

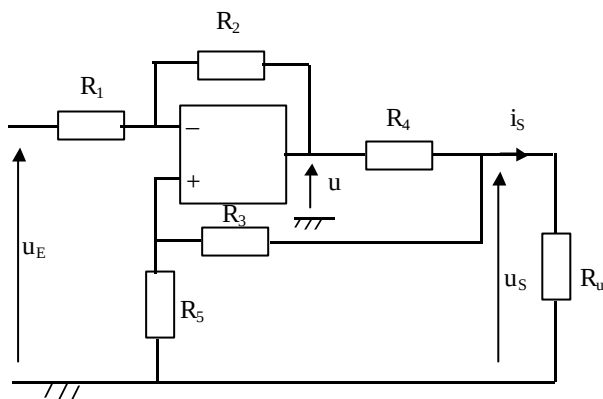
SERIE D'EXERCICES N° 8 : ELECTRODINAMIQUE : AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL EN REGIME LINEAIRE

Amplificateur opérationnel idéal, circuits avec un A.O.

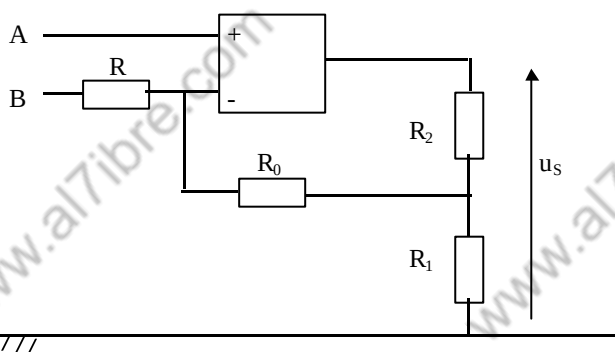
Exercice 1.

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 $R \rightarrow \infty$ 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 $R_1 \rightarrow \infty$.

3. Amplificateur de courant.

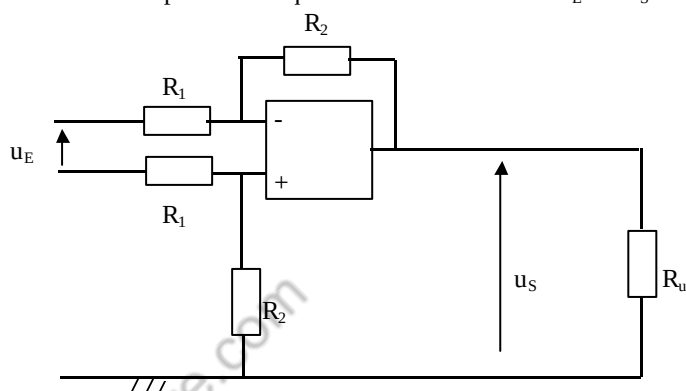
La borne A est maintenue à la masse, un générateur de courant parfait maintient un courant i_E dans R.

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.

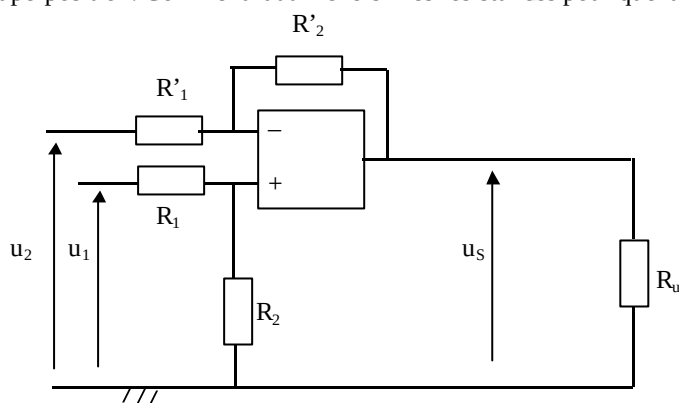
Le montage est celui de la figure avec $R_1 = 3,3 \text{ k}\Omega$ et $R_2 = 165 \text{ k}\Omega$.

Etablir littéralement puis numériquement la relation entre u_E et u_S .



Exercice 4.

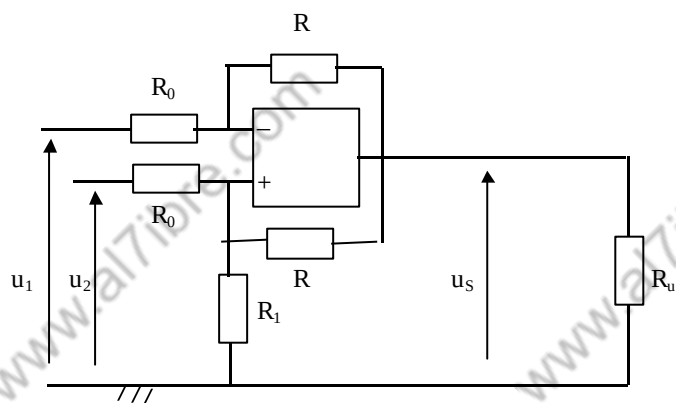
Le circuit soustracteur de la figure est alimenté par deux tensions u_1 et u_2 . Trouver la tension de sortie u_s en appliquant le théorème de superposition. Comment faut-il choisir les résistances pour que $u_s = u_1 - u_2$?



Exercice 5.

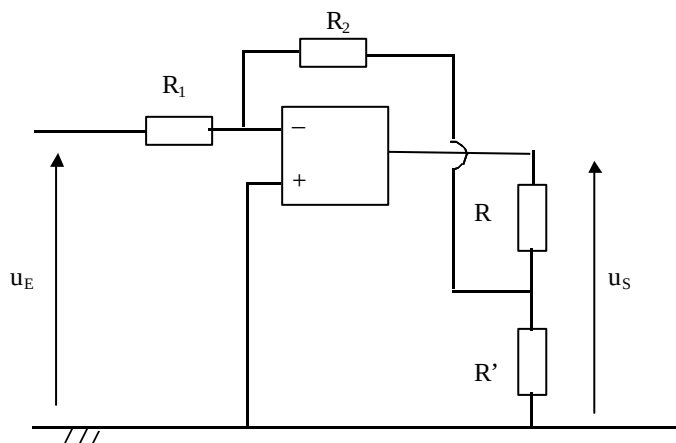
Le montage est celui de la figure. Montrer que l'intensité i du courant circulant dans la résistance R_1 a pour expression :

$$i = \frac{u_2 - u_1}{R_0}$$



Exercice 6.

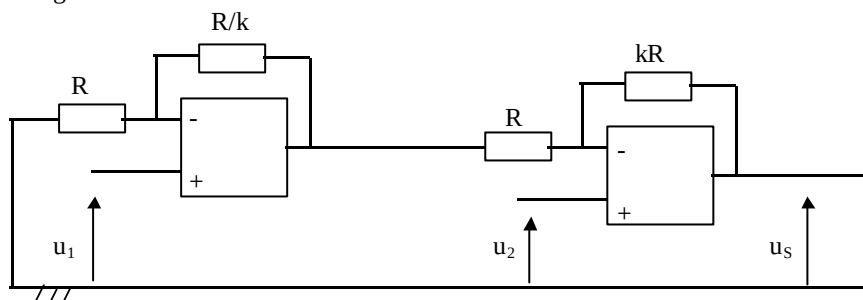
Calculer le gain u_s / u_E du montage de la figure. A.N. : $R_1 = 4,7 \text{ k}\Omega$; $R_2 = 47 \text{ k}\Omega$; $R = 10 \text{ k}\Omega$; $R' = 1 \text{ k}\Omega$. Comparer au gain du montage inverseur classique.



Amplificateur opérationnel idéal, circuits avec plusieurs A.O.

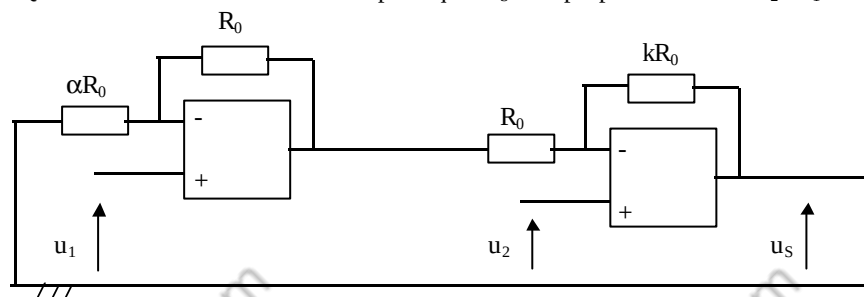
Exercice 7.

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 $u_2 - u_1$?



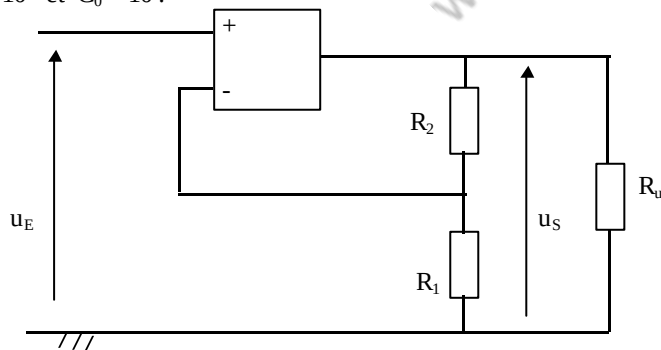
Amplificateur opérationnel réel.

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 $\left| \frac{G - G_0}{G_0} \right|$ 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 $G_0 = 10$.

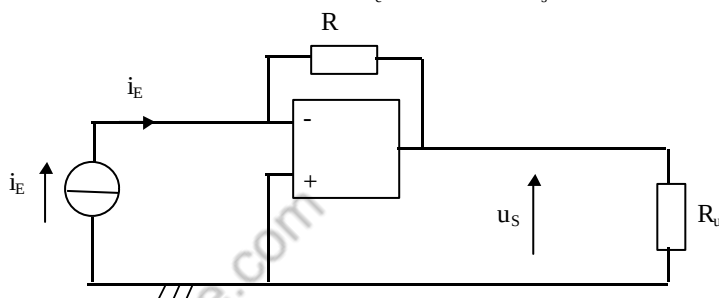


Exercice 10.

Le montage de la figure est un convertisseur courant-tension.

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

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



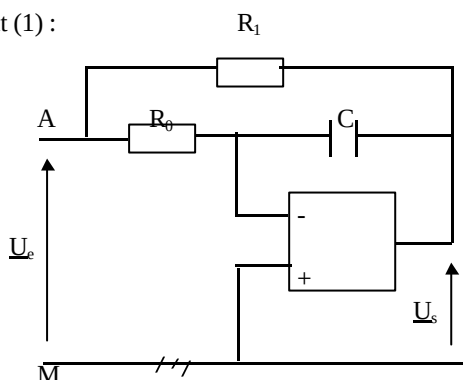
Transfert en régime linéaire.

Exercice 11.

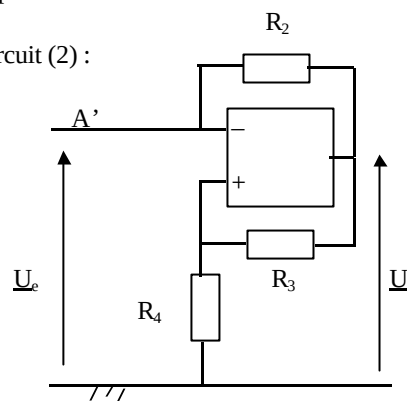
On considère le circuit (1) ci-dessous en régime sinusoïdal forcé. On suppose l'amplificateur idéal et fonctionnant en régime linéaire.

1. Etablir l'expression de la fonction de transfert $\underline{H}(j\omega) = \frac{\underline{U}_s}{\underline{U}_e}$ 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) :



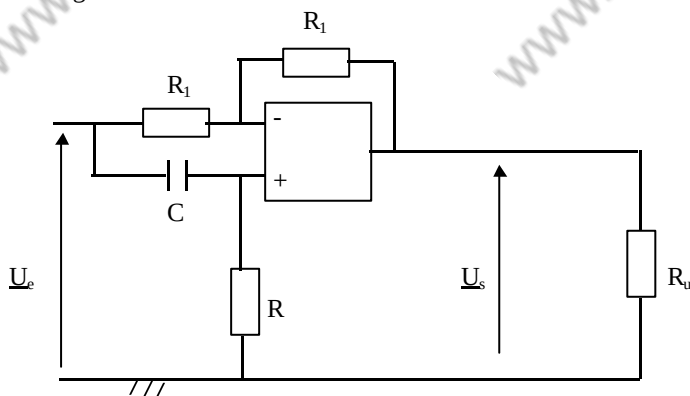
circuit (2) :



Filtres actifs.

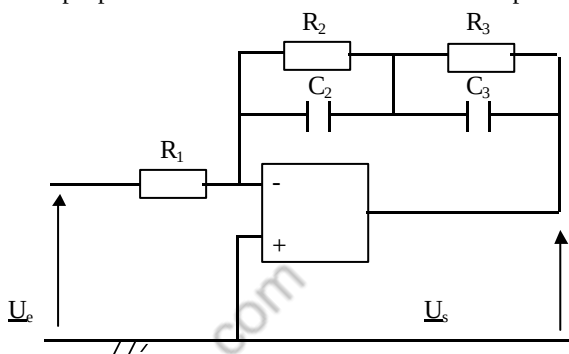
Exercice 12.

1. Calculer la fonction de transfert $\underline{H}(j\omega) = \frac{\underline{U}_s}{\underline{U}_e}$ 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.



Exercice 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 $\underline{H}(j\omega) = \frac{\underline{U}_s}{\underline{U}_e}$ du circuit.

Montrer qu'elle peut se mettre sous la forme : $\underline{H}(j\omega) = H_0 \frac{1 + j\frac{\omega}{\omega_1}}{(1 + j\frac{\omega}{\omega_2})(1 + j\frac{\omega}{\omega_3})}$, et donner les expressions de H_0 , ω_1 , ω_2 et ω_3 .

2. On donne $R_1 = 1,04 \text{ k}\Omega$; $C_2 = 330 \text{ nF}$; $C_3 = 100 \text{ nF}$; quelles sont les valeurs à donner à R_2 et R_3 pour que :

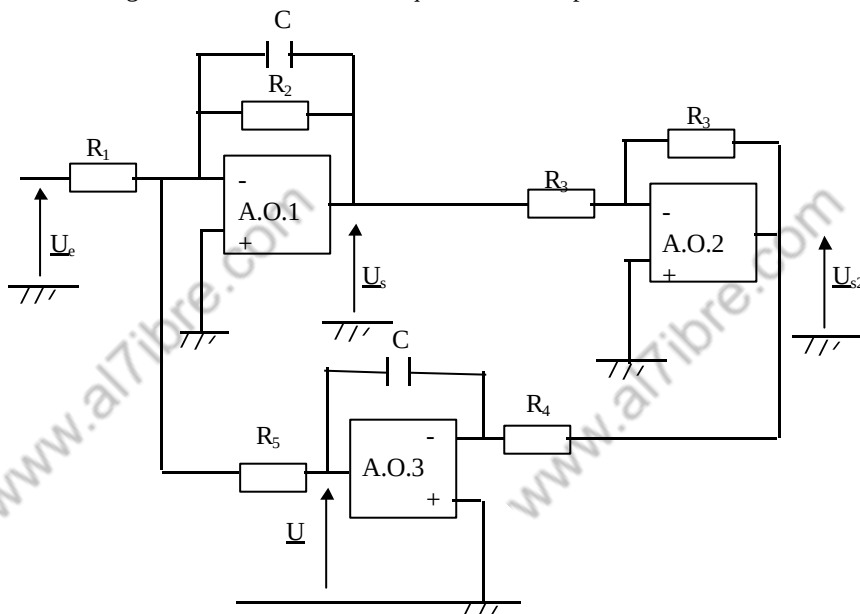
$f_2 = \omega_2/2\pi = 50 \text{ Hz}$; $f_3 = \omega_3/2\pi = 2000 \text{ Hz}$? Calculer numériquement $f' = \omega'/2\pi$.

3. Tracer $G(\text{dB}) = 20 \log(|\underline{H}|)$ 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.

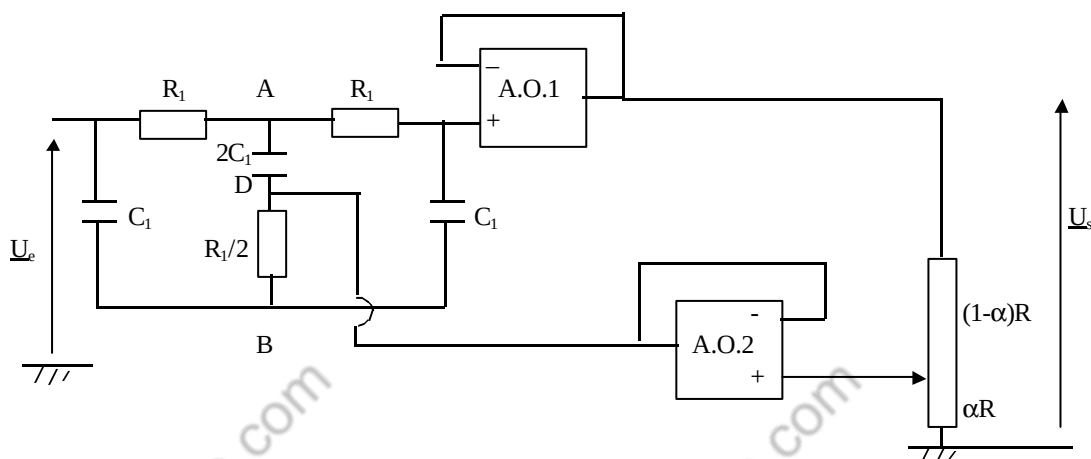
1. Etablir la relation entre $\underline{U}_e$, $\underline{U}_s$, $\underline{U}$.
2. Exprimer $\underline{U}$ en fonction de $\underline{U}_{s2}$, puis en fonction de $\underline{U}_s$.
3. Montrer que la fonction de transfert de ce filtre se met sous la forme $\underline{H}(j\omega) = \frac{H_0}{1 + j(\frac{\omega}{\omega_1} - \frac{\omega_2}{\omega})}$, 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 $\underline{H}(jx) = \frac{\underline{U}_s}{\underline{U}_e}$ où x est la pulsation réduite $x = \omega/\omega_1$ avec $\omega_1 = \frac{1}{R_1 C_1}$.
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.

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

Exercice 2.

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

Exercice 3.

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

Exercice 4.

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

Exercice 6.

$$1) \frac{u_S}{u_E} = - \frac{R R' + R_2 R' + R R_2}{R' R_1} = - 112 \quad . 2) \text{Inverseur classique pour } R = 0 .$$

Exercice 7.

$$A = (1 + k) .$$

Exercice 8.

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

Exercice 9.

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

Exercice 10.

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

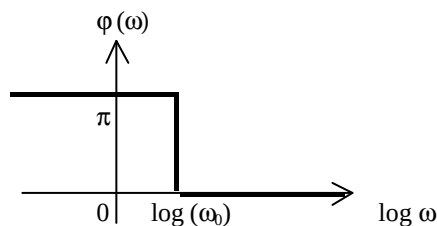
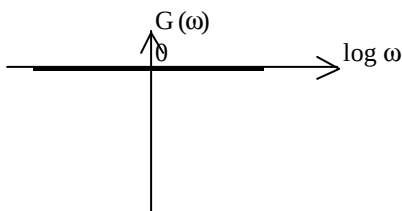
Exercice 11.

$$1) H(j\omega) = - \frac{1}{j R_0 C \omega} \quad . 2) Y_e = \frac{R_0 + R_1}{R_0 R_1} + \frac{1}{j R_0 R_1 C \omega} ; \text{il s'agit de } (R_0 // R_1) // L = R_0 R_1 C \quad . 3.a) Y_e = - \frac{R_3}{R_2 R_4}$$

$$3.b) \text{ si } R_0 + R_1 = \frac{R_0 R_1 R_3}{R_2 R_4} \text{ (self virtuelle).}$$

Exercice 12.

$$1) H(j\omega) = - \frac{1 - j R C \omega}{1 + j R C \omega} \quad . 2) G(\omega) = 0 \text{ et } \varphi(\omega) = \pi - 2 \text{ Arctan}(RC\omega) .$$



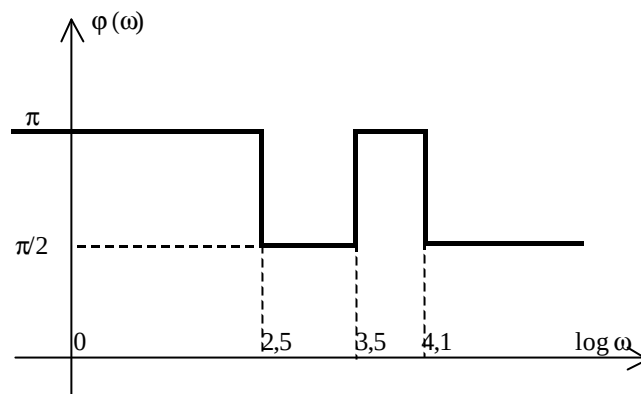
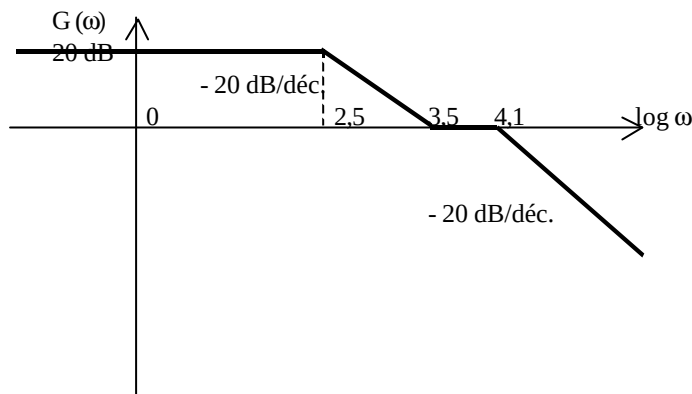
déphaseur pur (passe-tout déphaseur).

Exercice 13.

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

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

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

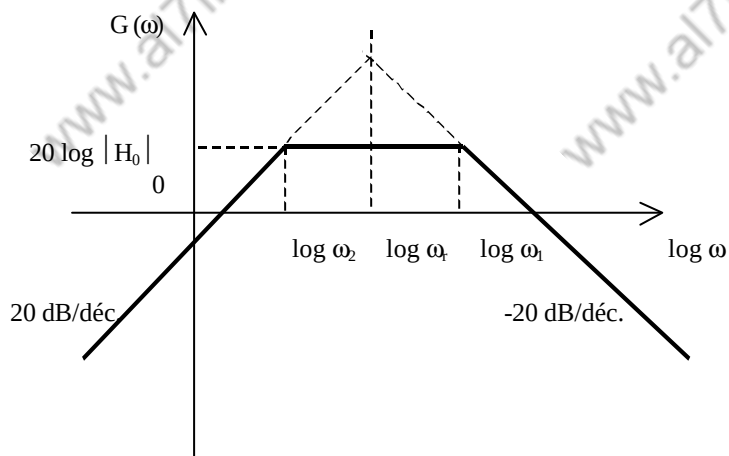


$$G(\omega') = 2,64 ; G(\omega_2) = 17,0 ; G(\omega_3) = -2,75 ; G(\sqrt{\omega' \omega_2}) = 9,75 ; G(\sqrt{\omega' \omega_3}) \approx 0 .$$

Exercice 14.

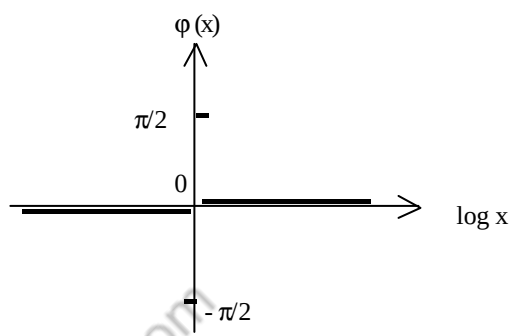
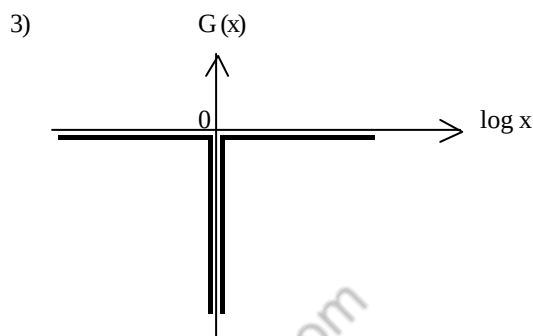
$$1) R_2 R_5 \underline{U}_e + R_1 R_2 \underline{U} + R_1 R_5 (1 + j R_2 C \omega) \underline{U}_s = 0 . 2) \underline{U} = - \frac{1}{j R_4 C \omega} \underline{U}_{s2} \text{ et } \underline{U} = \frac{1}{j R_4 C \omega} \underline{U}_s . 3) H_0 = - \frac{R_2}{R_1} ; \omega_1 = \frac{1}{R_2 C}$$

$$\omega_2 = \frac{R_2}{R_4 R_5 C} . 4) \omega_t = \sqrt{\omega_1 \omega_2} \text{ et } H_{\max} = \frac{R_2}{R_1} .$$



Exercice 15.

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



filtre coupe-bande ou réjecteur.