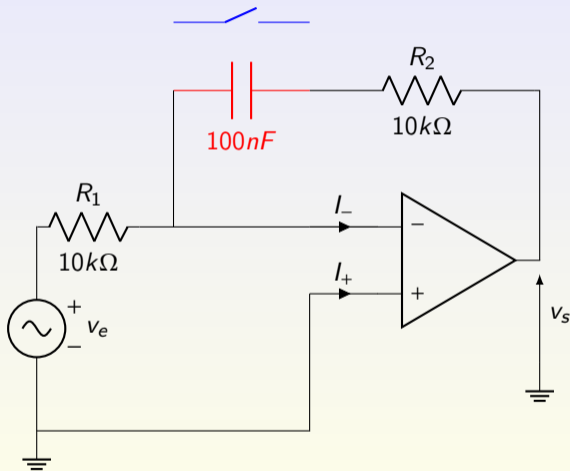
fonction de transfert :

$$H_2(j\omega) = -\frac{1 + jR_2C\omega}{jR_1C\omega} = -\frac{1 + j\tau\omega}{j\tau\omega}$$

avec $\tau = 1\text{ms}$

origine du problème ?

Montage 3 - approche 1

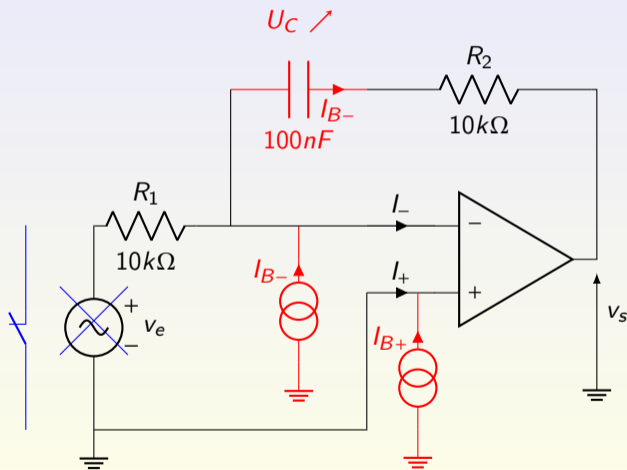


en basse fréquence :

- BF : $Z_C = \frac{1}{jC\omega} \nearrow$
- C \leftrightarrow interrupteur ouvert
- plus de bouclage entre la sortie et l'entrée \ominus de l'AOp
- plus de rétro-action
- AOp en régime non linéaire
- saturation de l'AOp :

$$v_s = \pm V_{sat}$$

Montage 3 - approche 2



- courant de polarisation de l'AOp :

$$I_{B+} \approx I_{B-} \approx 10nA$$

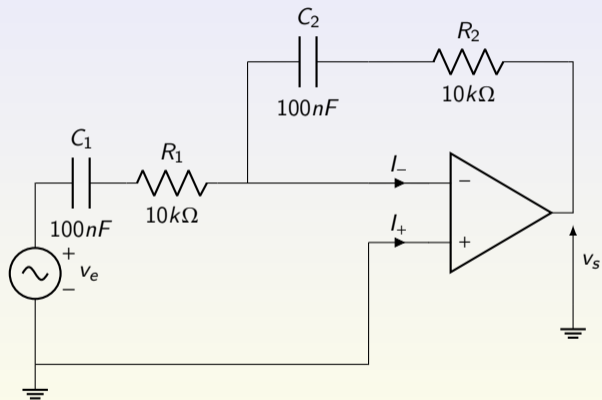
- théorème de superposition
- en régime transitoire :

$$U_C = \frac{1}{C} \int I_{B-} dt \rightarrow U_C \nearrow$$

- $v_s = -U_C - R_2 \cdot I_{B-} \rightarrow v_s \searrow$
- saturation de l'AOp :

$$v_s = -V_{sat}$$

Montage 4



Fonction de transfert :

$$H_3(j\omega) = -\frac{C_1}{C_2} \frac{1 + jR_2 C_2 \omega}{1 + jR_1 C_1 \omega}$$

$$H_3(j\omega) = K \frac{1 + j\tau_2 \omega}{1 + j\tau_1 \omega}$$

ici, $C_1 = C_2$ et $R_1 = R_2$:

$$H_3(j\omega) = -1$$

∴ $G = 0 \text{ dB}$

Montage 4

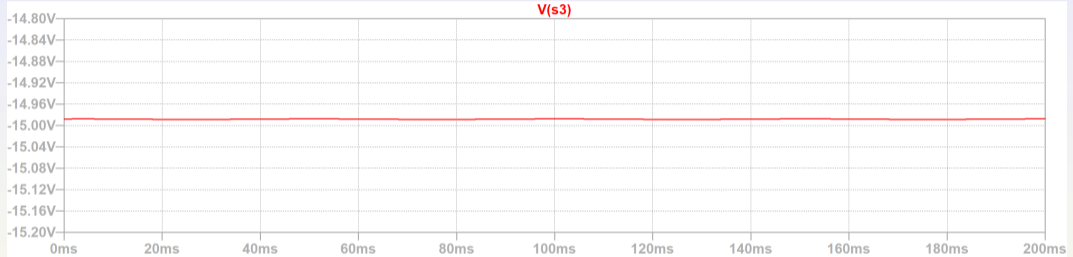
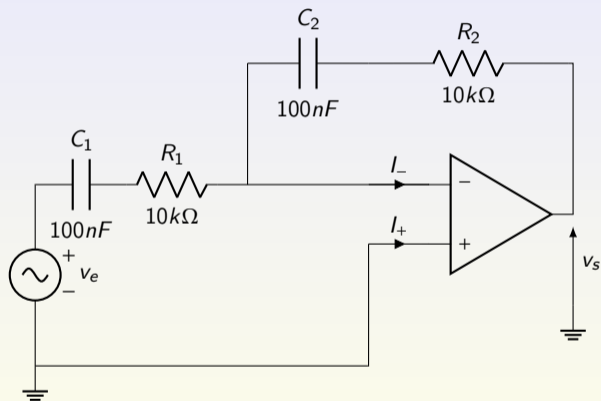


Figure 5: Réponse temporelle - $v_e(t)$: 1V, 20Hz

saturation de l'AOp quelque soit la fréquence $\rightarrow v_s = -V_{sat}$

Montage 4

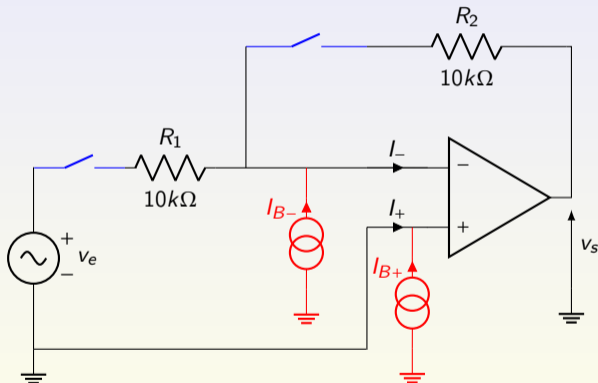


Fonction de transfert :

$$H_3(j\omega) = K \frac{1 + j\tau_2\omega}{1 + j\tau_1\omega}$$

Origine du problème ?

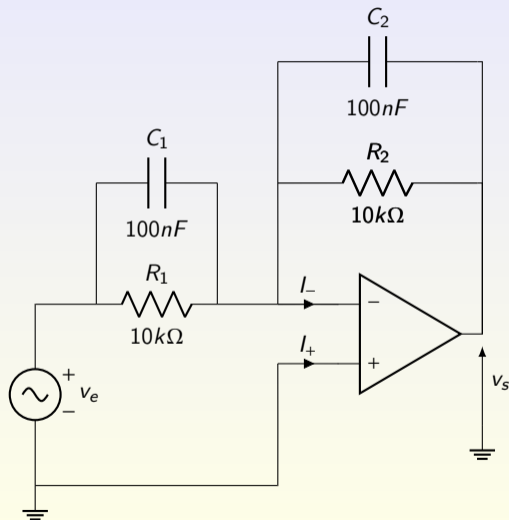
Montage 4



- BF : $Z_C = \frac{1}{jC\omega}$ ↗
- C ↔ interrupteur ouvert
- plus de bouclage entre la sortie et l'entrée \ominus de l'AOp
- plus de chemin pour le courant de polarisation I_{B-}
- AOp en régime non linéaire
- saturation de l'AOp :

$$v_s = -V_{sat}$$

Montage 5



Fonction de transfert :

$$H_4(j\omega) = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1 + jR_1 C_1 \omega}{1 + jR_2 C_2 \omega}$$

$$H_4(j\omega) = k \frac{1 + j\tau_1 \omega}{1 + j\tau_2 \omega}$$

ici, $R_1 = R_2$ et $C_1 = C_2$:

$$H_4(j\omega) = -1$$

$\forall f$, $G = 0\text{dB}$

Montage 5

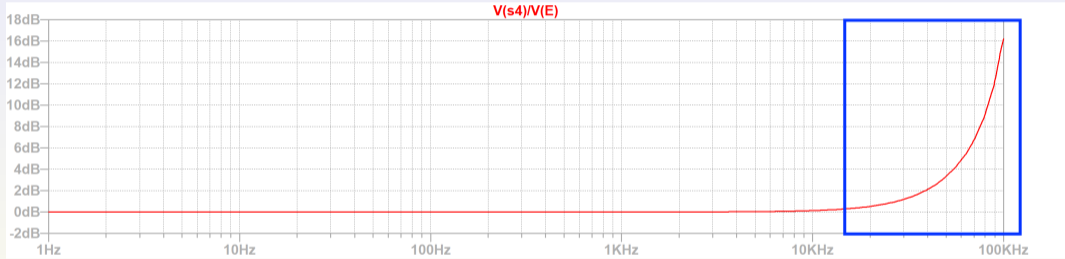


Figure 6: Diagramme de Bode

Montage 5

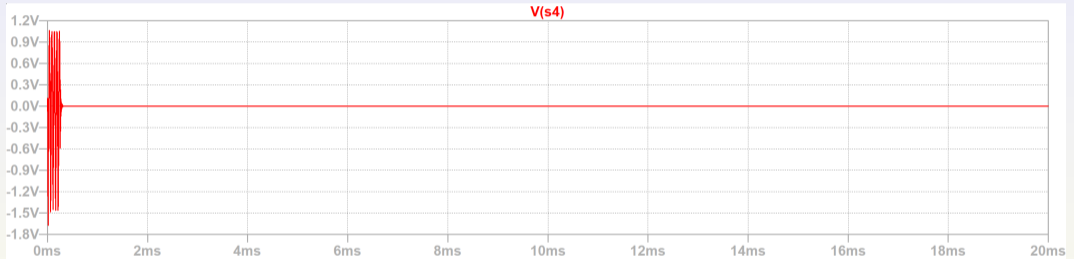
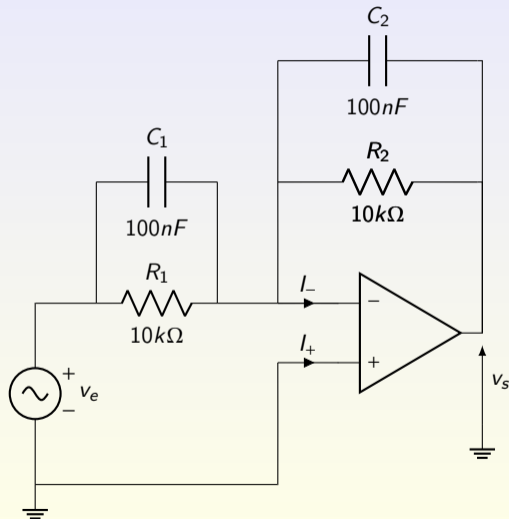


Figure 7: Réponse temporelle - $v_e(t)$: 1V, 20kHz

Montage 5



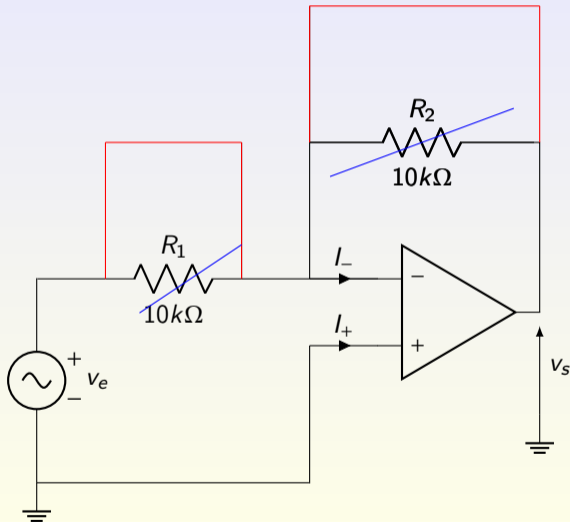
Fonction de transfert :

$$H_4(j\omega) = k \frac{1 + j\tau_1\omega}{1 + j\tau_2\omega} = -1$$

$\forall f, G = 0dB$

Origine du problème ?

Montage 5

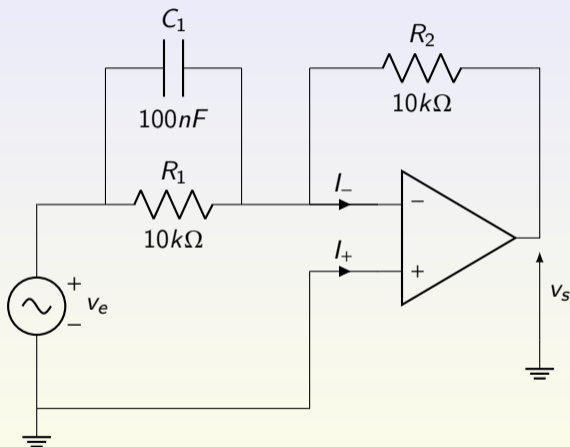


en haute fréquence :

- $Z_C = \frac{1}{jC\omega} \rightarrow 0$
- condensateur = fil
- AOp en régime linéaire :
 $V_+ = V_- = 0$
- $v_s = 0V$
- $G = 20 \log_{10} \left(\frac{v_s}{v_e} \right) ?$

- 1 Séparation d'impédance
- 2 Comportement fréquentiel des condensateurs
- 3 Défauts amplificateur opérationnel

Montage 6



Fonction de transfert :

$$H_5(j\omega) = -\frac{R_2}{R_1} \cdot (1 + jR_1 C\omega)$$

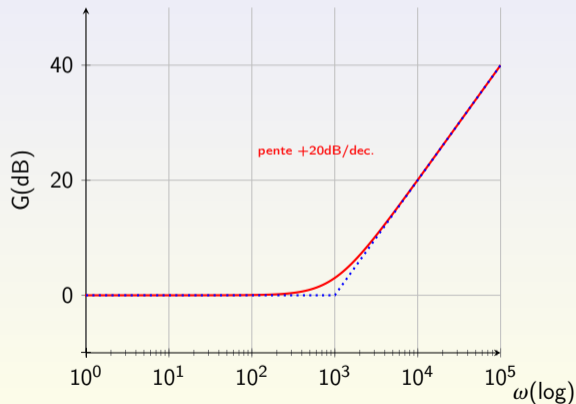
ici, $R_1 = R_2$ donc :

$$H_5(j\omega) = -(1 + j\tau\omega)$$

avec, $\tau = 1ms$

- “inverse d'un filtre passe-bas”
- en BF : gain unité (0dB)
- en HF : pente de +20dB/dec

Montage 6



$$H_5(j\omega) = -(1 + j\tau\omega)$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\tau} = 1000 \text{ rad/s}$$

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\tau} \approx 159,2 \text{ Hz}$$

Montage 6

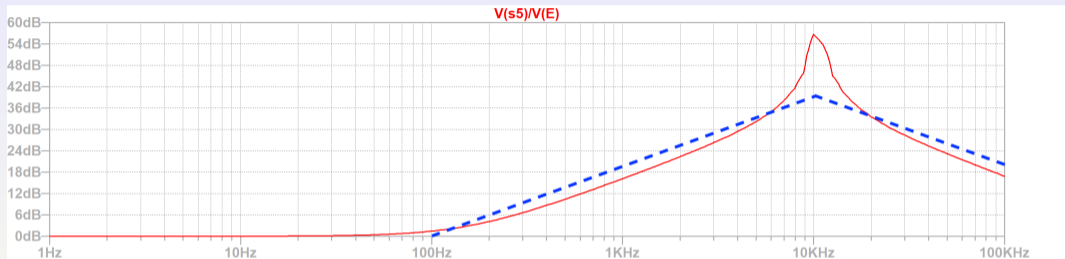


Figure 8: Diagramme de Bode

Effet des capacités parasites de l'AOp → filtrage passe-bas ;

Produit gain-bande de l'AOp : $A_0 \approx 10^6 \text{ Hz}$;

Pour une fréquence f_0 , le gain A est limité : $A \leq \frac{A_0}{f_0}$;

Exemple $f_0 = 10 \text{ kHz}$, $A \leq 100$ (40dB) ;

Montage à amplificateur opérationnel

- courants de polarisation : $I_{B+} \approx I_{B-} \approx 10nA$;
- chemin nécessaire pour ces courants jusqu'à la masse ;
- peuvent charger "rapidement" les petits condensateurs : 10 ou 100nF ;
- le produit gain-bande : $A_0 \approx 1MHz$;
- limite le gain possible en HF
- présence de capacités parasites : 20pF à 100pF
- la rétro-action doit toujours être assurée
- $Z_e \approx 1M\Omega$
- $Z_s \approx qq\Omega$