INSA RENNES

MATERIAUX ET NANOTECHNOLOGIES

Année 2007-2008

TD n°4 Fonctions de l'Electronique

Modulation et démodulation d'amplitude analogique

Exercice n°1

Un générateur délivre le signal $a_m(t)$:

$$a_m(t) = 5\cos(10^6 t) + 3{,}5\cos(10^3 t)\cos(10^6 t)$$

Rappelez les expressions d'un signal s(t) modulé en amplitude par un signal sinusoïdal u(t) (on notera f_p la fréquence de la porteuse, A_p l'amplitude de la porteuse, f_m la fréquence de u(t) et m le taux de modulation).

Pour le signal $a_m(t)$, déterminez : la fréquence de la porteuse, la fréquence du signal modulant et le taux de modulation.

Exercice n°2

Un émetteur AM doit transmettre le signal suivant :

$$100\cos(3{,}77\times10^6 t) + 43{,}5\cos(3{,}738\times10^6 t) + 43{,}5\cos(3{,}802\times10^6 t)$$

Quelle est la fréquence de la bande latérale supérieure ? Quelle est la fréquence modulante ? Quel est la taux de modulation ? Quelle est la bande B de fréquence de l'émission ? Si la puissance totale émise est de 38 W, trouver la puissance contenue dans la porteuse et dans chaque bande latérale. Si la puissance totale du signal AM est réduite à 32 W lorsque l'on change le signal modulant, quel est le nouveau taux de modulation ?

Exercice n°3

1) La figure 1 représente une simulation d'un signal **modulé en amplitude avec porteuse**.

a. Indiquer directement sur la figure, et dans les cases prévues à cet effet, quelle est l'onde porteuse et quelle est l'onde modulante.
b. Déterminer graphiquement la fréquence de l'onde porteuse f_p et la fréquence de l'onde modulante f_m.
c. Sachant que le taux de modulation est m = 50% et que l'amplitude de l'onde porteuse est A_p = 1V, déterminer l'amplitude du signal modulant A_m.

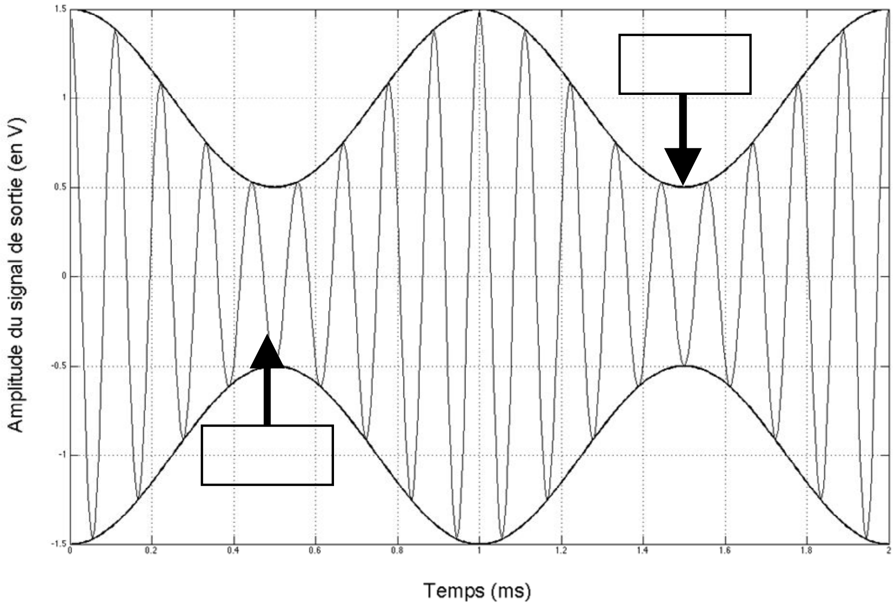


Figure 1

2) Un signal modulé en amplitude est créé avec une onde porteuse de fréquence f_p = 162 kHz et un signal de modulation sinusoïdal de fréquence f_m = 10 kHz[1].

a. Quelles sont les fréquences contenues dans le signal modulé ? Calculer les longueurs d'ondes correspondantes. En déduire la largeur spectrale, en fréquence et en longueur d'onde. On prendra : $c = 3\ 10^8\ m.s^{-1}$.

b. Sachant que la puissance totale de l'émetteur de France-Inter est P_T = 2000 kW et que le taux de modulation est m = 75%, calculer les puissances transportées respectivement dans les bandes latérales P_B et dans la porteuse P_P.

3) Un modulateur de fréquence délivre un signal tel que S_m = 2V, f_m = 15 kHz, f_p = 10 MHz et m_{FM} = 1.

a. Calculer l'excursion (ou déviation) de fréquence Δf de ce signal.

b. Déterminer les différentes composantes spectrales attendues. Calculer leurs amplitudes respectives et représenter le spectre de l'onde FM.

4) On considère une porteuse sinusoïdale d'amplitude S_m, modulée en fréquence autour de f_p = 10 MHz par un signal modulant sinusoïdal de fréquence f_m = 10 kHz. L'indice de modulation vaut m_{FM} = 3. La puissance du signal est de 25 dBm sur une résistance de 25 Ω. On rappelle que la puissance totale P fournie par l'onde modulée dans une résistance R est égale à la somme des puissances véhiculées par la porteuse et par les deux bandes latérales. Celle-ci s'exprime selon la relation :

$$P = \frac{S_m^2}{2R} \sum_{k=-\infty}^{k=+\infty} J_k^2(m_{FM})$$

a. Quelle différence majeure y a t-il par rapport à la puissance totale véhiculée par un signal modulé en amplitude avec porteuse ?

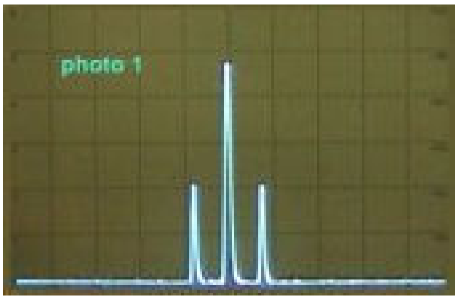
b. Déterminer l'amplitude S_m du signal modulé.

[1] Ces données correspondent à l'émetteur de France-Inter.

c. Déterminer les différentes composantes spectrales attendues. Calculer leurs amplitudes respectives et représenter le spectre de l'onde FM.

6) L'analyseur de spectre permet de visualiser l'amplitude d'un signal en fonction de la fréquence. Partant d'un signal inconnu s(t) modulé en amplitude, on réalise une mesure au laboratoire. Comme le montre l'enregistrement ci-dessous, **l'analyseur de spectre détecte trois pics** : un pic principal à la fréquence 650 kHz et deux pics secondaires, de même amplitude, respectivement à 640 kHz et à 660 kHz, dans le rapport de 30% par rapport au pic principal.

a. Déterminer la fréquence de la porteuse f_p et celle du signal modulant f_0. Quelle est la largeur spectrale de ce signal ?



b. L'analyse spectrale du signal inconnu s(t) s'obtient en prenant sa transformée de Fourier. Le spectre S(f) de s(t) peut se mettre sous la forme suivante :

$$S(f) = A_p[\delta(f - f_p) + \frac{m}{2}(\delta(f - f_p + f_0) + \delta(f - f_p - f_0))]$$

Déterminer la valeur du taux de modulation m.

Exercice n°4

On considère le circuit de la figure 2 :

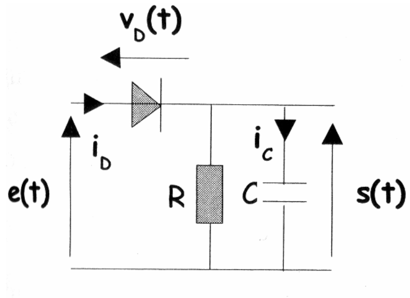


Figure 2

1) La tension d'entrée est sinusoïdale du type e(t)=10 cos(ω_0t) de fréquence f_0=455 kHz. La constante de temps RC est grande devant la période T_0, s(t) est environ constant : s(t)=V_0=C^{te}. Calculer V_0.

2) La tension e(t) est modulée en amplitude :
$e(t) = 10(1 + m\cos(\Omega t))\cos(\omega_0 t)$ avec $\Omega << \omega_0$. L'enveloppe de e(t) a pour fréquence F=5 kHz.

a) On suppose que la constante de temps RC est petite devant la période T du signal modulant. Déterminer l'expression de s(t).

b) Lorsque la diode est passante, donner l'expression de i_d(t) en fonction de R, C et d(t).

c) Montrer que le courant $i_d(t)$ peut se mettre sous la forme suivante lorsque la diode est passante :

$$i_d(t) = \frac{V_0}{R}\left[1 + m\sqrt{1+(RC\Omega)^2}\cos(\Omega t + \varphi)\right] \text{ avec } \tan\varphi = RC\omega$$

Pour qu'il n'y est pas de distorsion lors de la démodulation, le courant id(t) ne doit pas s'annuler lorsque la diode est passante ($i_d > 0$). En déduire une condition sur la constante de temps RC en fonction du taux de modulation m et de F, fréquence de la BF.
d) On choisit un taux de modulation m=70 % et RC >$10T_0$ pour éliminer la HF. Donner les valeurs possibles de RC.

Exercice n°5
On considère le montage de la figure 2 :

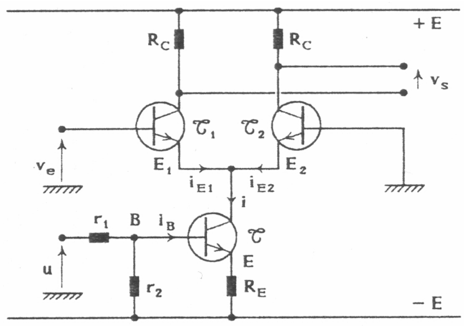


Figure 2

On dispose de deux alimentations symétriques ±E, les transistors T_1 et T_2 sont supposés identiques, et leurs courants d'émetteurs obéissent à la loi exponentielle classique :

$$i_{E_1} = I_S \exp\left(\frac{V_{BE1}}{V_T}\right) \text{ et } i_{E_2} = I_S \exp\left(\frac{V_{BE2}}{V_T}\right) \text{ avec } V_T\text{=26 mV}$$

Le potentiel commun des émetteurs E_1 et E_2 étant de l'ordre de –0.7 V, il est nécessaire que celui de E, donc aussi celui de B, soient négatifs pour ménager à T une tension V_{CE} suffisante et assurer ainsi un fonctionnement linéaire. C'est le rôle du pont (r_1,r_2).

1) En supposant que le courant i_B est petit devant les courants qui circulent dans r_1 et r_2 , montrer que l'on peut écrire avec une erreur négligeable la relation :

$$V_B = \frac{r_2 u - r_1 E}{r_1 + r_2}$$

En fait, cette situation est réalisée en adoptant r_1 et r_2 très inférieures à $\beta(T)\, R_E$. Le signal HF $v_e(t)$=e sin(ωt) est de faible amplitude

2) <u>Expression de $V_s(t)$: distorsion</u>
Déterminer l'expression du courant i, en négligeant i_B devant i, mais en tenant compte d'une chute de tension V_{BE} que l'on supposera fixe, de valeur 0,7 V. Déterminer i_{E1} et i_{E2}.
Montrer que V_s est une fonction tangente hyperbolique de V_e obéissant à la formule :

$$V_s = R_C i \tanh\left(\frac{V_e}{2V_T}\right)$$

En utilisant le développement limité tanh x ≈ x – x^3/3 déterminer approximativement la valeur maximal e_M que l'on peut donner à e si l'on exige que V_s soit une fonction linéaire de V_e avec une erreur relative de 5 %. Dans la suite de l'exercice, on utilisera cette approximation linéaire.

On suppose maintenant que u est un signal sinusoïdal de fréquence basse $u(t)=U\sin(\Omega t)$. Montrer que V_s est de la forme :

$$V_s(t) = a_0\,(1 + m\sin(\Omega t))\sin(\omega t)$$

3) Influence de la température

La tension thermodynamique V_T dépend de la température absolue T selon la relation $V_T=k_BT/q$ avec $k_B = 1.38 \times 10^{-23}$ JK^{-1} la constante de Boltzmann et $q = 1.6 \times 10^{-19}$ la charge de l'électron. Quelle est l'influence d'une augmentation de température T sur le taux de modulation m ? sur l'amplitude moyenne a_0 ?

4) Application numérique

E=15 V ; $r_1=r_2$; R_E=4,7 kΩ ; e=10 mV ; U=2 V. Déterminer la valeur compatible de R_C pour avoir $V_{C1} = V_{C2} = E/2$ lorsque V_e et u sont nulles. Calculer a_0 et m.
Quelle serait l'influence d'une augmentation de température ΔT=20 K, à partir de T=300 K ?
Afin de bien faire travailler T en régime linéaire, on impose la condition : V_{CEmin}=2 V. Calculer dans ces conditions les valeurs maximales possible pour U et m, notées U_M et m_M.

5) Tension de décalage (offset)

Si la plupart des transistors au silicium actuels obéissent bien à la loi exponentielle, il est difficile d'en trouver deux possédant le même courant de saturation I_s et il faudrait plutôt écrire :

$$i_{E_1} = I_{S1}\exp\left(\frac{V_{BE1}}{V_T}\right) \text{ et } i_{E_2} = I_{S2}\exp\left(\frac{V_{BE2}}{V_T}\right) \text{ avec } I_{s1} \neq I_{s2}$$

Montrer que dans ces conditions, la loi de variation rigoureuse de V_s peut s'écrire :

$$V_s = R_C\, i\tanh\left(\frac{V_e + V_{e0}}{2V_T}\right)$$

avec V_{e0} une tension de décalage dont on précisera l'expression. Calculer V_{e0} et $V_{s0} = V_s$ (V_e = 0) avec les valeurs numériques du c) lorsque $I_{S1}=1{,}1.I_{S2}$ et u=0. Montrer que cette tension de décalage contribue à introduire une composante BF indésirable.