ROYAUME DU MAROC

Ministère de l'Éducation Nationale, de l'Enseignement Supérieur,
de la Formation des Cadres et de la Recherche Scientifique

Présidence du Concours National Commun
École Hassania des Travaux Publics
EHTP

Concours National Commun d'admission aux Grandes Écoles d'Ingénieurs ou assimilées Session 2005

ÉPREUVE DE PHYSIQUE II

Filière **PSI**

Durée 4 heures

Cette épreuve comporte 7 pages au format A4, en plus de cette page de garde
L'usage de la calculatrice est *autorisé*

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/1869 - Wadifa Info - page 1/9

L'énoncé de cette épreuve comporte 7 pages.
L'usage de la calculatrice est autorisé.

On veillera à une présentation claire et soignée des copies. Il convient en particulier de rappeler avec précision les références des questions abordées.

Régulation en fréquence d'un émetteur

On se propose de concevoir le dispositif de régulation de la fréquence d'un émetteur d'ondes électromagnétiques dans le domaine des hyperfréquences. La référence utilisée est la fréquence f_0 d'un résonateur de grand facteur de qualité. La schéma synoptique du dispositif est présenté figure 1 ci-dessous.

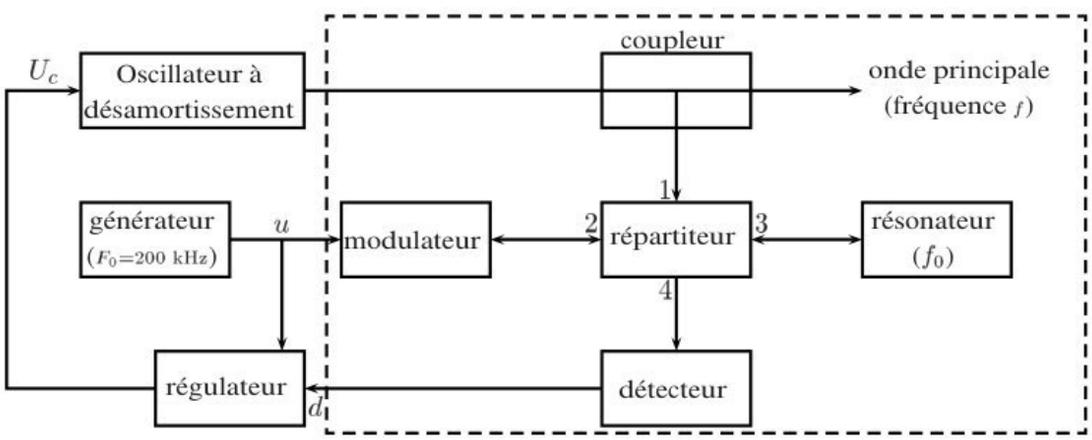

Figure 1: Schéma synoptique de la structure du dispositif.

Comme dans tout problème visant à l'étude d'une régulation, il convient de procéder à l'*identification* des divers éléments de la chaîne avant de procéder à la détermination des performances de la boucle fermée. Aussi le problème est-il découpé de la façon suivante :

- la modélisation et l'étude expérimentale du résonateur font l'objet de la première partie ;
- l'oscillateur à désamortissement, étudié dans la seconde partie, délivre une onde électromagnétique de fréquence f dont une fraction est prélevée à l'aide d'un coupleur et permet l'élaboration d'un signal proportionnel à la différence de fréquence $f - f_0$ (troisième partie) ;
- enfin, la régulation et l'influence des perturbations sur le comportement de l'ensemble du système font l'objet de la quatrième partie du problème.

N.B. : Du fait de la valeur élevée des fréquences mises en jeu, l'approximation des régimes quasi-stationnaires ne pourra pas être utilisée, sauf indication contraire de l'énoncé, dans toute la zone délimitée par des pointillés sur la figure 1. En revanche, on appliquera les lois de l'électrocinétique aux autres éléments du système.

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en indiquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

Dans les applications numériques, qui ne doivent pas être négligées, une attention particulière sera prêtée au nombre de chiffres à utiliser pour afficher les résultats. Ce nombre, qui dépend en général du niveau de précision recherché, ne doit en aucun cas dépasser le nombre de chiffres

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/1869 - Wadifa Info - page 2/9

significatifs permis par les données. La valeur numérique de toute grandeur physique doit être accompagnée de son unité dans le système international des unités (SI). On notera j le nombre complexe de module 1 et d'argument $\pi/2$.

1ère partie

Étude du résonateur

On se propose d'effectuer une modélisation de la cavité résonnante ou résonateur (section 1.1.) et d'étudier la réflexion d'une onde sur le plan (PQ) de couplage avec la ligne (section 1.2.). Pour ce faire, on utilise le modèle de la figure 2.

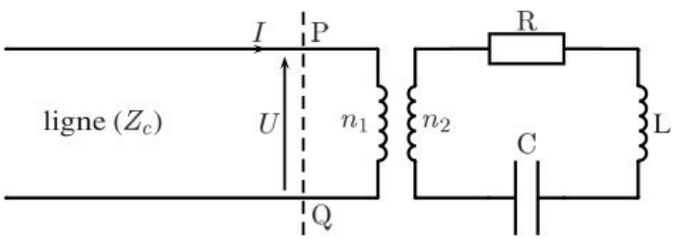

Figure 2: Modèle pour le résonateur.

Dans toute cette partie, on ne considère que des régimes établis sinusoïdaux de pulsation ω.

1.1. Impédance du résonateur

L'utilisation du modèle à constantes localisées est effectuée dans le cadre de l'approximation des régimes quasi-stationnaires. Le résonateur est représenté par un circuit R, L, C, le couplage étant modélisé par un transformateur *idéal* de rapport de transformation $m = n_2/n_1$.

1.1.1. Exprimer l'impédance complexe $\underline{Z}_{\mathrm{PQ}}$ en fonction de R, L, C, ω, et m. Définir la pulsation de résonance en courant que l'on notera ω_0 ainsi que le facteur de qualité Q_0.

Par la suite on notera $f_0 = \dfrac{\omega_0}{2\,\pi}$ et on prendra $f_0 = 10^{10}$ Hz $= 10$ GHz.

1.1.2. Préciser les expressions $\Delta\omega'$ et $\Delta\omega''$ de $\delta\omega = \omega - \omega_0$ pour lesquelles l'argument de $\underline{Z}_{\mathrm{PQ}}$ vaut $\pm\pi/4$. Que peut-on dire alors du module de l'impédance ?

1.1.3. Montrer que pour une pulsation ω voisine de ω_0, $\underline{Z}_{\mathrm{PQ}}$ peut s'écrire :

$$\underline{Z}_{\mathrm{PQ}} \approx \frac{R}{m^2}\left(1 + 2\,\mathrm{j}\,Q_0\,\frac{\delta\omega}{\omega_0}\right)$$

Dans toute la suite, on utilisera cette expression approchée.

1.1.4. Mettre alors l'expression de la puissance moyenne absorbée par le dipôle PQ, lorsqu'il est alimenté par une tension sinusoïdale de valeur efficace U, sous la forme :

$$P = \frac{P_A}{1 + 4\,Q_0^2\left(\dfrac{\delta\omega}{\omega_0}\right)^2}$$

et donner l'expression de P_A.

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/1869 - Wadifa Info - page 3/9

1.2. Influence du couplage

Sur la ligne en amont du résonateur se propagent des ondes incidente (indice +) et réfléchie (indice −), dont les amplitudes complexes peuvent s'écrire, dans le plan de couplage PQ :

$$\begin{cases} \underline{U} = \underline{U}_+ + \underline{U}_- \\ \underline{I} = \underline{I}_+ - \underline{I}_- \end{cases} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} \underline{U}_+ = Z_c\,\underline{I}_+ \\ \underline{U}_- = Z_c\,\underline{I}_- \end{cases}$$

où Z_c est l'impédance caractéristique (réelle) de la ligne.

1.2.1. On définit le coefficient de réflexion $\underline{\rho} = \underline{U}_-/\underline{U}_+$. Exprimer $\underline{\rho}$ en fonction de $\underline{Z}_{\mathrm{PQ}}$ et Z_c.

1.2.2. On pose $r_0 = \dfrac{R}{m^2\,Z_c}$ et $\Delta = 2\,Q_0\,\dfrac{\delta\omega}{\omega_0}$. Exprimer $\underline{\rho}$ en fonction de r_0 et Δ.

1.2.3. Étude de la puissance absorbée par la cavité

En vue de la détermination des caractéristiques de la cavité, on procède à la mesure de la puissance P qu'elle absorbe lorsqu'une onde incidente de puissance connue P_0 est envoyée sur la ligne.

1.2.3.1. Justifier que la puissance absorbée par la cavité s'écrit :

$$P = P_0\,\left(1 - |\underline{\rho}|^2\right)$$

1.2.3.2. Pour quelle pulsation le rapport $\dfrac{P}{P_0}$ est-il maximal ? Soit T_A la valeur de P/P_0 correspondante.

1.2.3.3. Montrer que l'on peut définir un facteur positif Q_c, appelé coefficient de qualité en charge, tel que :

$$\frac{P}{P_0} = \frac{T_A}{1 + 4\,Q_c^2\,\left(\dfrac{\delta\omega}{\omega_0}\right)^2}$$

Donner l'expression de Q_c en fonction de Q_0.

1.2.4. Mesures

On a déterminé expérimentalement le rapport $\dfrac{P}{P_0}$ pour plusieurs valeurs de la fréquence de l'onde incidente, les résultats sont réunis dans le tableau suivant :

$\frac{\delta\omega}{\omega_0}(\times 10^5)$	0	2,24	4,47	6,71	8,94	11,2	13,4
$\frac{P}{P_0}$	0,640	0,635	0,620	0,597	0,567	0,533	0,497

En déduire les valeurs numériques de r_0 et Q_0 sachant qu'une étude complémentaire a pu montrer que le coefficient de réflexion $\underline{\rho}$ était réel négatif à la pulsation ω_0. Commenter les résultats obtenus.

1.2.5. Déphasage introduit par le résonateur

Soit θ l'argument de $\underline{\rho}$.

1.2.5.1. Exprimer θ en fonction de $\delta\omega$ au premier ordre en $\delta\omega = \omega - \omega_0$.

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/1869 - Wadifa Info - page 4/9

1.2.5.2. La ligne présente une certaine longueur, justifier que le déphasage entre ondes incidente et réfléchie en amont du tronçon de ligne s'écrit $\theta = \theta_0 + k_c\,\delta f$ avec $\delta f = \delta\omega/2\pi$ et calculer numériquement k_c. On exprimera k_c en radians par hertz puis en degré par mégahertz.

2ème partie

Étude de l'oscillateur

L'oscillateur à désamortissement générant l'onde principale est constitué d'un composant non linéaire polarisé de telle sorte qu'il présente une résistance équivalente négative. Il est couplé à une cavité si bien que le schéma équivalent de l'ensemble se présente comme indiqué figure 3. On appliquera ici les lois de l'électrocinétique des régimes quasi-stationnaires

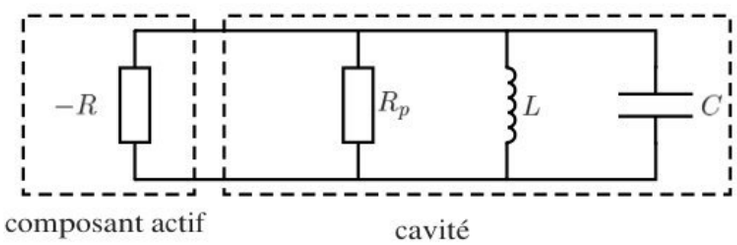

Figure 3: Schéma équivalent de l'oscillateur.

2.1. Justifier la nécessité de fournir de l'énergie à l'aide d'une alimentation externe pour obtenir un tel dispositif. Que traduit la résistance R_p du schéma équivalent ?

2.2. Établir à quelles conditions une oscillation peut apparaître dans le dispositif de la figure 3. Quelle allure peut alors présenter l'évolution de la tension ?

2.3. Donner l'expression de la fréquence d'oscillation f_c du signal.

2.4. Puissance émise

Pour traduire l'existence d'un régime établi, on doit prendre en compte une variation des paramètres du schéma avec la puissance émise. On a relevé la courbe de la figure 4 donnant l'évolution du rapport $\dfrac{R_p}{R}$ avec la puissance P_e émise par la cavité.

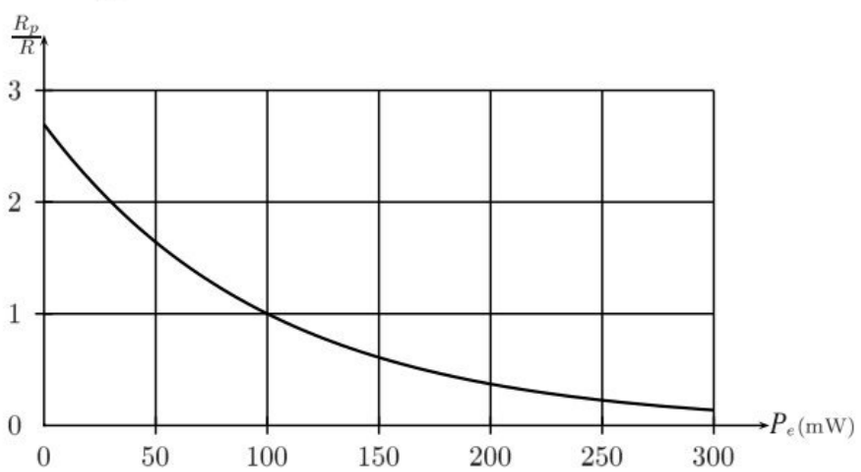

Figure 4: Évolution du rapport $\dfrac{R_p}{R}$ en fonction de la puissance émise.

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/1869 - Wadifa Info - page 5/9

2.4.1. La condition obtenue à la question 2.2. pour le démarrage des oscillations est-elle satisfaite ?

2.4.2. Quelle sera, en régime établi, la puissance P_e émise ?

2.5. Fréquence d'oscillation

On souhaite pouvoir commander la fréquence de l'oscillateur par une tension U_c, on place alors dans la cavité un élément capacitif dont la valeur dépend de la tension U_c. On admettra que l'effet obtenu peut être décrit en supposant que la capacité C du schéma équivalent de la figure 3 dépend de U_c. Soit C_0 la valeur de C pour une tension de commande nulle et $C = C_0 + \delta C$ l'expression de C pour une valeur quelconque de U_c avec $\delta C \ll C_0$.

2.5.1. Exprimer, en régime établi, la fréquence f des oscillations.

2.5.2. Par un développement limité au premier ordre en δC, exprimer f sous la forme $f = f_c + \delta f$ où δf est proportionnel à δC.

La loi de dépendance de f avec la tension de commande U_c est quasiment linéaire dans la plage de fonctionnement envisagée dans la suite et on a mesuré $f = f_c = 10$ GHz pour $U_c = 0$.

2.5.3. Sachant que l'application d'une tension $U_c = 5$ V correspond à une diminution relative de la capacité de 1%, calculer numériquement la valeur de K_0 telle que l'on puisse écrire :

$$f = f_c + K_0\, U_c$$

3ème partie

Élaboration de la grandeur d'erreur

On s'intéresse ici à l'ensemble délimité par des pointillés sur la figure 1. On se placera dans toute cette partie dans le cadre de l'approximation scalaire des ondes électromagnétiques. C'est ainsi qu'en tout point du circuit, une de ces ondes (incidente ou réfléchie) sera représentée par une fonction scalaire du temps $a(t) = A_m \cos(\omega\, t)$ à laquelle on associe un signal complexe $\underline{a}(t) = A_m \exp(\mathrm{j}\,\omega\, t)$. La puissance moyenne véhiculée par l'onde $a(t)$ s'exprime $\frac{1}{2}\,\underline{a}\,\underline{a}^*$, où $\underline{a}^*$ est le complexe conjugué de $\underline{a}$. Enfin, tous les tronçons de ligne seront supposés sans perte.

L'onde principale $a(t)$ de fréquence f, émise par l'oscillateur, traverse un coupleur destiné à prélever une fraction $\beta\, a(t)$, $\beta \in \mathbb{R}$. Cette fraction prélevée est envoyée sur l'accès $n°1$ d'un *répartiteur* (figure 1). Celui-ci est un *composant linéaire* à 4 accès numérotés de 1 à 4, pour lesquels on note a_i et b_i respectivement les ondes incidente et réfléchie sur l'accès i. En régime sinusoïdal forcé, le répartiteur est caractérisé par sa matrice de répartition comme suit :

$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{pmatrix}$$

D'autres composants sont placés sur les autres accès.

- Sur *l'accès 2* est placé un modulateur défini par son coefficient de réflexion $\dfrac{\underline{a}_2}{\underline{b}_2} = K_2 \exp(\mathrm{j}\,\theta_2)$ où θ_2 est supposé indépendant de f et K_2 est supposé constant pour l'instant (question 3.1.).
- Sur *l'accès 3* est placé le résonateur étudié en première partie et défini par son coefficient de réflexion $\dfrac{\underline{a}_3}{\underline{b}_3} = K_3 \exp \mathrm{j}\,\theta_3$ où $K_3 = 0,6$ et $\theta_3 = \theta_0 - k_c\, \delta f$ si l'on pose $\delta f = f - f_0$.

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/1869 - Wadifa Info - page 6/9

– Sur *l'accès 4* est placé un détecteur quadratique délivrant un signal $d(t)$ exprimable par $d = \frac{1}{2} K_4 \underline{b}_4 \underline{b}_4^*$ avec les hypothèses faites ci-dessus. En outre, le détecteur est adapté, ce qui permet d'écrire $a_4 = 0$.

3.1. Exprimer d en fonction de β, A_m, θ_3, θ_2 et des coefficients K_i. Ordonner l'expression comme un polynôme en K_2.

3.2. On admet que le résultat précédent est encore utilisable lorsque K_2 est variable dans le temps avec une fréquence F_0 très faible devant f. On module le coefficient K_2 à l'aide d'un signal $u(t)$ généré à part, dont l'expression temporelle est $u(t) = U_m \cos(\Omega_0 t)$ avec $F_0 = \dfrac{\Omega_0}{2\pi} = 200$ kHz et $U_m = 0,5$ V. La loi régissant les variations de K_2 est :

$$K_2 = K_2^0 \left[1 + \alpha\, u(t)\right] \qquad \text{avec} \qquad K_2^0 = 0,4 \quad \text{et} \quad \alpha = 0,25\ \text{V}^{-1}$$

Montrer que :

$$d(t) = D_0 + D_1 \cos(\Omega_0 t) + D_2 \cos(2\,\Omega_0 t)$$

et déterminer les expressions de D_0, D_1 et D_2.

3.3. Déterminer à quelle condition sur θ_0 le terme D_1 est nul lorsque $\delta f = 0$. On supposera cette condition remplie dans la suite avec en outre $\sin(\theta_2 - \theta_0) < 0$.

3.4. Effectuer un développement limité au premier ordre en δf conduisant à une loi $D_1 \approx k_D\, \delta f$ et déterminer numériquement k_D sachant que $\beta = 0,1$ et $K_4 = 400\ \text{mV.mW}^{-1}$. On déterminera auparavant la valeur numérique de A_m à partir de la courbe représentée figure 4.

3.5. Montrer que le dispositif représenté figure 5, composé d'un multiplieur analogique délivrant un signal $p(t) = k\, H_0\, u(t)\, d(t)$ et d'un filtre passe-bas du premier ordre d'amplification $T_0 = 10$ à fréquence nulle et de fréquence de coupure $F_c = \dfrac{1}{2\pi\tau}$ avec $\tau = 2 \times 10^{-3}$ s, permet de délivrer un signal v_{er} proportionnel à $f_0 - f$:

$$v_{\text{er}} = K_D\,(f_0 - f)$$

Donner l'expression de K_D.

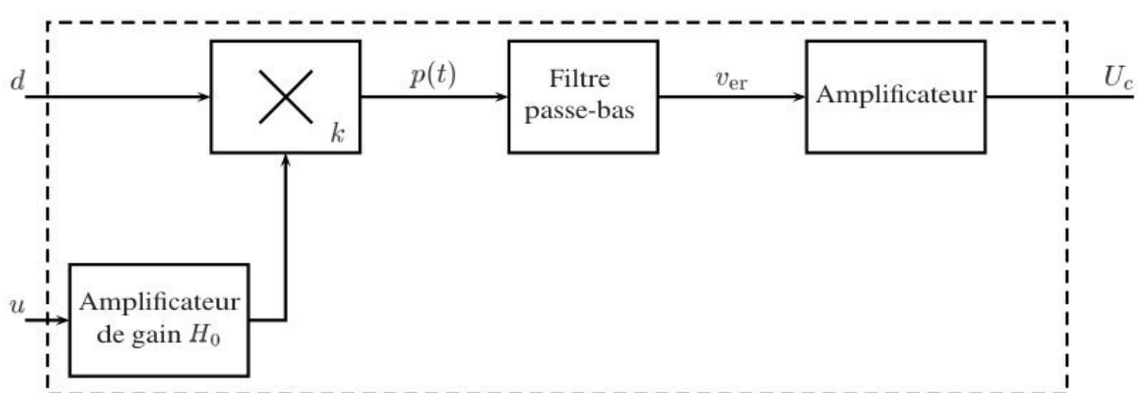

Figure 5: Détail du régulateur.

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/1869 - Wadifa Info - page 7/9

3.6. On donne : $k = 0,1\ \mathrm{V}^{-1}$, $H_0 = 20$. Calculer numériquement K_D et v_{er} pour $\delta f = 100$ kHz.

4ème partie

Étude de la régulation

Le régulateur indiqué figure 1 est constitué comme le montre la figure 5. Le signal v_{er}, élaboré précédemment et amplifié par un facteur λ réel, est le signal de commande U_c de l'oscillateur de la deuxième partie.

4.1. Justifier, à partir des études précédentes, que le schéma fonctionnel du dispositif complet peut être mis sous la forme représentée figure 6. On rappelle que $\tau = 2 \times 10^{-3}$ s. On pose $S_0 = 1 + K_0\,\lambda\,K_D$. Calculer numériquement λ pour avoir $S_0 = 10^3$.

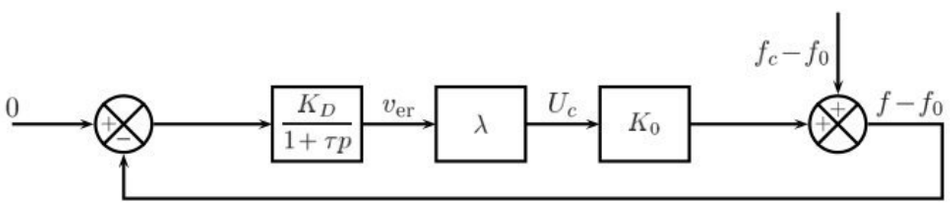

Figure 6: Schéma fonctionnel.

4.2. Précision de la régulation

4.2.1. Montrer lorsque la fréquence émise f est constante, qu'elle peut s'écrire sous la forme :

$$f = \frac{f_c}{S_0} + \left(1 - \frac{1}{S_0}\right) f_0$$

4.2.2. Si la fréquence centrale de l'oscillateur étudié dans la deuxième partie est $f_c = f_0$, que vaut la fréquence émise à l'équilibre du système ?

4.2.3. En pratique, un tel réglage n'est pas parfait mais on parvient à obtenir $f_c = f_0 + \Delta f_c$. Exprimer alors f et commenter le résultat. Faire l'application numérique pour $\Delta f_c = 1$ GHz.

4.3. Sensibilité aux perturbations

On prend en compte les perturbation électromagnétiques subies par le dispositif en écrivant :

$$f_c = f_0 + f_p(t)$$

4.3.1. Lorsque f_p est un échelon de valeur $F_p = 1$ GHz , étudier l'évolution temporelle de $\delta f(t) = f(t) - f_0$. Interpréter les valeurs observées au voisinage de $t = 0$ ($t > 0$) et au bout d'un temps très long.

4.3.2. f_p est à présent une perturbation sinusoïdale du temps de pulsation Ω très inférieure à ω_0 :

$$f_p(t) = F_p \cos(\Omega\, t)$$

Exprimer $\delta f(t) = f(t) - f_0$ en régime permanent et tracer, en échelles logarithmiques, l'évolution du rapport des amplitudes respectives de f_p et $\delta f(t)$ en fonction de Ω. Commenter et conclure.

FIN DE L'ÉPREUVE

wadifa-info.com نماذج المباريات من موقع وظيفة إنفو

Source: www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/1869 - Wadifa Info - page 8/9

Wadifa Info

www.wadifa-info.com

Le sujet suivant à préparer — **النموذج التالي للتحضير**

نموذج مباراة ولوج سلك التكوين الأساسي - المدرسة الوطنية العليا للإدارة - دورة 26 نونبر 2016 -

Modèle de concours d'accès au cycle de formation initiale – École Nationale Supérieure de l'Administration – 26 novembre

www.wadifa-info.com/fr/modele-concours/640

Chaîne WhatsApp — **قناة واتساب**

المباريات الجديدة والنتائج كل يوم

Nouveaux concours et résultats chaque jour

wadifa-info.com/wa

Chaîne YouTube — **قناة يوتيوب**

امتحانات تجريبية بالتصحيح، بالدارجة

Examens blancs corrigés, expliqués en darija

youtube.com/@wadifainfo

Envoyer à un ami — **أرسل النموذج لصديق**

شارك هذا النموذج على واتساب مع من يحضّر معك

Partagez ce sujet sur WhatsApp

wa.me