

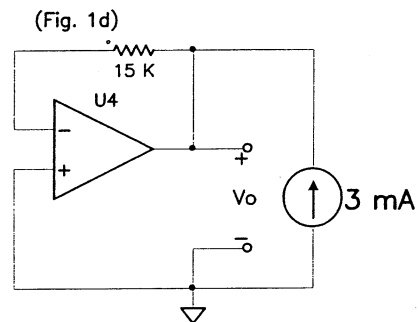
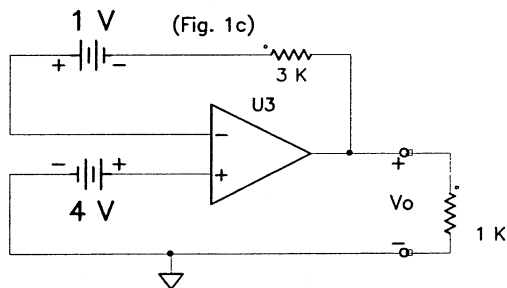
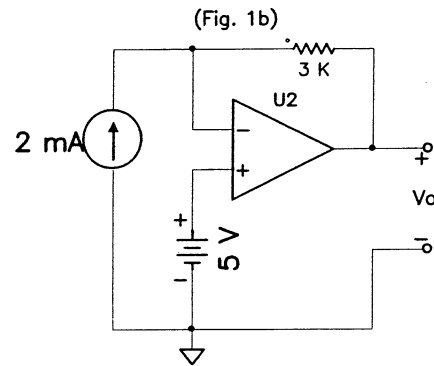
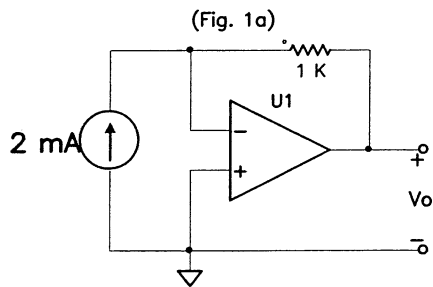
# ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Département de génie électrique  
 Examen de mi-session du Cours ELE3300 - Électronique 1  
 Mercredi le 24 octobre 2001 de 18H30 à 20H30, salle A-532

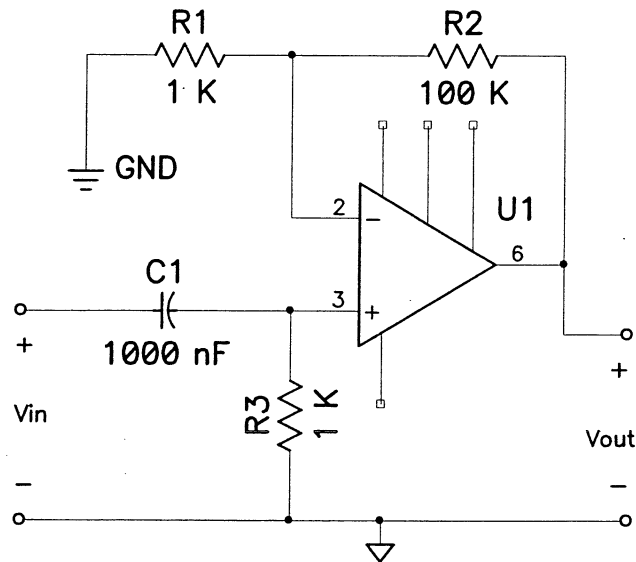
- Seul votre cahier de laboratoire et une calculatrice sont autorisés

## Question 1 : 4 points

En supposant que les amplis-ops sont idéaux, déterminez la tension de sortie,  $V_o$ , des 4 circuits suivants (Figure 1a - 1d).



## Question 2 : 5 points



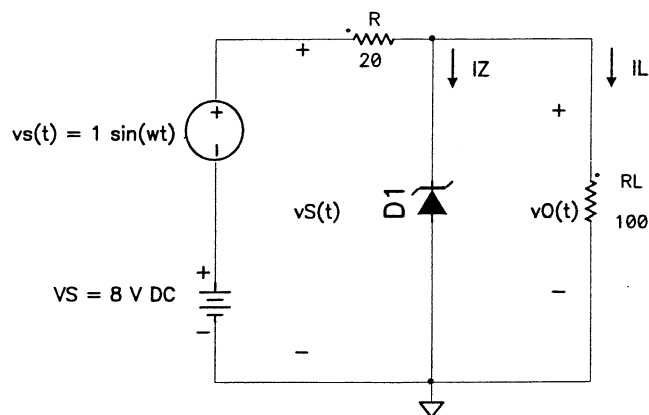
Le circuit ci-dessus est réalisé avec un ampli-op de type LM741 dont les principales caractéristiques sont indiquées dans le tableau suivant.

Caractéristique	Symbole	Min	Typ	Max	Unités
Tension de décalage	$V_{OS}$	-	2.0	6.0	mV
Courant de polarisation	$I_B$	-	80	500	nA
Courant de décalage	$I_{OS}$	-	20	200	nA
Produit gain-bande passante	$f_t$		1		MHz
Tension de saturation (pour des tensions d'alimentation de $\pm 15$ V DC)	$V_{O\ max}$		$\pm 12$		V
Vitesse de dérive	SR		0.5		V/ $\mu$ s

- Développez une expression pour le gain de tension  $G(s) = V_{out}(s) / V_{in}(s)$ . Supposez un ampli-op idéal.
- Dessinez le circuit équivalent qui permet de tenir compte des imperfections DC de l'ampli-op. Calculez la valeur maximum de la composante DC présente à la sortie du circuit.
- En tenant compte du produit gain-bande passante de l'ampli-op, dessinez un diagramme de Bode qui représente la réponse du circuit dans la plage de fréquences 10 Hz à 100 kHz.
- Supposons que le signal d'entrée  $V_{in}(t)$  est une onde sinusoïdale de 1 kHz. Calculez l'amplitude crête maximum de  $V_{in}(t)$  qui donnera un signal  $V_{out}(t)$  sans distorsion.

(24)

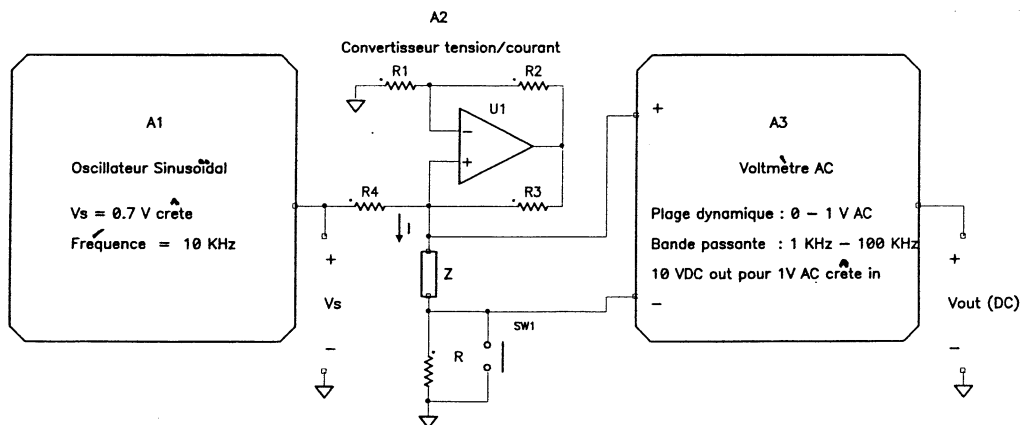
## Question 3 : 3 points



Le circuit ci-dessus est un régulateur de tension réalisé avec une diode Zener. La tension d'entrée du régulateur  $v_s(t)$  a une composante continue  $V_s = +8 \text{ V DC}$  et une composante sinusoïdale  $v_s = 1 \sin(\omega t)$  volt. La tension de sortie  $v_o(t)$  a également une composante continue  $V_o = +5 \text{ V DC}$  et une composante sinusoïdale  $v_o = 10 \sin(\omega t) \text{ mV}$ .

- Calculez le courant moyen  $I_Z$  circulant dans la diode Zener.
- Dessinez le circuit équivalent petit-signal et calculez la résistance dynamique  $r_z$  de la diode Zener.
- Calculez la puissance moyenne dissipée dans la diode Zener.

## Question 4 : 8 points



Le schéma-bloc ci-dessus représente un appareil permettant de mesurer le module de l'impédance d'un composant électronique, tels une résistance, un condensateur ou une inductance.

- Le bloc A1 est un générateur d'onde sinusoïdale réalisé avec un Négatron, un Gyrateur et un écrêteur formé de 2 diodes au Silicium. (c.f. Projet # 1 des laboratoires d'Électronique 1 de ce trimestre).
- Le bloc A2 est un convertisseur tension/courant réalisé avec un Négatron et une résistance de même valeur absolue que le Négatron et en parallèle avec celui-ci (c.f. circuit N.I.C. présenté en classe).
- Le bloc A3 est un voltmètre AC réalisé avec un ampli d'instrumentation, un filtre passe-bande, un circuit simulant un circuit "super diode" et un filtre passe-bas. (c.f. Projet # 2 des laboratoires d'Électronique 1 de ce trimestre). La bande passante du voltmètre AC est de 1 kHz à 100 kHz. Son facteur de conversion est tel qu'un signal sinusoïdale de 1 V AC crête à l'entrée produit une tension  $V_{out} = 10$  VDC à la sortie.
- Z représente l'impédance du composant électronique inconnu. La résistance  $R = 100 \Omega$  et l'interrupteur SW1 sont utilisés pour calibrer le système.

## Répondez aux questions suivantes :

- Dessinez le circuit électronique du bloc A1. Calculez les valeurs des composants de ce circuit pour que le circuit génère un signal sinusoïdal de 10 kHz.
- En supposant que l'amplitude du signal  $V_s$  généré par l'oscillateur est de 0.7 V crête, déterminez les valeurs des résistances  $R_1$  à  $R_4$  pour que le convertisseur / tension courant donne un courant de 1 mA crête. Considérez l'ampli opérationnel comme étant idéal.
- On calibre le système en plaçant un condensateur de  $1.00 \mu\text{F}$  en Z. Avec la résistance R court-circuitée par l'interrupteur SW1, on mesure à la sortie du voltmètre une tension  $V_{out} = 15.9$  mV DC. Si on ouvre l'interrupteur, on mesure  $V_{out} = 16.1$  mV DC. Calculez le taux de rejection de mode commun (CMRR) de l'amplificateur d'instrumentation qui se trouve à l'entrée du voltmètre AC.

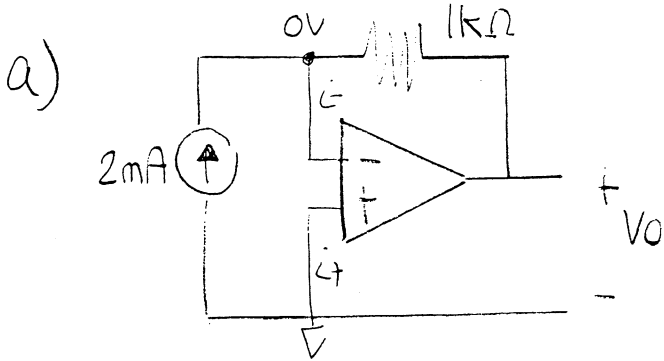
## Suggestions et rappels :

- Représentez le courant provenant du convertisseur tension / courant par la fonction  $I_{(t)} = I_o \cos(\omega t)$ .
- Si on appelle  $v_2$  la tension à l'entrée + du voltmètre AC et  $v_1$  la tension à son entrée -, alors :  
la tension d'entrée en mode différentiel est  $v_d = v_2 - v_1$   
la tension d'entrée en mode commun est  $v_{CM} = (v_2 + v_1) / 2$ .
- La tension DC de sortie du voltmètre peut être représentée par  $V_{out} = K (A_d \cdot v_d + A_{CM} \cdot v_{CM})$   
où K est le facteur de conversion,  $A_d$  est le gain en mode différentiel et  $A_{CM}$  le gain en mode commun.
- Le taux de rejection de mode commun CMRR en dB =  $20 \log (A_d / A_{CM})$

Les professeurs : Michel Bertrand et Robert Guardo (Tél: 4365)

Question 1) 3/4 → vu que les amplis sont idéaux ( $i^+ = i^- = 0$  et  $v^+ = v^-$ )

26

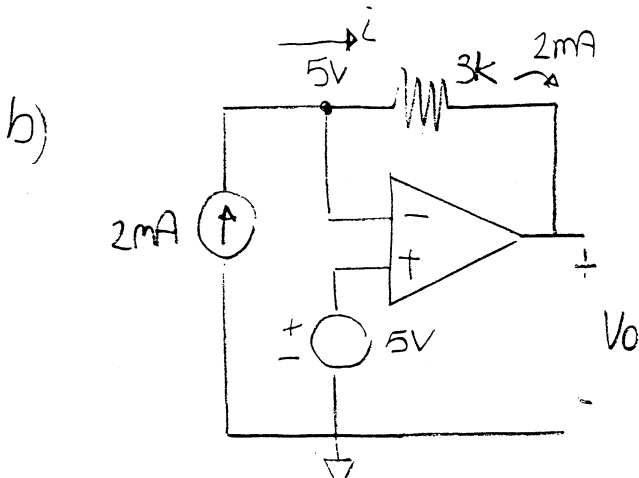


$$i^- = i^+ = 0$$

$$v^+ = v^- = 0$$

$$i = \frac{0 - V_0}{1k} = 2mA$$

$$V_0 = -2mA(1k) = -2V \quad \checkmark$$

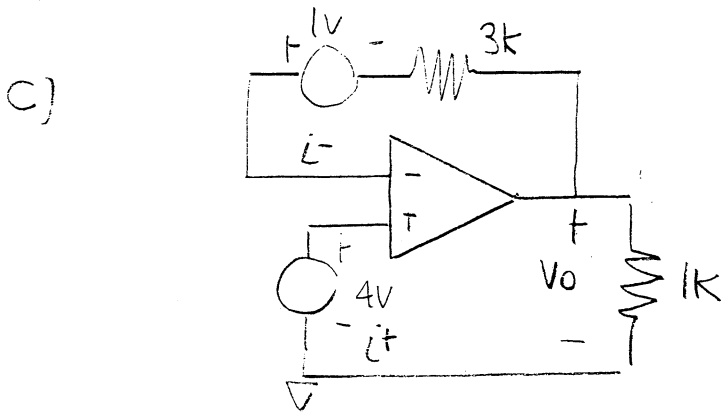


$$i^+ = i^- = 0$$

$$v^- = v^+ = 5V$$

$$i = \frac{5V - V_0}{3k} = 2mA$$

$$V_0 = -3k(2mA) + 5 = -1V \quad \checkmark$$



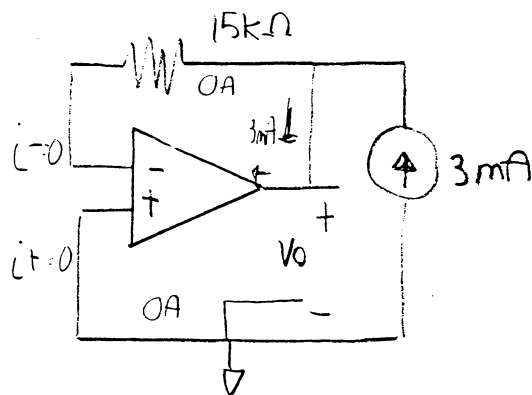
vu que ampli est idéal

$$i^+ = i^- = 0$$

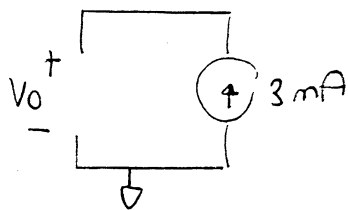
donc, nécessairement

$$V_0 = 1k(i^+) = 0 \quad \times$$

d)



Vo que  $i^+ = i^- = 0$ , ce circuit peut être réécrit comme suit :



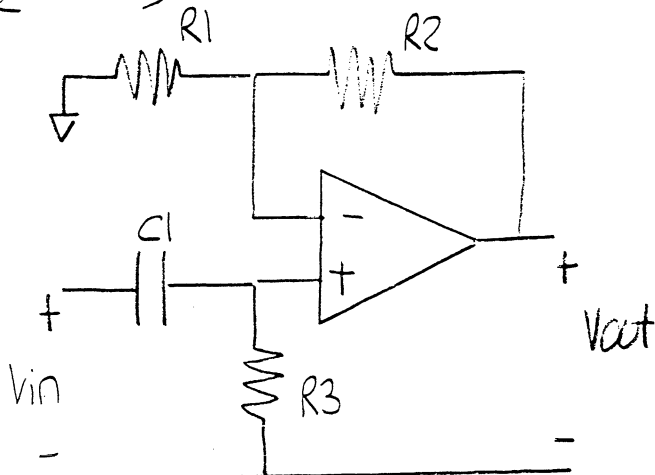
donc  $V_o$  : tension aux bornes de la source de courant  
en général, cette tension est très faible

donc  $V_o \approx 0$  ✓

Question 2

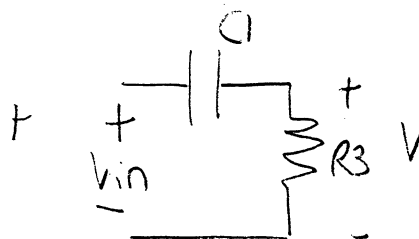
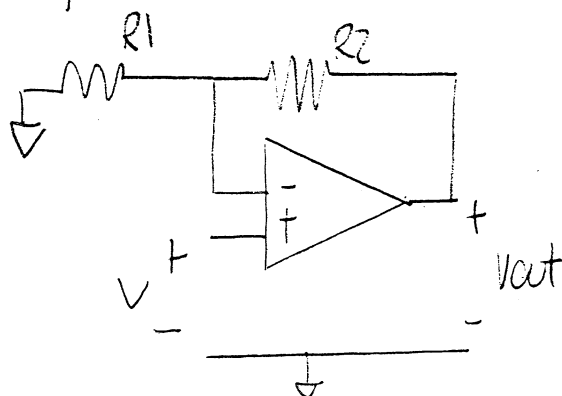
4.5 / 15

a)



- $R_1 = 1k$
- $R_2 = 100k$
- $R_3 = 1k$
- $C_1 = 1000nF$

le circuit peut être réécrit sous la forme suivante :



non inverseur

Filtere passe-haut

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) v \quad \checkmark$$

$$v = \frac{R_3}{R_3 + \frac{1}{Cs}} v_{in} = \frac{R_3 Cs}{R_3 Cs + 1} v_{in} \quad \checkmark$$

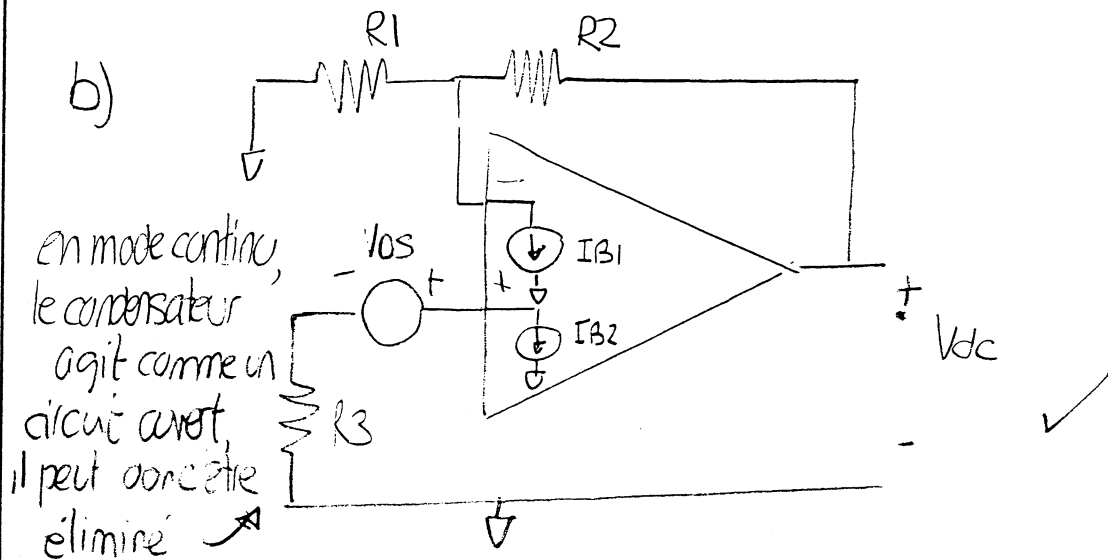
donc, 
$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{R_3 Cs}{R_3 Cs + 1} v_{in}$$

$$G(s) = \frac{V_{out}}{v_{in}} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{R_3 Cs}{R_3 Cs + 1} \quad \checkmark$$

en remplaçant les bonnes valeurs  $\rightarrow$

$$G(s) = 101 \left( \frac{0,001s}{0,001s + 1} \right) = \frac{101s}{s + 1000}$$

✓  
↳ Filtré passe-haut



Par superposition

$$① \quad V_X = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{OS}$$

$$② \quad I_{B1} \cdot \frac{V_X'}{R_2} + V_X' = R_2 I_{B1}$$

$$③ \quad I_{B2} = \frac{-V_X}{R_3} \rightarrow V_X'' = -R_3 I_{B2}$$

$$\text{donc, } V_{dc} = V_X + V_X' + V_X''$$

$$= \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{OS} + R_2 I_{B1} - R_3 I_{B2}$$

VERSO →



la tension maximale dc occurrera pour

$$V_{OS \max} = 6 \text{ mV}$$

$$I_{B1} = I_B + \frac{I_{OS}}{2} \quad \left| \quad \rightarrow \text{pour } I_{B1} \text{ max}$$

$$I_{B2} = I_B - \frac{I_{OS}}{2} \quad \left| \quad \rightarrow \text{pour } I_{B2} \text{ min}$$

$$I_{B1} = 500 + \frac{200}{2} = 600 \text{ nA}$$

$$I_{B2} = 80 - \frac{20}{2} = 70 \text{ nA}$$

$$V_{dc} = 6 \text{ m}(101) + (100 \text{ k})(600 \text{ nA}) - (1 \text{ k})(70 \text{ nA})$$

$$= 0,606 + 0,06 - 0,00007$$

$$\checkmark = \boxed{666 \text{ mV}} \quad \underline{\underline{626 \text{ mV}}}$$

c) La fct de transfert du circuit  $G(s)$  est celle d'un filtre passe-haut dont la fréquence de coupure est

$$f_{c3dB} = \frac{1}{0,001} = 1000 = 1 \text{ kHz}$$

nous avons

$$|G(j\omega)| = 20 \log(101) + 20 \log(\omega) - 20 \log(\sqrt{\omega^2 + 1000^2})$$

par ailleurs, l'ampli limite la réponse en fréquence

$$\omega_{3dB} = \frac{f_c}{B_{dBE}} : \frac{22 \text{ Hz}}{21 \text{ Hz}} \frac{f_c}{\omega_c} = 0,99 (1 \text{ MHz}) = 0,99 \text{ MHz} \times$$

donc aucun problème de limitation ici

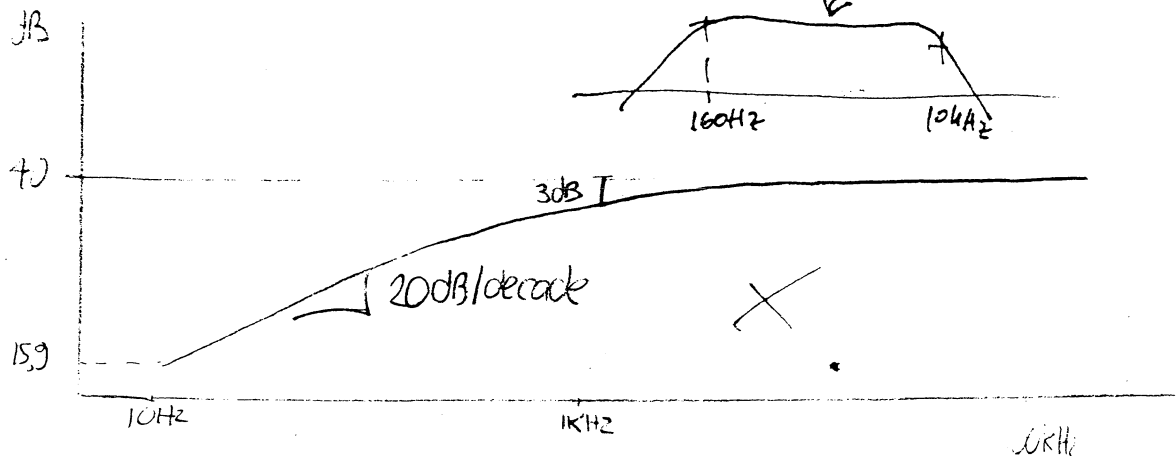
\* Facteur de rétroaction :  $\frac{R_2}{21 \text{ Hz}}$  pour inverseur et non-inverseur

pour  $\omega \ll 2\pi(1k)$

$$|G(j\omega)| = 40 + 20(\log(\omega)) - 60 = -20 + 20(\log(\omega))$$

pour  $\omega \gg 2\pi(1k)$

$$|G(j\omega)| = 40 + 30(\log(\omega)) - 30(\log(\omega)) = 40 \text{ dB}$$



d) Pour une onde sinusoïdale, il faut que

$$\omega V < SR$$

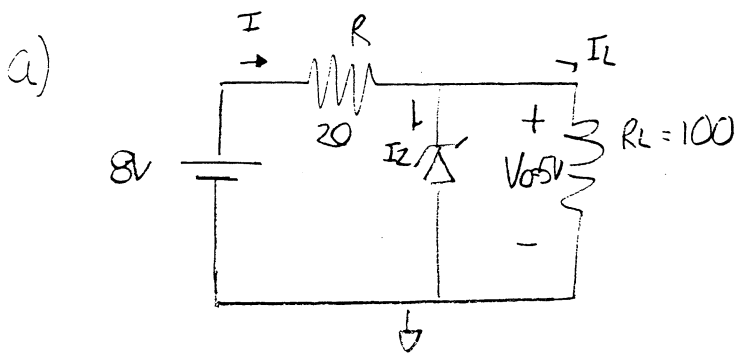
$$2\pi(1k) V < 0.5 \text{ V}/\mu\text{s} \rightarrow 500000 \text{ V/s}$$

$$V < 79.6 \text{ V} \rightarrow \text{pas limité par SR} \checkmark$$

nous voyons donc que, pour une fréquence de 1 kHz, l'ampli pourrait supporter des tensions de 79,6 V!!! Cependant, les limites de saturation de l'ampli empêchent une telle chose.

donc  $V_{\text{crête max}} : 12 \text{ V}$  soit la tension limite pour que le signal ne soit pas distordu par les limites de saturation  $\checkmark$

## Question 3 3/3

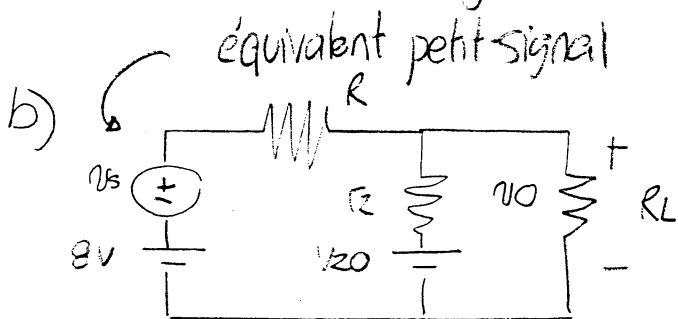


$I_Z$  moyen est le courant DC retrouvé ds la diode. Pour le calculer, on ne tient compte que des éléments dc

on a  $V_o = 5$  donc  $I_L = \frac{V_o}{R_L} = \frac{5}{100} = 50 \text{ mA}$

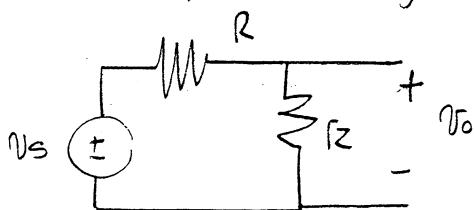
de plus  $I = \frac{8V - 5V}{R} = \frac{3}{20} = 150 \text{ mA}$

donc, le courant moyen  $I_Z = 150 \text{ mA} - 50 \text{ mA} = 100 \text{ mA}$  ✓



pour analyser effet du signal seulement, on garde les sources ac et on élimine les sources dc

prenons l'équivalent "signal" de ce circuit



$v_s = 1V$  crête  $\rightarrow v_o = 10mV$  crête

nous avons que  $v_o = \frac{r_z}{R + r_z} v_s$

$0,2 + 0,01r_z = r_z$  ✓

$r_z = \frac{0,2}{0,99} = 0,202 \Omega$

donc que  $0,01(20 + r_z) = r_z$

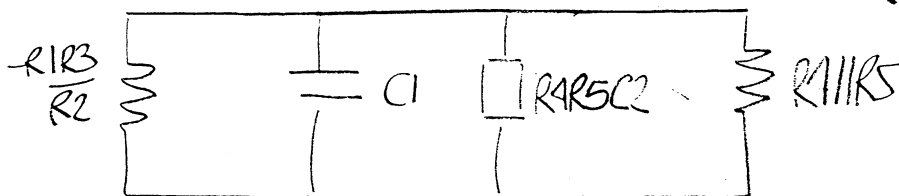
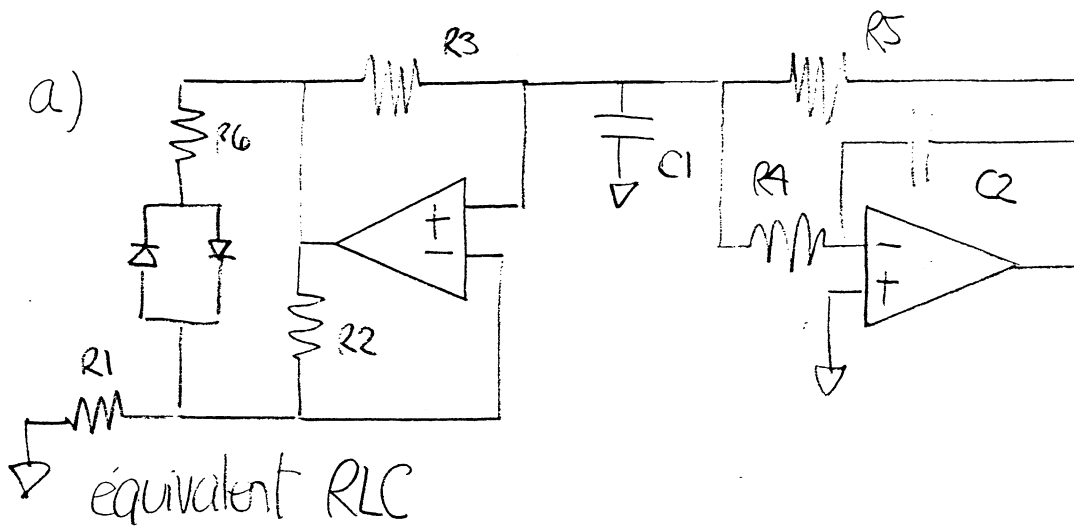
c) puissance moyenne est produit tension moyenne  
et courant moyen

$$P_{\text{moy}} = 5 \text{V} (100 \text{mA}) = 500 \text{mW} \checkmark$$

$$L I_2 V_2$$

Question 4

7.5/8



la fréquence d'un tel circuit

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{C1 C2 R4 R5}} = 10\,000$$

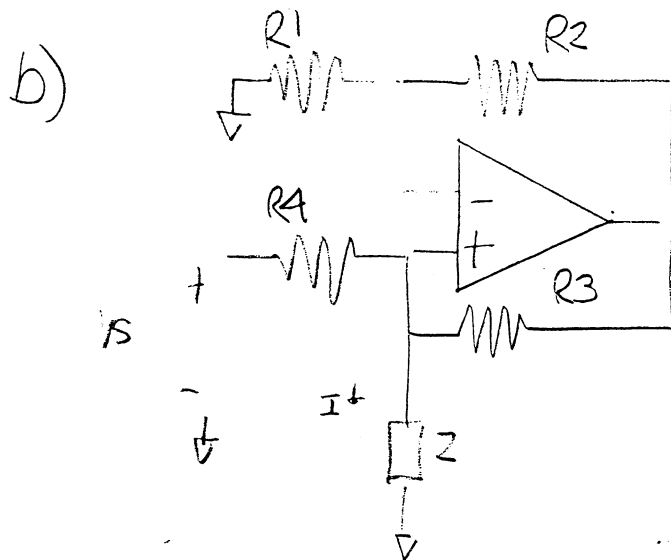
posons  $C1 = C2 = 10\text{nF}$  et  $R4 = 1\text{k}$ .

on trouve donc

$$R5 = 253\text{k}\Omega$$

pour les autres résistances, nous savons que pour obtenir une bonne oscillation sinusoïdale

$$\frac{R1R3}{R2} < \frac{R4R5}{R4R5} < 717\Omega$$
posons  $R3 = R2 = 1\text{k}$ , il ne reste plus que  $R1 = 717\Omega$

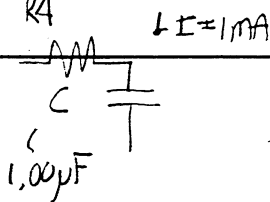


pour obtenir une bonne source de courant,  
choisissons  $R_A = \frac{R_1 R_3}{R_2}$

ainsi  $I = \frac{V_S}{R_A}$  donc  $R_A = \frac{V_S}{I} = \frac{0,7}{1\text{m}} = 700\Omega$

prenons  $R_3 = R_2 = 1\text{k}\Omega$  ✓

nous trouvons ainsi,  $R_1 = R_A = 700\Omega$  ✓



$$v_d = \frac{1}{C S} (1 \text{ mA} \cos(\omega t))$$

36

c) nous savons que

$$v_d = 0,0159 \cos(\omega t)$$

$V_{at} = K (A_d v_d + A_{cm} v_{cm})$  où  $K$  est le facteur de conversion.

Lorsque nous rajoutons la résistance  $R$ , nous rajoutons une tension en mode commun de valeur crête :

$$1 \text{ mA}(100) = 0,1 \text{ V}$$

autrement, nous n'avons qu'un signal différentiel typique

$$\text{d'où, } 15,9 \text{ mV} = K (A_d (1,59 \text{ mA}) + A_{cm} (0)) \quad \left. \vphantom{\text{d'où, } 15,9 \text{ mV}} \right\} \text{ sans résistance}$$

$$K A_d = 10$$

$$\text{et } 16,1 \text{ mV} = K (A_d (1 \text{ mA}) + A_{cm} (0,1)) \quad \left. \vphantom{\text{et } 16,1 \text{ mV}} \right\} \text{ avec résistance}$$

$$16,1 \text{ mV} = K A_d (1 \text{ mA}) + K A_{cm} (0,1)$$

$$\text{d'où, } K A_{cm} = \frac{16,1 \text{ mV} - K A_d (1 \text{ mA})}{0,1}$$

en remplaçant,

$$K A_{cm} = \frac{16,1 \text{ mV} - (10) (1 \text{ mA})}{0,1} = 0,061$$

$$\text{d'où, } \text{CMRR} = 20 \log \left( \frac{A_d}{A_{cm}} \right) = 20 \log \left( \frac{10}{0,061} \right) = 44,3 \text{ dB} \quad X$$

Voilà la solution  
 (2) out + in  
 compit 400  
 la tension de  
 couple est 400 mV

37

Examen intra. d'Électronique 1 (ELE-3300)

trimestre : automne 2001

Nom	Prénom	Matricule	Groupe
<del>XXXXXXXXXX</del>	<del>XXXXXXXXXX</del>	<del>XXXXXXXXXX</del>	2

• Question 1 : 4 points

- a)  $V_o = -2\text{ V}$  [méthode, résultat] 1.0 0.5 0
- b)  $V_o = -1\text{ V}$  [méthode, résultat] 1.0 0.5 0
- c)  $V_o = +3\text{ V}$  [méthode, résultat] 1.0 0.5 0
- d)  $V_o = 0\text{ V}$  [méthode, résultat] 1.0 0.5 0

Total Q1 : 3 / 4

• Question 2 : 5 points

- a)  $G(s) = (1 + R_2/R_1) \cdot (sR_3C_1) / (1 + sR_2C_1)$
- b)  $V_{out\ max} = 626\text{ mV}$  [méthode, résultat] 1.5 1.0 0.5 0
- c) Réponse en fréquence du circuit. Diagramme de Bode 1.0 0.5 0
- d)  $V_{in\ max} = 0.12\text{ V}$  crête [méthode, résultat] 1.0 0.5 0

Total Q2 : 4.5 / 5

• Question 3 : 3 points

- a)  $I_{Z0} = 100\text{ mA}$  [méthode, résultat] 1.0 0.5 0
- b)  $r_z = 0.2\ \Omega$  [méthode, résultat] 1.0 0.5 0
- c)  $P_{Z0} = 500\text{ mW}$  [méthode, résultat] 1.0 0.5 0

Total Q3 : 3 / 3

• Question 4 : 8 points

- a) Schéma de l'oscillateur, calcul des composants 3.0 2.0 1.5 1.0 0.5 0  
(ex.  $C = C_1 = C_2 = 1.6\text{ nF}$ ;  $R_1 = R_2 = R_4 = R_5 = 10\text{ K}\Omega$ ;  $R_3 = 4.75\text{ K}\Omega$ ; autres solutions possibles)
- b) Calcul des valeurs des composants du conv. tension / courant 2.5 2.0 1.0 0.5 0  
(ex  $R_3 = R_4 = 0.7\text{ K}\Omega$ ;  $R_1 = R_2 = 10\text{ k}\Omega$ ; autres solutions possibles)
- c) Calcul du CMRR (54 dB) [méthode, résultats] 2.5 2.0 1.0 0.5 0  
 $A_d = 2 \times 10^3\text{ V/V}$ ;  $A_{CM} = 99.4 \times 10^{-3}\text{ V/V}$

Total Q4 : 7.5 / 8

Remarques :

Correcteur	Total : <del>17.5</del> / 20
------------	------------------------------

18