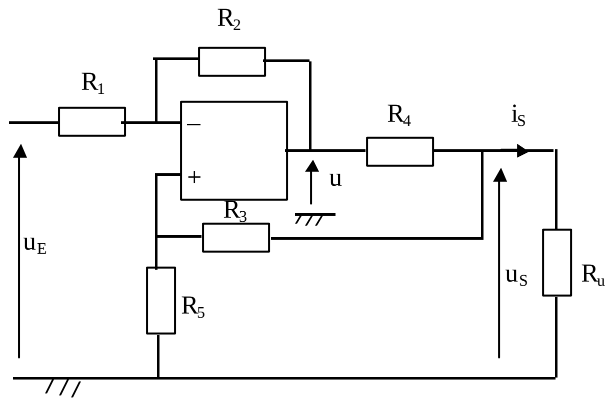
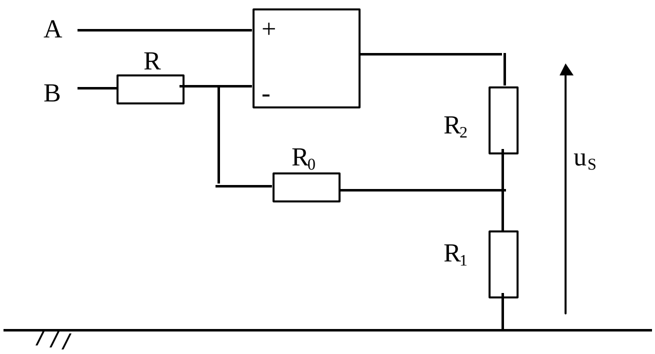
SERIE D'EXERCICES N° 8 : ELECTROCINETIQUE : AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL EN REGIME LINEAIRE

Amplificateur opérationnel idéal, circuits avec un A.O.

Exercice 1.
On considère le circuit de la figure.
1. Calculer la tension u en fonction de u_S, u_E et des résistances.
2. Calculer le courant i_S dans la charge R_u en fonction de u_S, u_E et des résistances.
3. Quelle relation doivent vérifier les résistances pour annuler le coefficient de u_S dans l'expression de i_S ?



Exercice 2.



1. Amplificateur de tension non inverseur.

La borne A est portée au potentiel u_1 et la borne B est mise à la masse.
Déterminer le gain u_S / u_1 en fonction des résistances. Conclure pour $R \to \infty$ et $R_0 = 0$.

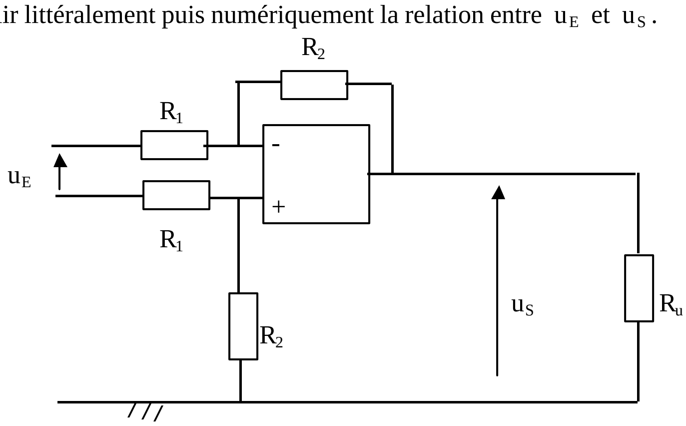
2. Amplificateur de tension inverseur.

La borne A est mise à la masse et la borne B est portée au potentiel u_2.
Déterminer le gain u_S / u_2 en fonction des résistances. Conclure pour $R_2 = 0$ et. $R_1 \to \infty$.

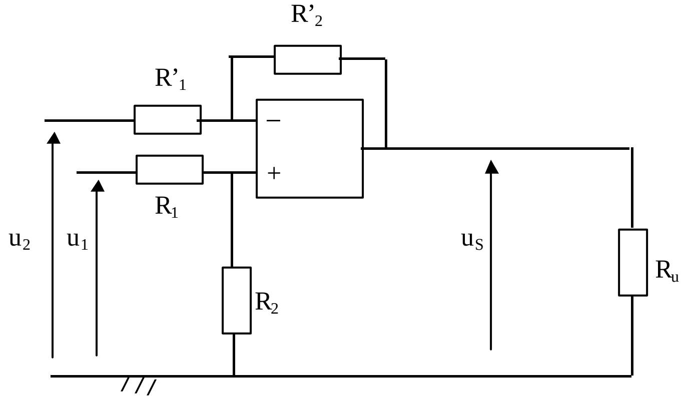
3. Amplificateur de courant.

La borne A est maintenue à la masse, un générateur de courant parfait maintient un courant i_E dans R .
Déterminer, en fonction des résistances, le gain en courant i_2 / i_E où i_2 est le courant ascendant parcourant R_2 .

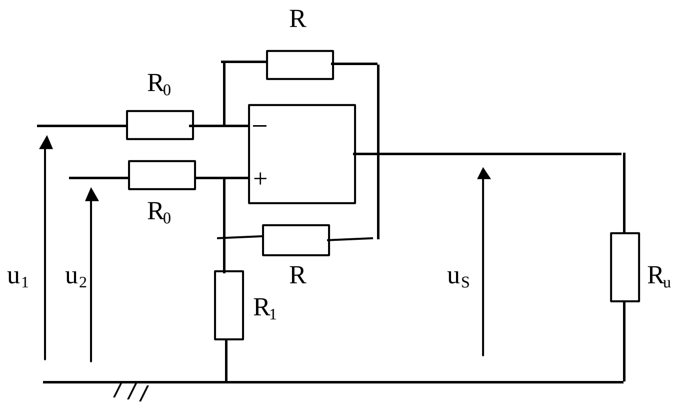
Exercice 3.
Le montage est celui de la figure avec $R_1 = 3{,}3\ k\Omega$ et $R_2 = 165\ k\Omega$.
Etablir littéralement puis numériquement la relation entre u_E et u_S .



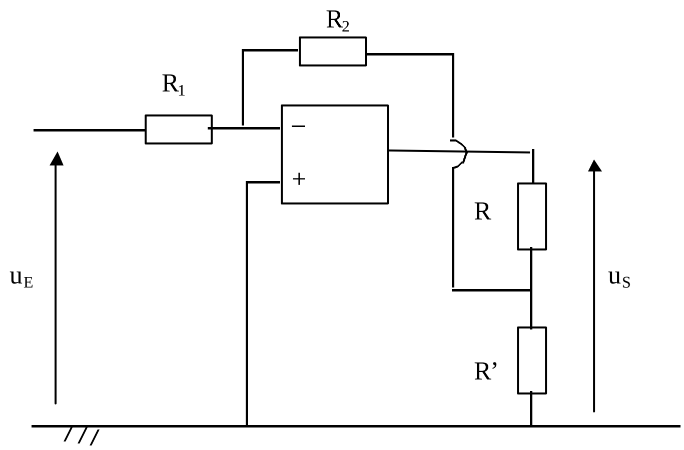
Exercice 4.
Le circuit soustracteur de la figure est alimenté par deux tensions u_1 et u_2. Trouver la rension de sortie u_S en appliquant le théorème de superposition. Comment faut-il choisir les résistances pour que $u_S = u_1 - u_2$?



Exercice 5.
Le montage est celui de la figure. Montrer que l'intensité i du courant circulant dans la résistance R_1 a pour expression :
$i = \frac{u_2 - u_1}{R_0}$.



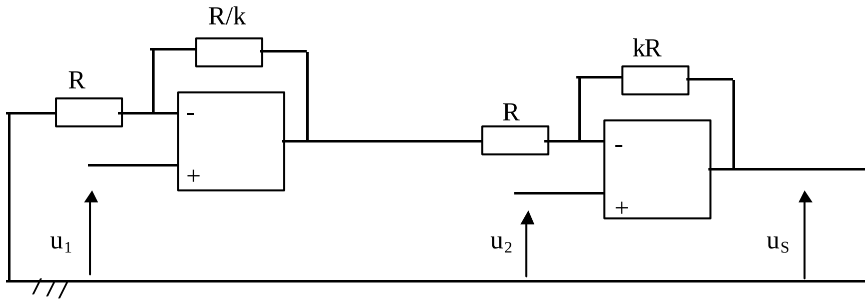
Exercice 6.
Calculer le gain u_S / u_E du montage de la figure. A.N. : R_1 = 4,7 kΩ ; R_2 = 47 kΩ ; R = 10 kΩ ; R' = 1 kΩ .
Comparer au gain du montage inverseur classique.



Amplificateur opérationnel idéal, circuits avec plusieurs A.O.

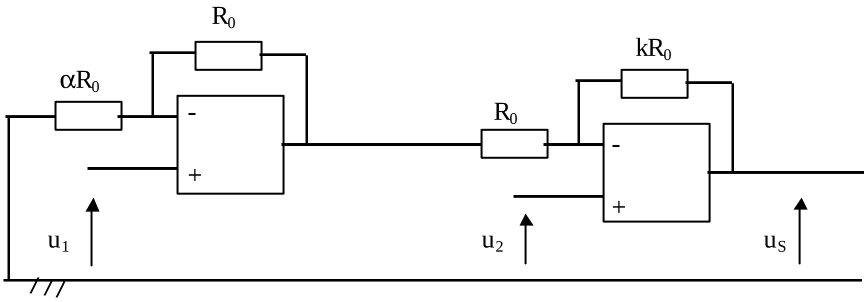
Exercice 7.

Montrer que le dispositif de la figure est un amplificateur différentiel qui délivre à la sortie la tension $u_S = A\,(u_2 - u_1)$.
Exprimer le gain différentiel A en fonction du coefficient k sans dimension.



Exercice 8.

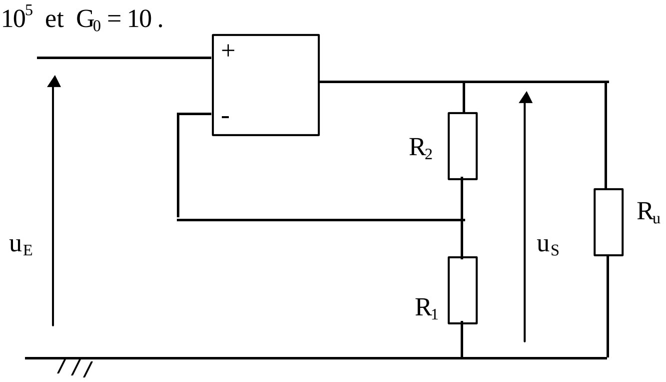
On considère le montage de la figure. En utilisant le théorème de superposition, calculer la tension de sortie u_S en fonction de k , α , u_1 et u_2 . Quelle valeur doit-on donner à α pour que u_S soit proportionnelle à $u_2 - u_1$?



Amplificateur opérationnel réel.

Exercice 9.

Le système bouclé de la figure comprend un A.O. réel en régime linéaire (de gain en boucle ouverte μ_0 élevé mais fini).
Déterminer le gain G de l'opérateur d'amplification, en fonction de G_0 (associé à μ_0 infini) et de μ_0 .
En déduire le rapport $\left|\dfrac{G - G_0}{G_0}\right|$ en fonction de ces mêmes données ainsi que la condition sur μ_0 et G_0 pour obtenir $G = G_0$.
A.N. : $\mu_0 = 10^5$ et $G_0 = 10$.



Exercice 10.

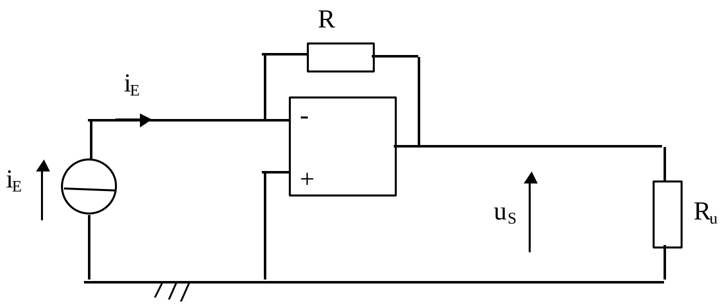
Le montage de la figure est un <u>convertisseur courant-tension</u>.

1. Etablir l'expression du gain $G = u_S / i_E$:

a) en considérant l'A.O. idéal (de gain en boucle ouverte μ_0 infini), le gain étant alors noté G_0 ;

b) en considérant l'A.O. réel (de gain en boucle ouverte μ_0 élevé mais fini) : on donnera G en fonction de G_0 et μ_0 .

2. Calculer les résistances d'entrée R_e et de sortie R_s du convertisseur réel.



Transfert en régime linéaire.

Exercice 11.

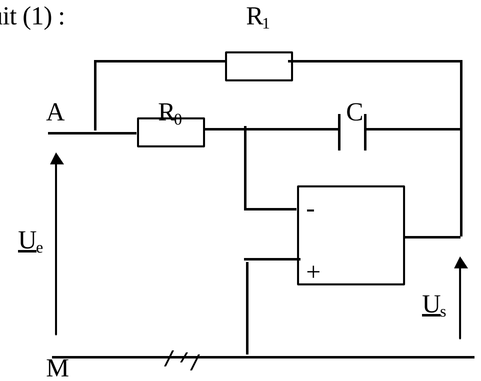
On considère le circuit (1) ci-dessous en régime sinusoïdal forcé. On suppose l'amplificateur idéal et fonctionnant en régime linéaire.

1. Etablir l'expression de la fonction de transfert $\underline{H}(j\omega) = \dfrac{\underline{U}_s}{\underline{U}_e}$ en fonction de R_0, C et ω.
2. Calculer l'admittance d'entrée $\underline{Y}e$ du montage. Montrer que c'est celle de deux éléments passifs en parallèle dont on précisera la nature.
3. On considère le circuit (2) ci-dessous, on suppose l'amplificateur idéal et fonctionnant en régime linéaire.

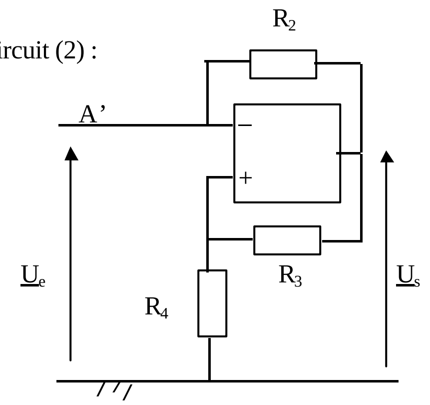
a) Exprimer l'admittance d'entrée $\underline{Y}_e$' du circuit (2).

b) On monte en parallèle le circuit (2) entre les bornes A et M du circuit (1) (A en A'), calculer l'admittance d'entrée $\underline{Y}_e$'' de l'ensemble. A quelle condition obtient-on l'équivalence d'une inductance pure ?

circuit (1) :



circuit (2) :

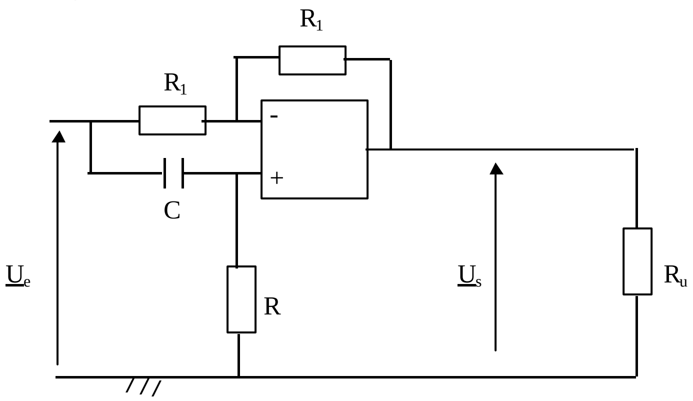


Filtres actifs.

Exercice 12.

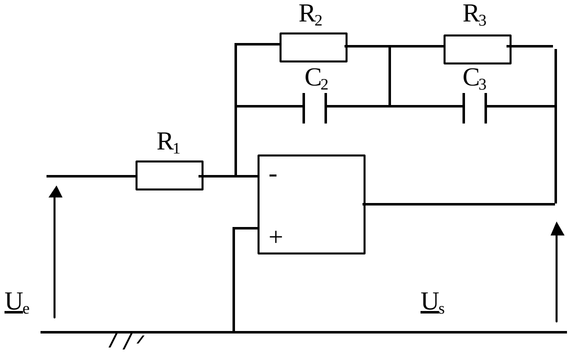
1. Calculer la fonction de transfert $\underline{H}(j\omega) = \dfrac{\underline{U}_s}{\underline{U}_e}$ en régime harmonique forcé du filtre ci-dessous, en fonction de R, C et ω.
2. En déduire le gain $G(\omega)$ et l'argument $\varphi(\omega)$. Quel est l'intérêt d'un tel montage ?

Tracer le diagramme de Bode.



Erercice 13.

A l'enregistrement d'un disque, les sons graves sont atténués, et les sons aigus sont renforcés, pour une meilleure qualité de l'enregistrement. Par conséquent, à la reproduction, il faut accentuer les sons graves, et atténuer les aigus : c'est le rôle du filtre RIAA dont on se propose d'étudier ici une réalisation. L'amplificateur opérationnel est supposé idéal et en régime linéaire.

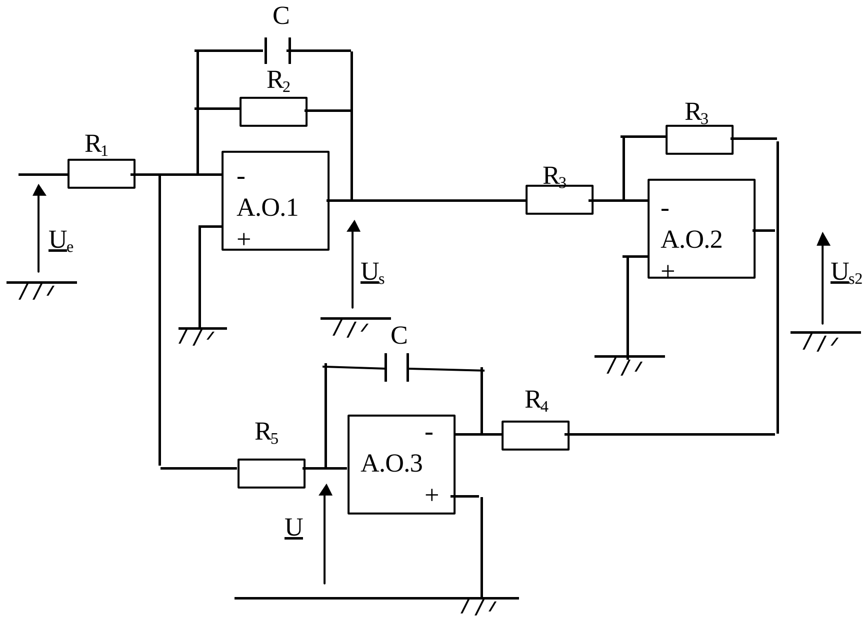


1. Calculer la fonction de transfert $\underline{H}(j\omega) = \dfrac{\underline{U_s}}{\underline{U_e}}$ du circuit.

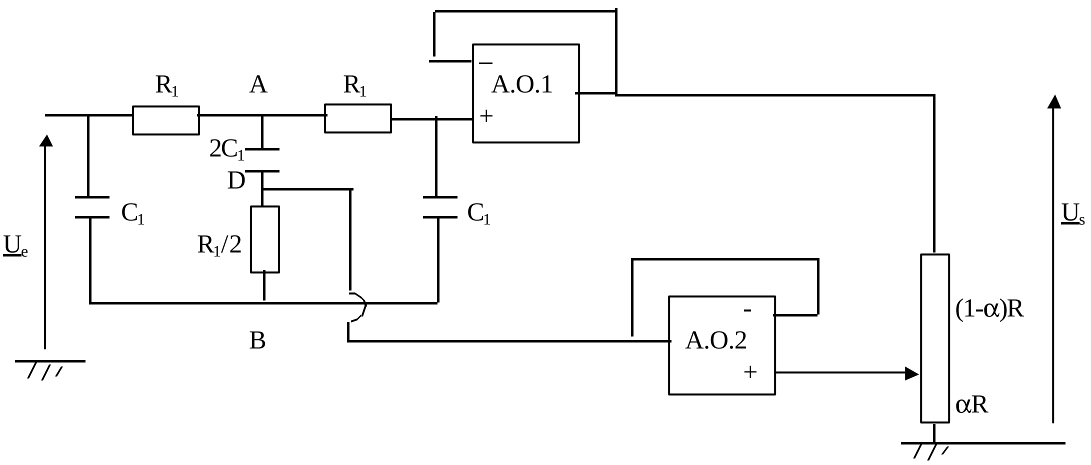
Montrer qu'elle peut se mettre sous la forme : $\underline{H}(j\omega) = H_0 \dfrac{1 + j\dfrac{\omega}{\omega'}}{(1 + j\dfrac{\omega}{\omega_2})(1 + j\dfrac{\omega}{\omega_3})}$, et donner les expressions de H_0, ω', ω_2 et ω_3.

2. On donne $R_1 = 1{,}04\ k\Omega$; $C_2 = 330$ nF ; $C_3 = 100$ nF ; quelles sont les valeurs à donner à R_2 et R_3 pour que : $f_2 = \omega_2/2\pi = 50$ Hz ; $f_3 = \omega_3/2\pi = 2000$ Hz ? Calculer numériquement $f' = \omega'/2\pi$.
3. Tracer $G(dB) = 20 \log(|\underline{H}|)$ en fonction de $\log(\omega)$: diagramme asymptotique puis diagramme réel en calculant les valeurs exactes de G pour $f = f'$; $f = f_2$; $f = f_3$, $f = \sqrt{f'f_2}$; $f = \sqrt{f'f_3}$.

Exercice 14.
Dans le circuit de la figure, les différents A.O. sont supposés idéaux.
1. Etablir la relation entre $\underline{U_e}$, $\underline{U_s}$, $\underline{U}$.
2. Exprimer $\underline{U}$ en fonction de $\underline{U_{s2}}$, puis en fonction de $\underline{U_s}$.
3. Montrer que la fonction de transfert de ce filtre se met sous la forme $\underline{H}(j\omega) = \dfrac{H_0}{1 + j(\dfrac{\omega}{\omega_1} - \dfrac{\omega_2}{\omega})}$, et exprimer H_0, ω_1 et ω_2.
4. Tracer le diagramme de Bode , vérifier que ce filtre est passe-bande, déterminer ω et $|\underline{H}|$ à la résonance.



Exercice 15.
Tous les amplificateurs sont supposés idéaux et fonctionnant en régime linéaire.
1. Déterminer la fonction de transfert $\underline{H}(jx) = \dfrac{\underline{U_s}}{\underline{U_e}}$ où x est la pulsation réduite $x = \omega/\omega_1$ avec $\omega_1 = \dfrac{1}{R_1C_1}$.
2. Etudier la stabilité suivant les valeurs de α.
3. On suppose le système stable, tracer le diagramme asymptotique puis le diagramme de Bode. De quel type de filtre s'agit-il ?



Réponses (on donne ici les diagrammes asymptotiques de Bode).

Exercice 1.

1) $u = \frac{R_5}{R_1}\frac{R_1+R_2}{R_3+R_5}u_S - \frac{R_2}{R_1}u_E$. 2) $i_S = \frac{R_2R_5 - R_1(R_3+R_4)}{R_1R_4(R_3+R_5)}u_S - \frac{R_2}{R_1R_4}u_E$. 3) $R_2 R_5 = R_1 (R_3 + R_4)$.

Exercice 2.

1) $\frac{u_S}{u_1} = \frac{(R+R_0)(R_1+R_2)+R_1R_2}{RR_1}$. 2) $\frac{u_S}{u_2} = -\frac{R_0(R_1+R_2)+R_1R_2}{RR_1}$. 3) $\frac{i_2}{i_E} = 1+\frac{R_0}{R_1}$.

Exercice 3.

$u_S = - \frac{R_2}{R_1}u_E = - 50\ u_E$.

Exercice 4.

$u_S = \frac{R_2}{R'_1}\frac{R'_1+R'_2}{R_1+R_2}u_1 - \frac{R'_2}{R'_1}u_2$. Soustracteur si $R'_1 = R'_2$ et $R_1 = R_2$.

Exercice 6.

1) $\frac{u_S}{u_E} = -\frac{RR'+R_2R'+RR_2}{R'R_1} = - 112$. 2) Inverseur classique pour $R = 0$.

Exercice 7.

$A = (1 + k)$.

Exercice 8.

$u_S = (1 + k)\, u_2 - k\,\frac{1+\alpha}{\alpha}\,u_1$; $\alpha = k$.

Exercice 9.

$G = \frac{u_S}{u_E} = \frac{\mu_0 G_0}{\mu_0 + G_0}$; $\left|\frac{G-G_0}{G_0}\right| = \frac{G_0}{\mu_0+G_0} \approx 0$ si $\mu_0 >> G_0$.

Exercice 10.

1.a) $\frac{u_S}{i_E} = -R$. 1.b) $\frac{u_S}{i_E} = -\frac{\mu_0}{\mu_0+1}R = \frac{\mu_0 G_0}{\mu_0+1}$. 2) $R_e = \frac{R}{\mu_0+1}$ et $R_s = 0$.

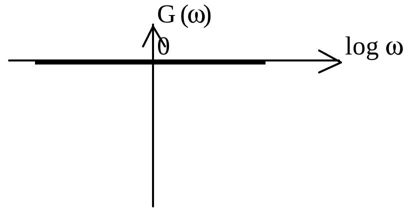
Exercice 11.

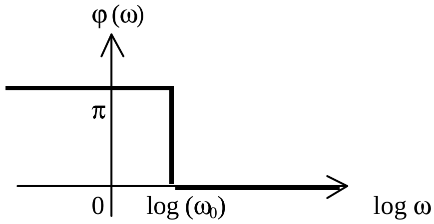
1) $\underline{H}(j\omega) = -\frac{1}{jR_0C\omega}$. 2) $\underline{Y}_e = \frac{R_0+R_1}{R_0\ R_1} + \frac{1}{jR_0R_1C\omega}$; il s'agit de $(R_0 // R_1) // L = R_0 R_1 C$. 3.a) $\underline{Y'}_e = -\frac{R_3}{R_2R_4}$

3.b) si $R_0 + R_1 = \frac{R_0R_1R_3}{R_2R_4}$ (self virtuelle).

Exercice 12.

1) $\underline{H}(j\omega) = -\frac{1-jRC\omega}{1+jRC\omega}$. 2) $G(\omega) = 0$ et $\varphi(\omega) = \pi - 2\,\mathrm{Arctan}(RC\omega)$.





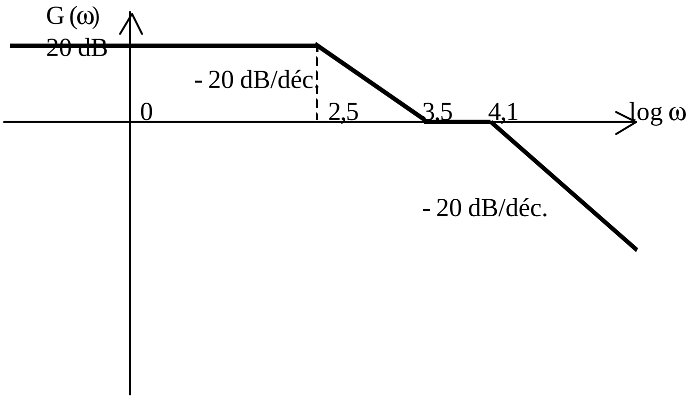
déphaseur pur (passe-tout déphaseur).

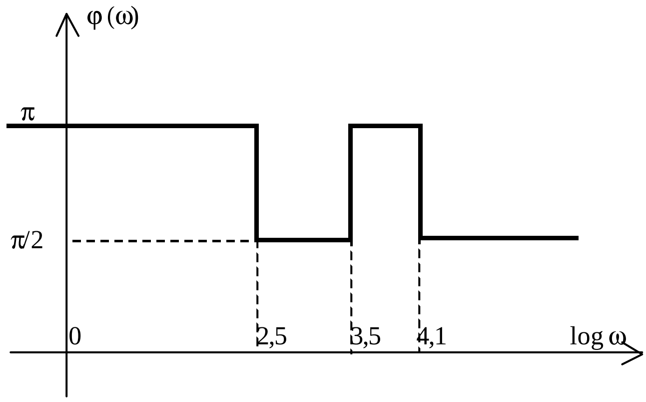
Exercice 13.

1) $H_0 = -\dfrac{R_2+R_3}{R_1}$; $\omega' = \dfrac{R_2+R_3}{R_2\ R_3(C_2+C_3)}$; $\omega_2 = \dfrac{1}{R_2C_2}$; $\omega_3 = \dfrac{1}{R_3C_3}$. 2) $R_2 = \dfrac{1}{2\pi C_2 f_2} = 9{,}65\ \text{k}\Omega$;

$R_3 = \dfrac{1}{2\pi C_3 f_3} = 796\ \text{k}\Omega$; $f' = \dfrac{R_2+R_3}{2\pi R_2\ R_3(C_2+C_3)} = 503\ \text{Hz}$.

3) $\log\omega_2 = 2{,}5$; $\log\omega_3 = 4{,}1$; $\log\omega' = 3{,}5$



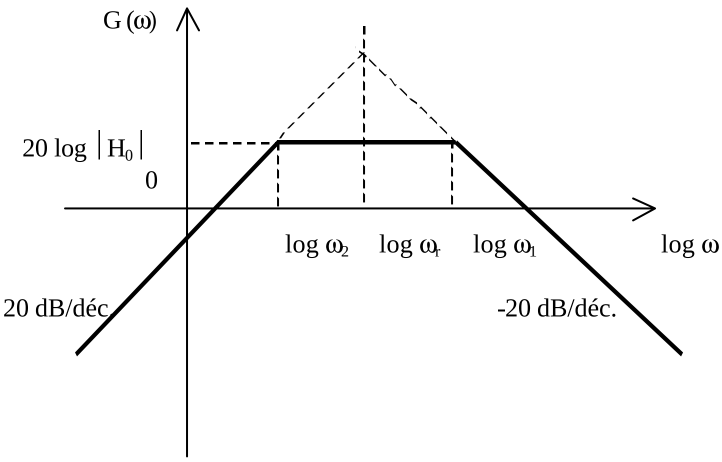


$G(\omega') = 2{,}64$; $G(\omega_2) = 17{,}0$; $G(\omega_3) = -2{,}75$; $G(\sqrt{\omega'\omega_2}) = 9{,}75$; $G(\sqrt{\omega'\omega_3}) \approx 0$.

Exercice 14.

1) $R_2 R_5 \underline{U_e} + R_1 R_2 \underline{U} + R_1 R_5 (1 + j R_2 C\omega) \underline{U_s} = 0$. 2) $\underline{U} = -\dfrac{1}{jR_4C\omega}\underline{U_{s2}}$ et $\underline{U} = \dfrac{1}{jR_4C\omega}\underline{U_s}$. 3) $H_0 = -\dfrac{R_2}{R_1}$; $\omega_1 = \dfrac{1}{R_2C}$

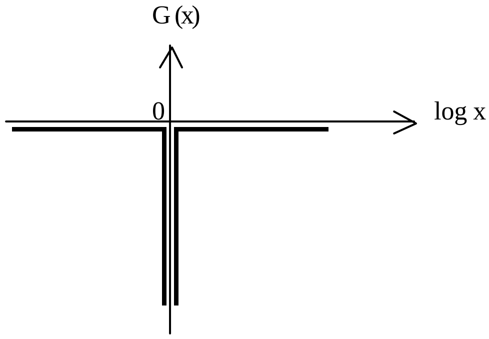
$\omega_2 = \dfrac{R_2}{R_4R_5C}$. 4) $\omega_r = \sqrt{\omega_1\omega_2}$ et $H_{max} = \dfrac{R_2}{R_1}$.

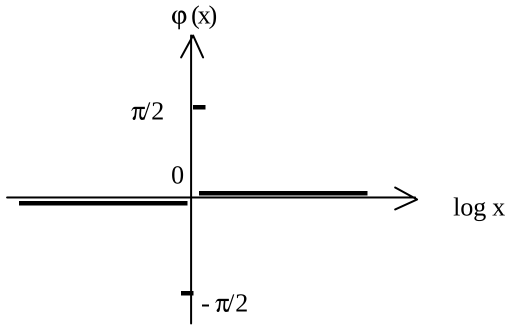


Exercice 15.

1) $\underline{H}(jx) = \dfrac{1+(jx)^2}{1+4(1-\alpha)\,jx+(jx)^2}$. 2) stable si $\alpha < 1$.

3)





filtre coupe-bande ou réjecteur.