

Nom :	Prénom :	Groupe :
-------	----------	----------

## ECOLE POLYTECHNIQUE UNIVERSITAIRE DE NICE SOPHIA-ANTIPOLIS



Cycle Initial Polytech  
Première Année  
Année scolaire 2009/2010



### Epreuve d'électronique analogique N°4 (correction)

Vendredi 4 Juin 2010

Durée : 1h30

- Cours et documents non autorisés.
- Calculatrice de l'école autorisée.
- Vous répondrez directement sur cette feuille.
- Tout échange entre étudiants (gomme, stylo, réponses...) est interdit
- Vous êtes prié :
  - d'indiquer votre nom, prénom et groupe.
  - d'éteindre votre téléphone portable (- 1 point par sonnerie).

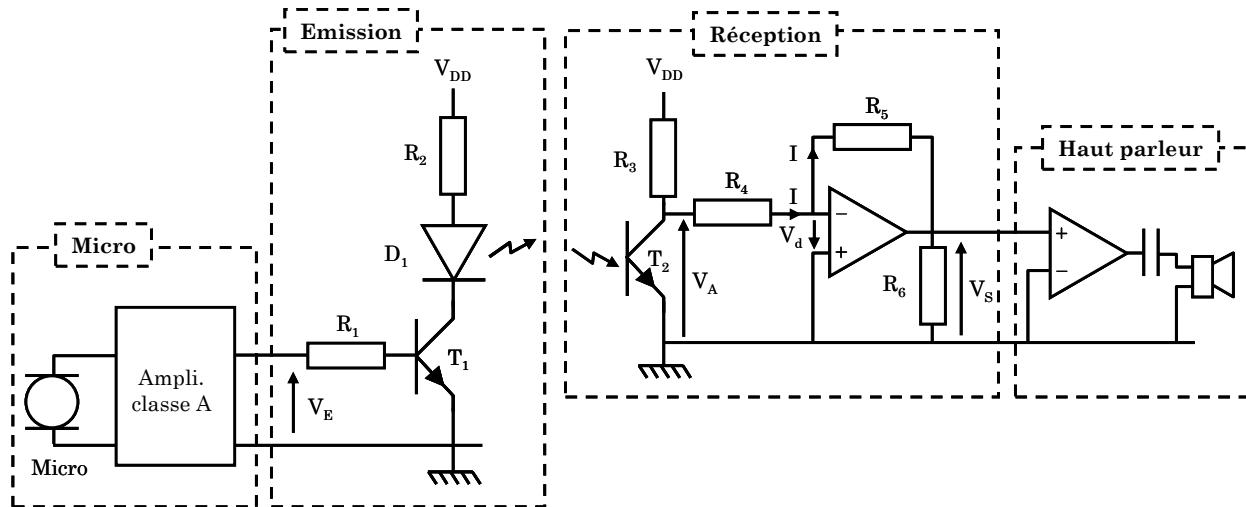
#### RAPPELS :

Schéma électrique de l'oscillateur Abraham Block	
--	--

Table de vérité de la mémoire RS (à 2 transistors bipolaires comme en cours)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Set</th><th>Reset</th><th>Q</th><th><math>\bar{Q}</math></th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr> <td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr> <td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr> <td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr> <td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr> <td>0</td><td>0</td><td>?</td><td>?</td></tr> </tbody> </table>	Set	Reset	Q	$\bar{Q}$	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	?	?
Set	Reset	Q	$\bar{Q}$																										
0	0	0	1																										
1	0	1	0																										
0	0	1	0																										
0	1	0	1																										
1	1	0	0																										
0	0	?	?																										

Préfixes	milli	m	$10^{-3}$
	micro	$\mu$	$10^{-6}$
	nano	n	$10^{-9}$

## EXERCICE I : Communication par laser (10 pts)



**Figure I.1.**  $V_{DD} = 9$  V,  $R_1 = 4$  k $\Omega$ ,  $R_2 = 10$   $\Omega$ ,  $R_3 = 600$   $\Omega$ ,  $R_4 = 10$  k $\Omega$ ,  $R_5 = 100$  k $\Omega$ . Les caractéristiques de la diode laser  $D_1$  sont :  $V_{SD} = 2,5$  V,  $R_{SD} = 10$   $\Omega$ . Le transistor bipolaire a pour paramètres :  $\beta = 100$ ,  $V_{CEsat} = 0,2$  V et on suppose que  $\beta + 1 \approx \beta$ . La tension de seuil de la jonction base – émetteur est  $V_S = 0,6$  V et sa résistance  $R_S = 1,2$  k $\Omega$ .

Deux étudiants sont logés en cité Universitaire dans des chambres distantes de 30 m et qui se font face. Ils souhaitent pouvoir discuter ensemble (des cours) sans passer par le téléphone. Pour cela, ils décident de réaliser le montage électronique de la figure (I.1) qui se compose de quatre parties :

- Le microphone et son petit amplificateur
- L'émission avec sa diode laser
- La réception avec le phototransistor et son amplificateur
- Le haut-parleur précédé de son AOP audio

**On ne s'intéressera qu'aux parties émission et réception dans les questions (I.1) et (I.2).** La tension  $V_E$  est composée d'une partie statique  $V_{E0} = 4,5$  V et d'une partie dynamique qui dépend de ce qui est dit dans le microphone. **On ne considère dans cet exercice que la partie statique de  $V_E$ .**

### I.1. Partie émission pour $V_E = V_{E0} = 4,5$ V.

#### I.1.1. Donner l'expression et la valeur du courant $I_{B1}$ . (1 pt)

$$I_{B1} = \frac{V_{E0} - V_S}{R_1 + R_S} = 0,75\text{mA}$$

#### I.1.2. Déterminer l'expression et la valeur de $V_{CE}$ ainsi que la valeur de $I_{C1}$ . Préciser le régime de fonctionnement du transistor. (2 pts)

$$I_{C1} = \beta I_{B1} = 75\text{mA}$$

$$V_{CE} = V_{DD} - V_{SD} - (R_2 + R_{SD})I_{C1} = 5\text{V}$$

Comme  $V_{CE} > V_{CEsat}$ , le transistor est en régime linéaire

**I.1.3.** Déterminer l'expression et la valeur du gain dynamique :  $Av = \frac{\partial V_{CE}}{\partial V_E}$ . **(1 pt)**

On a :  $V_{CE} = V_{DD} - V_{SD} - \beta(R_2 + R_{SD}) \frac{V_E - V_S}{R_1 + R_S}$

Donc  $Av = \frac{\partial V_{CE}}{\partial V_E} = -\frac{\beta(R_2 + R_{SD})}{R_1 + R_S} = -0,38$

**I.2.** Partie réception pour  $V_E = V_{E0} = 4,5$  V.

En tenant compte de l'angle d'émission de la diode laser, de la distance entre les deux chambres, de la surface du phototransistor et de sa capacité à convertir les photons en courant, on peut écrire que le courant de base du phototransistor est donné par :  $I_{B2} = 0,001 \times I_{C1}$ .

**I.2.1.** Donner la valeur du courant  $I_{B2}$ . **(0,5 pt)**

On a  $I_{B2} = 0,001 \times I_{C1} = 75 \mu\text{A}$

**I.2.2.** On considère que le courant qui circule dans  $R_4$  est négligeable devant celui qui circule dans  $R_3$ . Donner la valeur de la tension  $V_A$ . On n'oubliera pas de vérifier si le transistor est saturé **(2 pts)**

$I_{C2} = \beta I_{B2} = 7,5 \text{ mA}$

$V_{CE} = V_A = V_{DD} - R_3 I_{C2} = 4,5 \text{ V} > V_{CEsat}$  donc le transistor est en régime linéaire

**I.2.3.** On cherche ici à redémontrer la formule du cours qui donne le gain en tension du montage avec l'AOP,  $R_4$  et  $R_5$  :  $\frac{V_S}{V_A} \approx -\frac{R_5}{R_4}$ . Pour cela, vous pouvez utiliser le courant  $I$

(indiqué sur le schéma électrique) comme variable intermédiaire en notant que  $V_S = A \times V_d$  et que les entrées + et - de l'AOP ne consomment pas de courant. Au final, il faudra tenir compte de la valeur du gain de l'AOP :  $A = 10^5$  qui est très grand devant 1. **(1,5 pts)**

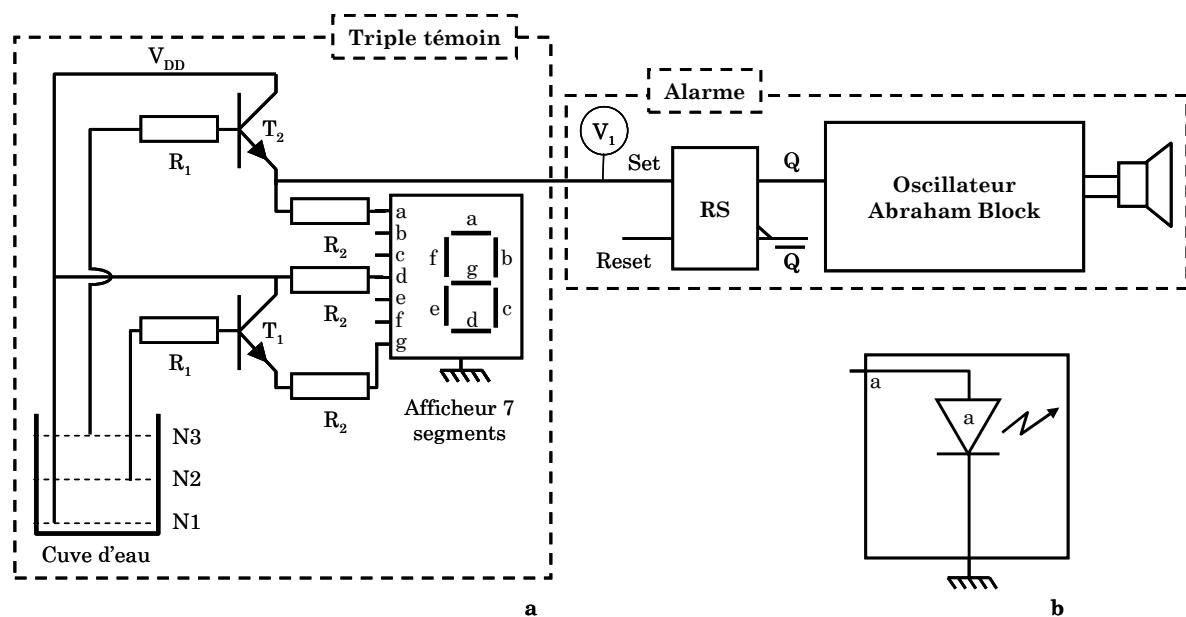
On a  $V_A = R_4 I - V_d$  et  $-V_d = R_5 I + V_S$  et en combinant ces deux équations on

obtient :  $\frac{R_1}{R_2} = \frac{V_A + \frac{V_S}{A}}{-V_S \left(1 + \frac{1}{A}\right)} = -\frac{A + \frac{V_S}{A}}{\frac{V_S}{A} (A + 1)}$  soit :  $\frac{V_S}{V_A} = \frac{-A}{1 + \frac{R_4}{R_5} (A + 1)} \approx -\frac{R_5}{R_4}$

**I.3.** Expliquer en quelques phrases et sans équation le fonctionnement global du circuit de la figure (I.1) en partant de la voix (donc du micro) jusqu'au haut parleur **(2 pts)**.

La voix induit une variation de tension aux bornes du micro qui une fois amplifiée fait varier les courants de base et de collecteur du transistor  $T_1$ . Cela implique une variation du courant dans la diode laser et donc une variation du nombre de photons émis. Cette variation du nombre de photons implique une variation du courant de collecteur du phototransistor  $T_2$ , variation qui est amplifiée par l'AOP puis par l'AOP audio. Finalement le haut parleur branché en sortie de l'AOP audio (via une capacité pour éliminer la tension continue) permet d'entendre la voix.

## EXERCICE II : Triple témoin de niveau d'eau (10 pts)



**Figure II.1.a**  $V_{DD} = 9$  V,  $R_1 = 38$  k $\Omega$ ,  $R_2 = 200$   $\Omega$ . Les caractéristiques des diodes électroluminescentes (LED) de l'afficheur 7 segments sont :  $V_{SD} = 0,6$  V,  $R_{SD} = 200$   $\Omega$ . Le courant maximum pour ces diodes est de 30 mA. Les transistors bipolaires sont identiques avec  $\beta = 100$ ,  $V_{CEsat} = 0$  V et on suppose que  $\beta + 1 \approx \beta$ . La tension de seuil de la jonction base – émetteur est  $V_s = 0,6$  V et sa résistance est nulle,  $R_s = 0$ . **b.** Détail de la connexion de la diode "a" dans l'afficheur 7 segments.

On se propose d'étudier le fonctionnement d'un "triple témoin de niveau d'eau" qui est composé de deux parties comme le montre la figure (II.1.a). La partie "triple témoin" fait apparaître une cuve, qui peut être plus ou moins remplie d'eau, dans laquelle on a placé 3 fils métalliques dont l'extrémité basse correspond aux niveaux N1 à N3. La tension  $V_{DD}$  est appliquée au fil le plus à gauche et on rappelle que l'eau conduit l'électricité (on considérera sa résistance est négligeable devant  $R_1$ ).

L'afficheur 7 segments est constitué de 7 LEDs rouges en forme de barre dont la connexion dans le circuit est donnée à la figure (II.1.b).

La partie "alarme" permet d'avertir par un signal sonore si la cuve est trop pleine. Elle est constituée d'un oscillateur Abraham Block et d'une mémoire RS. La mémoire RS est alimentée avec  $V_{DD}$  et une tension en entrée inférieure à 4 V est considérée comme un 0 logique alors qu'une tension supérieure est considérée comme un 1 logique. Les entrées de cette mémoire ne consomment pas de courant.

### II.1. Partie "triple témoin"

**II.1.1.** Quel que soit le niveau de l'eau dans la cuve, une des 7 diodes est toujours allumée. Dire quelle est cette diode et donner la valeur du courant qui la traverse. (0,5 pt)

La diode "d" est toujours connectée à  $V_{DD}$  via  $R_2$  donc elle est toujours éclairée.

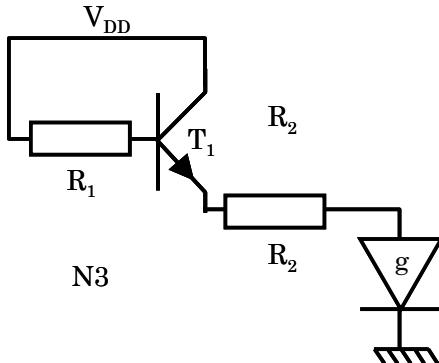
Le courant qui la traverse est donné par :  $I_a = \frac{V_{DD} - V_{SD}}{R_{SD} + R_2} = 21\text{mA}$

**II.1.2.** A quelles conditions, sur le niveau de l'eau, les transistors  $T_1$  et/ou  $T_2$  deviennent passant et dire quelles sont les diodes qui s'éclairent. (1 pt)

$T_1$  devient passant lorsque le niveau de l'eau dépasse  $N2$  et la diode "g" s'éclaire.

$T_2$  devient passant lorsque le niveau de l'eau dépasse  $N3$  et la diode "a" s'éclaire.

**II.1.3.** Dans le cas où le transistor  $T_1$  devient passant, redessiner ci-après le schéma électrique comprenant ce transistor, la diode "g", les résistances  $R_1$  et  $R_2$ , le potentiel  $V_{DD}$  et la masse. Déterminer le courant qui circule dans la base,  $I_{B1}$ , et le courant de collecteur  $I_{C1}$ . On n'oubliera pas de vérifier si le transistor est saturé. (3,5 pts)



Le niveau de l'eau permet à la base du transistor  $T_1$  d'être alimentée via  $R_1$ . Le courant de la base est donné par :  $I_{B2} = \frac{V_{DD} - V_{SD} - V_S}{R_S + \beta(R_{SD} + R_2)} = 100\mu A$

Donc le courant de l'émetteur est  $I_{E2} = (\beta + 1)I_{B2} = \beta I_{B2} = I_{C1} = 10 \text{ mA}$ . Il faut alors vérifier si le transistor est saturé en déterminant  $V_{CE}$  :

$$V_{CE} = V_{DD} - (R_2 + R_{SD})I_{E2} - V_{SD} = 4,4V > V_{CEsat}$$

Donc le transistor est en régime linéaire et on a bien  $I_{E2} = 10 \text{ mA}$ .

**II.1.4.** Quel est la valeur du courant de collecteur du transistor  $T_2$  lorsque celui-ci devient passant. (0,5 pt)

Il est identique à  $I_{C1}$  donc  $I_{C2} = 10 \text{ mA}$ .

**II.1.5.** Parmi les diodes qui peuvent s'éclairer, est ce qu'il y en a une en particulier qui s'éclaire plus que les autres et est ce que les diodes risquent d'être détruites ? (1 pt)

Le courant qui passe dans la diode "d" est deux fois plus fort que celui qui passe dans les diodes "g" et "a" donc la diode "d" est plus lumineuse. Le courant dans les diodes sont inférieurs à 30 mA donc elle ne seront pas détruites.

**II.1.6.** Expliquer le phénomène physique qui est à l'origine de l'émission de lumière (photons) par les diodes. On n'oubliera pas de parler des phonons. (1 pt)

Certains des électrons qui circulent dans la diode se recombinent avec des trous. L'énergie perdue par l'électron se transforme pour partie en phonon (vibration du réseau cristallin, donc chaleur) et une autre partie en photon.

## II.2. Partie ALARME

**II.2.1.** Initialement la sortie Q est à 0. Quelle valeur binaire prend la sortie Q lorsque le niveau de l'eau dépasse N3 ? On donnera la valeur de la tension  $V_1$ . **(0,5 pt)**

Avec  $V_1 = 9 - 4,4 = 4,6$  V la sortie Q prend la valeur binaire 1 soit la tension  $V_{DD}$ .

**II.2.2.** Comment doit-on connecter la sortie Q à l'oscillateur pour entendre la sirène. Donner une seule solution (il peut en exister plusieurs). **(1 pt)**

On peut alimenter l'oscillateur avec la sortie Q de la mémoire

**II.2.3.** Est-ce que la sirène continue de retentir si le niveau de l'eau descend en dessous de N3. On notera que la tension  $V_{CE2}$  est égale à environ 9 V lorsque le transistor  $T_2$  est bloqué. **(0,5 pt)**

Oui car si  $V_1$  passe à 0, la sortie Q reste à 1.

**II.2.4.** Quel est l'intérêt de la présence de l'entrée RESET ? **(0,5 pt)**

Remettre la sortie Q à 0 pour ne plus alimenter l'oscillateur et donc arrêter la sirène.