

- NB :**
- Documents non autorisés.
 - Nombre de pages totales : 9
 - Nombre de pages annexes : 6
 - Nombre d'annexe à rendre avec la copie : 1

Le sujet comporte une question de cours, deux exercices et un problème. Chaque partie peut être traitée de manière indépendante. La qualité, la clarté de la présentation ainsi que l'orthographe seront pris en considération dans la notation. Le barème est donné à titre indicatif.

QUESTION DE COURS (3 points)

Rappeler le principe de fonctionnement des amplificateurs à transistors bipolaires de classe A, B et C. On s'attachera notamment à décrire les différentes positions du point de repos P dans les plans (i_B, V_{BE}) et (i_C, V_{CE}) . Pour ce faire, on représentera les caractéristiques $i_B=f(V_{BE})$ et $i_C=g(V_{CE})$ du transistor bipolaire ainsi que la droite de charge statique dans le plan (i_C, V_{CE}) . Pour chaque classe, on indiquera l'état du transistor. Discuter brièvement des principaux avantages et inconvénients rencontrés selon les différentes classes.

On note : i_B le courant de base, i_C le courant collecteur, V_{CE} le tension collecteur-émetteur et V_{BE} la tension base-émetteur.

EXERCICE N°1 (3 points)

Un modulateur de phase (PM) délivre un signal $s(t) = S_m \cos(\omega_0 t + k u(t))$ tel que $S_m = 2V$ et $f_0 = \omega_0/2\pi = 10^5$ Hz. La déviation de fréquence est $\Delta f = 30$ kHz avec un signal modulant $u(t) = U_m \cos(\Omega t)$ d'amplitude $U_m = 3V$ et $F = \Omega/2\pi = 10^4$ Hz.

1. Déterminer l'indice de modulation m . En déduire la valeur de k .
2. En utilisant la table des coefficients de Bessel fournie en annexe B, déterminer les différentes composantes spectrales attendues. Représenter le spectre de l'onde PM.
3. Calculer la bande de fréquence B occupée par ce signal.
4. Le signal modulant est maintenant fourni par un intégrateur (cf. figure 1.1, annexe A). Montrer que le signal de sortie $s(t)$ est modulé en fréquence (FM).
5. Calculer τ pour conserver la même déviation de fréquence Δf .
6. Comment peut-on faire pour générer un signal modulé en phase à partir d'un signal modulé en fréquence. Justifier votre réponse.

EXERCICE N°2 (4 points)

Pour la production de signaux non sinusoïdaux, on utilise souvent le circuit intégré 555 dont on donne le schéma de principe à la figure 2.1 de l'annexe A.

On y trouve : 3 résistances identiques $R = 5 \text{ k}\Omega$, 2 comparateurs CP_1 (supérieur) et CP_2 (inférieur), une bascule bistable de type RS et un transistor (T_r) à collecteur ouvert.

1. Quel est le rôle des comparateurs CP_1 et CP_2 ? Exprimer leurs seuils de commutation respectifs en fonction de V_{cc} ?
(On notera V_{CP1} le seuil de commutation du comparateur supérieur CP_1 et V_{CP2} celui du comparateur inférieur CP_2).
2. En utilisant la table de vérité de la bascule RS fournie en annexe A, compléter le tableau ci-dessous donnant les valeurs prises par les signaux logiques R, S et $\bar{Q} = V_3$

V_e	0	V_{CP2}	V_{CP1}	V_{cc}
S				
R				
V_3				

Note : on reproduira soigneusement le tableau sur la copie

Tracer la caractéristique statique de transfert $V_3 = f(V_e)$ pour le montage de la figure 2.2 (annexe A). Quelle est la fonction réalisée ?

3. On note $V_2(t)$ la tension aux bornes du condensateur. Discuter de l'état logique des variables R, S et Q suivant que : $V_2(t) \leq V_{CP1}$ et $V_2(t) \geq V_{CP2}$. Quelles sont les conséquences sur l'état du transistor (T_r) ainsi que sur le condensateur C.
4. Tracer directement sur l'annexe C les chronogrammes des signaux $V_2(t)$, S(t), R(t), Q(t) et $V_3(t)$ dans le montage 2.3 (annexe A).
5. Ecrire sans les démontrer les équations décrivant la charge et la décharge du condensateur. En déduire les durées T_1 et T_2 des deux phases du fonctionnement.
6. Le circuit intégré NE555 peut être utilisé comme oscillateur commandé en tension (VCO). Rappeler brièvement le principe du VCO ? Que faut-il faire au montage 2.3 (annexe A) pour qu'il soit en configuration VCO ?

PROBLEME (10 points)

Dans le montage de la figure 3.1 (annexe A), on se propose d'étudier le principe de fonctionnement de l'oscillateur à pont de Wien. Dans un premier temps, on considère le montage en boucle ouverte c'est-à-dire sans connexion entre s et e. Le montage en boucle ouverte est décomposé en un amplificateur large bande suivi d'un quadripôle sélectif.

1. En supposant l'amplificateur idéal, exprimer le gain $A = v/e$ en fonction des résistances R_1 et R_2 . Comment s'appelle ce type de montage ? Tracer la caractéristique $v = g(e)$ dans le domaine linéaire et dans le domaine saturé (on notera $\pm V_{sat}$ les niveaux de saturation de l'amplificateur).
2. Soit $B(j\omega) = s/v$ le gain du quadripôle sélectif en sortie ouverte. Montrer que le gain $B(j\omega)$ se met sous la forme :

$$B(j\omega) = \frac{j\omega RC}{1 + 3RCj\omega + R^2 C^2 (j\omega)^2}$$

3. Lorsqu'on ferme la boucle, la connexion impose s = e, c'est-à-dire $A_{min} B(j\omega_0) = 1$ qui est la condition d'entretien limite des oscillations. Déterminer la pulsation ω_0 des oscillations entretenues et le gain minimum A_{min} nécessaire à l'entretien.
4. Comment est déterminée l'amplitude des oscillations ? Que se passe-t-il si l'amplificateur présente un coude de saturation très aiguë ?

5. On envisage maintenant le cas d'un amplificateur présentant une caractéristique cubique du type :

$$V = Ae - \frac{4A^3 e^3}{27 V_{\text{sat}}^2}$$

prolongée par des paliers de saturation en $v = \pm V_{\text{sat}}$ (cf figure 3.2, annexe A). En supposant une excitation sinusoïdale du type $e = E_1 \sin(\omega_0 t)$, montrer que le gain équivalent (de pulsation ω_0) pour le premier harmonique s'écrit :

$$V = Ae - \frac{4A^3 e^3}{27 V_{\text{sat}}^2}$$

7. Exprimer alors la condition d'entretien limite du premier harmonique et déterminer son amplitude E_1 . Représenter graphiquement la courbe $E_1(A)$.
8. A partir du schéma de la figure 3.3 (annexe A), établir l'équation différentielle du quadripôle sélectif en régime quelconque.
9. Dédire de la question précédente que si l'on renonce à l'approximation du premier harmonique le système bouclé est régi par une équation de Van der Pol :

$$\frac{d^2y}{d\theta^2} - \varepsilon (1-y^2) \frac{dy}{d\theta} + y = 0$$

On posera pour simplifier les expressions : $\theta = \frac{t}{RC} = \omega_0 t$, $\varepsilon = A-3$ et $y = \frac{2}{3} \frac{e}{V_{\text{sat}}} \sqrt{\frac{A^3}{A-3}}$

10. Chercher une solution à l'équation de Van der Pol sous la forme :

$$y = y_1 \sin\theta + f(\theta)$$

où $y_1 \sin\theta$ est la solution principale obtenue par la méthode du premier harmonique à la question 5. La fonction $f(\theta)$ sera considérée comme une perturbation : f et $df/d\theta$ seront négligés devant la solution principale.

Reporter sur le graphique précédent l'amplitude du 3^{ème} harmonique E_3 en fonction du gain central A .

Quelques relations trigonométriques :

$$\cos(a + b) = \cos a \cos b - \sin a \sin b$$

$$\cos(a - b) = \cos a \cos b + \sin a \sin b$$

$$\sin(a + b) = \sin a \cos b + \cos a \sin b$$

$$\sin(a - b) = \sin a \cos b - \cos a \sin b$$

$$\cos^2 a = \frac{1 + \cos 2a}{2}$$

$$\sin^2 a = \frac{1 - \cos 2a}{2}$$

:

ANNEXE A

EXERCICE N°1

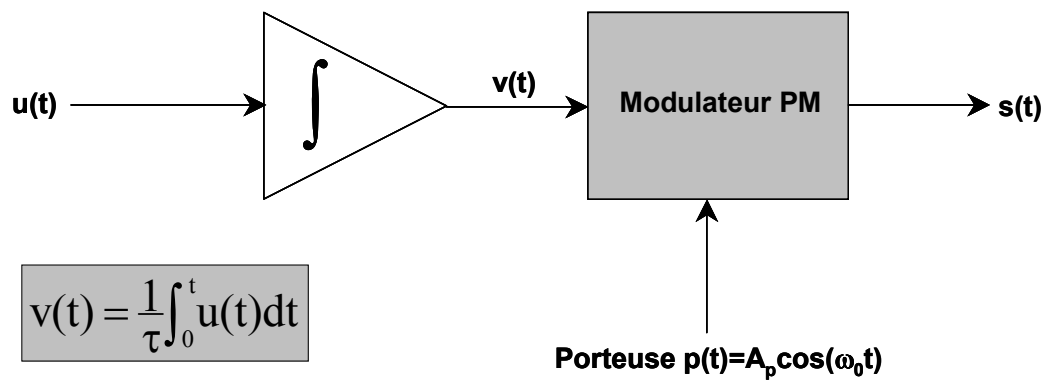


Figure 1.1

EXERCICE N°2

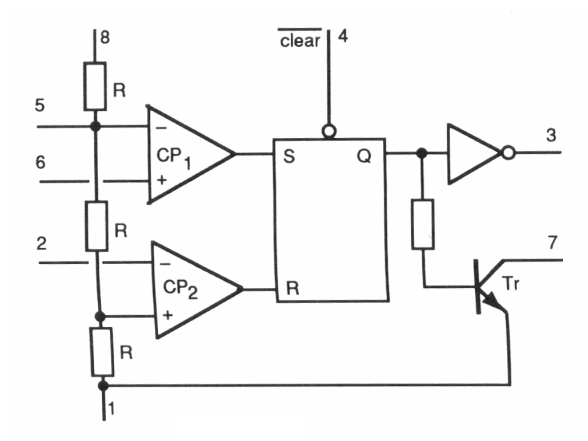


Figure 2.1

Table de vérité de la bascule RS (Q_{N+1} et Q_N représente une même variable mais à des instants différents)

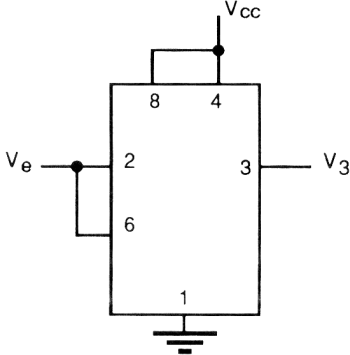
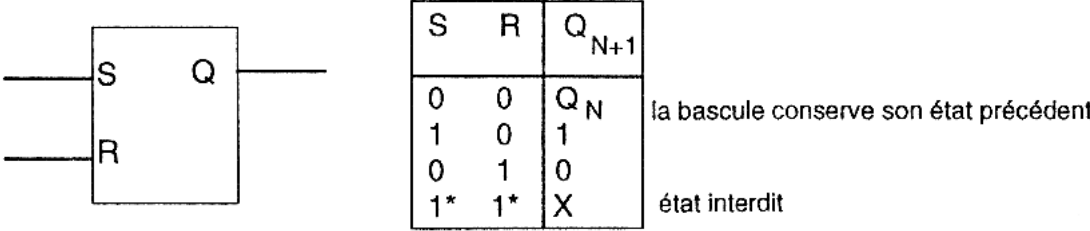


Figure 2.2

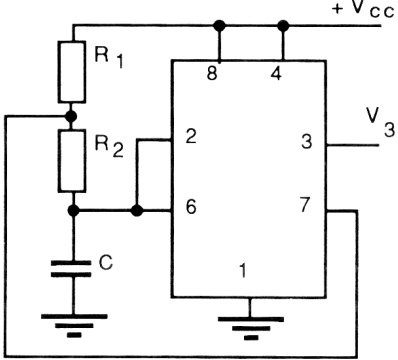


Figure 2.3

PROBLEME

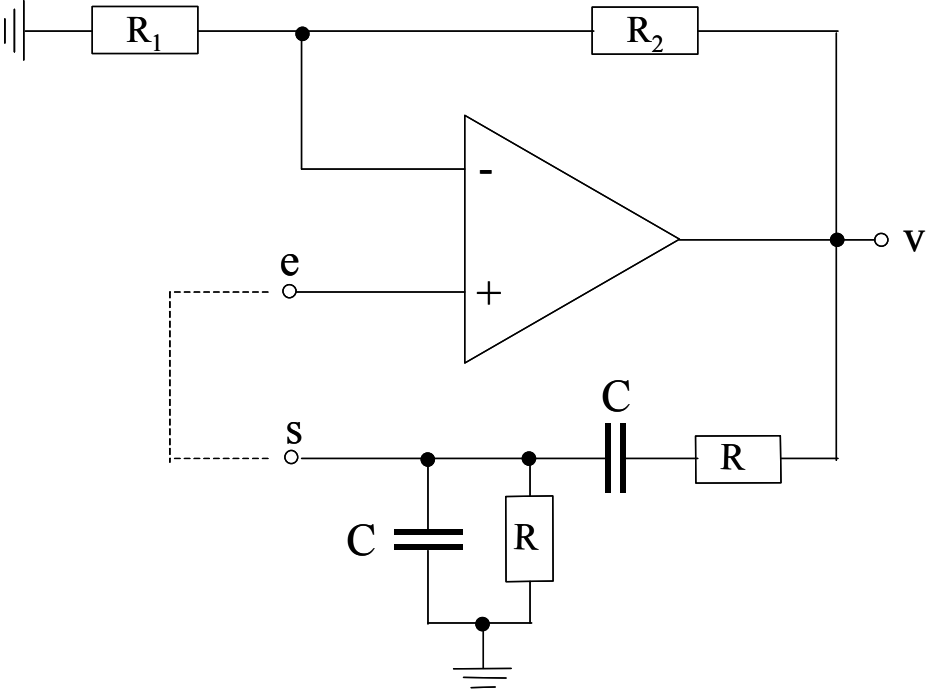


Figure 3.1

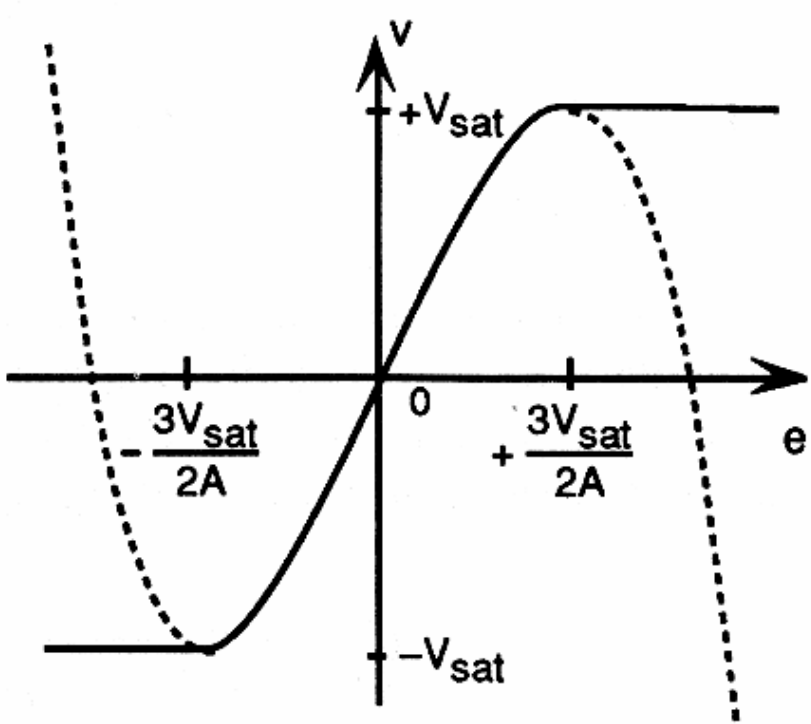


Figure 3.2

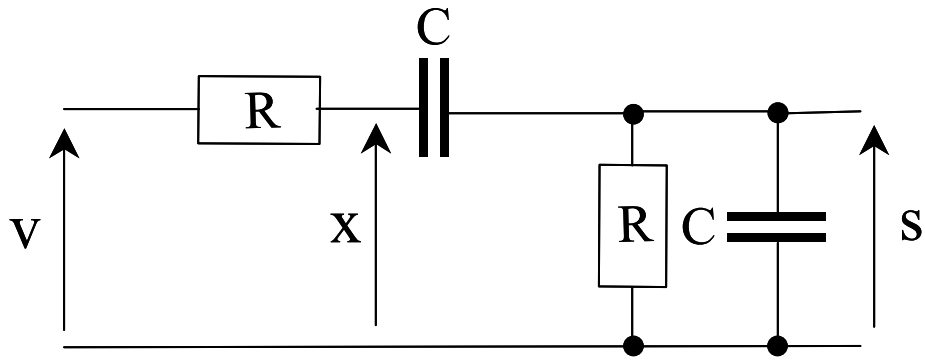


Figure 3.3

Annexe B

Table des coefficients de Bessel

m_f	J_0	J_1	J_2	J_3	J_4	J_5	J_6	J_7	J_8	J_9	J_{10}	J_{11}	J_{12}	J_{13}
0.00	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.10	.9975	.0499	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.20	.9900	.0996	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.25	.9845	.1241	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.30	.9776	.1484	.0111	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.40	.9604	.1961	.0197	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.50	.9385	.2423	.0306	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.60	.9120	.2867	.0437	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.70	.8812	.3290	.0588	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.80	.8463	.3689	.0758	.0103	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.90	.8075	.4060	.0946	.0144	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.00	.7652	.4400	.1150	.0195	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.25	.6459	.5107	.1711	.0369	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.50	.5119	.5579	.2321	.0610	.0118	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.75	.3690	.5802	.2940	.0919	.0209	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.00	.2239	.5767	.3529	.1289	.0340	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.50	-.0484	.4971	.4461	.2166	.0738	.0196	-	-	-	-	-	-	-	-
3.00	-.2601	.3391	.4861	.3091	.1320	.0430	.0114	-	-	-	-	-	-	-
3.50	-.3801	.1374	.4586	.3868	.2044	.0806	.0255	-	-	-	-	-	-	-
4.00	-.3972	-.0661	.3642	.4302	.2812	.1320	.0491	.0152	-	-	-	-	-	-
4.50	-.3206	-.2311	.2179	.4247	.3484	.1947	.0843	.0301	.0092	-	-	-	-	-
5.00	-.1776	-.3276	.0466	.3649	.3913	.2612	.1311	.0534	.0184	-	-	-	-	-
5.50	-.0069	-.3415	-.1174	.2562	.3967	.3209	.1868	.0866	.0337	.0113	-	-	-	-
6.00	.1507	-.2767	-.2429	.1148	.3577	.3621	.2458	.1296	.0565	.0212	-	-	-	-
6.50	.2601	-.1539	-.3074	-.0354	.2748	.3736	.2999	.1802	.0881	.0366	.0133	-	-	-
7.00	.3001	-.0047	-.3014	-.1676	.1578	.3479	.3392	.2336	.1280	.0589	.0236	-	-	-
7.50	.2664	.1363	-.2303	-.2680	.0239	.2835	.3542	.2832	.1744	.0889	.0390	.0151	-	-
8.00	.1714	.2345	-.1131	-.2912	-.1053	.1858	.3376	.3206	.2235	.1263	.0608	.0256	.0097	-
8.50	.0417	.2729	.0222	-.2627	-.2078	.0672	.2867	.3376	.2694	.1694	.0896	.0410	.0157	-
9.00	-.0906	.2451	.1447	-.1810	-.2655	.0552	.2043	.3275	.3061	.2149	.1247	.0622	.0274	.0108
9.50	-.1944	.1609	.2275	-.0656	-.2692	-.1614	.0992	.2868	.3234	.2578	.1551	.0897	.0427	.0182
10.0	-.2454	.0438	.2549	.0584	-.2196	-.2339	-.0145	.2167	.3179	.2919	.2075	.1231	.0634	.0290

$$\begin{aligned}
 s(t) = & A_p J_0 \cos(\omega_p t) + A_p J_1 [\cos[(\omega_p + \omega_m)t] - \cos[(\omega_p - \omega_m)t]] \\
 & + A_p J_2 [\cos[(\omega_p + 2\omega_m)t] + \cos[(\omega_p - 2\omega_m)t]] \\
 & + A_p J_3 [\cos[(\omega_p + 3\omega_m)t] - \cos[(\omega_p - 3\omega_m)t]] \dots
 \end{aligned}$$

ANNEXE C
(à rendre avec la copie)

Nom :

Prénom :

V₂

S

R

Q

V₃