

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Frères Mentouri – Constantine 1
Faculté des Sciences de la Technologie
Département d'Electronique



DOCUMENT DE TRAVAIL

Travaux Dirigés

MASTER 1, Automatique et informatique industrielle

Electronique Appliquée

Réalisé et présenté par :

Dr. Salah ABADLI

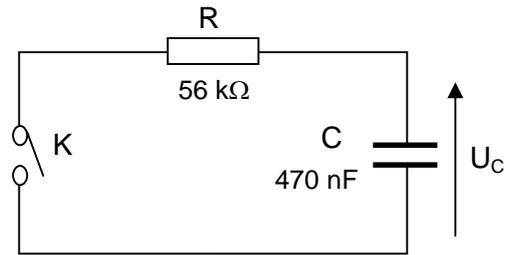
Année Universitaire : 2019 / 2020 (Semestre 2)



TD : le condensateur et le transistor en commutation

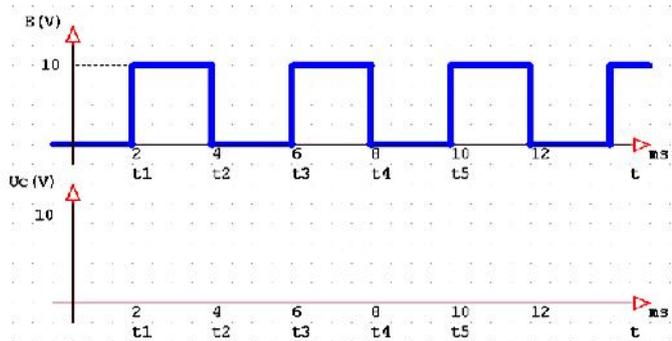
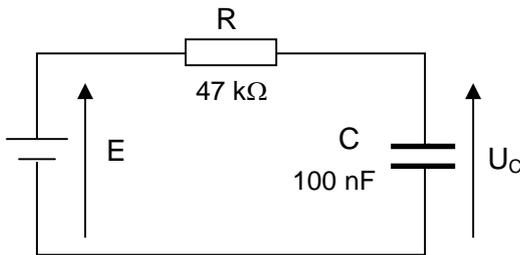
Exercice 1

Le condensateur étant chargé à 5 V, on ferme ensuite K.
 Au bout de combien de temps la tension $U_C = 2 V$.
 Quelle est la valeur de I_C en ce moment.



Exercice 2

Soit le montage suivant ci-dessous (à $t = 0$, $U_C = 5 V$) :



Calculer les valeurs de U_C aux instants : t_1, t_2, t_3, t_4, t_5 . Compléter le chronogramme de U_C .

Exercice 3

On désire effectuer la remise à 0 d'un circuit, lors de la mise sous tension.

Pour cela, on utilise le montage ci-dessous.

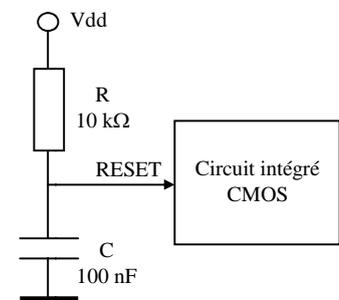
Le circuit intégré est en technologie CMOS.

Le courant entrant dans l'entrée RESET est nul.

L'entrée RESET est active au niveau logique bas.

On donne : Niveau logique "1" pour $V_{in} > 70\% V_{dd}$

Niveau logique "0" pour $V_{in} < 70\% V_{dd}$.



A partir de la mise sous tension, au bout de combien de temps est-on certain que l'entrée RESET n'est plus active.

Exercice 4

Un transistor NPN est alimenté sous une tension 9 V.

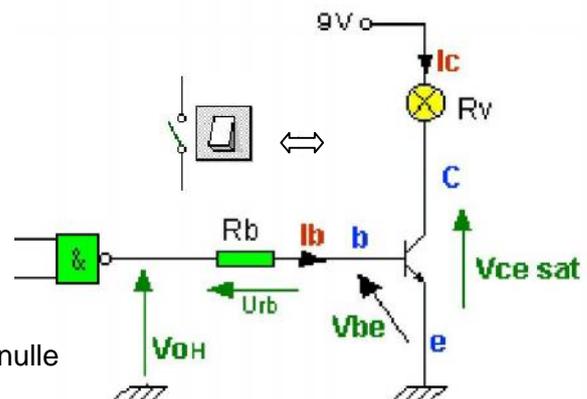
On donne : $R_V = 50 \Omega$, $V_{CE_sat} = 0,2 V$, $V_{BE} = 0,7 V$

$200 < \beta < 300$ et la tension de commande $V_{OH} = 5 V$.

On prend un coefficient de sécurité de 2, pour être sûr que le transistor sera bien saturé.

Calculer la valeur de la résistance R_b ?

Attention : la tension V_{CE_sat} est proche de 0 mais pas nulle ($V_{CE_sat} \cong 0,2 V$).



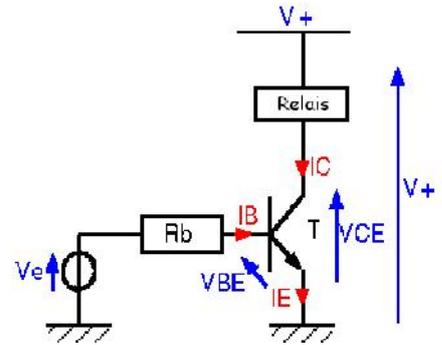
Exercice 5

Soit le montage de la figure suivante :

On donne : $V_e = 0$ ou 10 V , $I_{rel} = 55\text{ mA}$, $V_{relais} = V_{CC} = 24\text{ V}$

$V_{CE_sat} = 0,4\text{ V}$, $V_{BE} = 0,7\text{ V}$, $\beta = 200$, sursaturation avec $k = 2$

Calculer les éléments du montage (R_b , R_{relais} , I_B , I_{B_sat}).



Exercice 6

Les caractéristiques du transistor bipolaire utilisé sont :

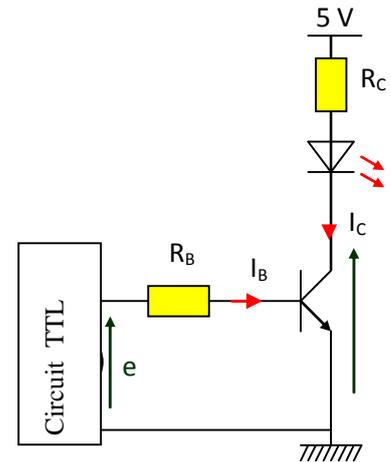
$V_{BE_sat} = 0,7\text{ V}$; $V_{CE_sat} = 0,2\text{ V}$; $70 < \beta < 300$

On suppose $I_C \cong 0$ lorsque le transistor est bloqué. La LED présente une tension V_F de l'ordre de $1,8\text{ V}$.

La tension de commande « e » est une tension carrée $0\text{V} / 5\text{V}$.

En déduire la valeur que doit présenter R_C pour que le courant dans la LED soit de l'ordre de 10 mA lorsque le transistor est saturé.

Déterminer la valeur limite de R_B qui permet de saturer le transistor, de manière certaine, avec un coefficient de sursaturation supérieur ou égal à 2.



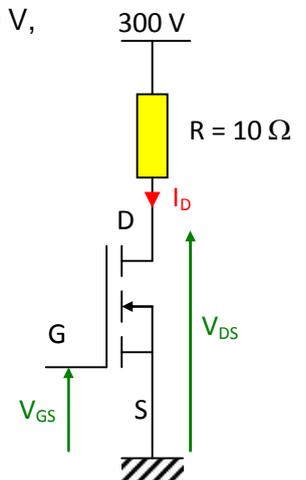
Exercice 7

De façon à commander en tout ou rien une charge résistive de $10\ \Omega$ sous 300 V , on veut mettre en œuvre le transistor MOS ci-contre.

Lorsque le transistor MOS fonctionne en zone ohmique ($V_{DS} = R_{DS} \times I_D$),

il se comporte comme une résistance $R_{DS} \cong 0,1\ \Omega$.

Calculer dans ce cas, les valeurs de I_D et de V_{DS} .



Exercice 1 : Corrigé

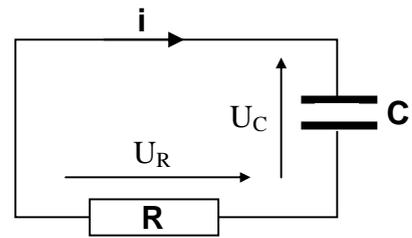
Dans ce cas : $0 = U_C + U_R$ et donc : $0 = U_C + RC \frac{dU_C}{dt}$

La solution de cette équation est : $U_C = E e^{-\frac{t}{RC}} = 5 e^{-\frac{t}{RC}}$

On cherche alors : $2 = 5 e^{-\frac{t}{RC}}$

$$t = -RC \cdot \ln\left(\frac{2}{5}\right) = -56 \cdot 10^3 \cdot 470 \cdot 10^{-9} \cdot \ln(0,4) = 24,12 \text{ ms}$$

$$I_C = -\frac{U_C}{R} = -\frac{2}{56 \cdot 10^3} = -35,7 \mu A$$

**Exercice 2 : Corrigé**

Dans le cas général, $U_C = A + B e^{-\frac{t}{RC}}$

à $t_0 = 0$: on a la tension $U_{C(t_0)} = E = 5 \text{ V}$ et donc $U_C = 5 e^{-\frac{t}{RC}}$ (équation de la décharge)

de t_0 à $t_1 = 2 \text{ ms}$: on a la tension $U_{C(t_1)} = 5 e^{-\frac{t_1}{RC}} = 5 \left(e^{\frac{-2 \cdot 10^{-3}}{47 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^{-9}}} \right) = 3,267 \text{ V}$

de t_1 à $t_2 = 4 \text{ ms}$: on a la tension ($U_C(0) = 3,267 \text{ V}$ et $U_C(\infty) = 10$) (charge)

$$\begin{cases} U_C = A + B = 3,267 \text{ V} \\ U_C = A = 10 \text{ V} \end{cases} \equiv \begin{cases} A = 10 \text{ V} \\ B = -6,7329 \text{ V} \end{cases}$$

On obtient alors l'équation suivante :

$$U_C = 10 - 6,7329 \cdot \left(e^{\frac{-t}{RC}} \right)$$

On cherche alors :

$$U_{C(t_2)} = 10 - 6,7329 \cdot \left(e^{\frac{-t_2}{RC}} \right)$$

$$U_{C(t_2)} = 10 - 6,7329 \cdot \left(e^{\frac{-2 \cdot 10^{-3}}{47 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^{-9}}} \right) = 5,60 \text{ V}$$

de t_2 à $t_3 = 6 \text{ ms}$: on a la tension ($U_C(0) = 5,60 \text{ V}$ et $U_C(\infty) = 0$) (décharge)

$$\begin{cases} U_C = A + B = 5,60 \text{ V} \\ U_C = A = 0 \text{ V} \end{cases} \equiv \begin{cases} A = 0 \text{ V} \\ B = 5,60 \text{ V} \end{cases}$$

On obtient alors l'équation suivante :

$$U_C = 5,60 \cdot \left(e^{\frac{-t}{R \cdot C}} \right)$$

On cherche alors :

$$U_{C(t3)} = 5,60 \cdot \left(e^{\frac{-t3}{R \cdot C}} \right)$$

$$U_{C(t3)} = 5,60 \cdot \left(e^{\frac{-2 \cdot 10^{-3}}{47 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^{-9}}} \right) = 3,659 \text{ V}$$

de t_3 à $t_4 = 8 \text{ ms}$: on a la tension ($U_C(0) = 3,659 \text{ V}$ et $U_C(\infty) = 10$) (une charge)

$$\begin{cases} U_C = A + B = 3,659 \text{ V} \\ U_C = A = 10 \text{ V} \end{cases} \equiv \begin{cases} A = 10 \text{ V} \\ B = -6,341 \text{ V} \end{cases}$$

On obtient alors l'équation suivante :

$$U_C = 10 - 6,341 \cdot \left(e^{\frac{-t}{R \cdot C}} \right)$$

On cherche alors :

$$U_{C(t4)} = 10 - 6,341 \cdot \left(e^{\frac{-t4}{R \cdot C}} \right)$$

$$U_{C(t4)} = 10 - 6,341 \cdot \left(e^{\frac{-2 \cdot 10^{-3}}{47 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^{-9}}} \right) = 5,8567 \text{ V}$$

de t_4 à $t_5 = 10 \text{ ms}$: on a la tension ($U_C(0) = 5,856 \text{ V}$ et $U_C(\infty) = 0$) (une charge)

$$\begin{cases} U_C = A + B = 5,8567 \text{ V} \\ U_C = A = 0 \text{ V} \end{cases} \equiv \begin{cases} A = 0 \text{ V} \\ B = 5,8567 \text{ V} \end{cases}$$

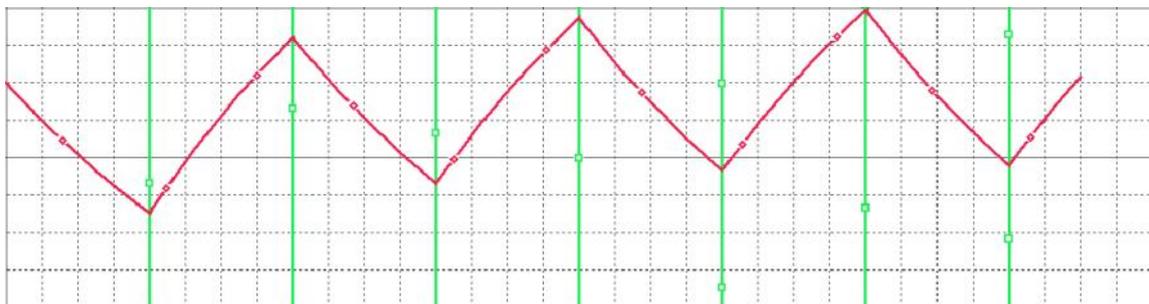
On obtient alors l'équation suivante :

$$U_c = 5,8567 \cdot \left(e^{\frac{-t}{R.C}} \right)$$

On cherche alors :

$$U_c(t5) = 5,8567 \cdot \left(e^{\frac{-t4}{R.C}} \right)$$

$$U_c(t5) = 5,8567 \cdot \left(e^{\frac{-2.10^{-3}}{47.10^3 \cdot 100.10^{-9}}} \right) = 3,827 \text{ V}$$



Exercice 3 : Corrigé

L'entrée RESET n'est plus active dès que l'on dépasse les 70% de Vdd. Il faut donc calculer au bout de combien de temps la tension aux bornes du condensateur dépasse les 70% de Vdd. On calcule alors l'équation de U_c .

On a l'équation suivante : $U_c = A + B \cdot e^{\frac{-t}{R.C}}$

	A t = 0	A t = ∞
Dans le schéma	$U_c = 0 \text{ V}$	$U_c = V_{dd}$
Dans l'équation	$U_c = A + B$	$U_c = A$

On en déduit alors :

$$\begin{cases} U_c = A + B = 0 \text{ V} \\ U_c = A = V_{dd} \end{cases} \equiv \begin{cases} A = V_{dd} \\ B = -V_{dd} \end{cases}$$

On obtient alors l'équation suivante :

$$U_c = V_{dd} \left(1 - e^{\frac{-t}{R.C}} \right)$$

On cherche alors :

$$0,7 V_{dd} = V_{dd} \left(1 - e^{\frac{-t}{R.C}} \right)$$

$$t = -R.C \cdot \ln \left(\frac{1 - 0,7}{1} \right) = -10.10^3 \cdot 100.10^{-9} \cdot \ln(0,3) = 1,2 \text{ ms}$$

Exercice 4 : Corrigé

$$I_c = (V_{cc} - V_{cesat}) / R_v = (9 - 0,2) / 50 = 0,176 \text{ A}$$

$$I_c = 0,176 \text{ A}$$

Le courant de base I_b doit être suffisant pour saturer le transistor : $I_b > I_c / \beta$

Si dans notre cas β est au moins égal à 200 d'après la documentation constructeur, il nous faut :

$$I_{b_min} = 0,176 / 200 = 0,88 \text{ mA}$$

On prend un **coefficient de sécurité de $k=2$** pour être sûr que le transistor soit bien saturé :

$$I_{b_sat} = I_{b_min} \times 2 = 1,76 \text{ mA}$$

Connaissant I_b , il est maintenant possible de calculer R_b avec $R_b = U_{rb} / I_b$ et

$$V_{be} + U_{rb} = V_{oH}$$

Rappel : $V_{be} = V_{be_sat} = 0.7 \text{ V}$ (diode)

$V_{oH} = 5 \text{ V}$ selon la documentation.

$$U_{rb} = V_{oH} - V_{be} = 5 - 0,7 = 4,3 \text{ V}$$

$$U_{rb} = 4,3 \text{ V}$$

Nous pouvons calculer R_b théorique : $R_b = U_{rb} / I_{b_sat} = 4,3 / 0,00176 \approx 2443 \Omega$
 $R_b = 2,4 \text{ k}\Omega$

Nous choisirons **$R_b = 2,4 \text{ k}\Omega$** (valeur normalisée)

Exercice 5 : Corrigé

1. Lorsque que V_e sera à 0 V, $I_B = 0 \text{ A}$, le transistor sera bloqué, le relais (une bobine) ne sera pas actif.

2. Quand V_e sera à 10V il faut que le transistor conduise pour que le relais soit actif.

On part de la sortie : $I_C = I_{relais} = 55 \text{ mA}$

Calcul de I_B : comme $I_C = \beta \times I_B$ alors $I_B = I_C / \beta = 55 \cdot 10^{-3} / 150 = 3,67 \cdot 10^{-4} \text{ A}$

On applique un coefficient de sursaturation de 2 : $I_{Bsat} = 2 \times 3,67 \cdot 10^{-4} = 7,33 \cdot 10^{-4} \text{ A}$

Équation de la maille d'entrée: $V_{BE} + V_{Rb} - V_e = 0$ c'est-à-dire $V_{BE} + (R_b \times I_{Bsat}) - V_e = 0$

Exercice 6 : Corrigé

Lorsque le transistor est saturé : $e = 5 V$, $V_{BE_{sat}} = 0,7 V$, $V_{CE_{sat}} \approx 0$ et $V_F = 1,8 V$, donc $V_{R_c} \approx 5 - 1,8 - 0 = 3,2 V$ avec $I_c \approx 10 mA$.

On en déduit que $R_C \approx \frac{3,2}{0,01} = 320 \Omega$

Pour que le transistor soit saturé, il faut $I_B > \frac{I_C}{S}$.

Pour que la relation soit toujours vérifiée, quelque soit $70 < S < 300$, il faut considérer le cas le plus défavorable :

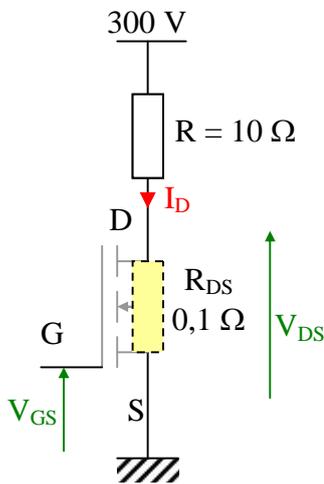
Il faut prendre $I_B > \frac{I_C}{S_{min}}$.

On propose de prendre un coefficient de sursaturation de 2

$$\Rightarrow I_B > 2 \cdot \frac{I_C}{S_{min}} \Leftrightarrow I_B > 2 \cdot \frac{0,01}{70} \Leftrightarrow I_B > 2,86 \cdot 10^{-4} A = 286 \mu A$$

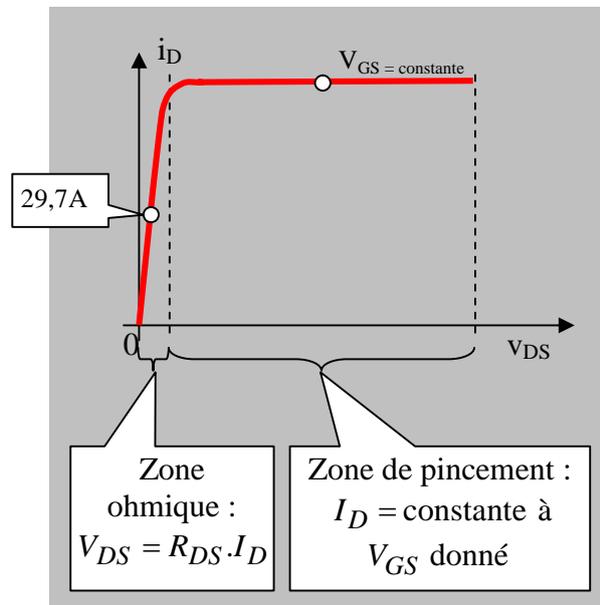
Loi d'Ohm : $\Rightarrow \left[I_B = \frac{4,3}{R_B} \right] > 286 \mu A \Leftrightarrow R_B < \frac{4,3}{286 \cdot 10^{-6}} \Leftrightarrow R_B < 15 k\Omega$

Exercice 7 : Corrigé



$$I_D = \frac{300}{R + R_{DS}} = \frac{300}{10 + 0,1} = 29,7 A$$

$$V_{DS} = R_{DS} \cdot I_D = 2,97 V$$



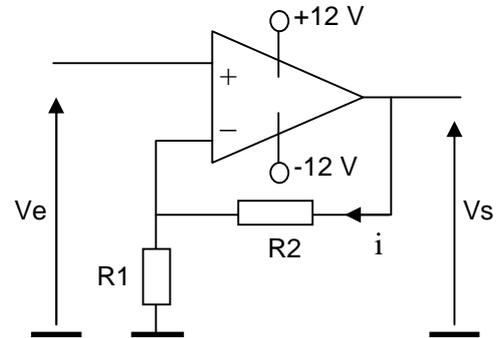


TD : L'amplificateur opérationnel (AOP) et montages à base de l'AOP

Exercice 1

On considère le montage amplificateur suivant :

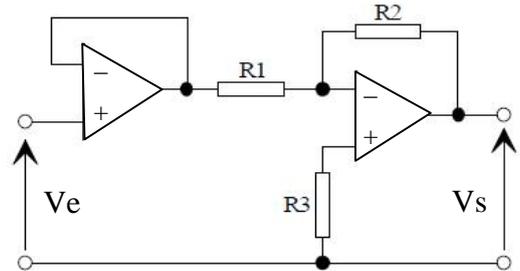
- 1) Sans faire de calcul, cet amplificateur est-il inverseur ou non inverseur et pourquoi ?
- 2) V_e est un signal sinusoïdal d'amplitude 0,8 V, on désire pour V_s un signal d'amplitude 5 V.
Calculer l'amplification en tension A_v .
- 3) Calculer le gain en tension A_v en dB
- 4) Calculer les résistances R_1 et R_2 , afin que le courant efficace i soit de 0,1 mA.



Exercice 2

Dans ce qui suit, V_e est un signal sinusoïdal d'amplitude 0,5 V et V_s un signal d'amplitude 6 V

- 1) Calculer l'amplification en tension A_v
- 2) Calculer le gain en tension en dB
- 3) Calculer la valeur de R_2 pour $R_1 = 2\text{ K}\Omega$
- 4) La résistance R_3 sert à compenser les écarts entre les courants d'entrée dans l'AOP. Calculer R_3 .



Exercice 3

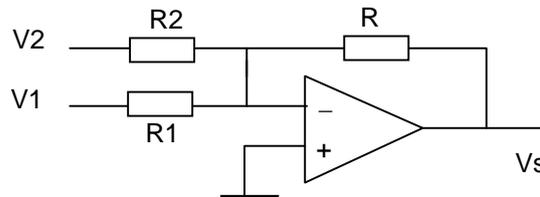
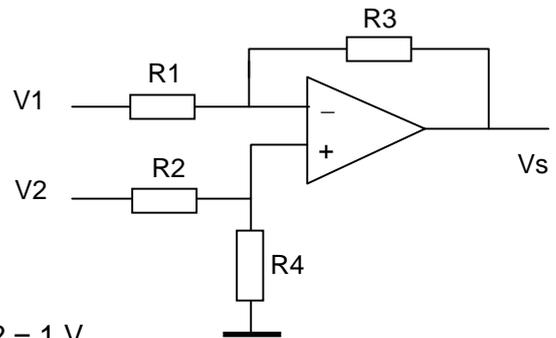
1) Dans le montage ci-contre, on donne :

$R_1 = R_2 = 1\text{ K}\Omega$, $R_3 = 12\text{ k}\Omega$, $R_4 = 15\text{ K}\Omega$
 $V_1 = 3\text{ V}$ et $V_2 = 1,5\text{ V}$. Trouvez la sortie V_s ?

2) Dans le montage suivant, on donne :

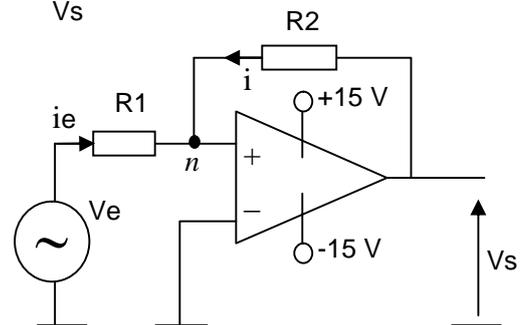
$R_1 = 10\text{ K}\Omega$, $R_2 = 20\text{ K}\Omega$, $R = 20\text{ k}\Omega$

Calculer la tension de sortie V_s pour : $V_1 = 5\text{ V}$ et $V_2 = 1\text{ V}$.



Exercice 4

Déterminer le gain V_s / V_e de l'AOP suivant :



Exercice 5

Soit l'amplificateur de tension non inverseur de la figure suivante :

- 1) Trouver le gain de l'amplificateur en fonction des résistances R_1 , R_2 , R_3 et R_4 .
- 2) En déduire le gain du circuit pour $R_1 = \infty$.

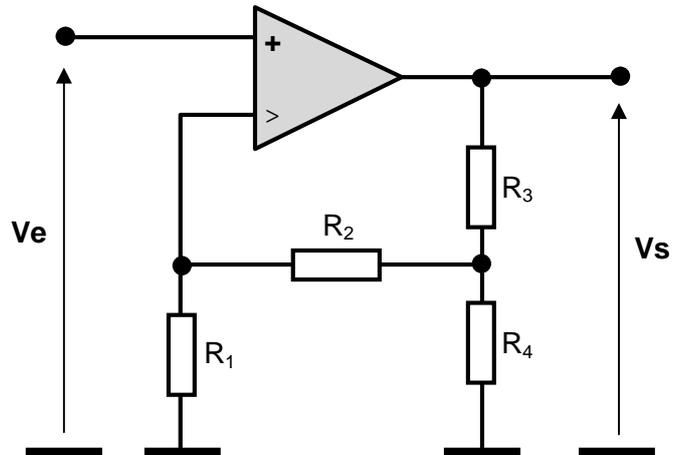
Faire l'application numérique pour :

$R_2 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 100 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 10 \text{ k}\Omega$

- 3) En déduire le gain du circuit pour $R_2 = 0$.

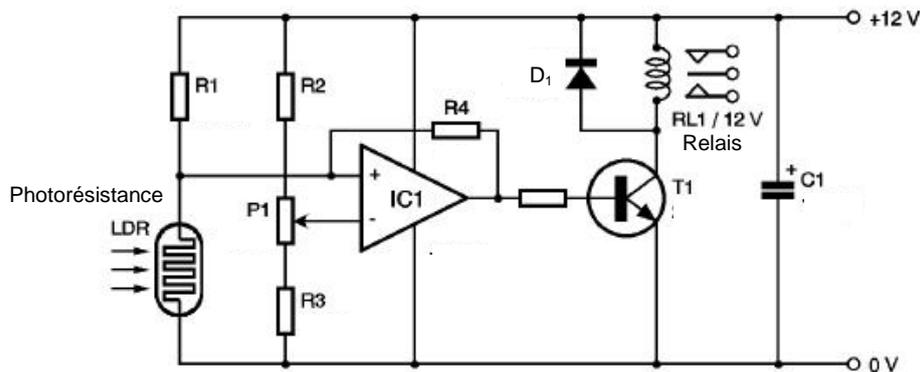
Faire l'application numérique pour :

$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 100 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 10 \text{ k}\Omega$



Exercice 6

- 1) Explique brièvement le principe de fonctionnement du circuit ci-dessous :
- 2) Que pourrait être la fonction de ce circuit ?
- 3) Quel est le rôle du composant LDR (photorésistance) ?
- 4) Quel est le rôle du transistor T_1 ?
- 5) Quel est le rôle du relais RL1/12V ?
- 6) Proposer une référence pour le circuit IC1 ?



Exercice 1 : Corrigé

1°) Ce montage est un amplificateur non inverseur car le signal d'entrée à traiter U_e est appliqué sur l'entrée non inverseuse de l'AIL $E+$.

$$2^\circ) A_v = U_s / U_e = 5 / 0,8 = \underline{6,25}$$

$$3^\circ) G_{(dB)} = 20 \cdot \log(A_v) = 20 \log(6,25) = \underline{15,9dB}$$

$$4^\circ) R_1 = U_{e_{eff}} / I_{eff} = (0,8 / 1,414) / 0,1 \cdot 10^{-3} = \underline{5,65k\Omega}$$

$$\text{Aussi, } R_1 + R_2 = U_{s_{eff}} / I_{eff} = (5 / 1,414) / (0,1 \cdot 10^{-3}) = \underline{35,35k\Omega}$$

$$\text{Donc } R_2 = (35,35 - 5,65) \cdot 10^3 = \underline{29,7k\Omega}$$

Exercice 2 : Corrigé

Réponses attendues : Montage Amplificateur inverseur précédé d'un montage suiveur :

$$1^\circ) A_v = V_s / V_e = -6 / 0,5 = \underline{-12}$$

$$2^\circ) G_{(dB)} = 20 \cdot \log(A_v) = 20 \log 12 = \underline{15,9dB}$$

$$3^\circ) A_v = R_2 / R_1 = -12 \quad \text{donc } -R_2 = -12 \cdot R_1 \quad \text{alors } R_2 = \underline{24k\Omega}$$

4°) Non corrigée.

$$5^\circ) R_3 = (R_1 \cdot R_2) / (R_1 + R_2) = (2 \times 24) / (2 + 24) = 48 / 26 = \underline{1,85 k\Omega}$$

Exercice 3 : Corrigé

Le circuit est un ampli-op soustracteur (différentiateur) et la sortie est exprimée par :

$$V_o = \frac{R_3}{R_1} (V_{i_2} - V_{i_1}) = \frac{R_3}{R_2} (V_{i_2} - V_{i_1}) = \frac{12}{1} (1,5V - 3V) = -18V$$

Important : Il est évident que pour obtenir 18V à la sortie hors saturation, il faut que l'ampli-op soit alimenté par une tension V_a supérieure à 18V de telle sorte que $V_o = 18V < V_{sat} = 80\% V_a$.

Tout d'abord, il faut remarquer que l'ampli-op est alimenté avec les tensions $\pm 15V$. Cela veut dire que le maximum que l'on peut mesurer à sa sortie est la tension de saturation V_{sat} égale à environ 80% de la tension d'alimentation, c'est-à-dire $\pm 15V \times 80\% = \pm 12V$.

cas 1 : La tension de sortie de l'ampli-op est :

$$\begin{aligned} V_o &= -\frac{R}{R_1} V_{i1} - \frac{R}{R_2} V_{i2} \\ V_o &= -\frac{20k\Omega}{10k\Omega} (5V) - \frac{20k\Omega}{20k\Omega} (1V) \\ V_o &= -11V \end{aligned}$$

Exercice 4 : Corrigé

Comme dans tout amplificateur opérationnel (ampli-op), on suppose que le gain $A > 10^4$.

De plus, comme l'impédance d'entrée est élevée, le courant $i_1 = i$. Si V_n est la tension au noeud n , alors on a :

$$\frac{V_i - V_n}{R_1} + \frac{V_o - V_n}{R} = 0$$

Comme le gain de l'ampli-op est A , alors :

$$V_o = AV_n$$

En combinant les deux équations précédentes, on obtient :

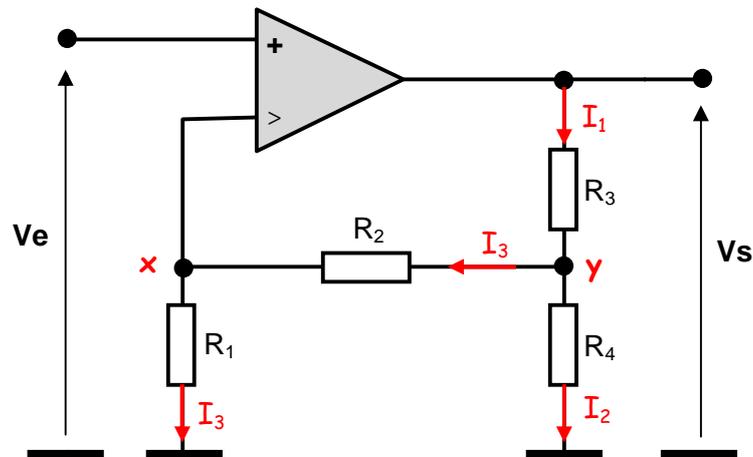
$$\frac{V_i}{R_1} - \frac{V_o}{AR_1} + \frac{V_o}{R} - \frac{V_o}{AR} = 0 \implies V_o = \frac{A \frac{R}{R_1} V_i}{\frac{R}{R_1} - A}$$

Sachant que $A > 10^4$, on obtient :

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{A}{1 - A \frac{R_1}{R}} \approx -\frac{R}{R_1}$$

Exercice 5 : Corrigé

Pour calculer le gain de l'ampli-op, on va se baser sur la figure suivante :



En observant la figure et en se basant sur les équations de base d'un ampli-op, on peut écrire :

$$V^+ = V^-$$

Comme $V^+ = V_i$ et $V_x = V^-$, alors on en déduit que : $V^+ = V^- = V_i = V_x$.

De plus, le courant entrant dans la borne + et la borne - est nul.

Maintenant, en se basant sur la figure, on peut écrire les équations suivantes :

$$V_x = V_i$$

$$i_1 = i_2 + i_3 \tag{1a}$$

$$V_y - V_x = V_y - V_i = R_2 i_3 \implies V_y = R_2 i_3 + V_i \quad (1b)$$

$$V_o - V_y = R_3 i_1 \implies V_o = R_1 i_3 + V_y \quad (1c)$$

$$V_y - R_4 i_2 \implies i_2 = \frac{V_y}{R_4} \quad (1d)$$

$$V_x = V_i = R_1 i_3 \implies i_3 = \frac{V_i}{R_1} \quad (1e)$$

En utilisant 1d, 1e et 1b, l'équation 1a devient :

$$i_1 = i_2 + i_3 = \frac{V_y}{R_4} + \frac{V_i}{R_1}$$

$$i_1 = \frac{R_2 i_3 + V_i}{R_4} + \frac{V_i}{R_1} = \frac{R_2 \left(\frac{V_i}{R_1}\right) + V_i}{R_4} + \frac{V_i}{R_1} = V_i \left[\frac{R_1 + R_2}{R_1 R_4} + \frac{1}{R_1} \right] \quad (2a)$$

En utilisant 1b, 1e et 2a, l'équation 1c devient :

$$V_o - V_y = R_3 i_1$$

$$V_o - (R_2 i_3 + V_i) = R_3 i_1$$

$$V_o - \left(R_2 \left(\frac{V_i}{R_1} \right) + V_i \right) = R_3 \left(V_i \left[\frac{R_1 + R_2}{R_1 R_4} + \frac{1}{R_1} \right] \right)$$

$$V_o = V_i \left[\frac{R_2}{R_1} + 1 + R_3 \left[\frac{R_1 + R_2}{R_1 R_4} + \frac{1}{R_1} \right] \right] \quad (3a)$$

Enfin, l'équation cherchée est :

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{R_2}{R_1} + 1 + R_3 \left[\frac{R_1 + R_2}{R_1 R_4} + \frac{1}{R_1} \right]$$

et le gain est :

$$\text{gain} = \frac{R_2}{R_1} + 1 + \frac{R_3}{R_4} + \frac{R_2 R_3}{R_1 R_4} + \frac{R_3}{R_1} = \frac{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4) + R_3 R_4}{R_1 R_4}$$

$$\text{si } R_1 \rightarrow \infty \implies \text{gain} = 1 + \frac{R_3}{R_4}$$

$$\text{si } R_2 \rightarrow 0 \implies \text{gain} = 1 + \frac{R_3(R_1 + R_4)}{R_1 R_4}$$

Exercice 6 : Corrigé

1- Principe de fonctionnement du circuit donnée :

Le composant le plus remarquable dans le circuit est la photorésistance LDR. La valeur de cette résistance est dépendante de la luminosité ; lorsqu'elle est éclairée. La tension disponible au (+) du IC1 (AOP) va donc varier en fonction de l'éclairement de la LDR. La tension sur l'entrée (-) du IC1 est ajustable à l'aide de P1, ce qui permettra de modifier la sensibilité du circuit.

Comme la sortie du circuit AOP ne peut pas fournir beaucoup de courant pour commander un étage de puissance, le circuit est suivi par un transistor monté en EC pour commander le relais (permettant la commutation du montage de puissance élevée).

2- La fonction de ce circuit pourrait être : circuit de commande d'un étage de puissance en fonction de la lumière. Par exemple : la fonction d'allumer et d'éteindre les lampes de l'éclairage public dès que la luminosité tombe au dessous d'une certaine valeur.

3- Le rôle du transistor T_1 est : augmenter le courant de commande du relais.

Le rôle de C_1 est : pour éviter les problèmes du mauvais contact.

4- Proposition d'une référence pour le circuit IC1 : $\mu A741$, TL081,....

TD : La génération de signaux

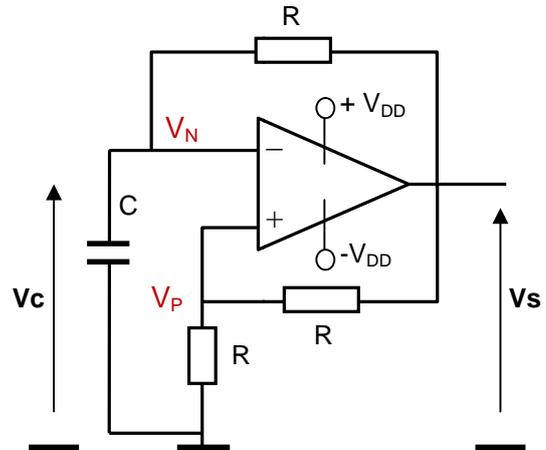
Exercice 1

On considère le montage astable suivant :

Le gain de l'AOP est de 100 000 et on l'alimente en $V_{DD} = +15\text{ V}$ et $-V_{DD} = -15\text{ V}$. Les tensions V_P , V_N et V_S sont référenciées par rapport à la masse.

$R = 10\text{ k}\Omega$ et $C = 1\mu\text{F}$.

1) on se place à $t=0$ et on suppose que C est déchargée et que $V_S = +V_{DD}$. Donner les valeurs de V_P et V_N .



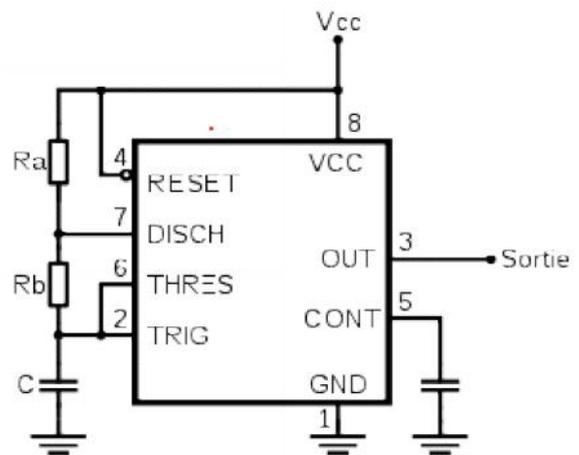
2) à partir de $t=0+$, C commence à se charger. Déterminer l'expression de V_N en fonction du temps. Déterminer l'expression du temps t_1 , à partir duquel la tension V_S devient égale à $-V_{DD}$.

3) A partir de $t=t_1+$, la capacité commence à se décharger et $V_S = -V_{DD}$. On prendra t_1 comme origine de temps, donner la valeur de V_P et l'expression et la valeur de V_N en fonction du temps. Déterminer l'expression et la du temps t_2 , à partir duquel la tension V_S devient égale à V_{DD} .

Exercice 2

On considère le montage astable suivant :

- 1) Déterminer la fréquence d'oscillation du signal de sortie pour : $R_a = R_b = 100\text{ k}\Omega$ et $C = 10\mu\text{F}$.
- 2) Déterminer la fréquence d'oscillation du signal de sortie pour : $R_a = 4,7\text{ k}\Omega$; $R_b = 100\text{ k}\Omega$ et $C = 10\mu\text{F}$.

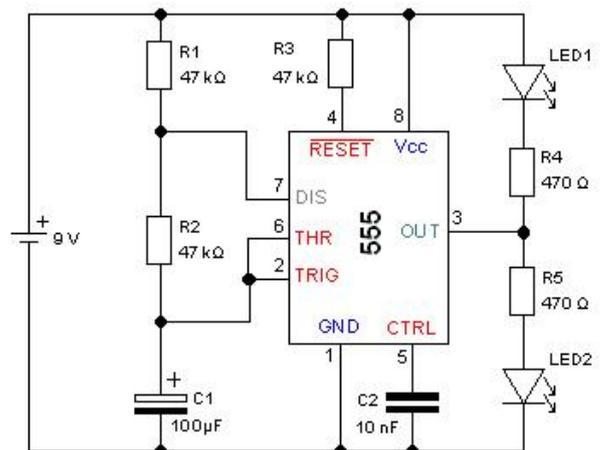


Exercice 3

Soit le montage de la figure suivante.

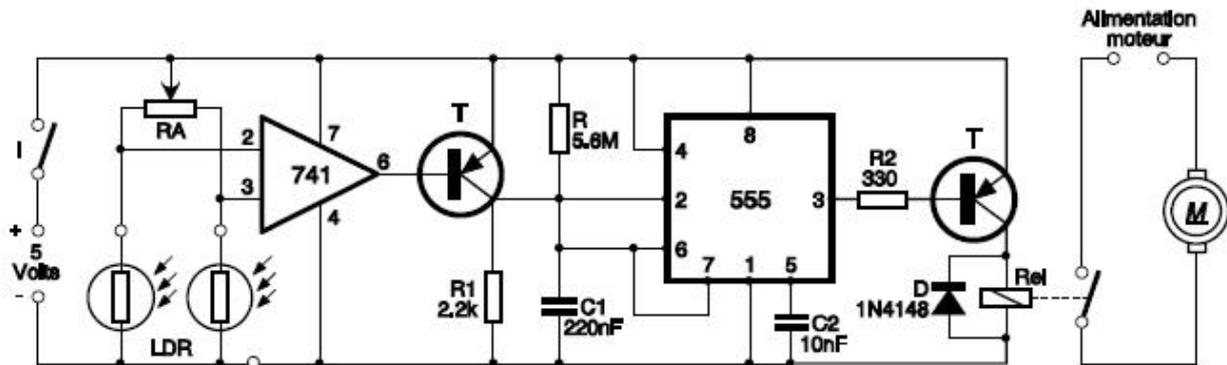
Déterminer la fréquence d'oscillation du signal de Sortie ?

Déterminer le rapport cyclique du signal de sortie ?



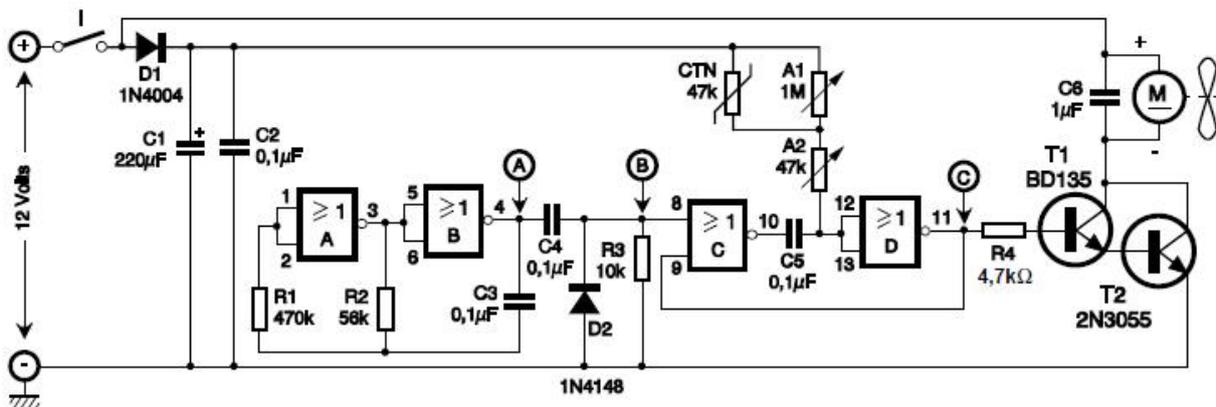
Exercice 4

- 1) Expliquer brièvement le principe de fonctionnement du circuit ci-dessous :
- 2) Que pourrait être la fonction de ce circuit ?
- 3) Spécifier le rôle des divers étages du circuit global ?
- 4) Quel est le rôle du transistor T ? Proposer une référence pour ce transistor ?
- 5) Représenter le signal de sortie du NE555 ? Calculer la durée du signal ?



Exercice 5

Soit le montage de régulation de la température dans une voiture suivant :



- 1) Quel est le type d'oscillateur réalisé par les portes logiques A et B du circuit ci-dessus ?
- 2) Calculer la période T, la fréquence f et le rapport cyclique du signal généré par cet oscillateur ?
- 3) Représenter le signal de sortie de cet oscillateur (signal au point (A)) ?
- 4) Représenter le signal de au point (B) ?
- 5) Quel est le rôle de l'oscillateur réalisé par les portes logiques C et D du montage ci-dessus ?

Exercice 1 : Corrigé

$V_{DD} = +15 \text{ V}$ et $-V_{DD} = -15 \text{ V}$. Les tensions V_P , V_N et V_S sont référenciées par rapport à la masse.

$R = 10 \text{ k}\Omega$ et $C = 1 \mu\text{F}$.

1) On se place à $t=0$ et on suppose que C est déchargée et que $V_S = V_{DD}$. Les valeurs de V_P et V_N :

$$V_P = V_R = \frac{R}{R+R} V_S \qquad I = -C \frac{dV_C}{dt} = -C \frac{dV_N}{dt}$$

$$V_P - V_S = R I = -R C \frac{dV_N}{dt} \qquad V_S = V_N + R C \frac{dV_N}{dt}$$

La tension V_P est donc produite via le pont diviseur, tandis que la tension V_N répond à une équation différentielle du premier ordre (celle d'un circuit RC du 1^{er} ordre).

A $t = 0$: le condensateur est complètement déchargé $V_C = 0$ et **$V_S = +V_{DD}$** :

$$V_C > V_R \rightarrow V_S = -V_{sat} \quad \& \quad V_C < V_R \rightarrow V_S = +V_{sat}$$

- $V_C = 0$ et le courant $I = 0 \rightarrow V_N = 0$
- $V_P = \frac{R}{R+R} V_S = \frac{1}{2} V_{DD} = 7,5 \text{ V}$

2) A partir de $t=0+$, C commence à se charger. L'expression de V_N en fonction du temps :

A $t=0+$, la capacité commence à se charger. $V_N(t) = V_C(t) = A + B e^{-t/RC}$

$$\text{à } t = 0 \rightarrow V_C(0) = 0 \rightarrow A + B = 0$$

$$\text{à } t = \infty \rightarrow V_C(\infty) = +V_{DD} \rightarrow A = V_{DD} \text{ soit } B = -V_{DD}$$

$$V_N(t) = V_{DD} (1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

L'expression du temps t_1 , à partir duquel la tension V_S devient égale à $-V_{DD}$ (**$V_S = -V_{DD}$**) :

$$V_N(t_1) = V_C(t_1) = V_H = \frac{R}{R+R} V_{DD} = \frac{1}{2} V_{DD} \quad \text{voir cours, page 20.}$$

$$V_N(t_1) = V_{DD} (1 - e^{-\frac{t_1}{RC}}) = \frac{1}{2} V_{DD} \rightarrow t_1 = RC \ln(2) = 10 \times 10^3 \times 1 \times 10^{-6} \ln(2) = 6,93 \text{ ms}$$

3) A partir de $t=t_1+$, la capacité commence à se décharger et $V_S = -V_{DD}$. On prendra t_1 comme origine de temps. La valeur de V_P et l'expression et la valeur de V_N en fonction du temps sont :

- $V_S = +V_{DD} \rightarrow R V_{DD} / (R + R) = 7,5 \text{ V}$.
- Décharge de $C \rightarrow V_N(t) = V_C(t) = A + B e^{-t/RC}$

$$\text{à } t = 0 \rightarrow V_C(0) = \frac{1}{2} V_{DD} \rightarrow A + B = \frac{1}{2} V_{DD}$$

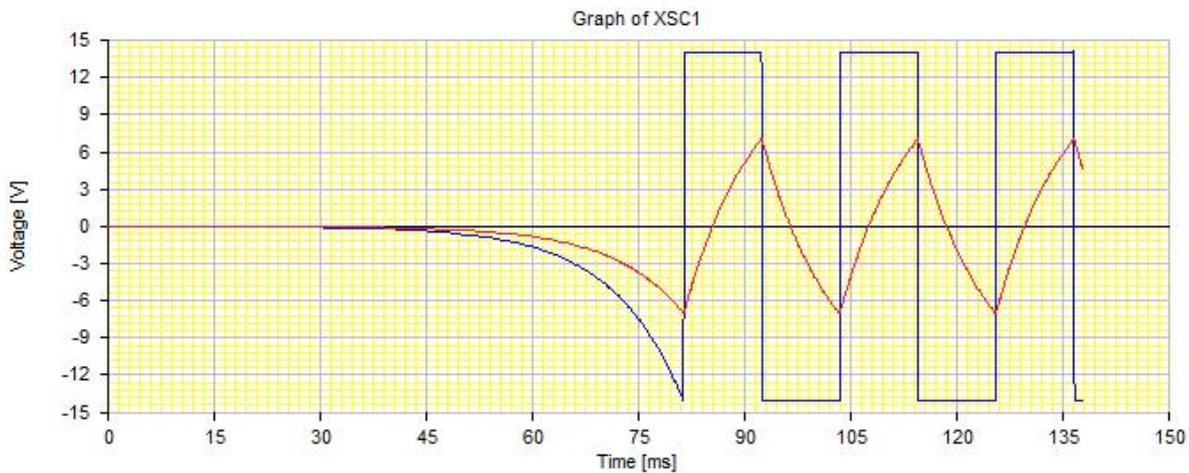
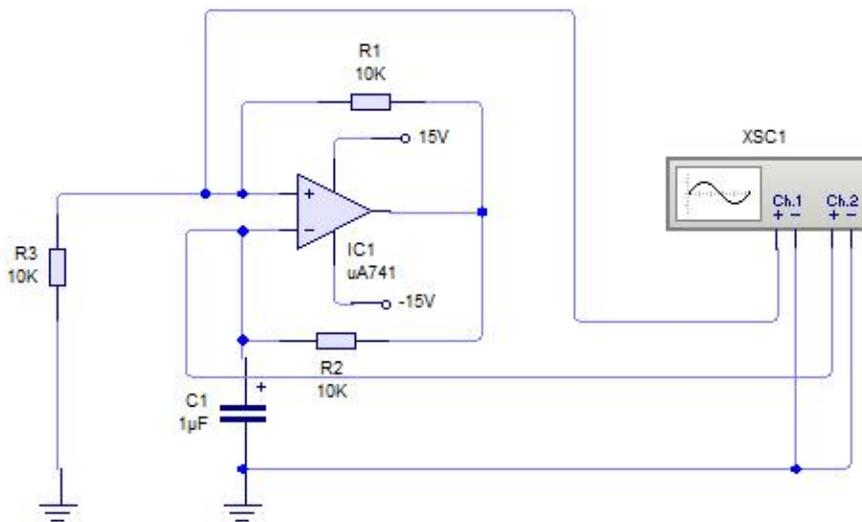
$$\text{à } t = \infty \rightarrow V_C(\infty) = -V_{DD} \rightarrow A = -V_{DD} \text{ soit } B = \frac{3}{2} V_{DD}$$

$$V_N(t) = \frac{3}{2} V_{DD} e^{-\frac{t}{RC}} - V_{DD}$$

L'expression et la du temps t_2 , à partir duquel la tension V_S devient égale à $+V_{DD}$ sont :

- $V_N(t_2) = V_C(t_2) = V_B = -\frac{R}{R+R} V_{DD} = -\frac{1}{2} V_{DD}$ voir cours, page 20.
- Soit $t_2 = RC \ln(3) = 10 \times 10^3 \times 1 \times 10^{-6} \ln(3) = 11 \mu s$

La fréquence de l'oscillateur est donc : $f = 1/T = 1 / 2.t_2 = 1 / (2 \times 11 \times 10^{-3}) = 45,45 \text{ Hz}$ (t_1 correspond au régime transitoire).



Exercice 2 : Corrigé

1) La fréquence d'oscillation du signal de sortie pour : $R_a = R_b = 100 \text{ k}\Omega$ et $C = 10 \mu\text{F}$ est :

$$T = t_c + t_d = (R_a + R_b) C \ln(2) + R_b C \ln(2) = (R_a + 2 R_b) C \ln(2)$$

$$T = (3 R_a) C \ln(2) = 3 \times 100 \times 10^3 \times 10 \times 10^{-6} \ln(2) = 2 \text{ s} \quad \text{donc : } F = 1 / T = 0,5 \text{ Hz}$$

2) La fréquence d'oscillation du signal de sortie pour : $R_a = 4,7 \text{ k}\Omega$; $R_b = 100 \text{ k}\Omega$ et $C = 10 \mu\text{F}$ est :

$$T = t_c + t_d = (R_a + R_b) C \ln(2) + R_b C \ln(2) = (R_a + 2 R_b) C \ln(2)$$

$$T = (4,7 \times 10^3 + 2 \times 100 \times 10^3) \times 10 \times 10^{-6} \ln(2) = 1,42 \text{ s} \quad \text{donc : } F = 1 / T = 0,7 \text{ Hz}$$

Exercice 3 : Corrigé

1) La fréquence d'oscillation du signal de sortie est :

$$T_H = 0,7 \times (R_1 + R_2) \times C_1 = 0.7 \times (47000 + 47000) \times 0,0001 \text{ F} = 6,5 \text{ s}$$

$$T_B = 0,7 \times R_2 \times C_1 = 0,7 \times 47000 \times 0,0001 \text{ F} = 3,3 \text{ s}$$

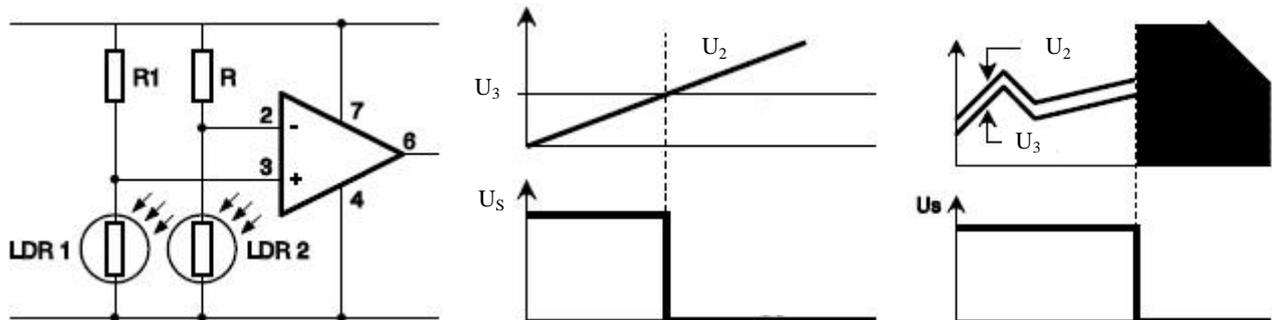
$$T = T_H + T_B = 6,5 + 3,3 = 9,8 \text{ s} \quad \text{donc : } \mathbf{F = 1,1 \text{ Hz.}}$$

2) Le rapport cyclique est : $\alpha = T_H / T = 6,5 / 9,8 = 0,66 = \mathbf{66\%}$ ou bien $r = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2R_2}$

Exercice 4 : corrigé

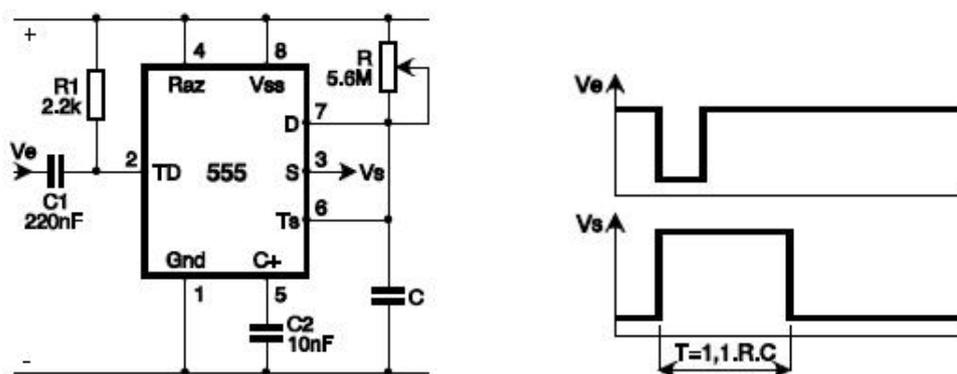
1) Brièvement, le principe de fonctionnement du circuit ci-dessous est le suivant :

On remarque deux étages principaux, liés à travers des transistors. Le premier étage, à base d'un AOP (CI 741), utilisé comme comparateur différentiel (1^{ère} fonction). La sortie du comparateur $U_S = U_6$ dépend des valeurs d'entrées U_2 et U_3 de l'AOP ($U_2 > U_3$ provoque un basculement).



Les tension U_2 et U_3 suivront donc les variations de lumière du local où est utilisé le circuit. On constate que la sortie ne bascule que lorsque $U_2 - U_3$ devient négative. La détection sera effective dès le passage d'une forme quelconque face au photorésistance LDR1.

Le 2^{ème} étage, à base du NE555, utilisé comme temporisateur ou monostable (2^{ème} fonction). La durée de temporisation est : $T = 1,1 R \times C$.



Les potentiomètres permettent l'ajustement du niveau de détection et la durée de temporisation. Les transistors permettent l'adaptation du signal et l'actionnement du relais chargé de la mise en marche du moteur.

2) Que pourrait être la fonction de ce circuit ?

Ce circuit peut être utilisé comme détecteur d'objets passants (comptage de produits industriels par exemple) ou la commande d'un escalier automatique.

3) Spécification du rôle des divers étages du circuit global :

Il y a en tout 4 étages dans le circuit global :

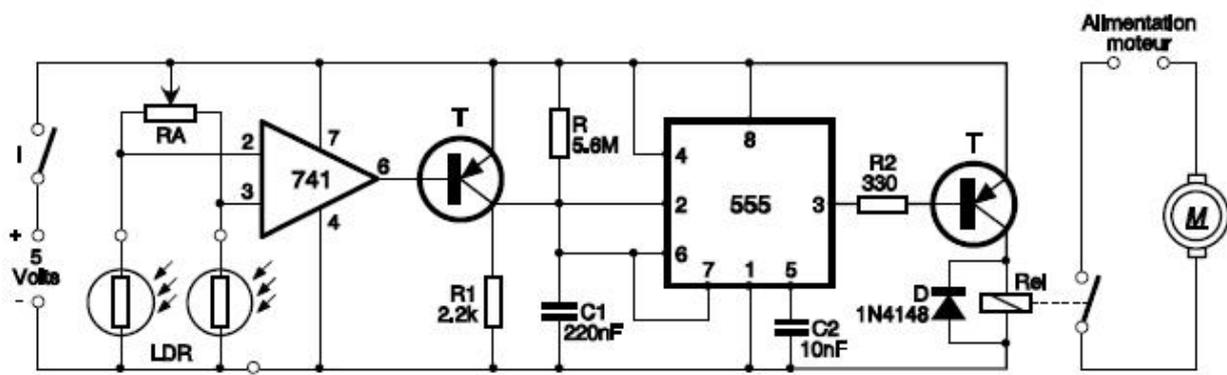
- Etage de détection (AOP , LDR, RA),
- Etage d'adaptation du signal de sortie (1^{er} transistor et R1),
- Etage monostable de temporisation (NE555, R, C₁, C₂),
- Etage de commande et d'isolation galvanique (2^{ème} transistor, R₂, D, Rel).

4) Rôle du transistor T et proposition d'une référence pour ce transistor ?

Le transistor T a un double rôle : la commutation (interrupteur électrique) et l'adaptation du signal de commande.

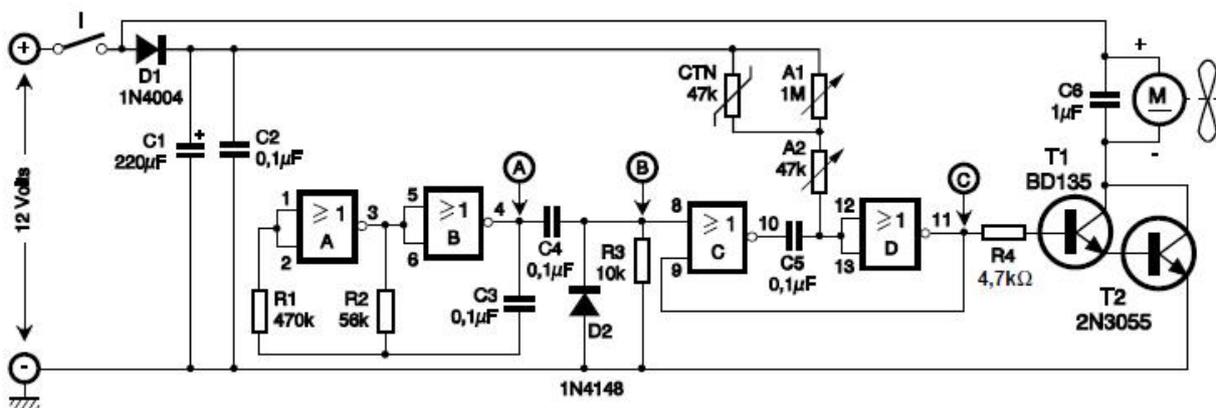
5) Représentation du signal de sortie du NE555 ? Calculer la durée du signal ?

Le signal de sortie du NE555 (voir figure ci-dessus). La durée du signal est : $T = 1,1 R \hat{C}$.



Exercice 5 : corrigé

Montage de régulation de la température :



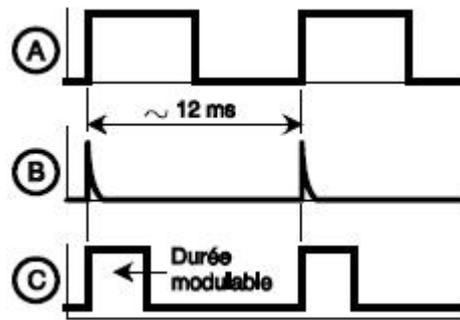
1) Quel est le type d'oscillateur réalisé par les portes logiques A et B du circuit ci-dessus ?

Le type d'oscillateur réalisé par les portes logiques A et B est : Circuit Oscillateur Astable.

2) Calculer la période T, la fréquence f et le rapport cyclique du signal généré par cet oscillateur ?

L'astable formé des portes logiques NOR A et B délivre un signal de forme carrée dont la période est essentiellement déterminée par les valeurs de R₂ et C₃ : $T = t_1 + t_2 = 2 \ln(3) R_2 \times C_3 = 2,2 R_2 \hat{C}_3$
 $T = 12 \text{ ms}$ ce qui correspond à une fréquence de l'ordre de **83 Hz**.

3) Représenter le signal de sortie de cet oscillateur (signal au point (A)) ?



4) Représenter le signal de au point (B) ?

La capacité C_4 , la résistance R_3 et la diode D_2 forment un dérivateur qui prend en compte les fronts montants des créneaux délivrés par l'astable. Lors des passages de l'état bas vers l'état haut, la capacité C_4 se charge rapidement à travers R_3 . Il en résulte des impulsions positives. La diode D_2 permet la décharge rapide de C_4 .

5) Quel est le rôle de l'oscillateur réalisé par les portes logiques C et D du montage ci-dessus ?

Les portes logiques NOR C et D sont montées en monostable.

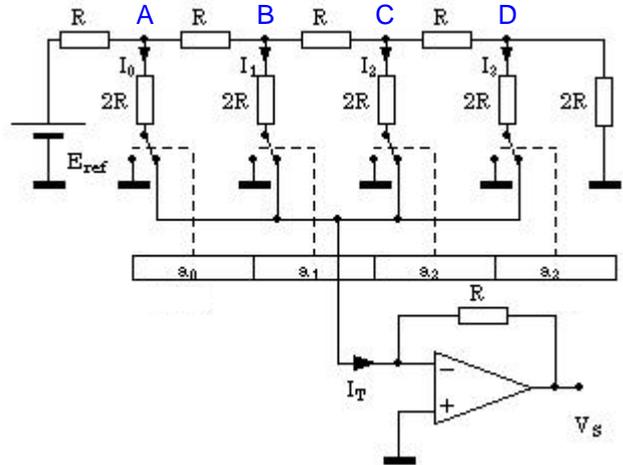


TD : Les convertisseurs CAN et CNA

Exercice 1

On considère le montage du CNA (R-2R) suivant :

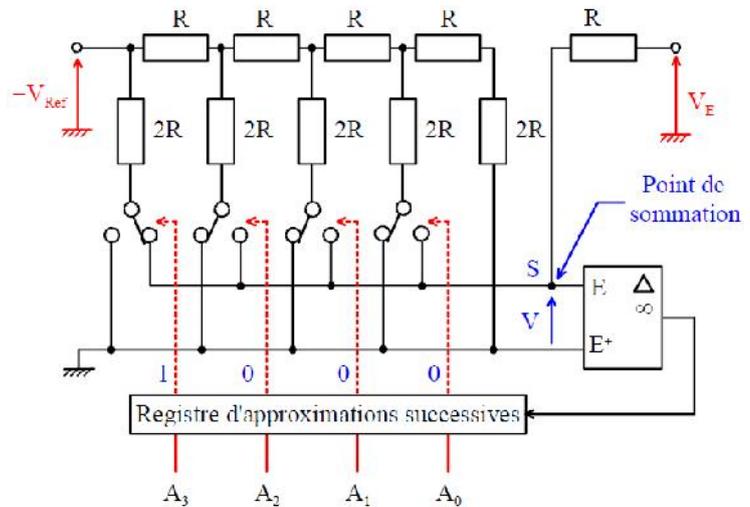
- 1) Exprimer V_A, V_B, V_C, V_D en fonction de E_{Ref} .
- 2) Déduisez la valeur des courants qui circulent dans les résistances $2R$.
- 3) On notant a_0, a_1, a_2, a_3 les coefficients liés aux interrupteurs, exprimer V_S en fonction de : $a_0, a_1, a_2, a_3, R, E_{Ref}$.
- 4) Soit K le nombre décimal correspondant au nombre binaire a_0, a_1, a_2, a_3 . Quelle est la forme de la réponse V_S en fonction de K ?



Exercice 2

On considère montage du CAN à approximations successives de 4 bits suivant :

Supposant $V_{Ref} = 10\text{ V}$ et $V_E = 6,9\text{ V}$.
 Que vaut le résultat numérique N de la conversion ($A_3 A_2 A_1 A_0$)?

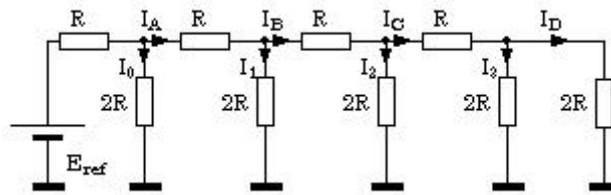


Exercice 3

- 1) Soit un CNA de 5 bits, dont la sortie est un courant. Quand l'entrée numérique binaire naturel est 10100, le courant de sortie est de 10 mA. Calculez l'intensité de sortie pour une entrée en binaire naturel de 11101.
- 2) Quelle est la plus grande tension de sortie d'un CNA si ce dernier fournit 1 V quand l'entrée est 00110010 ?
- 3) Soit un CNA 5 bits, dont la tension de sortie $V_s = 0,2\text{ V}$ quand l'entrée numérique vaut 00001. Trouver la valeur de sortie si l'entrée vaut 11111, et si l'entrée vaut 10101.
- 4) Soit un CNA 8 bits, avec une sortie pleine échelle de 2 mA, et une précision de $\pm 0,5\%$. Quelle est la plage de sortie possible correspondant à l'entrée 10000000 ?

Exercice 1 : Corrigé

Pour simplifier le raisonnement, nous allons donc étudier le réseau suivant :



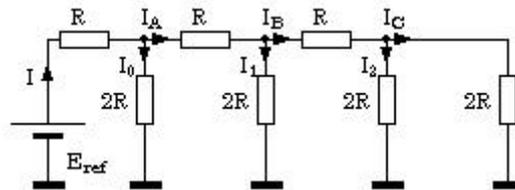
Réseau R/2R.

Les courants I_3 et I_D sont égaux (diviseur de courant avec deux résistances égales).

On a donc :

$$I_3 = I_D = \frac{I_C}{2}$$

Les branches où circulent I_3 et I_D sont en fait deux résistances égales ($2R$) en parallèle, soit l'équivalent d'une résistance moitié, donc R . Cette résistance équivalente est en série avec celle où circule I_C . Le courant I_C circule donc dans une résistance équivalente à $2R$. Le circuit devient :

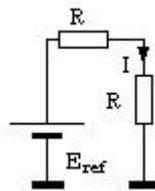


Réseau réduit équivalent.

On retombe strictement sur le même type de réseau que précédemment. On en déduit facilement :

$$I_2 = I_C = \frac{I_B}{2} , I_1 = I_B = \frac{I_A}{2} , I_0 = I_A = \frac{I}{2}$$

L'étape finale du raisonnement donne le réseau suivant :



Réseau final.

On en déduit la valeur des courants :

$$I_0 = \frac{E_{ref}}{4R} , I_1 = \frac{E_{ref}}{8R} , I_2 = \frac{E_{ref}}{16R} , I_3 = \frac{E_{ref}}{32R}$$

Le réseau R/2R nous fournit des courants en progression géométrique de raison 2 : on retombe sur la même chose que le convertisseur à résistances pondérées.

La tension de sortie V_s du convertisseur sera égale à :

$$V_s = \frac{-E_{ref}}{4} \left(a_0 + \frac{a_1}{2} + \frac{a_2}{4} + \frac{a_3}{8} \right)$$

Le résultat est donc du même genre que pour le CNA à résistances pondérées. On note un facteur $1/4$, mais on peut remarquer qu'il suffit de mettre une résistance égale à $4R$ en contre-réaction pour retomber sur le même résultat.

Exercice 2 : Corrigé

Posons $V_{ref} = 10V$ et $V_E = 6,9V$. Que vaut N ?

Sommation	Comparaison	État du bit	
$S = \frac{V_{Ref}}{2} = 5V$	$5V < 6,9V$	Bit conservé	$A_3 = '1'$
$S = \frac{V_{Ref}}{2} + \frac{V_{Ref}}{4} = 5 + 2,5 = 7,5V$	$7,5V > 6,9V$	Bit rejeté	$A_2 = '0'$
$S = \frac{V_{Ref}}{2} + \frac{V_{Ref}}{8} = 5 + 1,25 = 6,25V$	$6,25V < 6,9V$	Bit conservé	$A_1 = '1'$
$S = \frac{V_{Ref}}{2} + \frac{V_{Ref}}{8} + \frac{V_{Ref}}{16} = 6,25 + 0,625 = 6,875V$	$6,875V < 6,9V$	Bit conservé	$A_0 = '1'$

Conclusion :

Pour un CAN de 4 bits ayant une tension de référence $V_{Ref} = 10V$, le résultat N de la conversion est : $N = 1011$.

Exercice 3 : Corrigé

1) $10 \text{ mA} = Q \times 20$ donc : $Q = 0,5 \text{ mA}$

$$I_0 = 0,5 \times 11101 = 0,5 \times 29 = 14,5 \text{ mA}$$

2) $1 = Q \cdot 00110010 = Q \cdot 50$

$$Q = 20 \text{ mV}$$

$$V_{\text{omax}} = 20 \text{ mV} \cdot 11111111 = 20 \text{ mV} \cdot 255 = 5.1 \text{ V}$$

3) $V_{s1} = 1.3,2 + 1.1,6 + 1.0,8 + 1.0,4 + 1.0,2 = 6,2 \text{ V}$

$$V_{s2} = 1.3,2 + 0.1,6 + 1.0,8 + 0.0,4 + 1.0,2 = 4,2 \text{ V}$$

4)

Le quantum est de $q = \frac{2 \text{ mA}}{2^8 - 1} = 7,84 \mu\text{A}$, donc $V_s = 128 \times 7,84 \mu\text{A} = 1004 \mu\text{A}$

Comme l'erreur peut aller jusqu'à $\pm 0,5 \%$ de $2 \text{ mA} = 10 \mu\text{A}$

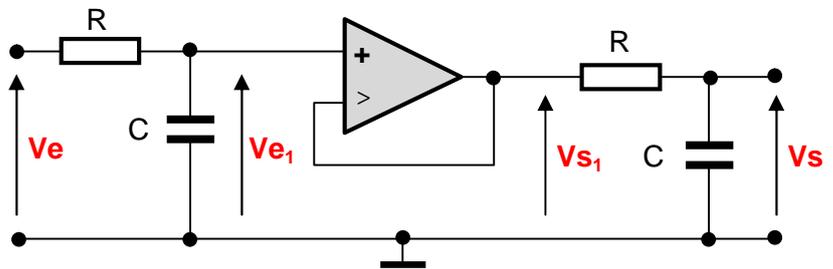
Il s'ensuit que $994 \mu\text{A} < V_s < 1014 \mu\text{A}$.

TD : Les Filtres Actifs

Exercice 1

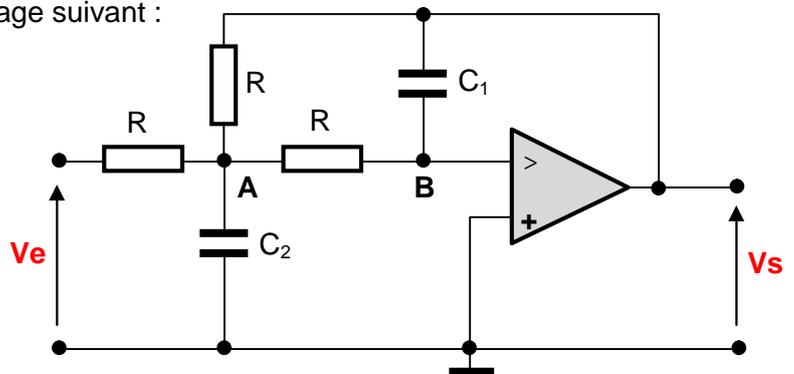
On réalise un filtre actif à l'aide du montage suivant :

- 1) Expliquer le rôle de l'ampli opérationnel. Donner l'expression de la fonction de transfert V_{e1} / V_e .
- 2) Donner une relation simple entre V_{e1} et V_{s1} . Donner l'expression de la fonction V_s / V_{s1} .
- 3) Donner alors la fonction de transfert $H = V_s / V_e$. Ecrire H sous la forme : $H = 1 / [1 + j(\omega / \omega_0)]^2$.
Donner l'expression de ω_0 , la valeur du module de T , la valeur du module lorsque $\omega \rightarrow \infty$, la valeur du module lorsque $\omega \rightarrow 0$ et en déduire le type du filtre.
- 4) Rappeler la définition de la pulsation de coupure ω_c à -3 dB. Montrer que ω_c est $\omega_c \cong 0,64 \omega_0$.
- 5) Pour une fréquence de coupure $f_c = 10$ Hz, calculer la valeur de ω . En déduire la valeur de R lorsque $C = 1$ pF.



Exercice 2

On réalise un filtre actif à l'aide du montage suivant :



- 1) En déterminant la tension de sortie du filtre à basses et hautes fréquences, déterminer la nature de ce filtre ?
- 2) En utilisant le théorème de Millman en A et B, établir l'expression de la fonction de transfert H

du montage, que l'on mettra sous la forme :
$$H(j \omega) = \frac{H_0}{1 + 2 j m \frac{\omega}{\omega_c} + (j \frac{\omega}{\omega_c})^2}$$

- 3) Déterminer H_0 ainsi que les expressions de ω_0 et m en fonction de R , C_1 et C_2 .
- 4) On souhaite obtenir une fréquence $f_0 = \frac{\omega_0}{2}$ et un facteur d'amortissement $m = \frac{1}{\sqrt{2}}$.

On choisi $R = 470 \Omega$. Calculer les valeurs des capacités C_1 et C_2 .