

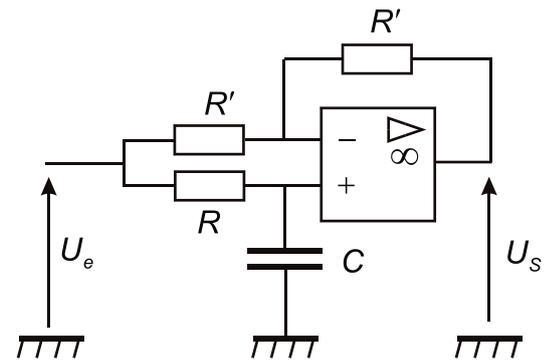
# Épreuve orale de Physique - Filière PSI

## Exemple commenté de planche

### Énoncé succinct :

Le montage proposé est le suivant :

1. La tension d'entrée  $U_e$  est délivrée par un générateur basse fréquence. Elle est sinusoïdale, son amplitude est de l'ordre de quelques volts et sa fréquence de quelques kHz. Proposer une analyse du fonctionnement du montage.
2. Le générateur basse fréquence est remplacé par une source qui délivre un échelon de tension d'amplitude  $E$ . Quelle est l'évolution de la tension de sortie du montage ? Étudier plus particulièrement le comportement du système à l'instant  $t = 0$ . Tracer sur un même graphe l'évolution de la tension de sortie et d'entrée du montage.
3. Si la tension d'entrée est un signal carré d'amplitude  $E$ , quelles sont les allures de la tension de sortie du montage en haute et basse fréquences ? Comparer les résultats obtenus par une analyse de Fourier et par l'analyse en régime transitoire faite à la question 2.



Nous proposons un dialogue plus ou moins imaginaire inspiré par de nombreuses situations réelles. Le candidat sera noté (C), l'examineur (E) et les commentaires seront précisés en italique et entre parenthèses.

Le candidat arrive au tableau, reproduit le schéma électrique de l'énoncé et s'adresse au jury.

(C) : « Il s'agit d'un exercice d'électronique consistant en l'étude d'un montage à amplificateur opérationnel. On peut dès maintenant reconnaître un montage du programme : un circuit passe-tout déphaseur. L'objectif de cet exercice consiste à faire le lien entre une étude fréquentielle et une étude indicielle. On va dans un premier temps déterminer la fonction de transfert du montage et construire son diagramme de Bode, puis on verra comment déduire l'équation différentielle reliant  $U_s$  et  $U_e$  pour exprimer la réponse à une tension d'entrée en échelon d'amplitude  $E$ .

Mais avant de déterminer la fonction de transfert de ce montage, on peut déjà prévoir son comportement en faisant une analyse asymptotique, en cherchant la tension de sortie aux basses fréquences et aux hautes fréquences, et ce, sans calculs ».

Le candidat redessine le montage aux basses fréquences, en précisant que dans ce cas, le condensateur est équivalent à un interrupteur ouvert, puis il fait de même aux hautes fréquences, en remplaçant le condensateur par un interrupteur fermé.

(C) : « Aux basses fréquences, on trouve donc.. »

Il écrit  $U_s = U_e$

(C) : « Aux hautes fréquences, on a : ... »

Il écrit  $U_s = -U_e$

(C) : « Les basses et hautes fréquences passent. Il ne peut s'agir d'un coupe-bande, puisqu'ici le déphasage vaut  $\pi$  quand la pulsation est très grande. Le comportement de ce quadripôle semble correspondre à celui d'un passe-tout déphaseur. »

Le jury souhaite insister sur trois points :

- La bonne impression qu'il a dès le début de l'épreuve quand le candidat expose brièvement l'exercice en précisant sa stratégie de résolution, les méthodes qu'il compte utiliser, et ses objectifs.
- Il est nécessaire de reproduire le schéma électrique d'un montage au tableau. Certains candidats omettent ce point en pensant gagner du temps ou bien tout simplement, considèrent cela inutile puisque l'examineur a ce montage sous les yeux sur son énoncé. La même remarque peut être faite pour les sujets d'Optique où le jury apprécie les tracés précis de rayons lumineux.
- Le jury est heureux de constater que certains candidats commencent par une analyse qualitative, donnent quand cela s'y prête des ordres de grandeurs, et repoussent le plus loin possible le calcul mathématique.

On pourra comparer la présentation précédente avec celle d'un autre candidat qui arriverait au tableau et commençant directement l'épreuve, sans avoir fait le moindre dessin, par « J'applique Millman en A ! ».

Le candidat continue :

(C) : « Pour déterminer la fonction de transfert, j'applique le théorème de Millman à l'entrée inverseuse »

Et il écrit...

« Puis à l'entrée non inverseuse »... Il écrit le résultat.

(C) : « L'amplificateur opérationnel étant parfait on a  $V_+ = V_-$  ce qui donne la relation suivante d'où l'on tire la fonction de transfert. Je pose  $\omega_0 = 1/RC$  et on obtient : ... »

Il écrit et encadre le résultat.

(E) : « Vous m'avez dit que l'amplificateur opérationnel (noté A.O. dans la suite) étant parfait,  $V_+ = V_-$ , pouvez vous préciser ? Notamment, comment définissez vous un A.O. parfait ? »

(C) : « Pour un A.O. parfait, les courants d'entrée sont nuls et  $V_+ = V_-$ . »

(E) : (insistant) « On a toujours (l'examineur appuie sur ce mot)  $V_+ = V_-$  pour un A.O. parfait ? Dans tous les montages avec des A.O. parfaits que vous connaissez, on a toujours  $V_+ = V_-$  ? »

(C) : « Euh, oui... »

(E) : « Si je vous comprends bien, un A.O. parfait fonctionne nécessairement (insistant vraiment sur ce mot encore) en régime linéaire ? »

(C) : « Oui. »

*C'est un erreur hélas très fréquente en électronique. Profitons-en pour rappeler qu'un A.O. parfait a pour propriétés d'avoir notamment :*

- des impédances d'entrée infinies, donc des courants d'entrée nuls ;

- une impédance de sortie nulle ;

- un gain infini en régime linéaire donc  $\varepsilon=0$  dans ce cas.

*Il faut donc d'abord expliquer pourquoi l'A.O. fonctionne en régime linéaire pour ensuite dire que  $V_+ = V_-$ . Ici, c'est la rétroaction négative qui assure le fonctionnement en régime linéaire de l'A.O. (condition nécessaire mais pas suffisante).*

*Un exemple d'A.O. parfait où  $V_+$  est différent de  $V_-$  : un montage comparateur.*

*Un candidat avec le sens de l'humour pourrait éventuellement dire qu'un A.O. parfait, est un A.O. sans défauts. Il est plus que probable que l'examineur lui demande d'être plus précis...)*

(E) : « Poursuivez. »

(C) : « De la fonction de transfert, je déduis le gain... »

Le candidat écrit et encadre

(C) : « ... et le déphasage. »

Le candidat écrit et encadre le résultat.

(C) : « Le gain est unitaire et le déphasage varie de  $0$  à  $-\pi$ . Ce montage s'appelle un passe-tout déphaseur. Ce qui confirme l'analyse qualitative précédente. »

*Le candidat exploite le fait qu'un nombre complexe et son conjugué ont même module. De même il utilise la propriété que l'argument d'un rapport est égal à la différence des arguments du numérateur et du dénominateur. Trop de candidats encore cherchent à multiplier haut et bas par le dénominateur conjugué compliquant les calculs, perdant du temps, et occasionnant souvent des erreurs de calculs.*

Le candidat trace ensuite les diagrammes de Bode réels pour le gain et la phase.

(C) : « Le G.B.F est remplacé par une source délivrant un échelon de tension d'amplitude  $E$  et l'on cherche la réponse indicielle. Pour cela, j'utilise l'équivalence... »

Il écrit :  $j\omega \leftrightarrow d/dt$

(C) : « D'où l'équation différentielle liant  $U_s$  et  $U_e$ ... »

Il écrit :

« Pour un échelon de tension,  $U_s = E = \text{cste}$  et l'équation différentielle précédente se simplifie en... »

Il réécrit :

« La solution générale est... »

Il écrit :

« La solution particulière est... »

Il écrit :

« D'où ... »

Il écrit  $U_s(t) = \dots$

« Pour déterminer complètement la tension de sortie, je dois trouver la condition initiale. »

Le candidat hésitant, car peu sûr de lui sur ce point : « J'ai considéré qu'à  $t = 0^+$  la tension de sortie était aussi nulle. »

Il écrit :  $U_s(t = 0^+) = 0$ .

(E) : « Ah oui, et pour quelle raison ? »

(C) : « Euh, parce qu'à  $t = 0^-$ , la tension de sortie est nulle, et que de plus, elle est continue. »

(E) : « Pourquoi ? »

Le candidat, silencieux, ne répond pas.

(E) : « Selon vous, la tension de sortie d'un A.O. est toujours continue ? Vous ne connaissez pas de circuits du programme, où la tension de sortie d'un A.O. est discontinue ? »

(C) : « Ah si ! Dans le cas d'un montage comparateur à hystérésis par exemple. La tension de sortie passe brutalement de  $+V_{sat}$  à  $-V_{sat}$  ou inversement. Donc effectivement, on ne peut rien dire sur la tension de sortie en ce qui concerne la continuité. »

(E) : « Que proposez vous alors pour déterminer  $U_s(t = 0^+)$  ? Connaissez vous des dipôles dont une grandeur à ses bornes, ou le traversant, est continue ? »

(C) : « Et bien, pour une bobine, le courant la traversant est continu. Il y a aussi la tension aux bornes d'un condensateur. Je peux peut-être utiliser la continuité de la tension aux bornes de C, et supposer qu'à  $t = 0^-$  le condensateur était déchargé. »

(E) : « Oui, allez-y »

*C'est une erreur d'autant plus regrettable que l'énoncé mettait clairement en garde le candidat « On étudiera plus particulièrement le comportement du système à l'instant  $t = 0$ . ». L'examineur sera obligé d'en tenir compte dans la notation.*

*Rappelons que pour déterminer une condition initiale sur une tension, il existe trois possibilités :*

- utiliser la continuité de la tension aux bornes d'un condensateur, ou du courant traversant une bobine (seule). Cela vient de la continuité de l'énergie.
- intégrer l'équation différentielle reliant  $U_s$  et  $U_e$ , entre  $-\varepsilon$  et  $+\varepsilon$  et en faisant tendre  $\varepsilon$  vers 0.
- utiliser le théorème de la valeur initiale (rien n'empêche de piocher dans le cours de SII !).

Le candidat poursuit ses calculs au tableau, détermine la condition initiale sur  $U_s$ , puis en déduit l'expression de la tension de sortie qu'il encadre.

Il trace sur un même graphe et avec des craies de couleurs différentes, l'échelon d'entrée et la tension de sortie, en précisant sur le graphe le temps caractéristique  $\tau = RC$  de montée de la tension de sortie.

*Si le candidat n'avait pas pris l'initiative de faire figurer ce temps caractéristique sur le graphe, l'examineur le lui aurait demandé car cela permet :*

- de tester la connaissance du candidat sur ce type de tracé;
- de faciliter l'interprétation qui va suivre.

*Bien sûr, c'est un point positif que le candidat le fasse spontanément.*

(C) : « Enfin, on cherche à déterminer la réponse à un signal d'entrée carré périodique de moyenne nulle en distinguant le cas d'un signal de basse fréquence et de haute fréquence. On sait qu'un signal périodique peut se décomposer en une somme infinie de cosinus et sinus : c'est la décomposition en série de Fourier. On utilise dans un premier temps les résultats concernant la réponse harmonique de la première question de l'exercice. On avait vu qu'aux basses fréquences, le gain était unitaire et le déphasage nul. On doit donc avoir en sortie un signal identique à l'entrée donc un signal carré symétrique se superposant exactement. »

Il trace le graphe de  $U_e$  et  $U_s$  aux basses fréquences sur un même graphe.

(C) : « Aux hautes fréquences, le gain est toujours unitaire mais en opposition de phase avec l'entrée ce qui donne le signal d'entrée renversé ».

Il trace sur un autre graphe  $U_e$  et  $U_s$ .

(C) : « Reste pour finir, à faire le lien avec la seconde question. Je n'ai pas réussi à trouver pendant la préparation. »

Après quelques minutes de réflexion et de quasi-silence, l'examineur intervient :

(E) : « Vous avez utilisé pour l'analyse de Fourier, le fait qu'on travaillait à basses fréquences. Mais basses fréquences par rapport à quoi ? Même chose bien sûr pour les hautes fréquences. »

(C) : (hésitant) « Euh, par rapport à une autre fréquence... on peut parler de pulsations basses par rapport à la seule pulsation qui intervient dans l'exercice à savoir  $\omega_0$ . »

(E) : « Oui, mais si vous considérez que toutes les pulsations sont petites par rapport à  $\omega_0$ , qu'est ce que cela signifie pour  $\omega_0$  ? »

(C) : « Que...  $\omega_0$  est très grande, quasi infinie ?! »

(E) : « Oui, et quel lien pouvez vous faire avec la question 2 ? »

(C) : « Et bien  $\omega_0$  infinie est équivalent à  $\tau$  quasi nul. On reprend alors le graphe de la question 2 avec un temps caractéristique de montée de  $U_s$  nul, et le signal de sortie correspond bien à la tension d'entrée conformément à l'analyse de Fourier.

De même, pour les hautes fréquences ou hautes pulsations, cela revient à prendre  $\omega_0$  nulle donc un temps  $\tau$  infini, ce qui explique à nouveau l'opposition de phase que donne l'analyse de Fourier. »

*L'examineur laisse un peu le candidat chercher, car chaque aide de sa part a tendance à diminuer la note finale. L'aide n'est pas*

*brutale mais suggérée par des questions et le candidat doit faire l'effort de se demander le lien qu'il peut y avoir avec l'exercice et surtout avec ce qu'il a écrit. Cette aide se fera d'autant plus naturellement que le candidat aura depuis le début de l'épreuve fait des efforts pour engager un dialogue avec l'examineur. Avec un candidat réservé et ne faisant aucun effort particulier pour sa présentation orale, il est probable que l'aide apportée par l'examineur soit plus limitée.*

(E) : « Est ce que vous connaissez des causes de déformations du signal de sortie avec un tel montage pour l'une ou l'autre des analyses asymptotiques évoquées ? »

(C) : « Lors des basculements de  $-E$  à  $+E$ , on peut craindre que l'A.O. ne suive pas à cause de sa limitation en vitesse. C'est le Slew-Rate. »

(E) : « Vous pouvez me donner un ordre de grandeur de cette vitesse limite de balayage ? »

(C) : « Euh, non. »

(E) : « Une autre cause possible peut être ? »

(C) : « Non je ne vois pas. »

(E) : « Je vous remercie, vous pouvez effacer le tableau s'il vous plaît ? »

*Il est important de connaître quelques ordres de grandeur dans différents domaines de la physique. Une seconde cause de déformations du signal de sortie est le caractère passe-bas de l'A.O. qui aura tendance à supprimer les hautes fréquences, responsables des discontinuités du signal.*

*En conclusion :*

*L'examineur est sensible aux qualités de présentations du candidat. Qu'il s'agisse de la présentation :*

- *orale (introduction de l'exercice, analyse qualitative,...)*

- *au tableau. Le candidat a pris soin d'encadrer ses résultats, de soigner les graphes (en utilisant au besoin des couleurs différentes)*

*De même, l'esprit d'initiative est apprécié.*

*On pourra regretter en revanche les deux erreurs (définition d'un A.O. parfait, puis recherche de la condition initiale pour Us).*

*Ajoutons à cela, l'aide nécessaire de l'examineur à la fin de l'exercice : toute aide ou indication de la part de l'examineur est pénalisante pour le candidat.*

*Il s'agit donc au bilan, d'une bonne prestation.*

*On retiendra également que l'examineur intervient :*

- *pour demander des précisions sur tel point du cours afin de vérifier les connaissances, les capacités d'analyse et de compréhension du candidat ;*

- *pour relever une erreur. Les questions posées servent alors à faire prendre conscience au candidat de son erreur afin qu'il la rectifie de lui-même.*

- *pour débloquer le candidat lorsque celui-ci « sèche ». Cela a lieu notamment lorsque le candidat est au minimum coopératif...*

*... mais **jamais** pour écraser le candidat. L'examineur cherche toujours à « tirer » le meilleur de la prestation d'un candidat.*