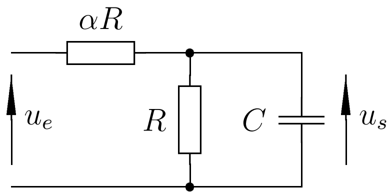
TRAVAUX DIRIGÉS EC_7

Exercice 1 : Filtre électrique du premier ordre ⋆

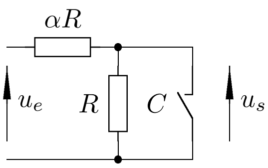
Soit le circuit représenté ci-contre et pour lequel u_e est une tension sinusoïdale de pulsation ω et u_s la tension de sortie.

α peut varier entre 1 et 10, $R = 1$ kΩ et $C = 2$ µF.

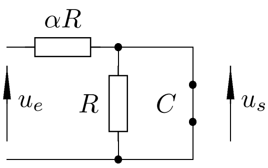


1. De quel type de filtre s'agit-il ?
2. Déterminer la fonction de transfert $\underline{H}$ de ce filtre et la mettre sous la forme $\underline{H} = \frac{G_0}{1+j\frac{\omega}{\omega_0}}$. Préciser la signification de G_0 et ω_0.
3. Tracer le diagramme de Bode en amplitude pour $\alpha = 1$ puis $\alpha = 10$ sur la même figure.
4. Calculer l'impédance d'entrée $\underline{Z}_e$ de ce filtre.

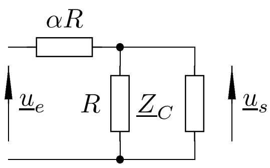
1. Pour déterminer la nature du filtre, on trace le circuit équivalent en basses fréquences et en hautes fréquences (figures ci-dessous à gauche).

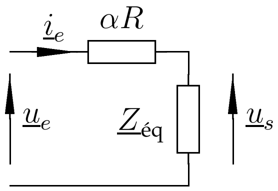


En basses fréquences



En hautes fréquences





   - En BF, le condensateur se comporte comme un interrupteur ouvert, on reconnaît un pont diviseur de tension et $u_s = \frac{R}{\alpha R+R} u_e$ d'où un gain en tension $G = \frac{u_s}{u_e} = \frac{1}{1+\alpha} < 1$.
   - En HF, le condensateur se comporte comme un interrupteur fermé, $u_s = 0$ et $G = 0$.

   On a donc affaire à un filtre passe bas du premier ordre.

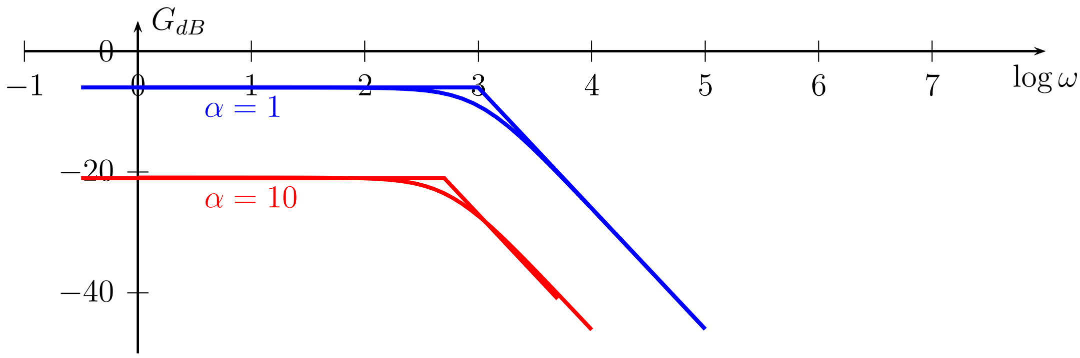
2. En régime sinusoïdal forcé, on trace le circuit en utilisant la notion d'impédance (figures ci-dessus à droite).

   On peut se ramener à un pont diviseur de tension en associant en parallèle R et $\underline{Z}_C$ d'impédance équivalent $\underline{Z}_{éq} = \frac{1}{\underline{Y}_{éq}}$ avec $\underline{Y}_{éq} = \frac{1}{R} + jC\omega$ et on a alors :

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{\underline{u}_s}{\underline{u}_e} = \frac{\underline{Z}_{éq}}{\underline{Z}_{éq} + \alpha R} = \frac{1}{1 + \alpha R \underline{Y}_{éq}} = \frac{1}{1 + \alpha + j\alpha RC\omega} = \frac{1}{(1+\alpha)(1 + j\frac{\alpha RC}{1+\alpha}\omega)}$$

   et par identification avec la forme $\frac{G_0}{1+j\frac{\omega}{\omega_0}}$, on en déduit $G_0 = \frac{1}{1+\alpha}$ le gain statique et $\omega_0 = \frac{1+\alpha}{\alpha RC}$ la pulsation de coupure du filtre.

3. Diagramme de Bode en amplitude :
   - Pour $\alpha = 1$, on a $G \simeq G_0 = \frac{1}{2}$ d'où $G_{dB,0} = 20 \log G_0 \simeq -6{,}0$ dB pour $\omega \ll \omega_0 = \frac{2}{RC} = 10^3$ rad.s^{-1} soit $\log \omega_0 = 3{,}0$ puis G_dB décroît avec une pente de -20 dB / décade.
   - Pour $\alpha = 10$, $G \simeq G_0 = \frac{1}{11}$ d'où $G_{dB,0} = 20 \log G_0 \simeq -21$ dB pour $\omega \ll \omega_0 = \frac{11}{10RC} = 550$ rad.s^{-1} soit $\log \omega_0 \simeq 2{,}7$ puis G_dB décroît avec une pente de -20 dB / décade.

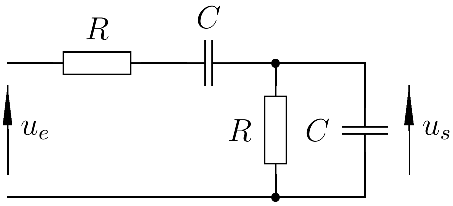


4. Comme le filtre est en sortie ouverte,

$$\underline{Z}_e = \frac{\underline{u}_e}{\underline{i}_e} = \frac{\alpha R\underline{i}_e + \underline{Z}_{\text{éq}}.\underline{i}_e}{\underline{i}_e} = \alpha R + \underline{Z}_{\text{éq}} = \alpha R + \frac{R\underline{Z}_C}{\underline{Z}_C + R} = \alpha R + \frac{R}{1 + R\underline{Y}_C} = \alpha R + \frac{R}{1 + jRC\omega}$$

Exercice 2 : Filtre de Wien ⋆⋆

1. Quelle est la nature du filtre de WIEN représenté ci-contre ?
2. Établir sa fonction de transfert $\underline{H}(j\omega)$ et la mettre sous la forme



$$\underline{H}(j\omega) = \frac{K}{1 + jQ(x - \frac{1}{x})}$$

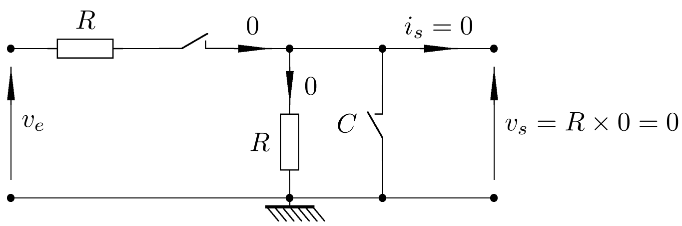
avec $x = \frac{\omega}{\omega_0}$ où K, ω_0 et Q sont des constantes positives que l'on explicitera et dont on donnera la signification physique.

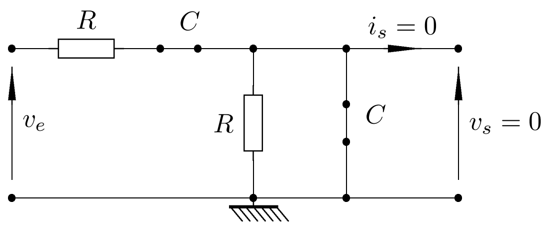
3. Calculer la valeur maximale du gain en dB de ce filtre et la phase correspondante.

Quelle est sa bande passante $\Delta\omega$?

4. Tracer l'allure du diagramme de BODE de ce filtre.

1. Nature du filtre : étudions le comportement du filtre en basses fréquences BF (figure ci dessous à gauche) et en hautes fréquences HF (figure au centre). En BF, le condensateur se comporte comme un interrupteur ouvert alors qu'en HF, il est équivalent à un interrupteur fermé.

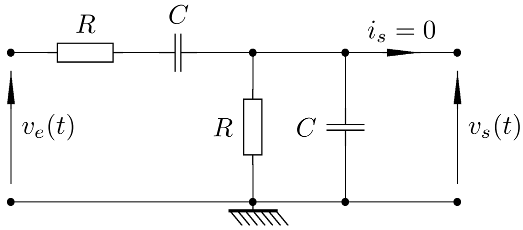


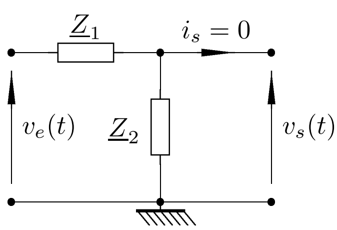


Dans les deux cas, $v_s = 0$, on a donc affaire à un circuit passe bande (du second ordre).

2. En posant $\underline{Z}_1$ l'impédance du dipôle équivalent à l'association en série de R et C et $\underline{Z}_2$ celle de l'association en parallèle, on reconnaît un pont diviseur de tension pour lequel

$$\underline{H} = \frac{\underline{v}_s}{\underline{v}_e} = \frac{\underline{Z}_2}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2} = \frac{1}{\underline{Z}_1.\underline{Y}_2 + 1}$$





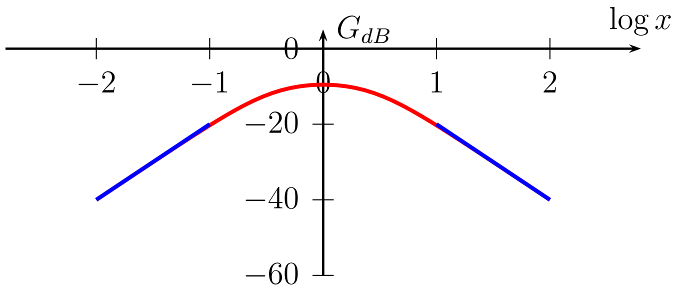
avec $\underline{Z}_1 = R+\frac{1}{jC\omega}$ et $\underline{Y}_2 = \frac{1}{R}+jC\omega$, d'où $\underline{Z}_1.\underline{Y}_2 = (R+\frac{1}{jC\omega}).(\frac{1}{R}+jC\omega) = 1+jRC\omega+\frac{1}{jRC\omega}+1$.

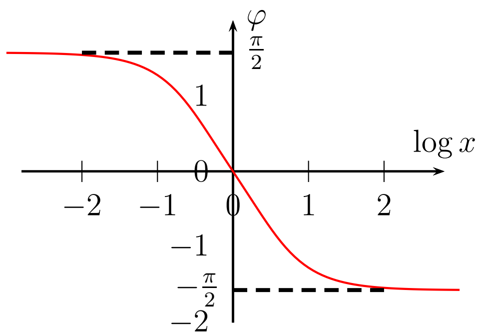
$$\underline{H} = \frac{1}{3+jRC\omega+\frac{1}{jRC\omega}} = \frac{1}{3[1+\frac{1}{3}jRC\omega+\frac{1}{3jRC\omega}]} = \frac{1/3}{1+\frac{j}{3}\left[RC\omega-\frac{1}{RC\omega}\right]} = \frac{K}{1+jQ\left[x-\frac{1}{x}\right]}$$

avec $\omega_0 = \frac{1}{RC}$ la pulsation de résonance, $x = \frac{\omega}{\omega_0} = RC\omega$ la pulsation réduite ; $Q = \frac{1}{3}$ le facteur de qualité et $K = \frac{1}{3}$ le gain maximum (à la résonance).

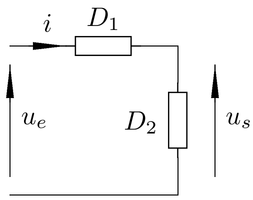
3. En $x = 1$, $\underline{H} = K$. Par définition, le gain en décibel est $G_{dB} = 20\log(|\underline{H}(x)|)$ et quand $x = 1$, $G_{dB} = G_{dB}(\max) = 20\log \mathrm{K} = 20\log\frac{1}{3} \simeq -9{,}54$ dB et $\varphi = 0$.
   La bande passante est $\Delta\omega = \frac{\omega_0}{Q} = \frac{3}{RC}$.
4. Pour tracer les diagrammes de Bode, on commence par le tracé asymptotique puis on complète par la valeur en $x = 1$ (déjà connue)
   - En basses fréquences, $x \ll 1$ et $\underline{H} \simeq \frac{K}{-jQ/x} = jx\frac{K}{Q} = jx \Rightarrow G_{dB} \simeq 20\log x$ (pente de $+20$ dB/décade) et $\varphi \simeq \frac{\pi}{2}$.
   - En hautes fréquences, $x \gg 1$ et $\underline{H}\frac{K}{jQx} = -j/x \Rightarrow G_{dB} \simeq -20\log x$ (pente de -20 dB/décade) et $\varphi \simeq -\frac{\pi}{2}$.

   On en déduit les tracés suivants :





Exercice 3 : Identification d'un quadripôle

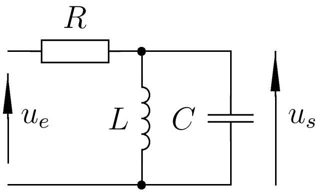


Un dipôle est constitué d'une résistance, d'une inductance et d'une capacité. Ces trois composants sont répartis de manière inconnue entre D_1 et D_2.
Si on alimente le circuit avec une tension continue $E = 15$ V, on mesure $i = 15$ mA. Si on alimente le circuit avec une tension sinusoïdale, on s'aperçoit qu'il s'agit d'un filtre passe-bande de fréquence de résonance $f_0 = 1{,}16$ kHz et de bande passante à -3 dB de $0{,}34$ kHz.
Déterminer la structure complète du circuit et les valeurs numériques de R, L et C.

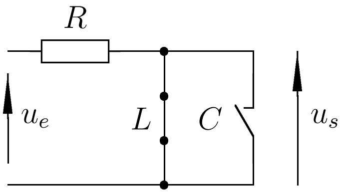
Reprenons les hypothèses de l'énoncé :

- En régime permanent $i = 15$ mA alors qu'un condensateur est équivalent à un interrupteur ouvert en régime continu. On en déduit que ni D_1 ni D_2 ne peut être constitué d'un condensateur seul, c'est à dire que C n'est pas sur la branche principale mais en dérivation avec R ou L dans D_1 ou D_2.
- Le filtre constitué est un passe bande, ce qui signifie que la tension aux bornes de D_2 doit s'annuler en basses fréquences et hautes fréquences. D_2 doit donc équivalent à un interrupteur fermé en hautes fréquences et en basses fréquences, il ne peut s'agir ni de R seule ni de R en parallèle avec C ni de L seul.

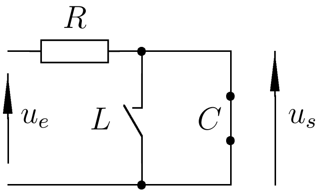
Le seul circuit possible est donc celui représenté ci-dessous à gauche.



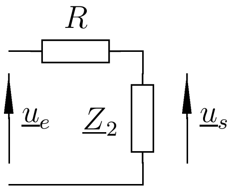
Filtre



Basses Fréquences



Hautes Fréquences



Filtre en RSF

On vérifie le comportement asymptotique.
Pour déterminer la valeur de R, on applique la loi de Pouillet au circuit en régime continu :

$$i = \frac{E}{R} \Rightarrow R = \frac{E}{i} = \frac{15}{15.10^{-3}} = 1000\ \Omega$$

On exprime ensuite la fréquence de résonance et la bande passante en fonction de R, L et C.
Pour cela, il faut déterminer ω_0 et Q la pulsation de résonance et le facteur de qualité du filtre.
On calcule donc la fonction de transfert $\underline{H}$ du filtre puis on identifie avec une forme canonique.
Sur la figure ci-dessus à droite, on reconnaît un pont diviseur de tension pour lequel $\underline{Y}_2 = \frac{1}{\underline{Z}_2} = \frac{1}{jL\omega} + jC\omega$ et

$$\underline{u}_s = \frac{\underline{Z}_2}{R + \underline{Z}_2}\underline{u}_e = \frac{1}{R.\underline{Y}_2 + 1}\underline{u}_e \Rightarrow \underline{H} = \frac{1}{1 + \frac{R}{jL\omega} + jRC\omega} = \frac{1}{1 + jQ(x - \frac{1}{x})} = \frac{1}{1 + jQ(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega})}$$

avec par identification $\frac{Q}{\omega_0} = RC \Rightarrow Q = RC\omega_0$ et $Q\omega_0 = \frac{R}{L}$ d'où $RC\omega_0^2 = \frac{R}{L} \Rightarrow \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ et $Q = RC\omega_0 = R\sqrt{\frac{C}{L}}$.
Pour un filtre passe bande, $\Delta\omega = \frac{\omega_0}{Q}$ et ici, on en déduit

$$\Delta\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}\frac{\sqrt{L}}{R\sqrt{C}} = \frac{1}{RC} \Rightarrow C = \frac{1}{R.\Delta\omega} = \frac{1}{2\pi\Delta f} \simeq 468\text{ nF puis } \omega_0^2 = \frac{1}{LC} \Rightarrow L = \frac{1}{4\pi^2 f_0^2 C} \simeq 40\text{ mH}$$

Exercice 4 : TNT vs 4G ⋆⋆

La transmission de la TNT se fait via des ondes électromagnétiques contenues dans ce que l'on appelle la bande UHF (Ultra Haute Fréquence). Cette bande est la bande de fréquences contenue entre 300 Mhz et 3000 Mhz. Les chaines TV sont émises sur plusieurs canaux (ou bande de fréquences) numérotés de 21 à 69. La figure 1 précise la fréquence de chaque canal (en fait pour chaque canal il y deux fréquences : une pour le son et une pour l'image).

Depuis Décembre 2011, les canaux de 61 à 69 ne sont plus alloués à la télévision mais à la téléphonie, plus précisément au réseau 4G. Dès lors, plusieurs utilisateurs se sont plaints de ne plus recevoir correctement la TNT. En effet, les filtres des décodeurs TNT ne sont pas suffisamment sélectifs et laissent passer les signaux présents sur les canaux au-delà du 61^{ieme}. Pour palier à ce problème, il est recommander d'installer un filtre rejecteur de 4G entre l'antenne réceptrice et le décodeur TNT.

1. De quel type est le filtre rejecteur de 4G ?
2. On souhaite atténuer d'un facteur 10 l'amplitude du signal présent sur le canal 61. Tracer l'allure du diagramme de Bode en amplitude de ce filtre.
3. Quel doit être l'ordre minimal du filtre ? Commentez.

Canal	Vidéo (MHz)	Audio (MHz)	Canal	Vidéo (MHz)	Audio (MHz)	Canal	Vidéo (MHz)	Audio (MHz)
21	471,25	477,75	38	607,25	613,75	55	743,25	749,75
22	479,25	485,75	39	615,25	621,75	56	751,25	757,75
23	487,25	493,75	40	623,25	629,75	57	759,25	765,75
24	495,25	501,75	41	631,25	637,75	58	767,25	773,75
25	503,25	509,75	42	639,25	645,75	59	775,25	781,75
26	511,25	517,75	43	647,25	653,75	60	783,25	789,75
27	519,25	525,75	44	655,25	661,75	61	791,25	797,75
28	527,25	533,75	45	663,25	669,75	62	799,25	805,75
29	535,25	541,75	46	671,25	677,75	63	807,25	813,75
30	543,25	549,75	47	679,25	685,75	64	815,25	821,75
31	551,25	557,75	48	687,25	693,75	65	823,25	829,75
32	559,25	565,75	49	695,25	701,75	66	831,25	837,75
33	567,25	573,75	50	703,25	709,75	67	839,25	845,75
34	575,25	581,75	51	711,25	717,75	68	847,25	853,75
35	583,25	589,75	52	719,25	725,75	69	855,25	861,75
36	591,25	597,75	53	727,25	733,75			
37	599,25	605,75	54	735,25	741,75			

FIGURE 1 – Liste des canaux UHF. Ces fréquences peuvent varier de $+\,0.498$ Mhz selon les besoins des diffuseurs (notamment afin d'éviter les brouillages).

1. Passe-bas
2. diagramme de Bode d'un passe bas...
3. Ordre 5 : c'est compliqué donc ce filtre coute cher (10 euros).

Exercice 5 : Filtrage d'un signal sonore

Attention à détailler les raisonnements, cet exercice a été donné en DS et un plus grand nombre de points était donné pour le raisonnement que pour le résultat. Ainsi, un résultat non justifié ne rapporte que très peu de points.

Pour analyser les composantes fréquentielles d'un signal sonore (analyse des phonèmes du langage par exemple), on utilise un transducteur (microphone) qui convertit le signal en une tension v_e puis un filtre passe-bande qui extrait les composantes sinusoïdales de v_e de fréquences voisines d'une fréquence f_0 donnée.

On note v_s la tension de sortie du filtre. Le filtre est un circuit linéaire dont la fonction de transfert s'écrit :

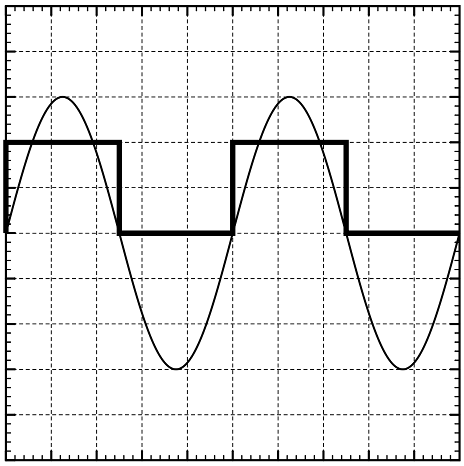
$$\underline{F}(j\omega) = \frac{\underline{v_s}}{\underline{v_e}} = \frac{F_0}{1 + jQ\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)}$$

On se propose de déterminer les caractéristiques F_0, Q et ω_0 du filtre à partir des oscillogrammes obtenus en régime périodique pour une tension d'entrée v_e rectangulaire pour deux valeurs de fréquences.
On rappelle la décomposition en série de Fourier de $v_e(t)$ dans le cas où $v_e(t)$ est périodique de période T avec :

- pour $0 \leq t \leq T/2$, $v_e(t) = V_0$,
- pour $T/2 \leq t \leq T$, $v_e(t) = 0$,

$$v_e(t) = V_0\left(\frac{1}{2} + \frac{2}{\pi}\sum_{k=0}^{\infty}\frac{1}{(2k+1)}\sin[(2k+1)\omega_1 t]\right) \qquad \text{avec} \qquad \omega_1 = \frac{2\pi}{T}$$

Première expérience :

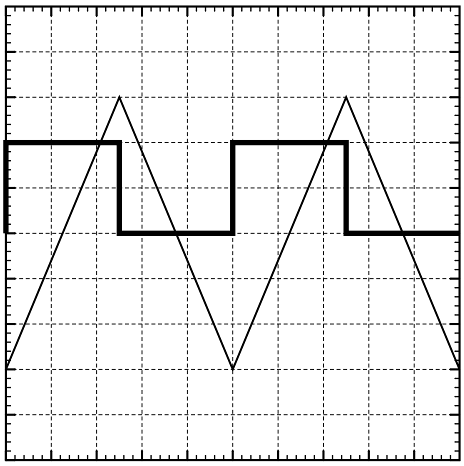


- voies 1 et 2 en position DC,
- base de temps : 50 μs par carreau,
- sensibilités : voie 1 (en gras) : $0{,}5$ V par carreau, voie 2 : 2 V par carreau,

Dans cette expérience :

- la tension v_s obtenue est quasi-sinusoïdale,
- si on augmente la fréquence de v_e par rapport à la valeur correspondant à cet oscillogramme, on constate que l'amplitude de v_s diminue,
- si, par rapport à cette même fréquence, on diminue légèrement la fréquence de v_e, on constate que l'amplitude de v_s diminue également.

Deuxième expérience :



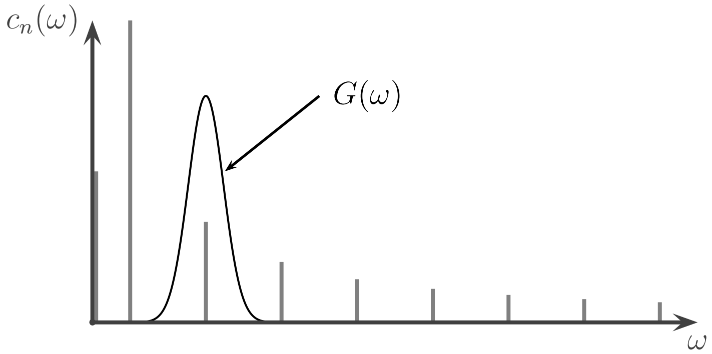
- voies 1 et 2 en position DC,
- base de temps : 5 μs par carreau,
- sensibilités : voie 1 (en gras) : 2 V par carreau, voie 2 : $0{,}2$ V par carreau.

Dans ce qui suit, on ne demande pas de calculs d'incertitudes mais les mesures devront être faites avec soin (tous les résultats devront être obtenus avec une incertitude relative inférieure à 10%).

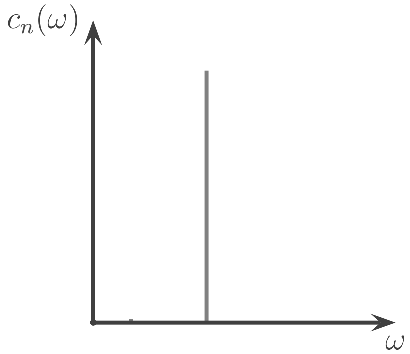
1. Pourquoi, dans chaque expérience, la tension de sortie v_s ne comporte-t-elle pas de composante continue contrairement à la tension d'entrée v_e ?
2. Première expérience : pourquoi peut-on obtenir une tension de sortie v_s quasi-sinusoïdale alors que la tension v_e est rectangulaire ?
3. Déduire de l'oscillogramme de la première expérience et du commentaire qui l'accompagne :
   (a) la pulsation ω_0,
   (b) la valeur de F_0.
4. Dans la deuxième expérience, v_s est triangulaire alors que v_e est rectangulaire. Le filtre a un comportement intégrateur.
   (a) Donner l'expression approchée de $\underline{F}(j\omega)$ dans le domaine de fréquence correspondant à la deuxième expérience.
   (b) En utilisant l'oscillogramme de la deuxième expérience, déterminer, en justifiant précisément la méthode utilisée, le rapport $\frac{F_0\omega_0}{Q}$ (on se souviendra, cf. question 1., que la composante continue de v_e n'est pas intégrée). En déduire la valeur de Q.

Ce problème est tombé aux concours. Il est très intéressant et permet de voir si vous avez compris le filtrage. Il est important de comprendre que pour chaque fréquence $\underline{v}_s(\omega) = \underline{F}(j\omega)\underline{v}_e(\omega)$.

1. Compte tenu de la fonction de transfert, le filtre est un passe-bande ($\lim_{\omega\to 0} \underline{F}(j\omega) = 0 = \lim_{\omega\to\infty} \underline{F}(j\omega)$). La composante continue correspondant à $\omega = 0$, la fonction de transfert s'annule et la composante continue du signal de sortie vaut $F(j0) \times \frac{V_0}{2} = 0$.
2. Le filtre étant passe bande, s'il est très sélectif il est possible d'isoler une seule composante du spectre de v_e par rapport aux autres qui seront fortement atténuées. On peut le voir par exemple ci-dessous avec un filtre passe-bande de gain $G(\omega)$ et un spectre d'entrée d'un signal non sinusoïdal.



Spectre du signal d'entrée et gain du filtre



Spectre du signal de sortie

3. Les deux signaux étant de même fréquence, le filtre passe-bande sélectionne le fondamental de v_e. Le commentaire accompagnant l'oscillogramme nous indique que l'on est pile à la fréquence de résonance puisque si l'on augmente ou diminue la fréquence du signal d'entrée, l'amplitude de celui de sortie diminue dans tout les cas. De plus le filtre sélectionne bien la fréquence fondamental du signal car le signal de sortie est à la même fréquence que le signal d'entrée (si on avait sélectionné un harmonique, on aurait été à une fréquence plus élevée).
   La période du signal est de 5 carreaux, soit $T = 250\,\mu$s.
   (a) On en déduit puisque $\omega_0 = \omega = \frac{2\pi}{T}$ que $\omega_0 = 25 \times 10^3$ rad/s.

   Il était indispensable de justifier que $\omega = \omega_0$ ***dans la première expérience, sinon, il n'y a aucune raison pour que la mesure de*** ω ***vous donne une information sur*** ω_0.

   (b) Pour cela, il faut trouver l'amplitude du fondamental, soit en utilisant la décomposition donnée $c_1(v_e) = V_0 \times \frac{2}{\pi}$ (correspondant à $k = 0$ dans la somme). Ici, $V_0 = 1$ V (2 carreaux à 1 V/div). Puis l'amplitude du signal de sortie est $c_1(v_s) = F(j\omega_0) \times c_1(v_e) = F_0 \times c_1(v_e)$. On lit sur le graphique l'amplitude du signal de sortie est de 3 carreaux soit 6 V.
   Soit $\boxed{F_0 = \frac{c_1(v_s)}{c_1(v_e)} = \frac{6}{\frac{2}{\pi}} = 9{,}4}$.

   $\underline{F(j\omega)}$ ***est le rapport entre les amplitudes à*** ω***. Ici, il ne faut donc pas prendre directement les amplitudes des signaux qui mélangent plusieurs pulsations, mais l'amplitude à une seule fréquence,*** ω_0***. De plus*** F_0 ***est sans dimension et sans unité.***

4. (a) Le temps par division est plus petit que dans la première expérience, on a donc $\omega > \omega_0$. De plus, le comportement est intégrateur, ce qui revient à faire $\times\frac{1}{j\omega}$, ce qui est cohérent avec $\omega \gg \omega_0$ compte tenu de la fonction de transfert.

   On a donc $\boxed{\underline{F}(j\omega) \simeq \dfrac{\omega_0 F_0}{jQ\omega}}$

   (b) On a donc $v_s = \dfrac{\omega_0 F_0}{Q}\displaystyle\int_0^t \left(v_e(t') - \frac{V_0}{2}\right)\mathrm{d}t'$. On soustrait la valeur moyenne puisque l'énoncé nous indique qu'elle n'est pas intégrée, conformément à ce qui a été vu plus tôt.

   Sur les deux premiers carreaux et demi, $v_e - \frac{V_0}{2} = Cst = 2\,\mathrm{V}$. D'où $v_s(t) = \frac{\omega_0 F_0}{Q} \times (Cst \times t - v_e(t=0))$

   La pente du triangle correspond donc à $\frac{\omega_0 F_0}{Q} \times Cst$. On mesure sur le graphique que l'on monte de 6 carreaux lorsque l'on avance de 2,5 carreaux, soit une pente de $p = 1{,}2/12{,}5 = 0{,}096\,\mathrm{V}/\mu\mathrm{s}$ ou encore $p = 96 \times 10^3\,\mathrm{V/s}$

   D'où $\boxed{r = \frac{\omega_0 F_0}{Q} = \frac{p}{Cst} = 96 \times 10^3\,\mathrm{rad/s}}$.

   On en déduit $Q = \frac{\omega_0 F_0 \times Cst}{r} = \frac{9{,}4\times25\times10^3}{96\times10^3}$ $\boxed{\Rightarrow Q = 4{,}9}$.

Exercice 6 : Tracé d'un diagramme de BODE ⋆⋆
Tracer les diagrammes de BODE asymptotiques de la fonction de transfert suivante :

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{(1 + j\frac{\omega}{10\omega_0})(1 + j\frac{\omega}{40\omega_0})}{(1 + j\frac{\omega}{\omega_0})(1 + j\frac{\omega}{100\omega_0})}$$

Tracer les diagrammes de Bode de $\underline{H}_1 = 1 + j\frac{\omega}{10\omega_0}$, $\underline{H}_2 = 1 + j\frac{\omega}{40\omega_0}$, $\underline{H}_3 = 1 + j\frac{\omega}{\omega_0}$ et $\underline{H}_4 = 1 + j\frac{\omega}{100\omega_0}$ puis tracer graphiquement $G_{dB} = G_{1,dB} + G_{2,dB} - G_{3,dB} - G_{4,dB}$ et $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 - \varphi_3 - \varphi_4$.

Exercice 7 : Bande passante ⋆⋆
On considère un filtre dont la fonction de transfert est $\underline{H} = \frac{H_0}{1+jx}$ avec $x = \frac{f}{f_0}$

1. Quelle est la nature de ce filtre ?
2. Quelle est sa bande passante Δf à -3 dB ?
3. Quelle est sa bande passante $\Delta' f$ à $-n$ dB ?

1. Filtre passe bas du premier ordre. 2. $\Delta f = f_0$ 3. $\Delta' f = f_0\sqrt{10^{n/10} - 1}$

Exercice 8 : Bande passante ordre 2 ⋆⋆
On considère un filtre dont la fonction de transfert est $\underline{H}(jx) = \frac{H_0\frac{jx}{Q}}{1+\frac{jx}{Q}+(jx)^2} = \frac{H_0}{1+jQ\left(x-\frac{1}{x}\right)}$

1. Quelle est la nature de ce filtre ?
2. Montrer que sa bande passante Δf à -3 dB est f_0/Q

à faire

Exercice 9 : Pente du diagramme de bode en fonction de l'ordre ⋆
Montrer que pour un filtre d'ordre n, les valeus absolue des pentes des asymptotes du diagramme de Bode en $\omega \to 0$ et $\omega \to +\infty$ sont d'au plus $20n$ dB/dec.

à faire